



الهيئة العامة للطرق
Roads General Authority

كـــود الطـرق السعودي

٢٠٢٣
الإصدار الأول

هندسة المرور وسلامة الطرق
كود الطرق السعودي ٦٠١ - هندسة المرور

رؤيـــة VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA


كـــود الطـرق السعـودي
SAUDI HIGHWAY CODE

القائمة الرئيسة لكود الطرق السعودي			
م	المحور	الكود	العنوان
١	مقدمة	كود الطرق السعودي ١٠١	عام
٢	التخطيط والدراسات الأولية	كود الطرق السعودي ٢٠١	عملية التخطيط
٣		كود الطرق السعودي ٢٠٢	الأعمال المساحية ورسم الخرائط
٤		كود الطرق السعودي ٢٠٣	الدراسات الأولية
٥	تصميم الطرق والجسور والأنفاق	كود الطرق السعودي ٣٠١	التصميم الهندسي للطرق
٦		كود الطرق السعودي ٣٠٢	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - الهيدرولوجيا والتصميم الهيدروليكي
٧		كود الطرق السعودي ٣٠٣	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - مناطق الاستراحة، ومحطات فحص الشاحنات، ومواقف السيارات والمرائب
٨		كود الطرق السعودي ٣٠٤	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم أنظمة السلامة الخاملة
٩		كود الطرق السعودي ٣٠٥	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم منطقة أعمال الطرق
١٠		كود الطرق السعودي ٣٠٦	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة
١١		كود الطرق السعودي ٣٠٧	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - زراعة المسطحات الخضراء، والإعلانات الخارجية
١٢		كود الطرق السعودي ٣٠٨	تصميم الرصف
١٣		كود الطرق السعودي ٣٠٩	مواصفات المواد والاختبارات القياسية
١٤		كود الطرق السعودي ٣١٠	تصميم الجسور والأنفاق
١٥	إنشاء الطرق والجسور والأنفاق	كود الطرق السعودي ٤٠١	إنشاء الطرق
١٦		كود الطرق السعودي ٤٠٢	إنشاء الجسور والانفاق
١٧		كود الطرق السعودي ٤٠٣	إنشاء مرافق الطرق
١٨	نظم صيانة الطرق والجسور والأنفاق وإدارتها	كود الطرق السعودي ٥٠١	نظم إدارة صيانة الرصف
١٩		كود الطرق السعودي ٥٠٢	نظم صيانة الجسور والأنفاق وإدارتها
٢٠		كود الطرق السعودي ٥٠٣	نظم صيانة مرافق الطرق وإدارتها
٢١	هندسة المرور و سلامة الطرق	كود الطرق السعودي ٦٠١	هندسة المرور
٢٢		كود الطرق السعودي ٦٠٢	الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري
٢٣		كود الطرق السعودي ٦٠٣	سلامة الطرق
٢٤	الجوانب البيئية للطرق	كود الطرق السعودي ٧٠١	الجوانب البيئية للطرق
٢٥	متطلبات المركبات ذاتية القيادة	كود الطرق السعودي ٨٠١	متطلبات المركبات ذاتية القيادة

الهيئة العامة للطرق
المملكة العربية السعودية، الرياض، وادي الحياة، حي المروج-١٢٢٦٤
٠١١٨٧٤٤٤٤٤ هاتف محلي/ ٩٦٦٠١١٨٧٤٤٤٤٤+ خارج المملكة العربية السعودية

© جميع الحقوق محفوظة للهيئة العامة للطرق ١٤٤٥هـ | ٢٠٢٣م

الهيئة العامة للطرق
Roads General Authority

وزارة النقل والخدمات اللوجستية
Ministry of Transport and Logistic Services

وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان
Ministry of Municipal Rural Affairs & Housing

SASO
المواصفات السعودية
Saudi Standards

وزارة البيئة والمياه والزراعة
Ministry of Environment Water & Agriculture

EXPRO
هيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية
Expenditure & Projects Efficiency Authority

المملكة العربية السعودية
الهيئة الملكية لجبيل وينبع
Royal Commission for Jubail and Yanbu
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اللجنة الوزارية للسلامة المرورية
الأمانة العامة
The Ministerial Committee of Traffic Safety
General Secretariat

المركز الوطني لسلامة الطرق
National Road Safety Center

مركز دعم هيئات التطوير
DEVELOPMENT AUTHORITIES SUPPORT CENTER

أرامكو
aramco

اللجنة التوجيهية

معالي م. بدر بن عبدالله الدلامي
رئيس اللجنة

أ.د. علي بن سعيد الغامدي **مدير عام المشروع**	م. عبدالله بن عبدالرحمن الربيعة **عضو**	م. بدر بن علي الحقباني **عضو**
م. رامي بن إسماعيل جلي **عضو**	م. علي بن سعيد الغامدي **عضو**	أ. طامس بن علي الحمادي **عضو**
م. خالد بن وليد الرشيد **عضو**	م. عبدالله بن محمود كاشغري **عضو**	م. أجدل بن محمد السلمي **عضو**
م. عمر بن عبدالرحمن الضبعان **عضو**	د. خالد بن يحيى القحطاني **عضو**	م. هذلول بن حسين الهذلول **عضو**
م. عبدالله بن سليمان السليمان **عضو**	م. طارق بن زياد الشامي **عضو**	م. سالم بن جبران القحطاني **عضو**

م. نواف بن أحمد الظبياني **سكرتارية اللجنة**	م. مياسم بنت مبارك باجويبر **سكرتارية اللجنة**

مدير عام مشروع كود الطرق السعودي

أ.د. علي بن سعيد الغامدي

اللجنة المشرفة

أ.د. علي بن سعيد الغامدي **مدير عام المشروع**		
أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي **المدير الفني العام**	م. تركي بن عبدالله العمودي **المدير الفني**	
م. عبدالعزيز بن علي السحيباني **المدير الإداري**	م. محمد بن فايز المنيع **عضو**	

الفريق الفني

أ.د. علي بن سعيد الغامدي **مدير عام المشروع**	أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي **المدير الفني العام**	م. تركي بن عبدالله العمودي **المدير الفني**
م. عثمان بن مختار محمد **عضو**	م. مياسم بنت مبارك باجويبر **عضو**	م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي **عضو**
م. مشعل بن عبدالله باوزير **عضو**	م. إبراهيم بن حسين أبوحليقة **عضو**	م. فهد بن علي المحمود **عضو**
م. يوسف بن عبدالعزيز العمار **عضو**	م. عمر بن أسامة كبوش **عضو**	م. أوس بن عبدالمنعم بخاري **عضو**

الفريق الإداري

م. عبدالعزيز بن علي السحيباني **المدير الإداري**	م. نواف بن أحمد الظبياني **مدير التواصل**	أ. نجلاء بنت سعيد جراد **مشرف تطوير الموقع الإلكتروني**
م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي **مشرف الترجمة**	أ. موضي بنت ابراهيم الربيشى **عضو**	أ. شوق بنت خالد الخريجي **عضو**
أ. نادر بن فياض الشراري **عضو**	أ. عبدالله بن محمد العمري **عضو**	م. عبدالله بن عبدالرحمن الملاحي **عضو**

الفريق القانوني

أ. نجود بنت عبداللطيف بدران **عضو**	أ. أحمد بن مصلح الثقفي **عضو**

اللجنة الفنية (كود الطرق السعودي ٦٠١)

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي **رئيس**	أ.د. علي بن سعيد الغامدي **عضو**	د. خالد بن فالح القحطاني **عضو**

فريق تدقيق الترجمة الفني

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي **رئيس**	م. تركي بن عبدالله العمودي **عضو**	م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي **عضو**
م. مشعل بن عبدالله باوزير **عضو**	م. عثمان بن مختار محمد **عضو**	م. مياسم بنت مبارك باجويبر **عضو**
م. عبدالله بن عبدالعزيز بخش **عضو**	م. عبدالعزيز بن عبدالله العسكر **عضو**	م. إبراهيم بن حسين أبوحليقة **عضو**

فريق تدقيق الترجمة اللغوي

د. هيفاء بنت محمد الفريح **رئيس**	د. فاطمة بنت علي الألمعي **عضو**	د. نورة بنت عبدالعزيز الشعلان **عضو**
أ.د. زاهية بنت سالم جويرو **عضو**	أ. نوف بنت عيسى المالكي **عضو**	

جدول المحتويات

جدول المحتويات ..... أ

قائمة الأشكال ..... ك

قائمة الجداول ..... ع

١- مقدمة: ١

١-١ ملخص الأبواب: ١

١-٢ النطاق: ١

١-٣ المواصفات والأكواد المرجعية: ١

٢- دراسات التشغيل المروري: ٢

٢-١ مقدمة: ٢

٢-١-١ النطاق: ٢

٢-١-٢ المواصفات والإرشادات: ٢

٢-١-٣ موجز الأجزاء: ٢

٢-١-٤ التفسير والملاحظات: ٢

٢-٢ نظرة عامة على متطلبات دراسات التشغيل المروري: ٣

٢-٢-١ الأخلاقيات: ٣

٢-٢-٢ تقديم النتائج: ٣

٢-٣ دراسة حجم المرور: ٤

٢-٣-١ مقدمة: ٤

٢-٣-٢ برامج جمع البيانات الدائمة: ٥

٢-٤ دراسات السرعة اللحظية: ٦

٢-٤-١ مقدمة: ٦

٢-٤-٢ أنواع الدراسات: ٦

٢-٥ دراسات التقاطعات والمداخل الجانبية: ٧

٢-٦ تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها: ٧

٢-٦-١ مقدمة: ٧

٢-٦-٢ دراسات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها: ٧

٢-٦-٣ متطلبات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها: ٨

٢-٦-٤ توقيت الإشارات المنسقة: ٩

٢-٧ دراسات زمن الانتقال والتأخير: ١٠

٢-٨ دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة: ١٠

٢-٩ دراسات فرض رسوم مرور: ١١

٢-٩-١ مقدمة: ١١

٢-٩-٢ الدراسات المطلوبة للتخطيط والتنفيذ: ١١

٢-١٠ دراسات المحاكاة: ١١
٢-١١ دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات: ١٢
٢-١١-١ مقدمة: ١٢
٢-١١-٢ مدة التعدادات المرورية لغير مستخدمي المركبات وأساليب المعاينة وعوامل القياس: ١٢
٢-١١-٣ البرامج الدائمة لجمع البيانات: ١٣
٢-١٢ دراسات النقل العام: ١٤
٢-١٣ قوائم الجرد: ١٤
٢-١٤ دراسات مواقف المركبات: ١٥
٢-١٥ مسوحات المنبع-المقصد: ١٥
٢-١٦ مسوحات توليد المرور: ١٦
٢-١٦-١ مقدمة: ١٦
٢-١٦-٢ ملخص متطلبات المسح: ١٦
٣- تحليل المرور ونمذجته: ١٧
٣-١ مقدمة: ١٧
٣-١-١ النطاق: ١٧
٣-١-٢ المواصفات والإرشادات: ١٧
٣-١-٣ موجز الأجزاء: ١٧
٣-١-٤ التفسير والملاحظات: ١٧
٣-٢ المفاهيم والغرض: ١٨
٣-٣ منهجية التحليل المروري: ١٨
٣-٣-١ عناصر المنهجية: ١٨
٣-٤ حد نطاق التحليل المروري: ٢٠
٣-٤-١ حد النطاق الزمني: ٢٠
٣-٥ جمع البيانات: ٢٠
٣-٥-١ الملاحظات الميدانية: ٢٠
٣-٥-٢ البيانات المطلوبة: ٢٠
٣-٥-٣ القيم الافتراضية لمعلمات المدخلات: ٢٠
٣-٥-٤ خطة جمع البيانات: ٢١
٣-٦ التحليل المروري باستخدام أدوات تحليلية: ٢١
٣-٧ تحليل المحاكاة المجهرية (Microsimulation): ٢١
٣-٨ مقاييس فعالية الأداء: ٢١
٣-٨-١ مستوى الخدمة (LOS) ونسبة الحجم إلى السعة (V/C): ٢١
٣-٩ تقارير تحليل المرور ونمذجته: ٢٢
٣-٩-١ تقرير التحليل المروري: ٢٢
٣-٩-٢ المذكرات الفنية: ٢٤

٣-٩-٣ مراجعة التحليل المروري: ٢٤
٤- اللافتات الإلكترونية في الإدارة المرورية: ٢٥
٤-١ مقدمة: ٢٥
٤-١-١ النطاق: ٢٥
٤-١-٢ المواصفات والإرشادات: ٢٥
٤-١-٣ موجز الأجزاء: ٢٥
٤-١-٤ التفسير والملاحظات: ٢٥
٤-٢ اللافتات الإلكترونية: ٢٦
٤-٣ لافتات الرسائل المتغيرة: ٢٦
٤-٣-١ المبادئ العامة: ٢٦
٤-٣-٢ التطبيقات: ٢٦
٤-٤ واجهات اللافتات: ٢٨
٤-٤-١ الخصائص العامة: ٢٨
٤-٤-٢ قابلية القراءة: ٢٨
٤-٥ الموقع والتباعد: ٢٨
٤-٦ اللافتات الإلكترونية لحد السرعة: ٢٩
٤-٧ لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة: ٢٩
٥- إدارة نقل البضائع: ٣١
٥-١ مقدمة: ٣١
٥-١-١ النطاق: ٣١
٥-١-٢ المواصفات والإرشادات: ٣١
٥-١-١ موجز الأجزاء: ٣١
٥-١-٢ التفسير والملاحظات: ٣١
٥-٢ نظرة عامة على نقل البضائع: ٣١
٥-٣ استراتيجيات التشغيل لحركة نقل البضائع: ٣٢
٥-٣-١ استراتيجيات الشبكة: ٣٢
٥-٣-٢ استراتيجيات نقل البضائع في المدن الكبرى والمناطق الحضرية: ٣٤
٥-٤ خطط نقل البضائع الإقليمية: ٣٤
٥-٤-١ مقدمة: ٣٤
٥-٤-٢ الغايات: ٣٥
٥-٤-٣ متطلبات الخطة: ٣٥
٦- تشغيل شبكات النقل الذكية: ٣٦
٦-١ مقدمة: ٣٦
٦-١-١ النطاق: ٣٦
٦-١-٢ المواصفات والإرشادات: ٣٦

٦-١-٣ موجز الأجزاء: ٣٦
٦-١-١ التفسير والملاحظات: ٣٦
٦-٢ الأهداف والمبادئ: ٣٦
٦-٢-١ الأهداف: ٣٦
٦-٢-٢ التشغيل المروري والنظام الآمن: ٣٦
٦-٢-٣ دعم مستخدمي الطريق: ٣٦
٦-٢-٤ دور أنظمة النقل الذكية: ٣٧
المراجع: ٣٩
الملحق أ – دراسات وتحليل التشغيل المروري: ٥٠
أ-١ نصائح عامة عن إجراء دراسات النقل: ٥٠
أ-١-١ إعداد الدراسة: ٥٠
أ-١-٢ الطرق الإحصائية والمُعاينة: ٥٦
أ-١-٣ سلامة البيانات: ٥٦
أ-٢ دراسات حجم المرور: ٥٧
أ-٢-١ أنواع الدراسات: ٥٧
أ-٢-٢ طرق جمع البيانات: ٧٦
أ-٢-٣ تقليل البيانات وتحليلها: ٨٧
أ-٣ دراسات السرعة اللحظية: ٩٠
أ-٣-١ مقدمة: ٩٠
أ-٣-٢ طريقة اختيار المركبات الفردية: ٩١
أ-٣-٣ اختيار عينات من جميع المركبات: ٩٨
أ-٣-٤ تقليل البيانات وتحليلها: ١٠٠
أ-٤ دراسات التقاطعات والمداخل: ١٠٤
أ-٤-١ التأخير: ١٠٤
أ-٤-٢ طول صف الانتظار: ١١٢
أ-٤-٣ التدفق المُشبّع والوقت الضائع: ١١٢
أ-٤-٤ الفجوات وقبول الفجوة: ١١٧
أ-٥ تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها: ١٢٢
أ-٥-١ مفاهيم توقيت الإشارات: ١٢٢
أ-٥-٢ اعتبارات تصميم الإشارة الابتدائية: ١٣٩
أ-٥-٣ مقدمة لخطط التوقيت: ١٤٩
أ-٥-٤ التقاطع/التوقيت غير المنسق: ١٧١
أ-٥-٥ النظام / التوقيت المنسق: ١٩٢
أ-٥-٦ أنظمة إشارات المرور المتقدمة: ٢١٧
أ-٦ دراسات زمن الانتقال والتأخير: ٢٢٤
أ-٦-١ مقدمة: ٢٢٤

أ-٦-٢ طريقة مركبة الاختبار: ٢٢٤
أ-٦-٣ دراسات زمن الانتقال الأخرى: ٢٣٤
أ-٧ دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة: ٢٣٩
أ-٧-١ مقدمة: ٢٣٩
أ-٧-٢ أنواع الدراسات: ٢٤٢
أ-٧-٣ إجراءات جمع البيانات: ٢٤٩
أ-٧-٤ تقليل البيانات وتحليلها: ٢٥٢
أ-٨ فرض الرسوم: ٢٥٤
أ-٨-١ خصائص فرض الرسوم: ٢٥٤
أ-٨-٢ متطلبات البنية التحتية: ٢٥٤
أ-٨-٣ تقديرات متعلقة بالإيرادات ٢٥٤
أ-٩ دراسات المحاكاة: ٢٥٥
أ-٩-١ مقدمة: ٢٥٥
أ-٩-٢ أنواع الدراسات: ٢٥٥
أ-٩-٣ إجراءات جمع البيانات: ٢٦٢
أ-١٠ دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات: ٢٧١
أ-١٠-١ أنواع التعدادات: ٢٧١
أ-١٠-٢ طرق جمع البيانات: ٢٧٢
أ-١١ دراسات النقل العام: ٢٨٠
أ-١١-١ مقدمة: ٢٨٠
أ-١١-٢ أنواع الدراسات: ٢٨٠
أ-١١-٣ إجراءات جمع البيانات: ٢٨٩
أ-١١-٤ التحليل الإحصائي: ٢٩٧
أ-١٢ قوائم الجرد: ٣٠١
أ-١٢-١ مقدمة: ٣٠١
أ-١٢-٢ هيكل قائمة الجرد: ٣٠١
أ-١٢-٣ إنشاء قائمة الجرد: ٣٠٣
أ-١٢-٤ حفظ قائمة الجرد: ٣٠٦
أ-١٣ دراسات مواقف المركبات: ٣٠٨
أ-١٣-١ مقدمة: ٣٠٨
أ-١٣-٢ أنواع الدراسات: ٣٠٨
أ-١٣-٣ إجراءات جمع البيانات: ٣١٤
أ-١٣-٤ تقليل البيانات وتحليلها: ٣٢٤
أ-١٣-٥ موجز: ٣٢٨
أ-١٤ مسوحات المنبع-المقصد: ٣٢٩

أ-١٤-١ أنواع المسوحات للمنبع والمقصد: ٣٢٩
أ-١٤-٢ إجراء مسح لوحة رقم المركبة: ٣٣٠
أ-١٤-٣ مصادر الخطأ في مسوحات جهتي المنبع-المقصد: ٣٣٢
أ-١٤-٤ تحليل البيانات وتقديم النتائج: ٣٣٣
أ-١٥ مسوحات توليد المرور: ٣٣٥
أ-١٥-١ جمع البيانات: ٣٣٥
أ-١٥-٢ مسوحات رقابية: ٣٣٥
أ-١٥-٣ إجراء مقابلات ومسوحات استقصائية: ٣٣٥
ملحق ب - التحليل المروري ونمذجته: ٣٣٧
ب-١ العناصر المنهجية للتحليل المروري: ٣٣٧
ب-١-١ وصف المشروع: ٣٣٧
ب-١-٢ الهدف من التحليل المروري: ٣٣٧
ب-١-٣ حد نطاق التحليل: ٣٣٧
ب-١-٤ أداة التحليل المروري ونهج التحليل: ٣٣٧
ب-١-٥ متطلبات، وجمع البيانات: ٣٣٨
ب-١-٦ توقع الطلب على المرور للمشروع: ٣٣٨
ب-١-٧ مقاييس فعالية الأداء: ٣٣٩
ب-١-٨ بدائل المشروع: ٣٣٩
ب-١-٩ تقرير التحليل المروري والوثائق الفنية: ٣٣٩
ب-١-١٠ تقدير مستوى الجهد: ٣٣٩
ب-١-١١ قائمة تدقيق منهجية التحليل المروري: ٣٤٠
ب-٢ حدود نطاق التحليل: ٣٤٣
ب-٢-١ منطقة التأثير للمشاريع التي تتضمن المحاكاة المجهرية: ٣٤٣
ب-٢-٢ الحدود الزمنية: ٣٤٣
ب-٣ اختيار أداة التحليل: ٣٤٥
ب-٣-١ أدوات التحليل المروري: ٣٤٥
ب-٣-٢ ما الأداة المناسبة؟ ٣٤٥
ب-٣-٣ ورقة عمل اختيار أداة التحليل: ٣٤٧
ب-٤ جمع البيانات: ٣٥٥
ب-٤-١ قائمة تدقيق جمع البيانات: ٣٥٥
ب-٤-٢ صيغة خطة جمع البيانات ٣٥٦
ب-٤-٣ مصادر البيانات الموجودة: ٣٥٦
ب-٤-٤ جدول جمع البيانات: ٣٥٦
ب-٤-٥ بيانات المعايرة والتحقق: ٣٥٧
ب-٤-٦ ضمان الجودة: ٣٥٨
ب-٥ جداول حجم الخدمات العامة: ٣٥٩

ب-٥-١ متى ينبغي النظر في جداول حجم الخدمات: ٣٥٩
ب-٥-٢ مصادر جداول حجم الخدمات العامة: ٣٥٩
ب-٦ تحليل المحاكاة المجهرية: ٣٦٠
ب-٦-١ إعداد نموذج الأساس: ٣٦٠
ب-٦-٢ التحقق من النموذج/تدقيق الأخطاء: ٣٦٠
ب-٦-٣ معايرة النموذج والتحقق منه: ٣٦٠
ب-٦-٤ تصحيح آثار الطلب الذي لم يُلبَّ في النموذج: ٣٦٣
ب-٦-٥ التحقق من نموذج السنوات المقبلة: ٣٦٥
ب-٦-٦ إعداد تقارير المعايرة، والتحقق: ٣٦٥
ب-٦-٧ قائمة التدقيق لمُراجع معايرة النموذج: ٣٦٦
ب-٦-٨ تحليل صيانة المرور باستخدام نماذج المحاكاة المجهرية: ٣٦٨
ب-٦-٩ الرسوم المتحركة: ٣٦٨
ب-٦-١٠ دليل النموذج: ٣٦٨
ب-٧ مقاييس فعالية الأداء: ٣٧٠
ب-٧-١ الغرض: ٣٧٠
ب-٧-٢ التحليل التشغيلي بأدوات قطعية: ٣٧١
ب-٧-٣ تحليل المحاكاة المجهرية: ٣٧٤
ب-٧-٤ مقاييس الأداء المحلي ومقاييس أداء النظام: ٣٧٨
الملحق ج - الإشارات الإلكترونية: ٣٧٩
ج-١ رسائل لافتات الرسائل المتغيرة: ٣٧٩
ج-١-١ أنواع الرسائل والرموز: ٣٧٩
ج-١-٢ الاختصارات: ٣٨٠
ج-٢ محتوى الرسالة وشكلها: ٣٨٣
ج-٢-١ بيانات المشكلة: ٣٨٣
ج-٢-٢ بيانات الموقع: ٣٨٣
ج-٢-٣ بيانات التأثير: ٣٨٣
ج-٢-٤ بيانات الانتباه: ٣٨٤
ج-٢-٥ بيانات العمل: ٣٨٤
ج-٢-٦ تحميل الرسائل وأوقات العرض: ٣٨٤
ج-٢-٧ عدد الإطارات وعرض التغييرات: ٣٨٤
ج-٢-٨ معلومات الوقت والتاريخ: ٣٨٤
ج-٢-٩ توافق الرسالة والمصداقية: ٣٨٥
ج-٢-١٠ تقارير رسائل لافتات الرسائل المتغيرة: ٣٨٥
ج-٢-١١ مجموعة الرسائل العامة: ٣٨٩
ج-٣ الموقع والتباعد: ٣٩١

ج-٣-١ مواقع التثبيت الطولية: ٣٩١
ج-٣-٢ مواقع التثبيت الأفقي والارتفاع: ٣٩١
ج-٣-٣ اتجاه لافتات الرسائل المتغيرة: ٣٩٢
ج-٣-٤ التراصف مع اللافتات الأخرى: ٣٩٢
ج-٤ استخدامات لافتات الرسائل المتغيرة: ٣٩٢
ج-٤-١ عام: ٣٩٢
ج-٤-٢ لافتات معلومات السائق: ٣٩٣
ج-٤-٣ إشارات / لافتات التحكم في المسارات: ٣٩٥
ج-٤-٤ أنظمة التحذير من الطقس: ٣٩٥
ج-٤-٥ المسارات متغيرة الاتجاه: ٣٩٥
ج-٤-٦ إدارة الحوادث: ٣٩٦
ج-٤-٧ أنظمة التحذير من الارتفاع الزائد: ٣٩٦
ج-٤-٨ أنظمة التحذير من السرعة الزائدة: ٣٩٦
ج-٤-٩ لافتات التقاطعات المُفعَّلة بالمركبات والتصميم الهندسي للطرق: ٣٩٧
ج-٤-١٠ النقل العام: ٤٠٠
ج-٤-١١ توجيه مواقف المركبات: ٤٠٠
ج-٥ حدود السرعة الإلكترونية: ٤٠١
ج-٥-١ الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة: ٤٠١
ج-٥-٢ الطرق الشريانية والمحلية: ٤٠٢
ج-٦ لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة: ٤٠٢
الملحق د - إدارة نقل البضائع: ٤٠٤
د-١ استراتيجيات نقل البضائع الحضرية/ في الحواضر الكبرى: ٤٠٤
د-١-١ إدارة البنية التحتية: ٤٠٤
د-١-٢ إدارة مناطق وقوف المركبات/التحميل: ٤٠٥
د-١-٣ الاستراتيجيات المتعلقة بالمركبات: ٤٠٦
د-١-٤ إدارة المرور: ٤٠٧
د-١-٥ التسعير والحوافز: ٤٠٩
د-١-٦ الإدارة اللوجستية: ٤٠٩
د-١-٧ إدارة الطلب واستخدام الأراضي: ٤١١
د-١-٨ إشراك الأطراف المعنية: ٤١٢
د-٢ تقييم جمع البيانات الأولية: ٤١٤
الملحق هـ - عمليات شبكات النقل الذكية: ٤١٦
هـ-١ خدمات وتدابير عمليات تشغيل المرور وأدواتها: ٤١٦
هـ-١-١ مجالات الخدمة: ٤١٦
هـ-١-٢ مجموعة الخدمات: ٤١٧
هـ-١-٣ إطار العمل التنظيمي: ٤١٩

هـ-١-٤ التنسيق بين الجهات بشأن إدارة الحوادث: ٤٢١
هـ-١-٥ مراقبة الشبكات: ٤٢٢
هـ-١-٦ الحفاظ على قابلية الخدمة للطرق وسلامتها: ٤٢٧
هـ-١-٧ التحكم المروري: ٤٣٠
هـ-١-٨ الوسائل المساعدة للانتقال ومعلومات المستخدمين: ٤٣٣
هـ-١-٩ إدارة الطلب: ٤٣٤
هـ-١-١٠ الإنفاذ: ٤٣٥
هـ-١-١١ التكامل والتعاون المشترك: ٤٣٧
هـ-٢ أنظمة وإجراءات مراكز إدارة المرور: ٤٤١
هـ-٢-١ نظرة عامة عن مراكز إدارة المرور: ٤٤١
هـ-٢-٢ مراقبة المرور: ٤٤٣
هـ-٢-٣ المراقبة البيئية: ٤٤٣
هـ-٢-٤ دعم القرارات: ٤٤٤
هـ-٢-٥ تقييم التشغيل: ٤٤٤
هـ-٣ بيانات أنظمة النقل الذكية في عملية اتخاذ القرار: ٤٤٥
هـ-٣-١ الغرض: ٤٤٥
هـ-٣-٢ الأهداف: ٤٤٥
هـ-٣-٣ مقدمة: ٤٤٥
هـ-٣-٤ مصادر البيانات وأنواعها: ٤٤٦
هـ-٣-٥ تقنيات وأدوات تحويل البيانات وإبلاغ القرارات: ٤٥٤
هـ-٣-٦ إدارة البيانات وحوكمتها: ٤٦٠
هـ-٣-٧ اتخاذ قرارات مستنيرة بالبيانات: ٤٦٤
هـ-٤ إشارات التقاطع وعمليات التشغيل للنقل: ٤٦٥
هـ-٤-١ الإشارات وعمليات التشغيل: ٤٦٥
هـ-٤-٢ تعاقب إشارة النقل: ٤٦٥
هـ-٤-٣ أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة: ٤٦٧
هـ-٤-٤ دورات الإشارة القصيرة: ٤٧١
هـ-٤-٥ قيود الانعطافات: ٤٧٢
هـ-٥ الأنظمة والإجراءات الخاصة بالمحافظة على صلاحية الطرق وسلامتها: ٤٧٥
هـ-٥-١ إدارة الحوادث: ٤٧٥
هـ-٥-٢ إدارة الأحداث المخططة والخاصة: ٤٨٧
هـ-٦ أنظمة وإجراءات التحكم في الشبكة المرورية: ٥٠٦
هـ-٦-١ مقدمة: ٥٠٦
هـ-٦-٢ أنظمة إدارة المسار: ٥٠٦
هـ-٦-٣ حد السرعة المتغير: ٥٠٩

ه-٦-٤ أنظمة النقل الذكية التعاونية: ٥١١
ه-٦-٥ وسائل الانتقال ومعلومات المستخدم على الطريق: ٥١٣
ه-٧ أنظمة وإجراءات الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية: ٥١٩
ه-٧-١ نظرة عامة على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية: ٥١٩
ه-٧-٢ ذكاء الشبكة: ٥٢١
ه-٧-٣ معلومات المتنقل الموضوعة على جانب الطريق: ٥٢١
ه-٧-٤ ضبط المداخل إلى الطرق السريعة ٥٢٣
ه-٧-٥ أنظمة إدارة السرعة واستخدام المسار: ٥٢٧
ه-٧-٦ استخدام مسار الطوارئ في الطريق السريع/ الطريق شبه السريع الذكي: ٥٣١
ه-٧-٧ واجهات طريق السريع/ طريق شبه سريع إلى طريق شرياني: ٥٣١
الملحق و - أجهزة وأنظمة التحكم في وقوف المركبات: ٥٣٤
و-١ مقدمة: ٥٣٤
و-٢ أنظمة التحكم في وقوف المركبات: ٥٣٤
و-٢-١ أنظمة دفع الرسوم: ٥٣٤
و-٢-٢ عناصر تحكم الدخول والخروج: ٥٣٤
و-٣ أنظمة توجيه وقوف المركبات: ٥٣٤
و-٤ أنظمة الامتثال للتنفيذ: ٥٣٥
و-٤-١ الأجهزة المحمولة: ٥٣٥
و-٤-٢ أنظمة كاميرا الهواتف المحمولة فقط: ٥٣٥
و-٤-٣ أنظمة كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية الثابتة: ٥٣٥
و-٥ أنظمة المعلومات: ٥٣٥
الملحق ز- مسرد المصطلحات: ٥٣٧
الملحق ح- الاختصارات والرموز: ٥٥٥
الملحق ط- وحدات: ٥٥٩

قائمة الأشكال

الشكل (٤–١) لافتة الرسائل القابلة للتغيير المثبتة فوق الطريق (المصدر: (Royal Commission for Riyadh City)).....٢٧

الشكل (٤–٢) لافتة حد السرعة الإلكترونية في أبو ظبي لأجل الظروف الجوية القاسية (المصدر: (Khaleej Times, (2022).
٢٩.....

الشكل (أ–١) نهج الأنظمة لدراسات المرور (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure 3.1).....٥١

الشكل (أ–٢) مثال على عدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: MMM Group, (MMM Group, n.d.) – Figure 7.2).....٧١

الشكل (أ–٣) مخطط تصنيف الإدارة الاتحادية للطرق "F" (المصدر: FDOT (2018) – Figure 3).....٧٦

الشكل (أ–٤) مثال على ورقة قياس ميدانية للتقاطع (المصدر: ((FDOT, (2022 – Form No. 750-020-03 adjusted).
٧٧.....

الشكل (أ–٥) أمثلة على تقنيات الاستشعار على الطريق (المصدر: FDOT (2018)- Figures 2, 4, 7 & 8).....٨٢

الشكل (أ–٦) الاستجابة النموذجية من كاشف المحور عندما تعبره مركبة ذات محورين (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure A.2).....٨٣

الشكل (أ–٧) استجابة نموذجية لجهاز كشف تعبره سيارة ركاب (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure A.2).....٨٣

الشكل (أ–٨) أمثلة على تقنيات الاستشعار على جانب الطريق (المصدر: FDOT, (2018) –Figures 47 & 51).....٨٤

الشكل (أ–٩) نموذج مثال على استبيان السرعة اللحظية للمركبة (المصدر: FDOT, (2021) – Figure 12-2 Revised).....٩٧

الشكل (أ–١٠) رسم بياني لسرعات المركبات الملحوظة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-12 adjusted).....١٠٢

الشكل (أ–١١) ورقة عمل الدراسة الميدانية للتأخر في التحكم (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 31-43).....١١٠

الشكل (أ–١٢) صفحة عمل دراسة معدل التدفق المُشبّع الميداني (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 31-47).....١١٥

الشكل (أ–١٣) السمات الأساسية لتدفق المرور في دورة الإشارة (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 19-5/part 2).....١١٦

الشكل (أ–١٤) نموذج مسح فجوات المركبات (المصدر: FDOT, (2021) – Figure 8-2 Revised).....١٢١

الشكل (أ–١٥) تفاعلات التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-3).....١٢٢

الشكل (أ–١٦) مثال على توزيع أحجام مرور المركبات وأطوال الدورة حسب الوقت من اليوم (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-12).....١٢٩

الشكل (أ–١٧) أمثلة على مخطط الاصطدام في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-16).....١٣٢

الشكل (أ–١٨) سدّ جيب التخزين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-21).....١٣٧

الشكل (أ–١٩) تجاوز سعة جيب التخزين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-22).....١٣٧

الشكل (أ–٢٠) تدفق المدخلات والمخرجات بين أجهزة الاستشعار، ومعدات كابينة الإشارة، وشاشات العرض (المصدر: NCHRP, (2015)) – Exhibit 4-1).....١٣٩

الشكل (أ–٢١) أنواع الاستشعار المستخدمة في إشارات المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-3).....١٤٠

الشكل (أ–٢٢) مخطط الاستشعار الأساسي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-4).....١٤١

الشكل (أ–٢٣) منطقة القرار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-6).....١٤٣

الشكل (أ–٢٤) المعدات الأساسية في كابينة الإشارة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibits 4-9 & 4-10).....١٤٦

الشكل (أ–٢٥) المكونات المادية لنظام الإشارات المتصلة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-24).....١٤٨

الشكل (أ–٢٦) الحركات النمطية ونظام ترقيم أطوار الإشارة (مع انعطاف لليسار محمٍ) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-1). ١٥٠

الشكل (أ–٢٧) مخطط الحلقة والحاجز الأساسي (المصدر:NCHRP, (2015) – Exhibit 5-3). ١٥١

الشكل (أ–٢٨) مخطط حلقة وحاجز لتوضيح طور الانعطاف لليسار المحمية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-6). ١٥٣

الشكل (أ–٢٩) رسم بياني لحلقة-و-حاجز يعرض الأطوار المجزأة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-8). ١٥٤

الشكل (أ–٣٠) رسم بياني لحلقة-و-حاجز يعرض أطوار الانعطاف لليسار المحمية المتقدمة-المتأخرة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-10). ١٥٥

الشكل (أ–٣١) مثال على التداخل والطور الرئيس (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-11). ١٥٦

الشكل (أ–٣٢) الترقيم النموذجي لطور التداخل للانعطاف لليمين بالحروف (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-12). ١٥٧

الشكل (أ–٣٣) مثال على ترقيم طور التداخل اللاحق بالحروف (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-15). ١٥٩

الشكل (أ–٣٤) الترقيم الأساسي لأجهزة استشعار المركبات (المصدر: : NCHRP, (2015) – Exhibit 5-18). ١٦١

الشكل (أ–٣٥) المثال رقم ١: أطوار وأحجام تحليل الحركة الحرجة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-20). ١٦٣

الشكل (أ–٣٦) المثال رقم ٢: أطوار وأحجام تحليل الحركة الحرجة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-21). ١٦٣

الشكل (أ–٣٧) المثال رقم ١: الأطوار المتعارضة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-22). ١٦٤

الشكل (أ–٣٨) المثال رقم ١: الأحجام لكل الطور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-23). ١٦٥

الشكل (أ–٣٩) المثال رقم ١: الأحجام الحرجة لكل من الشارع الرئيس والشارع الفرعي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-24). ١٦٥

الشكل (أ–٤٠) المثال رقم ٢: الأطوار المتعارضة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-25). ١٦٦

الشكل (أ–٤١) المثال رقم ٢: الأحجام لكل طور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-26). ١٦٦

الشكل (أ–٤٢) المثال رقم ٢: الأحجام الحرجة لكل من الشارع الرئيس والشارع الفرعي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-27). ١٦٧

الشكل (أ–٤٣) المثال رقم ١: الحجم الحرج (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-28). ١٦٧

الشكل (أ–٤٤) المثال رقم ٢: الحجم الحرج (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-29). ١٦٨

الشكل (أ–٤٥) رسم بياني لقياس عرض التقاطع للحركة المستمرة للأمام (المصدر: ITE, (2020) – Figure 3.1). ١٧٦

الشكل (أ–٤٦) رسم بياني لقياس عرض التقاطع لحركات الانعطاف لليسار (المصدر:ITE, (2020) – Figure 3.2). ١٧٦

الشكل (أ–٤٧) التوقيتات الأولية المتغيرة النموذجية لاستشعار إخلاء ارتداد صف الانتظار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-6). ١٧٩

الشكل (أ–٤٨) الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-8). ١٨١

الشكل (أ–٤٩) الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-15). ١٨٥

الشكل (أ–٥٠) متطلبات الفترة الزمنية المخصصة للمشاة بناءً على سرعة المشي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-19 Revised). ١٨٧

الشكل (أ–٥١) الفترات الزمنية المتقدمة المخصصة للمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-20). ١٨٧

الشكل (أ–٥٢) رسم بياني أساسي للزمن-المسافة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-1). ١٩٣

الشكل (أ–٥٣) رسم بياني للزمن-المسافة لأطوار الانعطاف إلى اليسار (حلقات منفصلة) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-2). ١٩٤
الشكل (أ–٥٤) رسم بياني للزمن-المسافة لأطوار الانعطاف إلى اليسار (حلقات مدمجة) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-3). ١٩٥
الشكل (أ–٥٥) المراجع الخاصة بمسارات المركبات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-4). ١٩٦
الشكل (أ–٥٦) أوضاع المركبات على الرسم البياني للزمن-المسافة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-5). ١٩٦
الشكل (أ–٥٧) أمثلة على مسارات المركبات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-7). ١٩٧
الشكل (أ–٥٨) عرض الموجة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-8). ١٩٨
الشكل (أ–٥٩) تأثير تسلسل الأطوار على عرض الموجة (الانعطافات إلى اليسار المتقدمة) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-9). ١٩٩
الشكل (أ–٦٠) تأثير تسلسل الأطوار على عرض الموجة (الانعطافات إلى اليسار المتقدمة والمتأخرة في التقاطع الأوسط) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-10). ١٩٩
الشكل (أ–٦١) طول الدورة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-11). ٢٠٠
الشكل (أ–٦٢) التجزؤات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-12). ٢٠١
الشكل (أ–٦٣) الإيقاف الإجباري (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-13). ٢٠١
الشكل (أ–٦٤) عمليات الإيقاف الإجباري الثابتة والمتغيرة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-14). ٢٠٢
الشكل (أ–٦٥) النقاط المرجعية للإزاحة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-15). ٢٠٤
الشكل (أ–٦٦) الإزاحات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-16). ٢٠٥
الشكل (أ–٦٧) تشغيل طور غير منسق مع توقيت مشاة مكتمل قبل الإيقاف الإجباري (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-24). ٢٠٨
الشكل (أ–٦٨) تشغيل طور غير منسق مع توقيت مشاة يتجاوز تجزؤ الطور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-25). ٢٠٩
الشكل (أ–٦٩) فقدان التنسيق بسبب استدعاء المشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-26). ٢٠٩
الشكل (أ–٧٠) أوضاع "اعبر" الخاصة بالمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-27). ٢١١
الشكل (أ–٧١) تشغيل بالاستشعار لجزء من الأطوار المنسقة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-28). ٢١٢
الشكل (أ–٧٢) أمثلة على الرسومات البيانية للزمن-المسافة التي تعرض العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-30)). ٢١٥
الشكل (أ–٧٣) طريقة مركبة الاختبار - متغيرات تمديد الحجم (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-8). ٢٣٢
الشكل (أ–٧٤) مقطع لطريق اسريع مكون من ست مسارات – (المصدر: NRSC). ٢٣٩
الشكل (أ–٧٥) السعة الزائدة للمركبات عالية الإشغال حسب الوقت المحدد من اليوم (المصدر: Neudorff, et al., (2003) – Exhibit 9-4). ٢٤١
الشكل (أ–٧٦) منحنيات السرعة-التدفق ومعايير مستوى الخدمة لمقاطع الطرق السريعة الأساسية (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 12-16). ٢٤٣
الشكل (أ–٧٧) منحنيات السرعة-التدفق لمقاطع الطرق متعددة المسارات (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 12-17). ٢٤٤
الشكل (أ–٧٨) أمثلة على مستوى الخدمة لمقاطع الطرق السريعة الأساسية (المصدر: TRB, (2022). Exhibit 12-14). ٢٤٧
الشكل (أ–٧٩) مثال على تحليل الحساسية الذي يُجرى في المحاكاة المجهرية (المصدر: FHWA, (2007) – Figure 49). ٢٥٧

الشكل (أ–٨٠) معايير اختيار فئة أدوات التحليل المروري (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 11-3). ٢٧١
الشكل (أ–٨١) مثال لنموذج ميداني لعدّ المشاة في معابر المشاة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 12-1). ٢٧٤
الشكل (أ–٨٢) منحنى تراكم وقوف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-8). ٣١٤
الشكل (أ–٨٣) المحطات للطوق (الكوردون) وداخل منطقة الدراسة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.1). ٣٣١
الشكل (أ–٨٤) تحديد مواقع محطات الطوق (الكوردون) (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.2). ٣٣١
الشكل (أ–٨٥) تسجيل حركات الانعطاف المنفصلة في المحطة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.3)..... ٣٣٢
الشكل (أ–٨٦) رسم بياني للخط المرغوب يوضح الرحلات بالقرب من تقاطع كيو، ملبورن، أستراليا (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.4)). ٣٣٤
الشكل (ب–١) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised). ... ٣٤٧
الشكل (ب–٢) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised). ٣٤٨
الشكل (ب–٣) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised). ٣٤٩
الشكل (ب–٤) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).. ٣٥٠
الشكل (ب–٥) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised). ٣٥١
الشكل (ب–٦) ورقة عمل اختيار أداة التحليل – (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).. ٣٥٢
الشكل (ب–٧) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).. ٣٥٣
الشكل (ب–٨) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised). ٣٥٤
الشكل (ب–٩) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).. ٣٥٥
الشكل (ب–١٠) مثال لمحول معيني اتجاهي (DDI) (المصدر: Google Maps - adjusted). ٣٧٢
الشكل (ج–١) مثال على لافتة رسائل متغيرة بالرسم التصويري والنص (المصدر: Royal Commision for Riyadh City). ٣٨٠
الشكل (ج–٢) لافتة معلومات الرحلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.4)..... ٣٩٤
الشكل (ج–٣) لافتة حالة الرحلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.5). ٣٩٤
الشكل (ج–٤) مثال على لافتات الرسائل المتغيرة لطريق شرياني توفر معلومات متقدمة عن حالة طريق سريع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.6). ٣٩٥
الشكل (ج–٥) نظام مؤشر السرعة على طريق سريع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.10). ٣٩٧
الشكل (ج–٦) لافتة تحذير مُفعّلة بالمركبات للشاحنات (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.11). ٣٩٧
الشكل (ج–٧) مثال على لافتات الرسائل المتغيرة عند تقاطع طريق ريفي شرياني مقسوم (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 7.12)..... ٣٩٨
الشكل (ج–٨) لافتة ديناميكية (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 7.15). ٤٠٠
الشكل (ج–٩) حد السرعة الإلكترونية على كل مسار في الطريق للإشارة إلى الحد (المصدر: FHWA, 2021). ٤٠٢
الشكل (هـ–١) غرفة التحكم بنظام إدارة المرور لمشروع توسعة طريقي أبوبكر الصديق والعروبة عبر قاعدة الرياض الجوية (المصدر: Royal Commision for Riyadh City)..... ٤٤٢
الشكل (هـ–٢) متطلبات النظام لمقاييس أداء إشارات المرور المؤتمتة (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 7). ... ٤٥٠
الشكل (هـ–٣) فئات مقاييس أداء أنظمة إشارات المرور الآلية (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 8). ٤٥٠

الشكل (هـ–٤) مقاييس أداء إدارة حوادث المرور في الولايات المتحدة الأمريكية (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 9). ٤٥١
الشكل (هـ–٥) استخدام التحليلات لتحويل العمليات اليدوية ذات الورق الكثير إلى عمليات مؤتمتة معاد هيكلتها؛ لتحسين صنع القرار (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 24). ٤٥٦
الشكل (هـ–٦) رسم توضيحي لتجزئة الصورة واستشعارها (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 25). ٤٥٨
الشكل (هـ–٧) مخطط "فين" (Venn) للاستراتيجيات الحسابية الشائعة (المصدر: Mysla V., (2020). ٤٥٩
الشكل (هـ–٨) تطور صنع القرار (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 30). ٤٦٤
الشكل (هـ–٩) رسم التقاطع مع سمات تقنية أولوية الإشارة لمركبات النقل العام (الجدول هـ - ١٥) (المصدر: NACTO, (2016). ٤٦٧
الشكل (هـ–١٠) الاستراتيجيات التشغيلية المحتملة لإعادة توجيه الانعطافات لليسار التي تمثل إشكالية (المصدر:NACTO, (2016). ٤٧٢
الشكل (هـ–١١) التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية أثناء ظروف المرور الأساسية (الطبيعية) (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 8.1). ٥٢٠
الشكل (هـ–١٢) التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية أثناء وقوع حادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 8.2). ٥٢١
الشكل (هـ–١٣) مدخل إلى نفق رئيس بطول ٧٠٠ متر يربط طريق الملك فهد وشارع العليا (المصدر: Royal Commision of Riyadh City). ٥٢٨

قائمة الجداول

الجدول (٢–١) أنواع بيانات حجم المرور المطلوبة لأغراض مختلفة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Table A.1). ٤٠

الجدول (٣–١) مخطط نموذجي لتقرير التحليل المروري (المصدر: FDOT, (2021b) – Figure 10-1). ٢٣

الجدول (٥–١) خصائص مسارات نقل البضائع (المصدر: AUSTROADS, (2020b) – Table 4.8). ٣٢

الجدول (٥–٢) عوامل تحديد مسارات الشاحنات واختيارها (المصدر: AUSTROADS, (2020b)). ٣٣

الجدول (٥–٣) فئات مبادرات نقل البضائع الحضري (المصدر: NCFRP, (2015)). ٣٤

الجدول (٣–١) بعض خدمات المستخدم التي تقدمها أنظمة النقل الذكية (المصدر: AUSTROADS, (2020c)). ٣٧

الجدول (أ–١) قائمة التدقيق لجمع البيانات الميدانية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 1-1). ٥٢

الجدول (أ–٢) مثال لتقدير أحجام الوصول من تعدادات عدد مرات المغادرة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-1). ٥٩

الجدول (أ–٣) الحصول على العدّ القائم على أساس المسار باستخدام طريقة المُعاينة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-3). ٦١

الجدول (أ–٤) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4). ٦٤

الجدول (أ–٥) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4). ٦٧

الجدول (أ–٦) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4). ٦٨

الجدول (أ–٧) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4). ٦٩

الجدول (أ–٨) حسابات تراكم عدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-5). ٧٠

الجدول (أ–٩) حساب توضيحي لعوامل التغيير اليومية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-8). ٧٢

الجدول (أ–١٠) حساب توضيحي لعوامل التغيير الشهرية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-9). ٧٣

الجدول (أ–١١) جدول ملخص الحجم في ساعات الذروة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-14). ٨٧

الجدول (أ–١٢) مثال على تمديد العدّ (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-16). ٨٩

الجدول (أ–١٣) معادلات حساب متوسط السرعة الزمنية ومتوسط سرعة المسافة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-1). ٩٠

الجدول (أ–١٤) متوسط الانحرافات المعيارية للسرعات اللحظية لتحديد حجم العينة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-5). ٩٣

الجدول (أ–١٥) ثابت مقابل لمستوى الثقة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-6). ٩٣

الجدول (أ–١٦) ثابت مقابل للسرعة المئوية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-7). ٩٤

الجدول (أ–١٧) قيم (t) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit C-12). ٩٤

الجدول (أ–١٨) بيانات السرعة التي تم الحصول عليها على طريق حضري (بالكيلومتر/الساعة) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-10 adjusted). ١٠٠

الجدول (أ–١٩) جدول التوزيع التكراري لمجموعة بيانات السرعة (بالكيلومتر/ الساعة) - (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-11 adjuste). ١٠١

الجدول (أ–٢٠) قيم (Z) لمستويات الثقة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-16). ١٠٤

الجدول (أ–٢١) المعدات المستخدمة بشكل شائع لدراسات التأخير (المصدر: FDOT, (2021) – Table 7-1). ١٠٥

الجدول (أ–٢٢) عامل تصحيح التسارع والتباطؤ (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 31-44). ١٠٩

الجدول (أ–٢٣) تحليل بيانات قبول الفجوات باستخدام طريقة رامزي وروتليدج (١٩٧٣) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 6-6). ١١٩

الجدول (أ–٢٤) تقديرات توقيت الإشارة الأولي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-5). ١٢٣

الجدول (أ–٢٥) جمع البيانات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-11). ١٢٧

الجدول (أ–٢٦) بيانات تعدادات المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-13). ١٣٠

الجدول(أ–٢٧) معلومات التقاطع (المصدر: (NCHRP, 2015)). ١٣١

الجدول أ–٢٨) مقاييس الأداء ومعلمات التوقيت وطرق جمع البيانات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-17 Revised). ١٣٤

الجدول (أ–٢٩) الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء غير المتعلقة بالمركبات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-25). ١٣٨

الجدول (أ–٣٠) أهداف الاستشعار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-5). ١٤٢

الجدول (أ–٣١) حدود منطقة اتخاذ القرار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-7 Revised). ١٤٣

الجدول (أ–٣٢) خيارات طور الانعطاف لليسار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-4 revised). ١٥٢

الجدول (أ–٣٣) إعدادات التداخل النموذجية للانعطاف لليمين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-13). ١٥٧

الجدول (أ–٣٤) تخصيص جهاز الاستشعار الأساسي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-17). ١٦٠

الجدول (أ–٣٥) تخصيص مفتاح الحمل النموذجي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-19). ١٦٢

الجدول (أ–٣٦) أطوال الدورة المقدرة بناءً على الحجم الحرج (تقاطع من ثمانية أطوار) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-30). ١٦٨

الجدول (أ–٣٧) إرشادات معلمة توقيت الإشارة الأساسي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-1). ١٧٢

الجدول (أ–٣٨) القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لتلبية توقعات السائقين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-4 Revised)). ١٧٧

الجدول (أ–٣٩) قيم التوقيت الأولية المتغيرة النموذجية لاستشعار إخلاء ارتداد صف الانتظار (بدون جهاز استشعار عند خط التوقف) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-5 Revised). ١٧٨

الجدول (أ–٤٠) القيم النموذجية للحد الأدنى لطول طور توقيت الدراجات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-7 Revised). ١٧٩

الجدول (أ–٤١) القيم النموذجية للحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على نوع المرفق (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-9 Revised)). ١٨٢

الجدول (أ–٤٢) القيم النموذجية لوقت المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-12 Revised). ١٨٣

الجدول (أ–٤٣) القيم النموذجية للفواصل الزمنية الخاصة بتحرك المشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-16).. ١٨٥

الجدول (أ–٤٤) القيم المحسوبة لوقت عبور المشاة (بناءً على سرعة مشي تبلغ ١,٠٧ متر في الثانية) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-18 Revised). ١٨٦

الجدول (أ–٤٥) التقديرات الخاصة بعمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-21). ١٨٩

الجدول (أ–٤٦) الإعدادات النموذجية الخاصة بأوضاع الاستدعاء وأوضاع الذاكرة في تقاطع مشغل بالكامل (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-22)). ١٨٩

الجدول (أ–٤٧) القيم النموذجية للتأخير (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-24). ١٩١

الجدول (أ–٤٨) الظروف التي تواجهها المركبة ذات الصلة بالمسار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-6). ١٩٧

الجدول (أ–٤٩) أمثلة على الحدود المستجيبة للمرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 9-2). ٢١٩
الجدول (أ–٥٠) أهداف نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 9-8). ٢٢١
الجدول (أ–٥١) الحد الأدنى التقريبي لمتطلبات حجم العينة لدراسات زمن الانتقال والتأخير (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-1 Adjusted). ٢٢٦
الجدول (أ–٥٢) ورقة عينة ميدانية لدراسة زمن الانتقال والتأخير: طريقة مركبة الاختبار (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-2). ٢٢٨
الجدول (أ–٥٣) عينة ورقة ميدانية لدراسة زمن الانتقال والتأخير: طريقة مركبة الاختبار - تمديد الحجم (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-7). ٢٣١
الجدول (أ–٥٤) مثال توضيحي للبيانات المتعلقة بتمديد الحجم (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-9). ٢٣٣
الجدول (أ–٥٥) الحد الأدنى لعدد الأسابيع لجمع بيانات الفحص (المصدر: FDOT, (2021) Table 7-4 -Revised). ٢٣٥
الجدول (أ–٥٦) مقاييس أداء الطرق السريعة الإضافية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 10-17). ٢٥٣
الجدول (أ–٥٧) مدخلات المحاكاة ومخرجاتها ومصادر بياناتها (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 11-16). ٢٦٩
الجدول (أ–٥٨) نموذج تجميع بيانات المسار متعدد الاستخدامات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 12-2). ٢٧٦
الجدول (أ–٥٩) إطار جودة الخدمة: وسائل النقل العام ذات المسارات الثابتة (المصدر: TRB, (2013) – Exhibit 4-10). .. ٢٨١
الجدول (أ–٦٠) عناصر بيانات النقل العام وطرق الدراسة (Table Revised from ITE, (2010a) – Exhibit 13-3). ٢٨٥
الجدول (أ–٦١) أمثلة على سمات خدمات النقل العام (Revised Table from ITE, (2010a) – Exhibit 13-4). ٢٨٧
الجدول (أ–٦٢) نموذج ميداني لصعود الركاب حسب فئة التعرفة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-6). ٢٩٠
الجدول (أ–٦٣) نموذج ميداني للتدقيق عند نقطة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-7). ٢٩١
الجدول (أ–٦٤) نموذج التدقيق بالركوب (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-10). ٢٩٢
الجدول (أ–٦٥) نموذج ميداني لتأخير مركبات النقل العام (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-11). ٢٩٣
الجدول (أ–٦٦) معاملات التباين الافتراضية (v) لعناصر البيانات الرئيسة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-17). . ٢٩٩
الجدول (أ–٦٧) سرد قائمة التقاطع المحكوم بإشارات مرورية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 15-4). ٣٠٢
الجدول (أ–٦٨) عينة نموذج جمع بيانات قائمة جرد اللافتات (Table revised from ITE, (2010a) – Exhibit 15-7). ٣٠٥
الجدول (أ–٦٩) نموذج ملخص قائمة جرد مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-3). ٣١٠
الجدول (أ–٧٠) أماكن وقوف المركبات المتاحة، عدد المركبات الواقفة وعدد مرات استخدام الموقف الواحد في اليوم حسب نوع المرفق والمربع المكاني (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-5). ٣١١
الجدول (أ–٧١) خصائص استخدام مواقف المركبات الأخرى حسب عدد المركبات المتوقفة والوقت المستخدم في المرافق المختلفة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-7). ٣١٢
الجدول (أ–٧٢) مقارنة بين ساعات وقوف المركبات المرصودة وساعات الأماكن المتاحة والعجز (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-7). ٣١٢
الجدول (أ–٧٣) نموذج البيانات الميدانية لتدقيق لوحة التسجيل (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-9:). ٣١٦
الجدول (أ–٧٤) نموذج ملخص مُدة وقوف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-10). ٣١٨
الجدول (أ–٧٥) نموذج ملخص عدد مرات استخدام الموقف الواحد في الشارع (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-11). ٣٢٠
الجدول (أ–٧٦) بطاقة بريدية لمسح مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a), Exhibit 16-12). ٣٢١

الجدول (أ–٧٧) نموذج إجراء المقابلات في مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-13). ٣٢٣
الجدول (أ–٧٨) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15). ٣٢٥
الجدول (أ–٧٩) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 adjusted). ٣٢٥
الجدول (أ–٨٠) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 adjusted). ٣٢٥
الجدول (أ–٨١) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 adjusted). ٣٢٦
الجدول (أ–٨٢) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15). ٣٢٦
الجدول (أ–٨٣) الأشكال النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15). ٣٢٧
الجدول (أ–٨٤) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15). ٣٢٧
الجدول (أ–٨٥) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15). ٣٢٧
الجدول (أ–٨٦) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: : ITE, (2010) – Exhibit 16-15). ٣٢٨
الجدول (ب–١) قائمة تدقيق محتوى منهجية التحليل المروري (Revised from FDOT, (2021b) – Table 2-1). ٣٤١
الجدول (ب–٢) استخدامات أدوات التحليل المروري (المصدر: FDOT (2021b) – Table 4-1). ٣٤٥
الجدول (ب–٣) ملخص بيانات المعايرة مع المصادر والاستخدام (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 5-2). ٣٥٧
الجدول (ب–٤) الأهداف التقليدية لمعايرة النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 7-7). ٣٦٣
الجدول (ب–٥) قائمة التدقيق لمُراجع معايرة النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 7-13). ٣٦٦
الجدول (ب–٦) مخطط دليل النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Figure 7-4). ٣٦٩
الجدول (ب–٧) مقاييس الفعالية التشغيلية والنموذجية المرشحة (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-2). ٣٧١
الجدول (ب–٨) مثال على توثيق المحول المعيني الاتجاهي (DDI). ٣٧٣
الجدول (ب–٩) مقاييس فعالية أداء المحاكاة المجهرية النموذجية (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-7). ٣٧٤
الجدول (ب–١٠) مثال على جدولة مقاييس أداء الطرق الشريانية (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-9 Revised). ٣٧٧
الجدول (ب–١١) مثال على جدولة مقاييس الأداء على مستوى الشبكة (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-10 Revised). ٣٧٨
الجدول (ج–١) الاختصارات الموصى باستخدامها مع لافتات الرسائل المتغيرة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix C.1). ٣٨١
الجدول (ج–٢) اختصارات لافتات الرسائل المتغيرة القياسية المستخدمة بالاقتران مع الكلمات الأخرى (المصدر: AUSTROADS, (2020d) - Appendix C.2). ٣٨٢
الجدول (ج–٣) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن وجود مشكلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.1). ٣٨٥
الجدول (ج–٤) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن المواقع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.2). ٣٨٦
الجدول (ج–٥) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن التأثير (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.3). ٣٨٧

الجدول (ج–٦) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة لوسيلة النقل المعنية (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.4). ٣٨٧
الجدول (ج–٧) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة بالإجراء المطلوب (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.5). ٣٨٨
الجدول (ج–٨) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة ببيانات الوقت والتاريخ (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.6)). ٣٨٩
الجدول (ج–٩) مجموعة الرسائل العامة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix E). ٣٨٩
الجدول (ج–١٠) النتائج الرئيسة للافتات المفعّلة بالمركبات في مدخل تقاطع او المنحنيات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.2). ٣٩٨
الجدول (د–١) تقييم جمع البيانات الأولي (المصدر: NCFRP, (2015) – Appendix). ٤١٤
الجدول (ه–١) مجالات التشغيل المروري (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.1). ٤١٦
الجدول (ه–٢) خدمات التشغيل المروري (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.2 – adapted from (World Road Association (PIARC), 2003)). ٤١٧
الجدول (ه–٣) أدوار الجهة ومسؤولياتها النموذجية في إدارة الحوادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.3). ٤٢٠
الجدول (ه–٤) مراقبة الشبكة – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.4). ٤٢٤
الجدول (ه–٥) تقنيات الاستشعار (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.5). ٤٢٥
الجدول (ه–٦) طرق الاستشعار (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.6). ٤٢٦
الجدول (ه–٧) نقاط القوة والضعف في طرق الاستشعار غير التقني (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.7). ٤٢٧
الجدول (ه–٨) مراقبة قابلية الخدمة للطرق وسلامتها – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.8). ٤٢٨
الجدول (ه–٩) التحكم المروري – (Summary (AUSTROADS, (2020c) – Table 3.9). ٤٣٠
الجدول (ه–١٠) إنفاذ القانون – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.10). ٤٣٦
الجدول (ه–١١) قضايا التكامل – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.11). ٤٣٨
الجدول (ه–١٢) مقاييس أداء إدارة وتشغيل أنظمة النقل بوزارة النقل في أوهايو (الولايات المتحدة الأمريكية) (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 23 -adjusted). ٤٥٤
الجدول (ه–١٣) التقييم الذاتي لنضج قدرة حوكمة البيانات (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 28). ٤٦١
الجدول (ه–١٤) الاختلافات بين إدارة البيانات التقليدية والحديثة (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 29). ٤٦٢
الجدول (ه–١٥) سمات تقنية أولوية الإشارة لمركبات النقل العام (المصدر: NACTO, (2016). ٤٦٨
الجدول (ه–١٦) أنواع أولوية الإشارة لمركبات النقل العام النشطة والتهيئة الهندسية (الجيومترية) التكميلية (المصدر: NACTO, (2016)). ٤٧٠
الجدول (ه–١٧) استراتيجيات إدارة الانعطاف لليمين (المصدر: NACTO, (2016)). ٤٧٤
الجدول (ه–١٨) استراتيجيات إدارة الانعطاف لليسار (المصدر:NACTO, (2016). ٤٧٤
الجدول (ه–١٩) أنواع/تصنيفات الحوادث النمطية (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.1). ٤٧٦
الجدول (ه–٢٠) تقنيات استشعار/ التحقق من الحوادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.2). ٤٧٧
الجدول (ه–٢١) إطار قياس الأداء (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.3). ٤٨٧
الجدول (ه–٢٢) مصفوفة تخطيط المناسبات الخاصة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.4 adjusted).. ٤٩١

الجدول (هـ–٢٣) نموذج خطة إدارة النقل للمناسبات الخاصة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure A1 - Revised). ٤٩٧
الجدول (هـ–٢٤) قائمة تدقيق خطط الطوارئ (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B1). ٥٠١
الجدول (هـ–٢٥) قائمة تدقيق خطة الموقع ومواقف المركبات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B2). ٥٠١
الجدول (هـ–٢٦) قائمة تدقيق خطط وصول المشاة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B3). ٥٠٣
الجدول (هـ–٢٧) قائمة تدقيق خطط تدفق المرور (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B4). ٥٠٣
الجدول (هـ–٢٨) قائمة تدقيق نظام توجيه المرور (AUSTROADS, (2020c) – Table B5). ٥٠٤
الجدول (هـ–٢٩) قدرات أنظمة إدارة استخدام المسار لسيناريوهات إدارة المرور (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.1). ٥٠٧
الجدول (هـ–٣٠) طرق تشغيل لافتات حد السرعة المتغير (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.2). ٥١٠
الجدول (هـ–٣١) سلوكيات مستخدمي الطرق المؤثرة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.3). ٥١٤
الجدول (هـ–٣٢) قنوات تقديم المعلومات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.4). ٥١٥
الجدول (هـ–٣٣) عناصر الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية مصنفة حسب الوظيفة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 8.1). ٥١٩
الجدول (و–١) أنظمة توجيه مواقف المركبات (المصدر: Austroads, 2020e). ٥٣٤

١ـ مقدمة:

١-١ ملخص الأبواب:

مجلد كود الطرق السعودي ٦٠١ - هندسة المرور مقسم إلى (٦) أبواب. فيما يأتي لمحة موجزة عنها:

الباب (١). مقدمة – يقدم هذا الباب نظرة عامة على الأبواب ونطاق المجلد وقائمة كاملة بالمواصفات الواردة فيه.

الباب (٢). دراسات التشغيل المروري – يقدم هذا الباب إرشادات شاملة تتعلق بتنفيذ دراسات التشغيل المروري وبهدف إدارة المرور والتحكم المروري على شبكة الطرق والشوارع في المملكة العربية السعودية. إضافة إلى ذلك، يقدم هذا الباب إرشادات؛ لإنشاء برنامج لأطوار الإشارات المرورية وتوقيتها.

الباب (٣). التحليل المروري والنمذجة المرورية – يحتوي هذا الباب على إرشادات ومتطلبات عامة؛ للتطبيق الموحد لأدوات التحليل المروري التي تتعلق بتحليلات ممرات الطرق والمحولات والتقاطعات.

الباب (٤). اللافتات الإلكترونية في إدارة المرور – يقدم هذا الباب إرشادات؛ لتحقيق الاستخدام المناسب للأفتات الإلكترونية بهدف تنفيذ الإدارة المرورية.

الباب (٥). إدارة نقل البضائع – يقدم هذا الباب مجموعة من مبادئ الإدارة والإرشادات التي تهدف إلى تحسين حركة البضائع في المناطق الحضرية والريفية على حد سواء.

الباب (٦). عمليات شبكات النقل الذكية – يقدم إرشادات بخصوص عمليات التشغيل المروري للشبكات الذكية فيما يتعلق بخدمات مستخدمي الطرق المقدمة.

١-٢ النطاق:

يُستخدم هذا المجلد كدليل للجوانب المتعلقة بهندسة المرور.

وفيما يتعلق بالمجلدات الأخرى من كود الطرق السعودي، يقتصر هذا المجلد على إرشادات هندسة المرور، ويشير باختصار إلى الموضوعات التي تُتناول بشكل مناسب في مجلدات كود الطرق السعودي الأخرى. كما غُطيت المراجع الضرورية التي تتناول جوانب متعلقة بتخطيط ممرات الطرق ودراساتها الأولية وتصميمها وسلامتها وأجهزة التحكم المروري باختصار في هذا المجلد، والمدعومة بالمجلدات ذات الصلة:

- كود الطرق السعودي ٢٠١ (عملية التخطيط).
- كود الطرق السعودي ٢٠٣ (الدراسات الأولية).
- كود الطرق السعودي ٣٠١ (التصميم الهندسي للطرق).
- كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة).
- كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري).
- كود الطرق السعودي ٦٠٣ (سلامة الطرق).

يجب تنفيذ المنهجيات والإجراءات والأدوات المحددة في هذا المجلد أو مراجعتها من قبل متخصصين معتمدين في هندسة المرور (على سبيل المثال، مهندس تشغيل مروري محترف (PTOE) أو مهندس محترف (P.E.) معتمد من قبل الهيئة السعودية للمهندسين أو ما يعادله) وفقًا لما يعتمده كبير مهندسي المرور التابع للهيئة المسؤولة عن تطبيق مشروع كود الطرق السعودي (وهي الهيئة العامة للطرق) أو جهة صاحب العمل.

وبالإضافة إلى المتطلبات الواردة في المجلد الحالي من كود الطرق السعودي، يجب أن يكون مهندسو المرور على دراية بالتشريعات واللوائح والقواعد المحلية المعمول بها المتعلقة بالنقل والطرق في المملكة العربية السعودية ويلتزمون بها التزامًا كاملاً، ويشمل ذلك الإطار القانوني بشأن إدارة البيانات والخصوصية والمشاركة.

١-٣ المواصفات والأكواد المرجعية:

يجب أن تتوافق جميع الإرشادات والإجراءات المتعلقة بهندسة المرور مع النحو المحدد -هنا- وفي بقية مجلدات كود الطرق السعودي. لا تنطبق مواصفات المواد على هذا المجلد.

٢- دراسات التشغيل المروري:

٢-١ مقدمة:

٢-١-١ النطاق:

يجب أن ينطبق هذا الباب على الإجراءات والأدوات المتعلقة بدراسات المرور، وأطوار إشارات المرور وتوقيتها.

٢-١-٢ المواصفات والإرشادات:

ترد الإرشادات الخاصة بتنفيذ دراسات التأثيرات المرورية في الجزء (٢-٣) من كود الطرق السعودي ٢٠٣ (الدراسات الأولية). وترد مواصفات وإرشادات أجهزة التحكم المروري في كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة)، وفي كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري).

يجب أن تتوافق جميع الإرشادات والإجراءات المتعلقة بدراسات المرور مع النحو المحدد هنا وباقي نصوص كود الطرق السعودي. وفي حالات خاصة، التي تتناسب معها الإرشادات التكميلية، يمكن استخدام أحدث إصدارات الوثائق الآتية، ما لم توجه الهيئة العامة للطرق أو جهة صاحب العمل بخلاف ذلك.

١- دليل سعة الطرق (TRB, 2022).
٢- دليل الإدارة الاتحادية للطرق الموحد لأجهزة التحكم المروري (FHWA, 2009) .
٣- تقرير البرنامج الوطني التعاوني لأبحاث الطرق رقم ٨١٢ (NCHRP, 2015) .
٤- دليل سعة النقل العام وجودة الخدمة - تقرير برنامج أبحاث النقل التعاوني رقم ١٦٥ (TRB, 2013) .

٢-١-٣ موجز الأجزاء:

الجزء (٢-١): يقدم (هذا الجزء) معلومات أولية والسياق.

الجزء (٢-٢): يناقش المتطلبات العامة لدراسات التشغيل المروري.

الجزء (٢-٣): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات حجم المرور.

الجزء (٢-٤): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات السرعة اللحظية.

الجزء (٢-٥): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات التقاطعات والمداخل الجانبية (المداخل/الطرق الخاصة).

الجزء (٢-٦): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات أطوار إشارات المرور وتوقيتها.

الجزء (٢-٧): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات زمن الانتقال والتأخير.

الجزء (٢-٨): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة.

الجزء (٢-٩): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات فرض رسوم المرور.

الجزء (٢-١٠): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات المحاكاة.

الجزء (٢-١١): يُعطي إرشادات لتنفيذ دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات (المشاة، راكبي الدراجات).

الجزء (٢-١٢): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات النقل العام.

الجزء (٢-١٣): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات الجرد.

الجزء (٢-١٤): يُعطي إرشادات تنفيذ دراسات مواقف المركبات.

الجزء (٢-١٥): يُعطي إرشادات تنفيذ مسوحات المنبع- المقصد.

الجزء (٢-١٦): يُعطي إرشادات تنفيذ مسوحات توليد المرور.

الملحق (أ): يقدم الخلفية النظرية الأساسية، والتوصيات التكميلية، والأدوات والمعلومات المتعلقة بدراسات التشغيل المروري.

٢-١-٤ التفسير والملاحظات:

يمثل تطبيق الإرشادات على دراسات التشغيل المروري، الموصوفة في هذا الباب، شرطًا ملزمًا لكود الطرق السعودي. ويقدم الملحق (أ) من بين أمور أخرى، توصيات تكميلية يمكن أن يستخدمها مهندس المرور المعتمد (راجع الجزء ١-٢) بناءً على رأيه الخبير وعلى متطلبات جهة الطرق المسؤولة. وفيما يخص المبادئ والإرشادات الأساسية لسعة الطرق، ينبغي على المستخدم

الرجوع إلى الباب (٧) من كود الطرق السعودي ٢٠١ (عملية التخطيط)، أما بالنسبة إلى متطلبات دراسات التأثير المروري، فينبغي على المستخدم الرجوع إلى الجزء (٢-٣) من كود الطرق السعودي ٢٠٣ (الدراسات الأولية).

وقد أُعدَّ هذا الباب من المجلد؛ لترسيخ الحد الأدنى من المتطلبات اللازمة لتنفيذ دراسات هندسة المرور على الطرق. علاوة على ذلك، يهدف هذا الباب إلى ضمان التناسق بين مستشاري ومراجعي دراسات هندسة المرور عن طريق الامتثال لجميع المتطلبات المطبقة الواردة هنا.

ويناقش الجزء (٢-٢) المتطلبات العامة لدراسات التشغيل المروري؛ حيث إن الأقسام الآتية تعرض أنواع الدراسات التي يمكن تنفيذها؛ للحصول على معلومات محددة، ووصف مبررات كل دراسة، وترسيخ المتطلبات التكميلية المحددة للدراسة.

٢-٢ نظرة عامة على متطلبات دراسات التشغيل المروري:

٢-٢-١ الأخلاقيات:

تلتزم جميع الأجزاء المضمنة في عملية إدارة دراسات التشغيل المروري بأخلاقيات الهندسة المعمول بها، وتعمل على تنفيذ جميع المسوحات بموضوعية واحترافية.

٢-٢-٢ تقديم النتائج:

يُعد إعداد تقارير دراسات التشغيل المروري وتوزيعها الوسيلة الأساسية؛ لإيصال طرق ونتائج الدراسة للآخرين. ويجب استخدام المبادئ الآتية عند إعداد تقرير المسوحات (مُكمّل بالمتطلبات الخاصة بكل نوع من أنواع الدراسات الموصوفة في الأقسام الآتية من هذا الباب):

- ينبغي شرح الغرض من المسح ونطاقه بشكل كامل.
- ينبغي أن يلبي التقرير رغبات كافة القراء -على اختلافهم- ممن أُعدّ لهم، كما يجب أن يؤخذ بالحسبان طريقة فهم القراء، ويتناول أنواع المشكلات أو الأسئلة ذات الأهمية بالنسبة لهم، ونوع اللغة (سواء كانت تقنية أو غير ذلك) التي اعتادوا عليها. كما ينبغي ترجمة التقنيات الإحصائية إلى لغة مفهومة للقراء المهتمين بالنتائج العامة والموضوعية للدراسة.
- ينبغي صياغة النتائج الإحصائية بشكل مشترك من حيث النسبة المئوية للخطأ وفترة الثقة. ونظرًا إلى أن الدراسة تتعامل عادةً مع عينة أوسع من الفئات المستهدفة، تنبغي معالجة المدى الذي تُمثل به العينة تلك الفئات. وينبغي تحديد عامل خطر، والذي يشير إلى مدى عدم تمثيل العينة. وبشكل عام، ينبغي تقدير عامل خطر لاحتمالية ١ من كل ٢٠ احتمالية (عينة)، والذي يترجم إلى (مستوى ثقة بنسبة ٩٥٪).
- ينبغي إعداد ملخص مكتوب للنقاط البارزة في جدول ورسوم بيانية، ومخططات بيانية تعرض محتويات الجدول؛ بحيث يصبح التقرير أسهل في الفهم وأقل عرضة للتفسير الخاطئ.
- فيما يأتي أنواع التقارير الثلاثة الواجب إعدادها:
- تقرير أولي يحتوي على نتائج أولية، وينبغي إصداره بشكلٍ مبكر؛ لتمكين أولئك الذين يرغبون في استخدام البيانات على الفور من فعل ذلك.
- تقرير موجز يحدد أهداف الدراسة المرورية، والطريقة العامة المستخدمة، والنتائج التحليلية الرئيسة وتفسيرها.
- تقرير فني يوثق المسح ويقدم تفاصيل كاملة عن النتائج.

يجب أن يتضمن تقرير دراسة التشغيل المروري هذه الأجزاء على الأقل:

- موجز/ ملخص.
- مقدمة.
- أهداف الدراسة وفرضياتها.
- تصميم التجارب (كلما أمكن ذلك).
- إجراء الدراسة.
- نتائج الدراسة.

ينبغي أن تشمل النتائج إحصائيات وصفية مثل: الجداول والرسومات البيانية والمدرجات التكرارية والمخططات الدائرية والصندوقية ومخططات الساق والأوراق، التي يمكن إعدادها بسهولة عن طريق برنامج حاسب. وينبغي تحديد نتائج الاختبارات الإحصائية القياسية بوضوح، مثل قوة العلاقات بين المتغيرات، وفترات الثقة ذات الصلة. وينبغي أن يحدد التقرير إطار الطرق الإحصائية المستخدمة ويعرض النتائج ويناقشها ويستخلصها. ويمكن إدراج قوائم البيانات في الملاحق عند الحاجة.

يقدم الجزء (أ-١) من الملحق (أ) الإرشادات والملاحظات العامة المشتركة بين جميع دراسات هندسة المرور.

٢-٣ دراسة حجم المرور:

٢-٣-١ مقدمة:

تُستخدم بيانات حجم المرور لتخطيط المرافق وتصميمها أو مراقبة الاتجاهات المستخدمة أو المساعدة على تصنيف الطرق ووضع ميزانياتها، أو التحقق من التنبؤات من نماذج التنبؤ المروري.

يمكن أن تتراوح فترات المُعاينة من بضع دقائق إلى شهر أو أكثر. ينبغي أن يكون طول فترة المُعاينة دالة في نوع الحسابات التي ستُجرى والاستخدام الذي ستوضع بيانات الحجم له.

تُعد الفترة التي يُسجَّل فيها العد أمرًا مهمًا في تقييم السعة التي تتحملها منشأة المرور. وبالتالي، ينبغي دائمًا التعبير عن معلومات تعداد المرور على أنها معدل تدفق، أي عدد الوحدات المتحركة لكل وحدة زمنية. بالنسبة إلى المرور على الطرق، تكون الوحدات عبارة عن مركبات في الساعة أو مركبات في اليوم، وأحيانًا يكون نوع المركبة محددًا بشكل أكثر دقة، على سبيل المثال، سيارات ركاب في الساعة، الوحدات المكافئة لسيارات الركاب في الساعة أو المحاور (axles) أو المحاور المزدوجة (مكافئة لسيارات الركاب) في الساعة أو الشاحنات أو المركبات الثقيلة من أنواع مختلفة في الساعة (شاحنات في الساعة) أو راكبي الدراجات في الساعة. تحتاج أحجام المرور أيضًا إلى مراعاة حركة الناس (إشغال المركبة من الركاب). يجب مراعاة المركبات عالية الإشغال والحافلات ومسارات النقل العام. وللاطلاع على دراسات حجم مستخدمي مرور غير مستخدمي المركبات، ينبغي على المستخدم الرجوع إلى الجزء (٢-١١) من هذا المجلد.

تُستخدم معدلات تدفق المرور (تسمى عادةً بأحجام المرور) لإيجاد ما يأتي:

- الأهمية النسبية للطريق ودوره في النظام المروري.
- أوجه التباين في مستوى تدفق المرور بمرور الوقت.
- مدى استخدام المرافق من حيث سعتها لتحمل المرور.
- تخصيص المرور في الشبكة.
- تنسيق إشارات المرور.
- تقدير التحميل على الرصف والجسور من تعداد المركبات المصنفة في حالة عدم وجود معدات الوزن أثناء الحركة (weigh-in-motion).

تُعد بيانات الحصر المروري ذات أهمية في التقييم الاقتصادي، والتحليل البيئي (على سبيل المثال: جودة الهواء في المناطق الحضرية) وتمثل مقياسًا للتعرّض (exposure) في دراسات حوادث الطرق. تُقدم المزيد من الاستخدامات لبيانات العد المروري في الجدول (٢-١).

الجدول (٢–١) أنواع بيانات حجم المرور المطلوبة لأغراض مختلفة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Table A.1).

	الغرض	نوع بيانات المرور المطلوبة
١	تمويل الطرق ووضع ميزانيتها.	إجمالي عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات لأصناف مختلفة من الطرق.
٢	تصنيف الطرق ووضع خطة شبكة الطرق.	المتوسط السنوي للمرور اليومي (AADT) وتكوينه واتجاهاته.
٣	تصنيف المرور للدراسات المتعلقة بالبيئة والضوضاء.	المتوسط السنوي للمرور اليومي وتكوينه وسرعته.
٤	إجراء التحقق من صحة بيانات الرحلات المجموعة في دراسات النقل، وتعديلها.	المتوسط السنوي للمرور اليومي، ٢٤ ساعة أو ساعة الذروة عبر خطوط الطوق (cordon) أو خطوط التدقيق (screen lines) أو عند التقاطعات الكبرى.
٥	التطوير والصيانة وبرامج التحسين والتقييم الاقتصادي للبدائل.	المتوسط السنوي للمرور اليومي، وعدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات، وحجم المرور التصميمي السّاعي (DHV)، وتكوين المرور، واتجاهات النمو للممرات المهمة.
٦	اختيار مواصفات التصميم لهندسة الطريق (الجيومترية) وسمك الرصف.	المتوسط السنوي للمرور اليومي، وحجم المرور التصميمي السّاعي، وتكوين المرور، واتجاهات النمو لطريق معين، وربما بيانات الدراجات والمشاة.

	الغرض	نوع بيانات المرور المطلوبة
٧	تصميم المحولات والتقاطعات.	حركات الانعطاف، وتكوين المرور، وحجم ساعة الذروة واتجاهاتها، وربما بيانات الدراجات والمشاة.
٨	تقييم مستوى الخدمة.	حجم المرور التصميمي السّاعي، وأنماط تفاوت التدفق المروري الساعي؛ يمكن أن يكون المتوسط السنوي للمرور اليومي مناسبًا للطرق الحضرية منخفضة الحجم.
٩	تقديم بيانات التعرض لتحديد معدلات الحوادث.	المتوسط السنوي للمرور اليومي، وعدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات (VKT)، وتكوين المرور.
١٠	تنفيذ برامج السلامة وتقييمها.	عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات في مقاطع ومناطق الطرق المختلفة، والمتوسط السنوي للمرور اليومي، وأحجامها في أثناء ساعات الذروة على طرق معينة، والحركات عند التقاطعات، وفي بعض الأحيان تكوين المرور وحركات المشاة.
١١	إيجاد مبررات لتركيب أجهزة التحكم المروري.	المتوسط السنوي للمرور اليومي، وأحجامها في أثناء ساعات الذروة؛ وفي بعض الأحيان تكوين المرور وحركات المشاة.
١٢	تقدير التحميل على الرصف والجسور (في حالة عدم وجود معدات الوزن في أثناء الحركة).	تعداد المركبات المصنفة، وترتيب المحاور.

٢-٣-١-١ أنواع الدراسات:

يمكن تقسيم بيانات الحجم بشكل أساسي إلى تعداد التقاطعات وتعداد المناطق. وفي حين يتطلب تعداد التقاطعات عددًا محدودًا من المراقبين، يُعد تعداد المناطق بشكل عام أكثر تعقيدًا للتخطيط والتنفيذ، ويتطلب دائمًا عددًا مضاعفًا من المراقبين. وفي كلتا الفئتين، لا يُنظر لحساب حجم المرور على أنه مهمة تتسم بالبساطة والوضوح. كما تتسم بعض أنواع دراسات الحجم بأنها معقدة ويصعب القيام بها. وتتطلب تحضيرات خاصة وتدريب المراقبين، لا سيما في حالة التقاطعات المزدحمة أو التكوينات الهندسية (الجيومترية) غير العادية. يعرض الجزء (أ-٢) من الملحق (أ) الدراسات الإحصائية الأكثر شيوعًا ويبين التحديات التي على جامع البيانات مواجهتها في إعداده لجمع البيانات.

٢-٣-٢ برامج جمع البيانات الدائمة:

برامج جمع البيانات الدائمة هي تلك البرامج التي تقدم بيانات إحصائية على مدار ٢٤ ساعة يوميًا، و٣٦٥ يومًا سنويًا. لإنشاء برنامج عدّ مستمر لمراقبة المرور، ينبغي من اتباع الخطوات الموضحة أدناه (FHWA, 2016):

١- مراجعة برنامج العدّ المستمر -إن وجد- وإعداد بيان بمواقع ومعدات العدّ المستمر المتاحة.
٢- تحديد أنماط المرور المراد رصدها.
٣- إنشاء مجموعات نمطية موسمية.
٤- تحديد العدد المناسب لمواقع المراقبة المستمرة.
٥- اختيار مواقع العدّ المحددة.
٦- عدّ العوامل على أساس الشهر وكل يوم من الأسبوع وكل ساعة من اليوم -إن أمكن-؛ لاستخدامها في التعدادات قصيرة المدى سنويًا.

٢-٤ دراسات السرعة اللحظية:

٢-٤-١ مقدمة:

تعد السرعة مقياسًا مهمًا للتشغيل المروري. ينبغي أن يستخدم مهندسو المرور بيانات مسح السرعة لـ:

- تحديد مدى الحاجة إلى أجهزة تحكم مروري، مثل تحديد منطقة السرعة.
- تقييم مدى فعالية عمليات التحسين التي طرأت على المرور قبل إجراء الدراسات وبعدها.
- تصميم الطرق والتقاطعات.
- إيجاد العلاقة بين السرعات ووقوع الحوادث أو بين السرعات والمواصفات الهندسية (الجيومترية).
- إجراء تحليل اقتصادي.
- تحديد نطاق السرعات وحجمها كأساس لوضع مواصفات التصميم.

ينبغي تحديد موقع الدراسة، ووقتها، وظروفها حسب الهدف المرجو منها ونطاقها. إذا لزمت الحاجة لسرعات الاقتراب من التقاطع؛ فلابد من أخذ القياسات في بداية التقاطع قبل إبطاء المركبة من أجل التوقف المحتمل عند التقاطع. إذا تطلبت الدراسة سرعات التدفق الحر، ينبغي أن تؤخذ القياسات في غير ساعات الذروة. كما ينبغي اتباع المنطق ذاته لأخذ القياسات المطلوبة في أثناء ظروف الليل، والرصف المُبلل، وهلم جرًا.

٢-٤-٢ أنواع الدراسات:

هناك أسلوبان مختلفان تمامًا لجمع سرعات المركبات في المواقع المحددة. أولهما هو *اختيار المركبة الفردية* حيث *تُختبر* مجموعة فرعية من المركبات في تدفق المرور باستخدام تقنيات قياس السرعة اليدوية غالبًا ويجب استخدامها لقياسات السرعة قصيرة الأجل. وكبديل، تُسجّل طريقة *أخذ عينة من جميع المركبات* (تقريبًا) *كافة سرعات المركبات* باستخدام معدات القياس الآلي على الطريق أو على جانبه وينبغي أن تُستخدم لأغراض مراقبة أداء النظام، حيث تتطلب التقييم المستمر.

يعرض الجزء (أ-٣) من الملحق (أ) إرشادات إضافية بخصوص تصميم الدراسة، وأساليبها، وتقنيات التحليل لكلا الأسلوبين عقب مناقشة لبعض مفاهيم دراسة السرعة الأساسية.

٢-٥ دراسات التقاطعات والمداخل الجانبية:

تُعد دراسات التقاطع والمداخل الجانبية (المداخل/الطرق الخاصة) من أكثر الدراسات شيوعًا في هندسة المرور. وتقوم العديد من الجهات بعدّ حركات الانعطاف، ودراسة التأخير في التقاطع بصورة منتظمة. تشمل دراسات التقاطعات والمداخل الجانبية طول صفوف الانتظار والتدفق المُشبّع والوقت الضائع والفجوة الزمنية الفاصلة (الفجوة) وقبول الفجوات ودراسات مسافة الرؤية في التقاطع. يجري المحللون الدراسات هذه في أحيان قليلة إلا إنهم يجدونها مجدية لمواقع خاصة أو عند معايرة العلاقات الأساسية للتدفق المروري. يقوم المحللون باستخدام نتائج دراسات التقاطعات والمداخل الجانبية لتحديد نوع أجهزة التحكم المروري المُبرّرة، ولتحديد سعة التقاطع وتوقيت إشارة المرور وتأثيرات تطوير الموقع والسرعات الآمنة ومواقع المداخل الجانبية، فضلًا عن المقاييس المهمة الأخرى.

تُقدم المزيد من الإرشادات والتفاصيل بشأن كل دراسة في الجزء (أ-٤) من الملحق (أ).

٢-٦ تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها:

٢-٦-١ مقدمة:

يقدم هذا الجزء القواعد الإجرائية والمتطلبات الأساسية لدراسة تحديد أطوار إشارة المرور وتوقيتها وتقرير الدراسة المقابل باستخدام أسلوب حديث يعكس الطبيعة المعقدة للعديد من التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية وبيئاتها التشغيلية.

ينبغي للممارسين أن يضعوا في الحسبان جميع مستخدمي النظام (على سبيل المثال: المشاة والدراجات والمركبات الآلية ومركبات الطوارئ والنقل العام والسكك الحديدية) فضلًا عن تحديد أولويات المستخدم من خلال الحركة لكل موقع تقاطع محكوم بإشارة مرورية. كما ينبغي أن يكون الهدف متمثلًا في تطبيق تلك العوامل لاختيار الأهداف التشغيلية التي تحدد بشكل واضح النتائج المرغوبة لتحديد أطوار الإشارة وتوقيتها. ولتقييم مدى فعالية خطة تحديد أطوار الإشارة وتوقيتها، ينبغي أيضًا تحديد مقاييس الأداء لكل هدف. كما يمكن استخدام مقاييس الأداء؛ لتحديد النجاح الأولي، علاوة على ذلك لرصد النتائج المرغوبة والحفاظ عليها طوال عمل الإشارة. وينبغي أن تكون تعديلات أطوار إشارة المرور وتوقيتها جزءًا من عملية مستمرة للتأقلم مع الأوضاع المتغيرة، وليست نتيجة لإعادة التوقيت من حين لآخر.

يقدم الجزء الفرعي (أ-٥-٢) من الملحق (أ) المعلومات الضرورية عن سمات تصميم الإشارة الأساسية. وتوفر الأجزاء الفرعية من (أ-٥-٣) إلى (أ-٥-٥) من الملحق (أ) تفاصيل عن كيفية تطوير استراتيجيات التوقيت، ومعلمات توقيت التقاطع ومعلمات توقيت النظام. وفي النهاية، يوفر الجزء الفرعي (أ-٥-٦) من الملحق (أ) التفاصيل الخاصة بأنظمة إشارات المرور المتقدمة.

ويمكن تطبيق متطلبات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها الواردة في هذا الجزء على جميع التغييرات الآتية في توقيت التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية على نظام الطرق:

١- عمليات تركيب إشارات مرور جديدة.
٢- جميع أجهزة كشف المخالفات المرورية.
٣- التغييرات في تحديد أطوار إشارات المرور.
٤- التغيرات الهندسية (الجيومترية) التي تؤثر في تحديد الأطوار أو التوقيت.
٥- مشاريع إعادة تحديد أطوار وتوقيت الممرات.

٢-٦-٢ دراسات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها:

يجب أن يقتصر إعداد دراسات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها على مهندسي مرور معتمدين، كما يجب أن تسير وفقًا للمتطلبات الواردة هنا وفي كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري) والباب (١٢) من كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة).

كما يتحمل مهندس المرور في المشروع المسؤولية عن تنفيذ جميع التحليلات اللازمة (على سبيل المثال: تحليل السعة) وتحديد الأطوار والتوقيت المناسب للاستخدام في التقاطعات. ويتحمل مهندس المرور في المشروع أيضًا المسؤولية عن إعداد خطط توقيت التنسيق (عندما تطلب جهة صاحب العمل ذلك) إلى جانب تحديد جميع المتطلبات الخاصة ذات الصلة. أخيرًا، يجب على مهندس المرور في المشروع استخدام دليل البرمجة المناسب استنادًا إلى وحدة التحكم في إشارة المرور المستخدمة؛ حيث تحدد بدورها، من بين الأشياء الأخرى، القيم الافتراضية لمختلف معلمات وحدة التحكم.

٢-٦-٢-١ تقرير دراسة أطوار إشارات المرور وتوقيتها:

ينبغي أن يشتمل تقرير دراسة تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها على الآتي:

١- اعتبارات توقيت الإشارة الأولي.

٢- برنامج جمع البيانات.
٣- الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء.
٤- خطة تحديد أطوار إشارة المرور وتوقيتها.

ويرد فيما يلي وصف كل منها:

٢-٦-٢-١-١ اعتبارات توقيت الإشارة الأولي:

من أجل اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تحديد أطوار إشارة المرور وتوقيتها، على الممارس التركيز على جميع المعلومات الضرورية مثل:

أ- التعريف ببيئة التشغيل.
ب- تحديد المستخدمين.
ج- تحديد أولويات المستخدم والحركة.

تتوفر إرشادات ومعلومات إضافية في القسم الفرعي (أ-٥-١-٢) من الملحق (أ).

٢-٦-٢-١-٢ برنامج جمع البيانات:

يمكن تقسيم البيانات المطلوبة إلى الفئات الآتية: خصائص المرور وهندسة التقاطع (الجيومترية) وأجهزة التحكم المروري وتوقيت الإشارة الحالي وسجل الحوادث. إن لم يوجد تقاطع حتى الحين، فسيلزم إجراء تقييمات، ولكن ينبغي على الممارس القيام بزيارات ميدانية لمواقع التقاطعات الحالية في أثناء تنفيذ سيناريوهات الطلب على المرور المتعددة إذا أمكن ذلك.

يوفر القسم الفرعي (أ-٥-١-٣) من الملحق (أ) تفسيرات مفصلة عن البيانات التي يمكن جمعها للمساعدة على تطوير أطوار إشارة المرور وتوقيتها.

٢-٦-٢-١-٣ الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء:

يجب على الممارس توضيح الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء للموقع المعني. كما تحدد الأهداف ومقاييس الأداء المرتبطة بها أولويات المستخدم بوضوح من خلال حركة الموقع الذي يوضع توقيت له. وبدلًا من اختيار قيم توقيت إشارات المرور القائمة على المخرجات البرمجية وحدها (مثل تأخير المركبات)، من المفترض أن تضع العملية المتبعة قيم توقيت إشارات مرور قائمة على الأهداف ومقاييس الأداء التي حُددت لموقع محدد.

ويعرض القسم الفرعي (أ-٥-١-٤) من الملحق (أ) إرشادات تكميلية بشأن اختيار الأهداف التشغيلية ووضع مقاييس الأداء.

٢-٦-٢-١-٤ خطة تحديد أطوار إشارة المرور وتوقيتها:

ينبغي أن يشتمل تقرير الدراسة على مخططات تسلسل أطوار الإشارة إلى جانب معلمات التوقيت الأساسية التي ينبغي برمجتها وفق كل طور عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية -على الأقل- (أي يجب أن يُقترن بجدول أطوار وحدة التحكم في إشارة المرور) مثل:

- إشارة المرور الصفراء للتغيير.
- إشارة المرور الحمراء للإخلاء.
- أقل مدة لطول إشارة المرور الخضراء، أو المدة الزمنية للإشارة المرورية الخضراء - إذا كانت مُسبقة التوقيت-.
- أقصى مدة لطول إشارة المرور الخضراء – إذا كانت مُستحثّة -.
- مدة العبور (تمديد الوحدة أو الفترة الزمنية).
- الفترات الزمنية لعبور المشاة - إن وجدت-.
- عمليات الاسترجاع وأوضاع الذاكرة.
- النظام/التوقيت المُنسّق -إن وجد-.

بالإضافة إلى ذلك، ينبغي أن يتضمن التقرير عرضًا تقديميًا مخططًا للمواقع الدقيقة للمُستشعرات (الحساسات) ومقاساتها ومعلماتها الأساسية (على سبيل المثال: بالنسبة إلى المركبات: التأخير والتمديد/تأجيل/مدة التمديد وتبديل المُستشعر).

يجب على مهندس المرور في المشروع توضيح جميع متطلبات تحديد أطوار إشارة المرور وتوقيتها بطريقة واضحة وموجزة؛ لضمان تنفيذ العمليات المحددة على نحو صحيح.

٢-٦-٣ متطلبات تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها:

يجب أن تتناول دراسة تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها ما يأتي:

٢-٦-٣-١ فترات إشارة التغيير الصفراء وإشارة الإخلاء الحمراء:

٢-٦-٣-١-١ المتطلبات والاعتبارات العامة:

تنطبق المتطلبات العامة الآتية على عملية تحديد فترات إشارة التغيير الصفراء وإشارة الإخلاء الحمراء:

١- يجب تحديد مدة فترة إشارة التغيير الصفراء وفترة إشارة الإخلاء الحمراء؛ باستخدام الممارسات الهندسية.
٢- يجب أن تكون مدة فترة إشارة التغيير الصفراء وفترة إشارة الإخلاء الحمراء متسقة مع القيم المحددة وفقًا للقدرات الفنية التي تتمتع بها وحدة التحكم.
٣- يجب ألا تختلف مدة فترة إشارة التغيير الصفراء على أساس دورة تلو أخرى ضمن خطة توقيت إشارة المرور ذاتها.
٤- بخلاف ما هو منصوص عليه أدناه في النقاط الفرعية من (أ) إلى (ب)، يجب عدم تقليل أو حذف مدة فترة إشارة الإخلاء الحمراء على أساس دورة تلو أخرى ضمن خطة توقيت إشارة المرور ذاتها.
   أ- يمكن تمديد/زيادة مدة فترة إشارة الإخلاء الحمراء عن قيمتها المحددة مسبقًا لدورة محددة بناءً على استشعار مركبة يُتوقع أن تنتهك إشارة المرور الحمراء.
   ب- يمكن أن تختلف مدة فترة إشارة التغيير الصفراء وفترة إشارة الإخلاء الحمراء في خطط توقيت إشارات مختلفة لوحدة التحكم ذاتها.

يجب استخدام صيغة في القسم الفرعي (أ-٥-٤-١) من الملحق (أ) لحساب مدة فترة إشارة التغيير الصفراء وفترة إشارة الإخلاء الحمراء، على التوالي.

٢-٦-٣-١-٢ فترة إشارة التغيير الصفراء:

يجب ألا يقل الحد الأدنى لقيمة مدة فترة إشارة التغيير الصفراء عن ٣,٠ ثوانٍ.

٢-٦-٣-١-٣ فترة إشارة الإخلاء الحمراء:

يجب استخدام فترة زمنية لإشارة الإخلاء الحمراء. كما ينجب ألا يقل الحد الأدنى لمدة فترة إشارة الإخلاء الحمراء عن ثانيتين.

٢-٦-٣-١-٤ انتظام الفترات الزمنية:

ربما تقلل الفترات الزمنية المتناسقة لإشارة التغيير الصفراء من ارتباك المستخدم بشأن مدة الفترات الزمنية للتغيير. إذا اختلفت الفترات الزمنية لإشارة التغيير الصفراء لأطوار الإشارة المنتهية بالتزامن، فإنه ينبغي استخدام فترات زمنية لإشارة التغيير الصفراء بمقدار أكبر من الحد الأدنى للقيمة المحسوبة للنهج. ويمكن تنفيذ فترات زمنية منتظمة للتغيير على طول الممرات أو الطرق الشريانية وعبر أنظمة منسقة.

٢-٦-٣-١-٥ التقريب:

ينبغي توفير معلمات المدخلات إلى مستوى دقة مصدر البيانات بما يتوافق مع ممارسات الجهة المعنية، ويفضل أن يكون ذلك لأقرب ٠,١ ثانية من قيمة المعلمة ما لم ينص على خلاف ذلك. كما يوصى بتقريب قيم الفترات الزمنية المحسوبة التي تنتهي بـ ٠,٠١ ثانية إلى ٠,٠٩ ثانية إلى أقرب ٠,١ ثانية.

يرد في القسم الفرعي (أ-٥-٤-١) من الملحق (أ) إرشادات إضافية عن معلمات توقيتات الإشارات الأساسية.

٢-٦-٣-٢ الانعطافات لليسار المسموح بها (غير المحمية):

<u>يجب ألا يُسمح باستخدام</u> الانعطافات لليسار غير المحمية (Permitted Left Turns) أثناء تشغيل طور الإشارة الخضراء (المحمي) للاتجاه المعاكس المتحرك للأمام في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية.

٢-٦-٤ توقيت الإشارات المنسقة:

يتأثر قرار استخدام التنسيق بمجموعة متنوعة من العوامل، ولكن الأهم من ذلك ينبغي على الممارس مراعاة بيئة التشغيل والمستخدمين والأولويات المناسبة للمستخدم. وينبغي استخدام التنسيق لتحقيق أهداف محددة؛ حيث إن استخدامه في كل الأوضاع لا يكون مناسبًا. وفي حين أن التنسيق يمكن أن يقلل من زمن الانتقال ومرات التوقف والتأخير وصفوف الانتظار للحركات المنسقة، فيمكن أن تكون هناك عواقب على الحركات غير المنسقة.

يحتوي الجزء الفرعي (أ-٥-٥) من الملحق (أ) على إرشادات ومعلومات أساسية عن التوقيت المنسق للإشارات.

٢-٧ دراسات زمن الانتقال والتأخير:

يتمثل الغرض من دراسات زمن الانتقال والتأخير في تقييم جودة المرور على طول الطريق وتحديد مواقع التأخير المروري وأنواعها ومداها باستخدام مركبة اختبار أو ملاحظة مركبة أو بيانات مركبة تُستخدم كمسبار (مجس).

تُستخدم هذه الدراسات لمقارنة ظروف التشغيل وتقييمها قبل إجراء تحسينات على الطرق أو التقاطعات وبعدها. وتُستخدم أيضًا بوصفها أداة للمساعدة على تحديد أولويات المشاريع من خلال مقارنة مقدار القصور التشغيلي (مثال: التأخير والتوقفات) لكل مشروع قيد الدراسة.

فضلًا عن ذلك، يستخدم مهندسو ومخططو المرور بيانات مستمدة من دراسات زمن الانتقال والتأخير في عدد من المهام، والتي تشمل الآتي:

- قياسات أداء النظام.
- توفير مدخلات إلى تحليلات سعة وصلات الطرق.
- تحديد مواقع المشكلات على النحو الذي يشير إليه التأخير.
- توفير مدخلات إلى نماذج تخطيط النقل ونماذج تخصيص المرور في الشبكة ونماذج تحويل المسار.
- توفير مدخلات إلى التحليلات الاقتصادية للبدائل.
- تصميم خرائط كنتورية لزمن الانتقال.
- توفير مدخلات إلى الدراسات التي تقيم الاتجاهات من حيث الكفاءة ومستوى الخدمة مع مرور الوقت.
- معايرة نماذج المحاكاة والتحقق منها (ترسيخها).

تقدم المنهجية الواردة في الجزء (أ-٦) من الملحق (أ) معلومات كمية يمكن للمحلل من خلالها تطوير توصيات من أجل التحسينات، مثل: إعادة توقيت إشارة المرور، وعمليات تحسين السلامة، وتوسِعات مسارات الانعطاف وتحسينات التوجيه القنواتي.

٢-٨ دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة:

تهدف الدراسات الخاصة بمرافق الطرق السريعة ومرافق المسارات المُدارة (ML) على الطرق السريعة (بما يشمل مسار المركبات ذات الإشغال المرتفع (HOV) ومسار المركبات ذات الإشغال المرتفع والتي برسوم (HOT) ومسار الطريق السريع الخاضع لدفع رسوم (ET) ومسار الشاحنات فقط الخاضع للرسوم (TOT)) إلى قياس أحجام المرور الكبيرة التي تتحرك بسرعات عالية ووصف الخصائص العامة لتدفق المرور أو تحديد أنواع المركبات (التصنيف) المتدفقة في تيار المرور.

ينفرد تقييم المسارات المُدارة في أنه ينطوي على عنصر بيانات اقتصادية. وينبغي أن تكون زمن الانتقال هي المقياس الرئيس محل الاهتمام في تحليل المسارات المُدارة، وبشكل أكثر دقة الفرق في زمن الانتقال بين المسارات المُدارة والمسارات المُعدة لاستخدام العموم. ويُستخدم الفرق في زمن الانتقال هذا مقارنةً بمتطلبات المرور السائدة؛ لوضع مخطط تسعير ديناميكي على المرفق الخاضع للرسوم.

بالإضافة إلى ذلك، ينبغي أن يستخدم المحللون التحليلات القبلية-و-البعدية على أنها أداة لتقييم مرافق الطرق السريعة المُعدة لاستخدام العموم التي حُوِّلت مقارنةً بمرافق المسارات المُدارة. وينبغي استخدام المقاييس مثل: الحوادث والسرعة وزمن الانتقال والكثافة، من أجل تحديد مستوى الخدمة المُصاحب وصافي تأثير تحويل المرافق المُعدة لاستخدام العموم بالإضافة إلى الوقت الذي ينبغي فيه تحويل المرفق المُعد لاستخدام العموم. وينبغي أن يستخدم المحللون المسؤولون عن هذه الدراسات القبلية-و-البعدية مجموعة مقارنة لحساب العوامل الخارجية (مثال: التغيرات الموسمية الناجمة عن ظروف الطقس) التي من شأنها أن تؤثر في نتائج الدراسة وجمع البيانات خلال الفترات الزمنية نفسها مثل مجموعة المعالجة.

يرد في الجزء (أ-٧) من الملحق (أ) المزيد من الإرشادات والمواد الداعمة عن دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة.

٢-٩ دراسات فرض رسوم مرور:

٢-٩-١ مقدمة:

فرض الرسوم عبارة عن استراتيجية تُفرض فيها رسوم على جميع المركبات، بخلاف استراتيجيات مثل تسعير الازدحام التي تفرض معدلات رسوم متفاوتة؛ لتحقيق أحجام مرور معينة. وعادةً ما تختلف جداول الرسوم حسب نوع المركبة وعدد المحاور والوزن.

٢-٩-٢ الدراسات المطلوبة للتخطيط والتنفيذ:

تتألف دراسات تنفيذ أي طريق خاضع للرسوم من دراسة تخطيط موقع الطريق ودراسة جدوى أولية ودراسة المرور والإيرادات على المستوى الاستثماري.

وبصفته مرفقًا جديدًا، ينبغي أن تكون دراسة موقع الطريق أول خطوة في تحديد المواءمة الأكثر استحسانًا مع مراعاة الطلب على التنقل والوصول والتأثيرات البيئية. وعادةً ما ينبغي أن تنطوي هذه الدراسة على التنسيق مع الجهات المتأثرة لضمان تكامل الطريق مع خطط النقل.

ينبغي إجراء دراسات المرور لفهم أنماط التنقل الحالية وأحجامها وتوقُّع الطلب على النقل في المستقبل بناءً على النمو السكاني والتوظيف. وينبغي النظر في العديد من البدائل وتقييمها مقابل معايير الأداء التي وضعتها جميع الأطراف المعنية في المشروع. وعلى نحو مفضل، ينبغي ترحيل قائمة موجزة من أفضل البدائل إلى المرحلة التالية (دراسة الجدوى) من أجل تحديد مدى إمكانية تمويل المشروع من إيراداته.

و نبغي أن تقيّم دراسة الجدوى الأولية الجدوى الهندسية والمالية للبدائل المدرجة في القائمة الموجزة؛ بغرض تحديد الأنسب منها لتلبية جميع معايير الأداء، بما في ذلك: القدرة المحتملة على التمويل الذاتي للمشروع من خلال إيرادات الرسوم. ويجب أن تُجري الدراسة تقييمًا بمزيد من التعمق بشأن أحجام المرور الحالية والمتوقعة، وتقييم تسعير الرسوم لتحقيق الإيرادات المتوقعة. وينبغي تقييم أسعار الرسوم هذه مقابل استعداد المستخدم المحتمل لدفع الرسوم بناءً على قيمة الوقت، والتي يجب تحديدها من خلال مسوحات التفضيلات المعلنة (stated preference (SP) survey).

ينبغي إجراء تحليل مالي لإعداد حزمة مالية من أجل تمويل عمليات التشغيل والصيانة وخدمة الديون المحتملة والتوسع في المستقبل وعمليات التحسين والاستبدال والتكاليف الرأسمالية. وخلال هذه العملية، يمكن إجراء اختبار نهائي لأحد البدائل للتأكد من أن المشروع ليس مجديًا من الناحية المالية فحسب، بل يلبي جميع أهداف الأطراف المعنية كذلك.

وأخيرًا، عندما يلزم إجراء دراسة أكثر تعقيدًا للمرور والإيرادات، ينبغي أن يكون بمقدور هذه الدراسة إثبات أن المرور والإيرادات ستظهر على النحو المتوقع وتكون صارمة للغاية في وضعها للنماذج المرورية والنماذج المالية، والتي ينبغي أن تؤكد النتائج الأولية.

يقدم الجزء (أ-٨) من الملحق (أ) معلومات عن الخصائص الرئيسة للرسوم والمتطلبات الأساسية للبنية التحتية وبعض الاعتبارات المتعلقة بالإيرادات.

٢-١٠ دراسات المحاكاة:

بشكل عام، تقتصر دراسة المحاكاة على التصميمات الهندسية (الجيومترية) والشبكات المعقدة وبيانات المشكلات الفريدة التي تتجاوز الأساليب القطعية.

وينبغي دعم الجهد الإضافي لإجراء محاكاة إذا كان التحليل ينطوي على عنصر أو أكثر مما يأتي:

- تكوينات *هندسية* (جيومترية) فريدة لم تتطرق إليها الإجراءات القطعية، مثل تصميمات التقاطعات والمحولات المبتكرة، أو التقاطعات المتقاربة مع صفوف الانتظار فيها المتفاعلة.
- تقييم قضايا تشغيلية تتجاوز حدود الأدوات التحليلية القطعية، بما يشمل فرط-التشبع (oversaturation) واكتظاظ صف الانتظار وسد مسارات الانعطاف.
- أنواع متعددة من مرافق النقل، مثل تقاطع طريق سريع مع شوارع سطحية.
- تكوينات مختلفة للتقاطعات، مثل دوّار، في ممر شرياني مزود بإشارة مرورية.
- وسائل نقل متنوعة مثل المركبات، والنقل العام، والمشاة، والدراجات.
- تحليل تغيرات سلوك السائق استجابةً إلى الحوادث أو مصادر الازدحام المتكرر.
- الحاجة إلى تصور ناتج أحد المشاريع وعرضه بالرسوم المتحركة للمشاركة مع العامة.
- الرغبة في الحصول على مقاييس فعالية لم تنتجها الإجراءات القطعية، مثل نسبة المدة الذي يتجاوز فيها أي صف انتظار حيز التخزين المتاح.

بمجرد تحديد الحاجة إلى إحدى دراسات المحاكاة، يتمتع المستخدم بالمزيد من المرونة في الاختيار من بين مجموعة من الأدوات المتوفرة. وتوجد مجموعة متنوعة من حزم المحاكاة، وتتجاوز الفروق بين الحزم نطاق هذا الجزء. وفيما يتعلق بالاستخدامات المتعددة، يوجد العديد من الخيارات البرمجية التي يمكن استخدامها جيدًا على قدم المساواة.

يُبرز من القسم الفرعي ٠أ-٩-٣-٦) في الملحق (أ) معايير اختيار أداة التحليل المروري ((FHWA, (2019a).

يقدم الجزء (أ-٩) من الملحق (أ) مرجعًا عامًا لاستخدام نماذج المحاكاة في دراسات النقل. ولا يشرح بالتفصيل كيفية إنشاء نموذج محاكاة ولا يتعلق بحزمة برمجية محددة. ويرد في الجزء (٣-٧) إرشادات لتطبيق تحليل المحاكاة المجهرية.

٢-١١ دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات:

٢-١١-١ مقدمة:

تُستخدم دراسات مراقبة مرور غير مستخدمي المركبات لمعرفة بعض الجوانب المتعلقة بوجود غير مستخدمي المركبات وسلوكهم. ويشمل مرور غير مستخدمي المركبات راكبي الدراجات والمشاة وراكبي السكوتر وغيرهم من غير مستخدمي المركبات. ويركز هذا الجزء على المتطلبات والإرشادات المتعلقة بدراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات ودراسات سرعة المشي. ويُحصل على أحجام مرور غير مستخدمي المركبات من خلال تسجيل عدد غير مستخدمي المركبات الذين يعبرون نقطة بين تقاطعين أو يدخلون إلى تقاطع أو يستخدمون مرفقًا معينًا، مثل معبر مشاة أو رصيف مشاة أو طريق دراجات. وبالنسبة إلى دراسات عبور التقاطع أو العبور في منطقة بين تقاطعين (وسط مربع سكني/"بلوك")؛ ينبغي تحديد منطقة التأثير بناءً على الغرض من الدراسة.

ويمكن استخدام دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات بمجموعة متنوعة من الإجراءات، والتي تشمل:

- دعم مبررات حجم المرور لإنشاء معبر للمشاة.
- تحديد مدى الحاجة إلى رصيف مشاة أعرض.
- إعداد إحصائيات التعرّض من أجل تقييم سلامة غير مستخدمي المركبات.
- تحديد أولوية الممرات للمرافق المحسّنة الخاصة بغير مستخدمي المركبات.
- إجراء دراسات قبلية-و-بعدية تنظر في المرافق الجديدة أو المحسّنة لغير مستخدمي المركبات.
- فهم أنماط انتقال غير مستخدمي المركبات.
- تطوير نماذج الطلب على النقل لغير مستخدمي المركبات والتحقق منها (ترسيخها).

يمكن جمع دراسات سرعة المشي يدويًا أثناء عمليات الملاحظة الميدانية. ويقدم القسم الفرعي (أ-١٠-٢-٣) من الملحق (أ) إرشادات عن كيفية تنفيذ هذا الإجراء ويوفر إرشادات عن استخدام نموذج لجمع البيانات.

٢-١١-٢ مدة التعدادات المرورية لغير مستخدمي المركبات وأساليب المعاينة وعوامل القياس:

تعتمد مدة العدّ لمرور غير مستخدمي المركبات المناسبة على الاستخدام المقصود للبيانات. وينبغي بأي حال من الأحوال ألا تقل مدة العدّ عن ساعتين، ويلزم إجراء التعدادات الأطول مدة حتى يتسنى تطبيق نتائج التعدادات قصيرة المدة على فترات زمنية أو مرافق أخرى، حيث إن نشاط غير مستخدمي المركبات عادةً ما يكون متغيرًا بشكل مؤقت. وإذا كان من المقرر استخدام التعدادات المرورية لغير مستخدمي المركبات قصيرة المدة، فعلى الأقل إجراء التعدادات الأطول مدة في بعض مواقع العدّ لوضع أنماط بالساعة وأساس إحصائي لحساب الأحجام السنوية وتطبيق عوامل التكبير على التعدادات قصيرة المدى (FHWA, 2016). وينبغي على الجهات إجراء تعدادات مرورية آلية كل ٢٤ ساعة وتعدادات مرورية يدوية كل ١٢ ساعة بشكل اعتيادي، في مواقع محددة؛ من أجل تحديد عوامل التكبير لمجموعات مشتركة من المواقع.

ينبغي أن يستخدم اختيار مواقع العدّ قصير المدة والعدّ المستمر أساليب معاينة؛ لضمان التغطية الجغرافية التمثيلية والتغطية على مستوى النشاط.

ينبغي دمج محطات العدّ المستمر لتكوين مجموعات أنماط العوامل التي تتميز فيها العدادات داخل مجموعة ما بأنماط حركة مرور متشابهة. ويسمح هذا بحجم مرور غير مستخدمي المركبات في مرفق معين حيث يُجرَى العدّ قصير المدة؛ ليحسَب باستخدام عوامل من مجموعة مواقع ذات خصائص متشابهة. وينبغي تشكيل مجموعات أنماط العوامل لغير مستخدمي المركبات مع التركيز بشكل خاص على الجمع بين أنواع المرافق الشائعة (مسارات الاستخدام المشترك والشوارع المحلية والشوارع الشريانية/التجميعية) وأنواع المستخدمين الشائعة (الانتقال النفعي في العموم مقابل الانتقال الترفيهي) بسبب أوجه التباين المرتبطة في الأنماط الزمنية لانتقال المشاة.

وينبغي أن تهدف بيانات حجم مرور غير مستخدمي المركبات من محطات العدّ المستمر إلى وضع إحصائيات احتساب العوامل مثل مقدار الوقت من اليوم واليوم في الأسبوع والشهر في السنة والعوامل الموسمية. ومن دون هذه العوامل، لا يمكن حساب بيانات العدّ قصير المدة سنويًا. وبمجرد تطبيقها على التعدادات قصيرة المدة، تُنشأ إحصائيات سنوية لكل موقع للاستخدام الإجمالي للنظام والشبكة.

٢-١١-٣ البرامج الدائمة لجمع البيانات:

البرامج الدائمة لجمع البيانات هي تلك البرامج التي تقدم بيانات إحصائية على مدار ٢٤ ساعة يوميًا، و ٣٦٥ يومًا سنويًا. وينبغي أن تتبع عملية الجمع المستمرة لبيانات مرور غير مستخدمي المركبات الخطوات الموضحة في الجزء الفرعي (٢-٣-٢).

يرد في الجزء (أ-١٠) من الملحق (أ) إرشادات إضافية عن دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات.

٢-١٢ دراسات النقل العام:

تُجرَى دراسات النقل العام للأغراض الآتية:

١- تزويد المشغلين بالمعلومات التي يحتاجون إليها؛ لاتخاذ خيارات ذكية بشأن الخدمات. وتقدم الدراسات الأرقام والاتجاهات التي يمكن أن توضح التغييرات اللازمة في عمليات التشغيل. كما توضح الدراسات ما إذا كان العملاء قد استجابوا إلى التغييرات.
٢- تقديم بيانات للمقارنات بين الجهات وقياس جودة الخدمة وتوفير الأساس اللازم لاتخاذ قرارات التمويل.

من المهم إجراء دراسات النقل العام بشكل صحيح. ويمكن أن تكون دراسة سيئة التصميم أو التنفيذ أسوأ من عدم وجود دراسة لأن الأرقام يمكن أن تعطي المشغلين المزيد من الثقة في مسار عمل خاطئ.

يحتوي الجزء (أ-١١) من الملحق (أ) على إرشادات عن دراسات النقل العام (في المقام الأول وسائل النقل العام بالحافلات ذات المسارات الثابتة، وعربات الترام).

عادةً ما تكون أنواع جهات البيانات ملزمة بالجمع وإعداد التقارير، ويشمل ذلك:

- الخصائص التشغيلية: الساعات والكيلومترات الإيرادية للمركبة ورحلات الركاب غير المترابطة وعدد الكيلومترات للركاب وما إلى ذلك.
- خصائص الخدمة: موثوقية الخدمة والسلامة وما إلى ذلك.
- الإيرادات والأصول الرأسمالية - مصادر واستخدامات رأس المال وحجم الأسطول وعمره ومسارات/سكك التوجيه الثابتة وما إلى ذلك.
- إحصائيات التشغيل المالي: الإيرادات والتمويل والتكاليف وما إلى ذلك.

٢-١٣ قوائم الجرد:

قائمة الجرد عبارة عن كتالوج أو قائمة أو بيان أو سجل أو عرض للمعلومات الواقعية التي تصف الظروف الحالية. ويمكن للجهات تخزين المعلومات في قواعد بيانات يدوية أو آلية (حاسب أو فيديو)، والتي يمكن أن تُنشَأ من خلالها عروض تقديمية مفيدة لمختلف التحليلات. وينبغي تحديد نوع المعلومات المضمنة في قائمة الجرد بالغرض من استخدام المعلومات. وتظل بعض بيانات قوائم الجرد ثابتة، بينما تتغير بيانات أخرى بسرعة مع مرور الوقت وينبغي تحديثها بشكل متكرر. ولكي تكون قوائم الجرد مفيدة، يجب أن يسهل الوصول إليها وأن تحتوي على عناصر البيانات ذات الصلة. وتشمل الأنواع الشائعة من فئات بيانات قوائم الجرد المتعلقة بوسائل النقل ما يأتي:

- اللوائح والقوانين والمراسيم.
- الطريق وجانب الطريق.
- التقاطعات.
- أجهزة التحكم المروري (مثل اللافتات والإشارات والعلامات/الخطوط الأرضية).
- مواقف المركبات.
- الإنارة.
- مسارات النقل العام.
- مولدات المرور.
- شبكة الأسلاك (الألياف الضوئية والنحاس والاستشعار العلوي).

يجب أن يكون لقائمة الجرد غرض محدد بوضوح وتوفر معلومات مفيدة ومطلوبة ويسهل الوصول إليها واستخراج البيانات منها وأن تحدّث باستمرار. ولهذا الغرض، يلزم وجود قاعدة بيانات مصممة جيدًا لتخزين البيانات وتحديثها والاستعلام عنها.

ويرد في الجزء (أ-١٢) من الملحق (أ) أسلوباً عامًا لإجراء جرد للشوارع والطرق.

٢-١٤ دراسات مواقف المركبات:

تُعد مواقف المركبات أحد العناصر الأساسية في النقل؛ لا سيما في المناطق الحضرية. ومع وجود استثناءات قليلة، ينبغي أن تستطيع السيارات والشاحنات الوقوف مؤقتًا على الأقل في نهاية كل رحلة بالمركبة، حتى في المناطق التي تتوفر فيها خدمة النقل العام؛ حيث تُعد السيارة وسيلة النقل الشائعة.

يوجد نوعان عامان من مواقف المركبات:

١- المرافق الموفرة من قِبل المالك في المنازل والشقق ومراكز البيع بالتجزئة والمباني الصناعية والمؤسسات والمكاتب، ويشمل ذلك حواف (بردورات) أرصفة الشوارع العامة؛ حيث يُسمح بوقوف المركبات دون وجود عداد.
٢- مواقف المركبات التجارية، بما يشمل المواقف أو المرائب الخاصة التي تُحصل فيها رسوم، ومواقف المركبات ذات الرسوم، مثل العدادات الموجودة عند بردورات الأرصفة، أو في مواقف المركبات على جانب الطرق العامة أو المرائب.

عادةً ما تُجرى الدراسات المتعلقة بمواقف المركبات للأغراض الآتية:

١- التحقق من الاحتياجات المادية للمعروض من مواقف المركبات الحالية ومواقعها.
٢- وضع سياسة ولوائح لوقوف المركبات، مثل قوانين تقسيم المناطق.

تُجرى معظم دراسات المواقف بغرض تحديد الحاجة إلى توسيع المواقف الحالية أو تعديل أساليب الإدارة من خلال مقارنة الطلب على المواقف بالمعروض من أماكن الوقوف. ويمكن أن تشمل دراسات المواقف مناطق الأعمال المركزية (وسط المدينة) ومناطق التطوير الصناعية ومجمعات المكاتب والشقق/المناطق السكنية المكتظة بالسكان والمستشفيات والجامعات والصالات الرياضية والمرافق الثقافية والفعاليات الخاصة.

تبحث دراسات المواقف في العرض والطلب. وفيما يتعلق بالعرض، يُجرى الجرد لتفصيل الظروف الحالية للمواقف. ويقاس الطلب عادةً من حيث الاستخدام ومعدل التناوب في استخدام الموقف الواحد (turnover). ورغم ذلك، تعمل دراسات التراكم والاستخدام على قياس المكان الذي يوقف فيه السائقون مركباتهم بالفعل، في حين أن الطلب الحقيقي هو المكان الذي يفضل السائقون وقوف مركباتهم فيه. كما يفحص الاستخدام عدد المركبات بينما يتطلع معدل التناوب إلى المركبات المحددة التي تستخدم موقف ما. ويمكن جمع بيانات إضافية؛ لتحديد توليد المواقف ذات الأهمية في حساب الاحتياجات المستقبلية.

يقدم الجزء (أ-١٣) من الملحق (أ) الإرشادات والمواد اللازمة لإجراء دراسات مواقف المركبات.

٢-١٥ مسوحات المنبع-المقصد:

تقدم مسوحات المنبع-المقصد معلومات قيمة عن الأماكن التي يرغب سائقو المركبات في الانتقال إليها، أي منابعها ومقاصدها وأزمانها، بالإضافة إلى أحجام المرور المقترنة بالمسوحات. وتتراوح من دراسات بسيطة نسبيًا تحدد مقدار المرور الذي يمر بقرية أو مدينة، إلى مسوحات النقل الشاملة المستخدمة في تخطيط وتصميم أنظمة النقل في المناطق الحضرية الكبيرة.

تشكل البيانات المتعلقة بأنماط الرحلة (توزيع الرحلات) أمرًا أساسيًا في الحالات التي يمكن أن يكون فيها تحويل مسار المرور بسبب مخطط جديد لإدارة المرور. ويصعب تحديد موقع معدات عدّ المرور في النقطة التي يحدث فيها تحويل المسار، سواء كان ذلك على المستوى المحلي أو الإقليمي أو الحضري.

توجد عدة تقنيات مستخدمة لجمع بيانات المنبع-المقصد. وتُستخدَم بعض هذه التقنيات بشكل أكثر شيوعًا من الأخرى، ولكن لكل منها مزاياها وعيوبها. وتكون مسوحات المنبع-المقصد عرضة لأخطاء وتحيزات كبيرة، ومن ثَمَّ يجب على مهندسي المرور إظهار فهم جيد للتقنيات ومشكلاتها الكامنة؛ للوصول إلى بيانات مفيدة.

يقدم الجزء (أ-١٤) من الملحق (أ) الإجراءات المتوفرة والمعلومات الضرورية التي تهدف إلى مساعدة مهندسي المرور على إجراء مسوحات المنبع-المقصد.

٢-١٦ مسوحات توليد المرور:

٢-١٦-١ مقدمة:

يتمثل أحد الجوانب المهمة لتخطيط عمليات تطوير استخدام الأراضي وتصميمها في توفير وصول المرور المناسب. وإلى جانب الروابط المباشرة بين التطوير ونظام الطرق، يجب أن يهتم مخططو ومهندسو المرور بآثار التطوير الجديد في نظام المرور بالمنطقة المحيطة. ويتمثل الأمر الأساسي في مقدار المرور الجديد الناتج عن التطوير. وربما يُضيف المرور هذا عبئًا إضافيًا على نظام المرور ويمكن أن ينتج عنه ضرورة ترقية أجزاء من شبكة الطرق أو توفير مرافق مرور جديدة. وأحيانًا، يمكن أن تقلل إعادة تطوير موقع ما من عدد نهايات الرحلات داخل نظام المرور (مثال: تغيير استخدام الأرض من موقع يحقق حركة مرور مرتفعة إلى موقع يحقق حركة مرور منخفضة).

يُعد توليد المرور المستوى المُقاس من نشاط المرور ذي الصلة بموقع ما أو تطوير أو استخدام أرض. كما أنه يمثل مقدار مرور المركبات الناشئ عن عدد رحلات الناس ذات الصلة بالتطوير. وعادةً ما يُقاس توليد المرور من حيث عدد نهايات الرحلات (إجمالي الرحلات المُنتجة (production) والمُنجذبة (attraction)) في موقع ما، لكل وحدة زمنية.

يناقش الجزء (أ-١٥) من الملحق (أ) أساليب جمع بيانات توليد المرور.

٢-١٦-٢ ملخص متطلبات المسح:

إن المتطلبات الآتية المتعلقة بتصميم مسوحات المرور وإدارتها لها أهميتها ويجب وضعها في الحسبان:

- ينبغي تقديم تعريفات دقيقة لمتغيرات المرور المراد قياسها.
- ينبغي اتخاذ قرارات بشأن ما إذا كان توليد المرور الذي قيس يشمل جميع المركبات أو السيارات الخاصة فقط.
- يجب أن تحسب المسوحات على نطاق المنطقة المرور العابر بشكل منفصل. ويُعرَّف المرور العابر بأنه الجزء من المرور التي لا يتوقف في منطقة المسح.
- تجب مراعاة احتمالية وجود حركات رحلات داخلية، أي: الرحلات التي لا تعبر الطوق (الكوردون (Cordon)) الخارجي في الدراسات على نطاق المنطقة. وكلما كانت منطقة المسح أكبر، زادت احتمالية حركات الرحلات هذه. وسوف تفوت المشاهدات عند خط الطوق (الكوردون) هذه الحركات، ويلزم استخدام مسوحات خطوط التدقيق لحصرها.
- ينبغي وضع تعريف دقيق لمعدلات توليد المرور، على سبيل المثال: يُفضل قياس نهايتي الرحلة (مجموع إنتاج الرحلات وجذبها) لقياس الرحلات في حد ذاتها. ويتسم هذا بأهمية خاصة عند فحص النمط الزمني للنشاط المروري.
- نظرًا إلى أن توليد المرور يرتبط غالبًا بمقاييس النشاط، مثل مساحات الأرضيات/الأدوار، يلزم توخي الحذر لضمان استخدام مقاييس وتعريفات متسقة.

٣- تحليل المرور ونمذجته:

٣-١ مقدمة:

٣-١-١ النطاق:

يجب أن ينطبق هذا الباب على إجراءات وأدوات التحليل المروري ونمذجتها.

٣-١-٢ المواصفات والإرشادات:

يجب أن تكون جميع الإرشادات والإجراءات المتعلقة بالتحليل المروري ونمذجتها على النحو المحدد هنا وباقي نصوص كود الطرق السعودي. وفي حالات خاصة تتناسب معها الإرشادات التكميلية، يمكن استخدام أحدث إصدارات الوثائق الآتية، ما لم توجه الهيئة العامة للطرق و/أو جهة صاحب العمل بخلاف ذلك.

١- دليل سعة الطرق (TRB, 2022).
٢- إرشادات تطبيقات التخطيط والهندسة الأولية لدليل سعة الطرق (NCHRP, 2016).
٣- برنامج أداة التحليل المروري للإدارة الاتحادية للطرق (FHWA, 2022a) .
٤- الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري من إصدار الإدارة الاتحادية للطرق (FHWA, 2009) .

٣-١-٣ موجز الأجزاء:

الجزء (٣-١): يقدم (هذا الجزء) معلومات أولية والسياق.

الجزء (٣-٢): يناقش التحليل العام للمرور ووضع سياق النمذجة ومتطلباتها.

الجزء (٣-٣): يركز على منهجية التحليل المروري.

الجزء (٣-٤): يقدم متطلبات عن حدود نطاق التحليل المروري.

الجزء (٣-٥): يُعطي إرشادات عن جمع البيانات؛ لأغراض التحليل المروري ونمذجتها.

الجزء (٣-٦): يناقش تحليلات المرور باستخدام أدوات تحليلية.

الجزء (٣-٧): يركز على إرشادات تحليل المحاكاة المجهرية.

الجزء (٣-٨): يناقش وضع مقاييس فعالية الأداء المتعلقة بتحليلات المرور.

الجزء (٣-٩): يقدم تفاصيل عن جميع تقارير تحليلات المرور ونمذجته المطلوبة.

الملحق (ب): يشتمل على توصيات إضافية ومعلومات أساسية عن التحليل المروري ونمذجتها.

٣-١-٤ التفسير والملاحظات:

يُعد تطبيق الإرشادات المتعلقة بتحليلات المرور ونمذجتها، الموصوفة في هذا الباب، شرطًا ملزمًا لكود الطرق السعودي. ويقدم الملحق (ب)، من بين أمور أخرى، توصيات تكميلية يمكن أن يستخدمها مهندس المرور بناءً على رأيه الخبير وعلى متطلبات جهة النقل المسؤولة. وللاطلاع على المفاهيم والإرشادات الأساسية المتعلقة بسعة الطرق، ينبغي على المستخدم الرجوع إلى الباب (٧) في كود الطرق السعودي ٢٠١ (عملية التخطيط)، وللاطلاع على إرشادات دراسات التنبؤ المروري والتأثير المروري، ينبغي على المستخدم الرجوع إلى الباب (٢) من كود الطرق السعودي ٢٠٣ (الدراسات الأولية).

٣-٢ المفاهيم والغرض:

التحليل المروري هو: عملية تقييم تأثير الطلب والعرض المروري في أداء أحد مرافق النقل فيما يتعلق بتحقيق أهدافه وغاياته. وينبغي ألا تقتصر الأهداف والغايات على توفير إرشادات لعملية تخطيط النقل، بل ينبغي استخدامها أيضًا لتقييم تنفيذ المرفق وتشغيله. يمكن تصنيف الأهداف من حيث ارتباطها بنقل الحركة، أو الموثوقية، أو إمكانية الوصول ،أو السلامة أو الاقتصاد، أو الحفاظ على البيئة.

توجد مستويات مختلفة من التحليل المروري التي يمكن تصنيفها كما يأتي:

- تحليل التخطيط العام (على مستوى التخطيط المفاهيمي).
- التحليل الهندسي والتصميمي الأولي.
- التحليل التشغيلي.

أدوات التحليل المروري عبارة عن إجراءات ومنهجيات ونماذج حاسوبية تُستخدم لإجراء التحليلات المرورية. وتختلف هذه الأدوات من حيث قدراتها الحسابية ومتطلبات المدخلات ومقاييس المخرجات. ومن ثَمَّ يلزم الاستخدام المناسب لكل أداة لحل مشكلات المرور من أجل الحصول على نتائج مقبولة من التحليل المروري للمشاريع.

نظرًا إلى أن سلامة مرفق النقل مرتبطة بالطلب المروري؛ فإن مراعاة السلامة لا تقل أهمية عن الكفاءة التشغيلية للنظام (نقل الحركة والموثوقية وإمكانية الوصول). وعلى هذا الأساس، يجب تكامل السلامة على النحو المناسب في جميع مستويات التحليل المروري لمعالجة مشكلات السلامة لدى جميع المستخدمين، ويشمل ذلك المشاة وراكبي الدراجات. ويمكن تحقيق ذلك من خلال دمج مقاييس أداء السلامة ذات الصلة في وقت مبكر في عملية التحليل.

هذا الجزء:

- يقدم إرشادات؛ لتحقيق نهج ثابت وموحد في عملية التحليل المروري لمشاريع الطرق.
- يرشد محلل المرور إلى اختيار أدوات التحليل المروري المناسبة ومقاييس فعالية الأداء القابلة للمقارنة.
- يوثق متطلبات جهات النقل من أجل التحليلات المرورية.
- يوفر عملية مراجعة مبسطة لقبول التحليل المروري والموافقة عليه، واتخاذ قرارات مدروسة فيما يتعلق باستثمارات النقل الحالية والمقترحة.

يفترض هذا الجزء أن مهندس المرور المعتمد (راجع الجزء ١-٢) لديه معرفة وخبرة وتجارب كافية في التحليل المروري وعلى دراية بأدوات التحليل المروري ذات الصلة والمتوفرة في المجال.

٣-٣ منهجية التحليل المروري:

يمكن أن يكون عنصر التحليل المروري في المشروع أساسيًا من حيث الوقت والموارد والتعقيد. ولتبسيط الاستخدام الصحيح لنهج التحليل وأدواته في المشروع، ينبغي وضع منهجية التحليل المروري. وتتضمن عناصر المنهجية التي نوقشت في هذا الجزء والجزء المطابق من الملحق (ب) مذكرات نهج التحليل الفني أو خطابات التفاهم المتعلقة بالمنهجية التي ينبغي إعدادها، حسب الاقتضاء، بواسطة مهندس المرور/المحلل والموافقة عليها من قِبل الجهة المعنية بالمراجعة قبل بدء التحليل. كما يمكن دمج هذه العناصر في نطاق المشروع من قِبل مديري المشاريع. وينبغي استخدام منهجية التحليل؛ لتوثيق كيفية إنجاز التحليل من أجل تحقيق أهداف المشاريع. وينبغي أن تقدم المنهجية التي أُعدِت بشكل صحيح القاعدة الأساسية لعملية التحليل بأكملها من خلال تحديد المشكلات المراد حلها ومتطلبات البيانات وأدوات التحليل ومقاييس الأداء والجدول الزمني ونتائج التحليل. وينبغي تصميم محتوى منهجية التحليل حسب سياق المشروع وتعقيده. كما يمكن لمديري المشاريع استخدام العناصر المنهجية التي نوقشت في هذا الجزء من أجل إعداد نطاق التحليل المروري. ويمكن أن يستخدم مراجعو تقرير التحليل المروري عملية تطوير المنهجية على أنها فرصة لطرح القضايا والمخاوف الحرجة؛ حتى يتسنى حلها ودمجها في التحليل.

تمثل عناصر المنهجية الواردة أدناه المتطلبات العامة لأي تحليل مروري.

٣-٣-١ عناصر المنهجية:

ينبغي أن تنطوي منهجية جهود التحليل المروري على الآتي:

- وصف المشروع.
- الهدف من التحليل المروري.
- حد نطاق التحليل.
- اختيار أدوات التحليل ونهجه.
- متطلبات البيانات وخطة جمعها.
- التنبؤات المرورية في المشروع.

- مقاييس فعالية الأداء.
- تحليل بدائل المشروع.
- تقرير التحليل المروري والوثائق الفنية.
- تقدير مستوى الجهد.

في وقت مبكر جدًا من بداية المشروع، ينبغي مناقشة منهجية التحليل المروري والموافقة عليها بين الجهة المسؤولة ومهندس المرور والمحلل والأطراف المعنية الأخرى في المشروع. وتُعد المراجعة الميدانية السابقة للتحليل أساسية للتعرف على موقع التحليل. ومع ذلك، يمكن ألا تكون المراجعة الميدانية ضرورية لتحليلات التخطيط على المستوى المفاهيمي؛ حيث تكون المستويات المنخفضة للجهد والتفاصيل مطلوبة.

يمكن أن يلزم عقد اجتماعات إضافية، مثل اجتماعات تحديد نطاق التحليل، من أجل التوصل إلى اتفاق كامل وتحديد كل جانب من منهجية التحليل المروري وتوثيقه بوضوح.

قبل إكمال وثيقة المنهجية، ينبغي على مهندس/محلل المرور تحديد الجدول الزمني وجميع القيود الأخرى المفروضة على جهود التحليل.

يوفر الجزء (ب-١) من الملحق (ب) إرشادات تكميلية عن عناصر منهجية التحليل المروري.

٣-٤ حد نطاق التحليل المروري:

يجب وضع حد لنطاق التحليل؛ من أجل تحديد الخصائص المرورية التشغيلية السائدة بدقة.

على المحلل في البداية إجراء استطلاع ميداني؛ لتحديد حجم المشكلة، وتحديد أي اختناقات خفية.

كما ينبغي عادةً أن تتضمن منطقة التأثير (AOI) المشمولة في التحليل الذي يُجرَى في المناطق الحضرية -باستخدام أدوات تحليلية للمرور- أول مُحوّل (تقاطع مفصول رأسياً) مجاور أو تقاطع (سطحي) مزود بإشارة مرورية على الأقل. ويمكن أن يستلزم تفاوت الخصائص التشغيلية الملحوظة في المناطق الحضرية توسيع حدود منطقة التأثير. وعندما يكون الازدحام المروري سائدًا يجب تحديد مكان الازدحام ونوعه وحجمه وأسبابه قبل تحديد منطقة التأثير للتحليل. ولذلك ينبغي أن يراعي تحديد الحدود المكانية للتحليل العوامل التي من شأنها أن تؤثر في أداء المشروع من حيث تشغيل المرور وسلامته، مثل:

- الاختناق المروري (قيود السعة) التي تؤثر في تدفق المرور داخل منطقة التأثير أو خارجها في كل من الظروف الحالية والمستقبلية.
- صفوف الانتظار التي تتجاوز منطقة التأثير المحددة مسبقًا.
- المحول (التقاطع المفصول رأسياً) الرئيس في المنظومة الذي يؤثر في سلوك تغيير-المسار (lane-changing) (عمليات الاندماج/التفرع أو عملية التناسج) عبر منطقة التأثير.
- التقاطعات المجاورة التي تؤثر في تشكيل أرتال المركبات في منطقة التأثير. على سبيل المثال: وجود نظام منسق للإشارات.
- التطويرات ذات التأثير الإقليمي في محيط منطقة المشروع؛ لتحديد تضمينه في منطقة التأثير.

ينبغي تحديد منطقة التأثير للمشاريع الموجودة في المناطق الحضرية على أساس كل حالة على حدة اعتمادًا على درجة عزلها عن المقاطع أو المرافق الأخرى.

يناقش الجزء (ب-٢) من الملحق (ب) الإرشادات العامة التي يمكن مراعاتها أيضًا عند تحديد منطقة التأثير للمشاريع التي تتطلب المحاكاة المجهرية.

٣-٤-١ حد النطاق الزمني:

حد النطاق الزمني هو طول فترة التحليل المروري. وينبغي تحديد فترة التحليل بحيث يُعرَف تأثير تباين الطلب المروري وتضمينه في التحليل.

يرد في الجزء (ب-٢) من الملحق (ب) ب-١٢اعتبارات تكميلية بشأن حدد النطاق الزمني.

٣-٥ جمع البيانات:

٣-٥-١ الملاحظات الميدانية:

تُعد الملاحظات الميدانية (أو عمليات الفحص الميداني) شرطًا للحصول على نتائج دقيقة في التحليل المروري. وتعمل الملاحظات الميدانية على تمكين المحلل من الدراية بالخصائص التشغيلية العامة للمرور والبيئة المحيطة في منطقة التحليل. وينبغي عدم استبدال الملاحظات الميدانية المادية بالمراجعة المكتبية للبيانات من خلال الصور الجوية أو سجلات الفيديو أو تطبيقات عرض الشوارع عبر الإنترنت.

٣-٥-٢ البيانات المطلوبة:

تعتمد موثوقية نتائج التحليل المروري على دقة البيانات وجودتها. وعلى هذا الأساس، يلزم إعداد خطة مدروسة لجمع البيانات المروري قبل جمعها. ويجب أن تعتمد متطلبات البيانات وافتراضاتها على نوع التحليل ومستواه.

٣-٥-٣ القيم الافتراضية لمعلمات المدخلات:

ينبغي قياس معلمات المدخلات ميدانيًا، باستثناء تحليلات مستوى التخطيط، حيث لا تتوفر بيانات الحالة بسهولة أو لا يمكن قياسها ميدانيًا بسبب أن الخصائص الهندسية (الجيومترية) والتشغيلية المستقبلية للمرافق المقترحة غير معروفة. وفي هذه الحالة يمكن استخدام القيم الافتراضية لمعلمات المدخلات. إضافةً إلى ذلك، يمكن استخدام القيم الافتراضية عندما تُثبت التجارب والأبحاث السابقة أن معلمات المدخلات هذه تؤثر بشكل ضئيل في النتائج.

وبخلاف تحليل مستوى التخطيط تكون تحليلات التصميم والتشغيل أكثر تفصيلًا وبالتالي تقتضي استخدام بيانات دقيقة مقاسة ميدانيًا.

٣-٥-٤ خطة جمع البيانات:

بعد معرفة منهجية التحليل المروري، يجب وضع خطة لجمع البيانات والاتفاق عليها مع الجهة المعنية بالمراجعة. ويجب وضع خطة جمع البيانات؛ لتوثيق احتياجات البيانات من أجل التحليل المروري والإجراءات الخاصة بجمع البيانات. راجع الباب (٢) لمزيد من الإرشادات عن جمع البيانات الميدانية.

يقدم الجزء (ب-٤) من الملحق (ب)ب-٢ إرشادات إضافية عن جمع البيانات.

٣-٦ التحليل المروري باستخدام أدوات تحليلية:

عندما لا يبرر سياق المشروع استخدام عمليات المحاكاة المجهرية للمرور، ينبغي استخدام أدوات تحليلية (قطعية). ويُنصح المستخدمون بالرجوع إلى دليل وكتيب المستخدم الخاصة بكل أداة؛ لمعرفة تفاصيل الإجراءات التحليلية. ويقدم الجزء (ب-٥) من الملحق (ب) إرشادات تكميلية عن جداول الأحجام المرورية العامة المخدومة التي يمكن أن تكون أداة مفيدة للتخطيط المفاهيمي من أجل وضع تقديرات سريعة لمستوى الخدمة والسعة، لا سيما بالنسبة إلى الأعداد الكبيرة من المرافق.

٣-٧ تحليل المحاكاة المجهرية (Microsimulation):

يناقش تبرير تحليل المحاكاة المجهرية في الجزء الفرعي (ب-٣-٢) من الملحق (ب).

تتطلب برامج المحاكاة المجهرية تطبيق نماذج تتابع-المركبات (car-following)، وتغيير-المسار (lane-changing)؛ لمحاكاة التدفق المروري على مرفق النقل. وتستخدم نماذج المحاكاة المجهرية للمرور معلومات المدخلات (مثال: الحجم المروري ونوع المرفق وخصائص المركبة والسائق) من أجل تحريك المرور باستخدام قواعد التسارع، وقبول الفجوات (gap acceptance)، وتغيير-المسار البسيطة على أساس جزء من الثانية (الخطوة الزمنية). ولا تستطيع نماذج المحاكاة المجهرية تحسين إشارات المرور، لكنها تتمتع بقدرة قوية على فحص الظروف المعقدة للازدحام المروري في المناطق الحضرية. وتُقدَّم المخرجات النموذجية لنموذج المحاكاة المجهرية لكل مركبة فردية في شكل تقارير نصية ورسوم متحركة مرئية.

يقدم الجزء (ب-٦) من الملحق (ب) إرشادات عن تحليل المحاكاة المجهرية للمرور من خلال إبراز الخطوات الرئيسة التي يجب اتباعها عند إجراء تحليل المحاكاة المجهرية.

٣-٨ مقاييس فعالية الأداء:

مقاييس فعالية الأداء: عبارة عن مقاييس كمية تحدد أداء مرفق النقل. ومقاييس فعالية الأداء التشغيلية: عبارة عن مخرجات رقمية من التحليل المروري. وهي مقاييس تُستخدم لتقييم الأداء التشغيلي لشبكات النقل الحالية والمستقبلية. وتضمن مقاييس أداء الظروف الحالية تسهيل مواءمة الرؤية لإعادة تشكيل أنظمة النقل للمستقبل. وتوفر مقاييس أداء الظروف المستقبلية صلة بين غاية الجهة والنتيجة النهائية الناتجة عن عمليات تحسين النقل.

كما تُستخدم مقاييس الفعالية لمقارنة أداء النظام في وجود بدائل تصميم أو تحسين مختلفة. وينبغي أن يكون المحلل على دراية بأي قيود لمقاييس الفعالية وقادرًا على تحديدها من أجل قياس أداء النظام المراد تقييمه.

مقاييس الفعالية خاصة لكل مشروع، وينبغي تحديدها والاتفاق عليها في منهجية التحليل المروري. وتمثل مقاييس الفعالية المحددة جزءًا من معايير تقييم البدائل. وينبغي تضمينها في مصفوفة التقييم التي تحتوي على مقاييس أخرى (تتعلق بالتكلفة والتأثير البيئي) تُستخدم في تقييم البدائل. وإذا حُدِّد الغرض والحاجة في أثناء التحليل الناتج عن مقاييس فعالية إضافية أو مختلفة، فينبغي تقديم الوثائق الخاصة بهذا التغيير.

كما ينبغي أن تحدد منهجية الدراسة جميع مقاييس الفعالية للتشغيل المروري التي ستُستخدَم لقياس أداء النظام والبدائل الخاضعة للتقييم. ومن المهم وصف مقاييس الفعالية على أنها مقاسة ميدانيًا أو حُقِّقت بشكل تحليلي.

٣-٨-١ مستوى الخدمة (LOS) ونسبة الحجم إلى السعة (V/C):

تتمثل مقاييس الفعالية الشائعة المستخدمة لتقييم أداء المرفق في مستوى الخدمة ونسبة الحجم إلى السعة الواردة في دليل سعة الطرق. ويجب أن تكون عمليات التشغيل ذات مستوى خدمة بمقياس (و) أو (F)، أو نسبة حجم إلى سعة (V/C ratio) أكبر من ١,٠ غير مقبولة. وليس بالضرورة أن يقدم مستوى الخدمة وحده فكرة عن الأداء العام للمرفق. فضلًا عن ذلك، لا يُبلغ عن نسبة الخدمة مباشرةً من قِبل العديد من برامج التحليل (مثل معظم برامج المحاكاة المجهرية). ومن ثَمَّ، ينبغي تضمين مقاييس إضافية قابلة للقياس الكمي في التحليل لتقييم أداء النظام أو الشبكة الخاضعة للتحليل بشكل أفضل. وينبغي أن يسعى المحلل للحصول على إسهامات من الأطراف المعنية في المشروع عند تحديد مقاييس الفعالية للمشروع.

يحتوي الجزء (ب-٧) من الملحق (ب) على إرشادات تكميلية بشأن مقاييس فعالية الأداء.

٣-٩ تقارير تحليل المرور ونمذجته:

ينبغي إعداد التقرير المروري والوثائق الداعمة له، مثل المذكرات والبيانات الفنية، بواسطة متخصصين معتمدين في مجال النقل. ويتمثل الغرض من هذا الجزء في تقديم إرشادات لإعداد التقارير الفنية المرورية. ويناقش هذا الجزء الموضوعات الآتية.

١- تقرير التحليل المروري.
٢- المذكرة الفنية.
٣- مراجعة التحليل المروري.

ينبغي أن تتضمن وثائق التحليل المروري جزأين: تقرير التحليل المروري للمشروع والمذكرات الفنية. وينبغي أن يوثق تقرير التحليل المروري للمشروع افتراضات التحليل ونهجه وجمع البيانات والتحليل ونتائجه بالتفصيل. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي إعداد التقرير بالتفصيل لتوثيق أو دعم الافتراضات والنتائج والتوصيات والقرارات التي أُتخذت استنادًا إلى التحليل. وينبغي أن يتضمن التقرير النهائي ملخصات جميع المذكرات الفنية المرحلية المعدّة والمقدّمة في شكل مذكرات فنية أو تقارير مرحلية لمعالجة مرحلة أو أكثر من مراحل عملية التحليل. ويمكن إرفاق المذكرات الفنية في تقرير التحليل المروري على أنها ملاحق.

٣-٩-١ تقرير التحليل المروري:

ينبغي أن يعتمد حجم التقرير على حجم المشروع وتعقيده. وبغض النظر عن التعقيد، ينبغي أن يتضمن تقرير التحليل المروري على الأقل العناصر الواردة في الجدول (٣-١). كما ينبغي تقسيم التقرير إلى أقسام منطقية يسهل على الجمهور المستهدف متابعتها وفهمها. وينبغي أن تكون جميع العروض التي على شكل رسوم بيانية وجداول، الواردة في التقرير مدعومة بنص. وينبغي إعداد التقرير في عملية مكونة من مرحلتين. وتتمثل المرحلة الأولى في تقرير المشروع لتقديم نتائج التحليل، بينما تتمثل المرحلة الثانية في التقرير النهائي الذي يضم أي تعليقات وردت من مراجعة تقرير المشروع.

الجدول (٣–١) مخطط نموذجي لتقرير التحليل المروري (المصدر: FDOT, (2021b) – Figure 10-1).

١- صفحة العنوان.
٢- ملخص تنفيذي.
٣- جدول المحتويات:
أ. قائمة الأشكال.
ب. قائمة الجداول.
٤- مقدمة:
أ. وصف المشروع المقترح.
ب. هدف التحليل، ونطاق المشروع.
ج. خريطة موقع المشروع.
٥- منهجية التحليل
أ. منهجية التحليل وافتراضاته.
ب. حدود التحليل: الزمانية والمكانية.
ج. أدوات التحليل.
٦- متطلبات البيانات:
أ. متطلبات البيانات، ومصادرها.
ب. منهجية جمع البيانات.
ج. ملخص جمع البيانات، والملاحظات الميدانية.
٧- التحليل الأساسي (تحليل الظروف الحالية):

النهج التحليلي:

أ. التحليل التشغيلي للظروف الحالية.
ب. تحليل السلامة استنادًا إلى بيانات الحوادث، وإجراءات دليل سعة الطرق حسب الاقتضاء.
ج. التقييم متعدد وسائل النقل.

نهج المحاكاة:

أ. إعداد نموذج الأساس.
ب. التحقق من النموذج/تدقيق الأخطاء.
ج. معايرة النموذج.
د. التحقق من النموذج (ترسيخه).

٨- تحليل البدائل:
أ. البديل في حالة عدم الإنشاء.
- توقعات الطلب للعام المقبل.
- التحليل في حالة عدم الإنشاء (التشغيل والسلامة).

ب. بدائل أولية:
- وضع مفاهيم المشروع.
- فحص المفاهيم.

ج. البدائل في حالة الإنشاء:
- البدائل المدروسة.
- تنبؤات حجم المرور ونمط الرحلات ومساراتها وافتراضاتها.
- اعتبارات التصميم.
- تطوير النموذج (نهج المحاكاة فقط).
- التحليل التشغيلي.
- تحليل السلامة.

د. مصفوفة تقييم البدائل ووصف نجاح البدائل أو فشلها.
٩- الاستنتاجات والتوصيات.
١٠- المراجع.

٣-٩-٢ المذكرات الفنية:

المذكرات الفنية عبارة عن تقارير مرحلية توثق القضايا الفنية ذات الصلة بعملية التحليل في أثناء تطوير المشروع. وتمنح هذه المذكرات الجهة المعنية بالمراجعة فرصة لمراجعة نتائج الدراسة قبل اكتمال التحليل وإعداد التقرير النهائي. ويعتمد عدد المذكرات الفنية ومحتوياتها على نوع التحليل وتعقيده، وينبغي تضمينها في منهجية التحليل، والاتفاق عليها مع الجهة المعنية بالمراجعة. وينبغي على الجهة المعنية بالمراجعة مراجعة محتوى المذكرات الفنية، والموافقة عليها قبل أن يقوم المحلل بإعداد التقرير النهائي.

بشكل عام، ينبغي تقديم المذكرات الفنية الآتية بناءً على طلب الجهة المعنية بالمراجعة قبل إعداد تقرير التحليل المروري النهائي:

- **تقرير الظروف الراهنة**. ينبغي أن يقدم هذا التقرير نظرة عامة على حالة شبكة النقل الحالية الخاضعة للدراسة. ويتمثل الغرض من هذا التقرير في تحديد سياق لفهم الظروف الراهنة في الشبكة، وتقييم المشكلة المراد حلها من خلال الدراسة المرورية. وتُستمد محتوياته من الملاحظات الميدانية، وجمع البيانات من مختلف المصادر، ومن تحليل البيانات الحالية.
- **تقرير معايرة النموذج**. يضمن هذا التقرير توثيق عملية المعايرة والتحقق (الترسيخ) والتغييرات الناتجة التي أُجريت على النموذج الأساسي. وينبغي أن يقدم التقرير تبريرًا لأي تغييرات تطرأ على قيم المعلمات الافتراضية والتعدادات الداعمة التي تقارن بين مقاييس الفعالية التي قيست ميدانيًا ومقاييس الفعالية للمعايرة. ويرد تنسيقٌ لهذا التقرير في الجزء الفرعي (ب-٦-٦) من الملحق (ب).
- **تقرير التنبؤات المرورية للمشروع**. يعرض هذا التقرير عملية التنبؤات المرورية، ويوثق الإجراءات والافتراضات والنتائج. وتتضمن محتوياته وصف نموذج الطلب على النقل وبيانات المدخلات والبدائل وتنبؤات الطلب لكل بديل حُلل. ويُعد التقرير مهمًا؛ لأن توقعات الطلب للعام المقبل تشكل أهمية بالغة في دقة تحليل البدائل. ويُنصح بالاتفاق على نتائج التنبؤات المرورية من قِبل جميع الأطراف قبل أن يواصل المحلل تحليل البدائل.
- **تقرير تحليل البدائل**. يلخص هذا التقرير النتائج المرحلية لتحليل البدائل.

٣-٩-٣ مراجعة التحليل المروري:

ينبغي أن تستند مراجعة تقرير التحليل المروري والموافقة عليه إلى منهجية التحليل والمعلومات الواردة في التقرير المقدم وغيره من الوثائق الفنية المرحلية التي تتضمن أدلة النماذج. وتخضع وثائق التحليل المقدمة لمراجعة مستقلة من قِبل مختص مؤهل ومعتمد، والتي يمكن أن تشمل إعادة إنشاء نماذج التحليل. وعلى هذا الأساس، ينبغي للمحلل تقديم أدلة النماذج أو التحليل؛ لمراجعتها قبل تقديم تقرير مسودة المشروع. ويجب التوصل إلى اتفاق بشأن نهج التحليل والافتراضات والمخرجات قبل إعداد التقرير.

٤- اللافتات الإلكترونية في الإدارة المرورية:

٤-١ مقدمة:

٤-١-١ النطاق:

يجب أن ينطبق هذا الباب على متطلبات حالات استخدام اللافتات الإلكترونية في الإدارة المرورية.

٤-١-٢ المواصفات والإرشادات:

يجب أن تكون جميع الإرشادات والإجراءات المتعلقة باللافتات الإلكترونية على النحو المحدد هنا، وباقي نصوص كود الطرق السعودي.

٤-١-٣ موجز الأجزاء:

الجزء (٤-١): يقدم (هذا الجزء) معلومات أولية والسياق.

الجزء (٤-٢): يقدم المتطلبات العامة بشأن استخدام اللافتات الإلكترونية.

الجزء (٤-٣): يناقش تطبيقات لافتات الرسائل المتغيرة، ويُعطي المبادئ العامة لاستخدامها.

الجزء (٤-٤): يصف متطلبات واجهات لافتات الرسائل المتغيرة/لافتات الرسائل القابلة للتغيير.

الجزء (٤-٥): يقدم متطلبات موقع لافتات الرسائل المتغيرة/لافتات الرسائل القابلة للتغيير ومسافة تباعدها.

الجزء (٤-٦): يناقش السياق الأساسي لاستخدام اللافتات الإلكترونية لحد السرعة.

الجزء (٤-٧): يصف تطبيقات لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة ومتطلبات تطبيقها.

الملحق (ج): يشتمل على توصيات إضافية، وعلى معلومات أساسية عن تطبيقات اللافتات الإلكترونية.

٤-١-٤ التفسير والملاحظات:

يمثل تطبيق الإرشادات المتعلقة باللافتات الإلكترونية، الموصوفة في هذا الباب شرطًا ملزمًا لكود الطرق السعودي. ويقدم الملحق (ج)، من بين أمور أخرى توصيات تكميلية يمكن أن يستخدمها مهندس المرور المعتمد (راجع الجزء ١-٢) بناءً على خبرته، وعلى متطلبات جهة النقل المسؤولة. وفيما يتعلق باللافتات الإلكترونية، يجب أن تتوافق جميع الإرشادات والتطبيقات الواردة في هذا الباب مع متطلبات التصميم والمواصفات الموضحة في كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري) وكود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) (مثال: الباب ١١).

٤-٢ اللافتات الإلكترونية:

تُستخدم اللافتات الإلكترونية بشكل أساسي في الأماكن التي تتغير فيها المعلومات التي يجب توفيرها لمستخدمي الطريق مع مرور الوقت. وتُعد اللافتات الإلكترونية جزءًا لا يتجزأ من أنظمة إدارة الطرق السريعة/شبه السريعة (freeway/expressway) ومناطق حد السرعة المتغير ومخططات إدارة الأحداث والفعاليات وأنظمة التحذير في المواقع ذات المخاطر العالية لحدوث اصطدامات وإدارة المرور في مواقع أعمال الطرق وتقديم معلومات لمستخدمي الطريق. كما يمكن استخدام أنظمة إدارة الحوادث التي تستخدم اللافتات الإلكترونية لتسهيل وصول المركبات في حالات الطوارئ إلى الحوادث التي تحدث فيها إصابات لمستخدمي الطرق. ويدعم هذا التطبيق استجابة خدمات الطوارئ بعد وقوع الحادث.

على غرار اللافتات الثابتة، فإن فعالية الاتصال وكفاءته مع السائقين ومستخدمي الطريق الآخرين سيحقق الاستجابة المطلوبة ويعزز السلامة. ويكمن الهدف في تقليل عبء الحمل الإدراكي؛ لا سيما في الحالات المعقدة، وتجنب تشتيت الانتباه، وتقليل أوقات المعالجة والاستجابة. ولتحقيق ذلك ينبغي أن تكون اللافتات الإلكترونية:

- واضحة ومقروءة.
- موضوعة في المكان المناسب (بشكل طولي وأفقي).
- متناسقة مع اللافتات الأخرى وبيئة الطريق.
- موجزة.
- ذات صلة بالهدف المنشود من وضعها.

يمكن وضع اللافتات الإلكترونية إما فوق الطريق أو بجواره، ويمكن استخدامها على أنها لافتات تنظيمية، وتحذيرية، وإرشادية، ومعلوماتية. ويمكن تنفيذها بوصفها لافتات دائمة (ثابتة)، أو متنقلة (مثبتة عادةً على مقطورة).

٤-٣ لافتات الرسائل المتغيرة:

تعرض لافتات الرسائل المتغيرة (VMS) ولافتات الرسائل القابلة للتغيير (CMS) رسائل ولّدت إلكترونيًا، ويمكن تغييرها لعرض معلومات نصية وأرقام ورموز محددة مسبقًا، أو غير مقيدة على النحو الآتي:

- تستطيع لافتات الرسائل المتغيرة تقديم معلومات متغيرة غير محدودة. ويمكن أن يكون العرض عبارة عن مصفوفة كاملة كبيرة أو مصفوفة تتألف من مجموعة مصفوفات مرتبة في صفوف وأعمدة.
- تستطيع لافتات الرسائل القابلة للتغيير تقديم معلومات متغيرة من عدد محدود من العروض الثابتة. وبشكل عام؛ فإنها تُصمّم لتشبه اللافتات الثابتة على جانب الطريق مع ما يصل إلى ثلاثة عروض مختلفة. وتتوفر أيضًا في أشكال تستخدم إضاءة صمام ثنائي باعث للضوء (LED) أو تقنية الألياف الضوئية؛ لعرض الرموز والرسائل المختلفة.

يعتمد التشغيل اليدوي في الأساس على مجموعة معدة مسبقًا من الرسائل العامة؛ ويمكن أيضًا استخدام النصوص الحرة. ويستخدم التشغيل شبه الآلي كاميرات أجهزة استشعار المركبات أو كاميرات الدائرة التلفزيونية المغلقة التي يمكن ربطها بأجهزة الإنذار لتقديم تحذير من وقوع حادث والتوصية برسائل محددة للتنفيذ من قِبل مشغل مركز الإدارة المرورية.

تتطلب الأنظمة المؤتمتة بالكامل تكامل أنظمة استشعار الحوادث مع اختيار الرسائل ونشرها لإدارة الحوادث والازدحام وتأثير ظروف الطقس السيئة.

٤-٣-١ المبادئ العامة:

ينبغي أن تعتمد فعالية أي لافتة طريق على العوامل الواردة في الجزء (٤-٢). وعلى غرار اللافتات الثابتة ينبغي أن تكون لافتات الرسائل المتغيرة واضحة، ويمكن قراءتها بسهولة عند سرعات التشغيل العادية.

ولا توجد صيغة واحدة لإنتاج لافتات رسائل متغيرة يمكن فهمها بسهولة. ومن العوامل المهمة أن تتسم بالبساطة والوضوح وتلبية احتياجات سائقي المركبات.

ويرد في الملحق (ج) إرشادات إضافية بشأن رسائل لافتات الرسائل المتغيرة.

٤-٣-٢ التطبيقات:

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة لمجموعة واسعة من التطبيقات المتعلقة بالحوادث والازدحام المروري والإدارة المرورية وسلامة الطرق، ويشمل ذلك على سبيل المثال لا الحصر:

- إدارة الحوادث في موقع ما أو على طول طريق، عادةً على الطريق السريع/شبه السريع؛ لإبلاغ السائقين بالحادث والإجراء المطلوب. ويمكن أن يشمل ذلك تحويل المرور من خلال استخدام لافتات "الحالة" و"مغلق" على أحد الطرق الشريانية المجاورة.
- تحذيرات بشأن أحوال المرور أو الطريق في اتجاه اللافتة.
- تحذير من حالات يُحتمل أن تكون مشكلة تتعلق بسلامة الطرق.
- تقديم معلومات عن الفعاليات المخطط لها في المستقبل.
- التحكم المروري في أثناء تنفيذ أعمال الطرق أو الصيانة أو الفعاليات الكبرى.
- إرشاد السائقين الذين يبحثون عن مواقع المواقف.
- معلومات عن زمن الانتقال.
- أجهزة استشعار ارتفاع المركبة.
- حالة الطقس.
- السرعة الآمنة، مثبتة على مقطورة.
- التحقق من عداد السرعة.
- الاتجاهات نحو التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، والتي لها قيود شديدة على مجال الرؤية بسبب الانحناء الأفقي أو الرأسي.
- الاتجاهات نحو التقاطعات الريفية التي بها مشكلة تتعلق بالسلامة.

لذلك ينبغي أن تتيح لافتات الرسائل المتغيرة الاتصال المباشر وفي الوقت المناسب مع مستخدمي الطرق؛ لتقديم مجموعة واسعة من المعلومات المهمة. ومع ذلك، ينبغي أن ترافق هذه المرونة مسؤولية تقديم معلومات متسقة في تنسيق قياسي واستخدام الأجهزة للأغراض المناسبة فقط. انظر الشكل (٤-١).

ترد إرشادات إضافية عن رسائل لافتات الرسائل المتغيرة في الجزئين (ج-١) و (ج-٢) من الملحق (ج).



الشكل (٤–١) لافتة الرسائل القابلة للتغيير المثبتة فوق الطريق (المصدر: (Royal Commission for Riyadh City)).

٤-٤ واجهات اللافتات:

٤-٤-١ الخصائص العامة:

٤-٤-١-١ أبعاد اللافتة:

ينبغي أن تعتمد أبعاد لافتات الرسائل المتغيرة على موقعها، حيث تتطلب السرعات العالية أحجامًا أكبر للأحرف من أجل توفير مسافة مناسبة لقابلية القراءة. وسيحدد حجم الحرف وعدد الأحرف والأسطر الأبعاد الكلية للافتات الرسائل المتغيرة، وما إذا كانت تعرض رسمًا تصويريًا أم لا.

وتتطلب السرعات الأعلى عمومًا في المناطق الريفية وعلى الطرق السريعة/شبه السريعة الحضرية أحرفًا أكبر حجمًا ومن ثَمَّ لافتات رسائل متغيرة أكبر من تلك المستخدمة في الطرق الشريانية في المناطق الحضرية. وعند تحديد الحجم، ينبغي مراعاة التأثير البصري على أي منطقة؛ لا سيما عند استخدامها على الطرق الشريانية الحضرية، رغم أنه يمكن أيضًا مراعاة التشويش على الرؤية في بعض الحالات الحضرية.

٤-٤-١-٢ لون الخطوط ونسبة التباين:

ينبغي اعتماد الخطوط والألوان ونسبة التباين المستخدمة في لافتات الرسائل المتغيرة وفقًا لكود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها – المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) (الباب ١١) وكود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري) (الباب ٣).

٤-٤-٢ قابلية القراءة:

تُحدّد مسافة قابلية القراءة بشكل أساسي من خلال نوع الحروف الأبجدية، وحجمها، وما إذا كانت الأحرف الكبيرة أو الصغيرة مستخدمة (ينطبق فقط في حالة الحروف الإنجليزية). وتشمل العوامل الأخرى العوائق وزاوية المشاهدة. وينبغي أن تكون مسافات قابلية قراءة اللافتة فيما يتعلق بلافتات الرسائل المتغيرة مماثلة للمسافات الموصوفة عادةً للافتات العاكسة العادية، والتي تشمل المسافات التراكمية المقطوعة أثناء:

- مشاهدة اللافتة، أو مسحها بصرياً.
- قراءة اللافتة.
- عدم القدرة على قراءة اللافتة: أي أنها قريبة جدًا، أو بزاوية كبيرة جدًا.

يمكن تقدير لافتات الرسائل المتغيرة عمومًا على أنها مُرضية في نطاق زوايا عرض تبلغ ١٠ درجات أفقيًا و ٥ درجات رأسيًا. وينبغي أن توفر مواصفات لافتات الرسائل المتغيرة نسبة إضاءة مناسبة؛ لضمان إمكانية قراءة اللافتات بهذه الزوايا.

٤-٥ الموقع والتباعد:

ينبغي وضع جميع لافتات الرسائل المتغيرة/لافتات الرسائل القابلة للتغيير؛ بحيث يمكن قراءتها بوضوح لجميع مستخدمي الطريق ولا تنافس لافتات المرور الأخرى أو أجهزة التحكم المروري أو الأثاث على جانب الطريق. وينبغي عدم وضع لافتات الرسائل المتغيرة في المواقع التي ستكون مخفية جزئيًا فيها بواسطة أي أجسام أو أثاث أو نباتات على جانب الطريق.

إضافةً إلى ذلك، ينبغي وضع لافتات الرسائل المتغيرة بحيث يمتلك مستخدمو الطريق الوقت للاستجابة إلى الرسائل المقدمة، وبالتالي يجب وضعها على مسافة كافية قبل نقاط اتخاذ القرار الرئيسة. وعلى الطرق السريعة/شبه السريعة، توجد نقاط اتخاذ القرار الرئيسة عند منحدرات المخارج؛ حيث إنه من المرجح أن تُستخدَم للتحويلات، رغم أنه في بعض الحالات تُنشأ معابر متوسطة لهذا الغرض.

ستعتمد مواقع لافتات الرسائل المتغيرة في أنظمة إدارة الطرق السريعة/شبه السريعة على مدى النظام المطلوب لتحقيق أهداف إدارة المرور، والتكلفة التي تكون جهة الطرق على استعداد لتكبدها؛ من أجل تلبية متطلبات موقع معين.

يجب أن يتوافق موقع لافتات الرسائل المتغيرة/لافتات الرسائل القابلة للتغيير وتباعدها مع المتطلبات الواردة في باب اللافتات الإلكترونية (الباب ١١) من كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها – المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة)، و (الباب ٣) من كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري).

ترد إرشادات إضافية عن موقع لافتات الرسائل المتغيرة/لافتات الرسائل القابلة للتغيير وتباعدها في الجزء (ج-٣) من الملحق (ج).

٤-٦ اللافتات الإلكترونية لحد السرعة:

اللافتات الإلكترونية لحد السرعة (ESL) عبارة عن لافتات مضاءة تتوافق مع الشكل والألوان المحددة للافتات حد السرعة في قواعد السير على الطريق، ويمكن تغييرها باستخدام وسائل إلكترونية. ويعرض الشكل (٤-٢) مثالًا على حد السرعة الإلكترونية قيد الاستخدام. ومن بين الميزات الاستثنائية لحدود السرعة الإلكترونية أنها تسمح بتغيير حد السرعة؛ بناءً على مجموعة متنوعة من الظروف المحددة. ويمكن أن يكون مقدار التفاوت بقدر بساطة بدء تشغيلها أو إيقاف تشغيلها (على سبيل المثال: عندما تشتغل يكون حد السرعة على النحو المعروض، وعند إيقاف تشغيلها ينطبق حد السرعة الافتراضي لهذا الجزء من الطريق).

يمكن استخدام اللافتات الإلكترونية لحد السرعة مع لافتة رسائل متغيرة عامة، ولكن لا يُعد دمج لافتات حد السرعة في شاشة عرض واحدة مع لافتات الرسائل الأخرى من الممارسات الجيدة.



الشكل (٤–٢) لافتة حد السرعة الإلكترونية في أبو ظبي لأجل الظروف الجوية القاسية (المصدر: Khaleej Times, (2022)).

تشمل الفوائد المحتملة لحد السرعة المتغير انخفاض عدد الحوادث وتقليل خطورتها وتحسين تدفق المرور وتقليل احتمالية وقوع الحوادث وتقليل التأخير في بعض الحالات. كما يمكن اعتبار تركيب اللافتات الإلكترونية لحد السرعة في الحالات التي تتميز بما يأتي:

- سجل من معدلات الحوادث المرتفعة المرتبطة بسرعات المرور العالية، وأحجام المرور المرتفعة خلال أوقات محددة.
- حالات تباين كبيرة في سرعات المركبات (مثال: التوقف المفاجئ).
- فترات ارتفاع مخاطر نشوب تعارض مع مستخدمي الطرق غير المحميين (مثل المشاة وراكبي الدراجات).
- الازدحام المروري الكبير وتشكل صفوف انتظار.
- سجل من ظروف القيادة المحفوفة بالمخاطر في أثناء ظروف الطقس السيئة أو ظروف الطريق السيئة.

لفرض حد السرعة المتغير يلزم الاحتفاظ بسجلات الأوقات التي تعمل فيها مختلف حدود السرعة.

يرد في الجزء (ج-٥) من الملحق (ج) إرشادات عن استخدام اللافتات الإلكترونية لحدود السرعة.

٤-٧ لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة:

لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة هي لافتات متنقلة مثبتة على مقطورة، وينبغي استخدامها فقط عندما تكون ضرورية لتحسين إدارة المرور المتعلقة بحادث أو حدث كبير. وينبغي بشكل عام عدم استخدامها لعرض رسائل الإعلانات التجارية.

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة؛ لأغراض إدارة المرور في الحالات الآتية:

- في مواقع إنشاء الطرق وصيانتها.
- في المناطق المحيطة بالفعاليات الكبرى.
- لإدارة الحوادث في الأماكن التي لا تتوفر فيها لافتات رسائل متغيرة دائمة أو في حالة تعطلها، أو عندما يكون التباعد بين لافتات الرسائل المتغيرة الدائم غير قادر على إعطاء تحذير مناسب لحدث كبير.

- للتشجيع على القيادة بسرعات منخفضة في الشوارع المحلية.

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة بشكل عام في مواقع أعمال الطرق، أو مع الفعاليات الكبرى بغرض:

- تحذير سائقي المركبات مسبقًا من أنشطة إنشاء الطرق أو صيانتها، أو الفعاليات التي يمكن أن تسبب التأخير خلال فترة مستقبلية.
- تقديم المشورة لسائقي المركبات بشأن التأخير المحتمل والطرق البديلة المناسبة خلال مدة الأعمال أو الفعالية.

تنطبق مبادئ قابلية القراءة والموقع وتصميم اللافتة والرسالة على لافتات الرسائل المتغيرة الدائمة والمتنقلة على حدٍ سواء. ومع ذلك تتطلب الجوانب الآتية مراعاة استخدام اللافتات المتنقلة وتحديد أماكنها:

- ينبغي توفير مسافة كافية للقراءة، ما يسمح بقراءتها عند وجود أي عوائق.
- ينبغي تحديد وضعها العرضي؛ بحيث يمكن قراءة اللافتة بسهولة.
- حيثما أمكن، ينبغي وضعها على الحافة خلف أي كتف موجودة.
- ينبغي عدم وضعها على مسارات الدراجات، أو ممرات المشاة المشتركة.
- حيثما أمكن، ينبغي وضعها خارج المنطقة الخالية المقابلة لسرعة المرور السائدة.
- ينبغي وضع اللافتات بعيدًا عن أي أثاث على جانب الطريق والشوارع والمداخل الجانبية بحيث لا يحدث إخلال بالرؤية المطلوبة للافتات الدائمة، ومسافات الرؤية لدخول السائقين.
- ينبغي وضعها على مسافة ٣٠٠ مترًا على الأقل من أقرب لافتة رسائل متغيرة دائمة.
- عند وضعها على ممرات المشاة يجب توفير خلوص أفقي ورأسي مناسبين للمشاة، ويشمل ذلك الناس الذين يستخدمون الكراسي المتحركة.
- ينبغي عدم وضعها على جانبي الطريق في الموقع نفسه إذا كانت هناك حاجة إلى لافتات منفصلة لكل جانب من جانبي الطريق (مثال: رسائل مختلفة أو مشكلات في الرؤية).
- ينبغي إمالة اللافتات بمقدار ٣ إلى ٥ درجات بعيدًا عن الاتجاه العمودي على حافة الطريق من أجل تقليل الوهج.
- في حالة استخدامها بشكل متقطع طوال مدة حادث أو فعالية، يجب إمالة اللافتة بعيدًا عن السائقين عند عدم استخدامها لبث الرسائل.
- ينبغي تثبيت المقطورة التي تحمل اللافتة لمنع تحركها بفعل أحمال الرياح أو بواسطة المخربين.

٥- إدارة نقل البضائع:

٥-١ مقدمة:

٥-١-١ النطاق:

يقدم هذا الباب إرشادات لتحسين أداء نظام حركة البضائع.

٥-١-٢ المواصفات والإرشادات:

لا توجد مواصفات وإرشادات لإدارة حركة البضائع قابلة للتطبيق في كود الطرق السعودي، بخلاف محتويات هذا الباب والملحق ذي الصلة.

٥-١-٣ موجز الأجزاء:

الجزء (٥-١): يقدم (هذا الجزء) معلومات أولية والسياق.

الجزء (٥-٢): يلقي نظرة عامة على نقل البضائع.

الجزء (٥-٣): يقدم استراتيجيات التشغيل لحركة نقل البضائع في المناطق الحضرية والشبكات.

الجزء (٥-٤): يناقش سياق ومتطلبات خطط النقل البري الإقليمي للبضائع.

الملحق (د): يقدم معلومات وإرشادات أساسية عن استراتيجيات/مبادرات نقل البضائع المحتملة للمناطق الحضرية.

٥-١-٤ التفسير والملاحظات:

تُعد إرشادات حركة البضائع الموصوفة في هذا الباب شرطًا مُلزمًا لكود الطرق السعودي. ويجب على مهندس/مدير المرور المعتمد (راجع الجزء ١-٢) استخدام المواد المقدمة هنا على النحو المناسب. فضلًا عن ذلك على مهندس/مدير المرور تطبيق الإرشادات الإضافية الواردة في الملحق (د) بناءً على رأيه الخبير وعلى متطلبات جهة النقل المسؤولة.

٥-٢ نظرة عامة على نقل البضائع:

يُعد النقل على الطرق في المملكة العربية السعودية أهم وسائل نقل البضائع. ويتضح النمو الاقتصادي من خلال ارتفاع نمو قطاع النقل في المملكة، إضافةً إلى أن البنى التحتية للطرق الحالية مثقلة بأحجام نقل البضائع المتزايدة.

ويمثل نقل البضائع الفعال والسلس أمرًا حيويًا؛ لتقديم الدعم الفعال إلى إدارة سلسلة التوريد للمنتجات، والتي يرتكز عليها مستوى عالٍ من النشاط الاقتصادي والإنتاج الصناعي. ويقتضي الاقتصاد المستدام والمجتمع الصالح للعيش إنشاء شبكة نقل للبضائع على الطرق تتسم بالفعالية والأمان وصديقة للبيئة.

يُظهر نقل البضائع مقارنةً بالمرور العام على الطرق المزيد من تنوع الخصائص والاحتياجات (مثال: أنواع المركبات وأدائها وأنماط التوزيع/التوصيل وما إلى ذلك). وينبغي دمج هذا التنوع في عملية تخطيط المسارات وإدارتها.

ينبغي تقسيم شبكات مسارات نقل البضائع إلى فئتين رئيستين:

- الشبكات الأساسية التي يمكن أن تخدم المسافات الطويلة، والمناطق الصناعية الاستراتيجية، ومحطات الشحن والمراكز المحورية.
- شبكات التوزيع التي يمكن أن تخدم العديد من المنابع والمقاصد في إحدى المناطق الإقليمية أو المحلية.

يعرض (الجدول (٥-١) الخصائص الرئيسة لكل فئة منها.

الجدول (٥–١) خصائص مسارات نقل البضائع (المصدر: AUSTROADS, (2020b) – Table 4.8).

نوع المسار	نوع الحركة والمكان	خصائص المسار
الشبكات الأساسية لنقل البضائع.	حركة مخصصة دون وجود جوانب مكانية.	• يربط المناطق الاقتصادية المهمة من الناحية الاستراتيجية (مراكز البضائع الرئيسة ومناطق الصناعة والزراعة والتصنيع والمحطات متعددة الوسائط والموانئ البحرية والمطارات). • يحتوي على عدد كبير نسبيًا من مركبات البضائع الثقيلة على مدار معظم اليوم. • يوفر الوصول إلى حركات مركبات نقل البضائع لمسافات طويلة.
	حركة كبيرة مع بعض الجوانب المكانية.	• شبكات أساسية لنقل البضائع ذات وظائف منخفضة للمكان. ويمكن أن تكون فئة الحركة والمكان عبارة عن ممر حركة (مثال: طريق حضري/طريق شرياني رئيس).
التوزيع (ثانوي).	حركة كبيرة مع بعض الجوانب المكانية.	• تكملة الشبكات الأساسية لنقل البضائع. • توفير الوصول شبه الإقليمي (الحضري والريفي) إلى الشبكات الأساسية لنقل البضائع. • توفير روابط شبه إقليمية (حضرية وريفية) بين مقاصد نقل البضائع. • يمكن أن يحتوي على نسبة أقل نسبيًا من مركبات نقل البضائع الثقيلة مقارنةً بالمسارات الرئيسة.

في هذا الباب، تُقدَّم إرشادات إدارة البضائع الخاصة بنقل البضائع، وتتميز بمحورين رئيسين:

١- شبكات نقل البضائع بشكل عام.
٢- أنظمة نقل البضائع في المدن الكبرى والمناطق الحضرية.

٥-٣ استراتيجيات التشغيل لحركة نقل البضائع:

٥-٣-١ استراتيجيات الشبكة:

تتضمن استراتيجية الشبكة الأساسية لحركة نقل البضائع تعيين مسارات محددة لاستخدام الشاحنات. وهذه استراتيجية مزدوجة تتكون من نهج *استشاري (إرشادي)* و*قانوني*، ويمكن تطبيقها على كل من الشبكات الحضرية والريفية.

يتعلق النهج الاستشاري بتحديد شبكة مسارات محوّلة بالفعل، أو يمكن تحويلها إلى خيار جذاب للشاحنات، ما يُبعدها عن المسارات الأخرى التي تقل رغبة وجودها فيها. ويمكن أن تشكل العديد من الطرق الشريانية جزءًا من شبكة استشارية. ويُعد تعيين المسارات الرئيسة والثانوية لنقل البضائع مثالًا على النهج الاستشاري.

يتعلق النهج القانوني بحظر الشاحنات من السير على بعض المسارات والمناطق التي لا يمكنها دعم عمليات نقل البضائع، والتي يمكن أن تتدهور بشكل كبير بسبب حركة نقل البضائع.

ينبغي أن تتضمن ممارسة نقل البضائع كلا النهجين.

٥-٣-١-١ تحديد مسارات الشاحنات واختيارها:

تُقدَّم مجموعة من العوامل التشغيلية، التي ينبغي مراعاتها والمتعلقة بتحديد مسارات الشاحنات واختيارها وتحسينها في الجدول (٥-٢) (Ogden, 2003) .

الجدول (٥–٢) عوامل تحديد مسارات الشاحنات واختيارها (المصدر: AUSTROADS, (2020b)).

١	ينبغي أن تشتمل مسارات الشاحنات على معظم الطرق السريعة/شبه السريعة، والطرق الشريانية الرئيسة مع وجود روابط الوصل والوصول عند الضرورة.
٢	ينبغي أن تخدم مسارات الشاحنات مولدات حركة مرور الشاحنات الرئيسة على نحو مريح ومباشر.
٣	ينبغي أن تكون مسارات الشاحنات صالحة من حيث التخطيط الهندسي (الجيومتري) المناسب، وقوة الرصف لتشغيل الشاحنات.
٤	ينبغي تجنب الطرق شديدة الانحدار؛ لا سيما في الأماكن التي تمثل فيها الضوضاء مشكلة.
٥	ينبغي النظر في استخدامات الأراضي المجاورة. وينبغي تجنب استخدامات الأراضي السكنية والتجارية والمناطق ذات النشاط العالي للمشاة قدر الإمكان.
٦	ينبغي مراعاة أحجام المرور على الطرق وسعات التقاطعات، وتأثير زيادة أحجام حركة الشاحنات عليها.
٧	ينبغي أن تتمتع مسارات الشاحنات باتصال جيد عبر الشبكة ويكون بها أقل عدد ممكن من المنعطفات الحادة.
٨	ينبغي أن تحظى مسارات الشاحنات بالأولوية على جميع الشوارع الجانبية الفرعية، وأن يُتحكَّم فيها عن طريق إشارات المرور أو أن يكون لها تقاطعات مفصولة رأسياً (محولات) عند التقاطعات الرئيسة.
٩	ينبغي أن يتوفر بها مرافق سهلة الوصول للسائقين والمركبات على امتداد المسارات الأكثر طولًا.
١٠	ينبغي أن ترشد اللافتات والخرائط الداعمة والمعلومات العامة الفعالة إلى الشبكة وظروفها.
١١	ينبغي استخدام مركبة تصميمية مناسبة؛ للتحقق من هندسة الطريق (الجيومترية) الحالية، والتحسينات المخطط لها.
١٢	ينبغي أن تتمتع المسارات بإمكانية المناورة الجيدة وإمكانية الوصول إلى نقاط المنبع-المقصد.
١٣	ينبغي تطوير شبكات مسارات الشاحنات بإجراء مشاورات وثيقة مع الجهات المحلية وقطاع النقل بالشاحنات.

٥-٣-١-١ تقييد وصول المركبات الثقيلة:

في النهج القانوني لإدارة شبكة الشاحنات، يوجد العديد من الأساليب المتاحة؛ لمنع وصول المركبات كبيرة الحجم إلى الطرق غير الملائمة فعليًا أو التي لا يتوافق استخدام أراضيها والأنشطة المجتمعية المرتبطة بها مع المركبات الثقيلة. ويمكن أن تكون هذه الأساليب تنظيمية، مثل لافتات "ممنوع مرور الشاحنات"، مع تحديد حد وزن المركبة الملحقة، أو مادية مثل حواجز تقييد الارتفاع أو العرض. وينبغي مراعاة احتياجات مركبات الخدمات، أو مركبات المنافع قبل تنفيذ القيود المادية.

من الواضح أن هناك حاجة إلى القدرة على إتاحة مواقع خدمة الشاحنات داخل منطقة محظورة أو مسار محظور، على سبيل المثال: عمليات التسليم داخل المنطقة المحظورة. ولذلك ينبغي أن تنص قواعد السير على الطريق -حسب الإمكان- على إعفاء من قيود "عدم مرور الشاحنات" للشاحنات التي تتجاوز وجهة وصولها لافتة التقييد ولا يوجد مسار بديل غير مقيد.

٥-٣-٢ استراتيجيات نقل البضائع في المدن الكبرى والمناطق الحضرية:

يعرض الجدول (٥-٣) مجموعة من إجراءات (مبادرات) القطاع العام التي يمكن مراعاتها في أثناء معالجة قضايا حركة البضائع في أغلب المدن الكبرى والمناطق الحضرية. ويمكن أن تشكل هذه الإجراءات سياسات وبرامج ومشاريع ويمكن تصنيفها في الفئات الثمانية المشمولة في الجدول (٥-٣).

الجدول (٥–٣) فئات مبادرات نقل البضائع الحضري (المصدر: (NCFRP, (2015).

١	إدارة البنية التحتية.	٥	التسعير، والحوافز.
٢	إدارة مناطق وقوف/تحميل المركبات.	٦	الإدارة اللوجستية.
٣	الاستراتيجيات المتعلقة بالمركبات.	٧	إدارة الطلب على نقل البضائع/استخدام الأراضي.
٤	إدارة المرور.	٨	إشراك الأطراف المعنية.

يمكن أن تكون المبادرات الواردة ضمن هذه الفئات الثمانية والموضحة في هذا الجزء الفرعي استباقية أو تفاعلية. وبالمقارنة عادةً مع المبادرات صغيرة النطاق، غالبًا ما يلزم تنفيذ المبادرات الكبيرة بطريقة أكثر استباقية لتحقيق الهدف المنشود. على سبيل المثال: ستكون إدارة استخدام الأراضي أكثر فعالية عندما يُدمَج نظام نقل البضائع في تخطيط استخدامات الأراضي.

ينبغي أن تتضمن عملية اتخاذ القرارات في الجهات العامة؛ بشأن قضايا نقل البضائع في المناطق الحضرية بعض التفاوت و/أو الدمج للخطوات الآتية:

١- تحديد الغايات والأهداف المراد تحقيقها.
٢- تعريف مقاييس الأداء (مقاييس النجاح).
٣- تحديد الأسباب الجذرية للقضايا.
٤- تحديد الإجراءات (المبادرات) الممكنة.
٥- تحليل أداء الإجراءات (المبادرات) الممكنة.
٦- تقييم الإجراءات (المبادرات) بناءً على مقاييس النجاح المحددة، واختيار البديل المفضل.
٧- إنشاء خطة عمل تضمن الآتي:
   أ- وصف البديل المفضل ومقايضاته والتوصيات ذات الصلة.
   ب- اقتراح نهج لتنفيذ التوصيات.
٨- تنفيذ خطة العمل.
٩- متابعة الخطة وإعادة تقييمها وتعديلها (عند الضرورة) بناءً على التقييمات الواردة.

يعرض (الجدول (٥-٣) الإجراءات (المبادرات) الرئيسة التي تندرج ضمن الفئات الثمانية، بينما يعرض الجزء (د-١) من الملحق (د) القضايا المتعلقة بحركة البضائع التي ربما تبرر تبنيها.

فضلًا عن ذلك، يقدم الجزء (د-٢) من الملحق (د) إرشادات إضافية عن احتياجات جمع عينة البيانات ومهام التقييم التي يمكن أن ترتبط بمجموعات المبادرات التي نوقشت في هذا الجزء الفرعي.

٥-٤ خطط نقل البضائع الإقليمية:

٥-٤-١ مقدمة:

تُشجّع مناطق المملكة العربية السعودية على إعداد خطط النقل الإقليمي للبضائع على الطرق التي تقدم خطة شاملة لأنشطة التخطيط الفوري وطويل المدى، واستثمارات كل منطقة فيما يتعلق بحركة نقل البضائع على الطرق. وتهدف هذه الخطط إلى تحسين سلامة نظام نقل البضائع على الطرق وكفاءته وزيادة مساهمة نقل البضائع على الطرق في القدرة التنافسية الاقتصادية

والحفاظ على البنية التحتية للطرق الإقليمية الأساسية وتحسينها وتقليل الآثار السلبية المرتبطة بنقل البضائع على المجتمعات الإقليمية، وأخيرًا، إنشاء عملية مستمرة لتخطيط نقل البضائع على الطرق؛ وفقًا لقرارات استخدامات الأراضي الإقليمية والقيم المجتمعية الإقليمية والوطنية.

٥-٤-٢ الغايات:

ينبغي أن تكمن الغايات الشاملة لخطط النقل الإقليمي للبضائع على الطرق فيما يأتي:

أ- تحديد الغايات والأهداف الاستراتيجية، ومقاييس الأداء ذات الصلة بنقل البضائع على الطرق.
ب- تحليل أداء السوق الذي يحدد القضايا بالغة الأهمية والاتجاهات والدوافع الاقتصادية لنقل البضائع على الطرق.
ج- وضع رؤية وإطار عمل؛ لتحسين حركة نقل البضائع على الطرق وتوزيعها.
د- التوصية باستراتيجيات ومبادرات لتحقيق الخطة.
ه- وصف التمويل والأطراف المعنية الأساسية والشراكات اللازمة لتحقيق الخطة.

٥-٤-٣ متطلبات الخطة:

يشمل الحد الأدنى من العناصر المطلوبة لخطة النقل الإقليمي للبضائع على الطرق ما يأتي:

١- تحديد الاحتياجات والقضايا المهمة لاتجاهات نظام النقل الإقليمي للبضائع على الطرق.
٢- وضع سياسات واستراتيجيات ومقاييس أداء (إن لم تكن موجودة) للنقل البري الإقليمي للبضائع على الطرق، والتي ستوجه قرارات استثمارات النقل المتعلقة بنقل البضائع على الطرق في كل منطقة.
٣- إعداد قائمة -عند الاقتضاء- بمرافق نقل البضائع الحضرية والريفية بالغة الأهمية، وممرات الطرق داخل المنطقة.
٤- وصف الطريقة التي ستعمل بها الخطة على تحسين قدرة كل منطقة على تلبية سياسات نقل البضائع الوطنية وغايات البرامج، ويشمل ذلك الأحكام ذات الصلة في كود الطرق السعودي.
٥- وصف الاستراتيجيات والتقنيات التشغيلية المبتكرة، بما يشمل أنظمة النقل الذكية وكيف تعمل على تحسين كفاءة نقل البضائع على الطرق وسلامته.
٦- وصف عمليات التحسين المطلوبة؛ لتقليل تدهور الطرق التي تسير عليها المركبات الثقيلة، أو منعه تماما.
٧- جرد المرافق التي بها مشكلات متعلقة بحركة نقل البضائع على الطرق (مثال: الاختناقات داخل المنطقة) ووصف الاستراتيجيات الإقليمية المستخدمة لمعالجة تلك المشكلات.
٨- وصف المشكلات الكبيرة المتعلقة بالازدحام أو التأخير التي تسببها حركات نقل البضائع على الطرق والاستراتيجيات المناسبة للتخفيف من هذه المشكلات.
٩- خطة استثمار في نقل البضائع على الطرق تدعم غايات حركة النقل الإقليمي للبضائع على الطرق.
١٠- ينبغي تحديث خطة النقل الإقليمي للبضائع على الطرق مرة كل ٥ سنوات على الأقل.

٦- تشغيل شبكات النقل الذكية:

٦-١ مقدمة:

٦-١-١ النطاق:

يقدم هذا الباب إرشادات خاصة بتشغيل شبكات النقل الذكية.

٦-١-٢ المواصفات والإرشادات:

لا توجد إرشادات خاصة بشبكات النقل الذكية قابلة للتطبيق في كود الطرق السعودي، بخلاف محتويات هذا الباب والملحق ذي الصلة.

٦-١-٣ موجز الأجزاء:

الجزء (٦-١): يقدم (هذا الجزء) معلومات أولية والسياق.

الجزء (٦-٢): يقدم الإطار الرئيس لتشغيل شبكات النقل الذكية، والأهداف، والغايات الأساسية.

الملحق (هـ): يقدم إرشادات مكثفة ومعلومات السياق الأساسية بشأن تشغيل شبكات النقل الذكية.

٦-١-٤ التفسير والملاحظات:

تُعد إرشادات تشغيل شبكات النقل الذكية الموصوفة في هذا الباب شرطًا مُلزمًا لكود الطرق السعودي. ويفترض هذا الجزء من هذا المجلد أن مهندس المرور المعتمد (راجع الجزء ١-٢) يمتلك المعرفة والخبرة والتجارب الكافية في تشغيل شبكة النقل، وعلى دراية بالعمليات والأنظمة ذات الصلة. ويجب على مهندس/مدير المرور استخدام المواد المقدمة هنا على النحو المناسب. فضلًا عن ذلك، على مهندس/مدير المرور تطبيق الإرشادات الإضافية الواردة في الملحق (هـ) - بناءً على خبرته، وعلى متطلبات جهة النقل المسؤولة.

٦-٢ الأهداف والمبادئ:

٦-٢-١ الأهداف:

يمثل التشغيل المروري أهمية بالغة لتنفيذ أهداف إدارة الشبكة التي تشمل الآتي:

- تحقيق أقصى قدر من السلامة التشغيلية وكفاءة شبكة الطرق.
- الحد من الآثار السلبية الناتجة عن تكرار الازدحام أو الأحداث غير المتكررة داخل شبكة الطرق.
- إمداد مستخدمي الطريق بالمعلومات الضرورية للمساعدة على دعم آرائهم بشأن الانتقال على الطرق، وتقليل التوتر في أثناء القيادة.
- تقديم مستوى الخدمة المطلوبة إلى مستخدمي الطريق ذوي الأولوية.

٦-٢-٢ التشغيل المروري والنظام الآمن:

النظام الآمن (AUSTROADS, 2020c) عبارة عن نهج لسلامة الطرق ينبغي أن يمثل أساس الاستراتيجيات وخطط العمل من أجل تقليل الحوادث على الطرق. ويتمثل الهدف في نهاية المطاف في منع وقوع وفيات وإصابات خطيرة ناتجة عن الحوادث على شبكة الطرق.

النظام الآمن عبارة عن نهج منظم يقر بترابط المكونات وينبغي أن تعمل معًا لتحقيق الأهداف المرجوة. ويمكن العثور على المزيد من المعلومات الشاملة عن نهج النظام الآمن في الملحق (ح) من كود الطرق السعودي ٦٠٣ (سلامة الطرق).

إن حركة النقل وسلامة الطرق ليست أهدافًا متضاربة ولا داعي للمفاضلة بينهما. وينبغي أن يكمن النهج المعاصر في السعي من أجل تحقيق التنقل الآمن. وينبغي وجود ترابط بين كفاءة الحركة والسلامة. وتُعد تقنيات أنظمة النقل الذكية أدوات بالغة الأهمية وينبغي استخدامها بشكل متزايد للمضي قدمًا نحو تحقيق التنقل الآمن.

٦-٢-٣ دعم مستخدمي الطريق:

ينبغي أن يكمن منظور مستخدمي الطريق في صميم التحول لدى إدارات الطرق؛ من الغاية الرئيسة المتمثلة في إنشاء شبكات الطرق وصيانتها إلى تشغيل شبكة الطرق التي تقدم الخدمات إلى مستخدمي الطريق. وعادةً ما يكون التحول عملية تتألف

من طورين (World Road Association (PIARC), 2003)) وتتضمن:

- الانتقال من مرحلة إنشاء الطرق وصيانتها إلى تعظيم الاستفادة من شبكتها.
- التحول من تعظيم الاستفادة من شبكة الطرق إلى دعم مستخدميها.

عادةً ما ينبغي تحقيق تعظيم الاستفادة من شبكة الطرق من خلال إدارة المرور بشكل أفضل، سواء على نطاق جزء من الطريق أو الشبكة أو تقاطع (AUSTROADS, 2020c).

ويمثل دعم مستخدمي شبكة الطرق رؤية موجهة نحو الخدمات التي تدعم الطريقة التي ينبغي النظر بها إلى التشغيل المروري وإدارته.

لتلبية متطلبات مستخدمي الطرق، يلزم فهم كيف تحدد مجموعات مستخدمي الطرق المختلفة سمات خدمة الطرق المختلفة وتصنفها، مثل زمن الانتقال، والموثوقية، والسرعة، وسهولة الوصول، والتأخير غير المتوقعة/المؤقتة، وتشغيل إشارات المرور ومناطق التوقف للاستراحة وما إلى ذلك.

٦-٢-٤ دور أنظمة النقل الذكية:

يمكن تقديم خدمات دعم مستخدمي الطرق في كثير من الأحيان، ولكن ليس بالضرورة، عن طريق تطبيقات أنظمة النقل الذكية. وتستند أنظمة النقل الذكية إلى تقنيات معالجة المعلومات المتقدمة والاتصالات والتقنيات الإلكترونية وتعمل على دمجها. ويمكن أن تُسهم أنظمة النقل الذكية في توفير أنظمة نقل أكثر أمانًا وكفاءة لكل من الركاب والبضائع، سواء في المراكز الحضرية أو المناطق الريفية. كما يمكن أن توفر أنظمة النقل الذكية معلومات مفيدة في الوقت الفعلي لسائقي المركبات والمشغلين التجاريين؛ فضلًا عن مشغلي شبكات الطرق. وبالنسبة إلى متطلبات ومواصفات تصميم تقنيات أنظمة النقل الذكية (على سبيل المثال، المراقبة والاستشعار، والمراقبة بالفيديو، والاستشعار المؤتمت للحوادث، واللافتات الإلكترونية)، ينبغي على المستخدم الرجوع إلى كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها – المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة).

يمكن تصنيف تطبيقات أنظمة النقل الذكية في مجموعات من الخدمات، ويعرض الجدول (٦-١) مجموعة منها. ورغم أن أنظمة النقل الذكية تقدم تقنيات مهمة لدعم التشغيل المروري، فإن أنظمة النقل الذكية والتشغيل المروري ليسا مفهومين مماثلين. وتوجد مشكلات تشغيلية لها علاقة قليلة أو معدومة بتقنيات أنظمة النقل الذكية، وبعض التطبيقات التشغيلية التي لا تستند إلى أنظمة النقل الذكية (مثال: التشغيل اليدوي الذي يكون خارج مركز التحكم المروري أو المسار القابل للتشغيل في أي من الاتجاهين المتعاكسين وفق الطلب). وعلى النقيض، لا تتعلق جميع مكونات أنظمة النقل الذكية بالتشغيل المروري.

الجدول (٦–١) بعض خدمات المستخدم التي تقدمها أنظمة النقل الذكية (المصدر: AUSTROADS, (2020c)).

معلومات المستخدم	إدارة المرور
معلومات المتنقل (أثناء وجوده على المسار أو قبل الرحلة). إرشادات المسار والملاحة. تطابق رحلة الركوب والحجوزات. خدمات المتنقل والحجوزات.	التحكم المروري. إدارة الحوادث. إدارة الطلب على النقل. مراقبة الظروف البيئية. التشغيل والصيانة. إنفاذ القانون الديناميكي المؤتمت. سلامة غير مستخدمي المركبات على الطرق. التحكم في الوصلات متعددة وسائل النقل، وسلامتها. إنفاذ القانون.
النقل العام	**الدفع الإلكتروني**
إدارة النقل العام. معلومات النقل العام أثناء الرحلة. النقل المستجيب للطلب. توفير الأمن للانتقال العام. نظام الأولوية.	خدمات الدفع الإلكتروني.
تشغيل المركبات التجارية	**إدارة حالات الطوارئ**

التخليص الإلكتروني. فحص السلامة المؤتمت عند جانب الطريق. مراقبة السلامة على متن المركبات. العمليات الإدارية. إدارة أساطيل المركبات التجارية. إدارة عمليات نقل البضائع فيما بين وسائل النقل.	الإخطار في حالات الطوارئ والأمن الشخصي. الاستجابة للحوادث التي تتضمن مواد خطرة. إدارة مركبات الطوارئ. الاستجابة للكوارث، وإدارتها.
أنظمة السلامة والتحكم المتقدمة في المركبات	**خدمات تخزين البيانات**
تفادي الاصطدام (على متن المركبات). تفادي الاصطدام (البنية التحتية). تحسينات سلامة القيادة القائمة على المستشعرات. استعدادات السلامة. نشر أنظمة التقييد قبل وقوع حوادث الاصطدام. التشغيل المؤتمت للمركبات.	إدارة البيانات المتعلقة بالطقس والبيئة. إدارة البيانات المؤرشفة.

تؤدي أنظمة النقل الذكية دورًا مهمًا في إدارة الطلب من خلال توفير قدر أكبر من المعلومات المتنوعة، مما يسمح للمستخدمين (سائقي المركبات ومشغلي المركبات التجارية وركاب وسائل النقل العام) باتخاذ قرارات تنقل مستنيرة؛ بناءً على عوامل مثل: أحوال المرور، أو صيانة الطرق، أو أعمال الإنشاء التي من الممكن أن تؤثر في زمن انتقالهم، والظروف الجوية التي تؤثر على شبكة الطرق وسلامتها؛ ولذلك، ينبغي إدراج حلول أنظمة النقل الذكية - حيثما أمكن- في جميع عمليات تشغيل شبكات الطرق.

المراجع:

Abdel-Aty, M., Halleem, K., Cunningham, R. & Gayah, V., 2009. *Application of Variable Speed Limits and Ramp Metering to Improve Safety and Efficiency of Freeways. International Symposium on Freeway and Tollway Operations. 2nd.Honolulu, Hawaii.* Washington, DC, USA, Transportation Research Board., pp. 1-13.

Akcelik & Associates PTY LTD , 2020. *SIDRA Glossary of Road Traffic Analysis Terms.* [Online] Available at: https://www.sidrasolutions.com/learn/glossary [Accessed 21 April 2020].

Allen, J. & Browne, M., 2010. *Considering the Relationship Between Freight Transport and Urban Form. Green Logistics Project..* s.l.:s.n.

Antonucci, N. et al., 2004. *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Vol.12: A Guide for Reducing Collisions at Signalized Intersections. NCHRP 500,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

Auer, Ashley, Feese, S. & Lockwood, S., 2016. *History of Intelligent Transportation Systems. FHWA-JPO-16-329.,* Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.

AUSTROADS, 2007a. *Traffic Incident Management Best Practice, AP-R304-07.* Sydney, Australia, AUSTROADS.

AUSTROADS, 2007b. *Analysis of Current Practices for Improving the Level of Service of On-Road Public Transport, HOV and Emergency Vehciles. AP-R307-07,* Sydney, Australia: Austroads.

AUSTROADS, 2008. *Freeway Design Parameters for Fully Managed Operations: Literature Review, AP-R318-08.,* Sydney, Australia: Austroads.

AUSTROADS, 2009. *Freeway Design Parameters for Fully Managed Operations. AP-R341-09,* Sydney, Australia: Austroads.

AUSTROADS, 2014b. *C-ITS Interoperability with Existing ITS Infrastructure. AP-R458-14,* Sydney, Australia: Austroads.

AUSTROADS, 2015a. *Austroads Glossary of Terms,* Sydney, Australia: AUSTROADS.

AUSTROADS, 2017c. *Techniques for Incident Management to Support Network Operations Planning, AP-R547-17,* Sydney, NSW, Australia: Austroads.

AUSTROADS, 2020a. *Guide To Traffic Management - Part 3: Transport Study and Analysis Methods,* Sydney, Australia: AUSTROADS.

AUSTROADS, 2020b. *Guide to Traffic Management Part 4: Network Management Strategies,* Sydney, Australia: AUSTROADS.

AUSTROADS, 2020c. *Guide to Traffic Management Part 9: Transport Control Systems - Strategies and Operations,* Sydney, Australia: AUSTROADS.

AUSTROADS, 2020d. *Guide to Traffic Management Part 10: Transport Control - Types of Devices,* Sydney, Australia: AUSTROADS.

AUSTROADS, 2020e. *Guide to Traffic Management Part 11 - Parking Management Techniques,* Syndey, Australia: AUSTROADS.

Bathaee, N. et al., 2018. A Cluster Analysis Approach for Differentiating Transportation Modes using Bluetooth Sensor Data. *Journal of Intelligent Transportation System. Technology, Planning, and Operations,* 22(4), pp. 353-364.

Bellevue, Washington / Microsoft Corp., 2019. *Video Analytics Towards Vision Zero. Case Study Report,* s.l.: City of Bellevue, Washington and Microsoft.

Best Urban Freight Solutions (BESTUFS), 2007. *Good Practice Guide on Urban Freight Transport. ESTUFS. Retrieved from http://www.*. s.l.:s.n.

Bonneson, J. & Abbas, M., 2002. *Intersection Video Detection Manual. Report FHWA/TX-03/4285-2,* Austin, Texas, USA: Texas Department of Transportation.

Bonsall, P., Ghahri-Saremi, F., Tight, M. & Marier, N., 1988. The Performance of Handheld Data-Capture Devices in Traffic and Transport Surveys. *Traffic Engineering and Control,* 29(1), pp. 10-19.

Bouton, S. et al., 2017. *An integrated perspective on the future of.* [Online] Available at: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/urban%20commercial%20transport%20and%20the%20future%20of%20mobility/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility.pdf [Accessed 16 October 2022].

Box, P. & Oppenlander, J., 1976. *Manual of Traffic Engineering Studies,* Washington, DC, USA: ITE.

Boyle, D., 2008. *Passenger Counting Systems - A Synthesis of Practice. TCRP Synthesis 77,* Washington,DC,USA: Transportation Research Board.

Browne, M., Allen, J., Anderson, S. & Woodburn, A., 2006. *Night-Time Delivery Restrictions: A Review. In Recent Advances in City Logistics (E. Taniguchi and R. Thompson, eds.),pp. 245–258.*. s.l.:Elsevier.

Buehler, M., Hicks, T. & Berry, D., 1976. Measuring Delay by Sampling Queue Backup. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* Issue 615, pp. 30-36.

California Department of Transportation (CALTRANS), 2012. *California Manual on Uniform Traffic Control Devices,* Sacramento, CA, USA: California Department of Transportation.

Chada, S. & Newland, R., 2002. *Effectiveness of Bus Signal Priority. Final Report,* Tampa, Florida, USA: National Center For Transit Research (NCTR)..

Chandler, B. et al., 2013. *Signalized Intersections Informational Guide, Second Edition. Report FHWA-SA-13-027,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration, United States Department of Transportation..

Chatterjee, K. et al., 2000. *Evaluation of the London Driver Information System: Results from the CLEOPATRA Study. International Conference on Road Transport Information and Control. 10th. London, UK.pp.22-6.* London, UK, Institution of Electrical Engineers.

Chicago Metropolitan Agency for Planning (USA), 2019. *New data allows an initial look at ride hailing in Chicago.* [Online]
Available at: https://www.cmap.illinois.gov/updates/all/-/asset_publisher/UIMfSLnFfMB6/content/new-data-allows-an-initial-look-at-ride-hailing-in-chicago
[Accessed 06 07 2022].

Colyar, J., 2018. *"Use of Crowdsourcing to Advance Operations." FHWA EDC-5 Summit, Crowdsourcing for Operations Break Out Session Webinar Recording.* [Online]
Available at: https://connectdot.connectsolutions.com/pc531wzr25a9/
[Accessed 14 October 2022].

Curtis, E., 2016. *FHWA EDC-4 Summit, Advanced Traffic Signal Perfromance Measures Break Out Session. Automated Traffic Signal Performance Measures.* [Online]
Available at: https://www.youtube.com/watch?v=7gS2ATBVGtU
[Accessed 14 October 2022].

Data Governance Institute, 2022. *Goals and Principles for Data Governance.* [Online]
Available at: http://datagovernance.com/goals-and-principles-for-data-governance/
[Accessed 07 July 2022].

Deibel, L. & Zumwalt, B., 1984. *Modular Approach to On-Board Automatic Data Collection Systems. National Cooperative Transit Research and Development Program Report 9,* Washington, DC, USA: Transporation Research Board.

Denney, R. & Iteris, 2009. *Improving Traffic Signal Management and Operations: A Basic Service Model. Report No. FHWA-HOP-09-055 ,* Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration .

Dowling, R., 2007. *Traffic Analysis Toolbox Volune VI: Definition, Interpretration, and Calculation of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness. Report FHWA-HOP-08-054.,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration.

Dudek, C., Trout, N., Booth, S. & Ullman, G., 2000. *Improved Dynamic Message Sign Messages and Operations, Research Report 1882-2,* College Station, Texas, USA: Texas Transportation Institute.

Effinger, J., 2020. *Integration of Crowdsourced Data into Automated Traffic Signal Performance Measures (ATSPMs). FHWA Adventures in Crowdsourcing Webinars, Prepared for National Operations Center of Excellence (USA).* [Online]
Available at: https://transportationops.org/ondemand-learning/adventures-crowdsourcing-traffic-signal-applications-edc5-webinar-series
[Accessed 04 July 2022].

Eves, D., 2005. Jam Busters. *Traffic Technology International, Annual Peview,* pp. 86-89.

Federal Highway Administration (FHWA), 2007. *Traffic Analysis Toolbox Volime IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software. Report No. FHWA-HOP-07-079,* Washington,DC, USA: Federal Highway Administration.

Federal Highway Administration (FHWA), 2012a. *EDC Exchange: Adaptive Signal Control Technology – Managing Risks, Achieving Objectives.* [Online]
Available at: https://www.fhwa.dot.gov/innovation/everydaycounts/edc_exchange/asct.cfm
[Accessed 05 07 2022].

Federal Highway Administration (FHWA), 2012b. *Freight as a Good Neighbor – Land Use, Transportation System, and Environmental Considerations.* [Online] Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop12006/sec_2.htm [Accessed 15 October 2022].

Federal Highway Administration (FHWA), 2019b. *EDC-5 Crowdsourcing for Operations: Frequently Asked Questions,* Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Federal Highway Administration (FHWA), 2022i. *Transportation Performance Management Guidance.* [Online] Available at: https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/ [Accessed 06 07 2022].

Federal Highway Administration, 2000. *Traffic Incident Management Handbook,* Washington, D.C., USA: Federal Highway Administration.

Federal Highway Administration, 2006. *Simplified Guide to the Incident Command System for Transportation Professionals,* Washington, DC, USA: FHWA.

Federal Highway Administration, 2019a. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software,* Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

FHWA, 2009. *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways,* Washington,DC, USA: United Stated Department of Transportation, Federal Highway Administration.

FHWA, 2010. *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR) - FHWA-HRT-09-060,* Washington, DC, USA: FHWA.

FHWA, 2016. *Traffic Monitoring Guide,* Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department ofTransportation.

FHWA, 2021. *Variable Speed Limits.* [Online] Available at: https://safety.fhwa.dot.gov/provencountermeasures/variable-speed-limits.cfm [Accessed 27 February 2023].

FHWA, 2022a. *Traffic Analysis Tools.* [Online] Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/ [Accessed 9 June 2022].

Florida Department of Transport (FDOT), 2022. *Manual on Uniform Traffic Studies.* [Online] Available at: https://www.fdot.gov/traffic/trafficservices/studies/muts/muts.shtm [Accessed 4 June 2022].

Florida Department of Transportation (FDOT) - Office of Transportation Data & Analytics, 2018. *Traffic Monitoring Handbook,* Florida, USA: FDOT.

Florida Department of Transportation (FDOT), 2021b. *Traffic Analysis Handbook,* Tallahassee, Florida, USA: FDOT.

Florida Department of Transportation (FDOT), 2021. *Manual on Uniform Traffic Studies,* USA: FDOT.

Florida Department of Transportation, 2020. *Quality/Level of Service Handbook,* Tallahassee, Florida, USA: State of Florida Department of Transportation (FDOT).

Freight Transport Association., 2013. *Logistics Carbon Reduction Scheme.* [Online] Available at: http://www.fta.co.uk/policy_and_compliance/environment/logistics_carbon_reduction_scheme.html. [Accessed 24 January 2013].

Frey, H., Rouphail, N., Unal, A. & Colyar, J., 2002. *Emission Reductions Through Better Traffic Management: An Empirical Evaluation Based Upon On-Road Measurements. FHWY/NC/2002-001.* Raleigh, North Carolina, USA, Department of Civil Engineering, North Carolina State University for North Carolina Department of Transportation.

Furth, P., 1989. Updating Ride Checks with Multiple Point Checks.. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* Issue 1209.

Furth, P. & SanClemente, J., 2006. Near Side, Far Side, Uphill, Downhill: Impact of Bus Stop Location on Bus Delay. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* 1971(1), pp. 66-73.

Gotfredson, S., 2016. *FHWA EDC-4 Summit, Advanced Traffic Signal Performance Measures Break Out Session. Automated Traffic Signal Performance Measures.* [Online] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=7gS2ATBVGtU [Accessed 14 October 2022].

Grassi, G., Bahl, V., Pau, G. & Jamieson, K., 2017. *ParkMaster: An in–vehicle, edge–based video analytics service for detecting open parking spaces in urban environments.* [Online] Available at: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/parkmaster-vehicle-edge-based-video-analytics-service-detecting-open-parking-spaces-urban-environments/ [Accessed 06 07 2022].

Holguin-Veras, J. et al., 2020. State of the art and practice of urban freight management Part II: Financial approaches, logistics, and demand management. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* Volume 137, pp. 383-410.

Holguin-Veras, J. et al., 2013. Fostering the Use of Unassisted Off-Hour Deliveries: Operational and Low-Noise Truck Technologies. *Transportation Research Record,* 2379(1), pp. 57-63.

Holm, P., Tomich, D., Sloboden, J. & Lowrance, C., 2007. *Traffic Analysis Toolbox IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software. Publication No. FHWA-HOP-07-079,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration.

Institute of Transportation Engineers (ITE), 2020. *Guidelines for Determining Traffic Signal Change and Clearance Intervals,* Washington, DC, USA: Institute of Transportation Engineers.

Institute of Transportation Engineers, 2016. *Traffic Engineering Handbook.* 7th ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc..

ITE, 2001. *Traffic Control Devices Handbook.,* Washington, DC, USA: ITE.

ITE, 2008. *Trip Generation: an ITE Informational Report, 8th edition,* Washington, DC, USA: ITE.

ITE, 2010a. *Manual of Transportation Engineering Studies,* Washington, DC, USA: ITE.

ITE, 2010b. *Transportation Impact Analyses for Site Development: an ITE Proposed Recommended Practice,* Washington, DC, USA: ITE.

Jaller, M., Holguin-Veras, J. & Hodge, S., 2012. Parking in the City: Challenges for Freight Traffic.. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* Issue 2379, pp. 46-56.

Jodoin, P., 2018. *Using Data to Improve Traffic Incident Management. I-95 Corridor Coalition State Police Computer Aided Dispatch Integration Workshop.*. [Online]
Available at: https://tetcoalition.org/wp-content/uploads/2018/06/I-95CC-CAD_Workshop-Day_1_Presentations-comb.pdf?x70560
[Accessed 05 07 2022].

Kathmann, T. & Cannon, R., 2001. Guidelines for the Use of Active Speed Warning Signs in Germany. *Traffic Engineering & Control,* 42(9), pp. 304-307.

Khaleej Times, 2022. *New speed signs set up in Abu Dhabi to warn drivers of fog, dangerous weather conditions.* [Online]
Available at: https://www.khaleejtimes.com/transport/abu-dhabi-police-set-up-new-speed-signs-to-warn-motorists-of-fog-hazardous-weather-conditions
[Accessed 24 February 2023].

Krygman, S. & Schmitz, P., 2005. "*The Use of Cellphone Technology in Activity and Travel Data Collection.*" *24th Southern African Transport conference,* Pretoria, South Africa: Document Transformation Technologies, pp.696-705.

Kuhn B. et al., 2005. *Managed Lanes Handbook. FHWA/TX-06/0/4160/24,* Austin, Texas, USA: Texaas Department of Transportation.

Land Transport New Zealand, 2007. *Traffic Control Devices Manual - Part 13 Parking Control,* New Zealand: Land Transport New Zealand.

Latoski, S. et al., 2003. *Managing Travel for Planned Special Events, FHWA-OP-04-010,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration.

Lattimer, C. R., 2020. *Automated Traffic Signals Performance Measures,* Washington, DC, USA: United States Department of Transportation,Federal Highway Administration.

Li, M. et al., 2011. Modeling and Implementation of Adaptive Transit Signal Priority on Actuated Control Systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,* 26(4), pp. 270-284.

Luk, J. & Brown, J., 1987. *The use of piezoelectric cable as an axle sensor.* Wellington, NZ, New Zealand roading symposium, Wellington, New Zealand, National Roads Board, pp. 297-304, vol.2.

MacAdam, J., 2018. *Measuring ODOT's TSMO Performance," I-95 Corridor Coalition Webinar-Building TSMO Performance Measures,* s.l.: s.n.

McCrea, B., 2016. *From DC to Final Destination: Last Mile Dilemma. Supply Chain Management Review.*. s.l.:MMH Editorial.

Ministry of Municipal and Rural Affairs (MoMRA), 2014. *Technical and Organizational Guidance for Traffic Engineering on Urban Areas,* Kingdom of Saudi Arabia: MoMRA.

Mishra, S. et al., 2015. A Tool for Measuring and Visualizing Connectivity of Transit Stop, Route and Transfer Center in a Multimodal Transportation Network. *Public Transport,* Issue 7, pp. 77-99.

MMM Group, n.d. *Greater Toronto Area Cordon Count Program. Transporation Trends 1991-2006 Technical Report.* [Online]
Available at: http://dmg.utoronto.ca/pdf/ccdrs/MMM_Cordon_TechRep.pdf
[Accessed 08 July 2022].

Mysla, V., 2020. *Medium: DataDrivenInvestor. Machine Learning in 10 minutes.* [Online]
Available at: https://medium.datadriveninvestor.com/machine-learning-in-10-minutes-354d83e5922e
[Accessed 06 07 2022].

National Association of City Transportation Officials (NACTO), 2016. *Transit Street Design Guide,* Washington, USA: Island Press.

National Cooperative Freight Research Program (NCFRP), 2015. *Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas: A Planning Guide - NCFRP Report 33,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

NCHRP, 2015. *Signal Timing Manual, 2nd Edition. NCHRP Report 812.,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

NCHRP, 2016. *Planning and Preliminary Engineering Applications Guide to the Highway Capacity Manual -NCHRP Report 825,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board (TRB).

NCHRP, 2020. *Guidebook for Managing Data from Emerging Technologies for Transportation, NCHRP Research Report 952,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

NCHRP, 2021. *NCHRP 03-128 [Active]. Business Intelligence Techniques for Transportation Agency Decision Making.* [Online]
Available at: https://apps.trb.org/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=4352
[Accessed 07 July 2022].

Neudorff, L., Randall, J., Reiss, R. & Gordon, R., 2003. *Freeway Management and Operations Handbook. Performed bt Siemens ITS. Report FHWA-OP-04-003,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration, US Department of Transportation.

Neudorff, L., Randall, J., Reiss, R. & Gordon, R., 2003. *Freeway Management and Operations Handbook. Performed bt Siemens ITS. Report FHWA-OP-04-003,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration, US Department of Transportation.

Nourinejad, M., Wenneman, A., Nurul Habib, K. & Roorda, M., 2013. *Truck Parking in Urban Areas: Application of Choice Modelling within Traffic Simulation.* .. Halifax, Canada: Canadian Transport Research Forum.

NZ Transport Agency, 2013. *ITS Specification: Over-height Vehicle Detection (ITS-08-02).* [Online]
Available at: https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/intelligent-transport-systems/specifications/ITS-08-02-over-height-vehicle-detection.pdf
[Accessed 16 October 2022].

Ogden, K., 1992. *Urban Good Movement: A guide to Policy and Planning.,* Brookfield, VT, USA: Ashgate Publishing Company.

Ogden, K., 2003. Planning and Design for Trucks. *Traffic Engineering and Management - Institute of Transport Studies, Monash University, Clayton, Vic, Australia,* Volume 2, pp. 5.8.1-5.8.26.

Pack, M., Ivanov, N. & Birriel, E., 2019. *Transportation Management Centers Streaming Video Sharing and Distribution. Report No. FHWA-HOP-19-037,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration.

Pangilinan, C. & Carnarius, K., 2014. *Traffic Signal Timing for Optimal Transit Progression in Downtown San Fransisco. Presented to Institute of Transportation Engineers.* Washington, DC, USA, San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA).

Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E. & Papamichail, I., 2008. Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow.. *Transportation Research Record,* 2047(1), pp. 37-48.

Pecheux, K., 2016. *Process for Establishing, Implementing, and Institutionalizing a Traffic Incident Management Performance Measurement Program. Report No. FHWA-HOP-15-028,* Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Pecheux, K. et al., 2007. *Guidebook for Mitigating Fixed-Route Bus-and-Pedestrian Collisions. TCRP Report 125.,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

Pecheux, K., Pecheux, B. & Carrick, G., 2019. *Leveraging Big Data to Improve Traffic Incident Management. NCHRP Research Report 904.,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

PIARC, 2011. *Public-Sector Governance of Urban Freight Transport..* [Online] Available at: http://www.piarc.org/

Pignataro, L., 1973. *Traffic Engineering Theory and Practice.* Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall.

Quiroga, C. & Bullock, D., 1998. Determination of Sample Sizes for Travel Time Studies. *ITE Journal,* 68(8), pp. 92-98.

Ramsey, J. & Routledge, I., 1973. A New Approach to Analysis of Gap Acceptance Times. *Traffic Engineering Control,* 15(7).

Reilly, W., Gardner, C. & Kell, J., 1976. *A Technique for Measurement of Delay at Intersections, Vol.3, User's Manual, FHWA-RD-76-137,* Washington DC, USA: Federal Highway Andministration.

Roads and Traffic Authority New South Wales (NSW), 2006. *Guide to Traffic and Transport Management for Special Events version 3.4,,* Sydney, NSW, Australia: Roads and Traffic Authority, NSW.

Robertson, H. & Courage, K., 1973. Traffic Signal Studies Using a Digital Tape Recorder. *Traffic Research Report.*

Roess, R., Prassas, E. & McShane, W., 2004. *Traffic Engineering.* 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

Roess, R., Prassas, E. & McShane, W., 2019. *Traffic Engineering.* 5th ed. New York, NY, USA: Pearson.

Rotenberg, M., 2014. *ALPR: It really does increase both revenue and efficiency.* [Online] Available at: https://www.parkingtoday.com/articledetails.php?id=1743&t=alpr-it-really-does-increase-both-revenue-and-efficiency [Accessed 05 July 2022].

Royal Commision for Riyadh City, n.d. *Abu Bakr Al-Siddiq Road Development Project.* [Online] Available at: https://www.rcrc.gov.sa/en/projects/abu-bakr-alsiddiq-road [Accessed 28 February 2023].

Royal Commision for Riyadh City, n.d. *Extension of Abu Bakr Al-Siddiq and Al-Orouba Roads.* [Online] Available at: https://www.rcrc.gov.sa/en/projects/airbase-roads [Accessed 28 February 2023].

Royal Commision for Riyadh City, n.d. *King Abdullah Road Development Program.* [Online] Available at: https://www.rcrc.gov.sa/en/projects/king-abdullah-road [Accessed 28 February 2023].

Shah, V., Pecheux, B., Noyes, P. & Robinson, E., 2020. *Transportation Research Circular E-C263. Conference on Performance and Data in Transportation Decision Making. 15-18 Sep. 2019 Atlanta GA. The Road to High-Value BI Opportunities: Bringing together the Decision Maker, Data, Analytics, and the Kitchen Sink.* Washington, DC, USA, Transportation Research Board.

Shanteau, R., 1988. Using Cumulative Curves to Measure Saturation Flow and Lost Time. *ITE Journal,* Volume 58, No. 10.

Shaw, T., 2003. *NCHRP Synthesis Report 311: Performance Measures of Operational Effectiveness for Highway Segments and Systems,* Washington,DC, USA: National Cooperative Highway Research Program.

Shelby, S., Bullock, D. & Gettman, D., 2006. Transition Methods in Traffic Signal Control.. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Transportation Research Board of the National Academies.,* Issue 1978, pp. 130-140.

Simon, J. & Furth, P., 1985. Generating a Bus Route O-D matrix from On-off Data. *ASCE Journal of Transportation Engineering,* 6(111).

Smith, H., Hemily, P. & Ivanovic, M., 2005. *Transit Signal Priority (TSP): A Planning and Implementation Handbook. ,* Washington, DC, USA: ITS America.

Stefanovic, A., 2010. *NCHRP Synthesis 403: Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice.,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board of the National Academies.

Stewart, PM, Luk, J., Brown, J. & Gunstone, E., 1986. *Laboratory and in-ground tests of triboelectric and piezoelectric cables as vehicle detectors.* Vermont South, Victoria, Australia, Australian Road Research Board (ARRB) conference, 13th and Road Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA) conference, 5th, 1986, Adelaide, South Australia, ARRB, pp. 107-22, vol.13, no.7.

Stopher, P., 1985. "*The Design and Execution of On-board Bus Surveys: Some Case Studies.*" *New Survey Methods in Transport,* Utrecht, The Netherlands: VNU Science Press.

Sunkari, S., Engelbrecht, R. & Balke, K., 2004. *Evaluation of Advance Coordination Features in Traffic Signal Controllers. Report FHWA/TX-05/0-4657-1.,* Austin, Texas, USA: Federal Highway Administration, United States Department of Transportation.

Tagliaferri, A. et al., 2006. *I-40 Lane Reversal Traffic Analysis. Report #FHWA/NC/2005-14,* Raleigh, NC, USA: North Carolina Department of Transporation.

Techopedia, n.d. *Internet of Everything (IoE).* [Online]
Available at: https://www.techopedia.com/definition/30121/internet-of-everything-ioe
[Accessed 05 07 2022].

Teply, S., 1983. *Saturation Flow at Signalized Intersections through a Magnifying Glass. Proc., 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory..* Toronto, Canada, University of Toronto Press.

TrafficVision, 2015. *COLORADO DOT'S VISIONARY INVESTMENT: Traffic Video Analytics.* [Online]
Available at: https://www.trafficvision.com/case-studies
[Accessed 05 07 2022].

Transport For London, 2013. *Fleet Operator Recognition Scheme.* [Online]
Available at: http://www.fors-online.org.uk/
[Accessed 24 January 2013].

Transportation Research Board (TRB), 1999. *TCRP Report 47: A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality,* Washington, DC, USA: TRB.

TRB, 2013. *Transit Capacity and Quality of Service Manual, Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 165,* Washington, D.C., USA: TRB.

TRB, 2022. *Highway Capacity Manual - A Guide for Multimodal Mobility Analysis,* Washington,DC,USA: NASEM.

Turner, S., Eisele, W., Benz, R. J. & Holdener, D. J., 1998. *Travel Time Data Collection Handbook. Report No. FHWA-PL-98-035,* Washington, DC, USA: Federal Highway Administration.

U.S. Department of Transport, Joint Program Office (USDOT-JPO), 2021. *ITS Professional Capacity Building Program, ITS ePrimer, Module 4: ITS Data in Decision Making.* [Online]
Available at: https://www.pcb.its.dot.gov/eprimer/module4.aspx#bookmark3
[Accessed 04 July 2022].

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration,Traffic Analysis Program., 2022. *Traffic Analysis Tools.* [Online]
Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/
[Accessed 12 May 2022].

Urban Mass Transportation Administration (UMTA), 1985. "*Review of Transit Data Collection Techniques: Final Report.*" *DOT-I-85-26,* Washington, DC, USA: Urban Mass Transportation Administration.

US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Operations, 2020. *Scoping and Conducting Data-Driven 21st Century Transportation System Analyses - Glossary.* [Online]

Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop16072/glossary.htm [Accessed 07 July 2022].

US Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office., n.d. *Transportation Cybersecurity Glossary.* [Online] Available at: http://www.standards.its.dot.gov/DeploymentResources/CyberGlossary [Accessed 07 July 2022].

Webster, F., 1958. *Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper No.39.,* London, United Kingdom: H.M. Stationary Office.

Wilbur Smith Associates , 2012. *Guidebook for Understanding Urban Goods Movement. NCFRP Report 14,* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.

World Road Association (PIARC), 2003. *Road network operations handbook, Technical Committee On Network Operations 16,.* [Online] Available at: https://www.piarc.org/en/order-library/4379-en-oad%20Network%20Operations%20Handbook.htm [Accessed 11 May 2022].

World Road Association (PIARC), 2019. *Big Data for Road Network Operations,* La Defense, Cedex, France: PIARC.

Zhang, M., 2008. *Developing Calibration Tools for Microscopic Traffic Simulation Final Report Parts I & II,* Berkeley, CA, USA: Partners for Advanced Transit and Highways (PATH); University of California; California Department of Transportation.

Zmud, J., Wagner, J. & Moran, M., 2016. *License Plate Reader Technology: Transportation. NCHRP 08-36, Task 136,* USA: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

أ- الملحق أ – دراسات وتحليل التشغيل المروري:

أ-١ نصائح عامة عن إجراء دراسات النقل:

يعرض هذا الجزء بعض الإرشادات والنصائح العامة المشتركة بين جميع دراسات هندسة النقل المتناولة في جزء دراسات التشغيل المروري.

أ-١-١ إعداد الدراسة:

يمكن تقسيم دراسات النقل إلى فئتين:

١- الدراسات التي تُجرى على فترات منتظمة لمراقبة أداء النظام واتجاهاته (على سبيل المثال: تذبذبات المرور أو إحصائيات حوادث الاصطدام).
٢- الدراسات التي تهدف إلى تحليل مشكلات معينة، وتكون عادة استجابةً لأحد المخاوف، أو تلبية لأحد الطلبات.

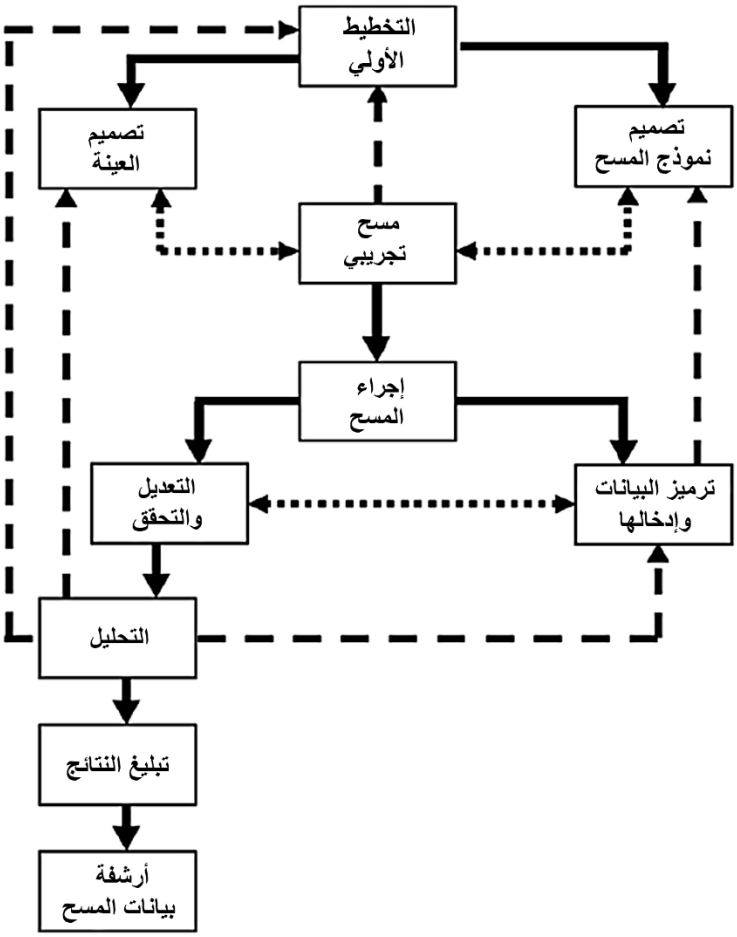
تتطلب جميع دراسات المرور تخطيطًا وإدارة دقيقين لمهام جمع البيانات وتصنيفها وتحليلها.

أ-١-١-١ نهج الأنظمة لدراسات المرور:

يُتيح نهج الأنظمة تحديد العمليات المشتركة بين جميع دراسات المرور التي تشكل اللبنات الأساسية للتصميم الجيد للدراسة.

ويوضح الشكل (أ-١) أن دراسات المرور ينبغي أن تتبع سلسلة من الخطوات المنطقية المترابطة التي تُفضي إلى نتيجة الدراسة. وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن هناك علاقات ربط مهمة بين الأنشطة المختلفة. تنقسم علاقات الربط هذه إلى ثلاثة أنواع: الأمامية، والتغذية الراجعة، والخلفية:

- تشير علاقات الربط الأمامية (الخطوط المتصلة) إلى التقدم الأساسي خلال العملية.
- تدل علاقات الربط للتغذية الراجعة (الخطوط المنقطة) بين أنشطة المكونات على أنه ينبغي تنفيذ نشاطين أو أكثر بالتتابع في حلقة مغلقة. على سبيل المثال: بعد إجراء المسح التجريبي، يمكن أن يكون من الضروري إعادة تصميم نموذج المسح، ثم إجراء اختبارًا تجريبيًا للنموذج الجديد.
- بينما تشير علاقات الربط للتغذية الراجعة (الخطوط المتقطعة) إلى النقطة التي يمكن فيها نقل المعلومات مرة أخرى من نشاط لاحق إلى نشاط سابق له. على سبيل المثال: يمكن أن يتأثر تصميم نموذج المسح بطرق الترميز المستخدمة لاستخراج البيانات من النماذج، بينما يمكن أن يؤثر نوع تحليل البيانات على عملية الترميز نفسها. ومن المهم إيلاء الاهتمام في علاقات الربط للتغذية الراجعة بحيث لا تستبعد القرارات التي أُتخِذت في وقت مبكر من عملية مسح الخيارات المتاحة لتحليل البيانات في وقت لاحق.



الشكل (أ–١) نهج الأنظمة لدراسات المرور (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure 3.1).

أ-١-١-٢ التخطيط الأولي:

من أجل ضمان نجاح دراسة المرور؛ فإنه ينبغي على مهندس المرور المسؤول معرفة الخطوات التالية واستكشافها.

أ-١-١-٢-١ أهداف الدراسة:

ينبغي لفريق الدراسة، بالاشتراك مع صاحب العمل الذي ستجرى الدراسة من أجله، وضع أهداف تحدد الأسئلة الأساسية التي يجب الإجابة عليها من الناحيتين: النوعية والكمية. فعلى سبيل المثال: ينبغي التوصل إلى اتفاق مسبق مع صاحب العمل بشأن مستوى المُعاينة، ومستوى الأهمية الإحصائية قبل بدء المسح.

أ-١-١-٢-٢ استعراض المعلومات الموجودة:

قبل البت في جمع مجموعة جديدة من البيانات، على الباحث التأكد من مقدار المعلومات المعروفة عن الموضوع محل الدراسة. وتتوفر المعلومات الموجودة من خلال مراجعة الكتيبات المنشورة، ومعرفة الدراسات الحالية والمكتملة ومجموعات البيانات الأخرى ذات الصلة التي جمعتها الجهات الأخرى. إذا أشارت هذه المصادر إلى أن الموضوع قد بُحِث بشكل جزئي؛ فإن وجود مجموعات بيانات أخرى يمكن أن يكون أمرًا مفيدًا. وبصفة خاصة، فإن ذلك قد يقدم أفكارًا جديدة عن الدراسة ويساعد في تصميم نموذج المسح، وذلك على سبيل المثال: عن طريق تقديم تقديرات للمعلمات المتعلقة بالسكان لاستخدامها في تحديد حجم العينة.

أ-١-١-٢-٣ تكوين الفرضيات وتعريف المعلمات:

إذا كان يلزم جمع بيانات جديدة من أجل تحقيق الأهداف، فينبغي عندئذٍ جمع الأنواع المناسبة من البيانات. وتتمثل الطريقة الوحيدة للتأكد من مدى ملاءمة البيانات الجديدة في وضع الفرضيات المحتملة المُراد اختبارها. وتُعد هذه الطريقة جزءًا أساسيًا من منهجية البحث العلمي التي ينبغي أن تستند إليها دراسات المرور. يتألف النهج العلمي من أربع مراحل أساسية ألا وهي:

صياغة الفرضية، والملاحظة، والاختبار، وتحسين الفرضية. تُعد الملاحظة هي أساس جمع البيانات وينبغي أن يسبقها صياغة الفرضية. يُوصى بوضع مجموعة من الفرضيات المعقولة، ثم تحديد متطلبات المسح بحيث يمكن اختبار كل فرضية على نحو مناسب.

وبعد صياغة الفرضية، غالبًا ما تكون هناك حاجة إلى صقل معاني العديد من المفاهيم والمصطلحات؛ حيث ينبغي تعريف المصطلحات التي ستُستخدَم في المسح بشكل واضح.

أ-١-١-٢-٤ تحديد الموارد:

ستكون هناك قيود من حيث مستوى الموارد التي يمكن تخصيصها للمسح في معظم الدراسات. وتتمثل بشكل عام في الوقت والأشخاص والمال ومن الممكن التنازل عن أمر ما مقابل أمرٍ آخر فيما يتعلق بالموارد المتاحة والدقة التي يُمكن الحصول عليها من عينة مسح ما (راجع طرق المسح أدناه).

أ-١-١-٢-٥ طرق المسح:

يُعد اختيار طريقة المسح أمرًا ضروريًا لكفاءة جهود المسح الشاملة. وستنتج -عادةً- الطريقة المُختارة من التوفيق بين أهداف المسح والموارد المتاحة. وستعتمد جودة البيانات التي حُصل عليها على طريقة المسح المُختارة ومقدار ضبط الجودة الذي أُجري. ومع ذلك، ستستهلك تقنيات المسح الأكثر دقة ذات المراقبة بجودة عالية موارد أكثر للمسح.

ينبغي إجراء المفاضلة لنوع المسح على أساس الوقت والمال والأشخاص؛ بحيث يمكن العثور على طريقة مسح وحجم عينة ذات جدوى لإكمال المسح بنجاح.

أ-١-١-٢-٦ تدريب جامعي البيانات:

بعد تحديد مواقع الدراسة والأوقات والعاملين والمعدات وترتيبها، فمن الضروري عادةً تدريب جامعي البيانات على أسلوب الدراسة. ويمكن ألا يكون التدريب والممارسة ضروريين للعاملين الميدانيين الذي لديهم خبرة في إجراء الدراسة المستهدفة، ولكنه يُعد أساسيًا للعاملين غير المتمرسين. وتُجدول دورة التدريب عادةً قبل إجراء الدراسة الميدانية بيوم أو بعدة أيام في ظروف مشابهة لأقصى الظروف المتوقعة في أثناء الدراسة. على سبيل المثال: إذا خُطط لدراسة تستغرق يومًا كاملًا فسيكون التدريب خلال ساعات الذروة مفيدًا.

وينبغي تدريب جامعي البيانات تحت إشراف مباشر من مهندس المرور لفترة قصيرة حتى تُصحح الأخطاء الواضحة. كما على مهندس المرور وجامع البيانات تسجيل البيانات بشكل مستقل لفترة زمنية وجيزة؛ حيث إن مقارنة هذه البيانات ستكشف عن أخطاء أقل وضوحًا.

على مهندس المرور فحص الموقع والوقت والعاملين والمعدات والطريقة ونموذج جمع البيانات في أثناء دورة التدريب أو بعدها. كما ينبغي على مهندس المرور أن يسعى إلى جمع الملاحظات والتعليقات من جامعي البيانات والرد على أي أسئلة. إذا أجريت أي تغييرات واسعة في أسلوب الدراسة كنتيجة لدورة التدريب؛ فيمكن أن يكون من الأفضل جدولة دورة أخرى لاختبار هذه التغييرات.

أ-١-١-٢-٧ الاستعدادات الفورية للدراسة:

توفر قائمة التدقيق في الجدول (أ-١) وسائل لجامعي البيانات للتأكد من عدم نسيان أي شيء. وليست كل العناصر الموجودة في قائمة التدقيق مطلوبة لكل دراسة. ومع ذلك، فإن أفضل سياسة خاصةً للدراسات في المواقع البعيدة، هي الحصول حتى على العناصر الهامشية من قائمة التدقيق إلى الموقع. يُعد عنصر قائمة التدقيق رقم ١ الأكثر أهمية، ولتجنب الفشل قبل الدراسة: ينبغي إجراء معايرة على المعدات وفحصها ابتداء من المدخلات، ومرورًا بالتخزين، ووصولًا إلى المخرجات.

الجدول (أ–١) قائمة التدقيق لجمع البيانات الميدانية (المصدر: (ITE, (2010a) – Exhibit 1-1).

قائمة التدقيق لجمع البيانات الميدانية	
قبل الانتقال إلى الموقع، لا تنسَ الآتي:	
١-	فحص معدات جمع البيانات، والتأكد من أنها تسجل المخرجات و/أو تخزنها و/أو تنتجها كما هو مطلوب. والتأكد من معايرة المعدات بشكل صحيح.
٢-	وضع ملصقات بأسماء المعدات حسب الحاجة (مثل: يمكن تسمية عدادات حركات الانعطاف بالمداخل/طرق الاقتراب التي تُراقب بها).
٣-	إحضار معدات جمع البيانات، بالإضافة إلى إحضار قطع غيار المعدات مثل ساعات الإيقاف الصغيرة والموثوقة.

قائمة التدقيق لجمع البيانات الميدانية	
٤-	ضبط الساعة بدقة على الوقت الصحيح.
٥-	توفير مقاسات صحيحة من البطاريات الاحتياطية لكل المعدات.
٦-	توفير الكثير من النماذج، وإحضار نسخة فارغة أيضًا من النموذج حتى يمكن تصوير المزيد من النسخ إذا لزم الأمر.
٧-	ورق لتدوين الملاحظات.
٨-	الكثير من الأقلام.
٩-	ألواح مسك ورق أو أسطح كتابة أخرى.
١٠-	خطاب من مالك الأرض أو معلومات جهة الاتصال (في حالة استخدام ممتلكات خاصة) و/أو من ممثل الجهة المسؤولة عن الطرق بمنح الإذن لجمع البيانات.
١١-	بعض بطاقات عمل المهندس المشرف على الدراسة. ويكفي أحيانًا الحصول على اسم المهندس ورقم هاتفه.
١٢-	تقديم إجابة بسيطة وسهلة لسؤال: "ماذا تفعل هنا؟"
١٣-	الحصول على رقم الهاتف الذي يمكن من خلاله الوصول إلى المهندس المشرف في يوم الدراسة -في حال بروز أسئلة-.
١٤-	خريطة تعرض الموقع أو اتجاهات الوصول للموقع إذا كان غير مألوف.
١٥-	مقاعد قابلة للطي.
١٦-	بالنسبة إلى الدراسات الطويلة المدة، يجب توفير مبرد أو حاوية معزولة بها مشروبات.
١٧-	قبعة أو واقي من الشمس أو نظارات شمسية.
١٨-	واقٍ من حروق الشمس.
١٩-	ملابس إضافية للطقس البارد مثل سترة وقفازات.
٢٠-	ملابس إضافية للطقس الدافئ مثل قميص وسروال قصير.

أ-١-١-٣ العينة وتصميم التجارب:

تحتوي أنظمة المرور على عدد كبير من العناصر والوحدات الفردية. ويلزم إجراء مسح على عينة مختارة بشكل مناسب من السكان على أساس تصميم التجارب، وطرق المُعاينة والنظرية الإحصائية؛ لاستخلاص معلومات استدلالية صحيحة إحصائيًا.

أ-١-١-٤ تصميم نموذج المسح:

تُوفّر نماذج المسح أو أمثلة عن نماذج المسح الممكنة للمسوحات القياسية عند الضرورة. ومع ذلك، يمكن أن تحتاج المسوحات الخاصة إلى تطوير نماذج جديدة.

أ-١-١-٥ مسح تجريبي:

يُعد الاختبار التجريبي عنصرًا مهمًا لتصميم الدراسة. وتقدم الدراسات التجريبية المساعدة من عدة جوانب؛ لتصميم المسح والتحليل النهائيين، ويشمل ذلك:

- ملاءمة المُعاينة وطريقة التحليل،
- ملاءمة نماذج المسح.
- كفاءة طرق التدريب.
- ملاءمة الترميز والتحرير.
- تكلفة المسح والتحليل ومدتهما.
- ملاءمة طرق التحكم المروري في الموقع، حيثما ينطبق.

- فعالية التقنية، أو أجهزة جمع البيانات.

أ-١-١-٦ إجراء المسح:

في يوم إجراء الدراسة، يوجد إجراءان رئيسان يلزم على مهندس المرور المشرف على جمع البيانات تنفيذهما. أولًا، يجب أنيراقب المهندس المشرف جامعي البيانات؛ للتأكد من استخدامهم للإجراءات المتفق عليها من أجل ضمان ضبط جودة البيانات التي جُمعت. وإذا لزم الأمر، يمكن أن يحتاج المهندس المشرف إلى زيارة الموقع؛ للتأكد من جمع البيانات بشكل صحيح ومتسق. كما ينبغي مراجعة البيانات بعد الدراسة للبحث عن أي أنماط غير عادية قد تشير إلى المساس بجودة البيانات وسلامتها.

ثانيًا: ينبغي أن يكون المهندس المشرف متاحًا عبر الهاتف، أو أي وسائل أخرى مناسبة متاحة -في حال احتياج جامعي البيانات للتشاور-. وينبغي تشجيع جامعي البيانات على الاتصال ووضع مسؤولية اتخاذ القرار على المهندس المشرف المسؤول عن المشروع. تُعد الهواتف الخلوية ذات قيمة كبيرة في ضمان الوصول إلى كل من جامع البيانات والمهندس المشرف في أثناء الدراسة. ومع ذلك، ينبغي التشديد على جامعي البيانات على أن المحادثات الشخصية أو الرسائل النصية تشتت الانتباه، ويجب تثبيطها في أثناء الدراسة.

ينبغي أن يصل جامعو البيانات عادةً إلى الموقع قبل ١٥ دقيقة على الأقل؛ لتقييم الحالات وتوزيع المعدات وتسجيل المعلومات الضرورية (المقدمة)، واتخاذ مواقعهم والبدء في الموعد المحدد. يجب أن تظهر معلومات (المقدمة) على كل نموذج أو سجل البيانات وتشمل عناصر مثل: اسم الموقع والتاريخ والوقت واسم المراقب وحالة الطقس. ويضمن استخدام مقدمة متسقة في كل النماذج المستخدمة لجمع البيانات بغض النظر عن نوع الدراسة تسجيل كل المعلومات ذات الصلة بالموضوع. كما يجب إدخال معلومات (المقدمة) المتسقة في لوحات عدّ إلكترونية، ومن الضروري ضمان تحديد قواعد البيانات بشكل فريد من بين جميع المعلومات المخزنة في الجهاز حتى في حال استخدام لوحات العدّ الإلكترونية أو أجهزة الحاسب أو معدات جمع المعلومات الأخرى المتقدمة. ويُعد لوح مسك الأوراق المحمول باليد دائمًا أحد الأصول القيمة لتسجيل أي أحداث غير عادية في أثناء الدراسة أو لتدوين ملاحظات عامة.

ينبغي إكمال معلومات المقدمة قبل بداية الدراسة. على جامعي البيانات ملاحظة أي حالات غير عادية في نظام النقل والتي يمكن أن تؤثر في البيانات التي جُمِعت. كما ينبغي ملاحظة أي انحرافات تنتج عن إجراء جمع البيانات المقبول وربما ينبغي أولًا إزالته بواسطة مراقب رئيس مسؤول أو مهندس مرور مسؤول.

ستُطرَح -غالبًا- أسئلة على جامعي بيانات الممتلكات العامة والخاصة بخصوص وجودهم في الموقع. يجب تعليم جامعي البيانات ردًا معتادًا وقصيرًا على هذه الأسئلة؛ مما سيرضي معظم أفراد الجمهور دون تشتيت انتباههم لفترة طويلة عن مهام جمع البيانات.

في حال جمع البيانات على الممتلكات الخاصة، فمن الموصى به أن يقوم مهندس المرور الذي يشرف على جمع البيانات بالاتصال بمالك العقار لإبلاغه بجمع البيانات الوشيك، وطبيعة البيانات، وغرضها، واسم شركة جمع البيانات والتواريخ المتوقعة لجمع البيانات وطبيعة مواد جمع البيانات.

ينبغي أن تكون سلطات إنفاذ القانون المحلية على دراية بأنشطة جمع البيانات خاصةً إذا كانت الدراسة تشمل مسدس السرعة الذي يعمل بالليزر، أو وحدة دائمة لجمع البيانات مربوطة بعمود لافتة يمكن أن تبدو خادعة للعين غير المدربة. يمكن أن تنشأ مخاوف متشابهة لأي عملية جمع بيانات تستخدم جمع المشاهدات بالفيديو.

كما ينبغي إبلاغ الجهات الحكومية المحلية عن وقت ومكان تخطيط جمع البيانات والطريقة المستخدمة؛ بحيث يمكن لموظفي الحكومة المحلية معالجة أي مخاوف أُبرزت بشكل صحيح من قبل الجمهور الذين يتصلون بالجهة. إذا كان جمع البيانات يتضمن استخدام معدات الفيديو أو المعدات المؤتمتة التي تتطلب إرفاق معدات أو تثبيتها لمنشئات قائمة في الميدان، مثل أعمدة الإنارة أو أعمدة لافتات، فيمكن أن تكون هناك حاجة إلى تصريح مقدم من الجهة الحكومية المحلية. إن استشارة هذه الجهة وإبلاغها قبل بدء جهود جمع البيانات يجب أن تحدد إذا كانت هناك حاجة إلى الحصول على أي تصاريح.

أ-١-١-٦-١ سلامة جامع البيانات:

تتمثل المسؤولية الأولى لجامع البيانات في أثناء الدراسة الميدانية في الحفاظ على السلامة الشخصية الفردية وسلامة جامعي البيانات الآخرين وسلامة الجمهور المتنقل. لتجنب حوادث التصادم ومخاطر السلامة الأخرى، ينبغي على جامعي البيانات اتباع الإجراءات الوقائية المنطقية التالية:

- اتبع سياسة سلامة الأفراد الخاصة بالجهة أو صاحب العمل التي غالبًا ما تشمل الكثير من النقاط الموضحة أدناه.
- ابق بعيدًا عن طريق سير المركبات بقدر الإمكان.
- توخ الحذر من المركبات الجانحة.
- ارتد سترة برتقالية فسفورية عاكسة أو سترة صفراء-خضراء فسفورية عاكسة -إذا كنت تعمل بالقرب من طريق سير-.
- لا تتدخل في أنماط المرور القائمة، ولا تشتت السائقين قدر المستطاع.
- استخدم أجهزة التحكم المروري القياسية -إن كان ذلك ممكنًا-؛ لإبلاغ السائقين عن مسارات مغلقة أو أكتاف مغلقة أو نشاط بالقرب من طريق سير أو ظروف قيادة أخرى غُيرت بشكل كبير.

- إذا أُجري جمع البيانات من مركبة متحركة، فينبغي على جامع بيانات ثان (بخلاف السائق) إجراء جميع أنشطة الدراسة دون تشتيت السائق.
- على جامعي البيانات إيلاء اهتمامًا كبيرًا لبيئة جانب الطريق مثل، الحُفر، والأسلاك، والحياة الفطرية/النباتات السامة المحتملة.
- يتطلب جمع البيانات في الظروف الجوية الباردة أو الطقس السيء ملابس مناسبة مقاومة للعوامل الجوية وغيرها من الملحقات مثل القبعات والقفازات. ينبغي على جامعي البيانات ألا يقللوا من شأن الآثار الصحية المحتملة للطقس الحار أو البارد أو الرطب خاصةً عندما تجلس على مقعد جمع البيانات لساعات متعددة.

تُعد الجريمة أيضًا تهديدًا لسلامة جامع البيانات في أثناء الدراسات الميدانية. إن أفضل دفاع لجامعي البيانات عندما يهددهم السلوك الإجرامي هو دائمًا التخلي عن الدراسة وترك المنطقة. يمكن تعزيز السلامة من حدوث الجرائم من خلال التدابير الآتية:

- تقليل جمع البيانات ليلًا إلى أدنى حد.
- اجمع البيانات في فرق مكونة من شخصين على الأقل يظلان على مقربة من بعضهما البعض في جميع الأوقات.
- نبه الشرطة المحلية عندما تكون جهود جمع البيانات جارية.
- اجعل تموضع موظفي جمع البيانات في سيارات.
- تجنب العرض العلني للمعدات القيمة.
- اجعل الموظفين الموجودين في المكتب على دراية بمواعيد جمع البيانات.

أ-١-١-٦-٢ عثرات جمع البيانات:

يتطلب جمع البيانات الميداني تخطيطًا وإعدادًا وتنفيذًا دقيقًا. يوصى دائمًا في البداية بالانضمام إلى شخص ما، أو على الأقل التشاور مع شخص لديه بعض الخبرات في دراسة معينة لتجنب الأخطاء الشائعة.

يحتاج مهندس المرور إلى اكتساب المهارات الشخصية للتواصل مع الشركاء (مثل: شراكة البلديات وبائعي المعدات وما إلى ذلك)، وللإشراف على فريق كبير محتمل من جامعي البيانات.

تخضع عملية جمع البيانات إلى حالة عدم يقين متعلقة بالطقس وفي بعض الحالات، يمكن أن يحتاج المشروع بالفعل إلى العمل في ظروف قاسية. ويجب توقع فترات تأخير بسبب سوء الأحوال الجوية أو عطل بالمعدات. وبالتالي، تحتاج جهود جمع البيانات أن تكون مجدولة بطريقة جيدة ومع ذلك تظل مرنة لضمان النجاح.

بالإضافة إلى جهود جمع البيانات على نطاق صغير أو يدوي، فيمكن أن توفر التطورات في التقنية وطرق جمع البيانات الذاتية كمية كبيرة من البيانات التي يمكن أن تصبح غير قابلة للإدارة. وغالبًا هناك حاجة لتحديد أولوية البيانات من المصادر المتاحة وأن تكون أكثر كفاءة في كل من جمع البيانات وتحليلها والتقديرات المالية وتقديرات الوقت المعينة. بدون تخطيط دقيق، يخاطر المحلل بجمع الكثير من البيانات (فيما يتعلق بكل من عناصر البيانات وكمية البيانات) والتي يمكن أن ينتج عنها عدم فعالية جمع البيانات بالإضافة إلى عدم فعالية وقت التحليل في المكتب.

يتطلب جمع البيانات الفعّال والكافي والآمن مهارات مع الاهتمام بالتفاصيل والمنطق السليم. تشكل البيانات الميدانية أساس القرارات التي تؤثر في إنفاق كمية كبيرة من الأموال ويمكن أن يكون لها تأثيرًا كبيرًا على سلامة الجمهور بشكل عام. ويتطلب جمع البيانات نفس مستوى احترافية أي مهمة أخرى تُنفّذ بواسطة مهندس المرور أو فني هندسة.

أ-١-١-٧ ترميز البيانات وإدخالها:

تُعرف عملية ترميز البيانات بأنها عملية تحويل البيانات من السجلات الميدانية إلى تنسيقات مقروءة بالحاسب، بينما تُعرف عملية التحرير بأنها عملية موازية لمسح البيانات للكشف عن أخطاء التسجيل والأخطاء المنطقية في البيانات. ويمكن إجراء التحرير يدويًا أو آليًا.

تتمثل الفرصة الرئيسة من أجل توفير الوقت في الجمع بين الترميز والتحرير في عملية إدخال بيانات واحدة، حيث تُدخَل البيانات بشكل تفاعلي من جانب المستخدم. ويمكن لبرنامج التحرير اكتشاف العديد من التناقضات على الفور، مُتيحًا للمستخدم تصحيح إدخالات البيانات المعيبة بسرعة. ومن الممكن توفير المزيد من الوقت عند استخدام أجهزة تسجيل البيانات المحمولة باليد، وأجهزة الحاسب الشخصية المحمولة، وأساليب التعرف الصوتي المخصص لإجراء التسجيل الميداني؛ حيث تكون البيانات جاهزة للتحليل بمجرد الانتهاء من التسجيل. ويمكن لنفس الحاسب المستخدم في جمع البيانات في بعض الحالات إجراء تحليلات في الميدان.

أ-١-١-٨ تحليل البيانات:

يُعد تحليل البيانات هو الوسيلة التي يُستخدَم من خلاله البيانات المجمعة لاختبار الفرضيات الموضوعة في أثناء تخطيط الدراسة. ويجب استخدام الإجراءات الإحصائية لتحقيق أقصى قدر من الفعالية من هذا الجزء من العملية.

أ-١-١-٩ عرض النتائج:

ترد في الجزء الفرعي (٢-٢-٢) المتطلبات المتعلقة بعرض نتائج دراسات التشغيل المروري.

أ-١-١-١٠ الأرشفة:

يُعد الحفظ الفعال للبيانات وتفاصيل إجراء الاستبيان وسيلة لضمان إتاحة البيانات للتحليل الثانوي في تاريخ لاحق. وتشمل هذه المهمة الهامة توثيق أسلوب الاستبيان، وتخزين البيانات مع معلومات كافية تتيح سهولة استرجاعها، وبيان مكان تخزين البيانات، وتعيين من يتحملون المسؤولية المستمرة عن صيانة قاعدة البيانات.

أ-١-٢ الطرق الإحصائية والمُعاينة:

أ-١-٢-١ الطرق الإحصائية:

يشكل استخدام الطرق الإحصائية عنصرًا مهمًا من عناصر التحليل المروري. ويمكن تقسيم الإجراءات الإحصائية إلى ثلاث مجموعات عامة:

- اختزال البيانات: تُعطي نظرة أولية على البيانات، ويتضمن إجراءات للتعدادات الوصفية التي تصف طبيعة البيانات المرصودة.
- اختبار الفرضيات: تستخدم نظريات الاستدلال الإحصائي لتقدير طبيعة المشاركين في الاستبيان من بيانات العينة.
- تحديد العلاقات: تفحص العلاقات بين المتغيرات الملحوظة، وتتحقق من الجودة، وتقوم بالتحليل الاستكشافي الأولي للتأكد من مدى كفاية بيانات الاستبيان.

أ-١-٢-٢ طرق المُعاينة:

تعتمد جميع عمليات جمع بيانات المرور تقريبًا على مسوحات العينات. ويتمثل أحد المتطلبات الأساسية لتصميم العينة الجيد في وجود هدف محدد بوضوح للدراسة. ويمكن تحديد العناصر الرئيسة الآتية لتصميم العينة:

- تحديد الفئات المشاركة المستهدفة.
- تحديد وحدة المُعاينة.
- اختيار إطار المُعاينة.
- اختيار طريقة المُعاينة.
- النظر في الأخطاء والتحيزات المحتملة في المُعاينة.
- تحديد حجم العينة.

أ-١-٣ سلامة البيانات:

يتمثل الهدف من سلامة البيانات في توفير بيانات دقيقة يسهل استخدامها بناء على طلب مدى كبير من المستخدمين. وينبغي أن تحتوي البيانات على عينة صالحة إحصائيًا مأخوذة من مجموعة مشاركين. وينبغي تسجيلها بدقة بشكل متسق ومريح وتنظيمها لتيسير الوصول إليها ونقلها وإعداد التقارير منها. وتشمل القيود عطل المعدات، وعدم تمثيل البيانات، والمشكلات المرتبطة بالمعالجة والتحرير. وبالرغم من محدودية أي بيانات مشمولة بالاستبيان الاستقصائي، يلزم بذل الجهود لضمان قبول نوعية البيانات في نهاية سلسلة من الأنشطة التي كان من الممكن التوصل إلى حلول توفيقية في كل مرحلة منها.

من الصعب - بشكل عام - تحقيق الاتساق في البيانات المجموعة داخل جهة الطرق في المنطقة/المحافظة، وعبر جهات الطرق. ويعزى ذلك بشكل جزئي إلى الاختلافات في متطلبات بيانات استخدام الطرق، وطرق جمعها، ومعالجتها ومشاركتها. وتشمل المسائل المتعلقة بجودة البيانات التي تحتاج إلى معالجة ما يأتي:

١. الدقة.
٢. التوقيت المناسب.
٣. إمكانية الوصول.
٤. الاكتمال والملاءمة.
٥. إمكانية المقارنة والتوافق.

وتشمل المسائل الأخرى محل الاهتمام ما يأتي:

١. المنهجيات.
٢. إعداد التقارير والمنشورات وإبداء الملاحظات.
٣. توفير أدوات التحليل.
٤. القيود المفروضة على المعدات والموارد والخيارات الميدانية.
٥. تكاليف الجمع والمعالجة والتوزيع.

يستلزم توافر البيانات من أنظمة النقل الذكية وغيرها من المصادر وجود ضبط أفضل للجودة في كل مصدر قبل مشاركة جميع مصادر البيانات وفهمها وتنسيقها.

ومن الجدير بالذكر نشوء الظواهر المرورية في كثير من الأحيان بالصدفة من توليفات العديد من العوامل، وكلها تنطوي على درجات عالية من التباين. كما تؤثر العوامل البيئية مثل الأمطار والمجالات المغناطيسية على دقة المعدات. لذلك من الضروري التعامل مع الأحداث في أنظمة المرور بوصفها متغيرات عشوائية، واستخدام النظرية الإحصائية لدراسة آثار العوامل المتفاعلة. وينبغي التحقق، إن أمكن، من التباين غير الطبيعي في تعدادات المرور المستمدة من إحدى محطات المسح من محطات المسح المحيطة أو من البيانات السابقة في نفس المحطة. ورغم أن عطل المعدات يفسر وجود بعض الأخطاء، إلا أن أخطاء أخرى تنشأ بسبب حدوث أحداث مرورية غير طبيعية في شبكة الطرق المتصلة. ويعتمد نجاح البحث الإحصائي إلى حد كبير على حجم وصحة المسح المروري المستخدم لجمع البيانات.

أ-٢ دراسات حجم المرور:

أ-٢-١ أنواع الدراسات:

أ-٢-١-١ الحصر في التقاطعات:

يُعد التقاطع هو المكان الأكثر شيوعًا في نظام المرور. وتكون تعدادات حركة الانعطاف في التقاطع عبارة عن مدخلات شائعة للتطبيقات على مستوى التخطيط مثل تحليلات التأثير المروري، وكذلك التحليلات التشغيلية للممرات الشريانية المحكومة بإشارات مرورية. وبالنسبة إلى التقاطع التقليدي، يحتوي كل اتجاه على ما يصل إلى أربع حركات ممكنة لانعطاف المركبات: حركة الدوران، وحركة الانعطاف لليسار، والحركة المستمرة للأمام، وحركة الانعطاف لليمين (رغم أنه في معظم الدراسات، تُضمّن حركات الدوران مع حركات الانعطاف لليسار). وتستلزم العديد من التطبيقات عدًا منفصلًا لسيارات الركاب والحافلات والشاحنات. وبالنسبة إلى التقاطع رباعي الفروع، يمكن أن يواجه المراقب تسجيل ستة وثلاثين عنصرًا منفصلا من البيانات خلال كل فترة مُعاينة؛ لتسجيل حركات المركبات فقط. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تشمل دراسات الحجم في التقاطع حركات المشاة والدراجات، مُسببًا زيادة في التعقيد.

تتطلب تعدادات التقاطعات مراقبين متعددين باستثناء ظروف المرور الخفيفة جدًا. وفي حالة فحص العديد من فئات المركبات في تقاطع مزدحم في ظل إجراء العديد من الحركات المتزامنة؛ فإنه ينبغي أن يكون بإمكان كل مراقب تسجيل البيانات الخاصة بمسارين أو ثلاث مسارات. وتكون الطرق المبسطة لتحديد فئات المركبات مرغوبة في بعض الأحيان. فعلى سبيل المثال: يمكن للمرء تصنيف جميع المركبات ذات الإطارين إلى أربع إطارات على أنها سيارات ركاب وجميع المركبات ذات الإطارات الستة أو أكثر على أنها شاحنات. وينبغي أن يفهم جميع المراقبين مخطط التصنيف فهمًا جيدًا قبل بدء العدّ.

أ-٢-١-١-١ التقاطعات غير المحكومة بإشارات مرورية:

يُتحكَّم في التقاطع غير المحكوم بإشارة مرورية بشكل نمطي من خلال لافتات "قف"، أو "أعطِ الأفضلية".

ينبغي أن يكون التشغيل في الموقع وكذلك مستويات الحجم المتوقعة مفهومة جيدًا قبل العدّ في التقاطع غير المحكوم بإشارة مرور. ويحتوي التقاطع المزود بلافتة "قف" في جميع أفرعه الأربع أو التقاطع الذي يعمل بقاعدة اليد اليمنى بشكل عام على أحجام مرورية منخفضة بما يكفي بحيث يمكن للمراقب الواحد عدّ جميع الحركات بشكل مريح، بما في ذلك المركبات الثقيلة. ويمكن أن يكون من الضروري، في التقاطعات المزدحمة المحكومة بلافتة "قف" في اتجاهين، أو التقاطعات المحكومة بلافتة "أعطِ الأفضلية"، وجود مراقب ثانٍ، حسب مستويات أحجام المرور على مداخل التقاطع الرئيسة.

أ-٢-١-١-٢ التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية:

بالنسبة إلى التقاطع المحكوم بإشارة مرورية، يُتحكَّم في الحركات المتقابلة بواسطة أطوار الإشارة، وبالتالي تتحرك عند أزمنة مجدولة وتبادلية. ونظرًا إلى أن جميع مداخل التقاطع ليس لها حق المرور في وقت واحد، فيمكن أن يقوم المراقب بتبديل حركات العدّ في اتجاهين (على سبيل المثال: المتجه شرقًا والمتجه جنوبًا) مع تغير طور الإشارة. وبالتالي، يمكن عدّ التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية منخفضة الحجم من خلال مراقب واحد مُدرب جيدًا. ومع ذلك، بما أن غالبية دراسات الحجم تجرى خلال فترات ذروة التدفق؛ فمن المرجح أن يكون من الضروري وجود مراقبين متعددين في معظم الحالات.

إنّ التعدادات عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية الأكبر والأكثر انشغالًا معقدة بسبب حدوث واحدة أو أكثر من الحركات في أثناء كل طور، نظرًا إلى أن كل دورة إشارة تحتوي على طورين أو أكثر، ولأن زمن الأخضر لأحد الأطوار لا يكون مساويًا للزمن الخاص بالأطوار المتقابلة الأخرى في الغالب. ومن أجل عدم تحيز العدّ تجاه أي مجموعة حركات معينة، ينبغي أن تكون الفترة الزمنية للعد مضاعفًا زوجيًا لطول دورة الإشارة. ومن المهم مراعاة هذا التأثير على فترات زمنية قصيرة، وأطوال الدورة الطويلة، ولكنه يميل إلى المتوسط إذا استُخدِمت الفترات الزمنية لعملية العدّ الأطول. كما إن اختيار فترات العدّ التي تسجل خمس دورات على الأقل يُعد من الممارسات الجيدة.

تزيد الإشارات المستجيبة للطلب من تعقيد العدّ، لأن كل من أطوال الدورة والأزمنة الخضراء تختلف من دورة إلى أخرى. وتتمثل إحدى القواعد الأساسية وفقًا للتجربة في اختيار الفترات الزمنية للعدّ التي ستتضمن خمس دورات على الأقل، باستخدام أقصى طول للدورة لتحديد الفترة الزمنية. وبافتراض استجابة وحدة التحكم في الإشارة للطلب، ينبغي أن تكون الإحصائيات ممثلة للطلب برغم الاختلافات في التوقيت.

أحجام الوصول مقابل أحجام المغادرة:

يُسجل عدّ الحجم في التقاطع عادةً عندما تعبر المركبات خط التوقف وتدخل التقاطع. وتُختار هذه النقطة بحيث يمكن مراقبة حركات الانعطاف بدقة. وإذا أصبح التقاطع مشبعًا (حجم الطلب يتجاوز السعة المتاحة)؛ فستنشأ صفوف انتظار التي يمكن أن تتطلب أكثر من دورة واحدة حتى تتلاشى. وعند حدوث ذلك الأمر، لا تعكس تعدادات المغادرة أحجام الطلب. وفي مثل هذه الحالات، ينبغي تسجيل أحجام الوصول. في هذا السياق تُعرَّف أحجام المغادرة على أنها حركة المرور التي تعبر خط التوقف عند التقاطع وتُعرَّف أحجام الوصول (أو أحجام الطلب) على أنها أي مركبة تقترب من التقاطع على الطريق محل الدراسة في أثناء الفترة الزمنية للتحليل. وفي فترة التدفق ذات التشبع المفرط في المرور سيكون عدد مرات المغادرة أقل من عدد مرات الوصول؛ حيث ستوجد بعض المركبات في صف الانتظار عند الإشارة. وبالتالي، يمكن تقريب أحجام الوصول عن طريق ربط عدّ عدد

المركبات المغادرة بعدد المركبات الموجودة في صف الانتظار.

إن مراقبة أحجام الوصول ليست بالأمر السهل؛ لأن صفوف الانتظار تتغير باستمرار، وقد تمتد إلى ما وراء خط رؤية المراقب. وعادةً ما يستلزم وجود مراقبين إضافيين لحساب أطوال صف الانتظار في الوقت الذي يقوم المراقبون الرئيسون بحساب أحجام المغادرة. ومن أجل الحصول على أكبر قدر من الدقة، يمكن عدّ صف الانتظار في كل دورة أو يمكن عدها في نهاية كل فترة زمنية للتجميع (على سبيل المثال: ١٥ دقيقة). وفي حال توفر مراقب واحد فقط، يمكن استخدام كاميرا فيديو لتسجيل أحجام المغادرة، بينما يقوم القائم على جمع البيانات بتسجيل صفوف انتظار المركبة يدويًا. وفي هذه الحالة من المهم العثور على نقطة مزامنة؛ بحيث يمكنها جمع مصادر البيانات في المكتب. ويمكن استخدام كاميرات الفيديو المتزامنة زمنيًا أو تسجيلات الطائرات دون طيار لتسجيل أحجام المغادرة والوصول بشكل عام.

يوضح الجدول (أ-٢) كيفية تقدير أحجام الوصول من خلال مراقبة حالات المغادرة وأطوال صفوف الانتظار. ويمكن للشخص عدّ عدد مرات الوصول لكل فترة زمنية عن طريق إضافة صافي التغيير في طول صف الانتظار إلى عدد مرات المغادرة المسجلة. ونلاحظ من المثال أنه برغم تماثل إجمالي أحجام المغادرة والوصول، يختلف توزيع الأحجام عبر الفترات الزمنية للعدّ (أو الدورات). ويقدر هذا الإجراء حجم الوصول للاتجاه. ويمكن معرفة حركات الانعطاف لأحجام الوصول هذه بافتراض أن الوافدين يتبعون نفس توزيع حركات جهة اليسار واليمين والحركات المستقيمة مثل أحجام المغادرة.

الجدول (أ–٢) مثال لتقدير أحجام الوصول من تعدادات عدد مرات المغادرة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-1).

الفترة الزمنية	إجمالي عدد مرات المغادرة (المركبات)	طول صف الانتظار (المركبات)	حجم الوصول (المركبات)
٤:٠٠-٤:١٥ مساءً	٥٠	٠	٥٠
٤:١٥-٤:٣٠ مساءً	٥٥	٠	٥٥
٤:٣٠-٤:٤٥ مساءً	٦٢	٥	٦٢+٥ = ٦٧
٤:٤٥-٥:٠٠ مساءً	٦٥	١٠	٦٥ + ١٠ – ٥ = ٧٠
٥:٠٠-٥:١٥ مساءً	٦٠	١٢	٦٠ + ١٢ – ١٠ = ٦٢
٥:١٥-٥:٣٠ مساءً	٦٠	٥	٦٠+ ٥ – ١٢ = ٥٣
٥:٣٠-٥:٤٥ مساءً	٦٢	٠	٦٢ – ٥ = ٥٧
٥:٤٥-٦:٠٠ مساءً	٥٥	٠	٥٥
الإجمالي	**٤٦٩**		**٤٦٩**

أ-٢-١-١-٣ عدّ المشاة والدراجات:

يُسجّل عدّ المشاة في معابر تقاطع المشاة، أو في معابر خطوط العبور الثانوية، أو على طول الأرصفة أو مسارات المشي عادةً. وتشيع تدفقات المشاة أيضًا في الدوارات الحديثة في المناطق الحضرية أو الضواحي. وبنفس القدر يمكن أن تكتسي تعدادات الدراجات بدرجة من الأهمية لتخطيط التطبيقات والتحليلات التشغيلية، لا سيما في المناطق التي يشيع فيها استخدام الدراجات لأغراض الترفيه والتنقل. وتُستخدم بيانات حجم المشاة والدراجات الهوائية في دراسات الأوامر المتعلقة بالمرور والممرات، وفي تحليل القدرات، وفي دراسات التصادم، وفي تحليل تأثير الموقع، وفي تطبيقات التخطيط الأخرى.

بالنسبة إلى كل من طرق النقل لغير مستخدمي المركبات، من المهم فهم الأنماط السلوكية، لأنها من الممكن أن تؤثر في عدّ أحجام المرور. ويعبر المشاة خارج مناطق معابر المشاة المحددة وبعيدًا عن التقاطعات غالبًا. وبالتالي، يكون عدّ المشاة المُراقب في معبر المشاة في كثير من الأحيان أقل من أحجام طلبات المشاة الفعلية. ويمكن أن يسير راكبو الدراجات على الطريق بحركة مرور آلية، أو يمكن أن يقررون الترجل واستخدام الأرصفة لمناورات معينة. وتُناقش إجراءات القيام بتعدادات أحجام المشاة والدراجات في جزء (دراسات حجم).

أ-٢-١-١-٤ العدّ القائم على أساس المسار:

تتطلب بعض عمليات تهيئة التقاطع الحديثة من المحلل إجراء عمليات العدّ القائم على أساس المسار. وتُجرى عمليات العدّ في التقاطعات التقليدية (المحكومة أو غير المحكومة بإشارات مرورية) بشكل نمطي عند نقطة يُحدد مسار المركبة بشكل فريد عندها (على سبيل المثال، خط التوقف لمسار حصري عند تقاطع). ومع ذلك، تجمع العديد من عمليات تهيئة التقاطع الحديثة بين حركات متعددة في مسار مشترك واحد أو أكثر، والعدّ عبارة دالة لكل من المنبع-المقصد بالنسبة إلى المركبة، أي مسار المركبة (على سبيل المثال، مفترقات الطرق الدائرية الحديثة).

ويختلط الحجم من أي اتجاه (البداية) في هذه التقاطعات مع المرور الأخرى (من جهات مغادرة أخرى) قبل الخروج في نهاية مشتركة. ونتيجة لذلك، لا تُراقب حركات الانعطاف الفردية (على سبيل المثال: الانعطاف إلى اليسار باتجاه الشرق) بشكل منفرد، ولكن تختلط في جميع الأوقات مع حركة واحدة أو أكثر للحركات الأخرى. ويمكن جمع تسجيلات الفيديو للعدّ القائم على المسار بواسطة الطائرات دون طيار.

الدوّارات الحديثة:

في الدوّار أحادي المسار، تدخل جميع التدفقات الداخلية (المرور المنعطفة جهة اليمين والحركة المستقيمة والمنعطفة لليسار والمنعطفة للخلف) إلى الدوّار من خلال نفس المسار، وتختلط مع المرور الدوارة وتخرج إلى وجهات مختلفة. ومن الصعب جمع هذه البيانات باستخدام تقنيات العدّ التقليدية؛ لأن المحلل يجب أن يتتبع مسارات المركبة بالعين. علاوة على ذلك، تُعد العديد من طرق جمع البيانات تلقائيًا مثل أنابيب عدّ مناسبة لقياس الطلب الكلي على الاتجاه، ولكنها لا يمكن أن توفر عدّ حركات الانعطاف للمسارات المشتركة. ويزداد التحدي المتعلق ببيانات الحجم بشكل كبير في المواقع متعددة المسارات. وتوجد طريقتان رئيستان سائدتان لحساب الأحجام في الدوّارات:

١) العدّ اليدوي و٢) حساب معالجة صور الفيديو مع تتبع المركبة (على سبيل المثال: لقطات الطائرات دون طيار أو تقنيات الرؤية الحاسوبّية).

العدّ اليدوي في الدوارات ممكنة إذا كانت أحجام المرور منخفضة، أو إذا أُستخدِم مراقبون متعددون. مع الأخذ بالحسبان أن احتمالية حدوث الخطأ فيها كبيرة. وينبغي وضع المراقبين في نقاط مفاضلة جيدة؛ لإجراء عد حركة الانعطاف بنجاح.

ويمكن استخدام عمليات مراقبة الفيديو لتعزيز دقة العدّ اليدوي للدوّارات. وبالنظر إلى نقطة الرؤية المناسبة التي تسجل حركات الدوّار بالكامل؛ يمكن للمحلل عدّ مداخل الدوّار المختلفة من خلال مشاهدة الفيديو بشكل متكرر.

يتطلب جمع بيانات الدوّارات المؤتمت؛ باستخدام تقنيات معالجة صور الفيديو وجود نقطة مفاضلة جيدة لعمليات مراقبة الفيديو، وكذلك معايرة الصورة نظرًا للتحدي المتمثل في عدّ تدفقات الدوّار.

طريقة المُعاينة للعدّ القائم على أساس المسار:

في ظل غياب التقنيات القائمة على الفيديو، وفي محاولة لجعل العدّ القائم أكثر كفاءة، يمكن اتباع نهج المُعاينة الذي يطور مصفوفة المنبع-المقصد من النسب المتغيرة. وتُعد مصفوفة المنبع-المقصد في الأساس جدول يربط جهات مغادرة متعددة من المرور في صفوف إلى جهات وصول متعددة في الأعمدة. وتُستخدم مصفوفات المنبع-المقصد بشكل شائع في تطبيقات التخطيط.

ولإنشاء مصفوفة المنبع-المقصد لنسب الانعطاف، يقوم المراقبون بأخذ عينات من نسب حركة الانعطاف لفترة قصيرة، ثم يطبقون هذه النسب على عدّ حجم الاتجاه العام. ويمكن أن تكون عينة مدتها ١٥ دقيقة لكل اتجاه كافية، ويكملها عدّ الاتجاه لمدة ساعتين، وذلك حسب التقلبات في المرور. ولتحسين دقة مصفوفة المنبع-المقصد يمكن استخدام متوسط فترات أخذ عينات متعددة. وإذا كانت أحجام المرور مرتفعة يمكن استخدام معدل المُعاينة لتسجيل مسار كل مركبة خامسة (أو أكبر) (ITE, 2010a). وفي حال استخدام أخذ عينات النسبة، ينبغي تمديد فترة المُعاينة لأكثر من خمس دقائق.

وبسبب الاختلافات في أنماط السير اليومية؛ ينبغي تقدير مصفوفات المنبع-المقصد المختلفة لساعات الذروة صباحًا وظهرًا ومساءً، أو أي فترة زمنية أخرى مستخدمة في التحليل.

يوضح الجدول (أ-٣) حساب الحصول على العد القائم على أساس المسار باستخدام طريقة العينة. ويُحدّد متوسط مصفوفة المنبع-المقصد لمدة ١٥ دقيقة في المثال من خلال العدّ اليدوي لحركات الانعطاف لكل اتجاه، وتلك الطريقة هي التي تُستخدَم بعد ذلك لتقدير نسب الانعطاف.

يُحدَّد طلب الاتجاه من خلال حساب المركبات على الاتجاه قبل الوصول للتقاطع. ويمكن باستخدام الطريقة الموضحة عدّ الدوّار، على سبيل المثال: بمعرفة مراقب بسيط، والذي يأخذ عينات من مصفوفة المنبع-المقصد في أوقات مختلفة من اليوم. ولزيادة الكفاءة تُحدَّد بعد ذلك أحجام الاتجاه من خلال معدات جمع البيانات تلقائيًا على النحو الذي نوقش لاحقًا في هذا الجزء الفرعي. ومن الأهمية بمكان أنه في الوقت الذي أُخذِت فيه عينات من مصفوفة المنبع-المقصد في لمدة ١٥ دقيقة فقط، أن تمثل أحجام اتجاه العدّ الذي أُجري على مدار فترة التحليل الكاملة.

الجدول (أ–٣) الحصول على العدّ القائم على أساس المسار باستخدام طريقة المُعاينة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-3).

الاتجاه	متوسط مصفوفة المنبع-المقصد لمدة ١٥ دقيقة			الطلب على الاتجاه (مركبة/ساعة)	الطلب على الحركة (مركبة/ساعة)
	الحركة	العدّ	النسبة		
شمال	انعطاف للخلف	٩	٪٦	٥٧٨	٣٧
	يسار	٢٧	٪١٩		١١١
	حركة للأمام	٧٥	٪٥٣		٣٠٧
	يمين	٣٠	٪٢١		١٢٣
	الإجمالي	١٤١	٪١٠٠		٥٧٨
شرق	انعطاف للخلف	١٥	٪٦	٩٥٨	٥٩
	يسار	٣٣	٪١٤		١٣٠
	حركة للأمام	١٥٦	٪٦٤		٦١٥
	يمين	٣٩	٪١٦		١٥٤
	الإجمالي	٢٤٣	٪١٠٠		٩٥٨
جنوب	انعطاف للخلف	٠	٪٠	٣٣١	٠
	يسار	٢١	٪٢٤		٨٠
	حركة للأمام	٤٢	٪٤٨		١٦٠
	يمين	٢٤	٪٢٨		٩١
	الإجمالي	٨٧	٪١٠٠		٣٣١
غرب	انعطاف للخلف	٦	٪٤	٦٧٨	٢٤
	يسار	٢٤	٪١٤		٩٥
	حركة للأمام	٦٠	٪٣٥		٢٣٨
	يمين	٨١	٪٤٧		٣٢١
	الإجمالي	١٧١	٪١٠٠		٦٧٨

وتنطبق طريقة المُعاينة على جميع التقاطعات التي تتطلب العدّ القائم على أساس المسار. ويقدر المراقب الميداني أولًا مصفوفات المنبع-المقصد النموذجية مع نسب الانعطاف لاتجاهات وأوقات مختلفة من اليوم. ويمكن القيام بذلك من خلال تقنية الفيديو أو في الميدان. ثم تُطبَّق مصفوفة المنبع-المقصد على تدفقات الطلب في الاتجاهات الأربعة للتقاطع؛ لتقدير حركات الانعطاف.

توجد طريقة بديلة وهي إكمال عدّ الاتجاهات بمصفوفة المنبع-المقصد بناءً على بيانات المجس. ويمكن الحصول على بيانات المجس باستخدام أجهزة قراءة تعمل عن طريق تقنية بلوتوث، أو يمكن شراء هذه البيانات من البائعين التجاريين الذين يجمعون بيانات نظام تحديد المواقع العالمي وبيانات موقع الهواتف الخلوية. ونظرًا لانخفاض أحجام العينات في معظم مجموعات

بيانات المجس، أصبحت هناك حاجة إلى استغراق فترة طويلة لجمع البيانات؛ لتطوير مصفوفة المنبع-المقصد. وينبغي تحديد الفترة الدنيا لجمع البيانات استنادًا إلى حجم الطرق المتقاطعة ومصدر البيانات محل الاستخدام.

في النهاية، تتمثل إحدى طرق إجراء العدّ القائم على أساس المسار بالنسبة إلى التقاطع الكبير في استخدام الاتجاه المزود بميزة مطابقة لوحة التسجيل. ويمكن وضع مراقبين متعددين عند المداخل الثانوية وجيوب الانعطاف للخلف؛ لتسجيل آخر ثلاثة أرقام من لوحات ترخيص المركبات. كما يمكن تحليل هذه البيانات لاحقًا في المكتب وإنشاء مصفوفة المنبع-المقصد، أو عدّ حركة الانعطاف الكامل. ما لم توجد أحجام منخفضة جدًا، ستوفر هذه الطريقة فقط عينة من توزيع المرور؛ لأنه من غير المحتمل أن تُسجّل جميع لوحات الترخيص خلال ساعات الذروة. ويعتبر هذا الاتجاه كثيف العمل، ولكنه اتجاه موثوق للحصول على عدّ مفصل في هذه التقاطعات.

يمكن استخدام المشاهد الملتقطة بالفيديو؛ لتحسين دقة هذه التقنية وربما لأتمتة عملية التعرف على لوحة التسجيل باستخدام الرؤية الحاسوبية. وهذه العملية تستخدم المعدات المعروفة باسم أجهزة قراءة لوحات الترخيص الآلية. وتلتقط أجهزة قراءة لوحات الترخيص الآلية أرقام لوحة التسجيل ضمن نطاق رؤية الكاميرا إلى جانب معلومات إضافية مثل: الموقع والتاريخ والوقت وصور المركبات.

أ-٢-١-١-٥ تصميم تقاطع غير تقليدي آخر:

توجد مجموعة من تصميمات التقاطع غير التقليدية التي تظهر وتعمل بشكل مختلف عن التقاطعات التقليدية باتجاهين عموديين ونظام تحكم في الإشارة بثمانية أطوار. ومن الأمثلة على ذلك تقاطعات التدفق المستمر وتقاطعات التبادل الحضري أحادي النقطة والمحولات المتباينة على شكل معين. وبالنسبة إلى الأشكال الهندسية للتقاطع، لا تتطلب دراسة الحجم بوجهٍ عام العدّ القائم على أساس المسار كما نوقش أعلاه. وفي أنواع التقاطعات هذه، يمكن مراقبة كل حركة (في طور ما) بمفردها، عندما لا تشترك في سطح الرصف مع حركات أخرى؛ لذلك تتوافق دراسة الحجم في هذه التقاطعات مع الدراسة التي أجريت في التقاطعات المتعامدة القياسية، إذ يمكن عدّ حركة الانعطاف حيث تعبر المركبات نقطة مثل خط التوقف. ومع ذلك، وبسبب الأشكال الهندسية غير التقليدية، على جامعي البيانات توخي الحذر والتأكد من فهمهم الكامل لأنماط التدفق قبل بدء العدّ. وإذا كان من الممكن مراقبة جميع الحركات بمعزل عن الحركات الأخرى (عدم مشاركة المسارات مع الحركات الأخرى)، يمكن استخدام طرق جمع البيانات المؤتمتة بسهولة.

أ-٢-١-٢ عدّ المنطقة:

يستلزم في العديد من التطبيقات، الحصول على بيانات العدّ لمنطقة أكبر في شبكة النقل. ويمكن أن تحافظ المناطق على برامج العدّ الجارية على الطرق الإقليمية؛ من أجل التخطيط وتقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة في أثناء السير وتتبع اتجاهات الحجم وإجراء تحليلات هندسة المرور. ويتمثل الهدف الآخر لهذه البرامج في تقدير المتوسط السنوي للمرور اليومي في مواقع التغطية. ويمكن أن توجد أيضًا برامج مماثلة للطرق والشوارع في المدن والبلديات في ولاياتها القضائية. ويمكن أيضًا تصنيف عدّ المنطقة إلى عدّ الطوق (الكوردون)، وعدّ خطوط التدقيق، وعدّ وحدات التحكم، وعدّ التغطية.

أ-٢-١-٢-١ تعدادات الطوق (الكوردون):

يمكن للجهات إجراء عدّ الطوق (الكوردون) من خلال تطويق منطقة مثل منطقة أعمال مركزية، أو مركز نشاط رئيس آخر بحدود وهمية وعدّ المركبات والمشاة في جميع النقاط التي تقع فيها الشوارع ضمن نطاق الطوق (الكوردون). وينبغي على المراقبين تصنيف كل مركبة حسب النوع واتجاه السير والإشغال، واستخدام فواصل زمنية تتراوح بين ١٥ دقيقة و٦٠ دقيقة في الغالب. وينبغي أن يعرض العدّ مقدار المرور التي تدخل أو تغادر، وتتيح تقديرًا لتراكمات المركبات والناس داخل المنطقة.

يمكن للجهات استخدام عدّ الطوق (الكوردون) بشكل شائع كجزء من استبيان المنبع-المقصد لتوسيع بيانات المقابلة. وتُسجل عمليات العدّ بالاقتران مع المقابلات. يرد وصف المسوحات المتعلقة بالمنبع-المقصد في الجزء ١٥-٢. ويمكن أيضًا تسجيل عدّ الطوق (الكوردون) لأغراض تحليل الاتجاه. بالنسبة إلى هذا التطبيق، ينبغي أن تحسب الجهات يوم عمل واحد كل عام، خلال شهر مع متوسط المرور اليومية قريب من مؤشر متوسط المرور اليومية على مدار العام. وينبغي أن تجري عمليات العدّ في نفس الوقت من كل عام.

يُنشأ الطوق (الكوردون) عن طريق اتباع العديد من المبادئ التوجيهية (Roess, et al., 2019):

- ينبغي أن تكون المنطقة الواقعة ضمن الطوق (الكوردون) كبيرة بما يكفي؛ لتحديد المنطقة المرغوبة بالكامل، ولكن يجب أن تكون صغيرة في نفس الوقت بما يكفي؛ بحيث تكون تقديرات التراكم مفيدة لمواقف المركبات وغيرها من أغراض تخطيط المرور.
- ينبغي إنشاء الطوق (الكوردون)؛ بحيث يشمل جميع الشوارع والطرق في مواقع خطوط العبور الثانوية، لتجنب حدوث التعقيد جراء تحديد ما إذا كانت المركبات التي تقوم بالانعطاف تدخل أو تغادر المنطقة الواقعة داخل الطوق (الكوردون).
- وينبغي إنشاء الطوق (الكوردون)؛ لتقليل عدد نقاط العبور إلى أدنى حد ممكن. ويمكن استخدام الحواجز الطبيعية أو المصنوعة (مثل الأودية والسكك الحديدية والطرق المحدودة والمعالم المماثلة) كجزء من الطوق (الكوردون).
- ينبغي أن تُستخدَم أراضي مناطق الطوق (الكوردون) استخدامًا موحدًا نسبيًا. وينبغي استخدام تقديرات التراكم لتقدير سعة الشارع واحتياجات ركن المركبات. ولن تكون الأطواق الكبيرة التي تشمل مختلف أنشطة استخدام الأراضي مركزة لهذه الأغراض بما يكفي.

يكمن الهدف من عدّ الطوق (الكوردون) في تسجيل نسبة ٩٠-٩٥ في المئة من متوسط المرور اليومية التي تدخل المنطقة الواقعة ضمن الطوق (الكوردون). وينبغي مراقبة الطرق الأكثر انشغالًا لمدة ٢٤ ساعة كاملة، والطرق الأقل انشغالًا لمدة ١٦ ساعة، والطرق الثانوية لمدة ٩-١٢ ساعة. يمكن تجاهل الأزقة والشوارع ذات الحجم المنخفض جدًا، إذا كان النقص الإجمالي أقل من ٣-٤ في المائة من النسبة الإجمالية.

وينبغي أن تكون محطات العدّ على حدود الطوق (الكوردون) موجودة دائمًا في مواقع خطوط العبور الثانوية. ويمكن للجهات استخدام الحد الأدنى من المحطات من خلال الاستفادة من الحواجز الطبيعية أو الحواجز المصنوعة. وينبغي أن تُعدّ في نفس اليوم. ومع ذلك، إذا وضعت الجهة مجموعة من محطات التحكم، فيمكن تعديل عدّ الأطواق المُستخدمة في أيام مختلفة باستخدام بيانات محطة التحكم (ستُناقش لاحقًا في هذا الجزء الفرعي). وينبغي عدم استخدام عمليات العدّ القصيرة التي تغطي تدفقات ساعات الذروة فقط لأن توزيع المرور في كل موقع عبور أمر بالغ الأهمية لتحديد التراكم. وينبغي طلب عدّ ركاب النقل من هيئة النقل المحلية، أو يمكن إجراؤها باستخدام الطرق الموضحة في الجزء (٢-١٢). وتعرض الجداول من (أ-٤) إلى (أ-٧) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون).

الجدول (أ–٤) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4).

مركبات الركاب والشاحنات والمركبات المتنوعة

المرور _____ في حدود _____ الشارع

الطقس_____ من_____

إلى_____

بدء التشغيل لمدة ربع ساعة	عدد			
	مركبات الركاب مثل سيارات الأجرة	الشاحنات	المركبات الأخرى باستثناء الحافلات والمركبات المُخصصة للإيجار لفترة قصيرة. المركبات	

.....				

التاريخ_____

المسجل_____

المشاة

المرور_____جانب _____ الشارع

الطقس_____ ساعات من_____

إلى_____

بدء التشغيل لمدة ربع ساعة	الوارد		المغادر		

.....					

التاريخ_____
المسجل_____

الجدول (أ–٥) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: Exhibit 4-4 – (ITE, (2010a).

ورقة ملخصة للمشاة

التاريخ_____ المشاة في _____ الشارع

الطقس_____ _____ الشارع

_____ الشارع

تم الجمع بمعرفة_____ _____ الشارع

بدء التشغيل لمدة ربع ساعة	شارع																			
	جانب				الإجمالي		جانب				الإجمالي		جانب				الإجمالي			
	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج		
...																				
الإجمالي																				
المتوسط																				
ساعات الذروة																				

الجدول (أ–٦) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: Exhibit 4-4 – (ITE, (2010a).

ورقة ملخصة لمركبات الركاب والشاحنات والمركبات المتنوعة												
التاريخ_____ المرور في_____ الشارع الطقس_____ تم التجميع بمعرفة _____												
بدء التشغيل لمدة ربع ساعة	**عدد مرات الدخول**						**عدد مرات الخروج**					**إجمالي عدد مرات الدخول بالإضافة للخروج**
	مركبات نقل الركاب	**الشاحنات**	**النقل العام**	**متنوعة**	**الإجمالي**	**مركبات نقل الركاب**	**الشاحنات**	**النقل العام**	**متنوعة**	**الإجمالي**		
.....												
الإجمالي												
المتوسط												
ساعات الذروة												

الجدول (أ–٧) أوراق ميدانية وأوراق ملخصة نموذجية لعدّ الطوق (الكوردون) (يُتبع) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-4).

ورقة ملخصة لجميع الناس

التاريخ________________________ المرور

في________________________ الشارع

الطقس________________________ تم التجميع بمعرفة

____

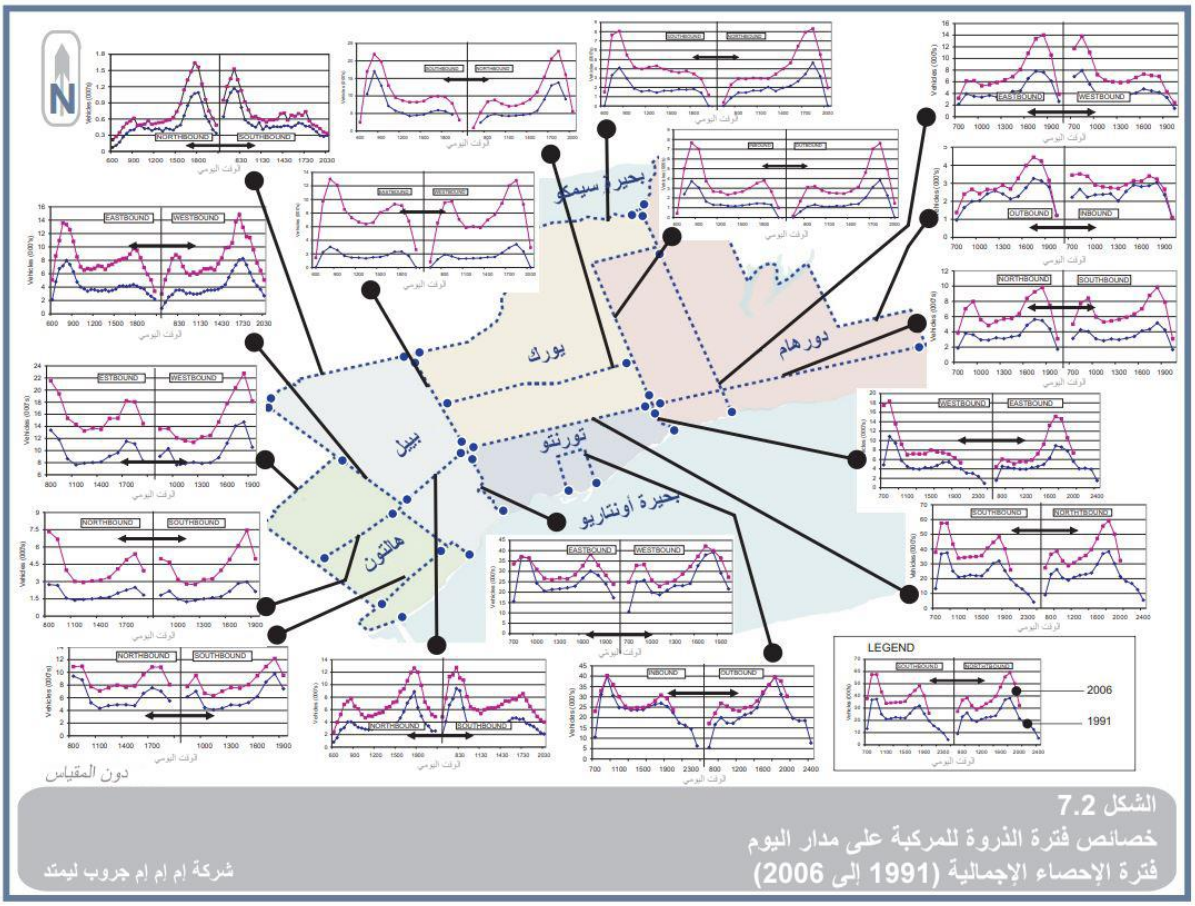
بدء التشغيل لمدة ربع ساعة	الناس القادمون عبر					الإجمالي الوارد	الناس الخارجون عبر					الإجمالي مغادر	إجمالي عدد مرات الدخول بالإضافة للخروج
	مركبات نقل الركاب	الشاحنات	مركبات النقل العام	متنوعة المركبات	المشي		مركبات نقل الركاب	الشاحنات	مركبات النقل العام	متنوعة المركبات	المشي		
…													
الإجمالي													
المتوسط													
ساعات الذروة													

يُعرَف حجم تراكم المركبات داخل الطوق (الكوردون) من خلال جمع عدد مرات الدخول والخروج في جميع محطات العدّ حسب الفترة الزمنية. وتبدأ عمليات العدّ عادةً عندما يكون نظام الشوارع في أدنى تدفق له. ويمكن للجهات حساب عدد المركبات المركونة في الشارع وخارج الشارع؛ لتقدير عدد المركبات داخل الطوق (الكوردون) عند بدء الدراسة. ويوضح الجدول (أ-٨) إجراء حساب التراكم. ويوضح الشكل (أ-٢) طريقة عرض ملخصات بيانات عدد الأطواق.

الجدول (أ–٨) حسابات تراكم عدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-5).

الفترة الزمنية	المركبات التي تدخل الطوق (الكوردون)	المركبات التي تغادر الطوق (الكوردون)	التراكم (بالمركبات)
٤:٠٠-٥:٠٠ صباحًا	المركبات المتوقفة	—	٢٥٠
٥:٠٠-٦:٠٠ صباحًا	١٠٠	٢٠	٣٣٠
٦:٠٠-٧:٠٠ صباحًا	١٥٠	٤٠	٤٤٠
٧:٠٠-٨:٠٠ صباحًا	٢٠٠	٤٠	٦٠٠
٨:٠٠-٩:٠٠ صباحًا	٢٩٠	٨٠	٨١٠
٩:٠٠-١٠:٠٠ صباحًا	٣٥٠	١٢٠	١,٠٤٠
١٠:٠٠-١١:٠٠ صباحًا	٣٤٠	٢٠٠	١,١٨٠
١١:٠٠ صباحًا – الظهيرة	٣٥٠	٣٥٠	١,١٨٠
١٢:٠٠-١:٠٠ مساءً	٢٦٠	٣٠٠	١,١٤٠
١:٠٠-٢:٠٠ مساءً	٢٠٠	٣٨٠	٩٦٠
٢:٠٠-٣:٠٠ مساءً	١٨٠	٤٢٠	٧٢٠
٣:٠٠-٤:٠٠ مساءً	١٠٠	٣٥٠	٤٧٠
٤:٠٠-٥:٠٠ مساءً	١٢٠	٣٢٠	٢٧٠

أ-١-١-١-١-١



الشكل (أ–٢) مثال على عدّ الطوق (الكوردون) (المصدر: MMM Group, (MMM Group, n.d.) – Figure 7.2).

أ-٢-١-٢-٢ عدّ خطوط التدقيق:

تُحصَى خطوط التدقيق لتسجيل السير من منطقة إلى أخرى. وبرغم استخدام عدّ الطوق (الكوردون) لحساب جميع المرور التي تدخل إلى منطقة ما وتغادرها (مثل منطقة الأعمال المركزية)؛ فإن خطوط التدقيق تُعدّ لتسجيل تدفقات المرور من منطقة إلى منطقة أخرى. ويعتبر خط التدقيق شكلاً من أشكال الحواجز الطبيعية أو المصنوعة مع وجود عدد محدود من نقاط العبور حيث تُعدّ الأحجام. ومن الأمثلة على ذلك الأنهار أو خطوط السكك الحديدية أو الطرق الحضرية السريعة التي تحتوي على عدد محدود من نقاط العبور. ويستخدم المحللون عدّ خطوط التدقيق للتحقق من نتائج دراسات المنبع-المقصد وضبطها أو للتحقق من نتائج توزيع المرور لدراسة تخطيط النقل. كما يمكن استخدامها للكشف عن الاتجاهات أو التغيرات طويلة الأجل في استخدام الأراضي والنشاط التجاري وأنماط التنقّل.

وبالنسبة إلى عدد خطوط التدقيق، ينبغي استخدام فواصل زمنية لمدة ١٢ إلى ٢٤ ساعة في يوم العمل. إن استخدام العديد من فترات العدّ التي يفصل بينها أسبوع أو أكثر سيمنع أي ظروف غير عادية تحدث في يوم معين من التسبب في حدوث تحيز في البيانات. ويمكن أن يفضل أيضًا إجراء عدّ وفق التصنيف عند إجراء عدّ خط التدقيق. وعند الانتهاء من العدّ ستُقارن معابر خطوط التدقيق (بالساعة أو مجملًا) مع المعابر التي تنبأت بها دراسات تخطيط النقل. ثم تُستخدَم نتيجة هذه المقارنة لضبط نموذج تخطيط النقل الذي يتنبأ بتدفقات المنبع-المقصد.

أ-٢-١-٢-٣ عدّ التحكم:

ينبغي أن تُحدَّد أنماط تباين الحجم اليومية والموسمية (الشهرية) مع مراقبتها باستخدام عدّ التحكم في برنامج على حسب المنطقة. وتجري عمليات العدّ إما بصورة مستمرة أو دورية على مدار السنة. وتجري عمليات العدّ الأكثر جدوى في محطات العدّ الدائم، التي تعمل على مدار الساعة طوال اليوم: ٣٦٥ يوما في السنة. وتستكمل محطات العد بالتحكم في البيانات التي يُحصل عليها من محطات العدّ الدائم للحصول على تقديرات لتغيرات الحجم الموسمية والشهرية في مواقع إضافية في شبكة النقل.

وينبغي توزيع محطات عدّ بالتحكم عبر شبكة النقل ووضعها في مواقع استراتيجية. ويمكن تقسيمها إلى محطات عدّ رئيسة وثانوية؛ حيث توجد المحطات الرئيسة في مسارات رئيسة في الشبكة.

ويجب عادةً، في محطات عدّ التحكم الرئيسة، إجراء عدّ مستمر لمدة ٧ أيام خلال كل شهر من السنة. كما يجب إجراء عدّ مستمر لمدة ٥ أيام في الأسبوع كل شهرين في محطات عدّ بوحدة التحكم الثانوية. ويجب أن تكون هناك محطة عدّ دائمة أو بوحدة تحكم في العدّ لكل ٢٠ - ٢٥ محطة تغطية (ستُناقش في التالي).

عوامل النمو:

إن تقدير عوامل النمو لأحجام المرور هو أحد الاستخدامات الشائعة جدًا لعدّ التحكم. ويُطلب من مهندسي ومخططي المرور في الغالب توقع المرور لسنوات عديدة في المستقبل لتحديد ما إذا كانت هناك سعة كافية على الطريق الذي يجري تصميمه أو تحديثه للظروف المستقبلية. وتوفر محطات العدّ في أو بالقرب من الطريق موضوع الدراسة، أو بالقرب من المحلّل موردًا كبيرًا للتقدير بدلًا من مجرد التخمين أو وضع افتراضات سيئة بناءً على بيانات محدودة أو معدومة. ويُحسَب حجم المرور في المستقبل باستخدام معادلة معدل النمو الأسي، الموضحة أدناه المعادلة (أ-١).

$$V_{future} = V_{current}(1+g)^n$$ **المعادلة (أ-١)**

حيث إن

V_{future} = حجم المرور المتوقع للسنة المقبلة (مركبة/الساعة).

$V_{current}$ = عدّ حجم المرور في السنة الحالية، وعادةً ما تكون في ساعة الذروة (مركبة/الساعة).

g = متوسط عامل النمو السنوي، معبرًا عنه بالرقم العشري.

n = عدد السنوات المتوقعة في المستقبل.

ينبغي استخدام متوسط ٥ سنوات أو أكثر من بيانات المرور من محطة التحكم عادةً، ومع ذلك يجب استخدام القواعد الهندسية لاتخاذ قرارات جيدة عن الفترة الزمنية الدقيقة التي يجب استخدامها لمعدل النمو.

لحساب معدل النمو من عمليتي مراقبة فقط على الأحجام (الحالية والمستقبلية) التي جُمعت على مدى عدد السنوات يمكن حساب عامل النمو g مباشرةً عن طريق إعادة ترتيب (جميع المصطلحات كما عُرّفت من قبل):

$$g = \sqrt[n]{\frac{V_{future}}{V_{current}}} - 1$$ **المعادلة (أ-٢)**

العوامل اليومية والموسمية:

يتمثل أحد الاستخدامات الرئيسة لعدّ التحكم في وضع عوامل تكيف يومية وموسمية يمكن استخدامها لتعديل تعدادات أخرى في المنطقة. وتوفر محطات العدّ الدائم أدق مصدر للبيانات من أجل حساب عوامل التعديل اليومية والموسمية. وتُعتبر الخطوة الأولى في هذه العملية الحسابية إيجاد متوسط الحجم لكل يوم من أيام الأسبوع على مدار العام بأكمله. ويُعد متوسط هذا القطاع الجانبي الذي تبلغ مدته ٧ أيام هو متوسط المرور اليومية على مدار أسبوع عادي. ويُحصل على عامل التعديل اليومي عن طريق قسمة متوسط المرور اليومية على متوسط الحجم لكل يوم من أيام الأسبوع. ويوضح الجدول (أ-٩) حساب عوامل التسوية اليومية.

الجدول (أ–٩) حساب توضيحي لعوامل التغيير اليومية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-8).

يوم	متوسط الحجم السنوي لليوم (مركبة/اليوم)	العامل اليومي
الأحد	١,٨٢٠	٠,٨٠ = ١,٨٢٠/١,٤٢٩
الاثنين	١,٣٣٢	١,٠٧ = ١,٣٣٢/١,٤٢٩
الثلاثاء	١,٢٧٥	١,١٢ = ١,٢٧٥/١,٤٢٩
الأربعاء	١,٢٨٩	١,١١ = ١,٢٨٩/١,٤٢٩
الخميس	١,٣٠٠	١,١٠ = ١,٣٠٠/١,٤٢٩
الجمعة	١,٤٠٦	١,٠٢ = ١,٤٠٦/١,٤٢٩
السبت	١,٥٨٨	٠,٩٠ = ١,٥٨٨/١,٤٢٩

الإجمالي ١٠,٠٠٠ مركبة متوسط المرور اليومية = ١,٤٢٩ مركبة/يوم

يُتبّع إجراء مماثل في حساب عوامل التباين الموسمية أو الشهرية. ويُعد متوسط المرور اليومية لكل شهر هو الحجم الشهري من محطة العدّ الدائم مقسومًا على عدد الأيام في الشهر. ويتم بعد ذلك حساب المتوسط السنوي للمرور اليومي على أنه متوسطات المرور اليومية طوال الأشهر الاثني عشر. ويُتحصَّل على عوامل التعديل الشهرية عن طريق قسمة متوسط المرور اليومية لكل شهر على المتوسط السنوي للمرور اليومي. ويوضح الجدول (أ-١٠) حساب عوامل الاختلاف الشهرية. ويمكن حساب العوامل اليومية والموسمية بطريقة مماثلة من بيانات عدّ التحكم. ونظرًا إلى أن عدّ وحدات التحكم عبارة عن عينات بدلًا من العدّ المستمر؛ لذا يكون هامش الخطأ أكبر. ومع ذلك، فإن عدّ التحكم المخططة بعناية ستُصدر تقديرات موثوقة.

الجدول (أ–١٠) حساب توضيحي لعوامل التغيير الشهرية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-9).

شهر	إجمالي المرور ()	متوسط المرور اليومية للشهر (مركبة/يوم)	العوامل الشهرية (المتوسط السنوي للمرور اليومي/متوسط
يناير	١٩,٨٤٠	٦٤٠ = ٣١/١٩,٨٤٠	١,٢٥ = ٦٤٠/٧٩٧
فبراير	١٦,٦٦٠	٥٩٥ = ٢٨/١٦,٦٦٠	١,٣٤ = ٥٩٥/٧٩٧
مارس	٢١,٢٣٥	٦٨٥ = ٣١/٢١,٢٣٥	١,١٦= ٦٨٥/٧٩٧
أبريل	٢٤,٣٠٠	٨١٠ = ٣٠/٢٤,٣٠٠	٠,٩٨ = ٨١٠/٧٩٧
مايو	٢٥,٨٥٥	٨٣٥ = ٣١/٢٥,٨٥٥	٠,٩٥ = ٨٣٥/٧٩٧
يونيو	٢٦,٢٨٠	٨٧٦ = ٣٠/٢٦,٢٨٠	٠,٩١ = ٨٧٦/٧٩٧
يوليو	٢٧,٦٥٢	٨٩٢ =٣١/٢٧,٦٥٢	٠,٨٩ = ٨٩٢/٧٩٧
أغسطس	٣٠,٠٠٨	٩٦٨ = ٣١/٣٠,٠٠٨	٠,٨٢ = ٩٦٨/٧٩٧
سبتمبر	٢٨,٦٢٠	٩٥٤ = ٣٠/٢٨,٦٢٠	٠,٨٤ = ٩٥٤/٧٩٧
أكتوبر	٢٦,٣٥٠	٨٥٠ = ٣١/٢٦,٣٥٠	٠,٩٤ = ٨٥٠/٧٩٧
نوفمبر	٢٢,٢٩٠	٧٤٣ = ٣٠/٢٢,٢٩٠	١,٠٧= ٧٤٣/٧٩٧
ديسمبر	٢١,٧٣١	٧٠١ = ٣١/٢١,٧٣١	١,١٤ = ٧٠١/٧٩٧
الإجمالي = ٢٩٠,٨٥١ مركبة المتوسط السنوي للمرور اليومي = ٣٦٥/٢٩٠,٨٥١ = ٧٩٧ مركبة/يوم			

ساعة الذروة والعوامل الاتجاهية:

تعتمد المنهجيات في التحليل التشغيلي لتدفق المرور عادةً على تحليل ساعة الذروة باستخدام معدل تدفق ذروة لمدة ١٥ دقيقة في الساعة. ومن الأفضل ينبغي أن تستند المدخلات المتعلقة بهذه المنهجيات إلى عمليات العدّ الملحوظة التي تستغرق ١٥ دقيقة. ولكن في حالة عدم وجود مثل هذه البيانات، يمكن تقدير حجم ساعة التصميم الاتجاهي ($DDHV$) من $AADT$ على النحو الآتي (TRB, 2022):

$$DDHV = AADT \times K \times D$$ **المعادلة (أ-٣)**

حيث إن:

$DDHV$ = حجم ساعة التصميم الاتجاهي (مركبة/ساعة).

$AADT$ = المتوسط السنوي للمرور اليومي (مركبة/ساعة).

K = نسبة $AADT$ التي تحدث في اتجاه الذروة.

D = نسبة حركة مرور ساعة الذروة في اتجاه الذروة.

دليل سعة الطرق (TRB, 2022): يعرض قيمًا نموذجية للعوامل K وD وينبغي استخدامه للتحليل، في حالة عدم وجود تقديرات مقابلة من جانب الجهات المحلية. وإذا رغبت إحدى الجهات في وضع تقديراتها الخاصة بهذه النسب، ينبغي استخدام محطة عدّ التحكم، شريطة أن تكون البيانات متاحة في حاويات البيانات كل ساعة وأن تُفصل حسب الاتجاه. ويعكس الإجراء الحسابي الأساسي تطور العوامل اليومية والشهرية الموصوفة أعلاه.

وينبغي استخدام أعلى معدل تدفق مدته ١٥ دقيقة معبرًا عنه في المركبات بالساعة في حسابات التحليل المروري. ويُحصل عليه عن طريق قسمة المتوسط السنوي للمرور اليومي على عامل ساعة الذروة. ويعرض دليل سعة الطرق قيمًا افتراضية لعامل ساعة الذروة والتي يمكن استخدامها في حالة عدم وجود بيانات ميدانية مفصلة (١٥ دقيقة). ويمكن تقدير عامل ساعة الذروة من عمليات مراقبة الحجم لمدة ١٥ دقيقة على النحو الآتي:

$$PHF = \frac{V_{peakhour}}{4 \times V_{peak15}}$$ **المعادلة (أ-٤)**

حيث إن:

PHF = عامل ساعة الذروة.

$V_{peakhour}$ = الحجم في ساعة الذروة في المركبات.

V_{peak15} = حجم المرور في ذروة لمدة ١٥ دقيقة في المركبات.

تتراوح ساعة الذروة بين ٠,٢٥ كحد أدنى نظريًا (تصل جميع المركبات المرصودة في ساعة الذروة، في ذروة قدرها ١٥ دقيقة) و١,٠، وفي هذه الحالة تُوزع المركبات بالتساوي على مدار ساعة الذروة.

تقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة:

إجمالي مسافات السير اليومية (عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة يوميًا) على جميع المقاطع في شبكة الطرق هو مجموع حاصل ضرب المتوسط السنوي للمرور اليومي على كل مقطع في طول المقطع. وبالتالي، فإن عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة سنويًا أو إجمالي حجم السير السنوي هو إجمالي حجم السير يوميًا مضروبًا في عدد الأيام في تلك السنة (٣٦٥ أو ٣٦٦ يومًا)، وينبغي توخي الحذر عند مقارنة عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة سنويًا.

يمكن تقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة من خلال تحديد متوسط المتوسط السنوي للمرور اليومي لعينة من مقاطع الطرق التي تمثل النظام قيد النظر، ثم ضرب ذلك في إجمالي طول الطرق في النظام. وتعتمد دقة هذا التقدير على حجم العينة وتشتت المتوسط السنوي للمرور اليومي في الشبكة. فإذا كان التوزيع منحرفًا؛ فسيكون وسيط المتوسط السنوي للمرور اليومي أكثر ملاءمة لتقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة.

متطلبات التقدير والدقة:

تشمل خصائص المرور المستخدمة بشكل متكرر: المتوسط السنوي للمرور اليومي، وحجم المرور التصميمي السّاعي، وعدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة، وحجم ساعة الذروة. ويمكن اشتقاق حجم المرور التصميمي السّاعي، وعدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات من المتوسط السنوي للمرور اليومي وبالتالي فإن من الأهمية قياس وتقدير المتوسط السنوي للمرور اليومي.

ويفترض استخدام المتوسط السنوي للمرور اليومي بأن تظل ثابتة في عطلة نهاية الأسبوع إلى حد ما بمرور الوقت، على الرغم من أنها أقل من المرور خلال أيام الأسبوع. ومع ذلك؛ فإن العنصر الأكبر لكثير من المرور في عطلة نهاية الأسبوع تقديري، كما إن عوامل عدة، مثل ارتفاع أسعار الوقود قد تؤثر أيضًا على الافتراضات الأساسية.

وتعتمد دقة تقدير المتوسط السنوي للمرور اليومي بشكل أساسي على الفترة الزمنية التي أُحتسِبت خلالها المرور. وتعتمد أيضًا على دقة عامل التعديل الموسمي المستخدم لتحويل متوسط المرور اليومية إلى المتوسط السنوي للمرور اليومي.

بنفس القدر، تعتمد دقة تقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة بشكل أساسي على عدد وصلات الطرق التي يُقاس المتوسط السنوي للمرور اليومي عليها، ودقة تقديرات المتوسط السنوي للمرور اليومي. وإذا تعذر أخذ عينات من كل رابط بحركة مرور موحدة نسبيًا؛ فهذا يعتمد على تبعثر أو تشتت التقديرات. ويمكن تحسين الدقة من خلال تجميع مقاطع الطريق معًا بخصائص حركة مرور متشابهة، وقد تكون هذه المجموعات مناطق جغرافية أو فئات وظيفية أو طبقات حجم، اعتمادًا على البيانات المطلوبة. على سبيل المثال: يكون للتغيرات الموسمية التأثير الأكبر على تقديرات المتوسط السنوي للمرور اليومي وعادةً ما تُفضّل المجموعات الإقليمية. ويُستخدَم تقسيم الحجم من ناحية أخرى؛ لتحسين الدقة في تقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة.

يوجد بالتالي تمييز واضح بين تقديرات المتوسط السنوي للمرور اليومي وعدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة:

- يُقدَّر المتوسط السنوي للمرور اليومي من خلال إجراء تعدادات قصيرة الأجل، عادةً على أساس التناوب، في مواقع مختارة، وحساب متوسط المرور اليومية، وتطبيق عامل تعديل. ويُشتَق هذا العامل من العدّ الموسمي (١٢ شهرًا) على الطريق المعني، أو على الطريق الذي يظهر اختلافات موسمية مماثلة في المرور.
- يُقدّر عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة على الشبكة عن طريق قياس أو تقدير المتوسط السنوي للمرور اليومي على وصلات مختارة، وإجراء تقدير لمجموع سير الشبكة على أساس السير على كل رابط. وتعتمد دقة النتيجة على عدد الوصلات، وتشتت المتوسط السنوي للمرور اليومي في الشبكة. ويمكن تحسينها من خلال اعتماد إجراءات المُعاينة الإحصائية.

أ-٢-١-٢-٤ عدّ التغطية:

عدّ التغطية هو عدّ قصير الأجل نسبيًا، ولكنه عدّ مستمر يُجرى في مكان واحد خلال فترة تتراوح من ٢٤ إلى ٧٢ ساعة. ولضبط عدّ التغطية على مدار ٢٤ ساعة لموقع معين؛ وذلك لتقدير المتوسط السنوي للمرور اليومي، يُضرَب العدّ في عوامل التباين اليومية والشهرية المناسبة التي حُصِل عليها من محطات العدّ بالتحكم. وينبغي أن تكون العوامل المستخدمة من موقع محطة العدّ الدائم أو محطة العدّ بالتحكم مشابهة لخصائص الهندسة والمرور إلى موقع عدّ التغطية.

أ-٢-١-٣ تصنيف المركبات:

تُعد بيانات تصنيف المركبات مهمة لجميع تطبيقات هندسة النقل. كما إن بيانات التصنيف الشاملة مُتاحة الآن باستخدام التقنيات الجديدة. وتهتم استطلاعات تصنيف المركبات بتوزيع بيانات المرور على أنواع مختلفة من المركبات. ويهتم مهندسو المرور بتكوين مسار تدفق المرور. كتدفقات المركبات والمركبات الثقيلة والدراجات النارية والدراجات لتخطيط وتشغيل وتقييم نظام المرور.

أ-٢-١-٣-١ احتياجات بيانات تصنيف المركبات:

يمكن تحديد ست مجالات دراسة واسعة تكون فيها بيانات تصنيف المركبات أساسية. وتشمل مجالات الدراسة هذه ما يأتي:

- تصميم وأداء رصفيات الطرق والجسور.
- السعة المرورية وتحليل التشغيل.
- فئات المركبات لوضع التشريعات واللوائح الخاصة بالمرور.
- دراسات سلامة الطرق.
- تصميم نظام ركن المركبات.
- الدراسات الاقتصادية.

يثير البندان الأولان أعلاه قلقًا مباشرًا لدى مهندس المرور، ويرد أدناه وصف موجز لاحتياجات بيانات التصنيف في هذين المجالين.

رصفيات الطرق والجسور:

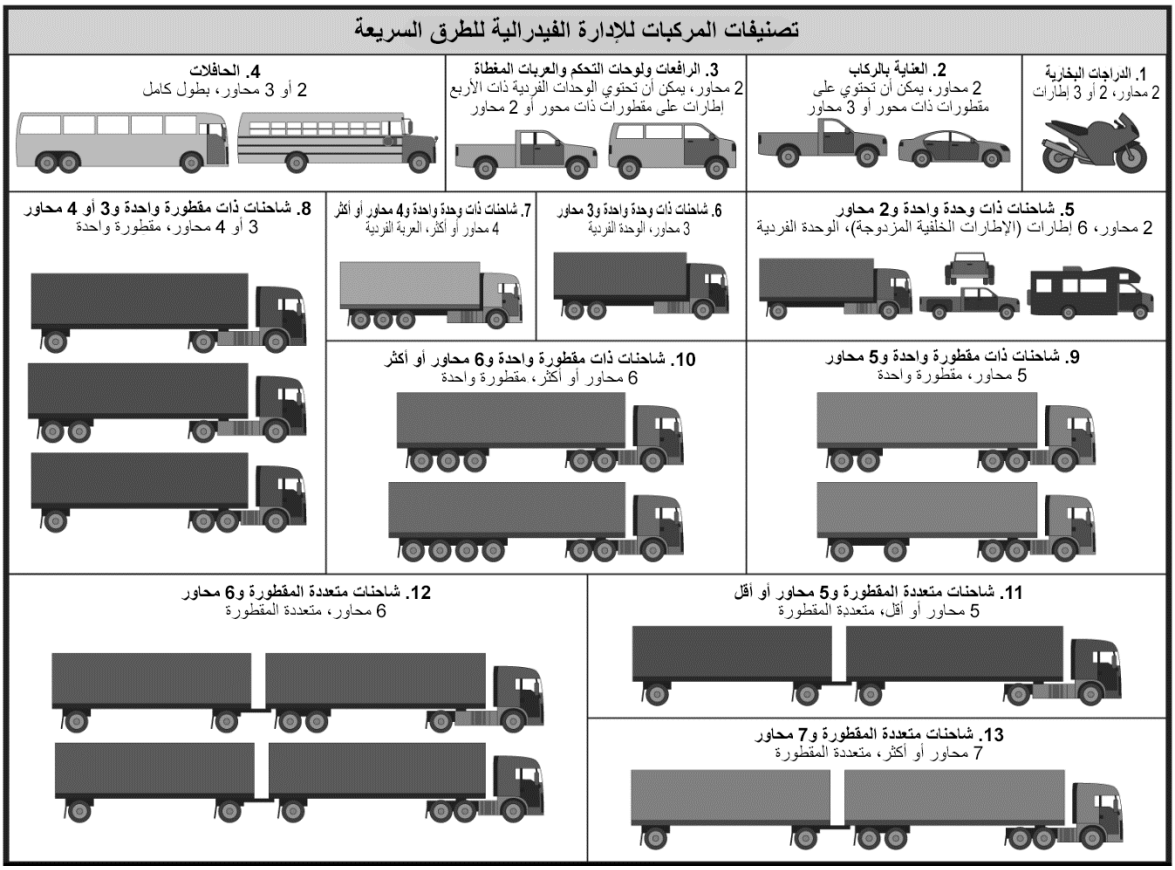
يكتسي إجمالي الأحمال التي يتحملها عنصر الطريق وتوزيع وتكرار الأحمال الفردية بأهمية بالغة في التنبؤ بأداء هذا العنصر وتقييمه. كما يُستخدم التصميم الإنشائي للرصفيات والجسور استخدامًا أساسيًا لبيانات تصنيف المركبات. ويتطلب التصميم الهيكلي بيانات عن توزيع أحمال المحور، وتكرار أحمال المحور، وتكوين المحاور، وبالتالي بيانات أنواع المركبات.

السعة المرورية والتشغيل:

تعتمد قدرة نظام الطريق على التعامل مع المطالب المفروضة عليه إلى حد كبير على أبعاد وخصائص أداء المركبات المستخدمة لهذا الطريق. ويمكن أن تجد المركبات ذات القدرة المنخفضة والكبيرة أو إحداهما صعوبة في صعود الدرجات، وبالتالي تقليل مستوى الخدمة لتدفق حركة مرور معين، ما لم يتوفر شرط خاص للسماح للمركبات الأخرى بالتجاوز.

تصنيف نوع المحور/المركبة:

يتكون تصنيف المحور من جمع بيانات المرور مع العدادات التي تكشف عن المحاور وقياس المسافات بين المحاور على كل مركبة. ثم تُصنَّف المركبة وفقًا للمعايير الواردة في مخطط تصنيف الإدارة الاتحادية للطرق "ف" الشكل (أ-٣). وتُجمَع بيانات التصنيف عادةً باستخدام مزيج من وجود (الحلقات) والمستشعرات الكهربائية الإجهادية.



الشكل (أ–٣) مخطط تصنيف الإدارة الاتحادية للطرق "F" (المصدر: FDOT (2018) – Figure 3).

أ-٢-٢ طرق جمع البيانات:

الطريقتان الأساسيتان لحساب المرور هما عدّ المراقبة اليدوية والعدّ الآلي. ولأغراض هذا الجزء الفرعي، ستُعرَّف عمليات المراقبة اليدوية على أنها أي عدّ تُفرَز المركبات الفردية بمعرفة محلل إما في أثناء الملاحظات الميدانية أو من تسجيلات الفيديو. وعلى النقيض من ذلك تُجرى تقنية آلية في عمليات العدّ الآلي لإجراء العدّ، مما يقلل من مهام المحللين للإعداد والمعايرة والتحليل. ومن المهم ملاحظة أنه يمكن إجراء كلا النوعين من العدّ في الميدان أو في أثناء المعالجة اللاحقة في المكتب.

أ-٢-٢-١ المراقبة اليدوية:

أ-٢-٢-١-١ الغرض والتطبيق:

ينبغي على المحلل في جمع بيانات في العدّ اليدوي تسجيل كل مركبة يدويًا أثناء مرورها عبر التقاطع أو نقطة المعنية. وتتمثل الميزة الرئيسة للعدّ اليدوي في تقليل تكلفة المعدات ووقت الإعداد عادةً. ويمكن تدريب المراقب بسرعة على إجراء العدّ اليدوي في الميدان أو من الفيديو. ومع ذلك، قد يكون العدّ اليدوي غير فعال كلما طالت مدة بقاء المحلل في الميدان.

تتطلب العديد من أنواع العدّ تصنيفات يُحصَل عليها بسهولة ودقة أكبر مع مراقبين مدربين في العدّ اليدوي. ومن الأمثلة إشغال المركبات والمشاة وحركات الانعطاف في التقاطعات وتصنيفات المركبات. وبالرغم من أنه يمكن الحصول أيضًا على معظم هذه التدابير بالوسائل الآلية؛ فإن جهد الإعداد الإضافي لا يكون موفرًا للوقت -عادةً- بالنسبة إلى الحسابات قصيرة المدة.

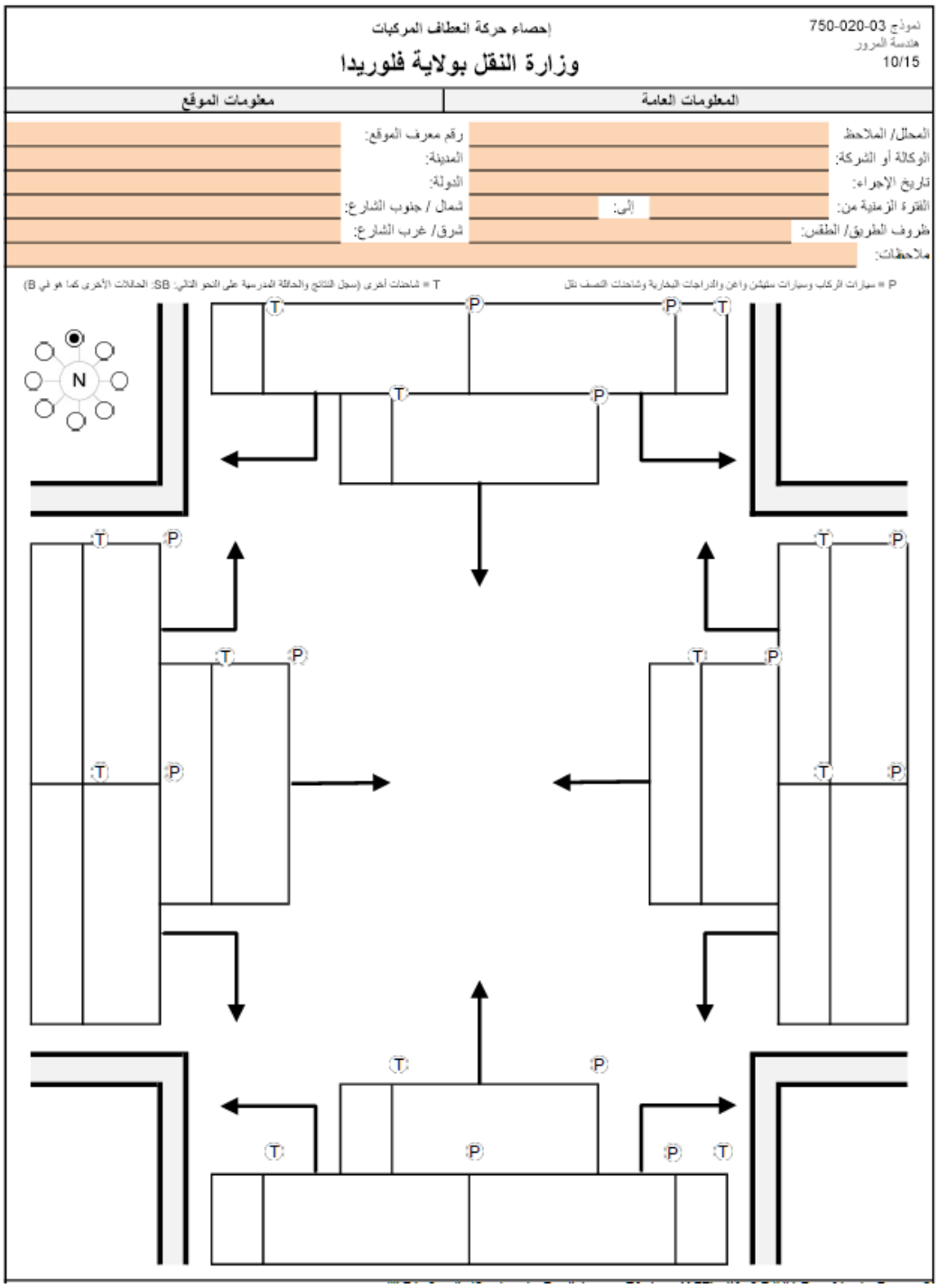
ينبغي تحديد الحاجة إلى العدّ اليدوي بعد فحص الموارد التكنولوجية المتاحة مع القدرة على استخدام المعدات الموجودة للعدّ. (على سبيل المثال: الحلقات أو الكاميرات عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية).

أ-٢-٢-١-٢ المعدات:

سجلات إحصائية:

إن تسجيل كل مركبة روقبت بعلامة (نعم) على نموذج ميداني مُعد هو أبسط نهج تقليدي؛ لإجراء العدّ اليدوي. ويعرض الشكل (أ-٤) ورقة ميدانية توضيحية لعدّ حركة انعطاف المركبة. ويمكن لمهندسي المرور ضبط الورقة الميدانية هذه بناءً على هندسة التقاطع محل الغرض المعني. ويمكن أن يتطلب عدّ المشاة والدراجات أوراق منفصلة إذا كانت أحجام هذه الأوضاع مرتفعة.

ويمكن إضافة حركات المشاة والدراجات المنخفضة يدويًا على النموذج الحالي في العديد من التقاطعات. ويسمح النموذج بإصدار أي تصنيف يمكن أن يكون مطلوبًا. وهنا يستلزم وجود ساعة أو ساعة توقيت لتوجيه المراقب إلى الفترة الزمنية للعدّ المطلوب، ويُستخدَم نموذج جديد في بداية كل فترة. كما يُحتسَب العدّ الأولي أو يُلخص أو يُدخَل في جهاز حاسب عند العودة إلى المكتب. وهذه الطريقة منخفضة التكلفة، ويمكن تكييفها بسهولة مع الأشكال الهندسية المختلفة وأنواع العدّ. ومع ذلك، لا يشيع تطبيقها اليوم مع توفر لوحات العدّ الإلكترونية وأجهزة الحاسب المحمولة، والتي يسهل استخدامها وتعمل على تقليل وقت التحليل.



الشكل (أ–٤) مثال على ورقة قياس ميدانية للتقاطع (المصدر: (FDOT, (2022 – ((Form No. 750-020-03 adjusted.

لوحات العدّ المحمولة باليد:

تعد لوحات العدّ الإلكترونية المحمولة باليد والتي تعمل بالبطارية حاليًا الجهاز الأكثر شيوعًا للمساعدة على جمع بيانات عدّ المرور. وقد حلت محل جميع لوحات العدّ الميكانيكي التقليدية التي تستخدم أجهزة الأزرار المتراكمة المثبتة على الحافظة. ويمكن أن يظل تطبيق لوحات العدّ الميكانيكي محدودًا في المواقف التي تكون فيها الأرقام الإجمالية للأحداث هي البيانات المطلوبة فقط (على سبيل المثال: عدد الركاب الذين يستقلون المركبات على خط نقل).

لوحات العدّ الإلكترونية هي أجهزة حاسب مدمجة وخفيفة الوزن ومحمولة باليد ومزودة بأزرار مختلفة مخصصة لحركات مختلفة على التقاطع. كما أنها أبسط بكثير من ناحية التصميم والعرض المرئي مقارنةً بأجهزة الحاسب المحمولة، وتتميز بغلاف متين وبطارية ذات عمر خدمة طويل. وتحتوي لوحات العدّ الإلكترونية على ساعة داخلية تفصل البيانات حسب أي فترة زمنية تُختار؛ لذلك لا توجد حاجة إلى نماذج ميدانية. كما تتمتع لوحات العدّ الإلكترونية بأفضلية على أوراق العدّ ولوحات العدّ الميكانيكية؛ حيث إن الأشكال الورقية أكثر حساسية للطقس (الرياح والأمطار)، وأحيانًا يصعب الحفاظ على تنظيمها للدراسات الطويلة. والأهم من ذلك، أنها تستبعد الحاجة إلى تقليل البيانات وتلخيصها يدويًا. ويمكن نقل البيانات مباشرةً من ميدان العمل إلى جهاز حاسب في المكتب عبر المودم أو اتصال (USB) عند العودة من ميدان العمل. وتُلخَص البيانات وتُعالج في برنامج التحليل، وتُعرَض النتائج بتنسيق عرض تقديمي محدد. وهذا يلغي خطوة تقليل البيانات المطلوبة مع أوراق العدّ ولوحات العدّ الميكانيكية.

تستطيع العديد من لوحات العدّ الإلكترونية التعامل مع عدة أنواع من الدراسات المرورية الشائعة، مثل حركة الانعطاف والتصنيف والفجوة وتأخير التوقف ومعدل التدفق المُشبّع وتأخير علامة التوقف والسرعة اللحظية ودراسات زمن الانتقال. وبالنسبة إلى الجهات التي تتطلب تعدادات أكثر من تعدادات المرور اليدوية في بعض الأحيان، تُعد لوحة العدّ الإلكترونية أو الحاسب المحمول أداة فعالة من حيث التكلفة وموفرة للعمالة.

الأجهزة المحمولة:

يمكن استخدام أجهزة الحاسب المحمولة والأجهزة اللوحية والهواتف المحمولة بدلًا من لوحات العدّ الإلكترونية. ويمكن استخدام جداول البيانات الممكنة من الماكرو لتسجيل الطوابع الزمنية للأحداث المختلفة على أجهزة الحاسب. وتتمثل فائدة استخدامها لجمع البيانات في القدرة على تخصيص جداول البيانات لاحتياجات المستخدم المحددة. ويكمن العيب فيها في وجوب تشفير البرمجيات وتحليل ما بعد المعالجة.

وتتوفر تطبيقات الأجهزة اللوحية والهواتف المحمولة التجارية التي تقلد وظائف لوحة العدّ ، ولكن مع تحسين إدخال البيانات وقدرات التصدير. وتتيح الشاشة التي تعمل باللمس في الأجهزة اللوحية التجارية وظائف جديدة مثل تتبع حركة المركبة بالأصابع على الشاشة أو النقر المزدوج؛ للدلالة على حركات الشاحنات في جانب إدخال البيانات. وبخصوص جانب تصدير البيانات، يمكن استخدام اتصال الإنترنت للأجهزة المحمولة لإرسال العدّ من خلال البريد الإلكتروني عند اكتماله.

التعدادات القائمة على الفيديو:

يمكن إجراء العدّ اليدوي في الوقت الحقيقي في الميدان أو في عملية ما بعد المعالجة من عمليات مراقبة الفيديو في المكتب. ويمكن أن يكون استخدام مقاطع الفيديو عمليًا إذا كان الفيديو متاحًا بالفعل من جهد سابق، أو إذا كان من السهل الحصول عليه. على سبيل المثال، تحتوي مراكز إدارة المرور الحديثة على بث فيديو مباشر من الكاميرات الميدانية الدائمة (على الطرق السريعة أو التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية) إلى مكتب مركزي، حيث يمكن تسجيلها فيه. وبالنسبة إلى تعدادات الطرق السريعة اليدوية، غالبًا ما يُعد ذلك نهجًا أكثر أمانًا من وضع مراقب على هيكل جسر أو موقع آخر على مقربة من حركة المرور السريعة. ويمكن أن تقلل التعدادات القائمة على الفيديو أيضًا من متطلبات وجود الموظفين، إذا كان بإمكان نفس المحلل إعادة تشغيل الفيديو لحساب الحركات المختلفة. ومن الأهمية بمكان اختيار زاوية الكاميرا جيدًا من بعض نقاط المراقبة العلوية؛ لضمان الاستفادة من الفيديو. يمكن لكاميرا واحدة تسجيل جميع حركات الانعطاف عند تقاطع نموذجي مع توفير ظروف الإضاءة المناسبة ووضع نقطة المراقبة الجيدة. وتُعد الساعة الرقمية في صورة الفيديو طريقة ممتازة لملاحظة نهاية الفترات الزمنية. ومع ذلك، تُعد العلامات التي يضعها مشغل الكاميرا، أو مشغل الكاميرا الصوتي، بدائل كافية عن الساعة.

يمكن أن تتيح برامج معالجة صور الفيديو الحديثة بيانات وحدة التخزين آليًا. ويمكن للمراقبين بدلًا من ذلك تسجيل أعدادهم باستخدام لوحة عدّ محمولة باليد، أو علامات تحديد على ورقة عدّ، أو مباشرةً إلى جهاز حاسب. وبالنسبة لمعظم التطبيقات، تعمل طريقة الحصول على التعدادات اليدوية من الفيديو على مضاعفة التحليل بشكل فعال، مما يجعله حلًا أقل عملية إذا لم تكن عمليات مراقبة الفيديو متاحة بالفعل. وتتمثل إحدى مزايا الفيديو في إمكانية فحص عمليات الخطأ في المراقبة بسهولة من خلال محلل ثان أو يمكن جمعها للحصول على بيانات إضافية عن تصنيف المركبات أو التأخير أو صفوف الانتظار. وإذا لزم الأمر، يمكن للمراقبين مشاهدة الفيديو بحركة بطيئة للفحص بمزيد من التدقيق. ويمكن أن تؤدي إمكانية إجراء دراسات أخرى باستخدام الفيديو، مثل دراسات التقاطعات والمداخل التي نوقشت في الجزء ٥-٢، إلى استخدامات فعالة للغاية لعمل الأطقم الميدانية. وتتطلب الدراسات الأخرى عادةً فيديو ذا جودة أعلى من عدّ عدد حركات الانعطاف؛ لذلك ينبغي على مهندسي المرور مراعاة احتياجات الدراسات الأخرى أولًا عند تحديد استخدام الفيديو.

إذا لم يتوفر فيديو مسبقًا، ولم تُستخرَج عناصر بيانات إضافية من الفيديو، فعادةً ما يكون استخدام الفيديو لدراسة أحجام بسيطة غير فعال. وإذا أُعدّت معدات الفيديو عند أحد التقاطعات؛ فعلى جامع البيانات عادةً البقاء على مقربة من المعدات لمنع تخريبها أو سرقتها. وفي هذه الحالة، يكون هذا الوقت هو الوقت الأكثر فعالية لإجراء دراسة الحجم ببساطة، بدلًا من استثمار وقت إضافي في نسخ الفيديو ومعالجته لاحقًا.

أ-٢-٢-١-٣ الأفراد اللازمين:

ينبغي وجود مراقبين مدربين لإجراء العدّ اليدوي للمرور. ويجب منحهم الراحة بشكل دوري لتجنب التعب والأداء المتدهور. وينبغي جدولة فترات الراحة من ١٠ إلى ١٥ دقيقة كل ساعتين على الأقل. وإذا كانت فترة جمع البيانات أكثر من ٨ ساعات، فينبغي السماح بوجود فواصل من ٣٠ إلى ٤٥ دقيقة كل ٤ ساعات. ويعتمد موقع فريق جمع البيانات على طول فترة العدّ، ونوع العدّ المجرى، وعدد المسارات أو الممرات المراقبة ومستوى حجم المرور.

ويمكن لأحد المراقبين حساب حركات الانعطاف بسهولة في تقاطع رباعي الاتجاهات ومنخفض الحجم المروري والمحكوم بإشارات مرورية ويحتوي على مسار واحد ما دام لم يُطلب وجود التصنيفات الخاصة وإشغال المركبة أو أحدهما. ومع زيادة أي من المتغيرات السابقة أو جميعها، يزداد تعقيد مهمة العدّ، وستكون هناك حاجة إلى مراقبين إضافيين.

يمكن تقسيم الواجبات بين المراقبين بطرق مختلفة. ويمكن أن يسجل أحد المراقبين عند التقاطع المحكوم بإشارات مرورية، الاتجاه الشمالي والغربي، بينما يراقب الآخر الاتجاه الجنوبي والشرقي. وبهذه الطريقة، لا يتحرك سوى اتجاه واحد لكل مراقب في أي وقت من الأوقات. وتوجد طريقة أخرى لتقسيم الواجبات وهي أن يسجل أحد المراقبين الإشغال أو فئات معينة من المركبات، بينما يحسب المراقب الآخر الحجم الإجمالي. ويمكن تعيين المسارات الفردية أو معابر المشاة أو التصنيفات للمراقبين الفرديين في المواقع المعقدة. وفي المواقع المعقدة أيضًا، يمكن أن تتمثل مهمة أحد المراقبين الوحيدة في إراحة المراقبين الآخرين على أساس جدول زمني متناوب.

تتطلب مجموعة فيديو الطائرات دون طيار موظفين ذوي طبيعة خاصة، مثل وجود طيار (طيارين) مرخصين لقيادة الطائرات دون طيار. وبالنسبة إلى التعدادات قصيرة المدة باستخدام طائرة دون طيار واحدة، يمكن أن يكون وجود طيار لطائرة دون طيار واحد كافيًا. ويمكن أن يكون من الضروري وجود أفراد إضافيين من الطاقم والطيارين لعدّ مواقع متعددة ولضمان الاستمرارية في التصوير بالفيديو في أثناء إعادة شحن الطائرات دون طيار أو تبديل البطاريات.

ويمكن أن تكون الطائرة دون طيار المربوطة بديلًا مفضلًا لجمع البيانات (أي في جمع البيانات لفترة طويلة). وتُتيح الطائرة دون طيار المربوطة جمع البيانات لفترات طويلة من الزمن من خلال توصيلها بمحطة طاقة على الأرض.

أ-٢-٢-١-٤ الإجراء الميداني:

الإعداد:

يبدأ العدّ اليدوي الدقيق، الموثوق به للمرور في المكتب. وتُستخدَم قائمة التحقق المُعدة محليًا كأداة مساعدة قيمة، حتى من جانب الفرق المتمتعة بالخبرة؛ لضمان اكتمال جميع الاستعدادات للدراسة الميدانية قبل وصول الفريق إلى الموقع. الجدول (أ-١) عبارة عن قائمة تحقق عامة يمكن أن تكون بمثابة بداية لقائمة التحقق المُعدَّة محليًا. وينبغي أن تبدأ الاستعدادات بمراجعة الغرض من العدّ الذي سيُجرى ونوعه، وفترة العدّ والفترات الزمنية المطلوبة، وأي معلومات معروفة عن الموقع (مثل التخطيط الهندسي، ومستويات الصوت حسب الوقت من اليوم، وتوقيت الإشارة، وما إلى ذلك). وستساعد هذه المعلومات في تحديد نوع المعدات التي ستُستخدم، والإجراءات الميدانية الواجب اتباعها، وعدد المراقبين اللازمين. ويمكن أن تساعد أدوات رسم الخرائط والتصوير عبر الإنترنت في تحديد نقاط المراقبة الجيدة، ولكن يستلزم ذلك توافر المعرفة المحلية أو زيارة الموقع.

سيحدد اختيار المعدات أنواع نماذج البيانات المطلوبة، إن وجدت. وينبغي ملء معلومات المقدمة بالقدر الممكن في المكتب، وينبغي ترتيب النماذج حسب الترتيب الذي سيستخدمها به كل مراقب في الميدان. ومن المهم جدًا الاتفاق مسبقًا على اتفاقية تسمية الشوارع والاتجاه عند استخدام لوحات العدّ المحمولة. وبدون هذه الاتفاقية، قد يكون من الصعب مطابقة ملفات الإخراج المتعددة في خطوة التحليل. وينبغي أن تتضمن قائمة التحقق أيضًا عناصر المعدات، مثل الأقلام والبطاريات وساعات التوقف والوسائط الفارغة (أشرطة الفيديو، أو الأقراص، أو وسائط الفلاش أو محركات الأقراص الثابتة)، حسب الحاجة. ويمكن أن يتسبب الاضطرار إلى العودة إلى المكتب؛ لاسترداد العناصر المنسية في تأخير بدء الدراسة أو التسبب في تأجيلها. كما أنّ عدم كفاية عدد النماذج يمكن أن يبطل الدراسة ويتسبب في إهدار الموارد.

ينبغي أن تعمل المعدات بشكل صحيح؛ لضمان العدّ الدقيق. وتحتوي لوحات العدّ الجيدة على مفاتيح ثابتة توفر للمراقب تأكيدًا ملموسًا ومسموعًا عند الضغط على المفتاح بنجاح. وينبغي إصلاح الوحدات ذات مفاتيح (الاختيار) أو التخلص منها. إن عدم وجود تأكيد عن طريق اللمس أو إرسال رسالة مسموعة عند الضغط على زر يشكل تحديًا عند استخدام أجهزة الحاسب المحمولة على مدى فترات عدّ طويلة. وهكذا، يمكن أن تكون لوحة العدّ المتاحة تجاريًا مفضلة في التعدادات الطويلة. وينبغي أن تعمل المراجعة في المكتب للإجراءات الواجب اتباعها والتحقق من التشغيل السليم لجميع المعدات على إكمال مرحلة إعداد الدراسة.

تستلزم التعدادات التي تُجمع عبر الطائرات دون طيار إعدادًا إضافيًا لأنها ينبغي أن تمتثل للوائح سلطات إدارة الطيران المحلية فيما يتعلق بتشغيل الطائرات دون طيار في مجال جوي محدد خاضع للرقابة. ويمكن أن تتضمن هذه اللوائح قيودًا على الارتفاع فيما يتعلق بتشغيل الطائرات دون طيار أو تقييد التشغيل تمامًا. ويجب البحث في جميع مواقع جمع البيانات مقدمًا؛ لضمان الامتثال لهذه اللوائح، ولضمان أن يكون الجمع باستخدام طائرة دون طيار ممكنًا.

موقع المراقب:

ينبغي أن يكون المراقبون أنفسهم موجودين في مكان يمكنهم فيه كشف المرور التي يقومون بحسابها بشكل أكثر وضوحًا. وينبغي على المراقبين تجنب نقاط المراقبة المحجوبة بانتظام بسبب الشاحنات، أو الحافلات، أو المركبات المتوقفة أو غيرها من الأشكال. وينبغي ألا يقتربوا من حافة طريق السير، كإجراء احترازي للسلامة الشخصية ولتجنب تشتيت انتباه السائقين. ويتيح الموقع الموجود فوق مستوى الشارع والخالي من العوائق أفضل نقطة مراقبة عادةً. وإذا وجِد العديد من المراقبين في نفس الموقع لإجراء العدّ، فمن المُجدي لهم الحفاظ على التواصل البصري مع بعضهم البعض، وأن يكونوا قادرين على التواصل من أجل تنسيق أنشطتهم. وبالنظر إلى وجود المراقبين على الأرجح في زوايا متقابلة من التقاطع، فمن المجدي استخدام أجهزة الراديو ثنائية الاتجاه أو الهواتف المحمولة.

تعتبر الحماية من عناصر الطبيعة من التقديرات الهامة أيضًا بالنسبة إلى المراقب. كما إن الملابس المناسبة من العوامل الهامة؛ بحيث تتناسب مع الظروف الجوية السائدة. وينبغي ارتداء سترات السلامة إذا كان المراقب موجودًا بالقرب من المرور في أي وقت. ويمكن للمراقبين إجراء العدّ من داخل المركبات ما داموا يستطيعون الرؤية دون عائق. فالجلوس داخل السيارة يكون أكثر أمانًا وراحة في أثناء الطقس العاصف من الجلوس في الخارج. وعلى المراقبين إيقاف المركبة في مساحة قانونية قريبة بما فيه الكفاية من التقاطع؛ حتى يتمكنوا من رؤية أبعد مسار من الطرق المخصص لهم. إن ركن المركبات عند الممتلكات الخاصة في بعض الأحيان أمر مريح، ولكن ينبغي للمراقبين الحصول على إذن صاحب العقار. ويمكن استخدام علامة تشير إلى أن عدّ المرور قيد التنفيذ، لأن ذلك يرضي فضول السائقين عادةً بشأن المراقبين الذين يمكنهم مشاهدتهم من الطريق.

ينبغي على المحلل تحديد مواقع العدّ قبل جمع البيانات أو التخطيط لوقت كافٍ؛ لتحديد نطاق الموقع قبل العدّ مباشرةً. ومن الممارسات الجيدة بشكل عام أن يصل إلى الموقع قبل ١٥ دقيقة على الأقل من وقت بدء العدّ المجدول للسماح بالإعداد والتعريف؛ حيث يساعد ذلك في مشاهدة المرور لما يعادل عددًا قليلاً من دورات الإشارة.

تسجيل البيانات:

يكمن مفتاح نجاح تعدادات المرور في الحفاظ على تنظيم وتصنيف البيانات بشكل صحيح. ويمكن أن تنتج التعدادات عددًا كبيرًا من نماذج البيانات أو الملفات الإلكترونية. وينبغي تسمية كل نموذج أو ملف بوضوح بمعلومات مثل موقع العدّ واسم المراقب ووقت الدراسة والظروف التي أُجري فيها العدّ. ويجب أن يشير النموذج نفسه بوضوح إلى الحركات والتصنيفات والفترات الزمنية. وبالنسبة إلى لوحات العدّ، من المهم الحفاظ على اتفاقية التسمية للملفات والحركات.

ينبغي أن يركز المراقبون انتباههم على تسجيل كل عدّ بدقة في المكان المناسب أو باستخدام الزر المناسب. وينبغي توخي الحذر مع لوحات العدّ الإلكترونية بشكل خاص؛ لضمان توجيهها بشكل صحيح للتخطيط الجغرافي والهندسي للتقاطع. وعندما يعمل مراقبان أو أكثر معًا، ينبغي الحفاظ على الفترات الزمنية وتنسيقها بدقة. وعلى المراقبين أيضًا البحث عن أي أحداث مرورية مؤقتة، مثل التصادمات أو أنشطة الصيانة، التي يمكن أن تؤدي إلى تعدادات حركة مرور غير عادية، وتدوينها في سجل. لهذا السبب، من الجيد حمل دفتر ملاحظات ميداني دائمًا حتى في حالة استخدام معدات العدّ المؤتمت. ومن الممارسات الجيدة أيضًا أن يقوم القائم على جمع البيانات بحساب كل ورقة جمع بيانات قبل تسليمها إلى المحلل. وتعمل هذه الممارسة على تحسين الدقة وتقليل التعدادات المفقودة.

أ-٢-٢-٢ التعدادات الآلية:

أ-٢-٢-٢-١ الغرض والتطبيق:

يوجد العديد من التطبيقات التي تحتاج إلى التعدادات لفترات طويلة من الزمن (أيام أو أسابيع أو حتى أشهر). ويوفر العدّ الآلي وسيلة لجمع كميات كبيرة من بيانات الحجم بمقدار إنفاق معقول من الوقت والموارد. ويتمثل العيب التقليدي للتعدادات الآلية بالنسبة إلى التعدادات اليدوية في موثوقية المعدات، ولكن تعمل زيادة دقة التقنية الحديثة والأجهزة على تقديم الحلول. وبرغم أنه مع المعدات الحديثة؛ حيث تكون هناك فرصة أقل لإخفاق الاستشعار أو تسجيل المعدات خلال دراسة معينة، لا يزال هناك مجال لحدوث الأعطال، أو التخريب، أو تداخل المركبات الكبيرة، أو سوء الطقس، أو العديد من المشكلات الأخرى. وينبغي على المحللين إعداد خطط طوارئ لاستخدامها في حالة تعطل المعدات وفهم قيود التقنية المختارة.

ويمكن تقسيم التقنيات الحديثة للتعدادات الآلية بشكل أساسي إلى تقنية على الطريق (متداخلة) وتقنية مثبتة على جانب الطريق (غير متداخلة). وتشمل التقنيات الموجودة على الطريق أنابيب تعمل بالهواء المضغوط، وشرائط كهروضغطية، وأشكال مختلفة من تقنية الحث المغناطيسي، والمستشعرات الكوارتز، والألياف البصرية الخ. ويمكن للتقنية غير المتداخلة استخدام الفيديو، أو الرادار (على سبيل المثال: دوبلر الموجة المستمرة، الموجات متناهية الصغر، إلخ)، أو الأشعة تحت الحمراء، الليزر، أو التقنية فوق الصوتية أو الصوتية. ويمكن أيضًا دمج التقنية غير المتداخلة مع التقنية الموجودة داخل المركبة (على سبيل المثال: أجهزة الإرسال والاستقبال الإلكترونية) التي يمكنها التواصل مع أجهزة القراءة على جانب الطريق.

ينبغي استخدام جميع معدات العدّ الآلية (خاصة المستشعرات المتداخلة) وفقًا للظروف الجوية المتوقعة لكل منطقة ومواصفات المعدات المقدمة من قِبل الشركة المصنعة.

تُستخدم تقنيات العدّ الآلي في التقاطعات في كثير من الأحيان؛ حيث إنها توفر تعدادات حركات الانعطاف. كما تُطبَّق على قطاعات الطرق السريعة ومرافق الرسوم؛ لتوفير معلومات عن كل مسار على حدة بشأن الأحجام والبيانات الأخرى. ويمكن بشكل عام

لجميع التقنيات المذكورة أعلاه حساب تصنيفات المركبة آليًا، وقد توفر في بعض الحالات مخرجات إضافية على سرعات المركبة، والحركات الأمامية، والكثافة، وحتى زمن الانتقال من موقع عدّ إلى آخر وذلك باستخدام تقنية تحديد هوية المركبة.

أ-٢-٢-٢-٢ المعدات:

تتكون كل من التقنيات الموجودة على الطريق وعلى جانب الطريق عادةً من مكونين أساسيين: مسجل بيانات، والمستشعرات للكشف عن وجود المركبات والمشاة أو أحدهما. وتتمتع بعض المعدات أيضًا بالقدرة على توصيل البيانات التي جُمِعت إلى مرفق مركزي للمعالجة.

يركز هذا الجزء الفرعي على الخصائص الأساسية للتقنيات الموضوعة على الطرق والطرق الجانبية، والمفاضلات التي يجب مراعاتها.

تقنية العدّ على الطريق:

تُركَّب تقنية العدّ على الطريق مباشرةً على مسارات السير، أو في بعض الحالات الموجودة بشكل دائم في الرصف. ويمكن أن تأخذ هذه التقنية شكل معدات مثبتة بشكل دائم تستخدم لإجراء تعدادات بالتحكم على المدى الطويل، أو المعدات المحمولة المستخدمة لإجراء عدّ التغطية على مدار فترة ٢٤– ٧٢ ساعة.

ينبغي على الجهات إنشاء محطات عدّ دائمة؛ بحيث يتحقق عدّ مستمر طويل الأجل (على سبيل المثال، ٢٤ ساعة في اليوم، ٣٦٥ يومًا في السنة). وعادةً ما تكون الأحجام المجموعة في هذه المحطات جزءًا من برنامج واسع النطاق لمراقبة خصائص المرور واتجاهاتها بمرور الوقت. كما تتوفر تقنية العدّ الآلي أيضًا بتنسيق محمول للاستخدام في التطبيقات المؤقتة.

يشيع استخدام محطات مراقبة المرور الدائمة في كل من الشبكات ذات الإشارات وخدمات الطرق السريعة. وتُستخدم تقنية استشعار المركبات (حلقات المحاثة المغناطيسية الأكثر شيوعًا أو تقنية استشعار الفيديو) في الشبكات المحكومة بإشارات مرورية بشكل روتيني للحصول على بيانات حجم المرور. وتثبّت حلقات النظام الخاصة في كثير من الأحيان لغرض وحيد هو مراقبة المرور وجمع البيانات. وتُستخدَم تقنية الاستشعار على الطرق السريعة لجمع أحجام المرور وغيرها من معلمات المرور. وبالنسبة إلى معدات جمع البيانات الدائمة، ينبغي أن تكون المتانة والموثوقية ذات أهمية أساسية.

يختار مهندس المرور بين العديد من الخيارات المحمولة أو المؤقتة لمعدات جمع البيانات بالإضافة إلى المعدات المثبتة بشكل دائم. وتستخدم الجهات أنابيب هوائية أو تقنية حثية مغناطيسية مثبتة مباشرةً على الرصف في معظم الأحيان. وتُخزَّن البيانات في ذاكرة مدمجة يمكن تنزيلها عبر اتصال (USB)، أو حتى الإرسال اللاسلكي. يتيح عمر البطارية في المعدات الحديثة لهذه الأجهزة بتسجيل البيانات على شحنة واحدة لمدة عدة أسابيع، على الرغم من ندرة التطبيقات الطويلة. ويعرض الشكل (أ-٥) مجموعة مختارة من معدات جمع البيانات الحديثة على الطرق.



حلقة حثيّة



مستشعر بيزومتري



أنبوب الطريق – حجم البيانات



أنبوب الطريق – بيانات التصريف

الشكل (أ–ه) أمثلة على تقنيات الاستشعار على الطريق (المصدر: FDOT (2018)- Figures 2, 4, 7 & 8).

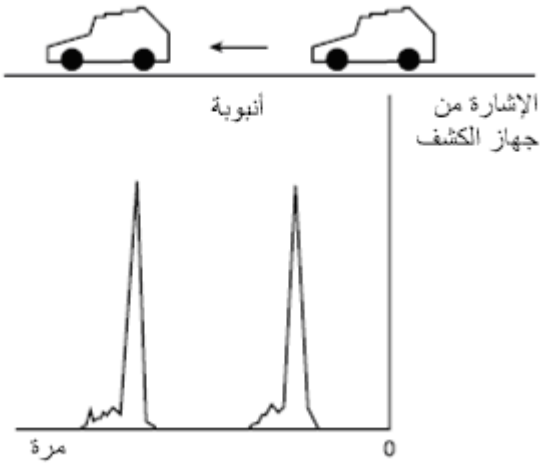
تعدادات المحاور الآلية:

يُكشَف عن المحاور بشكل عام من خلال أنبوب هوائي يمتد عبر سطح الطريق. ويعمل النبض المتولد في الأنبوب عند عبور المحور على غلق التلامس عند مفتاح الهواء المتصل، وبالتالي يُسجَّل المحور. وتظهر استجابة نموذجية من كاشف محور الأنبوب في الشكل (أ-٦) لحالة مرور مركبة ذات محورين. وتكون الأنابيب الهوائية عرضة للتلف، ولها عمر قصير نسبيًا. فهي تحتاج إلى الفحص المتكرر من وجود انشقاقات أو كسور، وبالتالي تكون مناسبة بشكل رئيس لدراسات المرور على المدى القصير.

يمكن أيضًا استخدام الكابلات الكهربائية الخاصة مثل الكابلات "الكهربائية الثلاثية" (الحساسة للاحتكاك) والكابلات "الكهربائية الإجهادية" (الحساسة للضغط) كأجهزة كشف عن المحور ((Stewart, PM, et al (1986) , Luk & Brown (1987) وهي تعمل عن طريق توليد شحنة كهربائية يمكن اكتشافها في أثناء مرور المركبة فوق الكابل. وعادةً ما تُعيّن الكابلات الكهربائية الإجهادية في الأخاديد المقطوعة في السطح، مما يجعلها دائمة. كما أنّ الكابلات الكهربائية الإجهادية في الأرض تكون متينة، ولكنها تكون أكثر تكلفة من الأنابيب الهوائية فوق الأرض. ويغير أحد أنواع المواد المقاومة للضغط من مقاومة المستشعر تحت الضغط وهو مناسب للكشف عن المشاة عند السرعات الصفرية أو المنخفضة.

عند استخدام أجهزة كشف الأنابيب أو الكابلات، من المهم أن تُوضع بشكل عمودي على تدفق المرور لتقليل احتمالية التعدادات المتعددة. ويكون الاستثناء الملحوظ في حالة استخدام أجهزة الاستشعار المثبتة في نمط حرف "Z" لقياس الوضع الجانبي أيضًا.

توفر معدات العدّ الآلية التي تستخدم الأنابيب الهوائية وأجهزة استشعار المحور الأخرى، إما تعدادات (أزواج المحاور) من جهاز كشف واحد، أو تصنف المركبات وفقًا لمسافات المحور باستخدام جهازي كشف. فإذا كانت توفر هذه المعدات تعدادات أزواج المحاور فقط، فيجب استخدام عامل تصحيح مناسب. وعادةً ما يُشتَق هذا العامل من تعدادات تصنيف المركبات — يُحصَل عليه يدويًا في المواقع التمثيلية عادةً. ويمكن الحصول على عامل التصحيح بطريقة أخرى من وجود ارتباط مباشر بين تسجيل عدّ من جهاز كشف المحور في مواقع مجهزة أيضًا بأجهزة كشف حلقات حثية تسجل مرور وحدة مركبة كاملة.

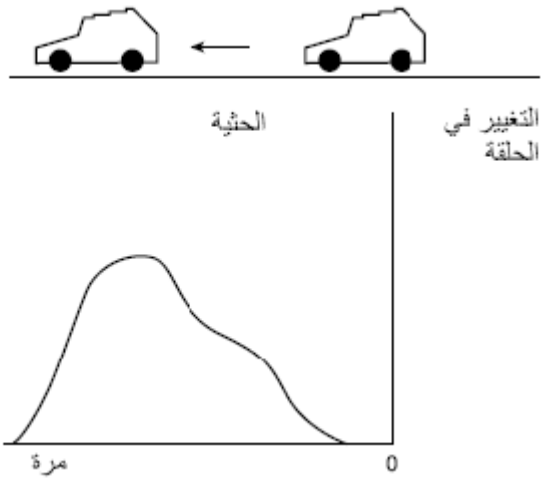


الشكل (أ–٦) الاستجابة النموذجية من كاشف المحور عندما تعبره مركبة ذات محورين (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure A.2).

الحلقات الحثية:

مستشعر الحلقة الحثي هو تقنية عدّ المركبات المستخدمة على نطاق واسع ويتكون من عدة حلقات من الأسلاك المضمنة في الرصف، أو متصلة بسطح الطريق، كجهاز كشف مؤقت. وتكون أجهزة استشعار الحلقات المضمنة في رصف الطريق دائمة بشكل أكبر في ظل ظروف المرور العادية، لكنها تكون أكثر تكلفة من أجهزة كشف الأنابيب المطاطية المثبتة على السطح.

يُمرَّر تيار متناوب عبر الحلقة الحثية. فعندما تمر كتلة معدنية (مثل هيكل المركبة أو المحرك) عبر المجال الكهرومغناطيسي للحلقة، يتغير محاثة الحلقة. وتُستخدَم هذه التغييرات للإشارة إلى مرور مركبة أو وجود مركبة. ويوضح الشكل (أ-٧) الاستجابة النموذجية لجهاز كشف الحلقة عندما تعبره سيارة ركاب. ويعتمد الانخفاض في محاثة الحلقة على حجم المركبة ومحتواها المعدني. فعلى سبيل المثال: تُحدث سيارة الركاب تغييرًا بنسبة ٥٪ تقريبًا للحلقات المستخدمة عادةً في حساب المرور. ويُستخدم جهاز كشف الحلقة الحثي على نطاق واسع لحساب المرور الآلي ومراقبة المرور والتحكم في إشارة المرور. كما يُستخدم تحليل القطاعات الجانبية الحثية لتصنيف المركبات.



الشكل (أ–٧) استجابة نموذجية لجهاز كشف تعبره سيارة ركاب (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure A.2).

مقاييس شدة المجال المغناطيسي:

تُركَّب أجهزة قياس المغناطيسية تحت رصف الطريق وتكتشف هذه الأجهزة التغيير في المجال المغناطيسي للأرض بسبب مرور السيارة. وتعمل هذه المقاييس عادةً بالبطارية وتتصل بالمعدات الموجودة على جانب الطريق لاسلكيًا. ويمكن للأنظمة القائمة على مقاييس شدة المجال المغناطيسي حساب المركبات وتقديم تقديرات الإشغال بنفس مستوى الدقة مثل الحلقات الاستقرائية وهي أسهل في التركيب (وتسبب أضرارًا أقل في الرصف).

التقنية غير التداخلية:

يمكن للعديد من تقنيات العدّ الآلي الحديثة اكتشاف المركبات بشكل موثوق من جانب الطريق أو الموقع العلوي. وتسمح التطورات في تقنيات معالجة الرادار والليزر والموجات الدقيقة والأشعة تحت الحمراء وصور الفيديو بإجراء قياسات آلية بدون حدوث ضرر للحجم في التقاطعات وفي تطبيقات الطرق السريعة.

يمكن أن تكون تقنيات العدّ على جانب الطريق منشآت دائمة أو يمكن أن تتخذ شكل معدات محمولة أو مؤقتة كما هو الحال مع المعدات على الطريق. وتشمل المنشآت الدائمة أنظمة الاستشعار بالفيديو في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية.

يشيع استخدام المعدات الدائمة القائمة على تقنيات أخرى (الرادار، الموجات متناهية الصغر، إلخ) بشكل أكبر في تطبيقات الطرق السريعة والمرافق المُقيدة. وتتوفر المعدات المحمولة على جانب الطريق، ولكنها تستخدم بشكل أقل شيوعًا من المعدات الموجودة على الطريق. يعرض الشكل (ا-٨) مجموعة مختارة من معدات جمع البيانات الحديثة على جانب الطريق.

أ) كاميرا الفيديو



ب) الماسح الضوئي للرادار



الشكل (أ–٨) أمثلة على تقنيات الاستشعار على جانب الطريق (المصدر: FDOT, (2018) –Figures 47 & 51).

نظام معالجة صور الفيديو:

يمكن لأنظمة معالجة صور الفيديو جمع الحجم والبيانات الأخرى آليًا من الفيديو. وتتضمن عملية التحليل عادةً قياسًا محوسبًا لتغيرات الإضاءة بالبيكسل على الفيديو.

يُستخدم العدّ الآلي القائم على الفيديو في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، حيث يمكن أن تتضاعف كاميرات استشعار الفيديو بتقديرها تقنية جمع بيانات. وعادةً ما تكون مواقع هذه الكاميرات ثابتة. وتُعاير الكاميرات لتسجيل حركات مختلفة على اتجاه واحد من التقاطع. وينبغي استخدام كاميرات متعددة إذا قُيِّم أكثر من اتجاه واحد للتقاطع بسبب قيود زاوية الرؤية. ويحدد المحلل أجهزة الاستشعار الافتراضية مسبقًا بمجرد تثبيت كاميرا استشعار الفيديو وذلك باستخدام برامج الحاسب في مواقع على صورة الفيديو؛ حيث تُسجَّل الحركات. وتُعد الفترة الزمنية لتجميع البيانات أيضًا أحد مدخلات البرمجيات. وبمجرد معايرة صورة

الفيديو وتهيئتها تُجمَع البيانات وتُدمَج في الفترات الزمنية المحددة. وتكون التقاطعات الفردية في أنظمة الإشارات الحديثة مترابطة مع بعضها البعض ومع معالج مركزي في مركز إدارة المرور؛ حيث تُخزن الأحجام والبيانات الأخرى وتحليلها.

يمكن أيضًا تطبيق معالجة صور الفيديو على تسجيلات الفيديو غير المتصلة بالإنترنت في المكتب. كما أنّ التحدي الذي يواجه تحليل الفيديو في وضع عدم الاتصال يتمثل في احتياج برنامج كشف الفيديو إلى معلومات دقيقة عن موقع الكاميرا لمعالجة الفيديو بدقة. وعلى المحلل في خطوة المعايرة إدخال ارتفاع الكاميرا والمسافة النسبية إلى نقطة مرجعية معروفة على الفيديو. وتُعرف هذه العملية باسم *التقويم* أو *معايرة الصور*. ولا يمكن استخدام الفيديو عادةً لمعالجة الصور في وضع عدم الاتصال بدون معلومات المعايرة. ونظرًا لمستوى الجهد المبذول، من المحتمل أن تكون تعدادات مقاطع الفيديو الآلية في وضع عدم الاتصال طريقة غير فعالة للغاية لجمع بيانات العدّ البسيطة. وقد يُبرَّر جهد الإعداد إذا جُمعت بيانات إضافية، أو إذا كان الهدف هو الحصول على تعدادات قائمة على المسار.

بالإضافة إلى الحاجة إلى المعايرة، تكون جميع تقنيات الاستشعار والعدّ القائمة على الفيديو عرضة لحركة الكاميرا (الرياح)، وتغييرات الإضاءة (ضوء النهار والسحب) والحجب؛ بسبب الأجسام العمودية الطويلة (الشاحنات). وينبغي توجيه المستخدم إلى الوثائق المقدمة من الشركة المصنعة للمعدات للتغلب على هذه المشكلات.

أجهزة قراءة لوحات الترخيص المؤتمتة:

تُثبَّت أجهزة قراءة لوحات الترخيص الآلية عادةً في موقع ثابت على أشياء ثابتة مثل: أعمدة الشوارع أو مصابيح أضواء الشوارع أو هياكل جسر الطريق. ويمكن أيضًا تثبيت هذه التقنية في بيئات شبه ثابتة أو متنقلة مثل: شاحنات المراقبة أو مقطورات الشاحنات رغم عدم استخدام أجهزة قراءة لوحات الترخيص الآلية عادةً لجمع بيانات مركز إدارة المرور، إلا أنها تُستخدم في جمع المعلومات المستندة إلى المسار بين نقاط جمع البيانات. يمكن لأجهزة قراءة لوحات الترخيص الآلية عادةً تسجيل الاتجاه وسرعة السير والطابع الزمني وتخزين المعلومات بالإضافة إلى أرقام لوحات الترخيص والموقع في قاعدة بيانات لفترات طويلة من الزمن. وتختلف الدقة ومعدل الانتشار بين التقنية المتاحة وينبغي النظر فيها قبل اختيار المعدات التي ستُستخدم في الدراسات.

رادار الموجات متناهية الصغر:

تستخدم أجهزة رادار الموجات متناهية الصغر موجات راديو عالية التردد؛ لقياس معدل تدفق المرور، مثل فئة المركبة. وتتمتع تقنية الميكروويف بميزة العمل بأطوال موجية عالية التردد (جيجاهيرتز) دون عوائق بسبب الظروف المناخية، على سبيل المثال: المطر والغبار والثلج والضباب، وهي قادرة على العمل خلال النهار والليل بنفس الكفاءة. ويمكن للتقنية على التردد العالي تتبع القطاعات المادية للمركبة، وبالتالي تمكين بيانات العدّ المصنفة للمركبات. وتشمل القيود المفروضة على التقنية حجب المركبات - أي المركبات التي تُفوت لأنها محجوبة جزئيا أو كليا؛ بسبب مركبة أكبر أقرب إلى جهاز الاستشعار.

مستشعرات الليدار:

تستخدم مستشعرات الليدار الأشعة فوق البنفسجية أو المرئية أو القريبة من الأشعة تحت الحمراء لتصوير الأشياء، مثل المركبات. ويمكن استخدام تقنية مثل رادار الموجات متناهية الصغر؛ لتحديد القطاعات الجانبية المادية للمركبة بدقة عالية جدًا، مما يتيح التعدادات الكلية والمركبات حسب تصنيفها. وتتمثل القيود الرئيسة لتقنية الليدار مثل رادار الموجات متناهية الصغر في حجب المركبة، وفي بعض الحالات في حجب القطاع الجانبي للطريق.

المستشعرات الصوتية:

تراقب مستشعرات المرور الصوتية الضوضاء الصادرة من المركبة، مثل ضجيج الإطارات في المقام الأول، ويمكن حساب المركبات وقياس سرعات المركبة على الطرق متعددة المسارات في بيئات ذات كثافة مرورية مرتفعة. وبرغم اكتشاف بعض الباحثين اختلاف دقة تعدادات المستشعرات الصوتية وسرعات المركبة المقدرة، إلا أنها قد تكون بديلًا أكثر فعالية من حيث التكلفة للمستشعرات التقليدية داخل الرصف حيث إن ظروف الطرق والمرور تقلل من عمر خدمة المستشعرات، أو عند وجود مخاوف كبيرة تتعلق بالسلامة المرتبطة بالمستشعرات التقليدية. ويمكن أن تتطلب تكاليف المستشعرات الصوتية تكاليف إعداد أعلى ويمكن أن تكون أقل ملاءمة لتطبيقات العدّ غير الدائم.

الأشعة تحت الحمراء:

تعمل أجهزة استشعار المركبات بالأشعة تحت الحمراء مثل مستشعرات الليدار عن طريق إرسال شعاع عالي الطاقة عبر الطريق أو أسفله، ويمكنها استشعار أرقام المركبات والارتفاع والعرض والطول من الجسيمات المرتدة. ويمكن أن توفر التقنية مقاييس لعدد المركبات والسرعات والتصنيف.

يعمل شعاع الأشعة تحت الحمراء كمستشعر المحور من خلال تسجيل أوقات التشغيل والإيقاف التي تعبر فيها عجلة المركبة مسار الشعاع.

أ-٢-٢-٢-٣ مصادر خطأ العدّ:

يمكن أن تنشأ أخطاء في تعدادات المرور من مجموعة بيانات العدّ الأولي، وتقدير متوسط العدّ من سلسلة من تعدادات (العينة) المرصودة، والفترة التي تُسجَّل فيها التعدادات المستمرة. وتعتمد أخطاء العدّ أيضًا على نوع المعدات وطريقة العدّ (ستؤدي

الطريقة الهوائية إلى حدوث نوع خطأ مختلف عن طريقة الحلقة الحثية). ومن الضروري اتباع تعليمات الشركة المصنعة للمعدات باستمرار لتقليل الخطأ في العدّ.

وقد بينت إحدى عمليات المراقبة الأساسية لجميع مسوحات تعدادات المرور أن الأخطاء والتحيزات أمر لا مفر منه وينبغي قبوله. ولا تخلو التعدادات اليدوية أو الآلية من الأخطاء المحتملة. وعلى الرغم من صعوبة التأكد من حجم الأخطاء المحددة في أي موقع؛ فإنّ بعض مؤشرات الأخطاء المحتملة متاحة إذا كانت هناك إمكانية لمقارنة الموقع مع المواقع المحيطة الأخرى. وفيما يأتي أبرز القواعد المعروفة:

- لا توجد تعدادات دقيقة تمامًا بسبب الأخطاء البشرية، والأعطال الميكانيكية، والعوامل البيئية مثل المطر والمجالات المغناطيسية، والمركبات المتداخلة بين مسارين، والتداخل من المرور المتعارضة، والمركبات متعددة المحاور التي تُفسَّر بشكل خاطئ (أي المركبات التي تقوم بتتبع المركبات الأخرى عن كثب أو تغير السرعة)، والمركبات التي تدور عبر أجهزة كشف المحور، وغيرها من العوامل التي تؤثر في موثوقية تعدادات المرور الأولية.
- يميل العدّ اليدوي إلى التقليل من حجم المرور؛ بسبب عمليات المراقبة المفقودة. ومن المرجح أن تحدث أخطاء الإغفال هذه بشكل متكرر على الطرق المزدحمة أو عند توظيف موظفين عديمي الخبرة. وهنا يمكن أن نستنتج القاعدة الأساسية وهي أنه يمكن توقع نقص في العدّ يبلغ حوالي ٥٪ أو أعلى من المسوحات اليدوية للمرور.
- يمكن أن تبالغ أجهزة العدّ الآلية التي تستخدم أجهزة كشف أحادية المحور في تقدير أحجام المرور، ما لم يُطبّق تصحيح عدّ المحور على البيانات الأولية. ويعتمد حجم هذا الخطأ على نسبة المركبات متعددة المحاور أو الثقيلة في المرور.
- إذا وضعت مستشعرات المحور في جهاز عدّ قائم على التصنيف بشكل أقرب لمواصفات الشركة المصنعة، ستكون سرعات المركبة مبالغًا فيها، ويمكن تصنيف المركبات بشكل خاطئ.
- ويمكن أن تؤدي أخطاء الساعة الزمنية في أجهزة العدّ الآلية إلى (تحولات زمنية) واضحة في فترات ذروة الطلب. وينبغي إجراء العدّ على فترات لا تقل عن ٢٤ ساعة للسماح بتطبيق التصحيحات. ينبغي أيضًا تصحيح السجلات طويلة الأجل للتوقيت الصيفي.

ويتضمن الافتراض الشائع والمفيد أن تقديرات عدد المرور لها توزيع احتمالي عادي عن حجم المرور الحقيقي. وإن افتراض الوضع الطبيعي الإحصائي يعني أنه يمكن تطبيق طرق الاستدلال الإحصائي؛ لإنشاء فواصل ثقة لتقديرات حجم المرور، أي نطاق محتمل لقيم تدفق المرور الحقيقي.

أ-٢-٢-٢-٤ الأفراد اللازمين:

الموظفون الوحيدون المطلوبون لإجراء العدّ الآلي هم الموظفون اللازمون لتركيب المعدات واستعادتها. وتكون أعداد الطاقم المكونة من فردين أو ثلاثة أفراد عادةً كافية؛ لنشر معظم معدات العدّ المحمولة. ويمكن أن يجب على طاقم التركيب أن يكون موجودًا في الطريق المقطوع. ويمكن أن يكون من الأفضل والأكثر أمانًا إغلاق المسارات مؤقتًا أو تثبيت المعدات خلال فترات انخفاض المرور وذلك حسب نوع المعدات. ويمكن التعامل مع مكون التسجيل من خلال شخص واحد، ومع ذلك ستكون هناك حاجة إلى شخص أو شخصين لتثبيت أنابيب الطريق أو المستشعرات المغناطيسية، في حين ينبغي توافر شخص إضافي لمراقبة المرور. وتُسترد المعدات عادةً من خلال شخص أو شخصين. ويمكن أن يتطلب تركيب أجهزة عدّ دائمة مزودة بمستشعرات داخل الرصف طاقمًا أكبر وإغلاق مسارات السير.

أ-٢-٢-٢-٥ الإجراءات الميدانية:

الإعداد:

ينبغي عدم القيام مطلقًا بالعمل الميداني دون إجراء إعداد مناسب في المكتب. كما إن قائمة التحقق المعدة محليًا بمثابة مساعدة لا تُقدر بثمن حتى بالنسبة إلى المهمة الأكثر روتينية. وسيعمل الغرض من العدّ على تحديد نوع المعدات التي ستُستخدَم وإجراءات النشر المتّبعة. وينبغي فحص جميع المعدات للتأكد من عملها بشكل صحيح. كما ينبغي توفير مستلزمات كافية من الملحقات (مثل المسامير والمشابك والشريط اللاصق والسلاسل والأقفال والبطاريات) وجميع الأدوات اللازمة بحيث تكون متاحة.

اختيار موقع العدّ:

تُقرر الجهات في المكتب إجراء العدّ في أي شارع أو طريق وتُقرر الموقع العام (خطوط العبور الثانوية أو التقاطع)؛ حيث ستُوضع أجهزة العدّ. وتعتمد هذه القرارات على نوع الدراسة التي تُجرى. ويمكن تحديد الموقع الدقيق لأجهزة تسجيل التعدادات والمستشعرات في الميدان. وسيطلب محلل النقل في كثير من الأحيان عدّ من مقاول أو طاقم ميداني. وفي هذه الحالات، يمكن أن تُوضع علامة على موقع العدّ الدقيق على رسم الحاسب لضمان التثبيت السليم.

تنطبق الإرشادات الآتية لنشر أجهزة عدّ آلية على كل من التقنيات على الطريق وعلى جانب الطريق.

- ينبغي عدم وضع مستشعرات عبر مسارات وقوف المركبات المميزة أو غير المميزة؛ حيث يمكن للمركبة المتوقفة تنشيط المستشعر بشكل مستمر.
- ينبغي نشر المستشعرات في الزوايا اليمنى لتدفق المرور.
- ينبغي الحفاظ على مساحة كافية بين المستشعر والخط المركزي للطريق بالنسبة إلى التعدادات الاتجاهية.

- ينبغي وضع المستشعرات في التقاطعات أو بالقرب من المداخل حيث يمكن تجنب العدّ المزدوج للمركبات التي تدور في تلك المنطقة.
- ينبغي تسجيل موضع المستشعر من خلال ملاحظة الموقع الفعلي على رسم تخطيطي للحالة.
- ينبغي استخدام مركبة اختبار للتأكد من استخدام أجهزة تسجيل ثنائية الاتجاه تسجل الاتجاه الصحيح.
- ينبغي تجنب المواقع التي يحدث فيها صفوف انتظار بشكل متكرر.
- ينبغي تعيين الفترة الزمنية للعدّ بطريقة تضمن تجميع الأرقام الإجمالية على مدار الساعة لجعل البيانات متوافقة مع التعدادات الأخرى.
- ينبغي ملاحظة الوقت الذي تبدأ فيه العملية المضادة.

تتضمن الإرشادات الإضافية لأجهزة العدّ في الطريق ما يلي:

- ينبغي تجنب وضع مستشعرات على وصلات تمدد الرصف أو حواف الرصف الحادة أو المنحنيات.
- ينبغي تثبيت المستشعر بإحكام على الرصف؛ باستخدام المسامير والمشابك والشريط اللاصق والمواد اللاصقة المصنوعة خصوصًا لهذا الغرض أو أحدهما. حيث تعيق المستشعرات السائبة جمع البيانات ويمكن أن تشكل خطرًا على سائقي المركبات والمشاة.
- ينبغي وضع جهاز تسجيل العدّ بالقرب من عمود لافتة أو شجرة ويجب تأمينه بقفل وسلسلة أو وضعه في خزانة التحكم في الإشارة المغلقة لمنع التخريب.
- ينبغي أن يكون الكابل أو الأنبوب الذي يربط المستشعر بجهاز التسجيل قصيرًا قدر الإمكان.
- ينبغي فحص التثبيت بشكل دوري؛ للتأكد من وجوده في مكانه وعمله بشكل صحيح. وعلى الجهات فحص المستشعرات بشكل دوري أو بعد حدوث ظروف جوية قاسية (على سبيل المثال، عاصفة رملية) للتأكد وجود المستشعرات في مكانها.

التثبيت والاسترجاع:

ينبغي أن يكون الشاغل الرئيس في أثناء عمليات التركيب والاسترجاع هو سلامة الطاقم الميداني. وينبغي أن تكون مركبة الطاقم مرئية بوضوح للمرور، وينبغي أن تكون متوقفة بعيدًا عن الطريق المقطوع. وعلى جميع أفراد الطاقم ارتداء ملابس عاكسة للضوء طوال الوقت. وينبغي إنجاز عمليات النشر والاسترداد خلال فترات انخفاض حجم المرور وتوافر الرؤية الجيدة. وإذا كانت التشغيل الليلي ضروري. على الطاقم استخدام تدابير سلامة إضافية (مثل الأضواء والأقماع وعلامات التحذير). وينبغي أن يُسند لأحد أفراد الطاقم على الأقل مهمة وحيدة وهي مراقبة المرور وتحذير بقية أفراد الطاقم في أي وقت على أفراد الطاقم دخول الطريق. وتختلف تفاصيل تقنيات التثبيت وفي كثير من الحالات تكون التفاصيل تخص كل منتج على حدة. كما تتوفر معلومات من هذا النوع بشكل عام من الشركة المصنعة للمنتج. وفي بعض الحالات، يمكن أن تكون هناك حاجة إلى مساعدة الشرطة لضمان سلامة الطاقم والجمهور.

أ-٢-٣ تقليل البيانات وتحليلها:

بعد جمع البيانات، ينبغي وضع البيانات الأولية بشكل مناسب لتحليلها. ويتكون هذا الاختزال عادةً من تحويل علامات العدّ إلى أرقام، وتلخيص البيانات عن طريق حساب المجاميع الفرعية والمجاميع، وترتيب البيانات بتنسيق مناسب. ويمكن أن يتراوح التحليل من استخراج بسيط للمعلومات الوصفية إلى معالجة إحصائية متطورة، حسب نوع الدراسة التي تُجرى.

أ-٢-٣-١ العدّ اليدوي:

ينبغي تقليل البيانات التي يجمعها المراقبون باستخدام علامات الفرز، أو لوحات العدّ إلى نموذج مناسب للتحليل. وينبغي حساب علامات العدّ لكل فترة زمنية وكل تصنيف. وينبغي إدخال التعدادات في السجلات الملخصة كما هو موضح في الجدول (أ-١١).

الجدول (أ–١١) جدول ملخص الحجم في ساعات الذروة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-14).

من الشارع الرئيس جنوبًا						من الشارع الأول غربًا					
يسار		حركة للأمام		يمين		يسار		حركة للأمام			
الذر	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذرو	الزمن	الذروة	الزمن
٢٠	٩	٥٣٣	٧٣	٣٧	٢٠	٤٤	٩	٤٠٠	٤٠	٥٣	٣٢
من الشارع الرئيس شمالًا						من الشارع الأول غربًا					

يسار		حركة للأمام		يمين		يسار		الحركة المستقيمة		يمين	
الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن	الذروة	الزمن
١٩	١	٥١٨	١٤	٨٥	٥	٥٨	٢	٢٩٩	٦١	٧٠	٥

أ-٢-٣-٢ التعدادات الآلية:

تسجل معدات جمع البيانات تلقائيًا عادةً البيانات على ذاكرة مدمجة أو قابلة للإزالة. ويجب تنزيل البيانات في المكتب أو يمكن أن تُنقل مباشرةً عبر المودم أو الألياف أو الاتصال اللاسلكي اعتمادًا على المنتج. وتتوفر أجهزة تسجيلات البيانات الآلية عادةً مع برنامج تحليل من شأنه أن يقلل البيانات في فترة التجميع المحددة من قبل المستخدم آليا وجدولته كما هو الحال مع لوحات العدّ الحديثة.

يحقق هذا البرنامج تقليل البيانات ويُصدر ملخصات للبيانات والقيم المحسوبة المطلوبة (مثل: متوسط المرور اليومية وعوامل ساعة الذروة والمنعطفات المئوية).

أ-٢-٣-٢-١ تحويل تعدادات المحاور إلى تعدادات المركبات:

كانت أجهزة العدّ الآلية القديمة تعمل بمستشعرات أحادية النقطة مثل أنابيب الطرق الهوائية أو مفاتيح الشريط أو الحلقات. لذلك كانت تسجل المحاور، وليس المركبات، وكان لا بد من تحويل العدّ الأولي في خطوة التحليل. وبرغم وجود طرق لتحويل تعدادات المحاور إلى تعدادات المركبات، فإن معدات جمع البيانات الحديثة عادةً تجعل هذه الخطوة غير ضرورية. وتُسلَّم الأنابيب الهوائية الحديثة وتثبيتها في شكل أزواج، وتحدد وحدة المنطق المدمج عدّ المركبات والتصنيف آليًا. وتقوم المعدات الأخرى القائمة على تقنية الحث المغناطيسي أيضًا بكشف عدّ المركبة والتصنيف العدّ آليًا.

أ-٢-٣-٣ فترات العدّ:

تعتمد فترة العدّ المحددة لموقع معين على الاستخدام المخطط للبيانات والطرق المتاحة لجمع البيانات. وينبغي أن تكون فترات العدّ ممثلة للوقت من اليوم أو اليوم من الأسبوع أو الشهر من السنة؛ بحيث تشمل الفترة المعنية في الدراسة. فعلى سبيل المثال: تكون أيام الأحد والخميس عادةً ليست من أيام الأسبوع العادية. ونادرًا ما يحتاج مهندسو ومخططو المرور إلى تعدادات حركة الانعطاف أو تصنيفات المركبات أو عدّ المشاة من الفترات الليلية أو الإجازات. وفي بعض الأحيان تظل هناك حاجة إلى إجراء تعدادات يوم الجمعة لمناطق التسوق. وينبغي تجنب المناسبات الخاصة والطقس السيئ في فترة العدّ ما لم يكن الغرض من ذلك دراسة مثل هذه الظواهر. ويمكن أن تتراوح فترات العدّ من ساعة إلى سنة. وعادةً ما تكون التعدادات اليدوية لفترات أقل من يوم واحد. وتشمل فترات العدّ المثالية لحركات الانعطاف وتعدادات العينات وتصنيفات المركبات والمشاة والدراجات ما يأتي:

- ساعتان: فترة الذروة.
- ٤ ساعات: فترات الذروة في الصباح وبعد الظهر.
- ٦ ساعات: فترات الذروة في الصباح ومنتصف النهار وبعد الظهر.
- ١٢ ساعة: نهارًا (على سبيل المثال: ٧:٠٠ صباحًا - ٧:٠٠ مساءً).

تكون فترات العدّ عادةً ٥ دقائق أو ١٥ دقيقة. ولأجل تحليل السعة؛ ستكون الفترة الزمنية خمس عشرة دقيقة مدة كافية للعدّ. وتوفر لوحات العدّ الإلكترونية الأعداد الإجمالية بشكل آلي لأي فترة زمنية. ولا تتطلب الفترات الزمنية الأقصر جهدًا أكبر من المراقب أو المحلل مقارنةً بالفترات الأطول. وتوفر نتائج أكثر تفصيلًا في ظل وجود برنامج حاسب لتحليل هذه التعدادات. ويعتمد اختيار فترة زمنية مناسبة للعدّ بشكل أساسي على احتياجات التحليل؛ حيث ستؤدي الفترات الزمنية الأقصر إلى المزيد من البيانات. ورغم من أن تخزين الذاكرة لا يمثل أهمية كبيرة مع أجهزة الحاسب الحديثة، إلا أن البيانات الزائدة الناتجة عن فواصل زمنية قصيرة يمكن أن تصبح غير قابلة للتحكم.

وتُجمَع التعدادات الآلية عادةً لمدة لا تقل عن أربع وعشرين ساعة. يمكن أن تمتد لمدة سبع أيام أو شهر أو حتى سنة. وتُعد الفترة الزمنية الأكثر استخدامًا ساعة واحدة، بالرغم من أن الفترات الزمنية الأصغر يمكن أن تكون مرغوبة لأغراض معينة. وتتطلب الفترات الزمنية الأصغر مساحة تخزين أكبر للحاسب ووقتًا لتقليل البيانات، وينبغيعلى المحلل مراعاة استخدام هيكل إدارة الملفات المناسب لتنظيم بيانات العدّ.

أ-٢-٣-٣-١ تعدادات العينات وتمديدات العدّ:

جميع التعدادات عبارة عن عينات. وحتى محطات العدّ الثابتة تمثل عينة من مواقع محددة بين العديد من المواقع في منطقة معينة. كما تُعتبر فترات العدّ هي أيضًا عينات من تدفق المرور على المدى الطويل. ولا يسمح الوقت والموارد بالعدّ المستمر لكل تقاطع وقسم من طريق فريد من نوعه في جميع الشوارع والطرق الحالية. وبالتالي، يُجرَى عدّ العينات على مدى فترات زمنية أقصر في مواقع محددة، ثم تُعدَّل هذه التعدادات وتوسيعها أو القيام بأحد الأمرين لوضع تقديرات لتدفق المرور المتوقع في ذلك الموقع أو مواقع مشابهة.

يمكن توسيع التعدادات القصيرة باستخدام محطة التحكم. وإذا كانت هناك حاجة إلى عدد من تعدادات العينات في منطقة صغيرة نسبيًا؛ فعلى المحللين اختيار موقع واحد يمثل شوارع المنطقة؛ لتؤخذ عينات منها. ومن المهم أن تخدم محطة التحكم نفس نوع الشارع، والمرور المختلفة التي تؤخذ عينات منها في الشوارع الأخرى. وينبغي أن يتم العدّ في محطة التحكم باستمرار خلال فترة المُعاينة بالكامل باستخدام نفس الفترة الزمنية للعدّ (على سبيل المثال، خمس عشرة دقيقة) كما هو الحال في الشوارع التي أُخذِت عينات منها. وتُسمى التعدادات التي أُجريت في موقع المُعاينة بتعدادات التغطية. وينبغي أن تؤخذ كل من تعدادات التغطية ووحدات التحكم في معبر عند منتصف مربع سكني لتجنب تعقيد حركات الانعطاف. كما ينبغي حساب كل وصلة أو قطاع في شارع تؤخذ عينات منه مرة واحدة على الأقل خلال فترة المُعاينة. ويمكن إجراء التعدادات يدويًا أو باستخدام العدّ الآلي.

تحدد مراقبة بيانات العدّ نمط التغير في الحجم لكامل فترة المُعاينة. ويُقاس النمط عن طريق حساب نسبة إجمالي حجم فترة المُعاينة التي تحدث خلال كل فترة حساب، وذلك بالنسبة إلى بيانات حساب التحكم. وبافتراض أن هذا النمط ينطبق على جميع المواقع التي أُخِذت عينات منها في منطقة الدراسة، يُحصل على حجم فترة المُعاينة الكامل لموقع تعدادات التغطية عن طريق قسمة عدّ العينات على نسبة عدّ المراقبة للفاصل الزمني للعدّ المقابل. ويعرض الجدول (أ-١٢) شكلًا توضيحيًا للإجراء. مثلاً: تُستخدَم محطة تحكم، وتُجرَى أربعة تعدادات تغطية على مدى فترة المُعاينة لمدة ساعتين. وكانت مدة الفترة الزمنية للعدّ ١٥ دقيقة في كل ربع من أرباع ساعة.

الجدول (أ–١٢) مثال على تمديد العدّ (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 4-16).

بيانات محطة التحكم		
الوقت	**عدّ (المركبات)**	**نسبة الفترات الإجمالية**
٧:٠٠-٧:١٥ صباحًا	٧٢٠	٠,١٠٥ = ٦,٨٦٤/٧٢٠
٧:١٥-٧:٣٠ صباحًا	٧٧٦	٠,١١٣ = ٦,٨٦٤/٧٧٦
٧:٣٠-٧:٤٥ صباحًا	٨٣٧	٠,١٢٢ = ٦,٨٦٤/٨٣٧
٧:٤٥-٨:٠٠ صباحًا	٩٥١	٠,١٣٨ = ٦,٨٦٤/٩٥١
٨:٠٠-٨:١٥ صباحًا	١,٠٢٢	٠,١٤٩ = ٦,٨٦٤/١,٠٢٢
٨:١٥-٨:٣٠ صباحًا	٩٨٦	٠,١٤٤ = ٦,٨٦٤/٩٨٦
٨:٣٠-٨:٤٥ صباحًا	٨٧٤	٠,١٢٧ = ٦,٨٦٤/٨٧٤
٨:٤٥-٩:٠٠ صباحًا	٦٩٨	٠,١٠٢ = ٦,٨٦٤/٦٩٨
الإجمالي = ٦,٨٦٤ مركبة		

توسيع تغطية التعدادات			
الموقع	**الوقت**	**عدّ (المركبات)**	**نسبة الفترات الإجمالية**
١	٧:١٥-٧:٣٠ صباحًا	٧٨٤	٦,٩٣٨ = ٠,١١٣/٧٨٤
٢	٧:٤٥-٨:٠٠ صباحًا	١,١٩٢	٨,٦٣٨ = ٠,١٣٨/١,١٩٢
٣	٨:١٥-٨:٣٠ صباحًا	٨٦٣	٥,٩٩٣ = ٠,١٤٤/٨٦٣
٤	٨:٤٥-٩:٠٠ صباحًا	٥٣٢	٥,٢١٦ = ٠,١٠٢/٥٣٢
الإجمالي = ٦,٨٦٤ مركبة			

أ-٢-٣-٤ تقديم بيانات الحجم:

يمكن تصوير بيانات حجم المرور بعدة طرق. وينبغي أن يعتمد اختيار طريقة العرض على الاستخدام المخطط للبيانات والجمهور الذي سيشاهدها. كما ينبغي وصف بيانات الحجم في جداول مختصرة أو في نموذج واحد أو أكثر من العديد من النماذج الرسومية (على سبيل المثال: الرسوم البيانية والأعمدة الشريطية والمخططات الدائرية ومخططات تدفق التقاطع وخرائط تدفق/عدّ المرور وما إلى ذلك).

أ-٣ دراسات السرعة اللحظية:

أ-٣-١ مقدمة:

أ-٣-١-١ السلامة:

ينبغي أن تكون السلامة هي التقدير الأهم في أثناء إجراء جميع الدراسات الميدانية. وينبغي على المراقبين والعمال توخي الحذر واليقظة طوال الوقت في أثناء العمل بالقرب من الطريق. وينبغي على المراقبين والعمال ركن المركبات الخاصة بهم بعيدًا عن الطريق المقطوع، وارتداء سترات عاكسة للضوء، والتصرف بطريقة لا تشتت انتباه سائقي المركبات أو تؤثر في سلوكهم في القيادة. كما ينبغي على المراقبين والعمال وضع أجهزة الاستشعار في الطريق واستردادها في ظل ظروف المرور منخفضة الحجم. وينبغي استخدام إجراءات قياسية لإغلاق المسار، واستخدام أجهزة الإنذار إذا استلزم الأمر تمديد الوقت في الطريق. وعلى فرق الدراسة استشارة الشرطة؛ لأنها يمكن أن تحتاج إلى مساعدة الشرطة لتوجيه المرور أثناء نشر المعدات واستردادها.

أ-٣-١-٢ متوسط السرعة الزمنية مقابل متوسط سرعة المسافة:

هناك نوعان من مقاييس متوسط السرعة التي تعبر عن معدل حركة أو سرعة المركبة. متوسط السرعة الزمنية – يشير إلى المتوسط الحسابي الأساسي للسرعة التي تُجمَع في مكان محدد. ويسهل حسابه عن طريق تجميع سرعات جميع المركبات الفردية التي تعبر نقطة وقسمتها على عدد الملاحظات. وهو مقياس بديهي للسرعة المُحتسبَة، على سبيل المثال: بواسطة مراقب بمسدس رادار ليزر لقياس السرعة على جانب الطريق.

متوسط سرعة المسافة هو متوسط سرعة جميع المركبات التي تشغل جزء من الطريق، وتعرف بأنها المسافة الإجمالية المقطوعة خلال إجمالي زمن الانتقال لجميع المركبات. وتعد سرعة القياس المستخدمة في علاقات الكثافة والتدفق والسرعة في نظرية تدفق المرور.

يمكن الحصول على السرعات بشكل أساسي في الموقع المحدد (باستخدام مسدس رادار ليزر لقياس السرعة -على سبيل المثل-) أو يمكن استنتاجها من زمن الانتقال في مسافة معروفة. ويمكن حساب كل من متوسط السرعة الزمنية ومتوسط سرعة المسافة من أي من اي طريقة من طرق القياس؛ لذلك من المهم فهم الاختلاف. ويعرض الجدول (أ-١٣) جميع المعادلات الأربعة.

الجدول (أ–١٣) معادلات حساب متوسط السرعة الزمنية ومتوسط سرعة المسافة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-1).

الاتجاه	المعدات النموذجية	المتغيرات	متوسط السرعة الزمنية	السرعة متوسطة المدى
الموقع المحدد	فخ الليزر/الرادار، فخ السرعة القصيرة	v_i = السرعة الفردية n = عدد المركبات	المعادلة (أ-٥)	المعادلة (أ-٦)
			$TMS_{Spot} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(v_i)}{n}$	$SMS_{Spot} = \frac{1}{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}(\frac{1}{v_i})}$
القطاع	ساعة الإيقاف، نظام تحديد المواقع العالمي، فيديو علوي	t_i = زمن الانتقال d_i = المسافة المقطوعة n = عدد المركبات طول القطاع	المعادلة (أ-٧)	المعادلة (أ-٨)
			$TMS_{Seg} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(\frac{d_i}{t_i})}{n}$	$SMS_{Seg} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(d_i)}{\sum_{i=0}^{n}(t_i)} = \frac{nL}{\sum_{i=0}^{n}(t_i)}$

الجدول (أ-١٣) يوضح أربع طرق محتملة لحساب السرعة، (**المعادلات (أ-٥)** إلى (أ-٨)). المعادلة (أ-٥) هي العملية الحسابية الأكثر استخدامًا؛ حيث يُحتسَب متوسط قياسات السرعة اللحظية للفرد للحصول على متوسط السرعة الزمنية. ومع ذلك، بالنسبة إلى بعض التطبيقات، مثل عمليات قطاعات الطرق السريعة والشريانية، يلزم وجود متوسط سرعة المسافة وتكون المعادلة (أ-٨) مناسبة. وفي حال عدم وجود بيانات سرعة القطاع أو زمن الانتقال، يمكن استخدام المعادلة (أ-٦)؛ لتقدير متوسط سرعة المسافة من قياسات السرعة اللحظية (Roess, et al., 2004). ونادرًا تُستخدَم المعادلة المتبقية، المعادلة (ب-٢) من الملحق (ب) وذلك لأنه من غير المعتاد استخدام متوسط السرعة الزمنية في تقييم القطاع.

وبما أن التركيز ينصب على السرعات اللحظية؛ فإن المقياس الناتج يكون عادةً هو متوسط السرعة اللحظية- للمرور (المعادلة أ-٥). ويُعد هذا المقياس مناسبًا لأخذ عينات سرعات الاتجاه إلى تقاطع محكوم بإشارات مرورية، أو مناسبًا لقياس السرعات في منحنى أفقي، أو مناسبًا لتحديد تأثير معالجة تهدئة المرور على سرعات المركبة في ذلك الموقع. ومع ذلك، فإنه ليس مقياسًا مناسبًا لاستخدامه في حساب السرعة على أساس القطاع المتعلق بأوقات السير (الجزء ٢-٧٧-٢) أو دراسات الطريق السريع (الجزء ٢-٨). ويوصف أداء الطريق السريع من خلال صلة كثافة التدفق السريع، والتي ينبغي أن تستخدم دائمًا متوسط سرعة المسافة.

أ-٣-١-٣ مفاهيم عامة لقياس السرعة:

تُجمَع بيانات السرعة اللحظية بأحد النهجين العامين: القياسات المباشرة وغير المباشرة. ويُجرَى القياس المباشر للسرعة باستخدام تقنية دائمة أو محمولة باليد تطبق مبدأ دوبلر عبر تقنية قياس الرادار أو الليزر -على سبيل المثال-. وإذا أُستخدِم قياس مباشر، يكون المقياس الناتج عادةً هو متوسط السرعة الزمنية، برغم أنه يمكن تقدير متوسط سرعة المسافة كما نوقش أعلاه. ويعمل القياس غير المباشر للسرعات اللحظية في الواقع على حساب السرعة من القياسات الزمنية لمركبة تسير مسافة معروفة (قصيرة)، مثل المسافة بين حلقتي الحث المغناطيسي المتقاربتين. ومن خلال تقليل طول فخ السرعة، يكون الفرق بين السرعات الفراغية المقاسة بشكل غير مباشر والسرعات اللحظية المطلوبة ضئيلًا.

كما نوقش في الجزء (٢-٧)، يمكن أيضًا استنتاج السرعات من أوقات سير المركبة على قطاع أطول. ومع زيادة طول القطاع، يمكن أن يكون الفرق بين متوسط السرعة الزمنية ومتوسط سرعة المسافة كبيرًا ((Roess, et al., (2004).

يوجد طريقتان أساسيتان لجمع البيانات وهما طريقة *اختيار المركبات الفردية وطريقة المُعاينة لجميع المركبات*. ويمكن لكلتا الطريقتين استخدام القياس المباشر أو القياس غير المباشر. كما سنناقش كل منها أدناه من حيث الغرض من الدراسة والموقع والفترة الزمنية والموظفين والمعدات وحجم العينة والإجراءات الميدانية.

أ-٣-٢ طريقة اختيار المركبات الفردية:

أ-٣-٢-١ مقدمة:

ينبغي على مهندسي المرور استخدام طريقة اختيار المركبات الفردية عندما يمكن تلبية غرض الدراسة باستخدام عينة صغيرة نسبيًا من السرعات اللحظية المسجّلة خلال فترات زمنية قصيرة نسبيًا. وتكون أهداف هذه الدراسات محددة جدًا ومقتصرة النطاق عادةً على أنواع معينة من المواقع والفترات الزمنية والظروف. وتشمل أمثلة هذه التطبيقات قياس فعالية جهاز التحكم المروري، أو التحقق الفوري من تأثير إنفاذ السرعة، أو تحديد موقع إشارة المرور.

أ-٣-٢-٢ تفاصيل الطريقة:

أ-٣-٢-٢-١ الأفراد والمعدات:

يمكن أن تُستخدم طريقة اختيار المركبة الفردية فخ سرعة يدوية، ولكن تُنفذ بشكل عام باستخدام مبدأ دوبلر أو تقنية القياس المباشر باستخدام تقنيات الرادار أو الليزر أو الأشعة تحت الحمراء. ويمكن أيضًا استخدام كاميرا فيديو علوية موضوعة بشكل جيد لتقدير السرعات يدويا من مسافات معروفة على الفيديو.

قياسات دوبلر:

يُعتبر الرادار أو مسدس الليزر هو الجهاز الأكثر استخدامًا لقياس سرعات المركبات الفردية مباشرةً. ويمكن أن يكون هذا الجهاز محمولًا باليد أو مثبتًا في مركبة أو مثبتا على حامل ثلاثي القوائم، كما إنها تُستخدم بشكل شائع من قبل جهات إنفاذ القانون.

يُعد مبدأ دوبلر هو مبدأ التشغيل العام لكل من أجهزة الرادار والليزر؛ حيث ينقل جهاز السرعة حزمة من الموجات عالية التردد نحو مركبة مستهدفة متحركة. وتنعكس هذه الموجات عن المركبة العائدة إلى الوحدة. ويتناسب التغير في التردد بين الموجات المرسلة والمنعكسة مع سرعة المركبة المستهدفة، بالنسبة إلى سرعة وحدة الرادار. فإذا كانت الوحدة ثابتة (لا تتحرك)، فلا يهم إذا كانت المركبة المستهدفة تسير نحو الوحدة أو بعيدًا عنها.

تُشغّل وحدة الرادار أو الليزر بسهولة من خلال شخص واحد. وتحتوي العديد من الوحدات الحديثة على تخزين بيانات مدمج باستخدام وسائط (USB) أو فلاش. ويمكن للمشغلين كتابة القراءات الرقمية المعروضة على الوحدة بدلا من ذلك أو يمكنهم تسجيل القراءات شفهيًا على مسجل صوت لنقلها لاحقا إلى الورق أو الحاسب لتحليلها. وحتى في حالة توفر حاوية تخزين بيانات مدمجة،

فمن المجدي تدوين الملاحظات على الورق أو مسجل الصوت؛ لأنه من الصعب إعادة إجراء القياسات الخاطئة من مجموعة البيانات الإلكترونية. فعلى سبيل المثال: يمكن أن تتضمن أحد الدراسات التي تركز على قياس سرعة التدفق الحر عن غير قصد بعض المركبات في النموذج الآتي والذي يجب استبعاده من التحليل. وإذا كانت المرور كثيفة أو كانت استراتيجية المُعاينة معقدة، فيمكن أن تكون هناك حاجة إلى وجود مراقبين اثنين: أحدهما لاستدعاء قراءات المركبات ذات الأهمية، والآخر لتسجيل السرعات في نموذج مناسب.

فخاخ السرعة اليدوية:

يمكن تقدير السرعات اللحظية عن طريق قياس الوقت الذي تستغرقه المركبة يدويًا للسير بين نقطتين محددتين على الطريق على مسافة معروفة باستخدام ساعة توقيت. وهذه التقنية التي يشار إليها عادةً باسم فخ السرعة، عبارة عن نهج (منخفض التقنية) لتسريع جمع البيانات. ومع التوافر الجاهز لوحدات الرادار والليزر، كما هو موضح في الجزء الفرعي السابق، وفخاخ السرعة الآلية، نادرًا تُستخدَم فخاخ السرعة اليدوية.

الفيديو:

يمكن استخدام تسجيلات الفيديو؛ للحصول على طوابع زمنية للمركبات التي تمر بنقاط معروفة، على غرار استخدام فخ السرعة اليدوي.

تشمل مزايا استخدام الفيديو ما يأتي:

- توفير سجل كامل ودائم لتدفق المرور، والذي يمكن إعادة تحليله وإعادة فحصه دائمًا في مرحلة لاحقة.
- يمكن الحصول على معلومات إضافية (على سبيل المثال: تصنيف المركبات، والتدفقات، والفترة الزمنية الفاصلة (التقاطر)، والظواهر الخاصة، والتجاوز، وما إلى ذلك).

يتطلب الاستخدام الفعال للفيديو وجود كاميرا فيديو مزودة بمولد حرفي أو جهاز مشابه لتسجيل طابع زمني، ووحدة تشغيل متغير السرعة أو خطوة الإطار. وبدون هذه الميزات، يمكن ألا يوفر سجل الفيديو القدرة على استخراج طوابع زمنية موثوقة للحصول على تقديرات صحيحة ودقيقة للسرعات. وتزيد نقطة المراقبة العلوية بشكل كبير من قدرة المحللين على تقدير السرعات بشكل موثوق كما هو الحال مع جميع الدراسات القائمة على الفيديو.

أ-٣-٢-٢-٢ متطلبات حجم العينة:

ينبغي على المحللين الذين يستخدمون اختيار المركبات الفردية جمع عدد كافٍ من عمليات مراقبة السرعة اللحظية للسماح بالتحليل الإحصائي لنتائج الدراسة. ويمكن تحديد الحد الأدنى لحجم العينة للحصول على درجة مرغوبة من الدقة الإحصائية باستخدام المعادلة (أ-٩) لحساب عدد السرعات المراد قياسها، عندما يستلزم حساب متوسط السرعة.

$$N = \left(S \times \frac{K}{E}\right)^2$$ **المعادلة (أ-٩)**

حيث إن:

N = الحد الأدنى لعدد السرعات المقاسة.

S = الانحراف المعياري للعينة المقدرة، كم/ساعة.

K = ثابت يتوافق مع مستوى الثقة المطلوب.

E = الخطأ أو التفاوت المسموح به في متوسط السرعة تقدر، كم/ساعة.

يمكن للمحللين تقدير S لهذه المعادلة من دراسات السرعة السابقة في ظل ظروف دراسة مماثلة أو من بيانات السرعة المرصودة في مكان قريب. وفي غياب هذه البيانات، يعرض الجدول (أ-١٤) القيم المقدرة لمتوسط الانحرافات المعيارية (S) كدالة لمنطقة المرور ونوع الطريق.

الجدول (أ–١٤) متوسط الانحرافات المعيارية للسرعات اللحظية لتحديد حجم العينة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-5).

مناطق حركة والمرور	نوع الطريق	كم/ ساعة
ريفي	ذو مسارين	٨,٥
	ذو أربع مسارات	٦,٨
وسيطة	ذو مسارين	٨,٥
	ذو أربع مسارات	٨,٥
حضرية	ذو مسارين	٧,٧
	ذو أربع مسارات	٧,٩
	القيمة مقربة:	٨,٠

للحصول على أكبر قدر من الدقة، يمكن للمحللين إجراء الدراسة، وحساب الانحراف المعياري الفعلي للبيانات والتحقق لمعرفة مدى تناسب حجم العينة. فإذا لم يكن الأمر كذلك؛ فسيجب جمع بيانات إضافية في ظل نفس ظروف الدراسة الأولى. كما توجد تقنية أخرى وهي استخدام آلة حاسبة لتحديث الإجمالي، ومتوسط السرعة والانحراف المعياري بشكل مستمر. وعندما يصبح الانحراف المعياري ثابتًا، يُتحصَّل على حجم عينة مناسب.

إن مستوى الثقة الذي يُعبر عنه الثابت (K) عبارة عن احتمال أن يكون الفرق بين متوسط السرعة المحسوب من العينة ومتوسط السرعة الحقيقي في مكان الدراسة أقل من الخطأ المسموح به. ويُعرَض قيم K الثابتة المقابلة لمستويات الثقة المحددة في الجدول (أ-٣٠) وتكون صالحة لأي أحجام عينة أكبر من ١٠٠ وحدة قياس. وبالنسبة إلى أحجام العينات الأصغر، يمكن الحصول على قيمة (K) المقابلة من جدول التوزيع (t) (الجدول أ-١٧).

الجدول (أ–١٥) ثابت مقابل لمستوى الثقة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-6).

الثابت، K	مستوى الثقة (%)
١,٠٠	٦٨,٣
١,٥٠	٨٦,٦
١,٦٤	٩٠,٠
١,٩٦	٩٥,٠
٢,٠٠	٩٥,٥
٢,٥٠	٩٨,٨
٢,٥٨	٩٩,٠
٣,٠٠	٩٩,٧

الخطأ المسموح به، يعكس الرمز (E) الدقة المطلوبة في تقدير متوسط السرعة. وهذه المعلمة تمثل التجاوز المسموح المطلق، ويُعبَّر عنه كقيمة موجبة وسالبة محددة. وتتراوح الأخطاء النموذجية المسموح بها من ± ١,٦ - ± ٨,٠ كم/ساعة.

يمكن أن يكون المحلل على سبيل المثال مهتمًا بحجم العينة المطلوب لدراسة السرعة على طريق حضري ذو مسارين عند مستوى ثقة ٩٥ بالمائة وخطأ مسموح به يبلغ ± ١,٦ كم/ساعة. ويريد المحلل بمعني أخر أن يعرض بتأكيد بنسبة ٩٥ في المئة

أن متوسط سرعة العينات الحقيقي يتراوح من ١,٦ كم/ساعة بقيمة موجبة أو سالبة من متوسط العينة المرصودة. ويبلغ الانحراف المعياري المقدر (S)، من الجدول (أ-١٤) ٨,٥ كم/ساعة والثابت (K) القيمة ١,٩٦ لكل الجدول (أ-١٥) (للعينات أكبر من ١٠٠ وحدة قياس). وعند تطبيق المعادلة (أ-٩)، يكون حجم العينة المطلوب هو:

$N = \left(8.5 \times \frac{1,96}{1.6}\right)^2 = 108$ عملية مراقبة.

بمجرد جمع عينة السرعات، ينبغي على المحلل إعادة حساب متطلبات حجم العينة باستخدام الانحراف المعياري الحقيقي المرصود ميدانيًا، للتأكد من استمرار كفاية العينة.

إذا كانت القيمة الإحصائية محل الدراسة هي جزء من السرعة المئوية، مثل النسبة المئوية ٨٥، المعادلة (أ-١٠) فهي مناسبة لتحديد حجم العينة المطلوب.

$$N = \frac{S^2K^2(2+U^2)}{2E^2}$$ **المعادلة (أ-١٠)**

حيث إن (N)، و(S)، و(K) و(E) على النحو المحدد للمعادلة المعادلة (أ-٩) ويكون الرمز (U) هو الثابت المقابل للسرعة المئوية المطلوبة. ويعرض الجدول (أ-١٦) الثوابت المقابلة للسرعات المئوية. وينبغي ألا يقل الحد الأدنى لحجم العينة عن ٣٠ سرعة لحظية مقاسة لتلبية الافتراضات الأساسية للتوزيعات الإحصائية في المعادلة (أ-١٣) والمعادلة (أ-١٤) كقاعدة عامة.

الجدول (أ–١٦) ثابت مقابل للسرعة المئوية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-7).

الثابت، U	السرعة المئوية
٠,٠٠	الخمسون
١,٠٤	الخامس عشر أو الخامس والثمانون
١,٤٨	السابع أو الثالث والتسعون
١,٦٤	الخامس عشر أو الخامس والتسعون

الجدول (أ–١٧) قيم (t) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit C-12).

درجات الحرية	مستوى الثقة		
	٩٠٪	٩٥٪	٩٩٪
	(ألفا = ٠,٠٥)	(ألفا = ٠,٠٢٥)	(ألفا = ٠,٠٠١)
١	٦,٣١٤	١٢,٧٠٦	٦٣,٦٥٧
٢	٢,٩٢٠	٤,٣٠٣	٩,٩٢٥
٣	٢,٣٥٣	٣,١٨٢	٥,٨٤١
٤	٢,١٣٢	٢,٧٧٦	٤,٦٠٤
٥	٢,٠١٥	٢,٥٧١	٤,٠٣٢
٦	١,٩٤٣	٢,٤٤٧	٣,٧٠٧
٧	١,٨٩٥	٢,٣٦٥	٣,٤٩٩
٨	١,٨٦٠	٢,٣٠٦	٣,٣٥٥

درجات الحرية	مستوى الثقة		
	٩٠٪	٩٥٪	٩٩٪
	(ألفا = ٠,٠٥)	(ألفا = ٠,٠٢٥)	(ألفا = ٠,٠٠١)
٩	١,٨٣٣	٢,٢٦٢	٣,٢٥٠
١٠	١,٨١٢	٢,٢٢٨	٣,١٦٩
١١	١,٧٩٦	٢,٢٠١	٣,١٠٦
١٢	١,٧٨٢	٢,١٧٩	٣,٠٥٥
١٣	١,٧٧١	٢,١٦٠	٣,٠١٢
١٤	١,٧٦١	٢,١٤٥	٢,٩٧٧
١٥	١,٧٥٣	٢,١٣١	٢,٩٤٧
١٦	١,٧٤٦	٢,١٢٠	٢,٩٢١
١٧	١,٧٤٠	٢,١١٠	٢,٨٩٨
١٨	١,٧٣٤	٢,١٠١	٢,٨٧٨
١٩	١,٧٢٩	٢,٠٩٣	٢,٨٦١
٢٠	١,٧٢٥	٢,٠٨٦	٢,٨٤٥
٢١	١,٧٢١	٢,٠٨٠	٢,٨٣١
٢٢	١,٧١٧	٢,٠٧٤	٢,٨١٩
٢٣	١,٧١٤	٢,٠٦٩	٢,٨٠٧
٢٤	١,٧١١	٢,٠٦٤	٢,٧٩٧
٢٥	١,٧٠٨	٢,٠٦٠	٢,٧٨٧
٢٦	١,٧٠٦	٢,٠٥٦	٢,٧٧٩
٢٧	١,٧٠٣	٢,٠٥٢	٢,٧٧١
٢٨	١,٧٠١	٢,٠٤٨	٢,٧٦٣
٢٩	١,٦٩٩	٢,٠٤٥	٢,٧٥٦
٣٠	١,٦٩٧	٢,٠٤٢	٢,٧٥٠
٤٠	١,٦٨٤	٢,٠٢١	٢,٧٠٤
٦٠	١,٦٧١	٢,٠٠٠	٢,٦٦٠
١٢٠	١,٦٥٨	١,٩٨٠	٢,٦١٧
∞	١,٦٤٥	١,٩٦٠	٢,٥٧٦

أ-٣-٢-٣ إجراءات جمع البيانات

أ-٣-٢-٣-١ دراسات السرعة اللحظية بالرادار/الليزر

يعتمد جمع بيانات السرعة اللحظية الناجح على مدى جودة إجراء جانبين من الدراسة. وتكمن المشكلة الأولى في تهيئة الموقع لجمع البيانات، وتتعلق الثانية بكيفية اختيار المركبات الفردية للقياس. ويمكن أن يؤثر سوء معالجة هذه المشكلات سلبًا على دقة القياسات و/أو تحيز النتائج.

مخطط موقع العمل:

يُقيد وضع وحدة الرادار/الليزر بثلاثة تقديرات:

- قدرات وحدة الرادار.
- تقليص زاوية السقوط.
- إخفاء وحدة الرادار عن نظر سائقي المركبات.

تختلف قدرات وحدات الرادار والليزر اختلافًا كبيرًا. وينبغي أن تُعد الوحدات وتشغل وفقًا لمواصفات وتعليمات الشركة المصنعة. فكلما زادت زاوية السقوط بين شعاع الرادار واتجاه حركة المركبة المستهدفة زاد خطأ جيب التمام. حيث تعمل الزاوية الأقل من ١٥ درجة على تقليل الخطأ إلى أقل من ٣,٢ كم/ساعة، ولكن يمكن أن تكون الزاوية الأصغر حرجة اعتمادًا على الدراسة المحددة للتجاوز المسموح به.

سيؤدي إخفاء وحدة الرادار والمشغلات إلى منع تشتيت انتباه السائق (تقدير السلامة) ورد الفعل (مصدر محتمل للتحيز). ويمكن أن يُخفى المعدات والطاقم بالغطاء النباتي أو الحواجز الموجودة جانب الطريق، أو يمكن أن توجد ببساطة بعيدًا عن نظر المركبات المستهدفة. ويمكن استخدام مركبات صيانة الطرق، التي يتوقع سائقو المركبات رؤيتها على جانب الطريق؛ لإخفاء الوحدة والطاقم. ولن ينجح هذ النهج في المناطق التي تستخدم فيها الشرطة أيضًا مركبات الصيانة لإخفاء وحدات الرادار. ولن تتسبب عملية الإخفاء في عرقلة أجهزة كشف الرادار.

اختيار المركبة المستهدفة:

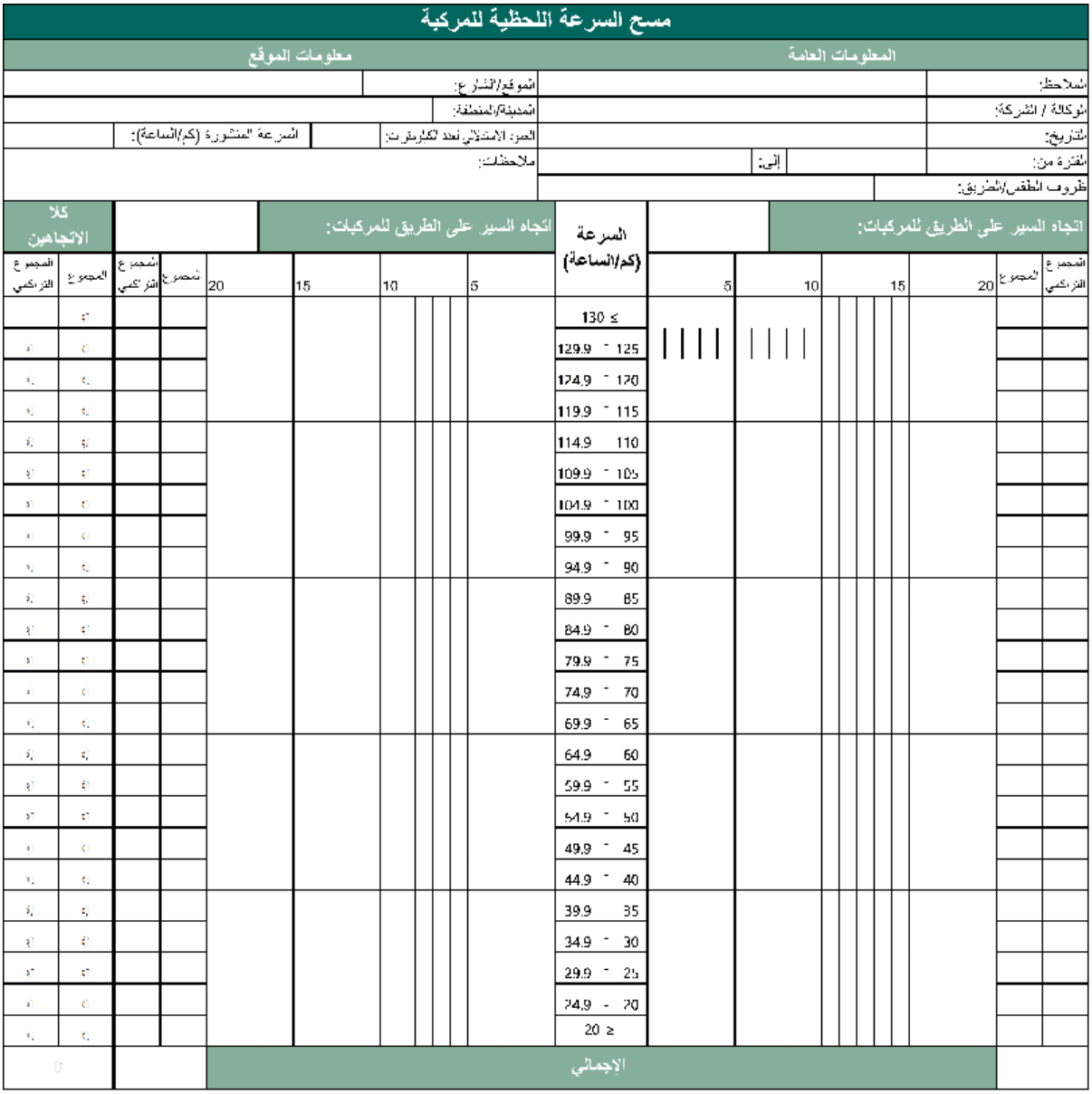
يتمثل المبدأ الاسترشادي في الاختيار العشوائي للمركبات المستهدفة التي تمثل عينة المركبات محل الدراسة. وبالتالي، ينبغي على المحللين تحديد العينة محل الدراسة بوضوح (أي المركبات ذات التدفق الحر والشاحنات الكبيرة وقادة فصائل المركبات وجميع المركبات وما إلى ذلك). وبمجرد تحديد المجموعة المشاركة في الدراسة، يمكن لفرق الدراسة اعتماد استراتيجية اختيار لتوفير عينة عشوائية من هذه المجموعة المشاركة في الدراسة. وينبغي على الفرق توخي الحذر عند استخدام جميع الاستراتيجيات؛ لتجنب اختيار المركبات المزودة بأجهزة كشف الرادار إذا أُستخدِم جهاز قياس الرادار.

سيكون من الصعب الحصول على قياس لكل مركبة باستثناء الدراسات التي أجريت في ظل ظروف الحجم المنخفض للكثافة. وساهم توافر التخزين الإلكتروني المدمج في وحدات جمع البيانات الحديثة في تسهيل المُعاينة، ولكن من المحتمل أن يكون مخطط المُعاينة لا يزال ضروريًا. ويمكن أن تتسبب المركبات في إخفاء مركبات أخرى عن شعاع الرادار في قياسات الرادار. ويمكن أن يكون خط الرؤية مُعرقلًا أو محجوبًا بصريًا بسبب المرور أو الحواجز الموجودة على جانب الطريق في قياسات الليزر. كما ترسل المركبات الكبيرة إشارة رادار أقوى من تلك التي ترسلها المركبات الصغيرة، وبالتالي تحجب سرعة المركبة الأصغر. ويمكن أن تعيق المركبات من الاتجاه المعاكس أو في مسار مختلف عن المركبة محل الدراسة قياس المركبة المستهدفة. وهذه المخاوف تكون أقل مع وحدات الليزر.

يميل المراقبون بشكل طبيعي إلى تسجيل تلك المركبات التي تظهر بطريقة ما، مثل المركبات السريعة، أو المركبات البطيئة، أو الشاحنات أو قادة الفصائل. ويتمثل الإجراء الذي يواجه هذا التحيز في تحديد كل مركبة ثالثة، أو خامسة، أو عاشرة أو رقم مركبة. وينبغي توخي الحذر حتى مع عدم التحكم في رقم المركبة من بعض التأثيرات الخارجية. فعلى سبيل المثال: يمكن أن تكون كل مركبة عاشرة في شارع شرياني مركبة لقائد فصيلة إذا أنشأ نظام إشارة مرور منسق نمطًا منتظمًا لتدفق المرور.

يسمح نموذج دراسة السرعة اللحظية للمركبة الموضح أدناه (الشكل أ-١٠) بجمع بيانات السرعة للمركبات في كلا الاتجاهين. وبدلًا من استخدام علامة بسيطة (على سبيل المثال، الرقم ١) لكل مركبة محددة في كل نطاق سرعة، يمكن جمع بيانات السرعة كدالة لتصنيف المركبات لكلا الاتجاهين باستخدام أكواد التصنيف المكونة من حرف واحد والموضحة أدناه:

- (*س*) لسيارات الركاب.
- (*ح*) للحافلات.
- (*ش*) للشاحنات (المزودة بستة إطارات أو أكثر، وحدة واحدة).
- (*م*) للوحدات المتعددة (نصف المقطورة والمركبة المزودة بمقطورة).



مسح السرعة اللحظية للمركبة

المعلومات العامة		معلومات الموقع	
الملاحظ:		الموقع/الشارع:	
الوكالة / الشركة:		المدينة/المنطقة:	
التاريخ:		العمر الافتراضي لعداد الكيلومترات:	السرعة المنشورة (كم/الساعة):
الفترة من:	إلى:	ملاحظات:	
ظروف الطقس/الطريق:			

اتجاه السير على الطريق للمركبات:					السرعة (كم/الساعة)	اتجاه السير على الطريق للمركبات:						كلا الاتجاهين	
المجموع التراكمي	المجموع	20	15	10	5		5	10	15	20	المجموع	المجموع التراكمي	المجموع
					130 ≤								
					129.9 - 125								
					124.9 - 120								
					119.9 - 115								
					114.9 110								
					109.9 - 105								
					104.9 - 100								
					99.9 - 95								
					94.9 - 90								
					89.9 85								
					84.9 - 80								
					79.9 - 75								
					74.9 - 70								
					69.9 - 65								
					64.9 60								
					59.9 - 55								
					54.9 - 50								
					49.9 - 45								
					44.9 - 40								
					39.9 35								
					34.9 - 30								
					29.9 - 25								
					24.9 - 20								
					20 ≥								
		الإجمالي											

الشكل (أ–٩) نموذج مثال على استبيان السرعة اللحظية للمركبة (المصدر: FDOT, (2021) – Figure 12-2 Revised).

التوثيق:

ينبغي وصف التخطيط النهائي لموقع جمع البيانات بشكل كامل في أي تقرير عن بيانات السرعة. وينبغي على الملاحظين إجراء تخطيط تصويري دقيق للموقع يوضح عدد المسارات وموضع وحدة القياس والأبعاد x وy وz. وينبغي أن تسمح الأبعاد بحساب زاوية السقوط بحيث يمكن تطبيق تصحيح خطأ جيب زاوية الدوال، إذا رغبت في ذلك. وينبغي على المراقبين تسجيل وقت البدء ووقت الانتهاء وأي وقت توقف بالإضافة إلى الظروف السائدة أثناء الدراسة. ويمكن أن تكون صور التخطيط ذات فائدة أيضًا.

المعايرة:

ينبغي للشركة المصنعة للرادار والليزر إجراء اختبارات المعايرة الموصى بها قبل البدء وفعل ذلك مرة أخرى في نهاية عملية جمع البيانات. وينبغي أن تكون النتائج متضمنة في أي تقرير لبيانات السرعة. ومن الحكمة أيضًا إجراء اختبار أولي في المكتب للتأكد من تشغيل وحدة الرادار قبل الانتقال إلى الموقع.

أ-٣-٢-٣-٢ مصائد السرعة اليدوية والفيديو:

نادرًا ما يستخدم المحللون مصائد السرعة اليدوية، ويعد الفيديو أقل كفاءة من قياس السرعة المباشر بشكل عام باستخدام وحدة الليزر أو الرادار. وفي حالة استخدام الفيديو لدراسات السرعة، من الضروري تحديد مسافات معروفة في مجال رؤية الفيديو؛ لاستخدامها كمرجع في القياس. وتوفر عملية تأشير الطرق بعلامات متقطعة للمسارات مرجعًا جيدًا في كثير من الحالات، كما هو الحال مع العناصر التي تميز جوانب الطرق المتقاربة مثل الحواجز أو اللوحات أو الأشجار. وعندما لا تتوافر العناصر المميزة الحالية القابلة للاستخدام، يمكن للمحلل تحديث الموقع باستخدام علامات مؤقتة أو مخاريط الطرق، ولكن ينبغي الحرص على ألا يؤثر الإنشاء في سلوك السائق.

وفيما يخص الدراسة، ينبغي على المحلل قياس الوقت الذي تستغرقه السيارة لقطع المسافة المعروفة بين نقطتين. ويُستخدَم لذلك ببساطة ساعة إيقاف، ولكن يمكن إجراؤه أيضًا باستخدام معدات آلية مثل لوحات العد الإلكترونية المحمولة أو الحاسب المحمول.

أ-٣-٣ اختيار عينات من جميع المركبات:

أ-٣-٣-١ مقدمة:

على مهندسي المرور استخدام هذه الطريقة عندما يتطلب الغرض من الدراسة ذلك أو يمكن استيعابها عن طريق قياس السرعات اللحظية لجميع المركبات التي تمر بنقطة لعينة من الفترات الزمنية. وعادةً ما تكون أهداف مثل هذه الدراسات أكثر عمومية من الدراسات التي تستخدم طريقة اختيار المركبة الفردية، ولكنها يمكن أن تكون أيضًا محددة ومحدودة إلى حد ما من حيث النطاق فيما يخص أنواع معينة من المواقع والفترات الزمنية والظروف. وتتضمن الأمثلة على هذه التطبيقات مراقبة اتجاهات السرعة، وتقييم سلامة الطرق، أو تعيين حدود السرعة.

أ-٣-٣-٢ تفاصيل الطريقة:

أ-٣-٣-٢-١ موقع الدراسة ووقتها وظروفها:

إذا كان متوسط السرعات على قطاع الطريق السريع هو العينة ذات الأهمية، فينبغي تقدير قياسات السرعة عند نقطة المنتصف لقسم نموذجي. وإذا أُخذِت عينات من السرعات لتحديد السرعة المئوية ٨٥ لاستخدامها في تعيين حد السرعة، فينبغي جمع البيانات على مدار فترة واحدة أو أكثر من ٢٤ ساعة في عدة أيام نموذجية. وإذا كانت سرعات التدفق الحر مقابل سرعات متعددة هي أساس لمعالجة سؤال البحث، فينبغي أن تكون تقنية الجمع قادرة على التمييز بين هاتين المجموعتين من جميع المركبات الأخرى.

أ-٣-٣-٢-٢ الأفراد والمعدات:

تستخدم طريقة اختيار العينات لجميع المركبات معدات آلية لجمع البيانات مثل المستشعرات الموضوعة في مسارات السير والتي تعمل كأجهزة مدخلات للمسجلات الموجودة في الموقع. ويمكن تنزيل البيانات من أجهزة التسجيل باستخدام جهاز حاسب في الميدان أو بشكل مباشر عن طريق المودم أو اتصال الألياف الضوئية بجهاز حاسب في المكتب.

الموظفون:

تتمثل إحدى مزايا جمع بيانات السرعة تلقائيًا بأن يلزم وجود الموظفين فقط في أثناء تركيب معدات جمع البيانات واستردادها. وبمجرد التركيب، يمكن للمعدات العمل دون مراقبة لعدة أيام أو يمكن تثبيتها بشكل دائم. وعلى الجهات استخدام شخصين أو ثلاثة لنشر المستشعرات وأجهزة التسجيل واستردادها. وتقتضي السلامة عدم محاولة شخص واحد القيام بهذه المهمة بمفرده. وفي أثناء التركيب والاسترداد، ينبغي أن يكون الطاقم ومركبته مرئيين بشكل كبير لسائقي المركبات. وينبغي للطاقم استخدام الأقماع وعلامات التحذير. وينبغي لشخص واحد مراقبة المرور في أي وقت يكون فيه أحد أفراد الطاقم على الطريق. وعادةً ما تُجرَى التركيبات الدائمة وطويلة الأمد من قِبل أطقم العمل المحترفة وتتضمن إغلاق المسارات لضمان السلامة.

معدات قياسات السرعة الآلية:

تتمثل الأجهزة الأكثر استخدامًا لقياس السرعة في المستشعرات على الطريق التي على شكل أنابيب هوائية أو حلقات مستحثة قياسية أو حلقات نقاط. وتُنشر هذه الأجهزة عادةً في شكل مزدوج. وتُوضَع وحدتي قياس على مسافة قصيرة قيست لتشكيل مصائد سرعة تقيس الوقت الذي تستغرقه المركبة في الانتقال من مكشاف إلى آخر. ويمكن أن تضع الجهات المستشعرات هذه في صورة قطع خشبية أو ثقب في أرض الرصف، مع إحكام الإغلاق للحماية من البيئة، بالطريقة نفسها التي تُركّب بها المستشعرات على مداخل التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية.

عادةً ما تكون الأجهزة المستخدمة لجمع بيانات السرعة الآلية هي نفسها التي قُدِّمت في دراسة حجم المرور الجزء من أجل دراسات حجم المرور الآلي. وتشمل التقنيات تركيبات دائمة في الرصف، وتقنية قياس مؤقتة على الطريق. وفيما يخص أغلب التقنيات، تحدد الشركة المصنعة متطلبات التركيب، مثل المسافة بين جهازي استشعار. وينبغي اتباعها بتمعن لضمان معايرة الوحدة جيدًا. ولقياس السرعات على الطرق متعددة المسارات، على فرق الدراسة وضع مستشعرات بمدخلات منفصلة لجهاز التسجيل في كل مسار.

أ-٣-٣-٢-٣ متطلبات حجم العينة:

من خلال طريقة اختيار العينات لكافة المركبات، نادرًا ما يشكل الحصول على عينة مناسبة مشكلة لأن عمليات النشر تتم عادةً لمدة ٢٤ ساعة على الأقل. ويمكن تقدير متطلبات حجم العينة بالطريقة نفسها الموضحة مسبقًا لطريقة اختيار المركبة الفردية. ويمكن أن يحتاج المحللون الذين يسعون إلى الحصول على عينات من أنواع محددة من المركبات إلى جمع عينة إجمالية كبيرة لضمان تمثيل الأنواع ذات الأهمية بشكل كافٍ. ونظرًا إلى أن نظام جمع البيانات الآلي يلتقط كل مركبة (إلا في حالة حدوث عطل)؛ فإن مسألة اختيار العينات المهمة التي يحتاج محللوها إلى معالجتها هي الفترة الزمنية التي ستكون فيها البيانات المجموعة ممثلة لظروف الدراسة المطلوبة.

أ-٣-٣-٣ إجراءات جمع البيانات:

أ-٣-٣-١-٣ الإجراءات الميدانية لدراسات السرعة اللحظية الآلية:

تعتمد دراسات السرعة اللحظية الناجحة باستخدام معدات جمع البيانات تلقائيًا على الموثوقية العملية للمستشعرات والمسجلات، والتركيب المادي للمستشعرات، وأسلاك الرصاص والمعايرة، وتدابير مراقبة الجودة المستخدمة. وتتضمن العوامل الخارجية التي يمكن أن تؤثر في جمع البيانات درجة الحرارة والطقس ومستوى حجم المرور ومزيج من أنواع المركبات والبيئة (مثل الأوساخ أو الغبار أو الحطام في موقع جمع البيانات). وتبدأ إجراءات الدراسة في المكتب بإعدادات التنسيق وعمليات التحقق التشغيلي للمعدات. وفي الميدان، تتمثل المهام الرئيسة في النشر، والمعايرة، والاسترداد والتوثيق.

تجهيزات المكتب:

تتمثل المهمة الأولى في تنسيق جميع أنشطة جمع البيانات مع المسؤولين الإقليميين والمحليين المناسبين، مثل جهات النقل والمرور وإنفاذ القانون. كما يلزم إبلاغ هذه الجهات ويجب أن يتأكد المحللين من عدم تداخل دراساتهم مع الأنشطة قيد التنفيذ. وتتمثل المهمة الثانية في إطلاع الفريق الميداني على خطة جمع البيانات؛ لضمان جمع البيانات في المكان المناسب بالطريقة المرجوة للفترة الزمنية المطلوبة. أما المهمة الثالثة فهي تجهيزات الفريق. ومن المفترض أن تُجمع كافة الأدوات، والإمدادات، والمعدات وفحصها. ومن الممكن أن تشكل يمكن أن تكون قوائم المراجعة أهمية بالغة، وربما تكون قائمة المراجعة العامة المتوفرة في الجدول (أ-١) نقطة انطلاق جيدة. إضافة إلى ذلك، ينبغي اختبار كل قطعة من المعدات للتأكد من أنها تعمل بشكل صحيح. وقد يمنع هذا الإجراء الوقائي الرحلات المكلفة للعودة إلى المكتب لاستبدال الإمدادات المفقودة أو المعدات المعطلة.

النشر:

تعد السلامة أهم الاعتبارات في أثناء النشر. ويفضل إغلاق كل مسار أمام المرور أثناء سير العمل. كما ينبغي إعداد المستشعرات على جانب الطريق؛ لتقليل الوقت الذي تُغلَق فيه كل مسار. وبعد ذلك، ينبغي أن يضع العمال كل مجموعة حلقات أو أنابيب أو غيرها من المعدات على النحو الموضح في خطة جمع البيانات ووفقًا لمواصفات الشركة المصنعة. ويعمل التباعد المناسب بين المستشعرات على تحديد دقة البيانات. وينبغي أن يتوخى الطاقم الحذر عند تركيبها حسب التوجيهات. وبعد التركيب، تؤَصَّل أسلاك التوصيل بالمُسجّل وتُفحَص المستشعرات؛ للتأكد من أنها تعمل بشكل صحيح. ويمكن أن يقوم الطاقم بتركيب المستشعرات على الرصف بعد إجراء أي إصلاحات مطلوبة. وينبغي أن يكون للطاقم الميداني بعض المساحة لاختيار الموضع الدقيق؛ لنشر نظام جمع البيانات، وذلك لتجنب كسر الرصف، وتحديد موقع المُسجّل بالقرب من بعض الأجسام الثابتة التي يمكن تركيبه عليها.

المعايرة:

بعد الانتهاء من تركيب المستشعرات والمسجلات، ننتقل إلى الخطوة التالية وهي التحقق من دقة المعدات في قياس تعدادات التدفقات المرورية وسرعاتها. ويُستخدَم جهاز رادار أو مسدس ليزر معاير لقياس سرعات المركبات، والتي تُقارن بسرعات نفس المركبات التي تراقبها معدات جمع البيانات. ويمكن للطاقم ضبط المُسجّل حتى تصبح السرعات ضمن نطاق تفاوت يبلغ ١,٦ كم/ ساعة إذا لزم الأمر. وبالنسبة إلى التركيبات المؤقتة على الطريق، يُنصح بالتحقق من وظائف المعدات ودقتها مرة واحدة على الأقل خلال فترة جمع البيانات على مدار الساعة. كما ينبغي فحص تركيبات المستشعرات الدائمة على فترات منتظمة.

الاستعادة:

ينبغي فحص البيانات المسجلة بعد فترة جمع البيانات، وذلك للتأكد من دقتها عن طريق حساب نسبة بيانات المركبات الصالحة للاستخدام إلى إجمالي بيانات المركبات. ولحساب هذه النسبة، قارن إجمالي عدد المركبات بعدد المركبات الصالحة للاستخدام. ويقصد بالمركبة الصالحة للاستخدام مركبة ذات طول وسرعة. وفي بعض الأحيان، تُستشعَر المركبة من خلال حلقة واحدة فقط في الزوج. ويحدث ذلك عندما لا يتقاطع مسار المركبة مع كلا المستشعرين أو عند تعطل أحد المستشعرات. تُخزَّن هذه المركبات في إجمالي عدد المركبات، ولكن ليس في عدد المركبات الصالحة للاستخدام. ومن المفترض أن تتجاوز النسبة بين المركبات الصالحة للاستخدام وإجمالي عدد المركبات ٠,٧٥. وفي حال عدم استيفاء هذا المعيار، على الفريق جمع البيانات خلال فترة أخرى.

يجب على أطقم العمل استعادة معدات جمع البيانات عن طريق عكس العملية التي استخدموها في نشرها. ونؤكد مجددًا على ضرورة أن تكون السلامة محور الاهتمام الأساسي. وإذا كانت المعدات ستنشر في موقع آخر، فينبغي نقل البيانات من

المُسجّل إما في الموقع أو عبر مودم أو وصلة فايبر إلى المكتب. وإذا كان الموقع قيد المراقبة لفترة زمنية طويلة، فينبغي التخلص من البيانات بشكل دوري.

التوثيق:

ينبغي وصف التخطيط النهائي لموقع جمع البيانات بشكل كامل في أي تقرير عن بيانات السرعة. وعلى الطاقم عمل رسم تخطيطي دقيق للموقع، مع توضيح عدد المسارات وموضع المستشعرات وموقع المُسجّلات. كما ينبغي أن يقوم الطاقم بتسجيل وقت البدء ووقت الانتهاء وأي توقف عن العمل والظروف السائدة في أثناء إجراء الدراسة. وينبغي تسجيل أعطال المعدات وعمليات إصلاحها ونتائج المعايرة وعمليات فحص الدقة. ويمكن أن تكون صور التخطيط ذات فائدة أيضًا.

أ-٣-٤ تقليل البيانات وتحليلها:

يشتمل تحليل دراسة السرعة اللحظية النموذجي على ثلاثة أجزاء. ويتمثل الجزء الأول في تقليل البيانات؛ وهو ببساطة ترتيب السرعات المُقاسة أو البيانات الأولية في شكل جدولي أو بياني مناسب. والجزء الثاني عبارة عن حساب البيانات الإحصائيات الوصفية وعرضها والتي توضح جمع بيانات السرعة عن طريق بعض القيم أو المتغيرات التمثيلية. والجزء الثالث من التحليل النموذجي هو الاستدلال الإحصائي، والذي يسمح بإعداد التقديرات الإحصائية واختبار الفرضيات الإحصائية.

أ-٣-٤-١ تقليل البيانات وعرضها:

تنتج كل من طريقة اختيار المركبة الفردية وطريقة المُعاينة لجميع المركبات قيمًا مُقاسة لسرعة المركبة الفردية. وينبغي عادةً ترتيب السرعات في شكل جدولي بالترتيب الذي سجّلت به (الجدول أ-١٨). ويمكن أيضًا تنظيم البيانات في جداول التوزيع التكراري؛ حيث جُمِعت السرعات في فئات السرعة (الجدول أ-١٩). علاوة على ذلك، يستطيع المحللون عرض بيانات السرعة في عدة أشكال رسومية مثل الرسوم البيانية لبيانات التكرار المصنفة (الشكل أ-١٠)، ومنحنيات التوزيع التكراري، ومنحنيات التوزيع التراكمي على شكل حرف (S) وما إلى ذلك.

يمكن تحديد وتيرة التوزيع من مخطط التوزيع التكراري. ويمكن استخدام مخطط التوزيع التراكمي لتحديد متوسط السرعة، والذي يعرف على أنه نقطة الوسط لتوزيع السرعة، والسرعة المئوية ٨٥ للتوزيع. وسنناقش استخدام هذه المقاييس في القسم الفرعي التالي عن الإحصائيات الوصفية.

الجدول (أ–١٨) بيانات السرعة التي تم الحصول عليها على طريق حضري (بالكيلومتر/الساعة) (المصدر: – ITE, (2010a) Exhibit 5-10 adjusted).

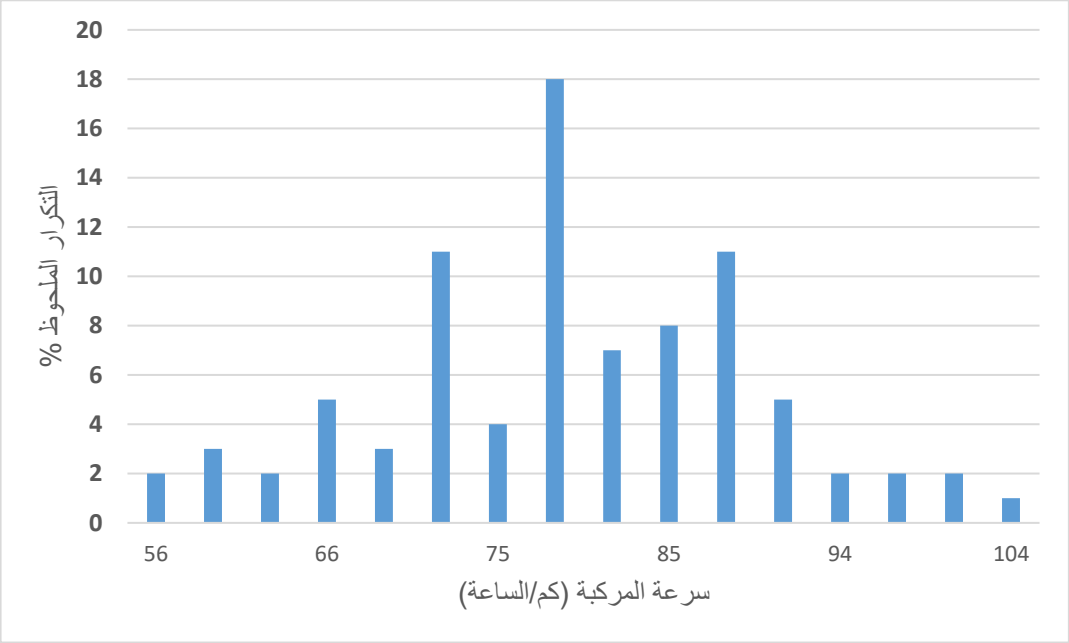
رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ الساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ الساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ الساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ ساعة)
١	٥٦,٢	٢٣	٧٣,٨	٤٥	٧٦,٥	٦٧	٨٩,٦
٢	٧٠,٤	٢٤	٨٦,٧	٤٦	٧٥,٤	٦٨	٧٨,٦
٣	٧٣,٣	٢٥	٨٣,٧	٤٧	٥٥,٧	٦٩	٧٨,٧
٤	٧٠,٩	٢٦	٩١,٧	٤٨	٨٣,٨	٧٠	٩٠,٢
٥	٥٨,١	٢٧	٧٤,٩	٤٩	٧٨,٦	٧١	٧٧,٦
٦	٨٦,٤	٢٨	٩٢,٥	٥٠	٥٩,٤	٧٢	٧٢,٦
٧	٦٧,٤	٢٩	٥٨,٩	٥١	١٠٤,٠	٧٣	٧٧,٨
٨	٨٠,٢	٣٠	٨٩,٣	٥٢	٧٩,٢	٧٤	٨٣,٢
٩	٨٢,٩	٣١	٦٩,٣	٥٣	٨٣,٥	٧٥	٧٩,٧
١٠	٨١,٣	٣٢	٨٨,٥	٥٤	٧٧,٤	٧٦	١٠١,٤
١١	٦١,٣	٣٣	٦٢,٤	٥٥	٦٨,٥	٧٧	٩٦,٢
١٢	٧١,٤	٣٤	٨٥,٩	٥٦	٧٩,٢	٧٨	٧٨,١

رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ الساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ الساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ ساعة)	رقم السيارة	السرعة (كيلومتر/ ساعة)
١٣	٧٢,٣	٣٥	٦٥,٣	٥٧	٧٧,٨	٧٩	٨٣,٤
١٤	٦٥,٨	٣٦	٨٧,٢	٥٨	٦٥,٩	٨٠	٧٧,٩
١٥	٨٨,٢	٣٧	٨٢,٦	٥٩	٧٦,٨	٨١	٩٨,٩
١٦	٨٠,٣	٣٨	٨٢,٧	٦٠	٩٢,٨	٨٢	٩٠,٦
١٧	٨٦,٩	٣٩	٨٠,٥	٦١	٧٨,٤	٨٣	٧٧,١
١٨	٧٢,٦	٤٠	٩٥,٧	٦٢	٦٦,٩	٨٤	٩٩,٤
١٩	٨٨,٣	٤١	٦٤,٥	٦٣	٧٧,٣	٨٥	٨٥,٣
٢٠	٧٣,١	٤٢	٨٨,٢	٦٤	٧٣,٤	٨٦	٨٥,٤
٢١	٨٦,٦	٤٣	٧٢,٠	٦٥	٧١,٥		
٢٢	٨٦,٤	٤٤	٧٧,٣	٦٦	٧٩,٢		

الجدول (أ–١٩) جدول التوزيع التكراري لمجموعة بيانات السرعة (بالكيلومتر/ الساعة) - (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-11 adjuste).

فئة السرعة (كيلومتر/ الساعة)	متوسط القيمة للفئة، الفترة الزمنية للوحدة	تكرار الفئة (عدد الملاحظات في الفئة) عامل[٢]	الوحدة المالية	النسبة المئوية للملاحظات في الفئة	النسبة المئوية التراكمية لجميع الملاحظات
٥٤,٢-٥٧,٤	٥٦	٢	١١٢	٢,٣	٢,٣
٥٧,٤-٦٠,٦	٥٩,٢	٣	١٧٨	٣,٥	٥,٨
٦٠,٦-٦٣,٨	٦٢,٤	٢	١٢٥	٢,٣	٨,١
٦٣,٨-٦٧,٠	٦٥,٦	٥	٣٢٨	٥,٨	١٣,٩
٦٧,٠-٧٠,٢	٦٨,٨	٣	٢٠٦	٣,٥	١٧,٤
٧٠,٢-٧٣,٤	٧٢	١١	٧٩٢	١٢,٨	٣٠,٢
٧٣,٤-٧٦,٨	٧٥,٢	٤	٣٠١	٤,٧	٣٤,٩
٧٦,٨-٨٠,٠	٧٨,٤	١٨	١٤١١	٢١,٠	٥٥,٩
٨٠,٠-٨٣,٢	٨١,٦	٧	٥٧١	٨,١	٦٤
٨٣,٢-٨٦,٤	٨٤,٨	٨	٦٧٨	٩,٣	٧٣,٣
٨٦,٤-٨٩,٦	٨٨	١١	٩٦٨	١٢,٨	٨٦,١

فئة السرعة (كيلومتر/ الساعة)	متوسط القيمة للفئة، الفترة الزمنية للوحدة	تكرار الفئة (عدد الملاحظات في الفئة) عامل[٢]	الوحدة المالية	النسبة المئوية للملاحظات في الفئة	النسبة المئوية التراكمية لجميع الملاحظات
٨٩,٦-٩٢,٨	٩١,٢	٥	٤٥٦	٥,٨	٩١,٩
٩٢,٨-٩٦,٠	٩٤,٤	٢	١٨٩	٢,٣	٩٤,٢
٩٦,٠-٩٩,٢	٩٧,٦	٢	١٩٥	٢,٣	٩٦,٥
٩٩,٢-١٠٢,٤	١٠٠,٨	٢	٢٠٢	٢,٣	٩٨,٨
١٠٢,٤-١٠٥,٦	١٠٤	١	١٠٤	١,٢	١٠٠,٠
		٨٦	٦,٨١٦		



الشكل (أ–١٠) رسم بياني لسرعات المركبات الملحوظة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-12 adjusted).

أ-٣-٤-٢ الإحصائيات الوصفية:

يمكن حساب العديد من المتغيرات التي تصف مجموعة من ملاحظات السرعة باستخدام البيانات الأولية والمصنفة. تشمل المتغيرات الأكثر شيوعًا المتوسط والمنوال والوسيط والانحراف المعياري والوتيرة والنسبة المئوية. ويمكن الحصول على بعض هذه المتغيرات مباشرة من منحنيات التوزيع التكراري والتراكمي. ويمكن كذلك إجراء الحسابات يدويًا أو من خلال استخدام برامج الحاسب. كما أن معظم جهات البرمجيات التي تستخدم مُسجّلات البيانات يمكنها إنتاج هذه المتغيرات.

المتوسط هو مقياس شائع لوصف الميل المركزي للتوزيع، ولكن يمكن أن يكون منحرفًا إذا كانت بعض السرعات العالية أو المنخفضة جدًا جزءًا من مجموعة البيانات. وعادة ما تكون *سرعة المتوسط* أقل تأثرًا للملاحظات الشاذة ذات السرعات العالية جدًا أو المنخفضة وغالبًا ما يكون مقياسًا أفضل من متوسط السرعة (ما لم تتم حذف القيم الشاذة). كما أن *المنوال* يصف السرعة الأكثر ملاحظة بشكل متكرر، وهو أقل فائدة، ما لم تُجمَع السرعات في حاويات أولًا.

تشير *وتيرة* السرعة إلى نطاق سرعات متواصل يُقاس عرضه بالكيلومتر/ الساعة والذي يحتوي على أكبر نسبة من الملاحظات. ويمكن ضبطها بزيادات قدرها ٥ كيلومترات/ الساعة. وهو مصطلح خاص بمجال هندسة المرور ويجب عدم الخلط بينه وبين وتيرة سير أحد المشاة، وهو عكس سرعة السير- على سبيل المثال-.

يصف *الانحراف المعياري* توزيع مجموعة بيانات السرعة. ويقصد بالانحراف المعياري الصغير: أن السرعات مجمعة بإحكام حول المتوسط، بينما يشير الانحراف المعياري الكبير إلى توزيع أوسع نطاقًا. المئين ٨٥ هي إحصائية شائعة الاستخدام للتطبيقات التصميمية. وغالبًا ما تُفسَّر على أنها أقصى سرعة من جانب سائقين منطقيين (Roess, et al., 2019). وبطريقة مماثلة، تُعد السرعة المئوية ١٥ أبطأ سرعة من جانب سائقين منطقيين لأغراض التصميم. وكلا المقياسين يستبعدان ملاحظات القيم الشاذة والخارجية التي من شأنها أن تؤدي إلى تقديرات تصميمية غير عملية.

أ-٣-٤-٣ الإحصائيات الاستدلالية:

يستطيع المحللون التوصل إلى استنتاجات عن طريق اختبار هذه المتغيرات بنهج إحصائي. فمثلًا يستطيع المحللون تحديد مدى إمكانية وجود اختلافات كبيرة في السرعات اللحظية المتوسطة لحركة مرور أو ظروف طريق مختلفة. ويمكنهم كذلك تحديد وجود تشابه أو اختلاف بين توزيعات السرعة لعينات البيانات من موقعين مختلفين أو فترات زمنية مختلفة. وإضافة إلى ذلك، يكون التطبيق القياسي لدراسة السرعة اللحظية عبارة عن اختبار الزيادة أو النقصان في السرعة نتيجة بعض المعالجة في اختبار (قبل وبعد). ويُجرَى الاستدلال الإحصائي على النحو الآتي:

١- تُجرَى دراسات السرعات اللحظية قبل إجراء التغيير وبعده. وينبغي أن تكون ظروف الدراستين كلتيهما متشابهة قدر الإمكان.

٢- يُحسَب متوسطات (قبل وبعد) ($\bar{X}_{before}$ و$\bar{X}_{after}$) والانحرافات المعيارية (S_{before} وS_{after}) كل على حدة. كما ينبغي أن تُحتسَب أحجام عينات (قبل وبعد)" وفق ما سبق حسابه في هذا الباب. وينبغي استخدام الاختبار التالي فقط لأحجام العينات التي تزيد عن ٣٠ ملاحظة لكل فترة.

٣- يُحسب الفرق في المتوسطات $\bar{X}_{diff}$ من المتوسطين المقدرين.

- $\bar{X}_{diff} = \bar{X}_{after} - \bar{X}_{before}$ المعادلة (أ-١١)

٤- يُحسب الخطأ المعياري لتقدير العينة المجمع للفرق في المتوسطات:

- $SE = \sqrt{\frac{S_{after}^2}{N_{After}} + \frac{S_{before}^2}{N_{before}}}$ المعادلة (أ-١٢)

٥- تتمثل الفرضية الموجودة بهذا الاختبار الإحصائي في أن التوزيع له متوسط صفري - أي أنه لا يوجد فرق بين سرعة المتوسط قبل التغيير وسرعة المتوسط بعد التغيير.

- $\bar{X}_{after} - \bar{X}_{before} = 0$ **المعادلة (أ-١٣)**

٦- يُحسب الاختبار الإحصائي من فرق المتوسط الملحوظ (diff) والمفترض (٠)، والخطأ المعياري لتقدير العينة المجمع للفرق في المتوسطات (SE) وقيمة t التي حُصِل عليها من لمستوى الأهمية المحدد من المستخدم (σ) أو مستوى الثقة (١— σ) ودرجات الحرية لدراسة (قبل وبعد). عينات (قبل وبعد) كافية لإثبات أن الفرق في السرعات مهم في الحالات الآتية:

- $\frac{\bar{X}_{diff}-0}{SE} \geq t$ المعادلة (أ-١٤)

من المهم أن نلاحظ أن دراسة (قبل وبعد) التي تنتج ($\frac{\bar{X}_{diff}-0}{SE} < t$) لا تثبت أن الفرق في السرعات ليس كبيرًا. وهذه النتيجة تعني فقط أن أحجام العينة (N_{after} وN_{before}) لم تكن كبيرة بدرجة تكفي تحديد الأهمية الإحصائية للفرق الملحوظ. وكما هو الحال مع أي دراسة، ينبغي دائمًا النظر في الآثار العملية؛ لأنه حتى الفرق المهم إحصائيًا في السرعات يمكن ألا يكون ذا مغزى إذا كان الفرق الملحوظ($\bar{X}_{diff}$) بسيطًا. ويُعد هذا صحيح بشكل خاص لأن الوسائل الآلية الحديثة لجمع بيانات السرعة تؤدي بسهولة إلى أحجام عينات مرتفعة للغاية، مما يقلل من الخطأ المعياري للتقدير ويزيد من الاختبار الإحصائي في المعادلة (أ-١٤).

الجدول (أ–٢٠) قيم (Z) لمستويات الثقة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 5-16).

النسبة المئوية للثقة	قيمة Z
٩٩	٢,٢٣٣-
٩٧,٥	١,٩٦-
٩٥	١,٦٤٥-
٩٠	١,٢٨٢-

أ-٤ دراسات التقاطعات والمداخل:

ورد وصف الإجراء الأساسي لكل دراسة تقاطعات ومداخل في هذا الجزء من الملحق (أ)، إضافة إلى المعدات التي من الشائع استخدامها لدى الجهات للتأخير، وطول صف الانتظار، والتدفق المُشبّع والوقت الضائع، ودراسات الفجوات وقبولها. واشتمل الجزء (أ-٢) على تفاصيل الإجراءات المتعلقة بتعدادات حركات الانعطاف في التقاطعات.

أ-٤-١ التأخير:

تعد دراسات التأخير في التقاطعات شائعة للغاية؛ حيث تتنوع استخدامات بيانات التأخير في التقاطعات، مثل قياس جودة تدفق المرور، وتقييم الحاجة إلى إشارات المرور. ويمكن للمحللين تقدير مدة التأخير في التقاطعات باستخدام معادلات أو نماذج محاكاة. ومع ذلك، يمكن أن تكون مدخلات المعادلات والنماذج واسعة النطاق، وليست النتائج سوى تقديرات تقريبية للتشغيل المروري الفعلي؛ لذلك غالبًا ما تستخدم الدراسات الميدانية للتأخير في التقاطعات التشغيلية؛ لتحقيق المزيد من الدقة أو التحقق من صحة التنبؤ بالتأخير النظري. وإحدى المشكلات الرئيسة المتعلقة بدراسات التأخير في التقاطعات تكمن في تحديد مدة التأخير. يوجد العديد من أنواع التأخير، ويمكن أن يؤدي استخدام المصطلحات عشوائيًا إلى حدوث خطأ. وفيما يأتي بعض المصطلحات المفيدة التي تصف التأخير في التقاطعات.

- *مدة التأخير في صف الانتظار* هي الفرق بين الوقت الذي تنضم فيه المركبة إلى نهاية صف الانتظار، والوقت التي تستغرقه لعبور التقاطع.
- *تأخر التحكم* هو عنصر التأخير الذي ينتج عندما تتسبب إشارة التحكم في تقليل السرعة، أو التوقف في مجموعة مسارات. ويُقاس عن طريق المقارنة بالوضع عند غياب مثل هذا التحكم. وتعرف بأنها مدة التأخير في صف الانتظار بالإضافة إلى الوقت الضائع بسبب التباطؤ والتسارع إلى سرعة التدفق الحر.
- *التأخير الهندسي* هو عنصر التأخير الذي ينتج عندما تدفع سمات هندسية المستخدمين إلى خفض سرعتهم عند عبور مرفق.
- *مدة تأخر الرحلة* هي الفرق بين الوقت الذي تمر فيه المركبة بنقطة في اتجاه مجرى التقاطع حيث استعادت سرعتها العادية، والوقت الذي كانت ستجتازه في تلك النقطة لو كانت قادرة على الاستمرار عبر التقاطع بالسرعة اقتربت بها من التقاطع. وهذا يشمل جميع مُدد تأخر التحكم والتأخير الهندسي.

يستخدم المحللون تأخر التحكم في أغلب الأحيان لأنه الأسهل قياسًا ولأن دليل سعة الطرق يبني تعريفه لمستوى خدمة التقاطع على تأخر التحكم، وهناك أسباب أخرى لاستخدامه.

أ-٤-١-١ الاحتياجات من المعدات:

يستطيع الملاحظون جمع البيانات يدويًا أو عن طريق وسائل إلكترونية. وعادةً ما تكون أوراق البيانات مفيدة في جمع بيانات التأخير في التقاطعات، وتُتيح إمكانية جمع البيانات يدويًا أثناء توفرها في الميدان. ورغم ذلك، غالبًا ما تُستخدم لوحات العدّ الإلكترونية لجمع مُدد التأخير. يُتيح البرنامج المدمج للمستخدم سرعة الحصول على المخرجات. وفي حال استخدام لوحات العدّ الإلكترونية، ينبغي أن يتأكد المستخدمين من فهم مقياس تأخر المخرجات. على سبيل المثال: تجمع العديد من لوحات العدّ الإلكترونية مدة التأخير في صف الانتظار الذي يكون مرتبطًا بشكل وثيق بتأخر التحكم، ولكنه أقل استنادًا إلى معدلات التباطؤ والتسارع وطول مدة تصريف صفوف الانتظار.

أصبح من الشائع في السنوات الأخيرة استخدام الحاسب المحمول. ويمكن استخدام برنامج الحاسب عن طريق كتابة (كود) لاستخدام لوحة المفاتيح مع الساعة الداخلية، ما يسمح بتسجيل الطوابع الزمنية للأحداث المختلفة في الوقت الفعلي. وفي العادة، يتسم نموذج جمع البيانات هذا بمرونة أكبر، ويمكن إعداد جداول بيانات لحساب معلمات التقاطع المختلفة.

لقد استخدمت العديد من الدراسات الفيديو بجانب تراكب الطوابع الزمنية لقياس بعض أنواع التأخير. يوفر الفيديو التسجيل الدائم لفترة الدراسة التي يمكن أن تُستخدم لمزيد من مراجعة بيانات التأخير أو لدراسات أخرى. كما يمكن أن يقلل الفيديو من عدد الموظفين الميدانيين المطلوبين لدراسة التأخير. على الرغم من ذلك، تعاني تسجيلات الفيديو في كثير من الأحيان من ظروف الإضاءة السيئة والنقاط ذات الرؤية الواضحة. ومن الصعب السيطرة على صفوف الانتظار الطويلة. كلما كان ذلك ممكنًا، ينبغي أن تُستخدم النقاط ذات الرؤية الواضحة العلوية لمنع الإغلاق. في كثير من الأحيان، تُستخدم كاميرات المراقبة أو الاستشعار بالفيديو في التقاطعات ويمكن اعتمادها لأغراض جمع البيانات. من الجدير بالذكر أن تقديم تقدير للتأخير من الفيديو يتطلب الكثير من العمالة في موقع العمل.

وبالنسبة إلى دراسة التأخير؛ فإنه من الضروري عادةً تحديد سرعة التدفق الحر للمركبات قبل التقاطع المعني. عادةً ما يُستخدَم لذلك الرادار أو مسدس السرعة. بالرغم من ذلك؛ فإنه يمكن استخدام السرعة (متوسطة المدى) من خلال تحديد وقت التشغيل بين النقاط المعروفة لعدد كبير من المركبات. يقدم الجزء (أ-٣) إرشادات بشأن استخدام مختلف أجهزة السرعة وطرق تحديد متوسط السرعة. يعرض الجدول (أ-٢١) المعدات الأكثر استخدامًا لدراسات التأخير.

الجدول (أ–٢١) المعدات المستخدمة بشكل شائع لدراسات التأخير (المصدر: FDOT, (2021) – Table 7-1).

الأسلوب	الأدلة	المميزات	العيوب	نوع الدراسة
يدويًا	سجلات إحصائية	تقليل تكلفة المعدات ووقت الإعداد إلى أدنى حد سهل الاستخدام في الميدان	عادةً ما تكون غير فعالة كلما طال بقاء المحلل في هذا الميدان	دراسة التحكم في التأخير
إلكتروني	لوحات التعدادات الإلكترونية	أداة تتسم بفعالية التكلفة وموفرة للعمالة	مقتصر على مخرجات البيانات المجمعة	
	الأجهزة المحمولة	الربط بشبكة الإنترنت وإمكانيات مدخلات البيانات المعقدة. يمكن استخدام السجلات الإحصائية للحسابات	يمكن أن يكون إعداد السجلات الإحصائية ومرحلة ما بعد المعالجة والتحليل مطلوبًا	
	كاميرات الفيديو متزامنة الوقت	التسجيل الدائم وتقليل عدد الموظفين الميدانيين	يمكن أن تتطلب القيود المادية، التي يمكن أن تتضمن في هذا الميدان ظروف الإضاءة الضعيفة والنقاط ذات الرؤية الواضحة، الكثير من العمالة في موقع العمل	
طوف لنقل العربات	التجميع اليدوي	درجة عالية من التحكم في المسار	يمكن أن تكون هناك حاجة إلى موظفين ومعدات إضافية	تأخير زمن الرحلة
	أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي	زيادة دقة البيانات وتسجيل المعلومات الإضافية	تحليل بيانات مرحلة ما بعد المعالجة مطلوب	
	المحاكاة	أداة توفير العمالة الميدانية	لا تزال تكاليف البرامج والبيانات الميدانية والمعايرة مطلوبة	

الأسلوب	الأدلة	المميزات	العيوب	نوع الدراسة
بيانات الفحص	قارئ البلوتوث/ الواي فاي أو بائعي البيانات التجارية	البيانات المتاحة طوال السنة في الدقة الزمنية العالية المستوى (على سبيل المثال، فترات زمنية مدتها خمس دقائق)	تختلف جودة البيانات وفقًا لمعدل العينة وأحجام الطريق: يمكن أن تؤثر أحجام العينات الصغيرة في التقاطعات منخفضة الحجم على الدقة. مرحلتا ما بعد المعالجة وتحليل البيانات مطلوبتان	

أ-٤-١-٢ متطلبات التدريب والموظفين:

يستند عدد الموظفين اللازمين لدراسة التأخير على المعدات المستخدمة وحجم المرور في التقاطع موضع الدراسة. يمكن للملاحظ الفردي تسجيل عدد المركبات المنتظرة بدقة على مسارين مع صفوف انتظار متوسطة الطول (تصل إلى ٢٥ مركبة لكل مسار) أو على مسار واحد مع صفوف انتظار طويلة (Reilly, et al., 1976). على الرغم من ذلك، يحتاج الملاحظ الفردي الذي يتعامل مع صفوف الانتظار الطويلة او المتوسطة إلى إشارة صوتية لنهاية الفترة الزمنية الملموسة التي تفوق الضوضاء الأساسية للمرور. في حالة عدم توافر الجهاز الموفر للإشارة الصوتية الصاخبة والمنتظمة؛ فإنه يمكن للملاحظين استخدام التسجيل من خلال الإشارة بعد كل زمن متزايد. على الملاحظين فحص تشغيل الجهاز قبل الدراسة والعديد من المرات في أثناء الدراسة؛ لضمان أن مستويات البطارية كافية. في حال وجود صفوف انتظار أو عدم إمكانية توفر إشارة صوتية، تحتاج الدراسة إلى اثنين من الملاحظين. من ثم، يمكن للملاحظ الفردي الانتباه للوقت والإشارة عند انتهاء الفترة الزمنية وتسجيل عدد المركبات المتوقفة في حين يركز الملاحظ الثاني على عملية العدّ بشكل حصري. يحتاج الملاحظين إلى عدّ حركات الانعطاف أو تصنيف المركبات التي تدخل التقاطع على أنها اصطفت أو لم تصطف في صفوف الانتظار، لتقدير تأخير التحكم لكل مركبة. لذلك، يمكن أن يكون من الضروري وجود ملاحظين إضافيين لإجراء تلك التعدادات. وفقًا لما هو مذكور سابقًا، يمكن أن يكون الفيديو مفيدًا في حالة عدم توفر ملاحظ إضافي.

ينبغي أن يضع الملاحظين أنفسهم بالقرب من الكتف الصلب الأيمن أو رصيف المشاة الأيمن عند نقطة الوسط التقريبية للحد الأقصى لصف الانتظار. ينبغي أن يكون لدى الملاحظين رؤية واضحة للمسارات التي يلاحظونها وينبغي أن يتحركوا حسب الضرورة لتجنب الإغلاق بالحافلات أو الشاحنات. يجوز للملاحظين الجلوس في المركبات في المواقع التي لا يمثل فيها حجب رؤية مشكلة. ينبغي إيقاف السيارة/المركبات في ساحة انتظار قانونية خارج مسارات السير على الطريق. ينبغي أن يحصي الملاحظين، المركبات المتوقفة أو التي كادت أن تتوقف في صف الانتظار، كمركبات ضمن صف الانتظار. يتمثل التقدير الجيد للمركبات الموجودة ضمن صف الانتظار في أي مركبة تتحرك بسرعة أقل من ٥ كم/ ساعة تقريبًا أو بطول مركبتين إلى ثلاث من المركبات التي تصطف أمامها في صف الانتظار. بالنسبة إلى حالة تغير الإشارة في الحال إلى اللون الأخضر وبدأ صف الانتظار في الانتهاء؛ فإن تسجيل ذلك بدقة يُعدّ صعبًا.

ينبغي على الملاحظين تسجيل على الأقل ٦٠ فترة زمنية. تعد تقديرات التأخير خلال فترات الذروة هي الأكثر فائدة. ينبغي استخدام أيام العمل الأسبوعية المناسبة (الاثنين أو الثلاثاء أو الأربعاء) أو عطلة نهاية الأسبوع لأنماط المرور المتسقة ذات الأحجام الأعلى. تتفاوت تقديرات التأخير ذات النطاق الواسع في غضون فترات زمنية قصيرة، وخاصةً في حالة بداية فترات الذروة وانتهائها، لذلك على المحللين استيفاء الفترات الزمنية بحذر شديد. ينبغي ألا يؤثر هطول الأمطار الخفيفة في أحجام المرور أو سلوك صفوف الانتظار على مسار الرحلات اليومية أثناء فترات الذروة؛ لذلك يمكن للملاحظين دراسة التأخير إذا كان بإمكانهم المحافظة على النماذج جافة. يجب ألا تُجرى دراسات التأخير في الطقس الذي يؤثر في الأحجام العادية أو سلوك القيادة. يحتاج الملاحظون إلى تدوين ملاحظات على كل البيانات من خلال كافة معلومات (المقدمة) الاعتيادية مثل المواقع والفترات الزمنية والظروف الجوية.

أ-٤-١-٣ الإجراءات الميدانية والتحليل:

أ-٤-١-٣-١ مدة التأخير في صف الانتظار:

تتعلق مدة التأخير في صف الانتظار بشكل وثيق بمدة تأخر الرحلة بسبب الوقوف، ويسهل قياسها إلى حد ما. وفي الإجراء الموصى به لتحديد مدة التأخير في صف الانتظار، يقوم أحد المراقبين بتسجيل عدد المركبات في صف الانتظار بعد كل فترة زمنية مدتها من ١٠ إلى ٢٠ ثانية. يقوم المراقب بتدوين عدد المركبات في صف الانتظار بغض النظر عما إذا كانت المركبات القليلة الأولى قد بدأت في التقاطع. تُحتسَب بعد ذلك مدة التأخير في صف الانتظار لكل مركبة كما هو موضح في

المعادلة (أ-١٦). تُعد قيمة ٠,٩ عامل تعديل لحساب الأخطاء في أساليب المعاينة التي تتسبب عادةً بالمبالغة في مدة التأخير في صف الانتظار ((Buehler et al. (1976).

ينبغي أن تكون الفترة الزمنية للعدّ قاسمًا لا يتجزأ من مدة فترة المسح. تضمن هذه الخاصية أنه يؤخَذ العدّ الكامل للأحداث لفترة المسح الكاملة. كما يتيح التنسيق الأسهل لمهام المراقب في أثناء الدراسة الميدانية. على سبيل المثال، إذا كانت فترة الدارسة ١٥ دقيقة، فيمكن أن تكون الفترة الزمنية للعدّ ١٠ أو ١٢ أو ١٥ أو ١٨ أو ٢٠ ثانية. إذا كان للتقاطع تحكم موجَّه منسق أو مسبق، فينبغي ألا تكون الفترة الزمنية للعدّ قاسمًا لا يتجزأ من طول الدورة. تلغي هذه الخاصية التحيز المحتمل للمسح بسبب تراكم صف الانتظار في نمط دوري. على سبيل المثال، إذا كان طول الدورة ١٢٠ ثانية، فيمكن أن تكون الفترة الزمنية للعدّ ١١ أو ١٣ أو ١٤ أو ١٦ أو ١٧ أو ١٨ أو ١٩ ثانية. إذا كان يحتوي التقاطع على التحكم الموجَّه، فربما أُختير الفترة الزمنية للعدّ على أنه القيمة الأنسب لإجراء المسح الميداني مع الوضع في التقدير مدة فترة المسح ((TRB, (2022). ينبغي على المراقبين عدم التركيز فقط على مؤخرة صف الانتظار. ينبغي على المراقبين حساب المركبات التي تغادر أو تنضم وسط صف الانتظار ولن تقوم كل المركبات الموجودة في صف الانتظار بإخلاء التقاطع في أثناء الطور الأخضر الفردي ((Buehler et al. (1976).

أ-٤-١-٣-٢ التأخير في التحكم:

يُعد التأخير في التحكم مقياس الأداء الأكثر استخدامًا لتحديد عمل أجهزة التحكم في تدفق المرور. تستخدم منهجية دليل سعة الطرق لجمع التأخير في التحكم في الميدان مركبات منتظرة كمصدر رئيس للبيانات (تقنية عدّ صف الانتظار). ورغم استخدام مدة التأخير في صف الانتظار (d_{vq})، يُضاف تأخير إضافي باستخدام تصحيح التسارع/التباطؤ (d_{ad}). يُحتسَب التأخير في التحكم (d) باستخدام المعادلة (أ-١٥).

تقدم (ورقة عمل تأخير التحكم في التقاطع) الواردة في الشكل (أ-١١) إطار العمل لإجراء هذا النوع من دراسة التأخير (TRB, (2022)).

يمكن استخدام تقنيات مختلفة لقياس التأخير مثل، مسح سيارة الاختبار وتتبع مسار المركبة وتحليل المدخلات والمخرجات وعدّ صف الانتظار. تميل أول ثلاث تقنيات إلى أنها تتطلب وقتًا أكثر للتنفيذ عن التقنية الأخيرة، ولكنها توفر تقديرات أكثر دقة للتأخير. تقتصر غالبًا إلى المُعاينة عند تنفيذها يدويًا. ربما تكون الأنسب عند وجود ظروف مفرطة التشبع. يمكن استخدام أول تقنيتين لتقدير التأخير إما على أساس الحركة أو على أساس مجموعة مسارات. تعد آخر تقنيتين أكثر قابلية لقياسات التأخير على أساس مجموعة مسارات.

يوصى بتقنية عدّ صف انتظار لقياسات التأخير في التحكم. فإنها مبنية على المراقبة المباشرة لتعدادات المركبات في صف الانتظار لمجموعة المسارات المعنية. تتطلب عادةً موظفين ميدانيين لكل مجموعة مسارات تم مسحها. هناك حاجة أيضًا إلى (أ) ساعة رقمية متعددة الوظائف والتي تشمل مؤقت تكرار العد التنازلي مع فاصل العد التنازلي بالثواني، و(ب) لوحة عدّ الحجم بعدادي عدّ على الأقل. وبدلًا من ذلك، يمكن برمجة جهاز حاسب محمول لإصدار علامات العدّ الصوتي على فواصل زمنية يختارها المستخدم وإجراء تعدادات الحجم وتنفيذ عمليات حسابية في الوقت الحقيقي.

إن تقنية عدّ صف انتظار قابلة للتطبيق لكل مجموعات المسارات غير المشبعة. يمكن لتراكم صف الانتظار الملحوظ أن يجعل التقنية غير عملية لمجموعات المسارات مفرطة التشبع أو مجموعات المسارات ذات فترة تخزين محددة. إذا كانت صفوف الانتظار طويلة، فينبغي تعديل التقنية عن طريق تقسيم مجموعة المسارات إلى قطاعات يمكن التحكم فيها (أو مناطق) وتعيين مراقب لكل منطقة. ومن ثَم يقوم كل مراقب بعدّ المركبات المنتظرة في المنطقة المعنية به أو بها. إذا كانت صفوف الانتظار طويلة أو نسبة حجم المركبات إلى قدرة الاستيعاب مقتربة من ١,٠، فيجب توخي الحذر لمواصلة عدّ المركبات في صف الانتظار بعد نهاية فترة عدّ الوصول، بحيث تُحتسَب المركبات المنتظرة في دورتين مختلفتين أو أكثر.

قبل بدء المسح، يحتاج المراقبون إلى تقدير سرعة الاقتراب المتوسطة في أثناء فترة الدراسة. تُعد سرعة الاقتراب هي السرعة التي تمر بها المركبات عبر التقاطع بلا عوائق إذا كانت الإشارة خضراء لفترة طويلة وكان حجم المركبات خفيفًا. يمكن الحصول على هذه السرعة عن طريق القيادة عبر التقاطع عدة مرات عندما تكون الإشارة خضراء ولا يوجد صف انتظار. تُسجَّل سرعة الاقتراب في موقع عالي أقل تأثرًا بتشغيل التقاطع المعني الذي يحمل إشارات بالإضافة إلى تشغيل أي تقاطع أخر محكوم بإشارات مرورية.

كما ذُكر سابقًا، يُحتسَب التسارع والتباطؤ في حساب التأخير في التحكم ومع ذلك، لا يُقاسان مباشرةً لأن الأساليب الأكثر تقدمًا باستخدام معدات إضافية ستكون ضرورية. لذلك، فإن تأخر التسارع/التباطؤ (d_{ad}) يُعد تقديرًا وقد ثُبت أنه دقيق بشكل معقول. إن المعادلة لهذا التقدير موضحة في المعادلة (أ-١٥)؛ حيث يُحتسَب جزء توقف المركبات كما هو موضح في نموذج ورقة العمل (الشكل أ-١١) ويمكن العثور على عامل التصحيح في الجدول (أ-٢٢).

$$\text{Accel/Decel}(d_{ad}) = FVS \times CF$$ **المعادلة (أ-١٥)**

تُحتسَب مدة التأخير في صف الانتظار (d_{vq}) باستخدام المعادلة (أ-١٦).

$$d_{vq} = 0.9\left(I_s \times \frac{\sum V_{iq}}{V_{tot}}\right)$$ **المعادلة (أ-١٦)**

حيث إن:

d_{vq} (مدة التأخير في صف الانتظار) = الفترة الزمنية لكل مركبة (ث/مركبة).

I_s = الفترة الزمنية بين تعدادات المركبات في صف الانتظار (بالثانية).

ΣV_{iq} = مجموع تعدادات المركبات في صف الانتظار (مركبة).

V_{tot}= العدد الإجمالي للمركبات التي وصلت خلال فترة المسح (مركبة).

عامل التعديل ٠,٩ في المعادلة (أ-١٦) مسؤول عن الأخطاء التي يمكن أن تحدث عند استخدام تقنية عدّ صف انتظار لتقدير التأخير.

يتم الحصول على حساب تأخير التحكم في التقاطع عن طريق جمع تأخر التسارع/التباطؤ (d_{ad})، ومدة التأخير في صف الانتظار (d_{vq})، الموضحة في المعادلة (أ-١٧).

$$d = d_{vq} + d_{ad}$$ **المعادلة (أ-١٧)**

ينبغي بدء المسح بشكل مثالي في بداية الطور الأحمر مع عدم وجود مركبات منتظرة كثيرة من الدورة السابقة. إذا لم يكن ذلك ممكنًا، ينبغي استثناء المركبات الفائضة من التحليل. ينبغي تعيين مراقبين مع إلحاق المهام الآتية لكل مراقب:

مهام المراقب ١:

١- يقوم المراقب ١ بتتبع نهاية صف الانتظار القائم في كل مسار لمجموعة المسارات المعنية. لأغراض المسح تُقدَّر مركبة ما منضمة إلى صف الانتظار عندما تقترب من مسافة سيارة واحدة لمركبة متوقفة وتُعد نفسها على وشك التوقف.

٢- عند بداية كل فترة زمنية للعدّ، يقوم المراقب ١ بتسجيل عدد المركبات في صف الانتظار في جميع المسارات لمجموعة المسارات المعنية. يمكن استخدام مؤقت تكرار العد التنازلي الموجود على الساعة الرقمية للإشارة إلى وقت العدّ. يحتوي هذا العدّ على المركبات التي وصلت عندما كانت الإشارة خضراء، ولكن توقفت لأن المركبات في صف الانتظار أمامها لم تبدأ في التحرك بعد. يتم تضمين كل المركبات التي انضمت إلى صف الانتظار في تعدادات المركبات في صف الانتظار حتى "غادرت" التقاطع. تغادر مركبة مستمرة التقاطع عندما يتجاوز محورها الخلفي خط التوقف. تغادر مركبة منعطفة التقاطع في لحظة إخلائها للمرور المستمر المعاكس (أو المشاة الذين يطبق عليهم التوقف الاستعجالي) وتبدأ في التسارع مرة أخرى إلى سرعة الاقتراب. غالبًا ما تشمل عدّ المركبات في صف الانتظار بعض المركبات التي استعادة السرعة، ولكن لم تغادر التقاطع بعد.

٣- يسجل المراقب ١ عدّ المركبات في صف الانتظار في مربع الفترة الزمنية للعدّ المناسب الموجود في ورقة العمل. ينبغي افتراض فترة المسح قبل إجراء الدراسة. ينبغي تسجيل الوقت الزمني عند بداية كل دورة خامسة.

٤- في نهاية فترة المسح، يواصل المراقب ١ أخذ تعدادات المركبات في صف الانتظار لكل المركبات التي وصلت في أثناء فترة المسح حتى غادرت المركبات كلها التقاطع. تتطلب هذه الخطوة من المراقب تدوين ملاحظة عقلية عن آخر مركبة متوقفة وصلت خلال فترة المسح في كل مسار من مجموعة المسارات ومتابعة تعدادات المركبات في صف الانتظار حتى آخر مركبة أو مركبات متوقفة بالإضافة إلى جميع المركبات، الموجودة أمام آخر مركبة (مركبات) متوقفة، التي غادرت التقاطع. لا يتم شمول المركبات المتوقفة التي وصلت بعد نهاية فترة المسح في تعدادات المركبات في صف الانتظار النهائي.

مهام المراقب ٢:

١- يحافظ المراقب ٢ على ثلاثة تعدادات في أثناء فترة المسح. الأول: هو عدّ المركبات التي وصلت في أثناء فترة المسح. الثاني: هو عدّ المركبات التي وصلت في أثناء فترة المسح، والتي توقفت مرة أو عدة مرات. تُحسب المركبة التي توقفت عدة مرات مرة واحدة فقط على أنها مركبة متوقفة. العدّ الثالث: هو عدّ دورات الإشارة كما تُقاس بعدد المرات التي تُقدَّم فيها الإشارة الحمراء لمجموعة المسارات المعنية. إذا لم تبدأ فترة المسح أو تنتهي في الوقت نفسه كعرض الإشارة الحمراء، فيمكن استخدام عدد الفترات الزمنية للعدّ التي تحدث في الفترة المؤقتة لتقدير جزء الدورة الذي حدث في بداية فترة المسح أو نهايته.

٢- يدخل المراقب ٢ جميع التعدادات في المربعات المناسبة في ورقة العمل.

بمجرد حساب التأخير في التحكم؛ يمكن تحديد مستوى الخدمة (LOS) باستخدام نوع المرفق المناسب (تقاطع محكوم بإشارات مرورية أو تقاطع غير محكوم بإشارات مرورية). للإشارات. عندما تكون فترات التأخير في التحكم للشوارع الفرعية عالية، ينبغي على المحلل أن يدرك أن ذلك يمكن ألا يعني أن هناك مشكلة حقيقية. نظرًا إلى أن التأخير في التحكم يُقاس بالثواني لكل مركبة، فإذا كانت الأحجام منخفضة وكانت الدورة طويلة، فيمكن أن تضطر مركبة أو اثنتان إلى الانتظار لوقت طويل قبل تلقي إشارة خضراء. كبديل، ستكون نسبة حجم المركبات إلى قدرة الاستيعاب (الحجم/قدرة استيعاب) قياسًا أفضل لمعدل النقل المتوفر (أو نقص معدل النقل) للحركة المعينة.

الجدول (أ–٢٢) عامل تصحيح التسارع والتباطؤ (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 31-44).

سرعة الاتجاه (ميل/الساعة)	عامل تصحيح التسارع والتباطؤ (ثانية/المركبة) بوصفه دالة لمتوسط عدد المركبات المتوقفة		
	أقل من٧ مركبات في الدورة	٨-١٩ مركبة في الدورة	٢٠-٣٠ مركبة في الدورة
أقل من أو يساوي ٣٧	+٥	+٢	-١
أقل من أو يساوي ٣٧-٤٥	+٧	+٤	+٢
أكبر من ٤٥	+٩	+٧	+٥
ملحوظة: إن تعدادات المركبات في صف الانتظار الذي يزيد عن ٣٠ مركبة/مسار/دورة عادةً ما يكون غير موثوق.			

صفحة عمل التحكم في تأخير التقاطع

المعلومات العامة

المحلل
الوكالة أو الشركة
تاريخ الإجراء:
فترة التحليل

معلومات الموقع

المعلومات
نوع المنطقة ☐ منطقة الأعمال المركزية ☐ غير ذلك
السلطات القضائية
سنة التحليل

معلمات المدخلات الأولية

عدد الحارات المرورية, N
سرعة الاتجاه S ,(ميل/ الساعة)
الفترة الزمنية لإحصاء المسح، t، (S)

إجمالي المركبات القادمة، V tot
إحصاءات المركبات- المتوقفة، V top
طول تعاقب الإشارة، C(s)

بيانات مدخلات فيكل

الوقت بالساعة	رقم الدورة	عدد المركبات الموجودة في الفترة الزمنية لإحصاء طابور الانتظار									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
الإجمالي											

العمليات الحاسبية

إجمالي المركبات الموجودة في طابور الانتظار، ΣV_{iq} = ____ المركبات

الوقت المستغرق في طابور الانتظار لكل مركبة، اليوم، $d_{viq} = \left(I_s \frac{\Sigma V_{iq}}{V_{av}}\right)$ ____ ثواني/مركبة

عدد، لعدد المركبات المتوقفة لكل حارة لكل دورة= $\frac{stop}{(N_c \times N)}$ ____ الثواني/ مركبة

عامل تصحيح التسارع- التباطؤ، CF ____ ثواني/مركبة

عدد الدورات التي شملها المسح، Nc= ____

جزء من المركبات المتوقفة، Fvs= $\frac{V_{stop}}{V_{tot}}$ ____

تأخير عامل تصحيح التسارع- التباطؤ، اليوم d_{avj} = FVS * CF ____ ثواني/مركبة

التحكم في التأخير، d= d+d ____ ثواني/مركبة

الشكل (أ–١١) ورقة عمل الدراسة الميدانية للتأخر في التحكم (المصدر: Exhibit 31-43 – (2022) ,TRB).

أ-٤-١-٣-٣ التأخير الهندسي (الجيومتري):

يمكن لهندسة الطريق (الجيومترية) تغيير الوقت المستغرق للقيادة في تقاطع أو في مسار بشكل كبير. تنتج التأثيرات الهندسية عن التغييرات في المحاذاة الأفقية و/أو الرأسية. إن المثال الجيد لإصلاح التقاطع بالتأخير الهندسي الملحوظ هو دوّار والذي يستخدم انحناء عند مخرج ومدخل كل تقاطع؛ للتحكم بسرعات السائقين حيث يقبلون المسافات المتوفرة في المسارات الدوارة.

يسهل تقدير التأخير الهندسي، ولكن يستحيل قياسه مباشرةً في الميدان. الفكرة الأساسية هي تحديد زمن الانتقال للحركة الأصلية ومقارنتها بزمن الانتقال خلال التصميم الجديد. يحتاج المحلل لمعرفة متوسط (FFS) السائقين (أو وسائل النقل الأخرى) ونقطتين معروفتين قبل وبعد السمة الهندسية. النصيحة الأكثر أهمية هي أن كل نقطة من نقطتي الاهتمام هاتين تقع في المكان الذي حُدِّد وجود مركبة فيه في (FFS). إذا لم تُثبَّت السمة الهندسية؛ فيمكن تحديد زمن الانتقال بين نقطتين معروفتين عن طريق المعادلة (أ-١٨).

$$GTT_1 = \frac{d_2 - d_1}{FFS}$$ **المعادلة (أ-١٨)**

حيث إن:

GTT_1 = لم يتم تثبيت السمة الهندسية على زمن الانتقال الهندسية المفترضة.

d_2 = نقطة الاهتمام العليا حيث تسير المركبة على FFS.

d_1 = نقطة الاهتمام السفلى قبل التباطؤ بسبب السمة الهندسية.

وبعد ذلك ينبغي على المحلل تسجيل أزمنة الرحلة لعيّنة كبيرة (عادةً ١٠٠ أو أكثر) لمركبات خالية من العوائق (أو وسائل نقل أخرى) لتحديد زمن الانتقال (GTT_2) بين نقطتي الاهتمام نفسهما. يمكن أن يفيدك استخدام مركبة اختبار للدخول في مجرى المرور في أوقات عشوائية وتحديد الوقت بين النقطتين. يُستخدَم متوسط زمن الانتقال الفردية الفعلية بعد ذلك؛ لتحديد التأخير الهندسي (g) عن طريق المعادلة (أ-١٩).

$$g = GTT_2 - GTT_1$$ **المعادلة (أ-١٩)**

ومن المهم الإشارة مرة أخرى إلى أن التأخير الهندسي لا يشمل تأثيرات أي جهاز تحكم أو حركة مرور متضاربة؛ فهو يقيس فقط التأخير الذي سببته السمة الهندسية عن طريق مقارنته بحالة (عدم التغيير).

أ-٤-١-٣-٤ مدة تأخر الرحلة:

يُستخدَم (TTD) غالبًا في التقاطعات وعلى طول الممرات؛ حيث يحاول المحلل تحديد تأثير جهاز التحكم وأي تأثيرات هندسية (إن وجدت) بالإضافة إلى أي عوامل أخرى تؤثر في التأخير. تُصاغ (TTD) في بعض الأحيان إلى (تأخير كلي) لأسباب واضحة. على سبيل المثال: باستخدام المثال من الجزء الفرعي السابق، سيقيِّم الدوّار بناءً على تأثير الانحناء في الدوّار (تأخر هندسي) ولافتة أعطِ الأفضلية. يتمثل الاختلاف المهم في أن المحلل لم يعد يكترث للحالات الخالية من العوائق لمعرفة المزيد عن التأخير الهندسي فقط، بل أيضًا تأثير لافتة (أعطِ الأفضلية، جنبًا إلى جنب مع المرور المتضاربة). من الممكن أن تكون (TTD) فقط وظيفة التأخير في التحكم؛ لأنه يمكن ألا يكون هناك ميزات هندسية تسبب التأخير (على سبيل المثال: جزء مسطح ومستقيم تمامًا من الطريق).

يُحتسَب TTD باستخدام المعادلة (أ-٢٠).

$$TTD - TT_2 - TT_1$$ **المعادلة (أ-٢٠)**

حيث إن:

TTD = مدة تأخر الرحلة خلال التقاطع.

TT_1= زمن الانتقال الخالية من العوائق خلال التقاطع.

TT_2 = متوسط زمن الانتقال الفعلية خلال التقاطع.

ومن ضمن الخيارات الأخرى التي ذاع صيتها لتحديد (TTD) هي استخدام أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي؛ لتتبع مسارات المركبة في التقاطعات باستخدام مخطط زماني ومكاني. يصف الجزء دراسات زمن الانتقال والتأخير هذه التقنية مع تقنيات أخرى يمكن استخدامها. وفي النهاية، عادةً ما يُستخدَم (TTD) في دراسات الممرات حيث تكون التقاطعات المنسقة ضرورية. على سبيل المثال، يمكن أن يحتوي الممر على خطط توقيت أو أطوار إشارات جديدة أُستخدِمت على طول الممر. ويمكن استخدام دراسة زمن الانتقال في الممر لتحديد ما إذا كانت خطط التنسيق الجديدة لها تأثير إيجابي. مرة أخرى، وصِفت دراسات الممرات بشكل أكثر تفصيلًا في جزء دراسات زمن الانتقال والتأخير.

أ-٤-٢ طول صف الانتظار:

لدراسات طول صف الانتظار العديد من التطبيقات الضرورية. يمكن لبيانات طول صف الانتظار المساعدة على تحديد الطول الضروري لمسارات التخزين أو تقديم قياسات نافعة عن كفاءة إشارات المرور. ينبغي إجراء دراسات طول صف الانتظار التي تخدم هذه الأغراض بطريقة شبيهة للغاية للطريقة اليدوية المستخدمة لقياس تأخير التحكم الذي نوقش أعلاه. ينبغي أن يحصي المراقبين المركبات الموجودة في الصفوف غير المتحركة أو الصفوف بطيئة الحركة في فترات زمنية محددة. يمكن للمراقبين تدوين الملاحظات في المجال الميداني أو يمكنهم العدّ باستخدام الصور الفوتوغرافية أو مقاطع الفيديو. في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، ينبغي أن يبدأ سجل المراقب مع بدء فترة الإشارة الخضراء حتى انتهاء فترة الإشارة الصفراء. أما العدّ في التقاطعات غير المحكومة بإشارات مرورية عادة ما يتم خلال فترات تبلغ ٣٠ ثانية أو دقيقة واحدة ((ITE, (2016).

يمكن للمحلل التحري عن إمكانية تنفيذ موقع الممر المقترح على طريق التقاطع باستخدام طريقة دراسة طول صف انتظار مختلفة قليلًا ((ITE, (2016). في هذه الحالة، على المراقبين تسجيل المدة الزمنية التي أغلق فيه صف انتظار موقع الممر المقترح. يمكن للمراقبين استخدام ساعات توقيت في مواقع متعددة. عادة يُفضل إجراء هذا النوع من الدراسات الخاصة بطول صف الانتظار في أثناء وقت الذروة في المدخل و/أو تقاطع الطرق. ينتج تقسيم وقت غلق موقع المدخل المقترح أو مسار الانعطاف المخصص (الأيمن أو الأيسر) على وقت الدراسة الكلي النسبة المئوية لوقت غلق الموقع، ما يعد قياسًا نافعًا للغاية.

تعد الاستقصاءات الميدانية أفضل طريقة لتحديد أطوال صف الانتظار الفعلية في مسارات دخول التقاطع. تُستخدَم النماذج الكُليّة (الموضحة في الجزء أ-٩) مرارًا لتوقيت الإشارة، وعادة تُستخدم لتحديد النسبة المئوية لصف الانتظار (على سبيل المثال: ٥٠٪، و٩٠٪، وما إلى ذلك). على أي حال، النماذج الكُليّة قائمة على المعادلات، ومن ثَم لا تضع أطوال مواقف التخزين الفعلية في الحسبان. وعوضًا عن ذلك، تفترض طول غير متناهٍ لكل مجموعة مسارات، ومن ثَم، عادة ما تستخدم المحاكاة لتحديد إذا ما كان موقف التخزين طويلًا بما يكفي، أو إذا كان المدخل المقترح سيتعرض للغلق لمدة زمنية كبيرة. لمزيد من المعلومات عن دراسات المحاكاة، يرجى الاطلاع على الجزء (أ-٩).

أ-٤-٣ التدفق المُشبّع والوقت الضائع:

يعد التدفق المُشبّع والوقت الضائع العاملين البنائيين الأساسيين لهندسة المرور. يستخدم المحللون هذه القياسات لتوقيت الإشارات وتقدير سعة التقاطع.

أ-٤-٣-١ المفاهيم:

أ-٤-٣-١-١ التدفق المُشبّع:

معدل التدفق المُشبّع هو المعدل المماثل على مدار الساعة الذي يمكن للمركبات المصطفة مسبقًا خلاله اجتياز مدخل التقاطع، مع افتراض أن الإشارة الخضراء متاحة طوال الوقت ولا يوجد أي وقت ضائع. ويُعبَّر عنه على أنه المعدل المتوسط المتوقع على مدار الساعة لوحدات المركبات خلال الساعة في كل مسار ((TRB, (2022). يُحصل عليه بعد ١٠ - ١٤ ثانية من بدء الإشارة الخضراء، ما يتوافق مع المحور الأمامي لسيارات الركاب العابرة لخط التوقف من الرابعة إلى السادسة.

يمثل *معدل التدفق المُشبّع الأساسي* معدل متوسط التدفق المتوقع لمسار المرور الرئيس ذي العرض البالغ ٣,٦٠ مترًا في ظروف مرورية وهندسية (جيومترية) مثالية (على سبيل المثال: عدم وجود مركبات ثقيلة، وعدم وجود ميول في الطريق، وعدم وجود وقوف للمركبات، وعدم وجود حافلات تتوقف في التقاطعات، واستغلال المسارات المتساوي، وعدم وجود مركبات منعطفة). عادةً ما تكون مستقرة في أثناء مدة زمنية في منطقة محددة، وعادة تُظهر توزيعًا إحصائيًا ضيقًا نسبيًا ضمن التقاطعات الموجودة في تلك المنطقة.

معدل التدفق المُشبّع السائد هو المعدل الذي قيس في الميدان لمجموعة محددة من المسارات في تقاطع معين. قد يختلف بشكل كبير بين التقاطعات ذات مجموعات المسارات المتماثلة بسبب الاختلاف في عرض المسار والتكوين المروري (أي النسبة المئوية للمركبات الثقيلة)، ودرجة الميل، ووقوف المركبات، ومواقف الحافلات، واستخدام المسار، وعمليات المركبات المنعطفة. في حال وقوع التقاطعات في مناطق مختلفة، يمكن أن يختلف معدل التدفق المُشبّع السائد بسبب الاختلافات الكبيرة في معدل التدفق المُشبّع الأساسي.

يمثل *معدل التدفق المُشبّع المعدل* تقديرًا لمعدل التدفق المُشبّع السائد. يمكن أن يختلف بين التقاطعات للأسباب المذكور أعلاه الخاصة بمعدل التدفق المُشبّع السائد. تتسبب الظروف السائدة عادة في أن يكون معدل التدفق المُشبّع المعدل أقل من معدل التدفق المُشبّع الأساسي. يُقلل أي انحياز محتمل في التقدير إلى أدنى حد عن طريق المعايرة المحلية لمعدل التدفق المُشبّع الأساسي.

يُعبَّر عن معدل التدفق المُشبّع السائد ومعدل التدفق المُشبّع المعدل عن طريق وحدات المركبات. ونتيجة لذلك تعكس قيمتهما التركيب المروري للمسار المروري موضع النظر. وعلى النقيض، يُعبَّر عن معدل التدفق المُشبّع الأساسي عن طريق وحدات سيارات الركاب، وهو لا يعكس التكوين المروري.

أ-٤-٣-١-٢ الوقت الضائع:

يعد الوقت الضائع الجزء غير المستخدم في دورة إشارة المرور. يوجد مكونان مهمان للوقت الضائع لكل طور إشارة:

- يحدث بدء الوقت الضائع بين وقت تشغيل الإشارة الخضراء وبدء تحرك صف الانتظار بشكل فعال.
- يحدث الوقت الضائع للإخلاء بين وقت مرور آخر مركبة فوق خط التوقف وبدء طور الإشارة التالي.

ويوضح هذا القسم الفرعي طرق قياس التدفق المُشبّع والوقت الضائع. وتتسم هذه الطرق بأنها بسيطة نسبيًا ويمكن استخدام مجموعة متنوعة من المعدات للقيام بها.

أ-٤-٣-٢ الاحتياجات من المعدات:

عادةً ما تُجرى دراسات معدل التدفق المُشبّع والوقت الضائع باستخدام ساعة إيقاف أو لوحة عد أو برنامج حاسب مع رموز مكتوبة لاستخدام ضغطات المفاتيح والساعة الداخلية. وبعيدًا عن ساعة الإيقاف، توفر الطرق الأخرى العديد من المميزات مثل مستوى الدقة الأعلى، والإنشاء الفوري لملف حاسب (للحاسب المحمول)، وإنشاء سجل دائم متوفر للدراسات الأخرى (باستخدام مقاطع الصوت والفيديو). وتتطلب طرق استخدام الحاسب المحمول والفيديو برامج حاسب خاصة لكتابتها أو الحصول عليها.

تتطلب طريقة الحاسب المحمول أن يضغط الملاحظون على مفاتيح معينة عند مرور المركبة الرابعة بخط التوقف ومفاتيح أخرى عند مرور المركبات السابعة، أو الثامنة، أو التاسعة أو العاشرة. ويسجل البرنامج الأوقات الزمنية التي ضُغط فيها على هذه المفاتيح وإجراء الحسابات. وتتطلب طريقة شريط التسجيل الصوتي أن يتحدث الملاحظ عند التقاطع في جهاز التسجيل عند مرور المركبات ذات الاهتمام بخط التوقف ((Shanteau, (1988). وعند العودة إلى المكتب، يشغل جامع البيانات الشريط بالسرعة نفسها بينما يضغط على الأزرار المناسبة لكل إشارة صوتية على الحاسب. وهنا يلزم استخدام برنامج مماثل لذلك الموجود على الحاسب المحمول؛ لتسجيل الأوقات الزمنية وإجراء الحسابات.

تتطلب طريقة الفيديو وجود نقطة مراقبة واضحة وظروف إضاءة جيدة. وفي المكتب، ينبغي أن يقوم الأخصائي الفني بإيقاف الفيديو ويسجل الوقت الموجود على شاشة الساعة عند مرور المركبات ذات الاهتمام بخط التوقف.

أ-٤-٣-٣ متطلبات تدريب الموظفين:

سيحتاج الموظفون الذين يقومون بإجراء دراسات معدل التدفق المُشبّع والوقت الضائع إلى نقاط مراقبة جيدة بالقرب من خطوط التوقف الخاصة بالمدخل الذي يُدرَس، ولكنهم يحتاجون أيضًا إلى عرض ما يقرب من ٦٠ مترًا من نقطة البداية. ونظرًا إلى أن البيانات تُجمَع بالقرب من الطريق؛ فإن سترة السلامة العاكسة ضرورية. وفي حالة استخدام ساعة إيقاف، ينبغي أن يكون لدى الشخص الذي يقوم بجمع البيانات الضرورية استجابة جيدة، وأن يفهم منهجية جمع البيانات الدقيقة قبل الدخول في الميدان. وعند وجود أي أخطاء، حتى ولو كانت أخطاء طفيفة، يمكن أن يكون لها تأثير كبير في القيم (خاصةً الوقت الضائع).

أ-٤-٣-٤ الإجراءات الميدانية والتحليل:

أ-٤-٣-٤-١ معدل التدفق المُشبّع:

القياس:

يصف هذا الجزء الفرعي تقنية قياس معدل التدفق المُشبّع السائد لمسار طريق محدد. وبشكل عام تُسجَّل المركبات عندما تعبر محاورها الأمامية خط التوقف. وينبغي بدء فترة القياس في بداية الفترة الزمنية الخضراء أو عند مرور المحور الأمامي للمركبة الأولى في صف الانتظار بخط التوقف. وينبغي حساب معدل التدفق المُشبّع من البيانات المسجلة فقط بعد مرور المركبة الرابعة في صف الانتظار لخط التوقف.

يمثل المحور الأمامي للمركبة وخط التوقف والوقت الذي تعبر فيه المركبة الرابعة في صف الانتظار خط التوقف ثلاث نقاط مرجعية رئيسة لقياس التدفق المُشبّع. وينبغي الحفاظ على هذه النقاط المرجعية الثلاثة ما يضمن الاتساق مع الإجراءات الموصوفة في (TRB, 2022) ولتسهيل مقارنة النتائج مع الدراسات الأخرى. ويمكن أن يؤدي استخدام النقاط المرجعية الأخرى على المركبة أو على الطريق أو في الوقت المناسب إلى معدلات تدفق مُشبّع مختلفة.

إذا لم يكن خط التوقف مرئيًا أو إذا كانت المركبات تتوقف باستمرار بعد خط التوقف، ينبغي إنشاء خط مرجعي بديل. وينبغي إنشاء هذا الخط المرجعي بعد موضع التوقف المرجعي للمركبة الأولى في صف الانتظار. وينبغي أن تتوقف المركبات باستمرار خلف هذا الخط. كما ينبغي أن تكون مراقبة عدة دورات قبل بدء الدراسة كافية لتحديد هذا الخط المرجعي البديل.

تصف الفقرات الآتية المهام المتعلقة بعمليات مسح التدفق المُشبّع أحادي المسارات. ويوصى بوجود طاقم ميداني مكون من شخصين. ومع ذلك، فإن وجود شخص واحد لديه مسجل شرائط أو مسجل أحداث يعمل بضغطة زر أو حاسب محمول به برنامج مناسب سيكون كافيًا. ويجب تعديل المذكرات الميدانية والمهام المحددة في الفقرات الآتية وفقًا لنوع المعدات المستخدمة. ويُعطي الشكل (أ-١٢) نموذج صفحة عمل ميدانية لتسجيل المشاهدات.

المهام العامة:

قس نوع المنطقة وسجله بالإضافة إلى العرض وميل المسار المراد دراسته. أدخل هذه البيانات في قسم مدخلات حركة المسار في صفحة العمل الميدانية.

اختر نقطة مراقبة حيث يكون الخط المرجعي للطريق (على سبيل المثال: خط التوقف) للمسار الجاري مسحه ورؤوس الإشارة المقابلة ظاهرة بوضوح. وعند عبور مركبة لهذا المسار من دون عوائق، فإنها تدخل حيز التعارض في التقاطع بغرض قياس التدفق المُشبّع. والمركبات المنعطفة لليسار أو لليمين التي تتوقف لإعطاء الأفضلية للمرور المعاكس المستمر للأمام أو للمشاة لا تُسجل حتى تستمر في الحركة.

مهام مسؤول التسجيل:

في أثناء فترة القياس، لاحظ آخر مركبة في صف الانتظار المتوقف عندما تتحول الإشارة إلى اللون الأخضر. وصف المركبة الأخيرة للشخص الذي يحسب الوقت. دوَّن في ورقة العمل: أي المركبات هي مركبات ثقيلة ومركبات منعطفة لليسار أو اليمين. ويُسجَّل الوقت الذي أعلنه الشخص الذي يحسب الوقت.

مهام الشخص الذي يحسب الوقت:

ابدأ بتشغيل ساعة الإيقاف من بداية اللون الأخضر وأخطر مسؤول التسجيل. عدّ كل مركبة بصوت عالٍ في صف الانتظار عندما يعبر محورها الأمامي خط التوقف ودوّن وقت العبور. أعلن وقت المركبة الرابعة والعاشرة والأخيرة في صف الانتظار المتوقف عندما يتجاوز محورها الأمامي خط التوقف.

إذا كانت المركبات في صف الانتظار لا تزال تدخل التقاطع في نهاية الفترة الزمنية الخضراء؛ فقم بإعلان (التشبع خلال نهاية اللون الأخضر— آخر مركبة هي رقم *س س*.) ولاحظ أي أحداث غير اعتيادية التي قد تكون أثرت في معدل التدفق المُشبّع، مثل الحافلات والمركبات المتوقفة والشاحنات التي تفرغ حمولتها.

تبدأ فترة التدفق المُشبّع عندما يعبر المحور الأمامي للمركبة الرابعة في صف الانتظار الخط المرجعي للطريق (على سبيل المثال: خط التوقف) وينتهي عندما يتجاوز المحور الأمامي للمركبة الأخيرة في صف الانتظار هذا الخط. ويمكن أن تكون آخر مركبة في صف الانتظار هي مركبة انضمت إلى صف الانتظار في أثناء الإشارة الخضراء.

اختزال البيانات:

تُجرَى القياسات دورة تلو الأخرى. ولاختزال البيانات لكل دورة، يُطرح الوقت المسجل للمركبة الرابعة من الوقت المسجل لآخر مركبة في صف الانتظار. وتمثل هذه القيمة إجمالي الفجوات الزمنية الفاصلة المركبة من الخامسة إلى المركبة (n)، حيث يمثل (n) رقم آخر مركبة مُسحت (والتي يمكن ألا تكون آخر مركبة في صف الانتظار). ويُقسَم هذا المجموع على عدد الفترة الزمنية الفاصلة بعد المركبة الرابعة [أي مقسومًا على (4 – n)] للحصول على متوسط الفترة الزمنية الفاصلة لكل مركبة في ظل التدفق المُشبّع. ويساوي معدل التدفق المُشبّع ٣,٦٠٠ مقسومًا على متوسط الفترة الزمنية الفاصلة هذا.

على سبيل المثال: إذا لوحظ أن وقت المركبة الرابعة هو ١٠,٢ ثانية وكان وقت المركبة ١٤ والأخيرة التي تم مسحها هو ٣٦,٥ ثانية، يكون متوسط الفترة الزمنية الفاصلة للتدفق المُشبّع لكل مركبة هو (٢,٦٣ ثانية/مركبة):

$$\frac{(36.5 - 10.2)}{(14 - 4)} = \frac{26.3}{10} = 2.63\ s/veh$$

معدل التدفق المُشبّع السائد في تلك الدورة هو (١,٣٦٩ مركبة/ساعة/مسار):

$$\frac{3{,}600}{2.63} = 1{,}369\ \text{veh/hr/ln}$$

للحصول على قيمة ذات دلالة إحصائية يتطلب الأمر عادة ما لا يقل عن ١٥ دورة إشارة (تحتوي كل منها على أكثر من ثماني مركبات في صف الانتظار الأولي). ويُقسم عدد الثواني في الساعة (٣,٦٠٠ ثانية) على متوسط الفترة الزمنية الفاصلة للتدفق المُشبّع المُتحصل عليه من الدورات الفردية للحصول على معدل التدفق المُشبّع السائد للمسار الذي مُسح. وينبغي تحديد النسبة المئوية للمركبات الثقيلة والمركبات المنعطفة في العينة وتدوينها للرجوع إليها.

أ-٤-٣-٥صفحة عمل دراسة معدل التدفق المُشبّع الميداني

انظر الشكل (أ-١٢) لصفحة عمل دراسة معدل التدفق المُشبّع الميدانية.

ورقة عمل تأخير التحكم في التقاطع

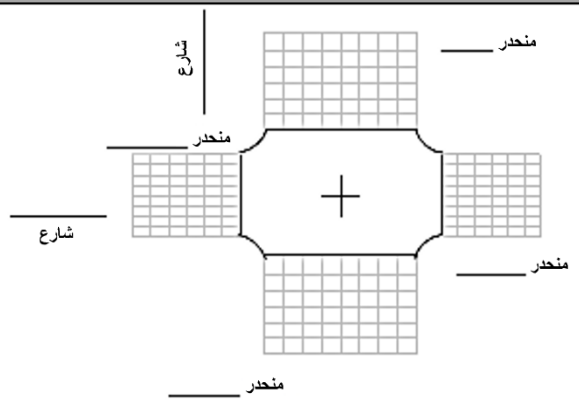
مدخلات حركة المسار | **معلومات الموقع**

المحلل		التقاطع	
الوكالة أو الشركة		نوع المنطقة	☐ منطقة الأعمال المركزية ☐ أخرى
تاريخ الإجراء		نطاق الاختصاص	
فترة التحليل		سنة التحليل	

مدخلات حركة المسار

الحركات المسموح بها

- ☐ للأمام
- ☐ الإنعطاف لليمين
- ☐ الإنعطاف لليسار



مدخلات القياسات الميدانية

المركبات في صف الانتظار	الدورة 1			الدورة 2			الدورة 3			الدورة 4			الدورة 5			الدورة 6		
	الفترة الزمنية	HV	T	الفترة الزمنية	HV	T	الفترة الزمنية	HV	T	الفترة الزمنية	HV	T	الفترة الزمنية	HV	T	الفترة الزمنية	HV	T
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
نهاية التشبع																		
نهاية اللون الأخضر																		
عدد المركبات > 20																		
عدد المركبات																		

المصطلحات والملاحظات

HV = المركبات الثقيلة (مركبات بأكثر من أربع إطارات على الرصف)

T = المركبات الملتفة (R = Right, L = Left)

المشاة والحافلات التي تحجب المركبات يجب أن تبلغ بالوقت الذي حجبت به المرور، على سبيل المثال:

P12 = حجب المشاة المرور لمدة ١٢ ثانية

B15 = حجب حافلة المرور لمدة ١٥ ثانية

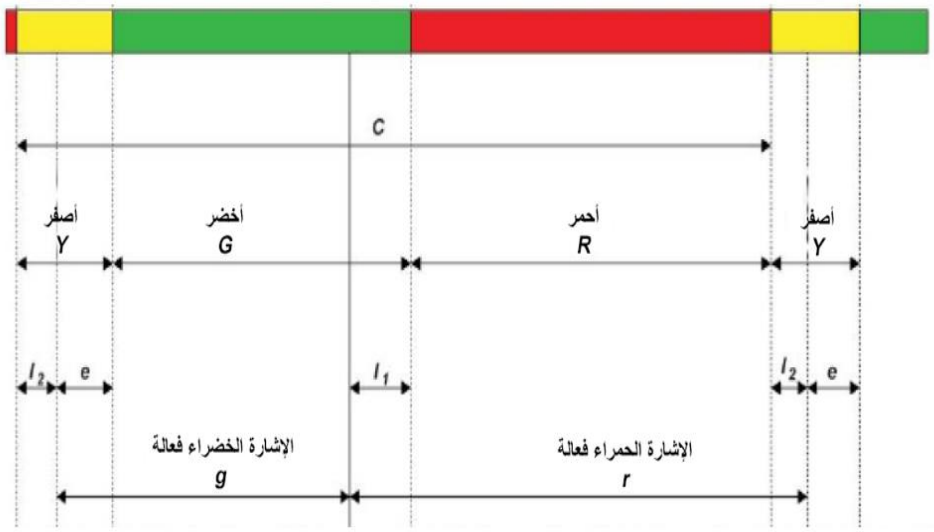
الشكل (أ–١٢) صفحة عمل دراسة معدل التدفق المُشبّع الميداني (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 31-47).

أ-٤-٣-٥-١ الوقت الضائع:

دراسة الوقت الضائع أصعب بشكل كبير عن دراسة التدفق المُشبّع لعدة أسباب. أولًا: الأوقات الضائعة قصيرة؛ لذا تتطلب القياسات الدقيقة استجابات سريعة. ثانيًا: يمكن للمراقبين قياس الوقت الضائع فقط خلال الأطوار الخضراء المشبعة تمامًا. أخيرًا: تتميز متغيرات عديدة تؤثر في التدفق المُشبّع بأثرها في الوقت الضائع، إلى جانب متغيرات أخرى، بما فيها موضع رأس الإشارة ومقاس العدسة. كما ينبغي على المحلل توخي الحذر عند تطبيق تقدير الوقت الضائع من مسار إلى مسارات، أو طرق، أو تقاطعات أخرى. ويمكن للمراقبين تسجيل بيانات الوقت الضائع باستخدام ساعة إيقاف وحاسب محمول ومسجل صوتي وجهاز حاسب عند العودة للمكتب، أو باستخدام عرض فيديو يتضمن إظهار ساعة على الشاشة. ونظرًا إلى أن المحللين بحاجة إلى تقدير التدفق المُشبّع لبدء حساب الوقت الضائع (كما هو موضح أدناه)؛ فغالبًا ما يجمعون البيانات للدراستين في آنٍ واحد.

تتمثل أغلب حالات عدم اليقين في دراسات الوقت الضائع في مكان تحديد النقطة المرجعية للتوقيت. بعبارة أخرى، "في أي مكان تُعد المركبة في التقاطع؟"

لتحليل السعة، يُوصى بتسجيل الوقت الذي عبرت فيه المصدات الأمامية للمركبات امتداد خط البردورة في الجانب القريب من الشارع المتقاطع.



الشكل (أ–١٣) السمات الأساسية لتدفق المرور في دورة الإشارة (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 19-5/part 2).

كما هو موضح في الشكل (أ-١٣)، ثمة جزءان من الوقت الضائع مرتبطان بطور ما. في بداية الطور، تغادر المركبات القليلة الأولى في صف الانتظار عند فترات زمنية فاصلة تتجاوز الفترة الزمنية الفاصلة للتدفق المُشبّع. توضح الفترة الزمنية الفاصلة الأطول الوقت الإضافي الذي يحتاج إليه بعض السائقين الأوائل بغية الاستجابة للتغيير في ألوان الإشارة والتسارع للوصول للسرعة التشغيلية. ويسمى الفاقد من الزمن عند بدء الحركة بالوقت الضائع في بدء الحركة (l_1).

في نهاية الطور، يضيء اللون الأصفر، ويستعد السائقون المقتربون لتغير الإشارة إلى اللون الأحمر. ويستخدم السائقون جزءًا أوليًا من الإشارة الصفراء بالاستمرار في عبور خط اتوقف ويشار إليه بتمديد وقت الإشارة الخضراء الفعال (e). ويُشار إلى الجزء الأخير من فترة التغير (أي فترة تغير الإشارة الصفراء وبدء فترة الإشارة الحمراء للإخلاء)، التي لم تُستخدَم، على أنها وقت الإخلاء الضائع (l_2). الوقت الضائع للطور (l_t) يساوي مجموع الوقتين الضائعين في بدء الحركة والإخلاء.

تظهر العلاقة بين الوقت الضائع للطور وتوقيت الإشارات في المعادلة (أ-٢١).

حيث إن:

$$l_t = l_1 + l_2$$

المعادلة (أ-٢١)

أو

$$l_t = l_1 + Y + R_c - e$$

l_t = الوقت الضائع للطور (بالثواني).

l_1 = الوقت الضائع لبدء الحركة (بالثواني).

l_2 = الوقت الضائع للإخلاء = $(Y + R_c - e)$ (بالثواني).

e = تمديد وقت الإشارة الخضراء الفعال (بالثواني).

Y = مدة الإشارة الصفراء (بالثواني).

R_c = مدة الإشارة الحمراء للإخلاء (بالثواني).

تتمثل البيانات اللازمة لحساب الوقت الضائع لبدء الحركة (l_1) في الأوقات التي تضيء فيها الإشارة الخضراء والأوقات التي تمر فيها المركبة الثالثة في صف الانتظار الواقف بالنقطة المرجعية. ويستطيع المحللون حساب الوقت الضائع لبدء الحركة لطور ما عن طريق حساب الفرق بين الوقتين المسجلين (الإشارة الخضراء والمركبة الثالثة) وطرح ثلاثة أضعاف متوسط الفترة الزمنية الفاصلة للمسار (بالثواني لكل مركبة) المتوفر في أثناء دراسة التدفق المُشبّع. على سبيل المثال: يبلغ متوسط قيمة الفترة الزمنية الفاصلة للتقاطع المحكوم بإشارات مرورية نحو ١,٩ ثانية لكل مركبة. وإذا كان الوقت المستغرق بين إضاءة الإشارة الخضراء ومرور المركبة الثالثة بنقطة مرجعية معروفة (مثل خط بردورة الرصيف المقابل القريب) يبلغ ٦,١ ثوانٍ، فإن وقت بدء الحركة الضائع سيكون ٠,٤ ثانية (٦,١-[٣×١,٩]). كما تُحدد قيم الفترة الزمنية الفاصلة باستخدام ساعة الإيقاف ونقطة مرجعية محددة سابقًا (إذ تُسجّل الأوقات بين المصدات الأمامية للمركبات المتتالية فوق النقطة المرجعية) مع صفوف انتظار كافية تتألف من أربع إلى ١٠ مركبات من حيث الطول. يمكن أن تكون نتيجة حساب الوقت الضائع لبدء الحركة أقل من الصفر لطور معين. وفي هذه الحالة، يفترض المحللون قيمة صفر عند حساب المعلمات الإحصائية استنادًا إلى النتائج.

ينبغي للمراقبين قياس أوقات الإخلاء الضائعة (l_2) مباشرة في نهاية إحدى أطوار الإشارة الخضراء المشبعة. وهذا طور إشارة حيث كانت الأحجام المرورية كبيرة (ومن ثم تكون صفوف الانتظار متراصة وتنطلق بتدفق حر) تتدفق باستمرار خلال مدة الطور المخصصة بالكامل. كما يسجلون الوقت الذي تعبر فيه آخر مركبة، خلال الطور، النقطة المرجعية والوقت الذي تتحول فيه الإشارة إلى اللون الأخضر للطور التالي. ويتمثل الفرق بين هذين الوقتين في الوقت الضائع للإخلاء. ويلزم على المراقبين إيجاد موقع يمكنهم فيه مراقبة كل من النقطة المرجعية للتوقيت ولون الإشارة للطور التالي.

أظهرت الأبحاث أن الوقت الضائع لبدء الحركة يبلغ نحو ثانيتين وأن تمديد وقت الإشارة الخضراء الفعال يبلغ نحو ثانيتين (TRB, 2022). ويمكن أن تكون الأوقات الأطول مناسبة لظروف الازدحام أو السرعات العالية أو المركبات الثقيلة. وإذا كان الوقت الضائع لبدء الحركة يساوي تمديد وقت الإشارة الخضراء الفعال، فإن الوقت الضائع للطور يساوي فترة التغير، أي $(l_t = Y + R_c)$.

أ-٤-٤ الفجوات وقبول الفجوة:

أ-٤-٤-١ مقدمة:

تُستخدم دراسات الفجوات وقبولها بغية تحديد حجم وتوزيع وعدد الفجوات المتاحة في تدفق المرور في الشوارع الرئيسة عند التقاطعات ثنائية الاتجاه المحكومة بلافتة قف أو الممرات والدوّارات. ويمكن استخدام هذه النتائج كمؤشر لأداء التقاطع.

تتضمن بعض الاستخدامات الأكثر شيوعًا للدراسات المعنية بفجوات المركبات معايرة نماذج المحاكاة وتحليل السعة وتقديرات فترة تأخير المركبات. ويمكن استخدام الدراسة المعنية بتأخير التقاطع كإجراء بديل للدراسة المعنية بفجوات المركبات بهدف المساعدة على تحديد ما إذا كانت ثمة حاجة إلى إجراء تغيير في التحكم بالتقاطع. راجع القسم الفرعي حول أعلاه للحصول على مزيد من الإرشادات إزاء كيفية إجراء دراسة معنية بتأخير التقاطع.

أ-٤-٤-٢ الاحتياجات من المعدات:

تعمل دراسات الفجوات وقبولها على جمع البيانات باستخدام لوحات العد وأجهزة الحاسب المحمولة/اللوحية وأنواع معينة من أجهزة استشعار (كشف) المركبات الآلية، بالإضافة إلى أشرطة التسجيل الصوتي جنبًا إلى جنب مع أجهزة الحاسب في المكتب أو الفيديو أو ساعات الإيقاف. وباستخدام أجهزة الاستشعار الآلية، ينبغي على المحللين التأكد من قياس المسارات ذات الأهمية فقط. كما تتطلب أجهزة الحاسب المحمولة وأشرطة التسجيل الصوتي وكذلك أجهزة الحاسب برامج حاسب خاصة.

إذا أُستخدِمت المسجلات الصوتية لجمع البيانات؛ فمن الأفضل استخدام سماعة رأس أو ميكروفون يُثبَّت على قميص (Bonsall, et al., 1988).

أ-٤-٤-٣ متطلبات تدريب الموظفين:

ينبغي على المراقبين جمع بيانات الفجوات في أثناء الطقس الذي لا يؤثر في حجم المرور الطبيعي. كما يحتاج المراقبون إلى رؤية جيدة للنقطة المرجعية، ويجب أن يكونوا غير ملحوظين؛ لتجنب التأثير في سلوك السائق. ومن المفيد لعدة

أسباب مثل عدم الوضوح، أن يجلس المراقب في سيارة في أثناء دراسة قبول الفجوات. فعادة لا تحجب الحافلات والشاحنات الرؤية عند التقاطعات غير المحكومة بإشارة مرورية؛ لذا يمكن للمراقبين بشكل عام الجلوس في السيارة.

أ-٤-٤-٤ الإجراءات الميدانية والتحليل:

أ-٤-٤-٤-١ الفجوات:

عادةً ما يجمع المراقبون بيانات الفجوات باستخدام لوحات العد الإلكترونية أو أجهزة الحاسب المحمولة التي تدعم الترميز المصحوب بإظهار الوقت. فعندما تعبر مركبة ما خلال تدفق المرور الرئيس نقطة مرجعية عند التقاطع المعني، يضغط المراقب على مفتاح ويسجل الجهاز الوقت المنقضي منذ آخر مرة ضُغِط فيها على المفتاح. تسجل العديد من لوحات العد الإلكترونية بيانات الفجوات عن طريق تجميع الفجوات في (جيوب بيانات) بفواصل زمنية مدتها: ثانيتان. تتألف النتائج بعد ذلك من عدد فجوات يتراوح بين (٠) و (٢) ثانية، (٢) و (٤)، وهكذا. ورغم أن الفترات الزمنية المكونة من ثانيتين تعد أولية؛ إلا أنها مقبولة لمعظم دراسات الفجوات، ومع ذلك لا تُعد الفترات الزمنية الأكبر مفيدة بشكل عام. ومع عدم وجود بيانات أخرى تُجمَع في وقت واحد ينبغي ألا يواجه المراقب الجديد مشكلة في جمع بيانات الفجوات لشارع رئيس متعدد المسارات.

يستند حجم الفجوات في تدفق المرور إلى حجم المرور والسرعة في الاتجاه الرئيس ودرجات الميول في الشوارع الجانبية (المدخل الفرعي)، بالإضافة إلى عدد المسارات التي يجب عبورها وعرض الجزيرة الوسطية. ونظرًا إلى أن الأحجام تتغير خلال أي يوم من الأيام؛ فينبغي على المحلل أخذ عينات من الفجوات خلال كل فترة ذات اهتمام لها حجم مختلف عن تلك الموجودة في الفترات المتقاربة. ولمتوسط الفجوات معنى هامشي فقط في التحليلات باستخدام بيانات الفجوات. كما تُعد الإحصائيات التي تصف شكل التوزيع الإحصائي للفجوة، مثل المئين، أكثر فائدة.

أ-٤-٤-٤-٢ قبول الفجوات:

تُعد دراسات قبول الفجوات أكثر صعوبة من الدراسات المعنية بالفجوات؛ حيث لا تزال دراسة قبول الفجوات تتطلب بيانات عن الفجوات الموجودة في تدفق المرور الرئيس. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي للمراقبين تصنيف كل نقطة بيانات بوصفها زمن متأخر مقبول أو زمن متأخر مرفوض أو فجوة لم تُختبر (لم تكن هناك مركبة موجودة في الشارع الفرعي) أو فجوة مقبولة أو فجوة مرفوضة. كما أن الاختلاف بين زمن التأخر والفجوة يُعد أمرًا بالغ الأهمية، إذ يستجيب السائقون بشكل مختلف مع كل منهما. لذا، تُعرف الفجوة وزمن التأخر على النحو الآتي:

- **زمن التأخر**: الوقت المنقضي بين وصول مركبة لشارع فرعي مستعدة للانتقال إلى الشارع الرئيس ووصول المصد الأمامي للمركبة التالية في تدفق المرور الرئيس.
- **الفجوة**: الوقت المتاح بالثواني بين مركبتين متتاليتين في النقطة نفسها في الحيز المكاني، يُقاس من المصد الخلفي للمركبة الأمامية إلى المصد الأمامي للمركبة التابعة.

تسبق أزمنة التأخر الفجوات إذ تُقاس الفجوة بين مركبتين متتاليتين في الشارع الرئيس، بينما لا يتعلق زمن التأخر إلا بالوقت الذي يسبق وصول أول مركبة في الشارع الرئيس. تُجرى دراسات قبول الفجوات في مواقع مثل التقاطعات ثنائية الاتجاه المحكومة بلافتة قف أو الدوّارات لتحديد الفجوة الحرجة (أو الحد الأدنى للفجوات) بغية حسابات السعة أو معايرة نماذج المحاكاة.

إن أبسط إجراء لجمع بيانات قبول الفجوات مع المعدات النموذجية يتطلب وجود مراقب مع لوحة عد أو حاسب محمول أو مساعد رقمي شخصي أو فيديو. وإذا استُخدم المساعد الرقمي الشخصي أو الفيديو في الميدان؛ فسيحتاج الفني الذي يمتلك جهاز حاسب في المكتب إلى تسجيل البيانات في جهاز حاسب بحيث يمكن التحكم فيها بسهولة في أثناء التحليل (مقتبس من Shanteau, (1988). سيضغط المراقب على مفتاح يشير إلى الشارع الرئيس (أو يقول "رئيس" في جهاز التسجيل) عندما تمر مركبة شارع رئيس بالنقطة المرجعية ويضغط على مفتاح آخر يشير إلى ظهور مركبة في الشارع الفرعي عند خط التوقف (وليس في الجزء الخلفي من صف الانتظار). وبين ظهور مركبات الشارع الرئيس والفرعي، سيحدد المراقب كذلك ما إذا كانت الفجوة، أو زمن التأخر مقبولين، أو مرفوضين، أو لم يُختبران باستخدام مفاتيح محددة أخرى لإدخال البيانات المحددة.

ينبغي على المراقب تسجيل معلومات (رأس الصفحة) في بداية الملف أو التحدث إلى جهاز التسجيل المستخدم بشكل دوري في أثناء الجلسة. وفي حال استخدام جهاز تسجيل، مثل المساعد الرقمي الشخصي أو الفيديو، ينبغي على الفني في المكتب الاستماع إلى الشريط بالسرعة ذاتها التي سُجِّل بها. ثمة برنامج بسيط نسبيًا يحدد ما إذا كان قد لوحظ وجود فجوة أو زمن تأخر ويحسب الفجوة أو زمن التأخر، كما يلخص التوزيعات الإحصائية للفجوات وأزمنة التأخر المقبولة والمرفوضة. ينبغي أن يعمل مسجل الشريط بسرعة ثابتة وينبغي أن تكون ساعة الحاسب دقيقة، كما يجب على الفني تحرير البيانات يدويًا (إزالة الاختلافات عن طريق إعادة تشغيل الشريط) قبل إجراء التحليل. ولهذا السبب، يشعر العديد من المحللين بمزيد من الراحة عند جمع البيانات في الوقت الفعلي، مع استكمالها بكاميرا فيديو لحساب أي أخطاء محتملة. وبهذه الطريقة، إذا لم يكن المحلل متأكدًا مما إذا كانت البيانات قد جُمعت بشكل صحيح؛ فيمكن التحقق من الخطأ باستخدام تسجيل كاميرا الفيديو.

يمكن أن يطلب المحللون مزيدًا من المعلومات من دراسة قبول الفجوات إلى جانب الدراسات الموضحة أعلاه. على سبيل المثال: يمكن أن يكون سلوك قبول الفجوات لسائقي الشاحنات موضع اهتمام. ويمكن أن يغير المحللون إجراء التسجيل الصوتي الموضح أعلاه ليتضمن مثل هذه الاختلافات.

على غرار دراسات الفجوات؛ فإن البيانات التي جُمعت في جيوب بيانات مدتها ثانيتان تُعد كافية لمعظم دراسات قبول الفجوات. تتطلب جيوب البيانات التي تبلغ مدتها ثانيتين عينة من ٢٠٠ حالة قبول وتتطلب جيوب البيانات التي تبلغ مدتها ثانية واحدة عينة من ٥٠٠ حالة قبول (مع نتيجة جودة أعلى إلى حد ما بالنسبة إلى جيوب البيانات التي تبلغ مدتها ثانية واحدة (Ramsey & Routledge, 1973). كما يستطيع المراقبون جمع بيانات قبول الفجوات باستخدام أجهزة الحاسب المحمولة عند التقاطع أو باستخدام شريط فيديو يتضمن إظهار ساعة على الشاشة. وعند التقاطعات ذات الأحجام المنخفضة، يستطيع مراقبان (٢) باستخدام ساعة إيقاف ونموذج جمع بيانات قبول الفجوات بنجاح.

كما ينبغي على مهندس المرور تحديد حجم جيب البيانات في ثوانٍ؛ لاستخدامها قبل جمع البيانات الميدانية. يعرض الشكل (أ-١٤) مثالًا على نموذج جمع البيانات الميدانية لدراسة فجوات المركبات.

تقدير التوزيع الإحصائي للفجوات الحرجة:

تستخدم الطريقة المقترحة مجموعة بيانات قبول الفجوات نفسها الموصوفة سابقًا بهدف تقدير التوزيع الكامل للفجوات الحرجة بكفاءة. ولا تتطلب هذه الطريقة أي افتراضات إزاء توزيع الفجوات الحرجة في مجتمع السائقين، كما يستطيع المحللون تطبيقها على بيانات الفجوات أو زمن التأخير. ويوضح الجدول (أ-٢٣) أن الطريقة سهلة الاستخدام باليد أو البرمجة على جدول بيانات جهاز الحاسب.

الجدول (أ–٢٣) تحليل بيانات قبول الفجوات باستخدام طريقة رامزي وروتليدج (١٩٧٣) (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 6-6).

افترض أن مجموعة بيانات قبول الفجوات الآتية مع فترة زمنية مدتها ثانيتان قد جُمعت							
حجم الفجوة/زمن التأخر (ثانية)	١	٣	٥	٧	٩	الإجمالي
عدد الفجوات المقبولة	٠	٥	١٥	٢٥	٥	٥٠
عدد الفجوات المرفوضة	٦٠	٤٥	٣٠	١٥	٠	١٥٠
المقبولة + المرفوضة	٦٠	٥٠	٤٥	٤٠	٥	٢٠٠
هل ثمة زيادة في النسب؟	نعم	٪٠	٪١٠	٪٣٣	٪٦٣	٪١٠٠	
تبدأ طريقة رامزي وروتليدج بتحويل بيانات (المقبولة + المرفوضة) أعلاه إلى نسبة مئوية والإدخال في العمود ١ من الجدول أ أدناه.							

الجدول أ					
رقم العمود	**١**	**٢**	**٣**	**٤**	**٥**
الفجوة الحرجة (ثانية)	٠	٢	٤	٦	٨
الفجوة المقبولة (ثانية)					
١	٣٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٣	٢٥,٠	٣٥,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٥	٢٢,٥	٣٢,١	٥٠,٠	٠,٠	٠,٠
٧	٢٠,٠	٢٨,٦	٤٤,٤	٨٨,٩	٠,٠
٩	٢,٥	٣,٦	٥,٦	١١,١	١٠٠,٠
الإجمالي (%)	١٠٠,٠	١٠٠,٠	١٠٠,٠	١٠٠,٠	١٠٠,٠

تمثل النسب المئوية في العمود ١ من الجدول أ توزيع الفجوات المقبولة التي يمكن ملاحظتها إذا كان لدى جميع السائقين فجوة حرجة قدرها ٠ ثانية. إذا كان لدى جميع السائقين فجوات حرجة مدتها ثانيتان، فإن المدخل الأول في العمود ٢ سيكون ٠٪ لأنه لن يقبل أي منهم فجوة مدتها ثانية واحدة وسيكون المدخل الثاني (٢٥/(١٠٠- ٣٠) = ٣٥,٧٪) وسيكون المدخل الثالث (٢٢,٣/(١٠٠- ٣٠) = ٣٢,١٪)، وما إلى ذلك.

يتضمن الجدول ب عدد السائقين مع كل حجم فجوة حرج يقبل فجوة ذات حجم معين. أولًا: يُملأ العمود ٥ من الجدول ب بعدد الفجوات المقبولة من البيانات الأولية. ثم يمكن إجراء المدخل الأول في العمود ١؛ نظرًا إلى تسجيل ٥ حالات قبول لفجوة مدتها ٣ ثوانٍ، كان ينبغي أن يكون لدى كل هؤلاء السائقين فجوات حرجة مدتها ثانيتان. وبعد ذلك يمكن اشتقاق إجمالي العمود ١ من المدخل الأول والجدول أ؛ نظرًا إلى أن (٣٥,٧٪) من جميع السائقين الذين لديهم فجوة حرجة مدتها ثانيتان شهدوا فجوة مدتها ٣ ثوانٍ وقبلوها، فإن إجمالي العمود ١ هو (٥ × ٣٥,٧/١٠٠ = ١٤,٠). ومن ثم يمكن إكمال باقي العمود ١ ؛ باستخدام النسب المئوية من الجدول أ استنادًا إلى الإجمالي في العمود ١، ويبدو الجدول ب كالآتي:

الجدول ب

رقم العمود	**١**	**٢**	**٣**	**٤**	**٥**
الفجوة الحرجة (ثانية)	٢	٤	٦	٨	الإجمالي
الفجوة المقبولة (ثانية)					
٣	٥,٠	٠	٠	٠	٥,٠
٥	٤,٥	١٠,٥	٠	٠	١٥,٠
٧	٤,٠	٩,٣	١١,٧	٠	٢٥,٠
٩	٠,٥	١,٢	١,٥	١,٩	٥,٠
الإجمالي	١٤,٠	٢١,٠	١٣,١	١,٩	٥٠,٠
الفجوة الحرجة %	٢٨٪	٤٢٪	٢٦٪	٤٪	١٠٠٪
متوسط الفجوة الحرجة (ثانية)	٤,١٢				

المدخل الأول في العمود ٢ هو ٠، نظرًا إلى أن السائقين الذين لديهم فجوات حرجة مدتها ٤ ثوانٍ لا يقبلون فجوات تتألف من ٣ ثوانٍ. وينبغي أن يكون المدخل الثاني هو العدد الإجمالي للفجوات المقبولة التي تبلغ مدتها ٥ ثوانٍ مطروحًا منه عدد السائقين الذين لديهم فجوات حرجة تبلغ مدتها ثانيتان والذين قبلوا فجوات تتألف من ٥ ثوانٍ، ومن (١٥ -٤,٥ = ١٠,٥). بعد ذلك يمكن اشتقاق إجمالي العمود ٢ تمامًا كما أُشتقّ إجمالي العمود ١ بمجرد معرفة المدخل: (١٠,٥ × ١٠٠/٥٠ = ٢١,٠). لقد اكتمل ما تبقى من العمود ٢ مثل ما تبقى في العمود ١ بمجرد معرفة الإجمالي. ويجرى إكمال العمودين ٣ و ٤ تمامًا مثل العمود ٢. يمثل صف الإجمالي في الجدول ب توزيع الفجوات الحرجة بين ٥٠ سائقًا في العينة ويمكن تحويله إلى نسب مئوية. يمكن أن يستخدم الإجراء فواصل زمنية غير ثانيتين، ويمكنه كذلك تحليل بيانات زمن التأخير بدلًا من بيانات الفجوة وفحص أي أحجام للفجوات وأزمنة التأخير.

من الجدير بالذكر أن هذه الطريقة لن تنجح إذا لم تزدد نسب الفجوات المقبولة. وينبغي ألا يمثل هذا الأمر مشكلة؛ لأنه -من الناحية النظرية- على المشاة والسائقين قبول الفجوات الأكبر بشكل متكرر أكثر من الفجوات الأصغر. وإذا كان هذا يمثل مشكلة؛ فمن المحتمل أن يكون بسبب خطأ في جمع البيانات أو أن حجم العينة غير كافٍ.

مسح فجوات المركبات					
معلومات الموقع				معلومات المسح	
التقاطع:	✓	القطاع:		الوكالة أو الشركة:	
اسم الشارع الرئيسي:				الملاحظ:	
رقم تعريف الطريق		العلامة الكيلومترية		التاريخ:	
اسم الشارع الفرعي:				الفترة الزمنية من:	إلى
رقم تعريف الطريق		العلامة الكيلومترية		السرعة المعلنة (كم/س):	
المدينة/المنطقة:				الفاصل الزمني للفجوة (بالثواني):	٢

حجم الفجوة (بالثانية)		عدد الفجوات	المجموع
١	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٢	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٣	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٤	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٥	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٦	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٧	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٨	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
٩	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
١٠	المقبولة		٠
	المرفوضة		٠
إجمالي الفجوات المقبولة:			٠
إجمالي الفجوات المرفوضة:			٠

الشكل (أ–١٤) نموذج مسح فجوات المركبات (المصدر: FDOT, (2021) – Figure 8-2 Revised).

أ-٥ تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها:

أ-٥-١ مفاهيم توقيت الإشارات:

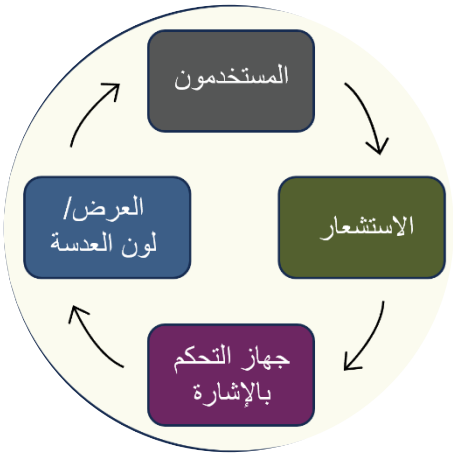
أ-٥-١-١ أساسيات إشارة المرور:

فيما يلي بعض المصطلحات التي تستدعي الطرح بسبب احتمالية وجود تفسيرات متعددة.

- **المستخدم**: فئة محددة من الناس الذين يتلقون الخدمة عند إشارة المرور. يتضمن المستخدمون: المشاة والدراجات وسيارات الركاب والشاحنات ومركبات الطوارئ والنقل العام. يمثل المستخدمون الذين يشكلون عند جمعهم (المرور) عند تقاطع محكوم بإشارات مرورية، المحور الرئيس للعملية القائمة على النتائج.
- **المركبة**: مصطلح عام يتضمن جميع الأجهزة، بغض النظر عن المستخدم، مثل سيارات الركاب، والدراجات والشاحنات والحافلات. تقليديًا، المركبات هي وحدة القياس الأساسية لمعظم تحليلات إشارات المرور. على سبيل المثال: الحجم المروري للمركبات أو فترة تأخير المركبة. في قسم تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها يُستخدم مصطلح المركبة عندما يكون من الضروري إدراج أنواع متعددة من المستخدمين في وصف تشغيل إشارات المرور. على سبيل المثال: اللون الأخضر يخدم سيارات الركاب والشاحنات والدراجات والحافلات من دون مراعاة احتياجاتهم الخاصة.
- **الحركة**: مصطلح يوضح الإجراءات التي يتخذها المستخدم عند التقاطع. على سبيل المثال: مركبة منعطفة يسارًا ومتجهة نحو الشمال أو راجل يستخدم معبر المشاة الغربي. قد تكون الحركات من النوع **المسموح به (غير المحمي)**، ما يتطلب من المستخدمين إعطاء الأفضلية للآخرين عند إعطائهم إشارة خضراء أو **محمية**، الأمر الذي يمنح المستخدمين حرم طريق دون أي تعارض.
- يجب ألا يُسمح باستخدام التحركات لليسار المسموح بها (غير المحمية) في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية.
- **الممارس**: الشخص الذي يحدد توقيت الإشارة.

أ-٥-١-١-١ مكونات الإشارات المشتركة وتفاعلاتها:

يتضمن كل تقاطع محكوم بإشارات مرورية مكونات مشتركة توفر الأساس لتشغيل الإشارة: وحدة التحكم وصندوقها وعدسات عرض ألوان الإشارة ونموذجيًا أجهزة الاستشعار. يصور الشكل (أ-١٧) التفاعل الأساسي بين هذه العناصر المشار إليها ومستخدمي النظام. من المهم أن يدرك الممارس العلاقة بين المستخدمين وعملية الاستشعار ووحدة التحكم في إشارات المرور، بالإضافة إلى كيفية تأثير هذه العلاقة في الألوان الناتجة المعروضة في عدسات الإشارة (على سبيل المثال: عدسات عرض للمركبات وعدسات عرض المشاة، وأحيانًا عدسات عرض خاصة لمستخدمين محددين) بهدف إعلام المستخدمين في النهاية بحقهم في استخدام الطريق.



الشكل (أ–١٥) تفاعلات التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-3).

كما هو موضح في الشكل (أ-١٥)، يُعد المستخدم جزءًا من عملية مستمرة. إذ ترسل أجهزة الاستشعار (على سبيل المثال: مركبة أو مشاة أو دراجة) رسائل إلى وحدة التحكم عند اقتراب المستخدمين من التقاطع. تستخدم وحدة التحكم بعد ذلك مدخلات جهاز الاستشعار لتغيير ألوان عدسات إشارة المستخدم (عادةً مركبات ومشاة) استنادًا إلى معلمات توقيت إشارات المرور التي يحددها الممارس. إذا اقترب العديد من المستخدمين من التقاطع في وقت واحد، تصبح العملية أكثر تعقيدًا. وينبغي على وحدة التحكم اتخاذ قرارات؛ استنادًا إلى معلمات التوقيت التي تتحكم في أولويات المستخدم إزاء الحركات التي سيتوفر لها حرم طريق. تستند الطريقة التي تخصص بها وحدة التحكم الوقت للمستخدمين بشكل كبير إلى معلمات الاستشعار وتوقيت إشارات المرور (إعدادات وحدة التحكم) التي جرى برمجتها.

أ-٥-١-١-٢ مفاهيم وحدة التحكم في الإشارات الأساسية

تُعد وحدات التحكم في الإشارة (لا سيما البرنامج الداخلي المسمى بالبرنامج الثابت) مكونًا أساسيًا للتحكم في الإشارة. ثمة نوعان من الخصائص المُميّزة لوحدات التحكم في الإشارة: (١) كيف تفسر وحدة التحكم في الإشارة الطلب عند التقاطع المحلي و (٢) كيف ترتبط وحدة التحكم في الإشارة بغيرها من وحدات التحكم.

تفسير الطلب المحلي:

تستطيع وحدات التحكم في الإشارة ضبط التشغيل باستخدام معلومات خارجية إزاء طلب المستخدم (أي طلبات الخدمة). هذا هو نوع المعلومات الخارجية التي تستخدمها وحدة التحكم التي تحدد نوع التحكم في الإشارة. ويتكيف التحكم في الإشارة المستجيبة للطلب بالكامل مع ظروف المرور المحلية؛ إذ يستخدم معلومات الطلب من أجهزة الاستشعار (على الأقل من المركبات والمشاة) الموجودة في جميع المداخل. كما توفر التقاطعات التحكم في الإشارة المستجيبة للطلب بالكامل أكبر قدر من المرونة. وتُعد وحدات التحكم في إشارات المرور التي تستخدم الاستشعار فقط في بعض المسارات *نصف* مستجيبة للطلب، حيث لا يمكنها تكييف التشغيل إلا بالاستناد إلى معلومات الطلب الجزئي.

كما أن وحدة التحكم التي لا تستخدم أي استشعار لتكييف التشغيل تعد *مسبقة التوقيت*. وتستخدم قيم توقيت الإشارة التي جرى حسابها وبرمجتها في وحدة التحكم استنادًا إلى البيانات التاريخية. وتُستخدم هذه الأنواع من الأنظمة عادةً في وسط المدينة (منطقة الأعمال المركزية) مع تقاطعات متقاربة (غالبًا في شبكات الشبكة)؛ إذ يتمتع الاستشعار بقليل من الإمكانات لتحسين التشغيل؛ لحاجتها إلى الحفاظ على علاقات مصممة جيدًا بين التقاطعات.

العلاقة بوحدات التحكم الأخرى:

بغض النظر عن نوع الاستشعار المستخدم، يمكن أن تعمل وحدات التحكم في الإشارة إما بمفردها أو كجزء من النظام. ويتيح توقيت الإشارة غير المنسق للتقاطع العمل بشكل مستقل أو حر عن أي تقاطع آخر، بينما يدير التوقيت المنسق عدة إشارات كنظام. وغالبًا ما يُعتقد، بصورة غير صحيحة، أنه لا يمكن استخدام الاستشعار للتأثير في الأطوار المنسقة عند تنسيق أحد التقاطعات. وتستطيع أجهزة التحكم الحديثة تشغيل جزء من الأطوار المنسقة، ما يوفر مزيدًا من المرونة. ثمة معلومات مفصلة إزاء التوقيت المنسق في الجزء الفرعي (أ-٥-٥).

حتى لو جرى تشغيل التقاطع المحلي كجزء من أحد الأنظمة، فسيظل جزءًا نشطًا من التشغيل. وتفرض أنظمة إشارات المرور التقليدية (التي تستخدم التنسيق بهدف تقليل معدل التوقفات خلال الحركة) طول دورة مشتركًا بغية الحفاظ على علاقة متسقة بين إشارات المرور المتقاربة. كما يقيد التنسيق بشكل أساسي وحدة التحكم في إشارة المرور المحلية بخطة توقيت من شأنها تحقيق الهدف التشغيلي لتقدم الحركة في الممر (ما يؤدي إلى حدوث عدد أقل من التوقفات على طول الممر).

تُعد الأنظمة التكيفية بديلًا للتنسيق التقليدي، وتستخدم خوارزميات مختلفة لضبط معلمات توقيت الإشارة. ولا تزال الأنظمة التكيفية تستند إلى وحدات التحكم المحلية للعديد من معلمات التوقيت، وتشترك في معظم ميزات الأنظمة التقليدية، ولكن لديها قدرًا أكبر من المرونة في كيفية ضبط معلمات التوقيت. جرى تناول الأنظمة التكيفية التي تتمتع بإمكانات نظام متقدمة في الجزء الفرعي (أ-٥-٦). وينبغي عدم النظر في الأنظمة التكيفية إلا بعد مراعاة إمكانات الأنظمة التقليدية بشكل كامل. تركز الأجزاء الفرعية من (أ-٥-٣) إلى أ-٥-٥(أ-٥-٥) على التحكم التقليدي في إشارات المرور الذي يُستخدم حاليًا للغالبية العظمى من الأنظمة ويُعد أكثر من كافٍ لمعظم المواقع.

أ-٥-١-٢ تقديرات توقيت الإشارة الأولي:

يهدف هذا الجزء الفرعي إلى تزويد الممارس بالإرشادات التكميلية اللازمة حيال نوع المعلومات التي ينبغي جمعها؛ لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن توقيت الإشارات. ويلخص الجدول (أ-٢٤) المعلومات الأساسية التي قد يحققها الممارس بوصفها جزءًا من عملية تحديد أطوار الإشارات وتوقيتها. ثمة معلومات مفصلة عن كل من هذه الموضوعات في الأقسام الآتية.

الجدول (أ–٢٤) تقديرات توقيت الإشارة الأولي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-5).

العملية		تقديرات توقيت الإشارة الأولي
الخطوة ١ تحديد بيئة العمل	تأثيرات متعددة الاختصاصات	☐ هل يوجد نظام الإشارات في سلطة قضائية واحدة أم عدة سلطات؟ ☐ إذا كانت متعددة، فهل أداء توقيت الإشارة يعد متسقًا عبر حدود السلطة القضائية؟ ☐ هل ثمة اتفاق قائم يحدد معلمات توقيت إشارة معينة؟ ☐ هل سيكون الاتفاق بين السلطات القضائية لوضع إستراتيجيات متسقة لتوقيت الإشارة مفيدًا؟
	الموقع والبيئة ذات الصلة	☐ هل التقاطع هو نظام تقاطعات يقع في منطقة ريفية أو ضواحٍ أو منطقة حضرية؟

		هل المنطقة انتقالية أم أنها أم أنها تمر بتغيير في استخدامات الأراضي؟
	تصنيف الطريق	كيف تُصنف الطرق (الشارع الرئيس والشارع الفرعي) حيث يوجد نظام الإشارة (على سبيل المثال، مُحوّل الطرق السريعة، أو الطرق الشريانية الرئيسة، أو الطرق الشريانية الفرعية أو الشارع التجميعي الرئيس أو الشارع التجميعي الفرعي أو الشارع المحلي)؟ هل ثمة احتياجات محددة للمشاة، أو الدراجات، أو الشحن أو مسار النقل العام؟ كيف يؤثر التصنيف في توقعات المستخدم إزاء المرفق؟
	شبكة النقل	ما مدى قرب التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية؟ هل ثمة سبب للنظر في التقاطعات المتعددة كنظام عند وضع توقيت الإشارة؟ هل الشارع الفرعي منسق؟ هل ثمة سكك حديدية قريبة (شحن أو ركاب) تتطلب إجراءات وقائية؟
الخطوة ٢ تحديد المستخدمين		ما مزيج المستخدمين الحالي (على سبيل المثال، المشاة والدراجات والمركبات الخفيفة والمركبات الثقيلة بما فيها الشاحنات ومركبات النقل العام والمركبات ذات الأولوية والسكك الحديدية مثل (الشحن والركاب)؟ هل يتغير المزيج حسب التوقيت اليومي؟ هل ثمة أنماط تنقل مميزة؟
الخطوة ٣ تحديد أولويات المستخدم والحركة		من المستخدمين المهمون عند التقاطع (التقاطعات)؟ هل يتغير المستخدم المهم حسب التوقيت اليومي؟ هل لدى السلطة القضائية أي سياسات تتعلق بأولويات المستخدم؟ ما الحركات الحرجة؟

أ-٥-١-٢-١ تحديد بيئة التشغيل:

تتمثل الخطوة الأولى في عملية توقيت الإشارة في تحديد بيئة التشغيل. ينبغي أن يكون للإشارات التي يُضبَط توقيتها معًا كنظام بيئة عمل مشتركة؛ بحيث يتمكن الممارس من العمل من خلال أولويات وأهداف متسقة عند وضع خطط توقيت الإشارة.

تأثيرات متعددة الاختصاصات:

في بعض الحالات، يمكن أن يعمل نظام الإشارات عبر سلطات قضائية متعددة (على سبيل المثال:، نظام يقع على طول مسار يمتد من داخل سلطة قضائية لمدينة ما إلى سلطة قضائية لمدينة أخرى أو منطقة أخرى). وإذا كان النظام قريبًا من حدود السلطة القضائية أو يقع عبر حدودها، فينبغي على الجهة المعنية بالتشغيل التنسيق مع جميع السلطات القضائية المتأثرة بغية مناقشة اتفاق إزاء الأهداف ومختلف معلمات توقيت الإشارة وعقده، حسب الاقتضاء.

لن يتوقع مستخدمو النظام أن يتغير أداء توقيت الإشارة عبر حدود السلطة القضائية، لذا ينبغي بذل كل جهد لضبط توقيت الإشارات بطريقة تتيح انتقالًا سلسًا. كما سيساعد الحفاظ على قيم توقيت متسقة (على سبيل المثال: طول الدورة وأوقات العبور) عبر حدود السلطة القضائية المستخدمين على معرفة ما يمكن توقعه.

الموقع والبيئة ذات الصلة:

يتمثل أحد العوامل الرئيسة الذي يؤثر في توقيت الإشارة في البيئة عند التقاطع (أو نظام التقاطعات). على وجه الخصوص، ينبغي للممارس تحديد ما إذا كانت التقاطعات تقع في بيئة ريفية أو ضواحٍ أو بيئة حضرية؛ إذ يتطلب كل موقع من الممارس النظر في أولويات مختلفة لأهداف التوقيت.

تركز أهداف توقيت الإشارة للتقاطعات الموجودة في البيئات الريفية بشكل عام على وجود نظام استشعار الارتداد واستخدامه، فضلًا عن تقليل عدد السائقين الذين يعانون من مناطق اتخاذ القرار. وتُتناول مناطق القرار (والاستشعار المرتبط بها) بالتفصيل في الجزء الفرعي (أ-٥-٢)، ولكنها مواقع يمكن أن يتخذ فيها مختلف السائقين قرارات متنوعة، ما يؤدي إلى وجود تعارضات محتملة.

غالبًا ما يركز توقيت الإشارة في الضواحي على تحقيق التدفق السلس (تقليل نقاط التوقف) على طول الطرق الشريانية. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق الإستراتيجيات التي تتضمن تنسيق التقاطعات وتحفيز حركات المشاة (إذا كان طلب عبور المشاة منخفضًا خلال أوقات معينة أو في جميع أوقات اليوم). ويمكن أن تتغير أهداف التوقيت حسب التوقيت اليومي لتعكس أنماط المرور المتغيرة وتوفر استشعارًا جيدًا يتيح أكبر قدر من المرونة.

عادةً ما يتمثل التركيز الأساسي لتوقيت الإشارة في وسط المدينة في البيئات الحضرية في استيعاب جميع مجموعات المستخدمين (على سبيل المثال: المشاة والدراجات وسيارات الركاب والنقل العام). ولإدارة صفوف انتظار المركبات، يمكن اختيار طول دورة أقصر يعكس المسافة الأقصر بين التقاطعات. وتتضمن الإستراتيجيات متعددة الوسائط الأخرى ضبط سرعة تقدم حركة المرور

استنادًا إلى سرعات سير الدراجات وتحديد وضع الاستدعاء بناءً على أولوية المشاة، بالإضافة إلى تحديد الإزاحات بهدف تحديد أولويات عمليات مركبات النقل العام.

تصنيف الطريق:

يمكن أن يؤثر مرفق الطريق داخل نظام النقل الأكبر في توقعات المستخدم التي بدورها يمكن أن تؤثر في كيفية ضبط توقيت الطريق. ثمة مفاضلة تقليدية بين التنقل والوصول، ولكن توجد عوامل أخرى يمكن أن تؤثر في إعدادات توقيت الإشارة كذلك، بما فيها:

- مسميات طرق الشحن.
- خطوط عبور المشاة الرئيسة.،
- خطوط عبور ممرات متعددة الاستخدامات مزودة بإشارات.
- طرق الدراجات.
- ومسارات نقل عام سريع أو عالية السعة.

ينبغي على الممارس فهم تصنيفات الطرق لشبكة النقل وتوقعات المستخدم بالقدر نفسه من الأهمية.

خصائص شبكة النقل:

يمكن أن يكون لتكوين شبكة النقل تأثير كبير في طريقة توقيت إشارات المرور الخاصة بها؛ لذا ينبغي على الممارس مراعاة تأثير التقاطعات القريبة في بعضها البعض استنادًا إلى علاقتها المكانية بالإضافة إلى السرعة المطلوبة للمرور.

عادةً ما يُشغل التقاطع المحكوم بإشارات مرورية كتقاطع مستقل (منعزل) (التي تُنوولَت بالتفصيل في الجزء الفرعي أ-٥-٤) إذا كان تباعد التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية طويلًا (٨٠٠ متر أو أكثر) أو عندما تسهم العوامل الأخرى (مثل التشغيل في وقت متأخر من الليل مع أحجام حركة مرور منخفضة) في جعل التشغيل المستقل أفضل. ويمكن ضبط توقيت التقاطعات المنعزلة المحكومة بإشارات مرورية من دون مراعاة واضحة لإشارات المرور الأخرى، ما يتيح المرونة في وضع معلمات توقيت الإشارة المثلى للتقاطع المنعزل. وغالبًا ما يُطلق على هذا النوع من التشغيل اسم (حر) أو (منعزل) لأنه يعمل من دون الحاجة إلى التنسيق أو الاستفادة منه. وفي هذه الحالات، يعد الاستشعار الجيد لجميع المداخل أمرًا لازمًا لتحقيق أداء عالٍ في التشغيل والسلامة. ومن الجدير بالذكر أن التقاطع المحكوم بإشارات مرورية قد يعمل بطريقة حرة ومنسقة حسب ظروف المرور. وليس من الضروري أن يعمل التقاطع المحكوم بإشارات مرورية بالطريقة ذاتها في جميع الأوقات.

بالنسبة إلى التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية الموجودة على طول الشوارع الشريانية التي تتسم بأحجام حركة مرور ضخمة، يمكن عادةً تحسين تشغيل التقاطعات الفردية المحكومة بإشارات مرورية من خلال التفكير في تنسيق حركات الشوارع الرئيسة. وبالنسبة إلى معظم الشوارع الشريانية المحكومة بإشارات مرورية والمتباعدة بمسافة ٨٠٠ متر أو أقل، يمكن أن تحقق التشغيل المنسق فوائد من خلال تحسين تقدم حركة المرور بين الإشارات. ففي الطرق الشريانية ذات السرعات العالية و/أو الوصول المحدود، قد يكون من المفيد تنسيق الإشارات المتباعدة بمسافة ١,٦ كم أو أبعد من ذلك. ثمة إرشادات إضافية إزاء التنسيق في الجزء الفرعي (أ-٥-٥).

كما يمكن -أيضًا- أن تكون التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية جزءًا من مكونات شبكات الشبكة. ومن الصعب تحديد الوقت لشبكات الشبكة إذ يجب إجراء المفاضلات بغية تنسيق التقاطعات. وفي هذه الحالات، غالبًا ما يُضبَط توقيت الشبكة بالكامل معًا لضمان سلوك ثابت بين التقاطعات. ويمكن ضبط توقيت تقاطعات الشبكة، لا سيما في البيئات الواقعة وسط المدينة ذات التباعد القصير بين التقاطعات، باستخدام خطط مسبقة التوقيت (أي جميع أطوار الاستدعاء للمركبات والمشاة) لأن القدر نفسه من الوقت مطلوب بشكل عام في كل دورة للحفاظ على علاقات متسقة بين التقاطعات المتقاربة.

غالبًا ما تتطلب الإشارات التي تقع بالقرب من بعضها (على بعد مسافة أقل من ٨٠٠ متر أو ٧ إلى ١٠ ثوانٍ) إعدادات توقيت الإشارة والإستراتيجيات التي تدير صفوف الانتظار (عادةً عن طريق إبقاء أطوال الدورة قصيرة). ومع ذلك، يمكن أن يكون المشاة قوة دافعة في التوقيت. في بعض الشبكات الصغيرة والمغلقة ذات التقاطعات المتقاربة (على سبيل المثال: شبكة من أربعة شوارع متقاربة أحادية الاتجاه أو مثلث أُنشئ بواسطة ثلاث تقاطعات أو تقاطعات متقاربة على شكل حرف (T)، يمكن أن يكون من المفيد إدارة التقاطعات باستخدام وحدة تحكم فردية للتحكم في العلاقة بين جميع الحركات بإحكام.

كما يمكن أن يكون للقيود الهندسية (الجيومترية) المرتبطة بأي نوع من أنواع شبكات النقل (على سبيل المثال: عدم وجود مسارات انعطاف أو جيوب تخزين ذوات مسارات انعطاف قصيرة، أو مواقع مداخل جانبية) تأثيرات مهمة في عمليات التشغيل. وينبغي أن تعكس إستراتيجيات توقيت الإشارة هذه التقديرات الخاصة بالموقع.

أ-٥-١-٢-٢ تحديد المستخدمين:

من الواضح أن خصائص المستخدم تؤثر في فعالية توقيت الإشارة. بشكل خاص، سيؤثر مزيج المستخدمين وأنماط المرور الخاصة بهم في كيفية عمل التقاطع. ينبغي مراعاة المستخدمين الآتين في أثناء عملية التوقيت:

- **المشاة**. يحتاج المشاة ذوي سرعات المشي البطيئة (مثل الأطفال وكبار السن) والناس الذين لا يقدرون على الحركة بشكل سليم والمشاة من ذوي الإعاقات البصرية إلى مزيد من الوقت لعبور الشارع. يمكن أن تحتاج أوقات المشي وفترات عبور

المشاة (التي تُنوولت في الجزء الفرعي أ-٥-٤) إلى تعديل بهدف توضيح الظروف المحلية و/أو السياسات المحلية. ويمكن أن يكون ثمة ما يبرر كذلك وجود فترة لعبور المشاة عندما تتضارب أعداد كبيرة من المشاة مع عدد كبير من المركبات التي تنعطف. في جميع الحالات، ينبغي أن يفي التوقيت، كحد أدنى، بمتطلبات كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري).

- **الدراجات**. يمكن أن يتطلب معدل الاستخدام المرتفع للدراجات عند التقاطع استشعارًا خاصًا للدراجات وكذلك الحد الأدنى من أوقات الإشارة الخضراء الخاصة بالدراجات أو أوقات التمديد. وتعد معلمات التوقيت المتعلقة ببدء الطور وإنهاء الطور (أي الحد الأدنى من الإشارة الخضراء وتغير الإشارة الصفراء وبدء الإشارة الحمراء لعبور المشاة) أمرًا بالغ الأهمية للدراجات (راجع الجزء الفرعي أ-٥-٤ لمعرفة المزيد من التفاصيل). ويمكن أن تحتاج كذلك إلى تعديل لمراعاة سرعاتها المنخفضة وخصائص التسارع.
- **المركبات الخفيفة**. سيؤثر عدد المركبات الخفيفة (أي سيارات الركاب والشاحنات الخفيفة) التي تستخدم تقاطعًا في عديد من معلمات توقيت الإشارة، مثل طول الدورة والوقت المخصص لكل طور وترتيب الأطوار.
- **المركبات الثقيلة**. تتطلب حركة مرور الشاحنات مراعاة التسارع الأبطأ وأوقات التباطؤ الأطول والحجم الأكبر للمركبات، ما يمكن أن يؤثر في احتياجات تخزين صف الانتظار وإعداد الاستشعار. وينبغي أن تُؤخذ أولوية الشاحنات في الحسبان عند اقتراب الطرق عالية السرعة أو المنحدرات من التقاطعات ذات أحجام المرور العالية للشاحنات.
- **مركبات الطوارئ**. يمكن أن تبرر مركبات الطوارئ المعاملة التفضيلية من خلال استخدام الإجراءات الوقائية و/أو الأولوية.
- **مركبات النقل العام**. يمكن أن تبرر مركبات النقل العام الأطوار الخاصة والمعاملة التفضيلية من خلال استخدام الإجراءات الوقائية و/أو الأولوية.

أ-٥-١-٢-٣ تحديد أولويات المستخدم والحركة:

تؤدي البيئة التشغيلية ومستخدمو التقاطع دورًا رئيسًا في كيفية عمل التقاطع (أو نظام التقاطعات). وعلى الممارس تحديد أولويات المستخدم لخطة (أو لخطط) توقيت الإشارة بجانب أي مواصفات وسياسات قضائية ذات صلة. ينبغي أن تكون الأولويات نسبية (على سبيل المثال: أولوية المشاة على المركبات) أو مطلقة (على سبيل المثال: إيقاف جميع حركات المركبات لمرور القطارات). إذا كانت كثافة المشاة عالية، فيمكن أن تُعطَى الأولوية للمشاة على المركبات خلال أوقات معينة من اليوم. ولتحديد أولوية المشاة خلال الأوقات التي تكون فيها حركة مرور المركبات المنعطفة إلى اليمين مرتفعة، يمكن أن توفر خطة توقيت الإشارة فترة مشاة أساسية (على سبيل المثال: يحصل المشاة على إشارة السير قبل أن تحصل المركبات على الإشارة الخضراء).

بالإضافة إلى أولويات المستخدم، ينبغي على الممارس كذلك مراعاة أولويات الحركة. ويمكن تحديد الحركات الحرجة باستخدام تحليلات بسيطة للغاية (مثل: تحليل الحركة الحرجة)، أو عن طريق استخدام مجموعة متنوعة من برامج عمليات تشغيل المرور. ومن خلال مراقبة الحركات الحرجة عند كل تقاطع، يتمكن الممارس من فهم كيفية عمل التقاطع حاليًا وأي تغييرات محتملة ينبغي تضمينها عند وضع خطة التوقيت (على سبيل المثال:، المزيد من الوقت المخصص للشارع الفرعي لتقليل حالات فشل الطور).

كما يتطلب إعطاء الأولوية لأي مجموعة مستخدمين أو حركة مقايضات مع المستخدمين الآخرين والحركات الأخرى. وإذا حظيت مركبات الطرق الشريانية بالأولوية على الحركات، فإن أولوية التدفق السلس (أو تقليل نقاط التوقف الشريانية) لهذه المركبات قد تعني مزيدًا من التأخير لمركبات الشوارع الفرعية والمشاة الذين يعبرون الطرق الشريانية؛ لذا قبل تحديد أولويات المستخدم والحركة، من المهم جمع البيانات عند التقاطع (التقاطعات) وتحديد الأنماط، كالآتي:

- نسبة انعطاف المركبات.
- اتجاه الممر.،
- خصائص الذروة.
- استخدام المسار.
- خصائص أيام الأسبوع، وعطلة نهاية الأسبوع.،
- الاتجاهات النمطية وغير النمطية (على سبيل المثال: حوادث الاصطدام، أو التشييد، أو المباريات، أو المؤتمرات).
- المنابع والمقاصد.

أ-٥-١-٣ برنامج جمع البيانات:

يلخص الجدول (أ-٢٥) أنواع البيانات التي يمكن أن تكون مفيدة للممارس عند تحديد الأهداف ومقاييس الأداء. في العديد من الحالات، يمكن أن تكون البيانات الموضحة هنا قد جُمِعت مسبقًا كجزء من تحليل مبررات وضع إشارة أو دراسة التشغيل المروري. وينبغي توخي الحذر عند إعادة استخدام البيانات القديمة؛ لفهم عدم دقتها المحتملة وتفسيرها. وينبغي جمع بعض بيانات المرور بانتظام في الموقع نفسه على طول أحد الممرات (عادةً في أحد المواقع في منتصف المسافة بين التقاطعات الخالية من الاصطفاف في فترة الذروة) بهدف تتبع التغيرات في الطلب المروري.

الجدول (أ–٢٥) جمع البيانات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-11).

فئة جمع البيانات		البيانات المحتملة للجمع		
البيانات الميدانية		[ ] صور و/أو مقاطع فيديو للتقاطع (التقاطعات)	[ ]	مشاهدات بشأن العمليات التي لوحظت من موضع ثابت
		[ ] ملاحظات من تقمص أدوار الأنواع المختلفة من المستخدمين.	[ ]	التأثيرات المحتملة من تغيرات التوقيت.
		[ ] تقديرات الاختناقات المرورية في نقطة المنبع-المقصد.		
تعدادات المرور	تعدادات أسبوعية على مدار ٢٤ ساعة	[ ] تعدادات بالأنابيب الهوائية في المواقع المهمة.	[ ]	تصنيفات المركبات.
	تعدادات الحركة	[ ] أحجام المشاة لكل معبر المشاة.	[ ]	أحجام الشاحنات الثقيلة لكل مدخل للتقاطع ولكل حركة.
		[ ] أحجام الدراجات لكل مدخل للتقاطع ولكل حركة.	[ ]	أحجام النقل العام لكل مدخل للتقاطع ولكل حركة.
		[ ] أحجام المركبات الخفيفة لكل مدخل للتقاطع ولكل حركة.		
خصائص المرور الأخرى		[ ] سرعة المركبات.	[ ]	صفوف الانتظار.
		[ ] زمن الرحلة.	[ ]	فترات تأخير المركبات لكل الحركة.
هندسة التقاطع (الجيومترية) وأجهزة التحكم المروري		[ ] مسارات السير.	[ ]	محطات النقل العام.
		[ ] جيوب التخزين.	[ ]	ميل القطاع الطولي.
		[ ] معابر المشاة.	[ ]	زاوية تخالف مداخل التقاطع.
		[ ] عروض التقاطع.	[ ]	استخدامات الأراضي المجاورة.
		[ ] حركات الانعطاف المحظورة.	[ ]	نقاط الوصول القريبة.
		[ ] شوارع ذات اتجاه واحد.	[ ]	أوجه إشارات المركبات والمشاة القائمة.
		[ ] ميول مدخل التقاطع.		
		[ ] قيود خط الرؤية.	[ ]	معدات التحكم.
		[ ] وقوف المركبات في الشارع.	[ ]	أجهزة الاستشعار القائمة وقنوات أجهزة الاستشعار ذات الصلة.
		[ ] مناطق التحميل.		
توقيت الإشارة الحالي		[ ] تسلسل الأطوار.	[ ]	وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة.
		[ ] القيود في تسلسل الأطوار بسبب القضايا الهندسية (الجيومترية).	[ ]	إعدادات جهاز الاستشعار.
		[ ] استخدام التداخلات.	[ ]	خدمة مشروطة.
		[ ] طور تغيّر الضوء الأصفر.	[ ]	خطط الوقت من اليوم.
		[ ] زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع.	[ ]	الطور (الأطوار) المنسقة.
		[ ] الحد الأدنى للضوء الأخضر.	[ ]	طول الدورة.
		[ ] الحد الأقصى للضوء الأخضر.	[ ]	التجزؤات و/أو الإنهاء الإجباري.
		[ ] فترة المشي.	[ ]	إزاحات بداية دورة إشارة المرور.
		[ ] إشارة عدم عبور المشاة الوامضة.	[ ]	النقطة مرجعية لإزاحة بداية دورة إشارة المرور.
سجل الحوادث		[ ] نوع الحادث.	[ ]	الحوادث البيئية.
		[ ] شدة الحادث.	[ ]	العوامل المُسببة.

أ-٥-١-٣-١ الزيارات الميدانية:

مراقبة منطقة الدراسة خلال فترات خطة التوقيت المتوقعة (على سبيل المثال: أيام الأسبوع صباحًا، وقت الذروة، ذروة أيام الأسبوع مساءً، ذروة منتصف النهار في عطلة نهاية الأسبوع) ستكون مثمرة لتطوير توقيت الإشارة. كجزء من الزيارة الميدانية، ينبغي على الممارس فعل الآتي:

- التقاط صور و/أو فيديو لتشغيل التقاطع.
- اعتماد دور الأنواع المختلفة لمستخدمي التقاطع:
- *سائق المركبة الآلية*: القيادة على الممر مع تنفيذ مجموعة من الحركات (على سبيل المثال: التوجه بشكل مستقيم، والانعطاف يسارًا، والسير في شارع فرعي).
- *المشاة*: المشي عبر التقاطع.
- *راكبو الدراجات*: السير بالدراجة عبر التقاطع.
- *مستخدم النقل* العام: الوصول إلى المحطات القريبة وركوب وسيلة النقل العام.
- ملاحظة حركات التقاطع الحساسة وتفاعلات التقدم وخصائص المستخدمين وتفاعلاتهم/تعارضاتهم في موضع ثابت على أطوال دورات متعددة.
- النظر في الاختناقات جعة المنبع وجهة المقصد التي يمكن أن تؤثر في الطلب المروري.
- التفكير مسبقًا في تأثير تغييرات التوقيت.

لاسيما عند التقاطعات التي تعمل بالقرب من سعتها، يمكن أن يكون للتغييرات الطفيفة في توقيت الإشارة تأثيرات كبيرة (إيجابية وسلبية على حد سواء) وينبغي أن تستند إلى قرار مستنير. ومن المستحسن إجراء عمليات مراقبة متعددة الأيام للتحقق من خطط توقيت الإشارة وفعاليتها في تحقيق النتائج/الأهداف التشغيلية المخطط لها.

أ-٥-١-٣-٢ تعدادات المرور:

يعد تحديد أحجام المرور حسب نوع المستخدم مقياسًا أساسيًا مهمًا يوجه تطوير توقيت الإشارة لكل من التقاطعات والشبكات. وبشكل عام، يوجد نوعان من التعدادات يُجريان كجزء من مشروع التوقيت: التعدادات الأسبوعية على مدار ٢٤ ساعة وحصر حركة فترة الذروة لكل نوع المستخدم. وعلى نحو التفضيل، ينبغي أن تكون بيانات التعدادات هذه متاحة على أساس مستمر أو -على الأقل- تمثل فترات زمنية متعددة وأيام أسبوع كافية لتعكس تباين النظام.

ينبغي أن يدرك الممارس أن التعدادات يمكن أن تكون غير دقيقة بسبب أخطاء جمع البيانات، ومن الممكن أن يتفاوت المرور بشكل كبير من يوم لآخر ومن أسبوع لآخر ومن شهر لآخر. ولا يمكن المبالغة في التأكيد على أن تعدادات المرور تكون، في أحسن الأحوال، لقطة في الوقت المناسب وينبغي تطبيقها مع تقدير وفهم التأثيرات على تشغيل الإشارة.

ومن القيود المهمة على التعدادات المأخوذة عند إشارات المرور أنها يمكن أن لا تمثل الطلب الفعلي. و**هذا خطأ كبير وشائع للغاية في الممارسة؛** حيث إن **الطلب** على المرور هو إجمالي عدد المستخدمين **الراغبين في الوصول** إلى نقطة معينة في الشبكة. و**حجم** المرور هو إجمالي عدد المستخدمين الذين **يمكنهم الوصول** إلى نقطة معينة في الشبكة. وتتمثل إحدى طرق قياس الطلب في تعيين التقاطع في التشغيل الحر (أوقات بمؤشرات خضراء قصوى كافية لإخلاء صفوف الانتظار المتوقفة) وحساب حجم المرور. ولا يمكن استخدام هذه التقنية إلا لقياس الطلب عندما يكون هناك تخزين كافٍ من جهة المنبع لصف الانتظار ولا يوجد ازدحام في جهة المصب يعيق حركة المغادرة.

وبالنسبة إلى ظروف السعة المنخفضة؛ فإن الطلب يجب أن يكون مكافئًا لحجم المرور المقدر. ومع ذلك، في حالة وصول مركبات أكثر لحركة ما بشكل أكبر مما يمكن خدمته، تعد الحركة حينها فوق-السعة (وتسمى أيضًا فوق-التشبع). وعندما تقترب حركة/ حركات تقاطع، أو تصل إلى سعتها؛ فإنها ستحدث فترات تأخير إضافية في الشبكة.

ما لم يقم الممارس بقياس الطلب الذي يصل إلى التقاطع من خلال مراقبة صف الانتظار (المركبات التي لم تُخدم في نهاية الإشارة الخضراء) أو قياس معدلات المغادرة من تقاطع منخفض السعة (يُسمى أيضًا تحت-التشبع)؛ فإن الطلب الحقيقي عند تقاطع فوق-السعة قد يكون غير معروف. يمكن أن يسبب هذا مشكلات عند تطوير خطط توقيت الإشارة.

التعدادات الأسبوعية على مدار أربعة وعشرين ساعة:

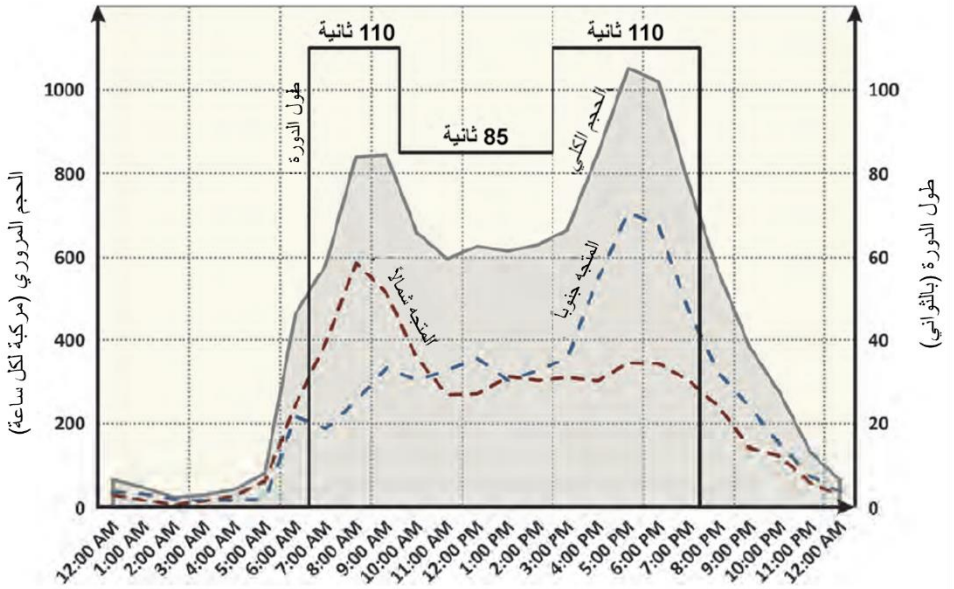
ينبغي جمع أحجام المرور الأسبوعية في المواقع المهمة على طول ممر الدراسة باستخدام أنابيب الطرق المؤقتة، أو أجهزة استشعار النظام، أو أجهزة الاستشعار عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية الموجودة على طول الممر. سيؤدي استخدام أجهزة استشعار النظام الحالية أو أجهزة استشعار التقاطع إلى تقليل الوقت وتقليل تكلفة جهود جمع البيانات، ولكن ينبغي التحقق من صحة المصادر لفهم دقة البيانات الناتجة.

تعد مخططات الحجم المطوّرة من التعدادات الأسبوعية عنصرًا مهمًا في جهود جمع البيانات، وتستخدم لتحديد:

- عدد خطط التوقيت التي ينبغي استخدامها خلال أيام العمل في الأسبوع وعطلة نهاية الأسبوع.
- الوقت الذي تنتقل فيه من خطة توقيت إلى أخرى.

- التوزيع الاتجاهي للمرور على طول الممر.
- أوقات جمع تعدادات حركة الانعطاف في فترة الذروة.

يوضح الشكل (أ-١٦) كيف يمكن أن يتغير حجم المرور خلال فترة ٢٤ ساعة. وفي هذه الحالة، يبلغ المرور ذروته في الصباح والمساء. ويوجد طولين للدورة أُختيرا في هذا الموقع— دورة أطول ومدتها ١١٠ ثوانٍ خلال فترات الذروة (٧:٠٠ صباحًا حتى ١٠:٠٠ صباحًا و٣:٠٠ مساءً حتى ٨:٠٠ مساءً) وطول دورة أقصر يبلغ ٨٥ ثانية بين فترات الذروة (١٠:٠٠ صباحًا حتى الساعة ٣:٠٠ مساءً). وعلى وجه العموم، من الأفضل البدء في طول الدورة الأطول قبل الحاجة إليه. ويسمح هذا للانتقال بالانتهاء قبل وجود حاجة إلى طول دورة أطول ويمنح التقاطع وقتًا للتخلص من أي آثار سلبية للانتقال (وصفت بالتفصيل في الجزء الفرعي أ-٥-٥) (Shelby, et al., 2006).



الشكل (أ–١٦) مثال على توزيع أحجام مرور المركبات وأطوال الدورة حسب الوقت من اليوم (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-12).

تعدادات الحركة:

تُستخدَم الأحجام من تعدادات الحركة لتقييم التشغيل الحالي والمستقبلي عند التقاطع. ينبغي عادةً جمع تعدادات الحركة في كل دراسة تقاطع خلال فترات المرور التمثيلية، والتي يمكن تحديدها بناءً على توزيعات أحجام المرور اليومية. اعتمادًا على حجم المرور وأنماطها على طول الممر؛ فإنه ينبغي إجراء تعدادات الحركة على الأقل خلال فترات الذروة، عادةً في فترات صباح يوم عمل أسبوعي، ومنتصف النهار، والمساء.

بالنسبة إلى الفترات الزمنية الأخرى (على سبيل المثال: عطلة نهاية الأسبوع أو بعيدًا عن أوقات الذروة)، يمكن استخدام توزيعات أحجام المرور اليومية جنبًا إلى جنب مع تعدادات حركة فترة الذروة لتطوير عوامل تعديل الحجم، والتي يمكن استخدامها لتقدير الأحجام لأي فترة زمنية. في بعض المواقع، يمكن أن تكون أحجام المرور أعلى أو أكثر أهمية خلال فترات عطلة نهاية الأسبوع، الأمر الذي قد يتطلب إجراء تعدادات للحركة لكل من الفترات الزمنية في أيام العمل الأسبوعية وعطلة نهاية الأسبوع. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يلزم الأخذ بالحسبان أنماط المرور الموسمية وإدراجها في نطاق العمل. وصفت طرق إجراء وتسجيل وتلخيص تعدادات المرور في جزء دراسات التشغيل المروري.

يعرض الجدول (أ-٢٦) فئات بيانات عدّ المرور المحصورة عادةً كجزء من تعدادات الحركة بالإضافة إلى البيانات التي ينبغي جمعها -إن أمكن- على أساس أن جميع المعلومات ليست مطلوبة أو ذات منفعة في جميع السيناريوهات. بشكل عام، ينبغي أن توثق تعدادات المرور أحجامًا مصنفة لكل مدخل للتقاطع (على سبيل المثال: المتجه شمالًا أو المتجه جنوبًا)، ولكل حركة، ولكل وضع تشغيل. إذا كانت المركبات الثقيلة تمثل جزءًا كبيرًا من حركة المرور؛ فيمكن أن يحتاج عدّ المرور إلى مزيد من التصنيف حسب صنف المركبة. ينبغي توثيق وجود مستخدمين خاصين عند التقاطع أيضًا (على سبيل المثال: المشاة من كبار السن أو أطفال المدارس أو مركبات الطوارئ).

الجدول (أ–٢٦) بيانات تعدادات المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-13).

بيانات عدّ المرور النموذجية المجمعة	يتم جمع بيانات عدّ المرور الإضافية إن أمكن
☐ أحجام المشاة لكل معبر المشاة.	☐ الاصطفاف في بداية فترة العدّ الأولى وفي نهاية كل فترة عدّ.
☐ أحجام الدراجات لكل الحركة.	☐ أحجام المركبات لكل مسار (أي استخدام المسار).
☐ أحجام المركبات الخفيفة (الإنتاجية، وليس بالضرورة الطلب) لكل الحركة.	☐ أحجام النقل العام (على سبيل المثال: النسبة المئوية للحافلات والقطارات الخفيفة والترام).
☐ أحجام المركبات الثقيلة (الشاحنات والحافلات) لكل حركة.	☐ عدد مرات طلب تشغيل إشارات المشاة (أي نسبة الدورات مع خدمة المشاة إلى إجمالي الدورات).
	☐ عدد طلبات الإشارة الاستباقية و/أو حالات المقاطعة (على سبيل المثال: القطارات أو مركبات الطوارئ).
	☐ عدد الطلبات ذات الأولوية للإشارة (على سبيل المثال: النقل العام أو الشاحنات).
	☐ عدد المركبات بطيئة التسارع عند/بالقرب من مقدمة صف الانتظار.
	☐ معدل التدفق المُشبّع أو خصائص تتابع-المركبات/سلوك السائق (الكمية أو النوعية).

إن أمكن، عند إجراء عمليات عدّ الحركة (سواء تم ذلك في الميدان أو باستخدام الفيديو)، ينبغي ملاحظة وجود صفوف الانتظار في بداية العدّ وفي نهاية كل فترة عدّ (عادةً كل ١٥ دقيقة). إذا أُجريت التعدادات باستخدام الفيديو؛ فينبغي على الممارس مراجعة الفيديو المرتبط للتحقق من جودة التعدادات؛ فهم الطلب الفعلي على المرور إذا كان أكبر من السعة، وتقييم تأثيرات الأوضاع المختلفة ومحطات الحافلات القريبة والممرات ومواقف المركبات في الشارع والظروف الجوية التي يمكن أن تؤثر في أداء التقاطع.

عند تطوير التوقيتات التي تتغير فيها أنماط المرور بشكل سريع، يمكن أن يكون من الأنسب جمع عدد ٢ - ٣ ساعات لحركات الانعطاف لفترات الدراسة المختلفة.

أ-٥-١-٣-٣ خصائص المرور الأخرى:

يمكن أن تكون خصائص المرور الأخرى (مثل: السرعة وزمن الانتقال وصفوف الانتظار)، بالإضافة إلى أحجام المرور، مفيدة لعملية تطوير خطة توقيت الإشارة. لن تكون هذه البيانات مفيدة فقط عند تطوير خطط توقيت الإشارات، بل يمكن أيضًا استخدام خصائص الحركة هذه كمقاييس للأداء؛ لتقييم تأثير تغييرات توقيت الإشارات. تُشرح مقاييس الأداء بالتفصيل في القسم الفرعي (أ-٥-١-٤).

هندسة التقاطع (الجيومترية) وأجهزة التحكم المروري:

يمكن أن تؤثر هندسة التقاطع (الجيومترية) على ترتيب الحركات عند التقاطع، بالإضافة إلى مقدار الوقت الممنوح لتلك الحركات. ينبغي أن يؤدي ممارس توقيت الإشارة دورًا فعالًا في تصميم التقاطع الجديد أو تحسينات التقاطع؛ حيث لا يمكن لخطة توقيت الإشارة الأفضل التغلب على الأشكال الهندسية السيئة. ينبغي إجراء مسح للموقع لتسجيل المعلومات الهندسية ذات الصلة مثل تلك الواردة في الجدول (أ-٢٧).

الجدول(أ–٢٧) معلومات التقاطع (المصدر: (NCHRP, 2015)).

معلومات التقاطع	
• عدد المسارات (العادية والخاصة، مثل النقل العام والدراجات). • حدود السرعة. • عرض المسار. • تعيين المسار (على سبيل المثال: مخصص للانعطاف لليسار، مرور مستمر للأمام فقط، أو مشترك بين مرور مستمر للأمام/ انعطاف لليمين). • وجود جيوب تخزين. • طول جيوب التخزين. • طول معابر المشاة. • عرض التقاطع لجميع مداخل	• ميول المداخل. • قيود خط الرؤية (المباني والأشجار). • وجود مواقف سيارات في الشوارع. • وجود مناطق تحميل. • وجود محطات نقل عام. • ميل القطاع الطولي بالقرب من التقاطع. • زاوية تخالف مداخل التقاطع. • استخدامات الأراضي المجاورة. نقاط الوصول بالقرب من التقاطع.

ينبغي جمع المعلومات عن أجهزة التحكم المروري الحالية، لتحديد القدرات والقيود والوظائف الخاصة بمعدات الإشارة. تتضمن المعلومات اللازمة ما يأتي:

- عدد وموقع ونوع أوجه إشارات المركبات والمشاة والدراجات والنقل العام الموجودة.
- نوع معدات التحكم (يتطلب تنسيق الجهة للوصول إلى الكابينة).
- عدد ومواقع وأطوال وأنواع وحالة أجهزة الاستشعار الموجودة (المركبات والمشاة والدراجات والنقل العام والقطارات).
- عدد قنوات جهاز الاستشعار المرتبطة باستشعار كل حركة مرور.

أ-٥-١-٣-٤ توقيت الإشارة الحالي:

يمكن أن يستفيد الممارس من توقيت الإشارة الحالي في معرفة العناصر الموجود في الميدان حاليًا، وتحديد أساس للتحسينات التي يمكن تنفيذها. تشتمل المعلومات الرئيسة التي ينبغي الحصول عليها من توقيت الإشارة الحالي (الموضحة بالتفصيل في الجزئين الفرعيين أ-٥-٣ و أ-٥-٤) على الآتي:

- تسلسل الأطوار.
- القيود المحددة في تسلسل الأطوار بسبب مشكلات هندسية (جيومترية).
- استخدام التداخلات.
- فترات طور تغير الضوء الأصفر وزمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع.
- أقل وأقصى مدة لإشارة المرور الخضراء.
- فترات السماح بمشي المشاة والإشارة الوامضة لحظر المشي.
- وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة.
- إعدادات أجهزة الاستشعار.
- خطط لأوقات محددة في اليوم، بالإضافة إلى ميزات خاصة.

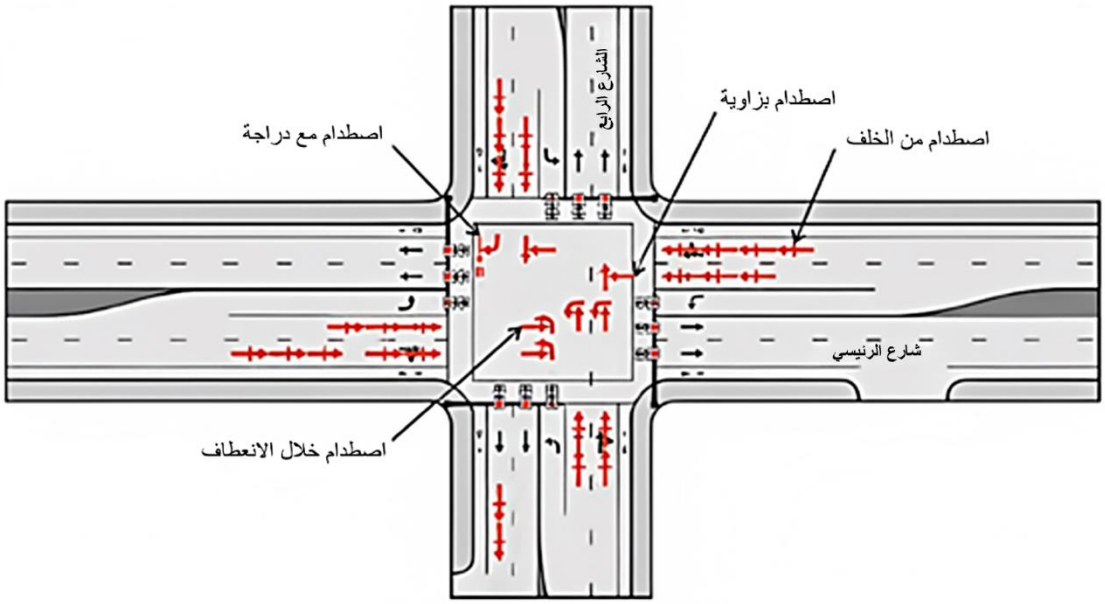
في حال تشغيل التقاطع بشكل منسق، ينبغي أن تتضمن قائمة المعلومات السابقة المعلومات الآتية أيضًا (الموضحة بالتفصيل في الجزء الفرعي أ-٥-٥):

- الطور/الأطوار المنسقة.
- طول الدورة.
- التجزؤات و/أو الإيقاف الإجباري.
- إزاحات بداية دورة إشارة المرور.
- النقطة المرجعية لإزاحة بداية دورة إشارة المرور (من **المهم** تحديد النقطة المرجعية للإزاحة، التي تستخدمها وحدة التحكم بالفعل كي تُربَط بشكل صحيح بالأسلوب المستخدم لتحقيق الاستفادة المثلى).

إذا كشفت عمليات الرصد عن تنفيذ خطة توقيت الإشارة الحالي على النحو المطلوب؛ فيجب تدوينها. تعمل إشارات المرور في الكثير من المواقع بأنماط مرورية يمكن أن تكون ثابتة وتتطلب تعديلات بسيطة في توقيت الإشارة، وذلك باستثناء الأنماط المتعلقة بالتغييرات في الممارسات المُوصى بها (مثل فترات الإخلاء). ويمكن أن يُطوَّر التوقيت الحالي بمرور الوقت استجابةً لظروف مرتبطة بموقع معيّن. ويمكن أن ينتج عن المراجعة المبدئية تركيز الجهود على المشكلات محدودة التأثير أو حتى على عدم تنفيذ تغييرات في التوقيت، إلا عند تحديد مشكلات معيّنة.

أ-٥-١-٣-٥ سجل الحوادث:

يندرج توقيت الإشارة ضمن العديد من العوامل التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث اصطدامات؛ لذلك ينبغي أن يكون الممارسون على دراية بالتأثيرات المحتملة على السلامة، التي قد تنتج عن التغييرات في توقيت الإشارة. وينبغي أن يحصل الممارس على بيانات الحوادث على مدار مدة تتراوح بين ٣ و ٥ سنوات وأن يعمل على تلخيصها حسب النوع والشدة والظروف البيئية المتعلقة بها، بالإضافة إلى إعداد مخطط تصادم للاصطدامات المختلفة للمساعدة على تحديد أنماطها (كما هو موضح في الشكل أ-١٧).



الشكل (أ–١٧) أمثلة على مخطط الاصطدام في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-16).

بعد اطلاع الممارس على بيانات الاصطدامات القديمة، يمكنه أن يستفيد من زيارة الموقع لتحديد العوامل المسببة للاصطدام؛ إذ قد تؤدي خصائص معينة إلى زيادة عدد الاصطدامات. ويمكن أن تنتج الاصطدامات عن معلمات توقيت الإشارة (على سبيل المثال: عدم عرض إشارة المرور الخضراء لوقت كافٍ أو الإزاحة الضعيفة أو الدورة الطويلة). كما ينبغي على الممارس تقييم تأثير المعلمات، مثل:

فترات الإخلاء.

إعدادات أجهزة الاستشعار ومقاساتها ومواقعها.

طول الدورة.

الإزاحات.

تسلسل الأطوار.

أ-٥-١-٤ الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء:

أ-٥-١-٤-١ الأهداف التشغيلية:

عند تحديد الأهداف بصورة واضحة، ينبغي أن يتمكّن الممارس من اختيار قيم التوقيت الملائمة لاحتياجات المستخدم؛ حيث إنه يمكن أن تُختير الأهداف بناءً على المشكلات المعروفة في منطقة الدراسة نتيجةً لتعليقات العامة أو ملاحظات العاملين أو

التناقضات المعروفة مع السياسات المحددة. يمكن أن تتكرر عملية تحديد المشكلات في أثناء تحليل التوقيت وبالتزامن مع عملية تحديد الأهداف.

هناك العديد من الأهداف المحتملة لتشغيل إشارات المرور، وستتغير استراتيجيات توقيت الإشارة استنادًا إلى الأهداف المختارة. وينبغي للممارس إدراك تعارض بعض الأهداف مع بعضها. على سبيل المثال: ستتطلب الأهداف المركزة على المشاة حلولًا لتوقيت الإشارة تختلف عن تلك المطلوبة للأهداف المركزة على المركبات. تتضح أدناه قائمة تضم ١٥ هدفًا تشغيليًا يمكن استخدامها بصورة فردية أو جماعية للتركيز على الجهود المتعلقة بتوقيت الإشارة.

الأهداف المتعلقة بالمركبات:

١- **سلامة المركبة**: يشمل هذا الهدف الحد من تصادمات المركبات وتقليل التعارضات بينها وتوفير وقت كافٍ لحركتها.
٢- **تنقل المركبات—تخصيص السعة**: يشمل هذا الهدف إتاحة حركة المركبات بأكبر قدر ممكن من الكفاءة مع توزيع السعة على نحو معتدل يتناسب مع حركات المركبات ووسائل النقل العام. ويتضمن كذلك تحديد أولوية حركات المركبات حسب الحاجة ودون تعطيل حركة المركبات الأخرى بصورة مفرطة.
٣- **تنقل المركبات—تقدم حركة المرور في الممر**: يشمل هذا الهدف حركة المركبات في مسارات عالية الأولوية (وعادةً أثناء الكثافة العالية لحركة المركبات في الممرات) وفعّالة قدر الإمكان ودون تعطيل حركة المركبات الأخرى بصورة مفرطة.
٤- **تنقل المركبات— تقدم حركة المرور الثانوية**: يشمل هذا الهدف حركة المركبات في مسارات منخفضة الأولوية (على سبيل المثال: حركات الانعطاف في الشوارع الرئيسة أو الحركات في الشوارع الفرعية) وفعّالة قدر الإمكان ودون تعطيل حركة المركبات الأخرى بصورة مفرطة.
٥- **الحد من التأثير البيئي**: يشمل هذا الهدف الحد من التلوث الناتج عن تحسين كفاءة مسارات المركبات إما عن طريق تقليل التأخير أو التوقف أو استخدام تقنية اتصال البنية التحتية بالمركبة للتأثير في أنماط الانتقال بالمركبات.
٦- **إدارة طول صف الانتظار**: يشمل هذا الهدف منع تكوّن صفوف الانتظار الزائدة في مجموعات المسارات الحرجة، مثل منحدرات الخروج من الطرق السريعة.
٧- **التكاليف المتعلقة بالمركبة والسائق**: يشمل هذا الهدف الحد من التأخير والتوقف لتقليل تكاليف تشغيل المركبات والتكاليف التي يتحملها السائق بسبب التأخير.

الأهداف المتعلقة بالمشاة:

١- **سلامة المشاة**: يشمل هذا الهدف الحد من تصادم المركبات بالمشاة إلى أدنى حد، وتقليل التضاربات بينهم، وتوفير وقت كافٍ لحركتهم.
٢- **تنقل المشاة**: يشمل هذا الهدف إتاحة حركة المشاة بأكبر قدر ممكن من الكفاءة.
٣- **وصولية المشاة**: يشمل هذا الهدف إتاحة حركة جميع المشاة، بمن فيهم ذوي الاحتياجات الخاصة.

الأهداف المتعلقة بالدراجات:

١- **سلامة الدراجات**: يشمل هذا الهدف الحد من تصادم المركبات بالدراجات إلى أدنى حد، وتقليل التعارضات بينها، وتوفير وقت كافٍ لحركتها.
٢- **تنقل الدراجات**: يشمل هذا الهدف إتاحة حركة الدراجات بأكبر قدر ممكن من الكفاءة.

الأهداف المتعلقة بوسائل النقل العام:

١- **سلامة وسائل النقل العام**: يشمل هذا الهدف الحد من اشتراك وسائل النقل العام في حوادث وتقليل التعارضات بينها وتوفير وقت كافٍ لحركتها.
٢- **تنقل وسائل النقل العام**: يشمل هذا الهدف إتاحة حركة وسائل النقل العام بأكبر قدر ممكن من الكفاءة.
٣- **وصولية وسائل النقل العام**: يشمل هذا الهدف إتاحة تنفيذ وسائل النقل العام للمناورات (أي الحركات اللازمة لإركاب الركاب وإنزالهم) وتسهيل استخدام وسائل النقل العام للجميع، بمن فيهم ذوي الاحتياجات الخاصة.

أ-٥-١-٤-٢ مقاييس الأداء:

ينبغي تحديد مقاييس الأداء (المعروفة كذلك باسم مقاييس الفعالية (Measures of Effectiveness) ويُشار لمفردها باختصار MOE) الخاصة بكل هدف تشغيلي لتقييم مستوى نجاح خطة/ خُطط التوقيت.

يوفر الجدول (أ-٢٨) مجموعة متنوعة من المقاييس التقليدية لأداء المركبات، التي يمكن تجميعها لقياس مدى فعالية توقيت الإشارة. رغم أنّ مقاييس الأداء هذه هي الأكثر استخدامًا والأسهل قياسًا وتقديرًا، ينبغي استخدامها فقط عند توافقها مع النتائج المطلوبة.

يتضمن الجدول (أ-٢٨) تلخيصًا لمعلمات التوقيت ووسائل جمع البيانات لكل مقياس من مقاييس أداء المركبات، وذلك بالإضافة إلى توضيح (١) ما إذا كان كل مقياس أداء يُستخدم بصورة عامة لتقييم تقاطع فردي أو منظومة من التقاطعات و(٢) ما إذا كان يُنفذ القياس عادةً ميدانيًا أم تستخلص النتائج من أحد البرامج الحاسوبية أو المقاييس ذات الصلة. تتضح أدناه مقاييس الأداء بالتفصيل.

الجدول أ–٢٨) مقاييس الأداء ومعلمات التوقيت وطرق جمع البيانات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-17 Revised).

الهدف	مقياس الأداء	تقاطع	نظام	مقاسة	مشتقة	معلمة (معلمات) توقيت الإشارة المؤثرة	الطريقة النموذجية لجمع البيانات
تقدم حركة المرور في الممرات	جودة تقدم حركة المرور – النسبة المئوية للوصول أثناء الإشارة الخضراء.	X		X	X	☐ طول الدورة. ☐ الإزاحة. ☐ ترتيب الأطوار.	☐ الاستشعار الدقيق واستخدام وحدة التحكم.
	جودة تقدم حركة المرور – نسبة الوصول أثناء الإشارة الخضراء إلى الوصول أثناء الإشارة الحمراء.		X	X		☐ طول الدورة. ☐ الإزاحة. ☐ ترتيب الأطوار.	☐ مركبة اختبار (المركبة الطافية/المتحركة وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي وبيانات أسطول المركبات وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي).
	عدد مرات التوقف لكل كل كيلومتر.		X	X		☐ طول الدورة. ☐ التجزؤ. ☐ الإزاحة. ☐ ترتيب الأطوار.	☐ مركبة اختبار (المركبة الطافية/المتحركة وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي وبيانات أسطول المركبات وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي).
	زمن الانتقال/متوسط السرعة.		X	X		☐ طول الدورة. ☐ التجزؤ. ☐ الإزاحة.	☐ مركبة اختبار (المركبة الطافية/المتحركة وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي أو بيانات أسطول المركبات وفقًا لنظام تحديد المواقع العالمي أو تقنية البلوتوث أو وسائل أخرى لإعادة تعريف مكان المركبات).
تخصيص السعة	التأخير (للمركبة أو الشخص).	X		X	X	☐ طول الدورة. ☐ التجزؤ. ☐ الإزاحة. ☐ ترتيب الأطوار.	☐ تُقدَّر البيانات عادةً من خلال النماذج. ☐ طريقة يدوية لتقدير صف الانتظار. ☐ سجلات الطلبات الواردة إلى وحدة التحكم.
	مرات فشل الطور.	X		X	X	☐ طول الدورة. ☐ التجزؤ. ☐ ترتيب الأطوار.	☐ بيانات استشعار صفوف الانتظار ولون الإشارة (الملاحظة اليدوية أو باستخدام تقنية آلية). ☐ بيانات تقريبية من خلال تسجيل بيانات إنهاء الطور (بلوغ الحد الأقصى/الإيقاف الإجباري مقابل تجاوز مدة الفجوة).
	الاصطفاف					☐ طول الدورة.	☐

الهدف	مقياس الأداء	تقاطع	نظام	مقاسة	مشتقة	معلمة (معلمات) توقيت الإشارة المؤثرة	الطريقة النموذجية لجمع البيانات
		X		X	X	☐ التجزؤ. ☐ الإزاحة. ☐ ترتيب الأطوار.	المشاهدات اليدوية أو باستخدام تقنية آلية (الفيديو والرادار). ☐ بيانات تقريبية من خلال الإشغال.
سلامة المركبة	الأداء المتعلق بالسلامة.	X		X		☐ موقع الاستشعار وإعداداته. ☐ فترات الإخلاء.	☐ معدل تباطؤ المركبات. ☐ تجاوز الإشارة الحمراء (الكاميرات وسجلات وحدة التحكم). ☐ عدد التعارضات. ☐ سجلات الاصطدامات
توليفه منها	المؤشر المركب.	X	X		X	☐ طول الدورة. ☐ التجزؤ. ☐ الإزاحة.	☐ معادلة تدمج مقاييس أداء متعددة.

يمكن أن يوفر جمع البيانات الميدانية مقاييس أداء أكثر دقة، ولكن غالبًا ما يحتاج هذا الأمر إلى موارد كثيرة أو تكاليف باهظة. ويمكن تقدير قيم العديد من مقاييس الأداء من خلال برنامج تشغيل المرور/السلامة الحاسوبي. يتيح استخدام البرنامج تقريبًا قيم مجموعة متنوعة من مقاييس الأداء بتكلفة أقل. ومع ذلك، غالبًا ما تكون بعض البيانات الميدانية ضرورية أو مفيدة لإنشاء النماذج التي توضح الأمر بصورة واقعية وتضمن توفير مستوى من الصحة والمنطقية في النتائج إذا أمكن.

جودة تقدم حركة المرور على الممر - نسبة الوصول أثناء الإشارة الخضراء:

النسبة المئوية للوصول أثناء الإشارة الخضراء هي مقياس لنسبة المستخدمين (عادةً ما يشير هذا إلى المركبات) الذين يصلون إلى تقاطع معيّن عند عرض الإشارة الخضراء (أو إشارة اعبر للمشاة) نسبة إلى المستخدمين الذين يصلون عند عرض الإشارة الحمراء (أو إشارة لا تعبر للمشاة). يمكن قياس هذه النسبة ميدانيًا بصورة أفضل باستخدام بعض برامج وحدة التحكم الحديثة. وعادةً ما تستخدم برامج التحسين لتقريب معدل كفاءة تقدم حركة المرور بين التقاطعات. ومع ذلك، يمكن أن تكون الملاحظات الميدانية مفيدة أيضًا عند محاولة تحديد مستوى جودة تقدم حركة المرور على الممر. لتوفير أكبر قدر من الدقة في حساب النسبة، يجب إجراء الاستشعار الميداني عن النسبة المئوية للوصول إلى التقاطع عند عرض الإشارة الخضراء في موقع يتجاوز المركبات المصطفة، وبالقرب قدر الإمكان من خط التوقف في التقاطع.

جودة تقدم حركة المرور على الممر - نسبة الوصول أثناء الإشارة الخضراء إلى الوصول أثناء الإشارة الحمراء:

يتشابه مقياس الأداء هذا مع مقياس نسبة الوصول إلى التقاطع عند عرض الإشارة الخضراء، ويشير إلى نسبة التقاطعات التي يصل إليها المستخدمون (عادةً ما يشير هذا إلى المركبات) أثناء الإشارة الخضراء (أو إشارة اعبر للمشاة) بالمقارنة مع نسبة وصولهم إليها أثناء الإشارة الحمراء (أو إشارة لا تعبر للمشاة). يقارن هذا النوع من مقاييس الأداء بين مستويات جودة جودة تقدم حركة المرور في الممرات المختلفة. ويوفر مقياس الأداء هذا تحليلًا سهلًا لجودة جودة تقدم حركة المرور على مستوى الممرات، حيث إنّ الممرات التي تعمل بتنسيق أفضل أيضًا ستمر فيها مركبات تصل إلى بعض التقاطعات عند عرض الإشارة الحمراء.

عدد مرات التوقف لكل كيلومتر:

رغم أنّ مقياس النسبة بين وصول المركبات إلى التقاطع عند عرض الإشارتين الخضراء والحمراء هو وسيلة سهلة للمقارنة بين العديد من الممرات، يمكن أن تصعب الاستفادة من القيمة العالية لهذه النسبة إذا كان الممر يتضمن الكثير من التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية. يمكن أن يوفر مقياس عدد مرات التوقف لكل كيلومتر صورة أفضل لتوضيح حالة تشغيل الممرات.

ويعمل مقياس الأداء هذا استنادًا إلى العلاقة بين نسبة وصول المستخدم إلى أحد التقاطعات وحالة الطور والتغيرات في طول صف الانتظار. كما يدرك المستخدمون عدد مرات التوقف أكثر من إدراكهم للفروق الصغيرة في التأخير، وذلك حسب ما لوحظ سابقًا. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط جودة الهواء المحسَّنة والانبعاثات المحدودة بتقليل عدد مرات التوقف.

زمن الانتقال/متوسط السرعة:

رغم أنّ زمن الانتقال مقياس بديهي للأداء ويسهل على العامة والمشغّلين والمخططين وعاملي الصيانة معرفة ما يشير إليه، فهو لا يوضح تجربة المتنقل المحددة الحساسة أولًا للتوقفات والتأخير بعد ذلك (وخصوصًا الفترات الصغيرة التي يمكن أن تكون غير مُدركة). ينبغي ألا يستخدم زمن الانتقال بطريقة تتسبب في إهمال التوقف والتأخير (وهما ناتجان اثنان لاختيار طول الدورة والإزاحات والتجزؤات).

التأخير (للمركبة أو للشخص):

التأخير هو مقياس رئيس في نماذج التعظيم نظرًا إلى سهولة تحديد مقداره. مع ذلك، يلاحظ مستخدمو الطرق التغيرات المتزايدة في التأخير في أحد التقاطعات بصورة أقل من مقاييس الأداء الأخرى المرتبطة بالتنقل، مثل عدد مرات التوقف أو زمن الانتقال كاملًا. كما أنّه لا يمكن قياسها ميدانيًا بسهولة.

قد ينتج التأخير في التقاطع المزود بإشارة عن (١) توقيت الإشارة والتحكم فيها أو (٢) صفوف الانتظار التي تعيق السير أو (٣) عوامل مثل إعاقة الحافلات للطريق ومناورات الوقوف وتشتيت انتباه السائقين. يمكن أن تكون معرفة إذا كانت أشكال التأخير هذه تساهم في تحديد تجربة المستخدم ومقدار مساهمتها في ذلك أمرًا مهمًا، ينبغي ملاحظته أثناء الملاحظات الميدانية. ويمكن التعبير عن التأخير بشكل أساسي من خلال الطريقتين الآتيتين:

١- التأخير حسب الوحدة الزمنية (عدد الثواني/مركبة) ويرتبط بإدراك المستخدم لإعاقة حركته في أحد التقاطعات،
٢- التأخير الكامل المجمَّع (المركبة-عدد الساعات) ويرتبط بشكل أكبر بالأداء الاقتصادي لأحد التقاطعات. يُجمّع تأخير المركبة لساعة واحدة عند تأخر إحدى المركبات لمدة ساعة كاملة أو تأخر ٣,٦٠٠ مركبة لمدة ثانية واحدة لكل منها، وغير ذلك.

فشل الطور:

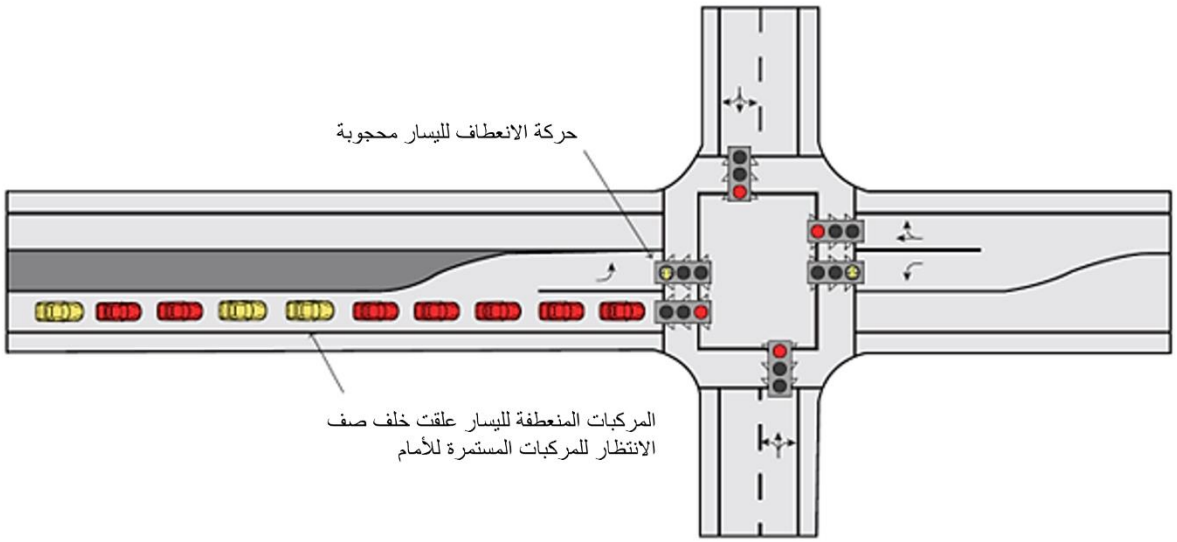
يشير عدم إكمال الطور، الذي يُعرف أيضًا بـ (عدم إكمال التجزؤ) عند تناسق التقاطع إلى توقف مركبة واحدة أو أكثر وعدم تمكّنها من مواصلة الحركة في تقاطع مزود بإشارة عند ظهور الإشارة الخضراء. وأحيانًا يمكن أن تُنفذ حركة مرتين في دورة واحدة وهو ما يُعرف باسم (عدم إكمال الدورة)، ويمكن أن يُستخدم هذا المصطلح في حال عدم مواصلة جميع المركبات حركتها في إحدى الدورات. عادةً ما يمكن ملاحظة عدم إكمال الطور أو التجزؤ أو الدورة بسهولة في الميدان، ولكن يواجه الممارس صعوبة في تحديد مدى ضرورية تنفيذ إجراء تصحيحي أو كيفية تنفيذه.

يمكن اتباع نهج بسيط لتقريب عدد مرات عدم إكمال الطور من خلال طريقة آلية تتمثل في قياس أنواع إنهاء أطوار الإشارات وتسجيلها. ويتضمن ذلك: المقارنة بين معدل تجاوز العوائق (يشير إلى الوقت الكافي لتلبية الطلب المروري) وبلوغ الحد الأقصى أو الإيقاف الإجباري (يشير إلى عدم توفير الوقت الكافي لتلبية الطلب المروري). بما أنّ الأطوار المنسقة عادةً ما تكون غير موجهة، يمكن ألا تتوفر المعلومات المتعلقة بهذه الأطوار.

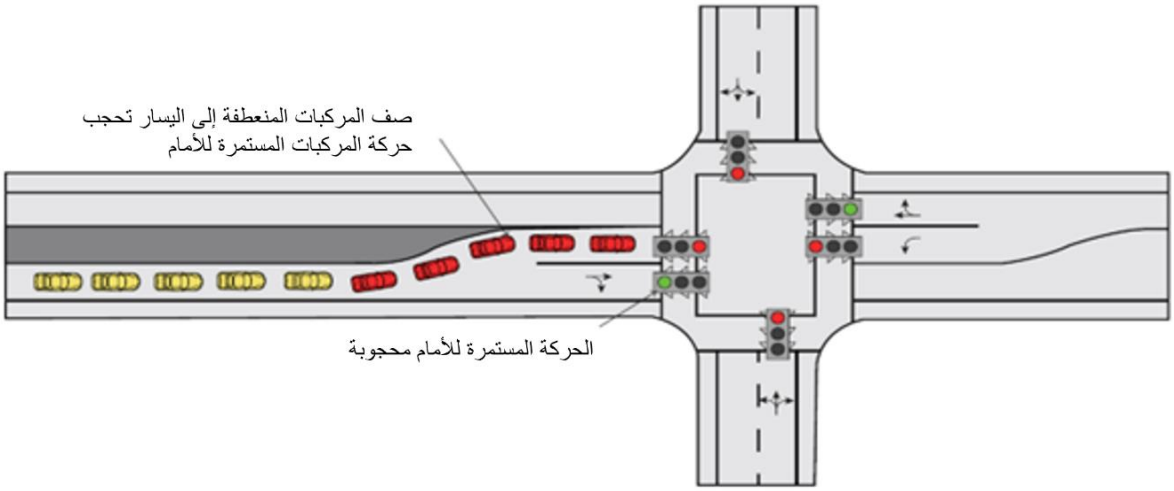
الاصطفاف:

يشير الاصطفاف إلى عدد المستخدمين المنتظرين لإشارة خضراء/ إشارة اعبر. وعادةً ما يُقاس طول صف الانتظار عند بداية الإشارة الخضراء/إشارة اعبر حينما يضم أكبر عدد من المستخدمين. غالبًا ما يكون الاصطفاف نتيجة مباشرة لتوقيت الإشارة ومعلمات الاستشعار المحددة، ولكن من المهم أيضًا معرفة أنّه يمكن أن تتأثر صفوف الانتظار بالتشغيل المروري في اتجاه المصب أو اتجاه المنبع.

يمكن تقدير طول صفوف الانتظار باستخدام برامج التعظيم الحاسوبية، ولكن يمكن تقييم الظروف بصورة أفضل من خلال زيارة ميدانية. تتيح الزيارة الميدانية قبل تنفيذ خطة التوقيت الجديدة وبعد تنفيذها فرصة ملاحظة المشكلات التشغيلية، مثل سدّ جيب التخزين أو تجاوز سعته (كما هو موضَّح في الشكل أ-١٨ والشكل أ-19 على التوالي)، وذلك بالإضافة إلى المداخل التي لا تخدم كامل الطلب. تتمثل إحدى تحديات جمع البيانات الميدانية في زيارة الممر بطريقة تتيح ملاحظة الفترات الزمنية الحرجة والتقاطعات المهمة.



الشكل (أ–١٨) سدّ جيب التخزين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-21).



الشكل (أ–١٩) تجاوز سعة جيب التخزين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-22).

مقاييس الأداء المتعلقة بالسلامة:

تلخص النقاط الآتية مقاييس الأداء الشائعة المتعلقة بالسلامة التي تتأثر بتوقيت الإشارة.

- **عدد الاصطدامات ونوعها وشدتها** يمكن أن تتأثر بمعلمات توقيت الإشارة لكل من التصادمات متعددة المركبات ولمركبة واحدة. ويمكن أن تشتمل أنواع الاصطدامات الحادثة عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية على الاصطدام بزاوية، والاصطدام وجهًا لوجه، والاصطدام من الخلف، والاصطدام من الجانب، والتصادمات مع المشاة والدراجات. وتتراوح شدتها بدايةً من التلفيات في الممتلكات فقط إلى مستويات مختلفة من الإصابة حتى الوفاة. ومع ذلك، ينبغي الإشارة إلى أن توقيت الإشارة هو أحد العوامل التي تؤثر في الاصطدامات، حتى عند التقاطع المحكوم بإشارات مرورية.
- **عدد نقاط التعارض المحتملة**، التي تمثل مواقع تتعارض فيها حركتان عند تقاطع. يمكن أن يتأثر عدد نقاط التعارض بنوع الطور المختار. ومع ذلك، يمكن أن يؤثر الطور كذلك في نقاط التعارض خارج التقاطع؛ لذلك ينبغي اختيارها بعناية.

- **تكرار تعارضات المشاة** مع المركبات والدراجات يمكن أن يؤثر في سلامة العديد من وسائط النقل عند أي تقاطع. تعد رؤية المشاة لانعطاف المركبات والدراجات أحد مقاييس الأداء النوعية المهمة.
- **تكرار تعارضات الدراجات** مع حركات المركبات المتعارضة قد يمثل أحد مقاييس الأداء النوعية الأخرى. يمكن تقليل التعارضات عن طريق توفير الوقت الكافي لبدء الدراجات في الحركة والمرور في أي تقاطع قبل الحركات المتعارضة.
- **تكرار ظروف بلوغ الحد الأقصى لطور الإشارة أو الإيقاف الإجباري للطور في أثناء وجود طلب من المركبات** يمكن أن يمثل مقياسًا متعلقًا بالسلامة؛ حيث إن وحدة التحكم في الإشارة ستنهي الطور بمجرد الوصول إلى الحد الأقصى للطور أو الإيقاف الإجباري له، بغض النظر عن قرب المركبة من خط التوقف أو التقاطع.
- **تكرار المستخدمين الذين يخالفون الإشارة الحمراء (أو إشارة لا تعبر للمشاة)** يمكن أن يكون مقياسًا مهمًا؛ لفهم أين يمكن أن تحدث مخالفات تجاوز الإشارة الحمراء وسبب حدوث تلك المخالفات. يمكن تتبع هذا المقياس من خلال الملاحظة اليدوية أو التقنيات الآلية، مثل الفيديو أو أي منطقة استشعار يمكنها التعرف على أي مركبة تدخل التقاطع أثناء الإشارة الحمراء.

المؤشر المركب:

يمكن أن يمثل أحد مقاييس الأداء بمفرده التشغيل عند أحد التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية أو على طول الممر بشكل دقيق. ويمكن النظر في استخدام "مؤشر" يشمل مقياسين أو أكثر من مقاييس الأداء. يسمح هذا المؤشر المركب للجهات بتضمين مقاييس أداء متعددة في تقييمها.

أ-٥-١-٤-٣ الأهداف التشغيلية غير المتعلقة بالمركبات ومقاييس الأداء ذات الصلة:

ينبغي على الممارس تذكر أنه لا يسهُل قياس جميع الأهداف التشغيلية؛ حيث إنه -في بعض الحالات- يمكن أن تكون الأهداف ذات طبيعة نوعية. وينبغي عدم اختيار الأهداف بناءً على كونها سهلة القياس. بل ينبغي اختيارها بعد فهم النتيجة المرجوة. الجدول (أ-٢٩) عبارة عن مصفوفة تلخص بعض مقاييس الأداء غير المتعلقة بالمركبات من حيث صلتها بالأهداف التشغيلية. في حين أن هذا لا يعني أن الجدول يقدم قائمة شاملة، ولكنه يعني عرض أهداف إضافية متعددة الوسائط ومقاييس أداء محتملة يمكن اختيارها لتقييم النتيجة المرجوة. وينبغي كذلك على الممارس اختيار الأهداف التشغيلية بعناية بناءً على بيئة تشغيلية محددة، وينبغي عليه كذلك اختيار مقاييس الأداء بعناية لتكون بمنزلة تمثيلات حقيقية للأهداف.

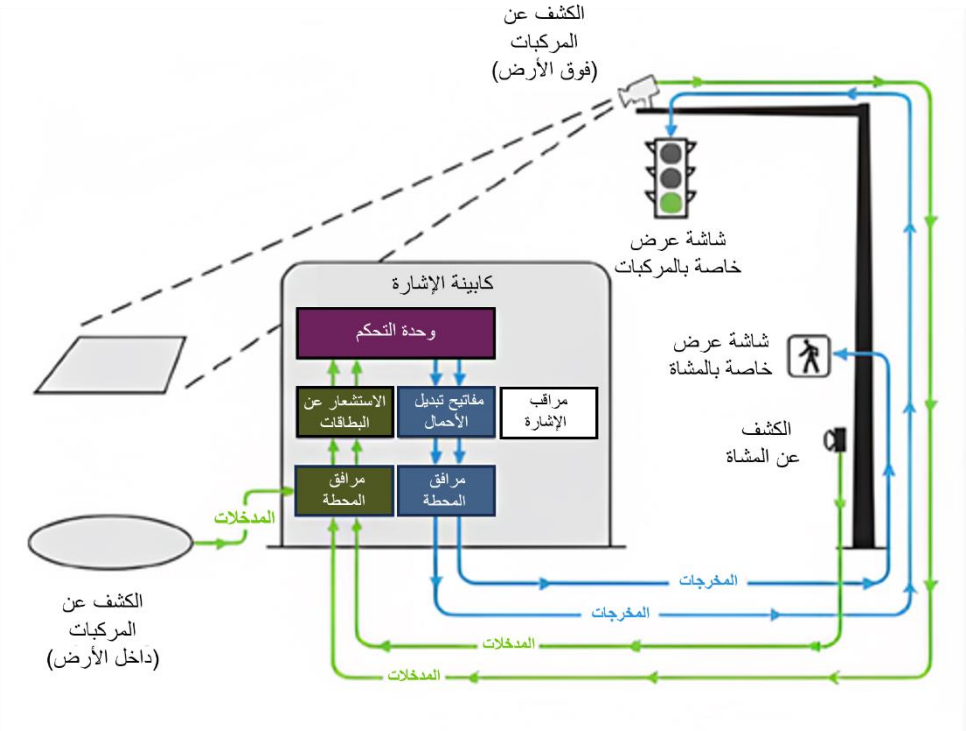
الجدول (أ–٢٩) الأهداف التشغيلية ومقاييس الأداء غير المتعلقة بالمركبات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 3-25).

الهدف التشغيلي		مقياس الأداء								
		النسبة المئوية للوصول أثناء الإشارة الخضراء (أو إشارة اعبر للمشاة)	نسبة الوصول أثناء الإشارة الخضراء (أو إشارة اعبر) إلى الوصول أثناء الإشارة الحمراء (أو إشارة لا تعبر)	عدد مرات التوقف لكل كيلومتر	زمن الانتقال/ متوسط السرعة	التأخير	فشل الطور	الاصطفاف	معدل الحوادث	مقياس الأداء المركب
مشاة	السلامة								×	×
	التنقل	×	×			×				×
دراجات	السلامة								×	×
	التنقل	×	×	×	×	×				×
نقل عام	السلامة								×	×
	التنقل	×	×	×	×	×	×	×		×

أ-٥-٢ اعتبارات تصميم الإشارة الابتدائية:

من المهم أن يفهم ممارسو توقيت الإشارة تأثيرات تصميم الإشارة في تشغيل التقاطع؛ بحيث يمكنهم تقديم التوجيه اللازم إلى مصممي الإشارات وضمان إمكانية استيعاب جميع الجوانب المتعلقة بتوقيت الإشارة.

يوضح الشكل (أ-٢٠) تدفق المدخلات والمخرجات من مختلف أجزاء معدات الإشارة وإليها عند أحد التقاطعات الفردية المحكومة بإشارات مرورية. ثمة ثلاث فئات رئيسة من معدات الإشارة عند أي تقاطع: (١) الاستشعار، (٢) معدات صندوق التحكم، (٣) أوجه الإشارة. تقوم أجهزة الاستشعار باستشعار المستخدمين وتزويد معدات الكابينة بمعلومات عن وجودهم في التقاطع. تستخرج معدات الكابينة (خاصة وحدة التحكم) المدخلات من أجهزة الاستشعار وتحولها إلى مخرجات بناءً على خطة توقيت الإشارة. ويتم بعد ذلك إعادة توجيه معلومات المخرجات إلى شاشات العرض للسماح للمستخدمين بالتنقل عبر التقاطع.



الشكل (أ–٢٠) تدفق المدخلات والمخرجات بين أجهزة الاستشعار، ومعدات كابينة الإشارة، وشاشات العرض (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-1).

أ-٥-٢-١ الاستشعار:

تقوم أجهزة الاستشعار باستشعار وجود مستخدمي الطرق، وتزويد وحدة التحكم بالمعلومات التي يمكنها استخدامها؛ لتحديد ما إذا كانت ثمة حاجة إلى استخدام طور معين.

بالاشتراك مع وحدة التحكم، تعد أجهزة الاستشعار مسؤولة عن:

١- تحديد وجود المستخدم للحركة والطور المقابل لذلك.
٢- تمديد الطور.
٣- تحديد الفجوات في المرور؛ حيث ينبغي انتهاء الطور نتيجة انعدام المرور أو التدفق غير الفعال.
٤- توفير إنهاء آمن للطور لحركات المركبات عالية السرعة من خلال تقليل فرصة وجود السائق في منطقة اتخاذ القرار (المعروفة كذلك بالمنطقة المحيرة من النوع الثاني) في بداية الإشارة الصفراء (موضحة أكثر في الفقرة: استشعار المركبة عند المداخل عالية السرعة أدناه).
٥- مراقبة أداء التقاطع باستخدام سجلات مقاييس الفعالية.
٦- إمكانية عدّ أحجام المرور وتحديد أنواع المركبات (مثل الشاحنات، والدراجات، ومركبات الطوارئ، ومركبات النقل العام).

يوضح الشكل (أ-٢١) عدة فئات من أجهزة الاستشعار التي يمكن استخدامها عند أي تقاطع. يمكن تركيب أجهزة الاستشعار عن الدراجات والمركبات الآلية في الأرض (وحدات موضوعة في رصف الطريق) أو فوق الأرض (وحدات موضوعة فوق الطريق على أذرع صاري الإشارة أو أعمدة الإنارة).



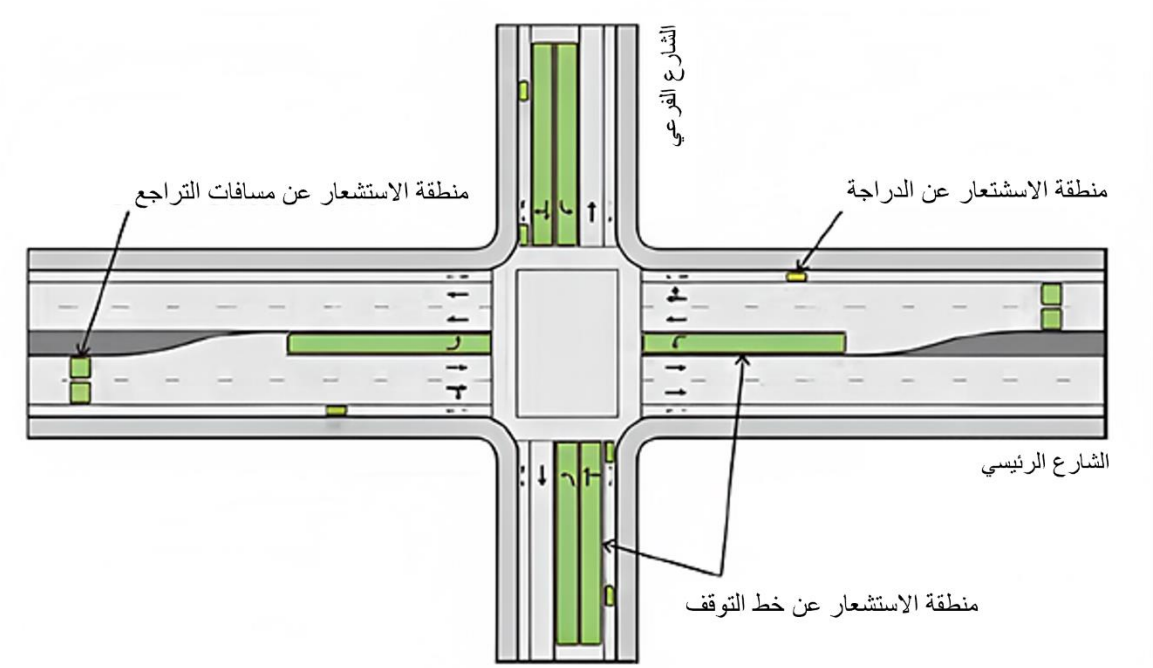
الشكل (أ–٢١) أنواع الاستشعار المستخدمة في إشارات المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-3).

فيما يأتي، تُوضّح مواقع الاستشعار عن المركبات المقبولة عمومًا والمرتبة حسب الأولوية:

١- مداخل الشوارع الفرعية ومسارات الانعطاف لليسار عند خط التوقف.
٢- مداخل الشوارع الرئيسة التي تبعد عن خط التوقف.
٣- مداخل الشوارع الرئيسة عند خط التوقف.

يتسم كل موقع من مواقع الاستشعار بفوائده الخاصة. ُيستخدَم الجمع بين الاستشعار عن التراجع والاستشعار عن خط التوقف إما من خلال مسارات المرور العابر أو مسارات الانعطاف لليسار لزيادة الكفاءة.

يمكن أن تختلف مناطق الاستشعار بناءً على المشكلات الخاصة بالموقع، ونوع تقنية الاستشعار المستخدمة، والسرعة عند المداخل. يوضح الشكل (أ-٢٢) مدخلًا أساسيًا لموضع منطقة الاستشعار عند تقاطع شارع رئيس، ومدخلًا عالي السرعة (يظهر على اليسار/اليمين)، ومدخلًا منخفض السرعة للشارع الفرعي (يظهر في الأعلى/الأسفل).



الشكل (أ–٢٢) مخطط الاستشعار الأساسي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-4).

يمكن كذلك ربط مناطق الاستشعار ببعضها، ما يعني أنه يمكن للعديد من مناطق الاستشعار إرسال الرسالة نفسها إلى وحدة التحكم بشكل أساسي. على سبيل المثال: إذا كان هناك جهاز كشف في مسارين منفصلتين مربوطتين ببعضهما، فيمكن قيادة المركبة فوق أي منهما؛ لتسجيل استدعاء لهذه الحركة. ولكن يعد هذا غير فعال بالنسبة إلى التوقيت. وبالنسبة إلى مناطق الاستشعار المستخدمة لتمديد إحدى الأطوار، أو استدعائها وتمديدها؛ فإنه ينبغي تصميم قنوات الاستشعار عن طريق المسار لضمان المزيد من الكفاءة في أثناء الاستشعار عن مسار تلو الأخرى والقدرة على عدّ المستخدمين على أساس ذلك.

بشكل عام، تتمكن أجهزة الاستشعار من استدعاء و/أو تمديد الطور. ولكن، إذا لم يُحدّد الطور واقتربت المركبات من التقاطع، فيمكن لأجهزة الاستشعار إشعار وحدة التحكم بوجود مركبات قيد الانتظار و"استدعاء" الطور. وإذا كان الطور قيد التحديد واقتربت مركبات إضافية من التقاطع بعد رحيل صف الانتظار الأولي، فيمكن لأجهزة الاستشعار أن تطلب من وحدة التحكم تمديد الطور الحالي لاستيعاب المركبات. يلخص الجدول (أ-٣٠) الأهداف الأولية لمختلف أنواع الاستشعار، فضلًا عن تقديم معلومات مفصلة في كل الجزء المتبقي من هذا الجزء الفرعي.

الجدول (أ–٣٠) أهداف الاستشعار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-5).

نوع الاستشعار	هدف (أهداف) أولي
استشعار المركبة عند المداخل عالية السرعة.	خدمة صف الانتظار الثابت عند بداية الإشارة الخضراء. إنهاء الطور بأمان بمجرد وجود استدعاء متضارب.
استشعر المركبة عند المداخل منخفضة السرعة.	استدعاء الأطوار عند المداخل منخفضة السرعة. خدمة صف الانتظار الثابت عند بداية الإشارة الخضراء.
استشعار المركبة عند مسار الانعطاف لليسار.	استدعاء أطوار الانعطاف لليسار. خدمة صف الانتظار الثابت عند بداية الإشارة الخضراء. الحد من التأخير عن طريق تقليل مناطق الانتقال غير الفعالة. منع تعلق المركبات في التقاطع.
استشعار المركبة عند مسار الانعطاف لليمين.	الحد من التأخير عن طريق تقليل الاستدعاءات بسبب الانعطاف لليمين أثناء الإشارة الحمراء. استدعاء أطوار الانعطاف لليمين – إذا أُستخدِمت-.
استشعار المشاة.	استدعاء أطوار المشاة.
استشعار الدراجات.	استدعاء أطوار المركبات الآلية ذات الصلة أو أطوار الدراجات المستقلة. منع عمليات التشغيل العرضية للمركبة الآلية في حالة استخدام أطوار الدراجات المستقلة. التخلص من الحاجة إلى الدراجات لاستخدام أطوار المشاة.
استشعار مركبات الطوارئ.	تفعيل خيارات المعاملة التفضيلية لمركبات الطوارئ.
استشعار الحافلات.	تفعيل خيارات المعاملة التفضيلية لوسائل النقل.
استشعار السكك الحديدية.	ضمان تسلسل توقيت إشارة آمن وفعال قبل وصول القطارات وأثناء ذلك وبعده.

أ-٥-٢-١-١ استشعار المركبة عند المداخل عالية السرعة:

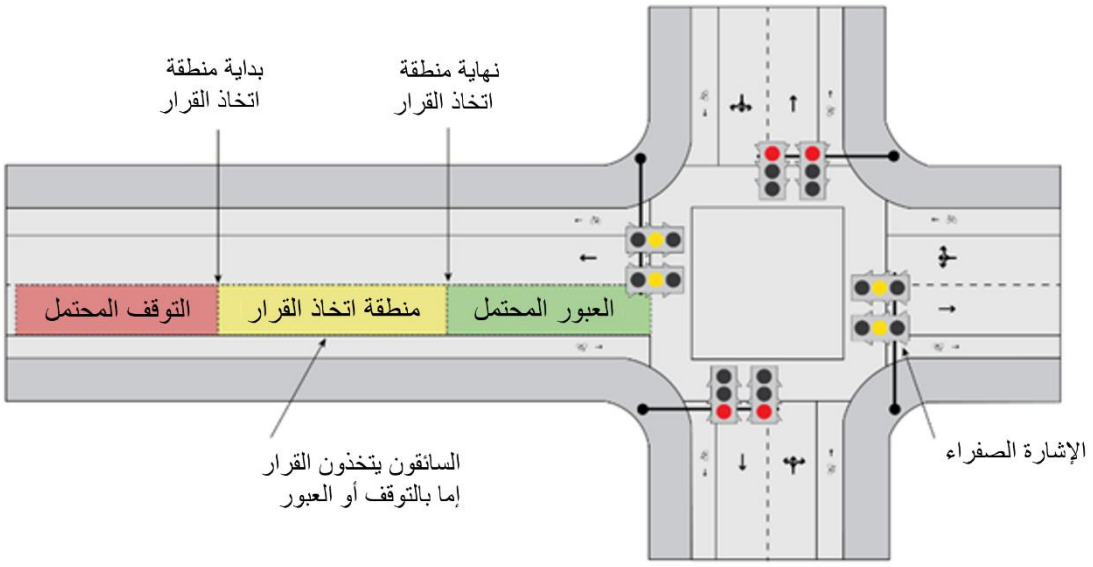
يتطلب استشعار السرعة العالية الاستعانة بأجهزة الاستشعار الموجودة أعلى خط التوقف؛ لتحديد الوقت المناسب لإنهاء الطور وكذلك قياس صف الانتظار والأداء بأمان. بينما يمكن كذلك استخدام الاستشعار عن مسافات التراجع (أو القدوم/الصعود)؛ لمسح صفوف الانتظار في خط التوقف (باستخدام الحد الأدنى للإشارة الخضراء أو الأولي المتغير اللذين نوقشا في الجزء الفرعي أ-٥-٤)، يمكن استخدام أجهزة كشف خط التوقف في المداخل عالية السرعة بالإضافة إلى استشعار مسافات التراجع. يمكن لأجهزة كشف خط التوقف مسح صفوف الانتظار في خط التوقف بشكل أكثر كفاءة ويمكنها استيعاب الاستدعاءات إذا كانت ثمة حركة مرور تدخل الطريق أسفل أجهزة كشف مسافات التراجع؛ لذلك فإن الجمع بين كشف خط التوقف ومسافات التراجع يوفر أكثر العمليات التشغيلية كفاءة. في حالة استخدام كشف مسافات التراجع؛ يجب فصل أجهزة كشف خط التوقف (باستخدام برمجة وحدة التحكم) بمجرد مسح صف الانتظار الأولي.

سيؤدي هذا إلى منع تمديد الطور دون داع ويتيح عمليات تشغيلية أكثر كفاءة.

يتطلب التصميم الخاص بكشف مسافات التراجع عند المداخل عالية السرعة اهتمامًا خاصًا. حيث إنه ينبغي وضع أجهزة الاستشعار بطريقة تسمح لوحدة التحكم بإنهاء الأطوار بينما لا يزال هناك وقت كافٍ لتوقف المركبات. غالبًا ما تُوصف هذه العلاقة باستخدام مصطلح (منطقة محيرة) المطبَّق قديمًا على سيناريوهين غالبًا ما يُخلَط بينهما. تم استخدام مصطلح المنطقة المحيرة في البداية فيما يتعلق بالفترات الزمنية لتغيير الإشارة الصفراء (أي منطقة محيرة من النوع الأول). وفيما بعد، تم استخدام مصطلح المنطقة المحيرة فيما يتعلق بتصميم الاستشعار (والمعروف أيضًا باسم منطقة تكرار الخدمة أو المنطقة المحيرة من النوع الثاني أو منطقة اتخاذ القرار). يستخدم هذا الجزء الفرعي مصطلح **المنطقة المحيرة** فيما يتعلق بتوقيت فترة تغيير الإشارة الصفراء و**منطقة اتخاذ القرار** فيما يتعلق بتصميم كشف مسافات التراجع.

تنتج المناطق المحيرة عن توقيت فترة الإخلاء للإشارة الصفراء—عندما تكون فترة الإشارة الصفراء قصيرة جدًا؛ للسماح بدخول المركبة إلى التقاطع بأمان، بينما تكون المركبة قريبة جدًا من خط التوقف بحيث يمكنها التوقف بأمان. يمكن معالجة المنطقة المحيرة بفترة الإخلاء المناسبة للإشارة الصفراء، وهذا موضح بالتفصيل في الجزء الفرعي (أ-٥-٤). إن منطقة اتخاذ القرار لا تتعلق بتوقيت فترة الإخلاء، بل بالعوامل البشرية المرتبطة بإدراك السائق ورد فعله وحكمه. ويمثل طول الطريق عاملًا مؤثرًا؛ حيث يمكن لكل سائق فردي اتخاذ قرار مختلف عند رؤية مؤشر الإشارة الصفراء؛ حيث إنه يمكن أن تتوقف بعض المركبات ويمكن أن يرحل البعض الآخر. موقع منطقة اتخاذ القرار موضح في الشكل (أ-٢٣).

قد تكون حدود منطقة اتخاذ القرار بين ٥,٥ و٢,٥ ثانية من زمن الانتقال بداية من خط التوقف. يوفر الجدول (أ-٣١) مسافات مرجعية سريعة تمثل بداية منطقة اتخاذ القرار ونهايتها (إذا كانت الفترة ٥,٥ ثوانٍ من خط التوقف هي البداية و٢,٥ ثانية من خط التوقف هي النهاية). ينبغي وضع جهاز كشف واحد (أو أكثر في بعض التصميمات المعقدة) في أعلى خط التوقف، بدءًا من بداية منطقة اتخاذ القرار وذلك عند الرغبة في وضع تصميم يراعي منطقة اتخاذ القرار. يمكن بعد ذلك برمجة الاستشعار في بداية منطقة اتخاذ القرار؛ لمنع إنهاء الطور قبل أن تمسح المركبة منطقة اتخاذ القرار (باستخدام مؤقت المرور، الذي نوقش أكثر في الجزء الفرعي أ-٥-٤).



الشكل (أ–٢٣) منطقة القرار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-6).

الجدول (أ–٣١) حدود منطقة اتخاذ القرار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-7 Revised).

سرعة المركبة عند المدخل (كم/س)	بداية منطقة اتخاذ القرار (٥,٥ ثوانٍ من خط التوقف)	نهاية منطقة اتخاذ القرار (٢,٥ ثانية من خط التوقف)
٥٦	٨٧ مترًا	٣٨ مترًا
٦٤	٩٩ مترًا	٤٤ مترًا
٧٢	١١١ مترًا	٥٠ مترًا
٨٠	١٢٣ مترًا	٥٥ مترًا
٨٩	١٣٦ مترًا	٦١ مترًا

عند بلوغ الحد الأقصى في إحدى الأطوار (كما هو موضح في الجزء الفرعي أ-٥-٤) أو إيقافها إجباريًا بصورة منسقة (كما هو موضح في الجزء الفرعي أ-٥-٥)؛ فلن تتوفر الحماية للمستخدمين في منطقة اتخاذ القرار. كلما زاد تكرار بلوغ الحد الأقصى في الطور (أو إيقافه إجباريًا)، تقل فعالية حماية المستخدمين في منطقة اتخاذ القرار. وعلى الجانب الآخر، كلما قل تكرار بلوغ الحد الأقصى في الطور (أو إيقافه إجباريًا)، تزيد فعالية حماية المستخدمين في منطقة اتخاذ القرار. تتضمن الاستراتيجيات

المتبعة لتقليل تكرار بلوغ الحد الأقصى في الطور استشعار مسار تلو الأخرى وضبط إعدادات أجهزة الاستشعار لرصد المركبات الموجودة في نهاية منطقة اتخاذ القرار والاعتماد على تصميمات أجهزة الاستشعار المركبة ومتعددة الأبعاد.

أ-٥-٢-١-٢ استشعار المركبة عند المداخل منخفضة السرعة:

يهدف استشعار المركبة عند المداخل منخفضة السرعة إلى استدعاء أطوار المداخل منخفضة السرعة بشكل رئيس والتخلص من صفوف الانتظار وتقليل التأخير. وتقل الحاجة إلى حماية المستخدمين في منطقة اتخاذ القرار نظرًا إلى السرعات الأكثر انخفاضًا. عادةً ما يُستخدم الاستشعار عند خط التوقف مع المداخل منخفضة السرعة فقط، وذلك كما هو موضح في الشكل (أ-٢٢).

أ-٥-٢-١-٣ استشعار المركبة عند مسار الانعطاف لليسار:

ينبغي أن يتطابق تصميم الاستشعار الموصى به لحركات الانعطاف لليسار مع التصميم المخصص للمداخل منخفضة السرعة، وذلك كما هو موضح في الشكل (أ-٢٢).

أ-٥-٢-١-٤ استشعار المركبة عند مسار الانعطاف لليمين:

عند انعطاف المركبات لليمين في مسار (أو مسارات) خاصة للانعطاف في هذا الاتجاه، يمكن إتاحة إمكانية استشعار هذه المركبات. ومع ذلك، يمكن أن يكون من الأفضل التأخر في إتمام الطور في مناطق الاستشعار هذه. حيث سيمنع التأخير توجيه طلب الاستدعاء إلى وحدة التحكم على الفور (كما هو موضح بالتفصيل في الجزء الفرعي أ-٥-٤). بدلًا من ذلك، سينفَّذ طلب الاستدعاء فقط في حال انتظار المركبة لوقت معيّن. يؤدي هذا الإجراء إلى منع استدعاء الطور في وقت سابق لأوانه عندما تتمكن المركبة من الانعطاف لليمين بسرعة عند عرض الإشارة الحمراء.

أ-٥-٢-١-٥ استشعار المشاة:

المشاة هم المستخدمون المعرضون للخطر في نظام النقل، وعادةً ما يتعرضون للانخراط في النزاعات مع مستخدمين آخرين. ينبغي تنفيذ استشعار المشاة بطريقة واضحة ومتوقعة لتسهيل استخدام أجهزة الاستشعار.

تتوفّر خطوط عبور المشاة بشكل عام بين مخارج المشاة/وجهاتهم وعلى جميع زوايا أحد التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية ما لم تستوجب مشكلة معيّنة أو هدف محدد غير ذلك.

ينبغي أن تتوافق شبكة الأسلاك ومعدات كابينة التحكم مع التشغيل المستقل لكل معبر مشاة إذا أمكن ذلك. يتيح التشغيل المستقل لكل معبر مشاة اختلاف وقت العبور الإجمالي بين كل طورين. على سبيل المثال: في حال تشغيل كل معبر مشاة بصورة مستقلة، يمكن أن يستغرق السير وفترة الإخلاء للمشاة أوقاتًا مختلفة في خطوط العبور على الجانبين الشمالي والجنوبي لكل تقاطع.

يتأثر الحد الأدنى للوقت المطلوب لخدمات المشاة (أوقات السير والإخلاء) بكل من طول معبر المشاة والمسافة بين جهاز استشعار المشاة وأبعد جانب في الطريق ((FHWA, (2009). كلما زاد طول معبر المشاة أو زادت المسافة بين جهاز استشعار المشاة وحافة الرصف، زاد الوقت المطلوب لحركة المشاة.

أ-٥-٢-١-٦ استشعار الدراجات:

في حال إتاحة إمكانية استشعار الدراجات، سيؤدي تحديد الوظيفة المطلوبة من هذا الاستشعار (على سبيل المثال: الاستدعاء أو التمديد أو الحساب) إلى التأثير في حجم الاستشعار المطلوب وموقعه.

أ-٥-٢-١-٧ استشعار مركبات الطوارئ:

بناءً على النتائج المرغوبة، يمكن أن تتلقى مركبات الطوارئ معاملة تفضيلية (إما بمنحها الأولوية أو تبديل إشارات المرور لأجلها) في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية. يمتاز تصميم أجهزة استشعار مركبات الطوارئ بأجزاء يجب مراعاتها، وهي أدوات استقبال أوامر منح الأولوية أو تبديل إشارات المرور في التقاطع المعني وواجهة وحدة التحكم في كابينة الإشارة؛ لاستدعاء الطور المناسب، بالإضافة إلى وحدة تحكم (تشمل المعدات والبرامج) لتوفير خدمة منح الأولوية أو تبديل الإشارات.

أ-٥-٢-١-٨ استشعار الحافلات:

يتطلب تحديد أطوار أو توقيت الإشارة المخصصة للحافلات إتاحة إمكانية استشعار الحافلات لاستدعاء طور (أطوار) منح الأولوية لمرورها. يؤدي منح الأولوية لمرور الحافلات إلى تعديل توقيت الإشارة مع الحفاظ على التنسيق -إذا توفر- عند توجه الحافلات إلى أحد التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية.

أ-٥-٢-١-٩ استشعار السكك الحديدية:

تؤثر السكك الحديدية المُقامة في الشوارع العامة أو تلك التي تتوفر لها معابر قريبة من إشارات المرور تأثيرًا فريدًا في أنظمة إشارات المرور؛ وذلك استنادًا إلى مدى قربها من التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية والتدرج الهرمي الشكلي لمنح الأولوية. عند منح السكة الحديدية ومسار قطار السفر (وبعض أنظمة النقل العام على السكة الخفيفة) حق المرور بشكل شبه خاص، تُمنح هذه السكك والمسارات أعلى أولوية في تقاطع قريبة منها ومحكوم بإشارات مرورية، وعادةً ما يُبدَّل توقيت الإشارة لمرورها. من المهم تنفيذ الاستشعار المناسب عن المركبات المارة على السكك الحديدية

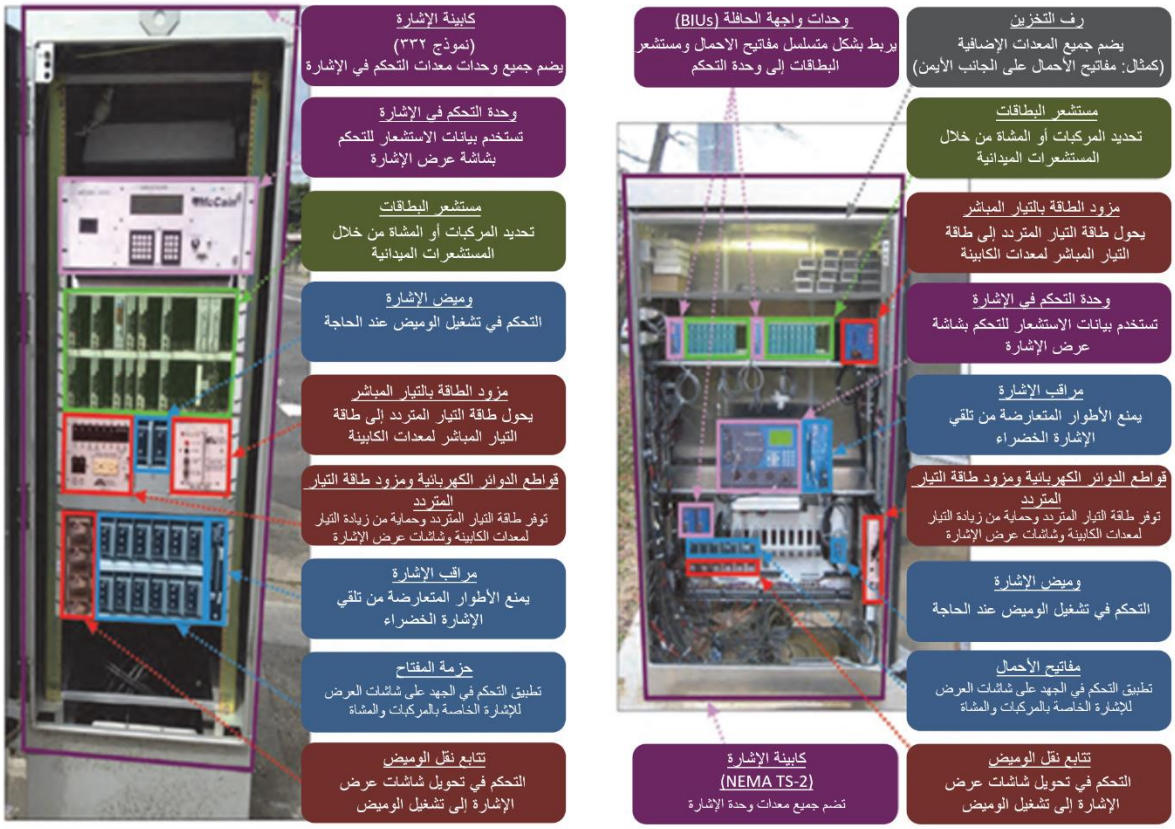
(قبل وأثناء مرورها) وإجراء عمليات الربط الملائمة مع إشارات المرور القريبة من هذه السكك الحديدية لضمان تسلسل توقيت الإشارة الآمن والفعال قبل وصول القطارات وأثناء ذلك وبعده.

أ-٥-٢-١-١٠ استشعار عناصر أخرى:

يمكن أن يُستفاد من عمليات كشف خاصة في مواقع مميزة، مثل الجسور المتحركة والجسور والأنفاق المكونة من مسار واحد ومنحدرات مداخل الطرق السريعة المقننة؛ وذلك للتحكم في إمكانية تبديل الإشارات أو منح الأولوية في إشارات المرور.

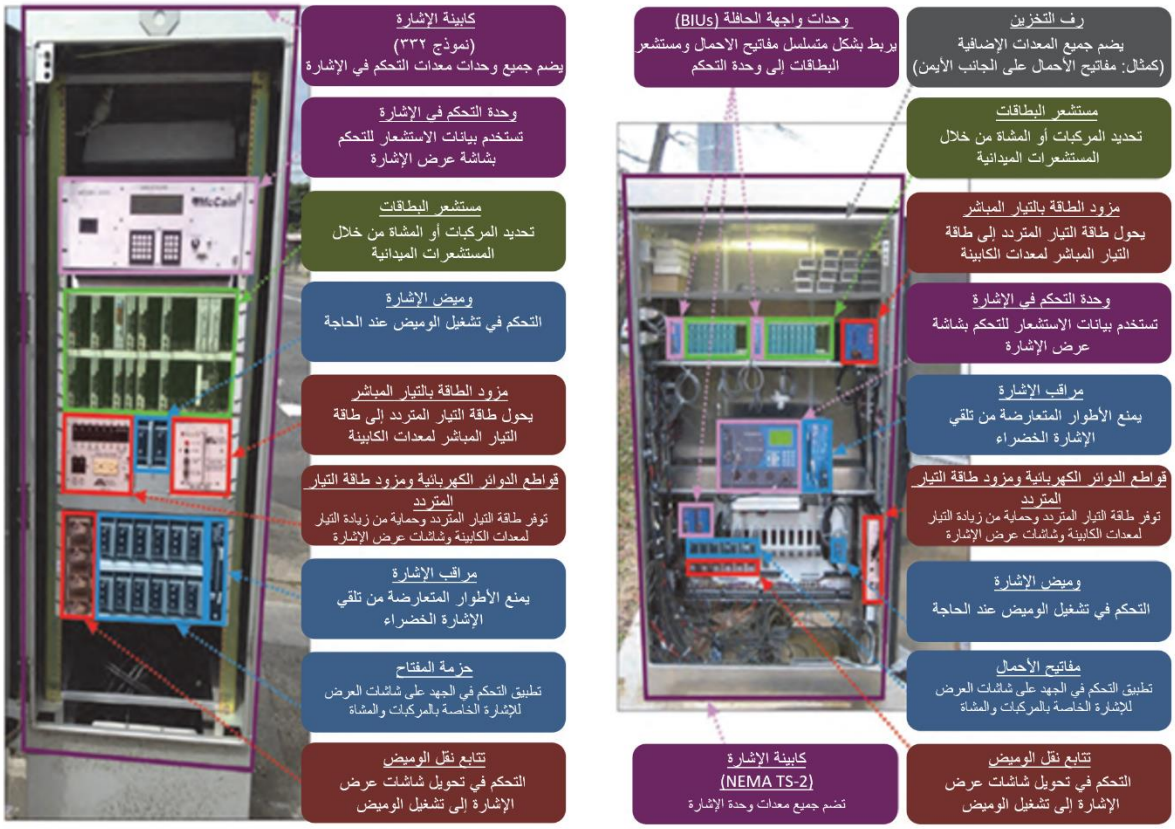
أ-٥-٢-٢ معدات كابينة الإشارة:

تشتمل كابينة الإشارة على معدات التحكم في الإشارات في تقاطع معيّن. يوضح



الشكل (أ–٢٤) المعدات الأساسية في كابينة الإشارة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibits 4-9 & 4-10).

الأجزاء النموذجية الموجودة في كابينة الإشارة Type 332 وكابينة الإشارة TS-2 المطورة بواسطة الرابطة الوطنية لمصنعي الأجهزة الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية. يختلف تصميم كبائن الإشارة وعمليات التشغيل الداخلية والمصطلحات الخاصة بها حسب أنماط عملها، وتتبادل الكبائن المتنوعة الوظيفة العامة والعديد من الأجزاء بشكل كبير مع معدات الإشارات الحديثة.



الشكل (أ–٢٤) المعدات الأساسية في كابينة الإشارة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibits 4-9 & 4-10).

يمكن التفريق بين أشكال الكبائن باستخدام مقاييس عديدة (على سبيل المثال: الحجم أو نوع التركيب)، ولكن أهم ما يميزها هو كيفية توصيل وحدة التحكم بمعدات الكابينة الأخرى. هناك نوعان من التوصيل: التوصيل على التوازي والتوصيل على التوالي. توصّل كابينة الإشارة التي تتضمن توصيلًا على التوازي بين وحدة التحكم وكل مدخل ومخرج فردي مباشرةً، بينما توصّل الكابينة التي تتضمن توصيلًا على التوالي بين وحدة التحكم ومعدات الكابينة من خلال واجهة تسلسلية.

أ-٥-٢-٣ شاشات العرض:

بعد معالجة عملية الاستشعار من خلال معدات كابينة الإشارة، يمكن استخدام شاشات عرض الإشارات لإرشاد مستخدمي التقاطع. ينبغي أن تتوافق شاشات العرض مع تحديد الأطوار الأولية والمستقبلية، وأن تُثبّت بشكل يوفر أقصى قدر من الرؤية الواضحة لجميع المستخدمين، وذلك لإتاحة تصميم آمن وفعّال للإشارة.

أ-٥-٢-٣-١ شاشات العرض الخاصة بالمركبات:

إنّ شاشات العرض الخاصة بالمركبات هي المؤشر الأكثر استخدامًا في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية.

مدى رؤية شاشة العرض:

يمكن أن تتطلب التقاطعات محدودة الرؤية و/أو التي تتضمن مداخل عالية السرعة توفر لافتات تحمل تحذيرًا سابقًا بوجود (إشارة مرور قادمة). على الرغم من أنه قد تومض بعض الإشارات الضوئية باستمرار، تزيد فعاليتها عند بدء تشغيلها قبل بداية عرض الإشارة الصفراء ببضع ثوانٍ. تتضمن بعض وحدات التحكم أنظمة تحذير مدمجة؛ لتحديد وقت تفعيل عرض اللافتة قبل إنهاء الطور المعني، ولكن معظم الأنظمة تستخدم تداخلًا بسيطًا لتفعيل عرض اللافتة في وقت محدَّد مسبقًا قبل عرض الإشارة الصفراء. تحدث التداخلات المحددة زمنيًا بعد رصد ثغرة في المرور وتؤدي إلى تقليل فعالية الاستشعار في منطقة اتخاذ القرار لأن المركبات يمكن أن تصل أثناء التداخل الزمني هذا. وتتضمن بعض وحدات التحكم ميزات ذكية للتغلب على هذا العائق.

شاشات العرض الخاصة بالانعطاف لليسار:

إن اختيار تحديد أطوار عرض إشارة الانعطاف لليسار هو القرار الأكثر مراعاةً والذي يجب اتخاذه بشأن تحديد الأطوار في أثناء تصميم أي تقاطع مزود بإشارة. يمكن تفسير طور الانعطاف لليسار استنادًا إلى العوامل التي ترتبط في الأساس بالمزايا التشغيلية أو الأمنية المتوفرة، بما فيها ما يأتي:

- أحجام حركات الانعطاف لليسار والمرور العابر المعاكس.
- عدد مسارات المرور العابر المعاكس ومسارات الانعطاف.
- طول الدورة.
- سرعة المرور المعاكسة.
- مسافة الرؤية.
- سجل الحادث.

تتضمن خيارات تحديد أطوار إشارة الانعطاف لليسار عند أحد التقاطعات: الأطوار المحمية وتحديد الأطوار المقسَّم والأطوار الممنوعة (كما هو موضح في الجزء الفرعي أ-٥-٣).

شاشات العرض الخاصة بالانعطاف لليمين:

ينبغي أيضًا مراعاة تعارضات المشاة وقواعد الانعطاف لليمين عند عرض الإشارة الحمراء عند اختيار نوع شاشة إشارة المرور المُستخدمة عند الانعطاف لليمين.

أ-٥-٢-٣-٢ شاشات العرض الخاصة بالمشاة:

يتوفر نوعان نموذجيان من شاشات العرض الخاصة بالمشاة: (١) شاشات مزودة بمؤقت بعدّ تنازلي مخصصة لفترات الإشارة الوامضة لحظر السير و(٢) شاشات من دون أي مؤقت بعد تنازلي. تتكافأ متطلبات توقيت الإشارة على كلا شاشتي عرض الإشارة الخاصتين بالمشاة. ينبغي للقارئ الاطلاع على كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري)؛ لمعرفة استخدام الشاشات التي تعرض عدًا تنازليًا للمشاة.

أ-٥-٢-٣-٣ شاشات العرض الخاصة بالدراجات:

يمكن تشغيل حركات الدراجات في الوقت ذاته مع أطوار المركبات الآلية، و/أو أطوار المشاة، أو تشغيلها بشكل مستقل عن طريق طور إشارة دراجات منفصلة. كثيرًا ما تُستخدَم شاشات عرض الدراجات في الأماكن التي يكون توفير أطوار إشارة خاصة بحركات الدراجات (و/أو توضيح التحكم المروري في تحركات الدراجات) مفيدًا للنتائج المرغوبة من عمليات التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية.

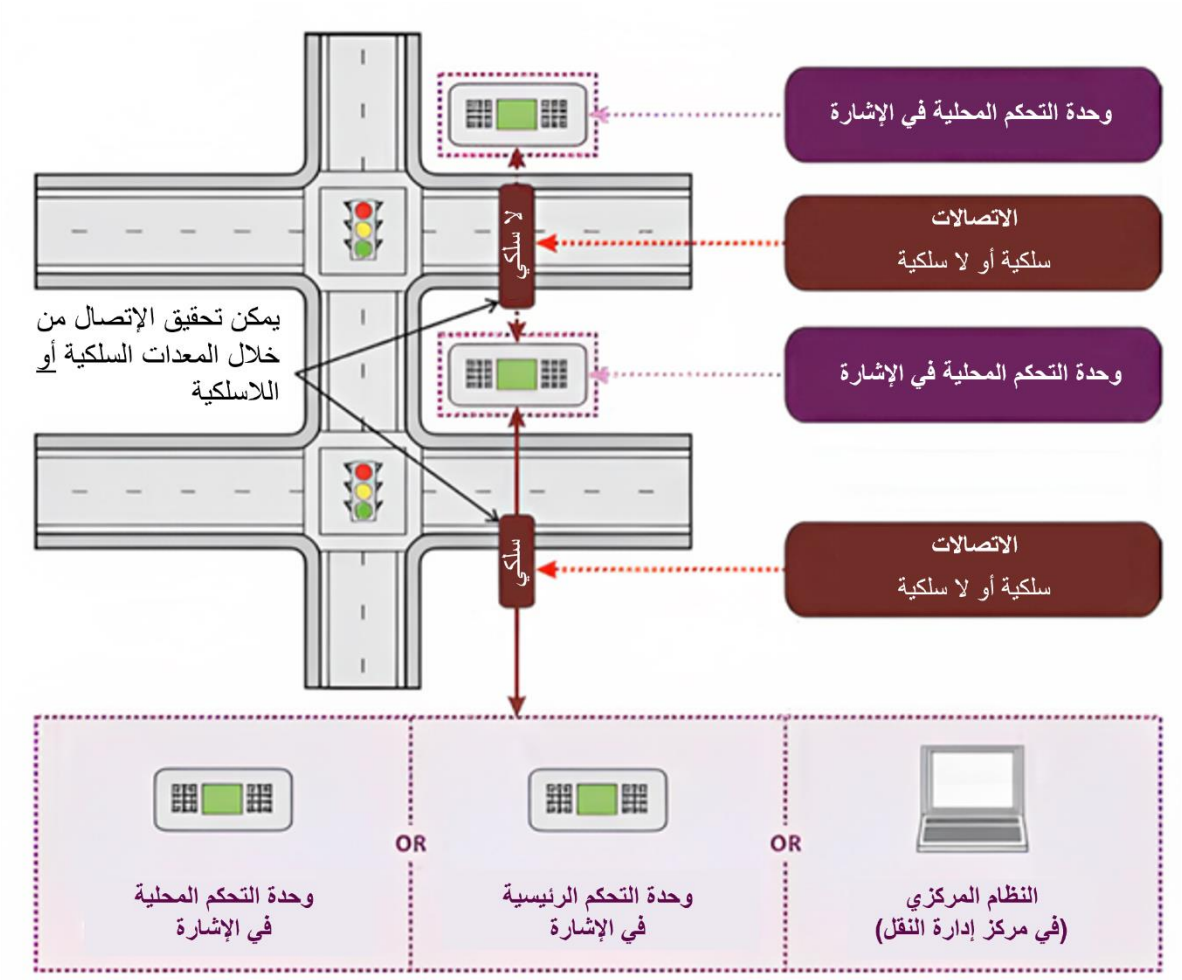
أ-٥-٢-٣-٤ شاشات العرض الخاصة بالنقل:

إذا كانت هناك حاجة إلى تحديد طور نقل حصرية (أو قد تكون هناك حاجة إلى ذلك مستقبلًا)؛ فينبغي أخذ هذه الحاجة في الحسبان عند اختيار كابينة الإشارة ووحدة التحكم.

أ-٥-٢-٤ تصميم الأنظمة المحكومة بإشارات مرورية:

بمجرد أن تُصمَّم التقاطعات الفردية بأجهزة الاستشعار، والكبائن، وشاشات العرض؛ فعادة ما يكون هناك حاجة إلى طريقة لنقل المعلومات والعمل كنظام واحد. من منظور خاص بالصيانة والتشغيل، ينبغي أن يكون هناك نوعًا من الاتصال بين كل تقاطع؛ لأهمية ذلك في تحديث الساعة المحلية، ومراقبة الأعطال، والوصول إلى بيانات الأداء، والقيام بتعديلات التوقيت عن بعد. يمكن تحقيق الاتصال عن طريق الربط بين وحدات التحكم في الإشارة ووحدة التحكم الميدانية الرئيسة/وحدة التحكم الرئيسة أو توصيل وحدات التحكم في الإشارة بأجهزة مركزية تشرف عليها بشكل مباشر. ويتكون نظام إشارات المرور عادةً من الآتي (كما هو موضح في الشكل أ-٢٥):

- مجموعة من وحدات التحكم المحلية.
- معدات الاتصالات، أي قنوات توصيل وأسلاك، وبرامج.
- وحدة تحكم "رئيسة، أو نظام "مركزي.



الشكل (أ–٢٥) المكونات المادية لنظام الإشارات المتصلة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 4-24).

يسمح نظام الاتصالات بمراقبة الممارس للإشارات عن بُعد وتحميل/تنزيل معلومات توقيت الإشارة من أي وحدة تحكم فردية من وحدات التحكم في الإشارة، وكذلك يسمح للنظام بالمزامنة للتحكم القائم على الوقت خلال اليوم. وتسمح صور مقاطع الفيديو التي تُبثّ بتغيير متطلبات الاتصال بنظام الصورة الكبيرة، بينما تمنح الممارسين القدرة على المراقبة البصرية لعمليات الإشارة والتوقيت ذي الصلة عن بعد.

عادة ما تقع خطط توقيت الإشارة في نطاق مهام وحدات التحكم المحلية في الميدان، ويمكن أن تقع كذلك ضمن نطاق قاعدة بيانات النظام المركزي. يمكن أن تشتمل خطط التوقيت لمعظم الأنظمة التي لا تتحكم في التقاطعات مباشرةً من خلال النظام المركزي على معلمات توقيت تُعدَّل عن طريق (١) الإدخال اليدوي لمعلمات جديدة مباشرةً في وحدة التحكم أو (٢) تنزيل عناصر جديدة من برنامج حاسب (أي عن طريق اتصال تسلسلي مباشر أو اتصال إيثرنت أو مودم طلب هاتفي).

أ-٥-٣ مقدمة لخطط التوقيت:

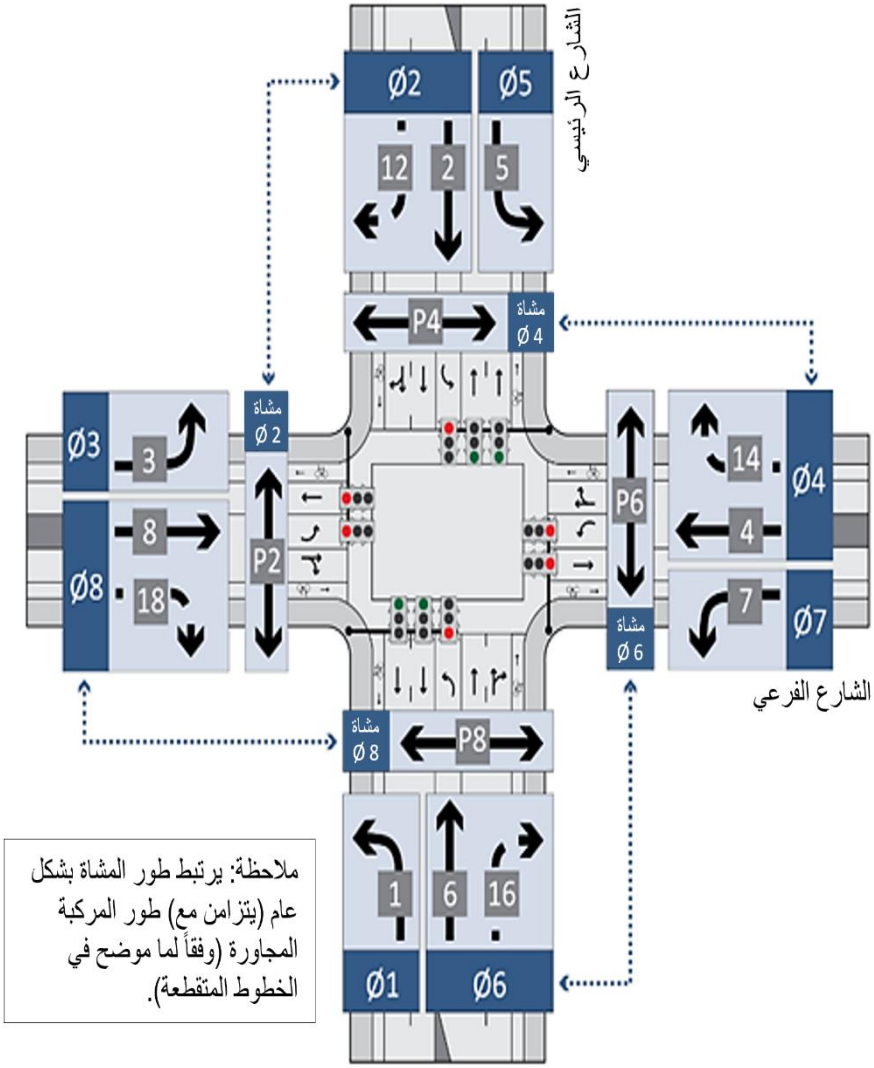
أ-٥-٣-١ مفاهيم توقيت الإشارة الأساسية:

يوجد العديد من معلمات توقيت الإشارة التي ينبغي تحديدها لكل مجموعة مستخدمة للتقاطع لكل فترة زمنية خلال اليوم. من أجل المحافظة على نظام المعلمات، طور الممارسون اتفاقات تخص كيفية الإشارة للحركات، وكيفية ترقيم الأطوار، وكيفية عمل التداخل، وكيفية توافق هذه الحركات والأطوار والتداخلات مع أجهزة الاستشعار الخاصة بكبائن الإشارة وشاشات العرض.

أ-٥-٣-١-١ ترقيم الطور والحركة:

تصف الحركات تحركات المستخدم عند أي تقاطع؛ حيث إنه يمكن أن يكون هناك اثنتا عشرة حركة للمركبات في اتجاه واحد وأربع حركات للمشاة في اتجاهين، وذلك عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية (بأربعة مداخل). يمكن تخصيص رقم مرجعي لكل حركة من هذه الحركات. وينبغي تخصيص أرقام الحركات كما هو موضح في (موضح بواسطة المربعات الرمادية). ويجب إعطاء رقم خاص لكل حركة انعطاف لليمين (بعيدًا عن المرور العابر) عن طريق إضافة ١٠ إلى رقم المرور العابر المجاورة. وينبغي فهم الممارس الفرق بين تخصيصات المسار والحركات ذات الصلة. ويرجى ملاحظة إمكانية حدوث حركة واحدة في مسارات متعددة (على سبيل المثال: حركة مرور عابر في مسارين)، أو حركات متعددة في مسار واحد (على سبيل المثال: مسار المرور العابر/الانعطاف لليمين) ((TRB, (2022).

وطور إشارة المرور هي عملية توقيت من خلال وحدة التحكم في الإشارة حيث تُسهل التعامل مع حركة واحدة أو أكثر في الوقت نفسه (لواسطة نقل واحدة أو أكثر للمستخدمين). ينبغي على الممارس تخصيص أرقام أطوار للحركات عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية؛ بهدف البدء في تحديد قيم توقيت الإشارة. عمومًا، سيتبع التقاطع رباعي القوائم النموذجي ذو حركات الانعطاف لليسار المحمية (الحركات المحمية لها حق المرور قبل الحركات الأخرى) ترقيم الأطوار المعروض في (كما هو موضح في المربعات الزرقاء). يجمع نظام ترقيم الأطوار بين حركات المرور العابر وحركات الانعطاف لليمين التي يمكن أن تكون مصرحًا بها (ما يعني أن القيام بها ممكنًا بعد إفساح المجال لحركات المشاة والدراجات المتعارضة). يمكن أن تكون حركة الانعطاف لليمين محمية وموقتة باستخدام التداخل.



الشكل (أ–٢٦) الحركات النمطية ونظام ترقيم أطوار الإشارة (مع انعطاف لليسار محمٍ) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-1).

بموجب خطة ترقيم الأطوار النموذجية، توجد العديد من الاتفاقيات التي ينبغي على الممارس محاولة اتباعها:

- عادة ما ترتبط الأطوار **الزوجية** بتحركات **عابرة**.
- يمثل الطوران ٢ و٦ حركات المرور العابر في الشارع الرئيس بشكل عام.
- يمثل الطوران ٤ و٨ حركات المرور العابر في الشارع الفرعي بشكل عام.
- عادة ما ترتبط الأطوار **الفردية** بحركات **الانعطاف لليسار**.
- يمثل الطوران ١ و٥ حركات الانعطاف لليسار في الشارع الرئيس بشكل عام.
- يمثل الطوران ٣ و٧ حركات الانعطاف لليسار في الشارع الفرعي بشكل عام
- عادة ما تكون أطوار **المشاة** مصممة لتعمل في الوقت نفسه مع أطوار المركبات زوجية الرقم. وبشكل عام، تُمنح أطوار المشاة **رقم الطور ذاته مثل أطوار المركبات الموازية والمجاورة.**
- يمثل طورا المشاة ٢ و٦ حركات المشاة في الشارع الرئيس بشكل عام.
- يمثل طورا المشاة ٤ و٨ حركات المشاة في الشارع الفرعي بشكل عام.

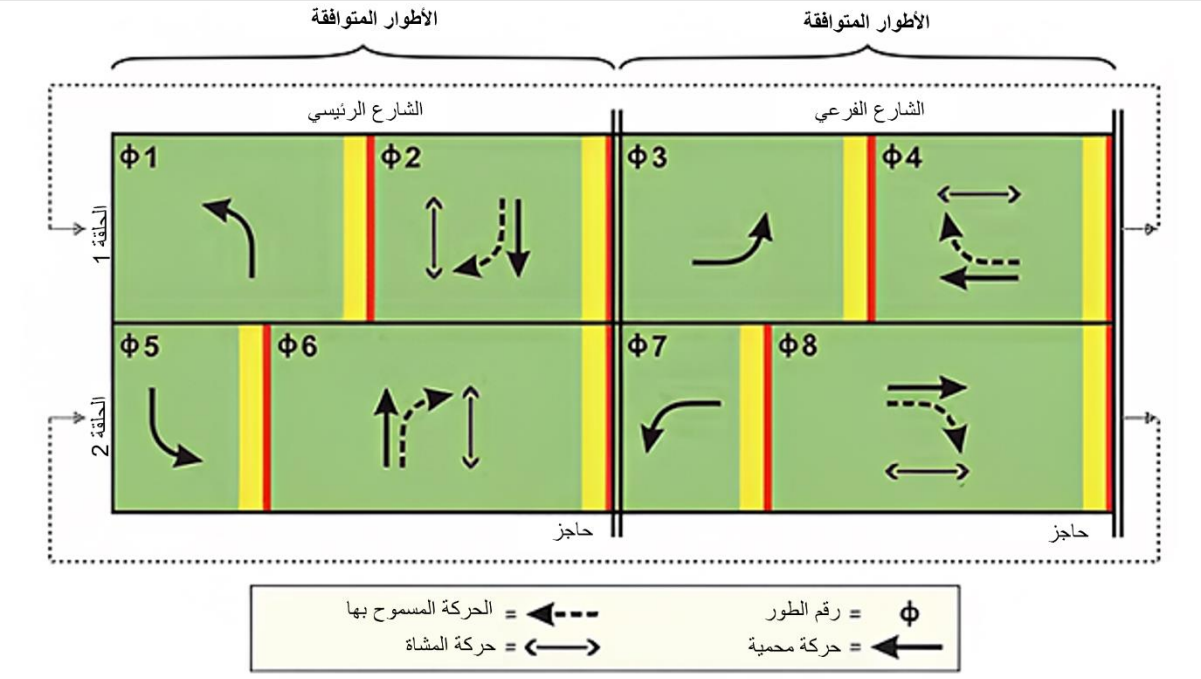
نقترح المحافظة على خطة ترقيم أطوار ثابتة وذلك من خلال اختصاص محدد بغية تجنب حدوث التباس. على سبيل المثال: يُعرَّف الطور ٢ دائمًا على أنها المرور العابر في الشوارع الرئيسة في اتجاه الشمال (أو الشرق)، أو بدلًا عن ذلك، كطور منسق (بغض النظر عن الاتجاه). سيتبع الجزء تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها دائمًا اتفاقية أن الطورين ٢ و٦ هما طورا الشوارع الرئيسة، وأنهما طوران منسقتان عند الخضوع للعمليات المنسقة.

أ-٥-٣-١-٢ مفهوم الحلقة والحاجز:

تحدد الحلقات والحواجز بشكل أساسي طريقة تنظيم وحدة التحكم للأطوار؛ لتوقت الأطوار المتوافقة معًا حتى لا يحدث أي تعارض.

- **الحلقة**: تعرض الحلقة تسلسل من الأطوار المتعارضة. تتيح عمليات الحلقة الثنائية (أو المزدوجة) تشغيل الأطوار المتوافقة في آن واحد (أي في الوقت نفسه) مع الأطوار في الحلقة الأخرى.
- **الحاجز**: الحاجز هو النقطة التي يجب خلالها انتهاء الأطوار في الحلقتين في آن واحد. وتفصل الحواجز عادة بين أطوار الشوارع الرئيسة والفرعية.

يحتوي مخطط الحلقة والحاجز المقدم كمثال في الشكل (أ-٢٧) على حلقتين وحاجزين لتنظيم ثماني أطوار. يرجى ملاحظة أن أطوار الانعطاف لليسار محمية وقبلية (أي تسبق حركات المرور العابر)، وهو الطور الشائع للتقاطع رباعي المداخل وطور الانعطاف لليسار المحمي.



الشكل (أ–٢٧) مخطط الحلقة والحاجز الأساسي (المصدر:Exhibit 5-3 – (NCHRP, (2015).

تعرف الأطوار الواقعة بين حاجزين باسم **الأطوار المتوافقة** (كما هو موضح في الشكل **أ-٢٧**). تطبق العديد من القواعد بين الحواجز كما يأتي:

- يمكن توقيت أي طور في الحلقة ١ مع أي طور في الحلقة ٢. على سبيل المثال: (في الشكل **أ-٢٧**)، تعد الأطوار ١ و٢ و٥ و٦ أطوار متوافقة، لذلك يمكن توقيت الطورين ١ أو ٢ مع الطورين ٥ أو ٦. وبشكل مماثل، تعد الأطوار ٣ و٤ و٧ و٨ أطوار متوافقة؛ لذلك يمكن توقيت الطورين ٣ أو ٤ مع الطورين ٧ أو ٨.
- يمكن تخطي أي طور في الحلقة و/أو إعطاء وقت غير مستخدم لطور آت في هذه الحلقة. على سبيل المثال: (في الشكل أ-٢٧)، يمكن أن يمنح طور ١ وقت لطور ٢، ويمكن أن يمنح طور ٥ وقت لطور ٦. كبديل عن ذلك، يمكن تخطي الطورين ٣ و٧ إذا لم تكن هناك حاجة لهما.
- وخضوعًا للقواعد الإضافية الموصوفة في الجزء الفرعي (أ-٥-٤)، يمكن أن تدعم حلقة واحدة فقط توقيت الأطوار (أي، في الحلقة الأخرى، تبقى جميع الأطوار في اللون الأحمر).

أ-٥-٣-١-٣ تحديد أطوار الانعطاف لليسار:

يوجد ثلاث خيارات للانعطاف لليسار في التقاطع (ملخصة في الجدول أ-٣٢): طور محمي، وطور تجزؤ، وطور محظور. في العموم، يكون نوع الطور المستخدم لحركة الانعطاف لليسار هو نفسه المستخدم لحركة الانعطاف لليسار المعاكس. على أي حال، لا يعد ذلك مطلبًا؛ حيث ينبغي أن يكون طور الانعطاف لليسار قائمة على حركة خاصة ومحددة وفقًا لمجموعة متنوعة من عوامل السلامة والتشغيل.

الجدول (أ–٣٢) خيارات طور الانعطاف لليسار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-4 revised).

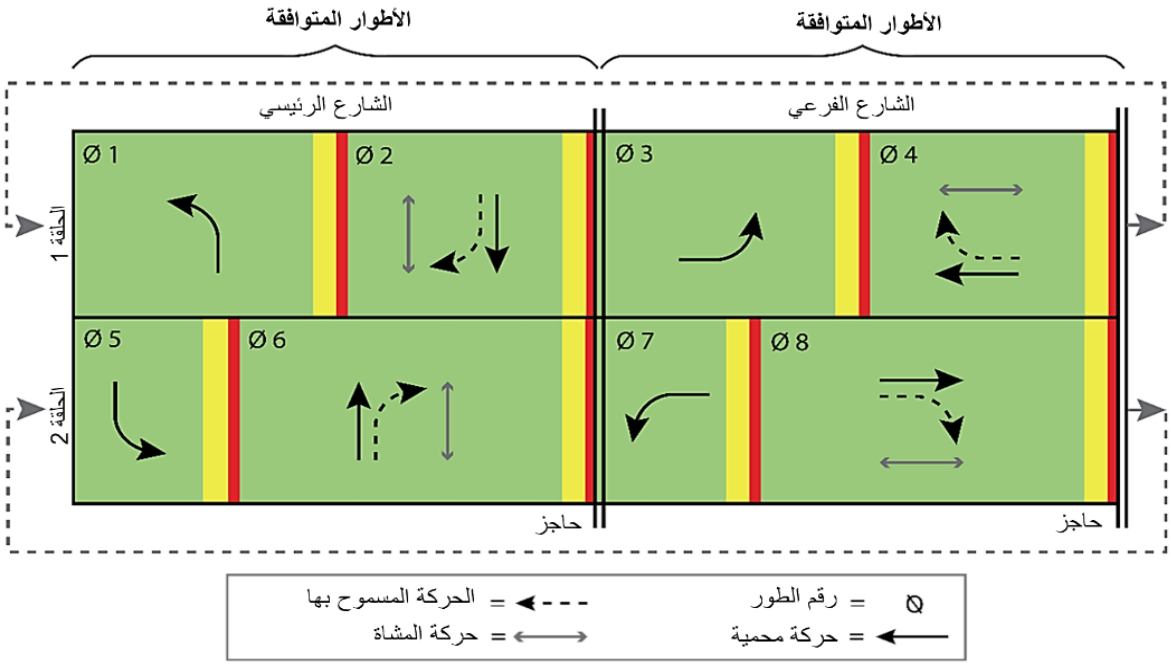
خيار طور الانعطاف لليسار	الوصف	المزايا	التحديات
طور الانعطاف لليسار المحمي.	تحظى المركبات المنعطفة لليسار بحرم طريق دون أي حركات متعارضة.	☐ فترات تأخير أقل للمركبات المنعطفة لليسار. ☐ يحصل المستخدمون دائمًا على حرم طريق حصري، مع عدم وجود حاجة إلى تحديد الثغرات الموجودة في المرور.	☐ فترات تأخير زائدة في التقاطع.
طور التجزؤ.	هي تخصيص حرم الطريق لجميع الحركات في مدخل محدد، متبوعة بجميع الحركات من المدخل المعاكس.	☐ تتناسب مع استخدام المسارات المشتركة (أي المسار الأيسر/مسار المرور العابر). ☐ ضرورية عند تداخل طرق الانعطاف لليسار المعاكس بسبب هندسة التقاطع. ☐ تجنب التعارض بين المركبات المنعطفة لليسار المعاكس.	☐ طول دورة منسقة زائد، خاصةً في حالة وجود أطوار مشاة متزامنة مع مرحلتي التجزؤ. ☐ أقل كفاءة من الأنواع الأخرى من أطوار الانعطاف لليسار.
طور الانعطاف لليسار المحظور.	تطبق للمحافظة على الحركة في التقاطع عن طريق استخدام لافتة "ممنوع الانعطاف لليسار" (خاصة في الأوقات التي تكون فيها الثغرات غير متاحة خلال اليوم).	☐ تقليل التعارضات في التقاطع.	☐ على المستخدمين إيجاد مسارات بديلة.

خيارات طور الانعطاف لليسار:

طور الانعطاف لليسار المحمي:

عمليات الانعطاف لليسار المحمية موضحة في الشكل (أ-٢٨) وتتميز بالمواصفات الآتية:

- حرم *الطريق*: يخصص طور الانعطاف لليسار المحمية حرم الطريق للمستخدمين الذين ينعطفون لليسار في التقاطع.
- *شاشات العرض*: تتيح الانعطاف عندما يُعرَض السهم الأخضر فقط.
- *أوضاع التقاطع*: هذا الطور يدعم عادةً مسار انعطاف لليسار حصري.
- *النقاط الإيجابية*: هذه العملية متوفرة؛ لتقديم خدمة انعطاف لليسار فعالة وتعد من أكثر عمليات الانعطاف لليسار أمانًا.
- *التحديات*: يزيد طور الانعطاف لليسار الإضافية الوقت الضائع خلال طول الدورة ويمكن أن تتسبب في زيادة التأخير في الحركات الأخرى.

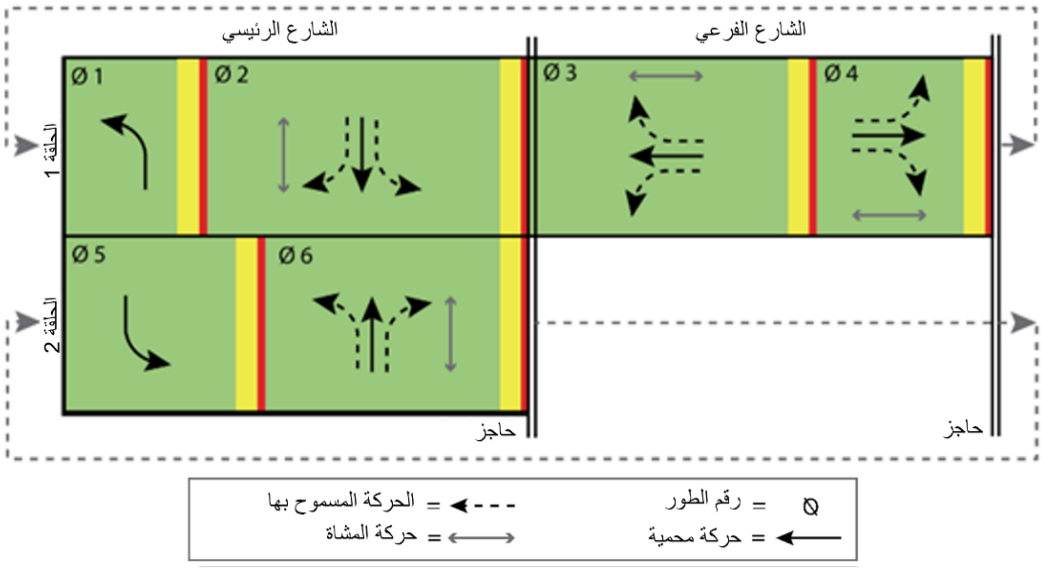


الشكل (أ–٢٨) مخطط حلقة وحاجز لتوضيح طور الانعطاف لليسار المحمية (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-6).

تحديد أطوار التجزؤ:

تحديد أطوار التجزؤ مصور في مخطط الحلقة والحاجز في الشكل (أ-٢٩) ويتميز بالمواصفات الآتية:

- *حرم الطريق*: يخصص طور التجزؤ حرم الطريق لجميع الحركات في مدخل محددة، متبوعة بجميع الحركات من المدخل المعاكس.
- *شاشات العرض*: يستخدم طور التجزؤ نوع شاشات العرض المُستخدمة في التشغيل المحمي، لكن تتطلب برمجة إضافية لوحدة التحكم.
- *أوضاع التقاطع*: يمكن أن يكون طور التجزؤ ضرورية عند تواجد الشروط الآتية ((Chandler, et al., (2013):
- وجود حاجة لتوفير مسار انعطاف لليسار أو أكثر في المداخل المقابلة، مع عدم توافر عرض كافٍ لضمان الفصل الكافي بين مسارات المركبات في وسط التقاطع. ويمكن أن تحدث هذه الحالة بسبب زاوية التخالف في التقاطعات الكبيرة.
- حجم مسار الانعطاف لليسار الأكبر يتساوى مع حجم مسار المرور العابر المعاكس أثناء أغلب ساعات اليوم. (حجم المسار يمثل حجم الحركة مقسوم على عدد الحركات التي تخدم هذا الغرض).
- عرض الطريق مقيد؛ حيث تتشارك حركات المرور العابر والانعطاف لليسار في مسار المدخل، لكن يظل حجم الانعطاف لليسار كافيًا لتوضيح طور الانعطاف لليسار.
- يتميز أحد المدخلين بحجم كبير، بينما يتميز المدخل الآخر بحجم صغير، ويستخدم جهاز تحكم مشغلًا. في هذه الحالة، نادرًا ما يحدث الطور المرتبط بالمدخل منخفض الحجم، وغالبًا يعمل التقاطع كأنه تقاطع على شكل حرف (T).
- يشير سجل الاصطدامات إلى حدوث عدد كبير غير معتاد من الاصطدامات وجهًا لوجه أو الاصطدامات من الجانب في منتصف التقاطع المتضمن مركبات منعطفة لليسار.
- *النقاط الإيجابية*: يمنع تحديد الأطوار التجزؤ حدوث تعارض بين المركبات المنعطفة لليسار المعاكس.
- *التحديات*: هذا الطور أقل كفاءة من الأنواع الأخرى من أطوار الانعطاف لليسار بشكل عام. وعادة تسبب في زيادة طول الدورة، أو عند ثبات طول الدورة يقل الوقت المتاح للطريق المتقاطع ((Chandler, et al., (2013).



الشكل (أ–٢٩) رسم بياني لحلقة-و-حاجز يعرض الأطوار المجزأة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-8).

طور الانعطاف لليسار المحظور

تعد حركات الانعطاف لليسار المحظور خيارًا من خيارات تحديد الأطوار وتتميز بالمواصفات الآتية:

- حرم *الطريق*: قد يكون الانعطاف لليسار محظورًا في أثناء بعض أوقات اليوم أو خلال اليوم كله.
- *شاشات العرض*: عند حظر الانعطاف لليسار أغلب أوقات اليوم، لا تصبح هناك حاجة إلى شاشات عرض الإشارة، لكن يكون هناك حاجة إلى لافتة (ممنوع الانعطاف لليسار). عند حظر الانعطاف لليسار خلال أوقات محددة من اليوم (عند عدم توافر ثغرات في المرور)، يجب اختيار شاشات العرض وفقًا للطور المناسب ويجب وضع لافتة إضافية.
- *النقاط الإيجابية*: يمكن أن يساعد حظر الانعطاف لليسار على المحافظة على التنقل في التقاطع.
- *النقاط السلبية*: يجب أن تجد المركبات التي ترغب في الانعطاف لليسار مسارات بديلة.

تسلسل طور الانعطاف لليسار:

بغض النظر عن طور الانعطاف لليسار التي تم تطبيقها، يمكن أن يكون من المفيد بموجب ظروف معينة تغيير التسلسل الذي تتبعه أطوار الانعطاف لليسار (طبقًا أطوار المرور العابر). خيارات التسلسل الثلاثة المتوفرة هي: المتقدم-المتقدم والمتأخر-المتأخر والمتقدم-المتأخر.

تسلسل أطوار الانعطاف إلى اليسار الأكثر شيوعًا هو **التسلسل المتقدم-المتقدم** الذي يبدأ في أطوار الانعطاف لليسار المعاكس قبل أطوار المرور العابر (راجع الشكل أ-٢٨ للاطلاع على مثال). تتضمن مزايا خيار التسلسل هذا ما يأتي:

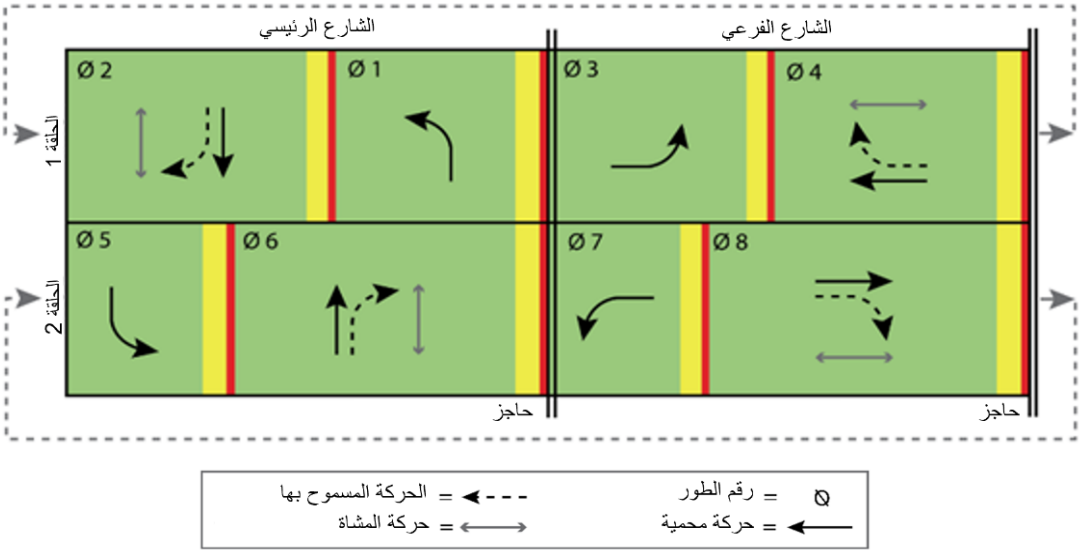
- يستجيب المستخدمون بسرعة لمؤشر السهم الأخضر المتقدم.
- أنه يقلل التعارض بين حركات الانعطاف لليسار وحركات المرور العابر في الاتجاه نفسه، خصوصًا عندما يتجاوز حجم الانعطاف لليسار مساحة التخزين المتاحة (أو عندما لا يتوفر مسار للانعطاف لليسار).
- أنه يوفر وقتًا غير مستخدم لحركات المرور العابر.

من ناحية أخرى، إن **التسلسل المتأخر-المتأخر** يستخدم أطوار الانعطاف لليسار المعاكس بعد أطوار المرور العابر. غالبًا ما يُستخدم هذا التسلسل في أنظمة منسقة بإشارات متقاربة (على سبيل المثال، محول على شكل معين). تتضمن عيوب تأخير أطوار الانعطاف لليسار ما يأتي:

- يميل المستخدمون إلى عدم الاستجابة بسرعة لمؤشر السهم الأخضر المتأخر.
- في حالة عدم وجود مسار انعطاف لليسار (أو كانت قصيرة نسبيًا)، فيمكن أن تتسبب المركبات المنعطفة لليسار الواقفة في صف الانتظار في سد مسار المرور العابر الداخلي في أثناء طور المرور العابر الأولية.

يمكن كذلك تشغيل الانعطافات المعاكسة لليسار في **تسلسل متقدم-متأخر**؛ حيث تبدأ وتنتهي في أوقات مختلفة بالنسبة إلى أطوار المرور العابر (كما هو موضح في الطورين ١ و٥ في الشكل أ-٣٠). ويتم استخدام هذا التسلسل بشكل عام لاستيعاب تقدم المرور العابر في نظام إشارة منسق (نوقش في الجزء الفرعي أ-٥-٥). يمكن أن يكون للأطوار المتقدمة-المتأخرة فوائد تشغيلية للحالات الآتية:

- عندما لا توجد مساحة كافية في التقاطع لاستيعاب الخدمة المتزامنة لحركات الانعطاف المعاكس إلى اليسار بشكل آمن. (يجب استخدام تهيئة مناسبة لوحدة التحكم لضمان عدم تزامن أطوار الانعطاف لليسار).
- التقاطعات عندما لا تُزوَّد حركات الانعطاف لليسار المتقدمة بمسار حصري (أو تكون مساحة التخزين المتاحة للانعطاف لليسار صغيرة نسبيًا).

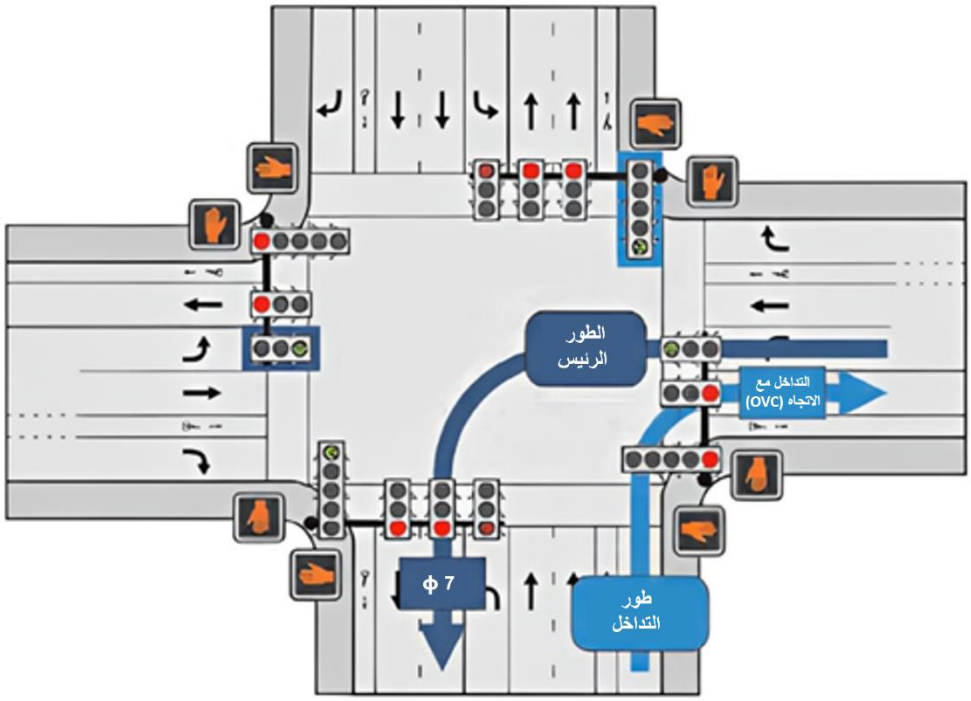


الشكل (أ–٣٠) رسم بياني لحلقة-و-حاجز يعرض أطوار الانعطاف لليسار المحمية المتقدمة-المتأخرة (المصدر: NCHRP, Exhibit 5-10 – (2015)).

أ-٥-٣-١-٤ تداخلات:

توفر التداخلات طريقة لتشغيل الحركة بطور واحد أو أكثر. في حين أن التداخلات غالبًا ما ترتبط بشكل غير صحيح بحركات متعددة ذات اتصال ثابت للطور نفسه في كابينة الإشارة (على سبيل المثال: يتصل سهم الانعطاف لليمين بطور انعطاف لليسار متوافق)، وتتطلب التداخلات الفعلية مفتاح الحمل وتوقيت الإشارة المصاحب. ويمكن أن تختلف التداخلات بشكل كبير في إمكاناتها وكيفية كونها فترات زمنية محددة. وعند استخدام التداخلات، فإن اختبار المقاعد هو أفضل نهج دائمًا لفهم كيف يضاعف التداخل مخرجه بالفعل.

يتم التحكم في التداخلات من خلال الأطوار الرئيسة (التي عادةً ما تضيف الأطوار معًا) وأطوار التعديل (التي عادةً ما تستبعد التشغيل في أثناء أطوار التعديل) وتتيح للحركات غير المتعارضة تلقي الضوء الأخضر وفقًا لقواعد التداخل (كما هو موضح من خلال المثال في الشكل أ-٣١). في حين أن حركة التداخل للانعطاف لليمين في هذا المثال يمكن توصيلها مباشرةً بالطور الرئيس للانعطاف لليسار (ومن ثم، تُسمَّى بشكل غير صحيح بالتداخل لأنها تحقق النتيجة نفسها)، فإن التخلص من استخدام مفتاح الحمل المتداخل يقلل المرونة في توقيت الإشارة.

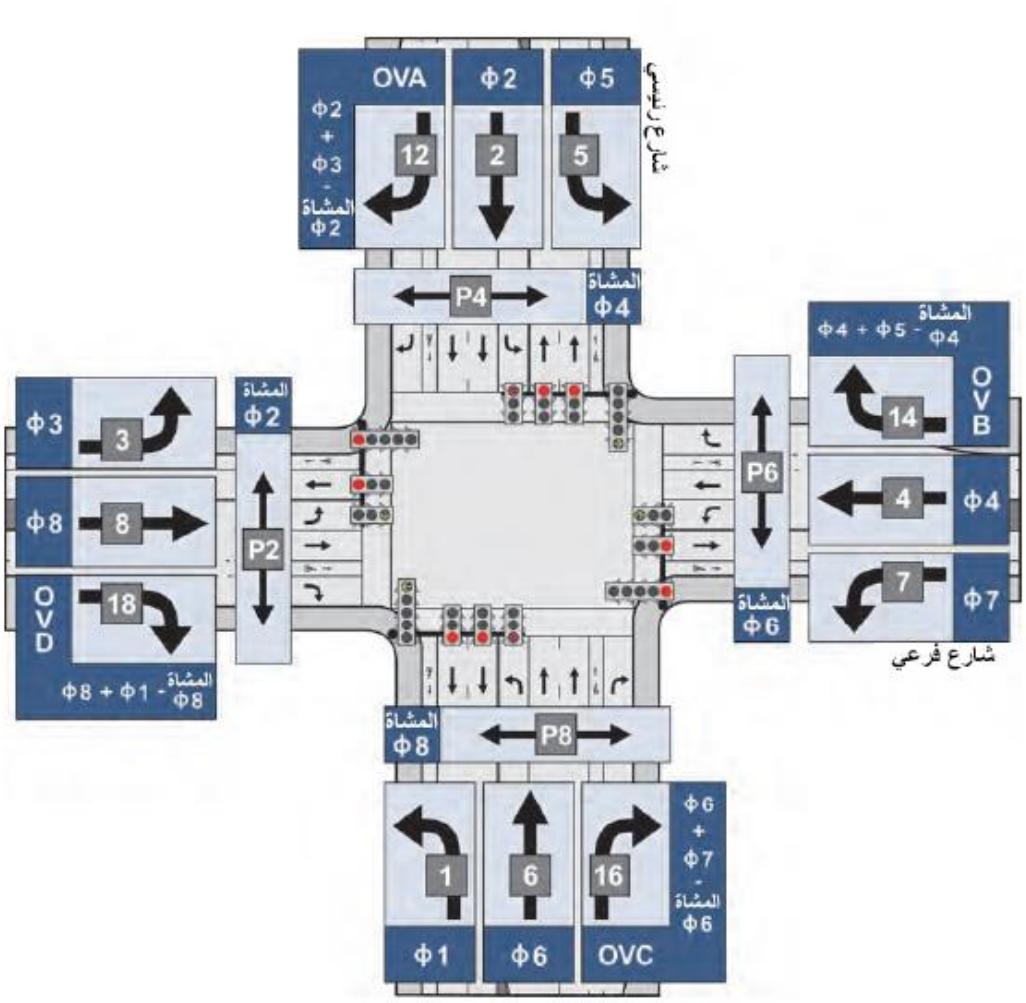


الشكل (أ–٣١) مثال على التداخل والطور الرئيس (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-11).

يمكن استخدام التداخلات لدمج الأطوار لأي حركات غير متعارضة، ولكن غالبًا ما تُستخدَم لحركات الانعطاف لليمين؛ حيث توجد مسارات حصرية للانعطاف لليمين. بالنسبة إلى التداخلات الخاصة بالانعطاف لليمين، يُعد الطور الرئيس عادةً طور الانعطاف لليسار المتوافق. ومع ذلك، من الممكن كذلك تشغيل التداخلات الخاصة بالانعطاف لليمين (وفقًا لتعارضات المشاة المناقشة أدناه) مع كل من طور المرور العابر المجاور وطور الانعطاف لليسار المتوافق. يوضح الشكل (أ-٣٢) مخطط ترقيم بالحروف للطور الشائع للتداخلات الخاصة بالانعطاف لليمين. (لاحظ أن التداخلات تُرقَّم كذلك في بعض الأحيان)

تحتوي بعض وحدات التحكم في إشارات المرور على ميزة تسمح بحذف تداخل الانعطاف لليمين عندما يكون طور المشاة المتعارض نشطًا (من خلال استخدام طور المشاة المعدل). وتعد هذه الميزة مطلوبة إذا ارتبط طور المشاة بحركة مرور المركبات العابرة. إذا سُمِح لسهم الانعطاف لليمين بالتحول إلى اللون الأخضر في وقت عرض المرور العابر نفسه (وتوضع إشارة للمشاة)؛ فإن المركبات المنعطفة لليمين ستتعارض مع المشاة الذين يتلقون إشارة السير. وستتيح ميزة تعديل التداخل بأن يكون لتداخل الانعطاف لليمين حركات انعطاف لليسار متوافقة وحركات مرور عابر متجاورة معًا مثل الأطوار الرئيسة.

يؤدي تعيين طور المشاة المتعارض كطور تعديل (تسمى كذلك حماية المشاة، أو عدم تداخل المشاة، أو طور المشاة المتعارض، أو طور المشاة السلبي، أو تجاهل اللون الأخضر) إلى استبعاد تداخل الانعطاف لليمين فقط عندما يُشار إلى المشاة في المرور العابر المجاورة. فمن دون طور تعديل المشاة، ينبغي أن يعمل تداخل الانعطاف لليمين كحركة مسموح بها مع المرور العابر المجاورة لتجنب تعارضات المشاة (ما يعد أقل كفاءة). يوفر الجدول (أ-٣٣) ملخصًا لإعدادات التداخل النموذجية عند الانعطاف لليمين عند تقاطع قياسي من ثمانية أطوار، بافتراض توفير التداخلات لجميع الحركات الأربع للانعطاف لليمين. فتفترض تسميات الطور الرئيس مخطط ترقيم الطور الموضح في الشكل (أ-٣٢).



الشكل (أ–٣٢) الترقيم النموذجي لطور التداخل للانعطاف لليمين بالحروف (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-12).

الجدول (أ–٣٣) إعدادات التداخل النموذجية للانعطاف لليمين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-13).

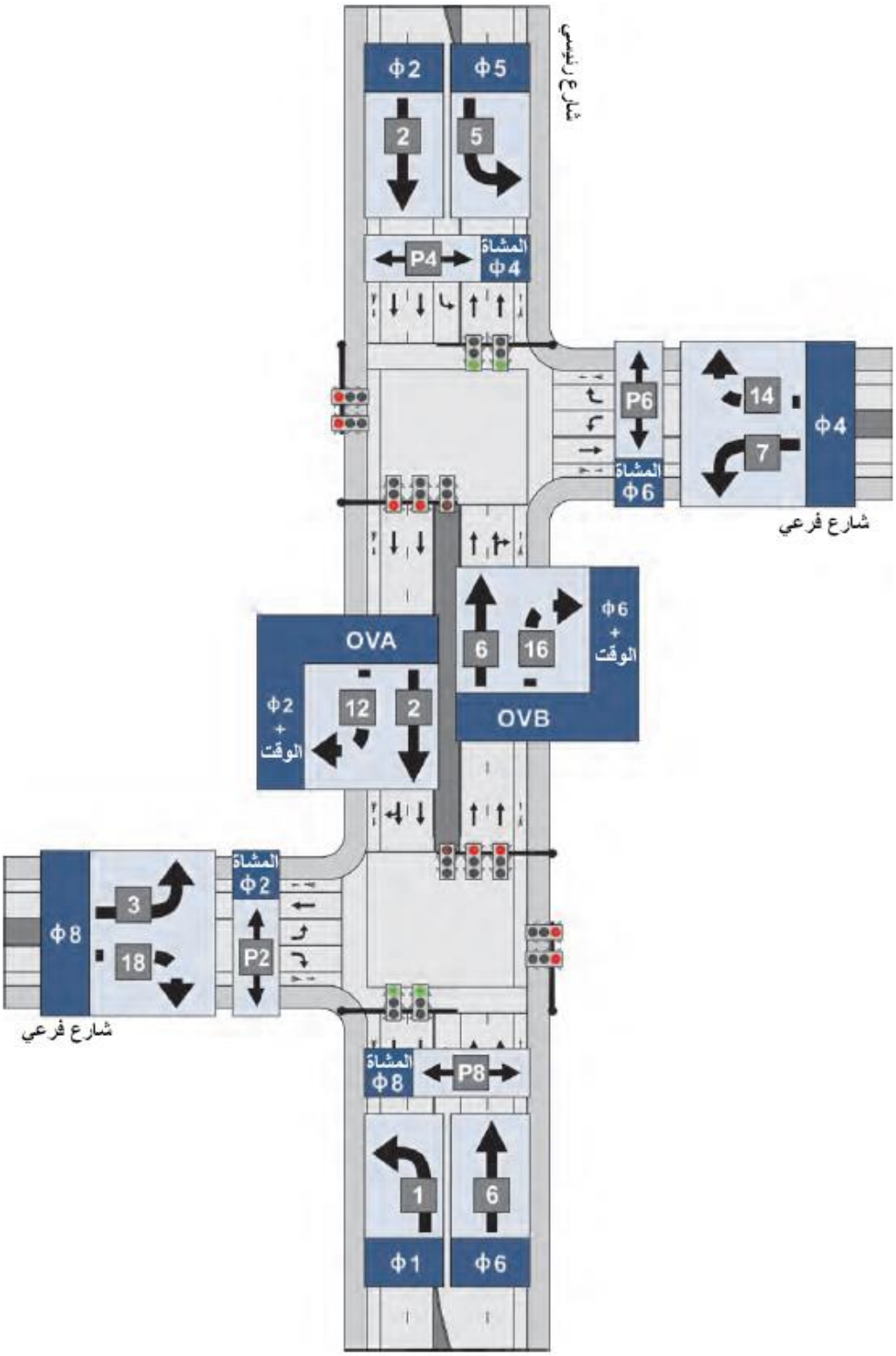
رقم الحركة	حرف التداخل[٢]	الطور الرئيسة	طور تعديل المشاة لتجاهل تداخل الانعطاف لليمين (إن وجد)
١٢	A	٣ & ١٢	2P
١٤	B	٥ &١٤	4P
١٦	C	٧ &١٦	6P
١٨	D	١ & ١٨	8P

ملاحظات:

١- ينبغي عدم تضمين هذه الأطوار كأطوار رئيسة إذا لم تتوفر ميزة وحدة التحكم لتجاهل تداخل الانعطاف لليمين مع أطوار المشاة المتعارضة النشطة.

٢- يمكن أن يكون للجهات تخصيصات مختلفة وفقًا لتفضيلاتها.

التداخل اللاحق هو تطبيق تداخل شائع الاستخدام في التقاطعات المتقاربة (على سبيل المثال: تقاطعان متقاربان على شكل حرف T). ويستمر التداخل اللاحق في التوقيت بعد انتهاء الطور الرئيس. يوضح الشكل (أ-٣٣) مثالًا للتقاطع حيث يمكن تطبيق التداخلات اللاحقة. وتُخصّص أطوار للحركات المقتربة من نظام التقاطع الثنائي بطريقة نموذجية (على غرار المثال الموجود في الشكل أ-٢٦). ما يميز هذا النوع من التشغيل هو الحركات الموجودة بين التقاطعات. وفي هذه الحالة، يتم تعيين الحركة المتجهة جنوبًا إلى التداخل (A) (الذي يشتمل على الطور ٢ كطور رئيس) ويتم تعيين الحركة المتجهة شمالًا إلى التداخل (B) (الذي يشتمل على الطور ٦ كطور رئيس). تختلف التداخلات اللاحقة عن التداخلات القياسية نظرًا إلى أنها تتناسب مع الطور الرئيس **بالإضافة إلى** مقدار معين من الوقت بعد انتهاء الطور الرئيس.



الشكل (أ–٣٣) مثال على ترقيم طور التداخل اللاحق بالحروف (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-15).

أ-٥-٣-١-٥ تخصيصات جهاز الاستشعار:

تحدد تخصيصات جهاز الاستشعار كيف ستتفاعل وحدة التحكم عند تلقي مدخلات جهاز الاستشعار من الميدان. تتضمن الوظائف الأساسية لجهاز الاستشعار طور الاستدعاء و/أو التمديد (نوقشت بالتفصيل في الجزء الفرعي أ-٥-٤). في تقاطع موجَّه

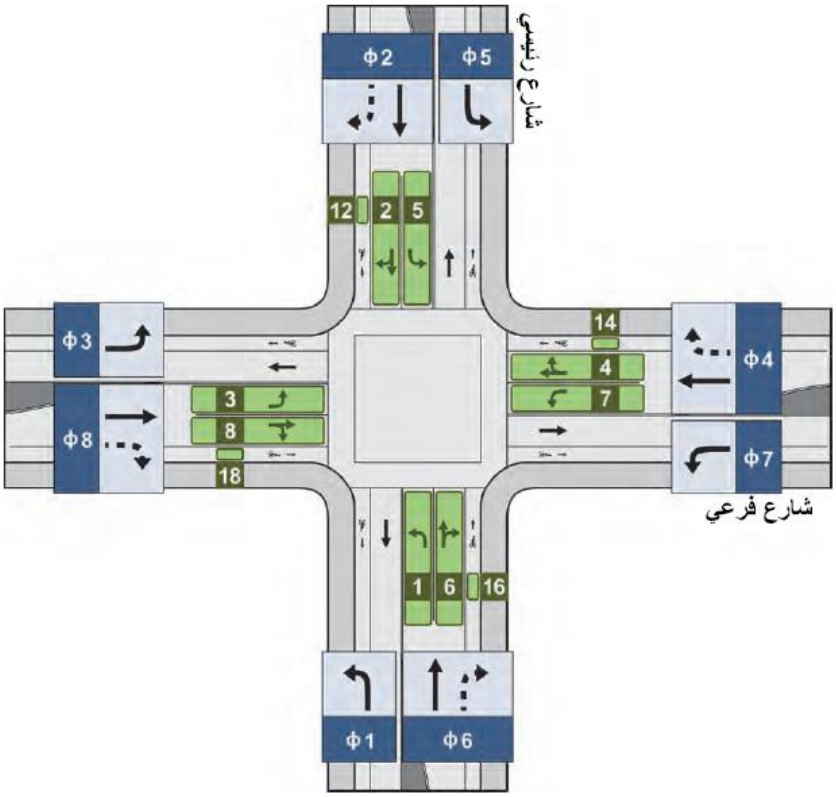
بالكامل، يلزم استخدام جهاز كشف واحد على الأقل لاستدعاء كل طور وتمديده. ولا تصبح وظيفة (الاستدعاء) نشطة إلا عندما لا يكون الطور في الفترة الزمنية الخضراء، بينما تقوم وظيفة (التمديد) بتمديد الطور من خلال استخدام عداد الوقت فقط خلال الفترة الزمنية الخضراء.

مثلما تُخصَّص أرقام للأطوار والحركات، يُخصَّص كذلك أرقام لأجهزة الاستشعار. ومن الضروري معرفة الرقم الذي يتوافق مع كل جهاز كشف؛ بحيث تُخصَّص أجهزة الاستشعار للطور (أو الأطوار) المناسبة في وحدة التحكم. يلخص الجدول (أ-٣٤) تخصيص جهاز كشف بسيط عند تقاطع من ثمانية أطوار مع عمليات مشغلة بالكامل وجهاز كشف واحد لكل مسار (كما هو موضح في الشكل أ-٣٤). وينبغي أن تحتوي كل منطقة كشف (حتى تلك المرتبطة بالطور نفسه) على أرقام فريدة؛ للتعرف عليها في كابينة الإشارة. بغض النظر عن مخطط ترقيم الاستشعار المطبق، ينبغيعلى الجهة استخدام نهج ثابت لتعيين أرقام جهاز الاستشعار من أجل تسهيل الصيانة وتقليل الأخطاء.

الجدول (أ–٣٤) تخصيص جهاز الاستشعار الأساسي (المصدر: Exhibit 5-17 – (2015) ,NCHRP).

الطور	رقم جهاز الاستشعار*	الوظيفة
طور المركبة ١	١	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٢	٢	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٢	١٢	الاستدعاء
طور المركبة ٣	٣	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٤	٤	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٤	١٤	الاستدعاء
طور المركبة ٥	٥	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٦	٦	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٦	١٦	الاستدعاء
طور المركبة ٧	٧	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٨	٨	الاستدعاء والتمديد
طور المركبة ٨	١٨	الاستدعاء

** سيختلف رقم جهاز الاستشعار بناءً على الاتصال الميداني*



الشكل (أ–٣٤) الترقيم الأساسي لأجهزة استشعار المركبات (المصدر: : Exhibit 5-18 – (2015) ,NCHRP).

أ-٥-٣-١-٦ تخصيصات مفاتيح الحمل:

بالإضافة إلى تخصيص أجهزة الاستشعار للأطوار عند أحد التقاطعات، ينبغي كذلك على الممارس ربط شاشات العرض بكل طور. يُحدّد الارتباط بين الأطوار/التداخلات وحركات المركبات/المشاة من خلال أطوار الإشارة المبرمجة في البرنامج الثابت لوحدة التحكم وتخصيص مفتاح الحمل في كابينة وحدة التحكم في إشارات المرور والاتصال بين كل مفتاح حمل وشاشات عرض الإشارة. تحتوي معظم كبائن وحدة التحكم الحديثة في إشارات المرور على تخصيصات افتراضية لمفاتيح الحمل، مدعومة بالبرنامج الثابت لوحدة التحكم النموذجية، لتقاطعات قياسية من ثمانية أطوار؛ لذلك لا تكون هناك حاجة بشكل عام إلى إعدادات أو تغييرات إضافية للتطبيقات القياسية. وقد تحتوي التقاطعات التي تشتمل على ثمانية أطوار للمركبة وأربعة أطوار للمشاة وأربع حركات متداخلة على تخصيص لمفتاح الحمل الافتراضي الموضح في الجدول (أ-٣٥). وستحدَّد الإعدادات الافتراضية الأخرى بواسطة إصدار البرنامج الثابت لوحدة التحكم.

تحتوي كل مفاتيح الحمل على ثلاث مخرجات مرتبطة بشكل عام بمؤشرات حمراء وصفراء وخضراء. تستخدم شاشات عرض المشاة نوع مفتاح الحمل نفسه مثل شاشات عرض المركبات، ولكنها تستخدم الإخراج (الأخضر) فقط للسير والإخراج (الأحمر) لحظر السير. الإشارة الوامضة لحظر السير هي إخراج باللون (الأحمر) يومض ويطفأ كل نصف ثانية.

الجدول (أ–٣٥) تخصيص مفتاح الحمل النموذجي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-19).

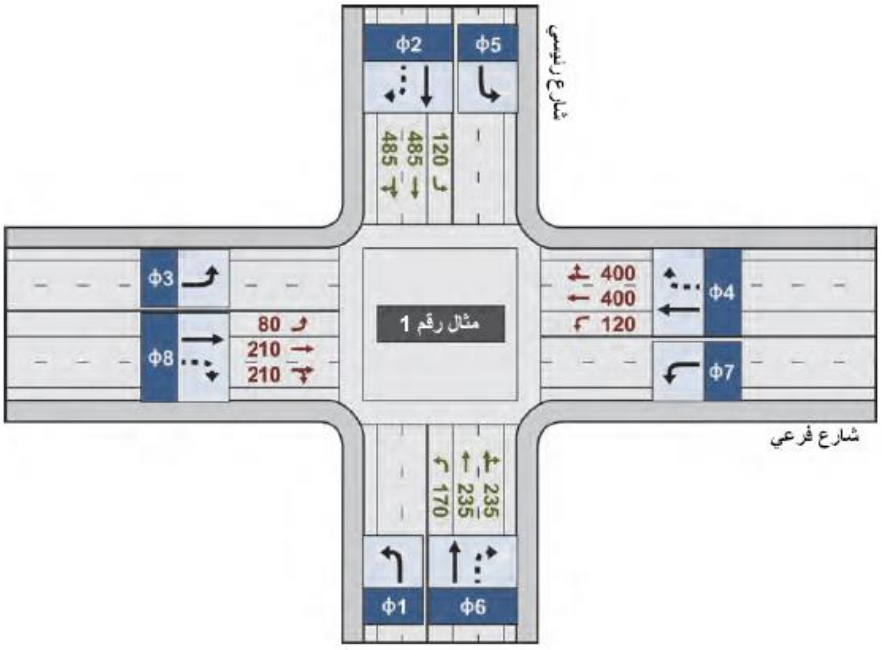
الطور / التداخل	رقم مفتاح الحمل
طور المركبة ١	١
طور المركبة ٢	٢
طور المركبة ٣	٣
طور المركبة ٤	٤
طور المركبة ٥	٥
طور المركبة ٦	٦
طور المركبة ٧	٧
طور المركبة ٨	٨
التداخل A	٩
التداخل B	١٠
التداخل C	١١
التداخل D	١٢
طور المشاة ٢ + السهم الأصفر الوامض ١*	١٣
طور المشاة ٤ + FYA3*	١٤
طور المشاة ٦ + FYA5*	١٥
طور المشاة ٨ + FYA7*	١٦
ملحوظة: ١- *غالبًا ما تستخدم شاشات السهم الأصفر الوامض مفتاح الحمل الأصفر لطور المشاة*	

أ-٥-٣-٢ إجراء تحليل الحركة الحرجة:

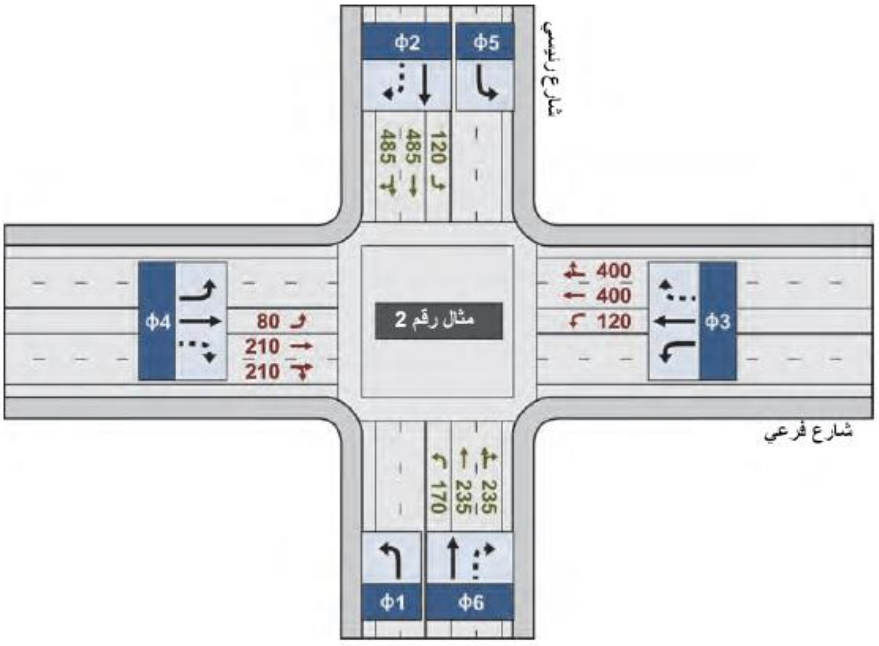
تعد العلاقة بين توقيت الإشارة والأطوار وسعة التقاطع من المبادئ المهمة الكامنة وراء خطط توقيت الإشارة الفعالة. ويعد تحليل الحركة الحرجة تقنية مبسطة لها تطبيقات واسعة لتقدير احتياجات الأطوار ومعلمات توقيت الإشارة. وتتيح هذه الطريقة للممارس تحديد أزواج الطور الحرجة عند أحد التقاطعات، وحساب الحجم الحرج وتقريب طول الدورة المطلوب.

تعد هذه الطريقة بسيطة بشكل عام بما يكفي لتُجرَى يدويًا (ما يجعلها مناسبة للاستخدام في الميدان)، رغم أن بعض التحسينات الأكثر تعقيدًا تُدعَم بشكل كبير عن طريق استخدام جدول بيانات بسيط. يعد تحليل الحركة الحرجة المستوى المناسب للتحليل نظرًا إلى افتقار الدقة في تنبؤات الحجم المستقبلية في كثير من الحالات (مثل الإشارات في الشوارع الجديدة). ويمكن أن يوفر كذلك التحقق الأولي من معقولية نتائج البرامج، ومن ثم يعد إجراءً مهمًا لفهمه مثل ممارس توقيت الإشارة.

توضح الأقسام الآتية إجراء تحليل الحركة الحرجة باستخدام مثالين بسيطين. بينما يفترض كلا المثالين تكوين المسار وأحجام المركبات نفسها عند التقاطع؛ فإنهما كذلك يفترضان تسلسلات أطوار مختلفة. ويوضح المثال الأول إجراء تحليل الحركة الحرجة باستخدام تقاطع نموذجي من ثمانية أطوار بحركات انعطاف لليسار محمية في جميع المداخل (المثال: رقم ١ الموضح في الشكل أ-٣٥)، بينما يستخدم المثال الثاني تقاطعًا بأطوار تقسيم في الشارع الفرعي (المثال: رقم ٢ الموضح في الشكل أ-٣٦).



الشكل (أ–٣٥) المثال رقم ١: أطوار وأحجام تحليل الحركة الحرجة (المصدر: Exhibit 5-20 – (2015) ,NCHRP).



الشكل (أ–٣٦) المثال رقم ٢: أطوار وأحجام تحليل الحركة الحرجة (المصدر: Exhibit 5-21 – (2015) ,NCHRP).

أ-٥-٣-٢-١ الخطوة ١: تسجيل أحجام الطلب:

تتمثل الخطوة الأولى لإجراء تحليل الحركة الحرجة في تحديد أحجام فترة الذروة في كل مسار في التقاطع (كما هو موضح في الشكل أ-٣٥ والشكل أ-٣٦). وينبغي الإشارة إلى أن نتائج التحليل تعتمد بشكل كبير على الدقة وكذلك اختلاف أحجام المرور. ينبغي توخي الحذر عند تفسير النتائج وينبغي أن يعتمد التفسير على فهم الجودة الأساسية للبيانات. وتوجد العديد من التعديلات التي ينبغي إجراؤها على الأحجام اعتمادًا على الظروف الخاصة بالموقع:

- **ضبط ساعة الذروة**. إذا استخدمت أحجام المرور باستمرار؛ فعادةً ما تُعدَّل لتعكس فترة الذروة التي تبلغ ١٥ دقيقة.

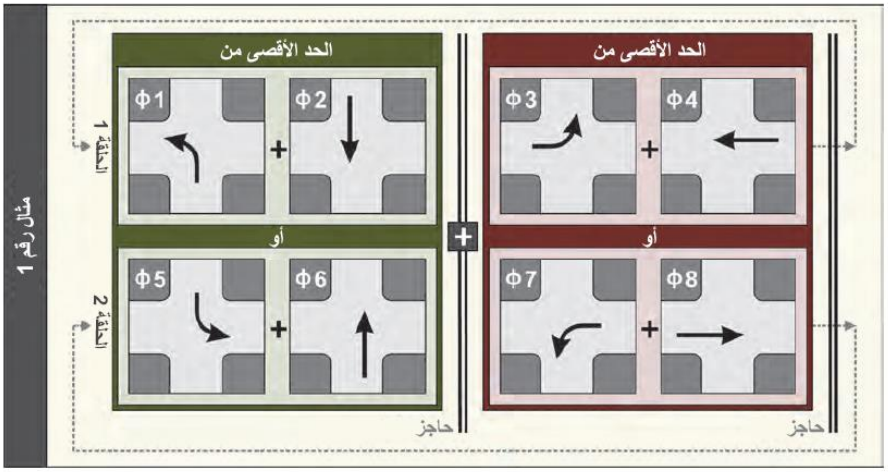
- **ضبط المركبات الثقيلة**. على الممارس دائمًا تقييم نسبة المركبات الثقيلة، وإجراء التعديلات لحساب المركبات الأكبر حجمًا إذا كان ذلك مناسبًا. وقد افترضت أحجام متوسطة للمركبات الثقيلة في هذا المثال؛ لذلك لم يُجرَ أي تعديلات. إذا احتسِبت أعداد كبيرة؛ فيمكن عد الشاحنات والحافلات مركبتين في التحليل.
- **ضبط اختلالات المسارات**. ينبغي تعديل الأحجام لمراعاة الظروف الخاصة بالموقع في حالة وجود اختلالات كبيرة في المسارات بسبب وجهات النهاية. في هذا المثال: توزع الأحجام بالتساوي بين المسارات.

أ-٥-٣-٢-٢ الخطوة ٢: تحديد أزواج الطور الحرجة:

يمكن تقدير طول الدورة اللازم لاستيعاب جميع المركبات عند أحد التقاطعات من خلال تحديد الحركات التي تتطلب معظم الوقت (الحركات الحرجة). في الخطوة الثانية من إجراء تحليل الحركة الحرجة، تُستخدَم أحجام المركبات المرتبطة بالأطوار المتعارضة (بشكل عام طور الانعطاف لليسار وطور المرور العابر المعاكسة)؛ لتحديد أزواج الطور الحرجة.

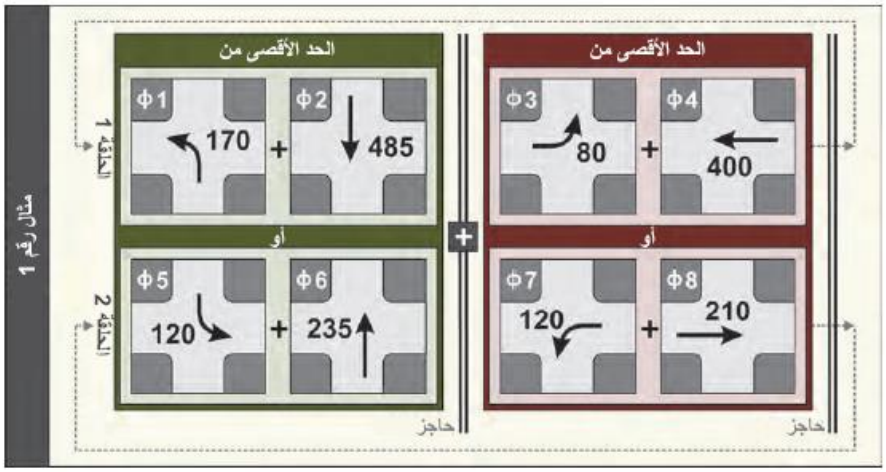
المثال رقم ١: أطوار الانعطاف لليسار المحمية:

تقارن مجاميع الحجم لجميع مجموعات الأطوار المتعارضة بين الحواجز (في المثال رقم ١، الطورين ١ + ٢ والطورين ٣ + ٤ والطورين ٥ + ٦ والطورين ٧ + ٨) كما هو موضح في مخطط الحلقة والحاجز في الشكل (أ-٣٧). وتتيح هذه المقارنة للممارس تحديد الحركات الحرجة (والأحجام الحرجة المرتبطة بها) للشارع الرئيس والشارع الفرعي. في المثال رقم ١، سيتم تحديد مقدار الوقت المخصص للشارع الرئيس من خلال أي مجموعة متعارضة من الأطوار (الطورين ١ + ٢ أو الطورين ٥ + ٦) ذات الحجم الأكبر. وبشكل مماثل، سيُحدَّد مقدار الوقت المخصص للشارع الفرعي من خلال أي مجموعة متعارضة من الأطوار (الطورين ٣ + ٤ أو الطورين ٧ + ٨) ذات الحجم الأكبر. وسيضمن ذلك أن طول الدورة يعتمد على الحركات ذات الحجم الأكبر (التي تتطلب بعد ذلك بعض الوقت). يوضح الشكل (أ-٣٨) الأحجام التي خصِّصت من الشكل (أ-٣٥) لكل طور في مخطط الحلقة والحاجز.



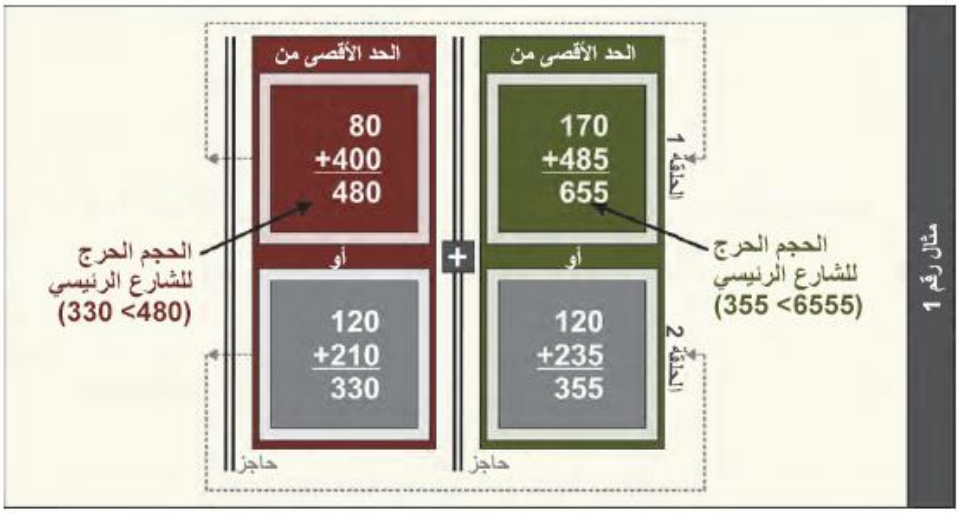
الشكل (أ–٣٧) المثال رقم ١: الأطوار المتعارضة (المصدر: Exhibit 5-22 – (2015) ,NCHRP).

لاحظ أن جميع حركات المرور العابر مرتبطة بمسارين. وينبغي استخدام أكبر حجم في أي مسار مرتبط بالطور نفسه؛ لتحديد الحركات الحرجة. عادةً، ستشهد مسارات المرور العابر أحجامًا موحدة إلى حد ما، ولكن هناك استثناءات لذلك، كما هو الحال في المواقع القريبة من محولات الطرق السريعة. على سبيل المثال: لاحظ أن هناك مسارين للمرور العابر خصصتا للطور ٢ في الشكل (أ-٣٥). إذا أظهر الشكل أنه كان هناك ٣٨٥ مركبة مرور عابر داخل المسار و٥٨٥ مركبة مرور عابر خارج المسار، فإن حجم الطور ٢ المستخدم لحساب حجم الطور المتعارض سيكون ٥٨٥ مركبة.



الشكل (أ–٣٨) المثال رقم ١: الأحجام لكل الطور (المصدر: Exhibit 5-23 – (NCHRP, (2015).

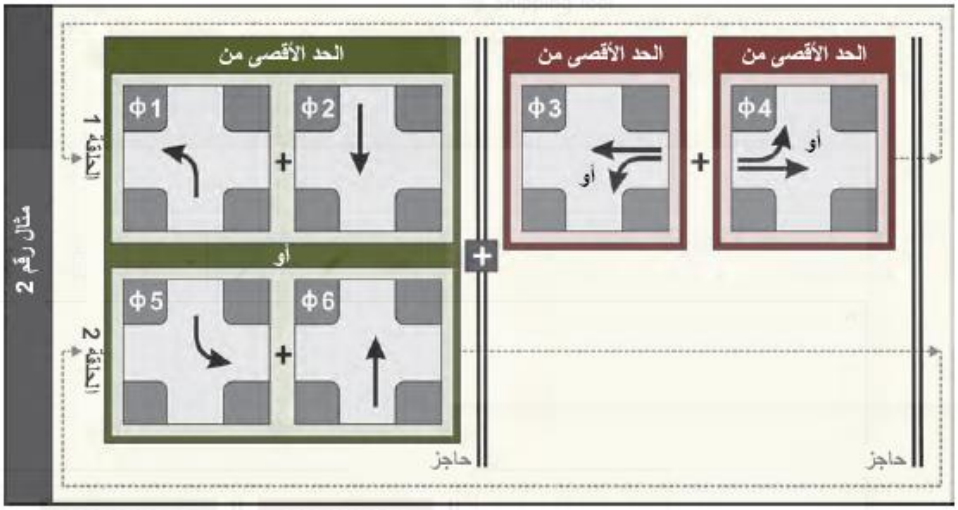
في المثال رقم ١، يكون للطورين ١ و٢ حجم متعارض عن الطورين ٥ و٦ (كما هو موضح في الشكل أ-٣٩). بمعنى آخر، سيكون الحجم الذي يمر عبر التقاطع خلال الطورين ٥ و٦ قادرًا على إخلاء التقاطع قبل الحجم خلال الطورين ١ و٢، لذا فإن الطورين ١ و٢ هما الحركات الحرجة للشارع الرئيس. تحتوي الطوران ٣ و٤ على حجم متعارض أكبر من الطورين ٧ و٨، لذلك فهي الحركات الحرجة للشارع الفرعي.



الشكل (أ–٣٩) المثال رقم ١: الأحجام الحرجة لكل من الشارع الرئيس والشارع الفرعي (المصدر: – (NCHRP, (2015 Exhibit 5-24).

مثال رقم ٢: تحديد أطوار التجزؤ في الشارع الفرعي:

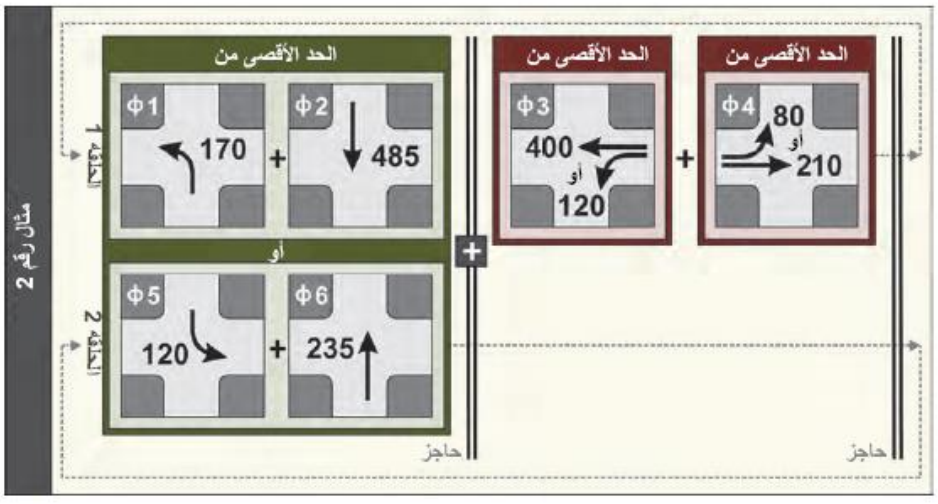
لاحظ أن تسلسلات الطور المختلفة يمكن أن تغير الأطوار التي وضعت في الحسبان في تحليل الحركة الحرجة. في المثال رقم ٢، يسمح تحديد أطوار التجزؤ عند التقاطع لجميع الحركات من مدخل شارع فرعي واحد بالمضي عبر التقاطع في الوقت نفسه (الطور ٣)، متبوعًا بجميع الحركات من مدخل شارع فرعي آخر (الطور ٤). يوضح الشكل (أ-٤٠) أنه سيُحدَّد الحجم الحرج للشارع الفرعي من خلال جمع الحجم الأكبر من كل مدخل للشارع الفرعي.



الشكل (أ–٤٠) المثال رقم ٢: الأطوار المتعارضة (المصدر: Exhibit 5-25 – (2015) ,NCHRP).

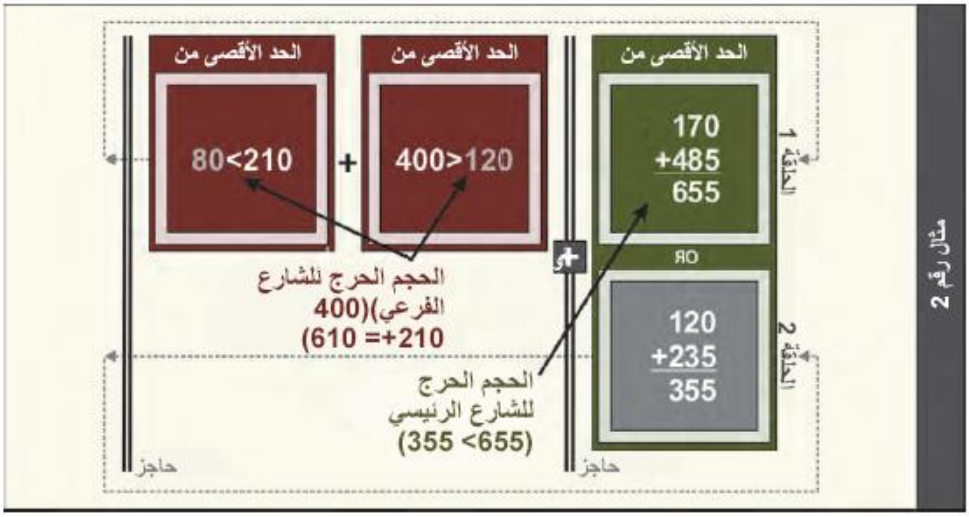
في المثال رقم ٢، سيتم تحديد الحركات الحرجة للشارع الرئيس باستخدام الطريقة نفسها الموضحة في المثال رقم ١ (أي مجموعة متعارضة من الأطوار تحتوي على أكبر حجم بين الطورين ١ + ٢ أو الطورين ٥ + ٦). ومع ذلك، سيتضمن تحديد الحركات الحرجة في الشارع الفرعي عملية حسابية مختلفة قليلًا (كما هو موضح في الشكل أ-٤١).

يستخدم الشارع الفرعي طورين فقط (الطوران ٣ و٤) نظرًا إلى أن جميع المركبات القادمة من مدخل واحد ستمضي عبر التقاطع قبل أن تتقدم جميع المركبات من المدخل الآخر عبر التقاطع. الطوران تكونان في الحلقة نفسها لأنه لا يمكن تشغيلهما في الوقت نفسه. (هناك طرق أخرى لتحقيق ذلك، ولكن هذه الطريقة هي الأكثر شيوعًا). سيُحدّد مقدار الوقت المطلوب للشارع الفرعي من خلال مجموع أحجام المسارات الأكبر في كل اتجاه شارع فرعي.



الشكل (أ–٤١) المثال رقم ٢: الأحجام لكل طور (المصدر: Exhibit 5-26 – (2015) ,NCHRP).

كما هو موضح سابقًا، سيكون الحجم الحرج للشارع الرئيس هو نفسه في المثالين رقم ١ و٢. ومع ذلك، يُحدَّد الحجم الحرج للشارع الفرعي في المثال رقم ٢ من خلال إضافة أكبر حجم للمسار من كل مدخل شارع فرعي (كما هو موضح في الشكل أ-٤٢). وتعد أحجام المرور العابر أكبر من أحجام الانعطاف لليسار لكلتا الطورين (الطوران ٣ و٤)، ومن ثم ستحدد أحجام المرور العابر مقدار الوقت المطلوب للشارع الفرعي. أثناء كل طور من أطوار الشارع الفرعي، يجب أن تكون المركبات المنعطفة لليسار قادرة على إخلاء التقاطع قبل مركبات المرور العابر. تعمل الطوران ٣ و٤ بشكل منفصل ضمن تحديد أطوار التجزؤ، ومن ثم فإن الحجم الحرج للشارع الفرعي هو مجموع أحجام المسارات الأكبر للطورين ٣ و٤.

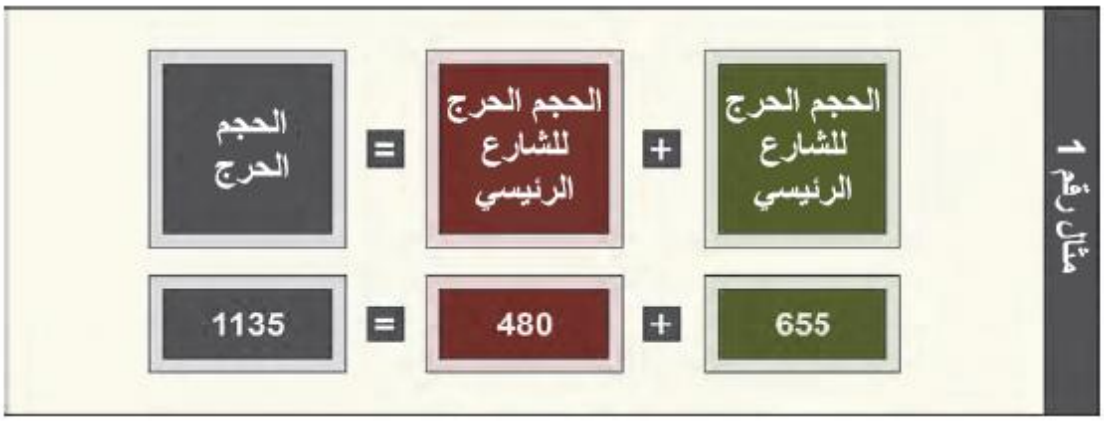


الشكل (أ–٤٢) المثال رقم ٢: الأحجام الحرجة لكل من الشارع الرئيس والشارع الفرعي (المصدر: – NCHRP, (2015) Exhibit 5-27).

أ-٥-٣-٢-٣ الخطوة ٣: حساب الحجم الحرج:

تتمثل الخطوة الثالثة في إجراء تحليل الحركة الحرجة في تحديد إجمالي الطلب على التقاطع. ينبغي جمع الحجم الحرج في الشارع الرئيس والحجم الحرج في الشارع الفرعي لتحديد حجم التقاطع الحرج (كما هو موضح في الشكل أ-٤٣ للمثال رقم ١ والشكل أ-٤٤ للمثال رقم ٢).

حجم التقاطع الحرج هو أكبر عدد من المركبات التي ينبغي استيعابها عند التقاطع بناءً على تسلسل الطور والطلب على كل حركة. لاحظ أن الحجم الحرج للمثال رقم ٢ أعلى من الحجم الحرج للمثال رقم ١، على الرغم من أحجام المسارات نفسها من الشكل (أ-٣٥) والشكل (أ-٣٦). سيتطلب الأمر المزيد من الوقت للشارع الفرعي الخاضع لتحديد أطوار التجزؤ، نظرًا إلى أن المركبات من كل مدخل شارع فرعي يجب أن تمضي عبر التقاطع بشكل منفصل. هناك كفاءة أقل مع ترتيب الطور هذا.



الشكل (أ–٤٣) المثال رقم ١: الحجم الحرج (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-28).



الشكل (أ–٤٤) المثال رقم ٢: الحجم الحرج (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-29).

أ-٥-٣-٢-٤ الخطوة ٤: تقدير طول الدورة:

يمكن استخدام الحجم الحرج عند أحد التقاطعات لتقدير طول الدورة المطلوب. ويوضح الجدول (أ-٣٦) عدد المركبات التي يمكن استيعابها في كل دورة وكل ساعة لتقاطع من ثمانية أطوار (بناءً على أطوال دورة تتراوح بين ٦٠ ثانية و١٢٠ ثانية). ويعد اللون الأخضر الفعال مخصصًا للوقت الضائع في بدء التشغيل وكذلك للمركبات التي تتحرك خلال جزء من اللون الأصفر. والوقت الضائع في بدء التشغيل هو الوقت الإضافي الذي تستهلكه المركبات القليلة الأولى في صف انتظار يتجاوز الفترة الزمنية الفاصلة للتدفق المُشبّع، بسبب الحاجة إلى الاستجابة للإشارة الخضراء والإسراع. ويساوي اللون الأخضر الفعال تقريبًا اللون الأخضر الفعلي في التطبيقات النموذجية (على سبيل المثال: عدم ضياع الوقت المفرط في بدء التشغيل أو فترات الإخلاء الطويلة للغاية). وتفترض الحسابات أن سعة التقاطعات تبلغ ١,٤٠٠ مركبة و٥ ثوانٍ من الوقت الضائع لكل طور. وفي المثال رقم ١ (مع ثمانية أطوار وحجم حرج يستوعب ١,١٣٥ مركبة)، سيستوعب طول الدورة الذي يبلغ ١١٠ ثوانٍ طلب التقاطع بناءً على مجموعة افتراضات معتدلة نسبيًا. (ستوفر هذه الافتراضات المعتدلة بشكل عام حدًا أعلى لطول الدورة).

ينبغي على ممارس توقيت الإشارة التأكد عند تحديد قيم توقيت الإشارة بناءً على إجراء تحليل بسيط للطلب؛ حيث يمكن ألا تتوافق القيم المحسوبة مع الأهداف التشغيلية. طلب التقاطع هو مجرد عامل واحد ينبغي أن يؤثر في طول الدورة المختار. على سبيل المثال: يمكن أن يؤثر كذلك متوسط الطول الخاص بخط محدد الطول وتصنيف الشارع وأطوار الانعطاف لليسار وأطوار المشاة والأهداف المحددة للتقاطع في طول الدورة الأمثل. إذا كانت أطوال الحواجز طويلة، فيمكن أن يكون طول الدورة الأطول مناسبًا لتفضيل المرور في الشارع الرئيس. وإذا كانت الحواجز قصيرة أو كانت أحجام المشاة عالية؛ فيمكن أن تكون أطوال الدورة الأقصر مناسبة أكثر.

الجدول (أ–٣٦) أطوال الدورة المقدرة بناءً على الحجم الحرج (تقاطع من ثمانية أطوار) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 5-30).

طول الدورة (بالثواني)	عدد الدورات بالساعة	الوقت الضائع لكل دورة (بالثواني)[1]	الوقت الأخضر الفعال في كل دورة (بالثواني)	عدد المركبات في كل دورة[2]	الحد الأقصى لعدد المركبات في الساعة[3]
٦٠	٦٠	٢٠	٤٠	١٦	٩٣٣
٧٠	٥١	٢٠	٥٠	١٩	١٠٠٠
٨٠	٤٥	٢٠	٦٠	٢٣	١٠٥٠
٩٠	٤٠	٢٠	٧٠	٢٧	١٠٨٩
١٠٠	٣٦	٢٠	٨٠	٣١	١١٢٠
١١٠	٣٣	٢٠	٩٠	٣٥	١١٤٥
١٢٠	٣٠	٢٠	١٠٠	٣٩	١١٦٧
ملاحظات:					

طول الدورة (بالثواني)	عدد الدورات بالساعة	الوقت الضائع لكل دورة (بالثواني)[1]	الوقت الأخضر الفعال في كل دورة (بالثواني)	عدد المركبات في كل دورة[2]	الحد الأقصى لعدد المركبات في الساعة[2]

١- يفترض هذا الوقت الضائع أن التقاطع يعمل بثمانية أطوار (أربعة في كل حلقة) مع ٥ ثوانٍ من الوقت الضائع في كل طور. سيكون الوقت الضائع أقل عند تقاطع بأطوار أقل.

٢- تم حساب عدد المركبات التي يمكن استيعابها ضمن أطوال الدورة المختلفة بافتراض الحركة إلى الأمام لمدة ٢,٥ ثانية لكل مركبة، وهو أمر معتدل عمومًا في البيئات الحضرية/الضواحي.

ينبغي أن تجدر الإشارة إلى أنه كلما زاد الوقت الأخضر في كل مدة تقاطع إشارة؛ فإن حركة المركبات ستكون إلى الأمام أكبر، أي: سينخفض تراكم المركبات في الطور اللاحق. ويمكن أن يؤدي هذا إلى استخدام أقل كفاءة للوقت الأخضر عند التقاطع، وهو ما يشبه الوقت الضائع عند التجميع. كما تعد أطوال تعاقب الإشارة الأطول طريقة فعالة لتحريك أعداد كبيرة من المركبات في تقاطع إذا حوفظ على تقدم الحركة المرغوبة إلى الأمام خلال الوقت الأخضر بأكمله. يؤدي تخزين صف الانتظار والاختناقات المرورية في الأمام والخلف وكثافة المركبات إلى الحركة الفعالة للمركبات من خلال التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، وتنبغي مراعاة احتياجات جميع المستخدمين عند تحديد طول الدورة للتنفيذ.

أ-٥-٣-٣دور البرامج في توقيت الإشارة:

تتوفر الأدوات المعتمدة على الحاسب لحساب توقيت الإشارة وتقييمه. من المهم التعرف على إمكاناتها وقيودها، ويوصى بأن يبدأ الممارسون في فهم برامج الحاسب المحددة بشكل شامل، وكذلك استخداماتها وكيفية ارتباطها بالحالة الميدانية. لن يؤدي استخدام ميزة التحسين الخاصة بمنتج برمجي لا يستخدم الأهداف التشغيلية للجهة إلى النتيجة المرغوبة. بمعنى آخر، يمكن ألا يؤدي استخدام أداة معقدة متاحة لمحلل قليل الخبرة إلى نتيجة مرضية.

أ-٥-٣-٣-١ أنواع نماذج البرامج:

بصفة عامة، هناك نوعان من النماذج التي يمكن تطويرها باستخدام أدوات البرامج: (١) النماذج القطعية أو القائمة على المعادلة و(٢) نماذج المحاكاة المجهرية. يقيم هذان النوعان من النماذج مستويات مختلفة من التفاصيل المتعلقة بالتشغيل المروري، وينبغي تطبيقهما على مشاريع توقيت الإشارة المرورية بناءً على ظروف المرور وتعقيد الشبكة. تجدر الإشارة إلى أن جودة جميع النماذج تعادل جودة المدخلات، بالإضافة إلى المعلمات المُضمَّنة الخاصة بها. معدلات التدفق المُشبّع، بغض النظر عما إذا كانت ثابتة أو قابلة للتعديل، يفترض عمومًا أن تكون ثابتة، وهذا ليس بالضرورة كما هو الحال مع زيادة طول الدورة أو يؤدي الوصول إلى تعطيل التدفق.

النماذج القطعية أو القائمة على المعادلات:

النماذج القطعية أو القائمة على المعادلات هي النماذج المختارة عند تطوير خطط توقيت الإشارة المرورية، وخاصة بالنسبة إلى الأنظمة المنسقة. تختلف النماذج القطعية أو القائمة على المعادلات عن طرق التقطعات الفردية (مثل تحليل الحركة الحرجة)؛ لأنها تمثل وصول وخروج المركبات من تقاطع إلى آخر، والمعروفة باسم تأثير النظام.

وغالبًا ما تكون هذه النماذج القطعية أو القائمة على المعادلات كافية لمعظم تطبيقات توقيت الإشارة المرورية. ومع ذلك، يمكن أن تفقد صلاحيتها في الحالات التي يتجاوز فيها الطلب السعة أو عندما تتفاعل صفوف انتظار تقاطع واحد مع تشغيل تقاطع مجاور. في ظروف الازدحام، يمكن أن يؤدي تقليل طول الدورة في الواقع إلى زيادة الإنتاجية عن طريق الحد من صفوف الانتظار التي تمنع الحركة في التقاطعات الأخرى. لذلك، فإن المواقع ذات التقاطعات المتقاربة أو مع التقاطعات التي تتجاوز سعة الاحتواء يمكن ألا يتم خدمتها جيدًا بواسطة أنواع النماذج القطعية هذه. في مثل هذه الحالات، يمكن أن يكون من الضروري استخدام نماذج المحاكاة المجهرية؛ للحصول على تقييمات أكثر واقعية لتأثيرات توقيت الإشارة المرورية.

المحاكاة المجهرية:

في سياق توقيت الإشارة يمكن تقدير نماذج المحاكاة المجهرية كأداة تقييم متقدمة. وبإمكانها تقدير سلوكيات تتابع المركبات، ولديها القدرة على نمذجة مستخدمين آخرين عند تقاطعات مزودة بإشارات (مثل المشاة والدراجات والنقل).

نماذج المحاكاة مفيدة بوجه خاص للتطبيقات الآتية:

- تقييم الإشارات التي تتضمن التشغيل المنسق الموجه. يمكن أن يوفر برنامج المحاكاة (إذا كان يتضمن ميزات وحدة تحكم واقعية ورُمّز بشكل صحيح) تقييمًا أكثر واقعية لفعالية وحدة التحكم الموجهة داخل الجزء الذي يتم تقييمه.
- تأكيد احتمال اكتظاظ صف الانتظار بين التقاطعات.
- تقييم السمات الخاصة، مثل أولوية وسائل النقل (رغم أن نماذج أولوية إشارات المرور لوسائل النقل العامة، ينبغي ألا تعكس نوع أولوية وسائل النقل المستخدمة بالفعل).
- تقييم أداء النظام في حالات التشبع.
- تقييم فعالية التعديلات اليدوية لتوقيت الإشارة.

- تقييم استهلاك الوقود والانبعاثات أو مدة رحلة النظام الناتج عن مجموعة معينة من توقيت الإشارة.
- تقييم وسائل النقل المختلفة (مثل حركة المشاة والدراجات).
- إثبات التحسينات المدخلة على الموظفين العموميين، حيث إنهم يشكلون صورة أوضح من الأرقام.

يشير هذا التطبيق الأخير إلى استخدام نماذج المحاكاة لمخرجاتها الرسومية المتحركة، وطرق عرض تقريبية جوية أو ثلاثية الأبعاد لشبكة المحاكاة. تسمح هذه المخرجات المتحركة إجراء تقييم مرئي لأداء النظام، وهي قدرة لا يمكن تكرارها بأي شكل آخر من أشكال المخرجات، مثل مخطط زماني ومكاني. ينبغي توخي الحذر عند مراجعة الرسوم المتحركة من نماذج المحاكاة، حيث ينبغي أن تكون انعكاسًا لمتوسط التشغيل (التي لا يمكن اختيارها إلا بعد مراجعة النتائج).

عند إجراء تحليلات المحاكاة لمقارنة البدائل، ينبغي على الممارس أن يضمن أن دقة النموذج كافية لنمذجة نوع التحكم المتوقع. على سبيل المثال: نموذج المحاكاة عادة ما يتطلب دقة في حدود عُشر الثانية لتكرار استشعار الثغرات بدقة؛ لذلك فإن استخدام إعدادات الدقة ذات الجودة الرديئة (أو نموذج بدقة ثانية واحدة فقط) لتسريع وقت تشغيل المحاكاة يمكن أن يؤدي إلى نتائج غير صحيحة.

أ-٥-٣-٣-٢ اعتبارات البرامج:

هناك عدة عناصر ينبغي مراعاتها عند اختيار أي نوع من أدوات البرامج يجب تطبيقها أو ما إذا كان ينبغي استخدام تطبيق برمجي أم لا. ينبغي مراعاة إعدادات أجهزة الاستشعار وحالات التشبع للمنطقة وافتراضات أولوية المستخدم وميزات الشبكة الفريدة والمعايرة الميدانية المطلوبة عند اختيار أداة البرنامج.

إعدادات جهاز الاستشعار:

إن مواقع الكاشف الدقيق، والأحجام، ومعلمات التوقيت -غالبًا-ما يتم تجاهلها في البرامج، وهي مهمة جدًا للحصول على نتائج محاكاة دقيقة. ينبغي على الممارس تحديد مواقع أجهزة الاستشعار والإعدادات الحالية، أو خطط التنفيذ في المستقبل. وكذلك فهم الممارسة النموذجية، على سبيل المثال: خطط تخطيط أجهزة الاستشعار القياسية؛ من أجل بناء نماذج محاكاة موثوق بها. تخضع خوارزميات البرامج لمدخلات أجهزة الاستشعار التي يمكن أن تتفرق بشكل مصطنع في وقت مبكر، أو تمتد بشكل غير واقعي؛ مما يؤدي إلى الحصول على نتائج محاكاة غير دقيقة. ينبغي الحرص على مطابقة مواقع أجهزة الاستشعار وأحجامها وتوقيتاتها بدقة.

حالات التشبع:

تتطلب حالات التشبع توزيعًا دقيقًا لوقت إشارة المرور الخضراء التي توازن بين اكتظاظ صف الانتظار وعدادات الطلب الوارد. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي وضع المركبات الموجودة في صف الانتظار في مواقع لا تعيق فيها المرور الأخرى. ونظرًا إلى أن التدفق غير المشبع يميل إلى أن يكون ثابتًا (مشابهًا من دورة إلى أخرى)؛ فإن برامج توقيت إشارة المرور غالبًا ما يمكن أن تحسب توقيت الإشارة الأمثل بسهولة في ظل تلك الظروف. ومع ذلك فإن العديد من الأدوات تفترض تلقائيًا حالات التشبع غير الكافية التي يمكن أن تجعل تقييم حالات فوق-التشبع أمرًا صعبًا أو يؤدي إلى نتائج خاطئة. كما هو مذكور في الجزء الفرعي السابق، فمن الأفضل أن تُنَمْذَج الظروف القريبة أو مفرطة التشبع بواسطة ممارس ذو خبرة باستخدام نموذج المحاكاة المجهرية.

افتراضات أولوية المستخدم:

العديد من أدوات البرامج تضع افتراضات بشأن أولويات المستخدم دون إدخال من الممارس. ينبغي إكمال مراجعة أولويات المستخدم عند إجراء تقييمات توقيت إشارة المرور من أجل تقييم ما إذا كانت أولويات البرامج الافتراضية تتطابق مع الأولويات المحددة من قبل الممارس. يمكن أن يلزم إجراء تعديلات على توقيت إشارة المرور (المحسَّنة) بواسطة البرنامج.

ميزات الشبكة الفريدة:

بعض ميزات الشبكة الفريدة، مثل أولوية وسائل النقل أو السكك الحديدية، يمكن أن تضمن استخدام أداة برنامج محددة. إن تقنيات التحليل البسيط، مثل تحليل الحركة الحرجة، لن تكون قادرة على تقييم تأثير أنواع الميزات هذه على تقدم المركبة أو سعة التقاطع.

المراقبة والمعايرة الميدانيان:

ينبغي مقارنة المراقبة الميدانية مع نتائج تشغيل المرور لكل فترة زمنية في النموذج للتحقق من صحة أحجام المرور. بعد ذلك-إذا لزم الأمر- ينبغي معايرة الشبكات الأساسية لكل فترة زمنية باستخدام زمن الانتقال والتأخير وبيانات صف الانتظار المجموعة من المراقبة الميدانية. تشمل المعلمات الموجودة في النماذج التي يمكن تعديلها لمعايرة الشبكات الأساسية القائمة مع الظروف الميدانية الفعلية على معدلات التشبع والتدفق، والمركبات التي تنعطف لليمين عند الإشارة الحمراء، واستخدام المسار. وينبغي إجراء مراجعة لنموذج المعايير قبل المضي قدمًا في تطوير خطة التوقيت. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن المراقبة الميدانية ليست سوى لقطة في الوقت المحدد. وحدات التحكم الحديثة لديها الآن قدرات كبيرة لتقييم الأداء وينبغي عدم إغفال هذه القدرات في عمليات النمذجة.

أ-٥-٤ التقاطع/التوقيت غير المنسق:

يقدم الجزء الفرعي (أ-٥-٤) إرشادات عن معلمات توقيت إشارة المرور الأساسية المستخدمة في التقاطعات غير المنسقة (مثل التقاطعات التي تعمل في التشغيل الحر). باستخدام قيم التوقيت النموذجية في الجزء الفرعي هذا؛ فإنه ينبغي على الممارس أن يكون قادرًا على وضع خطط توقيت لإشارة المرور التي تتكون من ثمانية أطوار قياسية عند التقاطع (دون تجميع بيانات شاملة أو إجراء تحليل شامل). كما ينبغي تطبيق معلمات التوقيت هذه عند تنسيق وحدة التحكم مع التقاطعات الأخرى، ولكن ينبغي أيضًا اختيار معلمات إضافية نوقشت في الجزء الفرعي (أ-٥-٥) للعمليات المنسقة. يجب أن تنطبق متطلبات كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري) وكود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) جنبًا إلى جنب مع المتطلبات والإرشادات الواردة في هذا الوثيقة.

أ-٥-٤-١ معلمات توقيت إشارة المرور الأساسية:

تبرمج عادة العديد من معلمات التوقيت الأساسية لكل طور عند التقاطع المحكوم بإشارات مرورية (على سبيل المثال: المرتبطة بجدول أطوار وحدة التحكم في الإشارات المرورية)، مثل:

- طور تغير الضوء الأصفر.
- زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع.
- الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء.
- أقصى مدة لعرض إشارة المرور الخضراء.
- وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة.
- الفترات الزمنية لعبور المشاة.
- إدخال مزدوج.
- عمليات الاسترجاع وأنماط الذاكرة.

يتضمن هذا الجزء الفرعي أوصافًا لهذه المعلمات ووظائفها، بالإضافة إلى بعض التوجيهات الخاصة بالقيم المحددة التي ينبغي على الممارس استخدامها. وقد طُوّرت هذه الإرشادات بافتراض أن إشارة المرور التي تتكون من ثمانية أطوار في التقاطع تحتوي على عمليات تشغيل كاملة للمركبات والمشاة و(٢) نظام استشعار الحركة (نوقش بالتفصيل في القسم الفرعي أ-٥-٤-٢). يوفر إرشادات معلمة توقيت الإشارة الأساسي للجدول (أ-٣٧) ملخصًا للعواقب المرتبطة بإعطاء عامل ما وقتًا أكثر من اللازم أو أقل مما ينبغي، بالإضافة إلى المتغيرات التي ينبغي أن تؤثر في قيمة المعامل النهائية المختارة.

الجدول (أ–٣٧) إرشادات معلمة توقيت الإشارة الأساسي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-1).

معامل التوقيت		العواقب المترتبة على ضيق المدة		العواقب المترتبة على المدة الطويلة		معتمد على المتغيرات مثل:
تغيير إشارة المرور الصفراء.	☐	يمكن أن تنشئ منطقة محيرة (النوع الأول).	☐	يمكن أن تشجع السائقين على عدم الاحترام.	☐	إدراك السائق -وقت رد الفعل.
					☐	معدل تباطؤ السيارة.
	☐	يمكن أن تتسبب في زيادة وتيرة تشغيل الضوء الأحمر.			☐	سرعة اقتراب المركبة.
					☐	منحدر الاتجاه.
الإخلاء لإشارة المرور الحمراء.	☐	التعارض المحتمل بعد بدء الطور.	☐	الوقت الضائع في التقاطع.	☐	عرض التقاطع.
					☐	طول المركبة.
					☐	سرعة اقتراب المركبة.
الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء.	☐	يمكن أن تخالف توقعات السائق (مما يؤدي إلى احتمالية زيادة حوادث الاصطدام الخلفية).	☐	الوقت الضائع في التقاطع.	☐	توقعات السائقين.
					☐	مواقع أجهزة الاستشعار.
	☐	يمكن أن لا تستوعب احتياجات المشاة.			☐	عدد المركبات في صف الانتظار.
					☐	الفترات الزمنية لعبور المشاة.
	☐	يمكن أن لا تستوعب احتياجات الدراجات.			☐	سرعة الدراجة وتسارعها.
أقصى مدة لعرض إشارة المرور الخضراء	☐	بعض المركبات يمكن ألا تُخدَم؛ لأن سعة الطور غير كافية للطلب.	☐	الوقت الضائع في التقاطع (خاصة إذا كان جهاز الاستشعار مكسورًا).	☐	الطلب على المركبة.
			☐	إمكانية وجود صف انتظار في الحركات التي بها فترات تأخير طويلة.	☐	سعة التقاطع.
وقت المرور (تمديد الوحدة أو وقت الفجوة).	☐	يمكن أن ينتهي وقت إشارة المرور الخضراء قبل أوانها وقبل أن يتم تقديم الخدمات لجميع المركبات.	☐	تأخيرات في الحركات الأخرى بسبب تمديد الطور.	☐	تصميم أجهزة الاستشعار.
					☐	وسائل نقل أجهزة الاستشعار.
					☐	سرعة اقتراب المركبة.
المشي.	☐	يمكن ألا تستوعب أعدادًا كبيرة من المشاة.	☐	الوقت الضائع في التقاطع.	☐	أعداد المشاة.
					☐	مواقع أزرار الدفع.
					☐	مسافة عبور المشاة.
					☐	مسافة المشي التي يقطعها المشاة.
إشارة وامضة لحظر السير.	☐	يمكن ألا تتسع للوقت اللازم لعبور المشاة الشارع.	☐	الوقت الضائع في التقاطع.	☐	مسافة عبور المشاة.
					☐	السرعة التي يمشي بها المشاة.

أ-٥-٤-١-١ فترات تغيير إشارة المرور الصفراء والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء

النهج:

يرد في هذا الجزء الفرعي الإجراءات الإضافية الموصى بها للمتطلبات الواردة في الجزء الفرعي (٢-٦-٣)، من أجل التطبيق المتسق؛ لتغيير إشارة المرور الصفراء، وفترة الإخلاء لإشارة المرور الحمراء. ونهج التطبيق الموصى به هو استخدام

البيانات الأولية بتقديرها الخيار الأفضل. ومع ذلك، لوحظت مناهج بديلة لمعلمات المعادلات الفردية بناءً على البحث أو الدراسة الهندسية أو الحكم الهندسي ((ITE, (2020).

التعريفات:

الفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء هي مدة إشارة المرور الصفراء الثابتة التي بعد كل إشارة خضراء دائرية أو سهم أخضر أو سهم الإشارة الصفراء الوامض أو إشارة السهم الأحمر الوامض المعروض في أثناء تشغيل إشارة المرور في الوضع الثابت. الغرض من الفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء هو تحذير المرور من حدوث تغيير وشيك في تخصيص حق المرور

فترة الإخلاء لإشارة المرور الحمراء هي الفترة من بداية عرض إشارة المرور الحمراء الثابتة بعد إشارة المرور الصفراء الثابتة حتى عرض إشارة المرور الخضراء للمرور المتعارض في إشارة المرور. والغرض من فترة الإخلاء لإشارة المرور الحمراء هو توفير وقت إضافي للمركبة قانونيًا لمغادرة التقاطع قبل بدء حركات المرور المتعارضة.

معادلات لحساب فترات التغيير والإخلاء:

يُحتسَب الحد الأدنى من التغيير لإشارة المرور الصفراء وفترات الإخلاء لإشارة المرور الحمراء؛ باستخدام المعادلات (أ-٢٢) و(أ-٢٣) ((ITE, (2020).

$$Y \geq t + \frac{0.28(V_{85}-V_E)}{a+9.8g} + \frac{0.28V_E}{2a+19.6g}$$ **المعادلة (أ-٢٢)**

$$R = \left\lfloor \frac{W+L}{0.28V_E} \right\rfloor - t_s$$ **المعادلة (أ-٢٣)**

حيث إن:

Y = الحد الأدنى للفاصل الزمني لتغيير إشارة المرور الصفراء (بالثانية).

t = وقت رد الفعل الإدراكي (بالثانية).

V_{85} = سرعة الاقتراب المئوية ٨٥ (كم / ساعة).

V_E = سرعة دخول التقاطع (كم / ساعة).

a = التباطؤ (م / ثانية ٢).

g = درجة الميل (نسبة مئوية / ١٠٠، المنحدر هو تدرج سلبي).

R = زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع (بالثانية).

W = المسافة لاجتياز التقاطع (العرض)، خط التوقف لنقطة عدم التعارض في الجانب البعيد على طول مسار المركبة (متر).

L= طول المركبة (متر).

t_s = تأخير بدء حركة المركبات المتضاربة (بالثانية).

وقت رد الفعل الإدراكي:

الحد الأدنى لوقت رد الفعل الإدراكي هو ١,٠ ثانية. وقت رد الفعل الإدراكي ١,٠ ثانية كافٍ لمعظم المستخدمين. ومع ذلك، إذا كانت الظروف المحلية، أو عمر السكان الذين يقودون المركبات، أو دراسة هندسية داعمة تشير إلى أن القيمة الأعلى من ١,٠ ثانية مناسبة، فيمكن استخدام التقدير الهندسي لزيادة هذه القيمة. يُرجى الملاحظة أنه إذا اتُخِذ القرار لتعديل وقت رد الفعل الإدراكي؛ فينبغي مراجعة التأثير المحتمل على التباطؤ.

الحد الأدنى والحد الأقصى:

خلال الحركات:

يجب أن يكون الحد الأدنى لقيمة الفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء خلال الحركات ٣,٠ ثوانٍ. والحد الأقصى للقيمة الموصى بها هو ٦,٠ ثوانٍ. يمكن تعديل الحد الأقصى لقيمة الفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء من خلال التقدير الهندسي و/أو الدراسة لمعالجة الأحوال الخاصة بالطرق.

حركات الانعطاف:

مع استخدام نموذج المعادلة الحركية الموسعة لحركات الانعطاف إلى اليسار، يجب استخدام الحد الأدنى للقيمة البالغة ٣,٠ ثوانٍ. بالنسبة إلى الفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء لحركات الانعطاف لليسار المسموح له باستخدام حد أقصى للقيمة يصل إلى ٧,٠ ثوانٍ. ينبغي توخي الحذر عند استخدام فترة زمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء يزيد عن ٦,٠ ثوانٍ، وتطبيق التقدير الهندسي و/أو الدراسة ضروريان لمعالجة الأحوال الخاصة بالطرق.

الفترات الزمنية لعبور المشاة:

ينبغي ألا يقل طول الفترة الزمنية للمشي عن ٧ ثوانٍ. وينبغي مراعاة فترات المشي الطويلة في المناطق التي ترتفع فيها أعداد المشاة (مثل مناطق محيط المدارس ومناطق الأعمال المركزية والأماكن الرياضية وأماكن إقامة الفعاليات).

خصائص المعادلات المتعلقة بفترات الإخلاء والتغيير:

تصغر المعادلة الحركية الممتدة حتى تصل إلى الشكل الشائع للمعادلة من خلال الحركات عندما يفترض أن V_{85} وV_E متساويين. توفر المعادلة الخاصة بالفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء (المعادلة أ-٢٢) الحد الأدنى للفاصل الزمني لتغيير إشارة المرور الصفراء المطلوب؛ لإتاحة الوقت للسائق لرؤية إشارة المرور الصفراء، ويقرر ما إذا كان عليه التوقف أو الدخول إلى التقاطع. وفي حالة وجود منحدر عند التقاطع، فتضبط هذه المعادلات الوقت لحساب تسارع الجاذبية الناجم عن انحدار الطريق وتأثيره على مسافة التوقف التي سيتم اجتيازها.

تتضمن المعادلة هذه المرة وقت رد الفعل الإدراكي للسائق، ويصل بشكل عام إلى ١,٠ ثانية. وتوفر المعادلة (أ-٢٢) للسائقين القريبين جدًا من التقاطع بحيث لا يمكنهم التباطؤ بسهولة للتوقف وقتًا كافيًا لقطع مسافة التوقف وبالتالي الوصول إلى التقاطع قبل انتهاء فترة إشارة المرور الصفراء. فالفترة الزمنية لتغيير إشارة المرور الصفراء المحدَّد استنادًا إلى الإجراءات المقدمة في هذه الوثيقة يقضي على المنطقة المُحيّرة، ولكن ستكون هناك دائمًا منطقة تردد؛ لأن السائقين يستجيبون بشكل مختلف لنفس الظروف. إذا وجّهت إشارة المرور بواسطة المركبة، يمكن أن يقلل التنسيق المناسب لإعدادات الاستشعار والتحكم من احتمالية وجود السيارة في منطقة تكرار الخدمة خلال بداية فترة تغيير إشارة المرور الصفراء.

توفر المعادلة الخاصة بفترة زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع (المعادلة أ-٢٣) للسائق الذي يدخل التقاطع قبل أن تنهي فترة تغيير إشارة المرور الصفراء الوقت بالاستمرار على الجانب الآخر من التقاطع قبل دخول المرور المتضاربة. ووفقًا لذلك، تعتمد هذه الأوقات على خصائص المرور وبيئة الطريق.

التطبيق:

ترد أدناه القيم الموصى بها للمدخلات من أجل حساب فترات التغيير والإخلاء عند التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، بخلاف متطلبات القسم الفرعي ٢-٦-٣-١١-٣-٦-٢، والتوجيهات الواردة فيه. يمكن للمهندس جمع قيمًا ميدانية حسب الضرورة وتطبيقها على هذه المعادلات من أجل التقاطعات لمجموعة متنوعة من خصائص التشغيل. إذا كان المهندس يجمع القياسات الميدانية لتعديل المدخلات في المعادلة، فيجب أخذ القياسات خلال ظروف معتدلة.

V_{85} = *السرعة المئين ٨٥ للمدخل*

خلال الحركات:

تبلغ السرعة المئين ٨٥ للمدخل على النحو المحدد في ظروف التدفق الحر، إذا كانت معروفة أو كما تحددها دراسة السرعة. ينبغي قياس سرعة الاقتراب المئين ٨٥ على اتجاه التقاطع، واتجاه منطقة تأثير عمليات التقاطع. يمكن للمهندس جمع سرعة التدفق الحر المئين ٨٥ في الميدان باستخدام الأساليب المقترحة في قسم نظرة عامة على متطلبات دراسات عمليات من هذا المجلد. وينبغي ألا تقل قيمة سرعة الاقتراب عن حد السرعة.

وإذا كانت سرعة الاقتراب المئين ٨٥ غير متاحة، ولم تُجرَ دراسة للسرعة، فيمكن تقدير سرعة الاقتراب المئين ٨٥ خلال الحركات واستبدالها بـ V_{85} باستخدام المعادلة الآتية لحساب طور تغير الضوء الأصفر:

$$V_{85E}(through) = SL + 11$$ **المعادلة (أ-٢٤)**

حيث إن:

V_{85E} = السرعة المئين ٨٥ المقدرة، بالكيلو متر/الساعة.

SL = الحد الأقصى المعلن للسرعة (كم/ساعة).

وفي الحالات التي يوثق فيها التقاطع المحكوم بإشارات مرورية ضوئية مشكلات تتعلق بتشغيل الضوء الأحمر وفي الوقت نفسه يجرى النظر في أساليب الإنفاذ بتقديرها تدابير مضادة محتملة، فينبغي على الجهات جمع البيانات الأولية من خلال سرعة المدل للحركة المستمرة للأمام بدلًا من الاعتماد على التقدير. ينبغي أن توثق الجهة التي تنفذ هذا النهج قرار السياسة والسياق المطبق لخصائص الطريق وتصنيفه، والموارد المتاحة، والحاجة إلى التقدير الهندسي.

خلال الحركات، يُفترض أن تكون السرعة السائدة للمركبات التي تخلي التقاطع أثناء زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع مماثلة لسرعة الاقتراب المئين ٨٥، وينبغي ألا تقل عن الحد الأقصى للسرعة. إذا أظهرت دراسات السرعة سرعة مختلفة عبر التقاطع على طول مسار المركبة، فعلى المهندس استخدام التقدير لتطبيق البيانات الأولية الجديدة على الحساب. يمكن أن يكون هذا ضروريًا إذا كان التقاطع المستخدم بانتظام من قبل راكبي الدراجات، يحتوي على هندسة معقدة، وإذا كان تحديد المهندس لزمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع بناءً على السرعة السائدة غير كافية للتقاطع.

حركات الانعطاف:

تتأثر قيم فترة الإخلاء للإشارة الصفراء المحسوبة بواسطة نموذج المعادلة الحركية الممتدة بشكل كبير بالقيم المستخدمة للسرعات في المعادلة. سرعة الاقتراب للمركبات المنعطفة هي قيم المئين ٨٥ في ظل ظروف التدفق الحر المقاسة من خلال دراسة السرعة، أو إذا كانت معروفة. ينبغي قياس سرعة الاقتراب في بداية التقاطع عند المسافة الحرجة المحسوبة من خلال مركبات الحركة أو مباشرة عكس اتجاه فتحة مسار الانعطاف، أيهما أقرب. بيانات السرعة الدقيقة مهمة بشكل خاص عندما تكون سرعة الاقتراب أكبر من ٦٥ كم/ساعة؛ حيث لا يلزم أن تدخل المركبات المنعطفة مسار انعطاف منفصل، أو مسارات الانعطاف الطويلة. وعندما لا تكون بيانات السرعة الفعلية متاحة، ينبغي استخدام حد السرعة لسرعة الاقتراب.

سرعة دخول التقاطع (V_E):

يوصى باستخدام سرعات دخول التقاطع المئوي ٨٥ التي قيست من خلال دراسة السرعة. ينبغي قياس سرعة دخول التقاطع عند خط التوقف في التقاطع. عندما يسمح تكوين التقاطع بسرعات أعلى لدخول التقاطع، تكون لبيانات السرعة الدقيقة أهمية خاصة. في حالة عدم توفر بيانات السرعة الفعلية، ينبغي استخدام القيم العامة البالغة ٣٢ كم / ساعة لسرعة دخول التقاطع للانعطافات لليسار.

التباطؤ، *(a):*

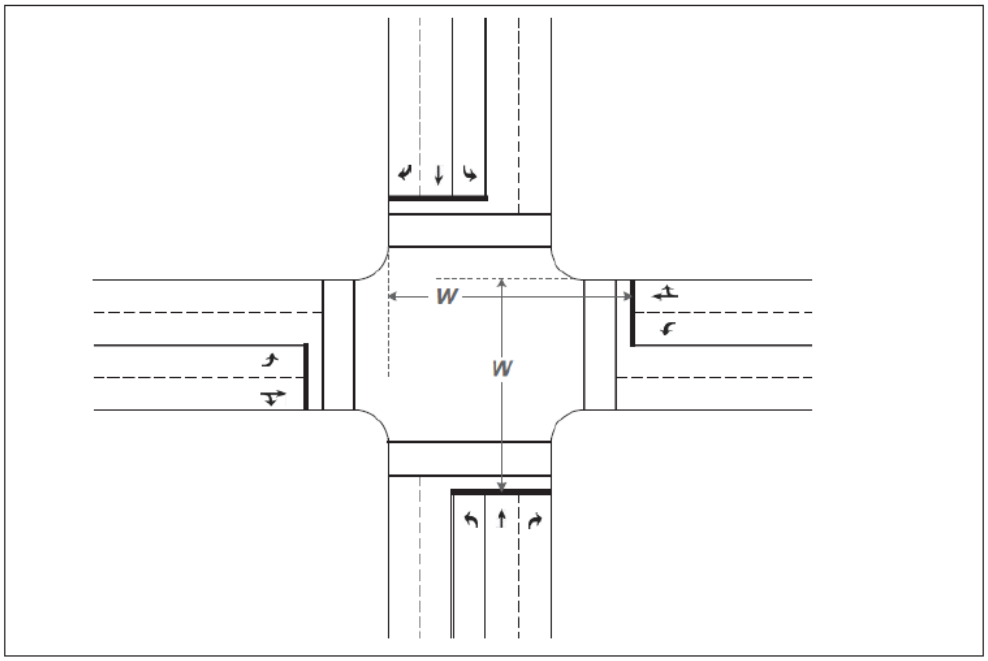
يعد التباطؤ بمقدار ٣ م/ ث ٢ مناسبًا لمعظم المستخدمين. ومع ذلك إذا كانت الظروف المحلية، أو نوع المركبة أو عمر السكان الذين يقودون المركبات، أو دراسة هندسية داعمة تشير إلى أن هناك قيمة مختلفة مناسبة؛ فيمكن استخدام التقدير الهندسي لزيادة هذه القيمة. يُرجى الملاحظة أنه إذا اتُخِذ القرار لتعديل معدل التباطؤ؛ فينبغي مراجعة التأثير المحتمل على وقت رد الفعل الإدراكي.

منحدر الاتجاه، (g):

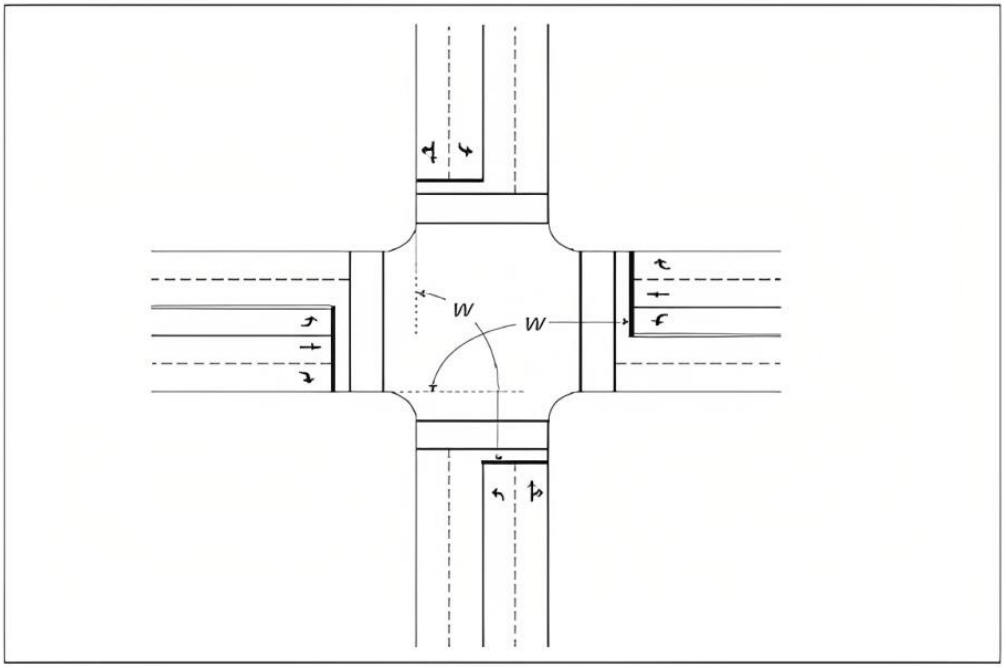
ينبغي قياس منحدرات الاتجاه في اتجاه التقاطع، عن طريق موقع المرور لمنطقة تأثير عمليات التقاطع المستخدمة لتحديد سرعة الاقتراب المئين ٨٥ من خلال نقطة خلوص عرض التقاطع الجانبي البعيد وتطبيقها على جميع الحركات في هذا الاتجاه. ينبغي قياس منحدر الاتجاه برقم عشري واحد. منحدر الاتجاه سلبي للهبوط وإيجابي للصعود. بالنسبة إلى التقاطعات الحالية، من الأفضل تقدير منحدر الاتجاه بناءً على الظروف الميدانية و/أو خطط التصميم المبنية المؤكدة بالملاحظات الميدانية. ويمكن أن استخدام طرق بديلة لجمع البيانات من المصادر الإلكترونية والمتصلة بالإنترنت مثل (Google Earth™) مع الاقتباس المناسب. بالنسبة إلى التقاطعات الجديدة، يمكن الحصول على منحدر الاتجاه من خطط التصميم. عندما يتغير المنحدر في هذه المسافة أو عندما لا تتوفر معلومات عن المنحدر على الفور، ينبغي استخدام التقدير الهندسي لتقدير قيمة مناسبة.

عرض التقاطع:

عرض التقاطع هو المسافة الإجمالية لاجتياز المسافة من خط التوقف إلى امتداد خط البردورة، أو الحافة الخارجية لمسار الرحلة، لأبعد حركة متعارضة للمركبة على طول مسار رحلة المركبة. يوضح الشكل (أ-٤٥) عرض التقاطع من خلال الحركات، ويوضح الشكل (أ-٤٦) عرض التقاطع لحركات الانعطاف لليسار. في حالة وجود مسارات متعددة لحركات الانعطاف، سواء عند الاقتراب من التقاطع أو الخروج منه، ينبغي استخدام أطول مسار طبيعي للانعطاف. ويوصى عمومًا بأن يكون امتداد خط الرصيف، بدلًا من معابر المشاة الجانبية البعيدة، إن وجدت، نقطة بعيدة عن حركة المركبات المتضاربة. تُستخدَم هذه النقطة المرجعية، نظرًا إلى أن متوسط وقت تصميم دخول المشاة هو ٣,٠ ثوانٍ، وخلال هذه الفترة، ستكون المركبة قد تحركت إلى أبعد بكثير من معابر المشاة المجاورة لامتداد الرصيف على الجانب البعيد. ومع ذلك، عندما تكون هناك حركة مرور متكررة للمشاة أو معابر المشاة محمية بإشارات مرور المشاة، ينبغي مراعاة المسافة الأطول لعرض التقاطع من خط التوقف القريب الجانبي؛ لتشمل الجانب البعيد من معابر المشاة مراعاة تامة لتحسين سلامة الجميع. ومع ذلك، يعد عرض التقاطع متغيرًا مهمًا يساهم في مدة الفترات الزمنية لإخلاء الإشارة المرور الحمراء، كما أن التقدير الهندسي ضروري عند النظر في تعاريف أطول لعرض التقاطع. توفر القياسات الميدانية بالجهاز المفضل أدق مسافة لقياس عرض الطريق. تمكن خطط التصميم المدمجة، والتصوير الجوي الحديث، ونظام تحديد المواقع العالمي، والمسوحات التي تعكس التخطيط الحالي للتقاطع الممارسين من جمع قياسات عرض التقاطع بأقل قدر من الموارد أو المخاوف المتعلقة بالسلامة في العمل الميداني.



الشكل (أ–٤٥) رسم بياني لقياس عرض التقاطع للحركة المستمرة للأمام (المصدر: ITE, (2020) – Figure 3.1).



الشكل (أ–٤٦) رسم بياني لقياس عرض التقاطع لحركات الانعطاف لليسار (المصدر:ITE, (2020) – Figure 3.2).

طول المركبة، L:

القيمة الموصى بها لطول السيارة هي ٦,١ متر. يمكن للمهندس استخدام طول مركبة مختلف إذا كان الطول البالغ ٦,١ متر لا يمثل المركبات التي تستخدم التقاطع. يمكن النظر في أطوال المركبات المختلفة استنادًا إلى دراسة تصنيف المركبات الداعمة وتطبيق الحكم الهندسي.

تأخير بدء حركة المركبات المتضاربة، t_s.

يعد تأخير بدء حركة المركبات المتضارب بمثابة عامل اختياري مع تعيين قيمة أولية عند ٠,٠ ثانية؛ حيث يمكن استخدام قيم تأخير دخول التقاطع بناءً على التقدير الهندسي أو على النحو الذي تدعمه دراسة هندسية. وعند تطبيقه، يُطرَح عامل تأخير دخول التقاطع من فترة الإخلاء لإشارة المرور الحمراء المحتسب -إذا استُخدِم-.

ينبغي أن يستخدم المهندس التقدير المناسب عند تطبيق البيانات الأساسية على الاحتساب والتي يمكن أن تكون ضرورية إذا كان التقاطع المستخدم بانتظام من قِبل راكبي الدراجات، به نصف قطر انعطاف حاد، أو إذا كان تحديد المهندس لفترة إخلاء لإشارة المرور الحمراء بناءً على السرعة السائدة غير كافٍ للتقاطع.

أ-٥-٤-١-٢ الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء:

يمثل المعامل الأدنى لإشارة المرور الخضراء أقل وقت ممكن ستُعرَض فيه إشارة المرور الخضراء لطور. ينبغي تعيين الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لتلبية توقعات السائق، ولكن يمكن أن تستند مدته أيضًا إلى تقديرات طول صف الانتظار أو توقيت سير المشاة. ويمكن أن تستفيد المواقع الحضرية ذات الطرق السريعة، وخاصة تلك التي تحتوي على عدد كبير من الشاحنات، من أوقات أطول من تلك التي في التقاطعات الحضرية.

ويمكن أن يؤدي طول الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الحمراء إلى زيادة التأخير وزيادة صف الانتظار عند التقاطع؛ فإذا كانت المدة قصيرة جدًا فقد تنتهك توقعات السائقين أو احتياجات المشاة في بعض الحالات. (في هذا الجزء الفرعي، يفترض وجود كشف المشاة وإشاراتهم. نوقشت تقديرات توقيت سير المشاة بالتفصيل في الجزء الفرعي من الفترات الزمنية لعبور المشاة أدناه)

تقديرات بيئة التشغيل للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء:

تتطلب المركبات التي لها أوقات بدء تشغيل أطول (مثل الدراجات والشاحنات وسيارات النقل) عمومًا مزيدًا من الوقت للتحرك من صف الانتظار في بداية الفترة الزمنية لإشارة المرور الخضراء. يمكن أن يكون الحد الأدنى لأوقات عرض إشارة المرور الخضراء مناسبًا في المواقع التي بها أعداد كبيرة من أنواع المركبات هذه، ويعتمد هذا على نوع تصميم الاستشعار.

القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على توقعات السائقين:

قيم الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء المدرجة في الجدول (أ-٣٨) مطلوبة؛ لتلبية توقعات السائقين وتكون هذه القيم نموذجية للمجموعات المحددة من نوع الطور والمرفق.

الجدول (أ–٣٨) القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لتلبية توقعات السائقين (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-4 Revised).

نوع الطور	نوع الطريق	الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء (بالثواني)
حركة للأمام	الطرق الشريانية الرئيسة (> ٦٤ كم / ساعة)	من ١٠ إلى ١٥
	الطرق الشريانية الرئيسة (< ٦٤ كم / ساعة)	من ٧ إلى ١٥
	الطرق الشريانية الصغرى	من ٤ إلى ١٠
	طرق تجميعية أو محلية أو ممرات	من ٢ إلى ١٠
الانعطاف لليسار	أي نوع	من ٢ إلى ٥

القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على إخلاء صف الانتظار:

بالإضافة إلى توقعات السائقين، يمكن أن يتأثر الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء أيضًا بموقع أجهزة الاستشعار. إذا لم يكن اكتشاف خط التوقف موجودًا؛ فإنه يلزم وجود حد أدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لتحرك المركبات الموجودة في صف الانتظار بين خط التوقف وأقرب جهاز لكشف الارتداد. إذا لم يكن الحد الأدنى لعرض إشارة المرور الخضراء طويلًا بما يكفي لمسح المركبات، فقد تعلق السيارة بين جهاز كشف الارتداد وخط التوقف. بدون كشف خط التوقف، لن تعرف وحدة التحكم أن هناك مركبة تنتظر. يمكن استخدام المعادلة (أ-٢٥) (بالاقتران مع المعادلة أ-٣١)؛ لتقدير الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء اللازمة لاستيفاء إخلاء صف الانتظار. تفترض المعادلة (أ-٢٥) أن الوقت الضائع عند بدء التشغيل هو ٣ ثوان وأن كل مركبة لاحقة تحتاج إلى ثانيتين لإخلاء التقاطع:

$$G_q = 3 + 2n$$ **المعادلة (أ-٢٥)**

حيث إن:

G_q = الحد الأدنى مدة عرض إشارة المرور الخضراء لإخلاء صف الانتظار (ثانية).

n = عدد المركبات الواقعة بين خط التوقف وأقرب جهاز لكشف الارتداد في مسار واحد.

$$n = \frac{d}{L_v}$$ **المعادلة (أ-٢٦)**

حيث إن:

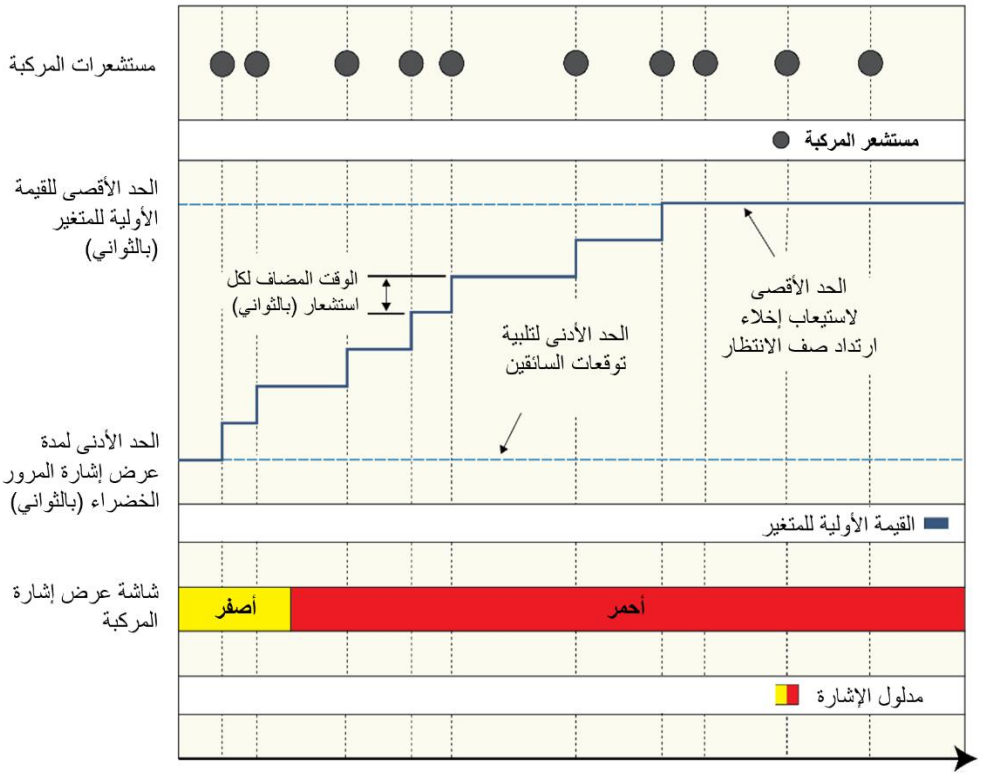
d = المسافة بين خط التوقف والحافة النهائية لأقرب جهاز كشف ارتداد (أمتار).

L_v = طول المركبة (بالمتر)، ضُبِط على ٧,٦٢ متر.

يمكن لوحدات التحكم الحديثة ضبط وقت الإشارة الخضراء المحدد لطورٍ ما بناءً على طول صف الانتظار -عندما لا يُستخدَم جهاز كشف خط التوقف- باستخدام معلمات تسمى (المتغير الأولي). غالبًا ما يُستخدَم الحد الأدنى لعرض إشارة المرور الخضراء لتلبية توقعات السائقين (نوقش في الجزء الفرعي السابق) لتحديد الحد الأدنى للمتغير الأولي، ويُحدَّد الحد الأقصى للقيمة بوقت الإشارة الخضراء اللازم لإخلاء صف الانتظار (بشرط أن تكون أعلى من الحد الأدنى لمدة الإشارة الخضراء المطلوبة لتوقعات السائقين). ستتم زيادة المتغير الأولي تدريجيًا بناءً على عدد عمليات التشغيل، مثل عدد المستخدمين الذين يتم اكتشافهم خلال الفترات الزمنية لعرض إشارة المرور الصفراء والحمراء حتى الوصول إلى الحد الأعلى، ولكن لن يكون أقل من الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء. يوفر الجدول (أ-٣٩) بعض القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء، والحد الأقصى للمتغير الأولي، والثواني المضافة لكل توجيه، بينما يوضح الشكل (أ-٤٧) المفهوم. لاحظ أن وقت إشارة المرور الخضراء لإخلاء صف الانتظار (المحتسب باستخدام أ-٢٥) مذكور في الجدول (أ-٣٩) كحد أقصى للمتغير الأولي.

الجدول (أ–٣٩) قيم التوقيت الأولية المتغيرة النموذجية لاستشعار إخلاء ارتداد صف الانتظار (بدون جهاز استشعار عند خط التوقف) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-5 Revised).

المسافة بين خط التوقف وأقرب جهاز استشعار ارتداد (بالأمتار)	الحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء (بالثواني)	الحد الأقصى للقيمة الأولية للمتغير (بالثواني)	الثواني المضافة لكل استشعار*
٨٤	١٠	٢٥	٢,٠
١٠٧	١٠	٣١	٢,٠
١٣٠	١٠	٣٧	٢,٠
١٥٢	١٠	٤٣	٢,٠
ملحوظة: ١- الثواني المضافة لكل استشعار تفترض حدوث حركة للأمام مدتها ثانيتان تقريبًا.			



الشكل (أ–٤٧) التوقيتات الأولية المتغيرة النموذجية لاستشعار إخلاء ارتداد صف الانتظار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-6).

القيم النموذجية للحد الأدنى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على التوقيت للدراجات:

في التقاطعات التي تحتوي على أحجام كبيرة من الدراجات وجهاز كشف خط التوقف للدراجات، ينبغي أن يتسع الحد الأدنى لوقت عرض إشارة المرور الخضراء (جنبًا إلى جنب مع فترات تغيير إشارة المرور الصفراء زمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع) للدراجة التي تعبر التقاطع. لا يحتاج الممارس إلى استيعاب دراجة ضمن الحد الأدنى لوقت عرض إشارة المرور الخضراء فقط. بدلًا من ذلك، ينبغي استيعاب الدراجات ضمن الحد الأدنى لطول الطور (الذي يتضمن الحد الأدنى لوقت عرض إشارة المرور الخضراء، وطور تغير الضوء الأصفر، وزمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع).

توفَّر القيم النموذجية للحد الأدنى لطول الطور المستخدم في محيط الدراجات في الجدول (أ-٤٠) (CALTRANSE, (2012)). تشمل الافتراضات الأساسية سرعة عبور دراجة تبلغ ١٦ كم / ساعة ووقت بدء تشغيل فعال يبلغ ٦ ثوانٍ (تُستخدم لتمثيل الوقت الضائع في الاستجابة للإشارة الخضراء والتسارع إلى السرعة الكاملة).

الجدول (أ–٤٠) القيم النموذجية للحد الأدنى لطول طور توقيت الدراجات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-7 Revised).

مسافة عبور الدراجة (المسافة من خط الحد إلى الجانب البعيد من آخر مسار متعارض) (بالأمتار)	الحد الأدنى لطول الطور (بالثواني)
١٢	٩,١
١٥	٩,٨
١٨	١٠,٥
٢١	١١,٢

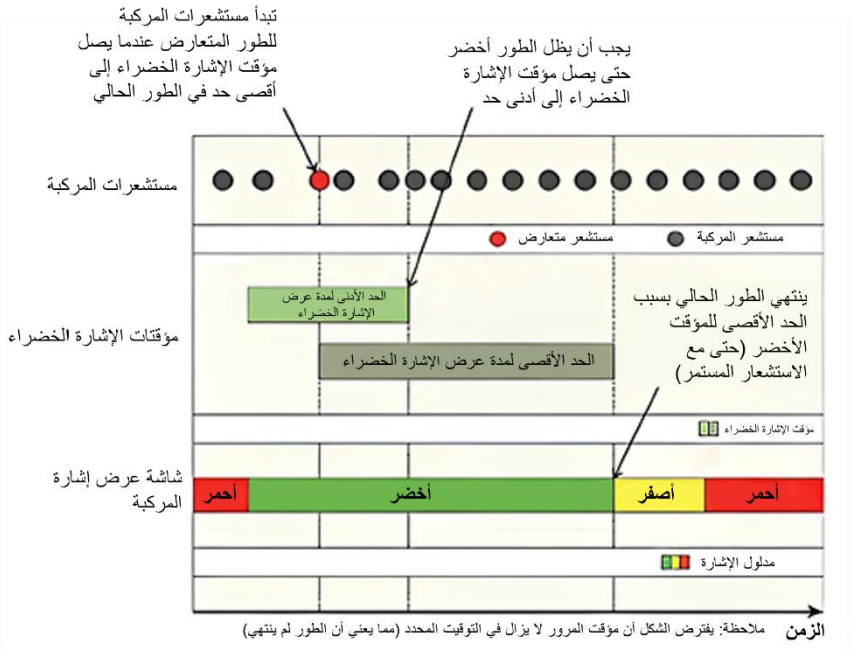
مسافة عبور الدراجة (المسافة من خط الحد إلى الجانب البعيد من آخر مسار متعارض) (بالأمتار)	الحد الأدنى لطول الطور (بالثواني)
٢٤	١١,٩
٢٧	١٢,٥
٣٠	١٣,٢
٣٤	١٣,٩
٣٧	١٤,٦
٤٠	١٥,٣
٤٣	١٥,٩
٤٦	١٦,٦
٤٩	١٧,٣
٥٢	١٨,٠
٥٥	١٨,٧

أ-٥-٤-١-٣ أقصى مدة لعرض إشارة المرور الخضراء:

يمثل الحد الأقصى لمعامل عرض إشارة المرور الخضراء الحد الأقصى للوقت الذي يمكن فيه عرض الإشارة الخضراء في وجود استدعاء طور متضارب. يمكن أن يؤدي الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء الطويل إلى إهدار الوقت عند التقاطع، ويمكن أن تؤدي الحركات التي تتعرض لفترات تأخير طويلة إلى الوقوف في صف الانتظار. إذا كانت قيمة الحد الأقصى لمدة لعرض إشارة المرور الخضراء قصيرة، فقد تكون سعة الطور غير كافية لطلب المرور، وستظل بعض المركبات غير مخدومة في نهاية الفترة الزمنية لإشارة المرور الخضراء. كما هو مبين في الشكل (أ-٤٨)، يبدأ الحد الأقصى لمؤقت إشارة المرور الخضراء التوقيت عند وجود استدعاء متضارب. إذا كان هناك طلب على الطور الذي هو توقيت حاليا ولا توجد اتصالات متعارضة، سيعاد ضبط الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء إلى أقصى قيمة لها حتى يحدث اتصال معارض.

يستخدم الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء للحد من التأخير على أي حركة عند تقاطع، ويحافظ على مدة الدورة إلى الحد الأقصى المطلوب. كما أنها تحمي من الفترات الطويلة لعرض الإشارة الخضراء بسبب الاستهلاك المستمر أو أجهزة الاستشعار المعطلة. وضع الفشل الطبيعي لجهاز الاستشعار هو وضع استدعاء مستمر للخدمة، وبالتالي فإن جهاز الاستشعار الفاشل في الطور سيؤدي إلى فشل الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لذلك الطور في كل دورة؛ لذلك يمكن أن يؤدي تحديد الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء المناسب إلى تقليل التأثير على المرور في حالة فشل جهاز الاستشعار.

من الناحية المثالية، لن يتم الوصول إلى الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء لأن نظام الاستشعار سيجد فجوة لإنهاء الطور. ومع ذلك، إذا كانت هناك استدعاءات مستمرة للخدمة في الطور الحالي واستدعاء واحد أو أكثر من الأطوار المتعارضة؛ فإن الحد الأقصى لمعامل مدة عرض إشارة المرور الخضراء سينهي في نهاية المطاف الطور الحالي.



الشكل (أ–٤٨) الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-8).

تقديرات بيئة التشغيل للحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء:

تُطوَّر القيمة القصوى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء عادة على أساس أحجام المرور، ولا تتغير عمومًا مع خصائص بيئة التشغيل المختلفة. ولكن هناك استثناء واحد وهو في الشوارع السكنية الفرعية؛ حيث قد تتسبب الفترات الطويلة لعرض إشارة المرور الخضراء إلى إعاقة المرور.

القيم النموذجية للحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء:

ينبغي أن يتجاوز الحد الأقصى لقيمة إشارة المرور الخضراء مدة إشارة المرور الخضراء اللازمة لخدمة الحد الأقصى لصف الانتظار النموذجي، وبالتالي يسمح للطور باستيعاب ذروة الطلب من دورة إلى أخرى. عادةً ما يؤدي الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء المحدد إلى إنهاء متكرر للطور حسب وجود فجوة؛ حيث يؤدي وجود فجوة في المرور، التي تشير إلى عدم كفاءة التدفق، إلى نهاية الطور في الطرق ذات السعة المنخفضة إلى المتوسطة، وأيضًا حسب الحد الأقصى العرضي خلال فترات الذروة.

يوفر الجدول (أ-٤٨) بعض النطاقات النموذجية للحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على أنواع المرافق المختلفة. ينبغي استخدام الحد الأقصى لقيم عرض إشارة المرور الخضراء الموضحة في الجدول (أ-٤١) كنقطة بداية وتعديلها بناءً على الظروف الميدانية. الممارسة الجيدة هي تغيير الحد الأقصى لمدة الإشارة الخضراء حسب الوقت في اليوم؛ لأن أحجام المرور يمكن أن تتغير بشكل ملحوظ بين ساعات الذروة والساعات التي تكون فيها الذروة منخفضة. (شُرحت خطط الوقت المحدد من اليوم بالتفصيل في القسم الفرعي أ-٥-٤-٣).

الجدول (أ–٤١) القيم النموذجية للحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء بناءً على نوع المرفق (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-9 Revised).

نوع الطور	نوع الطريق	الحد الأقصى لمدة عرض إشارة المرور الخضراء (بالثواني)
حركة للأمام	الطرق الشريانية الرئيسة (> ٦٤ كم / ساعة)	من ٥٠ إلى ٧٠
	الطرق الشريانية الرئيسة (< ٦٤ كم / ساعة)	من ٤٠ إلى ٦٠
	الطرق الشريانية الصغرى	من ٣٠ إلى ٥٠
	طرق تجميعية أو محلية أو ممرات	من ٢٠ إلى ٤٠
الانعطاف لليسار	أي نوع	من ١٥ إلى ٣٠

أ-٥-٤-١-٤ وقت المرور (تمديد الوحدة أو وقت الفجوة):

وقت المرور (يسمى أيضًا امتداد الوحدة أو الفجوة الزمنية) هو معلمة يمكن استخدامها لإنهاء الطور الحالي عند تحديد فجوة في المرور. تشير الفجوة إلى أن المرور لم تعد تعمل بمعدلات تدفق فعالة وغالبًا ما ترتبط بحركات إلى الأمام تزيد مدتها عن ثانيتين إلى ٣ ثوان في كل مسار. ستعمل عمليات استدعاء المركبات على تمديد وقت الإشارة الخضراء في الطور الحالي حتى تكون الفجوة في إشغال جهاز الاستشعار أكبر من وقت المرور المحدد. وإذا كانت أحجام المرور منخفضة بدرجة كافية، فسيسمح وقت المرور بإنهاء طور ما قبل انتهاء الحد الأقصى لوقت مدة الإشارة الخضراء. إذا كان وقت المرور قصيرًا للغاية، فيمكن أن مدة الإشارة الخضراء قبل أوانها - قبل خدمة المركبات بشكل كافٍ. وإذا عُيّنت فترة زمنية للمرور، طويل للغاية؛ فستتأخر الحركات الأخرى بسبب التمديد غير الضروري للطور.

أُزيل وقت المرور الذي يعمل بشكل أساسي من خلال جهاز التوقيت الذي يبدأ العد تنازليًا بدءًا من تشغيل جهاز الاستشعار بشكل فوري (بمعنى أن يترك أحد المستخدمين جهاز الاستشعار). وفي وحدة التحكم الحديثة، يعمل مؤقت المرور باستمرار وينتهي عند انتهاء مهلته. سيؤدي التوجيه اللاحق (بمعنى أن يتخطى مستخدم آخر جهاز الاستشعار) إلى إعادة ضبط مؤقت المرور -إذا لم يكن قد انتهى بعد-. يمكن تمديد الفترة الزمنية لعرض الإشارة الخضراء إلى الحد الأقصى لوقت الإشارة الخضراء شريطة أن يستمر مؤقت المرور في حساب الوقت. ستُنهى الطور الحالي فقط، (بمعنى أن يتم الإنهاء قبل انتهاء الحد الأقصى لوقت عرض إشارة المرور الخضراء) في حالة استيفاء جميع الشروط الآتية:

١- انتهاء صلاحية الحد الأدنى لمؤقت عرض إشارة المرور الخضراء.
٢- وجود استدعاء في انتظار الخدمة في طور متضارب.
٣- انتهاء صلاحية مؤقت المرور.

يعد نمط جهاز الاستشعار (الحث النبضي أو استشعار الحركة) مهمًا للغاية لوقت المرور. يوفر نمط الحث النبضي نبضة واحدة (يمكن إعادة الضبط فقط بعد مغادرة المركبة لجهاز الاستشعار)؛ لذلك يمكن أن تنتهي مهلة مؤقت المرور بمرور سيارة على جهاز الاستشعار. لهذا السبب، ينبغي عدم استخدام نمط الحث النبضي عادةً في التحكم في إشارات المرور، إلا عندما تُضبَط أجهزة كشف النظام فقط لعد المركبات (في حال عدم وجود صف انتظار). وإذا استُخدِمت أجهزة كشف النظام لقياس الاستيعاب؛ فينبغي أن تكون في وضع استشعار الحركة، وينبغي كذلك أن تكون موجودة خارج صفوف انتظار التقاطع العادية.

عند استخدام وضع الوجود، يعد كلًا من سرعة المركبات التي تجتاز أجهزة الاستشعار وحجم أجهزة الاستشعار بمنزلة تقديرات مهمة في تحديد وقت المرور. ويساعد اكتشاف المنطقة الواسعة (١٨ حتى ٢٥ مترًا) على تقليل أوقات المرور إلى ما يقرب من صفر، مما يوفر اكتشافًا أكثر كفاءة لخط التوقف دون الخوف من الخروج من الثغرة؛ حيث إن المركبات التي تتحرك ببطء لا تترك في العادة ثغرة تبلغ ١٨ مترًا. وعندما تحدد أجهزة استشعار خط التوقف وقت مرور، يتم احتساب (الوقت الضائع) عندما تغادر آخر مركبة منطقة الاستشعار؛ حيث إن الإشارة لا تتغير إلى اللون الأصفر إلا بعد أن تغادر المركبة خط التوقف.

وضمن تسلسل أطوار نموذجي مزدوج الحلقة يحتوي على أطوار رئيسة للانعطاف لليسار، يحتاج مؤقتا المرور الخاصان بالطورين المتزامنتين (عادةً ما يكون طورين من بين بقية الأطوار) اللتين تسبقان الحاجز إلى مهلة قبل أن يُنهى الطور (بسبب الخروج من الثغرة). إذا استُخدِمت ميزة (الخروج المتزامن من الثغرة)؛ فسيصبح من الممكن إعادة تعيين مؤقت المرور المنتهي (الذي وصل إلى صفر) عن طريق التشغيل اللاحق قبل انتهاء الطور -إذا لم يكن قد تم الخروج بالفعل من ثغرة الطور الموجود في الحلقة الأخرى-. ومع ذلك، لا ينصح باستخدام ميزة الخروج المتزامن من الثغرة في البيئات التي تتراوح كثافتها بين المتوسطة والمرتفعة؛ لأنها لن تعمل بشكل فعّال. ولاحظ أنه يمكن إعادة تعيين مؤقت المرور المنتهي قبل انتهاء أقل فترة زمنية ممكنة للإشارة الخضراء بغض النظر عن إعدادات الخروج المتزامن من الثغرة.

ويرتبط مؤقت المرور بالكفاءة بشكل مباشرة في التقاطع المحكوم بإشارات مرورية. ويتمثل التحدي في الاقتراب من القيمة المثلى لوقت المرور قدر الإمكان دون تقصير في أثناء وقت الطور (راجع الجزء الفرعي: *القيم النموذجية لوقت المرور*، أدناه لمزيد من المعلومات عن ميزة تقليل الثغرة).

تقديرات بيئة التشغيل الخاصة بوقت المرور:

لا توثر إشارات عبور المشاة على وقت المرور؛ فالفترات الزمنية للمشاة ستقوم باحتساب الوقت بغض النظر عما إذا كان مؤقت المرور يقوم باحتساب الوقت أم أنه قد انتهى. وتستوعب -عادة- الدراجات من خلال أقل فترة زمنية ممكنة لإشارة المرور الخضراء (راجع الجدول أ-٤٠) كما أنه لا يُعدّ عاملًا عند تحديد وقت المرور. وفي إطار بعض خصائص بيئة تشغيل الشاحنات، يمكن أن يكون من الأفضل زيادة وقت المرور؛ لاستيعاب الشاحنات بشكل أفضل حسب تصميم الاكتشاف.

القيم النموذجية لوقت المرور:

يستند وقت المرور المناسب المستخدم في طور معين من الإشارات إلى عدة عوامل، منها على سبيل المثال: تصميم الاكتشاف (مثل: نوع مناطق الاكتشاف لكل مسار وعددها، بالإضافة إلى موقع مناطق الاكتشاف ومساحتها) وضع الاكتشاف (يفضل تطبيق وضع التواجد) وسرعة السير. ومن الناحية المثالية، صُمِّم الاكتشاف وحُدِّد وقت المرور لضمان توفير نظام خدمات انتظار فعّالة وإنهاء آمن للطور على الطرق السريعة. ومن المهم إدراك أن مؤقت المرور المرتبط بطور يستند إلى أجهزة استشعار الإشارات في مسار فردي.

يوفر الجدول (أ-٤٢) قيم وقت مرور نموذجية للحفاظ على معدل تدفق يبلغ ١٢٠٠ مركبة لكل ساعة (فترات زمنية فاصلة تبلغ ٣ ثوانٍ) لمجموعة من السرعات وأطوال مناطق الاكتشاف. وتفترض هذه القيم وجود جهاز كشف واحد في مسار فردي (بمعنى أنه إما أن يتم تثبيت جهاز كشف عن ارتداد أو جهاز كشف عن خط التوقف). وتوجد أجهزة استشعار خط التوقف عادة في مناطق واسعة (مثل: ١,٨٢ متر × ١٨,٣٠ مترًا)، وتوجد أجهزة استشعار الارتداد عادة في مناطقة صغيرة (مثل: ١,٨٢ متر × ١,٨٢ متر). وفي حال توفر كل من أجهزة استشعار الارتداد وأجهزة استشعار خط التوقف، ستفترض القيم المذكورة في الجدول أن مؤقت المرور قد حوّل بشكل حصري إلى جهاز كشف الارتداد. وتتمتع أجهزة استشعار الارتداد بأوقات مرور تتراوح بين ٢ و٣ ثوانٍ إذا استُخدِم جهاز كشف واحد في كل مسار.

الجدول (أ–٤٢) القيم النموذجية لوقت المرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-12 Revised).

طول منطقة الاستشعار (بالمتر [بالقدم])	وقت المرور (مع حركة إلى الأمام تبلغ ٣ ثوانٍ) (بالثواني)						
	السرعة المعروضة (كم/س/[ميل/س])						
	~٤٠/[٢٥]	~٥٠/[٣٠]]	~٥٥/[٣٥]	~٦٥/[٤٠]	~٧٠/[٤٥]	~٨٠/[٥٠]	~٩٠/[٥٥]
~٢,٠[٦]	٢,٣	٢,٤	٢,٥	٢,٦	٢,٦	٢,٦	٢,٧
~٦,٠[٢٠]	١,٩	٢,١	٢,٢	٢,٣	٢,٤	٢,٥	٢,٥
~١٢,٠[٤٠]	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠	٢,١	٢,٢	٢,٣
~١٨,٥[٦٠]	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	١,٩	٢,٠
~٢٤,٥[٨٠]	٠,٣	٠,٧	١,١	١,٣	١,٥	١,٦	١,٨

كما هو موضح في الجدول (أ-٤٢)، كلما كانت منطقة الاستشعار أطول؛ كان وقت المرور أقصر. وتعمل مناطق الاستشعار الأقصر على زيادة احتمالية خروج الطور من الثغرة بسبب تباطؤ المرور. فيمكن أن تحتاج المركبات التي تتحرك ببطء (مثل الشاحنات) إلى وقت مرور أطول حتى تصل إلى منطقة كشف قصيرة، وإعادة تعيين مؤقت المرور، ومتابعة المرور من خلال التقاطع قبل انتهاء وقت الطور. ولن تتمتع المناطق التي تبلغ ١٨,٣ مترًا أو أطول بأي احتمال للخروج من الثغرة، حتى لو كان وقت المرور قليلًا أم لا. وسيؤدي استخدام مناطق اكتشاف أطول وأوقات مرور أقصر إلى تقليل (الوقت الضائع) بمجرد أن تغادر آخر مركبة خط التوقف.

من الممكن استخدام القيم المقدمة في الجدول (أ-٤٢) كنقطة بدء، وإذا كنت ترغب في إجراء تعديلات، ينبغي اتباع المبادئ التوجيهية الآتية (Bonneson & Abbas, 2002):

١- **ضمان إخلاء صف الانتظار**. ينبغي ألا يكون وقت المرور قصيرًا لدرجة أن يؤدي التحرك إلى الأمام الناتج إلى خروج الطور من الثغرة قبل الأوان بشكل متكرر عن غير قصد (أي الخروج من الثغرة الذي يحدث قبل تكوين صف الانتظار بالكامل). وسيتسبب الخروج من الثغرة بشكل دائم في ترك جزء من صف الانتظار الموقف بلا خدمة، مما سيؤدي إلى زيادة التأخير واحتمال إعاقة صف الانتظار.

٢- **تقليل تكرار الحد الأقصى**. ينبغي ألا يكون وقت المرور كبيرًا للغاية بحيث يتسبب التشغيل الناتج في أن يكون للطور حدود قصوى متكررة. وقد يسمح وقت المرور الطويل لأحجام المرور الخفيفة بتمديد الإشارة الخضراء إلى حدها الأقصى. ويمكن أن يتأخر المستخدمون المنتظرون في أطوار متضاربة ذات أحجام أكبر.

في بيئات معينة ذات أحجام أكبر، يمكن أن تُستخدَم ميزات تقليل الثغرة للحصول على المزيد من عمليات الخروج الفعال من الثغرة، لا سيما في الاتجاهات التي تحتوي على أكثر من مسار. وباستخدام ميزة تقليل الثغرة، يُستخدَم وقت مرور أكبر مبدئيًا للحيلولة دون حدوث عمليات الخروج الدائم من الثغرات عند خروج المركبات ببطء من التقاطع. وبعد وقت محدد (وقت ما قبل التخفيض)، يُخفَّض وقت المرور حتى يصل إلى أدنى قيمة للثغرة باستخدام عملية تخفيض تدريجية خلال فترة زمنية محددة (الوقت المقرر تخفيضه) مع تقليل تدفق المركبات.

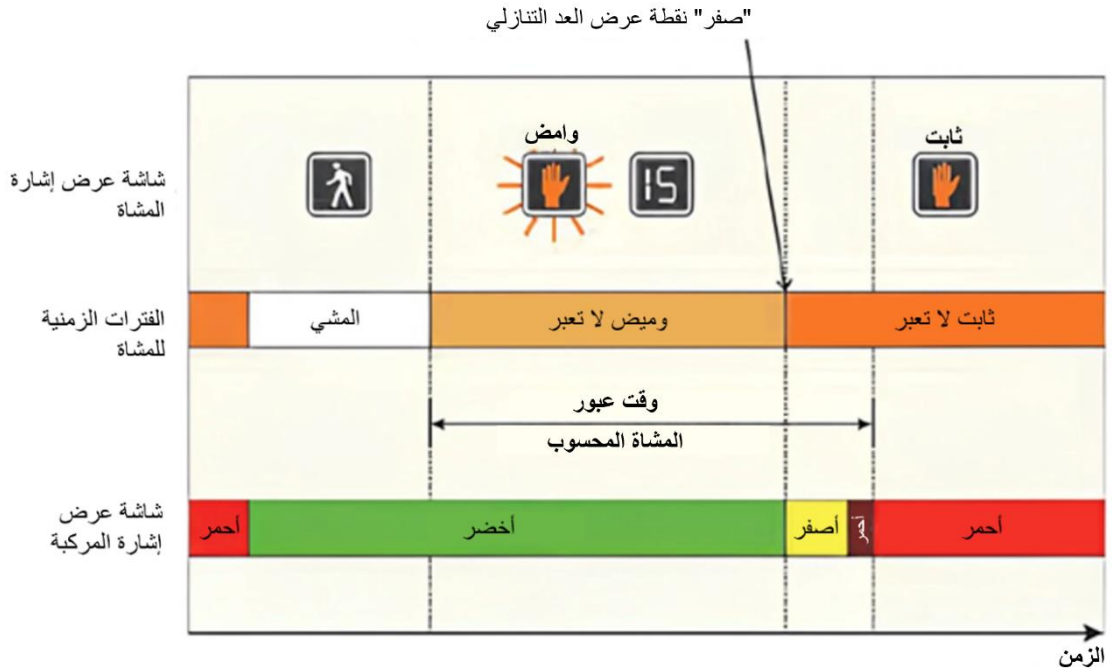
تحدد معلمة (وقت ما قبل التخفيض) الوقت المسموح بانقضائه بعد وصول استدعاء متعارض قبل أن تبدأ وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة في التقلص. وبمجرد انتهاء وقت ما قبل فترة التخفيض، تُخفّض وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة بطريقة خطية حتى تنتهي مدة الوقت المقرر تخفيضه. كما سيمكن تخفيض وحدة الزمن لتمديد مدة المرحلة الخضراء للإشارة إلى أدنى قيمة لثغرة طور الإشارة من الخروج من الثغرة بسهولة دون توقف الطور.

أ-٥-٤-١-٥ الفترات الزمنية لعبور المشاة:

يتكون طور المشاة من ثلاثة فواصل زمنية: (سير) و(إشارة وامضة لحظر السير) و(استعد لعدم السير) (كما هو موضح في الشكل أ-٤٩). تبدأ الفترة الزمنية (سير) عادة عند بداية الفترة الزمنية لإشارة المرور الخضراء المتزامن للمركبات ويُستخدَم حتى تتمكن المشاة من الانتباه إلى بداية الطور والمرور من معبر المشاة. وتتبع الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) الفترة الزمنية (سير) ليعلم المشاة أن الطور على وشك الانتهاء. وتنتهي الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) عادة عند بدء الإشارة الصفراء، الأمر الذي يعد ضروريًا لعد الثواني المتبقية في إشارات المشاة تنازليًا.

تتبع الفترة الزمنية (استعد دون أن تقم بالسير) الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير). ولا يعد وقت الفترة الزمنية (استعد دون أن تقم بالسير) معلمة قابلة للبرمجة في وحدة التحكم. ويبلغ طول مدة الفترة الزمنية (استعد دون أن تقوم بالسير) نفس طول الطور مطروحًا منه مدتي فاصلي عبور وإشارة وامضة لحظر السير. ومع ذلك، ينبغي أن يُعرَض لمدة ٣ ثوانٍ على الأقل قبل السماح بأي تحركات متعارضة للمركبات ((FHWA, (2009).

عادةً ما تتزامن الفترة الزمنية (سير)" والفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) الخاصتان بالمشاة مع الفترات الزمنية الخاصة بالمركبات. ولقد تمت برمجة أقل مدة للتحرك في وحدة التحكم، ويمكن ان تكون الفترة الزمنية للتحرك الفعلي أطول بناءً على العديد من إعدادات وحدة التحكم الأخرى التي نوقشت في الجزء الفرعي (أ-٥-٥). وينبغي على الممارس أن يضع تأثير الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة على المستخدمين الآخرين في الحسبان عند الوصول إلى التقاطع. وإذا كانت الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة تتطلب أكثر من الوقت الذي تتطلبه المركبات أو المسموح به من قبل مؤقت الحد الأقصى للإشارة الخضراء، فستستمر طور المركبات في حساب الوقت حتى تنتهي الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) الخاص بالمشاة من حساب الوقت.



الشكل (أ–٤٩) الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-15).

تقديرات بيئة التشغيل الخاصة بالفترات الزمنية الخاصة بالمشاة:

من الممكن زيادة الفترات الزمنية بناءً على أحجام المشاة وخصائص المشاة (مثل: المشاة كبار السن أو أطفال المدارس) وخصائص المرافق (مثل: مكان أزرار الضغط الخاص بالمشاة والمسافات المخصصة لعبور المشاة). وقد يُنظر في إطالة وقت الفترة الزمنية (سير) في حال وجود أحجام كبيرة من المشاة، كما يمكن أن يُلجأ إلى إطالة وقت الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) بالقرب من الأماكن التي يوجد بها فئات مشاة يحتاجون إلى المزيد من الوقت.

يمكن أن يُنظر في الفترات الزمنية الرئيسة للمشاة في حال وجود أعداد كبيرة من المشاة، أو عند وجود مشكلات معينة تهدد سلامة المشاة (مثل: وجود أعداد كبيرة من المركبات المنعطفة). فالفترات الزمنية الرئيسة الخاصة بالمشاة تعد حلًا يمكن المشاة من إبلاغ سائقي المركبات بوجودهم عند معابر المشاة؛ مما يقلل من تعارض مرورهم مع المركبات المنعطفة. ويتوفر المزيد من المعلومات في الجزء الفرعي *إرشادات إضافية بخصوص الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة—الفترات الزمنية الرئيسة الخاصة بالمشاة* الوارد أدناه.

القيم النموذجية للفاصل الزمني الخاص بسير المشاة:

ينبغي أن توفر الفترة الزمنية (سير)" المزيد من الوقت للمشاة؛ حتى يتمكنوا من إدراك إشارة التحرك ومن ثم يغادرون الرصيف قبل أن تبدأ الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير). وبمعنى آخر، ينبغي أن يكون طويلًا بما يكفي حتى يتمكن المشاة فردًا كان أو مجموعة في الأماكن التي تحتوي على عدد كبير من المشاة من الدخول إلى معابر المشاة. ووفقًا لما نوقش في الجزء الفرعي (٢-٦-٣)، ينبغي ألا يقل طول الفترة الزمنية "سير" عن ٧ ثوانٍ. ويجب مراعاة فترات المشي الطويلة في المناطق التي ترتفع فيها أعداد المشاة (مثل مناطق محيط المدارس ومناطق الأعمال المركزية والأماكن الرياضية وأماكن إقامة الفعاليات). وقد وفِّرت القيم النموذجية للفواصل الزمنية الخاصة بسير المشاة في الجدول (أ-٤٣) ((FHWA, (2009), ITE, (2001)).

الجدول (أ–٤٣) القيم النموذجية للفواصل الزمنية الخاصة بتحرك المشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-16).

الظروف	الفترة الزمنية "سير" (بالثواني)
منطقة ذات كثافة عالية من المشاة (مثل: المدارس ومناطق الأعمال المركزية وأماكن الفعاليات الرياضية).	من ١٠ إلى ١٥
كثافة المشاة النموذجية ومدة الدورة الأطول.	من ٧ إلى ١٠
كثافة المشاة النموذجية ومدة الدورة الأقصر.	٧

كثافة المشاة القليلة وغير ذلك من مدة الدورة الأطول.	٤

القيم النموذجية لعبور المشاة:

يقصد بفترة عبور المشاة الوقت الذي يحتاجه المشاة لعبور الشارع تمامًا، بافتراض أن الفترة الزمنية (سير) قد انتهت وأن الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) قد بدأت. وأحد الخيارات ذات الاستخدام الخاص هو استخدام ميزة اكتشاف المشاة؛ لضبط وقت عبور المشاة تلقائيًا بناءً على سرعات المشي الفعلية للمشاة أو عبور ممر المشاة، وعلى الرغم من ذلك، يعد حساب وقت عبور المشاة اللازم باستخدام سرعة مشي محددة مسبقًا هو الطريقة الأكثر تقليدية.

وينبغي أن تكون أوقات عبور المشاة كافية حتى تسمح للمشاة البالغة سرعة سيرهم ١,٠٧ متر في الثانية بالعبور من الرصيف أو كتف الطريق إلى (أ) الجانب الآخر من قارعة الطريق أو (ب) جزيرة وسطية ذات عرض يكفي لانتظار المشاة (٢). وإذا استخدم مشاة سرعتهم أبطأ من تلك المذكورة أعلاه معبرًا بشكل روتيني؛ فسيصبح من الممكن استخدام سرعة مشي أقل من ١,٠٧ متر في الثانية عند تحديد وقت عبور المشاة.

باستخدام سرعة مشي محددة، يصبح من الممكن حساب وقت عبور المشاة باستخدام المعادلة (أ-٢٧) . ولحساب الوقت المخصص للفاصل الزمني (إشارة وامضة لحظر السير) المبرمج بشكل روتيني في جدول أطوار وحدة التحكم في الإشارات، ينبغي على الممارس طرح أوقات فترات تغيير إشارة المرور الصفراء والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء من وقت عبور المشاة الذي تم احتسابه.

$$PCT = \frac{D_c}{v_p}$$ **المعادلة (أ-٢٧)**

حيث إن:

PCT = وقت عبور المشاة (بالثواني).

D_c = مسافة عبور المشاة (بالأمتار).

v_p = سرعة مشي المشاة (الأمتار لكل ثانية).

إن القيم النموذجية لأوقات عبور المشاة (احتسبت باستخدام المعادلة أ-٢٧)، بافتراض سرعة مشي تبلغ ١,٠٧ متر في الثانية، لمختلف مسافات عبور المشاة المختلفة موضحة في الجدول (أ-٤٤).

الجدول (أ–٤٤) القيم المحسوبة لوقت عبور المشاة (بناءً على سرعة مشي تبلغ ١,٠٧ متر في الثانية) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-18 Revised)).

مسافة عبور المشاة (بالأمتار)	وقت عبور المشاة المحسوب (بالثواني)
١٢	١١
١٨	١٧
٢٤	٢٢
٣٠	٢٨

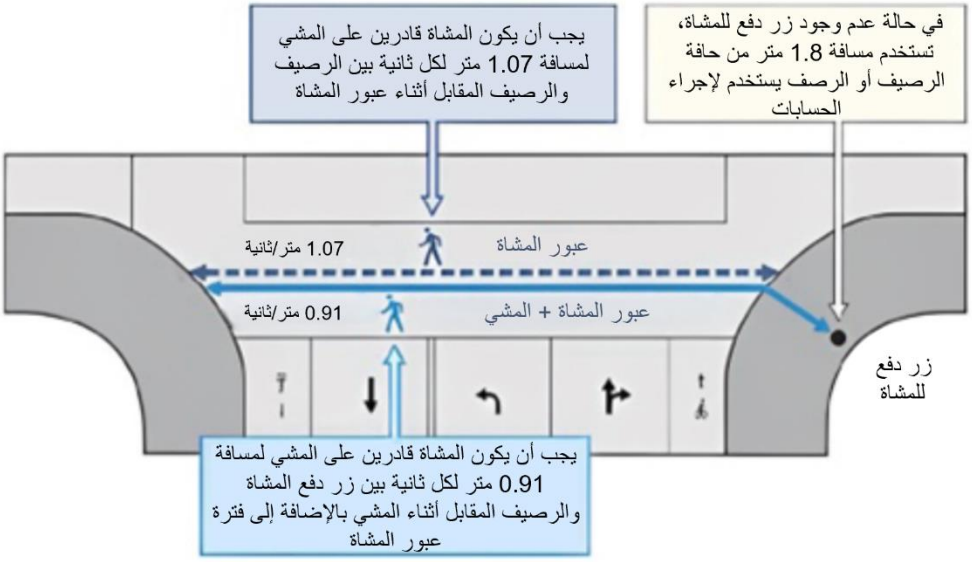
القيم النموذجية للفاصل الزمني (إشارة وامضة لحظر السير) المخصص للمشاة:

من الممكن تحديد الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) المخصصة للمشاة (أطلق عليه بشكل غير صحيح عبور المشاة في بعض جداول أطوار وحدة التحكم) عن طريق تقليل وقت عبور المشاة المحسوب للتقاطع، عن طريق أو قات تغيير إشارة المرور الصفراء والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء. كما أن وقت الفترة الزمنية (إشارة وامضة لحظر السير) المعروض في أثناء فترات تغيير إشارة المرور الصفراء والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء هو في الأساس وقت (أُضيف للسير) قبل التحرّك المتعارض.

توجيهات إضافية بخصوص الفترات الزمنية الخاصة بالمشاة - السير لمدة ٤ ثوانٍ:

رغم أن الفترات الزمنية المخصصة لسير المشاة البالغة مدتها ٧ ثوانٍ مناسبة عادةً في معظم المواقف؛ فإنه يمكن أن استخدام فواصل زمنية قصيرة للسير تصل مدتها ٤ ثوانٍ ((FHWA, (2009) إذا كانت أحجام المشاة وخصائصها لا تستلزم فترة سير كاملة مدتها ٧ ثوانٍ. وينبغي أن يكون إجمالي مدة سير المشاة وعبورهم البالغ ٤ ثوانٍ (تُحتسَب بمعدل ١,٠٧ مترًا في الثانية)

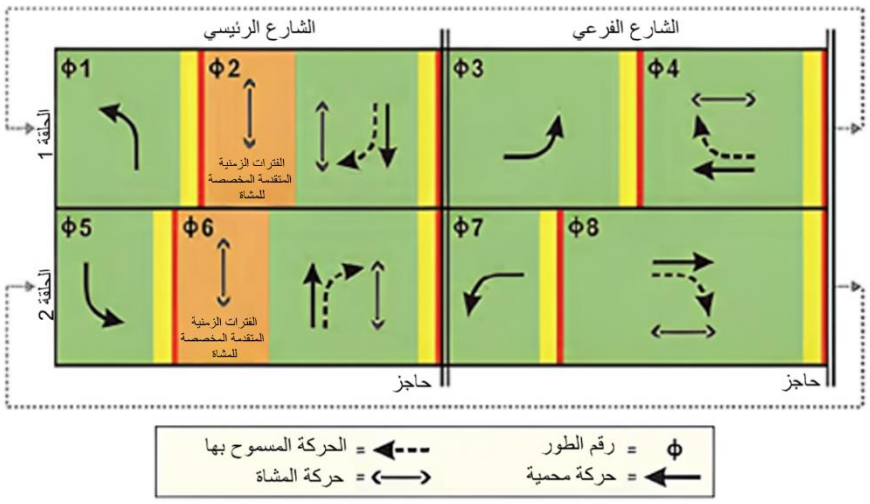
وقتًا كافيًا لانتقال المشاة من أمام جهاز الاستشعار المخصص للمشاة (أو في حالة عدم وجود جهاز كشف، يكون من مكان يبعد ١,٨ متر من حافة الرصيف أو جانب السير)، عند بدء إشارة السير إلى الجانب الآخر من قارعة الطريق أو الجزيرة الوسطية، في أثناء التنقل في معبر المشاة بسرعة سير تبلغ ٠,٩١ متر في الثانية (راجع الشكل أ-٥٠). كما ينبغي إضافة أي وقت إضافي يلزم لتلبية الشرط الذي ينص على أن سرعة السير تكون ٠,٩١ متر في الثانية إلى الفترة الزمنية السير ((FHWA, (2009).



الشكل (أ–٥٠) متطلبات الفترة الزمنية المخصصة للمشاة بناءً على سرعة المشي (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-19 Revised).

توجيهات إضافية بخصوص الفترات الزمنية الرئيسة المخصصة للمشاة:

إن وجود فترة زمنية رئيسة مخصصة للمشاة يسمح بعرض إشارة التحرك لطور المشاة قبل طور المركبات ذات الصلة. ويساعد هذا الحل المشاة على الاستمتاع بحقهم في المرور في أي تقاطع، كما قد يساعد على تمكين سائقي المركبات وراكبي الدراجات والمستخدمين الآخرين للنظام من رؤية المشاة. وفيما يتعلق بالحلول الخاصة بالمشاة، إذا استُخدِمت فترة زمنية رئيسة مخصصة للمشاة، ينبغي أن تكون مدته ٣ ثوانٍ على الأقل، وينبغي مراعاة حظر الانعطاف عبر معبر المشاة خلال هذا الوقت ((FHWA, (2009). ويستخدم الشكل (أ-٥١) مخطط حلقة وحاجز لتوضيح تسلسل الأطوار مع تحديد فواصل زمنية رئيسة للمشاة في الطورين ٢ و٦.



الشكل (أ–٥١) الفترات الزمنية المتقدمة المخصصة للمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-20).

أ-٥-٤-١-٦ المدخل المزدوج:

تُستخدم معلمة المدخل المزدوج (المضاعف) لاستدعاء أطوار المركبات التي قد تكون متزامنة الوقت، حتى لو كان طورًا واحدًا فقط هو الذي يتلقى استدعاءً فعالًا. فعلى سبيل المثال: إذا كان المدخل المزدوج نشطًا للطورين ٤ و٨، وتلقى الطور ٤ استدعاءً، ولم تُستدعَ المرحة ٨ أبدًا، فسيظل الطور ٨ معروضًا مع الطور ٤. ويعد الاستخدام الأكثر شيوعًا للمدخل المزدوج هو تنشيط المعلمة للتوفيق من خلال التحركات. وإذا لم تُحدَّد معلمة المدخل المزدوج، فلن ينتج استدعاء المركبة في الطور إلا في وقت ذلك الطور في حال عدم وجود استدعاء في الطور المتوافق.

أ-٥-٤-١-٧ عمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة:

تعمل معلمة الاستدعاء على جعل وحدة التحكم تضع استدعاءً تلقائيًا لطور محدد بغض النظر عن وجود أي استدعاءات صادرة عن جهاز الاستشعار. وتوجد أربعة أنواع للاستدعاءات: (أدنى استدعاء) (يعرف أيضًا باستدعاء المركبات) و(أقصى استدعاء) و(الاستدعاء اللين) و(استدعاء المشاة). وفي حال عدم وجود أي نوع من الاستدعاءات المذكورة أعلاه أو استدعاءات قابلة للاستجابة، فيمكن أن تكوّن وحدة التحكم لتظل باللون الأحمر أو الأخضر الذي كان قبله. فيما يأتي توضيح أنواع الاستدعاءات:

- **أدنى استدعاء**: تعمل معلمة (أدنى استدعاء)" على جعل وحدة التحكم تضع استدعاءً؛ لاستخدام مركبة ما في طور ما حتى تقوم باستخدام أقل مدة لها باللون الأخضر على الأقل.
- **أقصى استدعاء**: تعمل معلمة (أقصى استدعاء) على جعل وحدة التحكم تضع استدعاءً مستمرًا؛ لاستخدام مركبة ما في طور ما؛ حتى تقوم بتشغيل أقصى مدة خضراء في كل دورة.
- **الاستدعاء السهل**: تعمل معلمة (الاستدعاء السهل) على جعل وحدة التحكم تضع استدعاءً؛ لاستخدام مركبة ما في طور ما في عدم وجود استدعاء متضارب قابل للاستجابة.
- **استدعاء المشاة**: تعمل معلمة (استدعاء المشاة) على جعل وحدة التحكم تضع استدعاءً مستمرًا؛ لاستخدام الفترة الزمنية الخاصة بالمشاة في طور ما، مما سيؤدي إلى أن تقوم وحدة التحكم بحساب وقت فواصلها الزمنية المخصصة للسير والإشارة الوامضة لحظر السير في كل دورة.
- **توقف في الإشارة الحمراء**: يمكن أن تظل جميع الأطوار على حالتها الحمراء عند عدم وجود استدعاءات قابلة للاستجابة في الحلقة، ولا يُستخدَم أي وضع من أوضاع الاستدعاء المذكورة أعلاه.
- **توقف في الإشارة الخضراء**: في حال عدم وجود أي استدعاءات قابلة للاستجابة، ولا يوجد أيضًا أي استدعاء أو توقف في الإشارة الحمراء، ستتوقف وحدة التحكم في آخر إشارة خضراء.

تشير أوضاع الذاكرة إلى قدرة وحدة التحكم على تذكر (أي الاحتفاظ) بتشغيل جهاز الاستشعار لطور معين عند تلقي أمر تشغيل خلال الفترة الزمنية للإشارة الحمراء (وبشكل اختياري، الفترة الزمنية للإشارة الصفراء). ومن الممكن استخدام أحد الوضعين: عدم القفل أو القفل. ويُضبَط وضع الذاكرة عادةً حسب كل طور، رغم أن بعض وحدات التحكم في إشارات المرور يمكن أن تحتوي على إعدادات وضع الذاكرة المتوفرة لكل إدخال لقناة جهاز الاستشعار. وعادةً ما يكون وضع عدم القفل هو الوضع الافتراضي، ولكن بغض النظر عن وضع جهاز الاستشعار الذي اختير؛ فإنه يتم التعامل مع جميع أوامر التشغيل المستلمة في أثناء الفترة الزمنية للإشارة الخضراء على أنها غير مقفلة بواسطة وحدة التحكم. ويرد فيما يأتي أوصاف هذه الأوضاع:

- **وضع عدم القفل**: في وضع عدم القفل، لا تحتفظ وحدة التحكم بأمر التشغيل المتسلم من جهاز الاستشعار بعد ترك التشغيل من قبل وحدة الاستشعار. ولا تتعرف وحدة التحكم على أمر التشغيل إلا في أثناء الوقت الذي تحتفظ به وحدة الاستشعار.
- **وضع القفل**: في وضع القفل، يُستخدَم أول أمر تشغيل تتلقاه وحدة التحكم على قناة محددة في أثناء الفترة الزمنية للإشارة الحمراء (وبشكل اختياري، الفترة الزمنية للإشارة الصفراء)؛ بواسطة وحدة التحكم لبدء استدعاء مستمر للخدمة. ويُحتفَظ بهذا الاستدعاء حتى يتم استخدام الطور المخصص، بغض النظر عما إذا كانت توجد مركبات تنتظر الحصول على الخدمة أم لا.

تقديرات بيئة التشغيل لعمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة:

ينبغي أن يحدد الممارس إعدادات الاستدعاء (أو أن يسمح بالاستراحة الحمراء) بناءً على بيئة التشغيل. فعلى سبيل المثال: قد يكون توفير الخدمات للطرق الشريانية أفضل من خلال الاستدعاء السهل إذا كان الاكتشاف متوفرًا في جميع الأطوار. وعلى الجانب الآخر، يمكن أن يُستخدَم استدعاء المشاة في الأماكن و/أو الأوقات ذات كثافات المشاة المرتفعة.

الإعدادات النموذجية لعمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة:

من الممكن أن تكون بعض إعدادات عمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة مناسبة أكثر من غيرها بناءً على تصميم الاكتشاف وعمليات الإشارة المقصودة. ويقدم الجدول (أ-٤٥) ملخصًا لإشارات الاكتشاف النموذجية والتقديرات الخاصة بالاستدعاءات المتنوعة والمزيد من إعدادات أوضاع الذاكرة. ويفترض التوجيه تركيب جهاز كشف واحد في كل مسار. وستتمتع

التقاطعات التي تحتوي على المزيد من تصميمات أجهزة الاستشعار المعقدة بإعدادات مختلفة ويجب تقييمها على أساس كل حالة بمفردها.

الجدول (أ–٤٥) التقديرات الخاصة بعمليات الاستدعاء وأوضاع الذاكرة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-21).

	الإعدادات	تصميمات الاكتشاف النموذجية	أسباب الاستخدام
الاستدعاءات	من دون استدعاءات.	أجهزة استشعار خط التوقف أو أجهزة استشعار الارتداد المزودة بوضع القفل.	طلب حركة مرور خفيفة نسبيًا، ولا يلزم استخدام الأطوار في كل دورة.
	أدنى استدعاء (استدعاء المركبات).	أجهزة استشعار الارتداد المزودة بوضع عدم القفل.	من المتوقع استخدام الأطوار في كل دورة (على سبيل المثال: في الشوارع الرئيسة بسبب التحركات) مع تمديد وقت الإشارة الخضراء بناء على تشغيل المركبات.
	أقصى استدعاء.	من دون أجهزة كشف.	يفضل تشغيل الوقت المحدد، أو لا يفضل الخروج من الثغرة. ولا يُستخدَم أقصى استدعاء عادة في التقاطعات المشغلة بالكامل المزودة بأنظمة كشف جيدة وإعدادات وقت مرور مناسبة.
	الاستدعاء السهل.	أجهزة استشعار الارتداد المزودة بوضع القفل.	يتم استخدامه في الشارع الرئيس لمراقبة التحركات لضمان أن هذه التحركات ستتوقف أثناء الإشارة الخضراء في حالة عدم وجود استدعاءات في أطوار متضاربة، ويسمح بتخطي الشوارع الرئيسة؛ بسبب التحركات عند عدم وجود استدعاءات طور الشارع الرئيس شريطة وجود استدعاءات في أطوار أخرى.
	استدعاء المشاة.	من دون أجهزة استشعار المشاة.	من المتوقع أن تكون طلبات المشاة مرتفعة، ومن المتوقع كذلك أن تكون أطوار المشاة مستخدمة في كل دورة.
	توقف في الإشارة الحمراء.	أجهزة استشعار خط التوقف أو أجهزة استشعار الارتداد المزودة بوضع القفل.	عادةً ما يُستخدَم عند التقاطعات التي لا توجد بها شوارع رئيسة أو فرعية قابلة للتحديد.
أوضاع الذاكرة	وضع عدم القفل.	أجهزة استشعار خط التوقف.	يسمح بإكمال التحركات المسموح بها (مثل: الانعطاف إلى اليمين عندما تكون الإشارة حمراء) دون الحاجة إلى تغيير الطور.
	وضع القفل.	أجهزة استشعار الارتداد من دون أجهزة استشعار خط التوقف.	يُستخدَم في الشوارع الرئيسة؛ بسبب التحركات المرتبطة بنسبة منخفضة من المركبات المنعطفة عند عدم استخدام الاستدعاءات.

بافتراض تخصيص الطورين ٢ و٦ للشارع الرئيس بسبب التحركات، يُوضح الجدول (أ-٤٦) الإعدادات النموذجية في أوضاع الاستدعاء والذاكرة في التقاطع كامل التشغيل.

الجدول (أ–٤٦) الإعدادات النموذجية الخاصة بأوضاع الاستدعاء وأوضاع الذاكرة في تقاطع مشغل بالكامل (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-22).

	الإعدادات	الأطوار قيد التشغيل	الأطوار قيد الإيقاف
الاستدعاءات	أدنى استدعاء (استدعاء المركبات)	لا شيء	جميع الأطوار
	أقصى استدعاء	لا شيء	جميع الأطوار
	الاستدعاء السهل	٢ و٦	جميع الأطوار (ما عدا ٢ و٦)
	استدعاء المشاة	لا شيء	جميع الأطوار

الإعدادات	الأطوار قيد التشغيل	الأطوار قيد الإيقاف
أوضاع الذاكرة	وضع القفل*	لا شيء	جميع الأطوار
	ملحوظة: ١- تتضمن الأسماء الشائعة في وحدات التحكم في إشارات المرور (الذاكرة)"، "(القفل الأحمر)"، وما إلى ذلك. ويوفر (القفل الأصفر) عمليات مشابهة، ولكنه يتيح أيضًا الاحتفاظ بالمشغلات المستلمة أثناء الفترة الزمنية للإشارة الصفراء.	

أ-٥-٤-٢ عمليات تهيئة أجهزة الاستشعار:

يوضح هذا الجزء الفرعي معلمات أجهزة الاستشعار الآتية التي تستخدم عادة في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية:

التأخير.

التمديد / التأجيل / إطالة الوقت.

تبديل جهاز الاستشعار.

تطبق معلمات أجهزة الاستشعار الآتية على أجهزة كشف المركبات فقط (وليس أجهزة كشف المشاة).

أ-٥-٤-٢-١ التأخير:

تُستخدم معلمة التأخير لتعطيل خرج جهاز الاستشعار مؤقتًا لطور ما، مما يمنع بشكل أساسي التعرف على مشغلات المركبات على الفور عن طريق وحدة التحكم في الإشارة. ولا يتوفر تشغيل مركبة إلا إذا انتهت صلاحية مؤقت التأخير وكانت منطقة الاستشعار لا تزال مشغولة. ومن الممكن برمجة معلمة التأخير في جهاز الاستشعار أو وحدة التحكم. ومع ذلك، ينبغي لممارس توقيت الإشارات ألا يقوم ببرمجة معلمة التأخير في كل من جهاز الاستشعار ووحدة التحكم، أو يمكن أن تؤخر الاستدعاءات لفترة أطول من المتوقع. ولا يصبح مؤقت التأخير نشطًا إلا عندما لا تكون مرحلته المخصصة خضراء.

تسري معلمة التأخير عادة على (١) أجهزة استشعار خط التوقف في الشوارع الفرعية في مسارات الانعطاف إلى اليمين الحصرية و(٢) أجهزة استشعار مسارات الانعطاف إلى اليسار. وتُستخدَم معلمة التأخير لمنع تسجيل الاستدعاءات الخاطئة في وحدة التحكم (على سبيل المثال: يمكن أن يتم عبور أجهزة الاستشعار المثبتة في مسارات الانعطاف إلى اليسار عن طريق الخطأ بواسطة المركبات في طور آخر أو عبر المركبات المتعامدة إلى اليسار) أو للسماح بإجراء التحركات المسموح بها دون استدعاء طور محمي.

القيم النموذجية للتأخير:

تستند القيم المناسبة للتأخير إلى المدة التي من المتوقع أن تشغل خلالها المركبة جهاز الاستشعار قبل أن تغادر المركبة جهاز الاستشعار. يقدم الجدول (أ-٤٧) ملخصًا للقيم النموذجية للاستخدامات الشائعة الآتية:

- من الممكن استخدام التأخير مع خط التوقف، واكتشاف وضع الإتاحة للتحركات الانعطافية من المسارات الحصرية. وبالنسبة إلى اكتشاف مسارات الانعطاف إلى اليمين، ينبغي أخذ التأخير في الحسبان عندما تتجاوز سعة الانعطاف إلى اليمين عندما تكون الإشارة حمراء الحجم المروري للانعطاف إلى اليمين أو يتم استدعاء حركة متعارضة. وإذا كانت سعة الانعطاف إلى اليمين عندما تكون الإشارة حمراء محدودة؛ فيمكن أن يتسبب التأخير في التقليل من كفاءة التقاطع فقط عن طريق تأخير المركبات المنعطفة إلى اليمين لمدة أطول. وقد تتراوح إعدادات التأخير بين ٨ و١٢ ثانية، مع استخدام القيم الأكبر لتقاطعات الشوارع ذات الأحجام الأعلى (Bonneson & Abbas, 2002).
- كما يمكن أن يُستخدَم التأخير لمنع تسجيل استدعاء خاطئ في وحدة التحكم إذا فضلت المركبات تجاوز منطقة اكتشاف لطور آخر. فعلى سبيل المثال: غالبًا ما تتجاوز المركبات المنعطفة إلى اليسار المسار المتعامد ذات الاتجاه الأيسر في نهاية تحركها للانعطاف. وقد تتسبب فترة تأخير جهاز الاستشعار المقترنة بذاكرة في وضع عدم القفل في منع تقديم استدعاء لجهاز الاستشعار غير المشغول. وتستند قيمة التأخير إلى طول المدة التي شغلها جهاز استشعار طريق الخطأ. وتتراوح القيم النموذجية عادة بين ٢ و٥ ثوانٍ.

الجدول (أ–٤٧) القيم النموذجية للتأخير (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 6-24).

الاستخدامات الشائعة للتأخير	أجهزة الاستشعار القابلة للاستخدام	التأخير (بالثواني)
الانعطاف عندما تكون الإشارة حمراء في مسارات الانعطاف إلى اليمين.	أجهزة استشعار خط التوقف في مسارات الانعطاف إلى اليمين الحصرية في الشوارع الفرعية.	من ٨ إلى ١٢
منع الاستدعاءات الخاطئة الخاصة بمسارات الانعطاف إلى اليمين.	أجهزة استشعار خط التوقف في مسارات الانعطاف إلى اليسار.	من ٢ إلى ٥

أ-٥-٤-٢-٢ تمديد الوقت (التأجيل أو إطالة الوقت):

يعد تمديد الوقت (يطلق عليه أيضًا التأجيل أو إطالة الوقت) طريقة تستخدم لزيادة مدة تشغيل جهاز الاستشعار. وكما هو الحال بالنسبة إلى التأخير، من الممكن برمجة تمديد الوقت في جهاز الاستشعار أو وحدة التحكم. وينبغي على ممارسي توقيت إشارة المرور التأكد من أن تمديد الوقت ليس مبرمجًا في كل من جهاز الاستشعار ووحدة التحكم، أو أنه يمكن أن تُمدّد الاستدعاءات لمدة أطول من اللازم. ويبدأ مؤقت التمديد في اللحظة التي يكون فيها إدخال قناة التشغيل غير نشط. ولذلك، يمكن تمديد التشغيل الذي تبلغ مدته ثانية واحدة في إدخال جهاز الاستشعار حتى ٣ ثوانٍ إذا عُيّنت معلمة التمديد على ثانيتين.

عادة ما يتم استخدام معلمة التمديد مع تصاميم الاكتشاف التي تجمع بين العديد من أجهزة استشعار الارتداد المثبتة على الطرق السريعة. ويتمثل الهدف عند استخدامها على الطرق السريعة (مع أجهزة كشف متعددة لكل مسار) في تمديد الفترة الزمنية للإشارة الخضراء، مما يوفر وقتًا كافيًا لمركبة تقترب من التقاطع حتى تصل إلى جهاز الاستشعار الخاص بمجرى المرور. وبعد ذلك ستتمكن المركبة من تقديم استدعاء جديد؛ لتمديد الفترة الزمنية للإشارة الخضراء إذا كانت تسير بالسرعة المفترضة.

كذلك يمكن استخدام هذه الميزة لتوفير وقت مرور لكل مسار بمفرده. وعوضًا عن وقت المرور الذي يُتحكَّم فيه عن طريق جدول الأطوار، يضاعف جهاز الاستشعار معلمة التمديد، مما سيتيح احتساب وقت كل مسار بمفرده. وفي حال استخدام ميزة اكتشاف خط التوقف، ينبغي استخدام ميزة فصل جهاز استشعار الخروج من الثغرة. وسيساعد هذا على التخلص من صف الانتظار، لكنه سيحول دون تمديد الطور بشكل دائم.

القيم النموذجية لتمديد الوقت من خلال تثبيت العديد من أجهزة الاستشعار لكل مسار:

يعتمد تمديد الوقت المخصص لجهاز الاستشعار على سرعة الطريق، وحجم جهاز الاستشعار، والمسافة بين جهاز الاستشعار المعني وجهاز الاستشعار الخاص بمجرى المرور التالي. وللحفاظ على الكفاءة يجب أن تصل مدة القيم النموذجية إلى ثانيتين.

أ-٥-٤-٢-٣ تبديل جهاز الاستشعار:

يُعدّ تبديل جهاز الاستشعار أحد الوظائف الشائعة الخاصة بأجهزة الاستشعار في وحدات التحكم في إشارات المرور والتي تمكن أجهزة الاستشعار من الاتصال وتمديد طور واحد (طور التمديد)، ثم إرسال الاستدعاءات إلى طور آخر (طور التبديل) بمجرد انتهاء طور التمديد. ويسمح تبديل جهاز الاستشعار بتمديد طور التبديل المبرمجة بعد انتهاء طور التمديد. وعادة ما تكون فعالة فقط عندما يكون مؤشر طور التمديد باللون الأخضر. كما أن تبديل جهاز الاستشعار لا يؤدي بالضرورة إلى تبديل استدعاءات الأطوار.

أ-٥-٤-٣ خطط التوقيت اليومي:

تساعد معظم وحدات التحكم قيم معلمات توقيت الإشارات على الاختلاف حسب التوقيت اليومي أو الأسبوعي أو السنوي. ويُشار إلى الجدول الزمني لهذه التغيرات التي تطرأ على خطة التوقيت بخطة التوقيت اليومي. وهي تقدم إلى وحدة التحكم معلومات بخصوص مجموعة معلمات توقيت الإشارات التي ينبغي أن تستخدم استنادًا إلى الجدول الزمني المحدد. وينبغي وضع خطط التوقيت اليومي للحصول على نتائج محددة ويمكن استخدامها لمساعدة أي هيئة على تحقيق أهدافها خلال فترات زمنية مختلفة.

يمكن أن يساعد تحديد وقت تغير ظروف المرور عادةً الممارس على تحديد عدد خطط التوقيت اليومي المطلوبة. كما تشهد معظم التقاطعات فترة ذروة في أثناء الصباح والمساء، لذلك يمكن أن يكون لأوقات الذروة في الصباح والمساء خطط توقيت مختلفة (مع قيم توقيت إشارة مختلفة) عن بقية اليوم.

إضافة إلى التغيرات التي تطرأ على خطة التوقيت على مدار اليوم، يمكن أن توجد مبررات لوجود خطط منفصلة لأيام الأسبوع أو عطلات نهاية الأسبوع أو حتى أيام محددة (على سبيل المثال: يوم الخميس في أثناء عطلة نهاية الأسبوع) بناءً على التباين في أنماط الانتقال وأحجامه. وسيحتاج الممارس إلى التحقق من المعلمات التي يمكن تغييرها حسب التوقيت في وحدة التحكم، ولكن ينبغي أن ينتبه جيدًا إلى القيم المختلفة عند اختيار معلمات توقيت الإشارة الموضحة في هذا الجزء الفرعي.

أ-٥-٥ النظام / التوقيت المنسق:

عوضًا عن عمل كل إشارة بشكل مستقل، سيمكن تنسيق الإشارات من العمل معًا، ومن ثم ستتمم مزامنة الحركات مما سيساعد على التقدم بشكل أفضل. ويوضح الجزء الفرعي (أ-٥-٥) طريقة استخدام معلمات التوقيت الأساسية الواردة في الجزء الفرعي (أ-٥-٤) بالإضافة إلى الميزات المنسقة لتشغيل مجموعة من الإشارات. وإضافة إلى توفير توجيهات بخصوص معلمات توقيت الإشارات (والقيم النموذجية) التي ينبغي تحديدها لأغراض التنسيق، يركز الجزء الفرعي (أ-٥-٤) أيضًا على المزايا والعيوب والتعقيدات ذات الصلة بهذا النظام.

يضيف التنسيق التقليدي طبقة من المنطق المستخدم في وحدة التحكم في الإشارات إلى المنطق المشغل الأساسي الموضح في الجزء الفرعي (أ-٥-٤). وتلزم طريقة التحكم في النظام هذه الممارسة بتحديد طول دورة ثابت للممر، إضافة إلى التجزؤات والإزاحات الخاصة بكل خطة توقيت. وتتحكم التجزؤات في المدة الزمنية المتاحة لكل طور توجد في دورة، وتتحكم الإزاحات في العلاقة الزمنية بين التقاطعات. وقد وضِّحت كل من التجزؤات والإزاحات بالتفصيل في الأقسام المذكورة أدناه.

تنحرف بعض الأنظمة المتقدمة إلى حد ما عن نموذج الدورة / التجزؤ / الإزاحة التقليدي. وتتمتع الأنظمة التكيفية بالقدرة على الحفاظ على التنسيق دون الحاجة إلى تحديد طول الدورة والتجزؤات والإزاحات بشكل صريح؛ وهي قادرة على ضبط قيم التوقيت بناءً على الظروف التي تم وضعها في الحسبان. وتتوفر المزيد من المعلومات عن الأنظمة والميزات المتقدمة في الجزء الفرعي (أ-٥-٦).

أ-٥-٥-١ استخدام النظام المنسق:

قد يُستعان بالإجراءات البسيطة والمعقدة على حد سواء لتحديد التقاطعات المطلوب تنسيقها. وبصفة عامة، عندما تكون التقاطعات قريبة من بعضها (أي تقع في نطاق ٨٠٠ متر من بعضها البعض)، يصبح من الأفضل تنسيقها، لا سيما إذا كانت الكثافات المرورية بين التقاطعات كبيرة. وفي المسافات الأكبر (أي ٨٠٠ متر أو أكثر)، ينبغي إجراء مزيد من المراجعة لحجم المرور واحتمال وجود فصائل نقل لتحديد ما إذا كان التنسيق سيكون مفيدًا لعمليات النظام أم لا. وإذا كان هناك حد أدنى من تباينات المرور بين التقاطعات (على سبيل المثال: بسبب انعطاف المركبات إلى المداخل أو خارجها)، فيمكن أن يكون التنسيق على مسافات ١,٦ كيلومتر أو أكثر مناسبًا.

إذا كان تعاقب الإشارات في الممر هو الهدف المحدد، فغالبًا ما يمكن تحديد الحاجة إلى التنسيق من خلال رصد تدفق المرور القادمة من التقاطعات الرئيسة. وإذا كانت المرور القادمة تتضمن فصائل تم تشكيلها من خلال إطلاق المركبات من تقاطع رئيس، فيمكن أن يوفر التنسيق مزايا تعاقب الإشارات المطلوبة. وفي المقابل، إذا كان وصول المركبات (أ) عشوائيًا عادة وغير متعلق بعمليات التقاطع الرئيس أو (ب) تم تقسيمه عن طريق تسريع / تباطؤ المركبات بسبب ازدحام الممرات أو تراكم الحافلات؛ فيمكن أن يكون التنسيق مفيدًا إلى حد ما بالنسبة إلى النظام.

أ-٥-٥-٢ تنسيق الخطط باستخدام مخطط الزمان والمكان:

كما ذكر أعلاه، يستخدم التنسيق التقليدي أسلوب الدورة / التجزؤ / الإزاحة لتطوير المرور. ومن الممكن استخدام العديد من البرامج والأدوات اليدوية لتحسين مجموعة معلمات توقيت الإشارات هذه، ولكن ينبغي أن يتأكد الممارس دائمًا من أن النتائج "المُحسَّنة" توضح العملية المطلوبة. و(تسلط البرامج النموذجية الضوء على تأخير مركبات **النظام** الذي يمكن ألا يكون هدفًا تشغيليًا مناسبًا). ومن بين الأدوات التي تُستخدم غالبًا لمراجعة التنسيق: *مخطط الزمان والمكان* الذي يمكن رسمه يدويًا أو إنشاؤه باستخدام برنامج. كما أنه قد تم توضيح العناصر الأساسية لمخطط الزمان والمكان في هذا الجزء الفرعي، إضافة إلى كيفية استخدامه؛ لتقييم خطط التوقيت المنسقة.

توضح مخططات الزمان والمكان العلاقة بين تباعد التقاطع وتوقيت الإشارات وتحركات المركبات. وإذا استُخدِمت مع بعض البرامج، فقد تصبح مفيدة أيضًا في استنتاج مقاييس أداء تستند إلى المركبات (تُعرف أيضًا باسم مقاييس الفعالية)، مثل: المحطات والمركبات التي تصل في أثناء الإشارة الخضراء وأطوال صفوف الانتظار. وقد وفِّرتْ تعريفات وتوجيهات منسقة للمعلمات في الأقسام الآتية، كما وضِّحت العديد منها باستخدام مكونات مخطط الزمان والمكان في الشكل (أ-٥٢).

أ-٥-٥-٢-١ محاور المخططات:

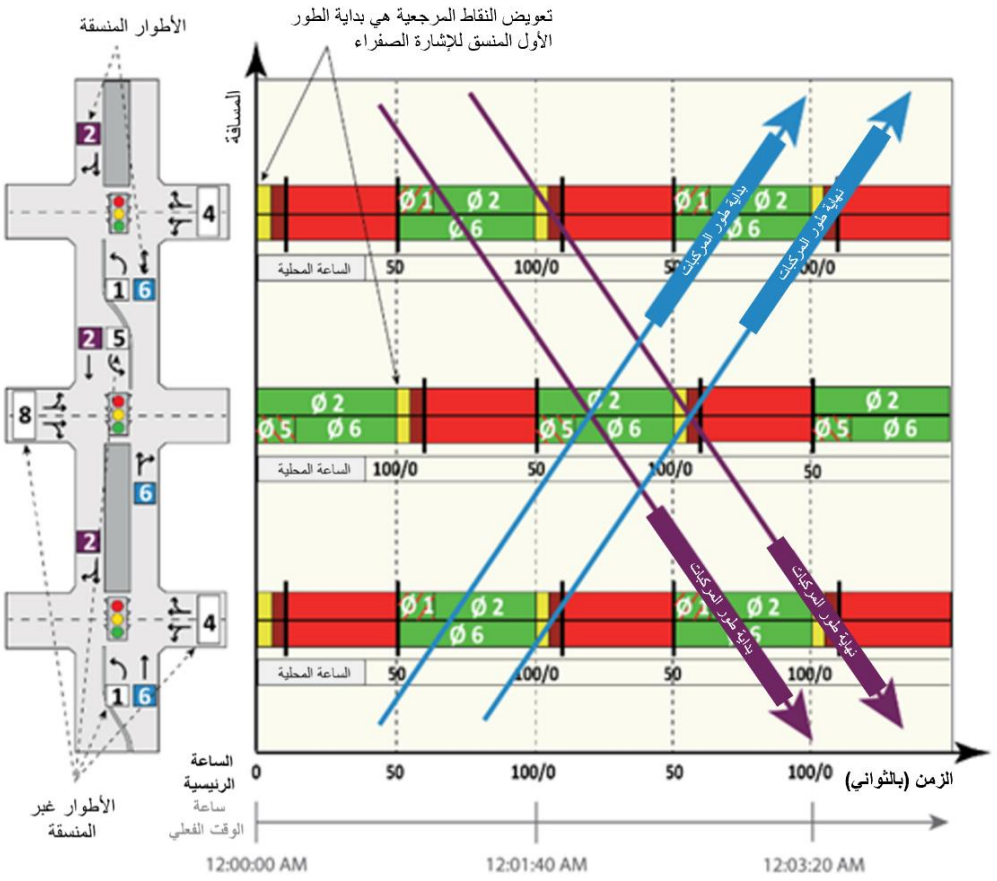
يوضّح الوقت على المحور الأفقي والمسافة (من نقطة مرجعية) على المحور الرأسي عند رسم مخططات الزمان والمكان. وفي الشكل (أ-٥٢)، وقد بُيّنت المسافة باستخدام صورة ملتقطة جويًا لثلاثة تقاطعات مزودة بإشارات. ولسهولة عرض العلاقات في البداية؛ فإن الشوارع الفرعية تكون في اتجاه واحد (وهذا أمر غير معتاد). كما أنه من المهم جدًا أن تُرسَم مخططات زمان مكانية على نطاق واسع؛ بحيث تظل المحافظة على علاقة دقيقة بين الوقت والمسافة لأغراض حساب تقدم المركبات.

تفترض أمثلة مخطط الزمان والمكان خلال هذا الجزء الفرعي أن الممر المحلَّل هو طريق شمالي جنوبي. ومع ذلك، يمكن استخدام مخططات الزمان والمكان؛ لتحليل الممرات التي تتحرك في جميع الاتجاهات. ولا يتطلب من الممارس سوى تعيين نقطة مرجعية لمحور المسافة. فعلى سبيل المثال: يمكن عرض ممر شرقي غربي مع تقاطع يقع في أقصى الغرب في الجزء العلوي من المحور الرأسي وتقاطع يقع أقصى الشرق في الجزء السفلي.

أ-٥-٥-٢-٢ التوقيتات الرئيسة والمحلية:

يُشغَّل نوعان من التوقيتات في الخلفية أثناء التشغيل المنسق - التوقيت الرئيس للنظام (يقصد به التوقيت الرئيس للميدان، أو وحدة التحكم الرئيسة، أو النظام المركزي) والتوقيت المحلي (وحدة التحكم الخاصة بالتقاطع). والتوقيت الرئيس هو آلية توقيت تُشغَّل في الخلفية ضمن منطق وحدة التحكم الذي ترجع إليه كل وحدة تحكم محلية من أجل إنشاء إزاحة بين التقاطعات (راجع الجزء الفرعي: الإزاحات). وينبغي أن يكون كلا التوقيتين متماثلين حتى يعمل التنسيق.

في مخططات الزمان والمكان الواردة في هذا الجزء الفرعي، يظهر التوقيت الرئيس في الجزء السفلي من المخطط على المحور الأفقي. كما وضِّحت التوقيتات المحلية – إذا عُرضت- أسفل مخططات الحلقة والحاجز المرتبط بكل تقاطع. وفي جميع ما عُرِض آنفا ضمن جزء تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها؛ فإن يتم تعيين النقطة المرجعية للإزاحة (راجع الجزء الفرعي توجيه النقاط المرجعية للتعويض) على بداية الطور الأول المنسق باللون الأصفر (نهاية اللون الأخضر)، وهي بداية (نقطة الصفر) لدورة التوقيت المحلي. وللمساعدة على توضيح العلاقة بين التوقيتات، يُعرَض التوقيت الرئيس والتوقيتات المحلية في الشكل (أ-٥٢) مقارنة بالتوقيت الفعلي المذكور أسفل المحور الأفقي. وبينما يوضح التوقيت الفعلي أوقات اليوم (لاحظ أن الشكل أ-٥٢ يستخدم مرجع مزامنة خاص بمنتصف الليل، راجع الجزء الفرعي مرجع مزامنة الأنماط)، يوضح التوقيت الرئيس والتوقيتات المحلية الوقت مقارنة بطول الدورة (بالثواني).



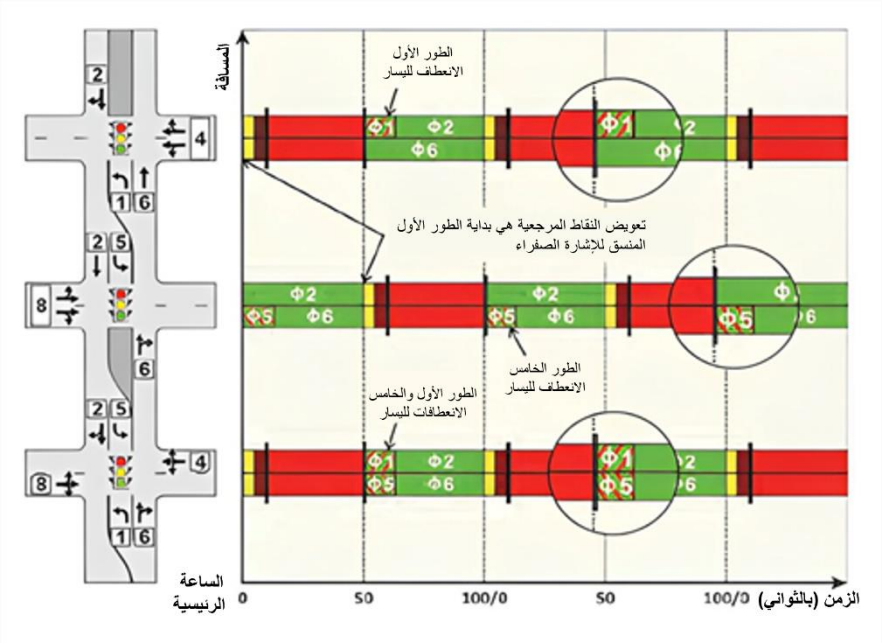
الشكل (أ–٥٢) رسم بياني أساسي للزمن-المسافة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-1).

أ-٥-٥-٢-٣ الرسومات البيانية لتوقيتات الإشارات:

وفِّرت معلومات توقيت الإشارة لكل تقاطع في الجزء الرئيس من المخطط. وتوضح مخططات الحلقة والحاجز دلالات إشارات المرور للتحركات المنسقة. وفي الشكل (أ-٥٢)، تمثل الطوران ٢ و٦ الأطوار المنسقة (وهي نموذجية، ولكنها لا تعد مطلبًا مطلقًا)، وتوضح مخططات الحلقة والحاجز الوقت الذي تتلقى فيه تلك الأطوار إشارة خضراء أو صفراء أو حمراء. ويشير اللون الأحمر الداكن إلى الفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء، ويشير اللون الأحمر الفاتح إلى الوقت الذي تتلقى فيه الأطوار الأخرى غير المنسقة (يقصد بهما الطورين ٤ و٨ في هذه الحالة) إشارات الإخلاء الخضراء والصفراء والحمراء. ويمكن أن تختلف أوقات الإشارة الخضراء الفعلية عن تلك الموضحة في مخططات الحلقة والحاجز بسبب عمليات الخروج من الثغرة و/أو تخطي الأطوار غير المنسقة. ولاحظ أن مخططات الحلقة والحاجز قد تُظهر كلتا الحلقتين (كما في الشكل أ-٥٢) أو رسمًا مشتركًا يوضح كلتا الحلقتين معًا (وتوضيح ذلك بالتفصيل موجود في الجزء الفرعي الآتي).

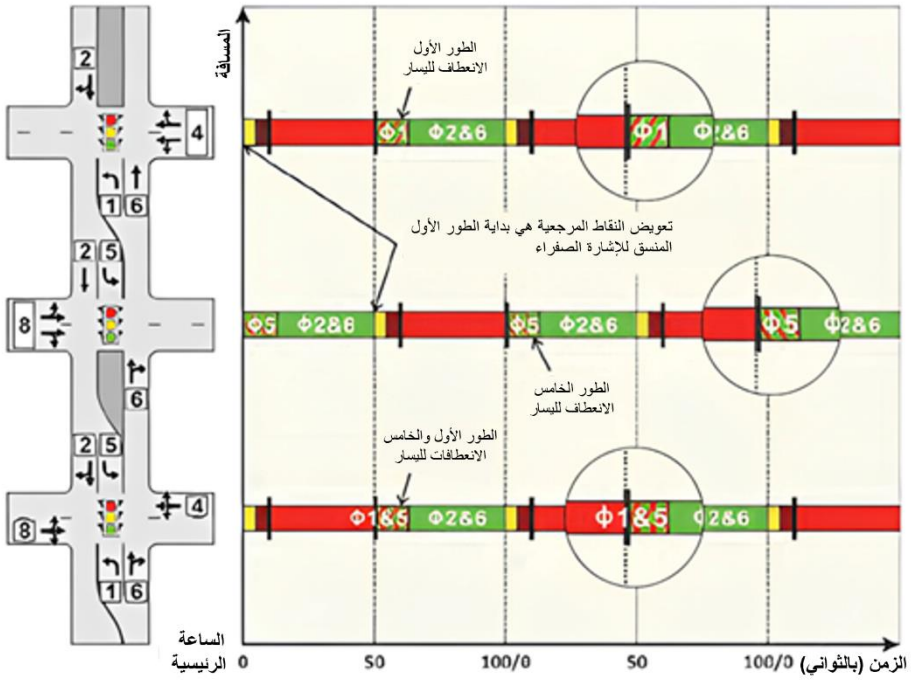
أ-٥-٥-٢-٤ الرسومات البيانية لتوقيتات الإشارات الخاصة بأطوار الانعطاف إلى اليسار:

وضِّحت معلومات توقيت الإشارة الخاصة بأطوار الانعطاف إلى اليسار (المجاورة للتحركات المنسقة) في مخطط زمان ومكان (راجع الشكل أ-٥٣). ومُثِّلت تحركات الانعطاف لليسار المحمية عن طريق التظليل الذي يكون في نفس اتجاه التحرك في الحلقة الأخرى. على سبيل المثال: عند استيعاب الطور الأول لتحرك انعطاف يسار متجه شمالًا عند تقاطع في أقصى الشمال، يكون التظليل القطري للطور الأول في نفس اتجاه الطور ٦ المتجه شمالًا من خلال مسار المركبة. ولأن الطور ٢ المتجه جنوبًا من خلال مسار المركبة سيكون في الاتجاه المعاكس، يستطيع الممارس أن يتعرف بسهولة على أن السيارة المتجهة جنوبًا لن تكون قادرة على المضي قدمًا عبر التقاطع عند استخدام الطور الأول.



الشكل (أ–٥٣) رسم بياني للزمن-المسافة لأطوار الانعطاف إلى اليسار (حلقات منفصلة) (المصدر: – NCHRP, (2015) Exhibit 7-2).

عندما تحدث طوران محميتان من الانعطاف إلى اليسار في نفس الوقت (كما هو موضح في التقاطع الذي يقع أقصى الشمال المبين في الشكل أ-٥٣)، يُظهر التظليل فترة زمنية يتعذر فيها التحرك في كلا الاتجاهين. ويمكن ألا تُعرَض الحلقتان بشكل منفصل دائمًا؛ ففي مخطط حلقة وحاجز مدمج (راجع أ-٥٤)، تظهر أطوار الانعطاف إلى اليسار التي تحدث في نفس الوقت باستخدام نمط متقاطع (كما هو موضح في التقاطع الذي يقع أقصى الجنوب في الشكل أ-٥٤). وينبغي أن تسهل اصطلاحات التظليل هذه الخاصة بأطوار الانعطاف إلى اليسار. على الممارس معرفة أي نقطة في الدورة يمكن للمركبة أن تتقدم فيها.

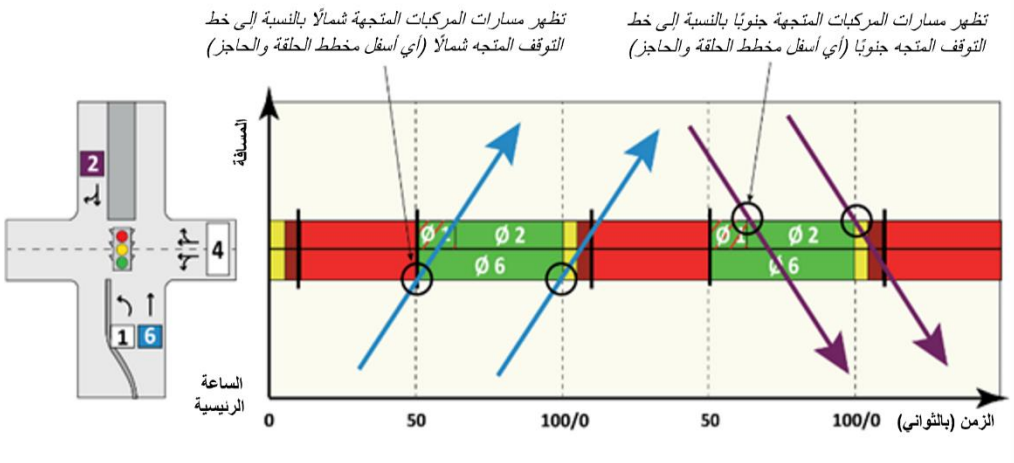


الشكل (أ–٥٤) رسم بياني للزمن-المسافة لأطوار الانعطاف إلى اليسار (حلقات مدمجة) (المصدر: – NCHRP, (2015) Exhibit 7-3).

أ-٥-٥-٢-٥ مسارات المركبات:

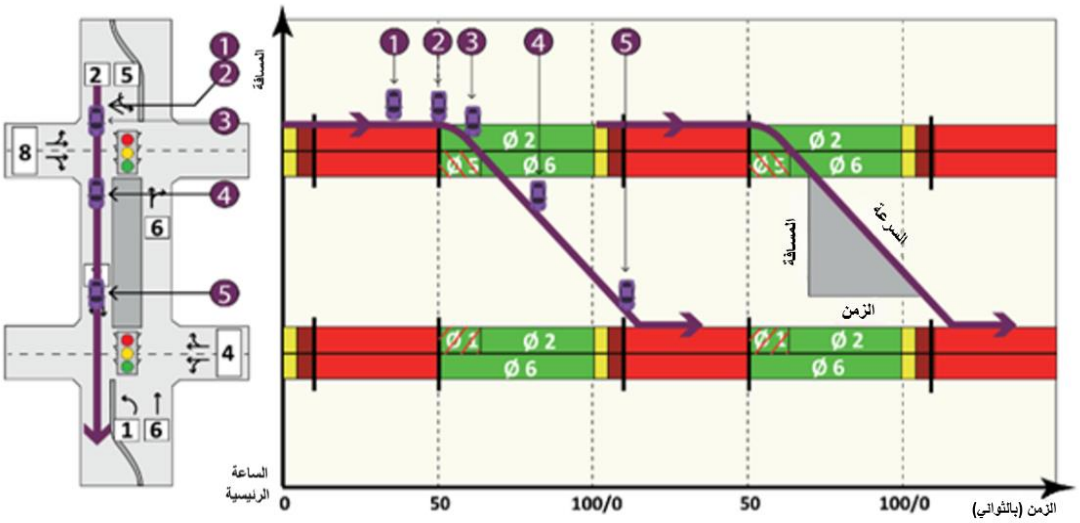
يعد تمثيل المركبات التي تسير على طول المسار أحد أهم مكونات مخطط الزمان والمكان. وتم توضيح المركبات باستخدام خطوط المسار الموضحة أعلى جزء الحلقة والحاجز من المخطط. وفي الشكل (أ-٥٢)، استُخدِمت لتمثيل المركبات التي تتحرك إما شمالًا أو جنوبًا (باتجاه أعلى أو أسفل المخطط، على التوالي) مع زيادة الوقت (من اليسار إلى اليمين). و(لاحظ أنه إذا كان محور المسافة يمثل شارعًا شرقيًا / غربيًا، فستوضح المسارات المركبات المتجهة شرقًا / غربًا). وبافتراض أن الشكل (أ-٥٢) يوضح مسارًا يحتوي على تقاطع يقع أقصى الشمال تم توضيحه في الجزء العلوي من المخطط؛ فإن الخطوط القطرية التي تمتد من أسفل / يسار إلى أعلى / يمين تمثل المركبات المتجهة شمالًا، بينما تمثل الخطوط المائلة الممتدة من أعلى / يسار إلى أسفل / يمين المركبات المتجهة جنوبًا.

توضح أمثلة مخططات الزمان والمكان خلال هذا الجزء الفرعي مسارات المركبات التي تعبر مخططات الحلقة والحاجز في أماكن خط التوقف الموضحة في اتجاه التحرك (كما هو مبين في الشكل أ-٥٥). وبعبارة أخرى، تُرسَم المركبات المتجهة شمالًا في أثناء دخولها التقاطعات وفقًا لدلالات الإشارات الموضحة أسفل مخططات الحلقة والحاجز، بينما تُرسَم المركبات المتجهة جنوبًا أثناء دخولها التقاطعات وفقًا لدلالات الإشارات الموضحة أعلى مخططات الحلقة والحاجز. وباستخدام هيكل الحلقة المدمجة (كما هو مبين في الشكل أ-٥٤)، يمكن استخدام مخطط حلقة وحاجز أنحف في الحجم. وتقلل مخططات الحلقة والحاجز الأنحف في الحجم من أهمية اصطلاحات "نقطة الدخول" الموضحة في الشكل (أ-٥٥). ومع ذلك، يستخدم الجزء المتبقي من هذا الجزء الفرعي مخططات الحلقة والحاجز مع حلقات منفصلة، وذلك لتوضيح مفاهيم النظام المنسقة لكلا الطورين المنسقين.



الشكل (أ–٥٥) المراجع الخاصة بمسارات المركبات (المصدر: Exhibit 7-4 – (NCHRP, (2015).

نتيجة للعلاقة بين المسافة والوقت المحددين في مخطط الزمان والمكان، يمكن استخدام مسارات المركبات لتوضيح السرعة التي يمكن أن تسير بها المركبات بطول المسار. وتمثل المسافة التي تقطعها مركبة ما مقسومة على الوقت المنقضي (المسافة مقسومة على الوقت، أو التغير في y مقسومًا على التغير في x) السرعة (راجع الشكل أ-٥٦). كما يمكن أن تمثل السرعة المفترضة للتنسيق (أي سرعة التقدم) الحد الأقصى للسرعة، أو نسبة السرعة المئوية التي تبلغ ٨٥، أو السرعة التي يفضل الممارس تحديدها.



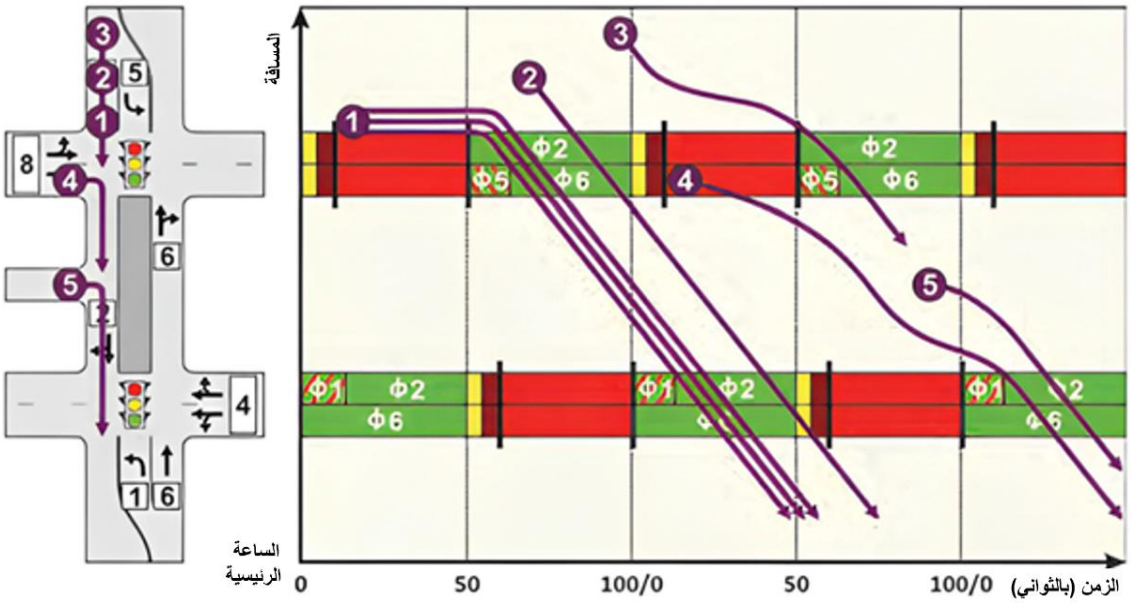
الشكل (أ–٥٦) أوضاع المركبات على الرسم البياني للزمن-المسافة (المصدر: Exhibit 7-5 – (NCHRP, (2015).

كذلك يوضح الشكل (أ-٥٦) الظروف الخمسة المختلفة التي قد يواجهها السائق عند التحرك بين تقاطعين مزودين بإشارات. ولقد وضِّح كل ظرف بالتفصيل، من حيث صلته بمسار المركبة، في الجدول (أ-٤٨). وفي هذا المثال، يوضح مسار المركبة أنه يمكن تحسين التقدم للتحرك في اتجاه الجنوب عن طريق ضبط الإزاحة (يقصد بها العلاقة الزمنية بين التقاطعات)؛ بحيث لا تضطر المركبة إلى التوقف عند كلا التقاطعين.

الجدول (أ–٤٨) الظروف التي تواجهها المركبة ذات الصلة بالمسار (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-6).

الرقم	الحالة	الوصف	تمثيل مخطط الزمان والمكان
١	تم التوقف.	قد تتأخر المركبة بسبب الإشارة الحمراء.	الخط الأفقي: لا تتغير المسافة بينما يتقدم الوقت.
٢	وقت رد الفعل / الإدراك.	يجب أن يستجيب السائقون الموجودون في مقدمة صفوف الانتظار مع الإشارة الخضراء.	انتقالات الخط الأفقي إلى الخط القطري: يبدأ السائق في التحرك للأمام؛ مما يؤدي إلى زيادة المسافة من أول تقاطع بالإضافة مع كتابة الوقت.
٣	التسارع.	تزيد المركبة من سرعتها حتى تصل إلى سرعة التقدم.	خط قطري: مركبة تتحرك للأمام مع كتابة الوقت.
٤	سرعة السير.	تتحرك المركبة بسرعة التقدم إلى التقاطع التالي (يُفترض غالبًا أن يكون حد السرعة أو سرعة التقدم المقدرة).	خط قطري: مركبة تتحرك للأمام مع كتابة الوقت.
٥	الاستعداد للتوقف.	تبطئ المركبة من سرعتها بسبب الإشارة الحمراء (أو توقف مروري).	ينتقل الخط القطري إلى الخط الأفقي.

يوضح الشكل (أ-٥٧) نطاقًا أوسع من المسارات المحتملة للمركبة بين تقاطعين مزودين بإشارات. ولقد تحسن التقدم أكثر في الشكل (أ-٥٦)، بحيث أصبحت المركبات قادرة على التقدم عبر كلا التقاطعين (التحرك بسرعة التقدم) دون توقف.



الشكل (أ–٥٧) أمثلة على مسارات المركبات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-7).

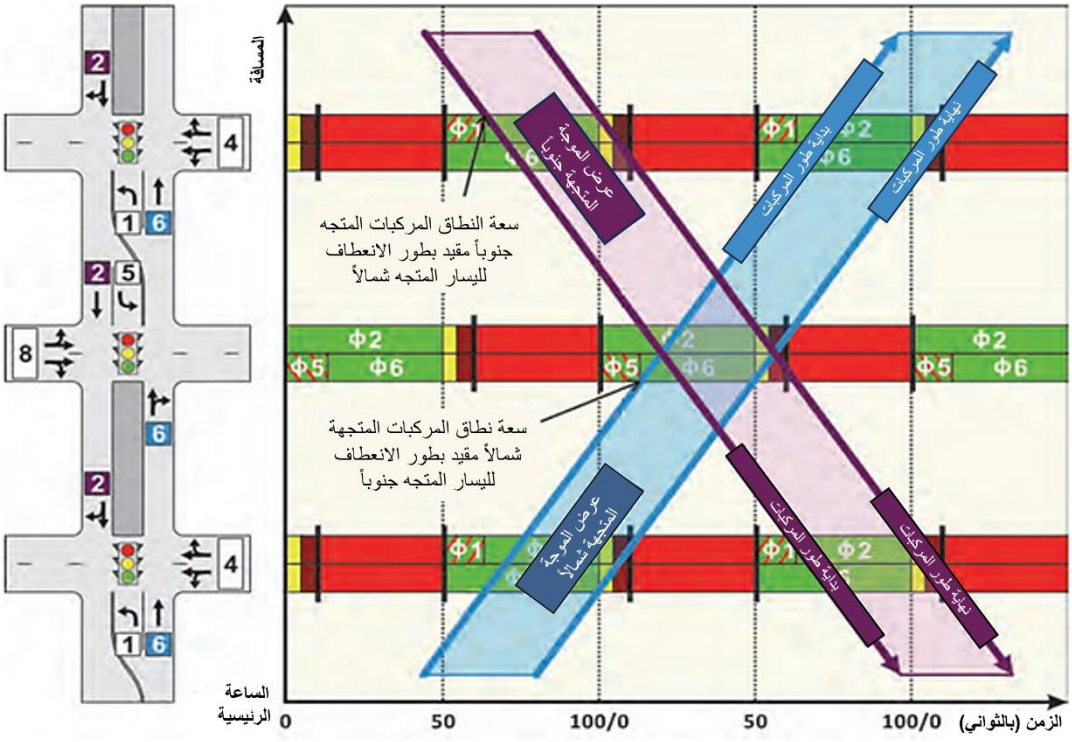
وُضّحت مسارات المركبات في الشكل (أ-٥٧) (المصنفة من ١ حتى ٥) أدناه:

١- ثلاث مركبات تتحرك من موضع توقف في التقاطع الأول خلال تقاطع مجرى المرور.
٢- مركبة تتحرك بسرعة التقدم تنتقل عبر كلا التقاطعين دون توقف.
٣- مركبة متأخرة عند تقاطع رئيس (لن تتوقف تمامًا) تنتقل عبر التقاطع الرئيس عند بدء الإشارة الخضراء.
٤- مركبة قادمة من الشارع الفرعي تتحرك باتجاه تقاطع مجرى المرور. وتدخل المركبة إلى المسار عندما يتلقى الطور (٨) إشارة خضراء، وهي نقطة زمنية تحدث عندما تتلقى الأطوار المنسقة إشارة حمراء. ويجب أن تبطئ المركبة من سرعتها عندما تقترب من تقاطع مجرى المرور، كما هو واضح من خلال الانحدار التدريجي للمسار.
٥- مركبة قادمة من ممر مشاة تتحرك باتجاه تقاطع مجرى المرور.

أ-٥-٥-٢-٦ سعة النطاق:

نصّ الجزء الفرعي مسارات المركبات على أن مسارات المركبات توضح حركة المركبات في أثناء تقدمها على طول مسار منسق. ومع ذلك، توجد مسارات محددة توضح المركبات التي تسير بطول مسار منسق دون إبطاء أو توقف. كما يحدد المسار الأول والأخير من هذه المسارات المحددة للمركبات سعة النطاق (كما هو موضح في الشكل أ-٥٨). ومع زيادة سعة نطاق الطريق،

تزداد فرص التقدم المحتملة للمركبات التي تسير بطول الممر المنسق. ومع ذلك، ينبغي على الممارسين دائمًا وضع أهداف النظام في الحسبان؛ فلن تكون النطاقات الواسعة مفيدة إلا إذا كان هناك عدد كافٍ من المركبات للسير فيها.



الشكل (أ–٥٨) عرض الموجة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-8).

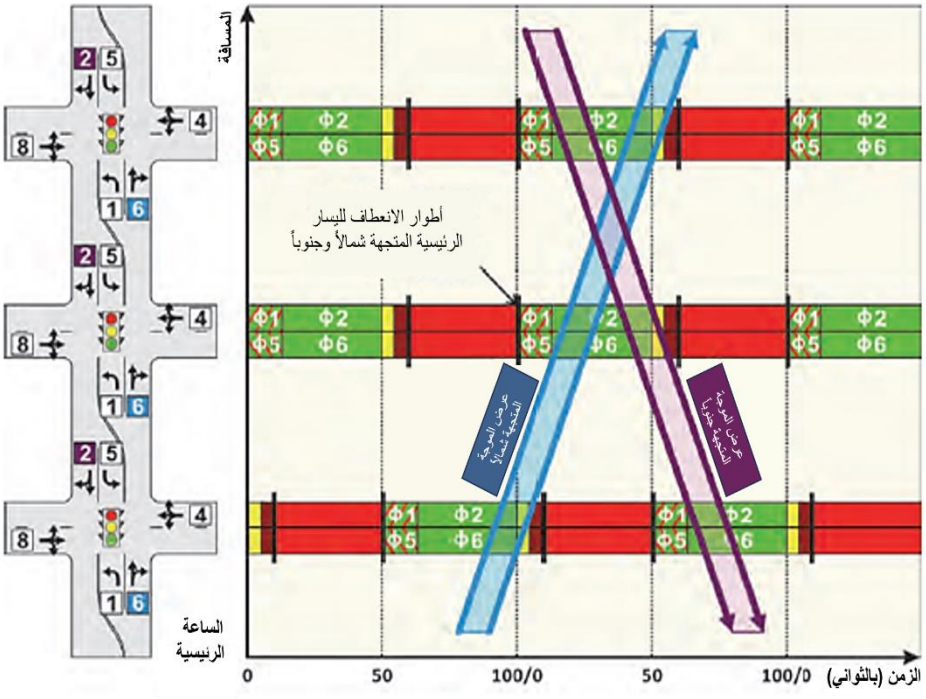
تعد سعة نطاق الطريق تمثيلًا **مثاليًا** للتقدم، من حيث إنه لا يراعي بوضوح تسارع السيارة بعد انطلاقها، أو تشتت المركبات في أثناء انتقالها من تقاطع إلى آخر، أو المركبات الموجودة في صف الانتظار عند تقاطعات مجرى المرور. ويمكن أن تختلف سعة نطاق الطريق الفعلية مع الأطوار المشغلة بسبب الخروج من ثغرات الأطوار (وعدم استخدام إجمالي وقت التجزؤ). وإضافة إلى ذلك، سيحد تعطل جهاز الاستشعار من قدرة زيادة سعة نطاق الطريق أثناء المرور الخفيفة. ومع ذلك، تعد سعة نطاق الطريق أداة مفيدة لتقييم العلاقة بين المعلمات المنسقة (مثل تسلسل الطور وطول الدورة والتجزؤات والإزاحات). كما أنه يوجد عدد قليل من النقاط المهمة التي يجب فهمها فيما يتعلق بسعة نطاق الطريق، وهي كما يأتي:

- تعتمد سعة نطاق الطريق على سرعة التقدم المحددة.
- من الممكن أن تكون سعة نطاق الطريق مختلفةً في كل اتجاه من اتجاهات السير.
- مع إضافة تقاطعات إضافية إلى النظام، تزداد صعوبة توفير فرص التقدم. ومن الأفضل أحيانًا تقسيم مسار طويل إلى قطاعات أصغر (في أماكن مناسبة)، لا سيما المسارات ذات المسافات الطويلة بين التقاطعات. كما أنه من الممكن بعد ذلك دمج القطاعات عن طريق تحديد علاقة الإزاحة بين القطاعات المُحسَّنة بشكل منفصل، مما يوفر عمومًا تقدمًا جيدًا في اتجاه واحد. ويُطلق على هذا النهج أحيانًا اسم التوقف المبرمج. وينبغي أن يكون التوقف في مكان تتوفر فيه مسافة كافية لتوفير أماكن لتواجد المركبات دون التأثير على تقاطع الرئيس.
- خلال فترات ظروف التشبع (بمعنى أن الكثافة تتجاوز السعة)، يمكن أن يتعذر حساب سعة نطاق الطريق أبدًا بسبب تأثيرات اصطفاف المركبات.
- استنادًا إلى كثافة المرور، يمكن أن تؤدي خطط التوقيت التي تهدف إلى الحصول على أكبر سعة نطاق إلى زيادة تأخير الشبكة واستهلاك الوقود بسبب زيادة التأخير في التحركات غير المنسقة.

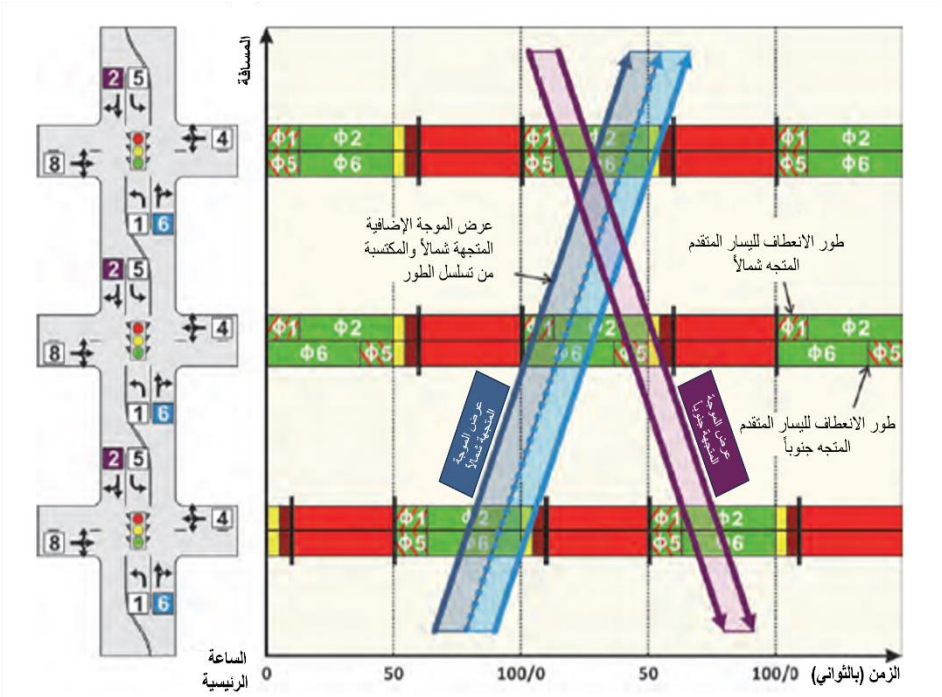
يمكن أن يؤثر تسلسل الأطوار بشكل ملحوظ على سعة النطاق وينبغي تقييمه عندما لا تكون التقاطعات متباعدة بشكل متساوٍ أو بها إزاحات مختلفة. وعلى وجه الخصوص، قد تؤثر تحركات الانعطاف إلى اليسار السابقة أو المتأخرة بشكل ملحوظ على فرص تقدم التحركات. فعلى سبيل المثال، يوضح الشكل (أ-٥٩) مسارًا به انعطاف سابق إلى اليسار، مما ينتج عنه نطاقات صغيرة إلى حد ما متجهة إلى الشمال والجنوب.

يوضح الشكل (أ-٦٠) كيفية زيادة سعة النطاق للتحركات المتجهة شمالًا باستخدام الأطوار السابقة والمتأخرة عند التقاطع الأوسط. وتتمتع التحركات المتجهة شمالًا بالقدرة على الاستفادة من الوقت الإضافي للإشارة الخضراء في بداية الدورة. وعلى الرغم من عدم توضيح ذلك في الشكل (أ-٦٠)؛ فإنه من الممكن أيضًا زيادة سعة النطاق المتجه جنوبًا عن طريق تغيير تسلسل

الأطوار عند التقاطعين الآخرين. وينبغي تحذير الممارس من أن الانعطافات المتأخرة إلى اليسار أقل كفاءة (راجع الجزء الفرعي أ-٥-٣) ويجب استخدامها فقط عندما تكون الزيادة في أداء التنسيق كبيرة.



الشكل (أ–٥٩) تأثير تسلسل الأطوار على عرض الموجة (الانعطافات إلى اليسار المتقدمة) (المصدر: – NCHRP, (2015) Exhibit 7-9).



الشكل (أ–٦٠) تأثير تسلسل الأطوار على عرض الموجة (الانعطافات إلى اليسار المتقدمة والمتأخرة في التقاطع الأوسط) (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-10).

أ-٥-٥-٣مقدمة في معلمات التنسيق:

كما ذكرنا سابقًا، هناك العديد من المعلمات الأساسية التي ينبغي تحديدها أو برمجتها لتشغيل نظام إشارات منسق تقليدي. ويوضح هذا الجزء الفرعي هذه المعلمات، ويكون ذلك عادة باستخدام أجزاء من مخطط الزمان والمكان المقدم في الشكل (أ-٥٢). كما يوفر الجزء الفرعي (أ-٥-٥-٤) توجيهات بشأن قيم المعلمات.

أ-٥-٥-٣-١ الأطوار المنسقة:

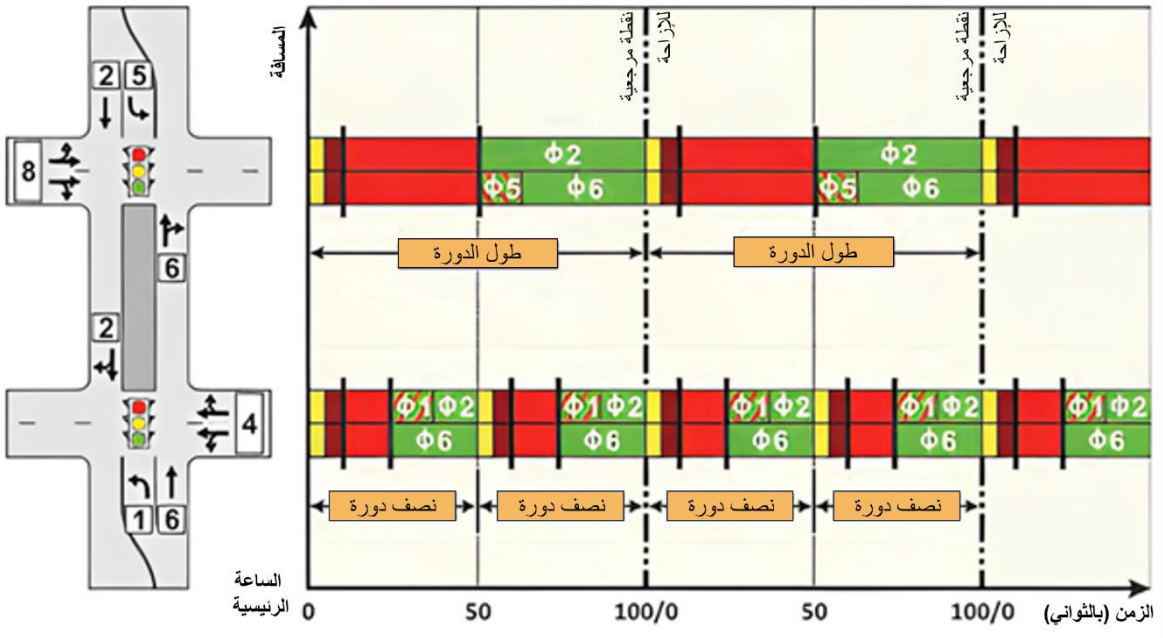
يتطلب التنسيق تعيين طور أو أطوار متعددة بوصفها طور (أطوار) منسقة. وتُحدّد الأطوار المنسقة بحيث يمكن إعطاء الأولوية لتدفق المرور بين التقاطعات المتعددة عادةً لتقليل التوقفات والتأخير الذي تتعرض له التحركات المنسقة.ء تركز مخططات الزمان والمكان على الأطوار المنسقة وتظهر دلالات الإشارات وحركات المركبات ذات الصلة بتلك الأطوار.

تختلف الأطوار المنسقة عن الأطوار غير المنسقة في أنها تتلقى دائمًا الحد الأدنى من الوقت الأخضر المخصص في كل دورة. ورغم أنه من الممكن أن يكون لديك جزء مشغّل من الطور/الأطوار المنسقة (عملية نوقشت بمزيد من التفصيل في الجزء الفرعي: تشغيل الطور المنسق)، ويوجد دائمًا فترة زمنية غير مشغَّلة يكون مضمونًا في كل دورة. ومع وجود طول دورة ثابت، يمكن استخدام الفترة الزمنية الخضراء المضمونة للحفاظ على العلاقة المنسقة بين التقاطعات.

أ-٥-٥-٣-٢ طول الدورة:

يقصد بطول الدورة الوقت المطلوب لتحقيق تسلسل كامل لأطوار الإشارات عند تقاطع ما. وبالنسبة إلى نظام التحكم قيد التشغيل، تعتمد الدورة الكاملة على وجود طلبات لجميع الأطوار التي لا تعد ذات أولوية. وبالنسبة إلى نظام التحكم قيد التشغيل، يمكن التعرف على دورة كاملة من خلال تسلسل كامل لدلالات الإشارات. وفي مخطط الزمان والمكان الموضح في الشكل (أ-٦١)، وضّحت الدورة على أنها مجموعة واحدة من تغيرات الإشارات الخضراء والصفراء والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء ودلالات إشارة المرور الحمراء للأطوار المنسقة. وقد وضِّح التوقيت الرئيس (الموضح على المحور الأفقي) مقارنة بطول الدورة المبرمجة، ويبلغ ١٠٠ ثانية في هذا المثال. ووفقًا لما نوقش في الجزء الفرعي: التوقيتات الرئيسة والمحلية، تمت الإشارة إلى التوقيت الرئيس بالتوقيت الفعلي (عادةً في منتصف الليل أو في وقت آخر في الصباح الباكر).

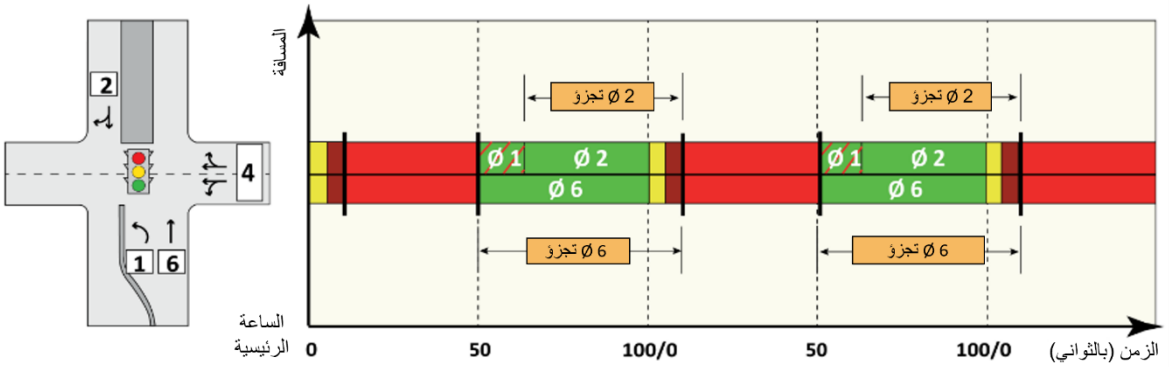
ينبغي أن تتمتع جميع التقاطعات المضمنة في خطة التنسيق بنفس طول الدورة؛ وذلك للحفاظ على علاقة متسقة قائمة على الوقت بين التقاطعات. ويعد التقاطع المكون من (دورات مزدوجة)" بمنزلة أحد الاستثناءات؛ حيث إنه يستخدم عدد أطوار يبلغ ضعف التقاطعات الأخرى الموجودة في النظام. وفي هذا الحال؛ سيكون طول الدورة نصف طول الدورة المستخدمة في التقاطعات الأخرى (كما مبين في الشكل أ-٦١).



الشكل (أ–٦١) طول الدورة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-11).

أ-٥-٥-٣-٣ التجزؤات:

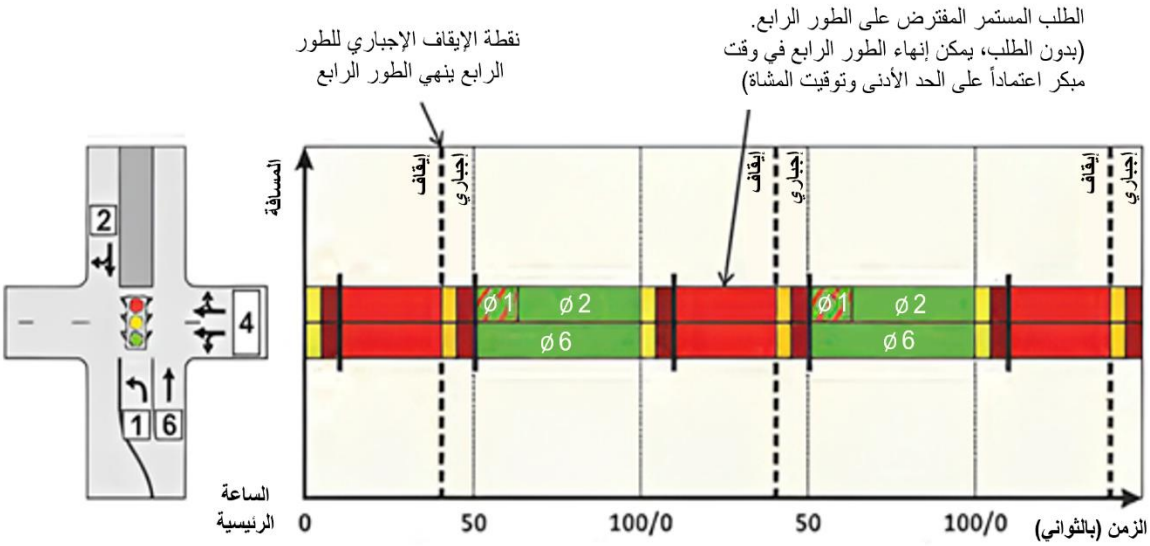
التجزؤات هي جزء من الدورة المخصصة لكل طور (وقت الإشارة الخضراء بالإضافة إلى الإخلاء). وينبغي تحديد التجزؤات المنسقة بناءً على أطوار التقاطع والطلب المتوقع. ويمكن التعبير عنها بالثواني أو بالنسب المئوية لطول الدورة. كما تتضمن أوقات التجزؤ وقت الإشارة الخضراء، والفترة الزمنية لتغير لون الإشارة الصفراء، والفترة الزمنية لإشارة المرور الحمراء المرتبط بالطور. ويؤكد الشكل (أ-٦٢) على التجزؤات المرتبطة بالأطوار المنسقة. وللتنفيذ في وحدة التحكم في الإشارات، ينبغي أن يكون مجموع انقسامات الطور بشكل عام مساويًا لطول الدورة (أو أقل منه) إذا قيس بالثواني (أو ١٠٠ بالمائة إذا قيس بالنسبة المئوية).



الشكل (أ–٦٢) التجزؤات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-12).

أ-٥-٥-٣-٤ عمليات الإيقاف الإجباري:

تستخدم عمليات الإيقاف الإجباري لتعزيز انقسامات الأطوار. كما تعمل على تحديد الوقت خلال الدورة التي يجب أن تنتهي فيها الأطوار غير المنسقة؛ من أجل الطلب المستمر، ولضمان عودة التحكم إلى الطور/الأطوار المنسقة في موعد لا يتجاوز الوقت المبرمج، كما هو موضح في الشكل (أ-٦٣). وتقوم معظم وحدات التحكم الحديثة بحساب مرات الإيقاف الإجباري على أساس أوقات التجزؤ المبرمجة (أو النسب المئوية المنقسمة). ويجب ألا تتجاوز عمليات الإيقاف الإجباري الحد الأدنى لأوقات أو فترات الإخلاء. وفي حال خرق عمليات الإيقاف الإجباري (بمعنى أنه إذا استمر الطور في استخدام الحد الأدنى لأوقات أو فترات الإخلاء)، فيمكن أن يجب على وحدة التحكم إعادة المزامنة للعودة إلى التنسيق، شريطة ألا تتمكن الأطوار الآتية غير المنسقة من ترك الوقت للسماح باستخدام طور (أطوار) منسقة في الوقت المخصص لها.



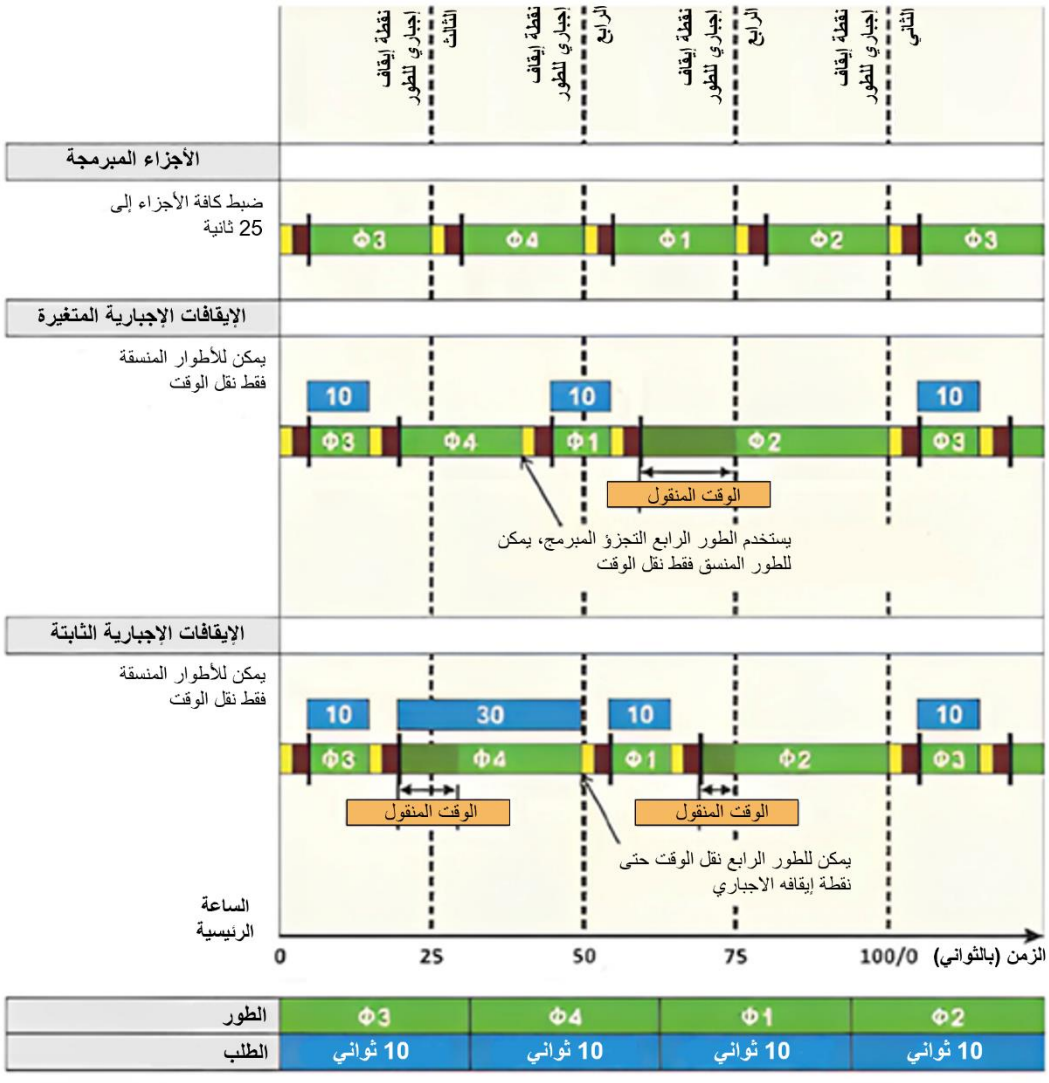
الشكل (أ–٦٣) الإيقاف الإجباري (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-13).

يتوفر نوعان من عمليات الإيقاف الإجباري: المتغيرة والثابتة، يحددان كيفية مشاركة وقت الإشارة الخضراء غير المستخدم والمذكور على التحركات غير المنسقة مع التحركات اللاحقة (كما هو مبين في الشكل أ-٦٤).

تقيد عمليات الإيقاف الإجباري **المتغيرة** الطور بوقت التجزؤ المخصص الذي تمت برمجته في وحدة التحكم. وإذا لم يستخدم الطور كل الوقت المخصص لها، فلن يتمكن هذا التحرك من إعطاء الوقت الإضافي للطور (الأطوار) التالية غير المنسقة؛ حيث إنه يتم الحصول على كل الوقت الإضافي من خلال الطور/الأطوار المنسقة. وتحافظ عملية الإيقاف الإجباري **الثابتة** على نقطة الإيقاف الإجباري الخاص بالطور ضمن الدورة. وفي حال انتهاء طور سابق غير منسق مبكرًا، فمن الممكن أن يستخدم أي طور تالٍ الوقت الإضافي حتى تصل إلى نقطة إيقاف هذا الطور.

يتعارض الشكل (أ-٦٤) مع عمليات الإيقاف الإجباري المتغيرة والثابتة (في مثال الحلقة الواحدة عندما يكون الطور الثانية هو الطور المنسق). ويوضح الصف العلوي سياقًا يكون فيه الطلب مساويًا أو يتجاوز وقت الإشارة الخضراء المخصص لجميع التحركات، ويُنهى كل طور عند نقطة الإيقاف الإجباري المبرمجة الخاصة بها (يشار إليها أحيانًا بمصطلح "الوصول إلى الحد الأقصى").

يوضح الصفان التاليان مفاهيم عمليات الإيقاف الإجباري المتغيرة والثابتة باستخدام سياق لا يوجد فيه وقت إشارة خضراء غير مستخدم في التحركات غير المنسقة. ولتوضيح الفرق بين المفهومين بشكل أفضل؛ أُظهِر الطلب الذي يؤثر في كل طور (بالثواني) مباشرة فوق كل مخطط حلقة وحاجز. وفي هذا الحال، يحتاج الطور ٤ إلى ٣٠ ثانية عندما يبلغ وقت التجزؤ ٢٥ ثانية. وفي ظل عمليات الإيقاف الإجباري الثابتة، يحصل الطور ٤ على مزيد من الوقت؛ لأن الطور ٣ يستخدم ١٠ ثوانٍ فقط من ٢٥ ثانية خصِّصت لها. وفي ظل عمليات الإيقاف الإجباري المتغيرة، لا يستطيع الطور ٤ أن يحصل أبدًا على أي وقت غير مستخدم للطور ٣.



الشكل (أ–٦٤) عمليات الإيقاف الإجباري الثابتة والمتغيرة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-14).

أ-٥-٥-٣-٥ فترات السماح:

يقصد بفترات السماح النوافذ الزمنية التي تستطيع وحدة التحكم خلالها ترك الطور (الأطوار) المنسقة لاستخدام الأطوار غير المنسقة. وبعبارة أخرى، تحدد فترات السماح أقرب وأحدث النقاط التي يمكن أن **يبدأ** فيها الطور غير المنسق في كل حلقة. وعندما تكون فترة السماح نشطة، سيبدأ الطور الأول غير المنسق التي تقع في تسلسل مع الطلب (على سبيل المثال: سيتم تخطي طور سابق في التسلسل دون طلب). وبمجرد أن تسمح وحدة التحكم بتحويل الطور المنسق إلى طور غير منسق، ستُستخدَم جميع الأطوار اللاحقة مع الاستدعاءات؛ حيث إن فترات السماح لن تظل ذات تأثير على الدورة الحالية بمجرد أن يُقدَّم الطور المنسق. كما تتأثر فترات السماح بكل من وضع التحرك (نوقش بالتفصيل في الجزء الفرعي توقيت المشاة وأوضاع السير) ونوع الفترة المسموح بها التي تمت برمجتها.

لن يتمكن الممارس من تحديد فترات السماح في كل وحدة تحكم، ومن ثم ستقوم معظم وحدات التحكم تلقائيًا بحساب أكبر فترة سماح ممكنة واستخدامها (بناءً على النهج الخاص بالمورد فيما يتعلق بفترات السماح). وبغض النظر عما إذا كان قد حُدِّدت فترات السماح من قبل الممارس أو وحدة التحكم، فهناك طريقتان عامتان لاستخدامهما: (١) فترات السماح المتزامنة التي تبدأ جميعها في آن واحد و (٢) الفترات المسموح بها المتسلسلة التي تبدأ واحدة تلو الأخرى. وتتمثل ميزة فترات السماح المتزامنة، في ظل كثافات المرور الخفيفة، في القدرة على تخطي الطور الرابع واستدعاء الطور الأول مبكرًا (التسلسل الطبيعي هو الطور الأول ثم الثاني ثم الثالث ثم الرابع) إذا استدعي الطور الأول قبل الطور الرابع.

أ-٥-٥-٣-٦ نقطة الخضوع:

يقصد بنقطة الخضوع بداية أولى أو جميع الفترات المسموح بها، وهي مسؤولة بشكل أساسي عن تحديد النقطة الأولى التي يمكن أن يبدأ فيها الطور/الأطوار المنسقة لعملية الإنهاء والانتقال إلى الأطوار غير المنسقة. وهناك نقطة خضوع لكل طور منسق في كل حلقة في معظم وحدات التحكم، وبينما يتمثل الغرض الأساسي منها في تحديد نقطة زمنية يمكن أن تبدأ فيها وحدة التحكم عملية إنهاء الطور/الأطوار المنسقة، فهي أيضًا النقطة التي يتم عندها عادة الانتقال إلى خطط التوقيت اليومي الجديدة. وإذا تم استخدام أطوار الانعطافات السابقة والمتأخرة إلى اليسار للتحركات المجاورة للأطوار المنسقة؛ فيجب توخي الحذر لفهم مرجع المزامنة (كما هو موضح أدناه).

أ-٥-٥-٣-٧ مرجع مزامنة الأنماط:

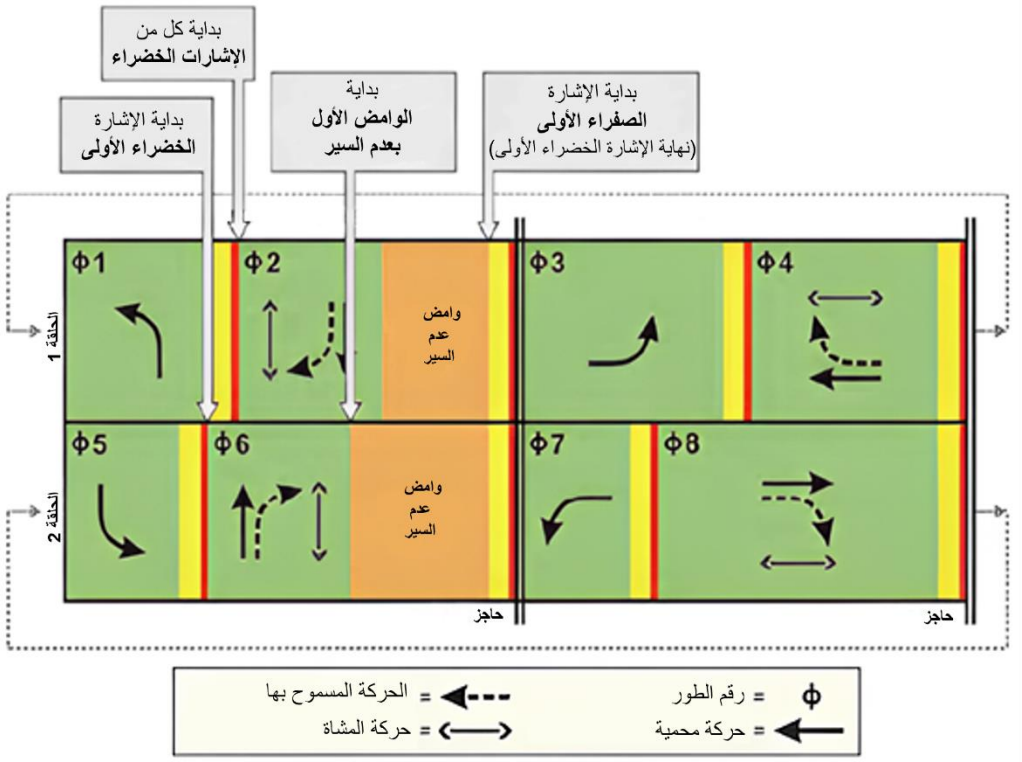
يقصد بمرجع مزامنة الأنماط بداية التوقيت الرئيس التي تتكرر يوميًا. وكما عُرّف سابقًا، يعد التوقيت الرئيس بمنزلة آلية توقيت خلفية تابعة لمنطق وحدة التحكم التي تُحال كل وحدة تحكم محلية إليها لأغراض التنسيق الوثيقة إلى الوقت. ويمكن أن يقع مرجع مزامنة الأنماط في منتصف الليل (كما هو مبين في الشكل أ-٥٢) أو في أوقات أخرى خلال الصباح الباكر (على سبيل المثال: ١:٠٠ صباحًا أو ٣:٠٠ صباحًا) وفقًا لما يحدده الممارس أو البرنامج الثابت. وينبغي إنشاء مرجع زمني موثوق (على سبيل المثال: مرجع زمني قائم على نظام تحديد المواقع العالمي)؛ لأنه ينبغي أن تحتفظ توقيتات وحدة التحكم المحلية بنفس التوقيت حتى يكون التنسيق أكثر فاعلية (أي ينبغي مزامنة التوقيتات).

أ-٥-٥-٣-٨ تعويض نقطة مرجعية:

يساعد تعويض النقاط المرجعية على إنشاء العلاقة بين التقاطعات المنسقة من خلال تحديد النقطة الزمنية (بالنسبة إلى التوقيت الرئيس) عندما تبدأ الدورة احتساب الوقت. ومن الممكن تحديد النقاط المرجعية باستخدام مجموعة متنوعة من النقاط في الدورة، كما هو موضح في الشكل (أ-٦٥) (الذي يفترض أن الطورين الثاني والسادس هما الطوران المنسقان). كما توفر العديد من وحدات التحكم الحديثة العديد من الخيارات، مثل:

- بداية طور الإشارة الخضراء المنسقة **الأول**.
- بداية **كلا** طوري الإشارة الخضراء المنسقة.
- بداية طور إشارات عبور المشاة المنسقة **الأول.**
- بداية طور الإشارة الصفراء المنسقة **الأول** (نهاية طور الإشارة الخضراء المنسقة الأول).

تُعد الفروق بين الإشارة الأولى وكلٍ من الإشارات الخضراء والصفراء والوميض دون تحرك مهمة إذا كانت الأطوار المنسقة تستخدم قيمًا مختلفة، أو كان التسلسل يحتوي على انعطافات سابقة ومتأخرة إلى اليسار. ورغم أنه من الممكن حساب أي مرجع تعويض من مرجع تعويض آخر (باستخدام طول الدورة وأوقات التجزؤ)؛ فإن استخدام مراجع تعويض مختلفة في نفس النظام سيتسبب في الحصول على نتائج سيئة. كما تُستخدَم بداية طور الإشارة الصفراء المنسقة الأول (أي نهاية طور الإشارة الصفراء المنسقة الأول) في هذا الجزء الفرعي كمرجع إزاحة؛ لأنه بشكل عام هو الأكثر سهولة من حيث الملاحظة في هذا المجال.

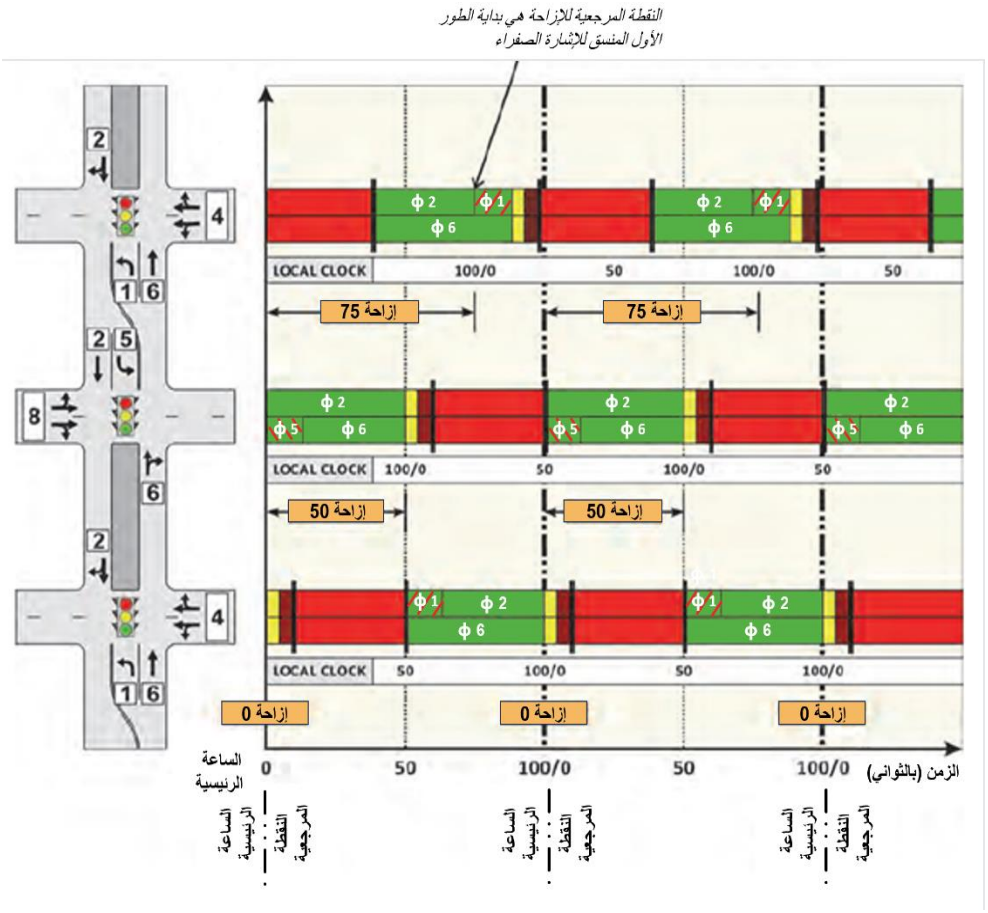


الشكل (أ–٦٥) النقاط المرجعية للإزاحة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-15).

أ-٥-٥-٣-٩ الإزاحات:

تعرّف الإزاحات العلاقة الزمنية (المعبر عنها بالثواني أو كنسبة مئوية لطول الدورة) بين التوقيت الرئيس والأطوار المنسقة في التقاطعات المحلية. وبمجرد تحديد نقطة مرجعية للتعويض؛ تُعرَّف الإزاحة بأنها الوقت المنقضي بين بداية دورة التوقيت الرئيس (نقطة الصفر الرئيسة) والنقطة المرجعية للتعويض في التقاطع المحلي (نقطة الصفر المحلية). ولقد وضِّحت الإزاحات التي تبلغ ٠ ثانية، و٥٠ ثانية، و٧٥ ثانية من التوقيت الرئيس في الشكل (أ-٦٦).

في الشكل (أ-٦٦) (وخلال هذا الجزء الفرعي)، تمثل النقطة المرجعية للتعويض بداية الطور المنسق الأول للإشارة الصفراء.



الشكل (أ–٦٦) الإزاحات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-16).

أ-٥-٥-٤ توجيه المعلمات المنسقة:

يستطيع الممارس استخدام أدوات تخطيط التنسيق (مثل: مخططات الزمان والمكان)؛ لتحديد قيم للمعلمات المنسقة وإنشاء خطة توقيت. ويوفر الجزء الفرعي الآتي توجيهات إضافية لهذه العملية.

أ-٥-٥-٤-١ توجيه المعلمات المنسقة:

غالبًا ما تتمثل النتيجة المرجوة للتنسيق في إحراز تقدم في أشد التحركات ازدحامًا على طول الممر، والذي ينتج عنه في كثير من الأحيان الشارع الرئيس من خلال أطوار تقوم بدور الأطوار المنسقة (كما هو موضح في الجزء الفرعي (أ-٥-٣)، وتُحدَّد هذه التحركات عادةً على أنها الطوران الثانية والسادسة). ومع ذلك، ينبغي أن يراعي الممارس صراحة المنبع-المقصد للمسافر والأحجام المرورية عند تحديد الطور/الأطوار المنسقة؛ لأنه حتى الطور المتعلق بتحرك انعطافي يمكن تحديده كطور منسق.

أ-٥-٥-٤-٢ توجيه طول الدورة:

يعمل طول الدورة، بالإضافة إلى التجزؤات والإزاحات، على إنشاء العلاقات بين التقاطعات. وستعمل بعض أطوال الدورات على نحو أفضل من الأطوال الأخرى بسبب علاقة الزمان والمكان بين التقاطعات؛ لا سيما إذا كان يرجى الحصول على نتيجة معينة للنظام (مثل: سرعة التقدم). وتُحدَّد أطوال الدورات بشكل متكرر لمعالجة التشغيل في تقاطع حرج (أو حجم عالٍ) في مجموعة من الإشارات المنسقة، ورغم ذلك؛ فقد نوقشت العديد من طرق تحديد أطوال الدورات الإضافية في هذا الجزء الفرعي.

ينبغي أن يضع الممارس في حسبانه دائمًا ما إذا كانت التقاطعات التي تحتوي على متطلبات طويلة لطول الدورة؛ لا سيما تلك التي تحتوي على مسافة فصل كافية عن التقاطعات الأخرى (على سبيل المثال: عدم وجود ارتداد لصفوف الانتظار حتى التقاطعات المجاورة)، ستعمل بشكل أفضل إذا كانت مستقلة عن المجموعة. ويمكن أن تزيد أطوال الدورات الطويلة للغاية من الازدحام بدلًا من أن تقلله، وذلك بسبب أوقات الانتظار الطويلة التي تقضيها المركبات المصطفة في الشوارع الفرعية والرئيسة على حد سواء. ومن المؤكد أن تزيد أطوال الدورات الأطول من الازدحام في الحالات الآتية:

- عندما يتحرك في تقاطع ما عدد مركبات يزيد عن العدد الذي تستطيع المرور تحمله.
- عند وجود مشكلات في مكان تخزين مسارات الانعطاف. ويمكن أن تتسبب أطوال الدورات الطويلة في أن تعود المركبات الموجودة في أماكن الانعطاف إلى الخلف عن طريق المسارات. وبطريقة مشابهة، يمكن ان تتسبب الدورات الطويلة في توجه المرور إلى الخلف باتجاه أماكن تخزين مسارات الانعطاف، مما يقيد حركة المركبات المنعطفة.
- عندما تزداد الفترات الزمنية الفاصلة (ما يقلل معدل التدفق عند خط التوقف)، حيث تغادر المركبات المصطفة عن طريق المسارات لتدخل مسارات الانعطاف.
- عند وجود تباين متزايد في أوقات الإشارة الخضراء النشطة. ويمكن أن تتسبب أطوال الدورات الطويلة في حدوث تباين متزايد في وقت الإشارة الخضراء الذي يستهلكه الشارع الفرعي، والذي قد يتسبب في وصول عدد قليل من المركبات عند الإشارة الخضراء في تقاطع مجرى المرور. وتجدر الإشارة بصفة خاصة إلى هذا عندما تتجاوز أوقات التجزؤ ٥٠ ثانية (Teply, 1983).

الطرق اليدوية المستخدمة في تحديد طول الدورة:

رغم أنه وضِعت معظم خطط توقيت الإشارات باستخدام تحليل قائم على الحاسب؛ فإن استخدام الأدوات لا يقل فائدة عن استخدام بيانات المرور ونموذج تحقيق الاستفادة القصوى. وفي العديد من الشبكات البسيطة التي تحتوي على أحجام مرورية، يمكن وضع التوقيتات يدويًا عن طريق تحديد طول دورة مناسب (وتعويضات) بناءً على تباعد الأجسام.

طرق استخدام التقاطعات الحرجة لتحديد طول الدورة:

قد يستند طول الدورة الخاص بمجموعة منسقة من التقاطعات إلى طول الدورة المطلوب عند التقاطع الحرج. وباستخدام هذه المنهجية، سيحافظ طول الدورة الذي حُدِّد بشكل كافٍ على الظروف غير المشبعة عند التقاطع الحرج. كما تستخدم الطريقة التقليدية الموصى بها الصيغ الآتية (Webster, 1958) لتحديد طول الدورة المثالي:

$$C = \frac{1.5L+5}{1.0-Y}$$ **المعادلة (أ-٢٨)**

حيث إن:

C = طول الدورة المثالي (بالثواني).

Y = حجم المسار الحرج مقسومة على التدفق المُشبّع، ويجمَع على أطوار.

L = الوقت الضائع في كل دورة (بالثواني).

يضع مدخل التقاطع الحرج التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية في الحسبان بشكل منفصل؛ ولهذا السبب يمكن ألا يتمكن دائمًا من إنتاج طول الدورة الأمثل لتقدم النظام (إذا كانت هذه هي النتيجة المرجوة). ولا تضع هذه الطريقة معوقات التقاطعات التي تتجاوز الوقت الضائع ومعدل التدفق المُشبّع في الحسبان، ولقد حققت نتيجة فعلية اهتمت بتدفق المركبات. كما أنها لا تهتم على وجه التحديد باحتياجات المستخدمين الآخرين، مثل المشاة وراكبي الدراجات ووسائل النقل، وتعد صالحة فقط للظروف غير المشبعة.

نهج الشبكة لتحديد طول الدورة:

يهتم نهج الشبكة لتحديد طول الدورة بأداء التقاطعات المتعددة عند تحديد طول الدورة الأمثل. وتستخدم معظم التطبيقات نماذج تحقيق أقصى استفادة من توقيتات إشارات المرور المستندة إلى تدفق المركبات. ومع ذلك قد تتغير نماذج تحقيق أقصى استفادة مع النسخ الجديدة من البرامج، ومن ثم ينبغي الحصول على الوثائق من منتجي البرامج المستقلين.

تهتم نماذج تحقيق أقصى استفادة بالشبكة التي يتم تحليلها، وتحدد الحل الأمثل استنادًا إلى مجموعة معينة من المدخلات (مثل نطاق أطوال الدورة المفضلة). وتستخدم هذه النماذج بشكل عام خصائص التقاطعات الفردية، ونسبة حجم المركبات إلى قدرة الاستيعاب، والمسافة بين التقاطعات لتقييم أداء أطوال الدورات الفردية والخطط الناتجة. كما ينبغي الاهتمام بسياسات التوقيت وسياسات التحسين والمعايير المستخدمة لتحديد خطة توقيت للإشارات التي تم استعراضها هنا قبل عملية تحسين طول الدورة أو كجزء منها. ويمكن أن يتطلب الأمر قدرًا كبيرًا من الجهد لنقل خطة فُحِصت في البداية من نموذج تحقيق أقصى استفادة إلى نقطة يمكن تنفيذها ميدانيًا.

أ-٥-٥-٤-٣ توجيه التجزؤات:

يقصد بتوزيع التجزؤ عملية تحديد كم الدورات التي يمكن تقديمها لكل طور.

هناك العديد من الطرق التي يمكن استخدامها لتحديد وقت التجزؤ اللازم لكل طور. والمقصد العام هو تخصيص وقت كاف لكل طور؛ لتجنب التعرض للظروف المشبعة للغاية لدورات متتالية، ولكن على مدار فترة التحليل (١٥ دقيقة أو ساعة واحدة)، ينبغي توزيع التجزؤات بطريقة تتوافق مع الأهداف التشغيلية. فعلى سبيل المثال: إذا كان الهدف التشغيلي يتمثل في تقليل التوقفات في ممر، ينبغي أن تتلقى أطوار المسارات أوقات انقسام أطول مقارنة بأطوار الشوارع الفرعية.

يتمثل أحد اختيارات توزيع التقسيم في تخصيص التجزؤات التي تلبي متطلبات مستوى التصميم من حيث السعة لجميع التحركات الصغيرة، مع تخصيص الوقت المتبقي للتحركات المنسقة. ويتمثل خيار آخر في تخصيص وقت الإشارة الخضراء

بطريقة تتساوى فيها نسب الكثافة إلى السعة فيما يتعلق بالتحركات الحرجة. وفي وجود العديد من التقاطعات بين معلمات توقيت الإشارات، ينبغي أن يعتمد تخصيص وقت الإشارة الخضراء على المشاة، وأطوار العبور، وتقديرات سعة النطاق.

أ-٥-٥-٤-٤ توجيه عمليات الإيقاف الإجباري:

عادة ما تقوم وحدات التحكم تلقائيًا بحساب عمليات الإيقاف الإجباري بناءً على التجزؤات المبرمجة. ومع ذلك، يمكن أن تسمح بعض وحدات التحكم للمارس ببرمجة قيم عمليات الإيقاف الإجباري، أو نوع عملية الإيقاف الإجباري المستخدمة. ولن يتمكن الطور المشغّل بعد الطور المنسق مباشرة من استقبال الوقت من طور سابق، بغض النظر عن طريقة الإيقاف الإجباري (ما لم تُشغَّل المرحة المنسقة)؛ ولذلك، ينبغي تحديد عملية الإيقاف الإجباري (أو التجزؤ) للطور الأول التي تلي الطور المنسق بعناية.

واستنادًا إلى الأهداف التشغيلية؛ فإنه ينبغي النظر في نوع الإيقاف الإجباري المطبق. وتفضل عمليات الإيقاف الإجباري المتغيرة الطور/الأطوار المنسقة، لأنها لا تسمح للأطوار غير المنسقة بالحصول على الوقت. وعلى الجانب الآخر، يمكن الاستفادة من عمليات الإيقاف الإجباري الثابتة في حال حدوث تقلبات في طلب المرور، وتحتاج الحركة غير المنسقة إلى المزيد من وقت الإشارة الخضراء في أثناء الدورة. كما قد يساعد هذا النوع من عمليات الإيقاف الإجباري على منع العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء في الطور المنسق (Sunkari, et al., 2004)؛ مما يقلل التأخير الملحوظ بطول المسار (*وضّح ذلك بالتفصيل في الجزء الفرعي العودة المبكرة للإشارة الخضراء*).

تتمثل إحدى النتائج المحتملة لعمليات الإيقاف الإجباري الثابتة في أن الطور اللاحق في التسلسل (قبل الطور المنسق) يمكن أن تحصل على أكثر من وقت التجزؤ (شريطة أن يكون مؤقت الإشارة الخضراء الأقصى غير نشط أو لم يُتوصّل إليه). ومن الممكن استخدام الحد الأقصى للكبح (معلمة وحدة تحكم قابلة للتحديد)؛ لمنع وحدة التحكم من استخدام القيم القصوى لإشارة المرور الخضراء في أثناء التشغيل المنسق. كما يمكن أن تتسبب القيم القصوى لإشارة المرور الخضراء، إذا سُمح لها بالقيام بدورها في أثناء التنسيق، في عدم وصول الأطوار إلى نقاط الإيقاف الإجباري الخاصة بها.

أ-٥-٥-٤-٥ توجيه فترات السماح:

تقوم العديد من وحدات التحكم تلقائيًا بزيادة فترات السماح إلى أقصى حد، لكنها لا تعمل جميعًا بالطريقة ذاتها. ويفضل تقديم فترات السماح الأكبر خلال الأوقات اليومية ذات الأحجام المرورية المنخفضة؛ بسبب زيادة فرص استخدام الأطوار غير المنسقة. ومع الأحجام المرورية المرتفعة، لا تمثل فترات السماح مشكلة كبيرة؛ حيث توجد عادة استدعاءات في جميع الأطوار عندما تصل وحدة التحكم إلى نقطة الإنتاج. كما أنه من المستحسن بصفة عامة زيادة فترات السماح إلى أقصى حد.

أ-٥-٥-٤-٦ توجيه نقاط الإنتاج:

تُحدَّد نقاط الإنتاج في نهاية المطاف استنادًا إلى أوقات بدء فترات السماح. وتحسب وحدات التحكم الحديثة نقاط الإنتاج استنادًا إلى مرجع الإزاحة ووضع التحرك. ولا توجد أي تقديرات أخرى ضرورية.

أ-٥-٥-٤-٧ توجيه مرجع مزامنة الأنماط:

ينبغي برمجة مرجع مزامنة الأنماط بصفة عامة في أوقات الأحجام المرورية المنخفضة؛ وذلك للحد من معوقات المرور. وينبغي أن يشير كل تقاطع إلى توقيت رئيس متسق بحيث تستخدم وحدات التحكم المحلية نقاطًا مرجعية متطابقة. وينبغي تكوين جميع وحدات التحكم بحيث تتمكن من تتبع المشكلات الدقيقة المتعلقة بالوقت التي ستبقيها متزامنة مع التوقيت الرئيس، كأن تتبع المنطقة التوقيت الصيفي و/أو عندما يبدأ التوقيت الصيفي وينتهي. وإذا لم يكن التوقيت المحلي متزامنًا مع التوقيت الرئيس؛ فلن يعمل التنسيق بشكل صحيح.

أ-٥-٥-٤-٨ توجيه النقاط المرجعية للتعويض:

لن تتحرك النقاط المرجعية للتعويض استنادًا إلى أوقات التوقيت الفعلي للأطوار، فهي تشير إلى نقطة ثابتة في الوقت تستند إلى انقسامات الأطوار وتسلسلها. وقد بُرمجت النقاط المرجعية بشكل عام عن طريق وحدة التحكم أو البرنامج الثابت للنظام. وينبغي أن يستخدم الممارس نقطة مرجعية ثابتة للتعويض خاصة بمجموعة من الإشارات المنسقة. ومع ذلك، فمن المهم إدراك أن جميع النقاط المرجعية للتعويض متكافئة من الناحية الوظيفية (أي أنه إذا كنت تعرف مرجعًا واحدًا؛ فستتمكن من حساب أي مرجع آخر لنفس النمط).

كانت بداية الطور المنسق للإشارة الخضراء ولا تزال نقطة مرجعية مشتركة للتعويض. ومع ذلك، لا يمكن ملاحظته بسهولة في هذا الحقل؛ لأن الأطوار غير المنسقة قد تنتهي مبكرًا عن طريق الخروج من الثغرات. وعلى الجانب الآخر، تكون بداية الطور الأول المنسق للإشارة الصفراء ملحوظة بشكل عام أو ظاهرة في الحقل (أي: أن النقطة الفعلية لا تتحرك بسبب أن توقيت الأطوار غير المنسقة أقل من التجزؤات المخصصة لها).

أ-٥-٥-٤-٩ توجيه الإزاحات:

ينبغي اختيار الإزاحات بناءً على سرعة التحرك الفعلية أو المرجوّة بين التقاطعات، والمسافة بين التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، والأحجام المرورية. وفي نظام منسق نموذجي، قد تسمح الإزاحات للفصائل (مما يؤدي إلى ترك التقاطع الرئيس في بداية الإشارة الخضراء) بالوصول إلى التقاطع الرئيس بالقرب من بداية الإشارة الخضراء أو بعد خروج صف الانتظار من

الشوارع الفرعية أو الممرات (أي: تبدأ الإشارة الخضراء مبكرًا بما يكفي لإخلاء المركبات المصطفة قبل وصول الفصيل).

غالبًا ما تُضبط الإزاحات في الميدان، ورغم ذلك تزود ملاحظات الميدان الممارس بقدرة محدودة على مراجعة الظروف؛ ولأن الدورة مدتها ١٠٠ ثانية، توجد ٣٦ دورة فقط في الساعة، ويمكن ألا تكون الدورة مؤشرًا لأداء الدورة التالية. فعوضًا عن محاولة إنشاء الإزاحات بناءً على الملاحظات الميدانية **أو** مخرجات البرامج، على الممارس استخدام المراجعة الميدانية **و**مخططات الزمان والمكان بالتزامن لتحسين النظام. كما تراقب بعض وحدات التحكم الحديثة عمليات الوصول عند الإشارة الخضراء كنوع من المساعدة على تحسين الإزاحات.

أ-٥-٥-٥ تقديرات أخرى للتنسيق:

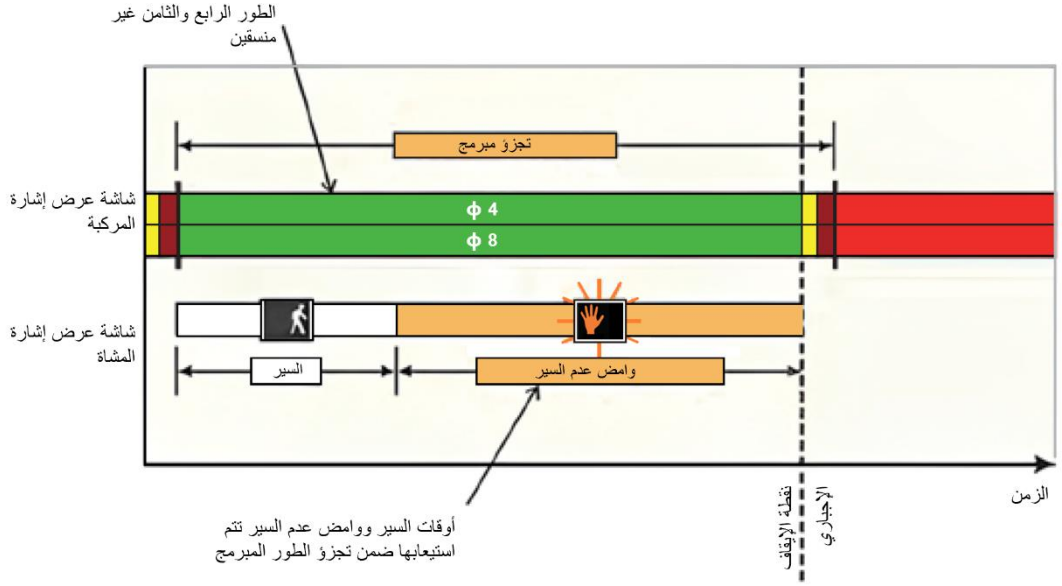
إضافة إلى معلمات التنسيق الأساسية، ينبغي على الممارس أيضًا فهم كيفية تأثير أوضاع التحرك وتشغيل الطور/الأطوار المنسقة ومنطق الانتقال على الأهداف التشغيلية.

توقيت المشاة وأوضاع السير:

يمكن أن يكون لعمليات المشاة تأثيرًا مباشرًا على التنسيق بطول المسار. ويعد توقيت المشاة مطلوبًا في جميع الأطوار التي تخدم المشاة. ومع ذلك، عندما تُشغَّل خدمة المشاة ويكون الطلب منخفضًا نسبيًا، يمكن أن يكون من المستحسن تخصيص وقت انقسام أقصر من الوقت المطلوب لخدمة أحد أفراد المشاة (إذا كانت البرامج الثابتة لوحدة التحكم تدعم القدرة). ويمكن أن يكون التشغيل المروري أكثر كفاءة من دون مراعاة المشاة خلال طول الطور المنسق (إذا كان وقت المشاة أطول من الوقت اللازم لتقدم المركبات وطلب المرور). كما يمكن أن يكون أكثر فعالية لوحدة التحكم أن تُحوَّل من التنسيق وأن تضطر إلى العودة مرة أخرى للمشاة العرضيين عوضًا عن استخدام توقيت المشاة في كل دورة.

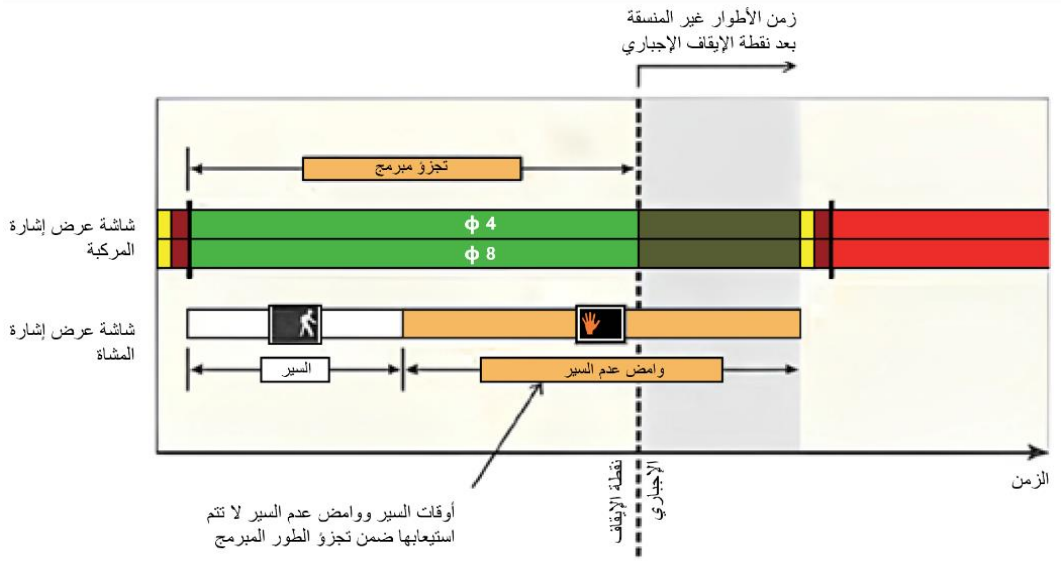
توقيت المشاة للأطوار غير المنسقة:

يمكن أن يكون الوقت اللازم للتحرك عبر الشارع (متطلبات توقيت المشاة) أطول من احتياجات المرور الأخرى؛ ولذلك يكون تأثير توقيت المشاة على التنسيق أكثر وضوحًا لأنه يؤثر في توقيت الشارع الفرعي. ويوضح الشكل (أ-٦٧) المبدأ الرئيس لتوقيت المشاة عندما يكون انقسام المركبات كافيًا لاستيعاب وقت المشاة، مما يسمح للإشارة بأن تظل في التنسيق (ولا تتجاوز نقطة الإيقاف الإجباري).



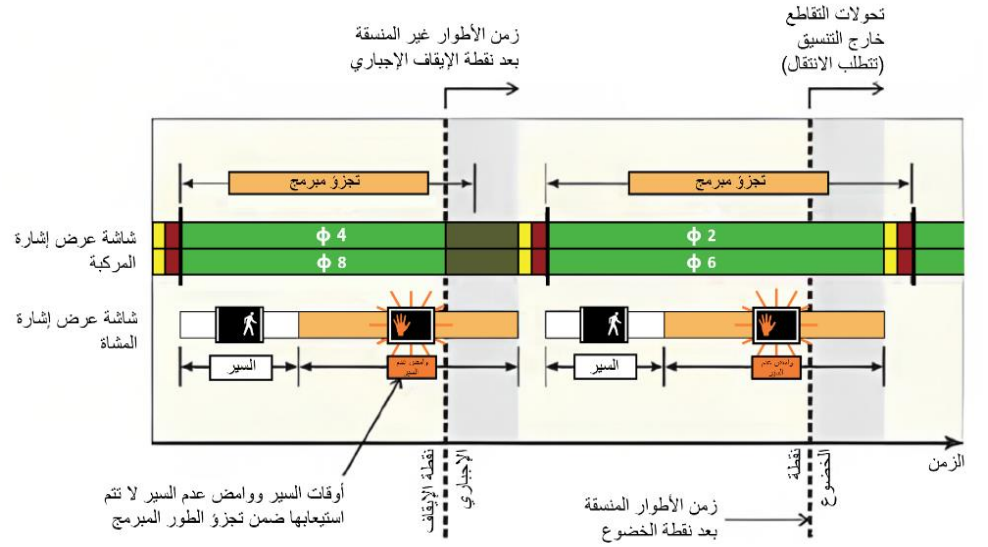
الشكل (أ–٦٧) تشغيل طور غير منسق مع توقيت مشاة مكتمل قبل الإيقاف الإجباري (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-24).

عندما لا يكون انقسام الطور المعني كافيًا لشمول توقيت المشاة، تضاعف وحدة التحكم الطور الذي يقع بعد نقطة عملية الإيقاف الإجباري (كما هو موضح في أ-٦٨). وتعتمد استجابة وحدة التحكم على عاملين: (١) طلب الأطوار غير المنسقة اللاحقة (٢) العملية غير المشغلة مقابل العمليات المشغلة في الأطوار المنسقة.



الشكل (أ–٦٨) تشغيل طور غير منسق مع توقيت مشاة يتجاوز تجزؤ الطور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-25).

عند عدم تشغيل الأطوار المنسقة (وهي ممارسة نموذجية)، ينبغي أن تبدأ الأطوار المنسقة بحساب التوقيت بشكل كافٍ قبل نقطة إنتاج وحدة التحكم؛ لتمكين توقيت المركبات بالكامل (الحد الأدنى لوقت الإشارة الخضراء) وتوقيت المشاة (السير بالإضافة إلى الإشارة الوامضة لحظر السير). وإذا كان مقدار الوقت غير كافٍ لتلبية متطلبات التوقيت هذه؛ فستقوم وحدة التحكم باحتساب توقيت الطور المنسق بعد نقطة الإنتاج، ثم تخرج عن التنسيق (كما هو موضح في الشكل أ-٦٩).



الشكل (أ–٦٩) فقدان التنسيق بسبب استدعاء المشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-26).

عند نقطة الإنتاج، يحدد منطق وحدة التحكم عادةً الطريقة التي ستعود وحدة التحكم إلى التنسيق من خلالها. وإذا كانت العودة المتأخرة إلى الطور المنسق سهلة (مقارنة بطول الدورة ومتطلبات الأطوار الأخرى)؛ فقد توفر حدًا أدنى من التعطيل وفوائد كبيرة للمرور بشكل عام، شريطة أن يمكن وضع الانتقال وحدة التحكم من استقطاع وقت من الأطوار الآتية (راجع الجزء الفرعي منطق الانتقال).

توقيت المشاة للأطوار المنسقة:

عادة ما ينتج عن مقدار الوقت اللازم لخدمة أحجام المركبات، أو توفير سعة نطاق بطول الشوارع الرئيسة انقسامات أطوار منسقة تعد كافية؛ لاستيعاب توقيت المشاة. وبينما توفر تقديرات التقدم بشكل عام وقتًا كافيًا لاستيعاب المشاة، تكون بعض أوضاع المشي أكثر ملاءمة للمشاة من غيرها، ولقد نوقش هذا الأمر أدناه.

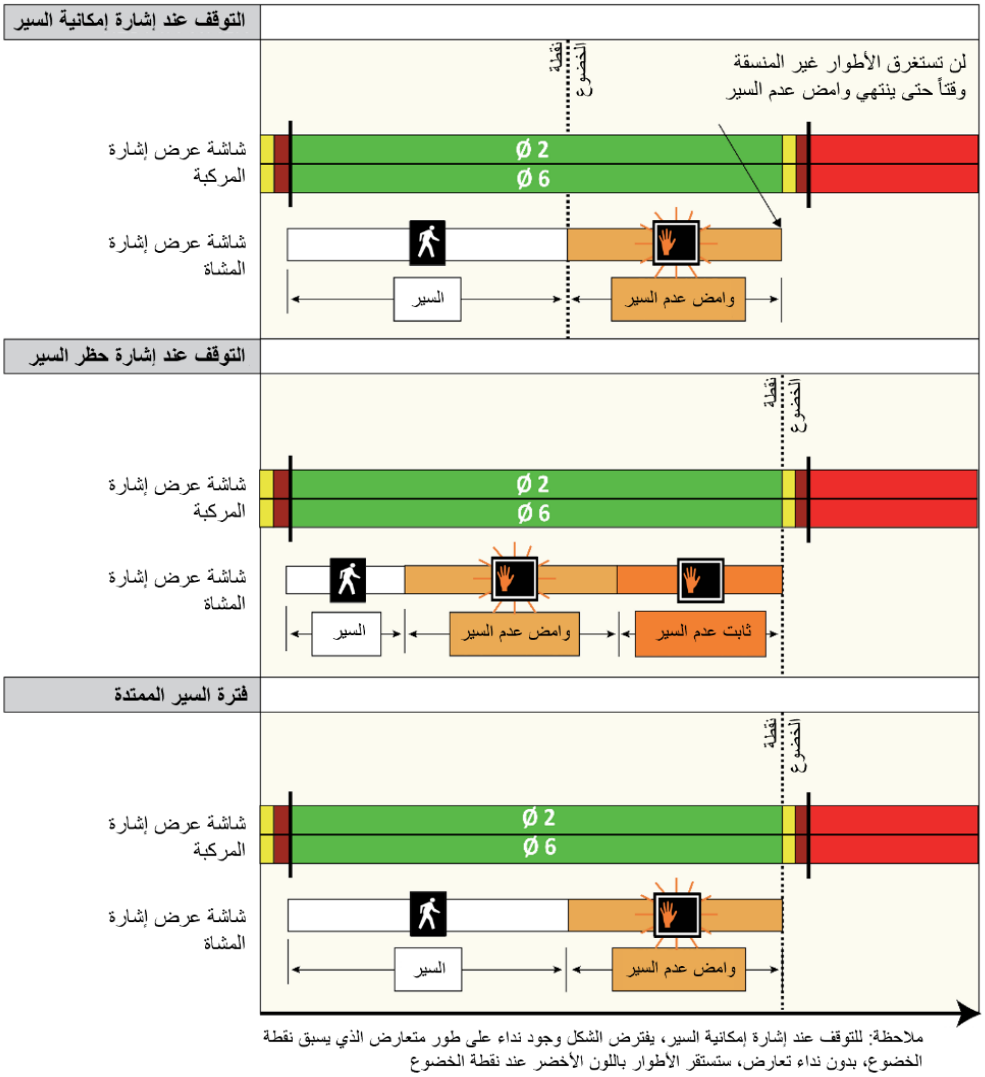
أوضاع السير:

يستطيع الممارس تحديد أوضاع السير التي تؤثر في خدمة المشاة أثناء الأطوار المنسقة: (١) التوقف عند إشارة إمكانية السير، و(٢) التوقف عند إشارة حظر السير، و(٣) فترة السير الممتدة (يوضح الشكل (أ-٧٠) أوضاع السير الثلاثة هذه):

- يطبق وضع **التوقف عند إشارة إمكانية السير** في الفترة الزمنية المخصصة لسير المشاة، بينما تكون إشارة الطور المنسق خضراء، بغض النظر عن استدعاءات المشاة. وغالبًا ما يستخدم هذا الوضع عند وجود أحجام مشاة مرتفعة، مثل التي تكون في بيئات وسط المدينة، أو الأماكن التي تكون بالقرب من المدارس. ولا **يتطلب** أي اكتشاف للمشاة (رغم أن اكتشاف المشاة يمكن أن يكون مستحسنًا للسماح بالتشغيل الحر في وقت متأخر من الليل). ومع ذلك، يتسبب وضع السير هذا في تمديد الفترة الزمنية الخاصة بالإشارة الوامضة لحظر السير بعد نقطة الإنتاج؛ مما يؤدي إلى تأخير التحركات في الشوارع الفرعية حتى ينتهي الفترة الزمنية الخاصة بالإشارة الوامضة لحظر السير. ولا يمكن ملاحظة التأخير الحاصل للشوارع الرئيسة إلا في ظل ظروف منخفضة الحجم.
- يطبق وضع **التوقف عند إشارة حظر السير** في الفترة الزمنية (استعد) دون سير بعد استخدام الفترات الزمنية المبرمجة المخصصة للسير والإشارة الوامضة لحظر السير. وغالبًا ما يُستخدَم هذا الوضع عندما تكون أعداد المشاة منخفضة. كما يتطلب بالفعل اكتشاف المشاة.
- يطبق وضع **فترة السير الممتدة** في الفترات الزمنية المخصصة للمشاة (يتشابه مع وضع التوقف عند إشارة إمكانية السير) التي تبدأ عند بداية الطور المنسق للإشارة الخضراء. ويعمل على مضاعفة وقت السير إلى أقصى حد كل دورة، كما يضاعف الفترة الزمنية المخصصة للإشارة الوامضة لحظر السير. ويمثل هذا الوضع حلًا وسطًا بين وضعي السير الأولين، ولا يتطلب اكتشاف المشاة.

يمكن أن يعتمد وضع السير المناسب على التوقيت اليومي. وفي أثناء منتصف الليل قد يكون وضع التوقف عند إشارة حظر السير الأكثر ملاءمة بسبب الحجم المنخفض للمشاة. ومع ذلك، يمكن أن يتسبب ارتفاع حجم المشاة في أثناء النهار في أن يكون وضع التوقف عند إشارة إمكانية السير (أو فترة السير الممتدة) الأكثر ملاءمة لهذه الفترة من الوقت.

بناءً على وضع السير وإعدادات إشارات عبور المشاة، يمكن أن تتضاعف الفترة الزمنية المخصصة للسير أكثر من مرة في أثناء دورة واحدة. وتعد إعادة تقديم الخدمة إلى المشاة ميزة يمكن استخدامها عند تشغيل خدمة المشاة في الفترة المنسقة. فهي تساعد على مضاعفة الفترة الزمنية المخصصة للسير مرة أخرى في حال: (أ) يُقدَّم استدعاء و(ب) وجود وقت كافٍ قبل آخر نقطة يجب أن يبدأ عندها الفترة الزمنية المخصصة للإشارة الوامضة لحظر السير.

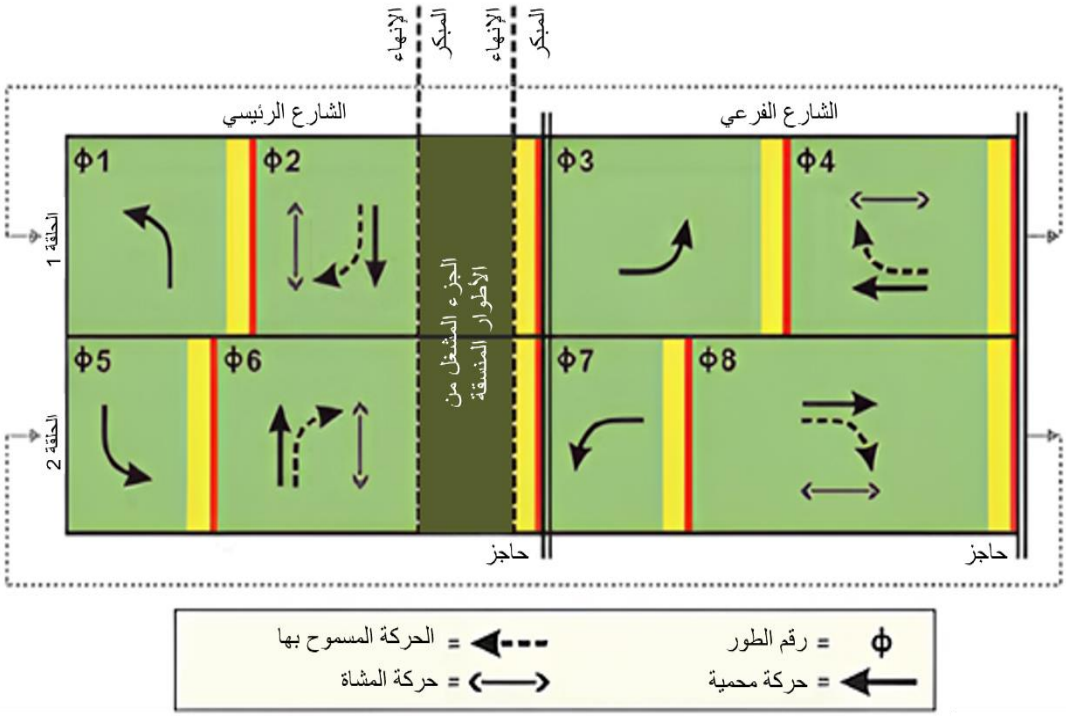


الشكل (أ–٧٠) أوضاع "اعبر" الخاصة بالمشاة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-27).

أ-٥-٥-١ تشغيل الطور المنسق:

يمكن تشغيل جزء من وقت التجزؤ في نهاية الأطوار المنسقة؛ مما يسمح بحدوث إنهاء مبكر للأطوار المنسقة عند عدم وجود طلب للمرور المكتشف (كما هو موضح في الشكل أ-٧١، بافتراض تطبيق وضع التوقف عند إشارة إمكانية السير). وينقل هذا النهج بشكل فعال نقطة إنهاء الطور إلى وقت مبكر من الدورة، ويسمح للأطوار المنسقة بالخروج من الثغرة، وتوفير وقت للشوارع الفرعية والانعطافات إلى اليسار. وإضافة إلى ذلك، يزيد من احتمالية حماية منطقة اتخاذ القرار (من خلال استخدام الاستشعار لإنهاء الأطوار المنسقة بدلًا من بلوغ الحد الأقصى أو الإيقاف الإجباري).

ستسمح قيمة التشغيل الصحيحة تمامًا (١) بالقيام بعمليات خروج عرضية من الثغرة لاستخدام طلب الشارع الفرعي بسرعة أكبر (تقليل تأخير التقاطع) و(٢) تقليل بلوغ الحد الأقصى من الإيقاف الإجباري للأطوار المنسقة (تعزيز حماية منطقة اتخاذ القرار). وقد ينتج عن وجود (وقت مُفعَّل) قيمة كبيرة للغاية للقيام بالمزيد من عمليات العودة المبكرة للإشارة الخضراء و/أو التحركات المنسقة التي تخرج من الثغرة قبل وصول الفصيل مباشرةً؛ مما يؤدي إلى تقدم الإشارة بشكل ضعيف وحدوث توقفات متزايدة وتأخير بطول المسار. وسيكون للقيمة الضئيلة للغاية نتيجة غير منطقية. كما يتطلب تشغيل الطور المنسق قرارًا هندسيًا ومراقبة لعمليات الإشارة خلال أوقات متعددة من اليوم أو أيام الأسبوع؛ لتعيين قيم تشغيل معقولة (لكل حلقة في الغالب).



الشكل (أ–٧١) تشغيل بالاستشعار لجزء من الأطوار المنسقة (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-28).

أ-٥-٥-٢ منطق الانتقال:

الانتقال هو عملية الدخول في خطة التوقيت المنسقة من التشغيل "الحر" أو التبديل بين خطتين. كما يمكن أن يكون الانتقال ضروريًا بعد حدث مثل الأولوية أو فقدان التنسيق (قد يكون بسبب وقت المشاة الذي يتجاوز التجزؤ المخصص). وبشكل عام، لا تعمل إشارات المرور ضمن معلمات النمط ذاتها وطول الدورة ذاته في جميع الأوقات. فيمكن أن يتغير النمط في أثناء اليوم لعدة أسباب:

- إجراء تغيرات مجدولة على التوقيت اليومي.
- تحديد المشغل اليدوي.
- تحديد نمط الاستجابة للمرور.
- المركبات أو السكك الحديدية المخصصة للطوارئ، أو الأولويات الأخرى.
- تحديد نمط نظام التحكم التكيفي.
- إجراء تصحيحات في توقيت وحدة التحكم.
- أن يتجاوز وقت المشاة وقت التجزؤ.
- فقدان الطاقة واستعادتها.

قد يكون الإفراط في تغيير خطط التوقيت، في محاولة للمطابقة بين أنماط المرور على نحو وثيق وتحسين الأداء ضارًا؛ لأن النظام لا يوفر أبدًا تنسيقًا لفترة كافية للحصول على فوائد الخطة الجديدة؛ بحيث تفوق تكاليف الانتقال. ولهذا السبب، من المستحسن بشكل عام البقاء في نمط منسق لمدة ٣٠ دقيقة على الأقل. كما أنه من الأفضل تجنب تغيير الأنماط في ظل ظروف الازدحام عندما تحتاج الإشارات إلى العمل بأقصى كفاءة. ومن الأفضل تطبيق نمط فترة الذروة في وقت مبكر؛ لضمان اكتمال جميع عمليات الانتقال بالإزاحة قبل بداية تدفقات المرور في وقت الذروة.

وعنما تصل وحدة التحكم إلى نقطة يلزم فيها تغيير نمط التنسيق (الدورة، و/أو التجزؤات، و/أو الإزاحات، و/أو التسلسل)، يمكن أن تضطر وحدة التحكم أيضًا إلى تغيير النقطة المرجعية للتعويض المحلي. ويتطلب هذا استخدام خوارزمية يمكن أن تؤدي إلى تقصير (أي، خصم وقت من) أو تطويل (أي: إضافة وقت إلى) مدة الدورة. وعادة ما تعمل خوارزمية الانتقال على مدار دورة حتى خمس دورات بناءً على وضع الانتقال المحدَّد ومدى حاجة النقطة المرجعية للتعويض إلى التغير. وبالتالي، ستكون مدد التجزؤ (وأطوال الدورات) في أثناء فترة الانتقال مختلفة عن المدد المبرمجة في النمط القديم أو الجديد.

بينما تقوم الأنظمة المركزية أو الرئيسة عادةً بالتبليغ عن تحديد خطة توقيت جديدة لجميع الإشارات في مجموعة واحدة في نفس الوقت؛ يُطبَّق منطق الانتقال الفعلي عادةً بشكل مستقل في كل إشارة دون تقدير صريح لحالة الإشارات المجاورة. وقد يكون التحكم المروري أقل كفاءة بشكل ملحوظ في أثناء الانتقال بين خطط التوقيت مما يكون عليه أثناء التنسيق.

فيما يأتي الأساليب الثلاثة الأكثر شيوعًا لتحقيق انتقال نقطة مرجعية للتعويض:

- إطالة وقت الدورة (إضافة وقت إلى كل انقسام).
- تقصير وقت الدورة (خصم وقت من كل انقسام).
- التكييف (إضافة الوقت أو خصمه بناءً على الأسرع).

أوضاع إطالة الانتقال:

تسبب أوضاع إطالة الانتقال في نشوء مخاطر أقل من التي تنشأ عن أوضاع الانتقال التي تقصر طول الدورة، إلا إذا كان من المعروف أن مقدار التقصير ضئيل. وتقل احتمالية ظهور صفوف انتظار بسبب قصر أوقات العمل وعدم تقديم الخدمات للمشاة. ومع ذلك، إذا غُيّرت النقطة المرجعية للتعويض بمقدار ثانية واحدة للخلف؛ فإن استخدام وضع تطويل الانتقال يتطلب تغيير الدورة بأكملها إلى الأمام بمقدار ثانية واحدة أقل من طول الدورة. ويتسبب هذا في وجود دورات أطول في أثناء الفترة الانتقالية، مما قد يتسبب في حدوث مشكلات تخزين غير متوقعة في مسارات الانعطاف إلى اليسار أو بين التقاطعات المتقاربة. وفيما يأتي توضيح للأوضاع:

- **الاستقرار**: في العرض التالي للإشارة الخضراء فيما يتعلق بالأطوار المنسقة، تبدأ وحدة التحكم في الانتقال عن طريق الاحتفاظ بهذه الحالة (أو الاستقرار عليها)؛ حتى يتم الوصول إلى نقطة المرجعية الجديدة للتعويض، وفي ذلك الوقت تُعد الإشارة متزامنة، وتبدأ خطة التوقيت الجديدة. ويخصص وضع الانتقال هذا كل وقت الانتقال للأطوار المنسقة، مما يمكن أن يسبب مشكلات في الأطوار الأخرى غير المنسقة. وإذا احتاجت النقطة المرجعية للتعويض إلى التحرك قبل ثانية واحدة، فستستقر الأطوار المنسقة لمدة ثانية واحدة أقل من طول الدورة.
- **الاستقرار لأقصى حد**: يقصد بهذه الصيغة المعدلة من (الاستقرار) أيضًا ضبط بداية الدورة عن طريق تمديد وقت الإشارة الخضراء فيما يتعلق بالأطوار المنسقة. ومع ذلك، يمكن إضافة قدر محدود فقط من الوقت الإضافي للإشارة الخضراء في كل دورة.
- **الإضافة**: يُزامن هذا الوضع (الذي يُفضل عمومًا عن وضع الاستقرار) عن طريق تغيير بداية الدورة تدريجيًا في وقت لاحق، عن طريق حساب توقيتات أطول قليلًا من أطوال الدورة المبرمجة. ويعمل وضع الإضافة على زيادة وقت الإشارة الخضراء في جميع أطوار التسلسل، بينما يضيف وضع الاستقرار الوقت إلى الأطوار المنسقة فقط. وإذا كانت الإشارة خاضعة للأولوية؛ فإن تحديد وضع انتقال الإضافة فقط يسمح لجميع الأطوار بالحصول على وقت إضافي في أثناء الفترة الانتقالية.

وضع تقصير الانتقال:

يعمل وضع تقصير الانتقال (أي وضع **الخصم**) على تقصير طول الدورة، ويخصم الوقت من الأطوار في التسلسل إلى الحد الذي يسمح به الحد الأدنى من إعدادات الإشارة الخضراء وأي نشاط للمشاة في أثناء الطور. ومن الممكن أن يكون التقصير فعالًا إذا كان تصحيح الإزاحة صغيرًا جدًا. وبناءً على الحد الأدنى من أوقات الإشارة الخضراء وأوقات المشاة، يمكن أن تُجرَى تعديلات صغيرة فقط على طول الدورة عن طريق تقصيرها. ويمكن أن يستغرق الأمر عدة دورات لإكمال انتقال نقطة مرجعية للتعويض؛ لذلك ليس من المفيد أن تطلب من وحدة التحكم استخدام أسلوب التقصير بشكل حصري. وتجنبًا لهذه المشكلة والسماح باستخدام وضع تقصير الانتقال عندما يعمل بشكل جيد، تقدم معظم وحدات التحكم بعض الإصدارات من طريقة التكييف (ستناقش لاحقًا).

وضع تكييف الانتقال:

إذا حدد الممارس وضع **تكييف** الانتقال (يُطلق عليه أحيانًا أفضل طريقة أو أسرع طريقة أو أسهل طريقة)؛ فستقوم وحدة التحكم بتقييم أساليب الإطالة والتقصير لتختار بعد ذلك تلقائيًا الأسلوب الذي سيكمل انتقال النقطة المرجعية للتعويض (أي: الحصول على الإشارة (في أثناء الخطوة) أو في أثناء المزامنة) بسرعة أكبر. وينتج عن وضع التكييف عادةً أقل تأثيرات اضطراب على المرور مقارنة بالطرق الأخرى، ما لم تكن الإشارة خاضعة للأولوية أو ما لم يكن التقاطع في ظروف شبه مشبعة.

أ-٥-٥-٦ التعقيدات:

مجموعة من المتغيرات التي ينبغي أخذها في الحسبان؛ لوضع خطة تنسيق مقبولة، ولقد تم توضيحها أدناه.

أ-٥-٥-٦-١ تسلسل الطور:

قد يؤثر تسلسل الأطوار، لا سيما أطوار الانعطاف إلى اليمين، بشكل كبير على عمليات الممر. ومن الممكن أن يكون لقرار تسلسل الأطوار الأكثر شيوعًا - سواء كان لأطوار الانعطافات السابقة أو المتأخرة إلى اليسار - تأثير قوي بشكل خاص على سعة النطاق (في كلا الاتجاهين) على طول المسار. وغالبًا ما يكون لقرارات تسلسل الأطوار الأخرى (مثل تسلسل الانعطافات إلى اليسار في الشارع الفرعي أو تسلسل أطوار التجزؤ في الشارع الفرعي) تأثير أقل على سعة النطاق والتأخير، ولكن ينبغي أيضًا أخذها في الحسبان.

تسلسل أطوار الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الرئيسة:

قد يساعد تأخير أحد أطوار الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الرئيسة (السابقة والمتأخرة) على تسهيل التقدم بشكل أفضل في كلا الاتجاهين؛ لأنه يسمح للفصائل بالوصول في أوقات مختلفة في أثناء الدورة. وبناءً على كيفية تكوين طور الانعطاف إلى اليسار المتأخرة، ستتلقى بشكل عام نفس مقدار وقت الإشارة الخضراء في كل دورة بغض النظر عن الطلب (ما لم يكن للدورة المنسقة في الحلقة الأخرى فترة زمنية مفعّلة). وهذه الفترة الزمنية الثابتة حدث؛ لأن الطور المنسق في الحلقة الأخرى تحتاج إلى أن تنتهي في نفس وقت الانعطاف المتأخر إلى اليسار؛ كي تنتهي كلتا الحلقتين وتعبران الحاجز معًا. كما يساعد تشغيل الطور المنسق كلًا من الطور المنسق والانعطاف المتأخر إلى اليسار؛ للانتهاء مبكرًا إذا لم يكن الطلب موجودًا.

تسمح وحدات التحكم الحديثة بتغير تسلسل أطوار الانعطاف إلى اليسار حسب التوقيت. وينبغي للممارس دائمًا وضع توقعات المستخدم والأهداف التشغيلية في الحسبان عند اختيار تسلسل أطوار مختلف لتوقيتات مختلفة.

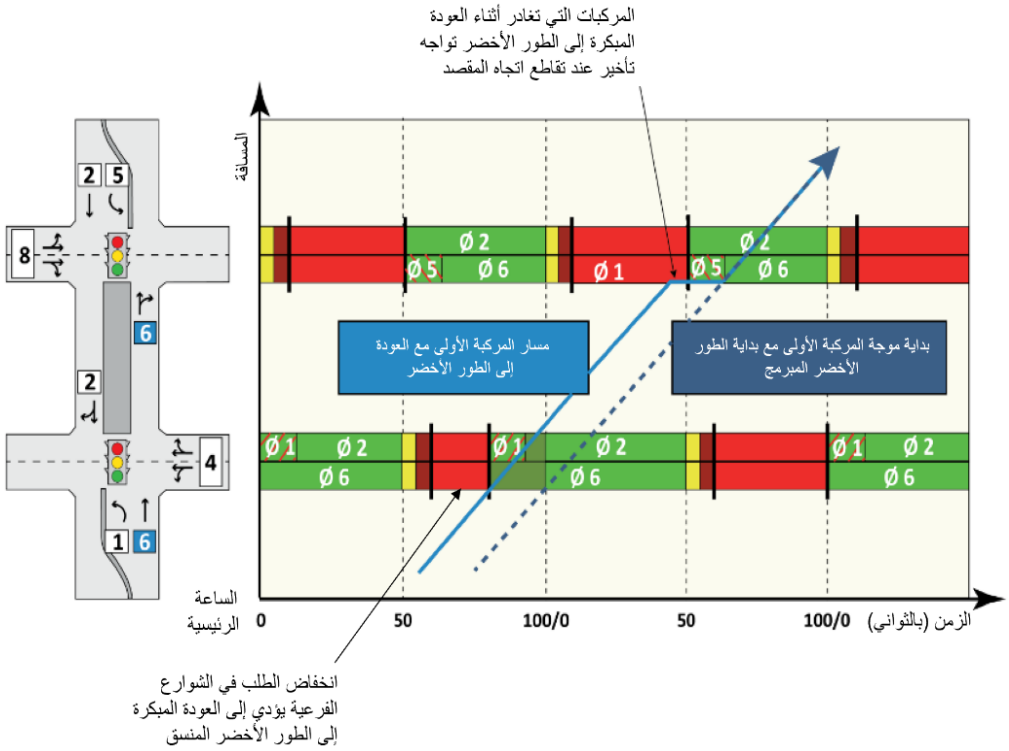
تسلسل أطوار الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الفرعية:

يمكن أن يكون من المفيد في بعض الظروف ضبط تسلسل الانعطاف إلى اليسار المحمي للشوارع الفرعية. وبفعل هذا، يمكن أن يكون من الممكن تقليل التأخير والانتظار بالنسبة إلى المركبات المنعطفة إلى اليسار في الشوارع الفرعية؛ حيث إنها ستدخل الشوارع الرئيسة ثم ستصل إلى تقاطعات مجرى المرور. ويمكن أن تؤثر هذه التعديلات (التي تتطلب أداة تحسين توضح فصائل الشوارع الفرعية) على التأخير، والتوقف، وعرض نطاق التردد على مستوى النظام في المسار.

أ-٥-٥-٦-٢ العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء:

تتمثل إحدى عواقب تفعيل الأطوار غير المنسقة في أنه يحتمل أن تبدأ الأطوار المنسقة في وقت أبكر مما هو متوقع. وتحدث هذه (العودة المبكرة إلى لون إشارة المرور الخضراء) عندما يكون إجمالي الوقت الذي تتطلبه الأطوار غير المنسقة أقل من إجمالي انقسامات المركبات المبرمجة في الأطوار. ورغم أن هذا يمكن أن يقلل من التأخير عند التقاطع؛ إلا أنه يمكن أن يزيد من التوقفات عند تقاطعات مجرى المرور، والتي تترك انطباعًا سيئًا لدى المستخدمين. ومع ذلك، إذا لم يؤد الإطلاق المبكر إلى تفريغ المركبات أو إطلاق المركبات في صف الانتظار قبل وصول إحدى الفصائل؛ فيمكن أن تكون له عواقب إيجابية. ولذلك، من الضروري مراجعة العديد من التقاطعات من منظور النظام لتحديد تأثيرات العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء.

يوضح الشكل (أ-٧٢) العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء ضمن مخطط زمان ومكان. ويوضح الشكل أنه إذا بدأت الأطوار المنسقة مبكرًا، فيمكن أن تضطر المركبات إلى التوقف في أحد تقاطعات مجرى المرور أو أكثر؛ حتى تقع ضمن (نطاق) اتجاه التحرك ذلك. وقد يتسبب هذا في توقف المركبات أكثر من مرة وأخذ انطباع سيء عن توقيت الإشارات. وقد يكون من الصعب التحكم في العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء على طول الممر، ونادرًا ما يمكن منعها تمامًا دون الاستغناء عن معظم فوائد التشغيل. وهناك أسلوب واحد يمكن استخدامه يتمثل في تأخير بدء الأطوار المنسقة (أي: تغيير تعويض التقاطع لمراعاة الإشارة الخضراء المبكرة المتوقعة) في حال وجود احتمال كبير للعودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء. فعلى سبيل المثال: يمكن أن تكون العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء محتملة إذا كان يوجد انقسام كبير للشوارع الفرعية (من المحتمل برمجتها؛ حتى تسع استدعاء مشاة عرضي) لا يُستخدَم بالكامل غالبًا.



الشكل (أ–٧٢) أمثلة على الرسومات البيانية للزمن-المسافة التي تعرض العودة المبكرة إلى الإشارة الخضراء (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 7-30).

أ-٥-٦-٥-٣ الأحجام الكبيرة للشوارع الفرعية:

قد تؤثر الأحجام الكبيرة للشوارع الفرعية على القدرة على التقدم عن طريق التحرك على طول المسار. ومن الممكن أن تتكون أحجام الشوارع الفرعية هذه من التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية داخل نظام الإشارات المنسقة، أو التقاطعات غير المحكومة بإشارات مرورية، أو الممرات بين الإشارات المنسقة. كما تعد التقاطعات التبديلية مصدرًا شائعًا للأحجام الكبيرة في الشوارع الفرعية.

في كثير من الحالات، يستمر هذا الطلب الإضافي على طول ما تبقى من المسار ويصبح جزءًا من الشارع الرئيس حتى تقاطعات مجرى المرور. ومع ذلك، يدخل هذا الطلب غالبًا إلى النظام بعيدًا عن النطاق الذي أُنشأ خلال التحركات التي تتم من جهة إلى جهة بطول المسار. كما يمكن أن يفضل ضبط توقيت تقاطع مجرى المرور؛ لتمكين تحركات الشوارع الصغيرة الكثيفة هذه من التقدم بأقل عدد من عمليات التوقف، ما لم يكن شارعًا فرعيًا مع احتمال العودة مبكرًا إلى إشارة المرور الخضراء.

أ-٥-٦-٥-٤ تقاطعات مسارات الانعطاف:

تتمتع تقاطعات مسارات الانعطاف (أو فتحة الانعطاف) بقدرتها على التأثير في السعة الفعلية للتقاطع، ويحدث هذا عندما يتجاوز الطلب على التحرك الانعطافي مساحة التخزين المتوفرة، أو عندما تؤدي صفوف انتظار المركبات إلى سد مدخل مسار الانعطاف. كما قد تؤثر تدفقات مسارات الانعطاف بالسلب على التقدم عن طريق تعطيل المرور من تقاطعات الانطلاق حتى تقاطعات مجرى المرور أو تغيير ملف الوصول. ويقلل هذا من قدرة تقاطعات مجرى المرور على توفير وقت لإشارة المرور الخضراء للفصيلة بكفاءة.

أ-٥-٦-٥-٥ التحكم في التقاطع الحرج:

يتمثل أحد الجوانب الصعبة لتوقيت طريق شرياني أو شبكة من الشوارع في الحاجة إلى توفير سعة كافية للتقاطعات الرئيسة دون إحداث تأخير زائد عن الحد في التقاطعات الفرعية. ومن الناحية المثالية، تعمل جميع التقاطعات التي يجب تنسيقها على النحو الأمثل بأطوال دورات متشابهة. ومع ذلك، فإن معظم الطرق الشريانية لا تتمتع بمثل هذا الترتيب الأمثل بسبب وجود مجموعة من إشارات التقاطعات الفرعية المختلفة (على سبيل المثال: لا توجد أطوار انعطاف إلى اليسار) مع إشارات أكثر تعقيدًا (على سبيل المثال: ثمانية أطوار)، نطاقات واسعة في أحجام تقاطع الشوارع (على سبيل المثال: التفرعات الرئيسة مقارنة بالمجمعات)،

والاختلافات في أحجام الانعطاف إلى اليسار. وتتضمن الأساليب الموصى باستخدامها في المواقف التي يوجد فيها تفاوت كبير في طول الدورة المثالي ما يأتي:

- يُحدّد توقيت كل تقاطع باستخدام طول دورة التقاطع الحرج. ويؤكد هذا القدرة على تنسيق جميع التقاطعات الموجودة داخل النظام. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي استخدام هذا الأسلوب إلى حدوث تأخير زائد عن الحد عند التقاطعات الفرعية.
- يؤقت كل تقاطع إما وفقًا لطول دورة التقاطع الحرج أو لنصف هذه القيمة، ويشار إلى هذا الأسلوب عادة باسم (دورة مزدوجة) (أي، دورات تقاطع فرعية بمعدل ضعف مرات التقاطع الرئيس) أو (نصف دورة) (أي: تقاطع فرعي يتمتع بنصف طول دورة التقاطع الرئيس). كما أنه من الممكن أن يكون لبعض وحدات التحكم دورتان غير متساويتين (غير متماثلتين) عن طريق عدم توفير جميع الأطوار أو التجزؤات التقييدية. وقد ينتج عن هذه الطرق عادة تأخيرات أقل بشكل كبير في التقاطعات الفرعية التي يستخدم فيها ضعف الدورة. ومع ذلك، يمكن أن يصبح من الصعب جدًا تحقيق تقدم في كلا الاتجاهين بطول طريق شرياني رئيس، الأمر الذي قد يتسبب في حدوث توقفات فرعية أكثر من اللازم.
- تُشغّل التقاطعات الرئيسة بحرية، وتنسّق التقاطعات الفرعية باستخدام طول دورة أقصر. وبسبب تشغيل التقاطعات الرئيسة بحرية، يصبح من المستحيل توفر نطاق تنسيق تقليدي؛ ولذلك من المرجح أن تتوقف مركبات الشوارع الرئيسة عند كل من التقاطع الرئيس وعند تقاطع مجرى المرور؛ بسبب العشوائية في الوصول إلى التقاطع الرئيس والمغادرة منه. وقد يؤدي هذا الأسلوب غالبًا إلى تأخير إجمالي أقل للنظام على حساب التوقفات الإضافية على طول الشارع الرئيس. ومع ذلك، نظرًا إلى أن التجزؤات لا تقيد تخصيص الإشارة الخضراء ولا تزيد من طول الدورة بسبب الأوقات المخصصة للمشاة، فيمكن أن يكون للتقاطع الحرج حالات فشل أقل في الأطوار.

أ-٥-٦ أنظمة إشارات المرور المتقدمة:

تتمتع أنظمة إشارات المرور المتقدمة بالقدرة على إجراء تعديلات على توقيت الإشارة بناءً على معلومات الاستشعار، ومن ثم تقوم بتعديل التشغيل في أثناء ظروف تدفق المرور المتغيرة. وقد تتراوح التطبيقات بين استخدام ميزات التنسيق المتقدمة ونشر تقنية التحكم التكيفي في الإشارات.

أ-٥-٦-١ ميزات التنسيق المتقدم:

في معظم الحالات، تلبي خطط توقيت الإشارات المنسقة القياسية بشكل كافٍ احتياجات مسار أو شبكة. ومع ذلك، هناك أوقات لم تعد فيها الميزات القياسية قادرة على الاستجابة بكفاءة لطلب المرور أو الأنماط المتقلبة. وعندما تحدث مثل هذه المواقف، تتمثل الاستجابة المحتملة في استثمار تقنيات جديدة لإشارات المرور، مثل: التحكم التكيفي في الإشارات. في حين أن نظام التحكم التكيفي في الإشارات يمكن أن يكون مفيدًا لعمليات الإشارة، ينبغي على الممارس أولًا التحقق من ميزات التنسيق المتقدمة المتاحة وترقيات الاستشعار التي يمكن أن تعالج المشكلات المحلية دون الاستثمار الكبير الذي يتطلبه نظام التحكم التكيفي في الإشارات.

يسلط هذا الجزء الفرعي الضوء على ميزات التنسيق المتقدمة المماثلة تمامًا لمعظم أنظمة إشارات المرور. وهو بمنزلة مقدمة لتحديد الميزات، ويسلط الضوء على المواقف التي تكون ميزات التنسيق هذه متوفرة وقابلة للتطبيق. ويمكن أن تتميز بعض وحدات التحكم في إشارات المرور على ميزات تنسيق متقدمة لم تتم مناقشتها في هذا الجزء الفرعي.

أ-٥-٦-١-١ تشغيل الطور المنسق:

يمثل تشغيل الطور المنسق (أو التنسيق المشغل بالكامل) حلًا فعالًا لتوقيت الإشارة الذي يعمل على تحفيز جزء من انقسام الطور المنسق. وباستخدام هذه الميزة، يُسمَح للأطوار المنسقة بالخروج من الثغرة خلال الجزء الأخير من وقت التجزؤ في حال انخفاض الطلب. وهذا يوفر مزيدًا من الوقت للشارع الفرعي وأطوار الانعطاف إلى اليسار.

أ-٥-٦-١-٢ طول الطور الديناميكي:

يسمح طول الطور الديناميكي (الذي يعرف أيضًا باسم التجزؤ الممتد أو التجزؤ التكيفي) للبرامج الثابتة لوحدة التحكم بتغيير طول الطور من خلال تحريك ديناميكي لنقطة الإيقاف الإجباري. وتساعد هذه الميزة على استخدام وقت الإشارة الخضراء غير المستخدم خلال دورة بشكل فعال، كما قد تقلل من أطوال صفوف الانتظار عند التقاطع. ولاحظ أن هذه الميزة لا تغير طول الدورة أو تقصر الطور (الأطوار) المنسقة؛ لذلك لن تتسبب في تعطيل التشغيل المنسق.

لكي يستفيد التقاطع من ميزة طول الطور الديناميكي، يجب أن يكون النظام قادرًا على تقدير الطلب على المركبات. ويمكن قياس الطلب على المركبات وتوقعه باستخدام معلومات صف الانتظار المستمدة من أجهزة استشعار المركبات. ومن المهم التأكد من أن الاكتشاف يعمل بشكل صحيح وأن وقت المرور مضبوط بشكل صحيح؛ لا سيما في أجهزة استشعار الارتداد الموجودة في الجزء العلوي من المركبات الموجودة في صفوف الانتظار، عند استخدام طول الطور الديناميكي.

أ-٥-٦-١-٣ إعادة خدمة الطور:

تتيح ميزة إعادة خدمة الطور (يطلق عليها أيضًا خدمة الطور المتكرر أو الخدمة المشروطة) تقديم خدمة الطور أكثر من مرة خلال الدورة. وتتحقق معظم فوائد إعادة خدمة الطور خلال فترات الأحجام المرورية المنخفضة والمتوسطة، مثل مسارات فترات الذروة أو فترات منتصف النهار. كما قد تمثل إعادة خدمة الطور حلًا فعالًا عند التقاطعات الفرعية في نظام منسق يكون فيه طول دورة النظام أطول من المطلوب؛ لتلبية طلب المرور المحلية (ولا يعد نصف الدورة خيارًا). وكذلك يعد القرار الهندسي والملاحظات الميدانية أمرين لازمين عند تحديد ما إذا كانت إعادة خدمة الطور ستفيد النظام أم لا.

أ-٥-٦-٢ أنظمة تحديد خطط مراعية للمرور:

تتمتع أنظمة تحديد خطط مراعية للمرور بالقدرة على تغيير خطط التنسيق؛ لتناسب ظروف المرور. واستنادًا إلى البيانات المستمدة من أجهزة الاستشعار العائدة من الحقل، تحدد الخوارزميات المراعية للمرور خطة توقيت إشارات مرور مكونة مسبقًا من مكتبة الخطط. وينبغي عادة تشغيل خطة التوقيت الحالية لأدنى قدر من الوقت قبل استخدام خطة جديدة، كما ينبغي عادة أن تكون خطة التوقيت الجديدة عبارة عن نسبة مئوية معينة من التحسين مقارنة بالخطة قيد التشغيل حاليًا. وإذا استوفيت هذه الشروط، توجّه الإشارات في المجموعة لبدء استخدام الخطة الجديدة في الوقت ذاته؛ وذلك لضمان إعادة التنسيق بسرعة.

تسمح معظم أنظمة إشارات المرور- إن لم يكن جميعها- بتنفيذ تحديد الخطة المراعية للمرور على أساس توقيت يومي. وفي هذه الحالة، سيشتمل الجدول على خطة أساسية يبتدئ استخدامها خلال توقيت مماثل. وإذا أشارت بيانات الاستشعار إلى أن الخطة المجدولة تستجيب بشكل غير فعال لأنماط المرور المرصودة، يقوم النظام بتبديل الخطة المجدولة بخطة بديلة تكون أكثر ملاءمة. كما تسمح بعض الأنظمة بتوجيه الوضع المراعي للمرور يدويًا أو جدولته كتجاوز لحدث خاص بجدول التوقيت العادي.

عادة ما تكوّن خطط توقيت الإشارات للأنظمة المراعية للمرور؛ من أجل تغطية مجموعة واسعة من السيناريوهات الميدانية. ولا يلزم أن يتوفر لديك مجموعة كاملة من خطط التوقيت الخاصة بالأنظمة المراعية للمرور حتى تبدأ العمل. ومع ذلك، ينبغي تكوين جميع خطط التوقيت وبيانات الأنماط في وحدة التحكم قبل التشغيل الميداني. فأنظمة تحديد خطة مراعية للمرور لا تقوم بحساب الخطط (أو الأنماط) الجديدة.

أ-٥-٦-٢-١ الخوارزمية المراعية للمرور:

توجد فئتان أساسيتان من الخوارزميات المراعية للمرور، وتُستخدَم لتحديد خطط التوقيت: (١) الخوارزميات التي تستخدم الأهداف و (٢) الخوارزميات التي تستخدم الحد الأدنى.

الأنظمة القائمة على الأهداف:

يستند انتقال الأنظمة القائمة على الأهداف إلى خطط توقيت الإشارة الجديدة على الأحجام المكتشفة في الميدان. وتحتاج هذه الأنظمة إلى وجود ممارس لبرمجة خطط التوقيت التي ستُستخدَم في أثناء ظروف معينة للمرور (حُدّدت بواسطة الأحجام المستهدفة في كل جهاز كشف). وتقوم الأنظمة بعد ذلك بحساب الفرق بين أحجام المرور في الوقت الفعلي والكثافات المستهدفة (أو العلامات) المحددة مسبقًا لكل جهاز كشف. واستنادًا إلى العلاقة بين ظروف الوقت الفعلي والعلامات المحددة مسبقًا، يستخدم النظام المركزي أو وحدة التحكم الرئيسة خطة التوقيت الأكثر ملاءمة لظروف الميدان.

عادة، يُعبَّر عن القيم المستهدفة لكل جهاز كشف على أنها أحجام مكافئة تُحتسَب كل ساعة. ولأن بيانات جهاز الاستشعار مسؤولة عن إنتاج مجموعة من بيانات الحجم والشغل، ينبغي تطبيق المعادلة (أ-٢٩)؛ لمقارنة أحجام الوقت الفعلي بالأحجام المستهدفة المحددة مسبقًا. كما تتم مقارنة خطة التوقيت (وبشكل أكثر تحديدًا، العلامة ذات الصلة) التي تنتج أقل قيمة في المعادلة (أ-٢٩) بالقيمة التي تنتجها الخطة قيد التشغيل حاليًا. وإذا كانت القيمة الناتجة أقل من النسبة المئوية للقيمة الحالية؛ فستستخدَم خطة التوقيت الجديدة.

$$err_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} w_i \left((V_i + KO_i) - (V_j + KO_j) \right)^2}$$ **المعادلة (أ-٢٩)**

حيث إن:

err = الفارق بين حجم الميدان والحجم المستهدف (عدد المركبات في كل مسار في كل ساعة).

N = عدد أجهزة الاستشعار.

i = جهاز كشف الميدان

j = جهاز الاستشعار المستهدف.

w = العامل المرجح لجهاز الاستشعار.

V = الحجم (عدد المركبات في كل مسار في كل ساعة).

K = العامل المرجح لشغل جهاز الاستشعار (المركبات في كل مسار في كل ساعة لكل نسبة إشغال، عادةً ما تكون معلمة شاملة لجميع أجهزة الاستشعار).

O = شغل جهاز الاستشعار (بالنسبة المئوية).

في ظروف التدفق الحر، غالبًا ما يكون الشغل المقاس بواسطة جهاز كشف النظام منخفضًا ولا يسهم في الحساب. ومع ذلك، عندما تكون ظروف المرور مزدحمة وتتكون صفوف انتظار أمام جهاز الاستشعار؛ ستكون قياسات أحجام جهاز الاستشعار ثابتة وأقل بكثير من الطلب الفعلي على المرور. بدون استخدام عامل (KO) في هذا السياق، يفترض منطق الخوارزمية بشكل غير دقيق أن الحجم منخفض. كما يوفر عامل (KO) طريقة لتوسيع قياس الشغل حتى يصل إلى حجم مكافئ.

تكمن القاعدة الأساسية ببساطة في استخدام قيمة (K) التي توسع نطاق الشغل (المبلغ عنها بأنها تتراوح بين ٠ و١٠٠ بالمائة) حتى يصل إلى أحجام مكافئة تُحتسب كل ساعة. وعلى سبيل المثال: ستعمل قيمة K البالغة ١٧ على زيادة قيمة الشغل بنسبة ١٠٠٪ إلى ١٧٠٠ مركبة لكل مسار في الساعة. كما قد تكون قيمة (K) من هذا الحجم مناسبة لأجهزة الاستشعار المثبتة على جانب الخروج من التقاطع الذي نادرًا ما يتعرض لشغل كبير. وبالنسبة إلى أجهزة الاستشعار الأقرب إلى خط التوقف الذي يشهد المزيد من الاصطفاف المتكرر، ينبغي استخدام قيم (K) منخفضة (أي تتراوح بين ٥ و٧ تقريبًا)؛ نظرًا إلى أن الشغل سيتوسط القيم غير الصفرية في كثير من الأحيان.

في كثير من الحالات، تُرجّح بيانات جهاز الاستشعار لتوسيع نطاق أهمية المعلومات المستمدة من أحد أجهزة الاستشعار مقارنةً بآخر. وعلى الصعيد العلمي، غالبًا ما تُستخدم الأوزان لتضخيم التغييرات الصغيرة في الحجم عندما لا يشهد جهاز الاستشعار تقلبات شديدة مثل أجهزة الاستشعار الأخرى في النظام.

الأنظمة القائمة على الحد الأدنى:

تحسب الأنظمة المستندة إلى الحد الأدنى خطة التوقيت (أو معلمات توقيت الإشارات) التي يجب تحديدها بناءً على البيانات المستمدة من جهاز الاستشعار المثبت في ميدان تجاوز قيم معينة للحد الأدنى. وتستخدم معظم الأنظمة القائمة على الحد الأدنى وسائل حسابية، وهي معلمات مرتبطة بمجموعات مستمدة من أجهزة الاستشعار الميدانية (على سبيل المثال: مجموعة من

أجهزة الاستشعار الداخلة والخارجة). وبشكل عام، تمثل معلمات الوسائل الحسابية مجموع بيانات جهاز الاستشعار المرجحة ويمكن حسابها باستخدام الصيغة العامة لـ المعادلة (أ-٣٠). ومع ذلك، سيستخدم كل بائع أنواعًا وأرقامًا مختلفة من معلمات الوسائل الحسابية، بالإضافة إلى الترجيحات المختلفة وعوامل التسوية، وسيستخدم مجموعات مختلفة من الحدود القصوى والمتوسطات للمقارنة بخطط التوقيت (أو المعلمات). وعلى الممارس الرجوع إلى الشركة المصنعة المحددة؛ للحصول على تفاصيل بخصوص حسابات معلمات الوسائل الحسابية.

$$CC_i = \sum_{i=1}^{N} w_i(V_i + KO_i)$$ **المعادلة (أ-٣٠)**

حيث إن:

CC = الوسيلة الحسابية (عدد المركبات في كل مسار في كل ساعة).

N = عدد أجهزة الاستشعار.

i = جهاز كشف الميدان.

w = العامل المرجح لجهاز الاستشعار.

V = الحجم (عدد المركبات في كل مسار في كل ساعة).

K = العامل المرجح لشغل جهاز الاستشعار (المركبات في كل مسار، في كل ساعة لكل نسبة إشغال. عادةً ما تكون معلمة شاملة لجميع أجهزة الاستشعار).

O = شغل جهاز الاستشعار (بالنسبة المئوية).

قد يكون تكوين الترجيحات مهمًا بشكل خاص من أجل مطابقة البيانات الميدانية مع معلمات وحدة التحكم المناسبة.

بعد حساب قيم الوسيلة الحسابية لمجموعات مختلفة من أجهزة الاستشعار، ينبغي مقارنتها بالقيم الحدية التي حددها الممارس. وستؤدي قيم الوسيلة الحسابية المختلفة إلى بدء استخدام خطط توقيت مختلفة لإشارات المرور (أو معلمات منها طول الدورة، والتجزؤات، والإزاحات). وعوضًا عن استخدام قيمة مستهدفة واحدة، تمكن الأنظمة المستندة إلى الحد الأدنى الممارسَ من تعيين قيم الوسيلة الحسابية التي ستستخدمها الخوارزمية للدخول في خطط التوقيت الجديدة والخروج منها على حد سواء. كما يوضح الجدول (أ-٤٩) مثالًا لحدود الوسائل الحسابية لتحديد قيمة الإزاحة. وفي هذا المثال: إذا بلغت قيمة الوسيلة الحسابية ٥٢ حاليًا، فستكون الإزاحة الثالثة بمنزلة الإعداد الحالي. وإذا كانت قيمة الوسيلة الحسابية أقل من ٤٩، فستحدِّد الإزاحة الثانية، وإذا ارتفعت قيمة الوسيلة الحسابية عن ٦٨، فستحدَّد الإزاحة الرابعة.

الجدول (أ–٤٩) أمثلة على الحدود المستجيبة للمرور (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 9-2).

تغيرات الإزاحات	قيمة دخول الوسيلة الحسابية	قيمة خروج الوسيلة الحسابية
من ١ إلى ٢	٢٥	١٨
من ٢ إلى ٣	٥٢	٤٩
من ٣ إلى ٤	٦٨	٦٤
من ٤ إلى ٥	٧٥	٧٠

إن وجود حدود منفصلة للدخول والخروج يمنع النظام من التقلب بشكل متكرر داخل خطط التوقيت وخارجها. ويشار إلى هذا التقييد أحيانًا على أنه تباطؤ، أو التأخير بين التغيير في الحالة (البيانات المستمدة من جهاز الاستشعار) واستجابة النظام (التغيير إلى خطة توقيت الإشارة). كما توفر الحدود الدنيا المنفصلة في النظام القائم على الحد الأدنى نوع التشغيل نفسه، مثل أهداف تحسين النسبة المئوية في أي نظام قائم على الأهداف.

تقوم بعض الأنظمة القائمة على الحد الأدنى بحساب نسب البيانات المستمدة من جهاز الاستشعار لتحديد طول الدورة والتجزؤات والإزاحات، التي يشار إليها باسم (المؤشرات). وتنطبق بعض المبادئ العامة على هذه الطريقة؛ لجمع معلومات معلمة الوسيلة الحسابية:

- يعد مؤشر طول الدورة دالًا على حجم الطريق الشرياني ($KO+V$). ويزداد طول الدورة مع زيادة الحجم المكتشف في كل من أجهزة الاستشعار الداخلة والخارجة.
- يتناسب مؤشر التجزؤ مع نسبة حجم الطرق الشريانية ($KO+V$) حتى حجم عبور الشارع ($KO+V$).
- يتناسب مؤشر الإزاحة مع نسبة الحجم الداخل والخارج ($KO+V$).

أ-٥-٦-٢-٢ الاكتشاف المراعي للمرور:

تعتمد الخوارزميات المراعية للمرور على بيانات جهاز الاستشعار المستمدة من أجهزة كشف (النظام)؛ لتحديد خطة أو نمط التوقيت المطلوب استخدامه. ويمكن أن تكون أجهزة الاستشعار موجودة في أماكن معقولة في التقاطع الرئيس عند خط التوقف ويجب أن تكون المسافة قصيرة جدًا (عادةً ما تكون المناطق التي يبلغ قياسها ١,٨ مترًا × ١,٨ مترًا لتقليل تأثير صفوف انتظار المرور. وغالبًا ما تُثبَّت أجهزة الاستشعار على جانب مخرج التقاطع، وينبغي أن فصلها بمسار للحصول على تقييم أكثر دقة لظروف المرور. كما يمكن استخدام عدادات الأنابيب أو غيرها من معدات الاستشعار المؤقتة لتحديد معلمات التكوين قبل تثبيت محطات اكتشاف النظام الدائمة وتعد معرفة الظروف المحلية مفيدة عند تحديد موضع محطة الاستشعار.

عادةً ما تعمل الطرق المراعية للمرور على الحفاظ على سلاسة بيانات جهاز الاستشعار من خلال المتوسطات المرجحة المستندة إلى الوقت من أجل منع إجراء تغييرات زائدة عن الحد على خطة التوقيت الناتجة عن الزيادات المفاجئة في المدى القصير أو انخفاض حجم المرور. ويؤدي تجانس بيانات الاكتشاف إلى تقليل قدرة الخوارزميات على الاستجابة بسرعة للزيادات المفاجئة في المرور، وبالتالي يكون تطبيق الأنظمة المراعية للمرور أكثر فعالية عندما تكون التغييرات في تدفق المرور كبيرة ومستمرة (على سبيل المثال: ٣٠ دقيقة أو أكثر). ويتم تحديد عامل التجانس بنسبة ٥٠ % / خمسين بالمائة بشكل عام كإعداد منطقي.

أ-٥-٦-٣ أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات:

تُعد تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بمنزلة تقنية نظام إشارة تستخدم بيانات الاستشعار والخوارزميات؛ لضبط معلمات توقيت الإشارة للظروف الحالية. وعلى عكس أنظمة تحديد الخطة المراعية للمرور، التي تستخدم خطط توقيت محددة مسبقًا؛ فإن تقنية التحكم التكيفي في الإشارات يمكنها ضبط معلمات التوقيت المختلفة (ضمن قيود معينة) بناءً على ما تتطلبه المرور. وبمرور الوقت، تتطور المرور - سواء بسرعة خلال دقائق أو ببطء خلال أيام أو شهور أو سنوات - وتجعل خطط توقيت الإشارات أقل فاعلية على نحو متزايد. وغالبًا ما تكون عمليات الإشارة التقليدية غير قادرة على التكيف مع هذا التباين، مما يؤدي إلى تدهور أداء المرور. كما يمكن أن تتطلب أنظمة الاستجابة للمرور مكتبة كبيرة من الخطط لمعالجة ظروف المرور شديدة التغير. ومن حيث المفهوم، يوفر التعديل المستمر في تقنية التحكم التكيفي في الإشارات لمعلمات توقيت الإشارة فوائد إضافية بخصوص خطط التوقيت اليومي.

تتطلب الأنظمة الخاصة بتقنية التحكم التكيفي في الإشارات ضبطًا مستمرًا ومستويات صيانة أعلى من الأنظمة التقليدية، وذلك للحفاظ على استمرار عمل البنية التحتية للكشف والاتصالات على مستوى عالٍ من الأداء. ورغم أن تقنية التحكم التكيفي في الإشارات مفيدة في استخدامات معينة، يوجد العديد من مبادئ هندسة المرور السليمة الأخرى المدرجة في قسم تحديد أطوار إشارات المرور وتوقيتها التي يمكن أن يحسن التشغيل المروري دون التكاليف والتعقيدات الناتجة عن تقنية التحكم التكيفي في الإشارات. ويوفر هذا الجزء الفرعي نظرة عامة على أهداف الهيئة التي يتم تطبيقها غالبًا على أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات، بالإضافة إلى الخصائص التشغيلية والعوامل المختلفة التي تستحق النظر أثناء عملية التحديد والنشر.

أ-٥-٦-٣-١ أهداف الهيئة

تمثل مجموعة واسعة من الأهداف التشغيلية حافزًا لنشر تقنية التحكم التكيفي في الإشارات، ولكن الطلب المتغير على المرور هو الخاصية الأكثر شيوعًا التي تريد الجهات معالجتها عن طريق وضع نظام تكيفي. ورغم أن أنظمة التنسيق المتقدمة والاستجابة للمرور قادرة على استيعاب التباين المتوقع، فإن أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات قادرة على استيعاب الاختلافات الأقل قابلية للتنبؤ في المرور، والتي قد تكون ناجمة عن حوادث المرور أو الفعاليات الخاصة أو تغييرات تدفق المرور القصيرة أو الطويلة. وتطبق أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات الحلول وفقًا للأهداف المحددة المضمنة في البرنامج. فغالبًا ما تستند درجة رضا الهيئة عن عمليات تقنية التحكم التكيفي في الإشارات إلى مدى تطابق أهداف تحسين تقنية التحكم التكيفي في الإشارات مع أهداف الهيئة. ولقد لُخصت الأهداف عالية المستوى المشتركة؛ لنشر تقنية التحكم التكيفي في الإشارات في الجدول (أ-٥٠).

يمكم أن تكون الأهداف المختلفة مناسبة في توقيتات مختلفة من اليوم وفي ظل ظروف حركة مرور مختلفة. ويمكن أن يتطلب الطريق الشرياني الذي يصل بين طريق سريع ومناطق سكنية كبيرة، ولكن تلك الأهداف يمكن أن تحتوي أيضًا على مسببات للازدحام (مثل: مراكز البيع بالتجزئة أو المدارس) هدفًا لتنظيم فترة الذروة خلال معظم أوقات اليوم؛ للحصول على تدفق سلس أو إمكانية وصول سهلة إلى الوجهة في أثناء ساعات العمل وفي عطلات نهاية الأسبوع. وفي ظل هذه الظروف، يمكن أن يُطلب من تقنية التحكم التكيفي في الإشارات استيعاب تغيير الوجهات في أوقات مختلفة من اليوم.

الجدول (أ–٥٠) أهداف نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات (المصدر: NCHRP, (2015) – Exhibit 9-8).

الهدف	الوصف	مكان تطبيق الهدف عادة	كيفية تطبيق الهدف
التنظيم.	تقليل عدد المحطات التي تشهدها حركة مفضلة على مسار حرج (من أحد طرفي المسار إلى الطرف الآخر).	مسارات خطية وطرق شريانية أقل شبوعًا من حيث التطبيق على تقدم التحركات الانعطافية الشديدة.	الحفاظ على انقسامات كبيرة فيما يتعلق بالأطوار المنسقة.
التدفق السلس.	إعطاء الأولوية للتحركات ثنائية الاتجاه المتزامنة على مسار حرج؛ لتحقيق أقصى قدر من الإنتاجية.	طرق شريانية في الضواحي.	الحفاظ على انقسامات كبيرة للأطوار المنسقة.
تكافؤ الفرص.	توفير وصول كافٍ عبر الطرق الشريانية إلى مولدات المرور على طول المسار من خلال تعزيز التركيز على طلب شارع فرعي.	المناطق التي تضم الكثير من المنعطفات في الاتجاه الأيسر والشارع الفرعي (على سبيل المثال: مناطق التسوق بالتجزئة في الضواحي).	الاستخدام المناسب لفترات التجزؤ لمنع تأخير التحركات البسيطة لفترات طويلة (مثل المشاة).
إدارة صفوف الانتظار.	تقليل صفوف الانتظار والازدحام الناجم عن التقاطعات أو التحركات التي تسد الشوارع. ملاحظة: لا تشتمل معظم أنظمة تقنية التحكم في الإشارات التكيفية على ميزات تعمل على تقليل صفوف الانتظار تحديدًا.	المواقع التي تشهد صفوف الانتظار تتسبب في تعطيل التقاطعات أو التحركات في المسار الصاعد.	القيود التي تفرض في فترات الدورة والطور لضمان تقدم الفصائل الكبيرة في الأوقات المناسبة. يمكن أن تكون هناك حاجة أيضًا إلى (بوابات) لتخزين المركبات في مواقع الاتجاه الصاعد لمسارات الربط الحيوية.
التخفيف من فرط تشبع المرور.	منع حالات فرط تشبع المرور أو تأخير حدوثها أو تقليل مدتها. إذا استمرت حالات فرط تشبع المرور، فقم بالتخلص من صفوف انتظار تجاوز السعة بسرعة.	مواقع ذات حركات مفرطة التشبع. ملاحظة: يمكن أن تخفف أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بعض حالات فرط تشبع المرور بسبب محدودية السعة قصيرة المدى ولكنها ليست بديلًا عن تحسينات السعة.	ضبط تخصيص وقت الإشارة الخضراء للأطوار المشبعة.
استيعاب المتغيرات طويلة المدى.	قم بتحديث توقيت الإشارات بشكل متكرر أكثر من الأنظمة التقليدية وتقليل تدهور التشغيل المروري بمرور الوقت.	المناطق التي تتسم بأنماط مرورية متغيرة، ولا سيما المجتمعات المتنامية.	بينما تتطلب أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بعض التعديلات عند حدوث تغييرات كبيرة في نمط المرور؛ فإنها يمكن أن تتكيف تلقائيًا مع العديد من التغييرات.
إدارة الأحداث والحوادث.	إدارة تراكمات المرور (سواء المخطط لها أو غير المخطط لها).	المناطق التي تشهد أحداثًا خاصة متكررة ومخطط لها (مثل الحفلات الموسيقية أو الفعاليات الرياضية أو الأنشطة المجتمعية).	اضبط مقاييس توقيت الإشارة لمطابقة تراكمات المرور بمرور الوقت. ومع ذلك، تعجز هذه المقاييس عمومًا في التكيف بسرعة مع التراكمات الكبيرة.

أ-٥-٦-٣-٢ الخصائص التشغيلية:

تضبط أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات إعدادات إشارة المرور بناءً على ظروف المرور الحالية (أو الحالية تقريبًا؛ حيث تتأخر أغلب الأنظمة في تلبية الطلب خلال دورة واحدة أو أكثر).

ومع ذلك، فإن الأنظمة المتاحة تختلف اختلافًا كبيرًا في مستويات الاستجابة والإطار الحسابي ومتطلبات الاستشعار. ينبغي على الممارس التواصل مع الشركة المصنعة للحصول على معلومات محددة عن كل نظام. ويلخص هذا الجزء بعض الخصائص التشغيلية المشتركة عبر العديد من الأنظمة. وتحديدًا، تشترك الأنظمة في نفس البنية الأساسية:

- جمع الكاشف لمعلومات عن أحوال المرور.
- حساب خطط التوقيت استنادًا إلى المدخلات من عملية الاستشعار.
- تحديد الإعدادات التالية المطلوب تطبيقها.

المجموعات التكيفية:

غالبًا ما تتطلب الأنظمة التكيفية تقسيم شبكة يُتحكَّم فيها عبر نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات إلى أنظمة فرعية (أو مناطق) من التقاطعات التي تحتاج إما إلى التنسيق، أو ينبغي أن تُفعل حسب طول الدورة المشتركة. كما تُحدَّد عملية التجميع هذه أثناء مرحلة التصميم. إن القواعد النموذجية لتجميع التقاطعات باستخدام توقيت الإشارة التقليدي تنطبق أيضًا على عملية تحديد التجمعات للعمليات التكيفية.

وتتيح بعض أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات إمكانية (التنسيق المتبادل) على طرق متعددة ومتقاطعة، بينما تسمح بعض الأنظمة الأخرى بالتنسيق فقط على طول أحد الطرق (على سبيل المثال: شمال/جنوب، شرق/غرب) حسب الوقت خلال اليوم. بينما تسمح بعض أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بإجراء تقاطع حدودي ضمن أحد الأنظمة الفرعية للتخلي عن نظامه الفرعي الحالي والانضمام إلى نظام فرعي مجاور وفقًا لحساب عامل الملاءمة. إن هذه الأنواع من الإعدادات تتطلب إجراء معايرة أثناء تثبيت النظام وتكوينه.

طرق الحساب:

يستخدم نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات طريقتين أساسيتين لضبط توقيت الإشارات: (١) تنزيل إعدادات جديدة و(٢) تجاوز وحدة التحكم المحلية. تحسب بعض أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات مقاييس توقيت الإشارات الجديدة إلى جانب تنزيل هذه الإعدادات الجديدة على وحدة التحكم المحلية. وتسمح أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات التي تقوم بتنزيل مقاييس جديدة لوحدة التحكم المحلية باستخدام مزايا تشغيلية منشطة لضبط التجزؤات الخضراء وفقًا للفجوة ومنطق القوة الثابتة أو العائمة. وبدلًا من ذلك، يمكن لأنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات تجاوز تشغيل وحدة التحكم المحلية من خلال أوامر التعليق أو الإيقاف أو من خلال التحكم في وجود اتصالات الطور أو غيابها عبر طرق التجاوز، وتستخدم بعض أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات رسائل الأوامر لإيصال التغييرات إلى وحدة التحكم، بينما يتفاعل البعض الآخر مباشرة مع الكابينة باستخدام إما جهاز كهربائي أو واسطة تسلسلية.

عادةً ما تكون أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات التي تقوم بتنزيل معلمات التوقيت الجديدة غير مقيدة بزمن معالجة الخوارزمية، ولكنها تقلل من اتساع نطاق بحثها عن توقيت أفضل إلى نطاق محدود بشأن الإعدادات الحالية. ويتم ذلك لسببين: (١) للحد من تأثيرات انتقال الإشارات من الإعدادات الحالية إلى الإعدادات الجديدة و(٢) لتقليل رد الفعل المفرط إلى الانحرافات قصيرة المدى للغاية في التدفقات. على سبيل المثال: إذا بلغت قيمة التجزؤ الحالية ١٥ ثانية، فقد تهتم طريقة تحسين نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بالقيم من ١٠ ثوانٍ إلى ٢٠ ثانية لقيمة التقسيم التالية.

لا تهتم بعض أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بتقليل الفرق بين انقسام الطور الأخير وانقسام الطور التالي؛ لأنها تتمتع بالتحكم الكامل في فترات الطور، كما لا يلزم وجود أي انتقالات. وأحيانًا، يشار إلى ذلك على أنه عملية تحسين الأفق المتداول. تعيد هذه الأنظمة باستمرار تحسين إعدادات الإشارات التالية استجابة للتقلبات قصيرة المدى من خلال محاولة توقع أفضل تسلسل ممكن ومدة الأطوار في الثواني القليلة القادمة إلى الدقائق.

تحتوي جميع أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات على إعدادات يجب ضبطها؛ لتخصيص مستوى القدرة على التكيف. يمكن أن تتضمن هذه الإعدادات الحد الأقصى والحد الأدنى من أوقات الإشارة الخضراء لكل طور مع الالتزام بمتطلبات وقت عبور المشاة (أو القدرة على تجاهل أوقات المشاة إذا لم يكن هناك طلب للمشاة)، ويمكن تغيير مقدار كل معلمة توقيت بشكل تدريجي، إلى جانب القيم الأكبر والأصغر لمعلمات التوقيت (على سبيل المثال: أطوال الدورة أو الإزاحات)، ومعلمات التوقيت التي يحظر على النظام تغييرها (على سبيل المثال: تسلسل الأطوار والقدرة على تخطي الأطوار).

الاستشعار:

يشكل تثبيت الاستشعار وتكوينه ودقته أمرًا بالغ الأهمية للتشغيل الفعال لنظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات؛ لأن النتائج تستخدم بواسطة خوارزميات التحسين لتحديد إعدادات توقيت الإشارة المناسبة. ومع ذلك، تتمتع أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات بقدرتها على تلقي مدخلات من مختلف تقنيات الاستشعار (على سبيل المثال: الموجات الدقيقة ومقياس المغناطيسية والحلقة الحثية والفيديو). وتتكامل بعض الأنظمة مع أنواع معينة من أجهزة الاستشعار.

بشكل عام، هناك خمسة مواقع يمكن أن تتوفر فيها أجهزة كشف تقنية التحكم التكيفي في الإشارات:

- أجهزة كشف خط التوقف.
- أجهزة كشف الارتداد (تستخدم عادة لحماية منطقة القرار وتمديد الطور في العمليات التي يتم تشغيلها).
- أجهزة كشف وسط الكتلة.
- أجهزة الاستشعار في الاتجاه الصاعد الموجودة عند تقاطع الاتجاه الصاعد (على جانب الاتجاه السفلي).
- أجهزة كشف الارتداد عند نقاط الدخول لمناطق التخزين في الاتجاهين الأيسر والأيمن.

لا يتطلب أي نظام لتقنية التحكم التكيفي في الإشارات الاستشعار في جميع المواقع الخمسة، ولكن يجب إجراء الاستشعار بشكل عام في جميع الأطوار. في حين أن العديد من أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات تتطلب غالبًا اكتشاف مسار تلو مسار في جميع الأطوار (والتي توفر أفضل عمليات تقنية التحكم التكيفي في الإشارات)، فإن بعض الأنظمة لديها القدرة على استيعاب الاكتشاف الذي يتم الإبلاغ عنه عبر مسارات متعددة لكل طور.

عادةً ما تقدر أجهزة كشف خط التوقف درجة التشبع لكل طور وتقيس الإخراج لتقدير طول صف الانتظار. غالبًا ما يلزم إضافة أجهزة الاستشعار هذه إلى مسارات الطور المنسق إذا كانت العملية الحالية منسقة، ولكن لا تعمل على تشغيل الطور المنسق. توفر مناطق اكتشاف خط التوقف الأقصر معلومات أكثر دقة عن العدد ومقدار الإشغال؛ وذلك رغم أنه من الناحية العملية غالبًا ما تستوعب أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات المنشورة حديثًا مناطق اكتشاف خط التوقف الحالية التي يبلغ طولها ١٥ مترًا أو أكثر.

يمكن لأجهزة كشف الارتداد تقدير أطوال صفوف الانتظار وقياس ملف وصول مجموعات المرور التي تقترب. كلما وُضعت أجهزة الاستشعار هذه في الاتجاه الصاعد، كانت جودة معلومات ملف الوصول أفضل. ومن الجدير بالذكر أن نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات لن يسجل تدفقات الوصول متوسطة الكتلة التي تدخل إلى رابط الاتجاه السفلي المرتبط بنقطة الاستشعار؛ لذلك ينبغي توخي الحذر لتحديد موقع اكتشاف الارتداد بشكل مناسب على أساس رابط تلو آخر. من المهم أيضًا تحديد موقع اكتشاف الارتداد بعيدًا عن الممرات حتى لا تتسبب المركبات الخارجة من الشارع في حدوث خطأ في حسابات نظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات.

تكوين الأطوار:

ينبغي أن يدرك الممارس قيود تكوين الأطوار لنظام تقنية التحكم التكيفي في الإشارات. لا يمكن أن تعمل بعض الأنظمة حاليًا إلا باستخدام بنية تحكم ثنائية الحلقة تغطي ثمانية أطوار، بينما يمكن أن تستوعب التقنيات الأخرى أكثر من ثمانية أطوار. تستخدم العديد من أنظمة تقنية التحكم التكيفي في الإشارات أيضًا عملية تشغيل قائمة على مراحل بدلًا من عملية التشغيل القائمة على الأطوار، ما يتطلب تكوين جميع المجموعات المسموح بها من الأطوار كمراحل (على سبيل المثال: كُوِّنت أزواج الأطوار الأولى والسادسة، والأولى والخامسة، والثانية والخامسة، والثانية والسادسة، وما إلى ذلك على أنها مراحل منفصلة).

أ-٦ دراسات زمن الانتقال والتأخير:

أ-٦-١ مقدمة:

يمكن إجراء دراسات زمن الانتقال والتأخير باستخدام الأساليب الآتية:

- مركبة الاختبار.
- مراقبة المركبة.
- الفحص الدقيق للمركبة.

تتطلب الطريقة الأولى من المحلل إجراء قياسات في أثناء وجوده في مركبة متحركة في مسار المرور، في حين أن الطرق الأخرى لا تتطلب ذلك. ينبغي أن يستند اختيار الطريقة إلى الغرض من الدراسة. ويخضع نوع جزء الطريق للدراسة: طول الجزء، موعد الحدث محل الاهتمام، والأفراد والمعدات والموارد المتاحة. تُعرَض الطرق الأكثر شيوعًا (طرق اختبار السيارة) بالتفصيل، في حين توصف الطرق الأخرى وصفًا موجزًا فقط.

أ-٦-٢ طريقة مركبة الاختبار:

أ-٦-٢-١ مقدمة:

تتطلب طريقة مركبة الاختبار من المحلل استخدام مركبة؛ لإجراء عمليات تشغيل على جزء من الطريق محل الاهتمام. تشتمل الدراسة النموذجية على سائق ومراقب يقودان بدءًا من أحد طرفي المسار إلى الطرف الآخر في أثناء تسجيل الأوقات في نقاط اهتمام محددة مسبقًا. بالإضافة إلى مدد الرحلة. يُتاح للمحلل خيار جمع بيانات إضافية في أثناء التشغيل الميداني مثل أحجام المرور والمعلومات التفصيلية عن التأثيرات ومصادر التأخير. ينبغي تحديد التعليمات بشأن أسلوب القيادة بوضوح؛ لا سيما إذا كان جمع البيانات يتطلب العديد من السائقين.

تتيح طريقة مركبة الاختبار للمحلل إمكانية تحديد السمات الآتية على طول مسار الدراسة:

- زمن الانتقال.
- وقت التشغيل.
- نوع تأخيرات المرور، وموقعها، ومدتها، وسببها.
- المسافة المقطوعة.
- السرعة المتوسطة المدى.
- الحجم بالساعة.

ينبغي أن تلتزم الجهات غالبًا بدراسة زمن الانتقال والتأخير خلال ساعات الذروة في اتجاهات تدفق المرور الأكثر كثافة. يمكن أن يكون من الأفضل أيضًا مقارنة مدد الرحلة والسرعات والتأخيرات بين فترات الذروة وخارجها أو في ظل مجموعة من الأحوال الأخرى. تتضمن بعض هذه الأحوال الأخرى الأحوال المثالية مقابل الطقس السيئ والركاب معتادي الانتقال مقابل المرور في المناسبات الخاصة. خلال فترة الذروة، من المحتمل أن تختلف السرعات ما يمكن أن يجعل من الضروري إجراء دراسات منفصلة لزمن الانتقال والتأخير لأجزاء مختلفة من فترة الذروة.

أ-٦-٢-٢ الإجراءات المتعلقة بجمع البيانات:

ينبغي تسجيل البيانات أثناء عبور مركبة الاختبار مسار الدراسة. واستنادًا إلى هذه البيانات، يمكن حساب زمن الانتقال والسرعة المتوسطة المدى وسرعة التشغيل. تنطبق هذه الطريقة على أي نوع من أنواع المسارات، ولكنها تُستخدم على نطاق واسع في الشوارع الشريانية التي تضم تقاطعات على نفس المستوى. يبلغ الحد الأدنى للطول الإجمالي الموصى به للمسار الخاضع للدراسة ١,٦ كيلومتر. يمكن أن يقوم المهندسون بإجراء مسوحات عن زمن الانتقال والتأخير في جميع أنحاء المنطقة عن الطرق الشريانية الرئيسة المؤدية من وإلى منطقة الأعمال المركزية مع عرض النتائج كخرائط زمنية.

قبل بدء التشغيل التجريبي، ينبغي على المراقبين تحديد مواقع نقطة البدء ونقطة الانتهاء ونقطة التحكم على طول المسار؛ حيث سيتم تسجيل مقاييس الوقت. في أنواع الشوارع الشريانية وأنواع أخرى من الشوارع السطحية، تقع هذه المواقع عادةً عند التقاطعات الرئيسة التي تضم إشارات أو نقاط تحكم أخرى يمكن تحديدها بسهولة. ينبغي أن يكون اختيار الرصيف القريب أو الرصيف البعيد أو مركز التقاطع كنقطة تحكم متسقًا طوال مسار الدراسة. على الطرق السريعة، يمكن أن تحتوي مواقع نقاط التحكم على علامات استدلالية لعدد الكيلومترات، أو الممرات العلوية، أو السفلية للجسور، أو منحدرات الخروج، أو منحدرات الدخول، أو غيرها من النقاط التي يسهل التعرف عليها. ينبغي أن يكون اختيار حافة الجسر أو المنطقة الوسطى وموقع المنحدر (مثل منطقة الجور) كنقطة تحكم متسقًا طوال مسار الدراسة.

أ-٦-٢-٢-١ أساليب القيادة:

يتقدم سائق مركبة الاختبار على طول الطريق الخاضع للدراسة وفقًا لإحدى التقنيات الآتية:

- تقنية السيارة العادية: اختبر تنقلات المركبة وفقًا لتقدير السائق لمتوسط سرعة تدفق المرور.

- تقنية السيارة العائمة: يحاول السائق (تعويم)" المركبة مع المرور من خلال محاولة تجاوز أكبر عدد ممكن من المركبات بأمان في أثناء اجتياز مركبة الاختبار.
- تقنية قيادة السيارة بالسرعة القصوى: تتم قيادة مركبة الاختبار مع الوصول إلى الحد الأقصى للسرعة المعلنة ما لم تواجه ظروفًا مرورية فعلية أو تقديرات سلامة تعيق ذلك.

ينبغي أن يعتمد اختيار أسلوب مركبة الاختبار على الغرض من الدراسة وتقدير فريق الدراسة للتقنية التي تعكس تدفق المرور التي يتم التحقيق فيها على نحو أفضل. ينبغي اختيار مسار السير بوعي، خاصة وأن المسار الخارجي يمكن أن يتأثر بالمركبات التي تسير ببطء عند الانعطاف أو مناورات التوقف أو محطات النقل العام. في دراسات الطرق السريعة، يمكن تحليل مسار السير كمتغير.

أ-٦-٢-٢-٢ الأفراد والمعدات:

تتطلب طريقة مركبة الاختبار وجود مركبة اختبار ووسيلة لتسجيل الوقت والمسافة. يمكن تسجيلها يدويًا أو تلقائيًا. يمكن الاستفادة من مسجل الصوت؛ لتدوين ملاحظات عن صفوف الانتظار أو الحوادث الأخرى، لا سيما في حالات التراكم المروري. وكذلك، يمكن أن تكون الكاميرا الثابتة أو كاميرا الفيديو مفيدة في التقاط صور فوتوغرافية أو مقاطع فيديو للأحداث غير العادية ما سيساعد في توضيح نتائج البيانات.

يتطلب جمع البيانات يدويًا وجود سائق ومراقب/مسجل وساعتي توقيت مع نماذج لجمع البيانات. يمكن إجراء الدراسة باستخدام ساعة توقيت واحدة فقط. يمكن التعرف على المسافات بين نقاط التحكم وطول المسار الإجمالي من مخططات أو خرائط دقيقة مرسومة حسب المقياس أو من عداد المسافات في المركبة.

يمكن استخدام معدات جمع البيانات التلقائية مثل وحدات نظام تحديد المواقع العالمي لقياس موضع مركبة الاختبار وسرعتها على طول المسار. يمكن لأنواع عديدة من البرامج المخصصة للاستخدام مع وحدات نظام تحديد المواقع العالمي أو أجهزة الحاسب المحمولة/اللابتوب تسجيل ميزات تشمل السرعة والمسافة والتأخير بسبب الوقوف وعدد مرات التوقف. ينبغي استخدام ساعة توقيت أو غيرها من المعدات اليدوية في جولة واحدة على الأقل؛ للتحقق من الأخطاء في أدوات جمع البيانات.

أ-٦-٢-٢-٣ متطلبات حجم العينة:

ينبغي أن يحدد الغرض من دراسة زمن الانتقال والتأخير حجم العينة المطلوبة (من حيث عدد عمليات التشغيل التجريبي). وفيما يأتي نوضح النطاقات المقترحة للأخطاء المسموح بها في تقدير متوسط سرعة السير المتعلقة بالغرض من الدراسة.

- الدراسات التي تتناول احتياجات تخطيط النقل والطريق: ± ٤,٨ - ± ٨,٠ كم/س.
- التشغيل المروري وتحليل الاتجاه والتقييمات الاقتصادية: ± ٣,٢ - ± ٦,٥ كم/الساعة.
- دراسات قبل-و-بعد: ± ١,٦ - ± ٤,٨ كم/الساعة.

يمكن لمهندسي المرور تطبيق هذه الاقتراحات على دراسات مماثلة كذلك.

الجدول (أ-٥١) يعرض عدد عمليات التشغيل التجريبية لإجراء دراسات زمن الانتقال والتأخير (Quiroga & Bullock, 1998). تتمتع هذه القيم بمستوى ثقة يبلغ ٩٩,٧٣٪ أو ٩٥٪ أو ٨٥٪ أو ٧٥٪، وتستند إلى الفرق بين السرعة الدنيا والقصوى التي قيست في الدراسة الأولية. تُقدَّم مستويات ثقة متعددة لتزويد المحلل بخيار تحديد المستوى المتوافق مع احتياجاته الخاصة. عند الانتهاء من عمليات التشغيل التجريبية الأولية، ينبغي حساب الفرق بين السرعات الدنيا والقصوى لعمليات التشغيل التجريبية $(\bar{R})$، كما هو موضح في المعادلة (أ-٣١).

$$\bar{R} = \max_{i=0}^{m} v_i - min_{i=0}^{m} v_i$$ **المعادلة (أ-٣١)**

حيث إن:

m = حجم عينة الدراسة الأولية.

v_i = سرعة التشغيل المرتبطة بمسار السير i.

ينبغي تحديد الحجم الأدنى التقريبي للعينة الجدول (أ-٥١)؛ لمعرفة الاختلاف المحسوب في السرعات الدنيا والقصوى وكذلك المقدار المطلوب للخطأ المسموح به (ε). إذا كان العدد المطلوب لعمليات التشغيل التجريبية يتجاوز العدد الأولي لعمليات التشغيل التجريبي، فينبغي إجراء عمليات تشغيل إضافية في ظل الظروف نفسها مثل عمليات التشغيل الأولية لإكمال العينة المطلوبة. ينبغي تحديد حجم العينة لكل اتجاه من اتجاهات السير ولكل مجموعة من المرور و/أو الظروف البيئية ذات الأهمية.

بافتراض أنه أُجريت خمس عمليات تشغيل لمعرفة الفرق في سرعات التشغيل القصوى والدنيا البالغة ١٦ كم في الساعة، وأن المقدار المطلوب للخطأ المسموح به يبلغ ± ٤,٨ كم في الساعة. الجدول (أ-٥١) يشير إلى أن العدد ٨ يشكل الحد الأدنى لعدد عمليات التشغيل المطلوبة، كما يؤكد قبول مستوى ثقة بنسبة ٩٥٪؛ لذلك، ينبغي إجراء ثلاث عمليات تشغيل أخرى للوصول إلى حجم العينة المطلوب. ومع ذلك، إذا أدت عمليات التشغيل الإضافية إلى حدوث اختلاف أكبر؛ فيجب إجراء عمليات تشغيل إضافية في معظم الحالات.

ينبغي أن يكون لدى المراقب/المراقبين حساسية تجاه التغيرات التي تشهدها المرور أو الظروف البيئية. إن عدد عينة عمليات التشغيل يمثل مجموعة واحدة من الشروط. على سبيل المثال: من المحتمل أن تختلف السرعات خلال فترة الذروة؛ لذلك قد يلزم إجراء دراسات منفصلة لزمن الانتقال والتأخير لأجزاء مختلفة خلال فترة الذروة. قد تكون دراسة تغيرات السرعة خلال فترة الذروة مفيدة وتشكل أهمية للجهات. أيضًا، يمكن أن يؤدي تعاقب الإشارات إلى حدوث تغيرات في زمن الانتقال أثناء جمع البيانات. ينبغي فهم توقيت الإشارات على طول المسار قبل بدء الدراسة حتى يتمكن المحلل من فهم التغييرات في التعاقب خلال فترة الدراسة.

الجدول (أ–٥١) الحد الأدنى التقريبي لمتطلبات حجم العينة لدراسات زمن الانتقال والتأخير (المصدر: – ITE, (2010a) Exhibit 9-1 Adjusted).

$\bar{R}$	الحد الأدنى لحجم العينة "n" للخطأ المحدد المسموح به ε									
	مستوى الثقة: ٩٩,٧٣٪					مستوى الثقة ٩٥٪				
(كيلومتر/ الساعة)	١,٦ م/الساعة	٣,٢ كم/الساعة	٤,٨ كم/الساعة	٦,٤ كم/الساعة	٨,٠ كم/الساعة	١,٦ كم/الساعة	٣,٢ كم/الساعة	٤,٨ كم/الساعة	٦,٤ كم/الساعة	٨,٠ كم/الساعة
١,٦	٦	٥	٤	٤	٤	٤	٣	٣	٣	٣
٣,٢	٩	٦	٥	٥	٤	٦	٤	٣	٣	٣
٤,٨	١٣	٨	٦	٥	٥	٨	٥	٤	٤	٣
٦,٤	١٧	٩	٧	٦	٦	١٠	٦	٥	٤	٤
٨,٠	٢١	١١	٨	٧	٦	١٢	٧	٥	٤	٤
٩,٦	٢٦	١٣	٩	٨	٧	١٥	٨	٦	٥	٤
١١,٢	٣٢	١٥	١٠	٨	٧	١٨	٩	٦	٥	٥
١٢,٨	٣٧	١٧	١٢	٩	٨	٢١	١٠	٧	٦	٥
١٤,٤	٤٣	١٩	١٣	١٠	٩	٢٤	١١	٨	٦	٥
١٦,٠	٥٠	٢١	١٤	١١	٩	٢٧	١٢	٨	٧	٦
١٧,٦	٥٧	٢٤	١٥	١٢	١٠	٣١	١٣	٩	٧	٦
١٩,٢	٦٤	٢٦	١٧	١٣	11	٣٤	١٥	١٠	٨	٦
٢٠,٨	٧٢	٢٩	١٨	١٤	١١	٣٨	١٦	١١	٨	٧
٢٢,٤	٨٠	٣٢	٢٠	١٥	١٢	٤٣	١٨	١١	٩	٧
٢٤,٠	٨٩	٣٤	٢١	١٦	١٣	٤٧	١٩	١٢	٩	٨
٣٢,٠	–	٥٠	٣٠	٢١	١٧	٧١	٢٧	١٧	١٢	١٠
٤٠,٠	–	٦٨	٣٩	٢٧	٢١	٩٩	٣٦	٢٢	١٥	١٢
٤٨,٠	–	٨٩	٥٠	٣٤	٢٦	–	٤٧	٢٧	١٩	١٥
$\bar{R}$	الحد الأدنى لحجم العينة n للخطأ المحدد المسموح به z									

	مستوى الثقة ٨٥٪					مستوى الثقة ٧٥٪				
(كيلومتر/ الساعة)	١,٦ كم/الساعة	٣,٢ كم/الساعة	٤,٨ كم/الساعة	٦,٤ كم/الساعة	٨,٠ كم/الساعة	١,٦ كم/الساعة	٣,٢ كم/الساعة	٤,٨ كم/الساعة	٦,٤ كم/الساعة	٨,٠ كم/س
١,٦	٣	٣	٢	٢	٢	٣	٢	٢	١	٢
٣,٢	٤	٣	٣	٣	٣	٤	٣	٣	١	٢
٤,٨	٦	٤	٣	٣	٣	٥	٣	٣	٢	٢
٦,٤	٧	٤	٤	٣	٣	٦	٤	٣	٢	٣
٨,٠	٩	٥	٤	٣	٣	٧	٤	٣	٢	٣
٩,٦	١٠	٦	٤	٤	٣	٨	٥	٤	٢	٣
١١,٢	١٢	٦	٥	٤	٤	٩	٥	٤	٢	٣
١٢,٨	١٤	٧	٥	٤	٤	ثانيًا	٦	٤	٤	٣
١٤,٤	١٦	٨	٦	٥	٤	١٢	٦	٥	٤	٣
١٦,٠	١٨	٩	٦	٥	٤	١٤	٧	٥	٤	٤
١٧,٦	٢٠	٩	٧	٥	٥	١٥	٧	٥	٤	٤
١٩,٢	٢٣	١٠	٧	٦	٥	١٧	٨	٦	٥	٤
٢٠,٨	٢٥	١١	٧	٦	٥	١٩	٩	٦	٥	٤
٢٢,٤	٢٨	١٢	٨	٦	٥	٢٠	٩	٦	٥	٤
٢٤,٠	٣٠	١٣	٩	٧	٦	٢٢	١٠	٧	٥	٥
٣٢,٠	٤٥	١٨	١١	٩	٧	٣٣	١٤	٩	١	٦
٤٠,٠	٦٢	٢٤	١٥	١١	٩	٤٤	١٨	١١	٨	٧
٤٨,٠	٨١	٣٠	١٨	١٣	١٠	٥٨	٢٢	١٤	١٠	٨

أ-٦-٢-٢-٤ جمع البيانات يدويًا:

ينبغي وضع مركبة الاختبار على مسافة قصيرة من الاتجاه الصاعد لنقطة البدء. ينبغي ضبط كلتا ساعتي التوقيت على صفر، كما ينبغي استكمال معلومات المقدمة في نماذج البيانات. الجدول (أ-٥٢) يعرض ورقة عينة ميدانية. ينبغي مراجعة المهام المطلوبة من كل من السائق والمراقب، كما ينبغي إجراء عمليتين من العمليات التجريبية: لقياس المسافات بين نقاط المراقبة وتجربة الإجراء قبل وقت البدء اللازم للدراسة. يمكن لفريق الدراسة قياس المسافة باستخدام مجموعة متنوعة من الأدوات مثل المخططات أو الخرائط أو خدمات رسم الخرائط عبر الإنترنت، أو أداة قياس المسافة المثبتة في المركبة، أو جهاز استقبال نظام تحديد المواقع العالمي، أو من خلال عداد المسافات بالمركبة (بدقة أقل). يجب أن تتمتع الأداة المستخدمة في قياس المسافة بإمكانية تحقيق دقة قياس في حدود ١٪ أو ٢٪ من الطول الفعلي.

الجدول (أ–٥٢) ورقة عينة ميدانية لدراسة زمن الانتقال والتأخير: طريقة مركبة الاختبار (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-2).

دراسة زمن الانتقال والتأخير
طريقة مركبة الاختبار

التاريخ_____ الوقت_____ رقم الرحلة _____
الطريق_____الاتجاه_____
بدأت الرحلة في_____ في_____
(الموقع) (المسافة بالأميال)
انتهت الرحلة في_____ في_____
(الموقع) (المسافة بالأميال)

نقاط المراقبة		**محطات التوقف أو التباطؤ**		
الموقع	**الوقت**	**الموقع**	**النوع**	**التأخير (بالثواني)**
طول الرحلة:		زمن الانتقال:		سرعة الانتقال:
وقت التشغيل:		وقت التوقف:		سرعة السير:

الرموز أو سبب التأخير إشارات المرور S أو لافتة التوقف SS أو الانعطافات إلى اليسار LT أو مكان ركن المركبات PK أو أماكن مزدوجة لركن المركبات DP أو الأماكن العامة T أو المسار المخصص للمشاة Ped أو محطات تحميل أو نزول ركاب الحافلة BP

التعليقات_____

المراقب_____

إذا سارت التجربة بسلاسة، فينبغي تقدير أول محاولتين من العمليات التجريبية كعمليات تشغيل اختبارية. إن رحلة الذهاب والإياب الواحدة (عملية تشغيل واحدة في كل اتجاه) عبر جزء الطريق الخاضع للاختبار تعد عملية تشغيل اختبارية. ينبغي أن تبدأ عمليات التشغيل الاختبارية على الفور في بداية فترة الدراسة المطلوبة؛ لإكمال العينة المطلوبة من عمليات التشغيل قبل تغيير الظروف القائمة على طول الطريق. إذا تعذر الحصول على العينة المطلوبة خلال فترة واحدة، فينبغي إتمام عمليات التشغيل المتبقية في يوم آخر في ظل الظروف نفسها، أو ينبغي الاستعانة بفرق اختبار مركبة إضافي خلال فترة الذروة. عندما تجتاز مركبة الاختبار نقطة البدء، على السائق تشغيل ساعة التوقيت الأولى. ينبغي أن تنتقل مركبة الاختبار بعد ذلك عبر الطريق الخاضع للدراسة وفقًا لتقنية القيادة المختارة. يجب على المراقب تسجيل قراءات الوقت من ساعة التوقيت الأولى عندما تمر السيارة بكل نقطة تحكم. عندما تتوقف مركبة الاختبار أو تضطر إلى السير ببطء (أي السير بسرعة ٨ كم/ساعة أو أقل)، عندئذ على المراقب استخدام ساعة التوقيت الثانية لقياس مقدار التأخير، ومراقبة الموقع، ومدة كل تأخير وسببه على الورقة الميدانية. بدلًا من ذلك، يمكن إجراء الدراسة باستخدام ساعة توقيت واحدة فقط. وفي هذه الحالة، يجب على المراقب البدء بتشغيل ساعة التوقيت من نقطة البدء مع مراقبة أوقات البدء والانتهاء لأي تأخيرات أثناء التشغيل.

عندما تمر مركبة الاختبار بنقطة الانتهاء للمسار الخاضع للدراسة، ينبغي على السائق قراءة ساعة ا إيقاف التوقيت، كما على المراقب تدوين الوقت الإجمالي للتشغيل على الورقة الميدانية. ينبغي أن تعود مركبة الاختبار بعد ذلك إلى نقطة البدء، كما على السائق والمراقب إعادة ضبط ساعات التوقيت، وينبغي على المراقب إعداد ورقة ميدانية جديدة حتى يبدأ التشغيل التالي. ينبغي

تكرار هذا الإجراء حتى يُتوصَّل إلى العدد المطلوب من عمليات التشغيل التجريبية أو حتى الظروف التي يمكن أن تؤثر في تغيير مسار الدراسة. إذا خضع الاتجاه المعاكس أيضًا للدراسة، فينبغي أن يُطبَّق الإجراء نفسه على رحلة العودة، فضلًا عن تسجيل البيانات في ورقة ميدانية منفصلة.

يمكن استخدام برنامج حاسب محمول مع تطبيق طابع زمني لاستبدال ساعات التوقيت. إن استخدام جهاز حاسب محمول بواسطة المراقب يمكن أن يقلل من المهام الإضافية المطلوبة من السائق إلى جانب تسجيل المعلومات نفسها بالضغط على مفاتيح محددة مسبقًا لعرض المواقع أو التأخيرات.

أ-٦-٢-٢-٥ جمع البيانات تلقائيًا:

ينبغي وضع سيارة الاختبار على مسافة قصيرة من الاتجاه الصاعد لنقطة البدء، وينبغي تشغيل جهاز تسجيل البيانات وتهيئته. تعمل وحدات نظام تحديد المواقع العالمي وحزم البرامج المصاحبة لها على أتمتة العديد من الخطوات المدرجة أدناه المتعلقة بأداة قياس المسافة، حيث يمكن أن تكون أكثر تلقائية باستخدام حزمة برامج لتقليل البيانات وتحليلها تلقائيًا. للحصول على المواصفات واستخدام مختلف البرامج الآلية والأجهزة المرتبطة بها على نحو صحيح، على الممارسين الاطلاع على دليل المستخدم. ينبغي إجراء عمليات تشغيل مركبة الاختبار مع خلو الطرق من الحوادث على طول المسار المستخدم. بالنسبة إلى المقاطع العرضية التي تضم مسارين، ينبغي استخدام المسار الثاني من الجزيرة الوسطية، أما بالنسبة إلى المقاطع العرضية المكونة من ثلاث مسارات، ينبغي استخدام المسار الأوسط. ويعتمد عدد مركبات الاختبار المطلوبة خلال مدة التشغيل (يحتل هذا الأمر أهمية خاصة في حالات الازدحام) والفترة الزمنية المطلوبة للتشغيل. على سبيل المثال: إذا بلغت مدة التشغيل ٤٠ دقيقة ووصل الفترة الزمنية المطلوبة إلى ١٥ دقيقة، فيلزم وجود ثلاث مركبات اختبار.

ينبغي معايرة أدوات قياس المسافة قبل الوصول إلى موقع الدراسة وينبغي تدريب السائق (والمراقب، إذا احتيج إليه) على تشغيل المعدات الآلية قبل بدء الدراسة. ينبغي أن تشكل السلامة العامل الأساسي في إجراء هذا النوع من الدراسة مع سائق فقط. ينبغي إجراء تشغيل تجريبي مع تناول موقع نقاط البدء والانتهاء والتحكم للمسار في الدراسة في مسجل البيانات. ينبغي أن تبدأ عمليات التشغيل الاختبارية على الفور في بداية فترة الدراسة المطلوبة، وينبغي إكمال العدد المطلوب من عمليات التشغيل قبل أن تتغير الظروف. إذا تعذر الحصول على العينة المطلوبة خلال فترة واحدة؛ فينبغي إتمام عمليات التشغيل المتبقية في يوم آخر في ظل الظروف نفسها.

عندما تجتاز مركبة الاختبار نقطة أنشطة؛ فينبغي على السائق تنشيط مسجل البيانات. بعد ذلك، ينبغي أن تنتقل مركبة الاختبار عبر الطريق الخاضع للدراسة وفقًا لتقنية القيادة المختارة. عند تجاوز كل نقطة تحكم يجب على السائق تنشيط المفتاح المناسب (ويتيح هذا إمكانية التكرار؛ لأنه يمكن استخدام نقطة البدء لإنشاء أي نقطة تحكم على طول الطريق). عندما تتوقف مركبة الاختبار أو تضطر إلى السير ببطء (ستقوم أداة قياس المسافة باستشعار ذلك تلقائيًا)، ينبغي على السائق الضغط على الزر المناسب؛ لإدخال السبب وراء كل تأخير. تسجل أداة قياس المسافة تلقائيًا الموقع ومدة التأخير عند الوصول إلى نقطة الانتهاء. ينبغي على السائق تنشيط المفتاح المناسب لمراقبة الوضع القائم. بعد ذلك، ينبغي أن تعود مركبة الاختبار إلى نقطة البدء، كما ينبغي على السائق إعادة ضبط مسجل البيانات حتى تبدأ عملية التشغيل التالية. ينبغي تكرار هذا الإجراء كي يتوصَّل إلى العدد المطلوب من عمليات التشغيل التجريبية أو حتى الظروف التي يمكن أن تؤثر في تغيير مسار الدراسة. قد لا يلزم إجراء بعض عمليات التشغيل إذا كانت الأحداث غير العادية تؤثر في عملية التشغيل، على سبيل المثال: مركبة طوارئ عابرة تتطلب من المركبات التوقف إلى جانب الطريق أو حدوث تصادم أو غير ذلك من الظروف غير المعتادة.

أ-٦-٢-٣ تقليل البيانات وتحليلها:

لتقييم البيانات المتعلقة بزمن الانتقال، على المحللين تحويل مقاييس الوقت والمسافة إلى السرعة متوسطة المدى. وينبغي حساب متوسط المدى في سرعة التشغيل، كما هو موضح أعلاه، للمساعدة على تحديد حجم العينة المطلوب. وتُحتسب سرعة الانتقال لكل مركبة اختبار فردية وفقًا للمعادلة الآتية:

$$S = 3,600 \times \frac{D}{T}$$ **المعادلة (أ-٣٢)**

حيث إن:

S = سرعة الانتقال بالكيلو متر في الساعة.

D = طول المسار الخاضع للدراسة أو جزء من الطريق بالكيلومتر.

T = زمن الانتقال بالثواني.

معادلة السرعة متوسطة المدى، أو متوسط سرعة الانتقال لجميع مدد الرحلة هي:

$$S_{AVE} = \frac{3,600 \times N \times D}{\sum T}$$ **المعادلة (أ-٣٣)**

حيث إن:

S_{AVE} = السرعة متوسطة المدى أو متوسط سرعة الانتقال بالكيلومتر في الساعة.

D = طول المسار الخاضع للدراسة أو جزء من الطريق بالكيلومتر.

$\sum T$ = مجموع مدد الرحلة لجميع فترات الراحة بالثواني.

N = عدد عمليات التشغيل التجريبي.

ينبغي استخدام المعادلات (أ-٣٢) و(أ-٣٣) لحساب سرعة الجري لكل عملية تشغيل إلى جانب متوسط سرعة التشغيل لجميع الدورات، باستثناء سرعة التشغيل بدلًا من سرعة الانتقال ووقت التشغيل بدلًا من زمن الانتقال. ويمكن حساب متوسط السرعة لكل جزء من الطريق الخاضع للدراسة بالإضافة إلى متوسط السرعة لإجمالي الطريق. ويمكن استخدام الملاحظات الميدانية؛ لتوضيح سبب إزالة القيم غير المتسقة من التحليل بسبب حدوث موقف غير عادي.

نظرًا إلى أن فريق الدراسة يقيس التأخير بشكل مباشر، فيمكنه تلخيص التأخيرات من كل نوع لكل جزء من الطريق ولكل عملية تشغيل. ويُعد إجمالي التأخير (الفرق بين زمن الانتقال المسجل وزمن الانتقال بالتدفق الحر) حساب تأخير مفيد وشائع. ويُحتسب متوسط التأخيرات من خلال تقسيم مجموع التأخيرات على عدد مرات التشغيل. ويمكن التعامل مع كل من مقاييس السرعة والتأخير الناتجة على أنها تحليلات إحصائية. وينبغي إعداد ملخصات رسومية تعرض مختلف مقاييس سرعة السير والتأخير.

أ-٦-٢-٤ تمديد الحجم:

يمكن أيضًا استخدام طريقة مركبة الاختبار لجمع الحجم على طول المسار إذا رغبت في ذلك. وتُقدَّم التقديرات عن طريق قياس زمن الانتقال والمرور المعاكسة وتجاوز المرور والمرور العابرة. وينبغي أن يقتصر المحللون في تطبيق هذا الامتداد لطريقة مركبة الاختبار على استخدام الطرق التي تتمتع بنظام وصول خاضع للسيطرة أو المدخل غير المستخدم والمرور عبر الشوارع، مثل الطرق السريعة أو الأجزاء المشتركة من الشوارع الشريانية بمسافة ١,٥ كيلومتر أو أكثر بين الإشارات. وعلى الطرق السريعة، توجد هذه المواقع عند التقاطعات التي تسمح بالانعطاف السريع. وفي الشوارع الشريانية وأنواع أخرى من الشوارع السطحية، عادةً ما تكون عند التقاطعات الرئيسة؛ حيث تكون الانعطافات للخلف قانونية أو حيث يسمح بانعطاف سريع على نحو معقول. ويقتصر تطبيق الطريقة على المسارات التي تضم اتجاهين حيث يمكن رؤية المرور المعاكسة في جميع الأوقات.

يتطلب تمديد المركبة استخدام وسيلة لتسجيل حجم المرور. وفي الطرق متعددة المسارات التي تشهد حركة مرور كثيفة، يمكن أن تستخدم فرق الدراسة شريط فيديو لتسجيل عمليات التشغيل. بعد ذلك، ينبغي على الفريق الحد من البيانات في المكتب. ويتطلب جمع البيانات يدويًا وجود سائق ومراقب/مسجل، وعدادات محمولة باليد مع نماذج لجمع البيانات. الجدول (أ-٥٣) يعرض ورقة عينة ميدانية. وينبغي أن تسير مركبة الاختبار عبر الطريق الخاضع للدراسة في الاتجاه المعاكس لاتجاه المرور الخاضعة للدراسة. كما ينبغي على المراقب عدّ المرور المعاكسة وتسجيلها في أثناء الرحلة. بعد ذلك، ينبغي أن تستدير مركبة الاختبار وتتحرك في الجزء نفسه من الطريق في الاتجاه المعاكس، وعندئذ ينبغي على المراقب أن يحسب عدد المركبات التي تجتازها مركبة الاختبار وعدد المركبات التي تتجاوزها.

الجدول (أ–٥٣) عينة ورقة ميدانية لدراسة زمن الانتقال والتأخير: طريقة مركبة الاختبار - تمديد الحجم (المصدر: ITE, 2010a) – Exhibit 9-7).

دراسة زمن الانتقال والتأخير
طريقة مركبة الاختبار - تمديد الحجم

التاريخ_____
الطقس_____
الطريق_____
_____
نقطة البدء_____ نقطة
الانتهاء_____

الجولة	وقت البدء	وقت الانتهاء	زمن الانتقال	المركبات التي قوبلت	المركبات التي تجاوزت مركبة الاختبار	المركبات التي تجاوزتها مركبة الاختبار
متجهة _____						
١						
٢						
٣						
٤						
٥						
٦						
٧						
٨						
٩						
١٠						
الإجمالي						
المتوسط						

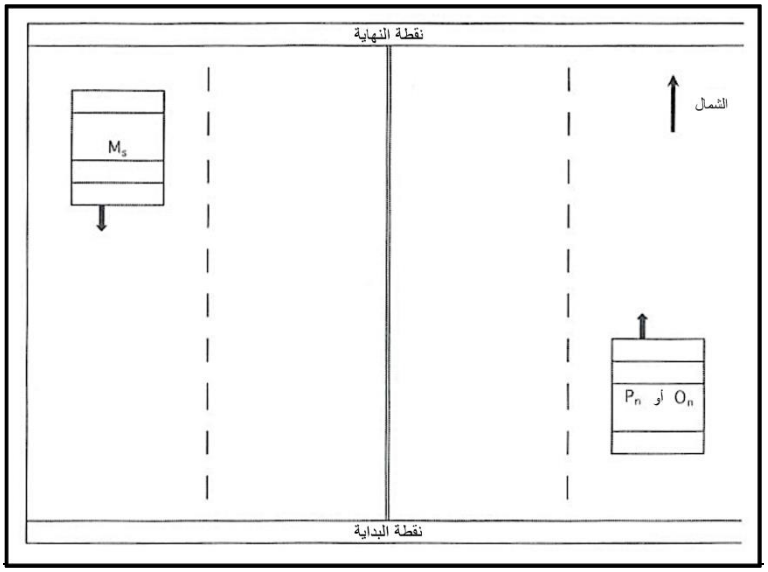
الجولة	وقت البدء	وقت الانتهاء	زمن الانتقال	المركبات التي قوبلت	المركبات التي تجاوزت مركبة الاختبار	المركبات التي تجاوزتها مركبة الاختبار
متجهة _____						
١						
٢						
٣						
٤						
٥						
٦						
٧						
٨						
٩						
١٠						
الإجمالي						
المتوسط						

التعليقات_____
_____
المراقب_____
_____

يمكن دراسة كلا الاتجاهين في وقت واحد. وفي هذه الحالة، ينبغي على أحد المراقبين عدّ المركبات التي تم تجاوزها والمرور بها، بينما يقوم مراقب آخر بعدّ المركبات التي تسير في الاتجاه المعاكس. وينبغي أن يتأكد الفريق من تسجيل الأعداد على

نحو صحيح على العدادات المحمولة باليد. وإذا شهدت المرور كثافة في الاتجاه المعاكس؛ فيمكن أن يلزم ترجيح العدد باستخدام عامل مضاعف (على سبيل المثال: عدد واحد يساوي خمس مركبات). ويصعُب إجراء دراسات على الطرق السريعة التي تضم أكثر من ثلاث مسارات في كل اتجاه وقد تتطلب مراقبًا إضافيًا. وينبغي إيلاء السلامة الاهتمام الأكبر في إجراء هذه الدراسات. ويمكن أن تؤثر العوائق المرئية من الشاحنات والجزيرة الوسطية الواسعة في الدقة. وإذا شهدت المرور كثافة؛ فينبغي الاستعانة بالمزيد من المراقبين حتى يتمكن السائق من التركيز على مهمة القيادة.

يمكن أن يستخدم جمع البيانات تلقائيًا أجهزة تسجيل بيانات مصممة خصوصًا لإجراء دراسات عن زمن الانتقال والتأخير باستخدام امتداد الحجم (Robertson & Courage, 1973). ويمكن تكوين أجهزة الحاسب المحمولة أو وأجهزة اللابتوب إلى جانب تطوير البرامج استجابة لهذا الغرض. وبسبب المخاوف التي تتعلق بالسلامة، لن تلغي الأتمتة الحاجة إلى مراقب/مسجل. ويتم تطبيق الإجراء ذاته عند جمع البيانات يدويًا، باستثناء أنه على المراقب استخدام جهاز حاسب محمول أو جهاز لابتوب؛ لتسجيل الوقت وبيانات عدد المرور. ويتطلب الإجراء العدد نفسه من الموظفين. كما أن تقليل البيانات تلقائيًا يوفر الوقت والمال في أثناء التحليل.



الشكل (أ–٧٣) طريقة مركبة الاختبار - متغيرات تمديد الحجم (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-8).

أ-٦-٢-٤-١ تحليل بيانات تمديد الحجم وملخص النتائج:

راجع المخطط الوارد في الشكل (أ-٧٣). تشير الأحرف السفلية n وs إلى الاتجاه الذي تسير فيه مركبة الاختبار عند قياس العنصر. تنطلق مركبة الاختبار من نقطة الانتهاء وتنتقل جنوبًا إلى نقطة البدء. يقوم المراقب بحساب جميع المركبات التي اجتمعت من الاتجاه المعاكس (M_s). يُسجَّل وقت الرحلة المتجهة نحو الجنوب (T_s)، ويستدير السائق عند نقطة البدء، ويتجه شمالًا إلى نقطة الانتهاء، ويسجل وقت الرحلة المتجهة شمالًا (T_n). وتُعد هذه الرحلة رحلة ذهاب وإياب أو جولة واحدة. يقوم المراقب بتسجيل أي مركبة اجتيزت بواسطة مركبة الاختبار (P_n) وأي مركبة تمر بمركبة الاختبار (O_n) في أثناء الرحلة المتجهة شمالًا.

الحجم بالساعة:

خلال هذه الرحلة ذهابًا وإيابًا، تقوم مركبة الاختبار في الأساس بقياس عدد المركبات التي ستجتاز نقطة الانتهاء، وذلك خلال المدة التي تستغرقها مركبة الاختبار للقيام برحلة ذهابًا وإيابًا بين نقطتي الانتهاء والبدء. ستجتاز المركبات التي أُستوفيت (M_s) نقطة الانتهاء قبل أن تتمكن مركبة الاختبار من العودة من نقطة البدء وصولًا إلى نقطة الانتهاء. تلك المركبات التي تتجاوز مركبة الاختبار (O_n) مطروحًا منها المركبات التي اجتازتها مركبة الاختبار (P_n) سوف تعوض عن عدم سير مركبة الاختبار بالسرعة المتوسطة المماثلة للمرور المتجه شمالًا؛ لذلك، فإن الحجم الذي يتجاوز نقطة الانتهاء، في الاتجاه الشمالي، في الوقت الذي تستغرقه مركبة الاختبار للقيام برحلة ذهابًا وإيابًا، يبلغ $M_s + O_n - P_n$. تُقدَّم صيغة الحجم المتجه شمالًا بتنسيق المعادلة (أ-٣٤).

$$V_n = 60\left(\frac{M_s+O_n-P_n}{T_n+T_s}\right)$$ **المعادلة (أ-٣٤)**

حيث إن:

V_n = حجم في الساعة، مع الاتجاه شمالًا.

M_s = تم الوصول إلى العدد المعاكس من المركبات عندما كانت مركبة الاختبار تسير جنوبًا.

O_n = عدد المركبات التي تجاوزت مركبة الاختبار أثناء سيرها شمالًا.

P_n = عدد المركبات التي مرت بمركبة الاختبار أثناء سيرها شمالًا.

T_n = زمن الانتقال عند السير شمالًا بالدقائق.

T_s = زمن الانتقال عند السير جنوبًا بالدقائق.

تعد صيغة الحجم المتجه جنوبًا هي نفس الصيغة باستثناء أن جميع الأحرف السفلية معكوسة. إذا استدارت مركبة الاختبار على الفور عند نقطة البدء، فسيكون عدد الحجم دقيقًا. ومع ذلك، يضيع بعض الوقت في أثناء الاستدارة ما يؤدي إلى حدوث خطأ بسيط؛ لذلك ينبغي على المحلل النظر إلى نتيجة المعادلة (أ-٣٤) على أنها تقدير. ونظرًا إلى أن التشغيل الفردي يمكن ألا يمثل الظروف المتوسطة، تُجرى العديد من عمليات التشغيل ويقوم المحلل باستخدام المتوسط (Pignataro, 1973).

متوسط زمن الانتقال:

يتم حساب متوسط زمن الانتقال للسير في اتجاه واحد باستخدام الصيغة الآتية:

$$T_{nave} = T_n - \left(\frac{60(O_n - P_n)}{V_n}\right)$$ **المعادلة (أ-٣٥)**

حيث إن:

T_{nave} = متوسط زمن الانتقال لجميع مركبات المرور في الشمال بالدقائق والمتغيرات الأخرى كما هو محدد لـ المعادلة (أ-٣٤).

كما هو الحال مع المعادلة (أ-٣٤)، يعد الحجم المتجه جنوبًا هو نفس الحجم باستثناء أن جميع الأحرف السفلية معكوسة. تمثل الكمية $(O_n - P_n)$ عامل تصحيح لحساب حقيقة أن مركبة الاختبار يمكن ألا تسير بالسرعة المتوسطة. يعد عامل التصحيح هذا غير ضروري إذا طُبِّقت أساليب قيادة السيارة العادية أو السيارة العائمة على نحو صحيح.

السرعة متوسطة المدى:

يمكن للمحللين حساب السرعة متوسطة المدى لتدفق السير في اتجاه واحد باستخدام:

$$S_n = \frac{60d}{T_{nave}}$$ **المعادلة (أ-٣٦)**

حيث إن:

S_n = الاتجاه شمالًا بالسرعة متوسطة المدى، بالكيلومتر في الساعة.

d = طول جزء الطريق الخاضع للاختبار بالكيلومترات.

المثال:

الجدول (أ-٥٤) يعرض بيانات عن جزء من طريق خاضع للاختبار بطول ٢,٠١ كم.

الجدول (أ–٥٤) مثال توضيحي للبيانات المتعلقة بتمديد الحجم (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 9-9).

الرحلات المتجهة شمالًا	T_n (دقيقة)	M_n	O_n	P_n
1N	٢,٦٥	٨٥	١	٠
2N	٢,٧٠	٨٣	٣	١
3N	٢,٣٥	٧٧	٠	٢
4N	٣,٠٠	٨٥	٢	٠
5N	٢,٤٢	٩٠	١	١

6N	٢,٥٤	٨٤	٢	١
الإجمالي	١٥,٦٦	٥٠٤	٩	٦
المتوسط	٢,٦١	٨٤,٠	١,٥	١,٠
الرحلات المتجهة جنوبًا	**T_s (دقيقة)**	**M_s**	**O_s**	**P_s**
IS	٢,٣٣	١١٢	٢	٠
2S	٢,٣٠	١١٣	٠	٢
3S	٢,٧١	١١٩	٠	٠
4S	٢,١٦	١٢٠	١	١
5S	٢,٥٤	١٠٥	٠	٢
6S	٢,٤٨	١٠٠	٠	١
الإجمالي	١٤,٥٢	٦٦٩	٣	٦
المتوسط	٢,٤٢	١١١,٥	٠,٥	١,٠

من المعادلة (أ-٣٤)، تكون الأحجام كل ساعة في الاتجاهين الشمالي والجنوبي، على التوالي،

$$V_n = 60\left(\frac{111.5 + 1.5 - 1.0}{2.61 + 2.42}\right) = 1336\ vehicles\ per\ hour$$

$$V_s = 60\left(\frac{84.0 + 0.5 - 1.0}{2.42 + 2.61}\right) = 996\ vehicles\ per\ hour$$

من المعادلة (أ-٣٥)، يكون متوسط مدد الرحلة للاتجاهين الشمالي والجنوبي، على التوالي،

$$T_{nave} = 2{,}61 - \left(\frac{60(1{,}5 - 1{,}0)}{1336}\right) = 2{,}59\ \text{minutes}$$

$$T_{save} = 2{,}42 - \left(\frac{60(0{,}5 - 1{,}0)}{996}\right) = 2{,}45\ \text{minutes}$$

من المعادلة (أ-٣٦)، تكون السرعات متوسطة المدى للاتجاهين الشمالي والجنوبي، على التوالي،

$$S_n = \frac{60(2{,}01)}{2{,}59} = 46{,}6\ \text{km/hr}$$

$$S_s = \frac{60(2{,}01)}{2{,}45} = 49{,}2\ \text{km/hr}$$

أ-٦-٣ دراسات زمن الانتقال الأخرى:

أ-٦-٣-١ مراقبة المركبة:

تشير طرق مراقبة المركبات إلى التقنيات التي يستخدمها فريق الدراسة، والتي ستُختار من خلالها المركبات التي ستراقب وتُدرَس دون تدخل. وتشكل لوحة التسجيل والمقابلة وطرق التقنية اللاسلكية جزءًا من مجموعة الأساليب هذه.

أ-٦-٣-١-١ طريقة لوحة التسجيل:

توفر هذه الطريقة بيانات عن زمن الانتقال فقط؛ حيث يمكن من خلالها حساب متوسط سرعة الانتقال بمجرد قياس المسافة بين نقاط المراقبة. ولا يلزم توفر مركبة اختبار. ينبغي أن يتمركز المراقبون/المسجلون عند المدخل والمخرج الخاصين بالقطاع الخاضع للاختبار وعند التقاطعات الرئيسة الأخرى أو النقاط محل

الدراسة على طول الطريق. هناك أربع طرق يمكن تنفيذها لمطابقة لوحة التسجيل: يدويًا أو حاسب محمول أو فيديو يحتوي على نسخ يدوي أو فيديو مع برنامج التعرف على الأحرف (Turner, et al., 1998).

ولمطابقة لوحة التسجيل يدويًا، عندما تمر المركبات أمام المراقبين في كل موقع، ينبغي عليهم تسجيل آخر ثلاثة أو أربعة أرقام من بطاقة الترخيص وذلك إلى جانب الوقت من ساعة الإيقاف باستخدام قلم وورقة أو على شريط صوتي. كما يمكن للمراقب تسجيل أرقام لوحات الترخيص المصحوبة بطابع زمني تلقائي باستخدام جهاز حاسب محمول. ويمكن أيضًا جمع أرقام لوحات الترخيص باستخدام الفيديو. ومن الممكن معالجة الفيديو لاحقًا باستخدام الكتابة اليدوية، وتشتمل هذه العملية على وجود محلل في المكتب يشاهد الفيديو ويسجل أرقام لوحات الترخيص. يمكن استخدام برنامج التعرف على الأحرف على بيانات الفيديو التي ترغب في التعرف على الأحرف الموجودة على لوحات الترخيص وتسجيلها تلقائيًا.

وباستخدام إحدى طرق جمع البيانات الأربع هذه؛ فإنه ينبغي مطابقة أرقام لوحات الترخيص والأوقات في المكتب، وذلك إما يدويًا أو بواسطة جهاز الحاسب؛ للحصول على مدد الرحلة. عادةً ما توفر عينة بحجم ٥٠ رقم ترخيص مطابقًا دقة كافية (Box & Oppenlander, 1976). راجع الجدول (أ-٥١) للاطلاع على تقدير محدد لحجم العينة، حيث ينبغي أن يحل الحد الأدنى لعدد عمليات المراقبة محل عدد عمليات التشغيل.

أ-٦-٣-١-٢ طريقة المقابلة:

يمكن للأفراد المحددين الذين يرغبون في التعاون تقديم عينة مُرضية يمكن من خلالها الحصول على المدد التي استغرقتها الرحلة والتأخير دون استخدام مركبة اختبار أو مراقبين. وينبغي أن يُطلب من هؤلاء الناس تسجيل وقت بداية الرحلة ووقت نهايتها فيما يتعلق بالمسارات المحددة. كما ينبغي عليهم تسجيل أوقات التأخير والمدد الخاصة بها. ويُعد ذلك أحد الاختلافات بينها وبين طريقة حساب متوسط عدد المركبات، باستثناء أنه بدلًا من وجود مركبة اختبار واحدة؛ فإنه توجد مركبات اختبار متعددة. وغالبًا ما يُشكل الموظفون الذين يقودون سياراتهم إلى العمل وسائقي الشاحنات وسائقي سيارات الأجرة أشخاصًا مناسبين. وتُعد هذه الطريقة مفيدة عندما تكون هناك حاجة إلى كمية كبيرة من البيانات في وقت قصير (Pignataro, 1973). تتطلب طريقة المقابلة توافر بعض التدريب والمعدات (مثل ساعات الإيقاف) للأشخاص محل الدراسة. يمكن ألا تتساوي موثوقية النتائج مع موثوقية الطرق التي تستعين بجامعي بيانات مدربين بشكل أفضل.

أ-٦-٣-١-٣ طريقة التقنية اللاسلكية:

تستخدم طريقة التقنية اللاسلكية بيانات الوقت والموقع المستمدة من المركبات التي تعمل بنظام تحديد المواقع العالمي والتي تقوم أطراف ثالثة بقيادتها (مثل أساطيل سيارات الأجرة)، إذا كان ذلك متاحًا. ويمكن أيضًا أن تكون هذه الطريقة مناسبة للحصول على إحصائيات زمن الانتقال والتأخير لوسائل نقل غير مستخدمي المركبات.

ومن أجل تطبيق طريقة التقنية اللاسلكية، ينبغي على المحلل أولًا الحصول على مجموعة بيانات نظام تحديد المواقع العالمي. كما ينبغي توخي الحرص للتأكد من أن مجموعة البيانات التي تم الحصول عليها تعكس وسيلة النقل موضع الدراسة. ومن الممكن أن تُتاح هذه البيانات من قِبل الجهات التي تعمل على إدارة وسيلة النقل موضع الدراسة، أو من قِبل البائعين التجاريين الذين يجمعون بيانات الأسطول ويبيعونها. يجب تحديد الحد الأدنى لفترة جمع البيانات استنادًا إلى حجم المرور على الطريق ومصدر البيانات المستخدم. ويتضمن الجدول (أ-٥٥) إرشادات بشأن الحد الأدنى لعدد الأسابيع اللازمة لجمع بيانات التقنية اللاسلكية (الحد الأدنى لعدد الأسابيع لدراسة القطاع والتقاطع).

بمجرد الحصول على مجموعة البيانات، ينبغي أن يتعرف المحلل على بيانات التعريف الخاصة بها؛ حيث تختلف مجموعات بيانات نظام تحديد المواقع العالمي اختلافًا واسعًا في وتيرة إعداد التقارير والدقة المكانية وحجم العينة. تُجمَع بعض مجموعات البيانات بالفعل عن طريق (التقاط صور سريعة) لأحد الطرق أو مسارات النقل في حين أن بعض مجموعات البيانات الأخرى تكون عبارة عن مجموعات من إحداثيات خطوط الطول والعرض ذات الطابع الزمنيّ. على الرغم من اختلاف مستوى المعالجة المسبقة والتحليل، ينبغي أن يكون المحلل قادرًا على حساب معظم المقاييس المتاحة من طريقة مركبة الاختبار.

الجدول (أ–٥٥) الحد الأدنى لعدد الأسابيع لجمع بيانات الفحص (المصدر: FDOT, (2021) Table 7-4 -Revised).

نطاق السرعة ($\bar{R}$) = السرعة القصوى ـــ السرعة الدنيا = ١٦ كم/ساعة						
المتوسط السنوي للمرور اليومي / معدل التسجيل	٢٪	٥٪	١٠٪	١٥٪	٣٠٪	٥٠٪
٥,٠٠٠	٢ (١٠)	١ (٤)	١ (٢)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)
١٠,٠٠٠	١ (٥)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)

٢٠,٠٠٠	١ (٣)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٣٠,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٤٠,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٥٠,٠٠٠	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٧٥,٠٠٠	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
١٠٠,٠٠٠	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
نطاق السرعة ($\overline{R}$) = أقصى سرعة ــ أدنى سرعة = ٢٤ كم/ساعة						
المتوسط السنوي للمرور اليومي / معدل التسجيل	٢٪	٥٪	١٠٪	١٥٪	٣٠٪	٥٠٪
٥,٠٠٠	٣ (١٦)	١ (٧)	١ (٤)	١ (٣)	١ (٢)	١ (١)
١٠,٠٠٠	٢ (٨)	١ (٤)	١ (٢)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)
٢٠,٠٠٠	١ (٤)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٣٠,٠٠٠	١ (٣)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٤٠,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٥٠,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٧٥,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
١٠٠,٠٠٠	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
نطاق السرعة ($\overline{R}$) = أقصى سرعة ــ أدنى سرعة = ٤٠ كم/ساعة						
المتوسط السنوي للمرور اليومي / معدل التسجيل	٢٪	٥٪	١٠٪	١٥٪	٣٠٪	٥٠٪
٥,٠٠٠	٥ (٣٤)	٢ (١٤)	١ (٧)	١ (٥)	١ (٣)	١ (٢)
١٠,٠٠٠	٣ (١٧)	١ (٧)	١ (٤)	١ (٣)	١ (٢)	١ (١)
٢٠,٠٠٠	٢ (٩)	١ (٤)	١ (٢)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)
٣٠,٠٠٠	١ (٦)	١ (٣)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٤٠,٠٠٠	١ (٥)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٥٠,٠٠٠	١ (٤)	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
٧٥,٠٠٠	١ (٣)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)
١٠٠,٠٠٠	١ (٢)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)	١ (١)

أ-٦-٣-١-٤ طريقة مراقبة الهاتف الخلوي:

تعتمد طريقة مراقبة الهاتف الخلوي على جمع (عناوين) البلوتوث و/أو الواي فاي من المتنقلين الذين يمرون بجوار أجهزة القراءة الموضوعة على جانبي الطريق؛ حيث تعمل الأجهزة المحمولة، مثل الهواتف الخلوية والأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء، باستمرار على بث عناوين البلوتوث والواي فاي (أي عناوين MAC) لتمكين الاتصال اللاسلكي مع الأجهزة الأخرى، مثل سماعات الرأس أو مكبرات الصوت. ويمكن جمع (اختبارات الاتصال) هذه التي تُبث وتُحفَظ باستخدام الأجهزة المتاحة من مختلف البائعين.

ومن أجل حساب متوسط مقاييس زمن الانتقال، يلزم وجود جهازي قراءة على الأقل. وبشكل أساسي، تعمل أجهزة القراءة بمثابة نقاط تحكم خاصة في بداية كل قطاع من قطاعات الدراسة ونهايته. ويمكن استخدام أجهزة قراءة إضافية لزيادة دقة مجموعة البيانات. نظرًا لعدم توفر معلومات عن حركة الأجهزة بين أجهزة القراءة؛ فإنه ينبغي توخي الحرص عند تصفية مدد الرحلات الطويلة للغاية. ويرجع ذلك عادةً إلى توقف المتنقلين بين مواقع أجهزة القراءة (على سبيل المثال: حالات التوقف للتزود بالوقود أو الحصول على القهوة).

يتضمن الجدول (أ-٥٥) إرشادات بشأن الحد الأدنى لعدد الأسابيع اللازمة لجمع بيانات الفحص.

أ-٦-٣-٢ طريقة مطابقة المقياس الزمني للمركبة:

تُجرى مطابقة المقياس الزمني للمركبة عن طريق مطابقة المقاييس الزمنية للمركبات عند نقاط متتالية على أحد الطرق، ويسمح ذلك بحساب زمن الانتقال (Turner, et al., 1998). يمكن أن توفر أجهزة كشف الحلقة الاستقرائية المقاييس الزمنية للمركبات عن طريق مقارنة منحنيات التفكيك التي تنتجها المركبات الفردية. بدلًا من ذلك، يمكن استخدام المستشعرات التي تعمل بالليزر لإنشاء صورة ثلاثية الأبعاد لكل مركبة. وتستطيع مستشعرات الوزن في أثناء الحركة إنتاج مقاييس زمنية للمركبة الفردية استنادًا إلى وزن المحور وتكوينه. يمكن تطبيق تقنية الفيديو لتوفير مقاييس زمنية للمركبات على أساس سمات المركبات الفردية. ومن الممكن استخدام هذه التقنيات لإنشاء مدد الرحلة من خلال مطابقة المقياس الزمني للمركبة.

أ-٦-٣-٣ طريقة مطابقة الفصيلة:

على غرار مطابقة المقياس الزمني للمركبة؛ فإنه يمكن أيضًا مطابقة فصائل المركبات عن طريق مقارنة المقاييس الزمنية الخاصة بفصيلة المركبات عند نقاط متتالية على أحد الطرق. ويسمح ذلك بحساب زمن الانتقال (Turner, et al., 1998). ومن الممكن استخدام أجهزة الاستشعار بالموجات فوق الصوتية؛ لتحديد الخصائص الفريدة لفصائل المركبات، لا سيما المركبات الكبيرة الموجودة في أحد الفصائل.

أ-٦-٣-٣-١ طريقة المراقبة المباشرة:

باستخدام هذه الطريقة، على المراقبين عند نقطة مراقبة مرتفعة قياس زمن الانتقال مباشرة بين نقطتين على مسافة معروفة بينهما. وتتطلب هذه الطريقة إمكانية رؤية جيدة، كما أنها ليست مناسبة للقطاعات التي يزيد طولها عن ٠,٨ كم.

أ-٦-٣-٣-٢ المسوحات الجوية:

يمكن إجراء المسوحات الجوية لتحديد معلمات المرور، مثل التدفق (Turner, et al., 1998). ومن الممكن أن تشمل معدات المراقبة بالونات المراقبة، أو الطائرات ثابتة الجناحين، أو المروحيات، أو الأقمار الصناعية، أو الطائرات دون طيار. يمكن حساب كثافة المرور وأوقات المرور باستخدام صور متتالية التُقِطتْ بواسطة أحد أجهزة التصوير الجوية.

أ-٦-٣-٤ الفحص الدقيق للمركبة:

إن طرق فحص المركبات هي تقنيات يستخدمها الفريق الذي يُجري الدراسة والتي تُختار أو يُسمَح بها من قِبل السائقين أو مشغلي الأسطول. ويمكن التعامل مع كل من مقاييس السرعة والتأخير الناتجة على أنها تحليلات إحصائية. ونظرًا إلى أن بيانات الفحص مجمعة بالفعل؛ فإن المعلومات التفصيلية حول حركة المركبة (مثل عدد مرات التوقف) لا تتوافر بسهولة. بيد أنه يمكن الاستعانة بتوافر مدد الرحلة من البداية إلى النهاية في أوقات مختلفة من اليوم وأيام الأسبوع لتطوير فهم عام لسرعات السير في الممرات والتأخير التي يختبرها سائق السيارة.

عند استخدام بيانات الفحص، ينبغي على المحلل أولًا تصفية البيانات حتى تناسب نطاق الدراسة. فعلى سبيل المثال: إذا كانت فترات الذروة في منتصف الأسبوع هي محط التركيز؛ فإنه يجب استبعاد البيانات من فترات زمنية أخرى من التحليل.

يساعد الحصول على متوسط زمن الانتقال أولًا، والتطرق إلى سرعات السير بعد ذلك في تقليل تأثير القيم الشاذة، ويعكس بشكل وثيق السرعات متوسطة المدى التي يُحصَل عليها عن طريق المركبات الطائرة.

وفي حالة استخدام ظروف التدفق الحر لتطوير مقاييس التأخير، فيمكن أن يستخدم المحلل النسبة المئوية الخامسة عشرة لزمن الانتقال عبر مجموعة البيانات بأكملها (جميع أوقات وأيام الأسبوع)، أو حساب متوسط زمن الانتقال خلال فترة زمنية عندما تكون ظروف التدفق الحر متوقعة (على سبيل المثال: من منتصف الليل حتى الساعة ٦ صباحًا).

ينبغي تحديد الحد الأدنى لفترة جمع البيانات استنادًا إلى حجم المرور على الطريق ومصدر البيانات المستخدم. يتضمن الجدول (أ-٥٥) إرشادات بشأن الحد الأدنى لعدد الأسابيع اللازمة لجمع بيانات الفحص.

أ-٦-٣-٤-١ تقنيات بيانات الفحص:

أجهزة الإرسال والاستقبال القائمة على العلامات:

عادةً ما تستخدم جهات النقل أجهزة الإرسال والاستقبال القائمة على العلامات لمراقبة حالة مركبات الأسطول (Turner, et al., 1998). وتعمل هذه التقنية عن طريق تلقي مركبات الأسطول بيانات تعريف ذات طابع زمني من أجهزة الإرسال الإلكترونية المثبتة على علامة. ثم تُرسَل بيانات التعريف إلى أحد مرافق الإرسال المركزية التي يمكنها مراقبة مدى الالتزام بالجدول الزمني.

أجهزة الإرسال والاستقبال الخاصة بتحديد هوية المركبة تلقائيًا:

تُعد العلامات الإلكترونية الخاصة بالطرق ذات رسوم المرور تطبيقًا أساسيًا لأجهزة الإرسال والاستقبال الخاصة بتحديد هوية المركبة تلقائيًا. من الممكن أيضًا استخدام أجهزة الإرسال والاستقبال هذه؛ لمراقبة المرور في الوقت الحقيقي وإدارة الحوادث والحصول على معلومات المتنقلين وقياس الأداء (Turner, et al., 1998). يُسجَّل وقت الوصول إلى كل مقصورة على كل علامة. وتزود العلامات الخاصة بالطرق ذات رسوم المرور جامعي البيانات بطريقة؛ لتحديد هوية المركبات بشكل فريد، وقياس مدد الرحلة عبر إحدى المرافق بين مقصورات الرسوم. كما ستُتيح معرفة المسافة بين المقصورات حساب سرعات السير الإجمالية.

الملاحة الراديوية الأرضية:

تستخدم الملاحة الراديوية الأرضية شبكة هوائيات استقبال وأجهزة إرسال واستقبال إلكترونية موضوعة داخل المركبات (Turner, et al., 1998)؛ حيث يمكن لأحد أجهزة الحاسب الموجودة في المكتب المركزي طلب الحصول على معلومات موقع المركبة. ويؤدي ذلك إلى إرسال إشارة من المركبة إلى أبراج الراديو ومنها إلى المكتب المركزي. ومن الممكن تحديد معلومات الموقع من خلال عملية التثليث من أبراج متعددة.

طريقة الفحص باستخدام الهاتف الخلوي:

يمكن استخدام الهواتف الخلوية كإحدى طرق الفحص في إحدى الدراسات التي تتعلق بزمن الانتقال وذلك باتباع نُهج متعددة. ومن الممكن تكليف السائقين باستخدام الهواتف الخلوية الخاصة بهم للإبلاغ عن تقدمهم على طول أحد الممرات فيما يتعلق بنقاط التفتيش المحددة (Turner, et al., 1998). رغم أن هذه الطريقة أقل دقة من غيرها؛ إلا أنها يمكن أن تُشكل تكملة لبيانات زمن الانتقال من خلال التأكيد المرئي لظروف التدفق أو الاصطدامات. ويتمثل نهج آخر من نُهج طريقة الفحص باستخدام الهاتف الخلوي لتكليف السائقين بالسماح بتتبع هواتفهم الخلوية (Krygman & Schmitz, 2005).

نظام تحديد المواقع العالمي:

تقنية نظام تحديد المواقع العالمي هي إحدى تقنيات الفحص وتستخدم الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض؛ لنقل بيانات الموقع إلى المركبات المجهزة. ويمكن استخدام هذه البيانات؛ لتحديد موقع المركبة واتجاهها وسرعتها، وبالتالي، يمكن للدراسات التي تتناول زمن الانتقال استخدام هذه التقنية (Turner, et al., 1998). ومن الممكن تخزين البيانات على متن المركبة. وأما استرجاعها عند انتهاء الدراسة أو إرسالها إلى مكتب مركزي؛ فذلك إذا كان الاتصال ثنائي الاتجاه متاحًا. كما يُعد دمج تقنية نظام تحديد المواقع العالمي في نظام المعلومات الجغرافية أمرًا فعّالًا لعملية التحليل (Quiroga & Bullock, 1998).

أ-٧ دراسات الطرق السريعة والمسارات المُدارة:

أ-٧-١ مقدمة:

يتمثل الهدف من هذا الجزء في تقديم نظرة عامة عن جمع البيانات من مرافق الطرق السريعة ومرافق المسارات المُدارة الحديثة على الطرق السريعة، بما يشمل مسار المركبات ذات الاستيعاب المرتفع ومسار رسوم الاستيعاب المرتفع ومسار الطريق السريع الخاضع لدفع رسوم ومسار الشاحنات فقط الخاضعة لرسوم. تهدف كل دراسة من الدراسات الوارد وصفها في هذا الجزء إلى قياس أحجام المرور الكبيرة التي تتدفق بسرعات عالية. ومع التقدم المحرز في معدات جمع البيانات تلقائيًا، نادرًا ما تُجمَع هذه الأنواع من البيانات بطريقة يدوية؛ لذلك، فإن الجزء الأكبر من هذا الجزء مخصص لوسائل جمع البيانات الآلية باستخدام معدات جمع البيانات: المثبتة بشكل دائم أو المحمولة. من الممكن أن يكون استخدام الطرق اليدوية في جمع البيانات مناسبًا للدراسات الخاصة التي تتناول مناطق المنحدرات والتناسج، فضلًا عن عمليات الانتقال من أحد مرافق المسار المُدارة وإليه.

وتُعد إجراءات جمع البيانات عن مرافق الطرق السريعة للأغراض العامة والمسارات المُدارة متشابهة من الناحية النظرية. ولهذا، تُناقش كلاهما بشكل متزامن في معظم أجزاء هذا الجزء ويؤكَّد على الاختلافات عند الضرورة.

أ-٧-١-١ مرافق الطريق السريع العامة:

مرفق الطريق السريع هو عبارة عن طريق سريع ممتد يتكون من طريق سريع أساسي متصل بشكل مستمر، وقطاعات تناسج واندماج، وتشعب (منحدرات) ((TRB, (2022). وفي قطاعات التناسج تتسبب مداخل ومخارج الطرق المنحدرة المتتالية في حدوث احتكاك إضافي، وبالتالي يمكن أن تعمل بسعة أقل من القطاع الأساسي ذي المقطع العرضي المماثل. وينبغي بناء جميع قطاعات الطرق السريعة وفقًا لمواصفات تصميم الطرق السريعة الموضحة في كود الطرق السعودي ٣٠١ (التصميم الهندسي للطرق)، مع سرعات تصميم عالية ومنحنيات أفقية ورأسية محدودة ومنحدرات محدودة وتحكم كامل في الدخول ومسارات متعددة للمرور في كل اتجاه، والتي تُقسَّم بواسطة جزيرة وسيطة مُشجرّة أو حاجز. تمثل الطرق السريعة أعلى فئة وظيفية من مرافق النقل البري وعادة ما تحمل أجزاء كبيرة من إجمالي مطالب المرور في منطقة ما تتمتع بسرعات عالية.

يُظهر الشكل (أ-٧٤) مقطعًا لطريق سريع مكون من ست مسارات (ثلاث مسارات في كل اتجاه). تبلغ السعة الخاصة بقطاع الطريق السريع ٢,٤٠٠ سيارة ركاب مكافئة في الساعة لكل مسار (سيارة ركاب/ساعة/مسار)؛ حيث تكون سيارات الركاب المكافئة (سيارة ركاب) عبارة عن تجمع لكل من سيارات الركاب والمركبات الثقيلة (التي يتم احتسابها بأكثر من ١,٠ سيارة ركاب). وبالتالي، يمكن للمقطع الاتجاهي المكون من ثلاث مسارات للطريق السريع الموضح في الشكل (أ-٧٤) أن يسع ما يزيد عن ٧,٠٠٠ مركبة في الساعة بسهولة.



الشكل (أ–٧٤) مقطع لطريق اسريع مكون من ست مسارات – (المصدر: NRSC).

ونظرًا لأحجام المرور العالية وسرعات التشغيل المرتفعة في مرافق الطرق السريعة؛ غالبًا ما تنطوي عملية جمع البيانات من الطرق السريعة على تقنية آلية لجمع البيانات، على الرغم من وجود طرق غير آلية. تمثل الطرق السريعة العمود الفقري للبنية التحتية للنقل، ومن ثم فإنه من الشائع العثور على معدات استشعار مثبتة بشكل دائم؛ لمراقبة التشغيل المروري بشكل مستمر. يسلط الجزء الفرعي (أ-٧-٢) الضوء على عناصر البيانات الأكثر شيوعًا التي تُجمَع من الطرق السريعة. كما يؤكد على بعض دراسات الطرق السريعة الخاصة المتعلقة بإدارة الحوادث أو مناطق العمل على الطرق السريعة.

أ-٧-١-٢ مرافق المسارات المُدارة:

تُعد مرافق المسارات المُدارة أحد أشكال الإدارة المتقدمة للمرور على الطرق السريعة؛ حيث تسعى الجهات حثيثة إلى تحقيق أقصى قدر من السعة الحالية للمرافق من خلال استراتيجيات إدارة الطلب. وتُثبَّت مرافق المسارات المُدارة عادةً لمعالجة مشكلات مثل:

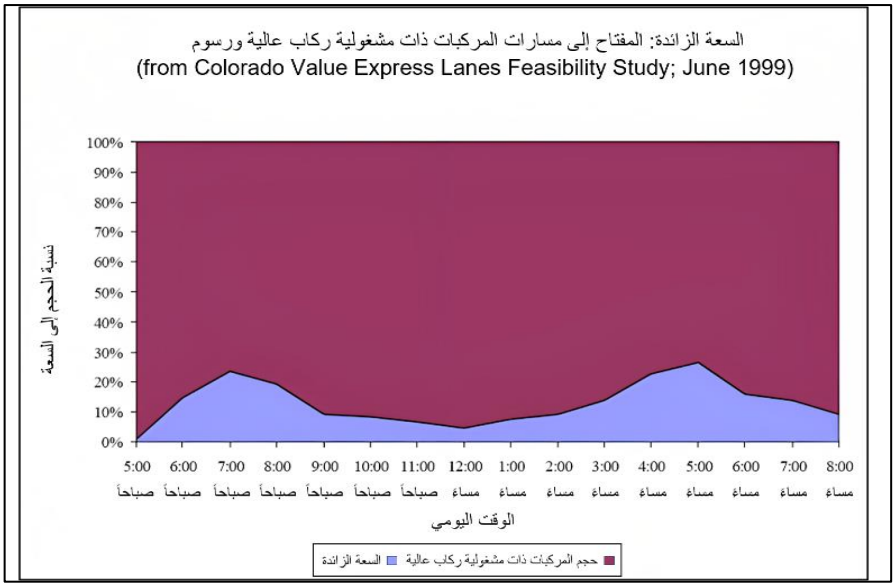
- الطلب المفرط في فترات الذروة في اتجاه واحد أو في كلا الاتجاهين.
- المشكلات المتعلقة بالسلامة نتيجة الازدحام الشديد.
- الحاجة إلى الفصل بين نوع واحد أو أكثر من المركبات في مسار واحد أو أكثر.
- الطلب المفرط على المنحدرات الذي يؤثر على عمليات الخط الرئيس.
- الحوادث المتكررة والحاجة إلى التخفيف من آثارها على وجه السرعة.
- الانبعاثات المفرطة لعوادم المركبات التي تؤدي إلى تدهور جودة الهواء في المنطقة.
- التمويل المحدود في قطاع إنشاء الطرق.

يمكن أن تشمل مرافق المسارات المُدارة استراتيجيات مثل مسار المركبات ذو الاستيعاب المرتفع، ومسار رسوم الاستيعاب المرتفع، ومسار الطريق السريع الخاضع لدفع رسوم، ومسار الشاحنات الخاضع لرسوم. وتعمل جميع الاستراتيجيات هذه إلى تقييد الدخول إلى مسار واحد أو أكثر بناءً على معايير معينة. كما يمكن أن تشمل إدارة المرور المتقدمة أيضًا استراتيجيات أخرى لإدارة الطلب، مثل ضبط المداخل إلى الطرق السريعة. وسنتناول استراتيجيات الإدارة هذه في الأقسام الآتية بمزيد من التفصيل.

أ-٧-١-٢-١ أنواع المسارات المُدارة:

مسار المركبات ذات الاستيعاب المرتفع، ومسار رسوم الاستيعاب المرتفع، ومسار الطريق السريع الخاضع لدفع رسوم، ومسار الشاحنات الخاضع لرسوم معالجات خاصة بالمسارات المُدارة مصمَّمة بهدف توفير استخدام أكثر كفاءة للسعة المتاحة للطريق السريع. يمكن أن يتطلب مسار المركبات ذو الاستيعاب المرتفع مستويات مختلفة من إشغال المركبات، والتي يُعبَّر عنها باثنين أو أكثر (٢+)، أو ثلاثة أو أكثر (٣+)، أو حتى أربعة أو أكثر (٤+) من الناس لكل مركبة. وتتكون مرافق المركبات ذات الاستيعاب المرتفع من مسار واحد أو أكثر من المسارات المخصصة التي تعطي الأولوية للمركبات ذات الاستيعاب المرتفع، والتي تهدف إلى زيادة رحلات الناس الفعلية على طول قطاع الطريق السريع دون زيادة عدد المركبات التي تستخدم المرفق (Kuhn B. et al., 2005)؛ حيث تهدف مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع إلى تقليل ازدحام المركبات من خلال تقليل عدد المركبات على الطريق مقارنة بعدد الناس الذين يتم نقلهم. بعبارة أخرى: تحافظ مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع على معدل تنقل الناس نفسه (أو أكبر منه) مع تقليل تحركات المركبات. ويزوَّد مستخدمو المركبات ذات الاستيعاب المرتفع بمسارات تعمل بمستويات ازدحام أقل، وبالتالي سرعات أعلى. ولهذا، ينبغي أن تتمتع بمدد رحلات أقل مرتبطة بمتوسط الرحلة مقارنة بمسارات الأغراض العامة، مما يُشكل دافعًا لاستخدامها.

تتشابه مرافق المسارات ذات رسوم الاستيعاب المرتفع مع مرافق مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع في أنها تسمح للمركبات ذات الاستيعاب المرتفع بالسير في مسارات منفصلة. ومع ذلك، فهي تشمل أيضًا استراتيجيات التسعير التي تسمح للمركبات التي لا تفي بمتطلبات إشغال المركبات ذات الاستيعاب المرتفع بالدفع مقابل الدخول إلى المسارات عن طريق تحصيل الرسوم بشكل إلكتروني. تستخدم هذه الاستراتيجية عادةً استراتيجية تسعير في أوقات محددة في اليوم أو استراتيجية تسعير ديناميكية مرتبطة بشكل مباشر بالطلب والسعة في المسارات ذات رسوم الاستيعاب المرتفع؛ حيث تهدف المسارات ذات رسوم الاستيعاب المرتفع إلى ملء السعة الزائدة (جزئيًا) لمسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع غير المستخدمة على نحو كامل كما هو موضح في الشكل (أ-٧٥).



الشكل (أ–٧٥) السعة الزائدة للمركبات عالية الإشغال حسب الوقت المحدد من اليوم (المصدر: Neudorff, et al., (2003) – Exhibit 9-4).

يوضح الشكل (أ-٧٥) أنه من الممكن عدم استخدام مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع بشكل كامل، وأنه من الممكن تحقيق الاستخدام المحسّن من خلال التسعير الديناميكي. ويُعد هذا الأمر مفيدًا من منطلق التصور العام نظرًا إلى أن مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع غالبًا ما يُعتقد أنها تنقل عددًا قليلًا من رحلات المركبات، رغم أن رحلات الناس الفعلية في المسار المُدار يمكن أن تكون مساوية أو أكبر من مسارات الأغراض العامة؛ بسبب ارتفاع الإشغال داخل المركبة. ترتبط السعة والتشغيل المتعلقة بأي مرفق ذي رسوم مرور ارتباطًا وثيقًا بوسائل تحصيل الرسوم، والتي يمكن أن تتراوح من الدفع اليدوي للشخص الموجود، مرورًا بتحصيل العملات بطريقة شبه الآلية، ووصولًا إلى تحصيل الرسوم بطريقة إلكترونية آلية بالكامل.

وعادةً ما تُنشأ مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ذات رسوم الاستيعاب المرتفع باستخدام إحدى الطرق الثلاث الممكنة الموضحة أدناه. تختلف التكوينات بشكل عام من حيث الشكل والسعة، وهي مدرجة هنا لأنها يمكن أن تؤثر في ممارسات جمع البيانات.

- **مسار التدفق المتزامن**: هي إحدى مسارات الطريق السريع، عادةً ما تكون المسار الأعمق، المخصّصة لاستخدام المركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ذات رسوم الاستيعاب المرتفع فقط. ولا تُفصل هذا المسار فعليًا عن المسارات الأخرى، ولكن تُحدَّد بدلًا من ذلك من خلال استخدام علامات على الطريق أو الحاجز المرسوم.
- **مسار التدفق المعاكس**: استخدام اتجاه الذروة لمسار الطريق السريع خارج اتجاه الذروة. تفصَل المرور عن المرور على الخط الرئيس المجاور في اتجاه خارج الذروة باستخدام أحد أشكال الحواجز، مثل الحواجز الخرسانية المتحركة أو الأعمدة أو الأقماع.
- **المرافق المخصصة للمركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ذات رسوم الاستيعاب المرتفع**: هي عبارة عن مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع المفصولة عن جميع مسارات الأغراض العامة (من كلا الاتجاهين) باستخدام حاجز مادي. وتُستخدم هذه المسارات بشكل خاص للمركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ذات رسوم الاستيعاب المرتفع خلال اليوم بأكمله أو جزء منه. يُمكن أن تعمل المسارات المخصصة بمثابة مسارات ثنائية الاتجاه أو متغيرة الاتجاه. تعمل المسارات متغيرة الاتجاه عادةً مع أنماط المرور الواردة والصادرة المرتبطة بالتنقل إلى منطقة أعمال مركزية.

يُعد مسار الطريق السريع الخاضع لدفع رسوم ومسار الشاحنات فقط الخاضع لرسوم مرافق مخصصة يمكن الوصول إليها فقط عن طريق دفع رسوم لسيارات الركاب والمركبات الثقيلة، على التوالي. فيما يتعلق بأغراض جمع البيانات، فهي تتشابه مع مرافق المسارات ذات رسوم الاستيعاب المرتفع، ومن ثم فإنه لن تُتناول بشكل منفصل. يتمثل أحد أوجه الاختلاف الجديرة بالتنويه عليها في أن المرافق ذات الرسوم تكون عادةً أقل عرضة لتتضمن دراسات إشغال المركبات، وهو أمر شائع في كل من مرافق المركبات ذات الاستيعاب المرتفع والمرافق ذات رسوم الاستيعاب المرتفع.

أ-٧-١-٢-٢ المسارات متغيرة الاتجاه:

تُستخدَم المسارات متغيرة الاتجاه لاستيعاب متطلبات ساعات الذروة الشديدة، خاصة عندما تتنقل المرور من إحدى مناطق الأعمال المركزية وإليها. ويمكن استخدام المسارات متغيرة الاتجاه عندما يكون هناك فرق ملحوظ في أحجام المرور الاتجاهية (بترتيب تجزؤ ٣٠/٧٠ بالمائة). وفي أحيان كثيرة، يمكن استخدام مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ذات رسوم الاستيعاب المرتفع؛ لزيادة معدل نقل الناس في اتجاه الذروة. تُوجد المسارات

متغيرة الاتجاه بين اتجاهين للمرور باستخدام حاجز مرتفع. ومن الممكن أن تقع نقاط الوصول إلى المسارات متغيرة الاتجاه على نفس المستوى أو من خلال منحدرات على مستويات مختلفة، ولكنها عادة ما تتمتع بمعدل تكرار محدود لتقليل الاحتكاك. وينبغي استخدام بوابات الحواجز واللافتات لإغلاق المرفق والتبديل إلى الاتجاه المعاكس عند الحاجة. ويحدث هذا عادةً في أوقات محددة مسبقًا من اليوم عندما يكون من المعروف أن ظروف المرور ستكون مزدحمة للغاية.

أ-٧-١-٢-٣ ضبط المداخل إلى الطرق السريعة:

يُعد ضبط المداخل إلى الطرق السريعة أحد الاستراتيجيات الفعّالة لتحسين تدفق المرور على طول الخط الرئيس من خلال التحكم في معدل عبور المركبات من مدخَل الطريق المنحدر إلى المرور على الخط الرئيس. ويؤدي ذلك إلى تحسين السعة الإجمالية على طول الطريق السريع، خاصة في أثناء الظروف المزدحمة. يمكن أن تُسبب فصائل المركبات التي تحاول دخول مسار المرور الرئيس الكثير من الاضطرابات خلال فترات الطلب المرتفع؛ لأن الفجوات في المرور تكون أقل تكرارًا. ومن الممكن أن يؤدي الاحتكاك الناتج عن دمج المرور إلى إبطاء السير في الخط الرئيس بشكل كبير، خاصةً في مسارات السير الخارجية.

يُحدَّد معدل القياس عادةً على أنه إحدى وظائف أحجام الخط الرئيس للطريق السريع عند البداية والسعة الخاصة بقطاع الطريق السريع أسفل المنحدر. ونظرًا إلى أن الخط الرئيس للطريق السريع ينقل الجزء الأكبر من المرور الإجمالية، فإن المركبات التي تسير عند مدخَل الطريق المنحدر تؤخّر؛ مما يؤدي إلى تقليل التأخير الإجمالي للنظام. وفي بعض الحالات، يمكن الحد من التأخير عند مدخَل الطريق المنحدر من خلال مساحة صف الانتظار الموجودة عند مدخَل الطريق المنحدر. من الممكن استخدام استراتيجية القياس من خلال الإشارات المرورية ووضع اللافتات باستخدام ثلاث طرق متزايدة في التعقيد: ١) جهاز قياس مضبوط مسبقًا لتوفير نمط ثابت من المركبات التي تدخل مسار المرور؛ أو ٢) خطط قياس الوقت من اليوم إلى جانب استخدام التشغيل المنطقي لتحديد نمط القياس الأمثل بناءً على معلومات المستشعرات المتعلقة بكثافة المرور على طول الطريق السريع؛ أو ٣) مفاهيم ضبط المداخل إلى الطرق السريعة الأكثر تعقيدًا باستخدام مستشعرات مثبتة على طول الخط الرئيس للطريق السريع؛ لاكتشاف الفجوات الموجودة في المرور، والتي بالتالي تستخدمها المركبات الخارجة من المنحدر.

أ-٧-٢ أنواع الدراسات:

يمكن تحليل الطرق السريعة باستخدام طرق مختلفة، لكن معظم الدراسات تهدف إلى وصف خصائص التدفق العام للمرور، أو تحديد أنواع المركبات (التصنيف) التي تتدفق في مسار المرور. وتتوافر العديد من أنواع البيانات من خلال وسائل آلية؛ وذلك باستخدام العديد من أجهزة الاستشعار المثبتة على طول الممر. تُجرى بعض دراسات الطرق السريعة في المواقع اللحظية لجمع بيانات مثل السرعة والإشغال والتصنيف والفجوات والفترة الزمنية الفاصلة (التقاطر). في حين تركز دراسات أخرى على قطاعات الطرق السريعة وتجمع البيانات التي تدور حول متوسط مدة رحلة المركبات أو أنماط الانتظار أو متوسط كثافة القطاع. كما أنه من الممكن أن تركز دراسات الطرق السريعة على الإشغال داخل المركبة (لتقدير معدل نقل الناس)، أو على الاصطدامات (لإجراء تقييم للسلامة). وتشمل دراسات الطرق السريعة الأكثر تخصصًا تلك الدراسات التي تتناول مناطق العمل على الطرق السريعة، أو تلك الدراسات التي تقيّم استراتيجيات الإخلاء بشبكة الطرق السريعة.

يصف هذا الجزء الفرعي بإيجاز كل دراسة من الدراسات التي يمكن إجراؤها. يعرض القسم الفرعي (أ-٧-٢-١) المبادئ الأساسية لدراسات الطرق السريعة في المواقع اللحظية ويسلط القسم الفرعي (أ-٧-٢-٢) الضوء على عناصر البيانات موضع التركيز على القطاعات. وينطبق كلا الجزئين على قدم المساواة على مرافق الطرق السريعة العامة والمسارات المُدارة. كما يُسلّط الضوء على أي اختلافات بين نوعي المرافق. بعد ذلك، يتناول القسم الفرعي (أ-٧-٢-٣) أكثر دراسات الطرق السريعة تخصصًا.

أ-٧-٢-١ التقييم اللحظي:

يمكن قياس غالبية بيانات الطريق السريع في المواقع اللحظية، مثل معلمات الكثافة، والتدفق والسرعة، وتوزيع الفجوات، وتصنيفات المركبات. وبفضل معدات جمع البيانات الآلية الحديثة، أصبح من الشائع على نحو متزايد أن تكون قطاعات كبيرة من الطرق السريعة الحضرية والريفية مزودة بمستشعرات دائمة تزود الجهات بكميات كبيرة من البيانات التشغيلية المحفوظة للطرق السريعة في الوقت الحقيقي. وغالبًا ما لا تُستخدَم البيانات المتاحة عن طريق هذه المستشعرات بطرق يمكن أن توفر معلومات إضافية للمحللين الراغبين في إجراء أنواع معينة من الدراسات. يوفر الجزء الفرعي (أ-٧-٣) تفاصيل عن نوع المعدات اللازمة لإجراء هذه الدراسات ويعطي أمثلة على نشر المستشعرات الاستراتيجية واسعة النطاق على شبكات الطرق السريعة.

أ-٧-٢-١-١ التدفق:

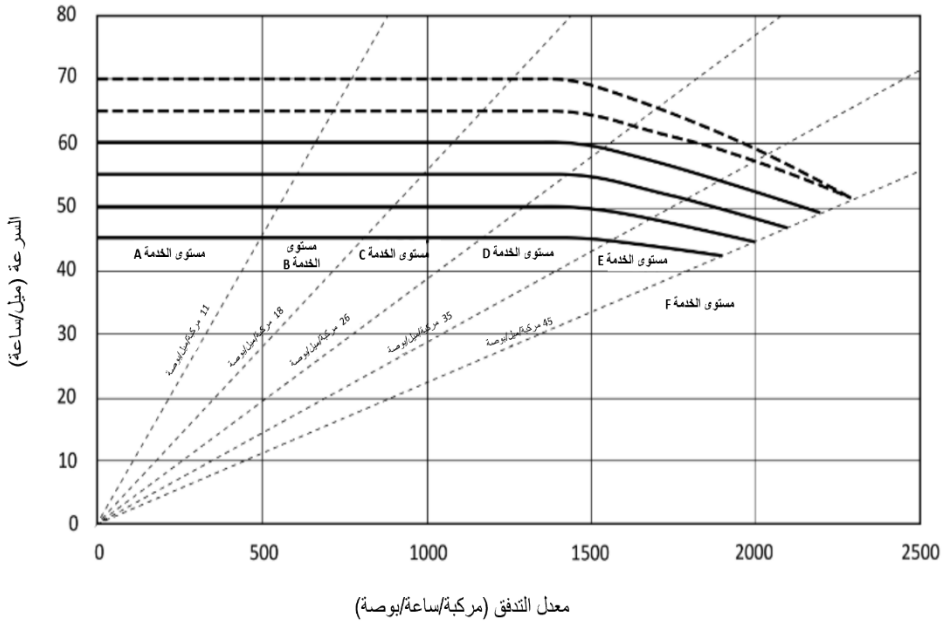
يُعرَّف تدفق المرور على أنه عدد المركبات التي تعبر نقطة محددة في فترة زمنية معينة. ويُعبَّر عن تدفقات المركبات عادةً من حيث عدد المركبات لكل الساعة (مركبة/ساعة). تُعد معدلات التدفق لمدة ١٥ دقيقة المعبَّر عنها بعدد المركبات/الساعة هي المدخلات الأساسية في تحليلات عمليات الطرق السريعة. وإذا كانت الأحجام المتاحة كمدخلات بالساعة فقط، فإنه ينبغي تحويلها إلى تدفقات مدتها ١٥ دقيقة؛ وذلك باستخدام عامل ساعات الذروة (راجع الجزء أ-٢). عادةً ما تُجرى تحليلات الطرق السريعة لاتجاه واحد للسير في المرة الواحدة. كما يمكن أن يكون من الأهمية بمكان فصل تدفق المرور حسب المسار؛ حيث إن توزيع المرور عبر مسارات متعددة عادةً ما يُعطي نتائج غير موحدة. يمكن أن يحتاج المحللون أيضًا إلى تقديرات أو قياسات للتدفقات على قطاعات الاندماج والتشعب.

تُجمَع التدفقات في المواقع اللحظية بسهولة باستخدام أجهزة الاستشعار الآلية، أو يمكن الحصول عليها عن طريق عملية العدّ اليدوية. يُمكن تركيب أجهزة الاستشعار الآلية بسهولة على الخط الرئيس للطريق السريع، أو على مدخَل أو مخرَج الطريق المنحدر الذي يؤدي إلى المرفق. وتُمثل الدراسات التي تُجرى على قطاعات التناسج بالطريق السريع تحديًا أكبر.

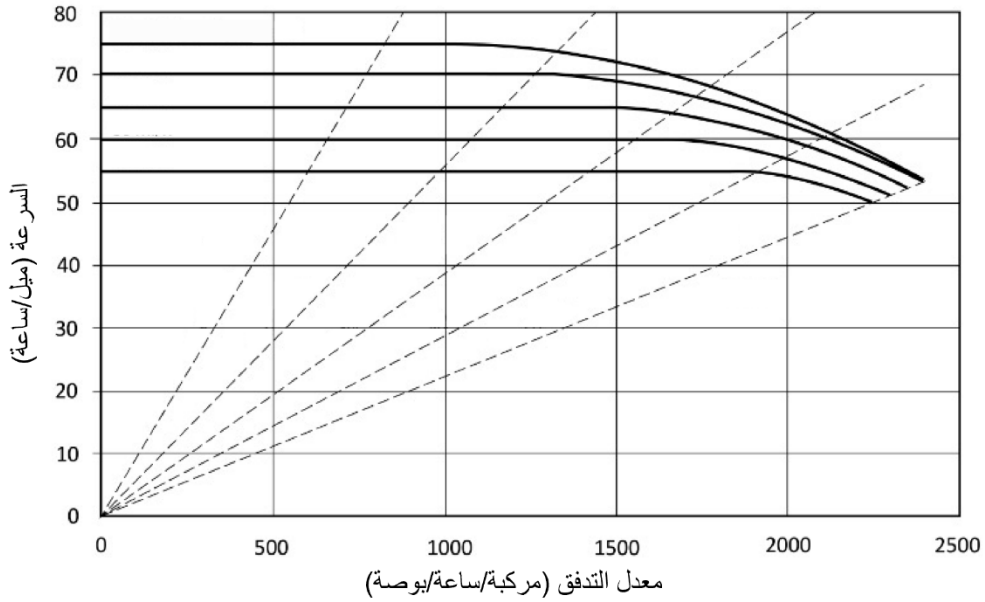
بالنسبة إلى قطاعات التناسج بالطريق السريع، فإنه لا يوصف نمط التدفق بالكامل من خلال عملية العدّ على الخط الرئيس، عند مدخَل أو مخرَج الطريق المنحدر، ومن ثم فإنه يلزم توافر تقدير إضافي لسلوك التناسج. وينبغي أن يكون تنفيذ ذلك أمرًا سهلًا عن طريق إجراء عدّ يدوي تكميلي لتقدير تدفق المنحدر إلى المنحدر. ومن خلال معرفة هذه القيمة، يمكن تقدير التدفق من مدخَل الطريق المنحدر إلى الطريق السريع عن طريق طرح التدفق من المنحدر إلى المنحدر من الطلب نحو مدخَل الطريق المنحدر. بينما يُحسَب التدفق من الطريق السريع إلى مخرَج الطريق المنحدر عن طريق طرح تدفق المنحدر إلى المنحدر من الطلب نحو مخرَج الطريق المنحدر. وبطريقة مماثلة، يُقدَّر التدفق المتبقي من الطريق السريع إلى الطريق السريع باستخدام عملية حسابية.

أ-٧-٢-١-٢ السرعة:

يمكن الحصول على متوسط سرعات المركبات في الموقع اللحظي من (رادار السرعات المخالفة) باستخدام جهازي كشف متقاربين أو بواسطة معدات أخرى آلية؛ لجمع البيانات كما هو موضح في الجزء (أ-٣). وتُعد السرعة متوسطة المدى دائمًا السرعة المستخدمة في علاقات تدفق المرور على الطرق السريعة النظرية. وفقًا لما نوقش في الملحق أ-٣. تُقدَّر السرعة متوسطة المدى على أفضل نحو من خلال مدة رحلة المركبة على مسافة طويلة، ولكن يمكن أيضًا حسابها من خلال قياسات السرعة اللحظية باستخدام متوسط السرعة التوافقية. ينتج عن حساب المتوسط الحسابي البسيط متوسط السرعة الزمانية، والذي يمكن أن يكون في بعض الحالات مختلفًا بشكل كبير عن السرعة متوسطة المدى (Roess, et al., 2004). ويوفر الجزء (أ-٣) مزيدًا من التفاصيل والأمثلة على الحسابات لكل من المقياسين. إذا كان الهدف من الدراسة يتمثل في معايرة علاقة السرعة بالتدفق، فينبغي مراقبة السرعات على نطاق من مستويات الحجم (والازدحام). يعرض الشكل (أ-٧٦) العلاقة بين سرعة الطريق السريع والتدفق ويوضح نطاق الكثافات لأحد مستويات الخدمة المعينة على منحنيات السرعة والتدفق الأساسية لقطاعات الطريق السريع الأساسية. في حين يعرض الشكل (أ-٧٧) العلاقة ذاتها التي تسري على قطاعات الطرق متعددة المسارات.



الشكل (أ–٧٦) منحنيات السرعة-التدفق ومعايير مستوى الخدمة لمقاطع الطرق السريعة الأساسية (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 12-16).



الشكل (أ–٧٧) منحنيات السرعة-التدفق لمقاطع الطرق متعددة المسارات (المصدر: TRB, (2022) – Exhibit 12-17).

أ-٧-٢-١-٣ الإشغال:

تُقاس الكثافة التي تُعد المكون الثالث لعلاقة التدفق الأساسية، على النحو الأمثل لأحد قطاعات الطريق كما هو موضح أدناه. بيد أنه وبفضل وجود أجهزة كشف المرور الدائمة؛ فغالبًا ما يكون من السهل تقدير الكثافة من خلال متوسط إشغال المركبة على أحد أجهزة الاستشعار. يختلف إشغال أجهزة استشعار إشغال الناس داخل المركبة. ويُعرَّف على أنه "نسبة الوقت الذي تشغل فيه مركبة جهاز كشف في فترة زمنية محددة" (Roess, et al., 2019). يُمكن تقدير الكثافة من خلال إشغال جهاز الاستشعار باستخدام المعادلة الآتية (وبافتراض متوسط طول المركبة، L_v).

$$D = \frac{1{,}000 \times O}{L_v + L_d}$$ **المعادلة (أ-٣٧)**

حيث إن:

D = متوسط الكثافة (مركبة/كيلومتر/مسار [مركبة/كم/مسار]).

O = متوسط إشغال جهاز الاستشعار (نسبة مئوية، والتي يتم التعبير عنها بشكل عشري).

L_v = متوسط طول المركبة (م).

L_d = طول جهاز الاستشعار (م).

طول جهاز الاستشعار، (L_d) ترتبط بالطول المادي الفعلي لجهاز الاستشعار؛ ولكن، واعتمادًا على مدى حساسية جهاز الاستشعار؛ فإن المنطقة المكتشفة الفعلية يمكن أن تكون أطول من جهاز الاستشعار المادي. وينطبق هذا بشكل خاص على المستشعرات ا(لنقطية) الأحدث، والتي يكون طولها المادي صغيرًا للغاية. وبشكل نموذجي، تقوم الشركة المصنعة للمعدات بمعايرة قياس الإشغال بشكل مسبق لتقديم تقدير للكثافة في مخرجات البيانات.

أ-٧-٢-١-٤ التصنيف:

يمكن أيضًا استخدام مستشعرات المرور؛ لتقدير توزيع فئات المركبات داخل مسار المرور، عن طريق تجميع المركبات حسب طولها. إذا كانت سرعة المركبة معلومة (على سبيل المثال: من حلقتين متقاربتين)؛ فإنه يُمكن استخدام إشغال جهاز الاستشعار لاستنتاج طول المركبة.

وتُعد حركة مرور المركبات الثقيلة أحد المكونات الرئيسة في تقييم عمليات الطريق السريع. إن دراسة التصنيف أمرٌ شائع. تستهلك المركبة الثقيلة سعة أكبر من سيارة الركاب.

يتضمن القسم الفرعي (أ-٢-١-٣) معلومات عن مخطط تصنيف المركبات المطبق (الشكل أ-٣). بالنسبة إلى التحليلات للأنواع المذكورة في دليل سعة الطرق. تُحدَّد فئتان من المركبات الثقيلة: الشاحنات ذات الوحدة الواحدة ومقطورات الجرار. يتم التعامل مع

الحافلات والمركبات الترفيهية على أنها شاحنات ذات وحدة واحدة في دليل سعة الطرق. ويتم التعامل مع التصنيفين ٤ و٥ على أنهما شاحنات ذات وحدة واحدة من قِبل دليل سعة الطرق، بينما تُعد التصنيفات ٦ وأعلى بمثابة مقطورات جرار.

كما يُقدَّم منهجان متميزان؛ لتقييم تأثير المركبات الثقيلة فيما يتعلق بالسعة ومستوى الخدمة على الطرق السريعة:

١- عوامل تكافؤ سيارة الركاب التقليدية التي تُتيح للمحلل إمكانية تحويل مسار مختلط من المركبات والشاحنات إلى مسار تكافؤ سيارة ركاب موحد لأغراض التحليل.
٢- ونموذج التدفق المختلط الذي يقيّم بشكل مباشر السعة والسرعة والكثافة الخاصة بتدفقات المرور التي تتضمن نسبة كبيرة من المركبات الثقيلة التي تسير على منحدر واحد أو منحدرات مركبة. وعند استخدام نماذج التدفق المختلط؛ فإنه لا توجد حاجة إلى معرفة تكافؤ سيارة الركاب نظرًا إلى أنه أحجام سيارة الركاب والشاحنات ذات الوحدة الواحدة ومقطورات الجرار بشكل مباشر في تقدير السرعة والكثافة الخاصين بالتدفق المختلط.

تؤثر المركبات الثقيلة، خاصةً في المنحدرات المرتفعة والمنخفضة، على التشغيل المروري بسبب السرعات البطيئة، إما لأن قوة تسارعها محدودة، أو لأنها تحتاج إلى إبطاء السرعة والتحول إلى سرعات أقل لأسباب تتعلق بالسلامة. بالإضافة إلى ذلك، تتمتع المركبات الثقيلة بتأثير أكبر على تدهور ظروف سطح الطريق مقارنةً بسيارات الركاب.

ولهذا، يمكن أن يكون عدّ التصنيف أمرًا مهمًا من حيث تصميم سطح الطريق وجداول صيانته.

وهو مناسب لاستخدامات أخرى. إلى جانب الدراسات على مستوى التخطيط وبرامج إدارة سطح الطريق، يمكن أن يكون نوع التصنيف الدقيق موضع اهتمام. تحتوي أجهزة كشف المودم والبرامج المرتبطة بها على خوارزميات مدمجة تقوم بتحويل أنماط المحور إلى حاويات البيانات الخاصة بالمركبات الثقيلة.

أ-٧-٢-١-٥ الفجوات والفترات الزمنية الفاصلة (التقاطر):

توفر أجهزة كشف المرور الموجودة على الطرق أيضًا تقديرات عن الفترات الزمنية الفاصلة والفجوات على أساس كل مسار. تُعرف الفترة الزمنية الفاصلة بأنها الفترة الزمنية بين وصول مركبتين متتاليين إلى موقع ثابت (أحد أجهزة الاستشعار) مُقاسًا من النقطة ذاتها على المركبتين (على سبيل المثال: من المصد الأمامي إلى المصد الأمامي). وتُعرف الفجوة بأنها الفترة الزمنية بين مغادرة المركبة لجهاز الاستشعار (المصد الخلفي) ووصول المركبة التالية (المصد الأمامي). ويُمثل الفرق بين الفترة الزمنية الفاصلة والفجوة الذي قيس بين مركبتين وقت إشغال المركبة الأولى على جهاز الاستشعار.

ترتبط الفترات الزمنية الخاصة بالفجوات والفترات الزمنية الفاصلة بالمسافة النسبية بين المركبتين، وتكون بمثابة دالة على سرعة المركبة. سيحافظ السائق الذي يسير خلف مركبة بفترة زمنية فاصلة مقدارها ثانيتين على مسافة أكبر بالسير بسرعات أعلى مقارنةً بالسير بسرعات أقل. حيث من المفترض أن تصف الفترات الزمنية الخاصة بالفجوة سلوك السائق بشكل أكبر من مسافات الفجوة؛ نظرًا لكونها ثابتة على نطاق من السرعات المرصودة، بينما تتغير المسافات.

يمكن أن تكون دراسة الفترة الزمنية الفاصلة مفيدة في استخدامات نظرية تدفق المرور لتقييم توزيع وصول المركبات الذي يمكن استخدامه، على سبيل المثال: بتقديره أحد المدخلات في نماذج المحاكاة (راجع الجزء أ-٩). ويمكن أن تكون دراسة الفجوات في المرور على الطرق السريعة مفيدة لتحليل استراتيجيات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة؛ حيث يُستعان بالطلب نحو مدخَل الطريق المنحدر بتقديره دالة للفجوات الموجودة في مسار/مسارات الطريق السريع الخارجية. كما أنه من الممكن أن تعطي دراسة الفجوات على الطريق السريع نظرة فاحصة على سلوك متابعة السائق؛ حيث تكون الفجوات القصيرة (عند السير بسرعة عالية) دليلًا على سلوك السائق العدواني (والمحفوف بالمخاطر). وتُعد دراسات الفترات الزمنية الفاصلة والفجوات أكثر تخصصًا من دراسات السرعة والتدفق والإشغال.

أ-٧-٢-١-٦ الامتثال:

تُجرى دراسات الامتثال عادةً عند التقاطعات أو بالقرب منها فيما يتعلق بمختلف أجهزة التحكم المروري. بيد أنه يمكن دراسة الامتثال في أي مكان يمكن أن يحدث فيه تجاهل للوائح أو قوانين المرور. وتُجيب دراسات الامتثال بشكل أساسي على الأسئلة "بنعم/لا". يُمكن أن تُمثل عملية جمع البيانات على الطرق السريعة المزدحمة ذات السرعة المرتفعة تحديًا كبيرًا، خاصَّة إذا كان الهدف منها تحديد المخالفين في إحدى مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع. وتتطلب دراسات الامتثال المتعلقة بالمركبات ذات الاستيعاب المرتفع من المحلل تقدير عدد الناس داخل المركبة، وهو أمر لا يمكن تنفيذه باستخدام المستشعرات الآلية. عوضًا عن ذلك، يمكن أن تكون هناك حاجة إلى استخدام تسجيلات الفيديو على جانبي الطريق أو أعلى الطريق أو الملاحظات اليدوية للحصول على عينات من سلوك السائقين.

وتُعد دراسات الامتثال الأخرى على الطرق السريعة أكثر بساطة. يُحدَّد المخالفون في المرافق ذات الرسوم بشكل تلقائي إذا لم يكن هناك اتصال بين المركبة وقارئ بطاقات رسوم المرور. وبطريقة مماثلة، يتم الحصول على مخالفات المسارات المحظورة على الشاحنات بشكل تلقائي من بيانات التصنيف.

أ-٧-٢-١-٧ إشغالية الشخص والحافلة/النقل العام:

في بعض الحالات، يمكن أن تشمل دراسة الطريق السريع جمع البيانات عن فئات المركبات الخاصة، مثل المركبات عالية الإشغال ومركبات النقل العام. وتعتمد معظم مقاييس الأداء للطرق السريعة على مقاييس مركبة/ساعة، والتي تميل إلى التقليل

من أهمية مزايا المركبات ذات الاستيعاب المرتفع ووسائط النقل العام فيما يتعلق بإجمالي معدل نقل الناس في المرفق. يُوصى باستخدام مقاييس الفعالية المستندة إلى الناس لوسائط النقل هذه؛ لأن المركبات متعددة الإشغال يُفترض أنها تحل محل العديد من المركبات (الشخصية). وبهدف تقدير معدل نقل الناس في أحد مرافق النقل، ينبغي إجراء دراسة عن إشغال المركبات.

ويمكن الحصول على البيانات المتعلقة بإشغال المركبات لمركبات النقل العام بسهولة من هيئة النقل وباستخدام منهجيات جمع البيانات الموضحة في القسم الفرعي (أ-١٠-٢-٢).

ينبغي أن يُجرى إشغال الناس بالمركبات ذات الاستيعاب المرتفع بشكل يدوي في الميدان. تحتاج دراسة الإشغال اليدوي إلى الكثير من الوقت والعمالة، ولكنها موثوقة وفعّالة بشكل أكبر من الأساليب الآلية التي تعتمد على معالجة صور الفيديو. ويُقاس إشغال الناس على النحو الأفضل في المناطق الانتقالية، مثل المنحدرات أو نقاط الوصول إلى إحدى المسارات المُدارة؛ حيث من المتوقع أن تكون سرعات المركبات أقل. من غير الواقعي جمع البيانات عن كل مركبة وبدلًا من ذلك، ينبغي على المحللين استخدام مخطط أخذ عينات عشوائية عن طريق اختيار كل مركبة ذات قيمة (n^{th}) وتعتمد قيمة (n) على حجم المرور وتدفقها وسرعتها والقدرة على مراقبة الإشغال وتسجيله. كما يضمن تكرار المُعاينة بصورة ثابتة (على سبيل المثال: n= 10) إجراء دراسة غير متحيزة.

أ-٧-٢-٢ دراسات القطاعات:

تُحدّد القياسات المباشرة؛ لكثافة القطاع ومتوسط مدد الرحلة، وصفوف انتظار المركبات الناتجة عن الازدحام بشكل مناسب أكثر على مستوى القطاع.

أ-٧-٢-٢-١ الكثافة:

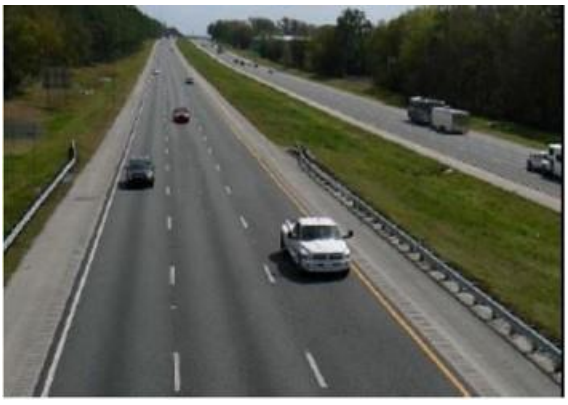
من الممكن معرفة الكثافة بشكل تقريبي من خلال إشغال جهاز الاستشعار، ولكن من الممكن أيضًا قياسها مباشرةً وذلك عن طريق قسمة عدد المركبات الموجودة في أحد القطاعات على طول القطاع (مركبة لكل كيلومتر). ويمكن الحصول على التقديرات الفوريَّة لكثافة القطاعات عن طريق التصوير العلوي والجوي؛ بيد أن هذا النهج يؤدي إلى زيادة نفقات جمع البيانات. في حالة استخدام التصوير الجوي لتقدير الكثافة؛ فإنه ينبغي التقاط صورة على فترات منتظمة (على سبيل المثال: كل نصف ساعة) خلال فترة الذروة باستخدام طائرة أو طائرة هليكوبتر أو طائرة دون طيار. وينبغي على المحلل بعد ذلك حساب عدد المركبات على طول قطاع معلوم (على سبيل المثال: بين تقاطعين) للحصول على تقدير متوسط للكثافة في تلك الفترة الزمنية (Dowling, 2007).

بدلًا من ذلك، يمكن استنتاج الكثافة من قياسات الإشغال في المواقع اللحظية. كما وترتبط الكثافة بمعلمات تدفق المرور (v بعدد المركبات في ساعة لكل مسار) وبالسرعة متوسطة المدى (s، بالكيلومترات لكل ساعة) وذلك من خلال المعادلة الأساسية:

$$d = \frac{v}{s}$$ **المعادلة (أ-٣٨)**

وبالتالي يمكن حساب الكثافة من قياسات المعلمتين الأخريين (Dowling, 2007). تُعد الكثافة المقياس المستخدم؛ لتحديد مستوى الخدمة لعمليات الطريق السريع كما هو موضح في الشكل (أ-٧٦). ويُعرَض تمثيل مرئي لظروف الكثافة المختلفة وفئة مستوى الخدمة المقابلة في الشكل (أ-٧٨).

مستوى الخدمة = A



مستوى الخدمة = B



مستوى الخدمة = C

مستوى الخدمة = D



مستوى الخدمة = E



مستوى الخدمة = F





الشكل (أ–٧٨) أمثلة على مستوى الخدمة لمقاطع الطرق السريعة الأساسية (المصدر: TRB, (2022). Exhibit 12-14).

أ-٧-٢-٢-٢ زمن الانتقال والتأخير:

ترتبط مدد الرحلة ارتباطًا مباشرًا بجودة الخدمة التي يلمسها المستخدم في مرفق النقل أكثر من ارتباطها بمفهوم الكثافة (من الناحية الهندسية)". وهي مفيدة في اتخاذ قرارات التوجيه بشأن مرافق المسارات المُدارة وتُستخدم لتعيين هيكل التسعير النسبي للمسارات ذات الرسوم قياسًا على مسارات الأغراض العامة.

نوقش قياس زمن الانتقال بالتفصيل في الجزء (أ-٦)، مثل نظرة عامة على أحدث التقنيات، كأجهزة الإرسال والاستقبال ذات الرسوم والتقنية اللاسلكية (مثل: الهواتف الخلوية، أو أجهزة التي تعمل بتقنية البلوتوث)، وتقنية نظام تحديد المواقع العالمي التي يُمكن استخدامها؛ للحصول على بيانات زمن الانتقال. ومن خلال استخدام هذه التقنيات، ازداد مدى توافر بيانات زمن الانتقال بشكل كبير؛ ولذلك تُستخدَم على نحو أكثر تكرارًا في الممارسة العملية في الوقت الحاضر. تندرج مفاهيم زمن الانتقال أيضًا في مقاييس موثوقية زمن الانتقال كما هو موضح في الجزء الفرعي (أ-٧-٤).

كما تُستخدَم زمن الانتقال أيضًا في تقدير التأخير لأحد المرافق، وذلك عن طريق طرح زمن الانتقال للتدفق الحر من متوسط زمن الانتقال المرصود ميدانيًا. ومن الممكن قياس زمن الانتقال للتدفق الحر على الطريق السريع في أثناء ظروف خارج أوقات الذروة، أو يمكن معرفتها بشكل تقريبي؛ وذلك عن طريق قسمة طول القطاع على سرعة التدفق الحر. يُستخدم التأخير عادةً لتقدير التكلفة التي يتكبدها المستخدم بسبب الازدحام وذلك عن طريق ضرب إجمالي التأخير (لأوقات المركبة) في متوسط إشغال المركبة (عدد الناس لكل مركبة)، ثم في تقدير مالي لقيمة المدة (بالريال السعودي لكل شخص في الساعة). وتعطي التكلفة الناتجة التي يتكبدها المستخدم (بالريال السعودي)؛ تقديرًا تقريبيًا للأثر المالي للازدحام المروري، وبطريقة مماثلة، للمزايا التي يتم الحصول عليها من استراتيجيات تخفيف الازدحام.

أ-٧-٢-٢-٣ صفوف الانتظار:

تُعد صفوف الانتظار أحد مقاييس الأداء الرئيسة الواردة من تحليل مرافق الطرق السريعة، بالإضافة إلى الدراسات القائمة على المحاكاة.

هناك ثلاث طرق أساسية لتقدير صفوف الانتظار بالطرق السريعة ميدانيًا.

١- يمكن للمحلل تقدير المدى المكاني لصفوف الانتظار من حالات انخفاض السرعة على محطات أجهزة الاستشعار الدائمة. وتكمن مشكلة هذه الطريقة في أن نشر مستشعرات المرور ليس مستمرًا، وحتى باستخدام الأنظمة المتقدمة للغاية؛ فإنه لا يزال هناك مسافة مقدارها ٨٠٠ متر. تُعد بيانات صفوف انتظار المركبات (مُتقطّعة)، وتُعد الافتراضات بأن حد سرعة أو كثافة (إشغال) معين يتوافق في الواقع مع حالة صف الانتظار أمرًا ضروريًا.

٢- حيث يستطيع المحلل فحص صفوف الانتظار مباشرة في الميدان، أو من خلال الفيديو باستخدام المراقبة البصرية في نقاط المراقبة الثابتة. ونظرًا لاختلاف المدى المكاني لصفوف الانتظار؛ فإن استخدام كاميرات فيديو المثبتة مسبقًا لمراقبة الطريق السريع يكون عادةً أكثر موثوقية من عمليات المراقبة من موقع مراقب على أحد جانبي الطريق أو الجسر. كما تتمتع العديد من مراكز إدارة المرور الحديثة على الطريق السريع بإمكانية الوصول إلى نشر مجموعة واسعة من كاميرات الفيديو التي يمكن استخدامها لمراقبة صفوف الانتظار من داخل مركز إدارة المرور. وتُعد هذه الطريقة في جمع بيانات صفوف الانتظار غير آلية وتتطلب قدرًا من التقييم بشأن متى تُقدَّر المركبة في حالة انتظار. وقد يكون من الصعب أيضًا رؤية الموقع الدقيق للجزء الخلفي من صف الانتظار اعتمادًا على زاوية الفيديو. يوفر الجزء (أ-٤) منهجية لإجراء دراسة صفوف الانتظار للنهج المتبع إزاء التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية. وتسري المنهجية العامة ذاتها هنا، مع التنويه على أن صفوف الانتظار أكبر بكثير من حيث المدى المكاني والمدة الزمنية. ولهذا السبب من المقبول زيادة الفترة الزمنية للتحليل من دقيقة إلى خمس دقائق، واستخدام توزيع مدته خمس دقائق للجزء الخلفي لصف الانتظار؛ لوصف نظام الانتظار.

٣- يمكن للمحلل تسجيل صفوف الانتظار من داخل المركبة التي تسير في الاتجاه المعاكس لمرافق الطريق السريع المزدحمة (والتي عادةً ما تقود ببطء على طول الكتف مع إضاءة أضواء الخطر). عادةً ما تكون أنماط المرور في ساعة الذروة اتجاهية، وبالتالي تكون الظروف في الاتجاه المعاكس أقل ازدحامًا. ونظرًا لسرعات الطرق السريعة والمهمة المعرفية المتضمنة، ينبغي ألا يكون المحلل هو الشخص الذي يقوم بقيادة المركبة، وينبغي ألا يصرف انتباه مشغل المركبة عن مهمة القيادة. يمكن أن تكون أطوال صفوف الانتظار مرتبطة بعلامات الكيلومتر الموضوعة على جانبي الطريق السريع أو عبر نقاط الطريق في معدات نظام تحديد المواقع العالمي. ومن الممكن أيضًا دمج هذا الشكل من دراسة صف الانتظار بسهولة مع دراسة زمن الانتقال للمرفق المزدحم في رحلة العودة.

يعتمد اختيار منهجية دراسة صف الانتظار المناسبة في نهاية المطاف على مدى تغطية جهاز الاستشعار، ووجود كاميرات فيديو علوية والقدرة على رؤية المدى المكاني لصف الانتظار من الفيديو، أو اتجاه السير المعاكس. ويُعد حجم العينة أحد التقديرات المهمة، وذلك نظرًا إلى أن السير من الميدان وإليه يُمكن أن يستغرق وقتًا طويلًا.

تتمثل إحدى النقاط المهمة الأخرى فيما يتعلق بالانتظار على الطريق السريع في أن أنماط الانتظار تتأثر بشكل كبير بمصدر الازدحام. فعلى سبيل المثال: يمكن أن يكون صف الانتظار ناتجًا عن اختناقات مرورية ثابتة؛ حيث يتجاوز الطلب السعة (الثابتة). في هذه الحالة، سيزداد صف الانتظار باتجاه بداية موقع الاختناق المروري. ومع انخفاض الطلب؛ سيبدأ صف الانتظار في التحرك من الخلف باتجاه موقع الاختناق المروري. من ناحية أخرى، إذا كان صف الانتظار ناتجًا عن وقوع حادث مثل الاصطدام أو الإغلاق المؤقت للمسار؛ فيمكن أن يكون طلب القطاع ثابتًا، بينما تكون السعة متغيرة. وستؤدي السعة المنخفضة مجددًا إلى تكوين صف انتظار يزداد عند بداية موقع الاختناق المروري. ومع ذلك، بمجرد معالجة الحادث واستمرار تدفق الطلب؛ سيتحرك عندها صف الانتظار من الأمام، مما يمكن أن يُشكل بعض التحديات على عملية جمع البيانات. في تنويه آخر، يمكن أن يرجع سبب صف انتظار الطريق السريع إلى مصدر مزدحم متحرك مثل مركبة ثقيلة بطيئة الحركة أو موكب عسكري. وفي مثل هذه الحالات، تتحرك وتيرة الاختناق المروري منخفض السعة وتسير صفوف الانتظار الناشئة مع مصدر الازدحام. يحتاج المحلل إلى أن يكون على دراية بأنماط الانتظار الخاصة في القطاع موضع الدراسة، ويحتاج إلى تكييف استراتيجية جمع البيانات وفقًا لذلك، وربما باستخدام مركبة متحركة ثانية في اتجاه السير المعاكس لجمع بيانات مماثلة في فترات زمنية محددة.

تُجرَى دراسات صفوف الانتظار أيضًا بالقياس إلى استراتيجيات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة بهدف تقييم أنماط الانتظار على المنحدر المقاس. وتُعد هذه دراسات صفوف انتظار متشابهة من الناحية النظرية عند التقاطعات كما هو موضح في دراسات التقاطعات .

أ-٧-٢-٢-٤ السلامة:

تتأثر عمليات الطريق السريع بشكل كبير بحوادث الاصطدام والحوادث الأخرى. ويعزى جزء كبير من الازدحام إلى الحوادث التي تؤدي إلى خسائر كبيرة سنويًا في الإنتاجية، بالإضافة إلى الخسائر المحتملة في الأرواح البشرية والإصابات الشخصية (Farradyne, 2000). ويساعد توافر أنظمة الكاميرات في دراسات سلامة الطرق السريعة المجهزة. على الرغم من أن هذه الأنظمة لا تُستخدم عادةً لتسجيل عمليات المراقبة المستمرة (وبالتالي لن يكون لديها سجل بالحادث)؛ إلا أنها تسمح للهيئة بتحديد موقع حادث الاصطدام بسرعة. وهذا الأمر مفيد بشكل خاص في تقليل مقدار وقت الاستجابة للحوادث، والذي من شأنه أن يؤثر بشكل كبير في عمليات أحد مرافق الطريق السريع. فيما يتعلق بتأثيرات التكلفة التي يتكبدها المستخدم بسبب الازدحام غير المتكرر على الطرق السريعة؛ فإن تقليل وقت الاستجابة للحوادث يُمثل أحد الأهداف الرئيسة للعديد من الجهات. وبشكل عام، تُستخدم دراسات سلامة الطرق السريعة لتقييم ميزات التصميم المحددة (نوع الحاجز، عرض الجزيرة الوسطية، أنصاف أقطار المنحنى) أو استراتيجيات الممارسات الاعتيادية، مثل الحد الأقصى للسرعة، أو القيود المفروضة على الشاحنات، أو الإنفاذ المعزز. يمكن الاطلاع على المتطلبات والإرشادات الخاصة بعمليات الفحص والتدقيق المتعلقة بالسلامة في كود الطرق السعودي ٦٠٣ (سلامة الطرق) (الباب ٤).

أ-٧-٢-٣دراسات الطرق السريعة الخاصة:

أ-٧-٢-٣-١ إدارة الحوادث:

تحدث حوادث المرور بشكل عشوائي وتؤدي إلى انخفاض السعة المتاحة للطريق. وتشمل الحوادث مشكلات مثل: الاصطدامات والمركبات المعطلة والبضائع المنسكبة. تُعرَّف إدارة حوادث المرور بأنها "الاستخدام المنهجي والمخطط والمنسق للموارد البشرية والمؤسسية والميكانيكية والتقنية لتقليل مدة حوادث المرور وتأثيرها، وتحسين سلامة سائقي المركبات وضحايا حوادث الاصطدام والمستجيبين لحوادث المرور" (Kuhn B. et al., 2005). حيث يؤدي الاستخدام السليم للأدوات المتاحة إلى تقليل الوقت اللازم لاكتشاف حادث مروري والتحقق منه، وتنفيذ الاستجابة المناسبة، ومعالجة مسرح الحادث بسرعة وأمان حتى تُستعاد السعة. وتتضمن الدراسات التي يتم إجراؤها لتقييم إدارة الحوادث تقييمًا للاستجابة للحوادث وأوقات معالجتها، وكيف يمكن تقليل أحدهما من خلال تحسين إدارة الحوادث. يمكن أن يدرس المحللون أيضًا متوسط تأثيرات الانتظار وتأخير المركبات المرتبطة بالحوادث واستراتيجية الإدارة كما هو مبين في القسم الفرعي(أ-٧-٢-٢).

أ-٧-٢-٣-٢ مناطق العمل:

إن إدراك تأثير مناطق العمل الموجودة على الطرق السريعة على الجمهور المتنقل يتطلب من الجهات التنبؤ بشكل أفضل بالتكاليف المرتبطة بمناطق العمل التي يتكبدها المستخدمون وإدارتها وتقييمها. ويتطلب ذلك من الجهات، من بين أمور أخرى، إجراء تقييم دقيق للآثار المتوقعة لمناطق العمل ومراقبتها في أثناء عملية البناء.

لا تختلف دراسات مناطق العمل بشكل عام عن دراسات الطرق السريعة حيث تُعد المقاييس العامة ذاتها موضع اهتمام: الأحجام والسرعات ومدد الرحلات وصفوف الانتظار. ومع ذلك، فإن أحد أوجه الاختلاف بينهما يتمثل في النقص المحتمل في مصادر البيانات الآلية؛ حيث تُزال المستشعرات غالبًا في مشاريع إعادة التسطيح، أو تُحوّل المسارات مؤقتًا بعيدًا عن المستشعرات الموجودة.

أ-٧-٢-٣-٣ سيناريوهات الإخلاء:

في السنوات الأخيرة أوليت استراتيجيات الإخلاء في حالة الطوارئ قدرًا كبيرًا من الاهتمام استجابةً للكوارث الطبيعية، أو التهديدات التي تمس الأمن القومي. وأيًا كان السيناريو؛ فإن مهندسي النقل والمخططين يطورون خطط إخلاء خاصة بالمرور تتضمن عادةً حالات خاصة لعكس اتجاه السير بالمسارات على الطرق مع توفير مسارات في كلا الاتجاهين تنقل المرور بعيدًا عن منطقة الكارثة. في حين أن مرافق عكس اتجاه السير هذه تقع عادةً ضمن الفئة الوظيفية للطريق السريع؛ فإن نقاط الازدحام الحرجة تقع عند نقاط الانتقال من مسارات الطريق السريع وإليه (Kuhn B. et al., 2005). في كثير من الأحيان يجب على أجهزة إنفاذ القانون استخدام استراتيجيات خاصة للتحكم المؤقت في المرور لتوجيه السائقين إلى مرافق الإخلاء. ونتيجة لهذا التحكم المؤقت في المرور والطلبات المرتفعة المتوقعة، من المتوقع أن تكون السعة الخاصة بنقاط الانتقال أقل بكثير من السعة الخاصة بالطريق السريع في حالة الإخلاء وينبغي أن تكون محور أي دراسة لسيناريوهات الإخلاء.

نظرًا إلى أنه من غير المرجح أن يُجرَى جمع البيانات في أثناء وقوع كارثة طبيعية أو في حالة طوارئ وطنية بشكل يدوي؛ فإن المستشعرات المثبتة بشكل دائم تُعد أفضل مصدر للبيانات. عوضًا عن ذلك، تُختبَر العديد من استراتيجيات وسيناريوهات الإخلاء باستخدام نماذج محاكاة عن طريق أجهزة الحاسب.

أ-٧-٣ إجراءات جمع البيانات:

عادةً ما تتضمن عملية مراقبة أداء مرافق الطرق السريعة وتقييمها فئتين أساسيتين من البيانات: استخدام المرفق (الأحجام والسرعة والامتثال) وأداء المرفق والذي يتضمن كلًا من البيانات التشغيلية (مدد الرحلة والتأخير وما إلى ذلك) وبيانات السلامة (الاصطدامات). ويشمل تقييم أداء المرفق أيضًا إجراء دراسات قبل تنفيذ مختلف تدابير الطرق السريعة وبعد تنفيذها؛ لتحسين الكفاءة وإدارة الحوادث. يمكن جمع البيانات باستخدام مجموعة متنوعة من الوسائل مثل الطرق الآلية أو اليدوية، ويمكن إجراء العديد منها بشكل مستمر على طول المرفق أو من خلال طرق المُعاينة من المركبات (Kuhn B. et al., 2005).

يتناول الجزء الفرعي هذا البيانات المجموعة من نوعين من الطرق السريعة: مرافق الأغراض العامة والمسارات المُدارة. في حين أن التشغيل المروري على كلا النوعين من المرافق متشابهة بشكل عام؛ فإن ممارسات جمع البيانات تختلف بطريقتين. أولًا، غالبًا ما تُجهز مرافق المسارات المُدارة بمعدات جمع بيانات أكثر تطورًا، مما يسمح بإجراء دراسات أكثر آلية وأكثر تفصيلًا. بالإضافة إلى ذلك، تتمتع مرافق المسارات المُدارة بمقاييس أداء إضافية وفريدة تتعلق بها، والتي تختلف عن مرافق الطريق السريع العامة. وترتبط هذه المقاييس بإشغال المركبات واستراتيجيات أنظمة النقل الذكية وقياس السرعة في الوقت الحقيقي للتسعير الديناميكي في المسارات ذات رسوم الاستيعاب المرتفع.

أ-٧-٣-١ بيانات أداء المرافق:

توصف الخصائص التشغيلية للطرق السريعة من خلال العلاقة بين السرعة والتدفق والكثافة المستقاة من نظرية تدفق المرور. وفي أبسط صوره؛ فإن تدفق المركبات (q) (مركبة/ ساعة) هو حاصل ضرب السرعة متوسطة المدى (v) (كم/ ساعة) في كثافة المرور لعامل (k) (مركبة/ كم). ومع زيادة تدفق المرور على الطريق السريع، تزداد أيضًا الكثافة الناتجة على القطاع

موضع الدراسة، بينما تبدأ سرعة المرور في الانخفاض. ويوضح الشكلان (أ-٦٧) و(أ-٧٧) العلاقات بين السرعة والتدفق والكثافة لقطاعات الطرق السريعة الأساسية والطرق متعددة المسارات على التوالي.

تُعد هذه العلاقة الجوهرية أساس منهجيات تحليل الطرق السريعة الواردة في دليل سعة الطرق ((TRB, (2022) ويمكن أيضًا استخدامها في تحليل المحاكاة. تُمثل السرعة والتدفق والكثافة مقاييس الأداء الرئيسة على الطرق السريعة، ومن ثم فإنها مقاييس شائعة مضمنة في دراسات الطرق السريعة. وفي الوقت الحاضر من الشائع في معظم الأحيان استخدام مستشعرات على الطريق أو جانبيه؛ إلا أنه من الضروري- أحيانًا- جمع البيانات يدويًا أو من خلال وسائل غير دائمة. ونظرًا إلى صعوبة قياس الكثافة في الميدان، فإن استخدام جهاز كشف يعد بديلًا شائع الاستخدام. وبإمكان أجهزة الاستشعار أيضًا تزويد المحللين بتقدير للفجوات في المرور، والذي يمكن أن يكون أمرًا مهمًا في بعض الظروف.

إضافة إلى المقاييس الأساسية المذكورة أعلاه، غالبًا ما تهتم دراسات الطرق السريعة بالتطرق إلى تكوين تدفق المرور وتصنيف المركبات. يؤثر وجود المركبات الثقيلة بشكل مباشر على سير عمليات تدفق المرور، خاصةً في مناطق التضاريس الجبلية. تستطيع الغالبية العظمى من أجهزة الاستشعار توفير تصنيف المركبات إذا كان من الضروري معرفة عنصر البيانات هذا.

وفي نهاية المطاف، نؤكد على أن سلامة السائقين محور الاهتمام الأساسي لدى المهندسين. ويمكن أن تتأثر السلامة سلبًا بعدة طرق. فمثلًا: في أثناء ازدحام المرور، يصعب غالبًا التنبؤ المروري؛ إذ تبدأ المركبات في التسارع والتباطؤ بطريقة عشوائية. ويمكن أن تخفف تحسينات المرافق مثل مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع/ رسوم الاستيعاب المرتفع أو المسارات متغيرة الاتجاه جزءًا كبيرًا من الاصطدامات المرورية التي تتسبب في صعوبة توقع المرور. ونظرًا إلى أن العديد من معالجات المسارات المُدارة يتم تعيينها لمنع الاصطدامات المرورية غير الضرورية، فإنه ينبغي إجراء دراسات السلامة وتحديثها بشكل متكرر لتحديد فعالية سلامة المرفق على المدى الطويل.

أ-٧-٣-٢ الحصول على البيانات:

ينبغي جمع بيانات الأداء في الأساس باستخدام محطة مراقبة مستمرة؛ ومع ذلك من الضروري أحيانًا جمع البيانات باستخدام الطرق اليدوية أو نقاط جمع البيانات غير الدائمة. وتشير المراقبة المستمرة إلى استخدام الاستشعار لرصد ظروف المرور على مدى فترة زمنية معينة لاستخدامها في عمليات الطرق السريعة اليومية أو دراسات المرور. وعادة ما تكون مراقبة المرور من خلال طريقة آلية أكثر انتشارًا من الطرق غير الدائمة أو اليدوية؛ لأن الدراسات التشغيلية والتخطيطية للمرور تتم بشكل متكرر لرصد الازدحام المروري على طول المحاور الرئيسة لنظام الطريق. وتشمل الدراسات أو التطبيقات النموذجية تعدادات حجم المرور وتصنيف المركبات ودراسات الاستيعاب لوصف تدفق المرور خلال يوم عادي، وزمن الانتقال على طول الممر، وما إلى ذلك.

في بعض الأحيان، من الضروري جمع بيانات الطرق السريعة في مواقع محددة لا تحتوي على محطات مراقبة مستمرة. وعادة ما تُستخدم هذه الطرق البديلة في المناطق الحضرية حيث لا تتوفر مراقبة مستمرة أو كنقطة تفتيش مفاجئ ضد البيانات التي يتم جمعها بوسائل آلية أو جانب القطاعات التي لا توفر بيانات متسقة ودقيقة باستخدام تنسيق آلي. على سبيل المثال: يمكن أن يكون من المهم جمع البيانات في محوّلين متقاربين؛ حيث يكون الجزء المتعرج قصيرًا للغاية. عادةً لا تصلح طبيعة المرور المتعرجة الموجودة بهذا الموقع لطرق جمع البيانات الآلية؛ لأن المركبات كثيرًا ما تُحتسَب مرتين في أثناء تغيير المسارات، ناهيك عن أن المرور يمكن أن تسير ببطء شديد خلال ساعة الذروة عبر مسار واحد أو أكثر. وفي النهاية، إذا لم يتوفر لدى إحدى الجهات وسائل لجمع البيانات بطريقة آلية؛ فينبغي استخدام طرق أكثر بدائية لتحديث البيانات القديمة أو كتفتيش مفاجئ لأنماط النمو المفترضة. وعادةً ما تكون البيانات المجموعة بهذه الطريقة مخصصة لتعدادات المرور والسرعات والتصنيف.

إضافة إلى ذلك، من الضروري جمع بيانات الاصطدامات الخاصة بالقطاع المعني عند إجراء دراسات السلامة. وفي العادة، يمكن لوزارة النقل أو البلدية / الهيئة المحلية تقديم البيانات اللازمة؛ ومع ذلك، من الممكن أن يحتاج المحللون إلى جمع البيانات بأنفسهم. من المحتمل أنه يلزم توظيف طرق تحليل القطاع باستخدام علامات محددة لعدد الكيلومترات على طول القطاع.

أخيرًا، غالبًا ما يكون من الضروري إجراء مسوحات لمستخدمي طريق سريع جديد أو مرفق مسارات مُدارة لتحديد الفعالية المتصورة. ويُعد هذا مفيدًا بشكل خاص عند مقارنة النتائج الكمية الفعلية بالمزيد من النتائج النوعية.

أ-٧-٣-٣ الاحتياجات من المعدات:

تُنفذ مراقبة الطرق السريعة عادة باستخدام محطة عدّ دائمة. وعادة ما يكون موقع جمع البيانات على شكل محطة صغيرة على جانب الطريق تسمى مُسجّل المرور التلقائي أو جزءًا من محطة أكبر للوزن في أثناء الحركة. كما تُجمَع عادة البيانات على مدار الساعة وعلى مدار السنة.

يتكون مُسجّل المرور التلقائي عادةً من خزانة تحتوي على وحدة تسجيل المرور التي تخزن البيانات من جهاز كشف واحد أو أكثر على جانب الطريق أو في الطريق كما هو موضح في الجزئين (أ-٢) و(أ-٣). وفي كثير من الأحيان، تُجمَع البيانات من مُسجّل المرور التلقائي في موقع مركزي عبر الاتصال بالإنترنت حسب الحاجة. ويمكن أن يتخذ نوع جهاز الاستشعار والبيانات المجمعة أشكالًا عديدة استنادًا إلى نوع جهاز الاستشعار المستخدم. وفي العادة، يَستخدم الاستشعار الموجود في مسجلات المرور التلقائية موجات متناهية الصغر، أو أجهزة كشف نقطية، أو كشف بالفيديو أو كاميرات مراقبة.

وتُدمَج أيضًا محطات تسجيل البيانات الدائمة في محطات الوزن في أثناء الحركة. وتُستخدم محطات الوزن أثناء الحركة بشكلٍ أساسي لإنفاذ أوزان محاور المركبات الثقيلة؛ ومع ذلك، تُركَّب

العديد من أشكال الاستشعار الأخرى في مرفق الخط الرئيس المجاور للحصول على أشكال أخرى من البيانات. وفي محطات مسجلات المرور التلقائية ومحطات الوزن أثناء الحركة، يمكن تنزيل البيانات في شكل أولي، ولكن في كثير من الحالات، سيقلل البرنامج تلقائيًا البيانات ويجدولها بالتنسيق الذي يطلبه المستخدم.

توجد مجموعة من أجهزة الاستشعار المتوفرة لجمع أنواع عديدة من بيانات المرور. ولقد ورد وصف معظمها في الجزئين (أ-٢) و(أ-٣) ويشملان الحلقات الحثية وأجهزة الاستشعار النقطية والفيديو والأشعة تحت الحمرا والموجات متناهية الصغر والرادار وأجهزة الاستشعار الصوتية وشبه الدائمة التي يمكن فكها؛ لاستخدامها في مواقع أخرى. وبدلًا عن ذلك، يمكن استخدام معدات جمع بيانات آلية، في شكل مراقبة الانبعاثات والرصفيات، على الطرق السريعة. ويتمثل الاستخدام الأكثر شيوعًا للبيانات الواردة من محطات المراقبة المستمرة في تعدادات المرور؛ لتحديد المتوسط السنوي للمرور اليومي والأنماط النموذجية لحجم المرور اليومية والعوامل الموسمية وتقدير عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات. ولكل جهاز كشف مفاضلات تميزه؛ فمثلًا بعضها أقل دقة أو لا تؤدي أنواعًا معينة من الاستشعار، والبعض الآخر يحتاج إلى مزيد من الصيانة والبعض الآخر يسمح بمزيد من المرونة لتغيير موقع الاستشعار، بينما البعض الآخر أكثر تدخلًا أو يتطلب زوايا تثبيت خاصة حتى لا تغلق المركبات مجال رؤية مناطق الاستشعار المجاورة. ومن المرجح إعداد أو تركيب أنواع أجهزة الاستشعار المستخدمة في موقع محدد مسبقًا للسماح بجمع بيانات أكثر استقرارًا بهدف تحقيق المراقبة المستمرة.

ويمكن جمع العديد من أنواع البيانات نفسها المجمعة من خلال وسائل آلية بالطرق اليدوية أو غير الدائمة. ويمكن جمع البيانات يدويًا عن طريق لوحات عدّ محمولة أو باستخدام حاسب محمول مزود بعدسة تصوير مكبرة قائمة على الوقت. وفي كثير من الأحيان، تُستخدم كاميرا فيديو لتسجيل فترة زمنية محددة من الأحداث بحيث يمكن جمع العديد من أنواع البيانات في المكتب لاحقًا. وعادةً ما تستخدم الطرق غير الدائمة؛ لجمع بيانات الاستشعار من خلال الأنابيب الهوائية أو أجهزة الاستشعار النقطية المتحركة التي تتصل بوحدة جمع بيانات جانب الطريق. ولقد ورد وصفها بالتفصيل في الجزء (أ-٢) ، "*دراسات حجم المرور*".

أ-٧-٣-٤ متطلبات تدريب الموظفين:

عادةً ما تُجمَع بيانات الطرق السريعة الآلي على يد طاقم أفراد على مستوى الهيئة. وينبغي تدريب الموظفين (من البائعين أو العاملين الداخليين) على مختلف البرامج و/أو الأجهزة المستخدمة مع العديد من أجهزة الاستشعار. ومن الضروري وجود موظفين أو عاملين مدربين على دراية بكيفية استخدام الأجهزة؛ بحيث يمكن جمع البيانات الضرورية بدقة وموثوقية.

وتُنشأ معظم محطات العدّ المستمر لجمع البيانات بطريقة آلية، وتُستطلَع فقط للحصول على البيانات يوميًا أو أسبوعيًا أو حسب الحاجة. ومن بين أحد الأمثلة الشائعة هو مسجل المرور التلقائي الذي يستخدم سلسلة من أجهزة الاستشعار النقطية في جميع مسارات طريق سريع. ويمكن استخدامه لجمع البيانات المتعلقة بتعدادات حركة مرور المركبات وسرعاتها وتصنيفها وغيرها من التفاصيل الأخرى حسب المسار. ومن المفترض أن يحرص الموظفون المسؤولون عن جمع هذه البيانات على تنظيم البيانات وتخزينها بطريقة متسقة ومنظمة؛ حتى يمكن تحديدها بسرعة. ويمكن أن يكون حجم البيانات التي تم الحصول عليها بالطرق الآلية الموزعة عبر نظام النقل كبيرًا، وينبغي أن يتمكن المحلل من إدارة مثل هذه الكميات من المعلومات.

إذا تعذر جمع البيانات آليًا؛ فيجب استخدام أطقم العمل الميدانية لجمع البيانات الميدانية يدويًا، أو لإنشاء محطات الاستشعار المحمولة. وتُعد طرق جمع البيانات اليدوية في الميدان سهلة التنفيذ. ومع ذلك، ينبغي أن تُجرَى بشكل جيد خارج طريق السير لأسباب تتعلق بالسلامة. وفي العادة، تكون نقطة المراقبة العلوية هي الأفضل؛ لذلك فإنه من الشائع استخدام جسر علوي أو منحدر في المحول. وعند إنشاء محطات الاستشعار غير الدائمة؛ فإنه من الضروري أحيانًا أن تكون في الطريق أو بالقرب منه لضمان إمكانية تركيب المعدات. وفي هذه الحالة، ينبغي تركيب معدات تستخدم التحكم المؤقت في المرور خلال فترات انخفاض حجم المرور. وبالنسبة إلى عمليات تركيب معدات الطرق السريعة، يمكن أن يلزم إغلاق مسار مروري واحد أو أكثر مؤقتًا، الأمر الذي يتطلب جهدًا أكبر وربما العديد من أطقم الطرق. وفي أثناء تركيب أي مستشعرات في الطريق أو حوله، ينبغي تعيين شخص واحد على الأقل للانتباه إلى السائقين. كما ينبغي دائمًا أن يرتدي جميع الموظفين سترات السلامة العاكسة في أي مكان بالقرب من الطريق.

أ-٧-٣-٥ الإجراءات الميدانية:

تتطلب المراقبة المستمرة قدرًا بسيطًا أو معدومًا من التجهيز الميداني. ومع ذلك، يُعد جمع البيانات على الطرق مرتفعة السرعة مهمة خطيرة للغاية عند استخدام الطرق غير الدائمة أو اليدوية. ويعد التجهيز السليم أمرًا حيويًا لإعداد معدات جمع البيانات وتجميعها بأمان. كما أنه عند استخدام طرق جمع البيانات غير الدائمة، يوصى بإجراء اختبار خاضع للرقابة قبل تركيب المعدات فعليًا في الميدان. وسيساعد ذلك على تقليل مقدار التعرض للخطر في طريق سير المركبات وتوفير الوقت اللازم في الميدان والتأكد من أن جميع المعدات تعمل بشكل صحيح. وعلاوة على ذلك، تعد قائمة المراجعة أداة قيّمة ينبغي تطويرها لتغطية جميع المهام اللازمة لتركيب أي معدات.

وبمجرد فحص المعدات، ينبغي توفير متسع من الوقت لدراسة الموقع من خلال زيارة ميدانية. ويمكن أن يقدم مشرف معين فكرة تقريبية لوضع أجهزة الاستشعار المرورية على خريطة جوية. ويوفر الجزء (أ-٢) إرشادات إضافية عن استخدام أجهزة الاستشعار غير الدائمة على الطرق مهما كان نوعها.

عند استخدام الطرق اليدوية لدراسة الامتثال، أو جمع البيانات عن رحلات الناس على مرافق المسارات المُدارة مثل مسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع/رسوم الاستيعاب المرتفع؛ فإن وجود نقطة مراقبة مناسبة أمر بالغ الأهمية لمراقبة العدد الفعلي للركاب الموجودين في كل مركبة. وفي كثير من الأحيان، يعد الفيديو

طريقة مفيدة لتحقيق هذه الفائدة المميزة، كما أنه أكثر أمانًا لجمع البيانات في المكتب مقارنة بجمعها على مقربة من الطريق. كما ينبغي مراعاة فيديوهات المراقبة إذا رُكِّبت كاميرات المراقبة بالفعل على طول الطريق.

في أثناء تركيب معدات جمع البيانات على الطرق السريعة (مثل الوحدات غير التدخلية على جانب الطريق)، على جامعي البيانات التأكد من عدم تعارض الأنشطة مع عمليات تشغيل المرور وعدم التسبب في حدوث تشتيت كبير للسائقين. ويشكل هذا الجانب أهمية بالغة؛ لأن التركيز في جمع البيانات ينبغي أن يكون لقياس ظروف التشغيل القياسية، دون وجود عوامل تشتيت إضافية للسائقين.

أ-٧-٤ تقليل البيانات وتحليلها:

يتشابه تحليل بيانات الطرق السريعة عمومًا مع عملية تقييم المرافق الأخرى. وينبغي جمع البيانات الأولية في فترة زمنية مشتركة للتحليل (١٥ دقيقة في العادة)، وينبغي إجراء الإحصائيات الوصفية والاختبارات الإحصائية، كما ينبغي إنشاء الجداول والمخططات.

أ-٧-٤-١ تقييم الأماكن والأجزاء:

يركز جزء كبير من دراسات الطرق السريعة على تقييمات موقع أو جزء معين. ونظرًا إلى الطبيعة الآلية لمعظم بيانات الطرق السريعة، يمكن غالبًا جمع كميات كبيرة من البيانات بسهولة وسرعة فائقة. ونتيجة لذلك تستمر العديد من مجموعات بيانات الطرق السريعة بدلًا من التركيز على فترة زمنية معينة في ساعة الذروة. وبالتالي، يمكن عرض البيانات بيانيًا لفترات زمنية طويلة.

مع توفر مستشعرات المسارات الجانبية، من الممكن أيضًا تقييم أنماط المرور حسب المسار. بالإضافة إلى أحجام المرور، ينبغي أن يهتم المحللون ببيانات تدفق الطرق السريعة، والسرعة متوسطة المدى المرتبطة بها.

أ-٧-٤-٢ مراقبة النظام:

بالنسبة إلى أنظمة الطرق السريعة ذات التغطية الواسعة والمستمرة للمستشعرات، ينبغي استخدام برامج مراقبة أداء الطرق السريعة الشاملة لتتبع أداء النظام (Neudorff, et al., 2003). ولهذا الغرض ذُكِر أدناه سلسلة من مقاييس الأداء على نطاق النظام التي يمكن استخلاصها من مصادر بيانات ميدانية مختلفة. وتنقسم مقاييس الأداء من الناحية النظرية إلى *معدلات التنقل* و*مقاييس الموثوقية*.

أ-٧-٤-٢-١ مقاييس معدلات التنقل:

مؤشر زمن الانتقال: *هذه نسبة ظروف الرحلة في فترة الذروة إلى الهدف أو ظروف الرحلة المقبولة (عادةً تُستخدَم ظروف التدفق الحر). ويشير مؤشر زمن الانتقال إلى المدة التي ستستغرقها الرحلة خلال وقت الذروة. على سبيل المثال: يشير مؤشر زمن الانتقال البالغ ١,٣ إلى أن الرحلة ستستغرق وقتًا أطول قدره ٣٠ بالمائة (أطول بمقدار ١,٣ ضعف).*

نسبة رحلة وقت الازدحام: *وهي ا في الأساس عبارة عن مقياس نظام يحدد مدى الازدحام. تُستخدَم سرعة التدفق الحر "كمقياس" للازدحام وأي رحلة على جزء من الطريق لفترة زمنية أقل من سرعة التدفق الحر تُحدَّد على أنها رحلة وقت ازدحام. وتُجمَع رحلة وقت الازدحام ثم قسمتها على إجمالي تقديرات الرحلات.*

وفي هذه الحالة، تُحدَّد الرحلة كمقياس يصف كميًا مقدار تدفق المرور. ومن الأمثلة الشائعة عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة أو ساعات الرحلة بالمركبة.

التأخير لكل شخص: *يُعبَّر عنه بعدد ساعات الشخص سنويًا، ويستخدم هذا المقياس لتقليل إجمالي قيمة تأخير الرحلة إلى رقم أكثر ارتباطًا بتجربة المستخدم. كما أنه يعمل على تحديد تأثير مشاريع التنقل التي تعالج طلبًا أعلى بكثير من البدائل الأخرى.*

مقياس التأخير لكل شخص يكون أكثر ملاءمة عندما يحتوي تدفق المرور على مكونات عبور كبيرة ومكونات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع. وفي المناطق التي يتألف فيها تدفق المرور بشكل أكثر اتساقًا من سيارات الركاب ذات الاستيعاب المتوسط المشترك، ويمكن استبدال هذا المقياس بـ (التأخير لكل مركبة).

أ-٧-٤-٢-٢ مقاييس الموثوقية:

مؤشر الهامش: *يعبر هذا المقياس عن مقدار "الهامش" الإضافي اللازم ليكون في الوقت المحدد بنسبة ٩٥٪ من الوقت (تأخير بمقدار يوم واحد في الشهر). ويمكن للمسافرين مضاعفة متوسط مدة رحلتهم من خلال مؤشر الهامش، ثم إضافة مدة الهامش إلى رحلتهم للتأكد من أنهم سيكونون في الوقت المحدد بنسبة ٩٥٪ من جميع الرحلات. وتتمثل إحدى مزايا الموثوقية (أو عدم وجودها) بهذه الطريقة في أن قيمة النسبة المئوية محايدة من حيث المسافة والوقت.*

التباين بالنسبة المئوية: *يُعرف أيضًا باسم معامل التغير، وهو مقدار التباين فيما يتعلق بمتوسط ظروف الرحلة. ويُحتسَب كانحراف معياري مقسومًا على المتوسط. ويمكن للمسافرين مضاعفة متوسط مدة رحلتهم من خلال التباين بالنسبة المئوية، ثم إضافة هذا الناتج إلى متوسط زمن الانتقال للحصول على الوقت اللازم؛ للوصول في الوقت المحدد بنسبة ٨٥٪ من الوقت (انحراف معياري واحد أعلى من المتوسط)؛ حيث تشير القيم الأعلى إلى معدل موثوقية أقل.*

مؤشر البؤس: *يحاول هذا المقياس تحديد شدة التأخير لأسوأ الرحلات فقط. يُطرح متوسط معدل الرحلة من أعلى نسبة ٢٠٪ من معدلات الرحلات للحصول على المدة الزمنية التي تتجاوز المتوسط لبعض الرحلات البطيئة.*

وعند اتخاذ قرار بشأن مخطط تقييم الأداء على مستوى النظام، يجب على الهيئة تحديد ما تود استخدامه من هذه المقاييس لتتبع الأداء. وبعد ذلك، ينبغي أن تتأكد من أن تغطية معدات المستشعرات وأجهزة الاستشعار كافية لتقديم البيانات المطلوبة، ولقد وضِّحت مقاييس الأداء الإضافية لاستكمال ما نوقش أعلاه في الجدول أ-٥٦ المقاييس التي نوقشت أعلاه في الجدول (أ-٥٦) (Shaw, 2003).

الجدول (أ–٥٦) مقاييس أداء الطرق السريعة الإضافية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 10-17).

مقاييس أداء الطرق السريعة الإضافية	
متوسط التأخير (إجمالي، ومتكرر، وقائم على الحوادث).	النسبة المئوية للرحلات المقطوعة في وقت شديد الازدحام.
متوسط زمن الانتقال من الباب إلى الباب.	الكيلومترات التي قطعها الشخص.
متوسط السرعة مرجحًا بالكيلومترات التي قطعها الشخص.	المتنقلون.
حالة الجسر.	جودة الرحلة (وجهات نظر المستخدمين).
الكثافة (سيارات الركاب في الساعة لكل مسار).	كمية الانتقال (وجهات نظر المستخدمين).
مدة الازدحام (مسار - كم - ساعات عند مستوى الخدمة "هـ" أو "و").	صفوف الانتظار (التكرار والطول).
مدة الانتهاء من الإخلاء.	السلامة.
تأخير ناجم عن حادث.	إيرادات الرسوم.
معدل الحوادث حسب الخطورة (على سبيل المثال، الوفاة، الإصابة) والنوع (على سبيل المثال، التصادم، الطقس).	إمكانية توقع زمن الانتقال.
وقت الاستجابة للحادث حسب نوع الحادث.	موثوقية زمن الانتقال (النسبة المئوية للرحلات التي تصل في وقت
الحوادث.	الكيلومترات التي قطعتها شاحنة.
مستوى الخدمة.	الشاحنات المتنقلة.
مقاييس أداء (تشغيلي) النتائج.	الاستفادة من النظام (منظور الهيئة).
المخرجات (أداء الهيئة).	نسبة الحجم / السعة.
حالة الرصف.	استيعاب المركبة (عدد الناس لكل مركبة).
النسبة المئوية لمعدات أنظمة النقل الذكية التشغيلية.	المركبات المتنقلة.
النسبة المئوية للكيلومترات المقطوعة في نطاق السرعة المطلوب.	عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة.
النسبة المئوية للنظام شديد الازدحام (مستوى الخدمة "هـ" أو "و").	

أ-٨ فرض الرسوم:

أ-٨-١ خصائص فرض الرسوم:

الطريق الخاضع للرسوم عبارة عن مرفق يمكن تمويله وتشغيله كمشروع مستقل قائم بذاته. ونظرًا إلى وجود رسوم تطبق على المستخدم، فإن تحسين البنية التحتية يُموَّل كليًا أو جزئيًا من مستخدمي الطريق.

وإذا كان مشروعًا ماليًا قائمًا بذاته؛ فينبغي أن تراعي الخطة المالية للمشروع التكاليف الرأسمالية والتشغيل والصيانة وتكاليف التحسين والاستبدال المستقبلية وجميع التكاليف المالية. وبالتالي، لا بد من تحقيق التوازن بين تكلفة المشروع والطلب المروري للمرفق. ويلزم إجراء دراسة موسعة لتقدير أحجام المرور المستقبلية وتصميم نطاق المشروع؛ حتى يمكن تمويله من الإيرادات المتوقعة. ويمكن أن تتوفر مصادر التمويل التكميلية أو المساعدة المالية متوفرة للمساعدة على إعداد خطة مالية تضمن التمويل المناسب لمشروع معين.

بخلاف خطة التمويل ونظام تحصيل الرسوم، يتشابه الطريق الخاضع للرسوم كثيرًا مع المرفق غير الخاضع للرسوم. وتكون الطرق الخاضعة للرسوم عادةً عبارة عن مرافق يتم التحكم في الوصول إليها ويكون العملاء فيها (جمهورًا مقيدًا) بغرض تحصيل الرسوم. كما أن التقنية الحديثة لتحصيل الرسوم الإلكتروني تُتيح تحصيل الرسوم من المركبات دون وجود أكشاك تحصيل الرسوم وحتى دون إبطاء السرعة.

تتشابه جميع عمليات التشغيل والصيانة مع المرافق العامة، رُغم أن مستوى الخدمة المقدم يتجاوز مستوى المرفق العام في الغالب، وذلك بسبب أن العملاء الذين يدفعون الرسوم يتوقعون الحصول على خدمة من المرفق الخاضع للرسوم تفوق الخدمة التي يقدمها مرفق غير خاضع للرسوم.

أ-٨-٢ متطلبات البنية التحتية:

عناصر البنية التحتية مماثلة لتلك الموجودة في طريق سريع آخر، يتم التحكم في الوصول إليه باستثناء نظام تحصيل الرسوم. ويتوفر حاليًا العديد من الأنظمة والمنهجيات المختلفة لتحصيل الرسوم، ويعتمد اختيار أي منها على التكلفة وقضايا السياسة الأخرى.

إن تحصيل الرسوم اليدوي عبر أكشاك تحصيل الرسوم هي الطريقة التقليدية سواء كانت مزودة بموظفين أم لا، ورغم ذلك تفضل العديد من المرافق تجنبها إذ أنها تجبر المركبات على التوقف. كما أن مطالبة المركبات بالتوقف لا يزعج السائقين فحسب، بل يؤدي أيضًا إلى حدوث ازدحام غير ضروري في نقاط تحصيل الرسوم.

وتتوفر طرقٌ أحدث لتحصيل الرسوم في فئة تحصيل الرسوم الإلكترونية لا تضطر خلالها المركبات إلى إبطاء سرعتها العادية على الطرق. وبشكل عام، توجد طريقتان لأجهزة الإرسال والاستقبال لتحصيل الرسوم الإلكتروني، وتحصيل الرسوم على لوحات الترخيص. تُعد أجهزة الإرسال والاستقبال أجهزة إلكترونية على السائقين وضعها في مركباتهم والتي تنتج معرفًا فريدًا لشحن حسابهم. كما أن تحصيل الرسوم على لوحة التسجيل لا يُلزم السائقين باتخاذ أي إجراء (شراء جهاز إرسال واستقبال وتركيبه أو إعداد حساب) قبل استخدام المسارات. تُستخدم سجلات المركبات لتحديد مالك المركبة وإما فرض رسوم على حساب محدد مسبقًا أو إرسال فاتورة.

أ-٨-٣ تقديرات متعلقة بالإيرادات

تشكل الخطة المالية لتنفيذ المشروع المعروض أهمية بالغة. وفي كثير من الأحيان، يستخدم تدفق إيرادات الرسوم المتوقع لسحب السندات بحيث يمكن تمويل تكاليف رأس المال المقدمة. ومن ثم، فإن الهدف يتمثل في تحديد تدفق الإيرادات المتوقع وتحديد نطاق المشروع بحيث يمكن تمويله من تدفق الإيرادات. وبهذه الطريقة، ستسدد إيرادات الرسوم تكاليف رأس المال الأولية وعمليات التشغيل والصيانة الجارية وخدمة الديون والتوسعات والتحسينات المستقبلية وأعمال الصيانة والاستبدال الرئيسة. واستنادًا إلى القوانين والسياسات السائدة، يمكن أن تتوفر مصادر التمويل التكميلية أو المساعدة المالية متوفرة للمساعدة على إعداد خطة مالية تضمن التمويل المناسب لمشروع معين.

يمكن أن تكون جداول الرسوم على الطرق الخاضعة للرسوم معقدة لضمان دفع كل مركبة لحصتها من تكلفة الصيانة. وتدفع المركبات ذات المحاور المتعددة والأوزان الثقيلة رسومًا أكثر بكثير من مركبات الركاب بسبب الضرر الأكبر الذي تسببه للبنية التحتية. كما أن تحديد جدول الرسوم هذا يُعدّ جزءًا مهمًا من التخطيط المالي للمشروع.

يعتبر السائقون الذين لا يدفعون الرسوم المطلوبة مخالفين. والممارسة المعتادة هي توفير فترة سماح في المرة الأولى للسماح للمخالف بدفع الرسوم وتجنب العقوبة، خاصةً إذا قام بالتسجيل ليكون صاحب حساب عادي. أما من يكرر ارتكاب المخالفات؛ فعادةً ما تُعيَّن عليه عقوبات رسوم مرتفعة نسبيًا؛ للحد من الانتهاكات المستقبلية.

أ-٩ دراسات المحاكاة:

أ-٩-١ مقدمة:

أ-٩-١-١ الغرض:

يقدم هذا الجزء المواد المتعلقة بدراسات النقل التي تستخدم برامج نمذجة محاكاة المرور.

وينصب تركيز هذا الجزء بشكل أساسي على المحاكاة المجهرية (Microscopic)، وهي شكل شائع الاستخدام من أشكال المحاكاة في ممارسة التخطيط وهندسة المرور في وقتنا الحاضر. كما سيشير هذا الجزء إلى نماذج المحاكاة الكلية (Macroscopic) والمحاكاة الجزئية (الميزوسكوبية، Mesoscopic) حسب الضرورة، خاصة في الحالات التي تختلف فيها تطبيقاتها عن النماذج المجهرية. وتُناقش الفروق بين الأنواع الثلاثة لنماذج المحاكاة أدناه.

تمثل نماذج محاكاة المرور *العشوائية* تمثيلات معقدة لأنظمة المرور في بيئة حاسوبية. ويتضمن تحليل محاكاة المرور العشوائية عادةً واحدًا أو أكثر مما يأتي:

- الهدف هو تقييم حالة مرورية معقّدة لا يمكن تناولها بسهولة من خلال أساليب التحليل الرياضي القطعية (القائمة على المعادلات الرياضية)
- توافر بيانات مُفصلة جدًا لمعايرة النموذج والتحقق منه على النحو الصحيح.
- مرحلة التهيئة لملء شبكة المحاكاة بالمركبات قبل استخراج أي بيانات.
- استخدام عدة عمليات تشغيل للمحاكاة والتحليل الإحصائي للمخرجات ذات الطبيعة العشوائية.
- استخدام معلمات المدخلات المُحسنة لأقصى حد مسبقًا باستخدام أداة خارجية.

أ-٩-١-٢ أنواع نماذج المحاكاة:

هناك ثلاثة أنواع رئيسة من نماذج المحاكاة التي تختلف من ناحية التفاصيل الحسابية، ونتيجةً لذلك فهي مناسبة لأنواع مختلفة من التطبيقات. يمثل *النموذج المجهري* حركات المركبات الفردية استنادًا إلى الخوارزميات السلوكية على مستوى المركبة، مثل تتابع-المركبات (car-following) أو تغيير المسارات (lane-changing) أو قبول الفجوات (gap-acceptance). تكون هذه النماذج تفصيلية للغاية وتكون مرنة بشكل عام في خيارات المدخلات والمخرجات. تتراوح التطبيقات من التقاطعات الفردية والشوارع السطحية إلى نماذج الطرق السريعة والشبكة المتكاملة مع وسائل النقل المتعددة. وبسبب التفاصيل الخوارزمية؛ فإن النماذج المجهرية -أيضًا- معقدة للغاية من الناحية الحسابية.

كما تُنمذِج المحاكاة الجزئية (*الميزوسكوبية*) حركات المركبات الفردية، ولكنها تتوقع سلوك المركبة في الخطوة الزمنية التالية استنادًا إلى نماذج التدفقات المرورية الكُليّة (علاقات الكثافة-التدفق-السرعة). تُجرى العمليات الحسابية في المحاكاة الجزئية (الميزوسكوبية) على مستوى أكثر تجميعًا؛ ونتيجةً لذلك فهي أكثر كفاءةً. تفتقر هذه النماذج إلى التفاصيل اللازمة لوضع النماذج السلوكية المجهرية (على سبيل المثال: قبول الفجوات)، ولكن لديها تطبيق واسع النطاق على تحليلات مستوى الشبكة. تُستخدم المحاكاة الجزئية (الميزوسكوبية) بشكل شائع فيما يتعلق بخوارزميات اختيار المسار الديناميكية التي تتوقع استجابة السائق للمصادر قصيرة أو طويلة المدى للازدحام المروري.

تعمل المحاكاة الكلية على نمذجة المرور التدفق الكلي للمركبات (وليس للمركبات الفردية)؛ استنادًا إلى مبادئ تدفق المرور الكُليّة. تتنبأ المحاكاة الكلية بأوضاع المرور لمقاطع من الطرق وليس للمركبات الفردية. فهم يقدمون تحليلًا أقل تفصيلًا، لكنه أكثر كفاءةً من الناحية الحسابية من الفئتين السابقتين. تستند المحاكاة الكلية على نمذجة المرافق كنظام في حالة استقرار، ووصف سلوكها باستخدام تمثيل متوسط المدى الطويل لفترة التحليل المُقاسة بالدقائق أو الساعات. هذا النهج مختلفٌ جوهريًا عن المحاكاة المجهرية والمحاكاة الجزئية (الميزوسكوبية) التي تصمم المركبات الفردية وقيادة الأحداث على أساس ثانية بثانية (أو حتى المقياس الفرعي للثواني).

مما يتسم بالأهمية أيضًا التفريق بين كافة أنواع المحاكاة الثلاث وأدوات التحليل المروري القطعية. المحاكاة: هي عملية عشوائية لتوليد المرور وسلوك السائق بشكل عشوائي. تقدر نماذج المحاكاة سلوكيات المرور استنادًا إلى توزيع العديد من المعلمات السلوكية. نظرًا لكون عمليات المحاكاة عشوائية؛ فإن تشغيل النماذج المتعددة بالقيمة الأولية للرقم العشوائي المختلف تؤدي إلى حلول مختلفة تحتاج إلى المعدل المتوسط أو تحليل النتائج إحصائيًا قبل إعداد التقارير. تستند الأدوات القطعية إلى معادلات مشتقة تجريبيًا أو نظريًا لتقديم حل فريد ومميز من مجموعة مشتركة من معلمات المدخلات.

أ-٩-٢ أنواع الدراسات:

تستغرق نماذج المحاكاة وقتًا طويلًا للترميز والمعايرة، وتكون أدوات البرامج المختلفة مناسبة للتطبيقات المختلفة. من الأمور الحاسمة أن المحلل على دراية بأهداف دراسة المحاكاة والقيود المرتبطة بالنموذج المحدد.

يناقش هذا الجزء الفرعي أنواعًا وأهدافًا مختلفة من دراسة المحاكاة. تُقدم الأنواع المختلفة من دراسات المحاكاة بغرض تقديم للممارس نظرة عامة على استخدامات المحاكاة. تُبرز المناقشة الاحتياجات المحددة (الميدانية) من البيانات اللازمة

رغبةً في إعداد نموذج يركز على الأهداف المختلفة ومعايرته والتحقق من صحته. يقدم الجزء الفرعي (أ-٩-٣) نظرة عامة تفصيلية عن إجراءات الترميز النموذجي وجمع البيانات في إطار المحاكاة.

بالرغم من أن المحاكاة لديها عدد غير محدود تقريبًا من التطبيقات المحتملة؛ إلا أنه يُركَّز -هنا -على ستة أنواع عامة من دراسات المحاكاة. تمثل هذه الأنواع التطبيقات التي يُستخدم فيها نموذج المحاكاة كأداة لجمع البيانات؛ نظرًا لأن الظروف المستقبلية غير موجودة، ولأن جمع البيانات الميدانية سيكون غير فعال من حيث الوقت أو التكلفة، أو لأن التجارب الميدانية قد تحتوي على مخاطر غير ضرورية لجمهور المتنقلين.

١- تحليلات الحساسية.
٢- تقييم البدائل.
٣- توقع السلوك.
٤- نمذجة سيناريو الطوارئ.
٥- الدراسات البيئية.

هذه الأنواع الخمسة غير حصرية بشكل متبادل وتُقدم كنُهُج مستقلة لغرض المناقشة ولفهم الممارسين. في الممارسة العملية، يمكن أن يكون هناك تداخل كبير بين هذه الدراسات، وعادةً ما تتناول دراسة المحاكاة أكثر من هدف واحد من الأهداف المذكورة أعلاه.

ينبغي تقديم كل نوع من دراسات المحاكاة في جزأين: نظرة عامة على الدراسة وخطوات التحليل. ينبغي تقديم الدراسات رغبةً في زيادة التعقيد؛ لذلك لن تتكرر خطوات التحليل التي نوقشت في نوع سابق من الدراسة، وعوضًا عن ذلك يُحال الممارس إلى الجزء السابق.

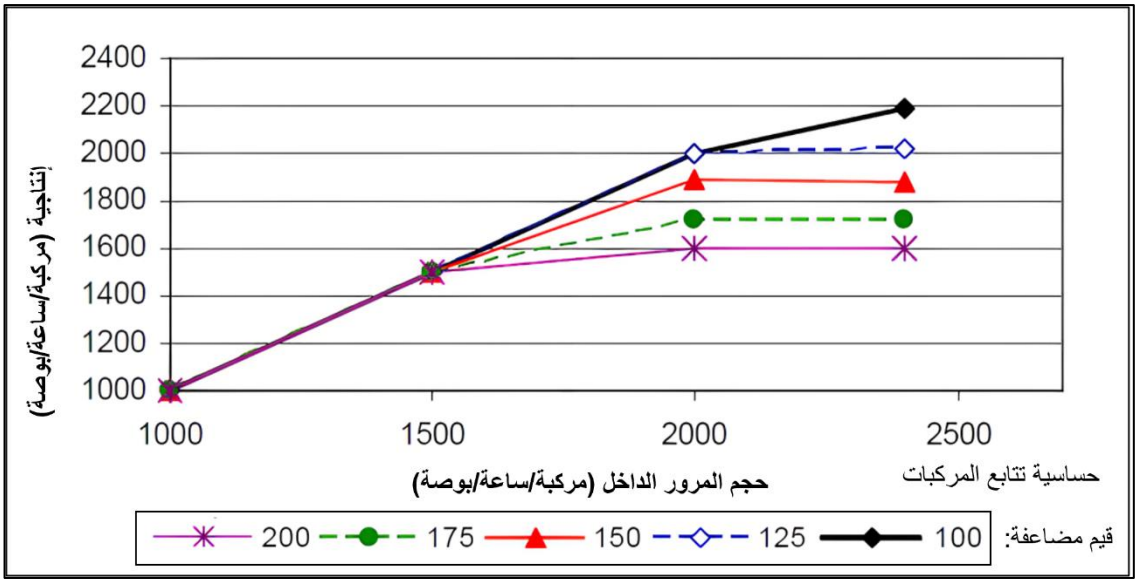
من الضروري ملاحظة أن خطوات التحليل المقدمة لكل من الدراسات تُعد إرشادات. تكون القوائم غير حصرية بحكم الضرورة ويمكن أن تكون الخطوات الأخرى ضرورية استنادًا إلى التطبيق المحدد. يُشجع الممارس على وضع الخطوات المدرجة في الحسبان في كافة أنواع الدراسات المذكورة هنا والرجوع إلى جزء المفاهيم والغرض رغبةً في الحصول على مزيد من الإرشادات.

أ-٩-٢-١ تحليلات الحساسية:

أ-٩-٢-١-١ نظرة عامة على الدراسة:

كثيرًا ما تُستخدم نماذج المحاكاة للإجابة على السؤال (ماذا يحدث لو) بخصوص طلبات المرور المتغيرة، والمعلومات الأساسية لنمو المرور. ماذا يحدث لو تضاعفت المرور في العام المقبل؟ ماذا يحدث لو غُيّر مسار ٣٠ % من السائقين بسبب شبكة نظم المعلومات المطورة للمسافرين؟ هل سيظل هذا النظام يعمل إذا كانت توقعات المرور ضمن الحد المسموح به من الأخطاء بنسبة ٢٠٪؟

تعد دراسات المحاكاة ملائمة تمامًا للتعامل مع هذه الأنواع من الأسئلة. كما يمكن استخدام تحليل الحساسية لفحص إعدادات المعلمات ضمن أداة المحاكاة نفسها. يوضح الشكل (أ-٧٩) مثالًا لتحليل الحساسية (Holm, et al., 2007). يوضح الشكل تأثير إعدادات الحساسية المختلفة لتتابع-المركبات على معدل نقل المركبات كدالة دخول لحجم المركبات. يتضح من هذا التحليل، على سبيل المثال: أن المسائل المتعلقة بإعدادات تتابع-المركبات مهمة للغاية بالنسبة إلى حجم الدخول الكبير لعدد ٢,٠٠٠ مركبة في الساعة لكل مسار أو أكثر؛ حيث يصبح الطريق الذي وضعت نماذج له على غرار المرور المزدحمة.



الشكل (أ–٧٩) مثال على تحليل الحساسية الذي يُجرى في المحاكاة المجهرية (المصدر: Figure 49 – (FHWA, (2007).

أ-٩-٢-١-٢ خطوات التحليل:

- **تحديد الهدف**: ينبغي تحديد الهدف في البداية: من المجدي تحديد *ما هي* أهداف الدراسة *وكيف* ستُجرى؟. ينبغي أن يفكر المحلل بشأن أنواع المخرجات ومقاييس الأداء المطلوبة. كما ينبغي أن يحدد المحلل في هذه المرحلة البيانات اللازمة -إذا اقتضى الحال-، ويخطط لجمع البيانات الميدانية التكميلية؛ لاستخدامها في معايرة النموذج والتحقق من صحته. ينبغي تحديد الأهداف في ضوء فهم الكيفية التي يتوقع أن تختلف بها مقاييس الفعالية مع تعديل معلمات المدخلات.
- **النموذج القائم على الإعداد**: ينبغي على كل دراسة استخدام محاكاة *النموذج الأساسي* الذي يعكس الظروف القائمة أو الأساسية. خطوات التحليل اللاحقة، ومن ثم تعديل النموذج الأساسي بشكل من الأشكال. النموذج الأساسي هو ما يستخدمه المحلل للمعايرة والتحقق من صحته. يتضمن النموذج الأساسي بشكل عام هندسة الشبكة وأحجام المرور (كافة وسائل النقل)، وتكوين المرور ومعلومات التوجيه وقواعد السلوك مثل السرعات واستراتيجيات التحكم في حركة المرو وعناصر جمع البيانات (على سبيل المثال: أجهزة الاستشعار) التي توفر نتائج المحاكاة الفعلية. يُناقش إعداد النموذج بالمزيد من التفاصيل في القسم الفرعي (أ-٩-٣-١) وترد إرشادات جمع البيانات من المحاكاة في الجزء الفرعي (أ-٩-٣-٢).
- **النموذج القائم على المعايرة والتحقق من صحته**: بمجرد أن يكتمل النموذج الأساسي؛ سيحتاج إلى المعايرة لضمان أن سلوك المرور والنتائج الأولية معقولة. تعد هذه خطوة ضرورية في أي دراسة محاكاة، نظرًا لضمان وتوثيق التطبيق الصحيح لنتائج المحاكاة. يمكن إجراء عمليتي المعايرة والتحقق من صحة النموذج باستخدام البيانات الميدانية وعلاقات التدفق المروري النظرية ونماذج البرامج الأخرى وعلى نطاق محدود للفحص البصري. يُناقش ذلك بالتفصيل في الأقسام الفرعية (أ-٩-٣-٣) و(أ-٩-٣-٤).
- **ضبط معلمات الحساسية**: على المحلل التالي في تحليل الحساسية تغيير أنماط المرور واستراتيجيات التحكم والظروف الهندسية أو المعلمات في الخوارزميات السلوكية؛ لاختبار الفرضية. يجوز أن تتضمن السيناريوهات في الحساسية زيادةً أو نقصانًا بنسبة مئوية عامة في أحجام المرور؛ لاختبار نسبة الخطأ المسموح بها في دراسة توقعات المرور، أو التغييرات في سلوك توجيه السائق. تستند ظروف الاختبار المحددة على أهداف الدراسة.
- **التحقق من المعقولية**: من الضروري النظر إذا كان تحليل المحاكاة والنتائج معقولة. على سبيل المثال: يجب فقط زيادة أحجام حركات مرور إلى المستوى الذي يتوافق مع السعة للوصلة أو العقدة التي تم محاكاتها. إذا كان النموذج الأساسي يعمل بالفعل على نحو قريب من السعة، من المرجح ألا يؤدي مضاعفة أحجام المرور إلى أي نتائج ذات مغزى؛ نظرًا لأن صفوف الانتظار واسعة النطاق لن توفر نتائج واقعية أو مفيدة. يكتشف المحلل بشكل عام المزيد بشأن الاختناقات المرورية وتوفير الحلول في نظام فوق-التشبع إلى حد ما.
- يُجرى التحقق من المعقولية في ضوء قيود السعة المعروفة أو المتوقعة وتتضمن الفحص البصري للنموذج قبل إجراء عملية التكرار المتعدد للتحليل. لا تسجل في بعض الأحيان النماذج مفرطة التشبع بشدة مقاييس أداء دقيقة؛ نظرًا لأن الازدحام المروري يمكن أن يمنع جزءًا من المركبات من دخول الشبكة. بالرغم من أن هذه *المركبات المحظورة من الدخول* تُسجل عادةً في ملف المخرجات؛ إلا أنها لا تُدرج بشكل عام في حسابات التأخير وطول صف الانتظار.
- **إجراء العديد من عمليات التشغيل:** تكون المحاكاة عملية عشوائية وتخضع كافة النتائج للمتغيرات العشوائية في جيل المركبة وسلوك السائق والمتغيرات الأخرى المستمدة من التوزيع. لذلك من الأمور الحاسمة إجراء عملية التكرار المتعدد

أو *عمليات التشغيل* لنموذج المحاكاة. من ثم إعداد تقارير عن النتائج كمعدل متوسط لكافة عمليات التشغيل مع مقياس المتغيرات بين عمليات التشغيل.

- **تحليل النتائج:** ينبغي تجميع وتحليل النتائج في ختام دراسة المحاكاة. استنادًا إلى تطبيقات البرامج المحددة، يمكن أن إجراء بعض التحليلات في عملية ما بعد المعالجة باستخدام برنامج جداول البيانات. في أثناء إجراء تحليل الحساسية؛ من الضروري في بعض الأحيان حساب نسبة التغيير على أنها التغيير في مقياس المخرجات مقسومًا على التغيير في مقياس المدخلات المعنية.

أ-٩-٢-٢ تقييم البدائل:

أ-٩-٢-٢-١ نظرة عامة على الدراسة:

يتمثل التطبيق الشائع للمحاكاة (أو أي تحليل للمرور) في مقارنة بدائل النقل. على سبيل المثال: يمكن أن يكون المحلل معنيًا بما إذا كان أداء التقاطع أفضل في إطار التحكم في الإشارة أو كمفترق للطرق الدائرية الحديثة، أو يمكن أن يفحص استراتيجيات التحكم المختلفة على الطريق السريع، متضمنًا حد السرعة المتغير أو ضبط المداخل إلى الطرق السريعة. يشيع استخدام نماذج المحاكاة في فحص ومقارنة تهيئة المحولات ولتقييم تأثير عمليات السكك الحديدية الخفيفة أو الحافلات في المسار. يتمثل القاسم المشترك في عدم احتواء هذه التطبيقات على أساليب قطعية قابلة للتطبيق، أو تكون معقدة بشكل متزايد، ولذلك تتجاوز القيود المفروضة على الاساليب القطعية.

يحتاج المحلل لتقييم البدائل بالمحاكاة إلى تحديد نطاق واضح للمشكلة ووضع حدود للنموذج. تتضمن بيانات المدخلات الهندسة: الحالية والمقترحة، ومتطلبات المرور، وتوزيعات السرعة، وأنماط الرحلات، والتحكم في التقاطع الموجود في النموذج. علاوًة على ذلك، على المحلل معايرة النموذج والتحقق من صحته وفقًا لمعيار القياس المعروف. يمكن أن يكون هذا إما عمليات قائمة في النظام أو حلًا نظريًا. من ثم، يمكن للمحلل ترميز استراتيجيات النقل البديلة من خلال تعديل بعض مكونات النموذج الأساسي.

على المحلل عند تقييم البدائل في المحاكاة اختيار عدد محدود من المعلمات للتقييم، تاركًا كافة العناصر الأخرى في النموذج دون تغيير. وهذا ضروريٌ لضمان إمكانية عزل تأثيرات التغيير للمعلمات المحددة في التشغيل المروري. ينبغي إجراء التغييرات على نفس النموذج الأساسي، رغبةً في ضمان بقاء معلمات عدم الحساسية ثابتة في واقع الأمر في الدراسة. تُقيم البدائل استنادًا إلى بعض مقاييس الفعالية التي يحددها المستخدم وفقًا لما ورد في الجزء الفرعي (أ-٩-٣). ونظرًا للطبيعة العشوائية للمحاكاة؛ فإن كل بديل يُحاكى عدة مرات، ويُحدد متوسط النتائج للمقارنة.

هناك تحذير مهم بخصوص تقييم البدائل يتعلق باستراتيجيات التحكم المروري التي تتطلب بعض أنواع التحسين (على سبيل المثال: التقاطعات ذات الإشارات أو ضبط المداخل على الطرق السريعة). لضمان إجراء المقارنة بالقدر الكافي بين البدائل المختلفة؛ فينبغي محاكاة كل منها على النحو الأمثل. وإذا كانت الإشارات المرورية لا ترقى للحد الأمثل؛ فإن تفسير الاختلافات بين البدائل يربكه الاختلافات غير المعلومة في جودة الإشارات المرورية. في حال عدم احتواء أدوات المحاكاة على الأعمال الاعتيادية للتحسين؛ على المحللين إجراء تحسين منفصل في نموذج المحاكاة الكلية القطعي، ومن ثم استخدام المعلمات الأفضل في مقارنة البدائل القائمة على المحاكاة.

وبالنسبة إلى الاختلافات الموجودة في هذه الدراسة؛ يمكن أن يجري المحلل *تحسين الاستراتيجية*. يتمثل الهدف في تحديد الاستراتيجية التشغيلية التي توفر أفضل عملية في موضوع المرفق. يطبق المحلل العوامل التشغيلية للمرور (على سبيل المثال: الحد المسموح للسرعة وتوقيت الإشارة وضبط المداخل إلى الطرق السريعة) وتختلف المدخلات بطريقة متكررة للحصول على الظروف المثالية للتشغيل. يمكن أن يحتوي التحليل على تغييرات بسيطة في التصميم (على سبيل المثال: إضافة طريق منعطف، ومسار منخفض، وتوسيع المنحدر).

وعوضًا عن البدائل المتنافسة موضع المقارنة للمسار، يتمثل الهدف في الاستخدام الأمثل لعملياتها مع مزيج من الاستراتيجيات. يرجى العلم بأن أدوات المحاكاة لا تعمل تلقائيًا على تحسين طريقة بعض الأدوات القطعية (توقيت الإشارة). ويُحقق التحسين من خلال التطبيق المتكرر للمعلمات وتعديلها (أي التغير) حتى تُحسن دالة الهدف.

أ-٩-٢-٢-٢ خطوات التحليل:

١- **تحديد الهدف:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ١ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٢- **تحديد البدائل:** ينبغي على المحلل أن يحدد البدائل المحددة المراد اختبارها في دراسة المحاكاة. يمكن وضع تصور للبدائل، ولكن عادةً لا تُحدد البدائل بشكل كامل. على سبيل المثال: يمكن أن يقارن التحليل بين الدوّارات الحديثة للتقاطعات المحكومة بإشارات مرورية، لكن تكون خطط التصميم الأولية متاحة فقط لخيارين. يمكن استخدام دراسة المحاكاة لفحص كلا البديلين وتقديم توصية بشأن أي منهم ينبغي نقله إلى التصميم النهائي.

- على المحلل عادةً في هذا النوع من الدراسات وضع افتراضات بشأن التهيئة المحددة للبدائل (على سبيل المثال: قطر الدوّار وطول الدورة للإشارة). من الأمور الحاسمة توثيق هذه الافتراضات. يمكن استخدام تحليل الحساسية في بعض الحالات (وفقًا للنحو الموضح في الجزء الفرعي تحليلات الحساسية) لاختبار الاختلافات في بعض المعلمات. في أمثلة أخرى يجوز استخدام تحليل التصميم أو الأداة التشغيلية القطعية؛ لإجراء فحص مسبق للبدائل قبل تنفيذهم في المحاكاة.

٣- **تحديد نطاق التحليل:** بمجرد تحديد البدائل، يجب تحديد نطاق الدراسة الذي يتطابق مع أهداف إجراء دراسة المحاكاة والتأثيرات المفترضة لأي اختلاف في معلمات الحساسية. يعد هذا الأمر حاسمًا؛ لأن لديه تداعيات لأنواع التدابير التي يجب اتخاذها، والنطاقات المادية للنموذج، وعدد عمليات تشغيل المحاكاة المطلوبة.

٤- **تحديد التجاوز المسموح:** دراسة تقييم البدائل التي تضع المفاضلات بين السيناريوهات في الحسبان، مثل التكلفة والتأخير والتدابير الأخرى المحددة في اختبار الفرضية. بالنسبة إلى الدراسة الناجحة للمحاكاة، من الأمور الحاسمة تحديد التجاوز المسموح الذي يمكن تقديره كتأثير ملحوظ. على سبيل المثال: يمكن أن تكشف الدراسة دور عمليات الطريق السريع مع مسارات المركبات مرتفعة الإشغال وبدونها بجانب اختبار الفرضية. سوف تقلل تهيئة مسارات المركبات مرتفعة الإشغال من وقت السير على الطريق لكافة المتنقلين. لذلك يُحدد حجم تأثير الفائدة بأنه تقليل زمن الانتقال التي تُعتبر أثرًا جديرًا بالملاحظة. يكون لدى حجم التأثير المحدد تداعيات مباشرة على حسابات حجم العينة لتحديد العدد المطلوب لعمليات تشغيل المحاكاة.

٥- **النموذج القائم على الإعداد:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٢ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٦- **النموذج القائم على المعايرة والتحقق من صحته:** (لمزيد من التفاصيل: راجع الخطوة ٣ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٧- **ترميز النماذج البديلة:** بمجرد أن يُوضع النموذج الأساسي المُعاير في مكانه، ينبغي على المحلل ترميز البدائل. بالرغم من أن البيانات يمكن ألا تكون متاحة لمعايرة كافة النماذج البديلة والتحقق من صحتها بالكامل؛ إذ يجب التحقق من درجة المعقولية على كافة السيناريوهات من خلال عمليات التفتيش البصري للنتائج والرسوم المتحركة، أو من خلال مقارنة الأداء بالمواقع والمصادر الأخرى في الكتيبات.

- في حالة ترميز النماذج البديلة، من الضروري تحديد أي عناصر لجمع البيانات باستمرار. من الناحية المثالية، تظل عناصر جمع البيانات المستخدمة في النموذج الأساسي دون تغيير في السيناريوهات. بالرغم من ذلك، يمكن أن تؤدي الاختلافات في بعض الحالات في الهندسة النموذجية إلى اختلافات طفيفة في التحديدات. على سبيل المثال: يمكن قياس تأخير مدخل التقاطع من خط التوقف عند الإشارة، ولكن من خط إفساح الطريق عند الدوّار. علاوةً على ذلك، في حالة نمذجة إحدى عمليتي التهيئة بحركة التدفق الحر للانعطاف الأيمن، فلا يوجد خط توقف ولا خط إفساح الطريق لتلك الحركة. من الأمور الحاسمة أن يفهم المستخدم طريقة تحديد نموذج المحاكاة (مقاييس الأداء) وكيفية تأثير هذا التحديد على البدائل.

٨- **التحقق من المعقولية:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٥ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٩- **إجراء العديد من عمليات التشغيل:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٦ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

١٠- **تحليل النتائج:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٧ من الجزء الفرعي أ-٩-٢-١).

أ-٩-٢-٣ توقع السلوك:

أ-٩-٢-٣-١ نظرة عامة على الدراسة:

هناك نوع آخر من دراسة المحاكاة يتمثل في تقدير سلوك السائق استجابةً لحادث أو مصدر للازدحام المروري المتكرر. يمكن أن يكون المحلل معنيًا بطريقة رد فعل السائقين (على المدى القصير) مع حادث على الطريق السريع، أو طريقة تغييرهم (على المدى البعيد) لعادات السير على الطريق نتيجة لإغلاق الطريق أو وجود منطقة عمل. كما تعد دراسات محاكاة توقع سلوك السائق أمرًا حاسمًا لتقييم أنظمة النقل الذكية، والتي يمكن أن تستخدم استراتيجيات مثل: لافتات الرسائل المتغيرة ومعلومات السائق قبل الرحلة وإرشادات الرحلة على الطريق.

لدى سلوك السائق واستجابته لهذه الرسائل تأثير كبير على التشغيل في المناطق التي يتوفر فيها مسار بديل. يمكن أن يكون المسار البديل في بعض الحالات ذا رسوم عالية لنفس الوسيلة، على سبيل المثال: مسار ذو رسوم إشغال عالية. يمكن أن تُستخدم المحاكاة في هذه التطبيقات لتوقع استجابة السائق لمعلومات المتنقل وخطط التسعير الديناميكية.

ونظرًا لكون تركيز هذا النوع من الدراسات يتمثل في تأثير الشبكة على نطاق واسع؛ فليس من الضروري بشكل عام إجراء دراسة محاكاة مجهرية. في الوقت الذي يكون لدى العديد من أدوات المحاكاة المجهرية ميزات تعيين المرور الديناميكية، يكون لدى المحاكاة الجزئية (*الميزوسكوبية*) الكفاءة الحسابية الكبيرة.

من الأمور الحاسمة نمذجة سلوك السائق للتمييز بين *حل للاستخدام لمرة واحدة* وتحسين *حالة الاستقرار*. يستجيب السائقون في الحالة الأولى مع الحادث الذي يستند على الشبكة بناءً على معلمات محددة مسبقًا. تتضمن هذه المعلمات الوصول إلى معلومات المتنقل والاستجابة للمعلومات ومقياس صبر السائق وقيمة الوقت. تقدر المحاكاة سلوك كافة السائقين استنادًا إلى التوزيعات العشوائية لهذه المعلمات.

تمثل المحاكاة في تحسين حالة الاستقرار تأثيرًا للتعلم طويل المدى على السائقين الفرديين. في البداية، لا يزال السائقون يستجيبون للمعلمات المحددة مسبقًا. بالرغم من ذلك، يقوم السائقون بعد ذلك بتعديل سلوكهم استنادًا إلى تجربة القيادة (التأخير) في تلك الرحلة الأولية وكافة الرحلات اللاحقة. من خلال المحاكاة المتكررة، يتم الحصول على حل حالة الاستقرار الذي يفترض أنها تحسن أداء الشبكة بشكل عام.

أ-٩-٢-٣-٢ خطوات التحليل:

١. **تحديد الهدف:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ١ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٢. **وضع استراتيجيات إدارة الحوادث والمرور:** بتقدير ذلك جزءًا من نطاق الدراسة، على المحلل تحديد الميزات المحددة التي يستجيب معها السائقون التي تتراوح من حادث قصير المدى في مسار مروري واحد على الطريق السريع إلى إغلاق طريق واسع النطاق وطويل الأجل. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي تنفيذ استراتيجيات إدارة المرور التي تؤثر في سلوك توجيه السائق. يمكن أن تشكل هذه الاستراتيجيات لافتات الرسائل المتغيرة أو معلومات المتنقل قبل الرحلة لتنبيه السائقين بالمسارات المزدحمة؛ لذلك على المحلل تحديد النطاقات المكانية والزمنية للحالة وتحديد مسارات تغيير الطريق المحتملة. تحدد هذه نطاقات النموذج الأساسي؛ لذلك من الضروري اختيارها بعناية. في حالة تقييم تأثيرات منطقة العمل، يحتاج المحلل لاختيار مرحلة التشييد في منطقة العمل المعنية. طوال فترة منطقة العمل، يمكن أن تشمل أنشطة التشييد عمليات تهيئة مرورية متعددة، من ضمنها المسارات الضيقة، وتقليل السرعة، وإغلاق المسارات والتقاطعات. تستغرق نمذجة كافة عمليات التهيئة المحتملة وقتًا طويلًا ويمكن ألا تكون ضرورية استنادًا إلى مسألة التحليل. ينبغي أن تركز الدراسة على تأثير الاختناقات المرورية والحوادث على سلوك السائق. يتمثل الهدف في السماح لنموذج المحاكاة بتوقع التغيرات في السلوك باستخدام خوارزميات التخصيص الديناميكي للمرور ومصادر المعلومات التي يحددها المستخدم. يشير التخصيص الديناميكي للمرور إلى فئة من خوارزميات اختيار المسار، حيث تخصص أداة المحاكاة بشكل ديناميكي المرور (السائقين الفرديين) لمسارات مختلفة استجابةً للازدحام المروري على الشبكة المُحاكاة. من الضروري ملاحظة أنه يمكن أيضًا تحليل نفس تأثيرات الازدحام المروري باستخدام النهج الذي نوقش في الجزء الفرعي تقييم البدائل، إذا كان المحلل على استعداد لوضع افتراضات بشأن طريقة رد فعل السائقين.

٣. **تحديد نهج الترميز للسلوك:** تختلف تفاصيل سلوك السائق التي رُمِّزت حسب أداة البرنامج، ولكن عادةً ما تكون الاستراتيجيات المختلفة متوفرة. تسمح العديد من أدوات المحاكاة للمحلل بتحديد المسارات *الثابتة والديناميكية*، ويمكن أن يكون لها ميزات متخصصة لنموذج المسارات المُدارة وإغلاق الطرق. المسارات الثابتة هي مخصصات المسارات الثابتة بين المنبع-المقصد. تكون المسارات الديناميكية مرنة، وتسمح للسائق الذي تمت محاكاته اختيار المسار ديناميكيًا كدالة لظروف المرور. تُدرج أحجام المرور عادةً في تحليل سلوك السائق من خلال مصفوفة المنبع-المقصد التي تترك خيار المسار الفعلي مرنًا. ينبغي على المحلل الرجوع إلى دليل البرامج المحدد للاطلاع على التفاصيل.

٤. **النموذج القائم على الإعداد:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٢ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٥. **النموذج القائم على المعايرة والتحقق من صحته:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٣ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٦. **إجراء حل الاستخدام لمرة واحدة:** وفقًا لما نوقش أعلاه، يحدد حل الاستخدام لمرة واحدة نماذج سلوك السائق استجابةً إلى "القواعد" التي يحددها المستخدم. يمكن أن تتضمن هذه النسبة المئوية للسائقين الذين يستجيبون لمسارات أنظمة النقل الذكي، أو معدل انتشار أنظمة الملاحة الموجودة داخل المركبات، أو استعداد السائقين للانعطاف عن مساراتهم المفضلة. يمكن أنه يزال حل الاستخدام لمرة واحدة يتضمن عمليات تشغيل متعددة للمحاكاة (راجع الخطوة ٩)، ولكن جميعها تستخدم نفس المدخلات الأساسية للمعلمات السلوكية. بعبارةً أخرى، يُستخدم حل الاستخدام لمرة واحدة للحصول على متوسط سلوك سائق استجابةً لنفس الحادث (قصير المدى).

٧. **إجراء العمليات التكرارية المعادة لحل حالة الاستقرار:** استنادًا إلى التطبيق، قد يكون تأثير الازدحام المروري المعني موجودًا لفترة طويلة من الوقت؛ لذلك من المتوقع أن يغير السائقون سلوكهم بمرور الوقت. بدءًا من المجموعة الأولية من السلوكيات (الخطوة ٦)، سوف يختبر السائقون باستمرار المسارات المختلفة لإيجاد مسارًا لتحسين رحلاتهم. في النهاية، يعتمد النظام الشامل (كافة السائقين على كافة الروابط) على حل حالة الاستقرار؛ حيث استقر كافة السائقين على المسار الجديد المفضل. مجددًا، يمكن القيام بذلك عدة مرات رغبةً في الحصول على متوسط سلوك السائق. يتمثل الاختلاف الحاسم هنا عن الخطوة ٦ في كون السائقين يختبرون ويتعلمون سلوكًا جديدًا بمرور الوقت. نتيجةً لذلك، قد يكون حل حالة الاستقرار مختلف عن المجموعة الأولية من السلوكيات التي حددها المستخدم. عملية التكرار تجاه حل نظام حالة الاستقرار ينبغي أن تكون مكثفة حسابيًا، وقد لا تكون كافة أدوات البرامج قادرة على تخطي هذه المرحلة. تعد هذه الخطوة ضرورية فقط لتقييم المصادر الجديدة للازدحام المروري (شبه الدائمة) على سبيل المثال: منطقة العمل أو إغلاق الطرق والجسور.

٨. **التحقق من المعقولية:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٥ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

٩. إجراء العديد من عمليات التشغيل: (للقسم الفرعي أ-٩-٢-١).

١٠. **تحليل النتائج:** (للقسم الفرعي أ-٩-٢-١).

أ-٩-٢-٤ نمذجة سيناريو الطوارئ:

أ-٩-٢-٤-١ نظرة عامة على الدراسة:

يمكن استخدام دراسات المحاكاة لاختبار وتقييم استراتيجيات إدارة الطوارئ. تشير نمذجة سيناريو الطوارئ عادةً في هذا الإطار إلى إخلاء المنطقة من كارثة طبيعية أو هجوم إرهابي، ولكنها قد تشمل أيضًا استراتيجيات إدارة الطوارئ العامة من أحداث المرور غير العادية الأخرى (مثل الأحداث الدينية أو الأحداث الرياضية أو العروض العسكرية). على سبيل المثال: يمكن تطبيق مبادئ هذا القسم الفرعي على أوضاع ما بعد الحدث في الأماكن الكبيرة، مثل الملاعب لتحليل (وقت الاستهلاك الشديد).

في أعقاب الكوارث الطبيعية وفي أوقات زيادة الوعي بالأمن القومي، شهدت استراتيجيات الإخلاء المزيد من الفحص. يمكن استخدام المحاكاة لتقدير الوقت الذي يستغرقه إخلاء منطقة معينة في حالة الطوارئ أو الكوارث. يسمح هذا للسلطات باتخاذ قرارات بشأن موعد صدور أمر إخلاء المنطقة.

يمكن استخدام دراسات المحاكاة لاختبار استراتيجيات المرور البديلة في أثناء أحداث الإخلاء مثل خطط عكس اتجاه سير المسار للطريق السريع واستخدام أنظمة النقل الذكية. يمكن لنتائج دراسة المحاكاة تحديد استراتيجية الإخلاء الأفضل ونقل جدوى الخطة إلى صانعي القرار والأطراف المعنية العامة.

أ-٩-٢-٤-٢ خطوات التحليل:

١- **تحديد الهدف:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ١ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٢- **تحديد نطاق الإخلاء:** يُحدد نطاق دراسة الإخلاء حسب جغرافية المنطقة المدروسة ونطاق حدث الطوارئ والحجم المتوقع لحركة الإخلاء. يستند النطاق الجغرافي لدراسة الإخلاء بشكل كبير على موقع المسارات الاستراتيجي المناسب لاستخدامات الإخلاء وتوافرها. قد لا تكون أحجام المرور في أثناء سيناريوهات الإخلاء متوفرة بسهولة. في حالة كون مسارات الإخلاء على أنظمة مُدارة مزودة بمستشعر، فيمكن الرجوع إلى أحجام المرور التاريخية أثناء أحداث الإخلاء السابقة. بالرغم من أن المقارنة المباشرة تمثل تحديًا، فقد تختلف شدة الخطورة (الحقيقية أو المُتصورة) لحدث الطوارئ وسلوك الإخلاء المرتبط به. عوضًا عن ذلك، يمكن الحصول على طلب المرور للإخلاء في خطوة تحليل خارجية من خلال استخدام افتراضات بشأن سلوك السكان في *مناطق الطلب على الإخلاء*. على نحو مماثل، من المتوقع أن يُجرى التوزيع الزمني لطلب الإخلاء باستخدام *منحنيات الاستجابة للإخلاء* التي تتوقع عدد الناس الذين يغادرون المنطقة في أي وقت. يعد كل من حجم حركة الإخلاء وتوزيعها بمرور الوقت مدخلات محاكاة حرجة.
٣- **تحديد سيناريوهات الإخلاء:** يحتاج المحلل إلى تحديد سيناريوهات الإخلاء المُراد نمذجتها. على سبيل المثال: تستخدم العديد من خطط الإخلاء نتيجةً لحوادث الطقس القاسية خطط عكس اتجاه سير المسار للطريق السريع؛ حيث يُستخدَم كلا اتجاهي السير للإخلاء. تقع الاختناقات المرورية الحرجة لمسار الإخلاء عادةً في نقاط البداية ونقاط النهاية الخاصة بهم (Tagliaferri, et al., 2006). ينبغي أن يكون لدى المحلل فهم واضح للتهيئة الهندسية ونوع التحكم المروري عند التقاطعات، وقد يحتاج إلى اختبار بدائل مختلفة.
٤- **النموذج القائم على الإعداد:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٢ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٥- **النموذج القائم على المعايرة والتحقق من صحته:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٣ من الجزء الفرعي أ-٩-٢-١).
٦- **تحديد النهج لسلوك السائق:** استنادًا إلى نوع التحليل، قد يكون سلوك السائق من مدخلات المحاكاة من خلال أساليب التوقع الخارجية، أو قد تكون مستمدة من داخل المحاكاة من خلال الطرق التي نوقشت في الجزء الفرعي توقع السلوك. كما على المحلل الوضع في الحسبان أن السائقين من المحتمل أن يتصرفوا بشكل مختلف في عملية الإخلاء، وأن الخوارزميات السلوكية للسائق قد تحتاج إلى تعديل.
٧- **سيناريوهات الطوارئ/ ترميز نموذج الإخلاء:** وفقًا لوجود افتراضات بشأن تهيئة عملية الإخلاء وسلوك السائق، على المحلل ترميز نموذج الإخلاء الفعلي. نظرًا للطبيعة الحساسة لهذه الدراسة وتداعياتها بخصوص حياة الناس، ينبغي أن يكون المحلل مُنشرح الصدر في تحليل كافة افتراضات النموذج وإجراء تحليلات الحساسية على المعلمات الحرجة. كما ينبغي أن يضع المحلل في الحسبان أن الإخلاء الطارئ قد يكون مرتبطًا بزيادة احتمالية وقوع اصطدامات تؤدي إلى مصادر غير متوقعة للتأخير. من خلال إدراج بعض احتمالات وقوع الحوادث في دراسة المحاكاة، يمكن الحصول على أكثر التقديرات تحفظًا لوقت الإخلاء. على سبيل المثال: يمكن للمحللين تصميم تحليل الحساسية (راجع القسم الفرعي أ-٩-٢-١) لفترات زمنية متفاوتة ومدة الحوادث (المركبات المعطلة) في مسارات الإخلاء. ينبغي النظر في التقديرات المتعلقة بفترات تطهير الطرق من الحوادث المتوقعة بخصوص الصعوبات التي يواجهها المستجيبون الأوائل للوصول إلى موقع الحادث على شبكة مزدحمة.
٨- **التحقق من المعقولية:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٥ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٩- **إجراء العديد من عمليات التشغيل:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٦ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
١٠- **تحليل النتائج:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٧ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).

أ-٩-٢-٥ الدراسات البيئية:

أ-٩-٢-٥-١ نظرة عامة على الدراسة:

لدى نماذج المحاكاة تطبيق على الدراسات البيئية. ربط البحث انبعاثات عوادم المركبات بأنماط السير على الطريق وأثبت أنه يمكن وصف انبعاثات عوادم المركبات بأنها أداة لسرعة المركبة وأنماط التسارع للأنواع المختلفة من المركبات (Frey, et al., 2002) تتوفر متغيرات المدخلات التي تحتاجها نماذج انبعاثات عوادم المركبات من المحاكاة المجهرية: نوع المركبة والسرعة والتسارع والانتقال بمرور الوقت. تُعد العديد من أدوات المحاكاة انبعاثات عوادم المركبات المتمثلة في (ثاني أكسيد الكربون وأكسجين النيتروجين وغيرهم) كمخرجات مباشرة. على المحلل مراجعة وثائق البرامج بعناية؛ لفهم الأساس التجريبي لنموذج انبعاثات عوادم المركبات وقيوده. في الغالب، يمكن أن تستند نماذج انبعاثات عوادم المركبات الافتراضية على عينات أسطول المركبات المحدودة أو القديمة، أو يمكن أن تكون طورت استنادًا إلى مواصفات الوقود وانبعاثات عوادم المركبات الواردة من الدول الأخرى، وبالتالي فهي غير قابلة للتطبيق على المستوى العالمي.

في حالة توفر بيانات المسار من المحاكاة، يمكن تطبيق النماذج الأخرى لانبعاثات عوادم المركبات في خطوة ما بعد المعالجة باستخدام جداول البيانات. نظرًا لزيادة التركيز على خفض انبعاثات عوادم المركبات ومتطلبات القياس الكمي لانبعاثات غازات الدفيئة، يمكن استخدام المحاكاة لتقييم منافع انبعاثات عوادم المركبات من

مختلف استراتيجيات هندسة المرور (على سبيل المثال: التغيير في وسائل النقل وتعاقب الإشارات والدوّارات). أثبت بحث (Frey, et al., 2002) أن انبعاثات عوادم المركبات ليست موزعة بالتساوي بمرور الزمان أو المكان، ولكنها تتركز خلال فترات الذروة ومناطق التسارع السريع. كلما تغير الطلب على المرور والتشغيل على مدار اليوم، كلما تزداد انبعاثات عوادم المركبات.

أ-٩-٢-٥-٢ خطوات التحليل

١- **تحديد الهدف:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ١ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٢- **النموذج القائم على الإعداد:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٢ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٣- **النموذج القائم على المعايرة والتحقق من صحته:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٣ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٤- **تحديد التدابير البيئية المعنية:** تتوافر نماذج انبعاثات عوادم المركبات لعدد من الانبعاثات مثل أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وثنائي أكسيد النيتروجين.
٥- **تحديد نموذج انبعاثات عوادم المركبات:** تتوفر مجموعة متنوعة من نماذج انبعاثات عوادم المركبات وعلى المحلل إجراء الاختيار بعناية. يكون لدى العديد من نماذج المحاكاة نماذج انبعاثات عوادم للمركبات المدمجة التي تُطبق وفقًا لمتوسط نوع المركبة. استنادًا إلى مستوى التفاصيل اللازمة للتحليل، يمكن تطبيق نماذج انبعاثات عوادم المركبات المختلفة لأنواع متعددة من المركبات مثل سيارات الركاب وسيارات الدفع الرباعي والشاحنات والحافلات. عوضًا عن ذلك، يمكن تطبيق نماذج انبعاثات عوادم المركبات في جهود مرحلة ما بعد المعالجة باستخدام ملفات مسارات المركبات.
٦- **التحقق من المعقولية:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٥ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٧- **إجراء العديد من عمليات التشغيل:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٦ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٨- **تحليل النتائج:** (لمزيد من التفاصيل، راجع الخطوة ٧ من القسم الفرعي أ-٩-٢-١).
٩- **استقراء النتائج للنظام والوقت الإضافي:** يختلف إعداد تقارير بيانات انبعاثات عوادم المركبات عن البيانات التشغيلية التقليدية للمرور؛ لأن التقديرات عادةً ما تُجمع على مستوى النظام وتستقرأ لفترة طويلة من الزمن.

أ-٩-٣ إجراءات جمع البيانات:

يتناول هذا الجزء الفرعي إجراءات استخدام المحاكاة كأداة لإنشاء بيانات النقل (الاصطناعية) ولتسجيل بيانات قياس الأداء من أجل أغراض التحليل. تختلف عملية الترميز المحددة بين تطبيقات البرامج. ونتيجةً لذلك، فإن المناقشة في هذا الجزء الفرعي تركز على مبادئ الترميز العامة التي تكون شاملة من خلال العديد من الأدوات. يناقش الجزء الفرعي عملية الترميز العامة ويناقش مقاييس الأداء من دراسات المحاكاة. يُولي اهتمام خاص لمعايرة نماذج المحاكاة والتحقق من صحتها، وهي خطوات أساسية لضمان مطابقة التشغيل المروري الذي طُوبق مع الملاحظات أو النظريات الميدانية.

أ-٩-٣-١ إعداد النموذج:

أ-٩-٣-١-١ نظرة عامة على دراسة المحاكاة:

يلي إجراء الدراسة العامة الأنواع المختلفة من الدراسات المحددة في الجزء الفرعي (أ-٩-٢).

ينبغي على المحلل في دراسة المحاكاة تحديد نطاق المشكلة بوضوح، وجمع أي بيانات ميدانية ضرورية مطلوبة لترميز النموذج. في حالة عدم وجود بيانات ميدانية. يمكن استخدام العلاقات النظرية لتدفق المرور أو تقييم الخبراء. من الأمور الحاسمة أن تكون كافة الافتراضات ومصادر البيانات موثقة على نحو سليم وموضحة في تقرير المشروع.

لاحقًا، ينبغي تطوير النموذج الأساسي الأولي الذي يمثل نموذج المحاكاة العملي الذي لم يُقارن بعد بالبيانات الفعلية. عقب إعداد النموذج الأساسي ينبغي تنفيذ الخطوة الأساسية للمعايرة، والتحقق من صحتها؛ حيث تُعاير خوارزميات المحاكاة والمدخلات؛ حتى يتم التحقق من مخرجات المحاكاة. إذا اثبتت نتائج هذا الجهد فقط تطابقًا مقبولًا بين المحاكاة والبيانات أو النظرية الميدانية، فينبغي أن تستمر دراسة المحاكاة. ينبغي تكرار جهود المعايرة، والتحقق من صحتها وتعديل المعلمات (المدخلات) النموذجية لحين الحصول على المطابقة.

من خلال نموذج المحاكاة المُعاير والمُتحقق من صحته بالكامل، يمكن لدراسة المحاكاة الفعلية الاستمرار؛ لتحقيق أي من الأهداف التي نوقشت في الجزء الفرعي (أ-٩-٢). عملية إعداد النموذج متناسقة بشكل عام مع كافة أنواع نماذج المحاكاة مثل النماذج الموجودة على المستوى المجهري والجزئي (الميزوسكوبي) والكلي. يكمن فقط الاختلاف بين هذه الأنواع من النماذج من حيث مستوى تفاصيل النموذج ومعلمات المعايرة/ التحقق من صحته.

أ-٩-٣-١-٢ مكونات النموذج:

يمكن لأدوات محاكاة المرور نمذجة عمليات النقل بقدر كبير من التفاصيل. في حين أن كافة النماذج تقدم بعض الافتراضات الأساسية بشأن خصائص المرور وسلوك السائق، يمكن تخصيص كافة المعلمات تقريبًا من خلال مدخلات المستخدم. فقط من خلال تخصيص معلمات النموذج (المعايرة)، يمكن تهيئة نموذج لإعادة التشغيل المروري من أجل هندسة معينة أو منطقة جغرافية أو دولة معينة. المقايضة للمعايرة الشاملة هي: وقت ترميز إضافي والاحتياج المحتمل لمزيد من جمع البيانات الميدانية للحصول على تقديرات لمعلمات المعايرة.

يبدأ كل نموذج محاكاة بمدخلات هندسية؛ حيث ينبغي على المحلل تحديد الروابط والتقاطعات والاتصالات استنادًا إلى الظروف الحالية أو المقترحة مستقبلاً في موقع التحليل. يمكن أن تعتمد الهندسة على التصوير الجوي أو رسومات التصميم الهندسي أو مجموعة من المصادر. عقب ترميز هندسة الشبكة؛ من الضروري تحديد توزيعات السرعة على مختلف الروابط (لافتات الحد الأقصى للسرعة)، لأنواع مختلفة من السائقين أو المركبات، فضلًا عن قيود السرعة الهندسية في المنحنيات أو على المنحدرات.

تعد *استراتيجية التحكم المروري* عند التقاطعات ونقاط الدمج هي جزء أساسي من أي نموذج محاكاة. يمكن أن تمثل المحاكاة تشغيل التقاطعات المزودة بإشارات وغير المزودة بها. يتضمن التحكم في الإشارة إشارات تعمل بالتشغيل الآلي ومسبقة التشغيل، ويمكن أن يحاكي كذلك الاستراتيجيات المنسقة والمتقدمة لمراقبة المرور. يتضمن التحكم غير المزود بالإشارات المرورية بالتقاطعات التي يُتحكَّم فيها من خلال خط التوقف وخط إفساح الطريق، فضلًا عن مناطق الدمج.

ينبغي على المحلل بعد ذلك ترميز *طلبات المرور* المتمثلة في أحجام مدخلات المرور على روابط مختلفة أو مصفوفة المنبع-المقصد لتدفقات الطلب. تُرمَّز مدخلات المركبات أو المشاة أو الدراجات الهوائية كالعادة باستخدام *تكوين المرور* لأنواع المركبات، يمكن أن تتضمن نسب مئوية مختلفة من الكيانات ذات الطول المتفاوت وسلوك التسارع والتباطؤ أو إشغال المركبات (بالنسبة إلى مسارات المركبات مرتفعة الإشغال). تُحدد تكوينات المرور لأي وسائل نقل غير مزودة بمحركات في المحاكاة، فضلًا عن وسائل النقل والشحن الخاصة.

تُخصص بعد ذلك طلبات مدخلات المرور للروابط الموجودة على الشبكة في خطوة توجيه المركبة. يمكن أن تكون مسارات المركبة في المحاكاة ثابتة (نفس تسلسل الروابط بمرور الوقت) أو ديناميكية؛ حيث يسلك السائقون طرقًا بديلة في حالات الازدحام المروري. تختلف عادةً كافة طلبات المرور والتوجيه وتوزيعات السرعة وفقًا لفئة المركبة. ولدى المحلل في هذه المرحلة نموذج محاكاة عملي.

استنادًا إلى نوع أداة المحاكاة، يمكن أن يكون من الضروري أيضًا تحديد عناصر جمع البيانات التي تراقب وتسجل سلوك المرور للإشارات، أو خطوط محددات الطول، أو التقاطعات المحددة أو الشبكة بأكملها. تكون هذه العناصر ضرورية للحصول على مخرجات مخصصة من المحاكاة. عملية تحديد عناصر جمع البيانات مماثلة من ناحية المفهوم لتصميم حجم، أو سرعة، أو زمن الانتقال، أو دراسة ميدانية أخرى باستخدام معدات جمع البيانات تلقائيًا.

ينبغي تنفيذ نموذج المحاكاة في الخطوة الأخيرة للحصول على النتائج. ينبغي أن تتضمن نتائج المحاكاة النموذجية المراقبة البصرية للمرور التي يمكن تسجيلها كرسوم متحركة لتوزيعها على العملاء والأطراف المعنية العامة. على المحلل الذي يحصل بعد ذلك على البيانات من عناصر جمع البيانات في شكل أولي أو مجمعة في خلال الفترة الزمنية المحددة الاستمرار؛ استنادًا إلى نوع النموذج، في تجميع وتحليل النتائج في الجداول والرسوم البيانية إما بشكل تلقائي، أو من خلال دليل المعالجة اللاحقة في برامج جداول البيانات.

لدى أي نموذج محاكاة الكثير من المرونة لمدخلات المستخدم المخصص؛ حيث يمكن معايرة هندسة الشبكة وأحجامها والمسارات والسرعات والتحكم المروري ومقارنتها بالبيانات الميدانية. يجوز للمحلل في بعض الحالات اختيار الاعتماد على الإعدادات الافتراضية للنموذج رغبةً في زيادة كفاءة الترميز، ولكن ينبغي توخي الحذر الشديد عند إجراء ذلك. المحلل بحاجة إلى الفهم الكامل لتداعيات المعلمات الافتراضية المختلفة وينبغي أن يولي اهتمامًا كبيرًا؛ للتحقق من صحة مخرجات النموذج عند استخدام الإعدادات الافتراضية للمحاكاة. بشكل عام، صمم مطور البرامج الإعدادات الافتراضية للمحاكاة؛ لتوفير مرجع أساسي معقول للترميز. لكن نظرًا لاستخدام العديد من الأدوات دوليًا وبالنسبة إلى مجموعة متنوعة من التطبيقات الخاصة؛ فإن القيم الافتراضية في كثير من الأحيان لا تلبي سلوك المرور المحلي أو الإقليمي. تعرض الأقسام الموضحة أدناه المزيد من التفاصيل بخصوص الوقت الذي تكون فيه الإعدادات الافتراضية للمحاكاة مقبولة، ومتى تكون المعايرة الإضافية ضرورية.

أ-٩-٣-١-٣ حدود النظام:

يؤثر قرار حدود النظام على كلٍ من النطاق المكاني للقطاعات والتقاطعات ومستوى التفاصيل المدرجة في التحليل. يُعد كلا الأمرين من التقديرات المهمة؛ حيث يؤثران بشكل مباشر على صحة نتائج المحاكاة فضلًا عن الكفاءة الحسابية للنموذج. تزيد النماذج الأكبر والأكثر تفصيلًا من المتطلبات الحسابية. على الجانب الآخر، يمكن ألا يستوعب النظام الصغير جدًا كافة جوانب التحليل.

ينبغي أن يكون نظام المحاكاة كبيرًا بالقدر الكافي لاحتواء كافة صفوف الانتظار ضمن حدوده في كافة الأوقات. في حالة تجاوز صفوف الانتظار في أي وقت خارج النطاق المكاني للشبكة، فإن نتائج التحليل لا تعد صحيحة؛ حيث تُدرج المركبات التي تدخل الشبكة فقط في حسابات التأخير. كما ينبغي احتواء كافة صفوف الانتظار ضمن النطاق الزمني للتحليل. بعبارة أخرى، ينبغي احتواء تأثيرات كافة صفوف الانتظار وعمليات الازدحام ضمن حدود نطاق تحليل الزمان والمكان. كما تحتاج الشبكة إلى أن تكون كبيرة بالقدر الكافي؛ لضمان سلوكيات المرور بشكل واقعي في المسألة المعنية. على سبيل المثال: إذا تأثر التشغيل في تقاطع الوقوف الطارئ ثنائي الاتجاه بأساطيل المركبات من إشارة نقطة البداية للمرور، فينبغي ادراج هذه الإشارة في التحليل (أو تأثير أسطول المركبات الممثلة من خلال مدخلات المركبات المخصصة). مستوى التفاصيل اللازمة لشبكة المحاكاة هو دلالة المقدار النسبي للمرور الموجودة على الروابط الصغيرة. يمكن للجزء (أ-٢) تجاهل التعدادات الموصى به على مستوى المنطقة بخصوص الروابط الصغيرة الموجودة على الشبكة، بشرط أن يكون التدفق الإجمالي على كافة هذه الروابط الصغيرة أقل من ٥٪ من المطالب الإجمالية للمرور. من خلال اتباع هذه الإرشادات، ينبغي أن تحتوي شبكة المحاكاة المُنمذجة على التفاصيل الكافية بحيث تشمل ٩٥٪ من طلبات المرور. ينبغي عدم إغفال نسبة ٥٪ المتبقية للمرور من المولدات المرورية الصغيرة، ولكن ينبغي تخصيصها

لروابط أكبر. وهذه الإرشادات تقريبية. في الحقيقة، قد تكون مليئة بالتحديات؛ من أجل الحصول على بيانات حجم الوصلات المحددة من المحاكاة؛ نظرًا لأن مدخلات الحجم عادةً ما تكون قائمة على مصفوفة المنبع-المقصد. بشكل عام، ينبغي أن تشمل الشبكة التفاصيل الكافية لإدراج كافة الروابط التي يكون لديها تأثير فريد وهام على أداء الشبكة. إذا كان لدى الوصلة الصغيرة نوع من التأثير الفريد على النظام بأكمله، فهو بحاجة للإدراج. تتضمن أمثلة التأثير الفريدة صفوف انتظار كبيرة من ممر أو وصلة صغيرة تتسبب في وجود تداعيات التقاطع المحكوم بإشارات مرورية. وفقًا للشكل المتعارف عليه، يجب إدراج كافة الروابط المسببة لتكرار الازدحام المروري في التحليل.

أ-٩-٣-١-٤ دقة المحاكاة:

تستخدم كافة أدوات المحاكاة خطوة زمنية أساسية؛ لتحديث موقع المركبة وتوقيت الإشارة، وإعادة حساب قواعد القيادة باستخدام الخوارزميات السلوكية. في بعض أدوات المحاكاة القديمة، كان الحد الأدنى لحجم الخطوة الزمنية ١,٠ ثانية، ولكن معظم الأدوات الحديثة تسمح بدقة محاكاة منخفضة جدًا بدرجة تصل إلى ٠,١ ثانية. بالرغم من ذلك، عادةً ما تسمح الأدوات الحديثة للمستخدم بتغيير دقة المحاكاة. تؤدي المحاكاة الأعلى دقة (خطوة زمنية أقل) إلى عمليات حسابية أشد دقة، نتيجةً لذلك يمكن أن تبطئ وقت المعالجة (استنادًا إلى الحاسب المستخدم وتعقيد النظام المُحاكي). لذلك، يمكن أن يبدو جذابًا تغيير دقة المحاكاة إلى دقة منخفضة (خطوات زمنية أكبر)، ومن ثم تحسين الكفاءة الحسابية. تُعد هذه الممارسة محبطة، نظرًا إلى أنها تُغير سلوك السائق ونتيجةً لذلك تُغير النتائج. على سبيل المثال: تعني دقة المحاكاة البالغة ١,٠ ثانية أن السائقين (الذين تم محاكاتهم) يمكنهم الاستجابة بمجرد (فتح أعينهم) كل ثانية، مما يؤدي إلى وقت رد فعل متغير في النموذج المجهري. يمكن أن تكون الدقة المنخفضة مقبولة بالنسبة إلى المحاكاة الكلية حيث يقدم القليل من التفاصيل. لكن باعتباره إرشادات عامة، ينبغي تنفيذ نماذج المحاكاة المجهرية بأعلى دقة ممكنة، والتي عادةً ما تكون ٠,١ ثانية.

أ-٩-٣-١-٥ فترة إدخال البيانات:

وفقًا لبداية عملية تشغيل للمحاكاة، لن يكون هناك أي مركبات في الشبكة التي صُمِّمت نماذج لها؛ لذلك تكون تقديرات قياس الأداء في الدقائق القليلة الأولى من المحاكاة لا تمثل التأثير الحقيقي لحجم طلب المدخلات، حتى تُتاح للشبكة فرصة للازدحام المروري الكامل. تتطلب كل عملية تشغيل للمحاكاة فترة استعداد أو فترة إدخال البيانات؛ حيث لا يُجرى خلالها تقييم مقاييس الأداء. ينبغي أن تضمن طول فترة إدخال البيانات أن العدد الإجمالي للمركبات في الشبكة قد وصل إلى حالة مستقرة؛ حيث إن إجمالي تدفقات الدخول والخروج للمركبات متساوٍ تقريبًا. على الرغم من ذلك، ليس من الممكن دائمًا، سواء لأن النموذج مشبع بشكل مفرط، أو أن استمرار العدد الإجمالي للمركبات متزايد، أو بسبب مستويات المطالب المتفاوتة التي يحددها المستخدم طوال فترة المحاكاة؛ فإن القاعدة المتعارف عليها في هذه الحالات هي تحديد فترة إدخال البيانات إلى ضعف الوقت الذي يستغرقه لمرور المعلومات للشبكة (أو أطول مسار عبر الشبكة) في ظل ظروف التدفق الحر ((FHWA, (2019a). على سبيل المثال، إذا استغرقت الفترة ما يقرب من ٥ دقائق للسير على الطريق السريع المصمم بنماذج بطول ٨كيلومتر بسرعة ١٠٠ كم/ساعة؛ فينبغي أن تكون فترة إدخال البيانات حوالي ١٠ دقائق.

أ-٩-٣-٢ أنواع المقاييس:

يمكن إجراء عملية جمع البيانات في المحاكاة على مستويات مختلفة من التجميع. يمكن أن تُجرى دراسات المحاكاة في موقع أحادي الإشارة أو يمكن تجميعها على مستوى القطاعات أو العقدة أو حتى على مستوى الشبكة. يستند مستوى تفاصيل تجميع البيانات والتحليل على هدف الدراسة، وسواء إذا كان التركيز ينصب على مشكلات التقاطع المنعزل أو استراتيجية التحكم على مستوى الشبكة. يمكن أن يكون تجميع البيانات للعقدة والمقاييس التي تشمل النظام بأكمله مفيدة في مقارنة بدائل النظام، ويصعب مقارنة هذه المقاييس بنتائج الدراسة الميدانية؛ للتحقق من صحة النموذج. على المحلل ضمان المعايرة والتحقق من الصحة على مستوى النقطة أو القطاعات قبل استقراء الاستنتاجات على مستوى العقدة والشبكة.

تُناقش في الأقسام الآتية المقاييس العامة على مستوى الإشارة والقطاعات والعقدة والشبكة. تتضمن بيانات المدخلات المختلفة ومعلمات المعايرة ومتغيرات المخرجات على تعريفات محددة في كل أداة محاكاة، وتميل هذه التعريفات إلى الاختلاف من منتج إلى آخر. ينبغي أن يكون المحلل على دراية بالتعريفات المحددة لكل متغير ومعلم يُستخدَم في الأداة المختارة للتحليل. نتيجةً لذلك، ينبغي أن تكون أي بيانات مدرجة في النموذج متسقة مع هذه التعريفات. ينبغي أن يستند تفسير متغيرات المدخلات على الفهم الكامل للأشياء التي تكون (أو لا تكون) ضمن القياس الكمي.

أ-٩-٣-٢-١ جمع بيانات الإشارة:

على غرار الدراسات الميدانية الموضحة في الجزء (أ-٢) من خلال (أ-٤) الملحق (أ)، يمكن أن تُجرى دراسات المحاكاة في موقع أحادي الإشارة في الشبكة. تختلف القدرة على تحديد إشارات جمع البيانات المحددة للمستخدم بين أدوات المحاكاة ومن المعترف به أن البعض يمكنه فقط تجميع المقاييس على مستويات القطاعات أو العقدة أو الشبكة وفقًا لما هو موضح أدناه. يضم تجميع بيانات الإشارة بيانات بخصوص أحجام الحركة المروية أو تقديرات السرعة اللحظية، أو تأخيرات المركبات عند الاقتراب من التقاطع، أو في موقع الإشارة المتوسطة على طول القطاعات. تسمح عادةً نماذج المحاكاة للمحلل بترميز إشارة جمع البيانات التي تسجل هذه العناصر وغيرها من عناصر البيانات في الموقع المحدد. كما ينبغي على المستخدم تحديد مستوى تجميع البيانات الذي يخبر البرنامج بحجم حاوية البيانات التي يجب تخزين البيانات فيها.

يمكن أن تكون بيانات الإشارة من المحاكاة مفيدة بشكل خاص؛ للتحقق من صحة النموذج، نظرًا إلى أن البيانات الميدانية عادةً ما تُجمَع أيضًا في موقع محدد. ينبغي أن تكون فترة تجميع البيانات في هذه الحالة مطابقة للبيانات الميدانية. بالنسبة إلى دراسات التأخير، من الضروري أن يستخدم المحلل نفس التعريفات؛ لأن النتائج ستكون مختلفة عن التأخير بسبب الوقوف أو تأخير صف الانتظار أو تأخير التحكم في الاتجاه.

أ-٩-٣-٢-٢ جمع بيانات المقطع:

تتطلب بعض مقاييس أداء المرور جمع البيانات بشأن القطاعات للطريق. تتضمن هذه المقاييس أوقات السير على الطريق والتأخيرات التي قيست على مسافة أو مسار وطول صفوف الانتظار على الطريق السريع أو على الاتجاه للتقاطع. في حين يمكن أن تكون الدراسات الميدانية للحصول على هذه المقاييس مكثفة؛ ينبغي على المحلل في المحاكاة اختيار المقياس المناسب من قائمة مقاييس الأداء المتاحة. على غرار جمع بيانات الإشارة، يحتاج المحلل إلى اختيار طول القطاعات وفترة جمع البيانات بعناية لمطابقة هدف الدراسة والدراسة الميدانية المقابلة إذا كان ذلك ممكنًا.

يمكن أن توفر بيانات القطاعات للمحاكاة أوقات السير على الطريق بجانب مسارات الدراسة في ظل الظروف الهندسية، أو ظروف المرور، أو التحكم المروري المختلفة. يمكن للمحلل مقارنة نتائج زمن الانتقال بالتقديرات المقاسة ميدانيًا باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي أو الوسائل الأخرى وفقًا لما نوقش في الجزء (أ-٦) . بالنسبة إلى محاكاة الطريق السريع؛ فإن طول صف الانتظار الناجم عن الاختناقات المرورية هو مقياس شائع للخط محدد الطول (راجع الجزء (أ-٧)).

في تطبيقات الطرق السريعة، يمكن لجمع بيانات المقطع للمحاكاة تقدير متوسط السرعة المكاني (Space-Mean Speed, SMS) والتدفق والكثافة على مقطع الطريق السريع. خلال فترة التحليل القصيرة (على سبيل المثال: ٥ دقائق) يمكن لنموذج المحاكاة توليد العديد من نقاط البيانات بشكل سريع لرسم علاقات الكثافة-التدفق-السرعة لمقطع الطريق السريع. نظرًا إلى أن السعة المقطع ليست مدخلًا في المحاكاة، ولكنها نتيجة للتشغيل المروري في النموذج؛ فإن الرسم البياني المرئي لعلاقات الكثافة-التدفق-السرعة هي معلمات مهمة لترسيخ النموذج (التحقق من صحته). إذا كانت العلاقة الناجمة عن ذلك لا تتطابق مع الملاحظات الميدانية (أو نظرية التدفق المروري)، يمكن للمحلل تعديل معلمات سلوك السائق في خوارزميات قبول الفجوات أو تغيير المسار أو تتابع المركبات لمعايرة علاقات الكثافة-التدفق-السرعة.

أ-٩-٣-٢-٣ بيانات العقدة المجمعة:

في حال إجراء دراسة محاكاة لمقارنة بدائل التقاطع (على سبيل المثال: إشارة مقارنةً بدوّار)، يُوصى بمقياس تحليل بيانات العقدة المجمعة. يمكن أن تقدم بيانات العقدة المجمعة، على سبيل المثال: تأخير التحكم الكلي للتقاطع في إطار الاستراتيجيات المختلفة للتحكم في المرور، أو في تحليل حساسية الحجم.

تكون مقارنة بيانات العقدة المجمعة بالملاحظات الميدانية أكثر صعوبة ، نظرًا لأن إجراء دراسة ميدانية لأداء العقدة ينطوي على قدر كبير من الجهد، وعادة لا يكون فعالًا من حيث التكلفة. لذلك يُوصى بتقييم عمليات كل مدخل من مداخل التقاطع على حدة في إطار جهود معايرة النموذج والتحقق من صحته قبل تجميع النتائج على مستوى العقدة.

أ-٩-٣-٢-٤ المقاييس على مستوى الشبكة:

في حال إجراء دراسة محاكاة لشبكة أوسع نطاقًا، من الضروري في بعض الأحيان الحصول على مقياس أداء شامل على مستوى الشبكة تحت مختلف تكوينات النظام. على سبيل المثال: يمكن أن يتم تقييم دراسة المحاكاة التأثيرات المتخذة على مستوى النظام لاستراتيجيات أنظمة النقل الذكية والتغييرات في سلوك توجيه السائق، أو التقليل الإجمالي لانبعاثات عوادم المركبات للممر بعد تركيب نظام إشارات منسقة. يُنصح بالنظر في المقاييس المجمعة على مستوى الشبكة؛ لتقييم هذه الأنواع من السيناريوهات الواسعة النطاق.

تتمثل المشكلتان الرئيستان المرتبطتان بالمقاييس على مستوى الشبكة في أن التفاصيل التشغيلية مفقودة على الرغم من التجميع واسع النطاق للبيانات، وأن أي مقارنة للنموذج مع نتائج الدراسات الميدانية تكاد تكون مستحيلة. نتيجةً لذلك، في حين أن الدراسة يمكن أن تتطلب من المحلل إعداد تقارير عن المقاييس على مستوى الشبكة، فمن الضروري دائمًا النظر في الأداء التشغيلي للعناصر الفرعية في النظام. في حال إعداد تقارير عن النتائج على مستوى الشبكة، وبناءً على ذلك، من المُقترح أيضًا إعداد تقارير بشأن النتائج على مستوى العقدة، وتسليط الضوء على أسوأ التقاطعات أو المواقع المحددة في الشبكة.

أ-٩-٣-٣ معايرة المدخلات:

يعرض هذا القسم الفرعي إجراءات معايرة مدخلات نماذج المحاكاة لمطابقة البيانات الميدانية، أو مصادر نظرية التدفق المروري. يُفضل بشكل عام إجراء المعايرة باستخدام البيانات الميدانية؛ لكونها أفضل تمثيل لثقافة القيادة المحلية. بالنسبة إلى المواقع المقترحة، يمكن أن تُجرى المعايرة في موقع المقارنة الحالي (ويُفضل أن يكون ذلك في نفس المنطقة). ينبغي أن تُجرى معايرة العلاقات النظرية لتدفق المرور فقط؛ إذا كان لا يمكن الحصول على التقديرات الميدانية، أو إضافة نفقات ووقت غير معقولين إلى محاولة النمذجة. تكفل المعايرة القواعد المحددة لسلوك السائق والخوارزميات الحسابية الأخرى المطابقة لتوقعات المستخدم استنادًا إلى البيانات الميدانية، أو المصادر الموجودة في الكتيبات. تعرض القائمة المذكورة أدناه المكونات الجوهرية لإجراءات المعايرة للمحاكاة (Zhang, 2008).

١- تحديد نطاق المشروع والتحقق من الأخطاء.
٢- معايرة المعلمات العالمية.
٣- معايرة المعلمات المحلية.
٤- معايرة معلمات اختيار المسار/ المغادرة.
٥- المعايرة العالمية.

تشير المعايرة *العالمية* بشكل عام إلى المعلمات التي تنطبق على النظام المصمم بنماذج شاملة. على سبيل المثال: في بعض المعلمات يكون تكوين أسطول المركبات أو سلوك السائق (تتابع المركبات وما إلى ذلك) معلمات عالمية. تكون معلمات المعايرة المحلية هي تلك المعلمات التي غُيرت في التقاطع الفردي، أو المقطع، أو طريق الاقتراب (المدخل) ويمكن أن تتضمن توزيعات السرعة أو توقيت الإشارة أو معلمات قبول الفجوة.

إنّ معايرة معلمات النموذج عنصرٌ مهمٌ لأي دراسة محاكاة؛ نظرًا لكون الاعتماد على القيم الافتراضية غالبًا ما يتغاضى عن الاختلافات الإقليمية أو الدولية في سلوك السائق. توضح الأجزاء الفرعية الآتية مدخلات المحاكاة الرئيسة التي تُعاير عادةً بالمزيد من التفاصيل: الأحجام والسرعة وقبول الفجوات والتحكم في الإشارة وسلوك السائق.

أ-٩-٣-٣-١ أحجام الطلب المروري:

أحجام الطلب هي معيار المعايرة الأساسي. وإن معايرة حجم الطلب أمرٌ بسيطٌ؛ لمطابقة مدخلات المحاكاة مع تعدادات المرور المُقاسة ميدانيًا. يُنمذج مدخل الطلب المروري في المحاكاة استنادًا إلى تعدادات المرور أو توقعات المرور. بالرغم من ذلك، يتأثر الطلب المروري في بعض الأحيان بالازدحام المروري ويمكن أن يختلف عن *أحجام* المرور التي تُلاحظ ميدانيًا إذا كان موقع العدّ يقع في نقطة بعد نهاية الاختناق المروري؛ ينبغي دائمًا أن تُقاس مدخلات الطلب المروري في نقطة تقع بعد نهاية أي ازدحام مروري وترميزها بطريقة مماثلة لدخول شبكة المحاكاة على وصلات غير مزدحمة. تختلف معايرة أحجام مدخلات الطلب المروري اختلافًا جوهريًا عن التحقق من صحة أحجام المرور المخدومة داخل للشبكة.

أ-٩-٣-٣-٢ السرعات:

إن توزيع سرعات المركبات على مقطع في نموذج المحاكاة هو وسيلة أخرى لمعايرة النموذج. يمكن للوسائل الموضحة في قسم دراسات السرعة اللحظية للملحق (أ) توفير تقديرات ميدانية لتوزيع السرعات. ينبغي للمحلل معايرة السرعات من خلال تحديد توزيعات سرعات مستهدفة في المحاكاة. تغير المعايرة العالمية مدخلات توزيع سرعة المركبات، في حين تغير المعايرة المحلية سلوك السرعة في مقاطع محددة استجابةً للانعطافات الحادة أو الميول الشديدة. تكون بعض أدوات المحاكاة محدودة في النطاق الذي يسمح بتوزيعات السرعة المحددة من المستخدم؛ في حين يسمح البعض الآخر بالمرونة الكاملة بخصوص نوع التوزيع المستخدم.

ينبغي استخدام معايرة السرعة فقط؛ لإظهار أنماط السرعة الناتجة عن اللافتات (حد السرعة) والخصائص الهندسية (الجيومترية)، وليس الازدحام. بعبارة أخرى، *على* المحللين فقط معايرة سرعات التدفق الحر على المقطع استنادًا إلى المقاييس الميدانية المقابلة. ينبغي ألا تُستخدَم معايرة السرعة مطلقًا لإجبار السائقين على التباطؤ في التشغيل المزدحم أو لفرض الاختناقات. إذا أظهرت المقاطع الواقعية انخفاض السرعة بسبب الطلب المتزايد، ينبغي أن يتوقع نموذج المحاكاة هذا الازدحام (وانخفاض السرعة الناجمة) كمخرجات. إذا اقتضت الضرورة، يمكن للمحلل معايرة سلوك السائق وفقًا لما هو موضح أدناه؛ ليعكس سلوكًا عدوانيًا أكثر أو أقل (ونتيجة لذلك وجود سعة أكبر أو أقل). في هذه الحالة، تصبح السرعة المزدحمة المُقاسة معلمة للتحقق من صحة المحاكاة.

أ-٩-٣-٣-٣ التحكم بإشارات مرورية:

تقدم نماذج المحاكاة الحديثة مجموعة متنوعة من الخيارات لترميز التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية التي تتراوح من التحكم المنطقي المبرمج لوحدة التحكم المدمجة، إلى محاكاة برامج-داخل-حلقات الاستشعار ومحاكاة أجهزة-داخل-حلقات الاستشعار لوحدات التحكم الفعلية بالإشارة.

في نمذجة برامج-داخل- حلقات الاستشعار، يتعامل برنامج منفصل مع تشغيل الإشارة. يعمل هذا البرنامج (بالتوازي) مع المحاكاة ويتبادل البرنامجان المعلومات خلال كل خطوة زمنية. على وجه التحديد، تنقل المحاكاة الإشارة لمكالمات أجهزة استشعار الإشارة إلى البرامج-داخل- حلقات الاستشعار. من ثم، تفسر البرامج-داخل- حلقات الاستشعار تأثير هذه المكالمات على تشغيل الإشارة و (إذا اقتضى الأمر) ينقل تغيير طور الإشارة إلى المحاكاة. تؤثر أطوار الإشارات المحدثة بدورها على عمليات المركبات في المحاكاة، مما يؤثر مجددًا على مكالمة أجهزة الاستشعار في العملية التكرارية للمحاكاة.

في أجهزة-داخل- حلقات الاستشعار، يستعيض عن وحدة تحكم إشارة المرور الفعلية (أي الأجهزة) ببرنامج-داخل- حلقات الاستشعار. تعزز أجهزة-داخل- حلقات الاستشعار ثقة المحلل بأن إشارة المرور المحاكاة تمثل فعليًا التحكم المنطقي المبرمج لوحدة التحكم المستخدمة في هذا المجال، ولكنها تحتاج إلى نفقات إضافية. كما أنه يقيد تشغيل المحاكاة في الوقت الفعلي لمطابقة وحدة التحكم المادية.

ينبغي إجراء معايرة التحكم بالإشارات وفقًا لتصميم الإشارة وخطط الأطوار. يمكن أن تكون عمليات التحقق من الصحة الإضافية للإشارة (الفترات الخضراء وطول دورة الإشارة) ضرورية لبناء الثقة في أن منطق التحكم المصمم بنماذج يتطابق مع الظروف الفعلية.

نظرًا لتعقيد التحكم بالإشارات المرورية، يمكن أن يؤثر العديد من مصادر الخطأ على التشغيل مثل أجهزة الاستشعار وتأخيرات الأجهزة الميدانية وأخطاء الترميز.

أ-٩-٣-٣-٤ سلوك السائق:

يمكن أن تكون عملية معايرة سلوك السائق معقدة، ولكن من المرجح أن يكون لها تأثير كبير على أداء نموذج المحاكاة لكافة معلمات المعايرة. يُعالج سلوك السائق في المحاكاة من خلال خوارزميات تتابع المركبات، وتغيير المسارات، وقبول الفجوات، وغيرها. عادةً يكون لدى هذه الخوارزميات العديد من الخيارات لمعلمات المعايرة. يمكن أن تقدم أدلة مستخدمي البرامج ومطوريها نظرة ثاقبة بشأن كيفية تأثير هذه المعلمات المختلفة على سلوكيات السائق.

ونظرًا لكون خوارزميات سلوك السائق هي القواعد الأساسية للمحاكاة؛ فهي أداة مهمة للمعايرة. في حال ملاحظة المحلل وجود صفوف انتظار على غير المألوف في منطقة اندماج في الطريق السريع، على سبيل المثال: يمكن أن يكون من الضروري إجراء تعديل في سلوك تغيير المسارات. على نحو مماثل، إذا بدا أن مقطع الطريق السريع يحمل الكثير من حركة المرور قبل الوصول إلى السعة، فقد تحتاج خوارزميات تتابع المركبات إلى التعديل رغبةً في أن يكون السائقون أكثر تحفظًا. بالرغم من ذلك؛ فالعلاقة عادةً ما تكون بين معلمات سلوك السائق ومقاييس المعايرة (على سبيل المثال: السعة) غير مباشرة؛ لذلك يلزم إجراء بعض محاولا التجربة والخطأ.

تتابع المركبات:

يتوقع نموذج تتابع المركبات في شكله الأساسي أن تكون *الاستجابة* (معدل التسارع أو التباطؤ للسائق) كدالة في بعض *المُحفزات*. في النموذج الأصلي لتتابع-المركبات، كان المُحفز هو الاختلاف النسبي بين سرعتي مركبتين (متتابعتين). كما يتضاعف التحفيز في مدى الحساسية الذي يصف السلوك للمركبة التابعة بأن أكثر أو أقل عدوانية. لاحقًا، وُسِّع نطاق هذه الفئة الأصلية من نماذج تتابع المركبات المعروفة بمصطلح *التحفيز-الاستجابة* إلى ما يُعرف بنماذج *السلامة-المسافة*. كما تحسن نماذج السلامة-المسافة العلاقة الآتية حيث إن حساسية نطاق السلامة المرغوبة (على سبيل المثال، السرعة النسبية) تختلف وفقًا لاختلاف المسافة. على سبيل المثال، يتسبب الاختلاف النسبي في سرعات المركبات البالغة ١٦ كم/ ساعة في استجابة أكثر حدة للسائق عندما تكون المركبات متقاربة بشكل وثيق مما لو كانت بعيدة للغاية. في الوقت الحالي، تُطبق العديد من أدوات المحاكاة المعروفة بالنموذج *النفسي-المادي (psycho-physical)*، والذي يجمع بين الجوانب النفسية لتتابع المركبات (فرق السرعات المرغوب ومسافة السلامة) مع القيود المادية المفروضة على إدراك السائق والتحكم في دواسة الوقود.

بخصوص المعايرة، تُعاير فئة *التحفيز-الاستجابة* لنماذج تتابع-المركبات بسهولة نسبيًا؛ لأن نطاق المعايرة الوحيد هو معلمة واحدة للحساسية. نماذج *السلامة-المسافة* عادةً ما يكون لها عدة (اثنان أو ثلاثة) من معلمات الحساسية لوصف مختلف جوانب التفاعل. يكون من الصعب معايرة النماذج *النفسية-المادية*؛ نظرًا لوجود العديد من معلمات الحساسية. كما أن المعايرة معقدة في حالة استخدام نماذج تتابع-المركبات *أنظمة* قيادة متعددة - على سبيل المثال: رغبةً في تمييز القيادة الحرة (بعيدًا عن المرور الآخر) عن تتابع-المركبات، ومن نظام الكبح-للطوارئ. لذلك، يمكن أن تقدم أدوات المحاكاة الحديثة ١٠ أو أكثر من معلمات المعايرة.

تؤثر معايرة نماذج تتابع-المركبات بشكل أساسي على التباعد بين المركبات؛ ونتيجةً لذلك فإن هدف المعايرة الجيد هو السعة (لمقطع طريق سريع) أو معدل التدفق المُشبّع (للتقاطع المحكوم بإشارات مرورية).

يمكن الاطلاع على تفاصيل معايرة تتابع-المركبات المحددة لكل أداة محاكاة في أدلة مستخدمي البرامج الحاسوبية.

تغيير المسار:

ترتبط خوارزميات تغيير-المسار بخوارزميات تتابع-المركبات؛ فيمكن أن ترغب مركبة ذات سرعة مرغوبة عالية في اجتياز مركبة أبطأ حركة أمامها في تغيير *طوعي* للمسار. كما يمكن أن يكون تغيير المسار *ضروريًا* إذا كانت المركبة مُضطرة إلى تغيير المسار، على سبيل المثال: للانعطاف يسارًا عند تقاطع أو الخروج من الطريق السريع، وفي هذه الحالات يستند تغيير المسار أيضًا على خوارزميات محاكاة اختيار مسار.

في أبسط أشكالها، تتضمن خوارزمية تغيير-المسار بعض الوقت لاستجابة السائق ومعلمات السلامة التي تصف الفجوة الزمنية المسموح بها إلى المركبة الأمامية؛ فضلًا عن المقدار المقبول للفجوات في المرور في المسار (المسارات) المجاورة. كما تتضمن مناورة تغيير-المسار بعض سلوكيات التسارع والتباطؤ حيث تتسارع المركبات أو تتباطأ للقيام بمناورة تغيير المسار أو للسماح لمركبة أخرى بالتغيير والانتقال إلى مسارها (*سلوك تعاوني*). يختلف توافر هذه المعلمات وفقًا لاختلاف أداة المحاكاة وينبغي التحقق من أدلة المستخدم للحصول على إرشادات أكثر تفصيلًا.

على سبيل المثال، يمكن أن تركز غاية معايرة خوارزمية تغيير-المسار على التشغيل في منطقة اندماج في طريق سريع (أو مناطق اختناقات مرورية الأخرى)، ومرة أخرى يمكن مقارنتها بالبيانات الميدانية أو علاقات تدفق المرور النظرية.

عادةً، تتنافس الغايات المتعددة للمعايرة. كلما زاد وقت رد فعل السائق (استجابة بطيئة)، تنخفض سرعة المركبة الملحوظة، وكذلك السعة الملحوظة. تُمثل *منطقة الحل* المدى الذي تكون فيه كلتا غايتي المعايرة ضمن منطقة مقبولة.

قبول الفجوات:

تصف خوارزميات قبول الفجوات في المحاكاة التشغيل في التقاطعات المحكومة بلافتة قف، ولافتة أعطِ الأفضلية، بما في ذلك الدوّارات الحديثة، وأجزاء الاندماج في الطريق السريع والتفاعل بين سائقي المركبات والمشاة. تستخدم نظرية قبول الفجوات في النماذج القطعية معلمات الفجوة الحرجة وزمن المتابعة. يوضح الجزء الخاص بدراسات التقاطعات والمداخل الجانبية في الملحق (أ) طرق الحصول على هذه المعلمات من البيانات الميدانية. عادةً، يستخدم سلوك قبول الفجوات في المحاكاة عتبة دنيا للفجوة. إن التمييز بين الفجوة الحرجة والفجوة الدنيا أمرٌ مهمٌ؛ لأنه يجعل من الصعب معايرة سلوك قبول الفجوة في المحاكاة بشكل مباشر في المحاكاة. علاوةً على ذلك، لا توجد معلمات زمن المتابعة بشكل صريح في المحاكاة المجهرية؛ نظرًا لأن احتمال قبول المركبات اللاحقة لنفس الفجوة هي دالة ضمنية لخوارزمية تتابع-المركبات. يؤدي نموذج تتابع-المركبات لسلوك السائقين الأكثر عدوانية إلى ما يكافئ زمن متابعة أقل، لكن لا يمكن أن تعتمد المعايرة على تقدير ميداني لهذه المعلمة بمفردها. بالنسبة إلى المحاكاة الجزئية (*الميزوسكوبية*) والمحاكاة الكُلّية، يمكن للفترة الزمنية الفاصلة للتدفق المُشبّع أن تُقارب زمن المتابعة لقبول الفجوات.

نظرًا لصعوبات معايرة سلوك قبول الفجوات من البيانات المقاسة ميدانيًا، ترتبط هذه المعايرة المحددة ارتباطًا وثيقًا بشكل عام بالتحقق من صحة المقاييس الأخرى. على سبيل المثال: النهج المُستخدم بشكل متكرر لمعايرة سلوك قبول الفجوات في مرحلة الدخول للدوارات الحديثة هو البدء بمجموعة أولية مفترضة من معلمات قبول الفجوات. من خلال استخدام هذه المجموعة الأولية، ينبغي على المحلل بعد ذلك تشغيل النموذج والتحقق من سعة دخول الدوّار في إطار مدى من الأحجام. في عملية تكرارية، يمكن للمحلل بعد ذلك تعديل سلوك قبول الفجوات لتحقيق سعات أكبر أو أقل للدخول.

تسمح أدوات المحاكاة المختلفة بدرجات متفاوتة من خوارزميات معايرة قبول الفجوات. يسمح البعض بوجود مرونة كاملة لتعديل معلمات قبول الفجوات للمواقع المختلفة وللسائقين على اختلاف أنواعهم. ويحصر البعض الآخر قبول الفجوات على مجموعة المعلمات العالمية التي يمكن أن تقيد قدرة المحلل على تمييز المعلمات حسب نوع المناورة (على سبيل المثال: الانعطاف لليمين أو الانعطاف لليسار أو الحركة للأمام)، وليس من خلال موقع محدَّد.

أ-٩-٣-٤ التحقق من صحة المخرجات:

عادةً ما يركز التحقق من الصحة على مخرجات النموذج. تتمثل معلمات التحقق من الصحة في مقاييس الأداء، التي يُحصَل عليها من المحاكاة، والتي تُقارن بالتقديرات الميدانية المقابلة. يتمثل اختلافها الرئيس عن معلمات المعايرة في أنها لا تُرمِّز بشكل مباشر من المحلل، بل هي نتاج المحاكاة القائمة على مدخلات المحلل. بعبارة أخرى، هي لا تُحدَّد بشكل صريح، بل يُحصَل عليها بشكل ضمني من خلال تفاعل مجموعة خوارزميات النموذج المدمج الذي يحدده المستخدم؛ مفاهيميًا، تُعاير المدخلات قبل أن ينقر المحلل على زر (تشغيل المحاكاة) ويُتحقَّق من صحة المخرجات أثناء (التحقق البصري) وبعد عملية المحاكاة. بلغة دليل الطرق، عادةً ما يشار إلى مقاييس التحقق من الصحة على أنها مقاييس الخدمة، ولكنها تسمى أيضًا مقاييس الفعالية. على الرغم من ذلك، ليست كل معلمات التحقق من الصحة هي مقاييس فعالية. على سبيل المثال: يمكن إجراء التحقق من صحة نموذج يتوقع زمن طور الإشارة الحتّي في تقاطع مزود بإشارات مرورية والذي يمكن التحقق من صحته باستخدام بيانات زمن طور الإشارة المُقاس ميدانيًا.

أ-٩-٣-٤-١ الأحجام الداخلية للشبكة:

يمكن أن تكون الأحجام في المحاكاة مدخلات أو مخرجات. يناقش القسم الفرعي (أ-٩-٣-٣) معايرة أحجام الطلب كمدخلات للمحاكاة. الأحجام الداخلية للشبكة المحاكاة هي نتيجة للعديد من معلمات المحاكاة والخوارزميات، لذا ينبغي معاملتها على أنها مخرجات. والتي يمكن ملاحظاتها وقياسها فقط بعد أن يقرر المحلل تشغيل المحاكاة. يمكن التحقق من أحجام الشبكة الداخلية مقابل القياسات الميدانية لظروف الشبكة السائدة التي قد تشمل فترات تدفق مزدحمة (سعة التصريف للإشارة أو التدفق في موقع بعد نهاية الاختناق المروري للطريق السريع). كما أن التحقق من صحة أحجام الشبكة الداخلية هو أمر ضروري بخصوص دراسات سلوك السائق التي تطبق التخصيص الديناميكي للمرور على الشبكة.

أ-٩-٣-٤-٢ سرعات التشغيل:

على نفس منوال الأحجام، يمكن أن تكون السرعات معلمات تحقق أو معايرة. يناقش القسم الفرعي (أ-٩-٣-٣) معايرة سرعات التدفق الحر، غير المزدحم من البيانات الميدانية. إن سرعات التشغيل عبارة عن مخرجات للمحاكاة بعد أن يقرر المحلل تشغيل المحاكاة، وهي دالة في العديد من المعلمات والخوارزميات. كما أنّ سرعات التشغيل عبارة عن معلمة مهمة للتحقق من حالات التدفق المزدحمة على الطرق السريعة والشوارع الشريانية. ينبغي أن يعكس قياس السرعات وتجميعها أي دراسة ميدانية أجريت لتقدير بيانات السرعة المرجعية. في هذا الصدد، يمكن إجراء التحقق من السرعة باستخدام متوسط السرعات الزمني (Time-mean speed, TMS) المقاسة في موقع نقطي (راجع الجزء أ-٣) أو متوسط السرعات المكاني المقاسة على طول مقطع (راجع الجزء أ-٦). على نحو مماثل، يمكن إجراء التحقق من السرعة من خلال كافة المسارات على المقطع، أو يمكن أن يركز على عنصر معين، على سبيل المثال: السرعات من خلال مسار الانعطاف الموجه قنواتيًا في التقاطع المحكوم بإشارات

مرورية. تتوافق حسابات حجم العينة لمقارنات السرعة واختبارات الدلالة المعنوية الإحصائية مع تلك التي نوقشت في جزء: دراسات السرعة اللحظية في الملحق (أ).

أ-٩-٣-٤-٣ التأخيرات النقطية:

إحدى معلمات التحقق الشائعة هي قياس التأخير في موقع نقطي. يمكن أن يريد المحلل التحقق من صحة التأخير في تقاطع، أو في منحدر دخول/خروج لطريق سريع. من الضروري ملاحظة أن نماذج المحاكاة تحدد التأخيرات في معظم الحالات على أنها الاختلاف بين زمن الانتقال المرغوب فيها والوقت الفعلي. عند مقارنة التأخيرات بالمقاييس الميدانية، يحتاج المحلل إلى مراعاة إذا كان التأخير يشمل قيود السرعة الهندسية (الجيومترية) أم لا. على سبيل المثال: تشهد مركبة واحدة تسير من خلال دوّار حديث تأخيرًا هندسيًا (جيومتريًا)؛ لأن السائق يضطر إلى إبطاء السرعة لمناورة الدوار. بالرغم من ذلك؛ فعادةً يُدرج التأخير الهندسي (الجيومتري) في المحاكاة في تقدير زمن الانتقال والتأخير سواء المرغوبة أو للتدفق الحر؛ ونتيجةً لذلك لا يكون هناك أي تأخير (أي التأخير صفر). يحدد الاختلاف إذا كانت البيانات الميدانية المستخدمة للتحقق من صحة النموذج هي التأخير الكلي (مثل: التأخير الهندسي الجيومتري) أو تأخر التحكم فقط. يرد في الجزء (أ-٤) تفاصيل إجراء دراسة التأخير لتقاطع أو عند نقطة. كما أن مسألة تحديد التأخير هي مسألة شائعة عند مقارنة المحاكاة بمخرجات نماذج التحليل القطعية يمكن ألا تسمح بعض أدوات المحاكاة لعناصر جمع البيانات النقطية التي يحددها المستخدم لتقدير التأخيرات، ولكن يمكن أن تقتصر على المقاييس المُبلغ عنها على مستوى الوصلة أو العقدة.

أ-٩-٣-٤-٤ أزمنة الانتقال على مقطع:

يعد زمن الانتقال على مقطع أو مرفق هي مقياس تحقق جيد؛ نظرًا لأنه يضع في الحسبان مجموعة متنوعة من العوامل التي تؤثر في تشغيل النموذج (على سبيل المثال: الإشارات والازدحام المروري والسرعات). من السهل نسبيًا الحصول على زمن الانتقال من الميدان باستخدام مقاييس ساعة إيقاف داخل المركبة أو سجلات زمن الانتقال باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي وفقًا لما هو موضح في الجزء (أ-٦). لبيانات نظام تحديد المواقع العالمي ميزة إضافية هي السماح للمحلل ليس فقط بالتحقق من صحة زمن الانتقال، ولكن أيضًا بمقارنة كل من متوسط سرعة التشغيل وأزمنة التأخير وسلوك التسارع/ التباطؤ بين النموذج والواقع.

أ-٩-٣-٤-٥ أطوال صفوف الانتظار:

طول صف الانتظار مقياس مهم من مقاييس الفعالية، والذي يُستخرَج من المحاكاة. يلجأ المحللون في كثير من الأحيان إلى نماذج المحاكاة للتغلب على القيود المفروضة في إجراءات التحليل القطعية.

بالرغم من ذلك، ينبغي توخي الحذر عند مقارنة أطوال صفوف الانتظار المُقاسة ميدانيًا مع تلك المقدرة بالمحاكاة؛ لأن تعريف المحاكاة المقدرة يختلف اختلافًا كبيرًا بين نماذج المحاكاة.

تتضمن الاختلافات بين حزم البرامج عتبات مختلفة عندما يُنظر في متى تعد مركبة ما قد انضمت إلى صف انتظار أو غادرته، والمدى المكاني المختلف لصف الانتظار (الوصلة الحالية فقط، أو تشمل الوصلة التي تلي نهاية الازدحام المروري)، وحساب طول صف الانتظار الإجمالي والمتوسط (أطول صف انتظار على أي وصلة، أو مُجمّع لكافة المركبات الموجودة في صف الانتظار قبل نقطة بداية الازدحام المروري لجزء الطريق المزدحم على أي وصلة).

يمكن أن تتضمن مقاييس الاصطفاف المستخدمة للتحقق من صحة النموذج توزيع متوسط أطوال صفوف الانتظار (المئين ٥٠)، أو صفوف الانتظار ذات الطول الأقصى، أو مئين آخر للتوزيع الإحصائي. بالنسبة إلى الممارسة، تُستخدم في الغالب أطوال صفوف الانتظار للمئين ٨٥ لوصف أنماط الاصطفاف الأكثر شدة من متوسط الاصطفاف، والتي تحدث بتكرار أقل من المتوسط، ولكنها لا تزال أكثر تكرارًا من صفوف الانتظار ذات الطول الأقصى. تختلف أدوات المحاكاة في قدرتها على تقديم المقاييس المختلفة لصفوف الانتظار، وينبغي مراجعة أدلة مستخدمي البرامج للحصول على إرشادات محددة.

أ-٩-٣-٥ ملخص الطريقة:

يتناول هذا الجزء الفرعي طريقة جمع البيانات لدراسات المحاكاة مثل إعداد النموذج ومعايرة مدخلات المحاكاة والتحقق من صحة مخرجات المحاكاة مقارنة بالبيانات الميدانية. يربط الجدول (أ-٥٧) معلمات التحقق من الصحة والمعايرة لمصادر البيانات المشتركة لكل مقياس. بالنسبة إلى البيانات الميدانية، يبين الجدول مراجع الجزء لهذا الحجم. هناك مصادر أخرى للبيانات المشتركة في الكتيبات مثل العلاقات النظرية لتدفق المرور والدروس المستفادة من تحليلات المحاكاة السابقة لبيانات المشكلات المماثلة واستخدام نفس أداة التحليل. كما تُقارن معلمات التحقق من الصحة للمحاكاة في أغلب الاحيان بالتقديرات التي حُصل عليها من أدوات التحليل الأخرى، مثل النماذج القطعية المعترف بمرجعيتها.

الجدول (أ–٥٧) مدخلات المحاكاة ومخرجاتها ومصادر بياناتها (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 11-16).

معلمات المعايرة	مصادر البيانات

أحجام الطلب.	الدراسات الميدانية وفق منهجيات الجزئين (أ-٢) و (أ-٧).
السرعات.	الدراسات الميدانية وفق منهجيات الجزئين (أ-٣) و (أ-٦).
قبول الفجوات.	الدراسات الميدانية وفق الجزء (أ-٤). أدلة البرامج والكتيبات.
التحكم المزود بإشارات مرورية.	خطط تشغيل الإشارة. برامج التعظيم الخارجية. أدلة البرامج والكتيبات.
سلوك السائق.	أدلة البرامج والكتيبات.
معلمات التحقق من الصحة	
الاحجام الداخلية.	الدراسات الميدانية وفق منهجيات الجزئين (أ-٢) و (أ-٧).
السرعات التشغيلية.	الدراسات الميدانية وفق منهجيات الجزئين (أ-٣) و (أ-٦).
التأخيرات النقطية.	الدراسات الميدانية وفق الجزء (أ-٤). الكتيبات. مقارنة البرامج الأخرى.
أزمنة الانتقال على مقطع	الدراسات الميدانية للجزء (أ-٦).
أطوال صفوف الانتظار.	الدراسات الميدانية وفق منهجيات الجزئين (أ-٤) و (أ-٧)

أ-٩-٣-٦معايير أداة التحليل المروري



الشكل (أ–٨٠) معايير اختيار فئة أدوات التحليل المروري (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 11-3).

أ-١٠ دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات:

أ-١٠-١ أنواع التعدادات:

تُجرى عادةً تعدادات غير السائقين إما في التقاطعات أو القطاعات. استنادًا إلى نوع العدّ الذي يجري تنفيذه، يمكن أن تتوفر وسائل مختلفة لجمع البيانات.

أ-١٠-١-١ عمليات عد التقاطعات:

تجرى تعدادات التقاطع عند تقاطع طريقين. في حالة جمع تعدادات التقاطع، ينبغي عدّ عدد واتجاهات غير السائقين عند كل اتجاه وفي كل ممر للمشاة.

توفر تعدادات التقاطع فهمًا للعمليات الموجودة في التقاطع، فضلًا عن فهم الحجم التقريبي لغير السائقين على امتداد القطاعات المتعلقة بالتقاطع. تميل تعدادات التقاطع إلى إدراج نقاط دخول وخروج أكثر من تعدادات القطاعات، مما يتطلب عددًا أكبر من الأجهزة أو طرق جمع البيانات الأكثر تعقيدًا.

أ-١٠-١-٢ تعدادات القطاعات:

تُعد تعدادات القطاعات مجمعة بشكل عام بين التقاطعات، ويتمثل غرضهم في تسجيل أعداد غير السائقين بطول محدد على الطريق خلال فترة الدراسة.

تميل تعدادات القطاعات إلى أن تكون أقل تعقيدًا من تعدادات التقاطع. بالرغم من ذلك، ينبغي النظر في جمع البيانات لكافة المرافق على امتداد القطاعات. على سبيل المثال: في حال إجراء التعدادات على نقطة محددة على امتداد القطاعات، ينبغي عدّ غير السائقين في كافة المرافق في تلك النقطة. يمكن أن يتطلب ذلك إجراء عمليات العدّ عبر أرصفة المشاة ومرافق الدرجات أو مسارات الاستخدام المشترك.

في حال اختيار موقع لإجراء تعدادات القطاعات، يُوضع في الحسبان اختيار موقع يعمل بمثابة اختناق مروري أو إعادة توجيه المستخدمين من مرافق مختلفة إلى أحد المرافق (مثل الجسر) أو الجمع بين المرافق على طريق واحد (مثل الانتقال من مسار الدراجات، ورصيف المشاة إلى مسار الاستخدام المشترك).

أ-١٠-٢ طرق جمع البيانات:

الملاحظة اليدوية والتعدادات الآلية هما الطريقتان الأساسيتان للحصول على تعدادات غير السائقين. تشير عادةً الملاحظة اليدوية إلى أي طرق تتضمن التسجيل اليدوي للبيانات من الملاحظ، سواء في الميدان أو من خلال تسجيلات الفيديو. تقلل التعدادات الآلية من عبء عمل الملاحظ باستخدام التقنية لإجراء التعدادات.

أ-١٠-٢-١ المراقبة اليدوية:

من خلال استخدام هذا الإجراء، ينبغي على الملاحظ التسجيل اليدوي لكل شخص من غير السائقين في أثناء تقدمه من خلال النقطة المعنية. تقلل التعدادات اليدوية ذات الطبيعة الميدانية من تكلفة المعدات ووقت الإعداد. بالرغم من ذلك، يمكن للتعدادات اليدوية أن تصبح غير فعالة كلما ظل الملاحظ في الميدان لفترة أطول.

تُجمع بعض أنواع تعدادات غير السائقين بسهولة ودقة كبيرة من خلال الملاحظة اليدوية باستخدام الملاحظين المدربين (على سبيل المثال: العدّ وفقًا للفئة العمرية والجنس والإعاقة الجسدية والدراسات السلوكية الأخرى الخاصة مثل الامتثال للإشارات).

يمكن أن تتطلب الأشكال الهندسية المعقدة للتقاطع التعدادات اليدوية.

بالنسبة إلى بعض المشاريع، يمكن أن يكون الوقت والمصادر مبررين جيدين لاختيار الملاحظة اليدوية خلال العدّ الآلي.

أ-١٠-٢-١-١ العدّ اليدوي:

كانت التعدادات اليدوية هي أقدم التقنيات وأكثرها شيوعًا لعدّ نشاط غير مستخدمي المركبات. من خلال هذه التقنية، ينبغي أن يضع الملاحظين أنفسهم في موقع لديه نقطة ذات رؤية واضحة لملاحظة المكان الذي يراقبونه لنشاط غير مستخدمي المركبات. يزود كل ملاحظ بلوحة كتابة إلكترونية، أو ورق، أو جهاز كتابة أو لوحة عدّ الإلكترونية، وعليه تسجيل كل متنقل من غير مستخدمي المركبات، وتوثيق الاتجاه والجنس والفئة العمرية واستخدام الخوذة من بين ميزات أخرى. بينما يعد وجود الملاحظين من إحدى مزاياها، هناك العديد من التحديات المتعلقة بهذه الطريقة وخاصةً عندما يسير برنامج الحصر في اتجاه الحصر المستمر المدة في العديد من المواقع.

يتمثل التحدي الرئيس الأول في التكلفة المتعلقة بطريقة العدّ اليدوي. يتمثل التحدي التالي المتعلق بطريقة العدّ اليدوي في دقة تسجيل البيانات. ينبغي أن يكون الملاحظ متأكدًا من وجوده في الموقع وعلى استعداد لبدء التسجيل في الوقت المحدد. إذا بدأ الملاحظ في عمليات العدّ مبكرًا أو بعد فوات الأوان، فإنه يؤثر في صحة العدّ الذي أُجري. علاوةً على ذلك، استنادًا إلى مستوى النشاط غير مستخدمي المركبات في الموقع، يمكن أن يكون من النشط جدًا بالنسبة إلى مراقب واحد تسجيل كافة الأنشطة بدقة. على سبيل المثال: يمكن أن يواجه الملاحظ المُوزع في أحد شوارع المدينة الحضرية مئات أو حتى آلاف المتنقلين غير السائقين في غضون ساعتين، وجميعهم يسيرون في اتجاهات مختلفة وبسرعات مختلفة. مثل مستوى عالٍ من حركة مرور المركبات/الشاحنات التي تحجب رؤية الشخص ومستوى التعقيد الواقع الذي يجعل من الصعب جدًا جمع عدّ دقيق. وفقًا لتلك الأسباب، لا تزال التعدادات اليدوية طريقة فعالة للتعدادات قصيرة المدى، وبالرغم من ذلك، لا يُنصح به لبرامج التعدادات المستمرة/ طويلة المدى.

أ-١٠-٢-١-٢ الأفراد اللازمين:

تتطلب التعدادات اليدوية ملاحظين مدربين على أن يكونوا مرتاحي البال بشكل منتظم لتجنب التعب وتدهور الأداء. يُوصى بفترات راحة مدتها من عشر إلى خمس عشرة دقيقة على الأقل لكل ساعتين، أو ما بين ثلاثين إلى خمس وأربعين دقيقة لكل أربع ساعات لفترات تجميع أطول من ثمان ساعات.

يعتمد عدد الملاحظين المدربين المطلوبين على طول فترة عمليات العدّ على نوع العدّ المُجرى، وعدد معابر المشاة، ومسارات الدراجات والحجم المتوقع لغير السائقين. يمكن أن يجري الملاحظ الفردي عدّ حجم غير السائقين للتقاطعات المحكومة بإشارات مرورية بمسارات الاتجاه الأحادية والأحجام المنخفضة طالما أن التصنيفات الخاصة و/أو تعدادات الاتجاه غير مطلوبة. يمكن أن يساعد إجراء دراسات نموذجية في المواقع المرغوبة في تحديد العدّ الدقيق أو الملاحظين المطلوبين. ينبغي تقسيم الواجبات بين الملاحظين. على سبيل المثال: يمكن تعيين مراقب واحد لتسجيل معابر المشاة الشمالية والغربية، في حين يلاحظ الملاحظ الثاني معابر المشاة الجنوبية والشرقية.

أ-١٠-٢-١-٣ المعدات:

السجلات الإحصائية: تتمثل الطريقة التقليدية؛ لإجراء العدّ اليدوي في تسجيل كافة غير مستخدمي المركبات بعلامة صح في نموذج الحقل المُعد. يلزم وجود ملاحظة أو ساعة إيقاف لتسجيل فترة العدّ المطلوبة، ويجب أن يستخدم نموذج جديد في بداية الفترة الزمنية الجديدة. بمجرد إنهاء التعدادات اليدوية يلخص الملاحظ التعدادات الأولية.

لوحات العدّ المحمولة: تتضمن لوحات العدّ الإلكترونية على أزرار مخصصة لحركات مختلفة داخل التقاطع ويكون لدى اللوحات ساعة داخلية لفصل البيانات إلى الفترة المختارة. يمكن تنزيل البيانات على الحاسب؛ لتلخيصها ومعالجتها وعرضها بالشكل المفضل.

بشكل عام، تبرر المزايا الإضافية الناجمة عن تقليل الوقت تخفيض البيانات يدويًا وإيجازها لنفقات لوحات العدّ الإلكترونية. تُعد هذه أداة فعالة من حيث التكلفة وموفرة للعمالة. ولا يلزم وجود نماذج ميدانية مع هذا البديل، وتحتوي الألواح على ساعة داخلية تفصل البيانات بفترة زمنية محددة. تتمثل العيوب الشائعة في صعوبة استرجاع البيانات المصنفة حسب النوع من لوحات العدّ الإلكترونية.

الأجهزة المحمولة: يمكن استخدام أجهزة الحاسب المحمولة والأجهزة اللوحية والهواتف المحمولة بدلًا من لوحات العدّ الإلكترونية. ويمكن استخدام جداول البيانات الممكنة من الماكرو لتسجيل الطوابع الزمنية للأحداث المختلفة على أجهزة الحاسب. وتتمثل فائدة استخدامها لجمع البيانات في القدرة على تخصيص جداول البيانات لاحتياجات المستخدم المحددة. تتمثل العيوب في احتياجات ترميز البرامج وتحليل ما بعد مرحلة المعالجة المطلوبة.

تتوفر الأجهزة اللوحية التجارية وتطبيقات الجول التي تحاكي وظيفة لوحة العدّ، ولكن مع تحسين إمكانيات مدخلات البيانات والتصدير. بالنسبة إلى جانب مدخلات البيانات؛ تمكن شاشة اللمس الموجودة في الأجهزة اللوحية التجارية وظائف جديدة مثل تتبع الدرجات أو حركات المشاة على الشاشة أو النقر المزدوج؛ للدلالة على حركات الدراجات أو المشاة. وبخصوص جانب تصدير البيانات، يمكن استخدام اتصال الإنترنت للأجهزة المحمولة؛ لإرسال العدّ من خلال البريد الإلكتروني عند اكتماله.

كاميرات الفيديو: يمكن إجراء التعدادات اليدوية كعملية لما بعد مرحلة المعالجة من خلال تسجيلات الفيديو. يمكن استخدام تقنية الطائرات المسيرة كبديل للكاميرات التقليدية. من الأهمية الحاسمة أن يكون لديك زوايا التصوير المختارة جيدًا وحالات الإضاءة المناسبة لتصوير كافة حركات راكبي الدراجات والمشاة عند التقاطع النموذجي مع وجود واحدة أو أكثر من الكاميرات. إذا كان من المفترض إجراء التعدادات في أثناء ساعات الليل، يرجى التأكد من توفر الإضاءة الكافية لإضاءة معابر المشاة وراكبي الدراجات. يمكن أن تساعد الساعة الرقمية في ملاحظة نهاية الفترات.

يمكن للملاحظ تسجيل التعدادات من خلال تسجيلات الفيديو باستخدام لوحة عدّ محمولة أو تسجيلات إحصائية أو مباشرة من الحاسب. تتمثل الميزة الإضافية لتسجيل الفيديو في إمكانية التحقق من أخطاء الملاحظات من خلال ملاحظ ثاني. علاوةً على ذلك، يمكن عادةً إبطاء تسجيلات الفيديو لتسهيل تسجيل العدّ اليدوي - وهذا مفيد بشكل خاص عند التقاطع في مستويات الحجم الكبيرة.

قد يكون من المفيد تسجيل ضعف البيانات بأكبر قدر ممكن، التي يريد المشروع استخدامها. يقلل جمع البيانات الإضافية من احتمالية سقوط الأمطار، أو الانعدام المؤقت للرؤية، أو أي حدث عابر آخر يتطلب من جامع البيانات العودة إلى الميدان لجمع المزيد من البيانات.

أ-١٠-٢-١-٤ الإجراء الميداني:

الإعداد:

يُوصى بإعداد قائمة تحقق. يمكن الاطلاع على عينة قائمة تدقيق خلال الجدول (أ-١). لتحديد نوع المعدات والإجراءات الميدانية وعدد الملاحظين المطلوبين للدراسة، ينبغي مراجعة ما يأتي:

أ- غرض ونوع العدّ المراد إجراؤه.
ب- فترة العدّ والفترات الزمنية (تتراوح عادةً الفترات الزمنية من خمس عشرة دقيقة إلى عدة ساعات؛ استنادًا إلى الغرض من إجراء العدّ).
ج- معلومات بشأن الموقع (على سبيل المثال: التصميم الهندسي، ومستويات الحجم على مدار اليوم، وتوقيت الإشارة، ومرافق المشاة/ راكبي الدراجات وعوامل الجذب للمشاة/ راكبي الدراجات والمحركات وما إلى ذلك).

موقع المراقب:

ينبغي وضع الملاحظين في مواقع ذات رؤية واضحة لغير السائقين؛ من أجل إحصائهم وينبغي تجنب المناطق ذات الرؤية الواضحة المغلقة بانتظام. يُوضع الملاحظون بعيدًا عن حافة طريق سير المركبات؛ من أجل أغراض السلامة، ولتجنب تشتيت انتباه السائقين أو عرقلة حركات غير السائقين، أو إعاقة غير السائقين عن مستوى رؤية السائقين.

في حالة إجراء هذه الدراسة من خلال أكثر من ملاحظ، ينبغي المحافظة على الاتصال البصري مع بعضهم البعض، وأن يكونوا قادرين على التواصل لتنسيق أنشطتهم. ينبغي ارتداء سترات السلامة في كافة الأوقات. من المُوصي به وصول الملاحظين إلى الموقع قبل خمس عشرة دقيقة على الأقل من موعد بدء العدّ المقرر وإتاحة الوقت للإعداد والاستطلاع.

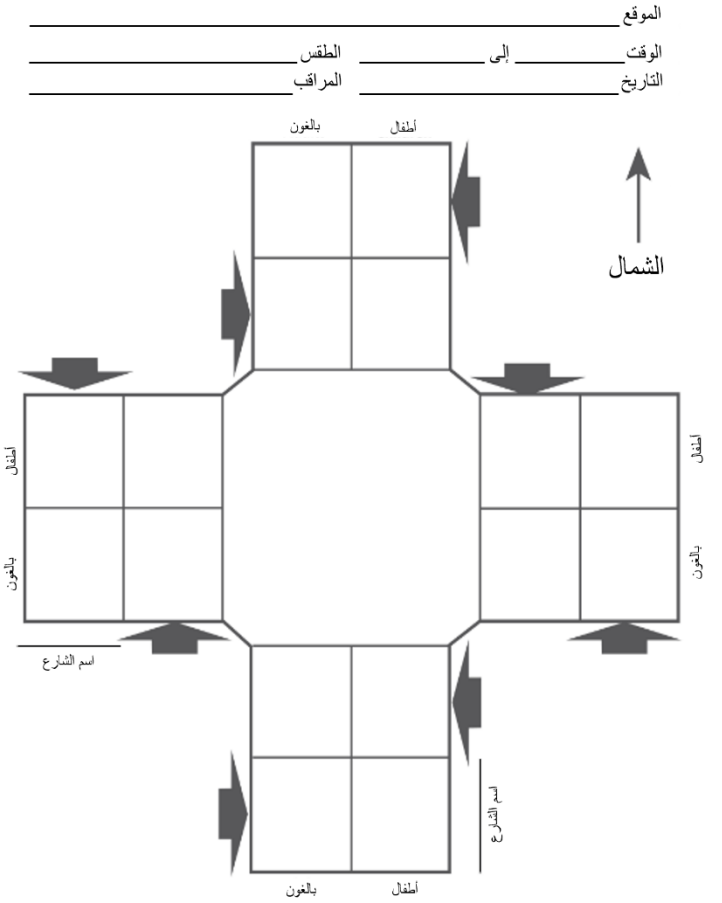
تسجيل البيانات:

يُعدّ تنظيم النماذج والملفات وتصنيفها بشكل صحيح أمرًا أساسيًا؛ لنجاح عملية التعدادات اليدوية. ينبغي أن يحتوي كل ملف أو نموذج على المعلومات الضرورية مثل موقع العدّ وأسماء الملاحظين ووقت الدراسة والشروط في أثناء الدراسة.

ينبغي أن تُسجل العوامل المرتبطة بخاصية أو سلوك غير السائقين وفقًا لغرض جمع البيانات. يمكن أن تتضمن العوامل على سبيل المثال لا الحصر: واسطة النقل واتجاه السير على الطريق (على سبيل المثال: السير على الطريق باستخدام المركبة أو بدونها) والعمر والجنس واستخدام الخوذة ومرفق الاستخدام (على سبيل المثال مسار الدراجات أو رصيف المشاة أو مسار السير على الطريق بالمركبة) العدد الموجود في المجموعة. ورد في الشكل (أ-٨١) والجدول (أ-٥٨) ذكر أمثلة على نماذج جمع البيانات.

ينبغي على الملاحظ الاحتفاظ بالبيانات منظمة ومصنفة بشكل صحيح؛ لضمان نجاح دراسة حجم مرور غير مستخدمي المركبات. فيما يأتي بعض التقديرات المحددة:

أ- توجيه المعدات بشكل صحيح إلى التصميم الجغرافي والهندسي للتقاطع.
ب- المحافظة على أن تكون الفترات الزمنية دقيقة بين المراقبين وتنسيقها.
ج- التركيز على تسجيل كل عدّ بدقة في المكان المناسب على النموذج، أو باستخدام الزر المناسب بصرف النظر عن الطريقة المستخدمة.



الشكل (أ–٨١) مثال لنموذج ميداني لعدّ المشاة في معابر المشاة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 12-1).

الجدول (أ–٥٨) نموذج تجميع بيانات المسار متعدد الاستخدامات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 12-2).

نموذج تجميع بيانات المسار متعدد الاستخدامات

التاريخ_____
الطقس_____
وقت البدء _____ وقت الانتهاء
_____
الموقع_____
_____

الوقت	واسطة النقل								الاتجاه				العمر		الجنس		الخوذة		استخدم الموقع		المجموعة
	مشاة			جهاز مزودة بعجلات																	
	المشي فقط	الركض/ الجري	مع حيوان أليف	مع عربة طفل	دراجة	دراجة نارية بمقطورة	أحذية تزلج/ ألواح تزلج	دراجة نارية	كرسي ذوي الاحتياجات الخاصة	شمال	جنوب	شرق	غرب	شاب	طفل	ذكر	أنثى	نعم	لا	المسار	الطريق	العدد الموجود في المجموعة

الملاحظات_____
___

المراقب _____
__

أ-١٠-٢-٢ التعدادات الآلية:

من خلال استخدام هذا الإجراء، تُركب المعدات لتسجيل نشاط غير السائقين. واستنادًا إلى المعدات، يمكن تحميل البيانات في موقع الجهاز أو عن بُعد من خلال مودم لاسلكي أو أرضي. تتفاوت إمكانيات المعدات من حيث مستوى التفاصيل المقدمة في البيانات.

يسمح العدّ الآلي بجمع البيانات على مدى فترات زمنية طويلة مع جهود يدوية محدودة. يمكن أن تتطلب العدادات الآلية صيانة أو معايرة على مدار الوقت استنادًا إلى المعدات المستخدمة.

توفر عمليات العدّ الآلية وسائل لجمع بيانات حجم مرور غير مستخدمي المركبات؛ حيث لا تكون هناك حاجة إلى التصنيفات المعقدة.

ينبغي أن يكون مهندسو المرور على دراية بالقيود الحالية من حيث الدقة ومكان استخدام هذه التقنيات.

أ-١٠-٢-٢-١ الأفراد اللازمين:

يعد الموظفون اللازمون لإجراء التعدادات الآلية هم أولئك المطلوبون لتركيب المعدات ومعايرتها واستعادتها.

بالنسبة إلى بعض المعدات، يمكن أن يحتاج فريق التركيب إلى إغلاق مسارات المركبات بشكل مؤقت أو جزء من معابر المشاة وراكبي الدراجات. في هذه الحالات ينبغي تركيب المعدات خلال فترات انخفاض المرور.

أ-١٠-٢-٢-٢ المعدات:

يشمل المكونان الرئيسان للمعدات المطلوبة بشكل عام مستشعرات لكشف وجود المشاة أو الدراجات ومسجل البيانات.

يمكن أن تستخدم مستشعرات كشف وإرسال ضوء الأشعة تحت الحمراء السلبية، أو النشطة ومستشعر التصوير بيزو والفترات الزمنية بين أشرطة الفيديو وأجهزة الاستشعار الحلقية في الرصف والأنابيب الهوائية لنقل الرسائل. يمكن تسجيل نشاط السير على الطريق للمشاة والدراجات بطرقة تفصيلية باستخدام تقنيات جديدة على سبيل المثال: العدادات ومقاييس التسارع وأجهزة الإرسال والاستقبال لنظام تحديد المواقع العالمي والأجهزة المحمولة لتتبع الموقع وعدادات الليزر.

المدة المُوصي بها والمقدرة والأكثر فعالية من حيث التكلفة لعدّ قصير المدى للدراجات هي سبعة أيام متتالية عند استخدام أجهزة العدّ الآلي. (Institute for Transportation Research and Education (ITRE); Bicycle and Pedestrian Data Collection — Phase 1 Final Report; October 2016).

ينبغي التحقق من التشغيل السليم للمعدات. ينبغي تجنب أو تقليل حدوث تداخل في المعدات مع المشاة وراكبي الدراجات.

أ-١٠-٢-٢-٣ الإجراء الميداني:

الإعداد: ينبغي إعداد قائمة تحقق عند إعداد الأعمال الميدانية. يحدد الغرض من العدّ نوع المعدات المراد استخدامها والإجراءات المراد اتباعها. يُعدّ التشغيل السليم للمعدات أمرًا حاسمًا قبل الخروج إلى الميدان. يُوصى بتوفير إمدادات وفيرة من الملحقات والأدوات اللازمة في أثناء التركيبات الميدانية.

تحديد الموقع: ينبغي تحديد الموقع العام (خطوط عبور المشاة الثانوية أو التقاطعات)؛ حيث يُجرى فيه العدّ في العمل. يُحدد الموقع الدقيق للمعدات عادةً في الميدان.

يمكن أن تستخدم بعض الدراسات كلتا المنهجيتين: الآلية واليدوية. في هذه الحالات، يمكن أن يكون هناك احتياج إلى كاميرات تكميلية للدراسات الخاصة.

التركيب والصيانة: ينبغي انجاز عمليات التركيب والصيانة في أثناء فترات انخفاض حجم المرور لأسباب مرتبطة بالسلامة. ينبغي تطبيق تدابير مراقبة المرور لتوفير منطقة عمل آمنة وقتما نُفذ العمل على الطريق نفسه أو عندما تتعامل مركبة الموظف الميداني مع مسارات المتنقلين أو مسارات الطوارئ. ينبغي أن يلتزم الموظف الميداني بالبروتوكول الصارم لمعدات الحماية الشخصية، مثل:

أ- ملابس السلامة العاكسة.
ب- شارات الهوية.
ج- نظارات السلامة.
د- قفازات.
ه- خوذات الوقاية (حسب الاقتضاء).
و- المصابيح الأمامية للعمل الليلي.
ز- أحذية مغلقة من الأمام.

ينبغي الانتهاء من المعايرة في أثناء التركيب وتكون بشكل دوري في حالة مواقع التعدادات طويلة الأجل.

ملخص البيانات: بمجرد جمع البيانات؛ ينبغي تلخيصها من خلال المجموعة الفرعية للحساب والإجمالي وترتيب البيانات في تنسيق من أجل إجراء التحليلات. استنادًا إلى نوع الدراسة التي أُجريت، يمكن أن تتطلب البيانات عملية استخراج بسيطة، أو معالجة إحصائية متطورة.

أ-١٠-٢-٣ دراسات سرعة المشي:

من المقترح أن تكون نطاقات سرعة المشي الآتية وفقًا للمتعارف عليه ((ITE, (2010a)):

أ- المشاة الأصحاء تمامًا: ٠,٨٥ إلى ١,٧٤ م/ ث.
ب- المشاة ذوو الاحتياجات الخاصة: ٠,٦١ إلى ١,١٣ م/ثانية.

قد تتأثر سرعات المشي وفقًا لخصائص المشاة (العمر ومستوى اللياقة البدنية وما إلى ذلك)، وخصائص الطريق (الميول ومسار النقل العام وما إلى ذلك) أو الظروف البيئية (حجم المشاة والظروف الجوية وسرعات المركبات القادمة وما إلى ذلك).

إذا كانت سرعة المشي مطلوبة؛ يرد أدناه الأفراد والمعدات والإجراءات الميدانية التي يجب اتباعها. ينبغي إجراء الدراسة في إطار ظروف الموقع والظروف المعنية.

يمكن تعديل الإجراء الموضح أدناه وتطبيقه على مستخدمي الطريق الآخرين من غير مستخدمي المركبات (مثل الدراجات والسكوترات).

أ-١٠-٢-٣-١ الأفراد اللازمين:

يمكن أن يزداد عدد الملاحظين المطلوبين لإجراء دراسة سرعة المشي إذا تفاوتت الظروف على مدار فترة المسألة المعنية والفئات المرغوبة للبيانات المطلوبة.

ويجب اختيار موضع الملاحظ؛ لتجنب تشتيت الانتباه أو التضارب مع المشاة وحيث يكون لدى الملاحظين رؤية واضحة للموقع المعني.

أ-١٠-٢-٣-٢ المعدات:

يمكن استخدام السجلات الإحصائية ولوحات العدّ المحمولة والأجهزة المحمولة أو كاميرات الفيديو لتسجيل البيانات. راجع القسم الفرعي (أ-١٠-٢-١) للحصول على المزيد من الإرشادات بشأن هذه المعدات.

أ-١٠-٢-٣-٣ الإجراء الميداني:

ينبغي على الملاحظين قياس وتحديد مسافة العبور التي قطعها المشاة المعنيين قبل بدء تسجيل بيانات المشاة.

بمجرد تحديد منطقة التأثير ووضع علامات عليها، على الملاحظ تحديد فترة المشاة الفرديين في أثناء سيرهم من خلال مسافة العبور.

يُقترح حجم العينة من ١٠٠ ملاحظة. في حالة تعذر تسجيل ١٠٠ ملاحظة، يُقترح جمع ٩٠٪ من سرعات المشاة خلال ساعات الذروة اليومية الأربعة. يمكن تحديد ساعات الذروة من خلال تعدادات المشاة في موقع العبور المعني.

بالنسبة إلى عمليات العبور ذات الطورين، ينبغي إجراء مقاييس فردية.

أ-١٠-٢-٣-٤ الحسابات

بمجرد جمع البيانات في الميدان، ينبغي إجراء الحسابات في العمل على النحو الآتي.

الخطوة الأولى: حساب متوسط سرعة المشي لكل فرد:

$$\boldsymbol{average\ walking\ speed_i = \frac{speed\ trap\ distance}{seconds_i}}$$ **المعادلة (أ-٣٩)**

الخطوة الثانية: تصنيف السرعات المرصودة.

الخطوة الثالثة: التسجيل البياني للنسبة التراكمية للملاحظات وفقًا للفئة؛ لتقديم منحنى تراكمي للسرعة. يقدم هذا الرسم البياني السرعات المئوية المختلفة.

يُستخدم المئين ١٥ بشكل عام لأغراض التصميم (على سبيل المثال: حسابات توقيت فترة إخلاء الإشارة). يمكن أن تُستخدم النسب المئوية الأخرى عند الاقتضاء.

أ-١١ دراسات النقل العام:

أ-١١-١ مقدمة:

أ-١١-١-١ الغرض والقيود المفروضة:

تُقدم في هذا القسم دراسات النقل العام إلى المتخصصين من النقل العام والمدققين.

ينطبق هذا الجزء في المقام الأول على دراسات النقل العام بالحافلات ذات المسارات الثابتة. كما ينطبق العديد من التقنيات التي نوقشت على وسائل النقل العام ذات المسارات الثابتة الأخرى مثل عربات الترام.

تكون الدراسات التي نوقشت في هذا الجزء هي في المقام الأول تلك الدراسات التي تكون مفيدة للمشغلين الذين يدرسون خدماتهم الخاصة. كما تُجرى الدراسات لتلبية احتياجات مصادر التمويل الخارجية والمستثمرين والجمهور.

يركز هذا الجزء على إجراء الدراسة بدلًا من إنشاء برامج جمع البيانات، أو معالجة نتائج الدراسة.

يقتصر هذا الجزء في النهاية على الدراسات التي تتطلب جمع بيانات ميدانية فعلية، ولا يتضمن أي مناقشة لجمع وتحليل المعلومات الاعتيادية للإدارة.

أ-١١-١-٢ جودة خدمة النقل العام:

بالنسبة إلى واسطة النقل العام، يكون الأداء الذي يتصوره المستخدم أمرًا مهمًا نظرًا إلى أن العملاء يدفعون مباشرة مقابل الخدمة ويقدرون بشكل كبير توافر الخدمة، والالتزام بالجدول الزمني والموثوقية.

بالنسبة إلى غرض هذا الجزء، يُفترض أن هيئة النقل العام قد أُنشئت سابقًا إطارًا لتقييم الأداء ونهجًا سياسيًا؛ لتوفير خدمة نقل أمنة وموثوق بها لمستخدميها. يتجلى نموذج التحليل القائم على تركيز العملاء في الدراسات الموضحة في هذا الجزء. وهو يقدم نُهُج جمع البيانات، مع التركيز على توافر النقل والراحة والموائمة.

أ-١١-١-٣ التعامل مع وسائل النقل الأخرى:

تعتمد رحلات النقل بطبيعتها على وسائل النقل الأخرى للركاب للوصول إلى مرافق النقل سواء في نهاية الرحلة. في أغلب الحالات، يتم الوصول إلى مرافق النقل العام من خلال المشاة وراكبي الدرجات؛ ولكن في الغالب يجب أيضًا وضع مرافق الانتظار والركوب في الحسبان. لا يكرر هذا الجزء تفاصيل هذه الدراسات الأخرى. نوقشت دراسات حجم مرور غير مستخدمي المركبات في الجزء (٢-١١) وورد ذكر دراسات وقوف المركبات في الجزء (٢-١٤). تتشابه إجراءات جمع البيانات المتعلقة بدراسات النقل العام مع الدراسات الجارية في الشوارع التي نوقشت في تلك الأقسام؛ ولكن غالبًا ما ينصب التركيز على الأحكام الموجودة داخل محطة النقل العام (أو بالقرب منها). عناصر البيانات النموذجية المعنية هي معدل المعالجة أو طول صف الانتظار للبوابات الدوارة والازدحام على السلالم الكهربائية والسلالم والتحكم في أجرة الركاب أو توافر مواقف المركبات والدراجات بالقرب من المحطة.

أ-١١-٢ أنواع الدراسات:

يستند نوع دراسة النقل العام التي يجب إجراؤها على المشكلة التي تواجه المشغل. قد يكون لدى المشغلون بعض المشكلات في تخطيط الخدمات المستقبلية وجدولة الخدمات الحالية وتقييمها والتحكم فيها، أو إعداد تقارير عن مصادر التمويل والمستثمرين. تتمثل المهمة الأولى عند إجراء دراسة النقل العام، كما هو الحال في الدراسات الأخرى، في تحديد المشكلة المراد حلها. يمكن أن تكون الهيئة معنية بمراقبة الأداء العام لنظام النقل العام أو يمكن أن تحتاج إلى تلبية الاحتياجات الخاصة لمسار واحد أو القطاعات للمسار أو حتى محطة النقل العام الفردية. يقود المقياس اللازم للإجابة على تساؤلات أداء النقل العام في نهاية المطاف بتصميم دراسة النقل العام.

أ-١١-٢-١ مقاييس أداء النقل العام:

كما هو الحال تمامًا مع حركة مرور المركبات، هناك مجموعة من مقاييس الأداء التي يمكن أن توضح عمليات النقل العام وتحددها كميًا. يتمثل أحد الاختلافات الحاسمة بين النقل العام وحركة مرور المركبات (الخاصة) في أن النقل العام هو خدمة يدفع ركاب السيارة ثمنها مباشرةً. لذلك يواجه نظام النقل العام ضغط مباشر بشكل كبير لتقديم خدمة عالية الجودة لعملائه المتنقلين.

يشدد النهج القائم على خدمة العملاء في مقاييس أداء النقل العام في هذا الجزء الفرعي على استخدام تدابير مفيدة للهيئة المشغلة، ولكنه يعكس أيضًا تجربة السير على الطريق (أو الانتظار) لمستخدم النقل العام.

تركز جودة الخدمة على جوانب النقل العام التي تؤثر بشكل مباشر على طريقة تصور الركاب لجودة رحلة نقل معينة. تُعرف جودة الخدمة على النحو الآتي: الأداء الإجمالي المُقاس أو المُتصور لأداء خدمة النقل العام من وجهة نظر الراكب ((TRB, (2013).

لقد صُنفت مقاييس جودة الخدمة لخدمات النقل العام للمسار الثابت في مجالين (الجدول أ-٥٩):

أ- التوافر.

ب- الراحة والموائمة.

الجدول (أ–٥٩) إطار جودة الخدمة: وسائل النقل العام ذات المسارات الثابتة (المصدر: TRB, (2013) – Exhibit 4-10).

التوافر	الراحة والموائمة
التكرار.	حمولة الركاب.
مدة الخدمة.	الموثوقية.
• الوصول.	زمن الانتقال.

كما تُناقش هذه المقاييس في الأجزاء الفرعية.

أ-١١-٢-١-١ مقاييس التوافر:

توضح المقاييس الأساسية لتوافر المسار الثابت الموضح في هذا الجزء الفرعي عدد مرات تقديم الخدمة (الوتيرة) ومدة تقديم الخدمة (ساعات الخدمة)، ومكان تقديم الخدمة (الوصول). بالنظر إلى هذه المجموعة، توضح هذه المقاييس كلا من الجوانب الزمنية والمكانية لتوافر النقل العام.

بالرغم من ذلك؛ فإن مجرد توفر الخدمة في الزمان والمكان اللذين يرغب فيهما أحد الركاب المحتملين ليس أمرًا كافيًا. الركاب بحاجة إلى معرفة مكان وجهتهم، وكيفية استخدام الخدمة (توفير المعلومات)، ويحتاجون الحصول على الوسائل الإعلامية للأجرة الصحيحة أو القدرة على الحصول عليها، ويحتاجون إلى توفر السعة (على سبيل المثال: في ساحة الانتظار والركوب، على متن المركبة) في الوقت الذي يريدون فيه الانتقال.

تقاطر الخدمة:

وفقًا لوجهة نظر المستخدم، تحدد *وتيرة الخدمة* عدد المرات التي يمكن فيها للمستخدم المحتمل الوصول إلى خدمة النقل العام. وسائل الانتقال الأخرى: القيادة وركوب الدراجات والمشي - متوفرة دائمًا للاستخدام الفوري من المستخدمين الذين لديهم المعدات اللازمة (على سبيل المثال: سيارة، دراجة). على الرغم من مخاوف السلامة والأمن والتكلفة والراحة (على سبيل المثال: البنية التحتية السيئة أو المفقودة، والجريمة، والتسعير وسوء الأحوال الجوية) قد تحد من الأوقات والمواقع التي يختار فيها الشخص استخدام إحدى وسائل النقل العام. على العكس من ذلك، لا يمكن استخدام خدمة النقل العام إلا في الفترات الزمنية المتقطعة. في حالة تقديم خدمة النقل العام كل ساعة فقط، هناك فترة زمنية محدودة جدًا خلال الساعة التي يمكن فيها بدء رحلة النقل العام على الفور. توفر الخدمة الأكثر تواترًا الكثير من الفرص للسفر الفوري، وتسمح لخدمة النقل العام بالتشابه بشكل وثيق مع وسائل النقل المتنافسة من حيث موائمة فترة المغادرة.

من وجهة نظر مشغل خدمة النقل العام؛ فإن الوتيرة تُعدّ محركًا رئيسًا لتكاليف التشغيل. وكافة الأشياء الأخرى متساوية (وخاصةً: متوسط سرعات السير على الطريق)، ومضاعفة الوتيرة يضاعف تكاليف التشغيل (أنظمة النقل ذاتية القيادة هي الاستثناء) ويزيد تكاليف رأس المال إلى درجة استخدام مركبات إضافية والحاجة إلى تحسينات في البنية التحتية للسماح بزيادة الوتيرة. تُعد الوتيرة محركًا رئيسًا لعدد الركاب؛ حيث تكون المسارات الأكثر تواترًا أكثر جاذبية للركاب المحتملين وكافة الأشياء الأخرى متساوية.

تستند -عادةً- مواصفات الخدمة على التواتر على مستوى المسار، وترتبط بالوظيفة المطلوبة للمسار أو عدد الركاب أو كليهما. وفقًا لوجهة نظر الراكب، يمكن أن ترتبط جودة الخدمة المقدمة أيضًا بكل من إجمالي الخدمة المقدمة في الموقع (من خلال كافة المسارات) وجهات الوصول المحددة (التي يمكن خدمتها من خلال أكثر من مسار واحد).

ساعات الخدمة:

تمثل *ساعات الخدمة* عدد الساعات المُستغرقة خلال اليوم المُقدم فيه خدمة النقل العام على امتداد المسار، أو تكون متوفرة في مكان معين، أو تكون متوفرة بين موقعين. فهي تؤدي دورًا مهمًا كتغطية للتواتر والخدمة في تحديد توافر خدمة النقل العام للمستخدمين المحتملين: في حال عدم تقديم خدمة النقل العام في الوقت المحدد الذي يحتاج فيه المتنقل المحتمل إلى القيام برحلة، فلا يهم أين أو عدد المرات التي تقدم فيها خدمة النقل العام على بقية اليوم. كلما طالت ساعات الخدمة المقدمة، زاد تنوع أغراض الرحلة التي يمكن إجراؤها. تمنح ساعات الخدمة الأطول من اللازم لخدمة سوق معين (على سبيل المثال: موظفي المكاتب) مرونة الانتقال لهؤلاء العملاء، وخصوصًا بالنسبة إلى رحلة عودتهم (على سبيل المثال: العمل متأخرًا؛ لأداء المهمات بعد العمل).

بالنسبة إلى وجهة نظر مشغل النقل العام، تؤثر ساعات الخدمة على تكاليف التشغيل حيث تتوافر مركبات النقل العام في الخدمة لفترة أطول مع التكاليف المناظرة لتشغيلها و -عادةً- لقيادتها. بالرغم من أن كافة الأشياء الأخرى متساوية، فإن الزيادة بنسبة ٢٠٪ من ساعات العمل المُستغرقة على مدار الأسبوع عادةً تزيد من تكاليف التشغيل بنسبة ٢٠٪، سواء أكانت الساعات الإضافية ناتجة

عن تمديد ساعات الخدمة بمقدار ساعتين في اليوم في أيام الأسبوع، أم من خلال تقديم ١٠ ساعات من الخدمة الجديدة في أيام السبت. يمكا أن يكون التقدير الآخر لمشغلي السكك الحديد في إمكانياتهم على تقديم ساعات خدمة طويلة (وخصوصًا طوال الليل) مقيدًا بسبب حاجتهم إلى إجراء صيانة المسار في بعض الأحيان على مدار اليوم أو الأسبوع.

تُوضع عادةً مواصفات الخدمة استنادًا إلى ساعات الخدمة على مستوى النظام (بالنسبة إلى أنظمة النقل العام الصغرى؛ حيث تتصل كافة المسارات ببعضها البعض) وعلى مستوى المسار بالنسبة إلى أنظمة النقل العام الكبيرة. ترتبط عادةً مواصفات مستوى المسار بالأسواق التي يخدمها المسار أو عدد الركاب أو كليهما. يمكن أن تسمح المواصفات القائمة على عدد الركاب بانخفاض عدد الركاب في الرحلة الأخيرة من اليوم، لتوفير التأمين لراكبي الدراجات الذين تقطعت بهم السبل والذين عادةً ما يقومون بالرحلة قبل الأخيرة من اليوم.

الوصول

يُعد *الوصول* للنقل من العناصر المكانية لتوافر النقل العام:

- هل تُقدم خدمة النقل العام بالقرب من جهات الوصول- جهات المغادرة المرغوبة؟
- هل يمكن للمرء الذهاب من وإلى محطات أو نقاط التوقف الضرورية للنقل؟

السؤال الأول الذي يؤخذ في الحسبان التنقل والربط واسع النطاق على مستوى المنطقة أو المدينة. أما السؤال الثاني الذي يؤخذ في الحسبان المسائل ذات الطابع المحلي الكبير التي تتعلق بوجود وربط الشوارع ورصيف المشاة ومرافق الدراجات؛ وطبيعة التضاريس؛ والسعة لموقف المركبات؛ متطلبات ذوي الاحتياجات الخاصة، والسلامة والأمن.

يمكن أن تُجرى عملية الوصول للنقل بالعديد من الطرق. يرد فيما يلي وسائط النقل الرئيسة للوصول إلى النقل العام:

- *المشي*- واسطة النقل المهيمنة للوصول إلى خدمة الحافلات المحلية وإلى محطات النقل العام في المواقع ذات الكثافة العالية وفي حرم الجامعات.
- *ركوب الدرجات*- يمكن أن يخدم أكثر من ٥٪ من الركاب القادمين، في ظل الظروف الملائمة.
- الإنزال الآلي.
- الركوب والانتظار الآلي.

ينبغي أن تؤخذ كل هذه الوسائط في الحسبان. بالرغم من ذلك؛ فإنه ينبغي أن يحظى الوصول للمشاة بأكبر قدر ممكن من الاهتمام، نظرًا لهيمنته على الوصول إلى خدمة الحافلات المحلية وإلى الوجهة النهائية للرحلة، كواسطة نقل مهمة للوصول إلى العديد من أنواع محطات النقل العام.

مقاييس الراحة والموائمة:

توافر خدمة النقل العام هو الحد الأدنى من المتطلبات؛ بحيث يكون النقل العام خيارًا من خيارات الانتقال لرحلة معينة. بالرغم من ذلك، يمكن أن تساهم جوانب الراحة والموائمة للنقل في تحقيق رضا الركاب عن الخدمة واحتمالية استخدامها. تتمثل المقاييس الرئيسة للراحة والمواءمة للمسار الثابت في *حمولة الركاب* (مما يعكس الازدحام) *والموثوقية* (بما يعكس الالتزام بالجدول الزمني) *وزمن الانتقال لمركبات النقل العام* (مما يعكس القدرة التنافسية الزمنية لخدمة النقل بخصوص واسطة النقل للسيارة).

هناك عوامل أخرى للراحة والموائمة تساهم في تحقيق رضا الركاب، ولكن من الصعب قياسها أو التنبؤ بها. تشمل هذه العوامل السلامة والأمن وتفاعل الموظفين مع العملاء.

حمولة الركاب:

وفقًا لوجهة نظر الركاب، تؤثر حمولة الركاب الموجودة على مركبة النقل العام على راحة جزء من المركبة لرحلة النقل العام- سواء من حيث القدرة على الحصول على مقعد، أو في مستويات الازدحام الإجمالية داخل المركبة. بالنسبة إلى وجهة نظر مشغل النقل العام، قد يشير سوء جودة الخدمة إلى الحاجة إلى زيادة تواتر الخدمة أو حجم المركبة لتقليل الازدحام وزيادة راحة الركاب.

يمكن تصميم مركبات النقل العام بحيث تسع غالبية الركاب (مثل: حافلات النقل العام النموذجية)، أو وقوف غالبية الركاب (مثل: عربات مترو الأنفاق). يستند الاختيار إلى احتياجات السعة (يستخدم الركاب الجالسون مساحة أكبر من الركاب الواقفين) وطول الوقت المتوقع لوقوف الركاب (يتحمل الركاب الوقوف للرحلات القصيرة عن الوقوف لفترة طويلة)، وقيود التنظيم والمسئولية. لذلك، يساعد نوع المركبة المستخدمة في الخدمة في تحديد توقعات الركاب بخصوص ما إذا كان سيجب عليهم الوقوف في أثناء رحلتهم أم لا. كما تعكس مقاييس الأداء المستخدمة لقياس جودة الخدمة لحمولة الركاب هذه التوقعات.

وبالنسبة إلى مركبات النقل العام المصممة للركاب الجالسين غالبًا - مما يعني توفير المقاعد لنصف أو أكثر من الحمولة المُصممة المركبة- يمكن تحديد حمولة الركاب حسب *عامل التحميل* (عدد الركاب على حسب عدد المقاعد). بالنسبة إلى مركبات النقل العام المصممة للركاب الواقفين غالبًا، يمكن استخدام *متوسط مساحة الركاب الواقفين*، المعبر عنها بالأمتار لكل راكب؛ لوصف مستوى الازدحام على متن المركبة.

الموثوقية:

يستخدم مشغلو النقل العام العديد من المقاييس المختلفة للموثوقية. يرد فيما يلي المقاييس الشائعة:

- الأداء في الوقت المحدد.
- التقيد في الحركة للأمام (التكافؤ أو الاتساق للفترة الزمنية بين مركبات النقل العام).
- وقت الانتظار الزائد (متوسط وقت المغادرة بعد الوقت المقرر).
- الرحلات الفائتة (على سبيل المثال عد القيام بالرحلات المقررة).
- النسبة المئوية للوقت المقرر للتشغيل (للأنظمة الآلية).
- المسافات المقطوعة خلال فترة الأعطال الميكانيكية.

تشمل المقاييس الثلاثة الأولى الواردة في القائمة تأثير كافة المصادر المحتملة للتأخير وعدم الموثوقية. علاوةً على ذلك يمكن تحقيق كافة المقاييس الثلاثة من الأوقات المُقاسة لمغادرة الحافلة، وهي مهمة تُبسط باستخدام بيانات تحديد موقع المركبة آليًا. على سبيل المثال: *الأداء في الوقت المحدد* هو النسبة المئوية لعدم الالتزام بالجدول الزمني (وقت المغادرة الفعلية مطروحًا منه وقت المغادرة المُقرر) التي تقع ضمن نطاق محدد (على سبيل المثال: من دقيقة في وقت مبكر إلى خمس دقائق في وقت متأخر)، فإن *الالتزام* بالفترة الزمنية الفاصلة (التقاطر) هو معامل التغير في التقاطر (الانحراف المعياري للتقاطر مقسومًا على متوسط التقاطر)، *ووقت الانتظار الزائد للرصيف* هو متوسط الانحراف غير السلبي بالجدول الزمني (مما يعني المغادرة في الوقت المحدد أو المغادرة المتأخرة).

تعكس المقاييس الثلاثة الأخيرة في القائمة جوانب الموثوقية الخاضعة لتحكم مشغل النقل العام: توفير السائق والمركبة والموثوقية الميكانيكية والإلكترونية (مما يعين اختيار المركبة والتقنية والبائع وما إلى ذلك)، وعمر الأسطول، وجودة الصيانة. يشهد الركاب تأثير هذه الأنواع من عدم الموثوقية حيث نادرًا ما تحدث تأخيرات طويلة.

زمن الانتقال:

من أحد العوامل المهمة قرار مستخدم النقل العام المحتمل باستخدام النقل العام القائم: المدة التي ستستغرقها الرحلة مقارنةً بالسيارة. ليس بالضرورة أن يكون الوقت المستغرق في الانتقال من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) متوفرًا للمستخدمين الآخرين؛ لذلك في حالة تساوي كافة الأشياء الأخرى، يفضل الشخص الرحلة الأسرع للرحلات ذات الوقت الحساس. كما تؤثر جودة تجربة الانتقال على القرار: على سبيل المثال: يتصور الناس أن الوقت الذي يقضونه في حالات الازدحام أشد إرهاقًا من الوقت الذي يقضونه في حالات انعدام الازدحام. على نحو مماثل: أن تكون قادرًا على استغلال زمن الانتقال بشكل مثمر - للقراءة والاسترخاء واللحاق بالعمل الإضافي وما إلى ذلك - دون الحاجة إلى التعامل مع مشكلات القيادة في ساعة الذروة، يمكن أن تساعد على تعويض أي مزايا زمنية قد تحظى بها السيارة.

على مستوى المسار؛ فإن زمن الانتقال *ومتوسط السرعة ومتوسط زمن الانتقال* هي المقاييس الحاسمة لجهات النقل العام لتقييم الأداء والتنبؤ به:

- يؤثر زمن الانتقال بشكل مباشر على عدد مركبات النقل العام اللازمة للتشغيل على المسار في التقاطر المحدد، وعادةً ما يُعبر عن تأثير المعاملات التفضيلية للنقل لموقع معين والاستراتيجيات التشغيلية على أنه زمن الانتقال المُوفر لكل موقع.
- يفسح متوسط السرعة (المسافة مقسومة على الزمن) المجال لإجراء مقارنات مع مسارات الأقران أو جهات النقل العام النظيرة. هناك عوامل مرونة لعداد الركاب لمتوسط السرعة؛ مما يسمح بتقدير تأثير تحسينات السرعة على عدد الركاب.
- معدل زمن الانتقال (الزمن مقسومًا على المسافة) الذي يمكن استخدامه كمقياس لتأثير المعاملات التفضيلية للتنقل القائم على المسارات.

بالرغم من كون كافة المقاييس المذكورة أعلاه مفيدة للعديد من أنواع التحليل، لا يعكس أي منها بشكل مباشر وجهة نظر الركاب.

يتمثل مقياس جودة الخدمة، بخصوص زمن الانتقال، في *معدل زمن الانتقال للنقل بالسيارة* ومدة رحلة النقل العام داخل المركبة مقسومًا على زمن الانتقال بالسيارة لراكب واحد داخل المركبة لرحلة معينة. يمكن تطبيق هذا المقياس على تقييم قطاعات المسار (الذي يعكس تجارب الركاب في تلك الخطوط) أو على المسار بأكمله (على سبيل المثال: التقييمات التشغيلية) أو على رحلات المنبع المقصد (وفي هذه الحالة، تُدرج مدة النقل العام أيضًا في مدة رحلة النقل العام). يُطبع استخدام المعدل النتائج، مما يسمح بمقارنة الرحلات والمسارات والقطاعات للأطول المختلفة. يكون هذا المقياس حساسًا لكل من سرعة المسار أو الرحلة والاتجاه المباشر (على سبيل المثال: الرحلات السريعة نسبيًا، ولكنها دائرية والرحلات المباشرة نسبيًا، ولكن الرحلات البطيئة تؤدي إلى سوء جودة الخدمة).

أ-١١-٢-١-٢ المقاييس الأخرى للراحة والموائمة:

رغم أن كل عوامل الراحة والموائمة المذكورة أعلاه مهمة للركاب وبديهية نسبيًا للقياس الكمي والتوقع، إلا أن هناك أيضًا عوامل أخرى أثبتت أنها مهمة للركاب، ولكن من الصعب تحديدها كميًا والتنبؤ بها. تتضمن هذه العوامل:

- سلامة وأمن الركاب.
- خدمة العملاء وخصوصًا معاملة السائق الجيدة.
- جودة بيئة الركاب.

مستوى الخدمة متعدد الوسائط:

وضع مشروع البرنامج الوطني التعاوني لأبحاث الطرق السريعة مستوى الخدمة متعدد الوسائط كونه جزءًا من مجموعة من المقاييس لتقدير مستوى خدمة المركبات والمشاة والدراجات والنقل العام. ويمكن استخدامها؛ لمقارنة الجودة النسبية للخدمة المقدمة لمستخدمي كل وسيلة نقل مستخدمة الشارع، ولتقدير تأثير إعادة تخصيص حرم الطريق في جودة خدمة كل وسيلة نقل. ونظرًا إلى أن مكونات مستوى خدمة النقل العام تتضمن العديد من العوامل المدرجة في إطار جودة خدمة المسار الثابت؛ فيتعبر مفيدًا كذلك لإجراء التحليلات حيث يُرغب في تقييم مجموعة من عوامل جودة خدمة النقل العام، ولكن يُرغب فقط في الحصول على خطاب واحد عن مستوى خدمة النقل العام كمخرجات.

يمكن استخدام هذه الطريقة لتقييم خدمة النقل العام التي تعمل في منحدر داخل نطاق حرم الطريق (عادةً الحافلات والسكك الحديدية الخفيفة وعربات الترام) مثل: الطرق السطحية الخارجة عن الشارع. ولم تكن الطريقة مصممة لتقييم النقل العام الذي يعمل داخل نطاق حق المرور للتقاطعات الموجودة على مستويات مختلفة فوق الطريق أو تحته. ويمكن مقارنة خطاب مستوى الخدمة أ-ف الذي قُدم من خلال هذه الطريقة من أجل خدمة النقل العام الموجودة في الشارع مباشرة بخطاب مستوى الخدمة الذي قُدم لأجل وسائل النقل مثل: المركبات والمشاة والدراجات العاملة في الشارع.

تتضمن خدمة مستوى النقل العام العوامل التي تؤثر في كافة جوانب رحلة النقل العام حتى النقطة التي يصعد فيها الركاب على متن مركبة النقل العام في المحطة على امتداد شارع حضري:

- *المشي إلى محطة النقل العام*- يُقاس وفقًا لجودة بيئة المشاة على امتداد الشارع.
- *تحقيق الرضا عن خدمة النقل العام*- يُقاس من خلال تكرار الخدمة، وموثوقية الجدول الزمني وأنواع وسائل الراحة المقدمة في محطة توقف النقل العام.
- *الشعور بالرضا على متن المركبة*- يُقاس وفقًا لمستوى الازدحام الموجود على مركبة النقل العام اعتبارًا من وقت مغادرتها لمحطة التوقف وسرعة الخدمة المقدمة.

ومن أجل إجراء مقارنات بين وسائل النقل الأخرى في الشارع؛ ينبغي استخدام وحدة مشتركة لمقطع للشارع. وتُحدد القطاعات للشارع على أنها طول الشارع بين التقاطعات؛ حيث قد تضطر المرور في الشارع إلى التوقف بسبب التحكم المروري (على سبيل المثال: التقاطعات المزودة بالإشارة، ومفترق الطرق الدائرية، والتقاطعات؛ حيث يتم التحكم في الشارع من خلال خط التوقف أو خط إفساح الطريق)، بالإضافة إلى التقاطع الموجود في نقطة النهاية للمقطع. وينبغي تحليل كل اتجاه للسفر في الشارع بشكل منفصل.

أ-١١-٢-٢ بيانات النقل العام الميدانية:

يمكن تقدير مقاييس أداء النقل العام الموضحة في القسم الفرعي رقم (أ-١١-٢-١) من البيانات الميدانية، باستخدام مجموعة متنوعة من إجراءات جمع البيانات.

١- دراسة السائق.
٢- تدقيق موضعي.
٣- فحص على طول المسار.
٤- عربة مقطورة.
٥- مسح.
٦- تحديد موقع المركبة آليًا.
٧- مكتب.
٨- ملاحظة.

تمثل الدراسات الخمس الأولى القياسات الميدانية الفعلية لعمليات النقل العام. ويمكن إجراؤها جميعًا باستخدام إجراءات جمع البيانات اليدوية ويمكن أتمتة معظمها بدرجة ما. ويعد تحديد موقع المركبة آليًا دراسة آلية فحسب تستخدم تقنية نظام تحديد الموقع العالمي على ظهر المركبات للإبلاغ المباشر عن عدد من مقاييس أداء النقل العام. وتشتمل فئة (المكتب) على عدد من مهام التحليل تُجرى بعيدًا عن المسار باستخدام تطبيقات برمجية متنوعة وأدوات تحليل قواعد البيانات. وتعتمد حصريًا تطبيقات تخطيط النقل العام على الدراسات المكتبية التي تستخدم بيانات موجودة مسبقًا لمسارات وأنظمة النقل الأخرى، أو تُجرى بشكل أعم باستخدام برنامج للجدولة والتنبؤ بالنقل ورسم الخرائط.

يجمع النوع الأخير من دراسة النقل العام بين الدراسات المختلفة التي تعتمد بشكل كبير على *الملاحظات* (النوعية) لجانب معين من عمليات النقل العام. ولم تُذكر إجراءات الدراسة الرسمية لدراسات الملاحظة؛ لأن النطاق والغرض والمنهجية تختلف اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على التطبيق. وتشمل الأمثلة الملاحظات العامة عن ممارسات الصعود والنزول، أو التحديات التي تواجه مجموعات خاصة من الراكبين.

وقد ذُكرت الدراسات المختلفة بصورة مفصلة في الجزء الفرعي (أ-١١-٣)، الجدول (أ-٦٠) يربط مقاييس الأداء بالدراسات الميدانية السارية.

الجدول (أ–٦٠) عناصر بيانات النقل العام وطرق الدراسة (Table Revised from ITE, (2010a) – Exhibit 13-3).

	طريقة الدراسة							
عنصر البيانات	**دراسة السائق**	**تدقيق موضعي**	**فحص على طول المسار**	**سيارة متابعة**	**مسح**	**تحديد موقع المركبة آليًا**	**مكتب**	**ملاحظة**
تقاطر الخدمة		✓					✓	
ساعات الخدمة		✓	✓				✓	
المنطقة والتغطية							✓	
حمولة الركاب	✓	✓	✓				✓	
الموثوقية		✓	✓	✓		✓		
الفرق في زمن الانتقال*		✓	✓	✓		✓		
رضاء العملاء					✓			
أداء السلامة والأمن					✓		✓	✓
الرحلات الفائتة		✓	✓					
تواتر الأعطال الميكانيكية			✓					
سرعة الرحلة وتوقيتها والتأخير			✓	✓		✓		
تقييم الانتظار		✓						
نسبة مدة رحلة النقل العام التلقائي*		✓	✓	✓		✓		
مدة رحلة النقل العام		✓	✓	✓		✓		
الصعود والنزول (حسب فئة الأجرة)	✓	✓	✓					
كيلومترات الركاب			✓			✓		
نمط بداية ونهاية الراكب					✓		✓	
صعوبة عبور المشاة								✓

	طريقة الدراسة							
وصول المشاة								✓
وصول الدراجات								✓
وصول أماكن الوقوف والركوب								✓
وصول للأشخاص ذوي الإعاقة								✓
سهولة تحميل الركاب								✓
وسائل الراحة المتوفرة في محطة النقل العام								✓
ملحوظة: ١- يستلزم قياس حركة مرور سيارات الركاب.								

تمثل مقاييس الأداء هذه عينة من سمات النقل العام الأكثر استخدامًا. تُوضح سمات خدمة النقل العام الإضافية في الجدول (أ-٦١).

الجدول (أ–٦١) أمثلة على سمات خدمات النقل العام (Revised Table from ITE, (2010a) – Exhibit 13-4).

انعدام الكتابة على الجدران	تكرار الخدمة أيام الجمعة/ السبت
انعدام الروائح الكريهة	تكرار الخدمة بحيث تكون أوقات الانتظار قصيرة
إمكانية وصول ذوي الإعاقة	خدمة ملائمة، رائعة وسريعة يقدمها الموظفون
توفير الدرابزينات وقضبان الارتكاز	وجود محطة/ موقف بالقرب من وجهة الشخص
توفير تصاريح مرور مزودة بخصم شهري	وجود محطة/ موقف بالقرب من منزل الشخص
توفير معلومات الجدول الزمني	ساعات الخدمة خلال أيام الأسبوع
توفير الجداول الزمنية/ الخرائط في المواقف	عدد نقاط التحويل خارج وسط البلد
توفير المقاعد في القطار/ الحافلة	الحالة المادية للمحطات/ المواقف
توفير ملاذ ومقاعد في المواقف	الحالة المادية للمركبات والبنية التحتية
نظافة الأماكن الداخلية والمقاعد والنوافذ	نشر الدقائق إلى القطار/ الحافلة التالية في المحطات/ المواقف
نظافة المحطات/ المواقف	هدوء المركبات والنظام
نظافة الجزء الخارجي من القطار/ الحافلة	قطارات/ حافلات موثوقة تأتي في الموعد المحدد
إعلانات واضحة ومناسبة للمواقف	معلومات المسار/ الوجهة ظاهرة على القطارات/ الحافلات
مقاعد مريحة في القطار/ الحافلة	سائقين/ قاطعي تذاكر موثوقين ومختصين
ربط خدمة الحافلات بمحطات الحافلات الرئيسة	السلامة من حدوث الجرائم في المحطات/ المواقف
الفعالية من حيث التكلفة والقدرة على تحمل التكاليف والقيمة	السلامة من حدوث الجرائم في القطارات/ الحافلات
تكلفة إجراء عمليات النقل العام	وقت انتظار قصير لعمليات النقل العام
عرض رقم خدمة العملاء	لافتات/ معلومات مكتوبة باللغات المحددة
سهولة فتح الأبواب عند الصعود/ النزول	سلاسة الركوب والتوقف
سهولة دفع الأجرة وشراء المسكوكات	أسماء المحطات/ المواقف ظاهرة على القطار/ الحافلة
توضيحات وإعلانات بشأن التأخيرات	درجة الحرارة داخل القطار/ الحافلة—ليست ساخنة/ باردة
نزاهة/ اتساق بنية تعريفة النقل العام	سير القطار/ الحافلة بسرعة آمنة
التحرر من السلوكيات المزعجة للركاب	قطارات/ حافلات غير مزدحمة

تواتر التأخيرات نتيجة الأعطال/ حالات الطوارئ	موظفو نقل على دراية بالنظام

تُعد أخيرًا التدابير التي تصف إمكانية وصول أنظمة النقل العام إلى ذوي الإعاقات مفيد؛ وذلك لضمان امتثال الخدمة للتشريعات المحلية ذات الصلة.

يتمثل أحد نهوج اختيار سمات خدمة النقل العام الإضافية في إجراء مسح لمستخدمي النظام بشأن تفضيلاتهم المتصورة من خلال تعيين *درجة التأثير* لكل سمة وفقًا لنتائج استبيان رضا العملاء ((TRB, (1999). وينبغي أن يطلب الاستبيان بصورة أساسية من المشاركين تقييم أداء النقل العام المتعلقة بمجموعة من السمات، وكذلك الاستفسار عما إذا كان الشخص قد واجه مشكلة مع كل سمة أثناء الرحلة. وعندئذ يقوم النهج بحساب *نتيجة الفجوة* الذي يُعرَّف على أنه الفرق بين متوسط تصنيف السمة لأولئك الذين واجهوا مشكلة وأولئك الذين لم يتعرضوا لها.

رغم أن نهج درجة التأثير يمكن أن يكون مفيدًا؛ إلا أنه يتطلب جمع بيانات (مسح) كبيرة كذلك قبل جمع العناصر الأخرى. وفي الإرشادات الأكثر شمولًا، يعد اختيار عنصر البيانات للدراسة من مهام هدف الدراسة، ويُحدَّد في بعض الحالات من خلال شكوى معينة أو مشكلة مع الخدمة. وفي حال كانت العديد من عناصر البيانات ذات صلة بالمشكلة، يمكن أن يكون ممكنا جمعها في وقت واحد. ومع ذلك، يجب أن يأخذ المحللون وقتًا كافيًا لفهم المشكلة باستفاضة، أو يمكن أن يتغاضون عن عنصر البيانات ذي الصلة. على سبيل المثال: عادةً ما يقوم المحللون الذين يقيّمون الإعلانات الخاصة بخدمات النقل العام بجمع معلومات بشأن الصعود، ويمكن أن يكونون مهتمين بالصعود حسب فئة الأجرة؛ كونه مقياسًا للسلوك. ونظرًا إلى أن الإعلان عادةً ما يكون هدفه تغيير المواقف والوعي وكذلك السلوك؛ فينبغي على المحللين أيضًا جمع بيانات عن مواقف الركاب ووعيهم في هذه الحالة. وينبغي أن تكون عناصر البيانات المختارة للدراسة وثيقة الصلة بالمشكلة أو بأهداف البرنامج الجاري تقييمه.

وبصرف النظر عن مقاييس الأداء المختارة، من الضروري أن تُسجَّل هذه المقاييس بدقة وثبات حتى تتمكن من تتبع الأداء بشكل موثوق بمرور الوقت.

أ-١١-٢-٣ استخدام البيانات الحالية:

بعد تحديد عناصر البيانات المطلوبة؛ فإن المهمة التالية المتعلقة بإجراء دراسة النقل العام تتمثل في تحديد عناصر البيانات التي ستُجمَع في الميدان. وقبل بدء برنامج جمع البيانات الميدانية واسع النطاق؛ ينبغي على هيئة النقل العام التحقق مما إذا كانت هناك مصادر بيانات أخرى تتضمن بالفعل بعض المعلومات المطلوبة. وتشمل الأمثلة مجهودات جمع البيانات السابقة، أو بيانات نمذجة طلب الرحلة الحالية من هيئة التخطيط الإقليمية. وينبغي استخدام مجموعة بيانات النقل العام الميدانية؛ لاستكمال مصادر البيانات الحالية.

وفيما يخص الجهات الراغبة في مراقبة أداء النقل العام بمرور الوقت؛ يجب عليهم جمع العديد من التدابير على فترات منتظمة.

ولتقليل الحاجة إلى مجهودات جمع البيانات لمرة واحدة، تمثل برامج جمع البيانات المستمرة خيارًا موصى به. وغالبًا ما تتكون هذه البرامج من مرحلة أساسية ومرحلة مراقبة. وتوفر المرحلة الأساسية (لقطة) شاملة لمرة واحدة لعمليات النظام. وتوفر عناصر البيانات التي جرى جمعها في آنٍ واحد خلال المرحلة الأساسية جميع البيانات الضرورية للتخطيط طويل الأجل والمجهودات الرئيسة الأخرى غير المتكررة، وكذلك توفر عوامل التحويل للعناصر المساعدة ونقاط البداية لتحليلات الاتجاه. وخلال مرحلة المراقبة، تُحدَّث عناصر البيانات الرئيسة حسب الحاجة؛ باستخدام عوامل التحويل كلما كان ذلك ممكنًا. وخلال المرحلة ذاتها، ينبغي كذلك على المشغلين إجراء فحوصات دورية للكشف عن المشكلات التي تستدعي الانتباه.

أ-١١-٢-٤ اختيار طريقة الدراسة:

لا يوجد خيار لطريقة الدراسة فيما يخص بعض عناصر البيانات. وتوجد خيارات متعددة للعناصر الأخرى؛ حيث تتمثل المحددات الأساسية عند تقديم الاختيار في توافر الموارد وأخطاء القياس والتكلفة. ويعني توافر الموارد وجوب معالجة أسئلة مثل الأسئلة الآتية.

- *دراسات السائق*: هل تسمح قواعد عمل السائق بجمع البيانات؟
- *التدقيق الموضعي والتفتيش على المسار*: هل تتوفر أعداد كافية من المدققين المتمرسين؟ إذا لم يكن الأمر كذلك، فهل يمكن توظيف المدققين وتدريبهم؟
- *الدراسات مع معدات جمع البيانات تلقائيًا*: هل تتوفر المعدات؟ إذا لم يكن الأمر كذلك، فهل يمكن تدبير الأموال وتخصيصها لشراء المعدات وصيانتها؟
- *المسوحات*: هل تتوفر الخبرة في كتابة المسح وإدارته وتحليله؟
- *العربة المقطورة والملاحظة*: هل تتوفر أعداد كافية من الملاحظين والمركبات المقطورة؟ هل يمكن دمج عناصر البيانات لتحقيق الاستفادة القصوى من الموارد؟
- *المكتب*: هل يتوفر البرنامج والخبرة داخل المكتب؟ هل تتوفر الأموال للاستعانة بمصادر خارجية لأجزاء من التحليل؟

إذا لم تتوفر الموارد لإجراء الدراسة باستخدام طريقة معينة؛ فعلى المحللين استكشاف طرق بديلة أو تغيير عنصر البيانات المراد جمعها أو التخلي عن الدراسة.

تحدث أخطاء القياس مع كل طريقة دراسة. وفيما يخص دراسات السائق، تعد زيادة حمولات الإركاب والتراكم المروري من العوامل الرئيسة المتسببة في حدوث الخطأ. وفيما يخص التدقيقات الموضعية، يؤدي العديد من الواقفين والمركبات ذات النوافذ المعتمة إلى حدوث خطأ في القياس. وفيما يخص الفحوصات على المسار، تؤدي عمليات الصعود والنزول، واستخدام بابين أو أكثر، وتعدد فئات الأجرة والمركبات المكتظة إلى حدوث خطأ. ويمكن أن تتعطل معدات جمع البيانات تلقائيًا بصورة منتظمة (بسبب التجمعات الكبيرة، الركاب الذين لديهم طرود كبيرة تعيق المستشعرات وما إلى ذلك)، أو يمكن أن تتعطل بسبب مشكلات ميكانيكية أو كهربائية. وأخيرًا، تُعد المسوحات بالغة الأهمية في اختيار العينة وتنسيق صياغة الأسئلة والعديد من الطرق الأخرى. وعند النظر إلى طريقة الدراسة، على المحللين التفكير في أي مشكلة خاصة بهذه الطريقة وعنصر البيانات المطلوب. وفيما يخص عدّ عملية الركوب، وهي النوع الأكثر شيوعًا من دراسة النقل العام، ستوفر معدات جمع البيانات تلقائيًا بصورة عامة البيانات الأدق. وستكون طريقة الفحص على المسار قريبة من دقة معدات جمع البيانات تلقائيًا، وستكون بيانات عملية التدقيق الموضعي أقل دقة.

تعد التكلفة أكثر أهمية من خطأ القياس في اختيار طريقة الدراسة؛ وذلك لأن جميع الطرق التي تمت مناقشتها توفر بيانات دقيقة بشكل معقول، ولأن أحجام العينات المتزايدة يمكن أن تقلل من آثار العديد من أخطاء القياس. ويعد اختيار طريقة الدراسة أمرًا سهلًا عند النظر في التكاليف، نظرًا إلى أن دراسات السائقين هي عمومًا أقل طرق الدراسة تكلفة. ويحتل التدقيق الموضعي المرتبة الثانية من حيث التكلفة الأقل. وتكون تحديد أولويات طرق الدراسة المقترح كالآتي:

١- أنظمة جمع البيانات تلقائيًا -إذا تمّ توفرها.
٢- دراسة السائق للعناصر التي لا يمكن جمعها آليًا.
٣- التدقيقات الموضعية للعناصر التي لا يمكن جمعها آليًا أو بواسطة السائقين.
٤- التفتيش على المسار للعناصر التي لا يمكن جمعها آليًا، أو بواسطة السائقين، أو التدقيقات الموضعية.

تنطبق الدراسات والتحليلات القائمة على الملاحظة في المكتب عادةً على أنواع مختلفة من الدراسات، وبالتالي فهي غير مدرجة في القائمة أعلاه. ويعد المسح ملاذًا أخيرًا مكلفًا نسبيًا ومحفوفًا بالمخاطر عندما لا تتمكن أي من الطرق الشائعة الأخرى من تقديم عناصر البيانات المطلوبة. وتوجد بعض الحالات التي تكون فيها التفتيش على المسار أقل تكلفة من التدقيقات الموضعية، على سبيل المثال: عندما تكون هناك حاجة إلى وجود العديد من التدقيقات الموضعية المتزامنة على طول الطريق، أو عندما تكون المسافة بين المركبات طويلة.

أ-١١-٣ إجراءات جمع البيانات:

ينبغي على المحلل، بعد تحديد عناصر البيانات التي ستُجمَع، اختيار طريقة الدراسة. وتُجرى معظم الدراسات بواسطة مدققين في المركبة (التفتيش على المسار)، أو بواسطة مدققين متمركزين على طول الطريق (التدقيقات الموضعية)، أو بواسطة السائقين، أو باستخدام معدات جمع البيانات تلقائيًا. ويمكن أن يستخدم المحللون المسوحات في أثناء بعض الدراسات. وتتطلب بعض عناصر البيانات استخدام برامج الحاسب؛ لتوقعات الانتقال أو تطبيقات الخرائط. الجدول (أ-٦٠) يربط مقاييس الأداء بأنواع مختلفة من الدراسات.

يصف الجزء الفرعي هذا إجراءات جمع البيانات لمختلف الوسائل اليدوية والآلية لجمع بيانات النقل العام. ويمكن أن يعتمد الاختيار بين جمع البيانات يدويًا أو آليًا (أو كليهما) على توافر المعدات، أو على المخاوف بشأن الموثوقية. ويتمثل الشكل الأكثر انتشارًا لجمع البيانات تلقائيًا في أنظمة عدّ الركاب الآلية وتحديد موقع المركبة آليًا في صورة تقنية نظام تحديد المواقع العالمي المثبتة على ظهر المركبة. ومن الشائع أيضًا الاعتماد على صندوق الأجرة؛ لتتبع عدد العملاء الذين يدفعون ويقومون بالصعود. ومع ذلك، يكون صندوق الأجرة أقل فائدة في المناطق التي تُشترَى التذاكر في المحطة، ولا تُفحَص تلقائيًا عند دخول مركبة النقل العام.

تنقسم الإرشادات الآتية عن إجراءات جمع البيانات إلى طرق يدوية (دراسة السائق، التدقيقات الموضعية، التفتيش على المسار، والدراسات القائمة على الملاحظة)، وطرق آلية (باستخدام تقنيات جهاز عدّ الركاب الآلي وتحديد موقع المركبة آليًا)، والمسوحات والدراسات المكتبية لتطبيقات التخطيط.

أ-١١-٣-١ جمع البيانات يدويًا:

تتطلب طرق جمع البيانات يدويًا توفر عدد كافٍ من الموظفين، أو مراقبين ومدققين متمرسين لفترة مؤقتة لأداء المهام المطروحة. وفيما يخص الجهات التي تمتلك العديد من الطرق والمركبات، يمكن أن تكون احتياجات التوظيف واسعة النطاق لإجراء دراسة على مستوى المنظومة. واعتمادًا على أهداف الدراسة، قد يكون من الأفضل التعاقد مع برنامج جمع بيانات سنوي، يُستكمَّل بعمليات فحص عشوائية بصفة دورية يجريها موظفو الهيئة.

أ-١١-٣-١-١ دراسات السائق:

يعد جعل السائقين يقومون بعدّ الركاب الذين يقومون بعمليات الصعود والمتنقلين الذين يستقلون المركبة حسب فئة الأجرة طريقة دراسة فعالة ودقيقة للغاية. وتكون الطريقة فعَّالة لأنه لا تُتكبّد فيها تكاليف العمالة للمدققين. وتعد تعدادات السائقين دقيقة لأنها تجرى بطريقة سلسة؛ ولأن السائقين يراقبون عمومًا الركاب الذين يقومون بالصعود، ولأن السائقين على دراية بفئات

الأجرة المختلفة المسجَّلة. دراسات السائق تُعدّ مستحيلة على ظهر المركبات المسيرة عندما يمكن للركاب الصعود إلى المركبة من خلال أكثر من باب واحد. وينبغي على جهات النقل العام في هذه الحالات استخدام طرق دراسة أخرى.

يمكن للسائق الاحتفاظ بالعدد المُحصى على جهاز عدّ ميكانيكي، أو نظام عدّ مدمج في صندوق الأجرة الإلكتروني. وعادةً لا تقدم لوحة العدّ أكثر من ستة مفاتيح إلى السائق؛ ولذلك يمكن أن يجب تسجيل بعض فئات الأجرة معًا. ويمكن للسائق تدوين العدد الإجمالي أو العدد لكل فئة أجرة في نموذج مختصر، مثل النموذج الوارد في الجدول (أ-٦٢)، في نهاية كل رحلة، أو يمكن للسائق إدخال رمز (انتهاء الرحلة) في لوحة العدّ الإلكترونية.

تشمل التعدادات الناتجة عن دراسات السائقين متوسط عدد الركاب لكل رحلة، ونسب الركاب حسب فئة الأجرة. وستُناقش التعدادات الناتجة عن دراسات النقل العام لاحقًا في قسم فرعي.

الجدول (أ–٦٢) نموذج ميداني لصعود الركاب حسب فئة التعرفة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-6).

نموذج ميداني لحصر صعود الركاب							
مسار_____...رقم المربع المكاني _____ اليوم_____ التاريخ_____ الطقس _____ الملاحظ_____							
جزء من المسار		**صعود الركاب**					
من	**إلى**	**تعرفة كاملة**	**تعرفة مخفضة**	**تحويل**	**كامل + تحويل**	**مخفض + تحويل**	**جميع أنواع التذاكر**
. . . . .							

أ-١١-٣-١-٢ التدقيقات الموضعية:

يمكن للمدققين إجراء التدقيقات الموضعية في أثناء وقوفهم على طول الطريق، عادةً ما يكون ذلك عند الموقف، وأماكن الصعود والنزول، وعند القيام بنشاط على ظهر المركبة. ستكون التدقيقات الموضعية فعالة إذا كانت النقطة تحتوي على مستويات متوسطة إلى مرتفعة من نشاط النقل العام؛ لأن المدقق سيكون قادرًا على جمع المعلومات من مركبات متعددة على مسارات مختلفة. وتُعد كذلك التدقيقات الموضعية فعالة؛ إذ من الممكن مراقبة اتجاهي الشارع كليهما بواسطة مدقق واحد. وتُعد التدقيقات الموضعية دقيقة نسبيًا، رغم أنها ليست بدقة التفتيش على المسار أو معدات جمع البيانات تلقائيًا. وستضعف دقة التدقيق الموضعي خلال أوقات الصعود والنزول المزدحمة، أو في المواقف مع وصول مركبات نقل متعددة في نفس الوقت. وقد يكون من الضروري في هذه الحالات وجود عدة مراقبين، وعند هذه النقطة قد تصبح التفتيش على المسار بديلًا قابلًا للتطبيق. وينبغي ألا يأخذ المشغلون التدقيقات الموضعية في الحسبان عندما تكون مواقع الفحص عرضة لسوء الأحوال الجوية أو إذا شكلت العمليات الإجرامية مصدر قلق.

توفر التدقيقات الموضعية بصورة أساسية تعدادات الحمولة، وسبل الالتزام بالجدول الزمني. يوفر الجدول (أ-٦٣) نموذج بيانات مناسب لهذه العناصر الأساسية. وسيحتاج المدققون إلى ساعة دقيقة لتسجيل الالتزام بالجدول الزمني. وتشمل الأغراض الثانوية لدراسات التدقيقات الموضعية ما يأتي:

- تعدادات الصعود والنزول في نقطة معينة.
- توقيتات التباطؤ والتوقف والتسارع عند نقطة معينة.
- بيانات سلوك الركاب، مثل توقيتات الوصول وتوقيتات الانتظار واتجاهات السير على الطريق قبل رحلة النقل العام أو بعدها وأنماط السير على الطريق قبل رحلة النقل العام أو بعدها في نقطة معينة.

ويمكن للمشغلين تغيير نموذج البيانات في الجدول (أ-٦٣)؛ لتضمين أعمدة لهذه العناصر الثانوية إذا كانت ذات أهمية.

الجدول (أ–٦٣) نموذج ميداني للتدقيق عند نقطة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-7).

نموذج ميداني للتدقيق عند نقطة

مسار_____ رقم موقف الحافلات
_____
اليوم_____ التاريخ_____
الطقس_____
الحمولة عند المغادرة...
الملاحظ_____
الحمولة عند الوصول...

رقم المسار	الاتجاه	رقم المربع المكاني	سعة المركبة	توقيت الوصول				الركاب
				التوقيت المجدول		التوقيت الفعلي		
...								

يقدر المدقق خلال معظم التدقيقات الموضعية الحمولة في أثناء الوقوف خارج المركبة. ويكون الأسلوب الفعال هو عدّ الركاب إذا كانت الحمولة خفيفة والمقاعد الفارغة إذا كانت الحمولة معتدلة والواقفين إذا كانت الحمولة مكتظة. وينغبي على المدققين معرفة سعات أماكن الجلوس والوقوف لجميع المركبات الخاضعة لجمع البيانات. وقد يضطر المدققين إلى الصعود على ظهر المركبة لإجراء عدّ سريع في حالة كان الزجاج المُعتَّم والحمولة المكتظة وعوائق الرؤية أو عوامل أخرى تمنع إجراء العدّ من جانب الطريق. وينبغي توعية السائقين بأن هناك دراسة جارية إذا كان الصعود متوقعًا. وتكون تعدادات الحمولة صعبة الإجراء لكلا الاتجاهين في شارع واسع. ومع ذلك، لا يمثل تسجيل الالتزام بالجدول الزمني في كلا الاتجاهين من الشارع مشكلة في أي نقطة لا يتم فيه إعاقة الرؤية.

عادة ما يجري المشغلون التدقيقات الموضعية عند نقطة الحمولة القصوى من المسار (أي النقطة التي يُتوقع فيها الحد الأقصى لعدد الركاب). ويمكن أن تكون النقاط الرئيسة الأخرى الموجودة على طول المسار موضع اهتمام، مثل نقاط التحويل والنقاط التي يمكن أن تستدير فيها المركبات بعيدًا عن نهاية المسار. ومن المفيد للغاية إجراء التدقيق الموضعي في مكان التقاء العديد من المسارات، حتى لو لم تمثل تلك النقطة الحمولة القصوى أو نقطة رئيسة لكل مسار. ويمكن للمشغلين إجراء تدقيقات موضعية متعددة في نفس الوقت على طريق واحد.

يمكن لموظفي المكتب إدخال البيانات يدويًا من نماذج عمليات التدقيق الموضعي. ورغم ذلك، في بعض الحالات، يمكن أن يُخصَّص مساعدو البيانات الشخصية أو بعض أنواع الهواتف الذكية؛ لجمع البيانات والسماح بتوفير الوقت لمعالجتها. ويمكن أن يكون المسح الضوئي هو الأخر مفيدًا في المسوحات الأخرى. ويمكن استخدام بيانات التدقيق الموضعي القياسية لتوفير العديد من المخططات والتعدادات المفيدة.

أ-١١-٣-١-٣ التفتيش على المسار:

يقوم المدقق بإجراء التفتيش على المسار من خلال قيادة مركبة ذات أهمية؛ كونها تغطي مسار سيرها. وتوفر نقاط التفتيش على المسار بيانات دقيقة للغاية من التدقيقات الموضعية، ويمكن مقارنتها من حيث الدقة بمعدات جمع البيانات التلقائية في ظل معظم ظروف التحميل النموذجية للعديد من عناصر البيانات. وعادة ما تكون نقاط التفتيش على المسار أكثر تكلفة من دراسات السائق والتدقيقات الموضعية؛ نظرًا إلى أن المدقق يجمع البيانات في رحلة واحدة فقط في كل مرة. بالإضافة إلى ذلك، يفقد المدققين

على المسار قدرًا كبير من الوقت في البحث عن السيارة المخصصة أو انتظارها، كما يفقدون الوقت نتيجة السير على الطريق لإجراء المهام. وفيما يخص الحافلات المفصلية الطويلة ذات الأبواب المتعددة يمكن أن يتطلب الأمر وجود مدققين على المسار؛ لضمان الجودة.

تتسم نقاط التفتيش على المسار بالمرونة، وتوفر العديد من عناصر البيانات المفيدة. وغالبًا ما توفر نقاط التفتيش على المسار مقدار الصعود والنزول، وتوقيت وصول المركبة في كل موقف وفي نقاط رئيسة أخرى. يوضح الجدول (أ-٦٤) نموذجًا مناسبًا لتسجيل هذه العناصر الأساسية. وينبغي على المدقق ارتداء ساعة دقيقة؛ لتسجيل توقيتات الوصول. وتتوفر البرامج التي تسمح بتسجيل البيانات على جهاز الحاسب المحمول أو القابل للنقل ونقلها لاحقًا إلى حاسب شخصي للقيام بتحليلها.

الجدول (أ–٦٤) نموذج التدقيق بالركوب (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-10).

نموذج تدقيق المسار بركوب وسيلة النقل العام								
رقم المربع المكاني _____ رقم المسار_____ اليوم_____ التاريخ_____ الطقس_____ وجهة الرحلة_____ الملاحظ_____ توقيت البدء المجدول_____								
الموقع			**الركاب**			**تدقيق الوقت**	**ملاحظات**	
			صعود	**نزول**	**الحمولة**			
. . . . .								

توفر أحيانًا نقاط التفتيش على المسار بيانات مفصّلة عن تحركات المركبات أكثر من مجرد توقيت الوصول في المواقف. ويمكن كذلك أن يسجل المدققون على المسار توقيتات التباطؤ وتوقيتات المكوث في المواقف وتوقيتات التسارع والفترات الزمنية وأسباب التأخير. يوضح الجدول (أ-٦٥) نموذجًا لعناصر السرعة والتأخير هذه. وفي حال انشغالهم، لا يحتاج المدققون إلى حساب العمود رقم ٧ للتأخير في الميدان. ويتيح العمود رقم ٢ للتوقيت عند نقاط المراقبة بحساب الالتزام بالجدول الزمني ومقاييس السرعة المختلفة. ونادرًا ما يستطيع المدقق على المسار الذي يستخدم نموذجًا مثل النموذج الموضح في الجدول (أ-٦٥) جمع بيانات صعود الركاب ونزولهم في نفس الوقت.

الجدول (أ–٦٥) نموذج ميداني لتأخير مركبات النقل العام (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-11).

نموذج ميداني لتأخير مركبات النقل العام						
اليوم_____ التاريخ_____ المسار_____ وجهة الرحلة_____ الطقس_____ نوع المركبة_____ الملاحظ_____ الأسلوب_____ توقيت الرحلة_____توقيت بدء الرحلة_____ توقيت انتهاء الرحلة_____						
(١)	**(٢)**	**(٣)**	**(٤)**	**(٥)**	**(٦)**	**(٧)**
الموقع	**التوقيت في نقطة المراقبة**	**التوقيت أبطأ من سرعة السير**	**توقيت التوقف**	**التوقيت أسرع من سرعة السير**	**سبب التأخير**	**(٥) – (٣) توقيت التأخير (ثانية)**
				إجمالي توقيت التأخير، بالثواني		
رموز سبب التأخير P= حمولة الركاب، S= إشارة مرور، SS=لافتة توقف، PK= المركبات المتوقفة، DP= موقف مزدوج، PED= المارة، RT= الانعطافات لليمين، LT= الانعطافات لليسار، T= تراكم مروري عام، KT= إهدار الوقت عمدًا، O= أخرى (شرح) ملاحظات:						

يمكن كذلك أن توفر نقاط التفتيش على المسار العديد من عناصر البيانات التي توفرها دراسات السائقين والتدقيقات الموضعية. ويمكن أن يقوم المدققون بعدّ الصعود حسب فئة الأجرة خلال التفتيش على طول المسار. ويمكن إجراء تعدادات الحمولة والصعود لكل رحلة بشكل مباشر خلال التفتيش على المسار، أو يمكن استنتاجها بسهولة من بيانات الصعود والنزول عبر التوقف الخاصة بالمدقق على طول المسار. ومن المفضل أن يشغل المدققون على المسار المقعد الخلفي المباشر للسائق. ومن الأفضل ملاحظة عمليات الصعود والنزول من الباب الأمامي، وأسباب التأخير، ونوع الأجرة المدفوعة من هذا المقعد. وقد يتطلب الصعود و/أو النزول من الباب الخلفي، مع وجود العديد من الواقفين تغييرًا في الموضع، أو قد يعني أن المدقق بحاجة إلى الوقوف لإجراء التعدادات وفي حالات نادرة، قد تكون هناك حاجة إلى أكثر من مدقق واحد على المسار في المركبة. وينبغي أن يكون المدققون على دراية بأسباب التأخير، أو فئات الأجرة المحتملة؛ اعتمادًا على عناصر البيانات المجموعة.

تُحلَّل بيانات التفتيش على المسار بعدة طرق؛ حيث يمكن عرض البيانات بشكل أكثر شيوعًا في مخطط شريطي بسيط يوضح الصعود والنزول من خلال التوقف. كما أنه من الممكن استخدام بيانات الصعود والنزول من خلال التوقف لحساب كيلومترات الركاب لكل رحلة. وتُضرَب حمولة الركاب بين موقفين في المسافة؛ ما يعني أن كيلومترات الركاب لكل رحلة هو مجموع هذه الكميات لكامل المسار. وتتضمن التعدادات المفيدة من بيانات التفتيش على المسار متوسط عدد الركاب الذين يصعدون عند المحطة x، ومتوسط كيلومترات الركاب في كل رحلة، ومتوسط التأخير عند الإشارة (y)، ومتوسط سرعة الانتقال الإجمالية ونسبة التأخير بسبب انعطاف المركبات. وقد نوقش تحليل التعدادات النموذجية في قسم فرعي لاحق من دراسات النقل العام.

منبع ومقصد الراكب:

يمكن للمشغلين استخدام بيانات التفتيش على المسار لتقدير أنماط بداية ونهاية الراكب من خلال التوقف على مسار (أي: ليست جهات المغادرة وجهات الوصول الحقيقية من الباب إلى الباب) بطرق مختلفة، مثل:

- يقف المدقق في الجزء الخلفي من المركبة ويلاحظ على مخطط الجلوس التوقف؛ حيث يصعد وينزل كل راكب.
- يوزع المدقق بطاقة لكل راكب في أثناء الصعود. وتكون البطاقة مشفرة مع جهة التوقف الأساسية. ويقوم المدقق بجمع البطاقات في أثناء نزول الركاب. ويلاحظ نقطة توقف الوجهة على البطاقة.
- يوفر المدقق على المسار (أو معدات جمع البيانات تلقائيًا) بيانات الصعود والنزول من خلال التوقف ويقدر المحلل نمط المنبع المقصد (Simon & Furth, 1985).
- يستخدم المحلل بيانات تحميل التدقيق الموضعي وأدنى حد من بيانات التفتيش على المسار المتعلقة بالصعود والنزول عبر التوقف من الطريقة أعلاه مباشرة ((Furth, (1989).

كل من الطرق الأربع المتعلقة بالتفتيش على المسار لتحديد أنماط المنبع المقصد من خلال التوقف لها مزايا وعيوب؛ حيث تتضمن الطريقتان الأوليتان قياسًا مباشرًا بدرجة أكبر؛ لذلك فهما أكثر دقة بشكل عام، ولكنهما أغلى من الطريقتين الثالثة والرابعة. فالطريقة الأولى مناسبة فقط في الرحلات التي لا يوجد بها أشخاص واقفون و عدد مرات استخدام المقعد الواحد محدود للجلوس. وتتميز الطريقة الثانية بمعدل استجابة مرتفع، ولكنها يمكن أن تتسبب في حدوث ارتباك أولي بين الركاب. وينبغي أن يكون المدقق قادرًا على الشرح بسرعة، ربما بأكثر من لغة، الغرض من البطاقة وما يجب أن يفعله الراكب بها. ويمكن كذلك طباعة التعليمات مباشرة على البطاقة، ولكن ينبغي عدم افتراض أن جميع الركاب بمقدرتهم قراءة المواد المطبوعة وفهمها بشكل سريع. وفي حال كان المحللون يتحملون قدرًا أقل من الدقة إلى حد ما ولديهم بيانات التفتيش على المسار أو بيانات التدقيق الموضعي المطلوب، فإن الطريقتين الثالثة والرابعة هي أفضل الطرق لتقدير أنماط المنبع-المقصد.

يستخدم المشغلون كذلك المسوحات لتقدير أنماط المنبع-المقصد، لا سيما عندما يحتاجون إلى جهات المغادرة وجهات الوصول الحقيقية من الباب إلى الباب. وتُناقش المسوحات على ظهر المركبات في القسم الفرعي رقم (أ-١١-٣-٣).

أ-١١-٣-١-٤ عربة مقطورة:

يمكن كذلك للمدقق الموجود في السيارة ذاتية الحركة الموجودة خلف مركبة النقل العام ذات الأهمية جمع عناصر السرعة والتأخير في النموذج الموضح أعلاه في الجدول (أ-٦٥) للفحص على المسار. وتُعد طريقة العربة المقطورة مفيدة؛ لأن المدقق (ربما) يكون بعيدًا عن أنظار سائق مركبة النقل العام؛ لذلك لا يُدخَل أي تحيز من خلال عادات السائق المتغيرة. وكذلك لا تتيح طريقة العربة المقطورة رؤية كاملة لأسباب التأخير. وينبغي على المشغلين موازنة مزايا وعيوب الطريقة لكل حالة. على سبيل المثال: التغيير إلى طريقة التفتيش على المسار عند الضرورة (خاصة بالنسبة إلى عناصر بيانات السرعة والتأخير). ومع التطورات في معدات تحديد موقع المركبة آليًا الذي نوقش في الجزء الفرعي التالي، نادرًا ما تُستخدَم طريقة العربة المقطورة في الممارسة.

أ-١١-٣-٢ جمع البيانات تلقائيًا:

يتضمن جمع البيانات تلقائيًا لدراسات النقل العام تقنيتين رئيستين، وهما أجهزة عدّ الركاب الآلية وتحديد موقع المركبة آليًا. وتقوم التقنية الأولى وهي أجهزة عدّ الركاب الآلية بعدّ عمليات صعود الركاب ونزولهم آليًا، وتقوم التقنية الثانية وهي تحديد موقع المركبة آليًا باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي على ظهر المركبة لتسجيل بيانات الموقع والسرعة على مركبات النقل العام. وباستخدام كلتا التقنيتين، من المهم التحقق من الدقة وإجراء التحقق المتكرر من صحة البيانات التي حُصل عليها أو بيانات زمن الانتقال. وفي حال أن التقدم في كل من تقنيات جمع البيانات هذه قد أدى إلى تحسين الدقة والموثوقية بشكل كبير؛ فإنه لا يزال هناك مصادر للخطأ مثل عطل المعدات.

وإذا كانت تكلفة التثبيت كبيرة؛ فغالبًا ما تُثبت تقنيات أجهزة عدّ الركاب الآلي ويُحدَّد موقع المركبة آليًا كجزء من نشر أنظمة النقل الذكية على نطاق أوسع في المدينة، ما يقلل التكلفة النسبية لتقنية أجهزة عدّ الركاب الآلي. ويتطلب استخدام كلتا التقنيتين اتصالًا جيدًا بين الإدارات البلدية (وأي إدارات أخرى ذات صلة)؛ لأن البنية التحتية التقنية تمتد عبر الولايات القضائية.

أ-١١-٣-٢-١ أجهزة عدّ الركاب الآلية:

تتضمن معدات أجهزة عدّ الركاب الآلية مكونات اكتساب البيانات وتسجيلها ونقلها وإعداد التقارير. وفي معظم التركيبات، توفر سلسلة من الحزم الكهروضوئية بالقرب من الباب أو منصات حساسة للضغط في السلالم تعدادات الصعود والنزول عن طريق التوقف. وتقوم خوارزميات الحاسب بفك تشفير النشاط الذي سجلته المستشعرات وتقرر-على سبيل المثال- ما إذا كانت سلسلة من الإشارات تمثل راكبًا يقوم بالصعود أو النزول. وتسجل المعدات مسافات السير على الطريق (من خلال عداد المسافة بالمركبة) والتوقيتات لفهرسة الأعداد، ولتوفير الالتزام بالجدول الزمني وعناصر البيانات المماثلة.

يمكن أن تستخدم الجهات تقنية أجهزة عدّ الركاب الآلية للحصول على عدد الركاب وبيانات زمن الانتقال على طول المسارات. وتتمثل الميزة الأساسية لأنظمة أجهزة عدّ الركاب الآلية في توافر البيانات بشكل دائم، ما يسمح لهيئة النقل العام بتتبع الأداء بشكل مستمر. وجرى الإبلاغ عن الفوائد الأساسية لأنظمة أجهزة عدّ الركاب الآلية؛ لتكون مصنفة بالبيانات على مستويات الموقف، جزء من الطريق والرحلة. ولتكون البيانات ذات جودة للركاب؛ فإنها توفر بيانات وقت التشغيل لضبط الجداول، وقاعدة

أفضل لاتخاذ القرار (Boyle, 2008). وتشمل المشكلات الرئيسة في أنظمة أجهزة عدّ الركاب الآلية المشكلات المتعلقة ببرامج الإبلاغ ومعالجة البيانات وتحليلها والتحقق من صحة البيانات ومشكلات الأجهزة.

أ-١١-٣-٢-٢ تحديد موقع المركبة آليًا:

نتيجة توفر تقنية نظام تحديد المواقع العالمي بشكل متزايد وفعاليتها من حيث التكلفة؛ تُستخدَم تركيبات تحديد موقع المركبة آليًا بشكل أكثر شيوعًا من قبل جهات النقل العام. ومن خلال تركيبات نظام تحديد المواقع العالمي على ظهر المركبات، يمكن للهيئة جمع الكثير من البيانات تلقائيًا مثل أوقات الرحلة والالتزام بالجدول الزمني والتأخيرات. ومن خلال تدفق البيانات المستمر، يمكن للهيئة بسهولة تنفيذ نظام مراقبة الأداء، ويمكنها تحديد المصادر المشتركة للازدحام المتكرر (على سبيل المثال: تقاطع معين أو فترة زمنية معينة). ويمكن للهيئة استخدام هذه البيانات لتحسين الخدمة المقدمة وتعزيز تجربة النقل العام للعملاء.

كذلك يمكن أن تفيد بيانات تحديد موقع المركبة آليًا العملاء بشكل مباشر من خلال استخدام بيانات النقل العام في الوقت الفعلي الموزعة على الركاب من خلال شاشات العرض في محطات النقل العام ومواقع الويب، وحتى المدمجة في تطبيقات الهواتف الخلوية. ومن ثمَّ فإن الاستثمار التقني يخدم الحاجة المشتركة لجمع البيانات وتقديم خدمة للعملاء.

أ-١١-٣-٢-٣ حيازة النظام ومعالجة البيانات:

لمعالجة البيانات الآلية بدقة، يلزم وجود بنية تحتية إضافية للمعدات عند المواقف وتحتاج الجهات إلى تطوير آلية معالجة البيانات الخلفية من خلال إدارة البرامج وقواعد البيانات. وتمثل *العلامات الإرشادية* إحدى معالجات البنية التحتية الإضافية، وهي عبارة عن أجهزة إرسال لاسلكية مثبتة على جانب الطريق على طول المسار تزود وحدة المعالجة الداخلية بمعلومات الموقع في أثناء مرور المركبة. وتُغني العلامات الإرشادية عن الحاجة إلى اتخاذ قرارات صعبة في معالجة البيانات المتعلقة ببيانات الصعود والنزول التي تنتمي إلى أي موقف. ودون العلامات الإرشادية، لا يمكن اتخاذ هذه القرارات في كثير من الأحيان، ما يؤدي إلى تجاهل البيانات. وتضم العلامات الإرشادية تطبيقات أخرى إلى جانب جمع البيانات التي يمكن أن تساعد على تبرير تكاليفها أيضًا. وتعد مستشعرات التسجيل التي تعمل عند فتح باب المركبة ولوحات المفاتيح التي تسمح بمدخلات يدوية كبيرة إلى سجل البيانات من الميزات الأخرى لبعض أنظمة جمع البيانات تلقائيًا.

إن معدات جمع البيانات تلقائيًا باهظة الثمن، ولكن لا يمكن تركيبها إلا على جزء تمثيلي من المركبات في الأسطول. وتشير التقديرات إلى أنه يمكن الاحتفاظ بقاعدة بيانات مفيدة وصحيحة وموثوقة في حال كان حوالي ١٠٪ من أسطول المركبات مجهزًا لجمع البيانات تلقائيًا (Deibel & Zumwalt, 1984). وتعد جدولة مركبة مجهزة للقيام برحلة تُجمَع فيها البيانات أمرًا صعبًا بسبب مجموعة متنوعة من المشكلات، منها خدمات المركبات وأحجام المركبات غير المتوافقة. ومن أمثلة ذلك، لا يمكن للمشغلين جدولة مركبة لجمع البيانات بسعة ٤٠ راكبًا على مسار يحتاج إلى مركبات تتسع لعدد ٦٠ راكبًا. ومع ذلك، فإن تجهيز ١٠٪ من الأسطول يوفر هامشًا مناسبًا لمعظم هذه المشكلات. وفي حال كانت أهداف التركيب التقني تتضمن تصورًا عامًا لبيانات النقل العام كما ورد أعلاه؛ فإن معظم المركبات إن لم يكن جميعها بحاجة إلى أن تكون مجهزة بتقنية تحديد موقع المركبة آليًا.

توفر معدات جمع البيانات تلقائيًا بيانات أولية أكثر بكثير من طرق الدراسة اليدوية. وينبغي أن تكون قدرات معالجة البيانات وإعداد التقارير للنظام كافية للتعامل مع هذا الحمل. ومع وجود الحواسيب الصغيرة والتطورات الأخرى في تقنية الحاسب؛ فإن هذا يعد تحديًا إداريًا أكثر من كونه تحديًا تقنيًا. ولا تختلف التقارير ذاتها عن أنواع التقارير المجهزة بالطرق اليدوية والموضحة في جزء آخر في هذا الجزء الفرعي.

عادةً ما تكون البيانات التي جرى تجميعها آليًا أكثر دقة من البيانات التي جرى تجميعها يدويًا، ولكن التحيز يمكن أن يمثل مشكلة. وتميل الأنظمة الآلية إلى تسجيل عدد قليل لأسباب مختلفة، منها الأعطال الميكانيكية أو الكهربائية والعوامل البيئية وإعاقة مستشعرات الركاب. وفي حالة الاشتباه في وجود تحيز، يمكن للمشغلين مقارنة العدّ التلقائي بالعدّ اليدوي الدقيق والموثوق. وفي حال وجد المشغلون تحيزًا، فبإمكانهم إصلاح النظام أو تصحيح التحيز حسابيًا في أثناء معالجة البيانات.

نظرًا لاختلاف تكاليف تركيبات أجهزة عدّ الركاب الآلية على نطاق واسع، فمن المستحيل تمامًا تحديد أي جهات النقل العام التي ستجد أن المعدات فعالة من حيث التكلفة وأيها لا. ورغم ذلك، توضح تحليلات الخبرة والتكلفة:

- فيما يخص الجهات الكبيرة (أكثر من ٤٠٠ مركبة)، عادة ما تكون المعدات فعالة من حيث التكلفة.
- فيما يخص الجهات متوسطة الحجم، (١٠٠ إلى ٤٠٠ مركبة)، يمكن أن تكون المعدات فعالة من حيث التكلفة اعتمادًا على احتياجات البيانات.
- فيما يخص الجهات الصغيرة (أقل من ١٠٠ مركبة)، لن تكون المعدات فعالة من حيث التكلفة.

عندما يُنظَر في توافر الأموال، ودقة البيانات المطلوبة، وفترة البيانات الزمنية، وعوامل أخرى مع فعالية التكلفة يصبح اتخاذ قرار بشأن الاستثمار في معدات جمع البيانات تلقائيًا أمرًا معقدًا للغاية.

أ-١١-٣-٣ مسوحات النقل العام على ظهر المركبات:

توفر المسوحات معلومات عن السمات الديموغرافية للركاب وجهات المغادرة وجهات الوصول من الباب إلى الباب ورغبات الانتقال والسلوكيات والخطط المستقبلية وغيرها من الخصائص. ولا يستطيع المشغلون جمع عناصر البيانات هذه مع طرق الدراسة الأخرى المقدمة في هذا الجزء الفرعي. وتعد المسوحات مكلفة نسبيًا لتطويرها وإجرائها وربما تكون أقل دقة من طرق الدراسة الأخرى التي نوقشت في هذا الجزء الفرعي. وبالتالي إذا

كان بمقدرة المشغلين جمع عنصر بيانات باستخدام طريقة دراسة غير المسح، فينبغي عليهم القيام بذلك. ويُجري المحللون عدة مسوحات لجهات النقل العام عبر الهاتف أو من خلال زيارة منازل المستجيبين. ويركز الجزء الفرعي هذا على المميزات التي تجعل المسوحات التي تُجرى على ظهر المركبات متميزة عن المسوحات الأخرى. ولا تختلف تقنيات المُعاينة والتحليل للمسوحات التي تُجرى على ظهر المركبات كثيرًا عن طرق الدراسة الأخرى التي نوقشت في هذا الجزء الفرعي. وستُوضح هذه التقنيات لاحقًا في الجزء الفرعي.

خلال السنوات الأخيرة أصبحت مسوحات النقل العام عبر الإنترنت، أو حتى المسوحات التي تُجرى عبر رسائل الهاتف الخلوي النصية تحظى بشعبية متزايدة. وتعتمد المسوحات عبر الإنترنت على الركاب الذين أكملوا المسح بعد إكمال الرحلة، وذلك بمجرد وصولهم إلى جهاز حاسب (رغم أن الكثيرين قد يكونون قادرين على الوصول إلى الويب في أثناء الركوب عبر أجهزة الحاسب المحمولة والهواتف الذكية)؛ ولذلك يمكن أن تكون معدلات الاستجابة الناتجة أقل من المسوحات التقليدية على ظهر المركبة، ولكن تقل كثيرًا تكلفة إدارة المسح ومواد الطباعة. وكذلك تتم أتمتة الكثير من تحليلات المسوحات من أدوات قاعدة البيانات عبر الإنترنت. ويستخدم المسح الذي يُجرى عبر الرسائل النصية تقنية الهاتف الخلوي المتاحة بسهولة للتصويت على سؤال مسح النقل العام المعين، مثل: مشاهدي البرامج التلفزيونية، واستطلاعات الرأي المختلفة.

يستطيع المحللون بشكل عام استخدام نوعين من المسوحات التقليدية التي تُجرى على ظهر المركبة: المسوحات المباشرة والمسوحات عبر البريد. وفيما يخص كلا النوعين من المسوحات، ينبغي على العمال القائمين بالمسح توزيع الاستمارات بكلمات توضيح سريعة على الركاب عند الصعود على ظهر المركبة. وينبغي جمع المسوحات المباشرة من الركاب في أثناء نزولهم. وينبغي أن تكون المسوحات المباشرة قصيرة، وتتألف من بضعة أسئلة فحسب؛ لأن الركاب لديهم فترة زمنية محدودة لإكمالها. ويجيب الركاب على المسوحات المباشرة على ظهر المركبة فحسب؛ لذلك لا يمكن طلب سوى المعلومات التي يتذكرها الركاب بسهولة. وينبغي طباعة المسوحات المباشرة على بطاقة يمكن الكتابة عليها وتُوزع معها أقلام رصاص.

يستطيع الركاب إكمال المسوحات عبر البريد على ظهر المركبة أو في أي مكان آخر؛ ولذلك فهي ليست بحاجة إلى أن تكون قصير مثل المسوحات المباشرة، ويمكنها طرح أسئلة صعبة للغاية؛ نظرًا إلى أن الركاب لديهم وقتًا للتفكير في الأسئلة والتماس المساعدة للحصول على إجابات. ويمكن ختم النماذج ومنحها عنوانًا على الجانب الأخر، أو يمكن توفير ظرف مختوم ومعنون مع كل نموذج.

يعتمد اختيار نوعية الاستطلاع بشكل أساسي على عدد الأسئلة التي على المشغل طرحها. وتعد المسوحات الموجزة أفضل بوجه عام، ولكن المسوحات على ظهر المركبات يمكن أن تكون أطول من حجم البطاقة البريدية في حال كانت الأسئلة توفر عناصر البيانات المطلوبة. ويُعد معدل الاستجابة عامل آخر يؤثر في الاختيار بين المسوحات المباشرة والبريدية. وتتمتع المسوحات المباشرة بمعدلات استجابة مرتفعة، والتي من الممكن أن تقترب من ٩٠٪ من العوائد القابلة للاستخدام، بينما تحقق المسوحات البريدية بشكل عام ٣٠-٦٠ % من الاستجابات القابلة للاستخدام. ومع ذلك، لا يعني بالضرورة معدل الاستجابة المرتفع إجراء مسح غير متحيز. وأخيرًا، إذا كان الركاب على ظهر مركبة في رحلة قصيرة للغاية، أو إذا وجد عدد ملحوظ من الواقفين، فستحدث تحيزات شديدة مع الاستطلاعات المباشرة.

إن الخيار الذي يجمع أفضل مميزات المسوحات المباشرة والبريدية هو المسح المؤلف من جزأين. ويتكون المسح المؤلف من جزأين من نموذج مباشر قصير ونموذج بريدي طويل يُسلّمان معًا. ويطلب النموذج المباشر معلومات أساسية للغاية بشأن خصائص الركاب وينبغي أن يكون له معدل عائد مرتفع. ويطلب النموذج البريدي أسئلة تفصيلية التي تكون بالفعل موضع اهتمام بالنسبة إلى راعي المسح بالإضافة إلى الأسئلة ذاتها المطروحة في النموذج المباشر. ويمكن للمحلل مقارنة خصائص الركاب الذين أعادوا كلا الجزأين بخصائص الركاب الذين أعادوا الجزء المباشر فقط، وبالتالي سيكتسبون نظرة ثاقبة للتحيزات في العينة التي أجابت على الأسئلة المهمة.

تتضمن مجموعة الاقتراحات لإجراء مسوحات على ظهر المركبة الممارسات الآتية ((Stopher, (1985):

- يُحتفَظ بعدّ عدد نماذج المسح الموزعة لكل رحلة. وهذا العدّ ضروري لقياس معدل الاستجابة.
- ينبغي عدم مطالبة السائقين بتوزيع نماذج المسح. ويمكن أن يؤدي توزيع النماذج من خلال السائقين إلى تحيز أسئلة عن القيادة، ويمكن لا يسمح بالحفاظ على التحكم في النماذج المشار إليها أعلاه، ويمكن لا يوفر للركاب المساعدة التي يحتاجونها لإكمال المسح.
- ينبغي توفر نماذج منفصلة لكل لغة سائدة في منطقة المسح. ويجب أن تكون التحية السريعة من قبل المدقق الذي يوزع نماذج المسح كافية للإشارة إلى اللغة التي يمكن لراكب معين الاستجابة بها.
- ينبغي وضع الصناديق عند كل باب خروج لإعادة النماذج، مع وضع لافتات كبيرة في مكان قريب للفت الانتباه إليها. نظرًا إلى أن المدقق القائم على توزيع نماذج المسح يمكن أن يكون منشغلًا بالركاب الصاعدين، ويمكن لا يكون متاحًا لجمع كل نموذج مكتمل.
- يُمنح كل راكب يقوم بدفع الأجرة نموذج مسح؛ نظرًا لوجود عدة مشكلات في أخذ عينات من مجموعة فرعية من الركاب على ظهر المركبة.

أ-١١-٣-٤ الدراسات المكتبية:

يمكن الحصول على بعض البيانات التي يمكن أن تكون موضع اهتمام الجهات في المكتب دون جمع بيانات ميدانية واسعة النطاق. ورغم عدم تركيز جزء دراسات النقل العام عليها، إلا أن هذه الدراسات المكتبية معترف بها هنا؛ لأنها ذات صلة

بالعديد من تطبيقات النقل العام. وتتضمن الدراسات المكتبية العامة التحليل على مستوى التخطيط لجداول النقل العام الزمنية وتخطيطات المسار وتوقعات السير على الطريق لأغراض تخطيطات النقل العام. وتستخدم هذه الأدوات نماذج الطلب على الانتقال على الحاسب لإجراء تنبؤ من أربع خطوات لطلب الانتقال، منها: توليد الرحلة وتوزيعها وتخصيص المرور وتقسيم الوضع. ويعد المكون الأخير أساسيًا للتخطيط لأنظمة النقل العام، وقد يكون مكونًا حيويًا للحصول على التمويل لتحسينات النقل العام.

أ-١١-٤ التحليل الإحصائي:

في قسم المُعاينة الفرعي هذا، تُناقش أحجام العينات والوسائل والنسب. وتنطبق هذه القضايا على جميع طرق الدراسة الواردة أعلاه.

أ-١١-٤-١ المُعاينة:

يعد أخذ العينة لكل دراسة نقل عام تقريبًا أمرًا ضروريًا؛ لأن تكلفة العدّ الكامل تكون باهظة. ولحسن الحظ، تكون القدرة على التعميم بشأن جميع السكان عن طريق أخذ عينة تتيح جمع بيانات مفيدة وتحليلها بتكلفة معقولة.

بعدما تُحدَّد طريقة الدراسة المراد استخدامها، ينبغي على المحلل الذي يجري دراسة النقل العام تحديد وحدة المُعاينة. وتكون وحدة المُعاينة هي الجهة التي تمثل نقطة بيانات واحدة. وبالنسبة إلى معظم دراسات النقل العام، يختار المحلل الرحلة— مركبة واحدة في دائرة الإيرادات تنتقل من بداية المسار إلى نهايته— كوحدة المُعاينة. على سبيل المثال: يجب إجراء دراسات السائق عند تحديد ما إذا كانت عمليات الصعود على ظهر المركبة قد ارتفعت نتيجة إدخال تذكرة أجرة جديدة. يقوم كل سائق مشارك في الدراسة بالإبلاغ عن عدد الركاب في كل رحلة. ويستطيع المحلل من خلال هذه البيانات حساب متوسط الصعود لكل رحلة. وبدروه، سيؤدي ضرب هذا المتوسط في عدد الرحالات الإجمالي إلى توفير الكمية المطلوبة للمقارنة.

ينبغي على المحلل بمجرد اختيار وحدة المُعاينة وضع خطة المُعاينة. وقد استخدم المحللون عبر التاريخ عينات عشوائية بسيطة في معظم دراسات النقل العام. وباستخدام عينة عشوائية بسيطة، تكون لكل وحدة في وحدات السكان جميعًا فرصة متساوية للاختيار من بينها للقياس. ويكون حجم العينة وصيغ التحليل للعينات العشوائية البسيطة واضح ومباشر. إلا أن الخطة تؤدي في بعض الأحيان إلى استخدام غير فعال للموارد. ويمكن أنه تعني عينة عشوائية بسيطة من الرحلات التي قيست من خلال التفتيشين على المسار. على سبيل المثال: أن المدققين سيتدافعون في جميع أنحاء شبكة المسارات ليكونوا على ظهر الرحالات المكلفين بها. ويمكن تعني عينة عشوائية بسيطة من الركاب تمت قياسها باستخدام المسح على ظهر المركبة توزيع نماذج مسح على عدد قليل فقط من الركاب في كل مركبة.

لمزيد من الكفاءة، يمكن للمحللين إجراء عدة دراسات باستخدام خطط المُعاينة الطبقية أو متعددة الأطوار. وتتطلب الخطط الطبقية من المحلل تقسيم سكان الوحدات إلى عدة مجموعات محددة، من ثمّ أخذ عينات عشوائية من داخل تلك المجموعات. على سبيل المثال: يمكن للمحللين التمييز بين المسارات الشعاعية والمسارات عبر المدينة ويمكنهم أخذ عينات من الرحلات من تلك المجموعات. ويكون التقسم الطبقي الشائع الأخر خلال وقت النهار. ويمكن للمرء أن يستخلص بشكل منفصل خدمات الذروة صباحًا ومساءً والخدمات بين فترات الذروة والخدمات المسائية والمتأخرة من الليل.

تعد الخطط ذات الأطوار المتعددة أكثر شيوعًا وعادة ما تكون أكثر كفاءة من الخطط الطبقية. وتتطلب الخطط ذات الأطوار المتعددة الاختيار العشوائي لما يأتي:

- المسارات من نظام المسارات بأكمله.
- اتجاهات السير على الطريق من المسارات المختارة.
- الفترات الزمنية من مجموعات المسار/ الاتجاه المحددة.

مع وجود الخطط النموذجية ذات الأطوار المتعددة، يمكن لمدققي النقاط -على سبيل المثال- البقاء في أماكنهم طوال فترة الذروة أو يمكن لموزعي المسح تقديم نموذج لكل راكب يستقل مركبة. ويمكن أن توفر الخطط الطبقية والخطط متعددة الأطوار مزيدًا من الترتيب في عملية جمع البيانات وتضمن توفير تقييم أكثر دقة للتعدادات ذات الاهتمام ويمكن أن تؤدي إلى تقليل حجم العينة. وتكون حجم العينات وصيغ التحليل لخطط المُعاينة الطبقية ومتعددة الأطوار أكثر تعقيدًا من العينات العشوائية البسيطة.

أ-١١-٤-٢ أحجام العينة:

ما إن يضع المحللون خطة العينة، يمكنهم حساب حجم العينة الضروري. يعتمد حجم العينة الضروري بشكل عام على مستوى الثقة المطلوب للتقدير (t)، ومعامل التباين في العينة (v) والتفاوت في التقدير (d)، والذي يمثل النطاق المسموح به حول التقدير (على سبيل المثال ± ١٥٪). ولتقدير القيم المتوسطة بعينة عشوائية بسيطة، يمكن تقدير حجم العينة الضروري (n)، باستخدام:

$$n = \left(t\frac{v}{d}\right)^2$$ **المعادلة (أ-٤٠)**

حيث إن:

t = ثابت يعتمد على مستوى الثقة المطلوب في التقدير.

v = معامل التباين (الانحراف المعياري مقسومًا على المتوسط).

d = التفاوت على التقدير.

يمكن للمحللين افتراض بصورة متحفظة قيم t بصفتها ١,٨ مع ٩٠٪ من الثقة و٢,٢ مع ٩٥٪ من الثقة، (UMTA, 1985)). ويعني التفاوت (d) من ٠,١٥ بمستوى ثقة ٩٠٪ أن ٩٠٪ من العينات من الحجم n سيكون لها قيم متوسطة تقع ضمن ١٥ بالمائة من المتوسط المقدر. ولتطبيق المعادلة (أ-٤٠) وتقدير حجم العينة، من الضروري وجود معرفة متقدمة لمعامل التباين. وبالتالي يوفر معاملات التباين (v) لعناصر البيانات المشتركة إذا لم تكن التقديرات متوفرة محليًا. تتراوح التفاوتات الموصى بها (UMTA, (1985)) من ١٠ إلى ٣٠٪ لمعظم عناصر البيانات المشتركة.

الجدول (أ–٦٦) معاملات التباين الافتراضية ($\boldsymbol{v}$) لعناصر البيانات الرئيسة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 13-17).

عنصر البيانات	الفترة الزمنية	تصنيف المسار	القيمة الافتراضية
الحمولة	الذروة	الحمولة أقل من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٥
	ذروة	الحمولة أكثر من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٣٥
	خارج أوقات الذروة	الحمولة أقل من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٦
	خارج أوقات الذروة	الحمولة ٣٥-٥٥ راكب/ رحلة	٠,٤٥
	خارج أوقات الذروة	الحمولة أكثر من ٥٥ راكب/ رحلة	٠,٣٥
	الفترة المسائية	الجميع	٠,٧٥
	ساعات الليل المتأخرة (فترة متأخرة من الليل)	الجميع	١
	الجمعة، ٧ صباحًا - ٦ مساءً	الجميع	٠,٦
	الجمعة، ٦ مساءً - ١ صباحًا	الجميع	٠,٧٥
	السبت، ٧ صباحًا - ١ صباحًا	الجميع	٠,٧٥
الصعود، كيلومترات الركاب	ذروة	الحمولة القصوى أقل من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٤٢
	ذروة	الحمولة القصوى أكثر من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٣٥
	خارج أوقات الذروة	الحمولة القصوى أقل من ٣٥ راكب/ رحلة	٠,٤٥
	خارج أوقات الذروة	الحمولة القصوى = ٣٥-٥٥ راكب/ رحلة	٠,٤
	خارج أوقات الذروة	الحمولة القصوى أكثر من ٥٥ راكب/ رحلة	٠,٣٥
	الفترة المسائية	الجميع	٠,٧٣
	ساعات الليل المتأخرة (فترة متأخرة من الليل)	الجميع	٠,٨
	الجمعة، ٧ صباحًا - ٦ مساءً	الجميع	٠,٤٥
	الجمعة، ٦ مساءً - ١ صباحًا	الجميع	٠,٧٣
	السبت، ٧ صباحًا - ١ مساءً	الجميع	٠,٧٣
وقت المسير	الجميع	قصير (أقل من ٢٠ دقيقة)	٠,١٦
	الجميع	كبير (أكثر من ٢٠ دقيقة)	٠,١
ملحوظة: ١- القيم الافتراضية لساعات الليل المتأخرة (فترة متأخرة من الليل) هي نفسها في أيام الأسبوع وعطلات نهاية الأسبوع			

تستخدم **المعادلة (أ-٤٠)** الواردة أعلاه للبيانات التي تكون في شكل عينة عشوائية بسيطة بمتوسط عينة، وبعض التباين حول هذا المتوسط. ومع ذلك، فإن العديد من عناصر البيانات المجموعة في

دراسات النقل العام هي نسب، مثل نسبة الركاب الذين يدفعون أجورًا خاصة للطلاب، ونسبة الرحلات التي تتأخر أكثر من خمس دقائق عن الجدول الزمني. ويمكن تقدير حجم العينة، (n)، بالنسبة إلى بيانات التناسب باستخدام عينة عشوائية بسيطة، باستخدام المعادلة الآتية.

$$n = \frac{t^2 p(1-p)}{d^2}$$ **المعادلة (أ-٤١)**

حيث إن:

t = ثابت متعلق بمستوى الثقة.

p = تقدير مسبق لنسبة الفائدة.

d = التفاوت على التقدير.

تكون قيم (t^2) المستخدمة مع المعادلة (أ-٤١) تقريبًا ٣,٠ لكل ٩٠٪ من الثقة و٤,٠ لكل ٩٥٪ من الثقة. وفي حال عدم توفر تقدير مسبق للقيمة p، يمكن للمحللين استخدام قيمة تحفظية للقيمة p = ٠,٥. وتكون قيمة التفاوت للنسب التقديرية في دراسات النقل العام ٠,١. وفيما يخص القيم (p) القريبة من الصفر و١، يحتاج المحللون إلى نطاقات تفاوت متباينة ((UMTA, (1985)

أ-١١-٤-٣ اختيار العينة:

بعد قيام المحللون بتحديد حجم العينة المطلوبة، ينبغي عليهم اختيار الوحدات المراد أخذ عينات منها. ويمكنهم استخدام جداول الأرقام العشوائية وبرامج الحاسب التي توفر أرقامًا عشوائية. وستخفف خطط المُعاينة الطبقية والمتعددة الأطوار عبء هذه المهمة مقارنة بخطط المُعاينة العشوائية البسيطة. ويقوم المشغلون بتعيين المدققين لدراسة الوحدات المختارة مع مراعاة قواعد العمل الخاصة بهم، وحاجتهم إلى فترات راحة وأوقات سفر بين مواقع الدراسة.

يمكن أن يجبر الطقس السيء والمناسبات الخاصة المحللين على إخراج بعض الوحدات من العينة. وفي حال أراد المحللون على سبيل المثال تقدير عدد الركاب السنوي، فينبغي لهم عدم تغيير خطة العينة بسبب سوء الأحوال الجوية والمناسبات الخاصة. ورغم ذلك، إذا احتاج المحللون إلى تقدير الالتزام بالجدول الزمني لأغراض الجدولة، فينبغي عليهم حذف الرحلات من العينة التي تتأثر بالطقس السيئ أو المناسبات الخاصة.

أ-١١-٤-٤ تقدير القيم والنسب المتوسطة:

تتطلب العديد من دراسات النقل العام تقديرًا لمتوسط القيمة، ونتائج الدراسة، ومعرفة التفاوت المرتبط بالتقدير. وأفضل تقدير للقيمة المتوسطة لعنصر بيانات في عدد السكان هو متوسط القيمة من عينة. ويكون التفاوت المرتبط بالقيمة المتوسطة المقدرة على النحو التالي:

$$d = t\frac{v}{\sqrt{n}}$$ **المعادلة (أ-٤٢)**

عندما تكون المتغيرات على النحو المحدد لـ المعادلة (أ-٤٠). يمكن للمرء حساب معامل التباين، (v)، لـ المعادلة (أ-٤٢) من العينة (أي، انحراف العينة المعياري مقسومًا على متوسط العينة) وتعتمد قيم t على مستوى الثقة وحجم العينة. وفيما يخص مستويات الثقة بنسبة ٩٠ و٩٥٪ والعينات الكبيرة (أكبر من ٣٠ وحدة)، على المحللين استخدام قيم (t) والتي تبلغ ١,٧ و٢,٠ على التوالي. وتحتوي معظم نصوص التعدادات على جداول قيم توزيع (t) للعينات الأصغر ومستويات أخرى من الثقة.

يمكن للمحللين تقدير التفاوت على نسبة من عينة باستخدام:

$$d = t\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$ **المعادلة (أ-٤٣)**

عندما يُتعرَّف على المتغيرات لـ المعادلة (أ-٤١). توفر العينة قيمة p، وقيمة t الموضحة لـ المعادلة (أ-٤٢). وعادة ما يكون تقديم الوسائل أو النسب المقدرة والتفاوتات على تلك التقديرات مفيدًا للغاية من الناحية التخطيطية لمتخذي القرار المطلعين على نتائج الدراسة.

أ-١٢ قوائم الجرد:

أ-١٢-١ مقدمة:

أ-١٢-١-١ الغرض من قائمة الجرد:

قبل قيام الهيئة بإنشاء قائمة الجرد، ينبغي عليها أن تتناول العديد من الأسئلة المهمة، ومنها:

- كيف ستُستخدم قائمة الجرد؟
- ما هي المعلومات و/أو البيانات المحددة التي ستخدم الغرض من قائمة الجرد؟
- هل يمكن الحصول على تلك البيانات بشكل أكثر فعالية من خلال وسائل أخرى غير قائمة الجرد؟
- هل تتوفر المعلومات بالفعل في شكل آخر؟
- ما هو حجم منطقة الدراسة، وما مدى الجهد المبذول لإكمال قائمة الجرد؟
- من هم القائمون بجمع البيانات وإدخالها وتحليلها، وما هو مستوى خبرتهم؟

ينبغي على الجهات تحديد الاستخدامات المقصودة لمعلومات قائمة الجرد؛ حتى يتمكنوا من جمع البيانات ذات الصلة في شكل مناسب. على سبيل المثال، إذا كانت قائمة الجرد ستستخدم لجدولة أعمال الصيانة؛ فينبغي تحديد مجموعة من عناصر البيانات التي تتعلق بالحالة ومدة الخدمة. ومن جهة أخرى، إذا كانت قائمة الجرد ستستخدم في تتبع تكاليف أعمال الصيانة؛ ستكون هناك حاجة إلى العناصر المتعلقة بالوقت، والعمالة، والمعدات والمواد. وستكون بعض الاستخدامات النموذجية لبيانات قائمة الجرد هي:

- توضيح تصنيفات الشوارع.
- تحديد موقع أجهزة التحكم المرورية.
- تحديد حالة الأجهزة ومُدة خدمتها.
- جدولة أعمال الصيانة.
- إدارة التكاليف.
- تصوير تطبيق القوانين واللوائح.
- المساعدة على تقييم التشغيل المروري.
- توفير الشروط الأساسية لاستخدامها في دراسات أخرى.
- تحديد موقع مولدات المرور.
- مقارن مقاييس الفعالية مع الشروط السابقة واللاحقة.
- تتبع تدهور معدات النقل العام ومُدة خدمتها.

يمكن أن تخدم قائمة الجرد بطبيعة الحال أكثر من غرض واحد. وقد تتطلب إجراءات المحاسبة الحكومية أو الهيئة تخزين بعض خصائص قائمة الجرد لحساب تكاليف البنية التحتية. وينبغي تجنب جمع عناصر البيانات لمجرد توفرها. وقد تكون مفيدة في المستقبل. وإذا تعذر تحديد استخدام عنصر البيانات بعد دراسة متأنية؛ فلن تكون هناك حاجة إلى العنصر. وستفشل العديد من مجهودات قائمة الجرد لأنها تحاول جمع الكثير من المعلومات.

أ-١٢-١-٢ اختيار عناصر البيانات:

إن اختيار عناصر البيانات يعد أمرًا بالغ الأهمية لنجاح قائمة الجرد. وتُختار عناصر البيانات في الغالب بحجة أن وجود تلك البيانات في قائمة الجرد سيحول دون زيارة الميدان للحصول على المعلومات في وقت لاحق. وينبغي على الجهات تقييم هذه المخزونات مقابل مدى تكرار وسرعة حاجتها إلى عنصر البيانات، وعما إذا كانت الرحلة الميدانية ستكون ضرورية بشكل عام لجمع البيانات الأخرى أو التحقق منها. ويمكن أن تكون الرحالات الميدانية العرضية أكثر فعالية من حيث التكلفة من الحفاظ على بعض عناصر البيانات في قائمة الجرد. ويُعد جمع بيانات قائمة الجرد والمحافظة عليها أمر مكلف. ورغم أن أجهزة الحاسب هي أدوات مهمة وضرورية لإنشاء قوائم الجرد؛ إلا أنها مرتبطة كذلك بإمكانية جمع الكثير من البيانات وتعرض الفائدة العملية لقائمة الجرد للخطر. وقد توجد صعوبة في تنسيق كميات هائلة من البيانات الإلكترونية وتحديثها والوصول إليها. وتتمثل القاعدة الأساسية في: *جعل الأمر بسيط ومباشر*. وينبغي جرد العناصر المهمة والمستخدمة بشكل متكرر. وينبغي جمع عناصر البيانات الأخرى -عند الضرورة- فقط.

أ-١٢-٢ هيكل قائمة الجرد:

عادةً ما تكون قائمة الجرد مميزة للهيئة والسلطة القضائية القائمة على إنشائها. وفي حين أن قائمتي الجرد يمكن أن يكون لهما أغراض وعناصر بيانات مشتركة، إلا أن هيكل القوائم دائمًا ما سيكون مختلفًا تقريبًا بسبب الاختلافات في حجم وتصميم نظام الشارع والمعدات والمصادر المتاحة لإنشاء قائمة الجرد والسياسات المحلية.

أ-١٢-١-٣ وسائل تسجيل قوائم الجرد وعرضها:

تستطيع الجهات تسجيل قوائم الجرد وعرضها بعدة طرق. وتضم الوسائل النموذجية لتسجيل بيانات قائمة الجرد النماذج الورقية والبطاقات والخرائط والرسوم البيانية والجداول والصور الرقمية ومدونات الفيديو. ويمكن أن تتناسب أي من هذه الوسائل

مع أغراض هيئة معينة؛ لا سيما الجهات الأصغر منها. وتستخدم اليوم عدة جهات الملفات وقواعد البيانات الحاسوبية بدلًا من النماذج والبطاقات الورقية. ويمكن للمحللين من خلال هذه الملفات فرز البيانات وإنشاء قوائم وجداول ورسوم بيانات وخرائط تُنشأ بواسطة الحاسب وخرائط تفاعلية قائمة على الإنترنت بشكل سهل. الجدول (أ-٦٧) يوضح مثالًا لطريقة مجدولة لعرض بيانات قائمة الجرد.

الجدول (أ–٦٧) سرد قائمة التقاطع المحكوم بإشارات مرورية (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 15-4).

التقاطع	رقم الإشارة	الأطوار	نوع وحدة التحكم	نوع الصندوق	تحديث خطة الإشارة
المسار A مع الطريق A	٠٥-٠١٩٦	٨	٢٠٧٠	TS-1	٠٦-ديسمبر
الشارع A مع الطريق B	٠٥-٠١٩٩	٨	٢٠٧٠	TS-2	٠٢-مارس
الشارع A مع الطريق C	٠٥-٠٢٤٨	٧	٢٠٧٠	TS-1	٠٤-أبريل
الطريق B مع الشارع B	٠٥-٠٢٦١	٨	٢٠٧٠	TS-2	٠٦-يوليو
الطريق C مع الطريق D	٠٥-٠٥٨٥	٥	٢٠٧٠	TS-2	٠٦-يوليو
الطريق B مع الطريق C	٠٥-٠٩٥٥	٨	٢٠٧٠	TS-2	٠٦-يوليو
الطريق E مع الطريق F	٠٥-٠٩٦٢	٦	٢٠٧٠	TS-2	٠٦-أكتوبر
الطريق G مع الجادة A	٠٥-١٢٨٠	٣	٠٥/٣١/٠٨	TS-2	٠٤-ديسمبر

أ-١٢-١-٤ أنظمة تحديد مواقع قائمة الجرد المرجعية:

تستخدم قوائم جرد النقل العام تقريبًا بعض أنظمة الموقع الجغرافي. وبجانب اختيار عناصر البيانات، يعد النظام المُختار لتحديد موقع عناصر البيانات هو العنصر الأكثر أهمية في قائمة الجرد.

تتراوح أنظمة تحديد الموقع من المراجع البسيطة باستخدام النقاط المعروفة (مثل السرعة القصوى في الشارع الرئيس من الشارع الفرعي رقم ١ إلى الشارع الفرعي رقم ٢ هي ٥٦ كم/ الساعة) إلى مخططات الاتجاه والمسافة المعقدة للغاية. ومن الأمثلة الأخرى على المخطط المعقد للغاية هو عندما يمكن تحديد موقع جميع لافتات التحذير المروري حسب الوجهة والمسافة من نقطة مرجعية، مثل عمود الكيلومترات أو التقاطع (على سبيل المثال: توجد لافتة "إشارة في الأمام" على الجهة الجنوبية من الشارع الرئيس، على بعد ١١٥ مترًا غرب التقاطع مع الشارع الفرعي رقم ١). وفي الأنظمة اليدوية، تُقدم البيانات أبجديًا عبر الشارع الرئيس ومن ثمَّ مباشرةً عبر الوصلة (خط محدد الطول) ونقطة الالتقاء (تقاطع) على طول الشارع الرئيس. وتعمل المواقع حسب اسم الشارع بشكل جيد نسبيًا في النظام الورقي الصغير، ولكن ينبغي على الجهات في كثير من الأحيان تحويل الأسماء إلى رموز رقمية أو أبجدية رقمية عند إدخالها في نظام قاعدة بيانات الحاسب.

من أدوات الحاسب الشائعة نظام المعلومات الجغرافية الذي يوفر قواعد بيانات يسهل الوصول إليها لتحديد عناصر بيانات قائمة الجرد وتصورها وتخزينها. وتتضمن أنوع أنظمة تحديد الموقع المرجعية تقنيات الإسناد الجغرافي الآتية:

- أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع العالمي القائم على الأقمار الصناعية (محمولة ومثبتة على السيارة).
- أداة قياس المسافة.
- نظام الملاحة بالقصور الذاتي.
- أجهزة تحديد المدى.
- المسوحات الأرضية.
- الاستشعار عن بعد.

أ-١٢-١-٥ الوصول إلى قائمة الجرد:

ينبغي أن تكون وسائل الوصول إلى البيانات والمعلومات أحد التقديرات الأساسية عند إنشاء أي قائمة جرد. وينبغي أن تكون طريقة التخزين والوصول مصممة حسب التكرار ونوع الاستخدام المراد الاستفادة منه من البيانات. ويمكن أن تؤثر تكلفة تراخيص البرامج على السعر الإجمالي لقائمة الجرد، وينبغي مراعاتها بعناية عند اختيار حزمة البرامج وعند النظر في عدد نقاط الوصول إلى قائمة الجرد التي ينبغي توفيرها للمستخدمين. وينبغي كذلك مراعاة نفقات التدريب على البرامج والخبرة الفنية المطلوبة للتحليل.

أ-١٢-١-٦ التخزين:

تُخزن قوائم الجرد إما يدويًا أو في جهاز حاسب. يمكن أن تكون الأنظمة اليدوية في خرائط أو ملفات بطاقات أو مجلدات ملفات أو قوائم مترابطة، أو شريحة الصور المصغرة أو مدونة مصورة أو فيديوهات. وتُحفظ هذه الأنظمة في خزائن الملفات أو على أرفف الكتب. وتعمل بصورة معقولة مع قوائم الجرد الصغرى، ولكن الأنظمة الكبرى تصبح غير عملية وتشغل مساحة. ويمكن أن تُخزن قوائم الجرد الحاسوبية على محركات الأقراص الصلبة أو وسائط التخزين الحاسوبية أو على خادم أو في السحابة. وتشغل أنظمة الحاسب مساحة أقل من التي تشغِّلها الأنظمة اليدوية؛ لذا فهي مناسبة بشكل أفضل لأنظمة قائمة الجرد الكبيرة، مثل الصور والفيديو. ورغم ذلك، ينبغي أرشفة أنظمة الحاسب بشكل مناسب على نحو مستمر لتقليل الخسارة المحتملة للبيانات القيمة في حالة تعطل نظام التشغيل أو تلف الملفات أو حذف المستخدمين للبيانات عن غير قصد. ويمكن أن يؤدي استخدام الأنظمة المشتركة عبر الأقسام إلى تقليل تكاليف التخزين.

أ-١٢-١-٧ الاسترجاع:

تُخزين جميع أنظمة قائمة الجرد تقريبًا حسب الموقع (أي التقاطع، أو جزء من الشارع، أو إحداثيات نظام تحديد المواقع العالمي). ولذلك، ينبغي على المرء أن يعرف موقع الاهتمام للوصول إلى بيانات قائمة الجرد في هذا الموقع. وفي بعض الأنظمة اليدوية، يمكن أن يُحتفَظ بجميع بيانات قائمة الجرد لموقع معين في نفس الملف. وتقوم الأنظمة اليدوية الأخرى بتخزين البيانات أولًا حسب نوع قائمة الجرد وثانيًا حسب الموقع. ويمكن تنظيم أنظمة البيانات الحاسوبية بنفس الأسلوب. وهذه الأنظمة قادرة على البحث عن البيانات وفرزها من خلال عناصر البيانات بخلاف الموقع. على سبيل المثال: إذا كانت هناك حاجة لفحص بيانات تثبيت جميع لافتات التوقف في النظام لأغراض الصيانة؛ فسيجب فحص كل تقاطع في الملف اليدوي لمعرفة ما إذا كانت لافتات التوقف موجودة أم لا. وفي نظام الحاسب، يبحث الحاسب عن مواقع لافتات التوقف. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للحاسب فرز واسترجاع تلك التقاطعات فحسب مع بيانات تثبيت لافتات التوقف قبل بيانات قطع معينة، وبالتالي توفير الوقت والجهد.

يمكن كذلك للحاسب إنشاء تقارير أو قوائم تحتوي فقط على المعلومات المطلوبة، وبالتالي يتجنب الحاجة إلى الاستخراج اليدوي للبيانات. ويمكن أن تنطبق هذه القدرة على الاستبدال الدوري للأجهزة والتحكم في قائمة الجرد البديلة واستبدال المخزون وطلبه وإرسال أطقم العمل وصيانة ملفات السجل والدفاع المحتمل عن المسؤولية. وإضافة إلى ذلك، يمكن أن تُنشأ أوامر العمل آليًا.

أ-١٢-٢ إنشاء قائمة الجرد:

ما يأتي هو إجراء تدريجي مقترح لإعداد قائمة الجرد أولية. وينبغي عدم تطبيق جميع الخطوات على كل نوع من أنواع قائمة الجرد، وبالتالي يمكن أن تُحذف بعض الخطوات. وينبغي أن يؤدي التفكير والتخطيط بعناية قبل البدء في جمع البيانات إلى إعداد قائمة جرد مفيد وفعال من حيث التكلفة

أ-١٢-٢-١ الخطوة ١: تحديد الغرض من قائمة الجرد:

سيحدد غرض /أغراض قائمة الجرد الخطوات السارية التي ينبغي اتباعها، وينبغي أن ينتج عنها قائمة جرد تلبي احتياجات الهيئة على أفضل وجه وبأقل قدر من الإنفاق من الموارد.

أ-١٢-٢-٢ الخطوة ٢: حدد عناصر البيانات المراد جمعها:

توضح القائمة الآتية نوع عناصر البيانات التي يمكن جمعها لشارع أو جزء من طريق.

- تعريف الارتباط الفريد بالاسم أو الرقم.
- تصنيف الشارع أو الطريق.
- عدد المسارات المرورية حسب الاتجاه.
- عرض المسارات المرورية.
- شروط وقوف المركبات.
- حد السرعة القصوى.
- الخطوط الأرضية حسب نوع المادة والحالة.
- إشارات المرور.
- اللافتات حسب النوع والموقع والحالة.
- مواقع مواقف الحافلات.
- مسارات الدراجات.
- أرصفة المشاة.
- طرق النقل العام.
- الإنارة حسب النوع والموقع.
- مداخل الممرات حسب الموقع.
- مكان وحالة مدخل الإسقاط.
- استخدام الأراضي المجاورة.
- طول الجزء من الطريق.

- تاريخ التحديث الأخير للمعلومات.

أ-١٢-٢-٣ الخطوة ٣: اختيار طريقة جمع البيانات:

تشير طرق جمع البيانات إلى الطرق المستخدمة؛ لتسجيل عناصر بيانات قائمة الجرد. ويمكن للمراقبين تسجيل العناصر مباشرةً وفي الميدان، أو يمكنهم تسجيل فيديو للعناصر الموجودة في الميدان، ثم تسجيل البيانات في المكتب. وبمجرد اختيار الطريقة، يمكن للجهات تحديد المعدات اللازمة لتسجيل عناصر بيانات قائمة الجرد والحصول عليها. ويمكن أن تتراوح المعدات من الخريطة والتصوير الجوي ونماذج البيانات وأقلام الرصاص ومسجل الصوت إلى مركبة مجهزة خصوصًا بكاميرات وأجهزة تسجيل فيديو وأجهزة قياس المسافة وأجهزة الحاسب المحمول وحتى الدراجات المزودة بأجهزة استقبال نظام تحديد الموقع العالمي المحمولة. وينبغي أن يعتمد اختيار الطريقة على الميزانية والوقت والموظفين المتاحين.

أ-١٢-٢-٤ الخطوة ٤: إعداد خطة جمع البيانات:

ينبغي أن تحدد خطة جمع البيانات كيفية قيام الهيئة بجمع بيانات قائمة الجرد. وينبغي أن تحتوي الخطة بالتفصيل على المعدات المطلوبة والوقت الذي ستُجمَع البيانات، وكيفية قياس كل عنصر، وتسجيله بدقة وكيفية التعامل مع الظروف غير العادية والقواعد التي يجب اتباعها والتي ستضمن الاتساق في القياسات وتسجيل البيانات. وفي حالة قامت الجهات بجمع البيانات يدويًا، فيمكنها تصميم نماذج أو برمجة أجهزة الحاسب المحمولة؛ بحيث يتمكن المراقبون من تسجيل البيانات في الميدان بشكل مباشر. وتمنع هذه الإجراءات خطوات تقليل البيانات المطلوبة في المكتب إذا استخدِم الفيديو. الجدول (أ-٦٨) يظهر عينة من نموذج جمع بيانات قائمة جرد اللافتات.

الجدول (أ–٦٨) عينة نموذج جمع بيانات قائمة جرد اللافتات (Table revised from ITE, (2010a) – Exhibit 15-7).

كشف قائمة جرد اللافتات

التاريخ_____ المدينة_____ الوجهة_____

الشارع_____ بين_____ و_____

الموقع				نوع اللافتة				الحجم			الحالة	الرقم في التجميع	العمود				غير منتظم (نعم أو لا)	الحاجة إلى الاستبدال (نعم أو لا)	ملاحظات
رقم إحداثيات نظام تحديد الموقع العالمي أو اسم الشارع المتقاطع	رقم مرجعي متقاطع	جزء الجانبي من الشارع	موقع الجانبي	رقم اللجنة الوطنية لأجهزة المراقبة المرورية الموحدة	نوع الأغطية	شكل	لون	ارتفاع (بالمتر)	جانب الأفقي (سم)	جانب العمودي (سم)	الجانب العكسي الرجعي (ملي.ث.ق/م²/لوكس)		عدد الأعمدة	النوع	الحالة				

أ-١٢-٢-٥ الخطوة ٥: جمع البيانات:

ينبغي على الجهات جدولة جمع البيانات في أثناء فترات الطقس الجيد لتعزيز الدقة والتكامل. ومع ذلك، من الممكن إنشاء قوائم جرد؛ ولا سيما من خلال الدراسات اليدوية في أثناء ظروف الطقس غير المثالية عندما يكون جمع البيانات الأخرى الأكثر حساسية للطقس أمرًا مستحيلًا. وينبغي أن يستخدم فريق جمع البيانات قائمة تحقق مثل الجدول (أ-١)؛ للتأكد من أن لديه جميع المعدات والمواد اللازمة قبل مغادرة المكتب. وينبغيعلى الفريق ملاحظة أي ظروف غير عادية تنشأ في أثناء جمع البيانات ومناقشتها مع المشرف عن طريق الهاتف الخلوي أو عند العودة من الميدان. ورغم أنه من الممكن إنشاء قوائم جرد ميدانية مع شخص واحد، إلا أن الممارسة المفضلة هي العمل في فرق مؤلفة من شخصين أو أكثر. وتسمح هذه الفرق بمراقبة الجودة؛ حيث يتم تسجيل البيانات وتوفر قدرًا أكبر من الأمان؛ حيث يمكن لشخص واحد القيادة بينما يقوم شخص آخر بالمراقبة والتسجيل. وينبغي كتابة المواصفات والتعريفات لكل عنصر يُجمَع. وستوفر هذه التعليمات التوافق بين مختلف جامعي البيانات وبين الفترات الزمنية. وعلى المدراء إجراء مراجعة لمراقبة الجودة على عينة من البيانات. وتعد مراجعة مراقبة الجودة هذه مفيدة بشكل خاص في بداية جمع البيانات لتصحيح أي أخطاء قد تُكتشَف في مجهودات جمع البيانات المستقبلية.

أ-١٢-٢-٦ الخطوة ٦: إعداد قاعدة البيانات وعروض البيانات:

تحدد وسائل تسجيل البيانات في الميدان المهام المحددة اللازمة؛ لوضع البيانات في تنسيق قابل للاستخدام. وإذا قامت الجهات بتسجيل عناصر بيانات قائمة الجرد يدويًا، فينبغي عليها نقل البيانات من نماذج الجمع إلى الخرائط أو الجداول أو الملفات الحاسوبية. وإذا سُجّلت البيانات مباشرة في جهاز حاسب أو أي جهاز آلي آخر في الميدان، يمكن لبرامج الحاسب التعامل مع مهام التنسيق وخفض البيانات بسهولة نسبية. وينبغي أن تتضمن البرامج إجراءات منتظمة للتحقق من الأخطاء لتحسين جودة البيانات. وينبغي أن تتحقق الجهات من أجهزة الحاسب والبرامج الخاصة بها باستخدام عينات صغيرة من البيانات (المجموعة يدويا)؛للتأكد من أن الخفض والتنسيق خاليان من المشكلات قبل معالجة مجموعات كبيرة من البيانات.

ويمكن عرض بيانات قائمة الجرد بطرق عدة، كما هو موضح سابقًا. ويمكن إعداد الخرائط يدويًا أو رسمها باستخدام بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب، أو أنظمة المعلومات الجغرافية. وتتوفر حزم برامج إدارة قواعد البيانات الحاسوبية. وتعالج هذه الحزم البيانات بفعّالية لخدمة أغراض متعددة وإنشاء تنسيقات عديدة لعرض البيانات. وتمثل العروض المرئية في شكل المدونات المصورة ومدونات الفيديو والصور الجوية أشكالًا أخرى يمكن من خلالها تقديم بيانات قائمة الجرد.

أ-١٢-٣ حفظ قائمة الجرد:

يعد الاحتفاظ بقائمة الجرد حاليًا أمرا بالغ الأهمية نظرًا لفائدتها. وعندما تصبح قائمة الجرد قديمة، تقل فائدتها بسرعة.

أ-١٢-٣-١ البرامج:

تتوفر العديد من حزم برامج الحاسب للمساعدة على إعداد قوائم جرد المرور والطرق وصيانتها. على سبيل المثال: يركز برنامج صيانة المرور على الخطوط الأرضية واللافتات والإشارات وإنارة الشوارع. ويشتمل برنامج صيانة الطرق على نظام قائمة جرد الطرق لقطاعات الطرق والجسور. وتتضمن عناصر البيانات النموذجية في برامج صيانة الطرق عناصر الرصف والمجرى المائي والحاجز الوقائي والطريق واللافتات. ويمكن أن توفر قدرات تقييم الاستراتيجية للبرامج المتاحة القدرة على تحليل تأثير قرارات السياسة والتمويل على شبكة الطرق. ويمكن أن يوفر هذا التحليل تفاصيل التخطيط وإعداد التقارير عن نفقات الصيانة على مدى عمر أصول الطرق الافتراضي.

وينبغي النظر في عدة عوامل بناءً على الاحتياجات المحددة للهيئة. وسيؤثر عدد المستخدمين الذين يحتاجون إلى الوصول إلى البرنامج على تكلفة تراخيص البرنامج؛ أي ينبغي أن يؤخذ هذا في الحسبان في السعر الإجمالي. وينبغي مراعاة مزامنة ملفات البرامج إذا كان العديد من المستخدمين يخططون لتحرير الملفات في وقت واحد. وينبغي أرشفة بيانات البرنامج بشكل مناسب على أساس منتظم.

أ-١٢-٣-٢ تكرار التحديثات:

يعتمد تكرار قيام الجهات بتحديث قوائم الجرد على مدى قابلية تغيير عناصر البيانات. وتتعقد المشكلة بسبب العناصر ذات العمر التشغيلي المختلف، والأضرار التي تسببها الاصطدامات والحوادث والاستبدال الذي تقتضيه التغييرات الخارجية للمنشأة نفسها. ويمكن أن تتكون هذه التغييرات من زيادة استخدام الأراضي وتطويرها والسلامة و/أو التحسينات التشغيلية والتحولات في أنماط ومتطلبات السير على الطريق.

توجد طريقتان أساسيتان لتحديث قائمة الجرد. وربما يكون التحديث المستمر هو الطريقة الأكثر تعقلًا وفعالية من حيث التكلفة. والمفهوم البسيط هو أنه بمجرد قيام الهيئة بإعداد قائمة جرد، فينبغي تحديثها على الفور في كل مرة يحدث فيها تغيير، سواء كان هذا التغيير عبارة عن إضافة، أو حذف أو تعديل أو استبدال. ويبدو هذا النهج سهلًا ومنطقيًا للغاية، ولكنه يتطلب اهتمامًا منظمًا بالتفاصيل لتنفيذه بشكل صحيح. وقد جعل برنامج الحاسب هذا النهج ممكنًا حقًا. ولا يمكن البرنامج الجهات من إدخال التحديثات بسرعة وسهولة فحسب، بل يتيح إجراء فحوصات سريعة ومريحة لقاعدة البيانات للتحقق من دقة محتوياتها والتأكد من تسجيل التغييرات على الفور. ويعد التحديث المستمر هو الأنسب لقوائم الجرد المستخدمة بشكل متكرر وبالتالي تتطلب درجة عالية من الدقة

والطريقة الأساسية الثانية هي التحديث الدوري. وكما يوحي اسمها، ينبغي على الهيئة في هذه الحالة إعداد قائمة جرد ميدانية جزئية أو كاملة على فترات زمنية محددة، وتسجيل التغييرات التي حدثت منذ التحديث الأخير. وتعتمد مُدة الفترة الزمنية على مستوى الدقة المطلوبة وتكرار التغييرات التي تمر بها قائمة الجرد المعنية. ويعد التحديث الدوري هو الأنسب لقوائم الجرد ذات مستوى الاستخدام المنخفض التي تشهد تغييرات قليلة نسبيًا، وتتطلب درجة أقل من الدقة.

أ-١٣ دراسات مواقف المركبات:

أ-١٣-١ مقدمة:

يركز هذا الجزء على مواقف المركبات، ولكن يمكن تطبيق العديد من هذه المفاهيم والطرق على التطبيقات المتخصصة، مثل مواقف الدراجات النارية أو الدراجات.

أ-١٣-٢ أنواع الدراسات:

تُجرى مناقشة الأنواع الشائعة لدراسات مواقف المركبات في الأقسام الآتية والتي تشمل:

- قائمة جرد مواقف المركبات.
- استخدام مواقف المركبات.
- التراكم والإنتاجية.

أ-١٣-٢-١ قائمة جرد مواقف المركبات:

تجمع قائمة جرد مواقف المركبات معلومات عن الموقع والعدد والخصائص الأخرى ذات الصلة بساحة وقوف المركبات الموجودة عند بردورة الرصيف وفي المناطق خارج الشارع، مثل: الأزقة والأماكن الموجودة خلف المباني. وينبغي تحديد كل الأماكن القانونية العامة والخاصة المتوفرة لساحة وقوف المركبات. وتكون المعلومات الاعتيادية المطلوبة هي:

- عدد ساحات وقوف المركبات.
- الحدود الزمنية وساعات التشغيل.
- نوع الملكية، ومن أمثلتها: ملكية عامة، أو خاصة، أو مقيدة للموظفين، أو العملاء في مبنى معين.
- الأسعار (إن وجدت) وطريقة تحصيل الرسوم.
- نوع التنظيم الذي يُجرى في الأماكن المجاورة للرصيف، مثل: منطقة التحميل، أو منطقة الركاب، أو منطقة المعاقين، أو منطقة سيارات الأجرة، أو منطقة الحافلات.
- نوع المنشأة، ومن أمثلتها: موقف مركبات أو مرآب.
- درجة الاستمرارية المحتملة العديد من مرافق وقوف المركبات غير الرسمية سيئة الصيانة هي مرافق مؤقتة، ومن المتوقع أن تُستبدَل بأبنية جديدة في المستقبل المنظور.
- شغل المباني.

في المناطق الحضرية التي يقطنها عددٌ كبيرٌ من السكان (على سبيل المثال: أكثر من ٥٠,٠٠٠ نسمة) قد تتوفر بيانات مواقف المركبات الأساسية أو استخدام الأراضي في ملفات هيئة النقل العام المحلية. وتعد قائمة جرد مواقف المركبات مفيدة للغاية لمهندس المرور عند قيامه بالأنشطة اليومية. وتُستخدم بشكل متكرر من قبل لجان تقسيم المناطق، وإدارات البناء وجهات المدينة الأخرى. وتعد قائمة الجرد شرطًا أساسيًا مسبقًا لأي دراسة موقف المركبات وينبغي تحديثها بصفة دورية، على سبيل المثال: كل ٣ سنوات. ويعد تخطيط مناطق وساحات وقوف المركبات وتصميمها وإنشائها أمرًا معقدًا يستدعي أشخاصًا متخصصين.

أ-١٣-٢-٢ مواقع الدراسة:

إذا كانت قائمة الجرد موجهة لمنطقة تجارية مركزية، فينبغي أن تتضمن الدراسة مراكز البيع بالتجزئة الأساسية ومراكز البيع بالتجزئة الثانوية ومجموعة المكاتب حول المراكز الأساسية والمنطقة الهامشية؛ حيث يُتوقع من الموظفين ركن المركبة. وبالنسبة إلى المنطقة التجارية المجاورة، يمكن أن يُتوقع أن تكون مواقف المركبات على مسافة تصل إلى ١٥٠ مترًا خارج حدود المنطقة التجارية. وينبغي إجراء فحص ميداني؛ لتحديد المدى الفعلي لموقف المركبات هذا، وتعديل حدود الدراسة وفقًا لذلك. وبالمثل، توجد حاجة إلى الفحوصات الميدانية لتحديد حدود الدراسة في مولد خاص، مثل: مبنى صناعي، وقاعة احتفالات، وجامعة المستشفى والملعب وما إلى ذلك، والتي يمكن أن تمتد لمسافة ٣٠٠ مترًا أو أكثر.

إذا تضمنت الدراسة منطقة مزدحمة؛ فمن المستحسن تحديد حدود طبيعية، مثل: الوديان أو السكك الحديدية أو الطرق الرئيسة التي تحدث على طولها تغييرات في استخدام الأراضي. وبالنسبة إلى الطريق الرئيس، من الضروري عمومًا تضمين مسافة من ٩٠ إلى ١٥٠ مترًا على طول كل شارع متقاطع؛ نظرًا إلى أن هذه المناطق هي مواقع محتملة للأشخاص القائمين بركن مركباتهم بجانب الرصيف وغير القادرين على ركن مركباتهم على الطريق الرئيس.

أ-١٣-٢-٣ الأفراد والمعدات:

عند إجراء الدراسات الميدانية، قد يؤدي التفاعل مع الجمهور من خلال المسوحات أو دراسات مواقف المركبات الأخرى إلى استفسارات عن الدراسة. وينبغي أن يكون الموظفون الميدانيون على استعداد لتقديم بطاقات عمل للباحث الرئيس للمشروع وخطاب تفويض من الهيئة الراعية مع معلومات الاتصال بالمسؤول المناسب. ويمكن إجراء طرق الدراسة باستخدام ألواح الكتابة مع قلم وورقة أو أجهزة الحاسب المحمولة أو أجهزة جمع البيانات التي تدعم نظام تحديد المواقع العالمي.

بالنسبة إلى دراسة منطقة صغيرة؛ فإن الصور الجوية الحالية لابد أن تكون بمقاييس تبلغ حوالي ١:٦٠٠مفيدة للغاية. ويمكن استخدام المقياس البالغ ١:١,٢٠٠ للمناطق الكبير، رغم فقدان قدر كبير من التفاصيل إذا كانت المنطقة تتضمن مباني شاهقة. ويمكن أن تتوفر خرائط استخدامات الأراضي التي تسهل إعداد قائمة الجرد. ويمكن أن تتكون الفرق الميدانية من شخص إلى شخصين يسيران على الأقدام في حالة وجودهما في المنطقة التجارية أو يستقلان مركبة لإجراء دراسات المناطق الصغيرة، ويكونان على طول مسارات المرور الرئيسة. وتكون عجلة القياس مفيدة، رغم أن معظم قياسات مرافق مواقف المركبات المفتوحة أو المجاورة للرصيف يمكن تحجيمها من الصور الجوية. ويمكن كذلك أن تعمل الصور الإضافية من الكاميرات المثبتة في نقطة مراقبة عالية كمصادر قيمة للبيانات. ويمكن أن يكون استخدام أدوات رسم الخرائط عبر الإنترنت مفيدًا للدراسة وذلك للإشارة إلى الاتجاه والكمية والسعة الإجمالية لساحة وقوف المركبات. ويمكن كذلك أن توفر هذه الأدوات تصويرًا تقريبيًا لاستخدامات الأراضي.

أ-١٣-٢-٤ الأسلوب:

قبل الشروع في إعداد قائمة الجرد، ينبغي إنشاء نظام تشفير رئيس. وينبغي إعطاء كل مبنى رقم تعريف ويمكن تقسيم المباني الطويلة للغاية وإعطائها رقمين. وإذا وجدت دراسة مسبقة للنقل أو المنبع-المقصد للمنطقة، والتي تتضمن رقمًا منفصلًا لكل مبنى من منطقة دراسة موقف المركبات؛ فيمكن أن يكون من المناسب استخدام نفس الأرقام.

بمجرد تحديد رقم المبنى، يصبح من الممكن استخدام الأرقام من ١ إلى ٤ لتحديد وجوه الرصيف في المبنى من أربعة جوانب. ورغم ذلك، ينبغي توفير الحد الأقصى لعدد الجوانب في المبنى ذات الشكل الأكثر غرابة. على سبيل المثال: إذا كان المبنى سداسي الجوانب (وهو من الحالات الأسوأ)؛ فينبغي حجز الرقم ٦ لوجه الرصيف السادس. ويمكن ترك الأرقام ٧ وما فوق؛ لتحديد مرافق مواقف المركبات الشخصية داخل كل مبنى. وينبغي ترقيم كل مبنى على حدة ويجب أن يتضمن مناطق غير رسمية خارج الأزقة في الجزء الخلفي من المباني، بالإضافة إلى مرافق مواقف المركبات الواضحة للغاية.

في بداية قائمة الجرد، عادةً ما يكون العدد الفعلي لمرافق مواقف المركبات خارج الشارع داخل كل مبنى غير معروف؛ ولذلك ينبغي تعيين الأرقام من قبل الموظفين القائمين على إعداد قائمة الجرد الذين ينبغي تزويدهم بالخريطة الرئيسة التي توضح أرقام وجه الرصيف والمبنى. وهذه الأرقام يمكن نقلها بسهولة إلى خريطة بمقياس ١:٢,٤٠٠ تقريبًا لسهولة الاستخدام. وعند استخدام الصور الجوية المحوسبة، من المفيد استخدام ميزة (التبييض) المتوفرة في العديد من برامج الصور البرمجية لتسهيل الكتابة مباشرة على الخرائط المطبوعة. ونظرًا لإجراء جرد على كل منشأة موجودة خارج الشارع؛ فعلى الطاقم الميداني تعيين رقمًا لها، وينبغي تدوين البيانات على خريطة عمل واسعة النطاق أو جدولتها في نموذج. وفي كلتا الحالتين ينبغي أن يتبع رقم المبنى رقم المنشأة، (على سبيل المثال، ٦-٨).

ينبغي أن تتضمن قائمة جرد الرصيف تحديدًا خاصًا لزاوية وقوف المركبات، وعدد عدادات مواقف المركبات وحدودها الزمنية، والرسوم والساعات المفروضة ومواقع مناطق حظر وقوف المركبات والساعات المفروضة. وينبغي الإشارة إلى مواقع طرق المركبات جنبًا إلى جنب مع الملاحظات الخاصة التي تُجرَى على أي طرق مركبات لم تعد تعمل (سواء بشكل مؤقت أو دائم) كوسيلة للوصول إلى مسلك معين؛ بسبب تشييد المباني أو السياج أو الأماكن الفارغة.

إذا كانت أماكن توقف المركبات الفردية المجاورة للرصيف لا تحتوي على الخطوط الأرضية؛ فمن الضروري تحديد الطول التقريبي لكل قسم من أقسام وقوف المركبات. وهذا الطول هو المسافة من الحافة القريبة إلى الحافة القريبة من ممر المشاة في مبنى لا يحتوي على ممرات أو صنابير إطفاء الحرائق أو قيود وقوف المركبات الأخرى. ومع ذلك، فإن الكتلة المعتادة تحتوي على العديد من مناطق وقوف المركبات المحظورة، ويلزم إجراء قياسات داخل كل قسم منفصل. وإذا حُدِّدت قيود وقوف المركبات بسهولة على صورة جوية على نطاق واسع؛ فيمكن إلغاء الكثير من قياسات الميدان.

يمكن إعداد تقديرات لعدد أماكن مواقف المركبات المتاحة في مسافة معينة غير محددة باستخدام الأرقام الآتية:

- وقوف المركبات بطريقة موازية، ٧ أمتار لكل مركبة.
- وقوف المركبات بزاوية ٤٥ أمتار لكل مركبة.
- وقوف المركبات بزاوية ٩٠ درجة، ٣ أمتار لكل مركبة.

وتعكس هذه الأبعاد لأماكن توقف المركبات غير المعلمة قدرة تشغيل أقل مما لو كانت العلامات موجودة في مكانها.

يمكن تعدادات أماكن توقف المركبات الفردية والقياسات الخطية لتحديد عدد ساحات وقوف المركبات المتاحة بكثرة وعدد المرائب، وإذا كان المرفق من النوع التجاري الخاص مع وجود مواقف سيارات مصاحبة؛ فإن تحديد السعة يكون أكثر صعوبة لأنه يمكن أن تُخزَّن المركبات في الممرات. بشكل عام، السعة التشغيلية لمرفق وقوف المركبات المصاحبة (خدمة صف المركبات) هي ذروة التحميل، وذلك عندما تُملأ كل الأماكن باستثناء ما هو مطلوب للسماح بمناورات خارج الشارع ومواقف مؤقتة للمركبات (التي يجب تحريكها للسماح بالوصول إلى المركبات المتوقفة).

ينبغي جدولة وتلخيص عدد ساحات انتظار المركبات في كل مبنى من منطقة المسح وعدد ساحات انتظار المركبات المتاحة في مرافق مماثلة لمنطقة الدراسة بأكملها. وتكون الفئات النموذجية للملخص العام هي:

١- مواقف المركبات في الأزقة وفي الأماكن المجاورة للرصيف:
أ- مقنن.

ب- غير مقنن.
ج- مناطق خاصة.
د- الأنواع المقيدة (الدرجات النارية، ذوي الاحتياجات الخاصة، مُدة ١٥ دقيقة، وما إلى ذلك).

٢- ساحات وقوف المركبات:
أ- عامة.
ب- خاصة.

٣- مرائب وقوف المركبات:
أ- عامة.
ب- خاصة.

من المستحسن أن تجدول ملخصات كل مبنى في نموذج قائمة جرد مثل ذلك الموضح في الجدول(أ-٦٩). وتحت أعمدة (نوع المرفق الخاص)، يمكن تحديد الأنواع الفردية من المرافق، مثل تلك الخاضعة لقيود زمنية معينة أو لائحة خاصة مثل (منطقة التحميل) بشكل منفصل.

الجدول (أ–٦٩) نموذج ملخص قائمة جرد مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-3).

نموذج ملخص قائمة جرد وقوف المركبات										
التاريخ:_____ الطقس: _____										
المنطقة/ المدينة _____										
المربع المكاني	**المرفق**	**نوع المرفق الخاص**						**وقوف المركبات خارج الشارع**		**إجمالي أماكن وقوف المركبات**
								خاصة	**عامة**	

التعليقات: _____ _
الملاحظ: _____ _

ساحات الانتظار أو المرائب: هي تلك التي تقتصر على استخدام الموظفين أو المقيمين أو المستأجرين في مبنى، أو سيارة أجرة أو منطقة تخزين شاحنة أو غيرها من المرافق غير المفتوحة لعامة الناس. وينبغي تصنيف ساحات الانتظار والمرائب المفتوحة لبعض المواقف العامة وكذلك الإيجارات الأسبوعية أو الشهرية، على أنها مرافق عامة. وعندما يؤجر المكان للأفراد، ينبغي تصنيفه كمكان عام؛ لأن المكان يمكن أن يؤجَّر في المستقبل من قبل أفراد آخرين من عامة الناس. وإذا كانت هذه الدراسة مخصصة لمواقف المركبات العامة فحسب، فينبغي عدم تضمين أماكن الموظفين؛ لأنها غير قابلة للاستخدام من قبل عامة الناس. وتشمل الأماكن المقيدة الأخرى تلك المخصصة للموظفين، أو الزوار، أو المركبات المدمجة، أو الدراجات النارية، أو المركبات المشتركة.

عند الحاجة، يمكن أن تجمع كذلك قائمة جرد مواقف المركبات بيانات عن التقييمات المقدرة لساحات الانتظار الخالية، أو المباني القديمة التي يمكن استبدالها بمرافق وقوف المركبات. وكذلك ينبغي تضمين بعض عناصر التحكم المروري، مثل الشوارع ذات الاتجاه الواحد والأزقة والقيود المفروضة على تحركات الانعطاف عند التقاطعات. وينبغي أن تتبع قوائم الجرد الخاصة بالمناطق الصغيرة وعلى طول مسارات المرور الرئيسة الشكل العام لقوائم جرد منطقة الأعمال المركزية باستثناء أنه ينبغي استخدام الصور الجوية و/أو الخرائط الشريطية بدرجة كبيرة.

أ-١٣-٢-٥ دراسات استخدام مواقف المركبات:

يوجد نوعان عامان من دراسات الاستخدام:

١- التراكم والتوليد.
٢- فحوصات لوحة التسجيل.

تتضمن هذه الدراسات عمومًا فحوصات ميدانية يمكن إجراؤها دون دعاية أو معرفة عامة بالعمل، في حين أن المزيد من الدراسات المتخصصة قد تتطلب اتصالًا مباشرًا مع القائمين بركن سيارتهم. ويمكن لأنظمة استشعار الصور واستشعار لوحة التسجيل تبسيط جمع البيانات وفرزها. يمكن للعدادات متعددة المساحات أو أماكن وقوف المركبات لمجموعة من مساحات محددة المعالم أن توفر أيضًا معلومات قيمة للدراسات. وتتلخص الأمثلة النموذجية لدراسات الاستخدام في الجداول (أ-٧٠) إلى (أ-٧٢).

الجدول (أ–٧٠) أماكن وقوف المركبات المتاحة، عدد المركبات الواقفة وعدد مرات استخدام الموقف الواحد في اليوم حسب نوع المرفق والمربع المكاني (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-5).

الأماكن المتوفرة					عدد المركبات المتوقفة						عدد مرات استخدام الموقف الواحد في اليوم					
المربع المكاني	ساحات الانتظار	مرائب	حافة الرصيف	الإجمالي	المبنى	ساحات الانتظار	المرائب	حافة الرصيف: أماكن نظامية	حافة الرصيف: أماكن غير نظامية	الإجمالي	المربع المكاني	ساحات الوقوف	المرائب	حافة الرصيف	الإجمالي[1]
٠٢١	٠	٠	١٧	١٧	٠٢١	٠	٠	١١٧	١٢	١٢٩	٠٢١	٠	٠	٦,٩	٦,٩
٠٢٢	١٠٦	٣٦	٢٨	١٧٠	٠٢٢	٢٩٢	٤٧	٢٦٤	١٢	٦١٥	٠٢٢	٢,٨	١,٣	٩,٤	٣,٥
٠٢٣	٦٣	٠	٧٢	١٣٥	٠٢٣	١٢٧	٠	٣٧٣	٢٠	٥٢٠	٠٢٣	٢	٠	٥,٢	٣,٧

ملحوظة: ١- يتضمن مواقف حافة الرصيف وساحات الوقوف والمرائب النظامية فقط للفترة قيد الدراسة.

الجدول (أ–٧١) خصائص استخدام مواقف المركبات الأخرى حسب عدد المركبات المتوقفة والوقت المستخدم في المرافق المختلفة (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-7).

أماكن حافة الرصيف النظامية		أماكن حافة الرصيف غير النظامية		أماكن حافة الرصيف الإجمالية		ساحات الوقوف		المرائب		الإجمالي	
المربع المكاني	مركبة متوقفة	ساعات المركبات	مركبة متوقفة	ساعات المركبات	مركبة متوقفة	ساعات المركبات	مركبة متوقفة	ساعات المركبات	مركبة متوقفة	ساعات المركبات	مركبة متوقفة
٤٠	١٢٠	٦٧	١٠	٦	١٣٠	٧٣	٣٢٠	١٥٠٠	٥٢	٥٢٠	٥٠٢	٢٠٩٣
٤١	٥٢	٤٠	٠	٠	٥٢	٤٠	٤٠	٨٠	٠	٠	٦٢	١٢٠

الجدول (أ–٧٢) مقارنة بين ساعات وقوف المركبات المرصودة وساعات الأماكن المتاحة والعجز (المصدر: – ITE, (2010a) Exhibit 16-7).

المربع المكاني	إجمالي مركبة-ساعة وقوف المرصودة	مركبة-ساعة وقوف زائدة	ساعات وقوف المركبات في مواقف غير نظامية	سعة مكان وقوف-ساعة لأماكن الوقوف النظامية المتوفرة	سعة مكان وقوف-ساعة	
					العجز	الفائض
٥١	٤٠	١٥	٢٥	٣٠	–	٥
٥٢	٢٥	٢	٢٣	٢٠	٣	–
٥٣	٦٠	١٠	٥٠	٤٠	١٠	–

تُعد التراكمات أو فحوصات إشغال مواقف المركبات بالإضافة إلى دراسات الانعطاف والمدة مفيدة في تحديد أي تحسينات مواقف المركبات المجاورة للرصيف (إن وجدت) والتي يمكن إجراؤها لزيادة السعة لمواقف المركبات. ويشير تحليل المدة إلى الأماكن التي يستخدم فيها الراكنون المكان لفترة طويلة بشكل غير فعال، ويُوفَّر مقياس نسبي لكفاءة استخدام الرصيف من خلال مقارنة معدلات انعطاف مواقف المركبات كل ساعة بالمعدلات المرغوبة للإشارة إلى الاستخدام الفعال. وقد كُشِف عن ممارسات أو لوائح مواقف المركبات التي تساهم في الاستخدام غير الاقتصادي وغير المنصف لفضاء الشارع في هذا التحليل. مثال:

١- يمكن أن تظهر الدراسة أن هناك حاجة إلى تطبيق الحدود الزمنية الحالية لوقف مواقف المركبات لساعات إضافية.
٢- يمكن أن يشير إلى أن الحدود الزمنية المحتملة لمواقف المركبات طويلة جدًا أو قصيرة جدًا، أو أن السماح بمواقف المركبات خلال ساعات محدودة (من ٧ صباحًا إلى ٣ مساءً، على سبيل المثال)، وإذا طُبِّق قد يؤدي إلى إزاحة مواقف المركبة إلى المناطق المجاورة.
٣- يمكن أن يُكشَف عن مواقف المركبات الخطيرة أو غير المقننة. ويمكن أن يكون الدليل الواقعي لمثل هذه الممارسات مفيدًا في تحقيق الإنفاذ المطلوب أو الامتثال الطوعي العام للوائح.

تُعد فحوصات الإشغال مفيدة في تحديد التحسينات المطلوبة لخدمة نقل الشاحنات وتوصيلها. ويمكن أن يشير موقف المركبات المزدوج والمتسق بالمركبات التجارية إلى الحاجة إلى مناطق تحميل إضافية، أو إنفاذ أفضل للوائح إذا كانت مساحة منطقة التحميل المتاحة كافية. وكذلك يمكن أن تكون هناك حاجة إلى إجراءات الشرطة إذا لوحظ أن مركبات الركاب تسد المناطق الحالية. عندما يُقترح حظر مواقف المركبات؛ فإن فحوصات الإشغال تكون مفيدة في تحديد الطلب على مواقف المركبات في ساعات اليوم التي يكون خلالها الحظر ساريًا. وتكون دراسة بيانات نشاط موقف المركبات بجوار الرصيف مفيدة عند النظر في تغيرات مواقف المركبات بزاوية إلى مواقف المركبات الموازية وتركيب عدادات مواقف المركبات وإنشاء مناطق تحميل الركاب والبضائع بجوار الرصيف. وكذلك يمكن إجراء هذه الدراسات لتحديد كفاءة مواقف المركبات في المصانع القديمة وأماكن وقوف المركبات أو المرائب في مناطق العمل. ولتمثيل الظروف النموذجية، ينبغي أن تأخذ الدراسة في الحسبان أي جداول أساسية، مثل جداول الفصول الدراسية القريبة أو العطلات أو جداول المناسبات الخاصة، إما لالتقاط تلك الظروف حسب الرغبة في احتياجات الدراسة أو تجنبها.

أ-١٣-٢-٦ دراسات التراكم والتوليد:

ينبغي إجراء دراسات التراكم والتوليد على فترات متكررة نسبيًا في أيام مختلفة من الأسبوع لتحديد التغيرات في الساعة وذروة الطلب على مواقف المركبات. في منطقة الأعمال المركزية، ينبغي إجراء الدراسات بشكل عام كل ساعة أو كل ساعتين بين

الساعة ٦:٠٠ صباحًا والساعة ٨:٠٠ مساءً. وفي المنطقة التجارية، ينبغي تحديد ساعات التسوق بالتجزئة، وفي حالة كانت المتاجر مفتوحة فقط في أمسيات معينة، فينبغي أن تشمل الدراسات أيام الإغلاق المبكر والمتأخر. وفي المجتمعات الصغرى، يمكن أن تشهد مناطق البيع بالتجزئة أنشطة الذروة في صباح الجمعة أو بعد الظهر. وكذلك قد تتناول دراسات مواقف المركبات في كثير من الأحيان الأنشطة المتعلقة بالدين والتي قد توفر نشاطًا دوريًا كبيرًا في المناطق ذات الطلب المنخفض على مواقف المركبات. وعندما تُحدد ساعات الطلب على مواقف المركبات خلال أيام الأسبوع، ينبغي إجراء فحوصات متكررة في وقت الذروة لكل يوم من أيام الأسبوع.

إذا أُجريت دراسات التراكم في مولد معين، مثل المبنى الإداري؛ فينبغي بدء الدراسات قبل الافتتاح الصباحي للمكاتب وبعد ساعات الإغلاق مباشرة. وفي المنشآت الصناعية التي تعمل على أكثر من وردية واحدة؛ ينبغي أن تُفحص مواقف المركبات في توقيت تداخل الورديات. ومن المعتاد أن يكون لموظفي المكتب والإداريين ساعات عمل مختلفة عن ساعات عمال المصنع، ويمكن أن تكون هناك حاجة لفحوصات منفصلة لتحديد هذه الطلبات لمواقف المركبات.

ينبغي إجراء الفحوصات على طول مسارات المرور الرئيسة خلال ساعات الذروة الصباحية من ٦:٣٠ إلى ٩:٣٠ صباحًا وخلال أوقات الظهيرة المتعددة وعبر فترة الذروة المسائية من ٣:٣٠ إلى ٦:٠٠ مساءً. وإذا كانت العقارات السكنية ملاصقة للطريق، فمن الضروري إجراء الفحوصات خلال فترة متأخرة من الليل حيث يبلغ التراكم ذروته بين ١:٠٠ و ٥:٠٠ صباحًا بالنسبة إلى مواقف المركبات السكنية. ويكون الطلب ثابتًا نسبيًا خلال هذه الفترة. وينبغي أن يكون الفحص خلال الليل مناسبًا. وينبغي عامةً أن يكون مهندس المرور مهتمًا أكثر بأوقات ذروة الطلب على موقف المركبات فيما يتعلق بالعرض الحالي. وفي حالة دراسة مسار المرور الرئيس، حيث يمكن أ، يكون القصد هو فرض قيود ساعات الذروة الصباحية أو المسائية فحسب، ينبغي إجراء الفحوصات خلال هذه الفترات الزمنية.

ينبغي أن تتضمن عادةً فحوصات مواقف المركبات على طول المسارات الرئيسة؛ حيث يُمنع وجود مواقف المركبات لساعات بخلاف فترات الذروة. وفي جميع فحوصات مواقف المركبات، من المهم تجنب شروط القيود المؤقتة على مواقف المركبات، مثل تنظيف الشوارع وإصلاحها. وعادةً لا ينبغي إجراء فحوصات موقف المركبات خلال فترات الطلب غير الطبيعي مثل العطلات الوطنية. وقد يكون الطلب الموسمي على مواقف المركبات في بعض الحالات، مثل: أسابيع العيد (أي عيد الفطر وعيد الأضحى) ورمضان والحج محور دراسة مواقف المركبات. وينبغي مراعاة تأثير الأنشطة الرياضية الرئيسة في منطقة هذه المولدات ويجب إجراء فحوصات خاصة في كثير من الأحيان لتحديد الاحتياجات القصوى لمواقف المركبات.

إذا أُجريت دراسات التراكم لتحديد متطلبات ذروة مواقف المركبات لأنواع محددة من المولدات من أجل تطوير مواصفات رمز تقسيم المناطق؛ فينبغي أولًا تأمين معلومات خصائص الذروة من المسؤولين التعاونيين أو مصادر موثوقة أخرى. وينبغي تحديد أثقل الساعات والأيام والأشهر وينبغي التأكد من عوامل مثل اختلاف ساعات الزوار في المستشفيات ودور رعاية المسنين أو فترات تداخل الورديات.

في دراسة نوعية التوليد، من الضروري معرفة استخدام الإشغال أو المرفق في وقت الفحوصات. وفي المستشفيات ودور رعاية المسنين، يشمل ذلك عدد الأسرة المشغولة كنسبة مئوية من إجمالي الأسرة المتاحة. وفي حالة الأقسام الفرعية أو المباني السكنية؛ فإن ذلك يشمل عدد المساكن المشغولة. وفي المكاتب والمنشآت الصناعية ومراكز البيع بالتجزئة، ينبغي استخدام مقدار الأمتار المربعة القابلة للتأجير من المساحة الأرضية كنسبة مئوية من إجمالي مساحة الأرضية القابلة للتأجير.

التدبير الثاني في أداء دراسات نوعية التوليد هو الحاجة إلى تحديد المركبات المتوقفة حسب ارتباطها بالمنشآت المحددة. وعندما تتداخل مواقف مركبات المالك مع مواقف المركبات الأخرى، قد يكون من الضروري إجراء دراسات من نوع المقابلة أو إجراء ملاحظات محددة لأنشطة المالك لتأمين بيانات موثوقة. وغالبًا ما تختلف احتياجات مواقف المركبات لمولدات معينة بين المقاطعات داخل منطقة حضرية، ويعد توفر النقل العام عاملًا رئيسًا. وسيكون للمبنى الإداري في منطقة الأعمال المركزية التي يُقدم إليها الخدمات عن طريق النقل العام طلب أقل على مواقف المركبات مقارنة بمبنى مماثل يقع في منطقة نائية. وينبغي عدم تطبيق أرقام إنشاء مواقف المركبات المحسوبة لمنطقة واحدة بشكل تعسفي على منطقة غير متشابهة. وينبغي استخدام معدلات الرحلات التمثيلية المتوفرة بسهولة وإنشاء مواقف المركبات لمختلف استخدامات الأراضي وأنواع المباني بحذر عند تطبيقها على موقف معين. وينبغي أن يكون التفاعل والتنسيق لمواقف المركبات للاستخدامات المتعددة للأراضي أحد التقديرات للتطورات متعددة الاستخدامات. وتوفر التطورات متعددة الاستخدامات الفرصة لاستخدامات الأراضي التكميلية لمشاركة مرافق مواقف المركبات؛ بسبب الاختلافات في تراكم المركبات على مدار الساعة أو اليوم أو الموسم ورحلات المشي داخل التطوير لاستخدامات الأراضي المختلفة.

يمكن إجراء دراسات تراكم مواقف المركبات باستخدام الخرائط التي توضح الخطوط العريضة لمرافق مواقف المركبات المختلفة. وقد تكون هناك حاجة في المناطق الكبرى لعدد من الخرائط المقطعية. وتعمل دراسات الإشغال بشكل جيد باستخدام مركبة مع سائق ومراقب. ويمكن استخدام أقلام الرصاص الملونة لتدوين عدد المركبات المتوقفة الموجودة في كل منشأة، باستخدام لون مختلف لكل فترة زمنية. ويكون من الأسهل في المنشآت الكبيرة ملاحظة الأماكن الفارغة بدلًا من الأماكن المشغولة.

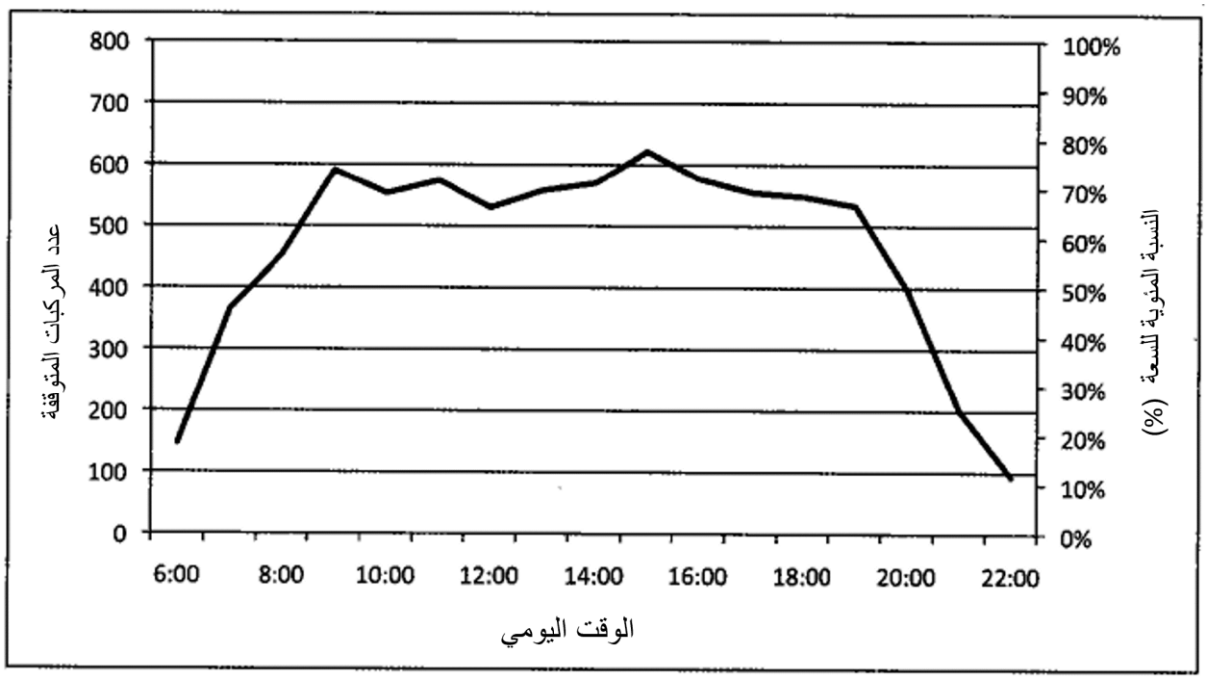
ونظرًا إلى أن جزءًا من فحوصات التراكم يُجرى خلال فترات الازدحام المروري؛ فمن المهم تخطيط مسار الدراسة بعناية. ويشمل ذلك الفحوصات الأولية لوقت القيادة المطلوب لتغطية المناطق المختلفة وتحديد نمط الانتقال الأكثر كفاءة. وفي دراسات تراكم منطقة الأعمال المركزية المعقدة للغاية، حيث يمكم أن يكون المسار مكتظًا ومزدحمًا بالمرور، من المستحسن أن تقوم أطقم المسح بإجراء العديد من عمليات التدريب. وفي بعض المناطق المزدحمة للغاية، يمكن أن يكون من الضروري إجراء

فحوصات التراكم سيرًا على الأقدام. وعندما يكون من غير العملي عدّ التراكم داخل المرائب بالقيادة عبرها، ينبغي جمع البيانات المطلوبة من مشغلي المرائب أو عن طريق السير في المرافق.

يمكن إجراء تحليل التراكم في بعض المرافق عن طريق العدّ المستمر لحركات المركبات للداخل والخارج. وهذا يتطلب معرفة عدد المركبات داخل المرفق في بداية التعدادات، بالإضافة إلى الفحص من العدد المتبقي في نهاية العدّ للتحقق من دقة العدّ. ويمكن تسجيل بيانات الدخول والخروج للمرافق ذات البوابات الآلية أو بوابات التحكم المصاحبة تلقائيًا وتوفيرها بواسطة مشغل المرفق. وكذلك قد يشمل هذا النوع من الدراسة تدوينًا لأرقام لوحات الترخيص كما هو موضح في الجزء الفرعي التالي.

تعجز دراسات التراكم لمواقف المركبات السكنية عن تحديد ما إذا كانت المركبات متوقفة داخل المرائب الخاصة. وتقتصر الفحوصات عادةً على المركبات التي لوحظت في الممرات وعند الأرصفة، ما يجعل من المهم تنبيه مستخدمي البيانات إلى عدم اكتمال الفحص. وفي المناطق الكبرى، يمكن أن تجعل قيود الموظفين من غير العملي إجراء جميع دراسات التراكم خلال يوم واحد وبصفة عامة، من المستحسن إجراء أجزاء إضافية من الفحوصات في نفس اليوم من الأسابيع التالية، بشرط أن تكون الظروف الجوية والعوامل المؤثرة الأخرى هي نفسها.

ينبغي تغطية المنطقة الكاملة في عمليات فحص الأشغال الأولية كلما أمكن ذلك، رغم أن هذا يمكن أن يعني وجود فترة زمنية أقل تكرارًا لكل فحص يُجرى لمرة واحدة لإنشاء قاعدة تحكم. وبعد ذلك يمكن إجراء الدراسات التكميلية في ساعات متوسطة. وعادةً ما تُرسم بيانات التراكم من الدراسات داخل منطقة معينة على مدار الساعة لإظهار الطلب المتغير. الشكل (أ-٨٢) يظهر منحنى التراكم النموذجي. وكذلك من المعتاد الإشارة إلى عدد ساحات وقوف المركبات المتاحة، مثل أي اختلافات على مدار الساعة قد تحدث بسبب اختلاف جداول وأنظمة التشغيل. وكذلك يمكن عرض التراكمات في شكل جداول للمباني الفردية وأنواع المرافق.



الشكل (أ–٨٢) منحنى تراكم وقوف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-8).

بينما توفر دراسات التراكم معلومات عن إجمالي عدد المركبات حسب الموقع، فإنها لا تقدم أي معلومات عن طول الوقت الذي تتوقف فيه كل مركبة أو عن وجهات السائق. وتُحدد المعلومات المتعلقة بطول الوقت الذي توقف فيه السيارة وتشغيلها مرة أخرى، أو عدد مرات استخدام كل ساحة وقوف المركبات خلال اليوم من فحص لوحة التسجيل.

أ-١٣-٣ إجراءات جمع البيانات:

أ-١٣-٣-١ فحوصات لوحة التسجيل:

يمكن استخدام فحوصات لوحة التسجيل للملاحظة التفصيلية لمواقف المركبات المجاورة للرصيف. ويكون الغرض الأساسي هو تحديد معدل عدد مرات استخدام الموقف الواحد، والذي يُعرف على أنه متوسط عدد المركبات المتوقفة يوميًا خلال فترة الدراسة، في كل مكان مقابل لواجهة مبنى معين. وتكون معادلة الانعطاف، (T)، هي:

$$T = \frac{Number\ of\ Different\ Cars\ Parked}{Number\ of\ Parking\ Spaces}$$ **المعادلة (أ-٤٤)**

تشمل الأسباب الأخرى لفحوصات لوحة التسجيل تأمين البيانات المتعلقة بطول الإقامة والتراكم ومواقف المركبات غير القانونية والإنفاذ الذي يتطلب تدوينًا خاصًا عما إذا كانت التذكرة موجودة في سيارة متوقفة بشكل غير قانوني.

وينبغي اختيار ساعات الدراسة بما يتناسب مع الغرض من الدراسة وينبغي أن تُفحَص لوحة التسجيل في أغلب الأحيان بواسطة شخص سائر على الأقدام. ونظرًا إلى أن الدراسة مكلفة نسبيًا، ينبغي استخدام طريقة المُعاينة بشكل طبيعي. وينبغي اختيار عدة واجهات للمبنى والتي تمثل عادةً الظروف المختلفة لمواقف المركبات الموجودة في منطقة الدراسة.

ينبغي أن تعتمد متطلبات الأفراد على وتيرة الفحص، والتي تعتمد بدورها على عدد مرات استخدام الموقف الواحد. ونظرًا إلى أن متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد مبهم في بداية الدراسة، فينبغي تقديره من الخصائص المعروفة أو المفترضة للحالة.

وتُعد البيانات المأخوذة من فحوصات التراكم على عدد المركبات المتوقفة في أمام كل مبنى مفيدة في إعداد المسارات وتحديد متطلبات الأفراد لفحوصات لوحة التسجيل. ويمكن استخدام مسجلات الصوت بنجاح في فحص لوحة التسجيل، رغم وجود قيود شديدة وفرص واسعة النطاق لحدوث خطأ في استخدامها. وكذلك يمكن للحاسب المحمول أن يكون مفيدًا في إجراء مسوحات لوحة التسجيل. ويمكن تنزيل البيانات المسجلة في الميدان في قاعدة بيانات موقف المركبات بعد العودة إلى المكتب.

يرد النموذج الميداني للاستخدام في الأرصفة المثالية. في الجدول (أ-٧٣). وتشمل المكونات الأساسية تحديد المرفق برقم سري وأسماء الشوارع. وينبغي أن يحتوي العمود المعنون (المكان والتنظيم) على توفير لمواقف المركبات غير المقننة وكذلك الأماكن القانونية. وكذلك يمكن استخدام هذا العمود كنموذج قائمة جرد الرصيف. وكما هو موضح في النموذج، ينبغي إدخال جزء من رقم الترخيص، وعادة ما يكون آخر ثلاثة أرقام، من كل مركبة متوقفة في المكان المناسب. وعندما يُعثَر على نفس المركبة في فحوصات لاحقة، ينبغي عدم تكرار الرقم، بل يجب استخدام علامة فحص. وهذا يبسط حساب متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد؛ حيث يُحدد عدد المركبات المختلفة المتوقفة في المبنى.

الجدول (أ–٧٣) نموذج البيانات الميدانية لتدقيق لوحة التسجيل (المصدر: : Exhibit 16-9 – (ITE, (2010a).

البيانات الميدانية لتدقيق لوحة التسجيل											
التاريخ: _____ الطقس: _____											
المدينة: _____ جانب الشارع: _____											
الشارع: _____ بين: _____و_____											
المكان والتنظيم	**بداية دائرة التوقيت**										**ملاحظات**
الرموز # # #: آخر ثلاثة أرقام من رقم لوحة التسجيل لأول ملاحظة لمركبة ✓: علامة تدقيق لتكرار مركبة من جولة سابقة –: علامة شرطة للأماكن الفارغة											
التعليقات: _____ الملاحظ:											

تتضمن الرموز الأخرى المستخدمة عمومًا في فحوصات لوحة التسجيل إشارة العدادات منتهية الصلاحية والملاحظات الملونة؛ لتحديد المركبات التي لا تحمل لوحة تسجيل. وينبغي ملاحظة الشاحنات. ويمكن التعرف على المركبات المتوقفة في الصف الثاني بوضع خط قطري عبر المربع المحدد في العمود. ويمكن كتابة لوحة تسجيل المركبة المتوقفة بجوار الرصيف في الجزء العلوي من المربع، ويمكن كتابة رقم ترخيص المركبة المتوقفة في الصف الثاني في الجزء السفلي من المربع.

من المستحسن أحيانًا تدوين أرقام لوحات الترخيص الكاملة؛ حتى يمكن التعرف على مالكي المركبات. وتُستخدم هذه المعلومات للتحقق من مدى استخدام أصحاب المتاجر أو الموظفين لمساحة الرصيف؛ لإيقاف مركباتهم الخاصة. وكذلك يمكن أن يكون من المستحب تعيين مركبات تجارية خارج نطاق الولاية القضائية. ويمكن أن تُسطَّر أرقام لوحات ترخيص الشاحنات في المناطق التي لا تعطي فيها لوحة الولاية القضائية المحلية رمزًا تحضريًا منفصلًا. وكذلك يمكن تدوين ملاحظات متخصصة بشأن حجم الشاحنة ونوع عمليات التسليم التي أُجريت. وتوجد حاجة إلى معرفة تكرار أنشطة تحميل وتفريغ الشاحنات وموقعها في مناطق تحميل الرصيف، وكذلك لتطوير محطات الشاحنات، ويعد درجة نشاط الشاحنات خلال ساعات مختلفة عاملًا عند النظر في القيود المفروضة على مثل هذا النشاط لزيادة سعة الشارع.

يمكن لشخص واحد إجراء فحوصات مكان الترخيص لما يقرب من ٦٠ ساحة وقوف المركبات كل ١٥ دقيقة. ويسمح هذا بتغطية وجهتين إلى أربع وجهات مبنى في كل رحلة بعد القيام بالجولة الأولية، والتي عادةً ما تتطلب وقتًا إضافيًا. وتُعتبر درجة انعطاف مواقف المركبات عاملًا رئيسًا يؤثر في الوقت الفعلي المطلوب وكذلك ينبغي مراعاة الأقسام التي يضطر المدقق اجتيازها؛ حيث لا يُسمح بالوقوف. وتشمل العناصر الإدارية الأخرى الحاجة إلى الراحة وتناول الطعام للمدققين والأمن الشخصي في بعض المناطق والحاجة إلى المدققين للعمل بطريقة غير مزعجة. وفي حين أنه من الصعب إخفاء حقيقة إجراء فحص لموقف المركبات، فيمكن أن تكون نتائج المسح متحيزة إذا كان مستخدمو ساحة وقوف المركبات على دراية بالدراسة الميدانية. وعندما تُطرح الأسئلة، ينبغي على المدقق الإجابة عليها بلطف، وتقديم ضمانات بأن الدراسة لا علاقة لها بنشاط إنفاذ القانون.

عندما تُجرى فحوصات لوحة التسجيل على نطاق واسع؛ فإن الطريقة المعتادة هي بدء المسارات في نقطة مشتركة لتسهيل الإشراف. وبعد ذلك على المدقق الميداني أن يسير على جانب واحد من الشارع، ويعود من الجانب الآخر، ويغطي جميع أماكن الوقوف بجانب الرصيف على طول المسار. وعند تخطيط شارع مستطيل، يمكن بدء تخطيط الطرق عند تقاطع واحد وتمتد حول المبنى مع وجود المشرف المتمركز في نقطة البداية. وغالبًا ما يعمل المدققون الميدانيون في وردية مُدتها ٥ ساعات، ولكن ينبغي أن يعتمد هذا الطول على الطول الإجمالي لفترة مسح مواقف المركبات.

غالبًا ما يستخدم فحص لوحة التسجيل عند الرصيف؛ ومع ذلك، يمكن استخدامه أيضًا كثيرًا أو في المرائب. في هذه الحالات، على المراقبين الميدانيين المرور عبر كل مساحة أو مرآب على فترات منتظمة، وتسجيل أرقام الترخيص. وينبغي الحرص على اتباع المسار ذاته داخل المرفق؛ لتبسيط مقارنة أرقام الترخيص في أثناء عملية التلخيص. وإذا أُجرى الفحص خارج الشارع كجزء من فحص الرصيف؛ فإنه ينبغي أن تكون الفترات الزمنية الفاصلة بين الرحلات كما هي في فحص الرصف. وإذا أُجريت الدراسة خارج الشارع بشكل منفصل؛ يمكن زيادة الفترات الزمنية بمقدار ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة أو أكثر نظرًا إلى أن مدد وقوف المركبات في الأماكن الواقعة خارج الشارع تكون عادةً أطول منها عند الرصيف. وينبغي أن تؤخذ في الحسبان أي جداول أساسية، مثل جداول الفصول الدراسية القريبة أو ساعات أداء العبادة أو جداول دور السينما.

عندما تكون المرافق خارج الشارع كبيرة للغاية بحيث لا يمكن فحص كل مركبة في الوقت المحدد، أو أنها شُغّلت من قبل أشخاص لن يتعاونوا في السماح للمراقب بإجراء الملاحظات اللازمة، ينبغي استخدام دراسة (الدخول والخروج). وتتطلب طريقة الدراسة هذه مراقبين في جميع مداخل ومخارج المرافق، وتوفر أقصى دقة لبيانات الانعطاف، والمدة حيث تُجرى ملاحظة كل مركبة تدخل وتخرج وتُجرى تسجيل رقم الترخيص. وفي الحالات التي تكون فيها أحجام دخول و/أو مغادرة المركبات مرتفعة بشكل غير عادي يمكن أن يلزم وجود العديد من المراقبين أو القيام بتسجيل الفيديو.

يجب أن تتوافق الحدود الزمنية لهذه الدراسة مع حدود فحص لوحة تسجيل الرصيف. وفي فترات زمنية مناسبة، يجب ملاحظة الوقت من اليوم بعد آخر رقم مسجل للوحة التسجيل، على جانبي النموذج من (الداخل) و (الخارج). وعندما تكون أحجام المرور منخفضة، يمكن أن يُسجَّل وقت الدخول أو الخروج الفعلي لكل مركبة. وخلال فترات النشاط العالي، ينبغي ملاحظة الوقت بفواصل زمنية من ٥ إلى ١٠ دقائق. عندما يكون ذلك ممكنًا، ينبغي التحقق من أرقام ولوحات ترخيص المركبات في مرفق في بداية الدراسة وفي نهايتها.

يمكن أن يوفر الملخص المكتب وتحليل الفحص الميداني للوحة التسجيل معلومات عن تراكم مواقف المركبات. وينبغي تحديد ذروة التراكم لكل واجهة مبنى مباشرة من خلال عدد المركبات المتوقفة. الجدول (أ-٧٤) يوضح نموذج ملخص المدة المثالية ويمكن أن تصنف عناوين الأعمدة البيانات حسب المباني، وحسب نوع منطقة وقوف المركبات (مثل: وقوف المركبات بجوار الرصيف مُدة ساعة وساعتين وما إلى ذلك)، أو حسب الرصيف وساحات الانتظار والمباني والمجموع الكلي للمنطقة. ويمكن تقدير مدد وقوف المركبات من أوقات الرحلة ذهابًا وإيابًا لفحوصات نشاط وقوف المركبات. على سبيل المثال: إذا أُجريت الرحلات بترددات مدتها ١٥ دقيقة، فمن المفترض أن المركبة التي عُثِر عليها في رحلة واحدة فقط تكون متوقفة لمدة ١٥ دقيقة. إذا تمت رؤيتها في رحلتين متتاليتين، تُخصص للمركبة مجموعة مدتها ٣٠ دقيقة، وهكذا. وعندما تتم رؤية السيارة في الرحلة الأولى أو الأخيرة للمراقب؛ فإن مدة وقوفها تكون غير معروفة. وينبغي تقدير جميع المدد على أنها تبدأ ضمن الحدود الزمنية للدراسة.

الجدول (أ–٧٤) نموذج ملخص مُدة وقوف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-10).

نموذج ملخص مُدة وقوف المركبات

التاريخ: _____ الطقس: _____

توقيت البدء: _____ توقيت الايقاف: _____

الموقع: _____

نطاق مُدة موقف المركبات (المبينة أدناه)	نوع التصنيف (منطقة موقف المركبات، المبنى، أو تصنيف آخر - المبينة أدناه)							
	مركبات نقل الركاب	الشاحنات	مركبات نقل الركاب	الشاحنات	مركبات نقل الركاب	الشاحنات	مركبات نقل الركاب	الشاحنات
	عدد	النسبة	عدد	النسبة	عدد	النسبة	عدد	النسبة
إجمالي المركبات								
إجمالي ساعات المركبة								
متوسط المدة								
نسبة العمل الإضافي								

التعليقات: _____

الملاحظ: _____

ينبغي حساب إجمالي ساعات المركبة بقسمة إجمالي عدد المركبات التي شوهدت في كل رحلة على عدد الفحوصات التي تتم في كل ساعة. وبالتالي، إذا روقبت ١٠ مركبات ثلاث مرات على فترات فحص مدتها ٣٠ دقيقة؛ فإن عدد ساعات المركبة هو (٣ × ٢/١٠) أو ١٥ ساعة مركبة خلال ١,٥ ساعة من الدراسة. ثم يُحسَب متوسط المدة بقسمة إجمالي ساعات المركبة على العدد الإجمالي للمركبات المختلفة التي تمت ملاحظتها (١٠/١٥ = ١,٥ ساعة). وهذا المتوسط أعلى قليلًا من متوسط القيمة الحقيقية؛ لأن جميع المركبات المتوقفة لا يتم ملاحظتها. وتم التعرف على النسبة المئوية لراكني المركبات الإضافية من خلال إضافة الأرقام لجميع المدد التي تزيد عن الحد الزمني المقنن لمواقف المركبات (إذا كان هذا الحد قابلًا للتطبيق). الجدول (أ-٧٥) يوضح نموذج ملخص انعطاف مثالي يمكن استخدامه لتلخيص عدد مرات استخدام الموقف لكل مربع مكاني، ولكل تصنيف لمنطقة مواقف المركبات وفقًا للحد الزمني لساحات الانتظار، والمرائب، ومساحات الرصيف، وللمناطق المختلفة. ويُعدّ ملخص للمباني المفردة؛ لتصنيف المناطق الزمنية لكل قطعة مساحة انتظار أو مرآب أو أماكن وقوف بجوار الرصيف مجتمعة لجميع ساحات الانتظار مجتمعة وجميع المرائب مجتمعة. وأخيرًا، بالمجموع الكلي. وتستخدم الأعمدة اليسرى من الجدول (أ-٧٥) للإشارة إلى التصنيف. ويضم العمود التالي عدد أماكن مواقف المركبات المقننة المستخدمة بشكل كامل أو جزئي في كل يوم من أيام الأسبوع العادية. ويُدخَل عدد المركبات التي لوحظت في أثناء استخدام أماكن وقوف المركبات في العمود الخامس. وينبغي تضمين أي مركبة تشغل مساحة مكان دخلت أو غادرت خلال فترة الدراسة في عدّ الانعطاف. ويستخدم العمود السادس لتسجيل متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد بالساعة لكل مكان توقف. على سبيل المثال: إذا كان لدى ٥٠ مكان توقف عدد إجمالي مرصود يبلغ ١٠٠ مركبة مختلفة في ٨ ساعات، فسيكون المعدل ٠,٢٥ مركبة لكل مكان توقف في الساعة (١٠٠/ (٥٠ × ٨)).

يمكن استخدام الأعمدة الثلاث الفارغة والمتبقية في الجدول (أ-٥٧) لأغراض مختلفة. على سبيل المثال: يمكن أن يكون من المرغوب فيه إظهار العدد المستقبلي المحتمل للأماكن، ما يسمح بمرافق جديدة خارج الشارع وحظر وقوف مواقف المركبات بجوار الرصيف، وما ينتج عنه من انعطاف محتمل. أو يمكن أن يتقرر إظهار متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد إذا زيد متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد من خلال إنفاذ قيود مواقف المركبات الحالية. ويمكن أن تكون عناوين الأعمدة، في هذه الحالة، " متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد المقدر بافتراض الامتثال لقيود وقوف المركبات"، و"إجمالي متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد" و"زيادة متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد مقارنة بالحاضر". وينبغي عادةً عرض متوسط عدد مرات استخدام الموقف الواحد اليومي أو فترة الدراسة. واستمرارًا لطرح الأمثلة، فإن ١٠٠ سيارة متوقفة في ٥٠ مكان توقف ستحقق معدل انعطاف يومي قدره ٢,٠ لمدة ٨ ساعات.

الجدول (أ–٧٥) نموذج ملخص عدد مرات استخدام الموقف الواحد في الشارع (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-11).

نموذج ملخص عدد مرات استخدام الموقف الواحد في الشارع								
التاريخ: _____ الطقس: _____								
توقيت البدء: _____ وقت الانتهاء: _____								
الموقع: _____								
المبنى	**المرفق**	**نوع الطريق**	**عدد أماكن التوقف**	**إجمالي عدد مرات استخدام الموقف الواحد**	**عدد مرات استخدام الموقف الواحد بالساعة (مركبات/ مكان توقف/ ساعة)**			
التعليقات: _____								
الملاحظ: _____								

أ-١٣-٣-٢ إجراء مقابلات بساحات وقوف المركبات:

ولتحديد جهة المغادرة للرحلة ونهايتها، والغرض منها، فضلًا عن مسافة السير، يجب إجراء نوع من الاتصال المباشر مع سائقي المركبات بالموقف. ومن المستحسن إجراء هذه المقابلة من خلال استبيان عن نوع العودة، وعادة ما يكون عبر بطاقة بريدية أو مقابلة شخصية. تُستخدم تلك الدراسات أساسًا في تحديد الطلب على مواقف المركبات حسب الموقع. ترمي بيانات المقابلة إلى استشعار نمط جهات الوصول وعددها التي توصل إليه السائق سيرًا على الأقدام بعد ركن السيارة، وقياس الطلب على المكان على افتراض أن جميع السائقين يريدون الوقوف على مقربة من نهايتهم النهائية.

ينبغي أن تُجمع بيانات عن عادات السائق، على سبيل المثال: مسافات السير فيما يتعلق بالغرض من الرحلة والرسوم المفروضة على وقوف المركبات. ولهذه المعلومات أهمية في تحديد المواقع المقبولة للمرافق الجديدة الخاصة بساحة وقوف المركبات. وتشير مدة وقوف المركبات حسب الأغراض المختلفة للرحلة إلى القيود الزمنية العملية التي يمكن أن تُفرض على فئات شتى من سائقي المركبات بالموقف. وفي حالة تطوير مرافق مُدرة للإيرادات، ستكون هناك حاجة لتلك المعلومات لتقدير الدخل. وينبغي النظر في إدماج مرافق النقل العام ومواقف المركبات تقديرًا بعدد مستخدمي المرافق المشتركة وبمكان وجودهم وبخدمة النقل العام اللازمة.

أ-١٣-٣-٣ إجراء مقابلات عبر البطاقة البريدية/ النشرة الإعلانية:

ينبغي إجراء المقابلة بالبطاقة البريدية لتحديد الخصائص في ساعة الذروة فقط بمواقف المركبات كما ينبغي تسليم أو وضع البطاقات تحت مسّاحات الزجاج الأمامي خلال مدة زمنية قصيرة. كما ينبغي تحديد الوقت المطلوب لتوزيع البطاقات قبل بدء الدراسة تجريبيًا. وتُعد الدعاية الصحفية أمرًا مهمًا لأي نوع من أنواع الدراسات القائمة على المقابلة، لاسيما عند استخدام البطاقات البريدية، وينبغي بذل قصارى الجهود لتحقيق أكبر قدر من تعاون الجمهور. كما أن احتياجات الناس للمسح بالبطاقات البريدية أقل بكثير من المقابلات الشخصية، ومع ذلك، تمثل معدلات العوائد المنخفضة والدرجة المجهولة التي تتحيز فيها البيانات جوانب سلبية لاستخدام البطاقة. يعرض الجدول (أ-٧٦) بطاقة بريدية نموذجية لمسح مواقف المركبات.

الجدول (أ–٧٦) بطاقة بريدية لمسح مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a), Exhibit 16-12).

مسح مواقف المركبات
تقوم وزارة النقل/هيئة النقل العام _____ بإجراء تحليل على الأوضاع في مواقف المركبات في تلك المنطقة. ونطلب من كل سائق أن يكمل الاستبيان الآتي. وسنحافظ على سرية إجاباتك، وستوجز البيانات حتى لا يكشف التحليل والتقرير بأي شكل من الأشكال عن بيانات الأفراد. كما نشكرك مقدمًا على ملء المسح الموجز هذا. ونثمن وقتك، كما ستساعدنا إجاباتك في تطوير مواقف المركبات بتلك المنطقة.
ما الغرض الرئيس من رحلتك؟ (ضع علامة أمام بند واحد فقط) عمل← سياحة/ترفيه← دراسة← تسوق أعمال شخصية (طبية، مصرفية، اجتماعية، إلخ)← ☐ أخرى (يرجى التحديد):
٢- ما الموقع المحدد الذي زرته عقب إيقاف سيارتك هنا؟ عنوان الشارع أو العنوان التجاري:
٣- ما مدة وقوف سيارتك في هذا الموقع؟ _____ساعة _____دقيقة
٤- من أين انطلقت رحلتك (من أين أتيت قبل وقفوك بسيارتك هنا)؟ تقاطع الشارع الأقرب: _____
٥- رجاءً، قم بمشاركة أي تعليقات إضافية لديك على ساحة وقوف المركبات في هذه المنطقة: _____

إجمالًا، أُرجِع ٣٠-٥٠٪ من البطاقات الموزعة. ولتوسيع النموذج، يجب امتلاك سجل بعدد البطاقات الموضوعة حسب الموقع والوقت. على سبيل المثال: إذا أُعيدت خمس بطاقات من الجهة المقابلة للكتلة السكنية المقدمة المشيرة إلى سائقي المركبات بالموقف الذين قاموا بالتسوق في متجر معين، وكانت النماذج المرتجعة من الجهة المقابلة للكتلة السكنية هذه بنسبة ٥٠٪، يمكن تقدير وجود إجمالي ١٠ من سائقي المركبات بالموقف وقت الذروة الذين ذهبوا بالفعل لمتجر معين. لأنه من المتوقع أن يختلف نموذج العائدات من مرفق لآخر، كما ينبغي إجراء حساب منفصل لحجم النموذج وعامل التوسعة لكل مرفق من مرافق وقوف المركبات.

تتمثل إحدى وسائل تحقيق أكبر قدر من العائدات بتوخي الحرص في اختيار الأسئلة لكيلا تُطلب معلومات قد يتردد بعض السائقين في الافصاح عنها. كما أن للتوضيح الأفضل صلة بعنوان المنزل الذي ينبغي عدم السؤال عنه؛ لعدم رغبة العديد من الأفراد بالإفصاح عن هذه المعلومات وكما أنها لا تعود بفائدة مباشرة في مسح ساحات وقوف المركبات. كما يمثل الموقع المطلوب جزءًا عامًا من المدينة أو اسمها بالنسبة لسائقي المركبات بالموقف من ضواحي المدينة أو الأماكن المجاورة الأخرى.

ولتحقيق أكبر قدر من عائدات مقابلات البطاقة البريدية؛ ينبغي أن تتضمن البطاقات البريدية طابعًا بريديًا. ولتجنب الدفع للبطاقات البريدية التي لم تُسترجع، يمكن استخدام طابع بريد الرد التجاري للدراسة.

تتمثل إحدى طرق التواصل مع السائقين في تسجيل أرقام لوحات المركبات المتوقفة، وتتبع العناوين البريدية بناءً على تلك الأرقام وإرسال بطاقات البريد أو المسوحات للمالكين. ومع ذلك، فالتأخير لعدة أيام ناجم عن البحث عن الأرقام، وإرسال، واستلام البطاقة من جانب مالك المركبة. وقد أدى هذا إلى تقليل العائدات والدقة.

كما يمكن استخدام النشرات الإعلانية لتوجيه السائقين للمسح الإلكتروني. ويمكن أن يقلل المسح الإلكتروني من تكاليف جمع البيانات؛ بيد أنه قد يعاني المسح من تحيز السائقين في الاختيار. وقد يزيد دافع المشاركة من عدد المسوحات المكتملة.

أ-١٣-٣-٤ المقابلات الشخصية:

يمكن إجراء المقابلات الشخصية مع سائقي المركبات المتوقفة عند الرصيف أو في أحد مرافق انتظار المركبات. كما يمكن إجراؤها أيضًا عند مدخل أو مخرج مرفق معين من المرافق، مثل: متجر كبير، أو مبنى إداري، أو مستشفى. وتختلف الأسئلة الدقيقة عن إجراء المقابلة عند جهة المغادرة أو جهة الوصول لسائقي المركبات المتوقفة أو وقت وقوف السيارة بالموقف أو عند عدم وقوفها. يظهر الجدول (أ-٧٧) أحد النماذج الموصى بها التي يمكن استخدامها عند إجراء المقابلة وقت وقوف المركبات بالموقف أو وقت عدم وقوفها. وتدور الأسئلة حول الغرض من الرحلة ونهاية سائقي المركبات المتوقفة. ستضيف المقابلات في أحد مرائب المركبات عبارة (الإقامة هنا) كأحد أغراض الرحلة. يمكن أن يُطلب من سائق السيارة المتوقفة أن يعطي تقدير لطول مدة وقوف السيارة بالموقف. كما أن النموذج الموضح على أنه الجدول (أ-٧٧) لا يتضمن مكان جهة مغادرة الرحلة، ورغم ذلك، يمكن إضافة هذا.

الجدول (أ–٧٧) نموذج إجراء المقابلات في مواقف المركبات (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-13).

ورقة المقابلات بمواقف المركبات						
التاريخ: _____ الطقس: _____ توقيت البدء: _____ وقت الانتهاء: _____ الموقع: _____						
الوقت		**الغرض من الرحلة**	**نهاية الرحلة**	**للاستخدام الرسمي فقط**		
وقت البدء (متوقفة)	**وقت الانتهاء (مغادرة الموقف)**	**لأغراض العمل، والدراسة، والتسوق، فضلًا عن الأغراض الشخصية، وغيرها)**	**عنوان الشارع أو العنوان التجاري**	**المدة**		**مسافة السير**
				ساعة	**دقيقة**	
التعليقات: _____ الملاحظ: _____						

يمكن أن تُستخدم المقابلات الشخصية على أساس يوم بأكمله، أو في أثناء بضع ساعات من اليوم أوفي أثناء ساعة الذروة فقط. كما أن العمل ليس مكلفًا فحسب، بل تكثر المطالبة علية شخصيًا، وتُعد دقة الاختيار وتدريب المحاورين أمرين ضروريين. وللأفراد ذوي الخبرة السابقة في إجراء التعداد قيمة خاصة لهذا النشاط. وينبغي على كل مُحاور ارتداء شارة مميزة، أو شريط، أو سترة عاكسة، أو أية شارة تعريف أخرى؛ للحد من الغموض، أو التحفظ، أو النفور من جانب سائقي المركبات المتوقفة الذين يقترب منهم المُحاور ليستجوبهم. وينبغي أن تظهر كلمات (مسح المرور) أو غيرها من المعلومات المناسبة بحروف كبيرة على الشارة.

كما ينبغي حضور المُحاور بالموقع قبل بدء الوقت بقرابة ١٥ دقيقة. يمكن للفرد الواحد أن يتعامل مع خمسة عشر مكانًا، شريطة ألا يكون معدل التناوب سريعًا. وبذلك عادةً ما تكون هناك حاجة لشخص واحد أو اثنين للتعامل مع جهة واحدة مقابلة للكتلة السكنية. إن كان هناك مرفق كبير بجانب الطريق، يمكن أن يلزم اختبار سائقي المركبات المتوقفة بإجراء مقابلة مع كل شخص ثانٍ أو ثالث.

تستثني الدراسة عادةً المركبات المتوقفة مؤقتًا كي تفرغ الركاب وسيارات

الأجرة المتوقفة في مناطق الرصيف المخصصة، والحافلات، ومركبات الطوارئ. يمكن أن تُجرَى مقابلات مع سائقي الشاحنات بناءً على المعلومات المطلوبة. وينبغي أن تُجرى تلك المقابلات فقط مع سائق كل مركبة.

كما ينبغي تسجيل المركبات المتوقفة عند وصول المُحاور للمرة الأولى في صفحة النموذج بوقت وصول خمس دقائق قبل بدء المسح الرسمي. وينبغي إجراء مقابلة مع السائقين حال عودتهم إلى مركباتهم في أثناء فترة المسح، وعادةً ما يمكن تحديد الوقت الفعلي التقريبي لوقوف المركبات بساحة الانتظار. بعد ذلك، ينبغي حذف القيد الأولي للوقت واستبداله بالصحيح.

ويدعو الإجراء المعتاد المُحاور للاقتراب من المركبة سريعًا حال دخولها ساحة وقوف المركبات، وتسجيل وقت الانتظار لأقرب دقيقة. ثم ينبغي على المُحاور أن يطرح على السائق الأسئلة المحددة وأن يدون الإجابات في النموذج الميداني. وعند عودة السائق وبدء مغادرته لموقف المركبات، ينبغي على المُحاور تسجيل وقت المغادرة في النموذج في حالة إجراء المسح قرب الجهة المقابلة للكتلة السكنية أو في نقطة يمكن للمُحاور أن يرى منها نشاط مغادرة المركبات ساحة الانتظار. ولتلك الحالات، ينبغي أن يتضمن نموذج المقابلة أيضًا عمودًا لأرقام لوحات المركبات. وفيما يتعلق بعمليات فحص الرصيف، ينبغي على المُحاور تسجيل وقت المغادرة فقط على السطر نفسه مثل وقت الوقوف إذا أمكن العثور على رقم الرخصة بسرعة في النموذج. إن لم يكن كذلك، ينبغي ملء العمود الخاص برقم الرخصة ووقت المغادرة في السطر الفارغ التالي، وينبغي أن تتم المطابقة فيما بعد في المكتب.

وفي حال قيام السائق ذاته بركن سيارته عدة مرات في نفس المكان خلال الدراسة، ينبغي إعادة إجراء المقابلة في كل مرة. وإذا أبى السائق أن يتعاون أو لم تجرَ مقابلة معه لأسباب أخرى، يمكن للمُحاور كتابة كلمة "مرفوض" أو كلمة "فائتة" في عمود "الغرض". يمكن أحيانًا تحديد نهاية الرحلة والغرض منها بمراقبة مكان سير السائقين والمبني الذي يدخلون فيه.

أ-١٣-٣-٥ عدّ ساحات وقوف المركبات:

تتطلب الأنظمة المتقدمة لإدارة ساحات وقوف المركبات معلومات دقيقة وحسنة التوقيت عن عدد ساحات وقوف المركبات. وهناك نوعان من العدادات يمكن استخدامهما: عدادات الدخول/الخروج، وأجهزة كشف إشغال الأماكن. وتوفر عدادات الدخول/الخروج معلومات موسعة عن إتاحة ساحة انتظار بالمكان أو الطابق أو الممر. كما تزود أجهزة كشف إشغال الأماكن سائقي المركبات بمعلومات عن توافر ساحات محددة لوقوف المركبات. ويمكن أن تُستخدم تقنية الحلقات الحثية، وكشف الفيديو، والاستشعار بالموجات فوق الصوتية، وغيرها من التقنيات الأخرى لعدّ وكشف أعداد المركبات التي تدخل المنطقة، وتخرج منها أو إذا ما كانت ساحات وقوف المركبات مشغولة. ويتمثل الهدف الرئيس لأنظمة عدّ ساحات الانتظار في توفير المعلومات مباشرةً لسائقي المركبات الراغبين في ركن سياراتهم. ويشيع استخدام الأنظمة المتقدمة لإدارة ساحات الانتظار بالمرائب الكبرى، مثل تلك الموجودة بالمطارات حيث يود المالك تقليل العملاء المتجولين بسياراتهم بحثًا عن مكان. كما يمكن تخزين المعلومات وتحليلها؛ لتحديد أنماط الطلب على ساحات الانتظار ومستويات شَغل تلك الأماكن ومعدلات الانعطاف، والحاجة لمزيد من مرافق وقوف المركبات ومدى تأثير استراتيجيات التسعير أو الإدارة.

أ-١٣-٤ تقليل البيانات وتحليلها:

أ-١٣-٤-١ جدولة:

تُحسب مدة ركن السيارة ومسافة السير في المكتب. كما تُحدَّد مسافة السير عبر نظام رصيف المشاة المتاح لأقرب نقطة دخول أو خروج من جهة المبنى. وفي تبويب وجهات المرافق المحددة، مثل: متاجر البيع بالتجزئة، والمباني المكتبية، يفضل عادةً تعيين أرقام كودية لتلك المباني. ويمكن أن يتم ذلك على أساس كل مبنى على حدة باستخدام سلسلة أرقام تبدأ من العدد ١٠٠ لتميز تمييزًا واضحًا بين مرافق الانتظار ومرافق المشاة. وفي أغلب الأحوال، ستُدمج كافة وجهات الانتظار داخل مبنى معين بُغية تحديد الفوائض وأوجه القصور بساحات وقوف المركبات بالساعة.

ستكون هناك حاجة إلى معلومات مجدولة، مثل: الغرض من الرحلة المتعلق بطول مدة وقوف السيارة ومسافة السير المتعلقة بغرض الرحلة ومرفق وقوف السيارة. اعتمادًا على تطبيق الدراسة، مثل: إعداد تقرير جدوى لإنشاء مرافق جديدة لوقوف المركبات مدرة للإيرادات، سيلزم تحديد عدد سائقي المركبات المتوقفة حسب الغرض من الرحلة ومدة الوقوف لكل قطاع. ويمكن أن تُستخدم مجموعة متنوعة من النماذج الخاصة كما هو موضح في الجداول (أ-٧٨) من خلال (أ-٨٦).

الجدول (أ–٧٨) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15).

وقوف المركبات حسب نوع المرفق والغرض من الرحلة							
نوع المرفق	الغرض من الرحلة						
	عمل	سياحة/ترفيه	دراسة	تسوق	أعمال شخصية	غير ذلك	غير معروف
مناطق غير محددة المدة							
(مناطق تتراوح مدتها ٣٠ دقيقة)							
(مناطق تتراوح مدتها ١ ساعة)							
إلخ.							

الجدول (أ–٧٩) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 adjusted).

وقوف المركبات حسب نوع المرفق ومسافة المشي										
نوع المرفق	مسافة المشي المقطوعة (أمتار)									
	أقل من ٣٠	من ٣٠ إلى ١٤٩	من ١٥٠ إلى ٢٧٤	من ٢٧٥ إلى ٣٩٩	من ٤٠٠ إلى ٥١٩	من ٥٢٠ إلى ٦٠٠	٦٠٠<	غير معروف	الإجمالي	متوسط المسافة
مناطق غير محددة المدة										
(مناطق تتراوح مدتها ٣٠ دقيقة)										
(مناطق تتراوح مدتها ١ ساعة)										
إلخ.										

الجدول (أ–٨٠) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 adjusted).

وقوف المركبات حسب نوع المرفق، ومدة وقوفها.									
المدة	مسافة السير المقطوعة (أمتار)								
	٣٠ >	من ٣٠ إلى ١٤٩	من ١٥٠	من ٢٧٥	من ٤٠٠	من ٥٢٠	٦٠٠<	غير معروف	الإجمالي	متوسط المسافة

وقوف المركبات حسب نوع المرفق، ومدة وقوفها.									
			إلى ٢٧٤	إلى ٣٩٩	إلى ٥١٩	إلى ٦٠٠			
من ٠ إلى ١٤ دقيقة									
من ١٥ إلى ٢٩ دقيقة									
من ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة									
إلخ.									

الجدول (أ–٨١) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15 (adjusted).

وقوف المركبات حسب الغرض من الرحلة ومسافة المشي							
مسافة المشي (أمتار)	الغرض من الرحلة						
	عمل	سياحة/ترفيه	دراسة	تسوق	أعمال شخصية	غير ذلك	غير معروف
أقل من ٣٠							
من ٣٠ إلى ١٤٩							
من ١٥٠ إلى ٢٧٤							
إلخ.							

الجدول (أ–٨٢) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15).

وقوف المركبات حسب الغرض من الرحلة ومدة الوقوف							
المدة	الغرض من الرحلة						
	عمل	سياحة/ترفيه	دراسة	تسوق	أعمال شخصية	غير ذلك	غير معروف
من ٠ إلى ١٤ دقيقة							
من ١٥ إلى ٢٩ دقيقة							
من ٣٠ إلى ٥٩ دقيقة							
إلخ.							

الجدول (أ–٨٣) الأشكال النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15).

وقوف المركبات حسب الغرض من الرحلة، والمربع المكاني للمقصد							
المربع المكاني للمقصد	الغرض من الرحلة						
	عمل	سياحة/ترفيه	دراسة	تسوق	أعمال شخصية	غير ذلك	غير معروف

الجدول (أ–٨٤) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15).

وقوف المركبات حسب المدة والمربع المكاني للمقصد																
المربع المكاني للمقصد	مدة وقوف المركبات (ساعات)															
	٠,٢	من ٠,٢٥ إلى ٠,٤٩	من ٠,٥ إلى ٠,٩٩	من ١ إلى ١,٩٩	من ٢ إلى ٢,٩٩	من ٣ إلى ٣,٩٩	من ٤ إلى ٤,٩٩	من ٥ إلى ٥,٩٩	من ٦ إلى ٦,٩٩	من ٧ إلى ٧,٩٩	من ٨ إلى ٨,٩٩	٩<	غير معروف	إجمالي	المتوسط

الجدول (أ–٨٥) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: ITE, (2010a) – Exhibit 16-15).

موجز عام لاستخدام وسعة ساحة موقف المركبات				
رقم المربع المكاني	أماكن وقوف المركبات	الحد الأقصى لإجمالي المتوقع لعدد مرات استخدام الموقف الواحد	عدد مرات استخدام الموقف الواحد الملحوظ	رقم مقصد السائق

الجدول (أ–٨٦) الصيغ النموذجية لجدولة بيانات وقوف المركبات – (المصدر: : Exhibit 16-15 – (ITE, (2010).

موجز عام لاستخدام وسعة مكان الوقوف-ساعة						
	عرض		استخدام			
رقم المربع المكاني	الأماكن المتاحة	السعة المتوقعة لساعات استخدام موقف المركبات	أرقام المركبات المتوقفة	ساعات استخدام ساحة الانتظار	مقصد السائق	ساعات استخدام ساحة الانتظار لمقصد السائق هذا.

أ-١٣-٥ موجز:

ينبغي أن يرمي تحليل دراسات وقوف المركبات إلى تقييم التقنيات الحالية لوقوف المركبات والتقليل المحتمل لمسائل تزويد ساحات المركبات بالعديد من تقنيات الإدارة. كما تتوافر مجموعة واسعة من تقنيات إدارة وقوف المركبات، وينبغي العناية في اختيارها لكل حالة فريدة أو مشكلة وقوف المركبات.

أ-١٤ مسوحات المنبع-المقصد:

أ-١٤-١ أنواع المسوحات للمنبع والمقصد:

التقنيات الشائعة الاستخدام لجمع بيانات جهة المغادرة، والوصول هي:

- مسح لوحة رقم المركبة.
- أسلوب إجراء مقابلات جانب الطريق.
- مسح البطاقات البريدية.
- مسح الضوء الأمامي.
- أسلوب ملصق الزجاج الأمامي.
- أسلوب عنوان التسجيل.

يمكن تطبيق استخدام تقنية "جي بي إس" للسرعة لتحديد مسار تنقل المركبة ومن ثم نهاية تلك الرحلة وجهة مغادرتها. كما يمكن تطبيق تقنية إلكترونية لجمع الرسوم، حسب الاقتضاء، لتلائم مسوحات المنبع-المقصد. تتيح إمكانية وجود بطاقات رسم المرور الإلكترونية في أسطول المركبات مزيدًا من الفرص؛ لتحديد دخول المركبات وخروجها في الأماكن التي يمكن استخدامها في نطاقات المسح.

أ-١٤-١-١ أسلوب لوحة رقم المركبة:

تُعد هذه التقنية أشهر التقنيات استخدامًا في مسح المنبع-المقصد؛ حيث تتضمن تمركز المراقبين في مواضع محددة في إحدى المناطق وحولها لتسجيل لوحات أرقام المركبات ووقت مرور كل مركبة بالمراقب. بعد ذلك، يمكن العثور على مسار المركبة عن طريق مطابقة عمليات المراقبة. كما أنها أنسب تقنية لأنماط المرور ذي العدد الكبير من وجهات المنبع-المقصد والمرتبطة بشبكة طرق معقدة. هذا هو الوضع الشائع في أي منطقة حضرية. ويتمثل أحد عيوب هذه التقنية في القدر الكبير من الجهد المطلوب في ترميز البيانات وتحليلها. ويمكن أن يساعد استخدام الحاسب المحمول وأجهزة المساعد الرقمي الشخصي في تخفيف المشكلة هذه.

وتتمثل أحدث التطورات في تقنية معالجة الصورة الأكثر تطورًا للتعرف التلقائي على لوحات أرقام المركبات. وفي حالة تحديد إحدى المركبات بنقاط مراقبة مختلفة، تصبح جهة مغادرتها ووصولها في شبكة الطرق؛ بالإضافة إلى مدة الانتقال بين أي نقطتي مراقبة، متوفرة. وما زالت تلك التقنية مكلفة بالنسبة لجمع البيانات العامة، ومن الممكن أن تحيل قوانين الخصوصية دون إتاحة الجهات لتلك البيانات للجمهور.

أ-١٤-١-٢ أسلوب إجراء مقابلات جانب الطريق:

يتيح هذا النوع من المسح أفضل فرصة لجمع البيانات الشاملة عن حركات المرور، بيد أنه لا تُجرَى غالبًا بسبب انعدام السلطة. وبوجه عام، ليس لأحد سلطة في إيقاف السائقين (خلافًا لأعمال الطرق، وأية حادثة مرورية) سوى أجهزة الشرطة. وبفضل تلك التقنية، تُوجَّه المركبات لأي موقف على جانب الطريق، ويُطلب من السائقين الإجابة على استبيان مسبق بشأن تفاصيل رحلتهم.

كما تتيح التقنية جمع المعلومات غير المتوفرة من عمليات المراقبة البسيطة. على سبيل المثال: يمكن معرفة جهة المغادرة الدقيقة للرحلة وجهة وصولها النهائية، فضلًا عن المعلومات عن الغرض من الرحلة، وتكرارها، وتفاصيل المسار الذي اتخذته. وينبغي أن تتسم المقابلة بالقصر، والوضوح، وألا يشوبها الغموض لكل من المُحاوِر ومن تُجرَى معه المقابلة. وينبغي ألا تبحث إلا عن المعلومات المتعلقة بالغرض من الدراسة.

إذا أُجريت المقابلات على الدخول والخروج المروري من خط الطوق (الكوردون) حول منطقة الدراسة؛ فإن التدفق الذي ينتج حركة الدخول يكون بالفعل وسيلة للتدفقات المحددة في نقطة الدخول والخروج. كما أن تقنية إجراء مقابلات جانب الطريق ليست مناسبة بشكل عام للاستخدام في المناطق الحضرية؛ حيث يجعل التدفق المروري المرتفع وحرم الطريق المقيد من الصعب إيقاف المركبات التي تشملها العينة دون عرقلة حركات المرور الأخرى.

كما يلزم أيضًا التحقق من مشروعية مطالبة السائقين بالوقوف حتى مع تعاون أجهزة الشرطة لأسباب أخرى غير عدم مراعاة قواعد الطريق.

أ-١٤-١-٣ مسح البطاقات البريدية:

تطلب التقنية هذه من السائقين بأن يأخذوا استبيان ذاتي وأن يكملوه، ثم يقوموا بإرساله مرة أخرى إلى مؤسسة المسح. عادةً ما تحقّق معدلات الرد من ٣٠-٥٠٪ عن طريق إرسال الرد المدفوع. وتُعد العودة التي تمثل على الأقل ٢٠٪ مهمة لحد أقصى خمسة أسئلة موصى بها. كما أن تقنية مسح البطاقات البريدية لا توفر معلومات مثلما توفر مقابلات جانب الطريق، بيد أنها تساعد على الأوضاع التي يكون تأخير السائقين فيها أكثر من دقيقة غير آمن وتوفر معلومات أكثر من المراقبة المباشرة.

أ-١٤-١-٤ مسح الضوء الأمامي:

في تقنية مسح الضوء الأمامي، يُطلب من السائقين في موقع معين بإضاءة المصابيح الأمامية لمركباتهم، وأن يتركوها لمدة محددة أو حتى يُطلب منهم إطفائها. وعلى المراقبين بمواقع التدفق تسجيل توزيع المركبات ذات المصابيح الأمامية المُضاءة.

ويمكن تطبيق التقنية هذه في المناطق الريفية حيث جهات مغادرة الرحلة بها محدودة. كما تتبَّع جهات وصول المركبات التي تدخل منطقة على طول طريق معين. لا يمكن أن تُستخدم التقنية إلا في النهار، وتتطلب مستويات عالية من تعاون الجمهور. ومن ضمن مميزات هذه التقنية: قلة تعطيل المرور وإجراء تحليل سهل وسريع للنتائج. كما أنه لا يمكن أن تُطبق هذه التقنية سوى في شبكات بسيطة نسبيًا. لعدم وجود سلطة تطلب من السائقين إضاءة المصابيح الأمامية لمركباتهم، يمكن أن تُستخدم هذه التقنية بصورة أقل.

أ-١٤-١-٥ مسح ملصق الزجاج الأمامي:

تتيح هذه التقنية التمييز بين جهات المغادرة المنفصلة من خلال استخدام ملصقات ملونة مختلفة. يمكن أن يتطلب الأمر توقف المرور لوقتٍ قصير لإصدار ملصقات للسائقين، أو يمكن وضعها على المركبات المتوقفة، أو تسليمها للعملاء قبل مغادرتهم موقع معين. بعد ذلك، ينبغي جمع الملصقات في محطات طوق المسح. وقد يكون المسح عبارة عن مسح استقصائي بالبطاقة البريدية، حيث يكون (الملصق) عبارة عن بطاقة استبيان صغيرة. يمكن أن تُستخدم هذه التقنية أيضًا لدراسات تحركات المنبع-المقصد للمشاة.

وتُعد هذه التقنية سهلة التطبيق وتحليل البيانات بها بسيط نسبيًا. ورغم ذلك، فهي تتطلب دعايةً مسبقةً للحصول على تعاون الجمهور، كما تُعد الإشارات المناسبة ومساعدة الشرطة أمرين ضروريين عند الاقتراب من أماكن المسح.

أ-١٤-١-٦ مسح عنوان التسجيل:

تستفيد هذه التقنية من المعلومات عن عناوين منازل مالكي المركبات. وينبغي تسجيل أرقام تسجيل المركبة، ثم التحقق من العنوان المسجل لكل مركبة من السجلات الرسمية. وتطرأ عدة مشكلات في التقنية هذه. كما ينبغي أن العنوان المسجل لكل مركبة من المركبات هو بداية الرحلة و/أو نهايتها. وبالنسبة إلى المركبات المسجلة بعناوين تجارية، ينبغي أن تُسجل كذلك بصرف النظر عما إذا كانت عادة بالمرآب في مناطق سكنية.

أ-١٤-١-٧ رقاقات تحديد الهوية بموجات الراديو:

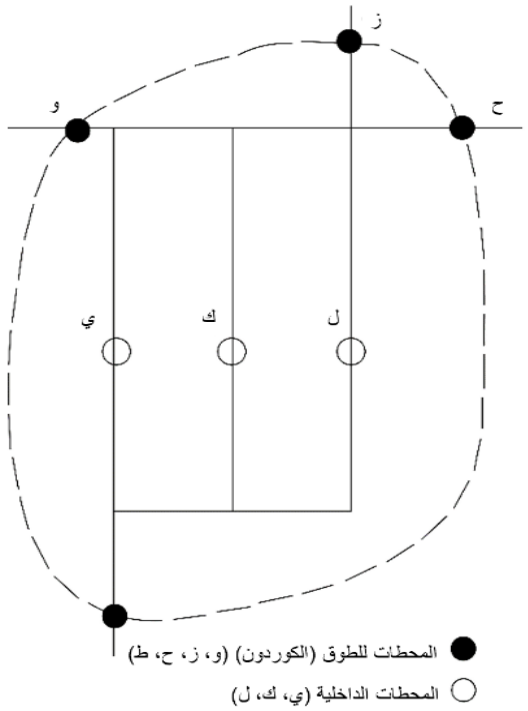
رقاقات تحديد الهوية بموجات الراديو هو مفهوم جيني لتحديد الأجهزة التي تنقل هويتهم (الرقم التسلسلي) لاسلكيًا. وتُستخدم رقاقات تحديد الهوية بموجات الراديو لتعقب البضائع في سلاسل التوريد، لإدارة الأجزاء في عمليات الإنتاج في الوقت المحدد وفي بعض أنظمة جمع الرسوم الآلية. كما يمكن استخدام رقاقات تحديد الهوية بموجات الراديو؛ لقياس تحركات البضائع/المركبات ومدة رحلة البضائع/المركبات للبداية والنهاية عبر الشبكة، غير أن هذا سيتطلب تثبيت أجهزة قراءة رقاقات تحديد الهوية بموجات الراديو عبر الشبكة.

أ-١٤-٢ إجراء مسح لوحة رقم المركبة:

ينبغي بدء عملية المسح بتحديد الغرض من المسح في إطار دراسة المرور التي ينتمي لها، ثم وضع الأهداف التي ينبغي تحقيقها، واختيار تقنية المسح للسكان الذين تشملهم العينة. وهناك حاجة للتقديرات الآتية بمجرد أن تُختار تقنية لوحة رقم المركبة لإجراء مسح المنبع-المقصد.

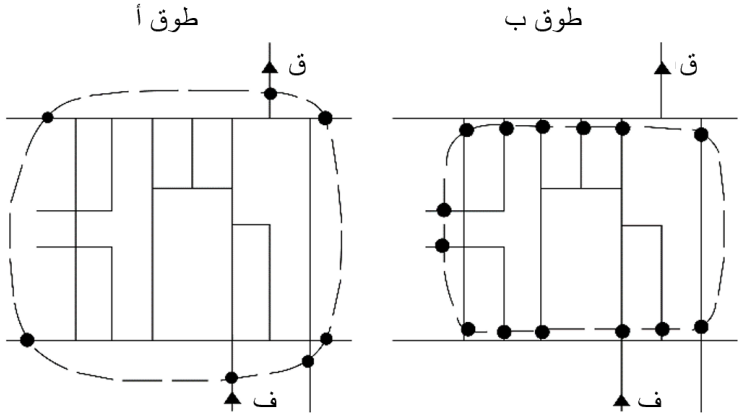
أ-١٤-٢-١ تحديد الطوق (الكوردون):

ينبغي أن تشير أغراض الدراسة إلى مدى منطقة المسح. كما ينبغي أن تُستخدم أهداف عملية المسح وقيودها؛ لتحديد التفاصيل الدقيقة للطوق (الموصوفة في دراسة حجم المرور قسم). بعد ذلك، تُوضع محطات مسح في الطوق (الكوردون) وداخل المنطقة لتسمح بمراقبة التحركات داخل المنطقة وخارجها فضلًا عن معلومات عن المسار. الشكل (أ-٨٣) يميز المحطات الداخلية من محطات الطوق (الكوردون).

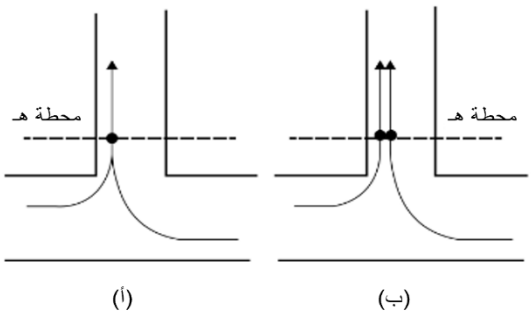


الشكل (أ–٨٣) المحطات للطوق (الكوردون) وداخل منطقة الدراسة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.1).

يجب أن تُحدَد أماكن المحطات بعناية لتقليل عدد المحطات في أثناء الحفاظ على مستوى التفاصيل المطلوب، ولإزالة حالات الغموض المحتملة في البيانات الشكل (أ-٨٤). وفيما يتعلق بتلك المحطات الموجودة عند التقاطعات، ينبغي إجراء عمليات مراقبة لكل حركة انعطاف منفصلة، كما هو موضح في الشكل (أ-٨٥). كما أنها عادة ليست أكثر صعوبة وكلفة لتسجيل التدفقات حسب الحركة، وعندئذ تتوفر المزيد من البيانات القيّمة.



الشكل (أ–٨٤) تحديد مواقع محطات الطوق (الكوردون) (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.2).



الشكل (أ–٨٥) تسجيل حركات الانعطاف المنفصلة في المحطة (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.3).

أ-١٤-٢-٢ تحديد وقت إجراء المسح:

ينبغي اختيار موعد إجراء المسح خلال اليوم لتغطية الفترة التي ستُراقب فيها المرور (القابلة للتحويل) (مثل: تدفقات أوقات الذروة في المناطق الحضرية، أو أوقات التسوق المزدحمة بمركز التسوق). وتعتبر مدة إجراء المسح ذات شأن أيضًا. وينبغي أن تتيح عملية المراقبة فترات (بدء التشغيل) و (الإغلاق) التي نُوقشت في الجزء الفرعي (أ-١٤-٣).

أ-١٤-٢-٣ تحديد معدل العينات:

عادةً ما يُجرَى أخذ عينة من لوحات أرقام المركبات على أساس رقم محدد، مثل: الرقم الأخير في لوحة رقم المركبة. وسيؤدي إجراء أخذ عينة على أساس الرقم الأخير، لنقول مثلًا: المنتهي ب ٤ إلى معدل أخذ عينات *مسبق* بواقع واحد في العشرة، في حين سيعطي إجراء أخذ عينة من جميع المركبات المنتهية لوحتها بالرقم ١ أو ٢ معدل أخذ عينات بواقع واحد في الخمسة. وستُحقَّق المزيد من النتائج الدقيقة حال اختيار الأرقام ١ أو ٤ مقارنة بالأرقام ٦ أو٨ أو٩ التي يسهل حدوث الالتباس بها. تشير التجربة العملية إلى أن أخذ عينة على قيمة واحدة من الرقم الأخير ينتج عنها عينة بنسبة ١٠٪، بمجرد مجاوزة عمليات المراقبة المرورية في المحطة ٢٠٠٠ مركبة.

ويتمثل أحد البدائل المفيدة للحروف على لوحة رقم المركبة في لون المركبات الذي يسهل تقييمه. ويُقدر معدل العينة بوضع عداد حركة مرور آلي في موقع مسح أو أكثر. وتبدو نسبة الألوان المختلفة للمركبات في التدفق المروري مستقرة نسبيًا.

أ-١٤-٢-٤ تحديد الحروف المراد تسجيلها:

يشيع تسجيل أربعة حروف بدلًا من جميع حروف لوحة رقم المركبة. يمكن أن تشتمل الحروف على ثلاثة أرقام وحرفٍ واحد أو رقمين وحرفين، إلخ. ويتطلب تسجيل المزيد من الحروف مزيدًا من الجهد؛ بيد أنه قد ينتج عنه تقليل تكرار لوحات أرقام المركبات. وهناك حل وسط بين الجهد المطلوب ومستوى التكرار. كما أن تسجيل أقل من العدد الفعلي للحروف يعالج أيضًا أية مخاوف يمكن أن تُثار بشأن الخصوصية.

أ-١٤-٢-٥ جمع البيانات الميدانية:

تُسجَّل البيانات الآتية عادةً لكل عملية مراقبة:

- رقم لوحة المركبة (لعدد محدد من الحروف).
- الموقع (محطة المراقبة).
- اتجاه الرحلة.
- وقت المراقبة.
- نوع المركبة.

يمكن أن يُسجّل بالورقة والقلم، أو بمسجل شريط الكاسيت، أو جهاز الحاسب المحمول/المساعد الرقمي الشخصي. وتتمتع سيارة الركاب بعدد من المميزات، مثل: احتوائها على ساعة مدمجة لتسجيل أوقات الوصول تلقائيًا، والبيانات الفورية التي يمكن أن تُقرأ بواسطة الحاسب؛ بيد أن هناك عيوبًا ينبغي وضعها في الحسبان، منها: عمر البطارية، والتأثير، ومقاومة الماء، والتكلفة الأولية. وللتقنيات الأخرى مزايا ملاءمة خاصة بها. وفي حال إخفاق كافة الوسائل الأخرى، يقدم نموذج المسح وسيط تخزين مفهوم وقابل لإعادة البناء. وتُعد تسجيلات الكاسيت مفيدة لتدفقات المرور الكثيفة، غير أنها مملة في نسخها بعد إجراء المسح. ويمكن أن يكون بها أنواع خاصة من الأخطاء. ويمكن استخدام تقنيات التعرف على الصوت لنسخ بيانات لوحة رقم المركبة تلقائيًا.

أ-١٤-٣ مصادر الخطأ في مسوحات جهتي المنبع-المقصد:

يمكن أن تحدث الأخطاء في مسح جهة المنبع-المقصد من مصدرين منفصلين.

- في جمع البيانات الميدانية، مثل: الخطأ في تسجيل عمليات مراقبة البيانات، وأخطاء بدء التشغيل والإغلاق.
- التطابقات الزائفة جراء التأثيرات المركبة في تحليل لوحات أرقام المركبات الجزئية.

أ-١٤-٣-١ أخطاء في تسجيل البيانات

يشيع ارتكاب الأخطاء الآتية عند جمع بيانات لوحات أرقام المركبات، ويعد الترتيب مؤشرًا للتكرار النسبي لحدوثها:

- فقدان الرقم بالكامل.
- التسجيل الخاطئ لحرف أو أكثر، أو تبديل حرفين.
- التسجيل الخاطئ لاتجاه التحرك.
- التسجيل الخاطئ لنوع المركبة.

كما أن حدوث أي من هذه الأخطاء تباعًا، عادةً ما يستبعد إمكانية التطابق الناجح مع أي عملية مراقبة أخرى. ومن ثم فإن مراعاة الوسائل التي قد تقلل من أخطاء التسجيل أمر ضروري في إجراء المسح الجيد. ويتمثل الاهتمام الأول في اختيار المراقين المراد استخدامهم، والمحطات المخصصة لهم. ينبغي إرسال مراقبين ذوي خبرة إلى المواقع التي من المتوقع كثافة حجم المرور فيها.

أ-١٤-٣-٢ أخطاء بدء التشغيل والإغلاق:

ولأن كل رحلة في المنطقة التي تشملها الدراسة ستتضمن وقتًا محدودًا؛ ينبغي أن تُفسر المركبات الأولى المغادرة للطوق وقت إجراء المسح على أنها رحلات محلية، حتى وإن كانت في الحقيقة رحلات عابرة. ونظرًا لدخولها منطقة الدراسة قبل بدء إجراء المسح، فليس هناك سجلات بدخولها المنطقة. كما تحدث مشكلة مشابهة في نهاية إجراء المسح. وتقنيتَي التعديل كالتالي:

- ينبغي تجاهل جميع عمليات المراقبة التي تمت خارج الطوق (الكوردون) بعد بدء المسح بفترة زمنية، وكذلك التي تتم داخل الطوق (الكوردون) قبل نهاية المسح بفترة زمنية مماثلة. وتُعد الفترة الزمنية هذه الوقت المستغرق تقريبًا للمركبة لعبور منطقة الدراسة بسرعة فائقة، وهي حتمًا دالة على حجم منطقة الدراسة ونوعها.
- ينبغي استخدام التطابق اليدوي للوحات أرقام المركبات عند بدء إجراء المسح لتحديد الوقت الذي تمر فيه أول (موجة) من المركبات -الداخلة في الطوق (الكوردون) عند بدء المسح- بكل محطة. يمكن تجاهل عمليات المراقبة قبل هذه الموجة. ويمكن أن تُطبَّق تقنية مماثلة في نهاية إجراء المسح.

أ-١٤-٣-٣ الحروف الغامضة:

وفقًا لتقنية التسجيل، سيكون هناك أزواج من الحروف التي قد يشوبها الغموض بسهولة. على سبيل المثال: قد يحدث لبس في التسجيلات المكتوبة بين الحرف إس (S) والرقم ٥، وكذلك بين ٢ والحرف زد (Z)، وفي التسجيلات الصوتية بين كل من الحرف بي (B) ودي (D)، وكذلك بين إم (M) و إن (N)، بالإضافة إلى الحروف الأخرى. وتزداد احتمالية حدوث هذا النوع من الخطأ عندما يعلن أحد المراقبين عن لوحات أرقام المركبات لمراقب آخر يقوم بتدوين البيانات في الكشوف الميدانية. وقد تُقرأ البيانات المكتوبة يدويًا بصورة خاطئة. خلال تحليل البيانات، يمكن تحقيق مزيدًا من التطابقات باستبدال حرف من كل حروف المشكلة مع زوجه.

أ-١٤-٣-٤ تطابقات زائفة:

يمكن أن تحدث أخطاء نتيجة التطابقات الزائفة في تحليل لوحات أرقام المركبات الجزئية. على سبيل المثال: قد تُراقب ثلاث لوحات مختلفة: أيه بي سي١٢٣(ABC123)، بي أيه سي١٢٣(BAC123)، وسي أيه بي١٢٣(CAB123). وإذا أُجري التحليل على أساس الحروف الأربعة الأخيرة، ستكون اللوحات الجزئية على شكل سي١٢٣(C123)، سي١٢٣(C123)، وبي١٢٣(B123). وبالتالي ستتطابق أول عمليتي مراقبة. ويسمى هذا تطابق زائف. وفي حالة استخدام الحروف الثلاثة الأخيرة فقط، قد تُفسر كافة عمليات المراقبة على أنها لمركبة واحدة. ومع تشديد قوانين الخصوصية، يشيع تسجيل بيانات لوحات أرقام المركبات الجزئية فقط، ولذا يجب وضع حدوث أخطاء محتملة في الحسبان.

من المحتمل أن تؤدي الأخطاء المضاعفة في مسوحات لوحات المركبات في جهة المنبع-المقصد إلى سوء تقدير عدد الرحلات المكتملة عبر منطقة الدراسة. وتشير التجربة إلى أن الأخطاء في مراقبة بيانات لوحات أرقام المركبات وتسجيلها قد تفوق الأخطاء الناجمة عن التطابق الزائف، وبالتأكيد إن روقبت أربعة حروف من لوحات أرقام المركبات على الأقل. كما يمكن تقليل الأخطاء بدرجة كبيرة إذا كانت الحروف المحددة تحتوي على حروف أبجدية أكثر من الرقمية، أي أنه إذا كانت لوحات أرقام المركبات في الغالب على شكل أي بي دي١٢٣(ABD123)، ستؤدي مجموعة الحروف الأربعة الأولى إلى تطابقات زائفة أقل مما لو سُجِّلت الحروف الأربعة الأخيرة.

أ-١٤-٤ تحليل البيانات وتقديم النتائج:

أ-١٤-٤-١ تحليل بيانات لوحات أرقام المركبات:

هناك عدة برامج حاسوبية متاحة لتحليل بيانات لوحات أرقام المركبات. وسيكون لكل برنامج منطق داخلي، ومن المحتمل أن يحقق اثنان من البرامج المختلفة نتائج مختلفة. كما يوصى باتخاذ إجراء ثنائي المسار لغرض تحليل بيانات لوحات أرقام

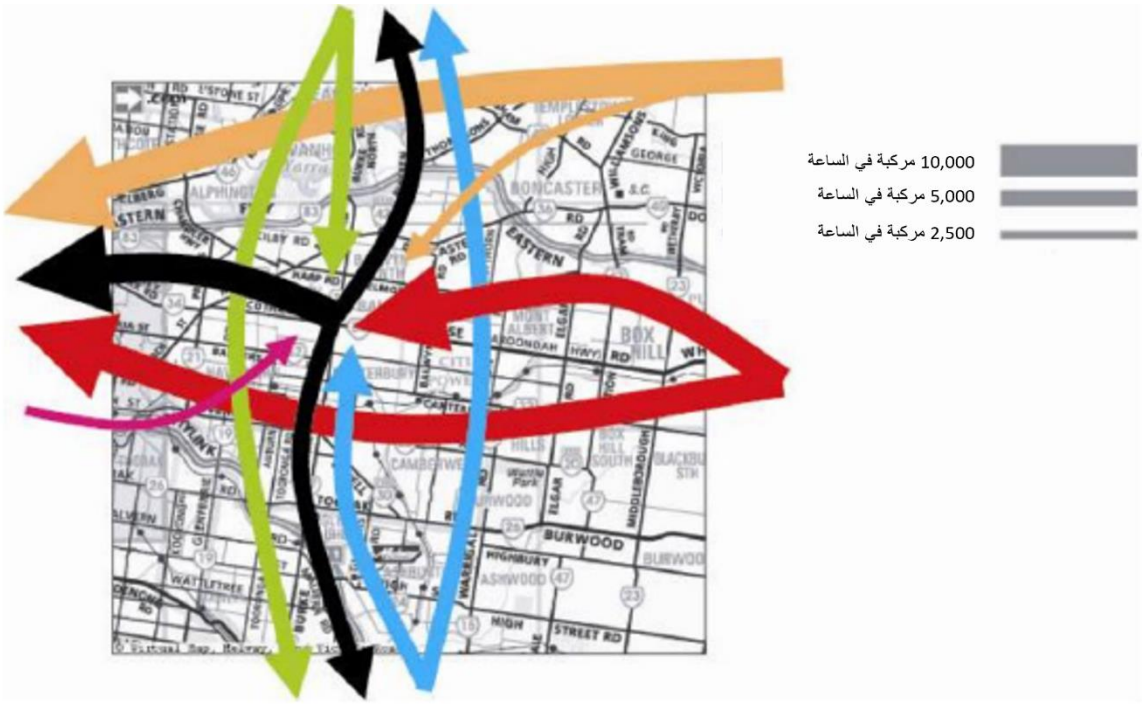
المركبات، مع القدرة على توضيح أخطاء التسجيلات الجزئية للبيانات. يمكن للمسار الأول البحث عن التطابقات الدقيقة بين محطات التسجيل، مما يؤدي إلى إنشاء مصفوفة أولية للمنبع والمقصد. وبعد ذلك، يمكن البحث عن اللوحات غير المتطابقة مقابل (أزواج الحروف المتطابقة تقريبًا) (مثل: اختلاف في حرف واحد، أو تبديل حرفين). ويمكن إضافة التطابقات المقدرة إلى التطابقات الدقيقة لإنشاء مصفوفة إجمالية بالمنبع-المقصد.

أ-١٤-٤-٢ تقديم النتائج:

عادةً ما تتمثل النتيجة الرئيسة من مسح جهة المنبع-المقصد في مصفوفة توضح الرحلات من كل جهة مغادرة إلى كل نهاية في الدراسة. يمكن أن يكون العرض المناسب لمصفوفة جهة المنبع-المقصد على شكل رسم توضيحي للخط المفضل. ويوضح الرسم التوضيحي رغبة التنقل بين مناطق جهة المنبع-المقصد، ممثلة بخطوط مستقيمة تربط بين جهات بداية الرحلة ونهايتها. ويشير العرض النسبي للخطوط إلى الكمية النسبية للتنقل بين المناطق.

في حال وجود العديد من جهات المنبع-المقصد؛ قد تُفقَد بيانات الرسم التوضيحي للخط المفضل؛ لذا سيكون مفيدًا إن كان للبرنامج الحاسوبي الخيار في إنشاء رسومات توضيحية محددة للخط المفضل للرحلات من جهة مغادرة معينة إلى نهاية معينة أو بين زوجَي بداية ونهاية، بالإضافة إلى رسم توضيحي شامل للخط المفضل. ويمكن أن يستفيد إنشاء رسومات توضيحية للخط المفضل من تقنية قاعدة البيانات المكانية، مثل: نظام المعلومات الجغرافية.

يرد مثال رسم توضيحي للخط المفضل في الشكل (أ-٨٦).



الشكل (أ–٨٦) رسم بياني للخط المرغوب يوضح الرحلات بالقرب من تقاطع كيو، ملبورن، أستراليا (المصدر: AUSTROADS, (2020a) – Figure D.4).

أ-١٤-٤-٣ موجز:

توفر مسوحات جهة المنبع-المقصد معلومات مفيدة عن أنماط التنقل التي يمكن استخدامها لتخطيط المرور. فهي تُعد مسوحات ذات أهمية لمهندسي المرور؛ بيد أن هناك بعض الصعوبات الكبيرة في استخدامها. ولا يمكن التغلب على تلك الصعوبات سوى باستخدام أفضل ممارسات المسح. ويُعد هذا النوع من المسوحات مكلفًا ويصعب إدارته؛ ولذا يستحق العناية في تخطيطه، وإدارته، وتحليل بياناته، إذا كانت نتائجه مفيدة وصحيحة فعلًا.

تُستخدم الآن تقنيات جديدة، مثل: تقنية الجي بي إس، ونظام المعلومات الجغرافية، والتعرف التلقائي على لوحة أرقام المركبة، والبلوتوث؛ لإدارة الأسطول، وتنفيذ القانون، وربما تحصيل الرسوم بشكل إلكتروني. ويمكن أن تكون بيانات جهة المنبع-المقصد ناتجًا ثانويًا عن هذه العمليات. ينبغي أن تُعالَج مشكلات الخصوصية قبل أن تصبح هذه البيانات متوفرة بسهولة.

أ-١٥ مسوحات توليد المرور:

أ-١٥-١ جمع البيانات:

تندرج تقنيات جمع بيانات توليد المرور ضمن نوعين رئيسين:

- تقنيات مراقبة حركات المرور في الموقع.
- إجراء مقابلة أو مسوحات استقصائية مع الأفراد المشاركين في نشاط معين في منطقة دراسة معينة.

تتضمن هذه التقنيات تطبيق وسائل أخرى لمسح المرور، مثل: عد المرور (الجزء ٢-٣)، مسوحات جهة المنبع-المقصد (الجزء١٥-٢ ١٥-٢)، عمليات مسح مواقف المركبات (الجزء ٢-١٤)، أو إجراء مقابلات. بعد ذلك، يمكن أن تُحلَّل البيانات المُلاحَظة حول تدفقات المرور، وأعداد الناس وأنماط تنقلاتهم، إلخ؛ لإنتاج معدلات أو مستويات مطلقة لتوليد المرور لنشاط معين لاستخدام الأراضي.

يوصى بجمع بيانات طويلة الأجل لتقديم معلومات عن أوجه التباين في توليد المرور على مدار أيام الأسبوع، وأسابيع العام.

وتُجرَى معظم مسوحات توليد المرور كمسوحات رقابية، خاصة عندما يمكن أن يُنسَب نشاط استخدام الأراضي لمنطقة، أو موقع محدد جيدًا، مثل: مراكز التسوق أو مطاعم الوجبات السريعة. عندما يصبح نشاط استخدام الأراضي أكثر انتشارًا، مثل: توليد المرور من منطقة سكنية، ينبغي أن تقدم المقابلة أو المسح الاستقصائي بيانات أكثر فائدة.

أ-١٥-٢ مسوحات رقابية:

تتضمن المسوحات الرقابية لتوليد المرور تسجيل حركات المرور عبر خط طوق مرسوم حول الموقع. كما تتضمن المسوحات جمع بيانات العد المروري يدويًا أو آليًا. وتشير البيانات هذه إلى تراكم المرور بمرور الوقت. ويمكن أن تُجمَع المزيد من البيانات -مثل: مدة البقاء في منطقة المسح- باستخدام وسائل لإجراء مسوحات ساحة وقوف المركبات.

وإليك موجز بالإجراءات الضرورية لجمع بيانات توليد المرور ((ITE, (2010b):

- ينبغي اختيار مولدات حركة مرور ذات خصائص تطوير مماثلة.
- ينبغي إجراء التعدادات الآلية لفترة تتراوح مدتها ثلاثة أيام على الأقل. ينبغي أن تكون التعدادات اتجاهيةً في فترات زمنية مدتها ١٥ دقيقة، وينبغي أن تتجنب مواقع العد المرور المكتملة والعد المزدوج.
- إذا كانت ساعات الذروة المرورية غير معلومة، ينبغي اختيار أسبوع عادي من العام؛ لتقديم معلومات عن ساعات الذروة في أثناء أيام الأسبوع ونهايته. إذا أظهر التطوير أوجه تباين موسمية كبيرة، ينبغي اختيار (أيام التصميم)، والتي تعكس ال أعلى ٣٠ ساعة.
- إذا كانت هناك حاجة لتعدادات أوقات الذروة، ينبغي إجراء تعدادات يدوية على يوم أو أكثر من أيام الأسبوع العادية. ينبغي جمع بيانات تصنيف المركبة، وإشغال الأماكن عند الاقتضاء. وفي بعض الحالات، يمكن أن تكون التعدادات في أثناء عطلة نهاية الأسبوع ضرورية لتغطية التطورات مع ذروة النشاط في أيام الجمعة وأيام السبت (مثل: مراكز التسوق، والأسواق، والمتاحف).

يقدم السلوك الملاحَظ، لا سيما ذاك الذي يقتصر على وسيلة نقل واحدة (مثل: المركبات الخاصة)، وعلى موقع معين (مثل: ساحة وقوف المركبات خارج الشارع في مركز التسوق) مقياسًا للطلب المعلن. وبالتالي، يشير عدد المركبات الداخلة والخارجة من مركز التسوق إلى الاستخدام الفعلي للمرفق. كما أنه لا يشير إلى الطلب الكلي لاستخدام المرفق؛ لأن المسح الرقابي لن يقدم معلومات عن الطلب الكامن.

أ-١٥-٣ إجراء مقابلات ومسوحات استقصائية:

إذا كان هناك ما يدعو إلى الاعتقاد بأن أحد التطورات له خصائص فريدة لتوليد المرور، ينبغي إجراء المقابلة والمسوحات الاستقصائية لتحديد متوسط غايات رحلة الفرد أثناء أيام الأسبوع حسب وسيلة النقل، وعدد الرحلات الصادرة من الموقع والناتجة عنه. وينبغي الحصول على المعلومات بخصوص مُولِّد المسح من خلال إجراء مقابلات مع مالك أو مدير الموقع، ومحادثات هاتفية، وإرسال/إعادة إرسال مسوحات عبر البريد.

كما ينبغي أن يحصل المسح على أكبر قدرٍ ممكنٍ من المتغيرات لتحديد تلك المتغيرات التي ترتبط بشكل وثيق بتوليد المرور. بعض المتغيرات الضرورية هي ((ITE, (2008) snf ITE, (2010b):

- العدد الحالي للموظفين.
- المساحات الأرضية الإجمالية، أو الصافية، أو القابلة للتأجير.
- عدد الغرف، والوحدات السكنية المشغولة.
- السكان ومساحة التطوير.
- ساعات تشغيل الموقع.
- مناوبات العمل.

- مواصلات عامة متوفرة.

يجب أن يقدم إجراء المقابلات والمسوحات الاستقصائية معلومات أفضل مما تقدمه عمليات مراقبة تحركات المركبة؛ لأنها يمكن أن تقدم فهمًا أفضل لطلب التنقل. ومع ذلك، تُعد المسوحات هذه أكثر كُلفة وصعوبة في التصميم والإدارة من المسوحات الرقابية.

ب- ملحق ب - التحليل المروري ونمذجته:

ب-١ العناصر المنهجية للتحليل المروري:

ب-١-١ وصف المشروع:

يُستخدَم وصف المشروع للتعريف بالمشروع. وينبغي أن يتضمن النطاق العام، والمعلومات الأساسية؛ فضلًا عن خريطة موقع المشروع.

ب-١-٢ الهدف من التحليل المروري:

ينبغي أن يحدد هدف (أهداف) التحليل المروري ما يأتي بوضوح:

- مشكلة الأداء أو الهدف الذي يسعى التحليل للإجابة عليه.
- الاستخدام المراد وأصحاب قرار نتائج التحليل المروري.

ينبغي أن تكون الأهداف واضحة، ومحددة، وقابلة للقياس، وواقعية، بالنظر إلى ما أتيح لها من مصادر، ووقت لتحقيقها. ومن الأهمية بمكان أن تُوضع أهدافًا محددة وقابلة للقياس والتي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بمقاييس الأداء التشغيلي والآمن للمرور. وينبغي تجنب أهداف التحليل العامة؛ لأنها تميل إلى إخفاء احتياجات المشروع، وتؤثر سلبًا على صنع القرار. علاوة على ذلك، ينبغي أن تتوافق أهداف التحليل المروري مع غرض المشروع وبيان الحاجة.

ب-١-٣ حد نطاق التحليل:

يحدد حد نطاق التحليل دراسة المرور في النطاق المكاني والزماني (الحدود المكانية والزمانية). ويتأثر النطاق المكاني بخصائص المشروع الفيزيائية، بينما يتأثر النطاق الزماني بتغير المرور كل ساعة في المشروع. وتُعد دراية المحلل بموقع وتشغيل المرفق الحالي أو التطوير المقترح شرطًا لتحديد الحدود المناسبة لنطاق التحليل. وبالتالي، ينبغي على المحلل قبل تحديد نطاق التحليل أن يراجع خصائص المرفق المكانية والزمانية وأن يكون مُلمًّا بها.

عند تحديد حدود نطاق التحليل، ينبغي مراعاة ما يأتي:

- خصائص المشروع، والمستوى المطلوب للتحليل.
- الموقع الجغرافي للشبكة المراد دراستها.
- حجم، وطوبولوجيا الشبكة، وإتاحة العديد من المسارات.
- تصنيفات الطرق المشكِّلة للشبكة محل الدراسة.
- عمليات التحكم المروري الحالية واستراتيجيات إدارة المرور.
- ظروف الشبكة المستقبلية التي يُخطَّط لها في خطط النقل لمسافات بعيدة، أو خطط الحكومة المحلية لتطوير رأس المال، أو تطوير التأثير الإقليمي المعتمد بالقرب من المشروع.
- التغيرات التي تطرأ على المرور كل ساعة في منطقة المشروع.
- مواقع الاختناقات المرورية (محدودية السعة)، وفترات تنشيطها وتبديدها، ونطاقات صف الانتظار الناجم عنها.

يمكن أن تؤثر صفوف الانتظار المتبقية تأثيرًا كبيرًا على نتائج التحليل؛ لذلك على المحلل التأكد من شمول التحليل لأي صفوف انتظار متبقية تمت مراقبتها في الميدان قدر الإمكان. وإذا استحال جمع تقدير أولي لصف الانتظار، يجب تمديد الفترة الزمنية للتحليل لتبدأ في الفترة التي يقل فيها الطلب عن السعة وتخلو من صفوف انتظار متبقية. ويمكن أن يتطلب شمول التحليل لصفوف الانتظار المتبقية تحاليل متعددة الساعات.

يُعد المحلل مسؤولًا عن تحديد وتضمين أي تطورات خارج منطقة المشروع في نطاق التحليل إذا كان لها تأثير على المشروع. يمكن أن يؤثر عدم مراعاة تلك التأثيرات على نتائج التحليل.

ولتبسيط عملية المراجعة، ينبغي على المحلل أن ينسق مع وحدات مراجعة واعتماد التحليل المروري عند وضع حدود التحليل. كما أن ارشادات وضع حدود التحليل المروري منصوص عليها في الجزء (ب-٢).

ب-١-٤ أداة التحليل المروري ونهج التحليل:

يمكن تصنيف أدوات التحليل المروري على أنها أدوات قطعية أو عشوائية (أو غير قطعية). فالأدوات القطعية هي أدوات لا تُطبَّق فيها العشوائية في أساليبها الحسابية. وتسمى هذه الأدوات بالأدوات التحليلية. ومعظم الأدوات التحليلية قائمة على منهجيات دليل سعة الطرق. وتستخدم الأدوات العشوائية نظام العشوائية في أساليبها الحسابية لنمذجة الأوضاع الحقيقية للمرور العالمية. وتُعد أدوات المحاكاة المجهرية أدوات عشوائية، ولذلك تمتاز بفعاليتها في تقييم الظروف المرورية شديد الاكتظاظ، والتكوينات الهندسية المعقدة، ومدى تأثيرات تحسينات النقل على مستوى النظام والتي تتجاوز حدود الأدوات القطعية.

يحدد الاختيار المناسب لأداة ونهج التحليل نجاح أي جهد من جهود التحليل المروري. ينبغي أن يتوفر لدى المحلل قدرًا كافيًا من معرفة التحليل المروري، مثل الإلمام بنقاط القوة والضعف في أدوات التحليل المروري؛ لكي يتسنى له اختيار أدوات التحليل المناسبة التي تفي باحتياجات المشروع. وينبغي على المحلل أن يدرك أنه لا يمكن لأداة واحدة تحليل جميع ظروف المشروع أو تقديم نموذج بها. ويوصى بأن تشمل جهود التحليل تعقيدات المشروع، ومستوى التحليل المروري، وحجم مشكلة المرور التي يجري تحليلها. وبالتالي، ينبغي أن يتناسب استخدام الأدوات والنهوج المتطورة للغاية مع تعقُّد المشكلة التي يتم حلها. عادةً تُراعى العوامل الآتية عند اختيار نهج التحليل وأدواته لإجراء التحليل:

- نوع المشروع، ومستوى التحليل.
- مقاييس فعالية الأداء المطلوبة.
- ظروف تشغيل المرور، مثل: تشكيل صف انتظار ودرجة التشبع.
- نوع المرفق، والنطاق الجغرافي للتحليل.
- افتراضات ومحددات الأدوات التحليلية المتاحة.
- وجود إستراتيجيات إدارة المرور، وأجهزة تحكم متخصصة في المرور، وميزات أنظمة النقل الذكية.
- إمكانية التشغيل البيني مع برامج التحليل أو إستراتيجيات إدارة المرور.
- القيود على الموارد والميزانية.

تتطلب المشاريع على الطرق الشريانية الحضرية التي تحتاج لتحسين الإشارة، أدوات تحسين الإشارة لتحديد إعدادات الإشارة المُثلى.

ينبغي على المحلل أن يحدد أدوات التحليل المناسبة وإصداراتها وفقًا للعوامل السالفة الذكر. كما أن الإرشادات الإضافية على اختيار أدوات التحليل المناسبة منصوص عليها في الجزءب-٣ . وينبغي تبرير أسباب اختيار تلك الأدوات، وتبيينها بوضوح في منهجية التحليل.

ب-١-٥ متطلبات، وجمع البيانات:

تعتمد متطلبات البيانات لأي تحليل حركة مرور على مستوى تحليل التفاصيل، ونوع التحليل، وأداة التحليل، بالإضافة إلى مقاييس الأداء المستهدف. ينبغي أن تُقَّيم المتغيرات المؤثرة على تشغيل النظام (المركبة، والبيئة، والسائق) وأن تُجمع حسب الاقتضاء لبلوغ هدف التحليل. على أقل تقدير، ينبغي تحديد الافتراضات وبيانات المدخلات، وبيانات المعايرة (عند اقتراح المحاكاة).

ينبغي أن تُصنَّف البيانات المطلوبة على أنها متوفرة من المصادر الموجودة، أو تُقاس ميدانيًا بوسائل الجمع المناسبة المبيَّنة. كما يجب التحقق من نوعية البيانات الموجودة لتحديد مدى مناسبتها لوسيلة التحليل. وقد يتضمن هذا التحقق فحص الصور الجوية، أو الخرائط، أو الرسومات. علاوة على ذلك، يمكن أن تُجمع بيانات العينة أثناء المراجعات الميدانية للتحقق من دقة البيانات الموجودة.

ينبغي أن تمثل البيانات الموجودة أحد الأيام العادية (الاثنين، أو الثلاثاء، أو الأربعاء) من الأسبوع. ورغم ذلك، يمكن أن تُجمع البيانات من أيام الأسبوع الأخرى المعروفة بأعلى الأحجام في المرور بناءً على استخدام المرفق أو الغرض من المشروع. كما ينبغي فحص البيانات واستثناء تلك الأيام التي تأثرت فيها المرور جراء الطقس، والحوادث، والإجازات.

ينبغي استخدام أحدث البيانات الموجودة والتي جُمعت على نحو مفضل خلال الاثني عشر شهرًا المنصرمة كلما كان ذلك ممكنًا. وفي حالة استخدام بيانات قديمة، ينبغي إثبات صحتها والتحقق من معقوليتها. ويُعد نمو المرور التاريخي، وأحدث نموذج مُتبنى للطلب على النقل مصادرًا جيدة لاستخدامها في جهود التحقق (الترسيخ) المروري. وإذا كشفت عملية التحقق من المرور أن الأعداد الموجودة المتاحة غير صالحة بعد الآن، يجب وضع منهجية لتحديث المرور.

عند اقتراح تحليل المحاكاة المجهرية، يجب أن تحدد المنهجية بيانات أداء المعايرة ومتطلبات جمعها. ينبغي إدراج المواقع الرئيسة التي تُجمع فيها البيانات حتى يتمكن المحلل والمراجعون من الاتفاق على سيناريوهات المحاكاة ومتطلبات بيانات المعايرة. وتجدر الاشارة الى أن المعرفة المحلية والملاحظات الميدانية لخصائص تشغيل المرور شرطًا لازمًا في إنشاء مواقع المعايرة.

وبصرف النظر عن مستوى التحليل ونوعه؛ فإنه ينبغي وضع خطة جمع البيانات بحرص. كما نوقشت متطلبات جمع البيانات بالتفصيل في الجزء (ب-٤)

ب-١-٦ توقع الطلب على المرور للمشروع:

ينبغي أن تشمل منهجية المشروع للتحليل المروري إجراء توقع الطلب لتحليل السنة القادمة، وسنة التصميم، والسنة المرحلية، وسنة الافتتاح للتحليل المروري.

ولتطوير توقعات حجم الطلب، ينبغي على المستخدم الرجوع إلى كود الطرق السعودي ٢٠٣ (الدراسات الأولية). وينبغي أن يحدد التحليل هيئة التخطيط الحضري الإقليمية المعتمدة/هيئة تخطيط النقل، وإدارة الطلب على المرور لاستخدامها في التحليل مع نسخته، وسنة الأساس، وسنة (أفق) التخطيط.

ب-١-٧ مقاييس فعالية الأداء:

النتائج العددية من التحليل المروري هي مقاييس الفعالية التي تُعد المقاييس المستخدمة لتقييم أداء النظام. كما تستخدم مقاييس الفعالية أيضًا لمقارنة، وتباين أداء النظام في ظل بدائل التصميم، أو التطوير المتنوعة. ينبغي أن يكون المحلل على دراية بأي قيود لمقاييس الفعالية وقادرًا على تحديدها من أجل قياس أداء النظام المراد تقييمه.

ينبغي أن تحدد المنهجية مقاييس الفعالية لكافة التشغيل والسلامة التي تُستخدم لقياس أداء النظام لتحقيق هدف التحليل والبدائل التي يُجرَى تقييمها. ومن الأهمية بمكان وصف مقاييس الفعالية على أنها قِيست ميدانيًا وأُنشئت تحليليًا.

يُعد مستوى الخدمة مؤشرًا نوعيًا للتشغيل المروري ويسهل التعرف عليه، وتستخدمه جهات متنوعة على نطاق واسع عند تقييم أداء التشغيل المروري للمرافق. ومع ذلك؛ فإن مستوى الخدمة لا يقدم وحده بالضرورة رؤية بشأن الأداء العام للمرفق. ومن ثَمَّ، ينبغي تضمين مقاييس إضافية قابلة للقياس الكمي في التحليل لتقييم أداء النظام أو الشبكة الخاضعة للتحليل بشكل أفضل. ويوصى بأن يطلب المحلل مساهمات من المعنيين بالمشروع عندما يقوم بوضع مقاييس الفعالية للمشروع. كما أن الإرشادات بشأن اختيار مقاييس الفعالية للطرق السريعة والشريانية وتوثيقها منصوص عليها في الجزء (ب-٧).

عندما يتطلب نهج التحليل المقترح أية معايرة، ينبغي أن تبين المنهجية كيفية أداء عملية المعايرة، وما مقاييس أداء المعايرة التي ستُستخدم. وينبغي تحديد كافة معلمات المعايرة والتحقق والمواقع التي ستُفحص فيها. كما ينبغي أيضًا أن تقوم منهجية التحليل بتحديد هوامش الخطأ للمعايرة المطلوبة أو التفاوتات التي سيُسمَح بها. وبالنسبة إلى الإرشادات بشأن المعايرة، والتحقق من صحة نماذج المحاكاة المجهرية، فهي منصوص عليها في الجزء (ب-٦).

ب-١-٨ بدائل المشروع:

إن كافة التحسينات البديلة المطوّرة للمشروع والتي ستتطلب التحليل المروري ينبغي أن توصف في منهجية التحليل. وينبغي أن يكون النقاش عن كيفية وسبب تطوير البدائل موجزًا، وواضحًا. وينبغي أن يكون مُجمل التفاصيل المقدمة متناسبًا مع المستوى المطلوب للتحليل. كما ينبغي أن تُقدَّم الرسوم التوضيحية البيانية لكافة البدائل المدروسة عند معرفة البدائل. ينبغي تقدير بديل (في حالة عدم الإنشاء) على أنه أحد بدائل المشروع. وتشمل البدائل في حال عدم الإنشاء الظروف الموجودة وما طرأ من تحسينات مع التمويل المبرمج لموقع التحليل. كما ينبغي أن يُدرَج وصف كيفية تقييم البدائل وفحصها.

ب-١-٩ تقرير التحليل المروري والوثائق الفنية:

ينبغي تشكيل متطلبات التوثيق للتحليل المروري كجزء من منهجية التحليل المروري، وينبغي وصف كيفية تقديم النتائج للجمهور المستهدف، مثل: واضعي السياسات، والجمهور. ويُعد التوثيق ضروريًا كي يتسنى للمراجع تأكيد افتراضات، ومنهجية التحليل، وبيانات المدخلات، والمخرجات بشكل مستقل، وإذا دعت الحاجة أن يعيد إنتاج نفس النتائج المقدَّمة من المحلل. وبالتالي ينبغي أن تشتمل المنهجية على نقاط التفتيش لتوفير الاستعراضات التقنية المؤقتة والموافقة على جهود التحليل. كما ينبغي أن تكون نقاط التفتيش والوثائق المؤقتة اللازمة لدعم التحليل المروري مناسبة لحجم المشروع ومدى تعقيد التحليل. كما أن متطلبات التوثيق المحددة لتقارير المرور ومخطط نموذجي منصوص عليهم في الجزء (٣-٩) .

ب-١-١٠ تقدير مستوى الجهد:

يمكن أن تشتمل منهجية التحليل المروري على تقدير جهد العمل المطلوب لتحقيق أهداف المشروع. وينبغي أن يحدد تقدير جهد العمل الأفراد، والتخطيط الزمني، والمتطلبات الأخرى التي تشمل المعالم الرئيسة، ونقاط اتخاذ القرار المطلوبة لتقديم تقرير التحليل المروري. وعند اقتراح نهج المحاكاة المجهرية، يمكن أن تشمل المنهجية اقتراح إعداد النموذج الذي قد يساعد الأطراف المعنية بالمشروع على فهم المستوى الواقعي للجهود لإجراء التحليل.

ينبغي تقدير الجهود التي تشمل نمذجة المناطق المعقدة والمكتظة للغاية تقديرًا دقيقًا. كما ينبغي أن تشمل تلك الجهود الوقت والموارد المطلوبة لفحص النتائج والتحقق منها. وبوجه عام، بالنسبة لغالبية المشاريع المتضمنة أدوات قطعية وتحليلية، يمكن اكتمال التحليل المروري في أقل من ثلاثة أشهر. وقد يستغرق وقت إتمام تحاليل المشروع التي تتطلب أدوات المحاكاة المجهرية أكثر من ثلاثة أشهر حسب مدى تعقيد المشروع، وعدد البدائل التي يتم تقييمها والجدول الزمني للمشروع. مثاليًا، يمكن لمحلل واحد، في آن واحد، أن يقوم بترميز ومعايرة، وتشغيل المحاكاة المجهرية على جهاز الحاسب. ورغم ذلك، هناك بعض المواقف التي يمكن أن يُوضع فيها نموذج هيكلي (شبكة رئيسة)، ويُقسَّم بعد ذلك إلى نماذج منطقة فرعية يمكن أن يقوم بترميزها محللون مختلفون. بعد ذلك، يمكن أن تُلصَق نماذج المناطق الفرعية في الشبكة الهيكلية. وبالتالي؛ فإن قدرة حزمة البرامج على تقسيم الشبكة ينبغي استكشافها قبل ترميز النموذج.

علاوة على ذلك، نظرًا لكون عملية معايرة أدوات المحاكاة المجهرية تستغرق الكثير من الوقت، ينبغي تحديد متطلباتها الوظيفية، والميزانية، والجدول الزمني تحديدًا صحيحًا لتلبية القيود الزمنية والمالية للمشروع. ينبغي أن تشمل تقديرات مستوى الجهد للمحاكاة الدقيقة الوقت والموارد لتدقيق الأخطاء (تحقق نموذجي) للتحليل البديل. كما ينبغي أيضًا أن تشمل تقديرات مستوى الجهد وقتًا لعمليات مراجعة منهجية التحليل والبيانات الأولية، ومخرجات التحليل، وتقارير التحليل.

ب-١-١١ قائمة تدقيق منهجية التحليل المروري:

تُعرض قائمة تدقيق محتوى تطوير منهجية التحليل المروري في الجدول (ب-١). وتُعَد قائمة التحقق إحدى الإرشادات التي ينبغي على المحلل استخدامها عندما يقوم بإعداد مذكرة المنهجية. ويمكن أن يستخدمها أيضًا مديرو المشروع عند إعداد نطاق للتحليل المروري. كما أنه لا يضمن إتباع قائمة التحقق هذه قبول منهجية التحليل و/أو النتائج.

الجدول (ب–١) قائمة تدقيق محتوى منهجية التحليل المروري (Revised from FDOT, (2021b) – Table 2-1).

اسم المشروع:			
الطريق رقم: _____ الكود/الجزء/الجزء الفرعي _____ بداية المشروع: _____ نهاية المشروع: _____			
العنصر	**الوصف**	**ضع علامة**	**ملاحظات**
الهدف من التحليل المروري.	يناقش بإيجاز ودقة الهدف، والغرض، والحاجة. يشمل خريطة الموقع.	☐	
الإرشادات والمواصفات التقنية.	تصف المواصفات، والإجراءات، والإرشادات التقنية التي يجب اتباعها لإجراء التحليل. وتشمل الالتزام بضمان/مراقبة الجودة.	☐	
حد نطاق منطقة التحليل.	يصف كل من حدود النطاق المكاني والزماني. ويتضمن خريطة منطقة واضحة، ومدرّجة توضح جميع التقاطعات والمحولات بالدراسة.	☐	
اختيار أداة/أدوات التحليل ونهج التحليل.	يصف النهج المستخدم لإجراء التحليل المروري. يدرج أداة/أدوات التحليل المستخدمة جنبًا إلى جنب مع إصداراتها.	☐	
متطلبات البيانات وخطة جمعها.	تصف خطة جمع البيانات، وتتضمن المنهجية، والمصادر، والتقنيات، والجدول الزمني، وخطة ضمان الجودة. تحدد متطلبات بيانات المعايرة، والتحقق، وتشمل وسائل جمع بيانات المعايرة.	☐	
توقعات المرور في المشروع.	يوجز المنهجية لتوقع توقعات المرور. ويدرج نموذج بسنة الأساس، وسنة التصميم/أفق التخطيط، والافتتاح، والسنوات المرحلية.	☐	
مقاييس فعالية الأداء.	تصف مقاييس فعالية الأداء التي سيتم تقييمها. وتوضح كيفية تقديم النهج والأدوات المحددة تقارير عن مقاييس الفعالية. إذا كانت هناك حاجة للمعايرة والتحقق، فإنها توضح بإيجاز النهج ومقاييس الفعالية بالإضافة إلى المواقع التي ستتم معايرتها وكذلك الغايات للموافقة.	☐	
بدائل المشروع.	تصف الأوضاع الحالية/ غير الأساسية، والبدائل (الأساسية) للتحسين إلى أقصى حد ممكن. تستخدم الرسومات لتوضيح البدائل الأساسية. تصف معايير الفحص البديلة.	☐	

تقرير التحليل المروري والوثائق الفنية.	يصف متطلبات التوثيق المطلوبة التي تتناسب مع مدى تعقيد التحليل.	☐	
تقدير جهد العمل	يشمل تقدير مستوى جهد التحليل.	☐	
اسم مُعِدّ القائمة: _____←التاريخ:_____←اسم **المراجع:_____←التاريخ:_____**			

ب-٢ حدود نطاق التحليل:

ب-٢-١ منطقة التأثير للمشاريع التي تتضمن المحاكاة المجهرية:

يمكن أن تُؤخذ أيضًا الارشادات الآتية في الحسبان عند تحديد منطقة التأثير للمشاريع التي تتضمن المحاكاة المجهرية:

مشاريع الطرق السريعة: يمكن أن تتطلب المشاريع التي تشمل الطرق السريعة في المناطق الحضرية منطقة تأثير أطول بسبب المتغيرات في طوبولوجيا الشبكة، وخصائص استعمال الأرض، وسلوكيات القيادة. يمكن أن تؤثر ظروف المرور الموجودة، أو المقترحة في بداية ونهاية منطقة التأثير على نتيجة تحليل منطقة الدراسة. وبالتالي، ينبغي على المحلل بحث ودراسة ما يأتي حسب الحاجة لتكرار الخصائص التشغيلية الموجودة:

- مدى الازدحام المروري (صف الانتظار) في بداية أو نهاية منطقة تأثير التحليل.
- وصلات المنحدر التي تؤثر في التماوج داخل منطقة التأثير.
- المناطق التي يقاس فيها التدفق المروري داخل منطقة التأثير عن طريق نقاط تحصيل الرسوم، وعدادات المنحدر، وإشارات نقطة البداية للمرور.
- غيرها من الأوضاع التشغيلية ذات الصلة كما تدل على ذلك البيانات أو الملاحظات الميدانية.

مشاريع الطرق الشريانية: تعتمد منطقة التأثير للطرق الشريانية وغيرها من الشوارع السطحية على تهيئة شبكة الطرق، وتكرار الإشارات المرورية، ومستوى التهيئة داخل منطقة المشروع. ينبغي مراعاة الإرشادات الآتية عند إنشاء منطقة التأثير:

- ينبغي توسيع نطاق الحدود خارج موقع المشروع بما يكفي لمحاكاة الظروف الحالية للمرور داخل منطقة التأثير. عادةً ما يتطلب الأمر إدراج تقاطع واحد على الأقل محكوم بإشارات مرورية خارج منطقة التأثير؛ لزيادة دقة النموذج في محاكاة الخصائص التشغيلية الموجودة.
- ينبغي وضع نطاق الحدود في نقاط منطقية في شبكة الطرق من منظور التشغيل المروري الموجودة، مثلما يكون في جزء من الطريق مع رحلات الوصول العشوائية، أو المنتظمة للمرور. على سبيل المثال: قد تكون رحلات الوصول العشوائية ناجمة عن تقاطع محكوم بإشارات مرورية تبعد نقطة بدايته (٨٠٠ متر أو أكثر)، أما رحلات الوصول المنتظمة قد تكون ناتجة عن المرور الكثيفة التي تحولت إلى الطرق الشريانية من التقاطع المحكوم بإشارات مرورية أو الشوارع والطرق المتداخلة والغير مزودة بإشارات، مما يؤدي إلى الوصول المروري بشكل منتظم عند إشارة المرور طوال الدورة. وإذا كان المشروع داخل طريق شرياني مزود بنظام منسق إشاريًا، ينبغي توسيع نطاق حدود التحليل لتشمل تأثير الإشارات المنسقة.
- ينبغي عدم توسيع نطاق الحدود دون داعٍ؛ لأن هذا سيزيد جهود التحليل، ويمكن ان يقلل من الاهتمام الذي يولى لموقع المشروع.

ب-٢-٢ الحدود الزمنية:

عادةً ما تركز تحاليل السعة على ساعة الذروة حين يزداد الطلب على استخدام المرفق. وعادةً ما يكون معدل الأحجام كل ساعة أعلى قبل بدء ساعة الذروة من المعدل في أثناء ساعة الذروة في ظروف المرور ذات التشبع المفرط. وبالتالي، ينبغي فحص خصائص الذروة للمرفق قبل تحديد فترة التحليل. ويمكن الحصول على خصائص الذروة من فحص التغيرات التي تطرأ كل ساعة ويوميًا على طلب المرور. وينبغي على المحلل الاطلاع على بيانات محطة التعداد المحلية الدائمة لمعرفة التغيرات التي تطرأ على طلب المرور. ويمكن أن تُجرَى المزيد من الملاحظات الميدانية وتحليل صف الانتظار لتأكيد تغيرات الطلب. ويجب معرفة التباين في طلب المرور؛ لتحديد حدود النطاق الزماني تحديدًا مناسبًا.

هناك تجانس في الخصائص التشغيلية للمرور في الظروف غير المتشبعة؛ ولذلك تُستخدم فترة تحليل مدتها ١٥ دقيقة بما يتفق مع أحكام سعة الطرق الواردة في كود الطرق السعودي٢٠١ (عملية التخطيط). وبالتالي فإن مد فترة التحليل إلى ما بعد ١٥ دقيقة في الظروف غير المتشبعة لن يؤثر في مقياس الأداء تأثيرًا كبيرًا. كما ينبغي اعتبار تدفق المرور أثناء فترة التحليل غير مشبعة إذا ثبتت كافة الافتراضات الآتية:

أ- معدل تدفق الوصول أقل من سعة المرفق.
ب- ليس هناك صف انتظار متبقي جراء عطل سابق بالمرفق.
ج- ليس لأوضاع نقطة النهاية تأثير على تدفق المرور.
د- أن يظل معدل السرعات عند أو قريبًا من حد السرعة المعلن.

وفي حال تجاوز هذه الظروف، ينبغي اعتبار تدفق المرور مُشبّعًا. وفي العديد من الحالات، يمكن أن تكون منطقة الدراسة غير متشبعة في ظل الظروف الموجودة؛ بيد أنها يمكن أن تكون مفرطة التشبع في الأعوام القادمة. وينبغي مراعاة هذا التغيير عند اختيار حدود النطاق الزمني لتحاليل الأعوام القادمة.

بالنسبة إلى المواقع ذات التدفق المروري فوق المُشبع، لا تكفي عادةً فترة التحليل المروري تبلغ مدتها ١٥ دقيقة. وهناك حاجة لإجراء تحليل متعدد الفترات في ظل هذه الظروف لرصد تأثير الطلب الذي لم يقدمه المرفق من فترة مدتها ١٥ دقيقة إلى التي تليها. وتجدر الإشارة إلى أنه ينبغي أن تكون الفترات الأولى والأخيرة للتحليل متعدد الفترات غير متشبعة. وينبغي إجراء تحليل المحاكاة المجهرية لتحليل الظروف المفرطة التشبع التي تتجاوز ساعة الذروة. وتنتشر فترات الذروة التي تتراوح بين ثلاث إلى أربع ساعات عند إجراء تحليل المحاكاة المجهرية.

ويمكن أن تزيد فترة التحليل في المرافق المزدحمة عن الساعة عندما يتجاوز الطلب على استخدام المرفق السعة على مدى فترة تربو على الساعة. ويسمى هذا الوضع بانتشاره الذروة. وعادةً ما يحدث انتشار الذروة عندما يكون الازدحام شديدًا للغاية. وينبغي تقييم مواصفات حجم المرور الحالية على مدار ٢٤ ساعة لتحديد الفترات التي ينتشر فيها ذروة الطلب على مدى عدة ساعات. ينبغي تحليل الأحجام الاتجاهية بسبب إمكانية وجود حجم في اتجاه واحد بكامل سعته، بينما يكون الحجم في الاتجاه المعاكس دون السعة بكثير. وعند انتشار ذروة المرور؛ ينبغي أن تشمل فترة التحليل مدة الازدحام المروري، بالإضافة إلى الفترات عديمة الازدحام قبل (تزايد الازدحام) وبعد ساعة الذروة (تبدد الازدحام). كما يلزم تضمين الفترات عديمة الازدحام لرصد تأثيرات انهيار المرور بسبب انتشار الازدحام إلى ما بعد الوقت الذي يربو فيه الطلب على السعة. كما تتطلب تحاليل انتشار ساعة الذروة استخدام أدوات المحاكاة المجهرية.

وإذا لُوحظ طلب غير ملبى، ينبغي على المحلل أن يمد فترة التحليل لتشمل الفترات عديمة الازدحام قبل وبعد الفترة التي يزيد فيها الطلب عن السعة. وفي حالة المناطق الحضرية، التي لا يقدم فيها النهج النتائج المطلوبة؛ ينبغي اتباع وسائل أخرى لتلبية الطلب الذي لم يُلبَّ. وبالنسبة إلى الارشادات عن كيفية تلبية الطلب غير المُلبّى في التحليل، فهي منصوص عليها في الجزء (ب-٦).

ب-٣ اختيار أداة التحليل:

تتمتع أدوات التحليل المروري بقدرات وافتراضات حسابية متنوعة. وبالتالي، لتحقيق نتائج تحليل فعالة من حيث التكلفة، ومع ذلك معقولة بالمستوى المطلوب من الثقة؛ تُقدَّم الارشادات عن اختيار أدوات التحليل المناسبة في هذا الجزء. وقد ذُكِرت إرشادات على إعداد تقارير مقاييس الفعالية من هذه الأدوات في الجزء (ب-٧).

ب-٣-١ أدوات التحليل المروري:

يقدم الجدول (ب-٢) موجزًا للأنواع المطلوبة من التحاليل التي يمكن إجراؤها باستخدام أدوات متنوعة لمستويات مختلفة من التحليل.

الجدول (ب–٢) استخدامات أدوات التحليل المروري (المصدر: FDOT (2021b) – Table 4-1).

نوع التحليل	مستوى التفاصيل	مستوى التحليل
رسم. تخطيط.	تحليل عناصر النظام للحصول على تقديرات عامة من حيث الحجم للأداء وفقًا لقيود السعة، وضوابط التشغيل.	مُعَمَّم. تخطيط.
قطعي.	تحليل المعايير العامة وأداء النظام بناءً على قيود السعة الهندسية والمكانية، والأنظمة التشغيلية، مثل: التحكم المروري، واستعمال الأرض.	الأولية. الهندسة. عملية التصميم.
المجهرية. المحاكاة.	تحليل أداء النظام وفقًا لتفاعلات المستخدم الفردية التفصيلية، والهندسة والعناصر التشغيلية.	الأولية. الهندسة. عملية التصميم.

ب-٣-٢ ما الأداة المناسبة؟

عند الشروع في عملية تطوير منهجية التحليل المروري، ينبغي تحديد الأداة التي تحقق أهداف التحليل المروري للمشروع إلى أقصى مدى ممكن. وعند القيام بذلك التحديد، ينبغي على المحلل أن يكون على دراية بالمستوى المطلوب لجهد التحليل، ودرجة التفاصيل، وحدود جميع الأدوات في إجراء هذا التحليل. رغم ذلك، ينبغي أن يمتنع المحلل عن اختيار أداة التحليل البسيطة (لا تستند إلا على التجربة أو قلة الموارد) التي يمكن ألا تتناسب مع هدف التحليل.

يوصى بألا تُستخدم أدوات المحاكاة المجهرية للتحاليل الأولية للهندسة، والتصميم، والتشغيل إلا عندما تكون الأدوات القائمة على دليل سعة الطرق غير مناسبة. وينبغي على المحلل- قبل اختيار أدوات المحاكاة المجهرية- أن يجري مراجعة شاملة للظروف الموجودة لتبرير استخدام تلك الأدوات. ينبغي إتاحة أحد الظروف الآتية على الأقل للمحلل لتناول نظام المحاكاة المجهرية:

- الظروف التي تنتهك افتراضات الأدوات التحليلية وتحد منها مثل: المستويات الأعلى من التشبع والتعقُّد للشبكة أو المسار.
- الظروف التي لا تغطيها الأدوات التحليلية، مثل: مسار المرور، أو صفوف الانتظار التي تتدفق إلى النظام الذي جرى تحليله، أو فترات الازدحام الطويلة.
- عندما يتطلب هدف التحليل تقييم أداء المركبة، أو سلوك المستخدم، أو سيناريوهات ماذا لو المتعددة، أو مدى تأثير تطبيق أي تقنية، أو استراتيجية التشغيل مثل المسارات المدارة وضبط المداخل إلى الطرق السريعة.

وينبغي دومًا إجراء تحليل لإحدى النقاط أو الأجزاء المعزولة التي تتأثر من الأجزاء المجاورة تأثرًا هامشيًا، ولا يسود الازدحام فيها؛ وذلك باستخدام أدوات قطعية. علاوة على ذلك، إن لم يكن هناك ازدحامًا (عادةً ما يكون مستوى الخدمة فئة دي، أو أفضل). ينبغي استخدام دليل سعة الطرق لتحليل مرافق الطرق السريعة (القطاعات الأساسية، منطقة التماوج، ومناطق دمج/تباعد المنحدرات)، ومرافق الشوارع الحضرية (خليط من المركبات والمشاة والنقل العام والدراجات)، وذلك من منظور مسار شامل.

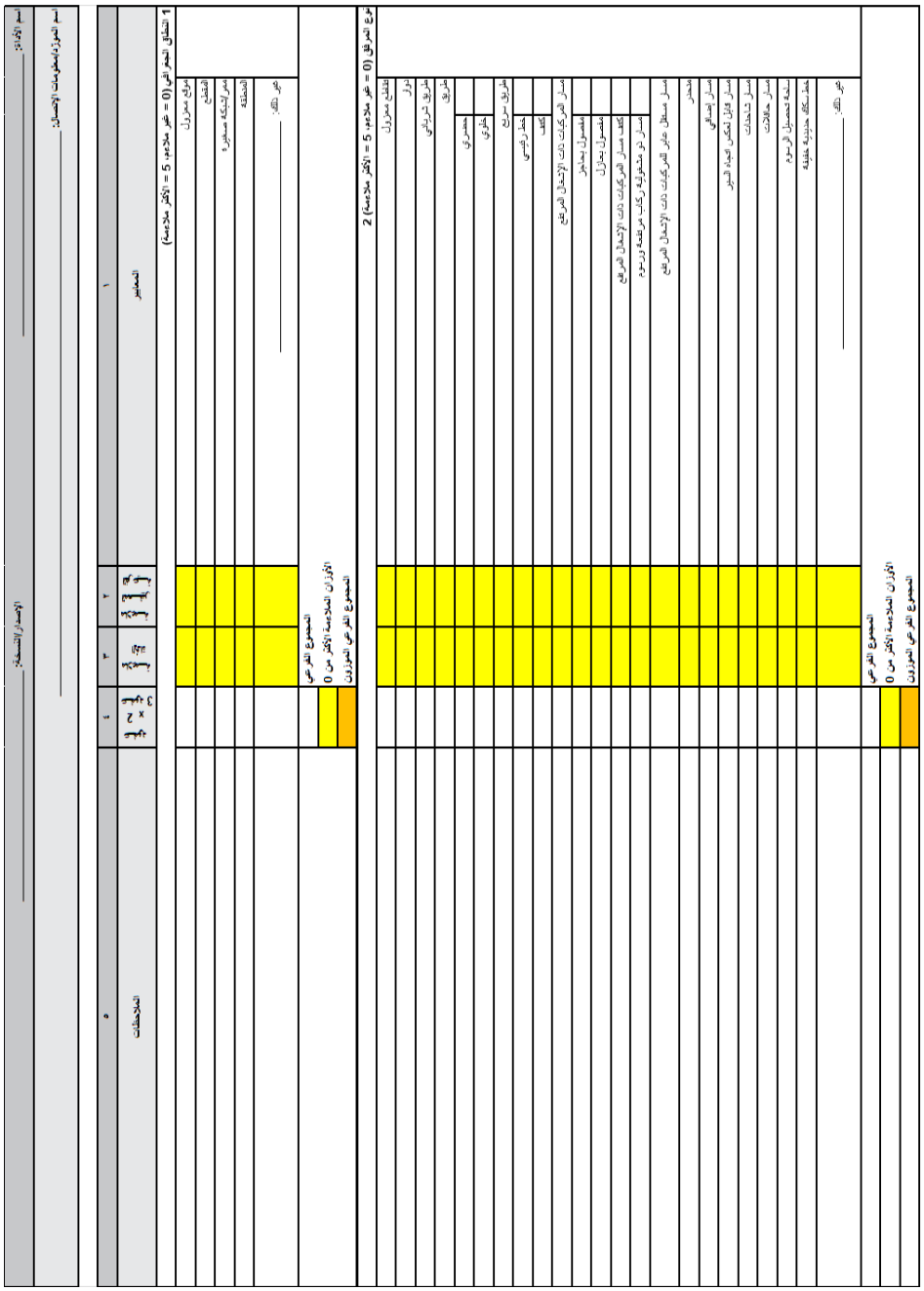
إن ورقة عمل اختيار فئة الأداة التي قد تُستخدم في عملية اختيار الأداة منصوصٌ عليها في الجزء الفرعي (ب-٣-٣). يقدم الجزء (ب-٧) إرشادات تفصيلية عن مقاييس الفعالية، وعرضها من هذه الأدوات.

إذا كانت هناك حاجة للمحاكاة، ينبغي اختيار أداة المحاكاة بعناية. والجدير ذكره أنه ليس هناك أداة محاكاة دقيقة واحدة يمكنها تحليل كافة أنواع مشكلات المرور تحليلًا مثاليًا. كما أن لكل أداة محاكاة دقيقة متاحة في السوق نقاط قوة وضعف. ويمكن أن تتضمن العوامل التي يمكن مراعاتها عند اتخاذ قرار باستخدام برامج المحاكاة المجهرية لمحاكاة المرور بدقة ما يأتي:

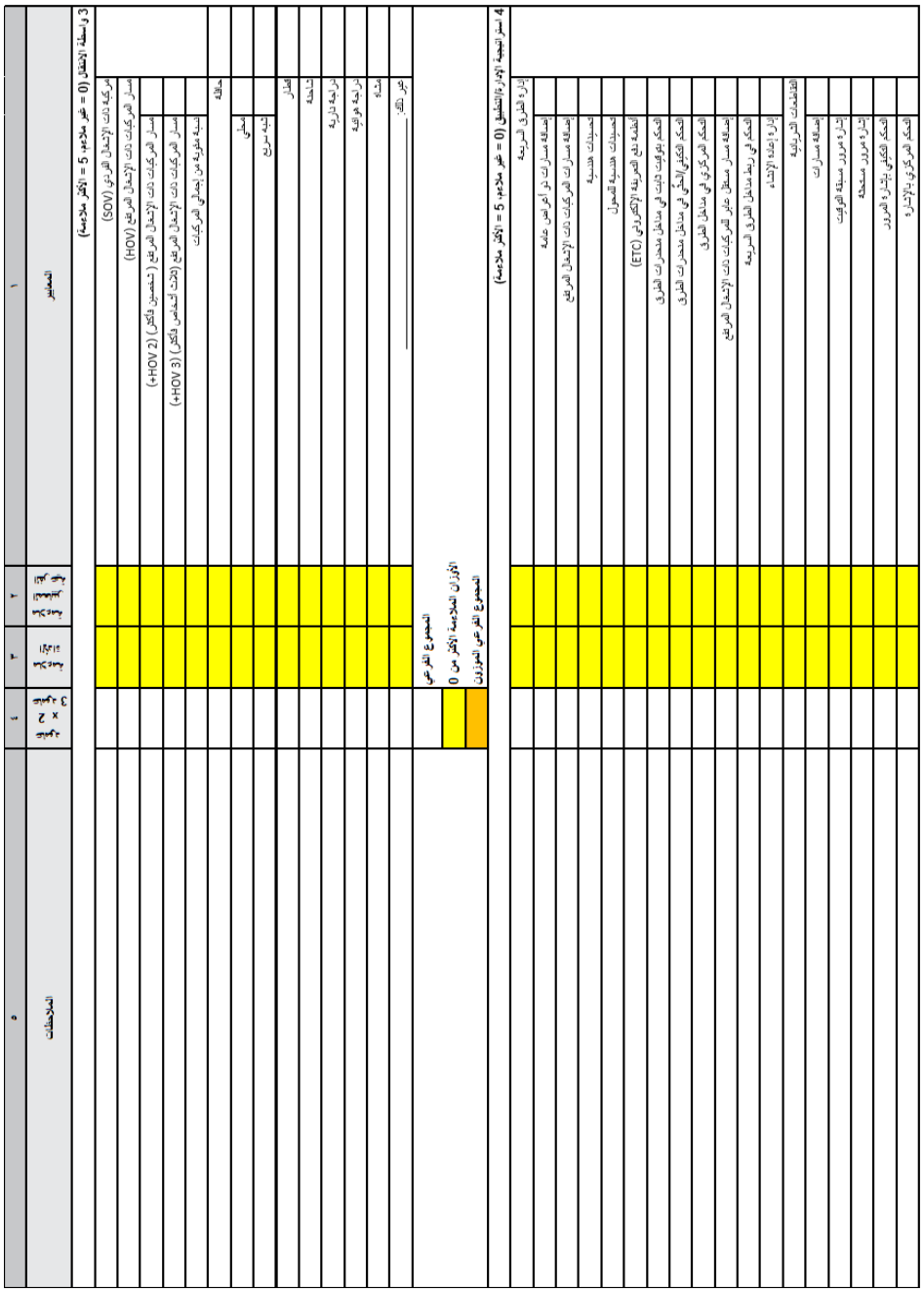
- الاستخدامات السابقة، والبيانات المتوفرة.
- حدود حجم الشبكة.
- حدود الفترة الزمنية للمحاكاة.
- مناسبة حزمة البرامج لمحاكاة الظاهرة الخاصة التي ستخضع للتحقيق، مثل: المسارات السريعة، أو تحركات المشاة، أو النقل العام، أو تعديل توقيت الإشارة، أو تقاطع سكك حديدية وما إلى ذلك.
- معرفة معلمات المعايرة والتحقق من الصحة من خلال المشاريع السابقة المكتملة.
- إمكانيات المرئيات، ونماذج بيانات المدخلات.
- التحكم في واجهة المستخدم والمرونة في ترميز الشبكة.
- التوافق، والتكامل مع الأدوات الأخرى المستخدمة في نمذجة المرور: مثل أنظمة إدارة الطلب على المرور.

ويُعد المحلل مسؤولًا عن استخدام الحكم الهندسي، والتخطيطي الجيد عند اختياره أدوات محاكاة المرور المجهرية للتحليل المروري. وعند اقتراح أداة التحليل، ينبغي أن يقدم المحلل ما يكفي من الوثائق حتى يتسنى للمراجع فهم عملية إعداد النموذج لتأكيد المدخلات والمخرجات والتحقق من عملية المعايرة على نحو مستقل. يقدم برنامج أدوات التحليل المروري الخاص بالإدارة الاتحادية للطرق (٢٠٢٢) إرشادات ومعلومات قيمة عن اختيار، ونشر، واستخدام أدوات التحليل المروري لمستويات التحليل المختلفة، بينما يساعد البرنامج الوطني التعاوني لأبحاث الطرق (٢٠١٦) واضعي الخطط في تطبيق منهجيات دليل سعة الطرق على تحاليل التخطيط المشترك والهندسة الأولية (مثل مراقبة أداء السيناريوهات والأنظمة).

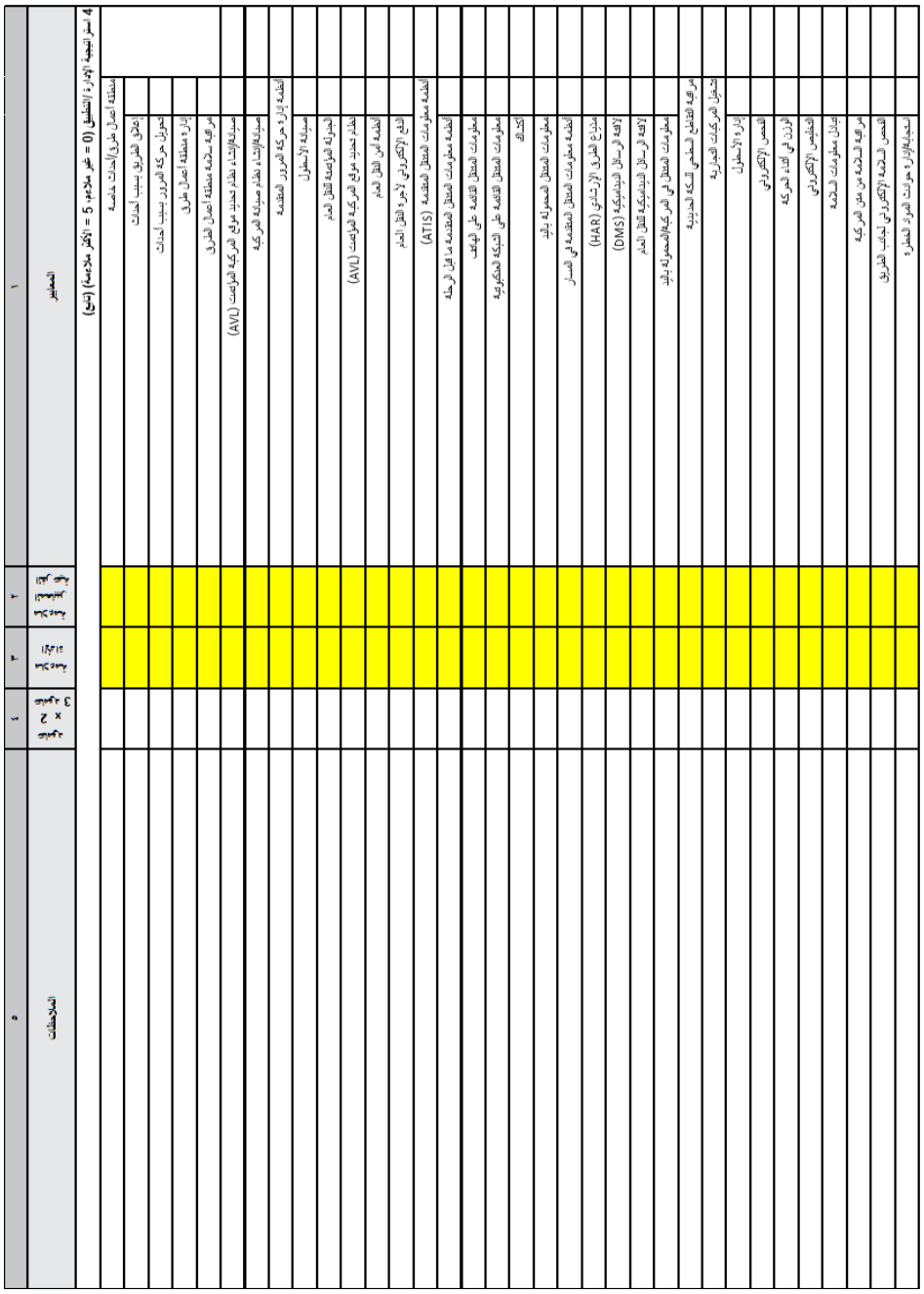
ب-٣-٣ ورقة عمل اختيار أداة التحليل:



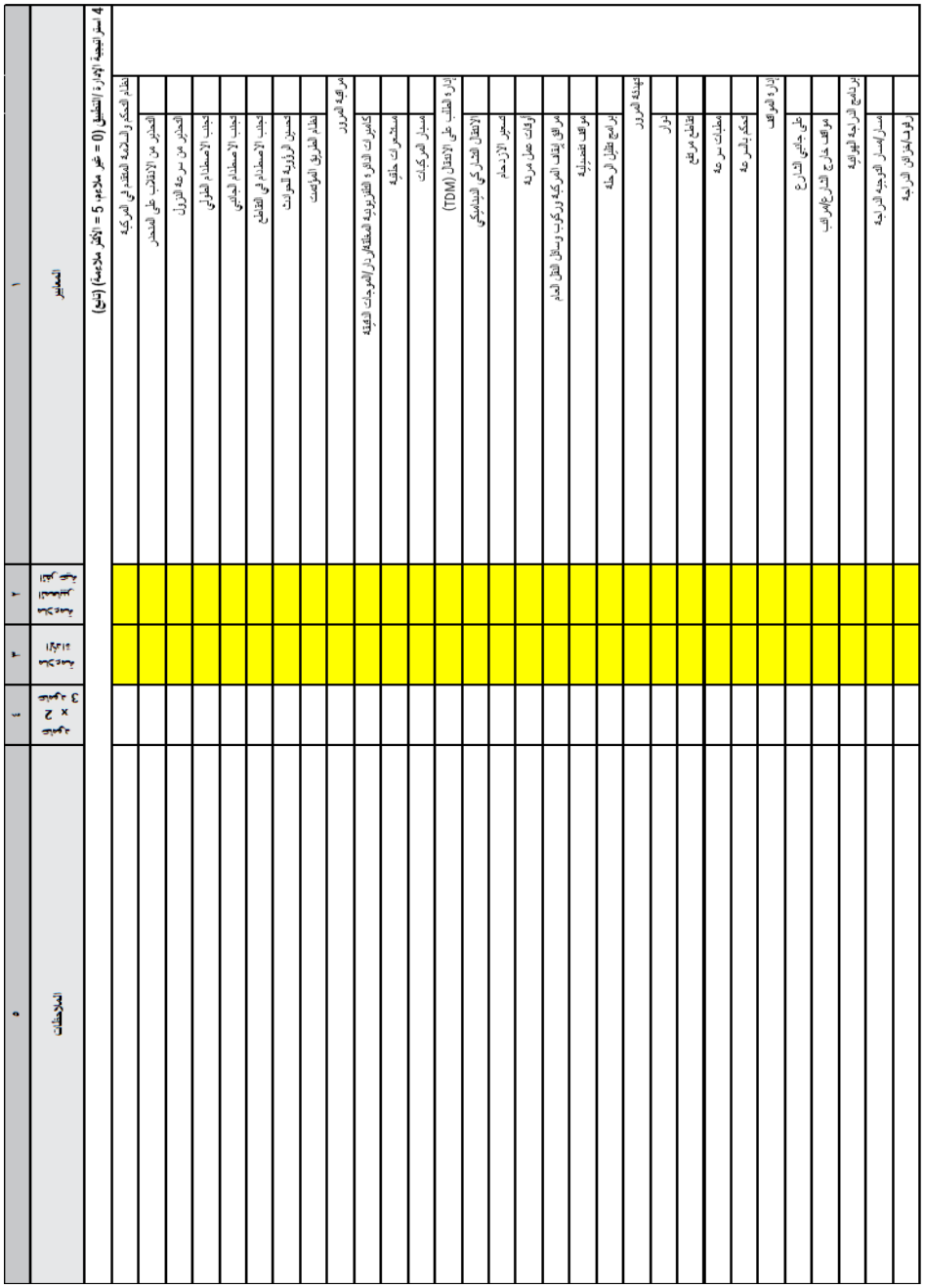
الشكل (ب–١) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



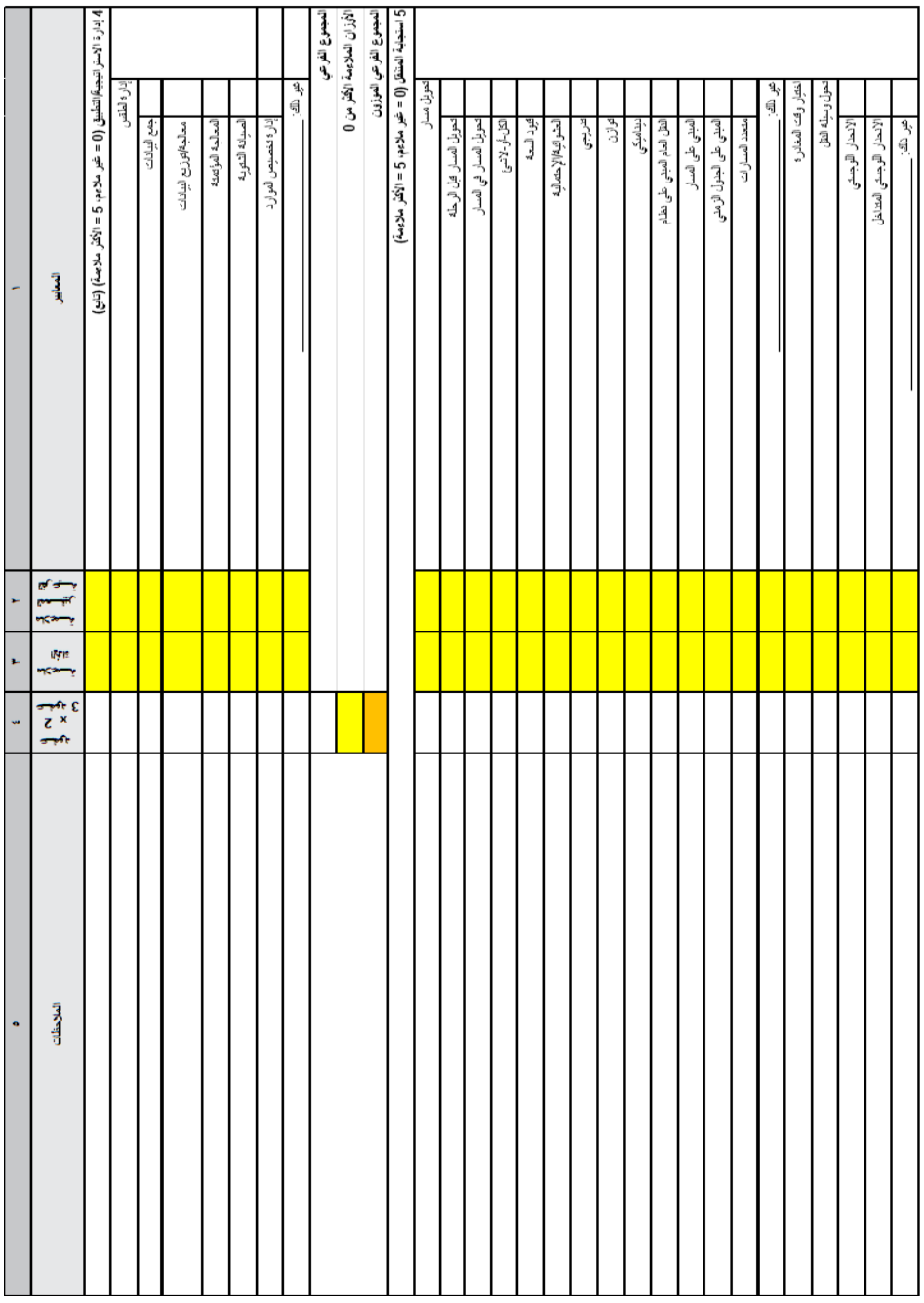
الشكل (ب–٢) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



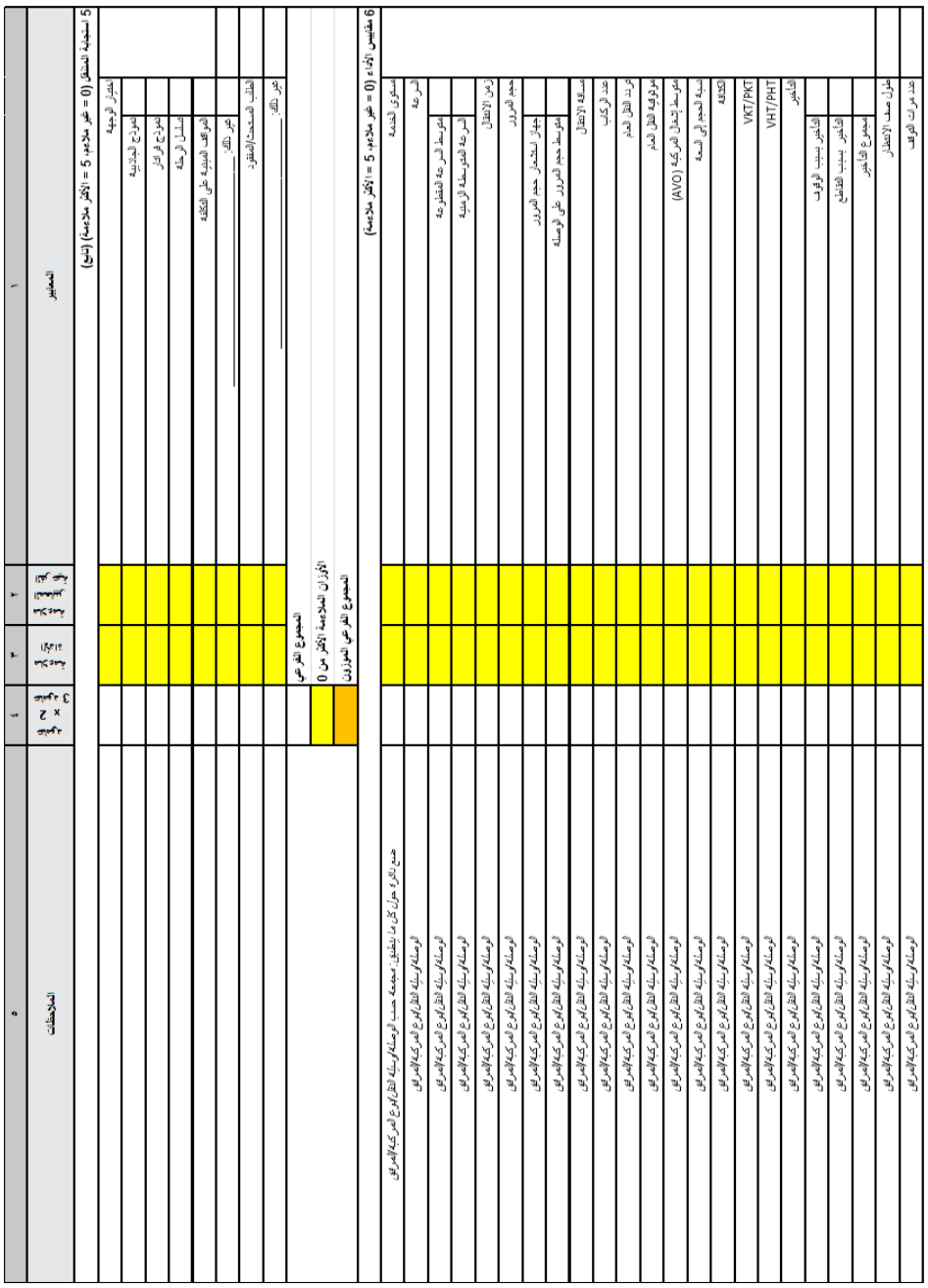
الشكل (ب–٣) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



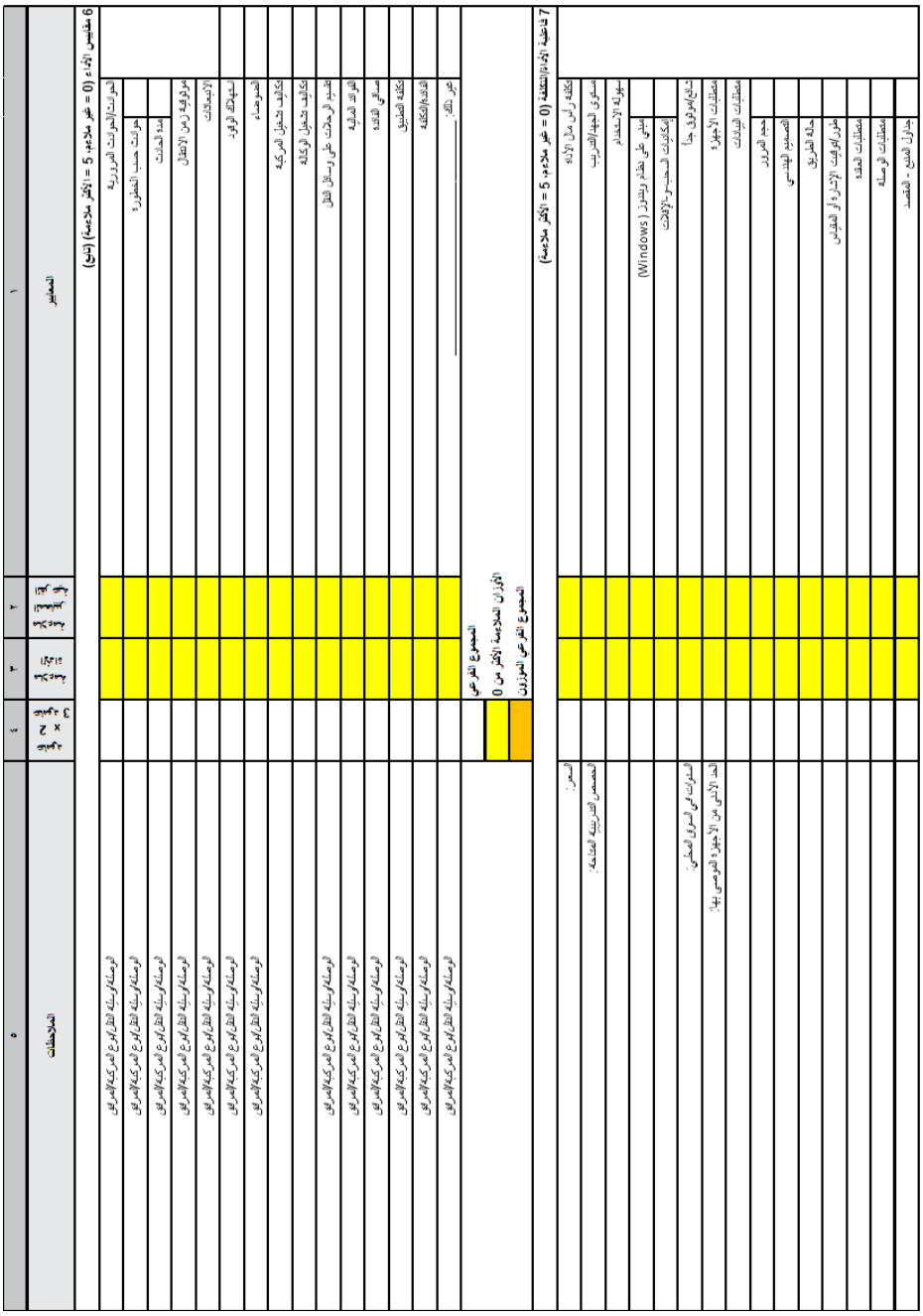
الشكل (ب–٤) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



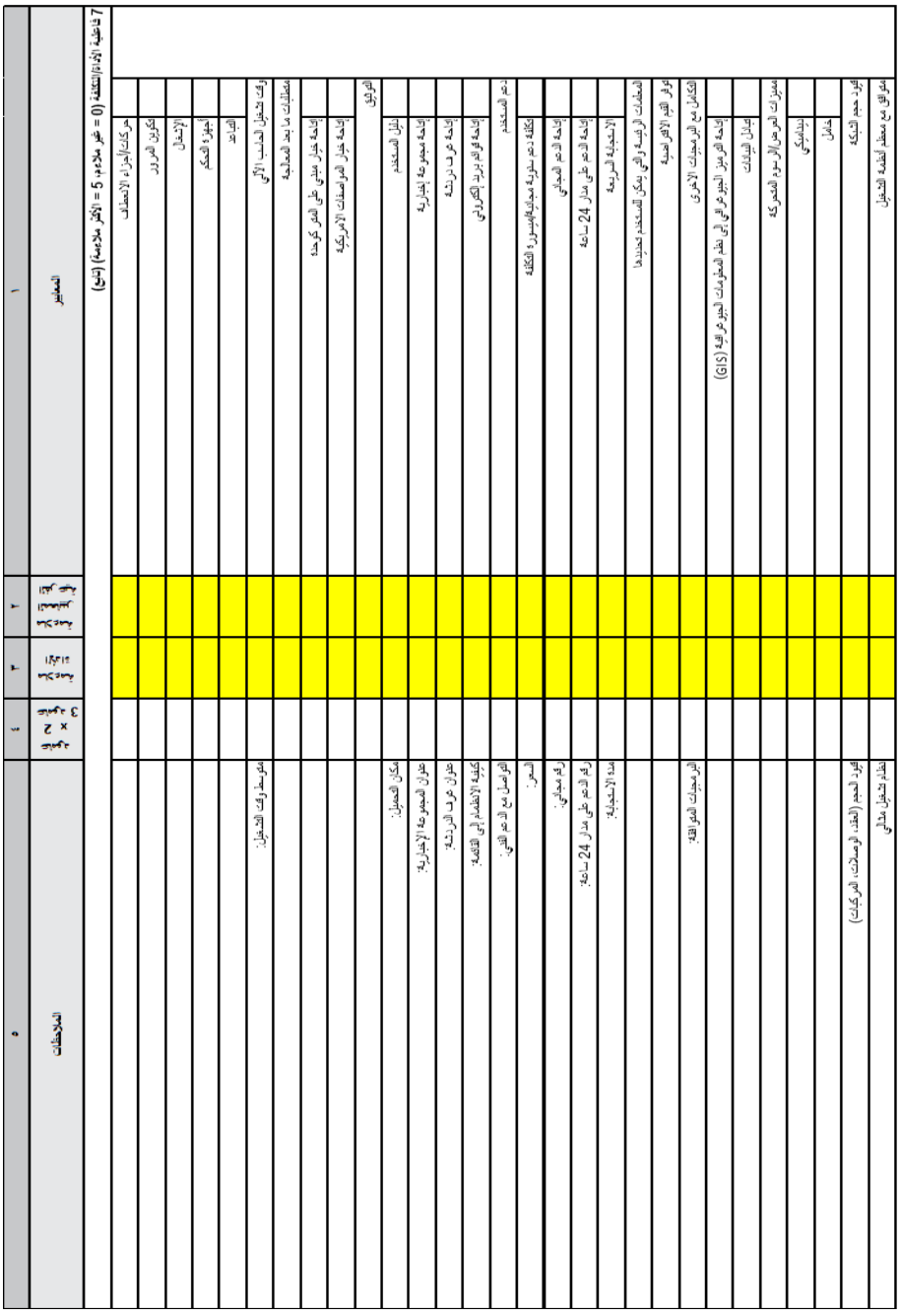
الشكل (ب–٥) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



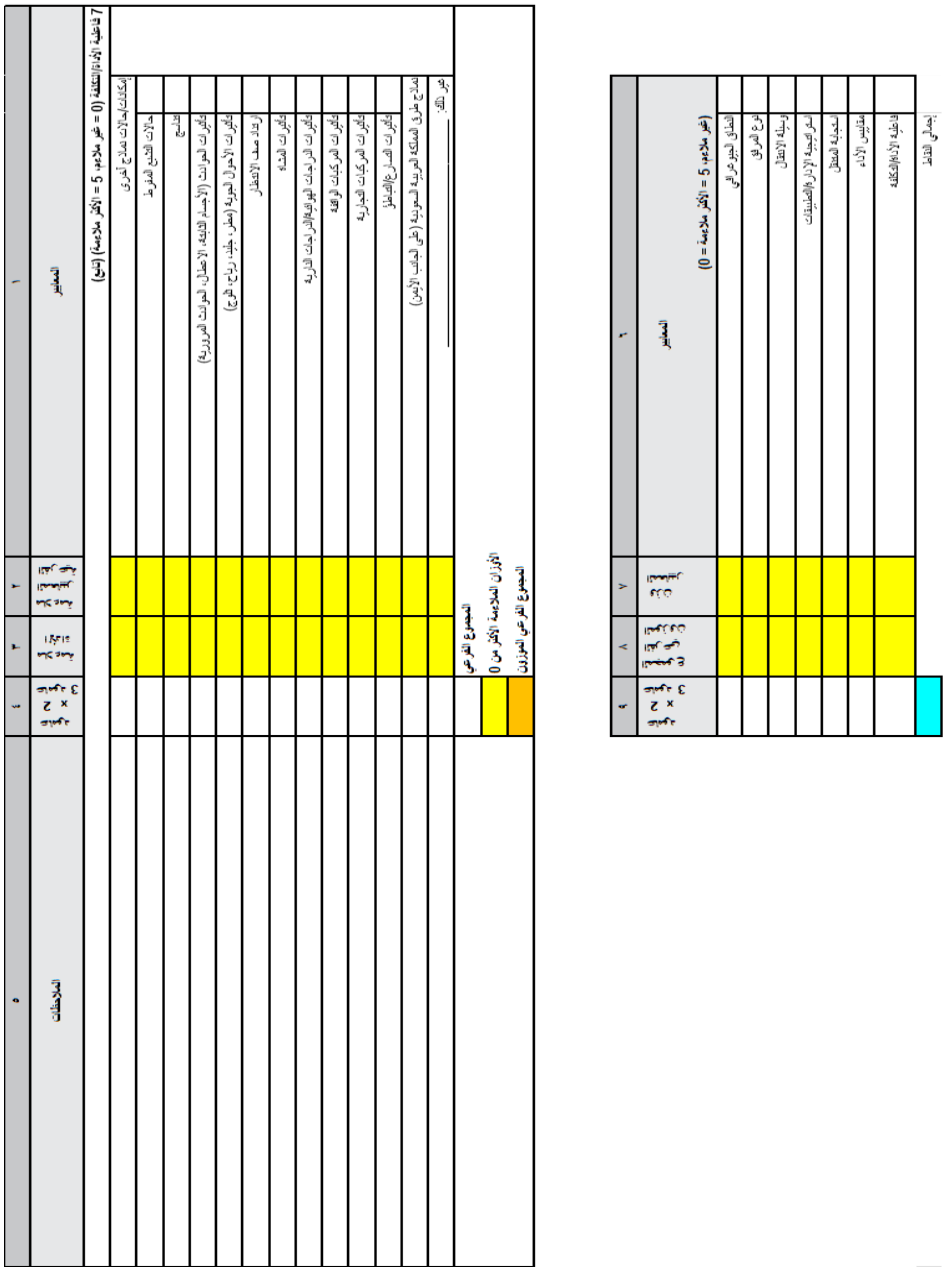
الشكل (ب–٦) ورقة عمل اختيار أداة التحليل – (المصدر: Table 14/Appendix B Revised – (FDOT, (2021b).



الشكل (ب–٧) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



الشكل (ب–٨) ورقة عمل اختيار أداة التحليل (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).



الشكل (ب–٩) ورقة عمل اختيار أداة التحليل –(المصدر: FDOT, (2021b) – Table 14/Appendix B Revised).

ب-٤ جمع البيانات:

ب-٤-١ قائمة تدقيق جمع البيانات:

على المحلل قبل وضع خطة جمع البيانات أن يفهم ما ينبغي جَمْعه من البيانات، وزمان الجمع، ومدته، ومكانه، وكيفية إدارة البيانات. وتتضمن الأسئلة الإضافية التي ينبغي على المحلل الإجابة عليها ما يأتي:

- ما مستوى التحليل؟
- هل بإمكان استخدام القيم الافتراضية المنشورة بلوغ أهداف التحليل؟
- ما نوع بيانات المرور المتاح؟
- ما عمر البيانات الموجودة؟ ما صيغة البيانات؟
- ما إجراء التحليل المروري (الأداة، والنهج)؟

- ما مقاييس الأداء التي سيُجرى تقييمها؟
- ما مدى دقة (مستوى الثقة) النتائج المطلوبة؟
- ما بدائل المشروع المراد تحليلها؟ هل ستتطلب البدائل مزيدًا من البيانات؟
- هل البيانات الموجودة كافية لدعم أهداف المشروع؟
- هل تقدم البيانات (المراد جمعها) دعمًا كافيًا للأهداف؟
- هل هناك أية افتراضات لجمع البيانات؟

ب-٤-٢ صيغة خطة جمع البيانات

تتشكل صيغة خطة جمع البيانات، كحد أدنى، من العناصر الآتية:

- أهداف التحليل.
- البيانات المطلوبة لتحقيق الأهداف ومقاييس الأداء المستخدمة في عملية التقييم.
- المستوى المنشود لدقة البيانات اعتمادًا على مستوى التحليل.
- جمع البيانات، ومدة الجمع، والوسيلة المستخدمة، ومصادر البيانات.
- تخزين البيانات.
- متطلبات الجدول والموارد.
- الميزانية.

ب-٤-٣ مصادر البيانات الموجودة:

ينبغي استخدام البيانات الموجودة، قدر الأماكن، لتبسيط المشروع، وتقليل كلُفته. وبالتالي، ينبغي استكشاف موارد البيانات الموجودة قبل التخطيط للبيانات الجديدة المطلوب جمعها من الميدان. وفيما يأتي قائمة بموارد البيانات التي ينبغي على المحلل استكشافها:

- تطبيقات رسم الخرائط التي تقدم بيانات حالية وتاريخية لعد المرور، فضلًا عن بيانات الطرق، والإشارة.
- قوائم جرد الخصائص الوصفية للطرق/قواعد بيانات.
- مكتبات البيانات المكانية/الجغرافية.
- قوائم جرد التصوير الجوي.
- تعدادات المرور من قواعد بيانات الجهات المحلية.
- قواعد بيانات الاصطدامات.
- قواعد بيانات توقيت الإشارة.

عند تقدير كون البيانات الموجودة كافية لتحقيق أهداف التحليل، ينبغي أيضًا إجراء عمليات مراقبة ميدانية للتحقق، وتأكيد البيانات الرئيسة للمرور والطرق (مثل: الرقابة الهندسية والمرورية للطرق، وسلوك السائق) التي ستؤثر على خصائص تشغيل المرور في موقع التحليل. وينبغي توثيق نتائج عمليات مراقبة الموقع وإدراجها في تقرير الظروف الموجودة أو تقرير التحليل، حسب الاقتضاء. ويُعد الفحص الميداني إجراءً إلزاميًا في أي تحليل للمرور لتأكيد الخصائص الموجودة.

عادةً ما يصعب قياس الطلب الحقيقي على المرور إذا كان هناك ظروف مرورية مفرطة التشبع؛ لأن أجهزة التسجيل الآلية للبيانات لا تأخذ في حسابها الطلب الناتج عن صف الانتظار. وسيساعد إجراء عد حجم الوصول عند نقطة بداية الاختناق المروري في رصد الطلب الحقيقي.

ب-٤-٤ جدول جمع البيانات:

بمجرد تحديد كلٍ من تقنية جمع البيانات، ونهج التحليل، ينبغي وضع جدول جمع البيانات ودمجه في نطاق المشروع. ويمكن أن يعرض جدول جمع البيانات الموارد (الأيدي العاملة، والمعدات)، والوقت المطلوب لإتمام الجهود المبذولة في جمع البيانات. عند اقتراح تقنية جمع جديدة، يمكن أن تُجرَى عملية تجريبية لجمع البيانات قبل أن تبدأ العملية الفعلية لجمع البيانات لفهم مدى دقة البيانات التي جُمِعت بواسطة التقنية الجديدة.

ويرد أدناه بيان بجمع بيانات المرور الميدانية، ومتطلباته الرئيسة:

- ينبغي جمع بيانات حجم المرور (الخط الرئيس، والمنحدرات، وأحجام حركات الانعطاف) في أثناء أيام الأسبوع العادية، باستثناء الأسابيع التي يتخللها الإجازات. راجع الباب نظرة عامة على متطلبات دراسات لمزيد من الإرشادات عن جمع البيانات الميدانية.
- ينبغي جمع أحجام المرور بزيادات قدرها خمس عشرة دقيقة لفترة الدراسة بأكملها.
- إذا أمكن ذلك، ينبغي جمع أحجام المرور في اليوم ذاته في كافة أرجاء منطقة الدراسة بأكملها، وينبغي أن تتزامن مع عملية جمع البيانات والملاحظات الميدانية الأخرى (مثل: معدل سرعات المركبات، وصف الانتظار).

- ينبغي جمع بيانات تصنيف المركبات، على الأقل، في موقع واحد داخل منطقة الدراسة التي ينبغي تحديدها عبر التنسيق مع جهات النقل المحلية في أثناء عملية تحديد النطاق.
- عند جمع تعدادات حركات الانعطاف وتعدادات المرور اليومية، ينبغي جدولتها لتحدث في آنٍ واحد حتى يمكن استخدام تعدادات حركات الانعطاف للتحقق من صحة التعدادات اليومية.
- يجب أن تكون التعدادات القياسية للمرور التي جُمعت بمثابة تعدادات حجم ثنائي الاتجاه تتراوح مدتها بين ٤٨-٧٢ ساعة لجميع اتجاهات أحد الطرق السريعة أو التقاطع.
- يجب جمع تعدادات حركات الانعطاف لمدة أربع ساعات متتاليات في كل فترة من فترات الذروة في المنطقة الحضرية. وإن لم يكن هناك انتشار ذروة، أو كان التحليل في موقعٍ حضري، عندئذٍ يمكن جمع تعدادات حركات الانعطاف لمدة تتراوح بين ساعتين إلى ثلاث.
- فضلًا عن البيانات المحددة سالفة الذكر، يمكن أن تكون هناك حاجة لتعدادات المنبع-المقصد لمشاريع المحاكاة المجهرية المعقدة. يجب أن تقوم جهات النقل المحلية بمناقشة نطاق تعدادات المنبع-المقصد وتفاوتاتها المقبولة والموافقة عليها.

عند اقتراح نهج المحاكاة المجهرية، ينبغي أن يشمل جدول جمع البيانات مراجعات ميدانية إضافية خلال عملية معايرة النموذج؛ لمراجعة خصائص تشغيل المرور والمقارنة مع مخرجات النموذج. وبدلًا من ذلك، يمكن أن يقوم المحلل بتصوير منطقة التحليل بالفيديو؛ لأنه يجب أن يكون هناك بيانات بسلوك المركبة للتحقق بالنظر من نماذج المحاكاة.

ب-٤-٥ بيانات المعايرة والتحقق:

عادةً لا تُطلب بيانات المعايرة والتحقق إلا عند استخدام نهج المحاكاة المجهرية. وفي هذه الحالة، ينبغي أن يشمل نطاق جمع البيانات: بيانات المعايرة، والتحقق. وتؤكد أهمية دقة تعدادات المرور وغيرها من البيانات الميدانية المقاسة لمعايرة النموذج والتحقق منه على الحاجة للتخطيط والإمعان الدقيق في خطة جمع البيانات. كما يوصى بشدةٍ، حيثما كان ذلك ممكنًا، بأن تُجمع بيانات المعايرة، والتحقق بالتزامن مع بيانات الطلب وذلك للمحافظة على الاتساق مع مدخلات طلب المحاكاة. وهذا من شأنه أن يساعد على مقارنة القياسات الميدانية ومخرجات المحاكاة وتبسيط عملية المعايرة في نهاية الأمر.

يمكن أن تُجمع البيانات الآتية لمعايرة نموذج المحاكاة والتحقق منه مع ظروف الوقت الفعلي.

- حجم المرور / معدل النقل.
- سرعات التنقل.
- زمن الانتقال والتأخير.
- أطوال صف الانتظار.
- بيانات المنبع-المقصد.
- مواقع الاختناقات المرورية.
- عمليات مراقبة التماوج، وتغيير المسار.
- الملاحظات الميدانية.

يوجز الجدول (ب-٣) بيانات المعايرة المتنوعة بمصادرها وعنصر نموذج المحاكاة المجهرية المستخدم لإجراء المعايرة.

الجدول (ب–٣) ملخص بيانات المعايرة مع المصادر والاستخدام (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 5-2).

بيانات المعايرة	مصدر البيانات المحتمل	استخدام بيانات المعايرة
حجم المرور/معدل النقل.	تعدادات آلية، تعدادات حركات الانعطاف، مشاريع سابقة.	طريق سريع، منحدرات، طريق شرياني.
سرعات التنقل.	الفحص الدقيق للمركبة.	طريق سريع، طريق شرياني.
زمن الانتقال والتأخير.	مرات زمن الانتقال، مركبة للفحص.	طريق سريع، طريق شرياني.
أطوال صف الانتظار.	مراجعة ميدانية، مسح جوي، معرفة المنطقة المحلية.	طريق سريع، منحدرات، طريق شرياني.
بيانات المنبع-المقصد.	بيانات بلوتوث، بيانات مصدر متنقل.	طريق سريع، طريق شرياني.
مواقع الاختناقات المرورية.	عمليات مراقبة ميدانية، مسح جوي، معرفة المنطقة المحلية.	طريق سريع، طريق شرياني.

بيانات المعايرة	مصدر البيانات المحتمل	استخدام بيانات المعايرة
مراجعة ميدانية.	الملاحظات الميدانية.	طريق سريع، منحدرات، طريق شرياني.

ب-٤-٦ ضمان الجودة:

ينبغي أن تؤكد خطط جمع البيانات على مدى جودة البيانات؛ لأن استخدام البيانات الدقيقة قد يثمر نتائج تحليل طيبة، بينما تؤدي البيانات غير الدقيقة إلى نتائج سيئة. وبصرف النظر عن الأداة المستخدمة، لن تكون مخرجات التحليل المروري أفضل من دقة البيانات المستخدمة في التحليل. وتتمثل إحدى القواعد العامة للحصول على بيانات دقيقة في تضمين بروتوكولات مراقبة الجودة واتباعها طيلة عملية جمع البيانات. ولذا يوصى بشدةٍ بفحص البيانات المجموعة لرؤية مدى اكتمالها ودقتها وصحتها. ومن الحيطة التحقق من موثوقية البيانات المجموعة، وذلك بفحص اتجاهاتها وتعداداتها الوصفية. كما أن لهذه الإحصائيات، مثل: الانحراف المتوسط والقياسي فائدة في تقييم مدى دقة القياسات وإتقانها. وسيساعد تحليل الاتجاهات في تحديد اختلافات البيانات في النطاق الزماني والمكاني.

فضلًا عن ذلك، ينبغي التعامل مع كافة البيانات المجموعة بشكل صحيح، وذلك بتوثيق سمات البيانات، مثل: المصدر، وزمن الجمع، والظرف، وأية معلومات أخرى قد تكون ذات تأثير على عملية جمع البيانات. ولتبسيط العملية، ينبغي أن يستخدم المحلل الاستراتيجيات المناسبة لإدارة البيانات والتي يمكن أن يفهمها جامعو البيانات.

إنه لعمل جيد أن يُستخدم محلل آخر غير مشترك في جمع البيانات للتحقق من مدى معقولية البيانات. ينبغي أن يتضمن التحقق فحصًا بعدم تأثير الطقس، أو الحوادث، أو التشييد على البيانات المجموعة. ولفهم مدى دقة البيانات المجموعة، يجب التحقق من اختلاف البيانات (في كلٍ من المكان والزمان)، أو تفاوت البيانات، أو فقدها لتحديد أي انحرافات أو قيم شاذة (بناءً على البيانات التاريخية، أو المعرفة المحلية، أو التجربة) وتحديد أسبابها المحتملة.

علاوة على ذلك، ينبغي مقارنة أقصى حد لتعدادات المرور مع سعة المرفق، بالإضافة إلى مقارنة بيانات زمن الانتقال مع سرعات التشغيل وقت جمع البيانات. وإذا تجاوز التباين ١٠٪، ينبغي إعادة النظر في الحسابات والقياسات الميدانية لتحديد سبب التفاوت.

ينبغي جمع البيانات مرة أخرى إن كان هناك خطأ في البيانات المجموعة ناجم عن عطل في المعدات أو خطأ بشري.

كما يشمل ضمان جودة جمع البيانات فحص مدى توازن أحجام المرور كل ساعة والتحقق منه ضمن حدود نطاق التحليل. سيلزم فحص تعدادات المرور اعتبارًا من بداية النظام، أو محيطه، وإضافة المرور الداخلة والخارجة أو طرحها تباعًا. وفي حالة وجود اختلالات في الأحجام، ينبغي تحديد تلك التباينات، والتوفيق بينها، وتوثيقها في موجز أو نبذة جمع البيانات. كما ينبغي اعتبار وجود تباين بنسبة ١٠٪ بين تعدادات نقطة المنبع-المقصد للموقع الذي ليس به مصادر أو مصارف مرورية معروفة (مثل: مداخل المركبات، أو مرائب موقف السيارات) مقبولًا.

وعند اقتراح نهوج المحاكاة المجهرية، ينبغي أن يجمع المحلل البيانات الدقيقة قدر الإمكان. ويمكن أن يؤدي وجود أخطاء صغيرة في بيانات المدخلات المستخدمة في المحاكاة المجهرية إلى أخطاء تكبير ينجم عنها أخطاء كبيرة في نتائج المحاكاة لا يمكن معايرتها. ولهذه الأخطاء تأثير سلبي شديد على أداء نموذج المحاكاة. وبالتالي، ينبغي أن يتحقق مراجع ضمان الجودة من أن البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج والتحقق منه ليست صحيحة فقط، بل مجموعة، أو مقاسة أيضًا في نفس الزمان والمكان مثل البيانات التي استخدمت لترميز النموذج.

ب-٥ جداول حجم الخدمات العامة:

تُعد جداول حجم الخدمات بمثابة جداول بحث يمكنها تقدير أقصى حد للحجم يوميًا أو كل ساعة لمستوى معين من الخدمة بمقتضى مجموعة محددة من الشروط. ولسهولة الاستخدام، تتطلب جداول حجم الخدمة العامة أدنى حد من مدخلات المستخدم عادةً، معلمات التصميم الرئيسة ذات التأثير الأكبر على سعة المرفق ومستوى الخدمة، مثل: عدد المسارات. وبالنظر إلى المدخلات هذه، يمكن أن يقرأ المستخدم بعد ذلك الحد الأقصى للحجم (حجم الخدمة) لمستوى معين من الخدمة مباشرةً من الجدول ومقارنته بالحجم الفعلي أو المتوقع للمرفق. ويشير الحجم الأكبر من حجم الخدمة لمستوى الخدمة المطلوب إلى الحاجة لإجراء مزيد من التحاليل.

غالبًا ما يكون نوع المنطقة (على سبيل المثال: حضرية، أو ريفية) بمثابة مقياس للعديد من القيم الافتراضية (مثل: تعدد السائقين، نسبة المركبات الثقيلة، وعامل ساعة الذروة). وبالتالي، غالبًا ما يؤثر نوع المنطقة تأثيرًا كبيرًا في أحجام الخدمة.

ومن غير المحتمل أن يكون هناك تطابق دقيق لخصائص أي طريق معين مع القيم الافتراضية المستخدمة في وضع الجدول؛ ولذا ينبغي النظر في النتائج المستخلصة من استخدام جداول حجم الخدمات وتقديمها على أنها بمثابة تقديرات تقريبية. وعلى وجه التخصيص، ينبغي عدم استخدام جداول حجم الخدمة العامة لاتخاذ قرارات نهائية بشأن ميزات تصميم الطرق المهمة؛ إذْ يتطلب هذا النشاط تحليل تشغيلي شامل. ورغم ذلك، طالما يدرك المحلل حدود هذه الأداة ويراعيها، يمكن أن تكون جداول حجم الخدمة العامة أداة رسم تخطيطي مفيدة لوضع تقديرات سريعة لمستوى الخدمة، والسعة؛ لا سيما بالنسبة إلى عدد كبير من المرافق.

ب-٥-١ متى ينبغي النظر في جداول حجم الخدمات:

ينبغي أن يراعي قرار استخدام جدول حجم الخدمات مجموعة من العوامل، منها:

- **مقياس التحليل:** كلما زاد النطاق الجغرافي للتحليل (أي كلما زاد عدد المواقع التي ينبغي تحليلها)، أصبحت جداول حجم الخدمة العامة أكثر تطبيقًا نتيجة عدم جدوى جمع البيانات التفصيلية، لعدد كبير من المواقع. وعندما يُحلَّل عدد قليل من المواقع، فمن المحتمل أن تعطي أدوات التحليل الأخرى نتائج أكثر دقة؛ حيث يصبح من الأجدى جمع بيانات، أو تطبيق قيمٍ افتراضيةٍ أقل تعميمًا، أو كليهما. ورغم ذلك، يمكن تطبيق جداول حجم الخدمات على عدد أقل من المواقع عندما لا تتطلب نتيجة التحليل مستوى دقة أعلى.
- **الاستخدام المقصود من نتائج التحليل:** تُعد جداول حجم الخدمات مناسبة جدًا للتحاليل؛ حيث سيؤدي تحديد مشكلة تشغيلية محتملة إلى تحليل متابعة أكثر تفصيلًا باستخدام أدوات وبيانات إدخال أكثر دقة. كما تُعد أيضًا مناسبة تمامًا لتطبيقات إدارة الأداء التي تشمل مستوى الخدمة، أو حسابات السعة (مثل: حساب عدد الكيلومترات للطرق التي تكون درجة مستوى الخدمة فيها فئة إي، أو أسوأ أثناء فترات الذروة). وينبغي عدم استخدامها لاتخاذ قرارات نهائية بشأن تصميم الطرق، أو عناصر التحكم، ولا لإجراء تقييمات نهائية بشأن مدى كفاءة الطرق لتلبية الطلب الإضافي.
- **تَوفُّر جدول مناسب:** تعتمد دقة النتائج من جدول حجم الخدمة العامة اعتمادًا كبيرًا على مدى صحة القيم الافتراضية المستخدمة لتهيئة ظروف مطابقة للجدول على الطريق الذي يُجرَى تحليله. تشمل الافتراضات الشائعة في أي جدول من جداول حجم الخدمة ما يأتي: (١) المقطع العرضي الموحد للطريق، (٢) الطلب الموحد على الطريق (٣) عدم وجود اكتظاظ صف الانتظار (على سبيل المثال: من ممر انعطاف لليسار إلى آخر، أو من منحدر فرعي إلى آخر، أو من جزء طريق سريع إلى آخر)، و(٤) توقيت إشارة المرور التي تستوعب كافة حركات الانعطاف استيعابًا مناسبًا. كلما كان هناك تفاوت بين الظروف الفعلية والافتراضات، كلما قلت ملاءمة جدول حجم الخدمات.

وينبغي على المحلل أن يأخذ حذره عندما يكون مستوى الخدمة المقدر قريبًا من أو عند مستوى الخدمة (F). وتتأرجح التشغيل الفعلي للتقاطع، أو القطاع، أو المرفق بشكل كبير عند حد مستوى الخدمة فئة إي/إف. ومن ثم ينبغي عدم الاعتماد على جداول حجم الخدمات عند الاقتراب من هذا الحد. وهناك حاجة لمزيد من التحاليل التفصيلية لتحديد التشغيل الفعلي بشكل أفضل.

ب-٥-٢ مصادر جداول حجم الخدمات العامة:

هناك ثلاثة مصادر رئيسة لجداول حجم الخدمات العامة:

١- جداول حجم الخدمة العامة الخاص بدليل سعة الطرق.
٢- جداول حجم الخدمة العامة الخاص بوزارة النقل في فلوريدا (FDOT Quality/Level of Service Handbook (2020))، و
٣- جداول حجم الخدمة المحلية ((TRB, (2022).

ب-٦ تحليل المحاكاة المجهرية:

ب-٦-١ إعداد نموذج الأساس:

يُعد نموذج سنة الأساس (نموذج الأساس) نموذج محاكاة للظروف الموجودة (أو الحالية) والذي يعمل بمثابة أساس يتم من خلاله بناء بدائل أخرى لنمذجة المشروع. ويُعد إعداد نموذج أساس دقيق ويمكن التحقق منه أمرًا لازمًا لمحاكاة خصائص المرور الموجودة.

قبل شروع المحلل في ترميز نموذج الأساس، يمكن أن يراجع مشاريع المحاكاة المجهرية السابقة داخل المنطقة. وستساعد المراجعة المحلل في فهم مسائل النمذجة ومعلمات المعايرة.

ولزيادة كفاءة النمذجة، ينبغي إعداد نموذج الأساس ومعايرته، وتشغيله بشكل كامل لفترة تحليل واحدة قبل وضع سيناريوهات أخرى لفترة التحليل. كما ينبغي أن يكون الهدف من جهود المعايرة هو إعداد مجموعة من معلمات المعايرة التي تعكس ظروف التشغيل لفترات الذروة الصباحية والمسائية. إذا لم يكن ذلك ممكنًا، ينبغي تقديم وثائق لتوضيح مجموعة متعددة من معلمات المعايرة لنموذج الأساس. وينبغي نقل معلمات المعايرة في نموذج الأساس في كافة النماذج اللاحقة.

ب-٦-٢ التحقق من النموذج/تدقيق الأخطاء:

قبل بدء المعايرة، ينبغي فحص نموذج الأساس للتثبت من اكتماله ودقته. ويتمثل هدف خطوة التحقق من النموذج في تأكيد اكتمال عملية إعداد النموذج وخُلوّ النموذج من الأخطاء في تنفيذه. لا يلبي نموذج المحاكاة المحقّق منه بالضرورة هدف أداء التحليل. ستكون عملية المعايرة أكثر فعالية عند إعداد نموذج خالٍ من الأخطاء، وإدخال بيانات قِيست بدقة. ويُجرَى التحقق من النموذج من خلال مراجعة رسائل أخطاء البرنامج (منها التحذيرات)، وبيانات المدخلات، والرسوم المتحركة للنموذج. كما ينبغي استخدام نموذج المحاكاة المحقّق منه بعد اكتمال مراجعة الأقران لعملية المعايرة.

ب-٦-٣ معايرة النموذج والتحقق منه:

تُعد معايرة النموذج والتحقق منه أهم خطوة؛ لكنها تمثل تحديًا لإعداد نموذج محاكاة دقيق وواقعي.

- تعد المعايرة عملية تكرارية تُعدَّل من خلالها معلمات النموذج؛ حتى تتطابق مستويات الفعالية للمحاكاة بدرجة معقولة مع مستويات الفعالية الميدانية المقاسة. وتتطلب المعايرة كلًا من الخبرة البرمجية والمعرفة بظروف المرور الموجودة.
- عملية التحقق من النموذج هي عملية اختبار أداء النموذج الذي تمت معايرته باستخدام مجموعة مستقلة من البيانات (لم يسبق استخدامها في المعايرة). وتُعد عملية التحقق فحصًا إضافيًا لتأكيد صحة معايرة النموذج ومطابقته الوثيقة مع الظروف الموجودة.

ينبغي إجراء المعايرة لكافة النماذج الأساسية قبل تطبيقها للحد من أخطاء التنبؤ. عند إعداد نماذج فترة الذروة الصباحية والمسائية، ينبغي ترميز هذه النماذج مع الارشادات المنصوص عليها في الجزء الفرعي إعداد نموذج الأساس. ينبغي ترحيل معلمات المعايَرة من نموذج الأساس دون تغييرها إلى نماذج السنة اللاحقة (المقترحة)، مالم يُقدَّم تبريرٌ كافٍ (مثل: التغييرات في الهندسة). وتجدر الإشارة إلى أن المعايرة تشمل تعديل معلمات النموذج التي تتحكم في سلوك القيادة لتكرار الظروف الميدانية. كما ينبغي تمييز معلمات المعايرة من معلمات المدخلات للنموذج، مثل: عدد المركبات، وعدد المسارات، وخليط من المركبات، وتضاريس الشبكة، إلخ، التي جُمعت ميدانيًا. كما ينبغي التحقق من دقة معلمات المدخلات للنموذج في أثناء مرحلة التحقق/فحص أخطاء النموذج كما هو موضح في الجزء الفرعي السابق.

ينبغي تقديم القيم الافتراضية لمعلمات معايرة النموذج كنقطة بداية لنمذجة ظروف المرور في العالم الواقعي، ولا تمثل بالضرورة خصائص منطقة التحليل. كما ينبغي أن تتمثل الخطوة الأولية للمعايرة في مقارنة بيانات المحاكاة بشكل بياني، وبصري مع بيانات أداء المحاكاة استنادًا إلى المعلمات الافتراضية مع البيانات الميدانية. وينبغي أيضًا مطابقة مواقع جمع البيانات الميدانية مع نقاط جمع البيانات في شبكة المحاكاة للحصول على نتائج مماثلة. وفي ظروف بالغة الندرة، سيتمكن النموذج من تكرار الظروف الموجودة باستخدام القيم الافتراضية. وبالتالي، تُعد معايرة المعلمات هذه أمرًا ضروريًا لتكرار الواقع لدرجة عالية من الثقة.

يمكن الاطلاع على القيم الافتراضية في العديد من أدلة مستخدم برامج المحاكاة المجهرية. وينبغي توثيق ما يطرأ من تغييرات على هذه المعلمات في تقرير المعايرة وتصبح جزءًا من توثيق نموذج المحاكاة.

ينبغي امتناع المحلل عن استخدام القيم الافتراضية أو التي تمت معايرتها من نماذج البرمجيات الأخرى لاختلاف الخوارزميات الحسابية الخاصة بها.

ب-٦-٣-١ عملية معايرة النموذج:

تتضمن عملية معايرة نموذج المحاكاة تغيير المعلمات الافتراضية، ومحاكاة النموذج، ومقارنة مستويات فعالية المعايرة مع مقاييس الفعالية المقاسة ميدانيًا بشكل متكرر. وإذا كانت الأخطاء المتبقية بين مقاييس الفعالية التي تمت محاكاتها والمقاسة ميدانيًا في نطاق الحد المسموح به من الأخطاء؛ فإنه ستتم معايرة النموذج، وإلا ينبغي تعديل معلمات النموذج حتى تكون كافة الأخطاء المتبقية لمستويات الفعالية في نطاق الحد المسموح به. وينبغي أن تكون القيم المعدلة للمعلمات التي تمت معايرتها معقولة وواقعية. تشمل عملية المعايرة ما يأتي، وتُناقَش كل منها في الأقسام اللاحقة:

- تحديد أهداف المعايرة.
- تحديد استراتيجية المعايرة لبلوغ الأهداف.
- تحديد أقل عدد مطلوب من مرات تشغيل المحاكاة.
- إجراء المعايرة والتحقق للحصول على مطابقة مقبولة ميدانيًا.

ينبغي أن تضع عملية معايرة النموذج اهتمامًا كبيرًا على مطابقة مقاييس الفعالية في المواقع الحرجة على الشبكة، مثل: الاختناقات المرورية، والمناطق التي يُقترح إجراء تحسينات فيها.

فضلًا عن تقييم مقاييس فعالية المعايرة، ينبغي إجراء تقييم نوعي للنموذج من خلال الفحص البصري لرسوم نموذج الأساس المُعايَر مقابل الملاحظات الميدانية لتحديد مدى معقولية تكرار النموذج للواقع.

ب-٦-٣-٢ أهداف المعايرة:

يتمثل الهدف من عملية المعايرة في تقليل التباين بين مقاييس فعالية المحاكاة ومقاييس الفعالية المقاسة ميدانيًا، وذلك من خلال تعديل معلمات المعايرة بشكل متكرر. ولمعايرة نموذج المحاكاة المجهرية جيدًا، ينبغي معرفة مواقع المعايرة على شبكة المحاكاة ومقاييس فعاليتها عند وضع خطة جمع البيانات. وسيساعد هذا في جمع البيانات الكافية وذات الصلة التي تُستخدم لاختبار أداء نموذج المحاكاة في تكرار الظروف التشغيلية للمرور في الوقت الفعلي.

ينبغي اختيار مالا يقل عن اثنين من مقاييس فعالية الأداء بالإضافة إلى السعة، وأحجام المرور للمعايرة. وعند نمذجة مرافق الوصول المحدودة، ينبغي ربط مقياس واحد على الأقل من مقاييس الفعالية مع الشوارع السطحية المنمذجة ضمن حدود التحليل. تشمل مقاييس فعالية أداء النظام زمن الانتقال، والسرعة، والتأخير، وطول صف الانتظار.

ب-٦-٣-٣ استراتيجية معايرة النموذج:

ولأن معايرة النموذج بمثابة عملية تكرارية؛ ينبغي على المحلل وضع استراتيجية عملية لتحقيق أهداف المعايرة. وتتمثل إحدى الممارسات الجيدة في تقسيم معلمات المعايرة إلى فئتين أساسيتين ينبغي التعامل معهما على حدة:

- تتمثل الفئة الأولى في المعلمات التي يتأكد منها المحلل ولا يود تعديلها. وتُقاس هذه المعلمات مباشرةً من الميدان والمدخلات في النموذج (مثل: طول المركبة). وتنتمي أيضًا إلى هذه الفئة: قيم المعلمات التي يمكن أخذها من التحاليل السابقة، ويمكن تطبيقها على المشكلة التي يُجرَى تحليلها. كما تنتمي إلى هذه الفئة: المعلمات التي ليس لها تأثير قوي على مقاييس فعالية المعايرة.
- تتمثل الفئة الثانية في المعلمات التي يكون فيها المحلل أقل يقينًا بشأنها، ومستعد لتعديلها. وتتضمن هذه الفئة المعلمات التي تمتلك مستويات عالية إلى متوسطة لدقة مقاييس فعالية المعايرة.

وبالتالي تجدر زيادة التركيز على معايرة المعلمات المناسبة للمشكلة التي يُجرَى حلها، والتي لها تأثير كبير على مقاييس فعالية المعايرة. كما يقلل العمل على المعلمات التي تؤثر في مقاييس فعالية المعايرة مقدار الوقت لتعديل النموذج ومعايرته. ومن الأهمية بمكان أيضًا تقسيم المعلمات القابلة للتعديل إلى تلك التي تؤثر بشكل مباشر على السعة، وإلى المعلمات التي تؤثر على اختيار المسار.

ينبغي تقسيم المعلمات التي ستُعدَّل إلى معلمات عالمية، ومحلية. تؤثر المعلمات العالمية على كافة عناصر شبكة المحاكاة، لكن تؤثر المعلمات المحلية على الروابط أو النقاط الفردية في الشبكة. وينبغي تعديل المعلمات العالمية قبل المحلية.

يمكن اتباع الاستراتيجية الآتية لتحسين فعالية جهد المعايرة:

١- **معايرة الاختناق المروري:** تتضمن هذه المعايرة استخراج شبكة فرعية تحتوي على الاختناقات المرورية من شبكة المحاكاة التي تم التحقق منها، والتي يُجرَى من خلالها معايرة السعة. وقبل معايرة الاختناق المروري؛ على المحلل تحديد عوامل الاختناق المروري السببية والمساهمة التي يمكن أن تشمل هندسة الطرق، أو التحكم المروري أو القيود التنظيمية. إذا وقع مصدر الازدحام خارج شبكة النموذج، ينبغي عندئذٍ تطبيق خطوات المعايرة داخل النموذج لتقليل السرعات في وصلات الطرق الخارجية. ويمكن استخدام تطبيق حدود سرعات أقل لملائمة أوقات التنقل المزدحمة، حيث يمكن تصميم لافتات توقف (وهمية)، أو إشارات مرور لتكرار سلوك الانتظار في الوقت الفعلي. وإذا تعذر توسيع نموذج المحاكاة المجهرية للدراسة، فينبغي إجراء معالجة لاحقة لنتائج النموذج، وذلك لتكرار الظروف الميدانية بشكل دقيق. ويوصى بمناقشة التقنية المختارة مع جهات الطرق المحلية للموافقة عليها قبل الاستخدام.
٢- **معايرة اختيار المسار:** تُعاير معلمات اختيار المسار عندما يتضمن نموذج المحاكاة شوارع موازية. كما تتضمن تعديل معلمات خوارزمية اختيار المسار، مثل: معرفة السائقين بالمنطقة. وينبغي عدم خضوع المعلمات التي سبق معايرتها في مرحلة معايرة السعة للتعديل خلال معايرة اختيار المسار.
٣- **معايرة أداء النموذج:** تتضمن هذه المعايرة الضبط الدقيق لمعلمات النموذج؛ لتعزيز الأداء العام للنموذج فيما يتعلق بالسرعة، وزمن الانتقال، وصفوف الانتظار

ب-٦-٣-٤ عدد مرات تشغيل المحاكاة المتعددة:

ينبغي تشغيل نماذج المحاكاة عدة مرات باستخدام القيمة الأولية للرقم العشوائي؛ لتقليل تأثير طبيعة النموذج العشوائية على النتائج. وذُكرت متوسطات وأوجه تباين النتائج من عمليات تشغيل متعددة، وعادةً ما يكفي عشر مرات تشغيل محاكاة بأرقام عشوائي مختلفة. ورغم ذلك، يمكن حساب عدد مرات تشغيل المحاكاة المطلوبة لتحقيق مستوى ثقة معين بشأن متوسط مقياس الأداء حسابًا رياضيًا كالتالي:

$$n = \left(\frac{s \times t_{\alpha/2}}{\mu \times \varepsilon}\right)^2$$ **المعادلة (ب-١)**

حيث إن:

n هو العدد المطلوب من مرات تشغيل المحاكاة.

s هو الانحراف القياسي لقياس أداء النظام بناءً على مرات تشغيل المحاكاة التي أُجريت سابقًا.

$t_{\alpha/2}$ هي القيمة الحرجة لإحصاء (ت) ذي الجانبين في مستوى الثقة (α) و$(n-1)$ درجة حرية. تُعد (α) بنسبة ٥٪ قيمة نموذجية.

μ هو متوسط مقياس أداء النظام.

ε هو الخطأ المسموح به، ومحدد ككسر (μ). ويُعد الخطأ بنسبة ١٠٪ مقصود.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه عملية تكرارية، ونتيجة للقيود الزمنية، ينبغي اقتصار المنهجية على حد أقصى ٣٠ عملية تشغيلية.

ب-٦-٣-٥ أهداف المعايرة:

تتطلب المعايرة الصحيحة تقييم درجة تقارب مقاييس فعالية المعايرة من مقاييس الفعالية المقاسة ميدانيًا. يشمل التقييم قياس حجم وتفاوت أخطاء المحاكاة في تكرار ظروف المرور الموجودة. ولأن عملية تعديل معلمات المعايرة عملية تكرارية، ينبغي تعيين تفاوتات المعايرة وأهدافها لتقليص العملية.

ينبغي تحديد أهداف المعايرة بناءً على أهداف التحليل المروري فضلًا عن أنواع القرارات التي ستُتخذ من التحليل. قبل بدء جهود المعايرة، ينبغي موافقة الجهة القائمة بالمراجعة أو الهيئة التي تدير المشروع على أهداف المعايرة خلال مرحلة وضع المنهجية للتحليل المروري.

تُعرض الأهداف المقترحة للمعايرة في الجدول (ب-٤). يُشجَّع المحلل على التنسيق مع جهة المراجعة عن استخدام الأهداف هذه قبل البدء في جهود المعايرة.

الجدول (ب–٤) الأهداف التقليدية لمعايرة النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 7-7).

عنصر المعايرة	هدف المعايرة
السعة	تكون السعة المحاكاة في حدود ١٠٪ من القياسات الميدانية.
حجم المرور.	يجب أن تكون أحجام الوصلات المحاكاة والمقاسة لأكثر من ٨٥٪ من الوصلات: • في نطاق ١٠٠ مركبة/س لأحجام أقل من ٧٠٠ مركبة/ س. • في نطاق ١٥٪ لأحجام بنسبة ٧٠٠ مركبة/ س - ٢٧٠٠ مركبة/س. • في نطاق ٤٠٠ مركبة/س لأحجام أكبر من ٢٧٠٠ مركبة/ س.
	أحجام الوصلات المحاكاة والمقاسة لأكثر من ٨٥٪ من الوصلات للحصول على قيمة إحصائية جيفري إي هافرز تبلغ خمسة (٥) أو أقل.
	ينبغي أن تكون أحجام الوصلات داخل منطقة المعايرة في حدود ٥٪.
	مجموع أحجام الوصلات للحصول على قيمة إحصائية جيفري إي هافرز تبلغ خمسة (٥) أو أقل.
زمن الانتقال (تشمل النقل).	زمن الانتقال التي تمت محاكاتها في غضون ± ١ دقيقة للمسارات التي بها مدة رحلة ملحوظة أقل من (٧) دقائق لكافة المسارات المحددة في خطة جمع البيانات.
	زمن الانتقال الذي تمت محاكاتها في غضون ± ١٥٪ للمسارات التي بها مدة رحلة ملحوظة أكبر من (٧) دقائق لكافة المسارات المحددة في خطة جمع البيانات.
السرعة.	ينبغي أن يكون متوسط معدل سرعات الوصلات المنمذجة في حدود ± ١٦ كم/ساعة من السرعات المقاسة ميدانيًا على الأقل ٨٥٪ من كافة وصلات الشبكة.
التأخير بالتقاطعات.	يجب أن يكون التأخير في الوصلات المحاكاة والمقاسة ميدانيًا في حدود ١٥٪ لأكثر من ٨٥٪ من الحالات.
طول صف الانتظار.	ينبغي أن تكون مستويات طول صف الانتظار المحاكاة والملاحظة في حدود ٢٠٪.
المرئيات	التحقق من التوافق مع الظروف الميدانية الآتية: صف الانتظار داخل وخارج المنحدر؛ مناورات التماوج؛ أنماط ومدى صف الانتظار في التقاطع والوصلات المزدحمة؛ استخدام/اختيار المسار؛ موقع الاختناقات المرورية؛ وما إلى ذلك.
	التحقق من عدم وجود انعطافات للخلف غير واقعية، أو خروج مركبة من الشبكة، ودخولها مرة أخرى.
ملحوظة ١ - تُعد (GEH) صيغة تجريبية يعبر عنها بـ $\sqrt{\frac{2\times(M-C)^2}{(M+C)}}$ حيث يشير حرف (M) إلى أحجام نموذج المحاكاة، ويشير حرف (C) إلى الحجم المحسوب ميدانيًا	

ب-٦-٤ تصحيح آثار الطلب الذي لم يُلبَّ في النموذج:

يُعرَّف الطلب الذي لم يُلبَّ، أو الكامن على أنه عدد المركبات العاجزة عن دخول الشبكة في نهاية الفترة الزمنية للمحاكاة. يحدث الطلب الكامن أساسًا نتيجة للسعة غير الكافية في الشبكة. وينبغي أن تسود الظروف الآتية للنموذج لتكرار خصائص تشغيل حركة مرور في الوقت الفعلي بشكل معقول:

- ينبغي ألا يمتد الازدحام المحاكى بعيدًا عن حدود نطاق التحليل.
- ينبغي ألا تمنع المركبات من دخول (أو توليدها) الشبكة في أي خطوة من الخطوات الزمنية للمحاكاة.

مثاليًا، ينبغي اختيار الفترات الزمنية لنماذج المحاكاة المجهرية من النوع الذي تكون فيه فترات المحاكاة الأولى والأخيرة غير مشبعة. وتتراكم صفوف الانتظار المتبقية في أثناء الفترات الزمنية

(المتوسطة) وتتلاشى قبل نهاية الفترة الزمنية للمحاكاة النهائية. إذا لم تتلاشَ صفوف الانتظار المتبقية قبل نهاية الفترة الزمنية النهائية؛ فإن قياس الأداء المُبلَّغ عنه في نهاية المحاكاة يمكن لا يكون دقيقًا. كما يُشار أيضًا إلى صفوف الانتظار المتبقية على أنها طلب غير مُلبَّى، أو طلب كامن. ويمكن أن يؤدي وجود طلب غير مُلبَّى في النموذج إلى مخرجات خاطئة أو مضللة.

ينبغي أن تكون نماذج الظروف القائمة قادرة على معالجة أحجام (تعدادات) الخدمة، ولذا ينبغي ألا يكون هناك أي (طلب كامن) إذا تمت معايرتها جيدًا.

قد يحدث الطلب الكامن في الظروف المستقبلية حينما يمكن أن تؤدي القيود على السعة داخل شبكة الطرق في ظل الظروف *غير الأساسية* إلى تقييد المرور من دخول الشبكة. يمكن أن تسمح سعة الطرق الإضافية في ظل الظروف *الأساسية* بمعالجة المزيد من المرور داخل الشبكة، وذلك يؤدي إلى تقليل مدى الطلب الكامن. ورغم ذلك، قد يؤدي معدل النقل المتزايد إلى تحويل الاختناقات المرورية، أو تقليل مناطق سرعة الرحلة. ويمكن أن تؤدي محاكاة الأحجام المتباينة بين الظروف *غير أساسية* و*الأساسية* إلى نتائج مضللة في حالة حدوث طلب كامن. ويمكن أن يكون للطلب الكامن تأثير على نتائج أداء الشبكة الأخرى، وأن يقدم نتائج مضللة، ولذا يلزم وضعه في الحسبان في النتائج ومقارنة البدائل.

- ينبغي توثيق الطلب الكامن لكل نموذج لتمثيل النتائج تمثيلًا دقيقًا. ويمكن توثيق هذا عن فترة المحاكاة بأكملها، أو كل فترة.
- عمومًا، ينبغي أن يكون الطلب الكامن على نماذج المحاكاة المجهرية للسيناريو *الأساسي* أقل من نماذج المحاكاة المجهرية للبديل *غير أساسي* نظرًا لفائدة تحسينات المشروع.
- في بعض السيناريوهات المعقدة، يمكن أن تُستخدم أحجام الطلب المختلفة بين السيناريوهات غير الأساسية والأساسية. إذا كان الطلب الكامن *الأساسي* أكبر من الطلب الكامن *غير أساسي*، ينبغي عندئذٍ مقارنة إجمالي الطلب على الشبكة (مجموعة من معدلات نقل الحجم التي تمت محاكاتها، والطلب الكامن)؛ حيث يمكن أن يُوصَى بالبديل الذي يوفر أكبر فائدة تشغيلية.

وفي الحالات التي يُرصَد فيها الطلب الكامن في الظروف الموجودة أو المستقبلية، ينبغي اتباع الخطوات الآتية:

- يُعالج الطلب غير الملبَّى عن طريق تمديد الحدود المكانية والزمانية للنموذج؛ لتشمل أقصى حد للجزء الخلفي لصف الانتظار، أو الازدحام المتراكم، وفترات تلاشي الازدحام. ورغم ذلك، يمكن أن يستحيل في بعض الحالات تمديد الحدود المكانية للتحليل نتيجة طبيعة المشروع، والقيود المادية أو البرمجية، ووجود الطلب الغير ملبَّى.
- ينبغي تعديل مخرجات التحليل لمعرفة مصير الازدحام الغير المبلغ عنه. وإذا أخفق تمديد الحدود المكانية والزمانية في محاكاة الطلب الكامن، ينبغي تقديم وثائق للإشارة إلى أن توسيع حد النطاق لم يتخلص من خطأ الطلب غير الملبَّى، وصفوف الانتظار القصوى نتيجة تكرار الطلب الكامن لمدى الازدحام في الميدان. يمكن تصور صفوف الانتظار القائمة من المداخل ذات الطلب الكامن بضرب الطلب الكامن (المركبات) بطول متوسط المركبات. ينبغي فحص طول صف الانتظار الناتج عن هذه العملية الحسابية وتأكيده من البيانات الميدانية لإجراء معايرة دقيقة للشبكة.

ب-٦-٥ التحقق من نموذج السنوات المقبلة:

عقب معايرة نموذج الأساس بشكل ناجح، يمكن أن يبدأ ترميز نماذج السنوات المقبلة. وينبغي فحص نماذج السنوات المقبلة من الأخطاء والتحقق من معقوليتها. كما ينبغي ترحيل قيم معلمات المدخلات للنموذج المعايَر إلى نماذج السنوات المقبلة دون أي تغيير أو تعديل. ورغم ذلك، يمكن أن تقرر الظروف المستقبلية للمرفق المقترح الضبط الدقيق لبعض معلمات المعايرة. عندما تكون هناك حاجة لتعديل المعلمات المعايَرة، ينبغي تقديم الأسباب وتوثيقها.

يتضمن التحقق من المعقولية التحقق من مطابقة أحجام نماذج السنوات المقبلة مع توقعات نموذج الطلب على النقل. وينبغي التوفيق بين أية تباينات كبيرة في الحجم من خلال التنسيق مع واضعي نماذج الطلب قبل الانتهاء من التحليل؛ حيث يمكن أن تكون المشكلة ناجمة عن نموذج المحاكاة المجهرية، أو نموذج توقع الطلب، أو كليهما.

ب-٦-٦ إعداد تقارير المعايرة، والتحقق:

يُعد توثيق كيفية إجراء المعايرة أمرًا مهمًا لتبسيط مراجعة نموذج المرور. وبالتالي، تتمثل إحدى الممارسات الجيدة والمنهجيات الموصى بها في تقديم نموذج الأساس (المعايَر) إلى جهة المراجعة للموافقة عليه قبل الشروع في التحليلات البديلة. كما ينبغي دعم النموذج الأساس بتقرير المعايرة والتحقق من النموذج لتوثيق عملية وضع النموذج. وينبغي أن يشتمل التقرير، على الأقل، على موجز بعملية التحقق من النموذج، والافتراضات، ومسائل النمذجة، وعملية معايرة تفصيلية بكافة معلمات المعايرة، وأهداف المعايرة، وعمليات مراقبة الموقع وكيفية تمثيلها في النموذج، وتاريخ وضع النموذج. وينبغي أيضًا تقديم تقرير المعايرة للمراجعة قبل الشروع في التحليل البديل.

ينبغي جدولة نتائج النموذج المعايرَ، والمحقق منه، أو رسمها بيانيًا، ومقارنتها مع البيانات المقاسة ميدانيًا لكل فترة من فترات المعايرة. كما ينبغي ملاحظة أي أوجه تباين بين النموذج وظروف المرور المحلية ومناقشتها في التقرير. وستعتمد مراجعة مدى معقولية النموذج الذي تمت معايرته على المعلومات المقدمة في التقرير.

وبحكم الطبيعة العشوائية لأدوات المحاكاة المجهرية، والاحتمال الأعلى لأخطاء الترميز، ومبررات نمذجة القرارات؛ ينبغي أن يكون التقرير هذا حسَن التنظيم؛ وذلك لتوضيح كافة القرارات والافتراضات التي تم إجراؤها في عملية وضع النموذج ومعايرته. وبالتالي، ينبغي أن يتناول تقرير المعايرة المعلومات الآتية بالتفصيل:

ب-٦-٦-١ مقدمة:

ينبغي أن يتضمن هذا الجزء معلومات أساسية عن المشروع، ومنهجية التحليل المروري، والموقع، ونوع وإصدار البرنامج المستخدم.

ب-٦-٦-٢ جمع البيانات:

ينبغي أن يحتوي هذا الجزء على موجز بالبيانات الموجودة المستخدمة لوضع نموذج محاكاة دقيقة. وينبغي إدراج مواصفات المواقع الرئيسة للمعايرة بناءً على الملاحظات الميدانية في هذا الجزء. كما ينبغي إعداد مخططات كونتورية للسرعة، أو مخططات كنتورية مماثلة وتقديمها، وذلك لإظهار أنماط الازدحام الموجودة على طول المسار.

وينبغي تقديم موجز ببيانات المعايرة والتحقق منها في هذا الجزء.

وينبغي أيضًا وصف المسائل المهمة التي يجب تناولها من خلال عملية المعايرة جنبًا إلى جنب مع كل موقع معايرة. ستساعد المسائل في فهم اشتقاق مقاييس المعايرة الملائمة، وسُتستخدَم بمثابة دليل عند ضبط المعلمات الافتراضية.

ب-٦-٦-٣ إعداد نموذج الأساس والتحقق من صحته:

ينبغي أن يتكون هذا الجزء من العناصر الآتية:

- ترميز هندسة الشبكة، والطلب على المرور، والتحكم المروري.
- التحقق من/تدقيق أخطاء النموذج: تتضمن هذه العملية التقييمين: الكمي والنوعي للنموذج. وينبغي تلخيص نتائج النموذج المحاكى ذي الطلب الذي تتراوح نسبته ٥٠٪، و١٠٠٪؛ لتحديد عدم حدوث أية أخطاء في ترميز هذا الجزء. كما ينبغي مناقشة أية مشكلات تتعلق بمخالفة الطلب، مثل: المركبات غير المحققة أو المحظورة والتي لا يمكن معالجتها بالنموذج. علاوة على ذلك، ينبغي تقديم موجز بمقارنة الرسوم المتحركة وظروف المرور في الوقت الفعلي.
- الافتراضات المحددة التي قدمت لإعداد النموذج.

ب-٦-٦-٤ معايرة النموذج والتحقق منه:

ينبغي اشتمال هذا الجزء على العناصر الرئيسة الآتية:

- مقاييس فعالية المعايرة ومواقع المعايرة الرئيسة.
- أهداف المعايرة أو قبول التفاوتات.
- طريقة واستراتيجية المعايرة.

- القيم الافتراضية لمعلمات المعايرة التي ستُعدل لتلبية أهداف المعايرة. يمكن تصنيف قيم معلمات المدخلات المعدلة على أنها بمثابة معلمات عالمية ومحلية. علاوة على ذلك، يمكن تصنيف الوصلات المستخدمة لمعايرة المعلمات المحلية في فئات ذات خصائص محلية مماثلة. على سبيل المثال: يشتمل التصنيف حسب الموقع على القطاعات الرئيسة للطرق السريعة، ودمج/تباعد المنحدرات، ومناطق التماوج، أو التقاطعات، أو قطاعات الطرق الشريانية، بينما يتضمن التصنيف حسب ظروف المرور مستويات الازدحام، مثل: الظروف المفرطة التشبع وغير المتشبعة لكل نسب الحجم إلى السعة.

ب-٦-٦-٥ نتائج معايرة النموذج:

ينبغي أن يتضمن هذا الجزء ما يأتي:

- حساب الحد الأدنى لعدد مرات تشغيل المحاكاة.
- وثائق تفصيلية عن مبررات أو أسباب تغيير القيم الافتراضية لمعلمات المدخلات. ينبغي مناقشة كل معلمة من المعلمات التي غُيِّرتْ في هذا الجزء جنبًا إلى جنب مع الإحصائيات/مقاييس الفعالية الداعمة، أو خصائص الموقع التي تفضي إلى التغيير.
- ينبغي تقديم نتائج نموذج المعايرة في شكل رسوم بيانية، أو جداول في هذا الجزء.
- نتائج التحقق من نموذج المعايرة باستخدام مجموعة مستقلة من البيانات (البيانات التي لم تُستخدم للمعايرة).

ب-٦-٦-٦ موجز الاستنتاجات:

ينبغي تضمين هذا الجزء موجز بتقرير المعايرة.

ب-٦-٧ قائمة التدقيق لمُراجع معايرة النموذج:

الجدول (ب-٥) يقدم قائمة يمكن أن يستخدمها المراجع للتحقق من معقولية نموذج الأساس في تكرار خصائص المرور الموجودة. ينبغي أن يتحقق المراجع من كافة العناصر التي تُطبق على المشروع، وألا يشير إلى أن العنصر/العناصر لا يمكن تطبيقه على المشروع.

الجدول (ب–٥) قائمة التدقيق لمُراجع معايرة النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 7-13).

معرّف للمشروع المالي: _____

اسم المشروع: _____

العنصر المراد التحقق منه	الوصف	ضع علامة
أخطاء النموذج	☐ نموذج المحاكاة خالٍ من الأخطاء.	☐
	☐ تم التحقق بدقة من نموذج المحاكاة.	☐
مقاييس الفعالية	☐ أُدرِجت كافة مقايس فعالية المعايرة.	☐
	☐ حُدِّدت أهداف المعايرة.	☐
	☐ بيانات المعايرة، والتحقق من صحتها كافية لبلوغ الأهداف.	☐
	☐ حُددت الاختناقات المرورية، ومناطق الازدحام تحديدًا واضحًا.	☐
عملية المعايرة	☐ وُثِّقت عملية المعايرة بكافة بيانات المعايرة والافتراضات ذات الصلة، وتشتمل على تاريخ وضع نموذج الأساس.	☐
	☐ تغطي جهود المعايرة فترتي الذروة الصباحية والمسائية.	☐
	☐ تم تغطية الطول الكافي لفترة المحاكاة والاستعداد.	☐

معرّف للمشروع المالي:

_____

اسم المشروع:

_____

العنصر المراد التحقق منه	الوصف	ضع علامة
	☐ غُيِّرت المعلمات الافتراضية للمعايرة وتوثيقها للطرق السريعة.	☐
	☐ غُيِّرتْ المعلمات الافتراضية للمعايرة وتوثيقها للطرق الشريانية.	☐
	☐ تتطابق الرسوم المتحركة للنموذج مع سلوك السائق المتوقع والظروف المرصودة في الميدان.	☐
	☐ يكرر نموذج الاختناق المروري في الوقت الفعلي، واستخدام المسارات.	☐
أهداف المعايرة	☐ تعتمد نتائج المعايرة على عشر مرات تشغيل محاكاة على الأقل باستخدام قيم عشوائية مختلفة.	☐
	☐ يفي نموذج أحجام المخرجات بمتطلبات معايرة الحجم.	☐
	☐ يفي نموذج معدلات سعة الوصلات بمتطلبات معايرة السعة.	☐
	☐ يفي نموذج قيم الوصلات بمتطلبات معايرة القيم.	☐
	☐ يفي نموذج مدة رحلة الوصلات بمتطلبات المعايرة.	☐
	☐ يفي نموذج فترات تأخير التقاطعات بمتطلبات المعايرة.	☐
	☐ يكرر نموذج صف الانتظار ظروف الوقت الفعلي.	☐
	☐ حُقِّق هدفان للمعايرة خارج الحجم والسعة.	☐
توثيق المعايرة	☐ قُدِّمت مخططات ملف تعريف السرعة التي توضح السرعة الميدانية/زمن الانتقال والسرعة المحاكاة.	☐
	☐ قُدِّمت مخططات ملف تعريف السرعة التي توضح السرعة الميدانية/زمن الانتقال، وسرعة المحاكاة.	☐
	☐ جدول يتضمن توثيقًا لإجمالي الطلب الكامن، والطلب الكامن كنسبة مئوية من إجمالي حجم الطلب.	☐
	☐ قُدِّمتْ جداول توضح حجم الطلب، ومقارنة الحجم الذي تم محاكاته مع العملية الحسابية (جيفري إي هافرز) طوال فترة المحاكاة بأكملها.	☐

التعليقات:

اسم المراجع:

_____

التاريخ: _____

ب-٦-٨ تحليل صيانة المرور باستخدام نماذج المحاكاة المجهرية:

عادة ما يتم معايرة نماذج المحاكاة المجهرية وفقًا لظروف المرور التقليدية حتى يتمكنوا من استخدامها عند اختبار البدائل في السنوات المقبلة. صيانة المرور هي حدث مؤقت يحدث في أثناء عملية الإنشاء ويستمر في الغالب لفترة زمنية قصيرة. ولا تتطلب هذه المشاريع معايرة خاصة. ومع ذلك، يمكن استخدام نموذج الظروف الحالية المعاير لمحاكاة سيناريوهات صيانة المرور وتحليلها. وبعد ذلك، يمكن استخدام النموذج المعاير الذي يحاكي ظروف المرور العادية كأساس لتعديل الهندسة والحجم والتحكم المروري لغرض صيانة المرور. وفيما يخص مشاريع المسارات الواسعة فيتم فيها البناء على عدة أطوار، ويمكن استخدام نماذج السنة الافتتاحية، أو سنة التصميم كأساس لتعديل الهندسة والحجم والتحكم المروري؛ لتحليل سيناريوهات صيانة المرور.

ب-٦-٩ الرسوم المتحركة:

تتمثل إحدى مزايا المحاكاة المجهرية على الأدوات التحليلية في قدرتها على وصف وشرح المشكلة والحلول الممكنة من خلال تحريك مسارات المركبات الفردية من النموذج. يمكن أن تكون الرسوم المتحركة أداة بالغة الفعالية لعرض نتائج التحليل المروري على الجمهور غير الفني مثل المسؤولين المنتخبين وصانعي السياسات والجمهور. مثل الملخصات الرسومية، تعد الرسوم المتحركة أداة بصرية مميزة تعمل على تحديد النتائج المترتبة على كل بدائل التحسين على التشغيل المروري ومقارنتها.

علاوة على ذلك، يمكن تسجيل الرسوم المتحركة من النظام التحليلي في تنسيق الفيديو وعرض الفيديو في مختلف منصات المعلومات مثل الاجتماعات العامة ومواقع المشاريع على الإنترنت. كما ينبغي أن تدعم الرسوم المتحركة المُعدَّة للعرض العام أو الندوة هدف المشروع والسمات التي يتمتع بها الجمهور. وفي مثل هذه الحالة، ينبغي ابتكار الرسوم المتحركة من أجزاء من نتائج المحاكاة التي تظهر نتائج التحليل.

وإذا كان المطلوب هو عرض تحليل مقارن لبديلين؛ فينبغي إعداد عرض للرسوم المتحركة جنبًا إلى جنب مع نفس عمليات أحمال المرور. ويمكن أيضًا إعداد لقطات الشاشة للرسوم المتحركة الخاصة بالمواقع الحرجة وعرضها للجمهور كصور ثابتة.

وفي هذا التقرير، يمكن أن تُعرَض نتائج الرسوم المتحركة في شكل لقطات شاشة لنظام الرسوم المتحركة مع وصف داعم للرسوم المتحركة.

ب-٦-١٠ دليل النموذج:

دليل النموذج (أو تقرير إعداد النموذج) يمكن إعداده لدعم وتوثيق التحليلات التي تُنفَّذ على الأنظمة المعقدة باستخدام أدوات المحاكاة المجهرية، إذا طلبت ذلك هيئة/سلطة الطرق. وينبغي أن يكون إعداد دليل النموذج اختياريًا؛ ولا سيما إذا أُعِدّ تقرير المعايرة. ولا تتطلب التحليلات البسيطة مثل تحليل المواقع المعزولة إعداد تقارير تطوير تحليل منفصلة. ومن الأمثلة على تقرير تطوير التحليل: دليل نموذج المحاكاة الذي يوثق البيانات المدخلة، والملاحظات الميدانية، والتحقق من النماذج، والمعايرة، والمخرجات. وينبغي أيضًا أن تُدرَج جميع ملفات المدخلات الإلكترونية المستخدمة في عملية التحليل في دليل النموذج. الغرض من دليل النموذج يكمن فيما يأتي:

- توفير مواد كافية لاستعراض النموذج والتحقق من دقته مقابل ظروف العالم الحقيقية.
- إمكانية إجراء تحليل مستقل.
- زيادة العائد على الموارد الهائلة المنفقة على إعداد النموذج إلى أقصى حد عن طريق توفير النموذج للاستخدام في مراحل أخرى من المشاريع.
- توثيق الدروس المستفادة وأفضل الممارسات لصالح التطبيقات المستقبلية.

ويمكن إعداد دلائل نموذج مختلفة للنموذج الأساسي ولكل بديل محاكي. وينبغي أن يتضمن دليل النموذج العادي جميع الوثائق المتعلقة بوضع النموذج، مثل ما يأتي:

- وصف ظروف الموقع الحالية مثل جميع سجلات الملاحظات الميدانية.
- بيانات حجم المرور (معدلات التدفق، كثافة المرور، بيانات المنبع-المقصد).
- البيانات الهندسية (رسوم العقد والوصلات، ومخططات المسارات).
- بيانات التحكم المروري.
- مصادر البيانات.
- معلمات النموذج والمدخلات.
- معايرة النموذج والتحقق منه.
- مخرجات النموذج ونتائج التحليل.
- افتراضات النموذج / التحليل.

يُعرض المخطط الموصى به لدليل النموذج كما هو مبين في الجدول (ب-٦).

الجدول (ب–٦) مخطط دليل النموذج (المصدر: FDOT, (2021b) – Figure 7-4).

١- نظرة عامة:

تشتمل على بيان موجز للغرض من الدراسة، وخريطة لمنطقة الدراسة، وسرد للظروف الحالية بالإضافة إلى مناقشات حول سلوك السائق وموقع القيود المادية، ومناقشة بشأن نهج الدراسة (الأدوات المستخدمة والطريقة والأساس المنطقي).

٢- جمع البيانات:

يشتمل على موجز لطرق جمع البيانات ومصادرها: بيانات المدخلات، مثل مخططات عقدة الارتباط، ومخططات المسارات، ومراكز إدارة المرور الشريانية، وأحجام الطرق السريعة، والمنحدرات الأولية، والمتوازنة وجداول المنبع-المقصد، وبيانات التحكم المروري، وبيانات النقل العام والنقل المتعدد الوسائط والملاحظة الميدانية. كما يجب أن يناقش بيانات المعايرة، مثل: سرعات السير على الطرق، وزمن الرحلات، وصفوف الانتظار، والتأخير بالتقاطعات. وفي حالة استخدام برنامج تحسين الإشارة، يجب تضمين ملفات المدخلات والمخرجات الخاصة به في هذا الجزء.

٣- النموذج الأساسي:

يحتوي على افتراضات النماذج وجميع ملفات المدخلات والمخرجات الخاصة بالنماذج، ووثائق التحقق من النماذج، ويشمل ذلك جميع قوائم التحقق المستخدمة في عملية ضمان الجودة/مراقبة الجودة. ويرد هنا تقنيات الترميز للهندسة أو العمليات المعقدة أو غير التقليدية.

٤- التحقق من الأخطاء:

يحتوي على عملية التحقق من الأخطاء وعملية ضمان الجودة/مراقبة الجودة والنتائج.

٥- معايرة النموذج الأساسي والتحقق منه:

تشتمل على سرد لعملية المعايرة والتحقق، والذي يتضمن أهداف المعايرة ومقاييس الفعالية والتوثيق الداعم للأدلة على تغيير المعلمات الافتراضية.

٦- تحليل البدائل:

يشتمل على بيانات المدخلات والمخرجات (الملفات الإلكترونية)، وملفات تحسين الإشارة وموجزات مقاييس الفعالية ووثائق ضمان الجودة/مراقبة الجودة في كل نموذج تم تحليله للسنوات المقبلة. ويمكن تقسيم هذا الجزء إلى أقسام فرعية تتناول بيانات المدخلات والمخرجات الخاصة بكل بديل تم تحليله.

ب-٧ مقاييس فعالية الأداء:

ب-٧-١ الغرض:

الهدف من حساب مقاييس فعالية التشغيل المروري هو تحديد الآثار الناجمة عن التعديلات المقترحة في المشروع وتحديد ما إذا كانت الأهداف المحددة قد أُنجزت. وينبغي أن تركز مقاييس الأداء المحددة للمشروع التحليلي على ما سيميز بين البدائل. وبما أن هذه التدابير، ستفيد صانعي القرار مباشرة؛ فإنها تُعدّ عنصرًا بالغ الأهمية ينبغي التركيز عليه في بداية المشروع. ويوجد العديد من مقاييس الفعالية المتوفرة التي يمكن استخدامها لتقييم بدائل الدراسة وتوثيق النتائج. ويتمثل الهدف من هذا القطاع في توفير توجيهات بشأن مقاييس الفعالية التي ينبغي أن تُنتَج، والوثائق المناسبة لمقاييس الفعالية للتحليل المروري. ويقدم هذا القطاع مجموعة أساسية من مقاييس الفعالية؛ لتحديد الازدحام المروري والقيود المفروضة على السعة والقضايا التشغيلية باستخدام الأدوات التحليلية وتحليل المحاكاة المجهرية. مقاييس الفعالية المختارة والمتضمنة في القطاعات المتلاحقة هي جزءًا من معايير التقييم البديلة. وإذا حُسِّن الهدف والحاجة في إطار التحليل، وطلب المزيد من مقاييس الفعالية؛ فينبغي توفير الوثائق اللازمة لهذا التغيير.

مقاييس الفعالية محددة للمشروع وينبغي اختيارها والاتفاق عليها في نهج التحليل المروري التي أُعدّت في بداية الدراسة.

كما أن مقاييس الفعالية يمكن قياسها ميدانيًا أو حسابها من خلال أدوات التحليل والمحاكاة المجهرية. القياسات الميدانية هي الأكثر ملاءمة لعملية المعايرة، ومع ذلك ينبغي استخدام القياسات التحليلية لتقييم البدائل ومقارنتها مستقبلا. وينبغي جمع البيانات لتقدير كلًا من مقاييس أداء المعايرة وبيانات الطلب. وينبغي التحقق من البيانات الهندسية وبيانات التحكم المروري وبيانات إدارة الوصول. وينبغي للمحلل الرجوع إلى الباب نظرة عامة على متطلبات دراسات المتعلق بمقاييس الأداء في هذا المجال. كما أن مقاييس فعالية المرور التشغيلية يمكن حسابها/قياسها مباشرة أو استخلاصها من مقاييس أخرى. ومقاييس الفعالية التي يتم حسابها/قياسها بصورة مباشرة يطلق عليها المقاييس الأساسية، بينما يتم حساب المقاييس المشتقة من المقاييس الأساسية والمدخلات الأخرى. يوفر الجدول (ب-٧) قائمة مقاييس الفعالية النموذجية للمرشح المبلغ عنها لأي مشروع للتحليل المروري.

الجدول (ب–٧) مقاييس الفعالية التشغيلية والنموذجية المرشحة (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-2).

مقاييس الفعالية التشغيلية
زمن الانتقال
السرعة
التأخير
مستوى الخدمة
نسبة الحجم / السعة
التدفق
الكثافة
طول صف الانتظار
مقاييس الفعالية على مستوى الشبكة

ب-٧-٢ التحليل التشغيلي بأدوات قطعية:

بوجه عام، تنفذ الأدوات القطعية إجراءات دليل سعة الطرق. وإجراءات دليل سعة الطرق: عبارة عن إجراءات تحليلية مغلقة (غير تكرارية) وكُلّيّة وقطعية وثابتة تقدر السعة ومقاييس الأداء؛ لتحديد مستوى الخدمة (على سبيل المثال: الحجم والسرعة والتأخير). نظرًا للوقت والموارد اللازمة لجهود التحليل المروري، ولا سيما تحليل المحاكاة المجهرية وعدم التأكد من تطوير مفاهيم التحسينات في المراحل الأولى من المشروع، ومن الجيد تقييم الجدوى العامة للمفاهيم (تحليل المرحلة ١) باستخدام أدوات الرسم التخطيطي مثل جداول حجم الخدمة العامة أو برنامج سعة الطرق. وسيستخدم هذا النهج مقاييس الأداء العامة مثل نسبة الحجم إلى السعة لفحص المفاهيم. فحص المفاهيم من شأنه أن يولد بدائل تحسين قابلة للتطبيق يمكن المضي في تنفيذها؛ لإجراء تحليلات أكثر تفصيلًا للمرور (تحليل المرحلة ٢). عند استخدام نسبة الحجم إلى السعة، ينبغي للمحلل التأكد من استخدام حجم الطلب في التحليل. وينبغي توثيق جميع مفاهيم التحسين التي رُفِض مواصلة النظر فيها وإدراجها في تقرير تحليل البدائل.

ويتميز كل مسار بصعوبات وخصائص فريدة في التخطيط والتشغيل. كما ينبغي أن يركز اختيار مقاييس الفعالية على الغرض من المشروع والحاجة إليه، وينبغي البت فيه خلال المرحلة المنهجية.

ب-٧-٢-١ تقاطعات ومحولات الطرق المبتكرة:

تُنشأ تقاطعات مبتكرة عن طريق إعادة توجيه حركة واحدة أو أكثر من التقاطع التقليدي، وتحويلها إلى محول ثانوي واحد أو أكثر. وتساعد تقاطعات ومحولات الطرق المبتكرة على تقليل فترات تأخير الحركة عند التقاطع، وتوفير تحركات متزامنة وزيادة الكفاءة والسلامة عن طريق تعديل حركة مرور وتقليل نقاط التعارض عند التقاطع التقليدي الذي يتميز بضعف الأداء. وغالبًا ما تحل التقاطعات المبتكرة مكان تقاطعًا تقليديًا واحدًا بتقاطعين أو أكثر لتدفق المرور بشكل أكثر تنسيقًا. وفيما يأتي أمثلة على تقاطعات ومحولات الطرق المبتكرة: محول متباين على شكل معين، انعطاف مقيد للخلف، تقاطع التدفق المستمر، تقاطع وسيط للانعطاف للخلف. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات عن تقاطعات ومحولات الطرق المبتكرة في (FHWA, 2010).

ولمقارنة التحليل المروري للتقاطعات المبتكرة بالتقاطعات التقليدية، ينبغي أن تأخذ مقاييس الفعالية التي أُعدّت تقارير عنها في الحسبان التقاطعات المتعددة، بدلًا من تشغيل تقاطع واحد أو حركة واحدة. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أيضًا تقييم المساحة المتاحة في صف الانتظار بعناية؛ للتأكد من عدم الرجوع إلى نقطة البداية في التقاطعات.

وعند إجراء تحليل التشغيل المروري الذي يتضمن التقاطعات المبتكرة، ينبغي اختيار مقاييس الفعالية بعناية للمقارنة بين التقاطع التقليدي والتقاطع المبتكر. وفي السيناريوهات المعقدة مثل المحول المعيني الاتجاهي (DDI)، عندما يُستبدَل تقاطع واحد بتقاطعات متعددة، ينبغي إعداد تقرير عن النتائج لجميع التقاطعات الجديدة. وينبغي التأكد من أن مستوى الخدمة والتأخير وطول صف الانتظار لجميع التقاطعات الجديدة تقع ضمن الحدود المقبولة للدراسة. وكذلك، عندما يسعى المحللون إلى تجميع التأخير عند الإشارة من تحليل المحاكاة المجهرية، فينبغي عليهم التحقق، مما إذا كان التأخير وطول صف الانتظار تمتد إلى ما وراء وصلات المدخل الفردي إلى التقاطع؛ وذلك لأن جميع نماذج المحاكاة المجهرية تتعين في التأخير للقطاع الذي يحدث فيه. وعلى سبيل المثال: يمكن أن تُقسَّم التأخير المرتبطة بمدخل واحد لإشارة المرور على عدة روابط في نقطة البداية إذا امتد طول صف الانتظار إلى ما

بعد ارتباط واحد في اتجاه نقطة البداية من التقاطع. ولا ينصح بحساب المتوسط المرجح للتأخير في المسارات والتقاطعات بين التكوينات المتعددة لأن ذلك لا يوفر تمثيلًا دقيقًا لظروف التشغيل. يبين الشكل (ب-١٠) والجدول (ب-٨) مثالًا لإعداد تقارير عن النتائج فيما يتعلق بمفهوم المحول المعيني الاتجاهي (DDI) الذي يحتوي على عدة تقاطعات (محول تقاطع طريق الأمير تركي بن عبدالعزيز الأول مع طريق الخدمة لطريق مكة المكرمة).



الشكل (ب–١٠) مثال لمحول معيني اتجاهي (DDI) (المصدر: Google Maps - adjusted).

الجدول (ب–٨) مثال على توثيق المحول المعيني الاتجاهي (DDI).

التقاطع	مدخل التقاطع				عموم التقاطع	
	المدخل	الحركة	التأخير (ثانية) صباحًا (مساءً)	مستوى الخدمة صباحًا (مساءً)	التأخير (ثانية) صباحًا (مساءً)	مستوى الخدمة صباحًا (مساءً)
التقاطع رقم ١	المتجه جنوبًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)	... (...)	... (...)
	المتجه شمالًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)		
التقاطع رقم ٢	المتجه جنوبًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)	... (...)	... (...)
	المتجه غربًا	يسار	... (...)	... (...)		
التقاطع رقم ٣	المتجه شرقًا	يسار	... (...)	... (...)	... (...)	... (...)
	المتجه شمالًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)		
التقاطع رقم ٤	المتجه جنوبًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)	... (...)	... (...)
	المتجه شمالًا	حركة للأمام	... (...)	... (...)		

ب-٧-٢-١-١ مدة الرحلة المُجرَّبة:

يوفر دليل سعة الطرق (HCM 2022) إجراءً بديلًا يستخدم زمن الانتقال المُجرَّبة التقييم مستوى الخدمة. وتشمل زمن الانتقال المُجرَّبة (ETT) فترات تأخير التحكم في التقاطع وزمن الانتقال لمسافة إضافية ($EDTT$).

وتسمح زمن الانتقال المُجرَّبة بمقارنة التقاطعات المبتكرة، مثل محول الافتراق على شكل معين، وانعطاف مقيد للخلف، وتقاطع التدفق المستمر، وتقاطع الانعطاف للخلف عبر الجزيرة الوسطية، والانعطاف لليسار الذي نُقِل من التقاطع، مع التقاطعات التقليدية ويمكن اختيارها كمقياس للفعالية لجميع تحليلات التقاطعات والمحولات المبتكرة. ويتم تحديد زمن الانتقال المُجرَّبة (ETT) بناءً على مجموعة من فترات تأخير التحكم في التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية وغير المحكومة بإشارات مرورية وزمن الانتقال لمسافة إضافية ($EDTT$) لمسارات المنبع-المقصد. ويجب حساب زمن الانتقال المُجرَّبة (ETT) يدويًا لتهيئات التقاطع الأخرى أو عند استخدام منصة سينكرو أو أي أدوات أخرى للتحليل المروري. ويمكن حساب (ETT) بالثواني لكل مركبة باستخدام المعادلة (ب-٢) أدناه ((HCM, (2022 المعادلة ٢٣-١).

$$ETT = \sum d_i + \sum EDTT$$ **المعادلة (ب-٢)**

حيث إن:

d_i = فترات تأخير التحكم عند كل تقاطع طرق تمت مواجهته على المسار عبر المرفق

$EDTT$ = زمن الانتقال لمسافة إضافية.

لكل منبع ومقصد، يتم حساب ($EDTT$) عن طريق قسمة المسافة الإضافية المقطوعة في مسار المنبع-المقصد الجديدة على سرعة التدفق الحر.

وبالنسبة إلى التقاطعات والمحولات المبتكرة التي تحدث فيها إعادة التوجيه مع مسافة إضافية ليست كبيرة للرحلة، تعد (ETT) مساوية للتحكم في التأخير. ويمكن استخدام هذه المنهجية؛ لتحديد مستوى الخدمة لكل حركة واتجاه وتقاطع شامل لمقارنة التقاطعات المبتكرة مع التقاطعات التقليدية.

ب-٧-٣ تحليل المحاكاة المجهرية:

نماذج المحاكاة المجهرية هي أدوات عشوائية ينبغي استخدامها لتحليل ظروف المرور المشبعة بشكل مفرط حيث يمتد الازدحام المروري إلى ما بعد ساعة الذروة من التحليل أو التصميمات الهندسية المعقدة أو حيث تكون هناك حاجة لتقييم ظروف المرور التي تضم مسارات منظمة. وينبغي تحديد اختيار مقاييس الفعالية لتوثيق نتائج نموذج المحاكاة المجهرية في بداية المشروع. ويمكن تصنيف مقاييس فعالية مشاريع المحاكاة المجهرية في ثلاث فئات موضحة أدناه، ويتم توضيح كل فئة من هذه الفئات في قطاعات متتالية.

- مقاييس أداء الطريق السريع.
- مقاييس أداء التقاطعات الشريانية.
- مقاييس الأداء على مستوى الشبكة.

يوفر الجدول (ب-٩) قائمة موصى بها لمقاييس فعالية تحليل المحاكاة المجهرية والتوثيق. لا تُقدم معظم نماذج المحاكاة المجهرية تقارير عن مستوى الخدمة؛ ولا سيما فيما يتعلق بقطاعات الطرق السريعة.

الجدول (ب–٩) مقاييس فعالية أداء المحاكاة المجهرية النموذجية (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-7).

الفئة	مقياس فعالية	التوثيق
قطاعات الطرق السريعة (الاندماج/الافتراق، الأساسي، التناسج)	• الكثافة (مركبة/كم/مسار). • الكثافة المقدرة (سيارات الركاب/كم/مسار). • مستوى الخدمة المقدرة. • السرعة (كيلومتر/ساعة). • زمن الانتقال (الثواني). • الحجم المحاكي (أُعدّت تقارير عنه جنبًا إلى جنب مع حجم الطلب).	• رسوم بيانية. ○ مخططات المسار. ○ كثافة خريطة الحرارة. • مجدول (اختياري إذا وفِّرت وثائق رسومية).
تقاطعات شريانية	• التأخير في التقاطعات (الثواني/المركبة). • التأخير في الحركة (الثواني/المركبة). • مستوى خدمة التقاطعات (المقدر). • مستوى خدمة الحركة (المقدر). • الحد الأقصى لطول صف الانتظار (المتر). • الحجم المحاكي (أُعدّت تقارير عنه جنبًا إلى جنب مع حجم الطلب).	• مجدول.

الفئة	مقياس فعالية	التوثيق
الطرق الشريانية	• السرعة (كيلومتر/ساعة). • زمن الانتقال (الثواني). • الحجم المحاكي (أُعدّت تقارير عنه جنبًا إلى جنب مع حجم الطلب).	• مجدول.
على مستوى الشبكة	• إجمال التأخير (الساعات). • متوسط التأخير (الثواني لكل مركبة). • إجمالي زمن الانتقال (الساعات). • فترات تأخير كامنة (الساعات). •	• مجدول.

وينبغي إعداد تقارير عن مقاييس الأداء التي يتم الحصول عليها من عمليات المحاكاة المجهرية للطريق السريع، ومناطق الاندماج/الافتراق والتناسج بما يتفق مع منهجية دليل سعة الطرق. وينبغي على المحلل تجنب متوسط الكثافة عبر جميع مسارات الاندماج/ الافتراق.

ب-١-١-١ مقاييس أداء الطريق السريع:

أ-١-١-١-٢ مقاييس الأداء القائمة على القطاع:

ينبغي توفير مقاييس أداء الطريق السريع القائمة على القطاعات لجميع مشاريع الطرق السريعة التي حُلّلت باستخدام المحاكاة المجهرية مقاييس أداء الطريق السريع، تتضمن حجم الطلب وحجم المحاكاة والسرعة أو زمن الانتقال والكثافة التي أُعدّت تقارير عنها لجميع قطاعات الطرق السريعة. ينبغي تقديم مقاييس الفعالية للطريق السريع لكل قطاع (الاندماج/الافتراق/الأساسي/ التناسج) وليس بالضرورة عن طريق الربط بينها. ينبغي قطع الروابط فقط عندما يكون هناك تغيير في عدد المسارات أو في نهاية القطاع. ينبغي أن تبلغ قطاعات الاندماج والافتراق حوالي ٤٦٠ مترًا لكل منهما. إذا كان هناك موصلان أو أكثر في القطاع، فينبغي استخدام متوسط مرجح لتقديم النتائج لكل قطاع. ينبغي توثيق مقاييس أداء الطريق السريع في شكل رسوم بيانية ومجدول كما هو موضح أدناه. تُوفَّر إرشادات لتوثيق المعايرة والمصادقة في الجزء (ب-٦).

أ-١-١-١-٢-١ عروض الرسوم البيانية:

شاشات عرض الرسوم البيانية: هي أدوات مرئية ممتازة وبالغة الفعالية في تحديد تأثيرات كل بديل على التشغيل المروري داخل منطقة التحليل. يمكن تحويل مخططات المسارات، ورسوم العقدة والموصلات المطوَّرة في مرحلة تحليل المشروع إلى أداة لعرض النتائج. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضًا إعداد مخطط للسلاسل الزمنية لمقارنة مقاييس الفعالية من مخرجات المحاكاة؛ وذلك لتسهيل فهم السلوك المكاني والزماني للبدائل والمساعدة في النهاية على اتخاذ القرارات.

وينبغي تصميم عرض رسوم بيانية للبيانات والنتائج بعناية؛ للمساعدة على فهم النتائج. وينبغي أن يكون العرض مبسطًا ليفهمه الجمهور المختص بالمجال التقني وغير المختص بالمجال التقني على حد سواء.

أ-١-١-١-٢-٢ العروض المجدولة:

ينبغي استخدام الجداول لعرض نتائج التحليل القائمة على الارتباط إذا لم يقدم عرض على شكل رسم بياني. وينبغي تضمين جميع مقاييس الفعالية القائمة على موصلة الطريق السريع مثل حجم الطلب وحجم المحاكاة والسرعة والكثافة في شكل مجدول. ويمكن أيضًا ترميز النتائج بالألوان لسهولة المراجعة. كما يمكن توثيق مقاييس فعالية ساعة الذروة في الطريق السريع في جداول التقرير ويمكن توفير مقاييس فعالية ساعات قبل بعد الذروة في الملاحق.

ويعد العرض المجدول لنتائج المحاكاة المجهرية للطريق السريع اختياريًا إذا وُفِّرت وثائق على شكل رسوم بيانية.

ب-١-١-٢ مقاييس أداء التقاطعات الشريانية:

تؤثر تقاطعات الشوارع السطحية مع التأخير المفرط وطول صف الانتظار والتدفقات على طول المساحة على التشغيل المروري، ويمكن أن تغلق مداخل ومخارج الممرات. وينبغي توثيق حجم الطلب على التقاطعات الشريانية، وحجم المحاكاة، وفترات تأخير التقاطع والحركة، والحد الأقصى لطول صف الانتظار، والمساحة المتاحة من تحليل المحاكاة المجهرية لجميع تقاطعات مناطق المشروع والمواقع الحرجة. ومن الموصى به توفير مقاييس فعالية ساعة الذروة للتقاطعات الشريانية داخل نص تقرير الدراسة، بينما يمكن توفير مقاييس فعالية مسار الطوارئ في ملحق التقرير.

أ-١-١-١-٣ التأخير (الثانية/المركبة):

تُحتسب فترات تأخير نموذج المحاكاة المجهرية على أنه الفرق بين مدة رحلة المحاكاة وزمن الانتقال النظرية إذا كانت السيارة تعمل بالسرعة المتوقعة. وينبغي جدولة التأخيرات في التقاطع والحركة بالنسبة إلى التقاطعات المحكومة بإشارات مرورية. وينبغي جدولة التأخيرات الطفيفة للحركة في التقاطعات غير المحكومة بإشارات مرورية.

أ-١-١-١-٤ الحد الأقصى لطول صف الانتظار (المتر):

يشير الحد الأقصى لطول صف الانتظار لنموذج المحاكاة المجهرية إلى أطول صف انتظار تتم محاكاته خلال فترة التحليل. وينبغي جدولة المقارنة الكمية للحد الأقصى لطول صف الانتظار من المحاكاة المجهرية مع المساحة المتوفرة.

ينبغي إعداد التقارير عن طول صف الانتظار بالسرعة المئوية ٩٥ بالأمتار، بالإضافة إلى أي ملاحظات خاصة من استخدام الأدوات التحليلية جنبًا إلى جنب مع المساحة المتوفرة. وينبغي إعداد تقارير واضحة عن المساحة المتوفرة لحركات الانعطاف، والمقاسة من خط التوقف إلى نقطة التلاقي مع الطريق السريع، في الجداول للمقارنة مع طول صف الانتظار. وعند التقاطعات الطرفية للمدخل؛ ينبغي إعداد تقارير عن صف الانتظار في الجداول بالإضافة إلى طول المساحة لمسارات الانعطاف في الجهة اليسرى واليمنى. بالإضافة إلى المساحة المتوفرة لمسار الانعطاف، ينبغي مناقشة إجمالي طول المنحدر، المقاس من خط التوقف إلى نقطة التلاقي مع الطريق السريع، في الوثيقة.

وينبغي توثيق أطوال صف الانتظار التي تتجاوز المساحة المتوفرة والتأثير على نقطة بداية الطريق السريع وأعمال التقاطع. يبين الجدول (ب-١٠) مثال على العرض المجدول لمقاييس أداء التقاطعات الشريانية.

الجدول (ب–١٠) مثال على جدولة مقاييس أداء الطرق الشريانية (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-9 Revised).

(أ) الطرق و (ب) المنحدرات	ب. المنحدرات			أ. الطرق		
	المتجهة غربًا			المتجهة شمالًا		
	يسار	حركة للأمام	يمين	يسار	حركة للأمام	يمين
حجم الطلب	٥٦٠		٢٢٠		١,٦٤٠	٧٥٥
الحجم	٥٦١		٢١٨		١,٦٤٣	٧٥٣
حجم الطلب في المحاكاة	١		٢-		٣	٢-
النسبة المئوية (%)	٪٠		٪١-		٪٠	٪٠
التأخير في الحركة (الثواني/المركبة)	٦١		٤١		٢٠	٧
تأخير المدخل (الثانية/المركبة)	٥٥,٦			١٥,٦		
الحد الأقصى لصف الانتظار (متر)	١٣١		٤٩		١٢٦	٣٧
طول التخزين (متر)	١٨٣		١٨٣			٢١٣
التأخير في التقاطعات (ثانية/مركبة)	٢١,١					

ب-١-١-٣ مقاييس الأداء على مستوى الشبكة:

تمثل مقاييس الأداء على مستوى الشبكة مجموعة مهمة من المقاييس لفهم التشغيل المروري في شبكة المشروع بأكملها؛ حيث توفر معلومات عن أداء الشبكة بشكل عام ويمكن أن تساعد أيضًا في تحديد التأثيرات الإيجابية أو السلبية للبدائل المقترحة على مجال المشروع بأكمله عوضًا عن كونه مجرد عنصر فردي. ويمكن استخدام أداء الشبكة لتقدير الفوائد التشغيلية للبدائل التي قُيّمت والتي تستخدم في تقدير نسبة الفائدة إلى التكلفة. وينبغي توفير إجمالي التأخير على مستوى الشبكة، وإجمالي زمن الانتقال، والتأخير الكامن، والطلب الكامن، والمركبات التي وصلت، وإجمالي محطات التوقف ومتوسط السرعة من نماذج المحاكاة المجهرية لمقارنة بدائل المشروع المختلفة. وينبغي أن تُعرَض في شكل جداول تصور الفرق بالنسب المئوية بين بدائل الدراسة التي قُيّمت للمقارنة الدقيقة. يبين الجدول (ب-١١) مثالًا على العرض المجدول لمقاييس الأداء على مستوى الشبكة.

الجدول (ب–١١) مثال على جدولة مقاييس الأداء على مستوى الشبكة (المصدر: FDOT, (2021b) – Table 9-10 Revised).

مقاييس الفعالية (ساعة الذروة صباحًا)	عدم البناء	البناء	الاختلافات
متوسط السرعة (كيلومتر/ ساعة)	٥١,٥	٧٧,٢٥	٥٠٪
إجمال التأخير (الساعات)	٢٦,١١٢	٧,٩٤٨	-٧٠٪
فترات تأخير كامنة (الساعات)	١٥,٩٧٥	٢,٤٠٠	-٨٥٪
الطلب الكامن (الساعات)	٦,٧٦٤	١٣٣	-٩٨٪
إجمالي زمن الانتقال (الساعات)	٥٧,٢٠٣	٤٠,٦٦٩	-٢٩٪
إجمالي محطات التوقف	٢,٢٣٢,٣٢٦	٤٥٨,٥٨٥	-٧٩٪
وصول المركبات	٣٢٢,٠٩٤	٣٣٥,٥٦٥	٤٪

أ-١-١-١-٤-١

أ-١-١-١-٥ الطلب الكامن:

يُعرّف الطلب الكامن بأنه: عدد المركبات غير القادرة على دخول الشبكة في نهاية فترة المحاكاة. يحدث الطلب الكامن أساسًا نتيجة للسعة غير الكافية في الشبكة. ويمكن أن يكون للطلب الكامن تأثير على نتائج أداء الشبكة الأخرى، وأن يقدم نتائج مضللة؛ ولذا ينبغي وضعه في الحسبان في النتائج ومقارنة البدائل. التصحيح الناجم عن الطلب الكامن للظروف الحالية ونماذج الظروف المستقبلية يجب أن يُناقش في الجزء(ب-٦).

ب-٧-٤ مقاييس الأداء المحلي ومقاييس أداء النظام:

وتنقسم مقاييس الأداء إلى فئتين رئيستين:

١- الأداء المحلي (أي: مستوى الخط محدد الطول ومستوى التقاطع).
٢- أداء النظام (أي: مستوى الطريق ومستوى الممر ومستوى النظام).

وينبغي أن تضبط المقاييس المحلية ديناميكيات الاختناقات المرورية، مثل إنتاجية الاختناقات المرورية والمدة والكثافة وطول صف الانتظار. وفيما يخص مقاييس أداء النظام، يمكن للمحلل إعداد تقارير عن ملفات تعريف زمن الانتقال أو السرعة على طول مسار رئيس واحد أو أكثر على شبكة الطريق.

ج- الملحق ج - الإشارات الإلكترونية:

ج-١ رسائل لافتات الرسائل المتغيرة:

ج-١-١ أنواع الرسائل والرموز:

عندما يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة لتوفير مجموعة متنوعة من الرسائل التي تتألف من كلمات؛ فمن الضروري تحديد الأولويات لعرض الأنواع المختلفة من الرسائل. وينبغي أن تكون للرسائل المتعلقة بالسلامة أو تدفق المرور في موقع معين الأسبقية على تلك التي توفر معلومات عديمة الجدوى. وعلى سبيل المثال: فإن ما يأتي هو ترتيب تنازلي مقترح للأولويات التي تستند إلى تقديرات سلامة الطرق وتدفق المرور:

- حوادث المرور أو الأحداث الحالية (على سبيل المثال: إغلاق الطرق والتحذير من المخاطر التي يمكن أن تشمل المخاطر المرتبطة بالحوادث، مثل الاصطدام أو الأحوال الجوية القاسية مثل الفيضانات أو أعمال الطرق الحالية).
- ازدحام مروري شديد.
- أعمال الطرق المخطط لها (المستقبلية).
- الظروف المتصلة بالأحوال الجوية التي يمكن أن تؤثر في السلامة، مثل الأمطار الغزيرة والضباب.
- توجيه مواقف المركبات.
- المناسبات الخاصة (المستقبلية) المخطط لها.

وفي بعض السيناريوهات (كما هو الحال في الطرق السريعة الخاضعة للإدارة، وحيث تتوفر تقنيات زمن الانتقال) يمكن أن يكون من المناسب عرض أوضاع زمن الانتقال/الطريق السريع إذا كانت الظروف تجعل أحد أنواع الرسائل المذكورة أعلاه غير مطلوبة. بالنسبة إلى استخدام الطرق الشريانية، يمكن استخدام نص الحشو أو الرسائل الاحتياطية، والتي لا يمكن عرضها إلا إذا اعتبرتها الولاية القضائية مفيدة ومناسبة كرسائل افتراضية. ويمكن أن تندرج رسائل الحملات/الترويج (مثل: رسائل سلامة الطرق ورسائل المنافع المجتمعية ورسائل النقل العامة) في هذه الفئة.

وبالإضافة إلى ما سبق:

- الجدير بالذكر أنه ينبغي عدم استخدام تركيبات لافتات الرسائل المتغيرة لجهة الطرق للإعلان التجاري في أي حال من الأحوال.
- فيما يخص رسائل لافتات الرسائل المتغيرة، من المهم عرض الرسالة ذات الأولوية العليا، وبالتالي يلزم الرصد المستمر للظروف والحوادث (إذا عُرضت رسالة ذات أولوية منخفضة؛ في حين أنه ينبغي أن تُعرض رسالة ذات أولوية أعلى، فيمكن أن يؤدي ذلك إلى تشويه لافتات الرسالة المتغيرة).

ج-١-١-١ الرسائل والرموز المصورة:

الرسوم التوضيحية بالتزامن مع النص تمكن لافتات الرسائل المتغيرة من عرض المزيد من المعلومات على الإطار الواحد و/أو تقليل حجم النص المطلوب. علاوة على ذلك، يمكن أن يتيح ذلك عرض الرسائل على إطار واحد؛ حيث يمكن للرسم التصويري عرض سبب الحدث أو المشكلة بينما ينقل النص الإجراءات التي يجب اتخاذها. ويعرض الشكل (ج-١) مثالاً على عرض لافتات الرسائل المتغيرة باستخدام الرسوم التصويرية بالتنسيق مع النص.



الشكل (ج–١) مثال على لافتة رسائل متغيرة بالرسم التصويري والنص (المصدر: Royal Commision for Riyadh City).

ينبغي أن تعتمد الرسوم التصويرية المستخدمة في تطبيقات لافتات الرسائل المتغيرة على سعة اللافتة، والخصائص التشغيلية للطريق السريع، والرسائل التي ترغب جهات الطرق في نقلها. ونتيجة لذلك، يجب تصميم لافتات الرسائل المتغيرة مع وضع حجم محتوى الرسم التصويري في الحسبان. ومع أحدث تقنية للافتات الرسائل المتغيرة؛ فإن لوحة الأجهزة المتكاملة الواحدة تعد الأفضل في هذا الوقت الراهن حيث يمكنها عرض إما رسم تصويري، أو نص أو كليهما بدلًا من لوحة منفصلة لعرض الرسم التوضيحي أو النص بشكل منفصل.

ج-١-٢ الاختصارات:

ينبغي أن يقتصر استخدام الاختصارات عمومًا على الاختصارات المعترف بها للغاية، بغض النظر عن سياقها، أو التي تفهم فهمًا كافيًا عند استخدامها بكلمات «معبرة» (مثل "prep " اختصارًا لكلمة الإعداد).

تُوفّر قائمة بالاختصارات الموصى بها، والاختصارات القياسية التي تعتمد على الكلمة المعبرة في القسم الفرعي (ج-١-٢-١).

ج-١-٢-١ اختصارات للاستخدام على لافتات الرسائل المتغيرة:

ج-١-٢-١-١ يوصى باستخدام الاختصارات مع لافتات الرسائل المتغيرة:

فيما يأتي قائمة بالاختصارات الموصى بها والمقبولة للكلمات الأكثر استخدامًا. يمكن استخدام الاختصارات في رسائل لافتات الرسائل المتغيرة، ولكن ينبغي تجنبها حيثما أمكن ذلك.

الجدول (ج–١) الاختصارات الموصى باستخدامها مع لافتات الرسائل المتغيرة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix C.1).

الكلمة	الاختصار
بديل	ALT
حادث	ACDNT
طريق مشجر	AVE
الممرات	BVD
غير مسموح	CANT'T
المركز	CNTR
ممنوع	DON'T
الطوارئ	EMER
المداخل	ENT
الدخول	ENT
الطريق السريع	EXPWY
طريق سريع	FWY
المعلومات	INFO
هذا	IT'S

الكلمة	الاختصار
تقاطع	JCT
يسار	LFT
الصيانة	MAINT
العادي	NORM
مواقف المركبات	PKING
الطريق	RD
الخدمة	SERV
مسار الطوارئ	SHLDR
منحدر	SLIP
السرعة	SPD
الشارع	ST
المرور	TRAF
المتنقلون	TRVLRS
لن	WON'T

ج-١-٢-١-٢ اختصارات لافتات الرسائل المتغيرة القياسية المستخدمة بالاقتران مع الكلمات الأخرى:

يمكن فهم الاختصارات الآتية بسهولة كلما ظهرت بالاقتران مع كلمة مرتبطة بها عادة (الكلمة المعبرة). يمكن أن تظهر الكلمة المعبرة قبل أو بعد الكلمة المختصرة اعتمادًا على المعنى. على سبيل المثال: يُعترَف باختصار RT كبديل عن كلمة (صحيح) أو (مسار) بناءً على الكلمة المحفزة.

الجدول (ج–٢) اختصارات لافتات الرسائل المتغيرة القياسية المستخدمة بالاقتران مع الكلمات الأخرى (المصدر: AUSTROADS, (2020d) - Appendix C.2).

اختصارات لافتات الرسائل المتغيرة القياسية المستخدمة بالاقتران مع الكلمات الأخرى		
الوصول	ACCS	الطريق
أمامك	AHD	ضباب[1]
مغلق	BLKD	مسار[1]
الجسر	BRDG	(الاسم)[1]
المركز	CNTR	المسار
الحالة	COND	المرور[1]
مزدحم	CONG	المرور
البناء	CONST	أمامك
شرقًا	E-BND	المرور
المداخل	ENT	الطريق السريع[1]
المخرج	EX, EXT	التالي[1]
الطريق السريع	EXP	المسار
طريق جانبي	FRNTG	الطريق
خطر	HAZ	القيادة
كيلومتر	km	(العدد)[1]
محلية	LOC	المرور
رئيس	MAJ	حادث
متفرع	MNR	حادث
الدقائق	min	(العدد)[1]
شمالًا	N-BND	المرور
كبير الحجم	OVRSZ	الحمولة
الرصف	PVMT	الرطوبة[1]
الإعداد	PREP	استعداد للتوقف
الجودة	QLTY	الهواء[1]
يمين	RT	استمر في الطريق[1]
أعمال طرق	RDWK	أمامك (مسافة)
مسار	Rte	الأمثل[1]
جنوبًا	S-BND	المرور
مؤقت	TEMP	مسار
علوي، سفلي	UPR, LWR	المستوى
المركبة	VEH	معطلة[1]
غربًا	W-BND	المرور

ملحوظة: ١- يشير إلى الكلمة المعبرة التي استُخدِمت قبل الاختصار.

ج-١-٢-٢ المعلومات المتصلة بالوقت:

من الضروري أن تكون المعلومات المتصلة بالوقت والمبينة على لافتات الرسائل المتغيرة دقيقة وحديثة؛ إذا كان من المقرر للنظام أن يكون ذا مصداقية للمستخدمين. ولتحقيق ذلك سيتطلب جمع بيانات عالية الجودة، وعادة ما تتم بشكل تلقائي. وتشمل أنواع المعلومات المتصلة بالوقت والتي يمكن النظر في استخدامها في لافتات الرسائل المتغيرة ما يأتي:

- زمن الانتقال على الطرق.
- التأخير على الطريق.
- الوقت المدخر على الطرق البديلة.
- تجنب التأخير على المسارات البديلة.

تستخدم نظم معلومات السائقين التي توفر معلومات عن زمن الانتقال على الطرق السريعة في العديد من الأماكن. تُجمَع البيانات تلقائيًا من خلال المركبات الموسومة، أو حلقات الأرصفة، والخوارزميات المعايرة بنحو ملائم. وتهدف هذه الأنظمة إلى تقليل التأخير وشعور السائقين بالإحباط والاستفادة بشكل أفضل من سعة الطريق المتاحة. ويُعتبر عمومًا أن لديهم بعض التأثير على اختيار السائق للمسار.

وبالمثل، فإن المعلومات المتصلة بالتأخير في الطرق والوقت المدخر في المسارات البديلة تتطلب أنظمة وإجراءات متطورة لجمع البيانات وتحليلها. يمكن أن يؤدي عرض الوقت المدخر على المسار البديل إلى تركيز المرور المحولة على مسار واحد، حتى عندما يكون من المستحسن توزيع الحمولة بين المسارات البديلة. لن يكون هذا التطبيق مناسبًا إلا في شبكة مراقبة عالية.

ج-٢ محتوى الرسالة وشكلها:

من المهم أن تُقرَأ الرسائل الموجودة على لافتات الرسائل المتغيرة وأن تُفهَم بسهولة. ينبغي أن الحد الأدنى من المتطلبات يكمن في أن تتضمن جميع الرسائل بيانات المشكلة وبيانات العمل. وعند الضرورة، قد تتضمن الرسائل أيضًا بيانات الموقع والتأثير والانتباه. ويرد فيما يأتي وصف لهذه البيانات، ويمكن أن يزُوّد الجزء الفرعي (ج-٢-١٠) بقائمة المشكلة النموذجية، وبيانات الموقع، والأثر، والانتباه، والعمل. تُدمَج البيانات لتقديم الرسائل المناسبة التي يمكن تطبيقها باستمرار عبر شبكات الطرق. الجزء الفرعي (ج-٢-١١) يقدم قائمة بالرسائل العامة الموصى بها.

ج-٢-١ بيانات المشكلة:

تحدد بيانات المشكلة نوع الحادث الذي سيؤثر على ظروف المرور. يمكن أن تشتمل هذه الواقعات على الحوادث، وأعمال الطرق، والازدحام المروري، والظروف البيئية، والمخاطر على الطريق. تشتمل الأمثلة على بيانات مشكلات الحوادث والازدحام وأعمال الطرق وإشارات المرور.

ج-٢-٢ بيانات الموقع:

تصف هذه البيانات موقع الحادث الذي تشير إليه رسالة لافتات الرسائل المتغيرة. يمكن وصف الموقع من حيث المسافة إلى الحادث، وأسماء الأماكن، وأسماء الطرق/الشوارع، والضواحي، وأرقام المسار، وأرقام/أسماء المخارج، والبنية التحتية للطرق والمعالم. يعتمد وصف الموقع المستخدم على الظروف. وبشكل عام، تُفضل أسماء الطرق على أرقام المسارات.

وسيكون من الضروري أحيانًا تنقيح وصف الموقع باستخدام المعدلات. تتضمن معدلات الموقع الموصى بها (بعيد، قريب، قبل، عند، التالي، يسار، يمين، وسط). وفي كثير من الحالات، تكون كلمة (أمامك) عبارة عن بيان واضح ويمكن حذفها حيث ستضيف إلى عدد الإطارات المطلوبة للرسالة.

عندما تُعرَض المسافات على لافتات الرسائل المتغيرة، ينبغي ألا تكون بعيدة جدًا عن الموقع؛ حيث يمكن أن ينسى السائقون الرسالة المعروضة قبل الوصول إلى الوجهة. ويمكن تقدير مسافة خمس كيلومترات عمومًا على أنها القيمة القصوى.

ج-٢-٣ بيانات التأثير:

تصف بيانات التأثير حالة الطريق، أو تأثير الحادث على التشغيل المروري. بيان التأخير: هو نوع محدد من بيانات التأثير. يمكن عرض هذا على أنها فترات تأخير كبيرة أو فترات تأخير خفيفة أو [عدد] فترات تأخير بالدقائق أو [عدد] فترات تأخير بالساعة. بدلًا من ذلك، يمكن عرض البيان على أنه تأخير متوقع. من الأمثلة الأخرى على بيانات التأثير تراكم المرور وبطء المرور.

وينبغي عدم استخدام البيان الكمي إلا عندما تتوافر معلومات موثوقة ويمكن تحديثها بانتظام. وينبغي اعتبار التأخير الذي يصل إلى حوالي ١٠ أو ١٥ دقيقة طفيفة في البيئات الحضرية والريفية على التوالي.

ج-٢-٤ بيانات الانتباه:

ينبغي تصميم هذه العبارات لجذب انتباه مجموعة معينة من سائقي المركبات بدلًا من الوضع التقليدي لتوجيه الرسائل إلى جميع سائقي المركبات. يحدد بيان الانتباه الجمهور المستهدف الذي يوجه إليه بيان العمل، على سبيل المثال: الحافلات والشاحنات والمركبات المرتفعة والمرور المحلية.

ج-٢-٥ بيانات العمل:

ينبغي أن تصف بيانات العمل ما هو مطلوب من السائق إذا كانت رسالة لافتات الرسالة المتغيرة فعالة وبالتالي فهي عنصر أساسي إذا كان هناك حاجة إلى بعض الإجراءات من قبل سائقي المركبات. الأمثلة النموذجية لبيانات العمل هي: *تقليل السرعة، واستخدام المخرج التالي، والاستعداد للتوقف*.

وتنبغي الإشارة إلى أن بعض بيانات العمل ليست واضحة، ولكنها تتطلب من السائقين اتخاذ قرارات. عندما تنخفض سعة الطريق ولا يزال بإمكان المرور استخدامها، يمكن ألا يكون الانعطاف في الموقع مناسبًا. وفي مثل هذه الحالات: يمكن نصح السائقين إما بالتوجه إلى مسارات بديلة أو البحث عن مسارات بديلة.

ج-٢-٦ تحميل الرسائل وأوقات العرض:

يُعبَّر عن حمولة الرسالة بـ(وحدات المعلومات). أظهرت الدراسات أن رسالة من ثماني كلمات تقترب من الحد الأقصى لمعالجة للسائقين. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي عدم إظهار أكثر من وحدتين من المعلومات لكل سطر من رسائل لافتات الرسائل المتغيرة.

توفر وحدة المعلومات إجابة على سؤال قد يطرحه السائق. على سبيل المثال: (الحادث) هي وحدة معلومات من كلمة واحدة (بيانات المشكلة)، «في شارع كينغ» تُعد وحدة من كلمتين (بيانات الموقع) و(استخدام المخرج التالي) هي وحدة من ثلاث كلمات (بيانات العمل). يمكن أن تحتوي وحدة المعلومات على كلمة إلى أربع كلمات، وعادة ما تحتوي الكلمة على حرفين إلى ثمانية أحرف. قد تكون بعض أسماء المواقع أطول من ثمانية أحرف، ولكن تصميم الرسالة ينبغي أن يستبعد أي كلمات أخرى أطول من ثمانية أحرف.

تنص المزيد من التوصيات ((Dudek et al., (2000) على ما يأتي:

- ينبغي عدم عرض أكثر من ثلاث وحدات من المعلومات في المجمل عندما ينبغي للسائقين استدعاء الوحدات الثلاث.
- يمكن عرض أربع وحدات من المعلومات على لافتات الرسائل المتغيرة عندما تكون إحدى الوحدات ثانوية، ويجب على السائقين عدم تذكرها من أجل اتخاذ الإجراء المناسب.
- الرسالة المكونة من ثماني كلمات (حوالي أربعة إلى ثمانية أحرف لكل كلمة)، باستثناء أحرف الجر مثل "إلى" و "من" و "في" هي عبارة عن الحد الأقصى الذي يمكن للسائقين الذين يسافرون بسرعات عالية معالجته.
- يمكن عرض وحدة المعلومات على أكثر من سطر واحد على اللافتة، ولكن ينبغي ألا يحتوي خط الإشارة على أكثر من وحدتين من المعلومات.
- الحد الأدنى لوقت العرض هو ثانية واحدة لكل كلمة قصيرة (من أربعة إلى ثمانية أحرف) أو ثانيتين لكل وحدة معلومات، وأيًا كان أيهما أكبر؛ سيكون مناسبًا.

ج-٢-٧ عدد الإطارات وعرض التغييرات:

في حين أن الرسائل ذات الإطارين مقبولة، ينبغي بذل كل جهد ممكن لتصغير حجم الرسالة على الشاشة ذات الإطار الواحد. لا تسمح مسافة تحسين التصميم لمعظم السائقين بقابلية قراءة رسالة من على لافتة ثلاثية الإطارات، وبالتالي ينبغي تجنبها حيثما أمكن ذلك. من المستحسن أن تقتصر رسائل النص المحشو أو الاستعداد على إطار واحد.

وينبغي عدم تسجيل الرسائل عن الإطار، أو أن تنتقل لأسفل في الإطار أو تكون مزودة بإضاءة. ينبغي إجراء تغييرات العرض عن طريق إفراغ الإطار الحالي تمامًا، وعرض الإطار الجديد كشاشة كاملة. وينبغي ألا تستخدم تأثيرات الانتقال.

عندما تكون الرسالة موجودة في إطارين متتاليين، يوصى بفترة زمنية قدرها ٠,٥ ثانية بين الإطار الأخير والإطار الأول المتكرر. عندما تُغيَّر الرسالة، ينبغي إظهار عرض فارغ لمدة ثانيتين على الأقل بين نهاية رسالة واحدة وبداية رسالة مختلفة.

ج-٢-٨ معلومات الوقت والتاريخ:

يمكن أن تكون معلومات الوقت والتاريخ مطلوبة لرسائل لافتات الرسائل المتغيرة التي تقدم نصائح مسبقة للأحداث الخاصة أو أعمال الطريق التي ستؤثر في التشغيل المروري المستقبلي. يُعد أسبوع واحد عادة فترة إشعار مسبقة مناسبة.

يمكن أيضًا تقديم معلومات عن الموعد المتوقع لانتهاء الحدث أو الحادث. وسيتضمن هذا العنصر المدة الزمنية، وأيام الأسبوع، وفترات اليوم، ووقت اليوم، والفترات الزمنية، والتواريخ و/أو مواعيد التواريخ. وينبغي عرض المدة الزمنية بالدقائق بمدى زمني مدته تتراوح بين خمس أو عشر دقائق.

لا يفهم السائقون التواريخ ومواعيد التاريخ تقريبًا مثل أيام الأسبوع؛ لذلك ينبغي استخدامها فقط مع الأحداث الرئيسة وخاصة عندما تكون التواريخ المعنية لا تقل عن أسبوع في المستقبل.

العروض الموصى بها لمعلومات الوقت والتاريخ مدرجة في الجزء الفرعي (ج-٢-١٠).

ج-٢-٩ توافق الرسالة والمصداقية:

ينبغي أن تكون رسائل لافتات الرسائل المتغيرة (مثل: تحديد المواقع على لافتات الرسائل المتغيرة، مثل: أسماء الأماكن أو أسماء الطرق) متوافقة تمامًا مع اللافتات الثابتة، وخاصة لافتات الاتجاه. ينبغي أن تكمل لافتات الرسائل المتغيرة اللافتات الثابتة الحالية بدلًا من مجرد تكرارها.

عندما تكون إدارة الحوادث من خلال كاميرات الاستشعار أو كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية في مكانها، ينبغي دمج ذلك مع نظام لافتات الرسائل المتغيرة قدر الإمكان. وبالتحديد، ينبغي أن تدعم كاميرات نقطة النهاية واستشعار الحوادث لافتات الرسائل المتغيرة أينما أمكن ذلك.

وتُعد رسائل لافتات الرسائل المتغيرة الدقيقة أمرًا حيويًا وذات مصداقية للسائقين وتكتسب مستويات عالية من ثقة السائق وقدرته على الامتثال. ويمكن تحقيق المصداقية بشكل كبير من خلال:

- التأكد من أن تكون الرسالة ذات صلة ودقيقة. وإذا لم يُتحقَّق من دقة المعلومات الواردة، يمكن أن يكون استخدام الرسائل الأكثر عمومية مناسبًا.
- استخدام كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية؛ حيثما كان ذلك متاحًا؛ للتحقق من نوع ومدى الحادث (المشكلة)، والعودة إلى التشغيل الطبيعي؛ وبالتالي الحاجة إلى إزالة الرسالة أو تغييرها.
- ممارسة ضبط النفس في استخدام رسائل الحشو؛ لا سيما في الحالات التي يقع فيها حادث حيث سيكون عرض رسالة عامة؛ عن سلامة الطرق -على سبيل المثال غير ذا صلة.
- تجنب استخدام الرسائل الغامضة أو الطويلة.

وينبغي رصد لافتات الرسائل المتغيرة، والحفاظ عليها لضمان اكتمال الرسائل والكلمات داخل الرسائل. وتؤثر وحدات البكسل الخاطئة التي تزيل أقسامًا من الأحرف، أو تقوم بتنشيط أقسام أخرى من الإطار بشكل غير ضروري على سلامة اللافتات.

ج-٢-١٠ تقارير رسائل لافتات الرسائل المتغيرة:

ج-٢-١٠-١ تقرير مشكلات لافتات الرسائل المتغيرة الموصى به:

الجدول (ج–٣) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن وجود مشكلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d)) – Appendix D.1.

الرقم	بيان المشكلة	الرقم	بيان المشكلة
١	حيوانات على الطريق	١٦	حادثة
٢	توقف	١٧	مسار (مسارات) مغلقة
٣	جسر	١٨	إضاءة خفيفة
٤	"الاسم١" جسر مغلق	١٩	زيت على الطرق
٥	تسرب مواد كيماوية	٢٠	صعوبة في الرؤية
٦	ازدحام مروري	٢١	الطريق مغلق
٧	حادث اصطدام	٢٢	الطريق مغمور بالمياه
٨	حطام على الطرق	٢٣	طريق ضيق
٩	التأخير	٢٤	أعمال طرق
١٠	المخرج "الرقم١" مغلق	٢٥	طريق منحدر

الرقم	بيان المشكلة	الرقم	بيان المشكلة
١١	المخرج "الاسم[١]" مغلق	٢٦	خطر ازدحام مروري
١٢	حريق	٢٧	إشارات المرور
١٣	خطر ضباب	٢٨	النفق مغلق
١٤	خطر	٢٩	المرور في اتجاهين
١٥	طريق مغطى بالجليد		
ملحوظة: *١- الاسم/الرقم اختياري، لا يستخدم إلا عندما يكون هناك حيرة بشأن الاتجاه نحو الجسر أو المخرج المغلق.*			

ج-٢-١٠-٢ تقرير موقع لافتات الرسائل المتغيرة الموصى به:

الجدول (ج–٤) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن المواقع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.2).

مُعرّفات الموقع	مُعرّفات الموضع
مسار حافلات	أمامك
مسارات حافلات	عند
المسار المركزي	خلف
مخرج "الرقم"	في
تقاطع	قريب
"المعالم المميزة"	
المسار الأيسر	
المسارات اليسرى	
الكتف الأيسر	
مخرج "الموقع"	
جسر "الاسم"	
ممر "الاسم"	
طريق "الاسم"	
شارع "الاسم"	
"الرقم" كم	
"الرقم" م	
ممر علوي	
المسار الأيمن	
المسارات اليمنى	
الكتف الأيمن	
طريق	
طريق الخدمات	
نفق	

مُعرّفات الموقع	مُعرّفات الموضع
ممر سفلي	
مخرج "الموقع"	
"الرقم" كم أمامك	
"الرقم" م أمامك	

ج-٢-١٠-٣ بيانات تأثير لافتات الرسائل المتغيرة الموصى به:

الجدول (ج–٥) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة عن التأثير (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix D.3).

عبارات التأثير في لافتات الرسائل المتغيرة الموصى بها
"الموقع" مغلق.
توقع تأخير.
فترات تأخير كبيرة.
فترات تأخير طفيفة.
تحكم بالشرطة.
تحكم مروري.
"رقم" دقيقة تأخير
"رقم" ساعة تأخير.

ج-٢-١٠-٤ بيانات الانتباه إلى لافتات الرسائل المتغيرة الموصى بها:

الجدول (ج–٦) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة لوسيلة النقل المعنية (المصدر: AUSTROADS, (2020d)) – Appendix D.4).

عبارات وسيلة النقل المستهدفة في لافتات الرسائل المتغيرة الموصى بها
جميع المرور.
الحافلات.
الدراجات.
السيارات.
مركبات الطوارئ.
المركبات المرتفعة.
المرور المحلي.
المرور المتجه للأمام.
الشاحنات.
حمولات عريضة.
الاتجاه إلى "المقصد".

ج-٢-١٠-٥ بيانات إجراءات لافتات الرسائل المتغيرة الموصى بها:

الجدول (ج–٧) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة بالإجراء المطلوب (المصدر: AUSTROADS, (2020d)) – Appendix D.5.

بيانات إجراءات لافتات الرسائل المتغيرة الموصى بها
أمامك تحويلة.
لا تتجاوز.
اندمج يسارًا (اتبع الأسهم).
اندمج يمينًا (اتبع الأسهم).
يجب التوقف.
ممنوع الدخول.
لا يوجد مخرج.
استعد للتوقف.
امضِ قدمًا مع توخي الحذر.
قلل السرعة.
استخدم الطريق البديل.
استخدم مخرج "الرقم".
استخدم مخرج "الاسم".
استخدم شارع "الطريق".
"عبارة لفت انتباه" / الزم اليسار.
"عبارة لفت انتباه" / الزم اليمين.
"عبارة لفت انتباه" / اندمج في المسار الأيمن.
"عبارة لفت انتباه" / اندمج في المسار الأيسر.

ج-٢-١٠-٦ بيانات الوقت والتاريخ الموصى بها للافتات الرسائل المتغيرة:

الجدول (ج–٨) عبارات موصى التعبير بها في لافتات الرسائل المتغيرة ببيانات الوقت والتاريخ (المصدر: AUSTROADS, (2020d)) – Appendix D.6.

بيانات الوقت والتاريخ الموصى بها في لافتات الرسائل المتغيرة	
المدة الزمنية	"الرقم" ثوانٍ "الرقم" ساعات "الرقم" أيام "الرقم" أسابيع
الوقت من اليوم[1]	"الرقم" صباحًا "الرقم" مساءً "الرقم" صباحًا - "الرقم" مساءً
الفترة الزمنية[1]	
أيام الأسبوع	الأحد، الاثنين، الثلاثاء، الأربعاء، الخميس، الجمعة، السبت
فترة الأيام	الأحد-الخميس الجمعة-السبت عطلة نهاية الأسبوع
أشهر السنة	يناير، فبراير، مارس، إبريل، مايو، يونيو، يوليو، أغسطس، سبتمبر، أكتوبر، نوفمبر، ديسمبر
التاريخ	(الرقم) يناير
فترة التاريخ	(الرقم) يناير - (الرقم) فبراير
متنوع	المتوقع المحتمل قريبًا
ملحوظة: ١- *ينبغي تجنب استخدام نظام ٢٤ ساعة.*	

ج-٢-١١ مجموعة الرسائل العامة:

الجدول (ج–٩) مجموعة الرسائل العامة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Appendix E).

	النموذج ١			النموذج ٢		
	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣
١	حادث	توقع التأخير				
٢	حادث	امض قدمًا	توخَ الحذر			
٣	حادث	أمامك تحويلة				
٤	حادث	استعد للتوقف				
٥	حادث	فترات تأخير كبيرة		ابحث عن	طريق بديل	
٦	حادث	فترات تأخير كبيرة		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٧	حيوانات على الطريق	امض قدمًا	توخَ الحذر			
٨	حيوانات على الطريق	استعد للتوقف				
٩	توقف	امض قدمًا	توخَ الحذر			
١١	توقف	أمامك		ادخل يسارًا		
١٢	توقف	أمامك		ادخل يمينًا		

	النموذج ١			النموذج ٢		
	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣
١٣	تغير في المرور	الظروف		امض قدمًا	توخَ الحذر	
١٤	تسرب مواد كيماوية	امض قدمًا	توخَ الحذر			
١٥	تسرب مواد كيماوية	أمامك تحويلة				
١٦	تسرب مواد كيماوية	أمامك تحويلة		ابحث عن	طريق بديل	
١٧	ازدحام مروري	أمامك		توقع التأخير		
١٨	ازدحام مروري	أمامك	فترات تأخير كبيرة	ابحث عن	طريق بديل	
١٩	ازدحام مروري	أمامك	فترات تأخير كبيرة	امض قدمًا	توخَ الحذر	
٢٠	ازدحام مروري	أمامك	فترات تأخير طفيفة	امض قدمًا	توخَ الحذر	
٢١	خطر	امض قدمًا	توخَ الحذر			
٢٢	حامل راية	أمامك		قلل السرعة	استعد للتوقف	
٢٣	الضباب	بعد النفق				
٢٤	خطر ضباب	امض قدمًا	توخَ الحذر			
٢٥	خطر	أمامك		توقع التأخير		
٢٦	خطر	امض قدمًا	توخَ الحذر			
٢٧	خطر	أمامك		أمامك تحويلة		
٢٨	خطر	فترات تأخير كبيرة		ابحث عن	طريق بديل	
٢٩	خطر	فترات تأخير كبيرة		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٣٠	خطر	فترات تأخير طفيفة		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٣١	مركبة (مركبات) مرتفعة	توقف فورًا				
٣٢	مسار مغلق	أمامك		ادخل يمينًا		
٣٣	مسار مغلق	أمامك		ادخل يسارًا		
٣٤	مسار (مسارات) مغلقة	داخل النفق				
٣٥	إضاءة خفيفة	داخل النفق				
٣٦	ممنوع الدخول	النفق مغلق				
٣٧	زيت على الطرق			امض قدمًا	توخَ الحذر	
٣٨	مراقبة الشرطة	أمامك				
٣٩	صعوبة في الرؤية	أمامك		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٤٠	الطريق مغلق	أمامك		استعد للتوقف		
٤١	الطريق مغلق	أمامك		ابحث عن	طريق بديل	
٤٢	الطريق مغلق	أمامك تحويلة				
٤٣	الطريق مغمور بالمياه	أمامك		ابحث عن	طريق بديل	
٤٤	الطريق مغمور بالمياه	أمامك		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٤٥	الطريق مغمور بالمياه	أمامك تحويلة				
٤٦	الطريق مغمور بالمياه	أمامك		استعد للتوقف		
٤٧	أعمال طرق	أمامك		قلل السرعة		
٤٨	أعمال طرق	أمامك		توقع التأخير		
٤٩	أعمال طرق	أمامك تحويلة				
٥٠	أعمال طرق	أمامك		استعد للتوقف		
٥١	أعمال طرق	أمامك		ادخل يسارًا		
٥٢	أعمال طرق	أمامك		ادخل يمينًا		
٥٣	خطر دخان	أمامك		امض قدمًا	توخَ الحذر	
٥٤	خطر ازدحام مروري	أمامك				
٥٥	خطر ازدحام مروري	داخل النفق				

	النموذج ١			النموذج ٢		
	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣	المسار ١	المسار ٢	المسار ٣
٥٦	إشارات المرور	أمامك		استعد للتوقف		
٥٧	النفق مغلق	اسلك ناحية اليمين				
٥٨	ثنائي الاتجاه	المرور				

ج-٣ الموقع والتباعد:

ج-٣-١ مواقع التثبيت الطولية:

بشكل عام، ينبغي وضع لافتات الرسائل المتغيرة طوليًا وفقًا لمبادئ موقع اللافتات الثابتة. يعتمد موقع لافتات الرسائل المتغيرة على هدف التطبيق، ومدى التطبيق، وطبيعة الموقع، والقدرة على الحصول على موقع مناسب فيما يتعلق باللافتات والهياكل الأخرى.

ينبغي عدم وضع لافتات الرسائل المتغيرة بشكل عام داخل منطقة محوّل، أو على مقربة من منحدر حيث تتكرر حركات الاندماج أو الكبح المتكرر أو التناسج. ينبغي أن يتناسب موقع لافتات الرسائل المتغيرة مع حاجة السائقين إلى الاستجابة للافتات الثابتة الأخرى المهمة في المنطقة.

على الطرق الشريانية الحضرية؛ حيث يكون تحويل المرور ضروريًا أو موصى به، من المستحسن أن تكون لافتات الرسائل المتغيرة موجودة قبل نقطة التحويل بحوالي ٤٠٠ إلى ٧٠٠ متر. على الطرق الريفية والطرق السريعة والطرق شبه السريعة، ستكون المسافة الأكبر ضرورية عادةً (مثل ٩٠٠ إلى ١٢٠٠ متر من نقطة اتخاذ القرار).

كقاعدة عامة، ينبغي ألا تكون لافتات الرسائل المتغيرة الأولى لعرض رسالة لحادث ما أبعد من ٥ كيلومترات من موقع الحادث البسيط (لا يتضمن انسدادًا / إغلاقًا لمسار)، ولا يزيد عن ٨ كيلومترات في الاتجاه المروري لحادثة تنطوي على تأخيرات كبيرة بسبب انسداد / إغلاق مسار. ينبغي ألا تعرض اللافتات الأبعد من ذلك الرسائل المتعلقة بالحادث. قد تتناسب هذه المسافات القصوى بالطرق الريفية وبعض أجزاء شبكات الطرق الحضرية السريعة/ شبه السريعة، ولكن من غير المحتمل أن تكون متناسبة مع شبكات الطرق الشريانية الحضرية النموذجية. قد تكون هناك استثناءات على أنظمة الطرق السريعة/ شبه السريعة؛ حيث يكون هناك ما يبرر عرض إشعار مسبق لمسافة أكبر باستخدام اللافتات الرسائل المتغيرة، ولكن ينبغي القيام بذلك فقط إذا كان من الممكن عرض رسالة فعالة لتشجيع التحويل عبر مخارج مناسبة إلى مسارات بديلة.

ج-٣-٢ مواقع التثبيت الأفقي والارتفاع:

ينبغي أن يتوافق موقع التثبيت الأفقي للافتات الرسائل المتغيرة مع ما هو مناسب للافتات الثابتة. بالإضافة إلى هذا الدليل، يتطلب النشر المنتظم للافتات الرسائل المتغيرة كجزء من نظام إدارة الطريق السريع/ شبه السريع. عادة ما تكون جميع لافتات الرسائل المتغيرة موجودة على الجسور أو الأعمدة أو الهياكل العلوية الأخرى، حيث إن اللافتات العلوية هي الطريقة الأكثر فعالية لنقل المعلومات الأساسية إلى سائقي المركبات.

وعادةً ينبغي استخدام اللافتات القنطرية أو الهياكل العلوية الأخرى التي تمتد على اتجاه الطريق المخصص لسير المركبات (على سبيل المثال: الجسر):

- عند استخدام كل من لافتات نظام إدارة استخدام المسارات، ولافتة حد السرعة الإلكترونية وشاشة إشارة التحكم في المسار:
- في هذه الحالة التي يُستخدم فيها نظام إدارة استخدام المسارات؛ سيكون من المقبول (رغم أنه ليس مفضلًا بالضرورة) تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة على الجسر ذو الرافعة نفسه (راجع الجزء الفرعي ج-٣-٤ لمزيد من المناقشة عن تراصف اللافتات مع بعضها).
- بدلًا من ذلك، يمكن تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة على اللافتة القنطرية نفسها (لافتة قنطرية منفصلة، أو دعامة كابولية أو هيكل علوي آخر) بشرط أن تفي بمتطلبات قابلية القراءة، ومع مراعاة حجب الرؤية بسبب الارتفاع النسبي للمركبات الثقيلة.
- على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة المخصصة لسير المركبات، والتي تحتوي على أربع مسارات أو أكثر.

في الاتجاهات المؤدية إلى منحدرات الخروج، من المهم بشكل خاص أن تُنسَّق لافتات الخروج الثابتة العادية، ولافتات مكان الخروج مع أي لافتات رسائل متغيرة، ولافتات نظام إدارة استخدام المسارات وغيرها من اللافتات؛ لتحويل المرور أو لأغراض أخرى.

بالإضافة إلى ما سبق، يُفضل فصل لافتات الرسائل المتغيرة الكبيرة التي تحتوي على رسائل الحوادث والتحكم في المسارات من جسور اللافتات التي تدعم لافتات الاتجاه الثابتة. وقد نوقش ذلك في الجزء الفرعي ج-٣-٤ بطريقة أكثر تفصيلًا.

بعد اتخاذ قرار بشأن طبيعة ومدى نظام إدارة الطرق السريعة المطلوب، ينبغي على المصممين مراعاة ما يلي:

١- تحديد مواقع لافتات الاتجاه الثابتة (الأولوية القصوى):
٢- تحديد مواقع لافتات نظام إدارة استخدام المسارات ولافتات حد السرعة الإلكترونية داخل تخطيط لافتة الاتجاه. تسلسل التصميم النموذجي للافتة نظام إدارة استخدام المسارات ولافتة حد السرعة الإلكترونية هو كما يأتي:
   i. نسبة إلى المحولات.
   ii. خط محدد الطول بين قطاعين.
٣- تحديد مواقع لافتات الرسائل المتغيرة.
٤- تحديد مواقع لافتات الثابتة الأخرى.

من الناحية المثالية، ينبغي ألا يتم وضع لافتات الرسائل المتغيرة المتتالية في حدود ١٠٠٠ متر من بعضها البعض؛ ومع ذلك، إذا لزم الأمر، يمكن استخدام مسافات أقرب.

ج-٣-٣ اتجاه لافتات الرسائل المتغيرة:

بشكل عام، يمكن قراءة لافتات الرسائل المتغيرة بغير معاناة عندما تكون بعيدًا عن المركز بشكل أفقي في نطاق ١٠ درجات و٥ درجات بشكل عمودي من زاوية رؤية السائق (أي ينبغي ألا تكون اللافتات قائمة بزاوية ٩٠ درجة على الطريق). وينبغي التحقق من موضع اللافتة؛ بحيث لا تؤدي المنحنيات الأفقية أو العمودية إلى خروج اللافتة من نطاق الرؤية.

ج-٣-٤ التراصف مع اللافتات الأخرى:

يُعد التراصف المزدوج لنظام إدارة استخدام المسارات مع لافتات الرسائل المتغيرة، أو التراصف المزدوج لنظام إدارة استخدام المسارات مع لافتات الاتجاه ترتيبًا عمليًا يُمارَس على نطاق واسع على المستوى الدولي ويبدو أنه لا يمثل أي صعوبات للسائقين. وفيما يتعلق بالتراصف الثلاثي للافتات؛ يوصى بعدم استخدام اللافتات إلا في الحالات التي تكون فيها الترتيبات الأخرى لعرض معلومات اللافتات الأساسية غير عملية. فضلًا عن ذلك، ينبغي مراقبة سلوك السائقين وردود أفعالهم تجاه اللافتات عن كثب في الفترة التي تلي أي تركيب.

وينبغي أن تنطبق الإرشادات الآتية عند تراصف اللافتات الإلكترونية:

- عدم التراصف: مفضل.
- التراصف المزدوج لنظام إدارة استخدام المسارات مع لافتات الرسائل المتغيرة أو التراصف المزدوج لنظام إدارة استخدام المسارات مع لافتات الاتجاه: مقبول.
- التراصف الثلاثي (أي التراصف مع لافتة ثابتة ونظام إدارة استخدام المسارات): غير مفضل، ولكنه مقبول للتجربة إذا كانت الظروف تتطلب ذلك وتُطبَّق القيود على عرض لافتات الرسائل المتغيرة واللافتة الثابتة (انظر أدناه لمزيد من الإرشادات).

ورغم عدم تفضيله، ينبغي تطبيق الإرشادات الآتية عند استخدام التراصف الثلاثي:

- ينبغي أن تقتصر رسائل لافتات الرسائل المتغيرة على نموذج واحد ولا تزيد عن ثلاثة أسطر في كلمة واحدة في كل سطر (على سبيل المثال: أمامك أعمال طرق، أو أمامك فترات تأخير طويلة) وذلك ما لم تُستخدَم الرسالة لنقل زمن الانتقال المقدرة.
- ماتزال تُستخدَم دراسة رسائل زمن الانتقال في سيناريوهات التراصف الثلاثي، ويشعر الكثيرون أن استخدامها في التراصف الثلاثي الرسالة الأكثر تعقيدًا من الرسائل المسموح بها؛ نظرًا لاحتمال زيادة الضغوط على السائقين، خاصةً السائقين الذين ليسوا على دراية بالمنطقة، ينبغي أن يكون عدد الوجهات المعروضة محدودًا. من الأفضل تحديد الرقم بناءً على تقييم مدى تعقيد بيئة الطريق. بالنسبة إلى بيئات الطريق الأكثر تعقيدًا. يمكن أن يكون من المناسب التقيد بعدد وجهة واحدة، بينما بالنسبة إلى بيئة الطريق الأقل تعقيدًا، يمكن أن تكون وجهتان أو ثلاث وجهات مقبولة.
- ينبغي عدم استخدام لون لافتات الرسائل المتغيرة إلا للإشارة إلى مستوى الازدحام المروري.
- ينبغي تجنب استخدام الرسم التصويري في لافتات الرسائل المتغيرة من أجل الحفاظ على بساطة الرسالة.
- على جهات الطرق تصميم النطاق وطرق التقييم لأي تجربة ميدانية للتراصف الثلاثي للافتات بحذر شديد مع مراقبة سلوك السائق عن كثب بعد التركيب.

ج-٤ استخدامات لافتات الرسائل المتغيرة:

ج-٤-١ عام:

تعتمد أنظمة إدارة الطرق السريعة واستراتيجياتها الأساسية لإدارة المرور على لافتات الرسائل المتغيرة، واللافتات، والإشارات الإلكترونية الأخرى؛ لتوفير المعلومات لمستخدمي

الطريق. يمكن استخدام الأجهزة الإلكترونية بطريقة منهجية ويمكن أن تنظم أو تحذر أو تنصح السائقين كاستجابة لتغير المرور أو البيئة أو ظروف الطريق الأخرى. ويمكن أن تحقق هذه الأنظمة الأهداف المزدوجة لتحسين كفاءة المرور وسلامة الطرق، وبالتالي المساهمة في التنقل الآمن.

سيختلف نطاق موقع اللافتات والتقنية المستخدمة في النظام بطريقة معينة اعتمادًا على الهدف الذي تضعه جهة الطرق للنظام. في حين أن القدرة على إدارة الحوادث هي سمة أساسية لمعظم الأنظمة، ويمكن أن يختلف مستوى اللافتات المستخدمة بشكل كبير. أيضًا، يمكن أن يؤدي النظر في متطلبات النظام لقطاعات معينة من الطرق السريعة إلى الاختلاف في مجموعة اللافتات المثبتة.

ويمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة على مجموعة من الحالات مثل الآتي:

- معلومات السائق.
- التحكم في المنحدرات.
- إغلاق المسارات (توجيه المركبات إلى المسارات المناسبة عند وقوع الحوادث).
- إغلاق الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة.
- تخصيص مسار لأنواع محددة من المركبات (مثال، مسار للمركبات الثقيلة أو عدم مرور الشاحنات في مسارات معينة).
- إدارة المناسبات الخاصة.
- الظروف الجوية السيئة.
- محدودية مدى الرؤية.
- اللافتات والإرشادات في الأنفاق.
- الطرق القابلة لتغيير الاتجاه.

وقد سُهِّل الاستخدام المتزايد لحد السرعة المتغير كأداة لإدارة المرور من خلال تطوير تقنية لافتات الرسائل المتغيرة. يناقش الجزء (٤-٦) هذا الموضوع بمزيد من التفصيل.

ج-٤-٢ لافتات معلومات السائق:

تعتمد أنظمة إدارة الحوادث على القدرة على نقل المعلومات المعالجة عن ظروف الطريق (مثل الحوادث) بطريقة موجزة لمستخدمي الطريق. هذا من أجل تشجيع السائقين على الالتفاف عن الحوادث وبالتالي تجنب المزيد من الازدحام في منطقة الحادث والسماح للمستجيبين بالاستجابة بشكل أفضل للحوادث. وينبغي أن يكون الغرض من لافتات الرسائل المتغيرة هو توفير رسائل تحذيرية ورسائل السلامة الحرجة (على سبيل المثال: أمامك حادث) إلى جانب رسائل الحوادث / الأحداث. أحدث وأفضل الممارسات هي أن توفر لافتات الرسائل المتغيرة هذه الرسائل بشكل بديل وبطريقة أفضل.

كما أن أحد العوامل الرئيسة في توفير لافتات فعالة هو تقديم المعلومات ذات الصلة إلى سائق السيارة بطريقة واضحة وبسيطة. بالإضافة إلى تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة، تستخدم أنظمة معلومات السائق لافتات أخرى تشكل أيضًا جزءًا من نظام إدارة الحوادث.

يمكن عرض وقت زمن الانتقال المحتمل للسائقين من خلال لافتات الرسائل المتغيرة متعددة الأغراض. يسمح ذلك للافتة الرسائل المتغيرة الواحدة بعرض معلومات زمن الانتقال أثناء ظروف التشغيل القياسية، ولكنها تستطيع أيضًا عرض معلومات عن حدث كبير مثل إغلاق المسار. عادة، تُعرض زمن الانتقال بالدقائق ويمكن عرضها بالألوان أو مصحوبة بشاشة ملونة من أجل توضيح مستوى الازدحام، أي الأحمر (شديد الازدحام) أو الأصفر (المتوسط الازدحام) أو الأخضر (قليل الازدحام).

يمكن أيضًا استخدام لافتات معلومات الرحلة المخصصة على الطريق الذي تنطبق عليه المعلومات. ويمكن لهذه اللافتات إعلام سائقي المركبات بزمن الانتقال حتى الوصول إلى المخارج الرئيسة. عادةً ما تكون القطاعات الموضحة على اللافتة ثابتة، بينما يكون وقت الرحلة ديناميكيًا ويتم عرضه من خلال استخدام شاشة (LED) (الشكل ج-٢).



الشكل (ج–٢) لافتة معلومات الرحلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.4).

يمكن أن توفر لافتات حالة الرحلة (الشكل ج-٣) معلومات تتعلق بزمن الانتقال والازدحام على المسارات المتقاطعة. وينبغي- تثبيتها قبل المحولات التي تتيح الوصول إلى هذا المسار. ويمكن أن تعرض إما تقديرًا لزمن الانتقال من المحول إلى المحول الرئيس على المسار المتقاطع أو معلومات عن ظروف الرحلة على طول المسار (على سبيل المثال: خفيف أو متوسط أو شديد). يمكن ان تُعرَض الظروف بألوان تشير إلى مستوى الازدحام.



الشكل (ج–٣) لافتة حالة الرحلة (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.5).

بالنسبة إلى كل من لافتات الرسائل المتغيرة الخاصة بزمن الانتقال وحالة الرحلة، فإن التفضيل الآن (بخلاف ما هو موضح في الإصدارات القديمة من اللافتات التي لا تزال قيد الاستخدام كما هو موضح في الشكل ج-٢ والشكل ج-٣) هو لافتات الرسائل المتغيرة التي تعرض الوجهات بترتيب تسلسلي؛ باستخدام أقرب وجهة في أعلى اللافتة والوجهة الأبعد في الأسفل. أرقام زمن الانتقال على وجهات مختلفة هو إجمالي زمن الانتقال من موقع اللافتة إلى الوجهة، وبالتالي ينبغي أن تتزايد دائمًا من أعلى اللافتة إلى أسفلها (الشكل ج-٤).

كما ينبغي وضع لافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية التي توفر معلومات مسبقة عن حالة الطريق السريع في مواقع استراتيجية على الطرق الشريانية التي تغذي الطريق السريع. وتتمثل أحدث الممارسات في أن تكون هذه اللافتات عبارة عن مصفوفة كاملة للافتات الرسائل المتغيرة كما هو موضح في الشكل (ج-٤)، وأن تعرض اسم الطريق السريع/ الطريق شبه السريع وزمن الانتقال إلى الوجهات الرئيسة. يمكن أيضا استخدام الترميز اللوني لإعطاء إشارة إلى مستوى الازدحام.



الشكل (ج–٤) مثال على لافتات الرسائل المتغيرة لطريق شرياني توفر معلومات متقدمة عن حالة طريق سريع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.6).

ينبغي وضع لافتات التحكم الإلكترونية في المنحدرات بمكان واضح في مدخل الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. عمليات تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة الصحيحة هي التي تسمح بعرض مجموعة متنوعة من الرسائل البسيطة عند استخدام الطريق السريع. تشير إلى ما إذا كان الطريق السريع مغلقًا أم لا، وتتحكم في الوصول من خلال عرض رسائل مثل: الطريق السريع/ الطريق شبه السريع مغلق وممنوع الانعطاف لليسار. عند استخدام إشارات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة، يمكن استخدام نفس لافتات الرسائل المتغيرة المثبتة عند المدخل لعرض التحكم في الوصول إلى الطريق السريع. وفي حالة عدم تثبيت إشارات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة/ الطرق شبه السريع؛ يجب تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة لعرض التحكم. الغرض الأساسي من استخدام لافتات التحكم الإلكترونية في المدخل هو أن تكون قادرًا على إغلاق أو تقييد الوصول إلى طريق سريع/ طريق شبه سريع عند المدخل المحدد حيث تُثبّت اللافتات في حالة وقوع حادث كبير وذلك لمنع الازدحام المفرط وبالتالي تقليل الوقت المستغرق لتخليص المرور والعودة إلى أوضاع التشغيل العادية.

ج-٤-٣ إشارات / لافتات التحكم في المسارات:

يمكن استخدام لافتات التحكم في المسارات على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة كاستجابةً للحوادث من أجل:

- إغلاق مسار أو مسارات على اتجاهات طرق سير المركبات وتوجيه المرور بعد وقوع حادث.
- إغلاق اتجاهات الطرق السريعة لسير المركبات بعد مخرج الطريق السريع/ الطريق شبه السريع، وتحويل المرور من الطريق السريع/ الطريق شبه السريع في أثناء الحوادث الكبيرة أو عمليات الصيانة الضخمة.

على الطرق السريعة ذات الحجم الكبير، يتم الإغلاق الآمن والفعال للمسارات أو اتجاهات الطرق السريعة لسير المركبات من خلال عرض اللافتات على عدد من اللافتات القنطرية المتعاقبة.

ج-٤-٤ أنظمة التحذير من الطقس:

يمكن استخدام أنظمة التحذير من الطقس على الطرق السريعة/ الطريق شبه السريع والطرق الشريانية غير السريعة (الطرق الريفية)؛ حيث يكون لمجموعة من الظروف المتعلقة بالطقس تأثير سلبي على سلامة الطرق من خلال تأثيرها على أداء السائقين أو سطح الطريق.

تشمل الظروف الشائعة ما يأتي:

- تساقط الأمطار الغزيرة.
- فيضانات أو احتمال كبير لحدوث الفيضانات.
- العواصف الرملية.
- الضباب.
- الجليد و/أو الثلج.
- تجمد الأسفلت.
- سرعة الرياح الشديدة واتجاهها.
- الدخان (السبب الرئيس حرائق الغابات).

ينبغي أن يقتصر الاستخدام على السيناريوهات التي يؤثر فيها الطقس بشكل سلبي على السلامة، ويتطلب من السائقين تغيير سلوكهم المعتاد في القيادة لجزء المعين من الطريق (على سبيل المثال: عندما تتطلب الظروف الجوية من السائقين تقليل سرعتهم للحفاظ على السلامة). يمكن أن يكون التحذير مصحوبًا أيضًا بتحذير لتحديد السرعة الإلكترونية والذي يطلب بشكل قانوني من السائقين تقليل السرعة.

ج-٤-٥ المسارات متغيرة الاتجاه:

تحدث ترتيبات المسارات متغيرة الاتجاه (المعروفة باسم التدفق الجذري في بعض الولايات القضائية)؛ حيث يتم عكس الاستخدام الاتجاهي للمسار لتوفير سعة إضافية في اتجاه ذروة المرور. على سبيل المثال: يمكن تشغيل طريق غير مقسم مؤلف من ست مسارات ويعمل بمثابة ثلاث مسارات في كل اتجاه خلال فترات السيولة المرورية، ويمكن تغييره إلى أربع مسارات لاتجاه الذروة ومسارين لاتجاه الذروة المضادة خلال فترات الذروة.

من أجل تحقيق مستوى مرضٍ من السلامة، ينبغي إدارة (المسارات متغيرة الاتجاه) عن طريق إشارات المسارات العلوية، والاستخدام المسموح به للمسارات المحدَّدة بواسطة إشارات الأسهم، وحظر الاستخدام المحدد بواسطة التقاطع الأحمر فوق المسارات المناسبة.

يمكن استخدام المسارات متغيرة الاتجاه على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة بشرط تطوير إدارة حركة مرور مرضية ومعابر متوسطة.

يتمثل أحد الجوانب المهمة في إدارة المسارات متغيرة الاتجاه في اللافتات والإرشادات وتحديد الحدود في نهايات الترتيبات؛ حيث تنتقل إلى التشغيل العادي. ينبغي وضع لافتات لتحذير السائقين بإجراء تشغيل (خارج المركز) والأوقات التي ستنفّذ فيها قبل المعالجة. من الصعب تحقيق ترتيب وتحديد واضح للمسارات داخل المناطق محطة نهاية الخط للمعالجة، ولكن أُستخدِمت أضواء الأسفلت بنجاح لهذا الغرض.

ج-٤-٦ إدارة الحوادث:

عادةً ما تُستخدم لافتات الرسائل المتغيرة الدائمة، أو لافتات معلومات السائق في الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة لإدارة الحوادث. ومع ذلك، من المتوقع أنه مع زيادة استخدام تقنية أنظمة النقل الذكية في المركبات وأنظمة إدارة المرور، ستزيد إمكانية تطبيق البيانات الكافية وقدرة النظام على توفير إدارة الحوادث وأنظمة معلومات السائق على شبكات الطرق الشريانية غير السريعة. يمكن أن يثير استخدام لافتات الرسائل المتغيرة على نطاق أوسع عبر نظام الطرق الشريانية مشكلات تتعلق بمدى استخدامها وموقعها وحجمها.

وينبغي أيضًا مراعاة أن متطلبات التباعد الموضحة في الجزء (٤-٥) مناسبة للطرق الشريانية الحضرية. بالنسبة إلى هذه الطرق، ينبغي أن تكون نقاط اتخاذ القرار الرئيسة تقاطعات رئيسة مع طرق شريانية أخرى مناسبة بشكل كبير لاستخدامها في تحويل المرور. وينبغي وضع لافتات الرسائل المتغيرة المستخدمة لهذا الغرض قبل تحويل مجرى المرور بمسافة قدرها ٤٠٠-٧٠٠ متر.

وتتمثل إحدى الوظائف المهمة لأجهزة استشعار الحوادث وإدارتها في توفير وصول سريع لخدمات الطوارئ إلى الحوادث الخطيرة. إن العلاج المبكر لركاب المركبة أو عمال الطرق المصابين في حوادث تصادم تضمن تقليل شدة الإصابات ويزيد من فرص البقاء على قيد الحياة.

ج-٤-٧ أنظمة التحذير من الارتفاع الزائد:

تُثبّت أجهزة استشعار الارتفاع لاكتشاف المركبات العالية جدًا؛ بحيث لا يمكن المرور بها تحت الهياكل المنخفضة، وغالبًا ما تكون تلك الهياكل هي ممرات السكك الحديدية القديمة للطرق الشريانية؛ حيث يكون للجسر خلوصٌ منخفضٌ في العادة. وينبغي تثبيت هذه الأجهزة على المسارات التي تستخدمها أعدادًا كبيرة من الشاحنات.

يمكن استخدام أجهزة الاستشعار للكشف عن شعاع الليزر لتحديد المركبات المرتفعة للغاية. عادة، بمجرد حدوث اكتشاف، يقوم النظام بتنشيط الأضواء الوامضة المثبتة على لافتة إرشادية للارتفاع أو تنشيط لافتات الرسائل المتغيرة حيث يكون من المناسب توفير مزيد من المعلومات عن الإجراء المطلوب من سائق الشاحنة. يمكن أيضا استخدام تردد راديو الخاص بالمواطنين كشكل تكميلي للاتصال التحذيري.

تخبر هذه الأنظمة سائقي الشاحنات بعدم المضي على طول المسار الحالي، ويمكن أن توفر الاتجاه المناسب للطرق البديلة. يقلل توفير أنظمة استشعار الارتفاع من الأضرار التي تلحق بالمنشآت المهمة ويقلل من التكاليف على المجتمع.

ج-٤-٨ أنظمة التحذير من السرعة الزائدة:

هي الأنظمة التي يُكشَف من خلالها عن سرعات السيارة (على سبيل المثال: باستخدام معدات استشعار السرعة باستخدام الليزر) وعرضها على لافتة إلكترونية (الشكل ج-٥) مثبتة بجانب أو فوق الطريق.

الغرض الأساسي من النظام هو:

- توعية السائقين بحدود السرعة المتاحة لهم، خاصة أولئك الذين يتخطون الحد الأقصى للسرعة، وتشجيعهم على تقليل سرعتهم.
- تمكين السائقين من تحديد القياس الصحيح لعداد السرعة.

كما يمكن للنظام توفير خدمة مهمة للسائقين، من خلال استخدام كاميرات السرعة للإنفاذ، وتقليل التفاوتات في تجاوز السرعة في بعض السلطات القضائية.

حيث تكون قراءات السرعة المعروضة بشكل عام في حدود ١ إلى ٢ كم/ساعة من السرعة الفعلية، وعادة ما تكون السرعة القصوى المعروضة محدودة من أجل تثبيط سلوك السرعة غير المسؤول في الموقع.



الشكل (ج–٥) نظام مؤشر السرعة على طريق سريع (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.10).

ج-٤-٩ لافتات التقاطعات المُفعَّلة بالمركبات والتصميم الهندسي للطرق:

يمكن أن تكون لافتات التقاطعات المُفعَّلة بالمركبات والتصميم الهندسي للطرق فعالة في تحذير السائقين من التقاطعات أو المنحنيات الخطرة. ويمكن تطبيقها على:

- تقاطعات محكومة بإشارات مرورية على مشارف مدينة أو بلدة؛ حيث يفشل السائقون في التكيف من البيئة الحضرية عالية السرعة إلى البيئة الريفية، ويتضح ذلك من خلال العدد الكبير غير المقبول من الحوادث.
- تقاطع غير محكوم بإشارات مرورية له سجل اصطدامات غير مقبول، والتمويل غير متاح لتطويره بشكل دائم.
- طريق يحتوي على منحنى رأسي حاد في اتجاه إشارات المرور؛ حيث تكون مسافة الرؤية غير كافية لرؤية التقاطع أو الجزء الخلفي من صف الانتظار الثابت للسيارات.
- منحنى أفقي حاد له سجل حوادث الخروج عن الطريق (Kathmann & Cannon, 2001).
- تقاطع الطرق الشريانية مع الطرق الريفية منخفضة الكثافة؛ حيث تفعل المركبات القادمة من الطريق الجانبي، الحد الأقصى للسرعة المنخفضة على الطريق الرئيس.

وتوضح الأمثلة المذكورة أعلاه الاستخدامات المختلفة للافتات الرسائل المتغيرة وتأثيرها على سلوك السائق؛ وذلك لتشجيع استخدام الطرق الأكثر أمانًا وبسرعةٍ آمنة.

ويمكن أيضًا توجيه لافتات تحذيرية مُفعلة بالمركبة إلى أنواع معينة من المركبات، على سبيل المثال: حيث يمكن أن تكون المركبات الثقيلة عرضة للانقلاب على المنحنيات الأفقية إذا قيدت بسرعة مفرطة كما هو موضح في الشكل (ج-٦).



الشكل (ج–٦) لافتة تحذير مُفعّلة بالمركبات للشاحنات (المصدر: AUSTROADS, (2020d) – Figure 7.11).

غالبا ما ينبغي توفير لافتات الطريق الثابتة القياسية (مثل: اللافتات التحذيرية) في هذه الحالات؛ حيث تكون اللافتة المفعّلة بالمركبات على شكل لافتات رسائل متغيرة، أو لافتات رسائل قابلة للتغيير؛ لتنبيه السائقين إلى ظروف معينة، أو للتأكيد على الرسالة المكتوبة على اللافتات الثابتة. ومن المهم أن تُدمَج لافتات الرسائل المتغيرة المستخدمة لهذا الغرض بشكل مناسب مع اللافتات الثابتة اللازمة، أو تُثبَّت مع وجود مسافة مناسبة مع اللافتات الثابتة.

ويمكن أن يتم تزويد التقاطعات الخطرة غير المحكومة بإشارات مرورية، وتلك التي بها مشكلة في مسافة الرؤية بلافتةٍ إلكترونية تومض بالتناوب بسرعة كبيرة وتبطئ عند اكتشاف المركبات وهي تقترب بسرعة أعلى من السرعة المرغوبة. يمكن أن تكون هذه اللافتات مصحوبة بلافتة إلكترونية للحد من السرعة وللتأكيد على الحد المطبق (الشكل ج-٧). ويمكن أيضًا استخدام اللافتات المفعّلة بالمركبات على شكل لافتات رسائل متغيرة، أو لافتات رسائل قابلة للتغيير للتحكم في سرعة المركبات التي تقترب من المنحنيات الأفقية الحادة نسبيًا (الشكل ج-٧).



Illuminated speed limit sign.
TOO FAST – SLOW DOWN in background

VMS: TOO FAST – SLOW DOWN

الشكل (ج–٧) مثال على لافتات الرسائل المتغيرة عند تقاطع طريق ريفي شرياني مقسوم (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 7.12).

وُضّح الوصف، والفوائد، ومشكلات التنفيذ، وعمر الاستخدام للافتات المفعّلة بالمركبات في اتجاه التقاطعات أو المنحنيات في الجدول (ج-١٠).

الجدول (ج–١٠) النتائج الرئيسة للافتات المفعّلة بالمركبات في مدخل تقاطع او المنحنيات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.2).

نوع اللافتة	لافتة متفاعلة مع المركبات – تقاطعات	لافتة متفاعلة مع المركبات – منحنيات
الوصف	يمكن أن تُنشّط اللافتات الإلكترونية مثل لافتات الرسائل المتغيرة أو الميزات الإلكترونية المصاحبة للافتة الثابتة (على سبيل المثال: جهاز الرؤية في شكل أضواء وامضة) ويتم ذلك عند مرور مركبة، وفي بعض الحالات فقط إذا كانت المركبة تسير فوق الحد الأقصى للسرعة. وبمجرد تنشيط اللافتة، يمكن أن تعرض لافتات الرسائل المتغيرة رسالة عن الخطر، ويمكن أن تتضمن رسالة لإبطاء السرعة. بدلًا من ذلك، بمجرد تنشيطها، تصبح اللافتة مضاءة، ما يلفت الانتباه إلى اللافتة الثابتة، ويدفع السائق للربط بينها وبين الرسالة الموجودة على العلامة الثابتة ذات الصلة. والطريقتان كلتاهما تنبهان السائقين إلى وجود التقاطع؛ بهدف زيادة يقظتهم وتقليل سرعتهم حتى يستطيعوا عبور التقاطع بأمان.	يمكن أن يتم تنشيط اللافتات الإلكترونية مثل لافتات الرسائل المتغيرة أو الميزات الإلكترونية المصاحبة للافتة الثابتة (على سبيل المثال: جهاز الرؤية في شكل أضواء وامضة) ويتم ذلك عند مرور مركبة، وفي بعض الحالات فقط إذا كانت المركبة تسير فوق الحد الأقصى للسرعة. وبمجرد تنشيط اللافتة، يمكن أن تعرض لافتات الرسائل المتغيرة رسالة عن الخطر، ويمكن أن تتضمن رسالة لإبطاء السرعة. بدلًا من ذلك، بمجرد تنشيطها، تصبح اللافتة مضاءة، ما يلفت الانتباه إلى اللافتة الثابتة، ويدفع السائق للربط بينها وبين الرسالة الموجودة على العلامة الثابتة ذات الصلة. الطريقتان كلتاهما تنبهان السائقين إلى وجود المنحنى بهدف تقليل سرعتهم؛ كي يستطيعوا عبور المنحنى بأمان.

نوع اللافتة	لافتة متفاعلة مع المركبات – تقاطعات	لافتة متفاعلة مع المركبات – منحنيات
المميزات الكمية	• تخفيض السرعة ٥ كم/الساعة. • تقليل الاصطدامات: ٧٠٪.	• تخفيض السرعة ٢-٦ كم / ساعة. • تقليل الاصطدامات: ٣٥٪ إصابات نتيجة الاصطدامات.
المميزات النوعية	• تنبيه سائقي المركبات إلى وجود تقاطع. • توفير تحذير أكثر وضوحًا. • يمكن ضبطه لتنبيه سائقي المركبات الذين تجاوزوا السرعة المحددة فقط. • يمكن ضبطه للعمل في ظروف معينة فقط (على سبيل المثال: الوقت محدد من اليوم).	• يقدم إرشادات إضافية لتنبيه سائقي المركبات بالمخاطر. • يقدم معلومات عن اتجاه المنحنى.
معوقات التنفيذ	• يُحدَّد التخريب بوصفه مشكلة محتملة؛ لا سيما في المناطق الريفية النائية رغم أن بعض الموردين يقومون بدمج ميزات مقاومة التخريب في تصميمهم، مثل: تدابير مكافحة السرقة. • قد تكون هناك مشكلات في إمدادات الطاقة في المناطق الريفية، على الرغم من توفر الأجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية. • نظرًا إلى أن اللافتة تشكل خطرًا على المركبات الجانحة، فيجب أن تكون قابلة للكسر. • تستخدم اللافتات الحديثة مصابيح (LED) ذات عمر استخدام طويل، وتستهلك أدنى قدر من الطاقة، ما يسمح لها بالعمل على الطاقة الشمسية. كما يمكن أيضًا تزويد اللافتات بمستشعر ضوئي يقوم على الفور بضبط مصابيح (LED) ذاتيًا وفقًا لمستويات الإضاءة المحيطة.	• لوحظ التخريب بوصفه مشكلة؛ ولا سيما في المناطق الريفية المعزولة رغم أن بعض الموردين يقومون بدمج ميزات مقاومة التخريب في تصميمهم مثل تدابير مكافحة السرقة. • قد يؤدي الإفراط في استخدام النظام إلى تقليل قيمته الجديدة، وبالتالي التقليل من تأثيره. • يجب أن يكون خط الرؤية من اللافتة إلى المركبة واضحًا حتى يعمل الرادار بفاعلية، وتكون اللافتة مرئية بوضوح • قد تكون هناك مشكلات في إمدادات الطاقة في المناطق الريفية، على الرغم من توفر الأجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية. • ونظرًا إلى أن اللافتة تشكل خطرًا على المركبات الجانحة، فيجب أن تكون قابلة للكسر. • وتستخدم اللافتات الحديثة مصابيح (LED) ذات عمر استخدام طويل، وتستهلك أدنى قدر من

نوع اللافتة	لافتة متفاعلة مع المركبات – تقاطعات	لافتة متفاعلة مع المركبات – منحنيات
		الطاقة، ما يسمح لها بالعمل على الطاقة الشمسية. كما يمكن أيضًا تزويد اللافتات بمستشعر ضوئي يقوم على الفور بضبط مصابيح (LED) ذاتيًا وفقًا لمستويات الإضاءة المحيطة.
عمر الاستخدام	٥-١٠ سنوات.	٥-١٠ سنوات.

ج-٤-١٠ النقل العام:

يمكن تجهيز الحافلات (والترام) بوحدة نظام تحديد المواقع العالمي أو غيرها من أشكال تقنيات نظام تحديد موقع المركبة آليا؛ لتوفير معلومات الموقع في الوقت الحقيقي لإدارة الأسطول ومعلومات الركاب. ويمكن عرض الجدول الزمني المعتاد ومعلومات الوصول في الوقت الحقيقي في محطة الحافلات باستخدام لوحات الرسائل المتغيرة، كما يمكن أن تساعد على إدارة توقعات الركاب.

ويمكن إتاحة معلومات موقع الحافلة في الوقت الحقيقي على الإنترنت. وذلك، عبر استخدام الإنترنت السلكي أو اللاسلكي وغيره من الخدمات التي يشترك فيها المستخدم عبر خدمة الرسائل القصيرة، ويمكن لراكب السكك الحديدية الوصول إلى وقت وصول الحافلة المقررة عندما يصل إلى المحطة. وبالتالي، سيكون الراكب قادرًا على التخطيط مسبقًا. بالإضافة إلى ذلك، يمكن لسائق الحافلة أيضًا الحصول على جدول زمني للسكك الحديدية كما يمكنه تأخير زمن المغادرة من محطة الحافلات في حدود الوقت المسموح لالتقاط ركاب السكك الحديدية الذين يسعون إلى تحويل وسائل النقل العام في المحطة. وتعد مهمة الدمج الديناميكي بين خدمات النقل العام بالسكك الحديدية والحافلات مهمة صعبة يمكن أن تستفيد من تدابير أنظمة النقل الذكية.

يمكن تطبيق تقنية مماثلة على مسارات الترام. كما يمكن استخدام أنظمة النقل الذكية؛ لوضع الأولوية للحافلات والترام على شبكات الطرق الشريانية وغالبًا ما تتضمن هذه المبادرات استخدام لوحات الرسائل المتغيرة (الشكل ج-٨).



الشكل (ج–٨) لافتة ديناميكية (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 7.15).

ملاحظة: في هذا المثال يجب أن تمضي المرور في الاتجاه الصحيح؛ لإيضاح مسارات الترام للتحرك إلى الأمام مباشرة.

ج-٤-١١ توجيه مواقف المركبات:

تؤدي المواقف دورًا مهمًا في تقديم خدمات النقل البري. وفي العديد من المدن، يوجد مزيج من خدمات المواقف داخل الطريق وخارجه. ورغم أن الغرض الأساسي من الطرق الشريانية هو التنقل عبر المرور؛ إلا أن مواقف المركبات داخل الطريق على الطرق الشريانية في خارج فترات الذروة أمر شائع كما أن سائقي المركبات على دراية بالاضطراب الذي يسببه ذلك لتدفق المرور.

يمكن أن تؤدي مواقف المركبات خارج الطريق كذلك إلى زيادة الضغط على نظام الطريق بواسطة السائقين الذين يبحثون عن أماكن مواقف المركبات في الجهات الأكثر شعبية مثل مراكز المدن. كما أن الازدحام الناتج عن المرور الزائد له تأثير على التدفق، ما يعيق المرور في المناطق المحيطة. ويمكن تثبيت أنظمة توجيه مواقف المركبات التي تستخدم اللافتات الديناميكية على الطرق الشريانية وغيرها من الطرق المزدحمة التي تؤدي إلى مناطق وسط المدينة للمساعدة على تحسين تدفق المرور وتقليل الازدحام.

كما ينبغي توفير أنظمة اللافتات الديناميكية للمواقف لتحذير سائقي المركبات في المواقع الحرجة حول المدينة بعدد الأماكن المتوفرة في المحطات الكبيرة لمواقف المركبات خارج الطريق. علاوة على ذلك، يمكن تحديث المعلومات المعروضة على اللافتات يدويًا أو تلقائيًا. وينبغي على اللافتات عادة أن ترشد سائقي المركبات إلى:

- الاسم والسعة المتبقية لموقف المركبات.
- موقع موقف المركبات.
- مواقع مواقف المركبات الأخرى في الشوارع المحيطة.

تتيح لافتات الرسائل المتغيرة للسائقين اتخاذ قرارات مطلعة بشكل مسبق حول مكان وقوف المركبات. في المناطق التي يتم فيها توصيل العديد من مواقف المركبات بنظام توجيه مواقف المركبات، مثل: وسط المدينة، يمكن توصيل مواقف المركبات بجهاز حاسب مركزي عبر أجهزة المودم. يمكن لمواقف المركبات الفردية تدبير مستويات الاستيعاب، وتحديث الحاسب المركزي الذي بدوره يعمل على تحديث اللافتات المختلفة في المنطقة بمستويات الاستيعاب.

من المعتاد في المدن الكبيرة توفير أنظمة توجيه المواقف لقطاعات مختلفة داخل المدينة. ويمكن منح القطاعات اسمًا أو ترميزًا لونيًا؛ حتى يتمكن السائقين من ربط اللافتات والمعلومات بالقطاع الصحيح بسهولة.

ويتطلب تخطيط نظام توجيه المواقف وتصميمه وتنفيذه عددًا من التدابير التي يجب مراعاتها:

- ينبغي استخدام التخطيط الرئيس لمناطق المواقف لمدينة محددة كأساس لتحديد تجميع مناطق مواقف المركبات التي ستُضمَّن في العديد من القطاعات، الموجودة وتلك التي يحتمل أن تُنشأ على المدى القصير إلى المتوسط
- ينبغي أن يوفر تعريف القطاعات الأساس لنظام التوقيع بواسطة تحديد موقع اللافتات المطلوبة؛ لتوفير معلومات مسبقة تتعلق بكل قطاع، وتقديم إرشادات للمركبات من المنطقة المجاورة لمنطقة وقوف المركبات الكاملة إلى منطقة وقوف المركبات الشاغرة.
- وسائل تحديد القطاع، بالاسم أو اللون.
- نوع الرسالة تركيبية أو مخطط مصور.

ينبغي أن تحتوي اللافتة على المعلومات المطلوبة فقط؛ لتوجيه السائقين إلى محطات مواقف المركبات. ينبغي عدم السماح بالمعلومات غير الضرورية؛ لذا ينبغي أن تحتوي اللافتة على:

- أسماء مناطق موقف المركبات أو القطاع.
- أسهم للإشارة إلى الاتجاه الذي يجب اتخاذه.
- حالة منطقة وقوف المركبات (مخطط مصور أو عدد المساحات).

ج-٥ حدود السرعة الإلكترونية:

ج-٥-١ الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة:

يمكن استخدام لافتات حد السرعة الإلكترونية على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة لفرض حد أدنى للسرعة وتعزيز السلامة والسعة. يعتمد استخدام حد السرعة الإلكترونية خاصة نظام إدارة استخدام المسار (الذي يضم حد السرعة الإلكترونية وعرض إشارة التحكم في المسار) على تطوير حالة العمل؛ لإظهار نتائج السلامة والكفاءة المعززة فيما يتعلق بالاستثمار في البنية التحتية (التي يمكن أن تكون كبيرة اعتمادًا على طول المسار). تشمل التقديرات الرئيسة لاستخدام نظام إدارة استخدام المسار لأي مشروع ما يأتي:

- متطلبات السعة المتزايدة بسبب الطلب الزائد وتداعي التدفق، مثل مقارنة خيارات استخدام مسار الطوارئ (لوقت كامل أو جزئي) مقارنة بتوسعة الطرق التقليدية.
- متطلبات تحسين إدارة الحوادث (على سبيل المثال، الحاجة إلى تحويل المرور من مسار الحوادث وتحسين وصول مركبات الطوارئ) تتجاوز القدرة الحالية للمسار.
- متطلبات تحسين السلامة كنتيجة للحالات المرورية القاسية، مثل: الازدحام وسوء الأحوال الجوية. ينبغي تثبيت أنظمة حد السرعة الإلكترونية، وإدارة استخدام المسار فقط على القطاعات التي تتعرض لظروف متكررة، بالتالي من المرجح أن يوفر التثبيت فوائد كبيرة على مدار دورة حياة النظام.
- متطلبات تحسين الظروف البيئية (على سبيل المثال: جودة الهواء والضوضاء) استجابة لتوجيهات سياسة الحكومة.

يمكن تطبيق حد السرعة المتغير على جميع المسارات في اتجاه واحد للرحلة في مسار واحد كما موضح في الشكل (ج-٩).



الشكل (ج–٩) حد السرعة الإلكترونية على كل مسار في الطريق للإشارة إلى الحد (المصدر: FHWA, 2021).

يمكن تفعيل حد السرعة المتغير تلقائيًا أو يدويًا بواسطة مركز إدارة المرور. يمكن تثبيت لافتات حد السرعة الإلكترونية على أعمدة على جانبي الطريق السريع/ الطريق شبه السريع، أو وضعها فوق اللوحات المقنطرة أو الهياكل الموجودة. بشكل عام، تُعد اللافتات المثبتة على الجانب، والمثبتة بشكل ثنائي، مرضية للطرق التي تتكون من ثلاث مسارات أو أقل، وأن التثبيت العلوي مرغوب فيه للطرق التي تتكون من أربع مسارات أو أكثر. وفيما يخص الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة التي تتكون من ثلاث مسارات وتحمل نسبة كبيرة من الشاحنات، يُعد التثبيت العلوي مرغوبًا فيه؛ نظرًا لأن النسبة الكبيرة من الشاحنات يمكن أن تعيق خطوط رؤية اللافتات المثبتة على الجانب للمركبات في المسار الأوسط.

ج-٥-٢ الطرق الشريانية والمحلية:

يمكن استخدام لافتات حد السرعة الإلكترونية كذلك على الطرق الشريانية في المواقع التي تساهم فيها السرعات الزائدة للمركبة في مخاطر غير مقبولة تتعلق بالسلامة، لكن الحدود المتدنية لوقت كامل غير مناسبة بسبب الطبيعة القائمة على الوقت لمشكلة معينة تتعلق بالسلامة. ويمكن أن يحدث هذا في أوقات منتظمة (على سبيل المثال: ذروة الصباح) أو أوقات غير منتظمة (على سبيل المثال: أثناء حالات الطقس السيئة، حوادث المرور الكبرى). كما يمكن استخدام اللافتات في بعض السلطات القضائية لمراكز التسوق أو مناطق محيط المدارس على الطرق الشريانية أو المحلية.

ويمكن استخدام لافتات حد السرعة الإلكترونية على الطرق الشريانية في الحالات الآتية:

- بالتزامن مع منطقة محيط المدارس.
- عبر مراكز التسوق والمراكز التجارية، المناطق الترفيهية التي تحتوي على نشاط كبير للمشاة عبر الطريق.
- في المناطق المعرضة لظروف بيئية قاسية (على سبيل المثال: الأحوال الجوية العاصفة).
- عند مداخل التقاطعات على نفس المستوى التي لديها مشكلة تتعلق بالسلامة؛ حيث تكون السرعة عاملًا رئيسًا، عادةً على هامش المناطق الحضرية (على سبيل المثال: التقاطعات على الطرق الرئيسة المزدوجة التي تنتظر التحويل إلى معيار الطريق السريع الكامل).
- في الأوقات التي تؤدي الكثافة الضخمة والسرعات العالية إلى معدل حوادث غير مقبول.
- في مواقع أعمال صيانة الطرق.
- لمعالجة أي مشكلات أخرى تتعلق بالسلامة المرورية؛ حيث تكون السرعة عاملًا رئيسًا مساهمًا.

ولزيادة الوضوح، خصوصًا عند تنفيذ تخفيض السرعة، يمكن أن تومض الأجزاء الداخلية للحلقات الحمراء على شاشة حد السرعة. وللاستجابة لاتفاقيات لافتات السرعة، ينبغي أن يظل الجزء الخارجي للحلقة الحمراء ثابتًا (بمعنى آخر، مضاءً وغير وامضًا).

ج-٦ لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة:

تتيح المعلومات التي يوفرها نظام لافتات الرسائل المتغيرة المحمولة/ المؤقتة لسائقي المركبات التخطيط لرحلاتهم؛ حتى يتمكنوا من استخدام مسارات أخرى وحتى لا يساهموا في الازدحام أو المشكلات الأخرى في المنطقة.

ويُغطى استخدام أجهزة التحكم المروري على الطرق بواسطة كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة)، وكود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري). ومن الضروري لنظام لافتات الرسائل المتغيرة في مواقع أعمال الطرق أن يكون متممًا لترتيبات التوقيع المنصوص عليها في المواصفات.

علاوة على ذلك، يمكن ان تستخدم السلطات المحلية لافتات السرعة المثبتة على المقطورة؛ لإبلاغ سائقي المركبات إذا كانوا يتجاوزون الحد الأقصى للسرعة المعلنة في أثناء الانتقال. ويُعد هذا استخدامًا مشابهًا للافتات مؤشر السرعة الدائمة الموضحة في الجزء الفرعي (ج-٤-٨)، لكن يتميز بإمكانية النقل لإتاحة تغطية واسعة لشبكة الطرق المحلية.

كما يمكن استخدام لافتات السرعة المؤقتة هذه بشكل فعال عند وضعها على الطرق المحلية أو طرق المجمع/ الموزع إذا كان يوجد تغيير دائم في الحد الأقصى للسرعة. ما يساعد سائقي المركبات على التكيف مع التغيير. وعند استخدام لافتات الرسائل المتغيرة المحمولة لنقل رسائل عن السرعات المحسوبة فمن الضروري التأكد من إعداد الأجهزة بدقة لتحقيق مستوى مرضٍ من الدقة.

وتنطبق الشروط الآتية على تعيين لافتات الرسائل المتغيرة المحمولة:

- بالإضافة إلى ذلك، يجب على السائقين القيام بعمل ما استجابةً للرسالة (على سبيل المثال: تغيير سرعة الرحلة، أو المسار، أو المحول، أو إدراك حدوث تغييرات في المرور الحالية أو المستقبلية أو حالة الطريق)
- اللافتات الثابتة التي يمكن أن تنقل الرسالة المطلوبة بشكل فعال ليست متاحة بسهولة.
- يمكن تأكيد المعلومات من مصدر موثوق.
- تُراقَب ظروف المرور؛ حيث يمكن إزالة لافتات الرسائل المتغيرة أو تغيير الرسالة عند الضرورة.

وتُضمَّن العديد من عبارات الرسائل للاستخدام على لافتات الرسائل المتغيرة في مواقع أعمال الطرق في الجزء الفرعي (ج-٢-١٠).

وبالإضافة إلى الشروط المذكورة أعلاه، من المهم، خاصة عند الاستخدام في الطرق الشريانية الرئيسة، المراقبَة بشكل كبير والمتحكَّم فيها بواسطة مركز إدارة المرور التابع لهيئة الطرق أن يُدمَج نظام لافتات الرسائل المتغيرة المؤقت مع عملية مركز إدارة المرور. وينبغي أن يكون مستوى الدمج كافيًا؛ لتمكين مشغلي مركز إدارة المرور من فهم الرسائل المعروضة – في الوقت الآني- على لافتات الرسائل المتغيرة؛ بحيث يمكن للمشغلين استخدام هذه المعرفة، بالإضافة إلى معرفة تدفق المرور (على سبيل المثال: بواسطة لقطات كاميرات تصوير مرتبطة بشبكات تلفزة دائرية)؛ لفهم حالات المرور الحالية وبالتالي تنفيذ استراتيجيات مركز إدارة المرور المناسبة. كما يمكن أن يشمل هذا إخطار سائقي المركبات في نقطة البداية للمرور بظروف معينة بطريقة تتوافق مع الرسائل المعروضة على لافتات الرسائل المتغيرة الموجودة في موقع أعمال الطريق. ويمكن ألا يكون هذا ممكنًا دائمًا عندما تكون معرفة الرسالة المعروضة على لافتات الرسائل المتغيرة غير معروفة.

د- الملحق د - إدارة نقل البضائع:

د-١ استراتيجيات نقل البضائع الحضرية/ في الحواضر الكبرى:

د-١-١ إدارة البنية التحتية:

في حالات الطرق التي تم فيها زيادة حجم الشاحنة والمرور ما جعلها قديمة وغير قادرة على دعم أحجام المرور الحالية للشحن، ينبغي أخذ تحسينات البنية التحتية في الحسبان لتحسين حركة الشحن (Wilbur Smith Associates , 2012).

وتشمل تحسينات البنية التحتية *التحسينات الرئيسة* التي تتطلب غالبًا نفقات كبيرة، وجهود تخطيط مفصلة وتحسينات صغيرة أقل تكلفة نسبيًا؛ لكنها لا تزال تتطلب تحليل التكاليف والفوائد المتوقعة قبل التنفيذ.

د-١-١-١ تحسينات رئيسة:

تشمل التحسينات الرئيسة الكبرى (أ) الطرق الدائرية لتجاوز المرور(ب) بنية تحتية جديدة ومحدثة (ج) تطوير مجموعة البضائع (مجمعات البضائع).

د-١-١-١-١ الطرق الدائرية لتجاوز المرور:

تسعى هذه المبادرة إلى تحويل الشاحنات التي كانت ستسافر بطريقة أخرى عبر المدينة إلى الطرق الدائرية في الأطراف الحضرية. وتعمل الطرق الدائرية فقط إذا أدت إلى توفير التكاليف للناقلات؛ دون تخطيط مناسب لاستخدام الأراضي؛ حيث يمكن أن تنشئ امتدادًا زائدًا، كما تتطلب استثمارات رأسمالية كبيرة، وتقييمات مفصلة للاحتياجات وتحليلات للناتج. كما ينبغي أن تحلل دراسات تقييم الطرق الدائرية حركة مرور الشاحنات والأنماط الزمنية وتأثيراتها البيئية وغيرها من التدابير التكميلية (PIARC, 2011). ويجب كذلك دراسة موقع مولدات المرور؛ لتحديد المكان الذي سيتمكن فيه الطريق الدائري المقترح ومحولاته المحتملة من تحسين التنقل بشكل أكثر فاعلية.

د-١-١-١-٢ بنية تحتية جديدة ومتطورة:

تركز الإجراءات من هذا النوع على تحسين التصميم الهندسي والخصائص الفيزيائية للطرق الحالية، والمحطات الطرفية متعددة الوسائط. علاوة على أنه ينبغي إجراء دراسات السوق؛ للتأكد من أن الاستثمارات في هذه الخدمات ستنتج تأثيرات مقصودة وكافية لتبرير التكاليف. وغالبًا ما تُعد الطرق الجديدة أو المطورة وسيلة لمعالجة نصف القطر الدائري الأوسع للشاحنات (Ogden, 1992). الشاحنات غير قادرة على الانعطاف إلى اليمين دون التدخل في المرور القادمة، أو قطع أرصفة المشاة. كما أن الشاحنات غير قادرة على السير تحت الجسور (Wilbur Smith Associates , 2012).

ويمكن أن يكون لتحديثات المحطات الطرفية متعددة الوسائط آثارًا مفيدة للبضائع الحضرية عبر تعزيز تحولات وسائل النقل إلى السكك الحديدية؛ حيث إن جميع وسائل النقل تسعى بشكل مستقل عادة إلى زيادة حصتها في السوق في أنشطة البضائع، فإن التعاون هو مفتاح نجاح المحطات الطرفية متعددة الوسائط، كما ينبغي على الممثلين الالتزام بالعملية العالمية، والفوائد الشاملة التي ستعود بها المحطات الطرفية متعددة الوسائط.

د-١-١-١-٣ تطوير مجموعة البضائع (مجمعات البضائع):

تعزز عمليات تطوير مجموعة البضائع نقل مستخدمي الشحن الكبار، مثل مراكز التوزيع والمصنعين ووحدات الحواجز الطرفية للشاحنات، والخدمات متعددة الوسائط إلى منطقة معينة، عادةً على الهامش الحضري. وتحديد موقع مجموعة بضائع بعيدًا عن مركز المناطق الحضرية يعني أن الشاحنات الصغيرة يجب أن تسير لمسافات أطول لإكمال عمليات التسليم؛ ما يؤدي إلى زيادة عدد الأميال المقطوعة بالمركبة في المرحلة الأخيرة من سلسلة الإمدادات. ويمكن أن تؤدي مجموعات البضائع إلى تخفيضات صغيرة في حركة مرور الشاحنات مع الوضع في الحسبان أن جزءًا من حركة البضائع من شركة إلى أخرى التي تحدث عادةً في المدينة ستتم داخل المرفق (Allen & Browne, 2010). ومع ذلك، فإن التأثير على الازدحام الكلي صغير للغاية، حيث إن المرور من شركة إلى شركة في المجموعات تمثل عادةً توزيع تناسبي ضئيل من إجمالي حركة مرور الشاحنات في المدينة. ومع ذلك، فإن الضوضاء والتأثيرات السلبية الأخرى المستحدثة داخل مركز نقل البضائع وحولها يمكن أن تكون عيوبًا كبيرة للمجتمعات المحلية. وتتطلب مجموعات البضائع مسارات كبيرة من الأراضي والاستثمارات الأولية وجهود التنسيق. وتتمثل الفوائد الرئيسة لمجموعات البضائع في الحفاظ على مساحة لأنشطة الشحن المكثفة داخل المنطقة الحضرية لكن خارج منطقة الأعمال المركزية.

د-١-١-٢ التحسينات الطفيفة:

تشمل التحسينات الطفيفة الأساسية (أ) مسارات التسارع/ التأخير (ب) إزالة القيود الهندسية عند التقاطعات (ج) مداخل العربات التي تجر يدويًا والرافعات الشوكية.

د-١-١-٢-١ مسارات التسارع/ التباطؤ:

مصممة لتلائم تسارع الشاحنات وتأخيرها، كما تسمح هذه التحسينات للشاحنات بالاندماج بسلاسة في المرور.

د-١-١-٢-٢ إزالة القيود الهندسية عند التقاطعات:

تشكل هندسة التقاطعات في القطاعات القديمة للمدن الكبيرة تحديات كبيرة لشاحنات التوصيل. ورغم أن إعادة تصميم التقاطعات بشكل كامل قد لا يكون أمرًا مناسبًا؛ إلا أنه ينبغي تحسين السمات الهندسية عند التقاطعات ذات المشكلات المحددة. ويمكن أن يشكل تقييد الوصول إلى الشاحنات الكبيرة حلًا على المدى القصير، رغم أنه يمكن ألا يكون مناسبًا للمناطق التي لا يمكن فيها تجنب التراكم المروري للشاحنات الكبيرة الثقيلة.

وينبغي أن تضمن التطورات الجديدة هندسة الشوارع بشكل مناسب لعمليات الشاحنات.

د-١-١-٢-٣ مداخل العربات التي تجر يدويًا والرافعات الشوكية:

يتضمن هذا البرنامج بناء مداخل على أرصفة المشاة؛ لاستيعاب الرافعات الشوكية أو العربات التي تجر يدويًا لتحسين كفاءة أنشطة التحميل والتفريغ (Ogden, 1992). حيث تسهل هذه المداخل على السائقين تسليم كميات أكبر من البضائع، ما يقلل الوقت الذي يقضونه في المواقف ومناطق التحميل بشكل كبير، ما يزيد سعة المناطق لاستيعاب مركبات البضائع. وتتيح المداخل للشاحنة كذلك الوقوف مرة واحدة؛ لتفريغ بضائعها في موقع عام، ثم تقسم الحمولة وتوزعها على عدة مواقع قريبة، مثل وجود موقع واحد للتوصيل/ الاستلام للعديد من الشاحنين أو المتلقيين، بالإضافة إلى الالتقاط الذاتي والنقل باستخدام العربات التي تجر يدويًا.

د-١-٢ إدارة مناطق وقوف المركبات/التحميل:

في العديد من مراكز المدن والمناطق التجارية، تُعد ساحات وقوف المركبات محدودة للغاية، ما يؤدي إلى وقوف الشاحنات مرتين أو قضاء وقت طويل في الانعطاف حول مجمع سكني في انتظار ساحة وقوف سيارات (Jaller, et al., 2012)، كما أن الشاحنات تمتد إلى أرصفة المشاة والطرق في أثناء الوقوف في مناطق التحميل الصغيرة. لا تُعد هذه مسألة تنفيذ فقط. في كثير من الأوقات، لا يكون عدد أماكن الوقوف المتاحة كافيًا لتلبية احتياجات شاحنات التوصيل.

د-١-٢-١ مواقف التحميل بمحاذاة الشارع:

يُعد تعيين الرصيف المناسب أمرًا أساسيًا؛ لتقليل الازدحام وتحسين الظروف البيئية خصوصًا في الطرق القديمة داخل المدينة (Nourinejad, et al., 2013). ينبغي أن يكون لمركبات الشحن والحافلات الأولوية القصوى في مساحة الرصيف. تحتاج مركبات البضائع إلى الوقوف بالقرب من عملائها؛ حيث إن تكلفة النقل سيرًا على الأقدام من الشاحنات إلى العملاء مرتفعة للغاية؛ يقلل ركن السيارة بعيدًا حجم الأحمال التي يحملها السائق، يعمل هذا على زيادة أوقات التسليم والوقوف. علاوة على ذلك، تسبب مركبات البضائع ازدحامًا أكبر من سيارات الركاب الصغيرة؛ لذا فمن المنطقي إبعادها عن الطرق. وتتعامل الإجراءات/ المبادرات المقدمة في هذا الجزء الفرعي مع الوقوف في الشارع والتحميل بطرق متنوعة.

د-١-٢-١-١ مناطق وقوف وتحميل البضائع:

تركز هذه البرامج على تخصيص مساحة الرصيف وفرضها لأنشطة الوقوف والتحميل. يمكت أن تشمل الخيارات المتاحة:

- توسيع الأرصفة وتحديد استخدام الرصيف المشترك لأنشطة الوقوف/ التحميل.
- توفير أماكن وقوف/ تحميل المركبات أكثر طولًا - تسعير مناطق التحميل.
- نقل مناطق التحميل إلى نهاية المربع السكني.
- مراجعة اللافتات.

د-١-٢-١-٢ قيود التحميل والوقوف:

يمكن أن تشمل قيود الوقوف والتحميل التالي: مناطق تحميل خاصة بالشاحنات فقط لمركبات البضائع الخاصة، قيود زمنية للوقوف، استيعاب شاحنات التوصيل في أنواع معينة من أماكن الوقوف، إدارة مواقف التحميل في الشارع (تحديد أسعار وقوف المركبات)، تخصيص فترات زمنية محددة لعمليات التسليم وما إلى ذلك.

د-١-٢-١-٣ الطرق المفتوحة خلال ساعات الذروة:

تُعد الطرق المفتوحة خلال ساعات الذروة شوارع يحظر فيها الوقوف على جانب الطريق، أو التوقف خلال ساعات الذروة. تعمل الطرق المفتوحة على تسهيل حركة جميع المركبات عبر زيادة سعة الطريق، رغم أنها تؤثر كذلك على قدرة شركات النقل على خدمة المباني على طول الطريق المفتوح، وكما يمكن أن تكون غير ملائمة للمتاجر والمقيمين الراغبين في الوصول إلى تلك المتاجر خلال ساعات الذروة (Ogden, 1992).

د-١-٢-١-٤ أنظمة حجز مواقف المركبات:

تتيح أنظمة حجز مواقف المركبات للسائقين حجز أماكن وقوف على جانب الطريق. ويتطلب البرنامج التنسيق مع الأطراف المعنية من مسؤولي التنسيق، بالإضافة إلى التطبيق الصارم. وعادة ما توجد حاجة لأنظمة النقل الذكية للمساعدة على تخصيص أماكن الوقوف واستخدامها.

د-١-٢-٢ الوقوف والتحميل خارج الطريق:

تهتم هذه المبادرات بالوقوف في مناطق أخرى غير الشوارع.

د-١-٢-٢-١ أكواد البناء المحسن:

تسعى هذه المبادرة إلى ضمان أن البنايات الجديدة أو البنايات القائمة التي خضعت إلى تجديدات كبيرة، توفر المواقف ومناطق التحميل المطلوبة للقيام بأنشطة شحن البضائع والخدمات الحالية والمستقبلية التي ينتجها المبنى. ويمكن أن تتطلب هذه المبادرة تغييرات معينة على الأكواد واللوائح.

د-١-٢-٢-٢ مشاركة الوقت في أماكن الوقوف:

بواسطة جدولة استخدام أماكن الوقوف ضمن وبين شركات نقل محددة، تشتمل هذه المبادرة على تنسيق توقيت عمليات الاستلام والتسليم مع شركات شحن البضائع أو الشاحنين أو المتلقيين، في بعض الحالات مركبات الشحن والركاب. وتتطلب مشاركة الوقت في أماكن الوقوف تحسين أوقات التسليم وغيرها من الاستخدامات.

د-١-٢-٢-٣ تطوير مناطق الوقوف وأرصفة التحميل:

يمكن ان تمتلك مراكز التسوق والمتاجر الكبيرة في مناطق الأعمال المركزية مساحة محدودة للمناورة، وأرصفة تحميل غير كافية أو قديمة. في هذه الحالة يوصى بإعادة تصميم الأرصفة؛ لتلائم الاحتياجات الهندسية للشاحنات الحالية والمستقبلية. يوصى كذلك بتراجع البناء عن الطرق بشكل ملائم حتى لا تمتد الشاحنات إلى الطرق عند الوقوف (Wilbur Smith Associates , 2012). ويُعد الوصول إلى هذه المناطق والخروج منها كذلك أمرًا مهمًا؛ حيث تعمل المسافة البعيدة عن التقاطعات على تسهيل المناورات المرورية وتقليل تأثيرات المرور. وينبغي أن يكون وصول الشاحنات منفصلًا عن وصول المركبات والمشاة لأسباب تشغيلية وجمالية وأمنية (Ogden, 1992).

د-١-٢-٢-٤ مناطق تجمع محسنة:

يمكن أن يتطلب نقص مواقف المركبات و/أو مواقف جانب الرصيف و/أو خدمات التحميل في المؤسسات التي تتلقى البضائع من الجهات الحكومية أو منظمات التخطيط تفويض استخدام مناطق التجمع. وينبغي أن تعزز هذه المتطلبات تطوير المناطق في الموقع وخارج الطريق أو إنفاذها في الشركات أو المرافق التي تتلقى البضائع بانتظام. وعلى الرغم من ذلك، يوجد مواقع يمكن ألا تمتلك هذا الخيار؛ وبالتالي، فإن إنشاء مناطق تحميل مشتركة للمواقع التي تُعد مولدات كبيرة للمرور أو للخدمات الأخرى متعددة المستأجرين. ويمكن ألا يكون خيارًا قابلًا للتطبيق ((FHWA, (2012b). وبدلًا من ذلك، يمكن أن تعزز البلديات تطوير مناطق التسليم أو التجمع القريبة التي يمكن أن تعمل كمنصات إعادة شحن في المناطق الحضرية. التحدي المرتبط بإنشاء هذه المناطق هو تأمين المساحة اللازمة. ويحتاج تصميم منطقة التجمع كذلك إلى وضع الخلاف المحتمل مع السكان القريبين في الحسبان.

د-١-٢-٢-٥ محطات وقوف/ مواقف الشاحنات خارج المناطق الحضرية:

تتضمن هذه المبادرة إنشاء أو تركيب مرافق محطات وقوف / مواقف الشاحنات خارج المنطقة الحضرية. ويمكن استخدام هذه المرافق بواسطة مركبات البضائع كمناطق تحضير للقيام بأنشطة إعادة الشحن، أو كمواقع وقوف مؤقتة خلال أوقات الذروة أو كمناطق انتظار حتى أوقات التسليم المحددة.

د-١-٣ الاستراتيجيات المتعلقة بالمركبات:

تسعى هذه المبادرات إلى تحسين الظروف البيئية بواسطة تشجيع استخدام التقنيات والممارسات التي تعمل على تقليل العوامل الخارجية السلبية التي تنتجها المركبات. ويتعلق التحدي من هذا النوع من الإستراتيجيات بشكل أساسي بالإنفاذ.

د-١-٣-١ مواصفات الانبعاث:

تهتم هذه المبادرة بإنفاذ مواصفات الانبعاث لمركبات البضائع، التي يمكن أن تتضمن استخدام مركبات كهربائية أو منخفضة الانبعاث للتسليم في المناطق الحضرية. وقد ساعدت مواصفات الانبعاث على تعزيز استخدام المركبات التي تسبب في تأثيرات بيئية أقل. وعلى الرغم من كونها تعمل على تحسين الظروف البيئية؛ إلا أن هذه المواصفات تجبر شركات النقل على تجديد أساطيل المركبات، وبالتالي زيادة تكاليف الاستثمار والصيانة والتشغيل.

د-١-٣-٢ برامج/ لوائح التسليم منخفضة الضوضاء:

تستهدف هذه البرامج واللوائح بشكل خاص التلوث الضوضائي بواسطة اللوائح ومبادرات التسليم منخفضة الضوضاء التي غالبًا ما تتضمن اعتماد تقنيات وممارسات منخفضة الضوضاء. كما أن العديد من تقنيات التسليم منخفضة الضوضاء متوفرة في الوقت الحالي، مثل المنصات الرافعة منخفضة الضوضاء، والعوازل الممتصة للضوضاء، والعربات منخفضة الضوضاء، من بين أمور أخرى.

د-١-٤ إدارة المرور:

تهدف إستراتيجيات إدارة المرور إلى تحسين ظروف المرور؛ باستخدام تقنيات من هندسة المرور والتحكم به، مثل قيود الوصول وإدارة المسارات والتحكم المروري.

د-١-٤-١ القيود المتصلة بالوصول والمركبة:

يمكن لهذه المبادرات أن تستخدم قيودًا للحد من وصول مركبات البضائع إلى مناطق مزدحمة أو حساسة بيئيًا. ويمكن أن تختلف طبيعة القيود من ناحية نوع المركبة (على سبيل المثال: الحجم والوزن وعامل التحميل ونوع السلعة أو نوع المحرك) وزمن الانتقال.

د-١-٤-١-١ قيود حجم ووزن المركبة:

تتضمن هذه المبادرات قيودًا لمنع المركبات ذات وزن أو حجم (طول أو عرض)، أو عدد محاور محددة من استخدام طريق أو منطقة معينة، غالبًا ما تكون نتيجة مخاوف بشأن الازدحام المدرك أو حوادث المرور التي تسببها الشاحنات الكبيرة. وينبغي سن قيود على حجم ووزن المركبة، وبشرط أن يُظهَر التقييم الدقيق لتأثيراتها، وبأنها تتميز بفوائد أكبر من التكاليف.

د-١-٤-١-٢ مسارات الشاحنات:

تحدد مسارات الشاحنات روابط الشبكة التي يمكن استخدامها بواسطة حركة البضائع وإمكانية أن تكون إما قانونية أو استشارية كما نوقش سابقًا. وكذلك نوقشت جوانب الشبكة العامة لمسارات الشاحنات في القسم الفرعي (٥-٣-١-١). تخضع مسارات الشاحنات القانونية الحضرية إلى استخدام الشاحنات لقطاعات محددة من الشبكة، وينبغي أن تهدف إلى تقليل التعارضات بين حركة مرور الشاحنات والمشاة والدراجات والمجتمعات المحلية؛ بالإضافة إلى حماية الأرصفة في الشوارع المحلية غير الجاهزة للشاحنات الكبيرة، ومنع حركة مرور الشاحنات في المناطق الحساسة مثل المدارس. وينبغي أن تربط مسارات الشاحنات القانونية جميع المولدات الرئيسة. وتتيح الوصول المقبول إلى جميع النقاط في المنطقة، وتقليل حاجة الشاحنات إلى استخدام الشوارع المحلية. وتشمل الأسباب الفعالة لاستخدام مسارات الشاحنات القانونية ما يأتي: تجنب الأضرار الهيكلية للخدمات الحساسة، ضمان نقل المواد الخطرة بعيدًا عن المراكز السكانية، نقل البضائع ذات الأبعاد المبالغة مع التصاريح التي تشير إلى المسارات المعتمدة. ومع ذلك، يمكن أن تؤدي مسارات الشاحنات المصممة على نحو خاطئ إلى جولات تسليم أطول وتكاليف أكبر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن لمسارات الشاحنات الإرشادية إبلاغ شركات النقل بالحالات الهندسية والهيكلية للشبكة، ما يتيح للسائقين اختيار أنسب المسارات.

د-١-٤-١-٣ القيود المتصلة بالمحرك:

تتطلب القيود المتصلة بالمحرك أن تفي مركبات الشحن بمواصفات بيئية للوصول إلى خدمات معينة. وفي مثل هذه الحالة، يمكن لسلطة المدينة تخصيص عددٍ من أماكن الوقوف للاستخدام الحصري لمركبات البضائع التي تلتزم بمواصفات صارمة للأداء البيئي.

د-١-٤-١-٤ مناطق الانبعاثات المنخفضة:

تُعد مناطق الانبعاثات المنخفضة مناطق حساسة بيئيًا؛ حيث يمكن تقييد وصول المركبات (الركاب والبضائع). ويمكن لمناطق الانبعاثات المنخفضة حظر حركة مرور المركبات بأكملها، أو المركبات التي لا تلبي الحد الأدنى من المواصفات البيئية (القيود المتعلقة بالمحرك) فقط.

د-١-٤-١-٥ قيود عامل التحميل:

يتضمن هذا النوع من المبادرات وضع قيود تتطلب نسبة ذات حد أدني من السعة المستخدمة للشاحنة (عامل الحمولة). بعض عيوب هذه الخطة تجعل من الصعب تنفيذها. وتجبر ضغوط السوق شركات النقل على تقليل دعم البضائع؛ حيث إن القيام بهذا يؤدي إلى فترات تأخير يمكن لا تعجب العملاء وتؤدي إلى خسارة الأعمال. وبالإضافة إلى ذلك، تنخفض عوامل التحميل بصورة طبيعية عندما تقوم الشاحنات بالتسليم. وإذا كانت المنطقة المستهدفة في نهاية مسار التسليم؛ فيمكن أن يكون من المستحيل على شركة النقل تلبية الحد الأدنى لعامل التحميل المتطلب بواسطة المدينة. وفي النهاية، يصعب تطبيق هذه القيود للغاية، حيث إنها تتطلب عمليات تفتيش مادية، يمكن أن عنها في حد ذاتها ازدحام كبير.

د-١-٤-٢ قيود وقت الوصول:

يمكن أن تفرض تدابير وقت الوصول قيودًا على الأوقات التي يمكن أن يحدث فيها نشاط البضائع. يُعد القصد تقليل حركة البضائع خلال أوقات الازدحام في أثناء اليوم في قطاعات محددة من المدينة.

د-١-٤-٢-١ قيود التسليم في أثناء النهار:

تعمل برامج تقييد التسليم في أثناء النهار على الحد من وصول مركبات البضائع إلى المناطق المستهدفة خلال فترات زمنية محددة. ويمكن أن تختلف مدة التقييد، والنطاق الجغرافي، ونوع مركبات البضائع المتأثرة من حالة إلى أخرى. وتميل هذه الإستراتيجيات إلى إحداث تأثيرات غير مقصودة على الشبكة؛ حيث إنها يمكن أن تؤدي إلى مسارات أطول ومدة رحلة أكبر في الشبكة، ما يزيد من الازدحام والتلوث. وينبغي من إجراء تقييم دقيق للآثار الجانبية قبل تطبيق هذه القيود.

د-١-٤-٢-٢ حظر التسليم في أثناء النهار:

تعمل هذه المبادرات على حظر نشاط شحن البضائع خلال ساعات النهار. وعادة ما ينطبق الحظر على الشاحنات الكبيرة، على الرغم أنه قد يتضمن أنواعًا أخرى من المركبات. ويمكن أن يؤدي حظر التسليم في أثناء النهار إلى تقليل الازدحام، وزيادة الإنتاجية وتوفير التكاليف لشركات النقل التي تعمل في ساعات الراحة. ومع ذلك، يمكن أن تؤدي كذلك إلى ارتفاع التكاليف على المستفيدين، ما يقلل صافي الفوائد الاقتصادية.

د-١-٤-٢-٣ حظر التسليم في أثناء الليل:

صُمِّم حظر نشاط شحن البضائع خلال ساعات الليل؛ لحماية المجتمعات المحلية من الضوضاء ليلًا (Browne, et al., 2006). ومع ذلك؛ فإنها يمكن أن تزيد الازدحام خلال النهار بواسطة فرض عمليات التسليم التي تتم خلال ساعات الراحة في ظل الظروف العادية إلى أن تُجرَى في أثناء النهار. وللحد من هذه المشكلة والسماح للشركات بإجراء عمليات التوصيل الليلية، يُعد استخدام تقنيات الشاحنات ذات الضوضاء المنخفضة أحد الخيارات، حيث لا تؤثر عمليات التسليم الليلية على المجتمعات المحلية.

د-١-٤-٣ التحكم المروري وإدارة المسارات:

تعمل إستراتيجيات التحكم المروري وإدارة المسارات على تعزيز الاستخدام الفعال للسعة المتاحة للطريق من خلال محاولة تحسين تخصيص حقوق طريق المسارات. وفي المناطق الحضرية، حيث تكون سعة الطرق محدودة، تُستخدَم إدارة المسارات عادة لتحسين استغلال المسارات ونقل الحركة. من خلال عزل الشاحنات، التي غالبًا ما تكون أكبر في العرض وأثقل من المركبات الأخرى. ويمكن تحسين التنقل والسلامة لمستخدمي الطريق الآخرين. وفي الوقت ذاته، يمكن لمسارات الشاحنات تقليل فترات تأخير الرحلة وتحسين الموثوقية. وبناءً على أنواع المستخدمين المصرح لهم في المسارات، يمكن تجميع الإستراتيجيات في مسارات مقيدة ومتعددة الاستخدامات (مشتركة)، ومسارات خاصة بالشاحنات.

د-١-٤-٣-١ مسارات مقيدة ومتعددة الاستخدامات:

لا يمكن استخدام هذه المسارات إلا بواسطة مجموعة محددة من أنواع المركبات. ويمكن تخصيص استخدام المسارات لمستخدمين مختلفين بواسطة نوافذ زمنية، يمكن مشاركتها من قبل جميع المستخدمين في فترات زمنية محددة، أو تعيينها لمستخدمين معينين فقط طوال اليوم.

علاوة على ذلك، لا تُنظَّم المسارات الأخرى المقيدة ومتعددة الاستخدامات (المشتركة) وفقًا للوقت. وتسمح بحركة مرور مختلطة في جميع الأوقات. الأمثلة تشمل مسارات الحافلات والشاحنات (المسارات التي تمنع مرور السيارات)، والمسارات التي تسمح بمرور الحافلات والشاحنات والمركبات ذات الإشغال المرتفع. وتُستخدم المسارات التي تمنع مرور المركبات لعزل المركبات الأعرض عن المركبات ذات الحجم القياسي، وبالتالي تعزيز الحركة والسلامة في المسارات. ونظرًا إلى أن هذه الاستراتيجيات تقلل فترات تأخير الرحلة، فيمكن استخدامها كحوافز لتنفيذ إستراتيجيات أخرى.

ينبغي تصميم المسارات بشكل صحيح؛ للسماح للمركبات بالتفاعل بأمان. يتعلق القرار الرئيس بأنواع الشاحنات المسموحة في هذه المسارات. إذا سُمِح لجميع أنواع الشاحنات؛ فيمكن ان يُستخدَم المسار بواسطة العديد من المركبات، ما يؤدي إلى زيادة الازدحام. من ناحية أخرى، قد يكون تقييد استخدام المسار على أنواع مختارة من الشاحنات فقط مربكًا للسائقين، كما يمكن أن يكون التنفيذ أكثر صعوبة.

د-١-٤-٣-٢ مسارات حصرية للشاحنات (مسارات مخصصة للشاحنات):

توفر مسارات الشاحنات الحصرية عادة تحسينًا كبيرًا في عمليات الشاحنات، مع موثوقية أفضل لأوقات التسليم وتقليل الآثار البيئية ومخاطر الحوادث. وتظل مسارات الشاحنات الحصرية عادة قريبة لمسارات الأغراض العامة، كما ينبغي أن تكون معزولة عادة بواسطة الحواجز.

كما ينبغي تطوير مسارات/ ممرات مخصصة للشاحنات داخل المدن أو المناطق الضخمة باستخدام نظام أو خطة لإدارة الرصيف؛ لمواجهة الآثار الجانبية لاستخدام مركبات البضائع الثقيلة. ويمكن أن يشمل ذلك خطة الرصف لزيادة عمق الرصفيات وتقويتها على الطرق المحلية التي لم تُصمَّم لاستخداماتها الحالية.

د-١-٤-٣-٣ التحكم المروري:

تعمل مبادرات التحكم المروري على مراقبة المرور، والتحكم فيها باستخدام اللافتات والمعدات والأجهزة الأخرى. يمكن استخدام اللافتات التي توفر معلومات عن حدود السرعة وقيود الوصول ومناطق التحميل وغيرها من اللوائح لمساعدة سائقي الشاحنات ((BESTUFS, (2007). يمكن تحسين فعالية هذه اللافتات من خلال معلومات المرور في الوقت الفعلي ولافتات الرسائل المتغيرة. ويمكن أن يؤدي تنسيق الإشارات كذلك دورًا؛ حيث تُدرَج معظم هذه الأنظمة لمركبات الركاب. وفي المناطق ذات التراكم المروري للشحن. يمكن أن يؤدي تعديل توقيت الإشارات والتعاقب مع أخذ السرعة وأوقات رد فعل الشاحنات في الحسبان إلى تحسين تدفق المرور (Ogden, 1992).

د-١-٥ التسعير والحوافز:

تستخدم هذه الإستراتيجيات الإشارات النقدية لتحقيق أهداف عامة محددة مسبقًا، مثل إدرار الإيرادات أو تعزيز استخدام التقنيات المستجدة أو إدارة الطلب بين أشياء أخرى كثيرة.

د-١-١-١ التسعير:

د-١-٥-١-١ تسعير الطرق:

أداة لإدارة الطلب في المناطق الحضرية؛ لتقليل المرور، وتعزيز استخدام أفضل لسعة النقل وتقليل التأثيرات على البيئة. ويمكن استخدام إيرادات التسعير غالبًا؛ لتمويل تكاليف تشييد وصيانة البنية التحتية الحضرية، كما تُنفَّذ غالبًا باستخدام رسوم التطويق (الإلكترونية) الموجودة على أطراف المدن في الأنفاق و/أو الجسور. ويُعتقد أن تسعير رسوم الطرق في وقت النهار ذو فعالية محدودة لإدارة الطلب على البضائع، رغم أنه يمكن أن يؤدي دورًا رئيسًا في إدرار الإيرادات.

د-١-٥-١-٢ تسعير المواقف:

تتضمن هذه المبادرة برنامج تسعير لاستخدام مساحة الرصيف. ويعتمد بعضها على معدلات ثابتة، بينما يتضمن البعض الآخر مخططات تسعير متغيرة أو متنوعة. يُعد العدد المناسب من المساحات أساسيًا لنجاح البرنامج. وبالنظر إلى التوزيع المنصف والمناسب لمساحة الرصيف، يمكن أن تلعب أسعار مواقف المركبات دورًا رئيسًا في مبادرة الاستدامة، وحماية المناطق التاريخية وتحسين حالات المرور (PIARC, 2011) عبر زيادة الحركة الإجمالية، وتقليل زمن توقف المركبات، وإنتاج إيرادات لتحسين البنية التحتية والتنقل.

د-١-٥-٢ الحوافز:

تسعى هذه البرامج إلى تعزيز الممارسات المستدامة من خلال تحفيز مشارك واحد أو أكثر في سلسلة التوريد؛ باستخدام الحوافز النقدية وغير النقدية. وفي هذا السياق، من المرجح أن يكون للجمع بين قوة التحفيز والقوانين تأثيرًا ملموسًا على سلوك عملاء البضائع. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للقطاع العام تقديم حوافز لتعزيز الاعتماد على المركبات الصديقة للبيئة أو استبدال المحركات، مع فرض عقوبات على شركات النقل التي تستخدم مركبات غير فعالة، وتنظيم الحد الأدنى من المواصفات البيئية.

ويمكن تعزيز برامج الحوافز بواسطة تعزيز الممارسات المستدامة بين الأطراف المعنية. وينبغي تضمين المواطنين والمستخدمين النهائيين/ المستهلكين؛ حيث إن لديهم إمكانية مكافأة أفضل الممارسات بمشترياتهم، ما يمكن أن يؤثر في السلوك في جميع أنحاء سلسلة التوريد.

د-١-٥-٢-١ برامج التقدير:

تستخدم برامج التقدير قدرة الاعتراف العام بالإنجازات البارزة لتشجيع الآخرين بشكل غير مباشر على الاقتداء بها. على عكس برامج الشهادات، وبالرغم من ذلك، لا تساعد برامج التقدير بالضرورة الشركات الأخرى بالوسائل—النصيحة أو التخطيط أو أنظمة تحديد المواصفات—لتحقيق مستوى الأداء اللازم لتلقي التقدير. يعمل تقدير السلوك الجيد على تعزيز السلوك الجيد. وعلاوة على ذلك، تميل مثل هذه البرامج إلى تحسين العلاقات بين القطاعين العام والخاص، ما يفتح المجال أمام عمليات تنفيذ وتعاون أخرى أكثر تحديًا.

د-١-٥-٢-٢ برامج الشهادات:

تعترف هذه البرامج بالمشاركين الذين يحققون مستوى الحد الأدنى من الأداء، ويتتبعون مسارًا واضحًا للوصول إلى الشهادة. يمكن تنسيق هذه المخططات بطرق مختلفة، اعتمادًا على المقاييس والصفات المأخوذة في الحسبان والمشاركين و/أو المضمنين في النظام. وتهدف البرامج الشاملة إلى معالجة معظم- إن لم تكن جميع- جوانب عمليات الشركة (Transport For London, 2013)، مثل مهارات السائقين وإدارتهم، وصيانة المركبات، وعمليات النقل وإدارة الأداء. وفي معظم الحالات، تُعد هذه برامج تطوعية تعمل على تحديد المواصفات؛ للوصول إلى مستويات الوصول المختلفة. وتركز برامج التقدير للمناطق المحددة غالبًا على التأثيرات البيئية. وتتضمن مجالات التركيز الأخرى إدارة مهارات السائق والسلامة، واستخدام تقنية المعلومات؛ لتعزيز العمليات (Freight Transport Association., 2013).

د-١-٥-٢-٣ الحوافز التشغيلية للمركبات الكهربائية/ منخفضة الانبعاثات:

توفر هذه المجموعة من الإستراتيجيات حوافز تشغيلية لشركات النقل، مثل الوصول التفضيلي إلى المناطق المحظورة؛ لتعزيز استخدام المركبات الكهربائية/ منخفضة الانبعاثات ((BESTUFS, (2007). يمكن لتخصيص مصلحة عامة نادرة، مثل: الوقوف بهذه الطريقة يعزز استدامة عمليات شحن البضائع في المناطق الحضرية.

د-١-٦ الإدارة اللوجستية:

يُعد الغرض الرئيس من هذه الإستراتيجيات تغيير طريقة التسليم؛ للحد من العوامل الخارجية السلبية التي أُنتِجت. ومع ذلك، يمكن لهذه الإستراتيجيات كذلك تحسين كفاءة الميل الأخير من رحلة التسليم بواسطة إدارة الوقود والسائق بشكل مناسب،

وتقليل الرحلات عديمة الجدوى أو ذات الحجم المنخفض، وتجميع رحلات التسليم.

د-١-٦-١ تجميع البضائع:

د-١-٦-١-١ مراكز التجميع الحضرية:

تُعد مراكز التجميع الحضرية مفاهيمًا تشغيلية تقلل حركة شحن البضائع المنتشرة داخل المنطقة المستهدفة عبر تعزيز تجميع البضائع في المحطة الطرفية. وفي معظم الحالات، تقوم شركات النقل بطريقة أخرى بإجراء رحلات منفصلة إلى المنطقة المستهدفة، مع عوامل تحميل منخفضة نسبيًا بدلًا من نقل حمولاتها إلى شركة نقل محايدة تقوم بتجميع البضائع وإدارة المرحلة الأخيرة من التسليمات. وتدفع شركات النقل لمشغلات مراكز التجميع الحضرية رسومًا مقابل كل عملية تسليم، كما توفر المال من خلال عدم الاضطرار إلى قيام شركات النقل بالمرحلة الأخيرة من التسليم (Holguín-Veras et al., 2008a).

ومن المرجح أن تنجح مراكز التجميع الحضرية عند وجود دعم كبير من القطاع العام؛ عبر تفويض تنظيمي (ومعونات عامة محتملة عند الحاجة)؛ لاستخدام مراكز التجميع الحضرية والاعتراف بمشكلات الازدحام/ التلوث الكبيرة داخل المنطقة ووجود سياسات مكملة مثل العقوبات المفروضة على شركات النقل غير المشاركة.

د-١-٦-٢ أنظمة النقل الذكية:

يمكن أن تؤدي أنظمة النقل الذكية دورًا رئيسًا في زيادة كفاءة التوزيع الحضري وموثوقيته ((BESTUFS, (2007). يمكن لمراكز إدارة المرور الحضرية توفير إرشادات المسار لسائقي الشحنات عن المسارات المفضلة، وقيود ارتفاع ووزن السيارة، وقوانين الوصول والتحميل، ومواقع وقوف الشاحنات. يمكن استخدام أنظمة توفير وقت الحجز لتنسيق وصول الشاحنات إلى المواقع الرئيسة، وإحداث تدفقات كبيرة، وتقليل الازدحام. وبالإضافة إلى ذلك، يكتسب تطوير الأنظمة من مركبة إلى أخرى ومن مركبة إلى بنية تحتية قوة دفع سريعة؛ لا سيما بعد إجراء الاختبارات التجريبية الكبيرة على الشاحنات المستقلة وفصائل الشاحنات (Holguin-Veras, et al., 2020).

د-١-٦-٢-١ أنظمة المعلومات في الوقت الحقيقي:

أنظمة المعلومات في الوقت الحقيقي هي مجموعة من التقنيات والاستراتيجيات التي يمكن أن تساعد على مراقبة المرور وإدارتها بناءً على معلومات المرور في الوقت الحقيقي من ناحية (١) سلامة الطرق، (٢) الازدحام، (٣) الامتثال التنظيمي، (٤) معلومات سلسلة التوريد. وتعتمد أنظمة المعلومات في الوقت الحقيقي على نظام حاسب يستجيب للأنشطة/الحقائق (البيانات التي تم جمعها) ما يؤدي إلى استجابة فورية (المعلومات المقدمة للمستخدم). علاوة على ذلك، يمكن أن يكون لنظم المعلومات في الوقت الحقيقي تأثيرًا مباشرًا على اتخاذ القرارات لمستخدمي نظام نقل البضائع ومديريه. ويساعد توفير هذه المعلومات شركات النقل على الاستجابة بشكل أكثر فعالية في الوقت المناسب لحوادث المرور وغيرها من حالات الشبكة غير المخطط لها. وفي المناطق الحضرية؛ حيث يصعب توفر مناطق وقوف المركبات والتحميل بشكل عام، ويمكن لأنظمة المعلومات التي ترشد السائقين إلى ساحات وقوف المركبات والتحميل المتاحة أن تقلل عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبة؛ بواسطة الشاحنات التي تحاول العثور على تلك المساحات ومقدار الازدحام الناتج عن الانتقال الإضافي وانسداد الشوارع (Holguin-Veras, et al., 2020).

د-١-٦-٢-٢ أنظمة كشف الارتفاع العمودي:

تُعد أنظمة كشف الارتفاع العمودي، المعروفة كذلك باسم أنظمة استشعار المركبات ذات الارتفاع الزائد أنظمة نقل ذكية يمكن تنفيذها لتحذير سائقي الشاحنات عندما تتجاوز مركباتهم الحد الأقصى للارتفاع لهيكل طريق قادم (على سبيل المثال: جسر أو نفق أو لافتة قنطرية) (NZ Transport Agency, 2013). ولطالما كانت أنظمة كشف الارتفاع العمودي فعالة للغاية في تقليل الأضرار الملحقة بالهياكل بواسطة المركبات ذات الارتفاع الزائد.

د-١-٦-٢-٣ التوجيه الديناميكي:

يمكن استخدام أنظمة التوجيه الديناميكية بواسطة السلطات العامة لتعزيز السلامة، ومنع انتهاكات قوانين الوصول. كما يمكن للقطاع الخاص استخدام التوجيه داخل المركبة كجزء من نظام دعم القرار لتعزيز كفاءة إدارة الأسطول. وبالرغم من ذلك، تعتمد كفاءة هذه الأنظمة وقدرتها على تحسين المسار بشكل كبير على توافر بيانات المرور -في الوقت الحقيقي- عالية الجودة المقدمة بواسطة أنظمة المعلومات في الوقت الحقيقي (Holguin-Veras, et al., 2020).

د-١-٦-٣ ممارسات التوصيل في الميل الأخير:

تسعى هذه المبادرات إلى تحسين الجزء الأخير من التسليم؛ حيث تُسلَّم البضائع إلى الوجهة النهائية. ويُعد (التسليم في الميل الأخير) عادةً أحد أغلى القطاعات من حيث التكلفة في سلسلة التوريد بأكملها، ويمثل ٢٨٪ إلى ٥٠٪ من إجمالي تكاليف النقل (McCrea, 2016). كما تركز هذه المبادرات على إجراء بعض التغييرات في طريقة تنفيذ سلاسل التوريد، بغرض تقليل العوامل الخارجية السلبية الناتجة.

د-١-٦-٣-١ برامج تدريب السائقين:

تُعد برامج لتحسين عمليات التسليم عبر تغيير سلوكيات السائق وتعزيز كفاءاته. ويمكن أن تؤثر مواقف السائقين وسلوكياتهم بشكل مباشر على كفاءة التوصيل، واستهلاك الطاقة والتأثيرات البيئية، وسلامة جميع مستخدمي الطريق. بالإضافة إلى ذلك، تختلف برامج تدريب السائقين وفقًا لأهدافهم المحددة التي يمكن أن تشمل تقليل الضوضاء، أو كفاءة الطاقة، أو القيادة بشكل اقتصادي (ما يعرف كذلك باسم القيادة الصديقة للبيئة، التي تُعد صديقة للبيئة بشكل أكبر وأكثر كفاءة في استهلاك الوقود). ويمكن أن يشمل التدريب العروض التقديمية وفحص المركبات وتقييم القيادة واستجواب السائق والقيادة التجريبية واختبارات المعرفة. وعند الانتهاء، يتلقى المشاركون تقييمات وشهادات مكتوبة. ويتطلب التنفيذ، بالرغم من ذلك، تعاونًا وثيقًا بين القطاعين العام والخاص، وأهدافًا محددة بوضوح، ومدربين محترفين، ومواد تدريبية منظمة بشكل جيد، وبرنامج منح شهادات مخطط بعناية لضمان النجاح.

د-١-٦-٣-٢ برامج مكافحة التوقف عن العمل:

تحاول هذه البرامج تقليل التلوث الناجم عن محركات الشاحنات المتوقفة عن العمل. وتُعد أكثر تقنيات مكافحة التوقف عن العمل شيوعًا سائل تبريد السخان الذي يعمل بالوقود، ووحدات الطاقة الإضافية، والإمداد بالكهرباء عند توقف الشاحنة. ويعتمد نجاح هذه البرامج على الأخذ في الحسبان بشكل متكامل اللوائح والتقنيات والدوافع والتعليم العام والتنسيق الفعال بين الأطراف المعنية.

د-١-٦-٣-٣ عمليات الاستلام/التسليم إلى مواقع بديلة:

تعزز هذه المبادرات استخدام الأصول أو الاتجاهات البديلة، مثل: خزائن التسليم ومكاتب البريد أو المخازن الصغيرة لجمع الشحنات المحلية وتوزيعها. وبدلًا من الشاحنات التي تقوم بإجراء التسليم النهائي، يسافر العملاء إلى منطقة الاستلام لاسترداد بضائعهم. كما يعتقد أن هذه الممارسات تعمل على تقليل تكاليف التسليم وعدد محاولات التسليم. ومع ذلك، يناقش بعض الباحثين أنه بالمقارنة مع التسليمات إلى المنازل، فإن استلام العملاء الطلبات باستخدام سياراتهم الخاصة يمكن أن يزيد المرور الإجمالية. ولكي تكون مفيدة اجتماعيًا؛ يجب أن تكون هذه المواقع البديلة موجودة في الأماكن التي يحتاج فيها العملاء فقط القيام بمنعطفات قصيرة من روتينهم اليومي ((BESTUFS, (2007))، ((Bouton, et al., 2017)).

د-١-٧ إدارة الطلب واستخدام الأراضي:

يمكن معالجة العوامل الخارجية السلبية الناجمة عن حركة مرور الشاحنات باستخدام هذه الاستراتيجيات عن طريق تعديل الطلب الأساسي بدلًا من تعديل الأنشطة اللوجستية أو حركة مرور المركبات. ويُنظَر في مجموعتين من الاستراتيجيات: الأولى تسعى إلى تعديل طبيعة الطلب على خدمات الشحن، أما الثانية فتركز على استخدام الأراضي.

د-١-٧-١ إدارة الطلب:

د-١-٧-١-١ برامج التوصيل الاختياري في ساعات الراحة:

هذه البرامج تحاول إحداث تحول في عمليات التسليم من ساعات العمل العادية (على سبيل المثال: من الساعة ٦:٠٠ صباحًا إلى ٧:٠٠ مساءً) لتكون في ساعات الراحة (على سبيل المثال: من الساعة ٧:٠٠ مساءً إلى ٦:٠٠ صباحًا). وعلى عكس خطط التسعير والتنظيم، تستهدف مبادرة إدارة الطلب على الانتقال المستلمين بتقديرهم صانعو القرار الرئيسين، سعيًا منهم لإقناعهم بقبول عمليات التسليم في ساعات الراحة الأقل ازدحامًا من خلال استغلال الحوافز. تتمثل المشكلة الرئيسة بخصوص تنفيذ عمليات التوصيل في أثناء ساعات الراحة فيما قد تسببه من إحداث الضوضاء ليلًا التي قد تؤدي إلى المعارضة المجتمعية. ولحسن الحظ، جعلت تقنيات عمليات التوصيل الحديثة منخفضة الضوضاء والممارسات التشغيلية من الممكن الحد منها، وفي بعض الحالات القضاء تمامًا على العوامل الخارجية التي تسبب الضوضاء ليلًا (Holguin-Veras, et al., 2013).

د-١-٧-١-٢ برامج ساعات العمل على مراحل:

تتضمن هذه المبادرة بعض البرامج التي تهدف إلى تقليل الطلب على الشاحنات خلال فترات الذروة عن طريق توزيع ساعات عمليات الاستلام على مدار اليوم. وتستهدف هذه المبادرة المتلقين؛ بتقديرهم صانعي القرار الرئيسين، وتسعى إلى إقناعهم بتوزيع عمليات الاستلام.

د-١-٧-١-٣ برامج تجميع عمليات التوصيل تحت إشراف المستلم:

تتعلق هذه البرامج بالجهود التي يبذلها المتلقون أو شركات الشحن لتجميع عمليات التسليم الخاصة بهم. وغالبًا ما تتم برامج تجميع عمليات التسليم أو دمجها في أحد مرافق شركات الشحن بدلًا من أحد المرافق التي يوفرها القطاع العام (على عكس مراكز التجميع الحضرية). وتهدف هذه المبادرة إلى زيادة إنتاجية وفاعلية تكاليف عمليات التسليم. ونظرًا إلى أن تنفيذها الناجح يتطلب التزام جميع الأطراف المعنية؛ فإنه يكون أكثر فاعلية عندما يكون الموردون لنفس الجهة المستقبلة على مقربة من بعضهم البعض.

د-١-٧-١-٤ برامج تغيير الوضع:

الهدف من برنامج تغيير الوضع هو التشجيع على استخدام أساليب بديلة؛ للحد من حركة الشحن إلى مناطق حساسة. وعلى الرغم من جاذبية المبادرة بالنسبة إلى الكثيرين؛ إلا أنها تواجه

عقبات ضخمة داخل المناطق الحضرية؛ حيث ليس من الممكن في كثير من الأحيان العثور على وسائل نقل بديلة تنافس الشاحنات بفاعلية. ومع ذلك، فإن عددًا من الاختبارات التجريبية، وعمليات التنفيذ الضئيلة تشير إلى أنه من الممكن إحداث تغييرات صغيرة في اختيار الوضع في الأسواق المتخصصة.

د-١-٧-٢ سياسة استخدام الأراضي:

تهدف المبادرات في هذه المجموعة الفرعية إلى إحداث تحسينات طويلة الأجل في مجال الاستدامة والإنتاجية الاقتصادية عن طريق تعديل أنماط استخدام الأراضي بشكل مناسب، أي من خلال تعديل الأنماط المكانية للأنشطة الاقتصادية. ومن الممكن أن ينتج عن هذه التغييرات بعض الآثار المفيدة بشكل جذري على المدى الطويل فيما يتعلق باستدامة وكفاءة الأنشطة الاقتصادية التي تجري في المناطق الحضرية. والهدف الأساسي هو تنظيم الاقتصادات الحضرية على المستوى المكاني؛ حتى يتمكنوا من تحقيق أقصى قدر من الفوائد الاقتصادية الصافية.

د-١-٧-٢-١ نقل مولدات المرور ذات الكثافة العالية:

تتضمن هذه المبادرة نقل مولدات المرور ذات الكثافة العالية إلى أماكنها المناسبة؛ من أجل تغيير نمط مولدات عمليات الشحن وتحسين وظائف نظام الشحن الحضري. وتعد مولدات المرور ذات الكثافة العالية مرافق محددة تضم عددًا كبيرًا من الشركات التي تتلقى بصورة جماعية عددًا كبيرًا من عمليات التسليم اليومية، مثل المطارات والموانئ ومحطات الحاويات والإدارات الحكومية والكليات والجامعات والمستشفيات والمباني الكبيرة وما إلى ذلك. رغم أن رغبة المجتمعات المحلية في نقل مولدات المرور ذات الكثافة العالية القريبة منها بسبب المؤثرات الخارجية يعد أمرًا طبيعيًا، وتشير التجربة إلى أنه ينبغي النظر بعناية في حدوث بعض الآثار غير المقصودة.

د-١-٧-٢-٢ دمج عمليات الشحن في عملية تخطيط استخدامات الأراضي:

تتعلق هذه المبادرة بمراعاة دمج عمليات الشحن في عملية تخطيط استخدام الأراضي؛ لتحديد مصادر التعارض بين عمليات الشحن وبعض استخدامات الأراضي في الوقت المناسب.

د-١-٨ إشراك الأطراف المعنية:

يتطلب نجاح تنفيذ المبادرات الخاصة بعمليات الشحن الحضرية الفعالة اكتساب فهمًا راسخًا لأنشطة عمليات الشحن والتجارة، وإشراك القطاع الخاص، وتوعية صناع القرار بأهمية سلاسل التوريد للاقتصادات المحلية والمستوى المعيشي، ونشر أفضل الممارسات، وتحديد مسار التنفيذ الذي يأخذ في الحسبان مخاوف جميع الأطراف المعنية. وفيما يأتي مناقشة المبادرات المقترحة لإشراك الأطراف المعنية.

د-١-٨-١ تعيين "فرد مسؤول عن عمليات الشحن" في الجهات الرئيسة:

ربما يكون هذا أحد أهم الإجراءات التي يمكن أن تتخذها جهات النقل وحكومات المدن؛ لإطلاق برنامج فعال وناجح لعمليات الشحن في المناطق الحضرية. ويؤدي تعيين فرد مسؤول عن عمليات الشحن في الجهات الرئيسة إلى تسهيل جهود التوعية؛ لأن هذا الشخص يمكن أن يصبح مع مرور الوقت نقطة الاتصال بين القطاعين العام والخاص. بالإضافة إلى التدريب على وضع خطط النقل، ينبغي أن يكون لدى الشخص المعين معلومات أساسية فيما يتعلق بمفاهيم التصميم الحضري، واللوجستيات، والأهم من ذلك، أن يتمتع بمهارات التواصل.

د-١-٨-٢ تشكيل لجنة استشارية لنقل البضائع:

من الممكن أن تتألف لجنة استشارية لنقل البضائع من مجموعة من مختلف أصحاب العمل في مجال الشحن، وتعمل بتقديرها جهة يمكن من خلالها مناقشة حلول جديدة لمشكلات عمليات الشحن داخل المناطق الحضرية. وربما تساهم الممارسات الجيدة في استكمال مدخلات لجنة الشحن الاستشارية بجهود التوعية المستهدفة لتلقي التعليقات من قِبل جميع قطاعات الصناعة.

د-١-٨-٣ توعية المسؤولين المنتخبين بشأن خدمات الشحن:

يتمثل الهدف الرئيس من هذه المبادرة في إيجاد تفاهم بين المسؤولين المنتخبين بشأن أهمية خدمات الشحن بالنسبة إلى المناطق الحضرية، ودورها المحتمل في تعزيز أداء النظام. ومن الأفضل، ينبغي أن يتحمل أعضاء لجنة الشحن الاستشارية وموظفو خدمات الشحن من جهات التخطيط الحضري مسؤولية التدريب.

د-١-٨-٤ توعية ممثلي القطاع الخاص:

توعية ممثلي القطاع الخاص، وشركات الشحن وشركات النقل والمتلقين عن أهمية المشاركة البناءة في عملية وضع السياسات أمر ضروري للغاية. وفي معظم الأحيان، لا يدرك أعضاء القطاع الخاص مدى أهمية تقديم المدخلات؛ لضمان نظر السياسة العامة في احتياجاتهم والعوائق التي تعترضهم وتوقعاتهم. ونتيجة لذلك، غالبًا ما تؤدي السياسات التي يتم سنها دون وجود مدخلات مناسبة من القطاع الخاص إلى نتائج عكسية وغير فعالة. ويمكن للقطاع الخاص المشارك أن يكون له تأثير تحويلي في السياسة العامة.

د-١-٨-٥ تشكيل لجنة استشارية فنية:

يمكن أن تكون اللجنة الاستشارية الفنية منتدى يلتقي فيه موظفو القطاع العام في الجهات المختلفة ذات الاختصاص في الموضوعات التي تؤثر في نشاط خدمات الشحن لمناقشة سياسة خدمات الشحن. وهذا الأمر مهم في المناطق الحضرية المعقدة؛ حيث تشتد الحاجة إلى تنسيق متماسك بين القطاع العام.

د-١-٨-٦ تشكيل شراكة جودة الشحن:

شراكة جودة الشحن هي شراكة طوعية بين مجموعات القطاعين الخاص والعام؛ لتعزيز تنفيذ الممارسات التي تحد من الآثار السلبية الناتجة عن نشاط خدمات الشحن.

د-١-٨-٧ وضع مواد لزيادة الوعي بأهمية نشاط خدمات الشحن:

إدارة خدمات الشحن في المناطق الحضرية مجال حديث العهد؛ ونتيجة لذلك هناك عدد ضئيل نسبيًا من المواد التقنية وغير التقنية التي تعالج الاحتياجات الإعلامية من المهنيين وغير المتخصصين في مجال النقل من القطاعين العام والخاص، والمجتمعات بشأن أفضل طريقة لمعالجة المسائل المتعلقة بخدمات الشحن. ويمكن تعزيز عملية إشراك الأطراف المعنية بشكل كبير إذا وضِعت مثل هذه المواد الإعلامية التي تعالج هذه الاحتياجات. لا يمكن التقليل من أهمية المواد غير التقنية؛ فهذه المواد من المرجح أن تساهم في إقناع واضعي السياسات، وممثلي القطاع الخاص بالمشاركة في استراتيجيات تعاونية من أجل تحسين نشاط خدمات الشحن.

د-١-٨-٨ تعزيز برنامج نشر أفضل الممارسات بقيادة الصناعة:

تقدم هذه المبادرة أساسًا متينًا لمشاركة القطاع الخاص في رفع مستوى وعيهم وتعليمهم كيفية إجراء أنشطتهم بأساليب تساعد على التخفيف من الآثار السلبية الناتجة عنها. ويمكن تعديل هذه الممارسات الجيدة وتحسينها حسبما تتطلب الظروف. ويمكن أن يكون تكييف الهياكل مع الظروف المحلية عاملًا أساسيًا؛ للنجاح في تحسين خدمات الشحن الحضرية في المناطق الحضرية.

د-٢ تقييم جمع البيانات الأولية:

يقدّم الجدول (د-١) معلومات إضافية تتعلق باحتياجات جمع البيانات ومهام التقييم التي قد ترتبط بمجموعات المبادرات التي نوقشت في الملحق (د).

الجدول (د–١) تقييم جمع البيانات الأولي (المصدر: NCFRP, (2015) – Appendix).

المبادرة / مناطق خدمات الشحن	جميع البيانات اللازمة	تقييم وتحليل
إدارة البنية التحتية.	• جادّة الطريق: قائمة الجرد الخاصة بالمرافق الخاصة بالطرق ووسائل النقل متعددة الوسائط ووسائل النقل، مثل تعدادات المرور وسعتها. • المنبع-المقصد للانتقال. • حالة البنية التحتية، مثل: هندسة الطرق ذات الصلة.	• مستوى الخدمة، الحجم مقابل السعة حسب الوقت اليومي، تقييمات الرصف، أنواع المركبات التي تستخدم المرافق. • حالة البنية التحتية. • مواقع مولدات البضائع (شركات الشحن والمتلقين).
إدارة مناطق وقوف المركبات/التحميل.	• أعداد مواقف المركبات، ومواقعها داخل، وخارج الشارع واستخدامها. • أعداد الشاحنات والمواقع المخصصة لها ومناطق التسليم، مثل: القيود الزمنية. • عدد مخالفات وقوف المركبات. • تصميم أرصفة التحميل وطرق الوصول إليها. • أنظمة وقوف المركبات وتطبيقها. • إجراء الرحلات المتعلقة بخدمات الشحن.	• تحليل مواقف المركبات: احتياجاتها ومدى توفرها. • التركيز على مولدات خدمات الشحن والمتلقين، مثل: مؤسسات البيع بالتجزئة.
الاستراتيجيات المتعلقة بالمركبات.	• أنظمة الضوضاء والانبعاثات الناتجة عن المركبات. • عدد مركبات خدمات الشحن ذات الانبعاثات. المنخفضة المسجلة في المنطقة. • بيانات جودة الهواء. • بيانات الضوضاء.	• مقارنة أنظمة الضوضاء، والهواء الدولية، والمحلية وحوافزها. • تحليل البرامج التحفيزية المتاحة.
إدارة المرور	• تلخيص القيود المفروضة على مركبات خدمات الشحن في المنطقة. • تحديد مواقع المسارات المخصصة للشاحنات. • تحديد مواقع الطرق مع توقيت الإشارة وبدونه.	• تحليل الازدحام مثل: المشكلات المتعلقة بالوصول إلى الاتصال متعدد الوسائط وتحديد مواقع المشكلات.
التسعير والحوافز	• اللوائح الحالية المتعلقة بخدمات الشحن وبرامج التحفيز في المنطقة.	• تحليل (قد يكون من خلال مقابلات / مسوحات القطاع الخاص) تأثير هذه الأمور على الأنشطة التجارية المحلية.
الإدارة اللوجستية	• مواقع وأحجام عمليات الشحن القادمة من والمتجهة إلى الأنشطة	• تحليل مواقع إجراء الرحلات المتعلقة بخدمات الشحن. • تحليل جهة الوصول.

المبادرة / مناطق خدمات الشحن	جميع البيانات اللازمة	تقييم وتحليل
	• التجارية والصناعات والتصنيع في المنطقة. • ملخص برامج أنظمة النقل الذكية الجارية في المنطقة.	• دراسة الازدحام والتنقل، مثل تحليل الأوقات اليومية.
إدارة الطلب على نقل البضائع/استخدام الأراضي	• خريطة استخدام الأراضي ولوائحها الحالية. • مواقع وأحجام عمليات الشحن القادمة من والمتجهة إلى الأنشطة التجارية والصناعات والتصنيع في المنطقة.	• تحليل مواقع إجراء الرحلات المتعلقة بخدمات الشحن • تحليل جهة الوصول. • دراسة الازدحام والتنقل، مثل: تحليل الأوقات اليومية.

هـ- الملحق هـ - عمليات شبكات النقل الذكية:

هـ-١ خدمات وتدابير عمليات تشغيل المرور وأدواتها:

هـ-١-١ مجالات الخدمة:

من منظور تقديم الدعم لمستخدمي الطرق؛ فإن المجالات الرئيسة لعمليات شبكة الطرق هي (World Road Association, (2003)):

مراقبة الشبكة (الجزء الفرعي هـ -١-٥).

الحفاظ على صلاحية الطرق وسلامتها (الجزء الفرعي هـ -١-٦).

التحكم المروري (الجزء الفرعي هـ -١-٧).

الوسائل المساعدة للانتقال ومعلومات المستخدمين (الجزء الفرعي هـ -١-٨).

إدارة الطلب (الجزء الفرعي هـ -١-٩).

بالإضافة إلى ذلك، من المهم فهم ما يلي:

التنفيذ، الذي عادة لا يكون وظيفة هيئة الطرق؛ فيمكن أن يكون عنصرًا حاسمًا يؤثر في نجاح عمليات تشغيل المرور (الجزء الفرعي هـ -١-١٠).

غالبًا ما تشمل مشاريع تشغيل الشبكة العديد من الوظائف التي يمكن تنفيذها معًا عند النظر في أنظمة النقل الذكية وغيرها من الأدوات أو المشاريع الأخرى في أي من المجالات الوظيفية، ويمكن أن يشكل التكامل الوظيفي مشكلة (الجزء الفرعي هـ -١-١١).

وتساعد هذه التصنيفات في تحديد الخدمات التي يمكن تقديمها. كما أنها تساعد على تحديد الأنظمة والأدوات التي يمكن أن تدعم هذه الخدمات (الجدول هـ -١).

الجدول (هـ–١) مجالات التشغيل المروري (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.1).

	تحقيق الاستفادة القصوى من شبكات الطرق	دعم مستخدمي الطريق	دعم مستخدمي خدمات النقل
مراقبة الشبكات.	✓	✓	✓
التحكم المروري.	✓	✓	✓
الحفاظ على قابلية الخدمة للطرق وسلامتها.	✓	✓	✓
الوسائل المساعدة للانتقال ومعلومات المستخدمين.	-	✓	✓
إدارة الطلب.	-	-	✓

يمكن أن تؤثر جميع جوانب عمليات شبكة الطرق على سلامة الطرق، ولابد من النظر فيها في هذا السياق. الروابط بين ركائز السلامة الأساسية والمجالات الرئيسة لعمليات الشبكة هي كما يأتي:

الطرق والطرق الجانبية الآمنة: مراقبة الشبكة، التحكم المروري، إدارة الطلب.

السرعات الآمنة: التحكم المروري وأداة الانتقال ومعلومات المستخدم.

مستخدمو الطرق الآمنة: التحكم المروري، وأداة الانتقال ومعلومات المستخدم، وإدارة الطلب (من خلال استخدام وسائل الانتقال الآمنة).

المركبات الآمنة: أداة الانتقال ومعلومات المستخدم (خاصةً أنظمة النقل الذكية التعاونية).

هـ-١-٢ مجموعة الخدمات:

مجموعة الخدمات التي يمكن تقديمها في خدمة دعم مستخدمي الشبكة الشاملة، كما هو موضح في الجدول (هـ -٢). لاحظ أنه في هذا الجدول لا علاقة لجميع الوظائف والخدمات بإدارة المرور بالمعنى التقليدي، ولا توفر جميع جهات الطرق والمرور مباشرة جميع الخدمات. البعض منها ضمن اختصاص جهات أخرى (على سبيل المثال: الشرطة والإسعاف وفرق الإطفاء). مجموعة كاملة من خدمات الدعم هنا مدرجة للاستيفاء.

الجدول (هـ-٢) خدمات التشغيل المروري (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.2 – adapted from (World Road Association (PIARC), 2003)).

المهمة	الوظيفة	الخدمات
مراقبة الشبكات.	مراقبة حالة المرور.	جمع البيانات والمعلومات. القيام بالدوريات. إدارة البيانات. مراكز التحكم المروري. مركز تنسيق الأزمات.
	مراقبة الظواهر الطبيعية.	أحوال الطقس الشتوية. الضباب. وغيرها من: (الفيضانات والأعاصير وحرائق الغابات والانهيارات الأرضية).
الحفاظ على قابلية الخدمة للطرق وسلامتها.	عمليات الاستجابة لحالات الطوارئ.	إدارة الحوادث. خدمات العمليات. الإنقاذ في حالات الطوارئ (الطبي والميكانيكي). المعلومات المتعلقة بحالات الطوارئ. تقديم المساعدة والتعاطف مع الآخرين (حوادث عرقلة المرور).
	العمليات المتعلقة بأحوال الطقس.	العمليات المتعلقة بفصل الشتاء. أطراف الغلاف الجوي الأخرى. إدارة إغلاق/انسداد الطرق.
	العمليات المتعلقة بالجهة.	صيانة الرصف وأعمال الطرق. الصيانة والعمليات. صيانة المعدات.

المهمة	الوظيفة	الخدمات
	خصائص البنية التحتية الموجودة.	قسم الطرق. الكتف الصلب. المحولات والمخارج. الجسور. الأنفاق. نقاط تحصيل الرسوم. الراحة الشاملة. أجهزة السلامة. الجوانب البيئية.
التحكم المروري.	الإجراءات الوقائية.	إدارة الوصلات. توزيع مهام المسار. تنظيم السرعة. تنظيم إمكانية الوصول. إدارة المرور لخدمات الشحن. إدارة الشبكات. خطط تحويل المسار. حفظ المركبات على الشبكة. إدارة إشارات المرور. عمليات تحويل المسار الاستشارية. مراكز إدارة المرور.
	الإجراءات التصحيحية.	إدارة الحوادث. إدارة ازدحام المرور. خطط إدارة المرور. فرق التشغيل.
الوسائل المساعدة للانتقال ومعلومات المستخدمين.	المعلومات التنبؤية.	المعلومات طويلة الأجل. المعلومات المتعلقة بالراحة. زمن الرحلات.
	المعلومات في الوقت الحقيقي.	مراكز معلومات المرور. الخدمات المزودة داخل المركبة (الراديو وإرشادات المسار). البنية التحتية الموجهة (لافتات الرسائل المتغيرة). أجهزة تحويل المسار. التحذيرات (الازدحام وأحوال الطقس).

المهمة	الوظيفة	الخدمات
	وسائل مساعدة متنوعة للانتقال.	خدمات الراحة: إعادة التزود بالوقود. المطاعم والوجبات الخفيفة والاستراحات. المتاجر. النظافة العامة والراحة. المرافق المخصصة لذوي الاحتياجات الخاصة. المعلومات العامة. البنية التحتية الموجهة: لافتات. المعدات الأخرى الموجودة على جانب الطريق. المناطق المخصصة للاسترخاء ووقوف المركبات.
إدارة الطلب.	البنية التحتية الموجهة.	البنية التحتية متعددة وسائل النقل (خدمات الشحن ومواقف المركبات والركوب). مسارات الحافلات والمركبات ذات مشغولية إركاب عالية.
	إجراءات تعزيز تحول وسائل النقل.	إدارة الوقوف والركوب. معلومات وسائل النقل المتعددة. إدارة النقل متعدد الوسائل.
	أنظمة الدفع.	تحصيل الضرائب الإلكترونية. تحصيل الرسوم الإلكترونية. التسعير المتغير.

هـ-١-٣ إطار العمل التنظيمي:

يتضح من مجموعة الخدمات التي تتضمن تقديم خدمة دعم شاملة لمستخدمي الطرق، أنه من الواضح ضرورة بذل جهود منسقة من عدة مجالات داخل أي جهة من جهات الطرق. وبناءً على ذلك؛ فإن التنسيق مع الجهات الخارجية أصبح ضروريًا. ويمكن توضيح ذلك بشكل أفضل من خلال النظر في تنفيذ عملية متكاملة لإدارة حوادث المرور.

التنسيق والتعاون فيما بين الجهات يسهل تحقيق الفاعلية في وضع خطط لعمليات إدارة الحوادث. ويمكن أن تشمل الجهات المسؤولة عن إدارة حوادث المرور: جهات المرور والنقل، الشرطة، الإطفاء، خدمات الإنقاذ والإسعاف، مقدمي خدمات الطرق والمرور، مقدمي خدمات الاستجابة وقطر المركبات المعطلة وإصلاحها، جهات الرقابة البيئية والسلامة من المواد الخطرة، مقدمي خدمات المرافق، وسائل الإعلام ومقدمي الخدمات الإعلامية.

عادةً، الجهات الرائدة في مبادرات إدارة حوادث المرور ينبغي أن تكون الجهات المسؤولة عن الطرق وأجهزة الشرطة. فيما يلي ترتيبات نموذجية لأدوار كل جهة ومسؤولياتها موجزة في الجدول (هـ -٣). وتؤكد مجموعة من الوظائف التي يقوم بها كل من الأطراف المعنية أهمية التنسيق فيما بين الجهات. الجدول (هـ -٣) يوضح أدوار الجهة ومسؤولياتها النموذجية. ومع ذلك؛ فإن الترتيبات العملية المفصلة بين المنظمات يمكن أن تختلف بين الجهات القضائية

الجدول (ه–٣) أدوار الجهة ومسؤولياتها النموذجية في إدارة الحوادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.3).

صاحب العمل	الأدوار والمسؤوليات	
الشرطة.	توفير مركز اتصالات لحالات الطوارئ وتنسيق الاتصالات. تولي مسؤولية السيطرة على الحوادث والإشراف على إجراءات الاستجابة. تأمين موقع الحادث، حماية الممتلكات. أداء واجبات مسؤول الاستجابة الأولى. مساعدة مسؤولي الاستجابة في الوصول إلى موقع الحادث.	السيطرة على وصول ومغادرة مسؤولي الاستجابة للحوادث. تطويق الشرطة لموقع الحادث ومنطقة الاصطدام. إجراء تحقيق بخصوص الحادث. السيطرة على المرور. إنشاء طرق للوصول في حالات الطوارئ ضمان سلامة مسؤولي الاستجابة.
فرق الإطفاء والإنقاذ.	إنقاذ الضحايا وانتشالهم، إطفاء الحرائق.	احتواء انتشار المواد الخطرة أو التخفيف من حدتها.
توفير الخدمات الطبية في حالات الطوارئ.	توفير العلاج الطبي للمصابين حسب الأولوية في موقع الحادث. تحديد الوجهة ومتطلبات النقل من أجل الضحايا المصابين.	نقل الضحايا لتلقي المزيد من العلاج الطبي.
جهات الطرق. (وبالمثل، بالنسبة إلى السلطة المحلية للطرق غير الحكومية، وكذلك القائمين على الطرق ذات الرسوم للطرق ذات الرسوم).	حماية موقع الحادث. تنفيذ استراتيجيات التحكم المروري، وتوفير الموارد الداعمة لها. مراقبة التشغيل المروري. نشر معلومات عن سائقي المركبات. الحد من تسرب السوائل العرضي للسيارة المحصورة على الطريق. تقييم أعمال تطهير موقع الحادث وتوجيها.	إمكانية أداء واجبات مسؤول الاستجابة الأولى (دوريات الخدمات). تطهير الحوادث الصغيرة (دوريات الخدمات). استشعار الحوادث والتحقق منها (دوريات الخدمات/مركز إدارة المرور). إنشاء طرق بديلة وتشغيلها. تقييم وتنفيذ الطوارئ اللازمة لأشغال الطرق وعمليات إصلاح البنية التحتية. إعلام مستخدمي الطرق بآخر المعلومات عن المرور.
قطر المركبات المعطلة وإصلاحها.	إصلاح المركبات والشحنات. نقل المركبات المعطلة أو المحطمة والحطام الناتج عنها من موقع الحادث.	الحد من تسرب (شحنات) المواد غير الخطرة.
مقدمي الخدمة الإعلامية.	توفير معلومات ذات أهمية بشكل سريع ودقيق.	

ينبغي ألا تستند ترتيبات التنسيق بين الجهات إلى تفاهمات غير رسمية. وربما يساعد وضع اتفاقيات رسمية أو مذكرات تفاهم في تقليل الخلافات حول الأهداف، ووجهات النظر، والمسؤوليات، والأولويات، وثقافات العمل التي قد تؤدي إلى خلافات محتملة، وتأخيرات، وانعدام الكفاءة في تقديم حلول بخصوص حوادث المرور.

يمكن أن تغطي الاتفاقيات الرسمية النتائج والأدوار والمسؤوليات المشتركة المنشودة، والأمور الإدارية، وهيكل السيطرة على الحوادث وتنظيم المعدات والتحكم المروري، ومسائل وإجراءات حوادث المواد الخطرة، وإجراءات التحقيق في الحوادث، وإجراءات الإخلاء السريع، والأهداف المنشودة من الأداء (على سبيل المثال: الاستجابة للحوادث وأوقات تنفيذ الإخلاء).

المزيد من التوجيهات بخصوص المسائل التنظيمية المتعلقة بإدارة الحوادث مرفقة في الجزء الفرعي (هـ -١-٤).

هـ-١-٤ التنسيق بين الجهات بشأن إدارة الحوادث:

هـ-١-٤-١ أدوار الجهات ومسؤولياتها المتعددة:

الجهات المسؤولة عادةً عن إدارة الحوادث وأدوارها ومسؤولياتها النمطية موضحة في الجدول (هـ -٣).

وتشمل الأطراف المعنية الأخرى المتضررين من حوادث المرور أو المهتمين بها مثل:

- وسائل الإعلام، مراسلو المرور، مقدمو المعلومات التي تخص المرور.
- النقل العام، خدمات الشحن، شركات سيارات الأجرة.
- فئات المستخدمين - السائقون، خدمات الشحن.
- الحجاج، الأفواج السياحية.
- المرافق التي تعتمد على المرور الموثوق بها (على سبيل المثال: المطارات والموانئ).
- الباحثون والمستشارون.

هـ-١-٤-٢ الاتفاقيات الرسمية:

من خلال إبرام اتفاقيات رسمية أو مذكرات تفاهم، يمكن للجهات المستجيبة توثيق المواقف الخاصة بالسياسات المشتركة بشأن القضايا ذات الاهتمام المشترك في العمليات المتعلقة بإدارة الحوادث. ويمكن وضع سياسات وإجراءات لبعض مجالات الاهتمام ذات الصلة، مثل:

- مشاركة البيانات وإنشاء مرافق مشتركة.
- إدارة المرور ومعلومات خاصة بالمتنقلين.
- الاستجابة للحوادث، فرق الاستجابة للحوادث، دوريات الخدمات، التخليص السريع، نظام السيطرة على الحوادث
- وضع خطط لهذه الأحداث وسلامة مناطق العمل.
- مقاييس أداء السياسات.
- التدريب في مجال السياسات.

هـ-١-٤-٣ فرق تابعة لجهات متعددة:

قد يكون إضفاء الطابع الرسمي على الفرق التابعة لجهات متعددة طريقةً لتحقيق الأهداف والغايات المحددة لبرنامج إدارة حوادث المرور، وضمان استمراريتها إلى ما بعد تغييرات الإدارة والموظفين.

وكما هو معهود، يمكن أن تتألف هذه الفرق من ممثلين رفيعي المستوى (من الادارة المتوسطة إلى العليا) لكل من الجهات المشاركة، بالإضافة إلى شركاء القطاع الخاص. ويمكنهم الاجتماع بانتظام (على سبيل المثال: شهريًا) والتعامل مع تبادل المعلومات والتعاون بين الجهات والمسائل المتعلقة بالسياسات، ويمكن إجراء دورات تدريبية (مكتبية أو ميدانية)، وتنظيم جلسات إعلامية بعد الحوادث ووضع خطط الاستجابة للحوادث الخاصة.

وعلى المستوى التشغيلي، يمكن أن تمتد ترتيبات الفرق التابعة لجهات متعددة إلى إعداد خطط عملية مشتركة مع الشرطة وإلى وجود ضابط شرطة في مركز إدارة المرور الذي تديره جهة الطرق.

هـ-١-٤-٤ نظام السيطرة على الحوادث:

نظام السيطرة على الحوادث هو جهاز تنظيمي يستخدم؛ للسيطرة والتحكم والتنسيق بين مسؤولي الاستجابة لحالات الطوارئ. ويسمح نظام السيطرة على الحوادث للجهات بالعمل معًا باستخدام المصطلحات والإجراءات التنفيذية المشتركة؛ للسيطرة على الموظفين والمرافق والمعدات ووسائل الاتصال في موقع واحد للحادث ((FHWA, (2006).

ويتطلب الإخلاء الآمن لحوادث المرور الذي تُنسَّق فيه موارد الاستجابة في الوقت المناسب.. ويتطلب ذلك تسلسل قيادي واضح، وتحديد أدوار مسؤولي الاستجابة ومسؤولياتهم، وتنفيذ إجراءات واضحة، وقدرة جميع مسؤولي الاستجابة على التواصل بشكل واضح وفعال طوال عمليات الاستجابة والإخلاء.

ويُعد تنسيق موارد الاستجابة من مختلف المنظمات المستجيبة أمرًا بالغ الأهمية؛ للإخلاء الآمن وفي الوقت المناسب من حوادث المرور.

وهذا يتطلب:

- تسلسل هرمي واضح للقيادة بحيث يكون كل شخص مسؤولاً أمام شخص واحد فقط.

- تحديد أدوار مسؤولي الاستجابة ومسؤولياتهم.
- إجراءات واضحة.
- قدرة جميع مسؤولي الاستجابة على التواصل بوضوح وفاعلية؛ من خلال توحيد المصطلحات المستخدمة.

وينبغي أن يكون هيكل السيطرة على الحوادث مرنًا بطبيعته ويمكن تكييفه بسهولة مع جهود الاستجابة للحوادث واحتياجات الجهات المختلفة وينبغي أن يتمتع بالخصائص الآتية:

- هيكل تنظيمي مشترك: ويشمل مسؤولي موقع الحادث الذين يمثلون كل جهة قضائية و/أو جهة وظيفية مع سلطة قانونية في حادث ما.
- مركز قيادة واحد: ينبغي السماح للجهات بالعمل بشكل متناغم ومشاركة مهام التخطيط والتشغيل الأساسية.
- عملية تخطيط موحدة: ينبغي تحديد مجموعة متفق عليها من أهداف واستراتيجيات الحوادث قبل بدء العمليات التكتيكية التي ينبغي استخدامها؛ لوضع خطة عمل تتناول الأولويات، وتوفر عمليات تكتيكية موحدة لتخصيص الموارد.
- إدارة موحدة للموارد: ينبغي تسهيل الاستخدام المنسق للموارد المتاحة دون أن تضطر الجهات إلى التضحية بالسيطرة الإدارية والسياسية على مواردها.
- مركز للسيطرة على الحوادث بقيادة قائد مسؤول عن الحوادث الذي ينبغي أن يكون دوره:
  - أن تكون له صلاحيات واضحة وأن يكون على دراية بسياسات الهيئة.
  - ضمان سلامة موقع الحادث.
  - إنشاء مركز للسيطرة على الحوادث.
  - تحديد أهداف واستراتيجيات الحوادث الواجب اتباعها.
  - تحديد الأولويات العاجلة.
  - بدء عملية الاتصالات، وصيانتها، والتحكم فيها داخل جهة نظام السيطرة على الحوادث.
  - تنسيق إدارة المرور متعددة الاختصاصات، ومراقبة التشغيل.
  - إدارة الاجتماعات التخطيطية بالشكل المطلوب.
  - اعتماد الخطط الخاصة بإجراءات الحوادث، وتنفيذها، وتقييمها.
  - الموافقة على طلبات الموارد الإضافية، أو الإفراج عنها.
  - ضمان استكمال تقارير ما بعد الحادث.

هـ-١-٤-٥ الترتيبات المؤسسية: الممارسات الموصى بها:

فيما يأتي قائمة بالتوصيات بشأن الترتيبات المؤسسية ((AUSTROADS, (2007):

- ينبغي التوصل إلى فهم جيد لأدوار الأطراف المعنية، ومسؤولياتهم، والسلطة التشريعية، والترتيبات المرتبطة بها، وتشجيع مشاركة الموارد والقدرات.
- ينبغي تحديد رواد الاستجابة للحوادث على المستويين الإداري والعملي وتسهيل ذلك.
- ينبغي وضع نهج تعاوني/تشاركي، وينبغي الاتفاق على الأدوار والمسؤوليات، مثل: استخدام نظام السيطرة على الحوادث، وينبغي وضع بروتوكول لمراقبة مواقع الحوادث التي تنطوي على الأطواق الداخلية والخارجية.
- ينبغي إنشاء فريق تابع لجهات متعددة؛ لإدارة حوادث المرور للعمل معًا من أجل معالجة القضايا السياسة والتنفيذية ذات الأولوية.
- ينبغي إنشاء منتدى وآلية إدارية؛ لتبادل المعلومات، وبناء العلاقات، وإجراء التدريبات، ومراجعة الإنجازات واتخاذ القرارات بشأن السياسات والتمويل.
- ينبغي إضفاء الطابع الرسمي على الاتفاقيات المبرمة بين مسؤولي الاستجابة الرئيسين للحوادث التي تغطي الأدوار والمسؤوليات المتفق عليها للمخرجات المشتركة، والمسائل الإدارية، وإجراءات التخلي السريع عن الحوادث، وهيكل السيطرة على الحوادث ومراقبة المرور وأهداف الأداء المنشودة.
- ينبغي إنشاء نظام قيادة موحد يضم جميع مسؤولي الاستجابة الرئيسين، وخاصة جهات الطرق والمرور.
- ينبغي إجراء دورات تدريبية تحت إشراف جهات متعددة، مثل نظام السيطرة على الحوادث واستخلاص المعلومات. بعد الحوادث الكبرى لتحديد الدروس المستفادة.
- إجراء تقييمات للمخاطر ووضع استجابات مخططة من أجل الحوادث بالنسبة إلى الجهات المعنية.
- ينبغي جمع البيانات المتعلقة بالتكاليف والفوائد والإبلاغ عنها.

هـ-١-٥ مراقبة الشبكات:

تمكن مراقبة الشبكات القائم عليها من مراقبة حالة الشبكات، واستخدامها بأسرع وقت ممكن وبشكل كامل. هناك بعدان لهذا الأمر: مراقبة أحوال المرور، ومراقبة الظواهر الطبيعية. يلخص الجدول (هـ-٤) الأهداف والأدوات والمعدات والنتائج الخاصة بمراقبة الشبكة، ويضع بعض التقديرات. وتُناقش العناصر الرئيسة بمزيد من التفصيل في الأقسام التالية. ويتناول كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) جوانب التصميم والمواصفات لأنظمة مراقبة المرور.

الجدول (هـ–٤) مراقبة الشبكة – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.4).

الأهداف	المعدات	الأدوات	النتائج	الاعتبارات
الحصول على معلومات حول: أحوال المرور. أحوال الطقس الجوية. أنواع المركبات وحالتها، الطرق والسائقين.	أجهزة الاستشعار. كاميرات تصوير مرتبط بشبكة تلفزة دائرية. أجهزة الفحص الدقيق للمركبات. قارئ بطاقات التعريف. الهواتف الذكية. أجهزة البلوتوث. الاتصالات المخصصة قصيرة المدى. طائرة مسيرة.	معالجة الفيديو. خوارزميات الاستشعار. محاكاة المرور. خوارزميات ونماذج. الاستشعار التلقائي عن الحوادث.	تحسين التفاهم والاستجابة الظروف. تحسين عملية صنع القرار. تعزيز التنسيق بصورة أفضل بين الأطراف. تجميع البيانات.	تتطلب بعض أجهزة الاستشعار تركيبًا دقيقًا. تحقيق التوازن بين الغرض والبيانات والحجم وعرض النطاق الترددي للاتصالات. التخطيط والتنسيق بشأن الاستخدام وطريقة التجميع أمر ضروري. الخصوصية والمسائل القانونية.

هـ-١-٥-١ الخدمات:

تتميز أنظمة المراقبة القائمة على أنظمة النقل الذكية عادةً باستخدام المستشعرات الإلكترونية، ومعالجة البيانات بواسطة حاسب مركزي وإرسال البيانات. وتعتمد متطلبات النظام التفصيلية بشكل كبير على مهام التشغيل المطلوب دعمها وهيكل شبكة الطرق قيد النظر. بالإضافة إلى ذلك، عندما يلزم دمج نظام مراقبة قائم، أو تقنيات الاستشعار في نظام مراقبة جديد، فمن المهم تقييم قابلية نظام الاستخدام المستمر وما إذا كان يمكن استيعاب المتطلبات الجديدة بشكل مرضٍ.

ومع أن عملية المراقبة جزء لا يتجزأ من أي خدمة من خدمات أنظمة النقل الذكية؛ إلا أنها عادة لا تقدم أي خدمة من تلقاء ذاتها. يمكن تلخيص الأدوار الرئيسة (أو الخدمات الفرعية) لمراقبة الشبكات فيما يأتي:

- مراقبة المرور والحوادث والظروف البيئية الخاصة بالطرق.
- دعم مشغلي شبكات الطرق في اتخاذ القرارات بشأن كيفية تحسين تشغيل الشبكات.
- مراقبة وتقييم مهام التشغيل.
- تجميع البيانات وحفظها لتحليلها بدون اتصال بالإنترنت.

يمكن تنفيذ كل من الخدمات (أو الخدمات الفرعية) الموصوفة من خلال تدابير مختلفة.

هـ-١-٥-١-١ مراقبة أحوال المرور:

ينبغي أن تهدف مراقبة حالة المرور إلى اكتشاف أو التنبؤ بالاضطرابات الناتجة عن أحوال المرور العادية، سواء كانت ناجمة عن حوادث أو نتيجة الازدحام غير العادي، في أسرع وقت ممكن، من أجل اتخاذ إجراءات إصلاحية على الفور. وتتمثل مقاييس الأداء الرئيسة في تأخير الاستشعار (الفترة الزمنية بين وقت وقوع الحادث ووقت تحذير إدارة الإدارة من وقوع هذا الحادث) وموثوقية المعلومات التي جُمِعت.

وينبغي أن يكون الهدف الثانوي هو جمع خصائص المرور (على سبيل المثال: التدفق، معدل الإشغال، السرعة) إلى قدر مناسب من التفاصيل من أجل مراقبة أو توقع الاتجاهات (دراسات التشغيل المرور يقدم الباب الإرشادات ذات الصلة). وينبغي أن تكون الخصائص المطلوبة قائمة على موثوقية وشمولية تغطية أنظمة الجمع.

لذا فإن مراقبة المرور تتطلب ما يأتي:

- أنظمة متخصصة في جمع ومعالجة وتركيز بيانات ومعلومات المرور.
- العلاقات الرسمية مع مركز خدمات الطوارئ والسلامة، أو خدمات تقديم المساعدة للحد من تأخر الاستشعار.
- أنظمة الإنذار التلقائية أو غير التلقائية (شبكة الاتصال في حالات الطوارئ، الاستشعار التلقائي عن الحوادث).
- تنظيم دوريات مراقبة دورية على أكثر الطرق حساسية.

هـ-١-٥-١-٢ مراقبة الظروف البيئية:

ينبغي أن تهدف مراقبة الأحداث الطبيعية إلى اكتشاف أو التنبؤ بالحالات الطبيعية وغير الطبيعية (الطقس أو غيره) التي قد تؤثر في مستوى خدمة الشبكة؛ ولا سيما سلامة استخدامها. من الناحية المثالية، يتطلب هذا كلًا من استشعار القياسات أو المعلومات ودمجها في نماذج التنبؤ المروري.

ينبغي أن تقوم أنظمة الاستشعار بإبلاغ المشغل بظهور (أو احتمال ظهور) الظروف الجوية الصعبة (مثل: الغبار، الضباب، العواصف، إلخ) أو غيرها من الأحداث الطبيعية غير الملائمة (الانهيارات الأرضية، والفيضانات، وحرائق الغابات، وما شابه ذلك). وينبغي أن تسمح بتوفير النصائح المناسبة لمستخدمي الطرق.

هـ-١-٥-١-٣ دعم عملية اتخاذ القرار:

ينبغي أن تدعم أنظمة مراقبة الشبكة عملية اتخاذ القرار. ويجب أن تكون مسؤوليات المشغلات متنوعة مثل مراقبة المعلومات المتعلقة بالمرور والظروف البيئية واتخاذ القرارات بشأن مدى خطورة الحوادث واختيار وتحديد أولويات الوظائف التشغيلية والتواصل مع مجموعات التنسيق. ويجب إجراء هذه العمليات في فترة زمنية قصيرة استجابة لوقوع الحوادث. ولذلك فإن تحقيق التكامل بين الأنظمة في مركز تشغيل الشبكات مهم لدعم عمليات اتخاذ القرار.

هـ-١-٥-١-٤ مراقبة وتقييم وظائف التشغيل:

ينبغي أن تدعم أنظمة مراقبة الشبكة مراقبة وتقييم وظائف التشغيل الأخرى. وينبغي مراقبة وتقييم تأثيرات أنشطة التشغيل؛ لتحديد الإجراءات الإضافية التي يمكن اتخاذها. وبالتالي ينبغي الحفاظ على حلقة مغلقة من المعلومات التي تشمل المراقبة واتخاذ القرارات وتقييم الآثار الناتجة.

بالإضافة إلى الأدوات الحالية التي تعتمد بشكل رئيس على البيانات المستمدة من أجهزة استشعار الطرق، يمكن تطوير مجموعات بيانات جديدة باستخدام المعلومات المستمدة من تتبع الأجهزة المحمولة، أو من تتبع المركبات المجهزة بأنظمة تحديد المواقع العالمية.

هـ-١-٥-١-٥ تجميع البيانات المرصودة:

ينبغي أيضًا أن يكون تجميع البيانات الآنية عملاً مهمًا لمهمة المراقبة؛ لتكون فيما بعد بمثابة بيانات سابقة. ويمكن أن يشمل استخدام البيانات السابقة التي جُمعت ما يأتي:

- المقارنة مع البيانات في الوقت الحقيقي؛ للكشف عن الحوادث التي تقع على الشبكة.
- الدراسة السابقة/اللاحقة للعمليات، ووظائف التحكم.
- إعلام البرامج غير المترابطة بأنظمة النقل الذكية بعمليات تحسين الشبكة، مثل: عمليات التحسين الهندسية وعمليات إصلاح الرصف.

هـ-١-٥-٢ تقنيات الاستشعار والاتصالات:

أدوات المراقبة والوسائل التكنولوجية مستقرة تمامًا، وهناك طرق جديدة تتطور بشكل سريع في ظل تقدم تقنية المعلومات. وتشتمل العناصر على أساليب الاستشعار والاتصالات السلكية واللاسلكية ومركز العمليات. سيُوضّح أول عنصرين في القسم الفرعي (هـ -١-٥-٣)، بينما سيُناقش مركز العمليات في الجزء (هـ -٢).

ويمكن تطبيق نهج مماثل على مجالات دعم مستخدمي الطرق، بخلاف إدارة الحوادث، حيث يتطلب التنسيق بين الجهات.

هـ-١-٥-٣ مراقبة الشبكات - تقنيات الاستشعار والاتصالات:

هـ-١-٥-٣-١ تقنيات الاستشعار:

هناك عدد من التقنيات المتاحة لمراقبة المرور، ويمكن أيضًا استخدام بعضها للتحكم في المرور وكشف الحوادث. وتشمل التقنيات تلك الموجودة في الجدول (هـ -٥). وينبغي أن يعتمد اختيار النهج الأنسب على مدى ملاءمة الغرض لتناسب الاحتياجات والموارد المتاحة. والتقديرات الرئيسة هي:

- سرعة الاستشعار.
- الدقة.
- التكلفة.
- الموثوقية.

الجدول (هـ-٥) تقنيات الاستشعار (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.5).

تقنية الاستشعار	الوصف
أجهزة كشف الحلقات الحثية	الحلقات الحثية مركبة في الرصف؛ للكشف عن وجود أي مركبة أو مرورها. جهاز الاستشعار الأكثر استخدامًا.

تقنية الاستشعار	الوصف
مقاييس شدة المجال المغناطيسي	أسطوانات صغيرة تحتوي على مستشعرات مركبة في الرصف تقيس حجم المرور، ونسبة استيعاب المركبات.
رادار الميكروويف، الأشعة تحت الحمراء، الاستشعار باستخدام الموجات فوق الصوتية (أجهزة كشف غير متداخلة)	تكون مثبتة على بناية فوق الطريق أو بجواره.
كشف صورة الفيديو	تعالج الصور من الكاميرا. تتعامل بحساسية مع ظروف الإضاءة.
أجهزة الفحص الدقيق للمركبات	تُثبَّت بطاقات رسم المرور الإلكترونية في العديد من البلدان بنسبة متزايدة في أسطول من المركبات. يتيح فرصة استخدام مسبار المركبات كمستشعرات لقياس السرعة وزمن الانتقال.
التعرف التلقائي على لوحة أرقام المركبة	يمكن استخدامها لقياس السرعة وزمن الانتقال وجهة الوصول.
الهواتف الذكية والاتصالات المخصصة قصيرة المدى	مماثلة من حيث المفهوم إلى الفحص الدقيق للمركبات، ولكن باستخدام التثليث لمراقبة سرعات سير المركبات. توفر تقنية المراقبة باستخدام البلوتوث طريقة أخرى لاستخدام الأجهزة المحمولة لمراقبة المرور.
أجهزة قراءة البلوتوث	تلتقط الرادارات عنوان وحدة التحكم في الوصول إلى الوسائط من الأجهزة التي تدعم تقنية البلوتوث في المركبات، والتي تُستخدم لتقدير زمن الانتقال وخيارات المسارات المتاحة.
تتبع نظام تحديد المواقع العالمي	أجهزة مزودة بنظام تحديد المواقع العالمي مدمجة في المركبات، مثل الحافلات والشاحنات.

يحدد الجدول (هـ -٦) طرق الاستشعار المختلفة التي يمكن تطبيقها على عملية مراقبة الشبكات. يمكن أن تكون طرق الاستشعار إما:

أجهزة الاستشعار، مثل تقنيات الاستشعار المناسبة للوظيفة (على سبيل المثال: الحلقة الحثية، مقياس شدة المجال المغناطيسي، رادار الميكروويف، الأشعة تحت الحمراء، الاستشعار باستخدام الموجات فوق الصوتية أو الاستشعار باستخدام الفيديو).

الأساليب (غير التكنولوجية)، التي تستخدم عادة في بعض الوظائف المعينة في مشاريع عمليات الشبكات في جميع أنحاء العالم.

الجدول (هـ–٦) طرق الاستشعار (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.6).

الوظائف	أجهزة الاستشعار
مراقبة المرور. الشبكة العامة. عُقد ومسارات المرور.	أجهزة الاستشعار، أجهزة الفحص الدقيق للمركبات، تقارير الدوريات، والمراقبة الجوية. كاميرات تصوير مرتبط بشبكة تلفزة دائرية.
إدارة الحوادث. الاستشعار/التحقق من الحوادث.	أجهزة الاستشعار، مسبار المركبات، الهواتف الخلوية/ هواتف الإغاثة الطرقية، وأنظمة كاميرات تصوير مرتبط بشبكة تلفزة دائرية.
معلومات السائق. معلومات ما قبل الرحلة وفي أثنائها.	أجهزة الاستشعار، أجهزة الفحص الدقيق للمركبات، تقارير الدوريات، وأنظمة المراقبة بالفيديو.
التحكم المروري التحكم في السرعة/المسار التحكم في التقاطعات/الشبكات	أجهزة الاستشعار، أجهزة الفحص الدقيق للمركبات، تقارير الدوريات، وأنظمة المراقبة بالفيديو. معلومات إشارات المرور.
التحكم في الطلب. ضبط المداخل إلى الطرق السريعة.	أجهزة كشف الطرق الرئيسة، أجهزة كشف مداخل المنحدرات. أجهزة استشعار وزن المركبات وارتفاعها.

الوظائف	أجهزة الاستشعار
التحكم في المركبات. تحصيل الرسوم.	تحديد هوية المركبات التلقائي، معالجة صور الفيديو.

بعض نقاط القوة والضعف في الاستشعار غير التقني التي ينبغي النظر فيها ملخصة في الجدول (هـ -٧).

الجدول (هـ–٧) نقاط القوة والضعف في طرق الاستشعار غير التقني (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.7).

طرق الاستشعار	الوصف	نقاط القوة والضعف
مركبات الدوريات	بجانب سيارات الدوريات، يمكن أن تشمل بعض المركبات الأخرى من مختلف السلطات التي تقدم معلومات بشأن المرور وأوضاع الطرق.	لطالما كانت دائمًا طريقة مهمة من طرق الاستشعار. يتم توفير المعلومات بواسطة خبراء مما يزيد إلى حد كبير من موثوقية المعلومات المستمدة من هذه المركبات.
المراقبة الجوية للمرور	مراقبة أوضاع المرور من خلال طائرة ثابتة الجناحين أو طائرات مروحية.	يمكن أن توفرها جهات الطرق، أو وسائل الإعلام التي توفر معلومات بشأن المرور. يمكن أن يوفر تقديرًا جيدًا وشاملًا لأوضاع المرور على مساحات شاسعة.
مكالمات الهاتف المحمول الصادرة من مستخدمي الطرق	نسبة عالية من أصحاب المركبات يستخدمون الهواتف المحمولة. يتم الإبلاغ عن الحوادث التي تقع في كل من المناطق الحضرية والريفية بهذه الطريقة.	طريقة ملائمة جدًا. يعاني من مشكلة المعلومات غير الدقيقة والمعلومات المزيفة. يمكن أيضًا أن يعاني في بعض الأحيان من عدد كبير جدًا من المكالمات بخصوص نفس الحادث.
هواتف الإغاثة الطرقية	يُمكِّن توفير هواتف الإغاثة الطرقية المتصلة بمركز الاستجابة لحالات الطوارئ مستخدمي الطريق من الإبلاغ عن الحوادث.	أصبح استخدام الهواتف المحمولة أكثر شيوعًا، مما يحد من الحاجة إلى هواتف الإغاثة الطرقية. يمكن ألا تكون تغطية الهواتف المحمولة متاحة في بعض المواقع أو بعض بيئات الطرق.

هـ-١-٥-٤ الاتصالات عن بُعد:

تشمل الفئات الرئيسة للمعلومات التي ستُنقَل ما يأتي:

- البيانات المرصودة من الميدان.
- الأوامر التنفيذية الصادرة عن مركز العمليات.
- معلومات الحالة الميكانيكية للأجهزة الميدانية.

تكلفة نظام الاتصالات يمكن أن تشكل جزءًا كبيرًا من التكلفة الإجمالية لنظام المراقبة. وبالتالي، ينبغي اختيار أنظمة الاتصالات بعناية مع مراعاة المتطلبات الآتية:

- أنواع المعلومات المراد نقلها (بيانات، فيديوهات، معلومات الصوتية... إلخ).
- حجم المعلومات (عدد من الأجهزة الميدانية، قيادة العمليات... إلخ).
- شركاء الاتصالات (الأجهزة الميدانية، الجهات، وسائل الإعلام الإخبارية، مقدمو الخدمات... إلخ).
- مدى معالجة البيانات الميدانية.
- تنسيق بيانات الاتصالات.

يتطلب نقل المعلومات الواردة في الفيديوهات عمومًا نطاقًا ترددًا أكبر. يمكن أن يؤدي استخدام تنسيقات البيانات المشتركة الموحدة، وبروتوكولات الاتصالات إلى تقليل تكاليف أنظمة الاتصالات، وتسهيل الاتصال بين الجهات، ودعم التوسع المستقبلي لأنظمة المراقبة.

هـ-١-٦ الحفاظ على قابلية الخدمة للطرق وسلامتها:

ينبغي أن يشمل الحفاظ على قابلية الخدمة للطرق، في حالة حدوث أي اضطرابات، جميع العمليات الميدانية المصممة للحفاظ على أو استعادة ظروف استخدام الطرق التي تقترب قدر الإمكان من الوضع العادي. ومن أجل الحفاظ أو تحسين قابلية الخدمة للطرق وسلامتها، يمكن اتخاذ تدابير استباقية وفعالة. وتركز التدابير الاستباقية على الكشف السريع عن الحوادث والظروف غير الآمنة في الطرق والتحقق منها والاستجابة السريعة لها والتخلص منها وتنفيذ استراتيجيات أُعدّت مسبقًا لاستعادة التشغيل بشكل

طبيعي. إعلام المتنقلين بالوضع هو أيضًا تدبير وقائي مهم. ويساعد التحذير في الوقت المناسب من ظروف الطرق غير الآمنة وأماكن الازدحام على الحد من وقوع اصطدامات والتأخير غير الضروري.

الاكتشاف المبكر للحوادث وحالات الطرق المسدودة/غير الآمنة، والاستجابة السريعة، وإخلاء الطرق من شأنه تحسين قابلية الخدمة للطرق وسلامتها وبالتالي الحد من الازدحام.

كما ينبغي تقدير أعمال الصيانة والإصلاح والتطوير، وكذلك الأنشطة الخاصة المخطط لها، على أنها أحداث ستؤثر بشكل كبير على أحوال المرور إذا لم يُخطَّط لها بشكل صحيح. كما يمكن أن تؤثر الظواهر المناخية الكبرى سلبًا على أحوال المرور؛ لذلك فإن التقنية اللازمة لاكتشاف وتتبع هذه الظواهر، والاستراتيجيات اللازمة للاستجابة لها مهمة أيضًا.

يقدم الجدول (هـ -٨) ملخصًا للأهداف والأدوات والمعدات والنتائج؛ للحفاظ على قابلية الخدمة للطرق وسلامتها، ويضع بعض الاعتبارات. وتُناقش العناصر الرئيسة بمزيد من التفصيل في الأقسام التالية.

الجدول (هـ-٨) مراقبة قابلية الخدمة للطرق وسلامتها – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.8).

العنصر	الأهداف	المعدات	الأدوات	النتائج	الاعتبارات
إخطارات أعمال الصيانة والإصلاح والتطوير[1].	الحفاظ على ظروف الطرق، أو استعادتها، أو تحسينها؛ لاستيعاب المرور بشكل أفضل.	منشأة ومعدات البناء القياسية والأعمال اليدوية.	أدوات التخطيط والجدولة.	تحسين الطرق. تحسين خيارات الرحلة الناتجة عن الإخطارات. تحسين تدفق المرور.	يتطلب تخطيطًا دقيقًا: يتطلب إخطارًا مسبقًا بشكل جيد. ينبغي عدم إجراء أعمال الطرق في أثناء أوقات الذروة ما لم تكن عاجلة. اللافتات والسلامة أمران ضروريان.
التحذير من ظروف الطرق والمرور.	لتحذير المستخدم من ظروف الطرق، مثل: الحوادث.	كاميرات المراقبة، والحلقات الحثية، ومستشعرات أخرى، ولافتات الرسائل المتغيرة، وشبكات الاتصالات.	معالجة المعلومات.	تقليل الاصطدامات. تحسين خيارات الرحلة. تحسين تدفق المرور.	ربما تشكل سرقة المعدات مشكلة كبيرة. الأعمال التخريبية.
مركز التحكم.	لمراقبة الحوادث، والأحداث المختلفة، والاستجابة لها.	متنوع.	متنوع.	تحسين عملية الاستجابة. تحسين خيارات الرحلة. تحسين تدفق المرور.	فعال، ولكن يتطلب التنسيق بين الأطراف.
ملحوظة: ١- هذه ليست مسألة متعلقة بإدارة المرور في حد ذاتها، ولكن تُضمَّن هنا من أجل التأكد من اكتمالها في سياق عمليات شبكة الطرق بدلًا من عمليات التشغيل المروري.					

هـ-١-٦-١ عمليات الاستجابة لحالات الطوارئ:

تشمل عمليات الاستجابة لحالات الطوارئ خدمات إصلاح الأعطال، وعمليات الإخلاء والاتصال بالطوارئ. ويمكن أن تشمل أيضًا توفير معلومات تحذيرية لمستخدمي الطرق.

وفي حال وقوع حادث، فإن الهدف هو تيسير اتخاذ إجراءات سريعة من قبل خدمات الطوارئ المختصة (الشرطة، رجال الإطفاء، الخدمات الطبية) و/أو خدمات إصلاح الأعطال. ومن ثم ينبغي حماية منطقة الحادث، وتحذير سائقي المركبات المتجهين نحوها في أسرع وقت ممكن. يمكن أن يتطلب ذلك عزل الحادث المروري باستخدام علامات توجيهية، واستعادة تدفق المرور بعد إزالة المعوقات (مثل: الشاحنات المقلوبة، والصخور المتساقطة، وما إلى ذلك) وتنظيف الطريق. ويتطلب ذلك من مسؤولي الاستجابة لحالات الطوارئ فهم موقع الحادث وطبيعته ونطاقه؛ حيث يتيح ذلك إرسال الموارد المطلوبة المناسبة لمستوى الحادث. وتساهم الاتصالات الفعالة والمتزامنة جيدًا بين جهات الاستجابة في تنظيف موقع أي حادث بطريقة آمنة في حينها.

وينبغي أن يكون مقياس الأداء الأساسي هو توقيت الاستجابة: الفترة الزمنية بين الوقت الذي تعلم فيه خدمة الإدارة بوقوع حادث، ووقت بدء الاستجابة الفعلية أو إبلاغ المستخدمين المعنيين.

كما تتطلب عمليات الاستجابة لحالات الطوارئ استعداد الفرق التنفيذية التي يمكن تعبئتها خلال فترة زمنية مشروطة بمستوى الخدمة الذي يسعى إليه القائم عليها.

ه-١-٦-٢ التشغيل المتعلق بأحوال الطقس:

يتعلق التشغيل المتعلق بأحوال الطقس بالإجراءات المرتبطة بظهور الظروف الجوية القاسية. يمكن أن تشمل هذه الظروف الأمطار الغزيرة والفيضانات والرياح القوية والعواصف الرملية والظروف الشتوية. كما يشمل التشغيل المتعلق بأحوال الطقس وسائل مخصصة لإعلام سائقي المركبات وتقديم المشورة والمساعدة.

ه-١-٦-٣ تنظيم الإجراءات المخطط لها:

يشتمل تنظيم الإجراءات المخطط لها على تخطيط المرور لأعمال الطرق، وتنظيم مواقع العمل، والتحكم في حركة المركبات أو القوافل المرافقة ذات الأبعاد الضخمة/ذات الكتلة الضخمة ووضع خطط للظواهر الخاصة ومراقبتها.

الهدف هو الحد من إزعاج مستخدمي الطرق من خلال اختيار أقل الفترات والتقنيات الأقل تقييدًا ومن خلال المعلومات المقدمة قبل التسبب في الإزعاج المتوقع.

ويتطلب التنفيذ الناجح تخطيطًا دقيقًا (الدراسة المسبقة، والتحقق، والتنسيق) للعمليات، ويمكن أن يتطلب عملًا جماعيًا من قبل العديد من المشغلين (مثل: المقاولين، وإدارات الطرق، ومشغلي الطرق من القطاعين العام والخاص) وتنفيذ خطط مناسبة لإدارة النقل والمرور فيما يخص الموقع أو الحدث.

ه-١-٦-٤ الأساليب:

ه-١-٦-٤-١ إخطارات أعمال الصيانة والإصلاح والتطوير:

يمكن أن تساهم أعمال الطرق في ازدحام المرور إذا لم يُخطَّط لها ولم تُنفَّذ بعناية. ويمكن أن تؤدي أساليب البناء البديلة وساعات العمل (خارج أوقات الذروة، وليلًا) إلى تحسين قابلية الخدمة للطرق وسلامتها. ويمكن أن يساعد تغيير مسارات المرور عن طريق معلومات ما قبل الرحلة وفي أثنائها فيما يتعلق بأعمال الطرق في تقليل الازدحام في هذه المناطق. ويمكن أن تسبب الأنشطة الخاصة المخطط لها أيضًا ازدحامًا مروريًا كبيرًا إذا لم يُخطَّط لها بشكل صحيح، مع الأخذ في الحسبان زيادة الطلب على الانتقال الناتج عن الأنشطة وتأثير انخفاض السعة (على سبيل المثال: إغلاق الشوارع) على شبكة الطرق.

ونظرًا إلى أن السلامة المتأصلة في البنية التحتية للطرق تتعرض باستمرار للخطر في أثناء تنفيذ أعمال الطرق والأنشطة الخاصة، ينبغي النظر في إدارة السرعة (التي تتضمن عادةً حدود السرعة المنخفضة و/أو الأجهزة المادية) من أجل تعويض زيادة خطر الاصطدامات؛ لضمان السير بسرعات آمنة مناسبة لمستخدمي الطرق وأي شخص يعمل بالقرب من المرور. ويمكن أن تؤثر وسائل التواصل الفعالة مع مستخدمي الطرق من خلال معلومات وتوجيهات ما قبل الرحلة وفي أثنائها على خيارات الرحلة وسلوكياتها التي ستدعم ركيزة النظام الآمن لمستخدمي الطرق.

ه-١-٦-٤-٢ التحذير بشأن ظروف الطرق والطقس:

يمكن أن تتأثر القيادة بشدة؛ بسبب ظروف الطقس، ولذلك من المهم إبلاغ السائقين بظروف الطقس مسبقًا حتى يتمكنوا من تغيير خطط انتقالهم، أو على الأقل الاستمرار بحذر. والتحذيرات بشأن الظروف التي يمكن أن تكون خطرة تُعد مفيدة بشكل خاص. وحيثما كان ذلك ممكنًا، ينبغي أن تكون التحذيرات بشأن الظروف مدعومة بحدود سرعة منخفضة؛ لتشجيع السير بسرعات آمنة. وينبغي النظر في تركيب لافتات حد السرعة المتغير في المواقع التي تشهد ظروفًا سيئة بصفة منتظمة، خاصة إذا كان السائقون يمكن ألا يدركون تزايد المخاطر. ويمكن استخدام العديد من أنظمة التحذير بشأن ظروف الطقس السيئة وأحوال الطرق لخدمة هذا الغرض.

ه-١-٦-٤-٣ التدابير التفاعلية:

لا يمكن تحقيق السلامة من خلال التدابير الوقائية وحدها. ومن المهم مراقبة الظروف بشكل مستمر داخل وخارج الطرق وظروف المرور للاستجابة بفاعلية للمواقف. ويمكن تحقيق ذلك في كثير من الأحيان من خلال مركز إدارة المرور المتكامل الذي يمكنه، بالإضافة إلى دوره في إدارة المرور، إيجاد محور اهتمام لنشر موارد الاستجابة السريعة؛ لمعالجة مشكلات حالة الطرق المبلغ عنها. إذا توفرت القدرة على ذلك، ينبغي تخفيض حدود السرعة؛ لتعويض زيادة خطر الاصطدامات وقت وقوع الحوادث الحرجة، على سبيل المثال: استخدام لافتات حد السرعة المتغير على الطرق السريعة المُدارة.

وبالنسبة إلى الحوادث التي تشهد إصابة مستخدمي الطرق أو عمال الطرق؛ فإن استجابة خدمات الطوارئ بشكل سريع يمكن أن تحد من مدى خطورة الإصابات وربما تنقذ الأرواح.

ه-١-٦-٤-٤ التقنيات:

تُعد التقنيات والأدوات الرئيسة المستخدمة في مراقبة قابلية الخدمة للطرق وسلامتها، من منظور التشغيل المروري، مماثلة لتلك المستخدمة أيضًا في:

- مراقبة الشبكات (على سبيل المثال: كاميرات المراقبة، أجهزة الاستشعار باستخدام الحلقات الحثية وغيرها من المستشعرات).
- خدمات وسائل مساعدة الانتقال ومعلومات المستخدمين (على سبيل المثال: لافتات الرسائل المتغيرة، ولافتات حد السرعة المتغير... إلخ).

يشكل استشعار حوادث المرور جزءًا من معظم أنظمة النقل الذكية المتكاملة، ويمكن إلى حد ما استكمال أنظمة الاستشعار التلقائي عن الحوادث من خلال إبلاغ مستخدمي الطرق بواسطة الهاتف المحمول.

هـ-١-٧ التحكم المروري:

تشمل مراقبة المرور جميع التدابير التي تهدف إلى توزيع تدفقات المرور والتحكم فيها في الزمان والمكان؛ من أجل تجنب ظهور الاضطرابات أو الحد من آثارها، مع الحفاظ على مستوى عالٍ من السلامة. وقد تكون مهام إدارة المرور وقائية أو إصلاحية. وينبغي أن يكون التحكم المروري أحد الأدوار الرئيسة لمشغلي الشبكات. وتشمل الخدمات والأنظمة الرئيسة التي تدعم التحكم المروري، بالنسبة إلى الطرق السريعة، وضبط المداخل إلى الطرق السريعة، وإدارة استخدام المسارات ومراقبة السرعة، وبالنسبة إلى الطرق الجانبية، التحكم التكيفي في إشارات المرور. ويمكن أن تشمل أنظمة التحكم في المسارات العكسية (تدفق جذري) وتوجيه مسار كلا النوعين من الطرق.

كما أن لخيارات واستخدامات خدمات وأنظمة التحكم المروري تأثيرًا كبيرًا على كيفية إدراج شبكة الطرق لمتطلبات السلامة. على سبيل المثال: تساهم الأنظمة التي تهدف إلى تحسين استغلال سعة الطرق السريعة (على سبيل المثال: ضبط المداخل إلى الطرق السريعة) واكتشاف الحوادث وإدارتها في توفير طرق وسرعات آمنة. يمكن للمعلومات المقدمة لمستخدمي الطرق من خلال وسائل الإعلام المختلفة أن تساهم في سلامة مستخدمي الطرق من خلال الحد من إجهاد السائقين (الذي يمكن أن يؤدي إلى سلوك محفوف بالمخاطر وارتكاب السائقين للأخطاء) وتشجيع استخدام طرق أكثر أمانًا. ومع ذلك، فمن المهم أن تُقدّم المعلومات في الوقت المناسب، بطريقة لا تتسبب في تشتت انتباه السائقين ويسهل فهمها أي: لا تكون معقدة أو غامضة.

يلخص الجدول (هـ -٩) الأهداف والمعدات والأدوات والنتائج والاعتبارات المتعلقة بالتحكم المروري. يتناول كود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) جوانب التصميم والمواصفات الخاصة بأنظمة مراقبة المرور.

الجدول (هـ-٩) التحكم المروري – (Summary (AUSTROADS, (2020c) – Table 3.9).

نوع التحكم	الأهداف	المعدات	الأدوات	مدى الفاعلية	الاعتبارات
ضبط المداخل إلى الطرق السريعة.	تحسين استخدام سعة الطرق السريعة من خلال تحسين عملية دمج المرور القادمة.	توفير إشارات المرور ومعدات التحكم عند مداخل المنحدرات. مرافق الحوسبة المركزية أو الميدانية. مراكز جمع بيانات المرور. لافتات الرسائل المتغيرة.	خوارزميات التحكم المحلية الفورية (على سبيل المثال: خوارزمية الطلب/السعة). خوارزميات تحكم مركزية منسقة.	زيادة السرعة على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة. انخفاض معدل استهلاك الوقود والتلوث الجوي. زيادة معدل السلامة على الخط الرئيسي.	تقنية فعالة للغاية تساعد على تشغيل الطريق السريع يجب إدارة اكتظاظ صف الانتظار الناتج عن دخول المنحدرات؛ للحد من تعطل حركة السير بسبب التحركات الشريانية. القبول العام وتعزيزه (للتوقف عند إشارة المنحدر). مخاطر حدوث اصطدامات خلفية عند دخول المنحدرات.
التحكم في السرعة.	تحسين استخدام سعة الطرق السريعة من خلال تهدئة السرعة (تحويل نقطة انهيار المرور، وانخفاض وتيرة وقوع الحوادث).	مراكز جمع بيانات المرور. لافتات الرسائل المتغيرة. مرافق الحوسبة المحلية أو المركزية.	خوارزميات خاصة لحساب السرعات المعروضة.	زيادة السعة الفعلية للطرق السريعة؛ الحد من الاصطدامات الخلفية.	يمكن ألا يؤدي التحكم في السرعة إلى زيادة السعة وقت الاختناقات المرورية. يسمح التحكم في السرعة بزيادة السعة الفعلية (الحد من الاصطدامات الخلفية).

نوع التحكم	الأهداف	المعدات	الأدوات	مدى الفاعلية	الاعتبارات
					يساهم التحكم في السرعة في توفير ظروف سلامة أفضل (يُنبَّه السائقون عند الاقتراب من صفوف الانتظار).
إدارة استخدام المسارات.	تحسين استخدام سعة الطرق من خلال تخصيص استخدام المسار بشكل فعال. قد يتضمن: فتح/إغلاق المسار. الإنشاء الديناميكي لمسارات الحافلات/المركبات ذات مشغولية إركاب عالية/مسارات الشاحنات. التشغيل الديناميكي للمسارات متغيرة الاتجاه.	مراكز جمع بيانات المرور. لافتات الرسائل المتغيرة. مرافق الحوسبة المحلية أو المركزية. نظام مراقبة المسارات متغيرة الاتجاه بالكاميرات.	أدوات دعم اتخاذ القرارات بشأن تخصيص المسارات. اتخاذ الإجراءات اليدوية عن بعد. التحقق من خلال كاميرات الفيديو.	الحد من الازدحام المتكرر. تحسين ظروف السلامة من أجل السائقين وموظفي الطوارئ (الاصطدامات وأعمال الطرق).	يُعد نشر أجهزة تغيير اتجاه السير في ظل ظروف تدفق المرور أمرًا بالغ الأهمية، ولكنه قابل للتطبيق، خاصة بمساعدة مراقبة الفيديو.
التحكم التكيفي في إشارات المرور.	تحسين استخدام سعة شبكات الطرق الحضرية. توفير خدمات محددة للأساطيل (النقل العام، مركبات الطوارئ).	مراكز جمع بيانات المرور. المستشعرات (الحلقات الحثية، الفيديو)؛ لقياس حجم المرور ومدى تشبعها عند التقاطعات. إشارات المرور، ومراقبيها، مرافق الحوسبة المركزية. مستشعرات للكشف عن المركبات الخاصة.	الخوارزميات سريعة الاستجابة للمرور المخصصة لحساب توقيتات إشارات المرور آنيًا في ظل الظروف الخالية من تشبع المرور. الإجراءات الإرشادية الخاصة لظروف تشبع المرور. خوارزميات تراعي المعلمات الجديدة المقاسة.	تقليل زمن الانتقال الإجمالية. زيادة معدل سرعة سير المركبات الفردية ووسائل النقل العام. انخفاض معدل استهلاك الطاقة والتلوث الجوي.	من المرجح أن يتدهور أداء أنظمة التحكم التكيفي في المرور إذا لم يتم حفظها بشكل صحيح. تقنيات التحكم المروري الموجودة في المدن قريبة من الوصول إلى أقصى قدر من فعاليتها. الخطوة التالية هي استراتيجيات إدارة الطلب من أجل تقليل زمن رحلات المركبات الفردية (التحول في وسائط النقل، وتغيير وقت الانطلاق) بوسائل مثل تسعير الازدحام، وتسعير مواقف المركبات، وفرض قيود على استخدام الطرق.
إرشادات المسار.	تحسين استخدام شبكات الطرق الشبكية من خلال التأثير على اختيار المسار في مرحلة اتخاذ القرار عن طريق لافتات الرسائل المتغيرة: نصائح الطرق التوجيهية من خلال	مراكز جمع بيانات المرور. لافتات الرسائل المتغيرة في مرحلة اتخاذ القرار على الشبكة.	خوارزميات لحساب زمن الانتقال المتوقعة و/أو توليد/محاكاة الاستراتيجيات.	فعالة للغاية في حالة وجود خلل كبير بين الطرق المتنافسة.	يحتاج تغيير مسارات المرور إلى وضع تنبؤات؛ لتجنب ظاهرة الانحراف الزائد. ويحتاج التحكم الديناميكي إلى تحديد الاستراتيجيات بما يتناسب مع الوقت الراهن بدلًا من اختيارها من بين

نوع التحكم	الأهداف	المعدات	الأدوات	مدى الفاعلية	الاعتبارات
	لافتات الرسائل المتغيرة.				الاستراتيجيات المحددة مسبقًا في حينها.

ه-١-٧-١ الإجراء الوقائي:

ينبغي أن تهدف الإجراءات الوقائية إلى ضبط الطلب على الانتقال عبر الطرق في الزمان و/أو المكان. ويمكن أن تشمل:

- التشغيل الروتيني للأنظمة؛ من أجل الحفاظ على ظروف المرور المثالية (على سبيل المثال: تتمتع أنظمة التحكم التكيفية في المرور بالقدرة على تأخير بداية الازدحام).
- واتخاذ بعض التدابير؛ لتحذير المستخدمين من صعوبات المرور المتوقعة (على سبيل المثال: الصعوبات الناجمة عن المرور خلال العطلات، والأحوال الجوية، والظروف الطبيعية أو الأحداث المخطط لها)؛ مما يتيح لمستخدمي الطرق الفرصة لتغيير توقيت انتقالهم، أو تعديل مسارهم أو إلغاء رحلتهم.

تتطلب الإجراءات الوقائية:

- القدرة (على سبيل المثال: الأنظمة) على التحكم المروري بطريقة تحافظ على الظروف المثالية.
- القدرة على التنبؤ باضطرابات المرور (سواء أكانت متقطعة أم متوقعة أم متكررة).
- خطط الاستجابة أو الطوارئ التي يمكن استخدامها في حالة وجود أي صعوبات متوقعة.
- نشر المعلومات المتعلقة بالإجراءات الوقائية على المستخدمين.

ه-١-٧-٢ الإجراء العلاجي أو التصحيحي:

الإجراء العلاجي أو التصحيحي ضروري للحد من مدى أو تأثير الاضطرابات التي تحدث بانتظام على الطرق الرئيسة، وذلك من خلال اتخاذ التدابير اللازمة؛ للحد من إمكانية الوصول لها وتحويل المرور إلى مسارات أقل ازدحامًا.

يتطلب الإجراء التصحيحي ما يأتي:

- وضع **خطط إدارة المرور** بالتعاون مع الشرطة ومشغلي الطرق التي تحدد، لكل نوع من أنواع الاضطرابات المتوقعة استراتيجية العمل، وتحدد قواعد بدء اتخاذ التدابير المقرر تنفيذها عن طريق الخدمات المعنية.
- استخدام **نظام دائم أو مخصص؛ للكشف والمراقبة** عن أحوال تدفقات المرور: من خلال جمع البيانات وتركيزها ومعالجتها بهدف تشخيص الوضع ومدى تطوره، وبدء تنفيذ تدابير إدارة المرور.
- نشر **فرق العمل التشغيلي؛** لوضع لافتات توجيهية وإغلاق منافذ الوصول في غياب الأنظمة الآلية، أو عندما يكون هناك حاجة إلى مراقبة ميدانية.
- **أنظمة معلومات مستخدمي الطرق في الوقت الحقيقي** بناءً على تعليمات الاضطرابات، أو المسارات الموصى بها.
- تنشيط الأجهزة لإدارة/معلومات الشبكة، مثل أنظمة المعلومات التي تستخدم لافتات الرسائل المتغيرة.

ه-١-٧-٣ معوقات التنفيذ:

ه-١-٧-٣-١ البنية التحتية لأنظمة النقل الذكية:

تتطلب تدابير أنظمة النقل الذكية في مجال التحكم المروري بنية تحتية أساسية يعتمد نوعها ومداها على النظام المقرر تنفيذه. بالإضافة إلى البنية التحتية للاتصالات. قد تكون هناك حاجة إلى عناصر مختلفة من البنية التحتية غير المادية، على سبيل المثال:

- البنية التحتية لمصادر البيانات وإدارتها:
- يمكن أن تكون هذه شائعة في وظائف مراقبة الشبكة (الجزء الفرعي هـ -١-٥).
- خريطة رقمية ونظام معلومات جغرافية للمساعدة على وضع خطط للمرور وتقييمها:
- نظرًا إلى أن فائدة هذا النظام لا تقتصر على وظائف المرور فقط؛ فيمكن ان يكون هناك مجال للتعاون مع الآخرين داخل، وربما خارج المنظمة لتطوير منصة مشتركة لنظام معلومات جغرافية واعتمادها.

كما تتطلب البنية التحتية لأنظمة النقل الذكية معالجة قضايا إدارة الطوارئ، واستعادة النظام بعد الكوارث. يحدد الجزء (هـ -٢) الاحتياجات والتقديرات الخاصة بمراكز إدارة المرور، ولكنها أيضًا ذات صلة بالبنية التحتية لأنظمة النقل الذكية الموجودة في الميدان.

ه-١-٧-٣-٢ الموظفين:

يتطلب تشغيل ودعم أنظمة النقل الذكية موظفين يتمتعون بمهارات رفيعة المستوى أعلى مما كان عليه الحال في السابق. يشكل توظيف ذوي المهارات المطلوبة والاحتفاظ بهم تحديًا.

هـ-١-٧-٣-٣ الحفاظ على تهيئة النظام:

تتطلب العديد من أنظمة النقل الذكية جهدًا كبيرًا في تهيئتها للعمل على النحو الأمثل، ويلزم إجراء مراجعة منتظمة لبيانات التهيئة؛ لضمان استمرار نظام العمل على النحو الأمثل في مواجهة بيئة المرور المتغيرة.

وتعد أنظمة التحكم التكيفي في المرور مثالًا على ذلك. ورغم أن أنظمة التحكم التكيفي في المرور يمكن أن توفر فوائد كبيرة مقارنة بالأنظمة التي تعمل خلال فترات زمنية محددة؛ فمن المحتمل أن يتدهور أداء أنظمة التحكم التكيفي في المرور إذا لم تُضبَط بشكل صحيح.

هـ-١-٨ الوسائل المساعدة للانتقال ومعلومات المستخدمين:

تغطي الوسائل المساعدة للانتقال جميع التدابير؛ لنشر المعلومات التنبؤية أو الحالية عن ظروف المرور وتحسين الظروف العامة لاستخدام الشبكة. وينبغي أن يأخذ التواصل الفعال ونقل المعلومات في الحسبان جميع تقديرات السلامة الضرورية.

ولا تهدف تدابير الوسائل المساعدة للانتقال إلى تعديل تدفقات المرور بشكل مباشر. ومع ذلك، عند استخدامها لأغراض إعلامية؛ ينبغي تنسيقها بشكل وثيق مع تدابير إدارة المرور؛ لأنها يمكن أن تحث المستخدمين على تغيير وقت سفرهم أو مسارهم. كما يمكنها حث المستخدمين على تغيير وسيلة الانتقال. وفي هذا السياق، يمكن دمجها في استراتيجيات أوسع نطاقًا ذات صلة بإدارة الطلب.

ينبغي أن يكون الهدف المشترك لكافة خدمات معلومات المتنقلين هو توفير معلومات تفصيلية عالية الجودة في حينها بشأن ظروف تشغيل نظام النقل، مثل الطقس؛ بحيث يمكن للمسافرين اتخاذ قرارات مدروسة بشأن ما إذا كان من المفترض القيام بالرحلة، وموعدها، والوسيلة التي يجب الانتقال بها، وأي مسار يجب أن يسلكوه. وينبغي أن تكون المعلومات الخاصة بالمتنقلين متاحة قبل أن يبدأ المتنقل أي رحلة، وكذلك في أثنائها، بحيث يمكن إجراء تعديلات لتعكس الظروف التشغيلية المتغيرة. ويمكن تقديم المعلومات الخاصة بالمتنقلين بعدة طرق. وترد مناقشتها فيما يأتي: يمكن الاطلاع على مزيد من الإرشادات عن التدابير والأنظمة الموجهة بشكل خاص إلى مستخدمي الطرق في الجزء الفرعي (هـ -٦-٥).

ويتطلب توفير المعلومات في أثناء الانتقال دراسة متأنية؛ للتأكد من أنها تعزز سلامة مستخدمي الطرق. ومن المحتمل أن تؤدي الرسائل المعقدة والواجهات السيئة إلى تشتيت انتباه السائقين عن مهام القيادة الهامة، عندما يكون اتخاذ السائق لأي إجراء ضروريًا، وتزيد من أوقات رد الفعل والاستجابة. وهناك عدد متزايد من أنظمة دعم السائقين التي يمكن إدخالها على شبكات الطرق وداخل المركبات ومن الضروري أن تُؤخذ مسائل تحقيق التكامل والتعاون المشترك في الحسبان. هناك مزيد من المعلومات عن هذه الأمور موضحة في الجزء الفرعي (هـ -١-١١).

هـ-١-٨-١ المعلومات التنبؤية:

تتعلق المعلومات المبنية على التنبؤات بتوقعات حالة المرور العامة والأحداث الرئيسة المخطط لها أو الاضطرابات الأخرى المتوقعة. ويمكن أن تكون بصفة أسبوعية أو يومية أو على مدار الساعة. ويتطلب تنفيذ نظام لإدارة المعلومات التنبؤية ونشرها ما يأتي:

- **تجميع المعلومات** في الوقت الحقيقي بشأن أحوال الشبكات (المرور والطقس)، والإجراءات المجدولة (أعمال الطرق والأنشطة) ,
- **بث نشرات إعلامية منتظمة** من خلال وسائل الإعلام الوطنية أو المحلية (الإذاعة والصحف والتلفزيون)، أو مرافق إعلامية محددة خاصة بالطرق (الأكشاك، خدمة الاستفسار الهاتفية، الإنترنت).

هـ-١-٨-٢ المعلومات في الوقت الحقيقي:

تتعلق المعلومات في الوقت الحقيقي بظروف المرور والاضطرابات غير المتوقعة التي تؤثر في سائقي المركبات على طريق ما. وتتطلب ما يأتي:

- نظام دائم لاكتشاف أحوال تدفق المرور ومراقبتها.
- أنظمة المعلومات الآنية باستخدام لافتات الرسائل المتغيرة المركبة على طول الطريق.

ويشمل أيضًا توفير المعلومات لمقدمي خدمات معلومات المرور الخاصة بأنظمة الملاحة والتوجيه وغيرها من خدمات التنبيه المخصصة الخاصة بالمرور.

هـ-١-٨-٣ المعدات المتنوعة:

يمكن تقدير خدمات الوسائل المساعدة للسفر ومعلومات المستخدمين؛ لتشمل أيضًا المرافق التقليدية المصممة لتحسين مستوى خدمة مستخدمي الطرق، مثل لافتات الاتجاهات الثابتة وغيرها من اللافتات، والمناطق المخصصة للاسترخاء.

ه-١-٨-٤ الأساليب:

ه-١-٨-٤-١ الإنترنت:

أصبح الإنترنت وسيلة شائعة جدًا لنقل معلومات المتنقلين قبل بدء الرحلة. وتدعم العديد من جهات الطرق الدولية موقعًا إلكترونيًا للمرور و/أو أحوال الطرق. ويمكن أن توفر بعض الأنظمة للمشتركين خيار تلقي التنبيهات عن طريق البريد الإلكتروني، أو غيرها من الوسائل الإلكترونية بشأن الحوادث الكبرى أو ظروف بعض الطرق المحددة.

ه-١-٨-٤-٢ وسائل البث الإعلامي التجارية:

يمكن أن تكون وسائل البث الإعلامي التجارية، مثل الراديو والتلفزيون، وسائل ممكنة؛ لنشر المعلومات قبل بدء الرحلة. ويمكن أن توفر جهات الطرق المعلومات الأساسية في كثير من الأحيان إلى مقدمي الخدمات التجارية الذين يمكن أن يكون لديهم مصادر معلومات خاصة بهم.

وفي بعض الأنفاق الرئيسة، يمكن توفير أنظمة تمكن المشغلين من تجاوز البث الإذاعي على جميع الترددات المستخدمة عادةً مع بث رسائل تحذير بشأن الظروف في النفق.

ه-١-٨-٤-٣ لافتات الرسائل المتغيرة:

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة لنشر المعلومات الخاصة بالمتنقلين في أثناء سيرهم في جميع المواقع تقريبًا؛ حيث يوجد أيضًا مراقبة إلكترونية للمرور. وينبغي وضع هذه اللافتات عادةً قبل حدوث الاختناقات المرورية الرئيسة أو مراحل اتخاذ القرارات ويمكن أن تعرض معلومات تفصيلية إلى حد ما حول موقع الازدحام ونطاقها وزمن الانتقال والمسارات البديلة المتاحة وظروف الطقس عكس التيار.

ه-١-٨-٤-٤ إذاعة الطرق الإرشادية:

يمكن استخدام إذاعة الطرق الإرشادية، التي تعتمد عادةً على البث المحدود لإذاعة (FM)؛ لتوفير معلومات عن السير والمرور الخاصة بالمنطقة المحلية حول جهاز الإرسال.

ه-١-٨-٤-٥ السير على الطريق عبر أنظمة الملاحة المزودة في المركبات:

تستند المعلومات المتعلقة بالسير على الطريق التي توفرها أنظمة الملاحة المزودة في المركبات إلى الاتصالات الإذاعية (FM) التي توفر بعض المعلومات التي تعرض على نظام الملاحة المزود في المركبة. ويمكن نشر المعلومات التفصيلية المتعلقة بالسير على الطريق من خلال الإرسال من أجهزة الإرشاد أو الإذاعات الفرعية (FM) إلى الجهاز المزود في المركبة.

ه-١-٨-٤-٦ خدمات الرسائل:

يمكن تطبيق معلومات ما قبل الرحلة وفي أثنائها، المقدمة من خلال الاشتراك في خدمات الرسائل (مثل الهاتف المحمول).

ه-١-٨-٥ معوقات التنفيذ:

ينبغي أن تكون خدمات المعلومات الخاصة بالمتنقلين عالية الجودة مستمدة من بيانات عالية الجودة عن ظروف نظام النقل وأدائه. ولا يزال دمج البيانات بشكل فعال في معلومات مفيدة مستمدة من مصادر مدخلات مختلفة يمثل تحديًا كبيرًا لا بد من التغلب عليه إذا كانت خدمات المعلومات الخاصة بالمتنقلين تعمل بشكل فعال. وبالنسبة إلى الأنظمة التي تنشر المعلومات الخاصة بالمتنقلين تلقائيًا أو توفرها بطريقة أخرى بناءً على المدخلات الواردة من أنظمة مراقبة المرور، تعد موثوقية البيانات مسألة بالغة الأهمية. وهناك حاجة إلى وسائل آلية فعالة للتحقق البيانات الأولية، أو تصفيتها لضمان عدم نشر معلومات خاطئة أو مضللة.

من أجل تحقيق أقصى قدر من الاستفادة للمسافرين، يجب أن تكون المعلومات الخاصة بالمتنقلين متعددة الوسائط (الطريق والنقل الجوي)، وإقليمية (تتجاوز حدود الولاية القضائية) في نطاقها وتشمل معلومات عن الطرق السريعة والشوارع الحضرية، وكذلك مواقع مواقف المركبات وتوافرها. كما يهتم المتنقلون بالحصول على معلومات شاملة عن الرحلة ضمن استفسار واحد فقط.

ومن المهم الحفاظ على دقة المعلومات المقدمة وتداولها. على سبيل المثال: لن تكون المعلومات الواردة في لافتات الرسائل المتغيرة موثوقة إذا كانت الرسائل المعروضة تفتقر إلى الموثوقية، مثل: تداول المعلومات ودقتها ومدى صحتها. وهذا سيساعد على تحقيق الهدف الأساسي من النظام ولضمان الدقة، تتمثل إحدى المشكلات في الترابط بين مختلف المراكز التي تكون متباعدة إما من حيث الخدمات التي تقدمها أو مواقعها. ومن أجل تقديم خدمات سلسة للمستخدمين، يتطلب التكامل السلس بين مختلف المراكز معيارًا لمشاركة البيانات والتعاون بين مختلف الجهات المسؤولة.

ه-١-٩ إدارة الطلب:

يركز هذا الجزء الفرعي على إدارة الطلب فحسب، فيما يتعلق بالتشغيل المروري.

وينبغي أن تشمل إدارة الطلب في هذا السياق جميع التدابير التشغيلية التي تهدف إلى الحد من عواقب انخفاض مستوى الخدمة على أي طريق. ويمكن تحقيق ذلك من خلال اتخاذ عدة إجراءات مثل تحسين توزيع المرور مع مرور الوقت، أو تشجيع المستخدمين على تغيير وسائل النقل.

وينبغي دمج المهام التشغيلية المتعلقة بإدارة الطلب في سياسات التنقل متعدد الوسائل مع كون الطريق جزءًا منها. وينبغي أن تكون مرتبطة ارتباطًا وثيقًا ببعض إجراءات إدارة المرور ومكملة لها، على سبيل المثال: تلك المتعلقة بتقديم المساعدة لوسائل النقل العام على الطرق.

ومن منظور التشغيل المروري، ينبغي أن تكون المساهمة الرئيسة في إدارة الطلب من خلال توفير المعلومات اللازمة لمستخدمي الطرق التي قد تؤدي إلى تغيير وسيلة النقل أو توقيت الانتقال أو المسار. ويمكن توفير معلومات من هذا النوع، عبر وسائل الإعلام الموضحة في القسم الفرعي (هـ -١-٨-٤)، في معظم المدن. وهذا إجراء بسيط إلى حد ما يمكن تنفيذه بتكلفة منخفضة نسبيًا. وليس هناك تقييد في الأمر، والقرار متروك للمستخدمين.

هـ-١-٩-١ تغيير وسيلة النقل:

ينبغي أن يكون الهدف من تغيير وسيلة النقل هو تهيئة الظروف لزيادة استخدام وسائل النقل العام، من أجل الحد من تدهور مستوى خدمات الطرق. قد يكون هذا التراجع ناتجًا عن حدوث انخفاض مؤقت في السعة (بسبب أعمال الطرق -على سبيل المثال-، أو الازدحام على الطرق نفسها، أو داخل المناطق المشمولة بالخدمات).

أحد التدابير التشغيلية المحتملة هو تزويد المستخدمين بالمعلومات الآنية حول خدمات النقل العام ونقاط الانتقال (على سبيل المثال: مواقف المركبات واستقلالها ومحطات السكك الحديدية أو رحلات القطارات). يمكن تسهيل ذلك من خلال لافتات الرسائل المتغيرة أو أجهزة المعلومات المزودة في المركبة (على سبيل المثال: البث الإذاعي الشائع، أو نظام بيانات الراديو – قناة الرسائل المرورية أو أنظمة توجيه المسارات). هذه الإجراءات يمكن أن تكمل التدابير المتعلقة بتوفير الوسائل المساعدة للسفر وتقديم المعلومات الأكثر تقليدية لمستخدمي الطرق.

هـ-١-٩-٢ تسعير الطرق:

تُعرَّف عملية تحديد رسوم الطرق بشكل عام على أنها آلية تفرض رسومًا على مستخدمي الطرق مقابل استخدام طريق معين أو قطاع معين من شبكة الطرق. في هذا التعريف، لا تشمل عملية تحديد رسوم الطرق رسوم مواقف المركبات والضرائب المفروضة على الوقود والمركبات. يمكن أن تؤثر رسوم الطرق على اختيار المسار، واختيار وقت المغادرة، واختيار وسيلة النقل وتكرار الرحلات الاختيارية.

هـ-١-١٠ الإنفاذ:

تهدف معظم أنشطة وأنظمة الإنفاذ المرتبطة بالتشغيل المروري إلى تحسين ظروف سلامة الطرق. ومع ذلك، فإن فعالية عدد من التدابير المتعلقة بالتشغيل المروري غير المتعلقة بالسلامة (مسارات الحافلات وغيرها من المسارات ذات الأولوية، ومسارات المركبات ذات الاستيعاب المرتفع، والطرق المفتوحة، وضبط المداخل إلى الطرق السريعة، وتحصيل الرسوم الإلكترونية، وتحصيل رسوم الازدحام) تعتمد غالبًا على تدابير تنفيذ فعالة. رغم أن هذه ليست مهمة هيئة الطرق عادةً؛ إلا أنها عنصر حاسم يؤثر في نجاح بعض التشغيل المروري. من منطلق المصداقية، من المهم أن يُنظر إلى هذا التنفيذ على أنه دعم لعمليات تشغيل المرور وليس مجرد استخدامه سوى لزيادة الإيرادات.

تُعرَض أنشطة وأنظمة التنفيذ المرتبطة بالتشغيل المروري بشكل توضيحي في (هـ -١٠).

الجدول (هـ–١٠) إنفاذ القانون – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.10).

أنشطة التنفيذ	الأهداف	الأسلوب	المتطلبات	النتائج	الاعتبارات
كاميرات السرعة.	لاكتشاف الجرائم تلقائيًا وبالتالي ردعها.	أجهزة الاستشعار وكاميرات مراقبة السرعة، تكون إما ثابتة أو متنقلة: يمكن نشرها كجزء من نظام إدارة الطرق الحرة / الطرق السريعة يمكن أن تعمل بشكل دائم.	الدقة: مخرجات يمكن إثباتها في الميدان.	الحد من التصادمات. قد يساعد تحسين الامتثال على تدفق الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة السلسة وزيادة السعة الهامشية.	يتطلب الدعم العام والمصداقية تحديد الموقع وفقًا للمعايير المقبولة. التنسيق بين الأطراف، وخاصةً مع الجهة المنفذة. المسائل المتعلقة بالخصوصية
كاميرا الإشارة الحمراء.	لضمان الامتثال لإشارات المرور.	أجهزة الاستشعار والكاميرات الموجودة في إشارات المرور وأجهزة ضبط المداخل إلى الطرق السريعة: يمكن دمجها مع كاميرات مراقبة السرعة الثابتة.	الدقة: مخرجات يمكن إثباتها في الميدان.	الحد من التصادمات.	التنسيق بين الأطراف، وخاصةً مع الجهة المنفذة. المسائل المتعلقة بالخصوصية.
كاميرات مسارات الحافلات.	لدعم فعالية تشغيل مسارات الحافلات من خلال ردع غير مستخدمي الحافلات.	أجهزة الاستشعار: يمكن أن يكون قائمًا على الحلقات؛ لتوفير ملف التعرف على الحافلات يمكن أن يُتعرَّف على المركبات أو أرقام لوحاتها باستخدام الفيديو.	الدقة: مخرجات يمكن إثباتها في الميدان.	يضمن توافر المرافق للأغراض المقصودة. تشغيل الحافلات بشكل أكثر كفاءة.	تحديد الموقع بدقة؛ لزيادة الطول الذي يكون فيه الردع فعالًا المسائل المتعلقة بالخصوصية
إنفاذ المسارات المخصصة للمركبات مرتفعة الإشغال	لدعم فاعلية تشغيل المسارات المخصصة للمركبات مرتفعة الإشغال من خلال ردع المستخدمين غير المؤهلين.	الدليل: في وقت كتابة هذا الدليل لا توجد طريقة آلية للكشف عن إشغال المركبات بدقة كافية ويمكن أن اختبرت التطورات في مجال التنفيذ التلقائي الأدوات التي تحسب عدد ركاب المركبات من خلال استخدام تقنية الأشعة تحت الحمراء أو تلزم مستخدمي مسارات المركبات ذات مشغولية الإركاب العالية بتزويد المركبات بمعيد بث بطاقات الرسوم حتى الآن، التحديات التكنولوجية وغيرها من المسائل لديها تقنيات آلية محدودة من استكمال الدليل أو استبداله. التنفيذ.	مساحة مناسبة من الطريق تسمح بأنشطة التنفيذ دون إعاقة تشغيل مسارات المركبات ذات مشغولية إركاب عالية. قد يكون توفير أماكن مخصصة للتنفيذ ضروريًا.	يضمن توافر المرافق للأغراض المقصودة.	توافر مناطق لأنشطة التنفيذ أو إمكانية توفيرها.
مواقف المركبات.	لدعم التشغيل الفعال للطرق المفتوحة	الدليل: غرامات وقوف المركبات.	اتخاذ الترتيبات المناسبة لإدارة	يضمن توافر المرافق	المراقبة الفعالة؛ لتسهيل استشعار المركبات المتوقفة

أنشطة التنفيذ	الأهداف	الأسلوب	المتطلبات	النتائج	الاعتبارات
	ومسارات المركبات ذات مشغولية إركاب عالية.	مخططات جر المركبات المخالفة.	الغرامات ورسوم سحب المركبات. الأنظمة والإجراءات المخصصة لدعم استرداد الملاك للمركبات المجرورة.	للأغراض المقصودة. السعة القصوى المتاحة للطرق الرئيسة.	على الطرق المفتوحة أو مسارات المركبات ذات مشغولية إركاب عالية.

هـ-١-١١ التكامل والتعاون المشترك:

يمكن ألا يؤدي مجموع الحلول المثلى بشكل فردي إلى الحل الأمثل الشامل. ونظرًا لوجود العديد من الحلول التكنولوجية الممكنة لأي فئة من المسائل التشغيلية للشبكات؛ فإن التضارب بين الخدمات المختلفة يشكل خطرًا حقيقيًا. وبالإضافة إلى ذلك، في ظل التطور السريع للتقنية والخدمات، هناك دائمًا تطبيقات جديدة وأفضل تلحو في الأفق. يمكن أن يؤدي الضبط الدقيق لتطبيق واحد حديث في الوقت الحالي إلى التضحية بالقدرة على تطوير النظام في المستقبل. ويمكن تلخيص هذه المسائل على أنها مسائل التكامل والتعاون المشترك.

هـ-١-١١-١ التكامل:

هـ-١-١١-١-١ ضرورة التكامل:

تظهر ضرورة التكامل عند النظر في المشكلات التي قد تحدث من خلال متابعة الأنظمة أحادية الوظيفة.

هـ-١-١١-١-٢ مجموعات مماثلة من البيانات:

تعتمد خدمات معلومات المرور المختلفة على مجموعات مماثلة من البيانات. ويمكن استخدام بيانات حجم المرور وبيانات الحوادث وبيانات الطقس بطرق مختلفة بواسطة عدة خدمات متنوعة. وسيكون من غير العملي وربما من المستحيل بالنسبة إلى كل خدمة إنشاء بيانات المرور الخاصة بها من البداية. وعادةً ما يكون فصل جمع البيانات، وإنشاء نظام أساسي أو بروتوكول للاستخدام المشترك أكثر فاعلية؛ مما يسمح بالمشاركة بين الأنظمة المختلفة. وتسمح مشاركة البيانات التي تتيح التكامل بقدر أعلى من المرونة في الخدمات وزيادة تنوعها.

هـ-١-١١-١-٣ تجزئة الخدمات:

غالبًا ما يكون من الصعب بالنسبة إلى المستخدمين التعامل مع أنظمة أو خدمات منفصلة كلما انتقلوا إلى منطقة جديدة. وفي حين أن تشغيل الشبكة يهدف إلى تسهيل عملية التنقل؛ فإن تجزئة الخدمات قد تعيق هذه التنقل. ومن وجهة نظر المستخدم تُعد القدرة على استخدام نفس النظام والخدمات بسلاسة بين مختلف المناطق الجغرافية والولايات القضائية أكثر ملاءمة بكثير. إن النظام المصمم مع وضع هذا التكامل الأفقي في الحسبان يحسن بشكل كبير الاستفادة من الخدمات.

هـ-١-١١-١-٤ واجهة التفاعل بين الإنسان والآلة:

تتطلب العديد من الخدمات التي تعزز تشغيل الشبكة تفاعل المستخدم داخل المركبة، غالبًا في أثناء القيادة. وقد يؤدي عدم مراعاة الأنظمة الأخرى إلى مجموعة عشوائية من أجهزة العرض والإدخال المملوكة؛ لا سيما داخل المركبة. إن مخاطر تشتيت انتباه السائق أمر واقعي للغاية، وفي ظل زيادة عدد الواجهات داخل السيارة سترتفع مخاطر سوء الاستخدام والارتباك بشكل كبير. ويمكن أن يؤدي دمج الخدمات المختلفة أيضًا إلى دمج هذه الواجهات في نظام أكثر قابلية للاستخدام والفهم.

هـ-١-١١-١-٥ تكاليف التطوير:

تتطلب العديد من الخدمات عناصر مماثلة، مثل قنوات الاتصال، أو قاعدة بيانات جغرافية مشتركة، أو أنظمة الدفع. وإذا طُوّرت جميع الخدمات بشكل منفصل؛ فسيجب أيضًا تطوير هذه العناصر المماثلة واختبارها ونشرها بشكل منفصل، الأمر الذي يعد مضيعة للوقت ويستغرق وقتًا طويلًا.

هـ-١-١١-١-٦ التداخل بين الأنظمة:

يشكل التداخل بين الأنظمة مشكلة مهمة أخرى. وإذا أُختبرت الأنظمة المتكاملة وأُدخِلت في الميدان بشكل صحيح، من شأنها أن تقلل من هذه المخاطر من خلال التأكد من أن الخدمات المتكاملة تعمل معًا بشكل صحيح.

هـ-١-١١-١-٧ أساليب التكامل:

هناك عدة طرق ممكنة لتنفيذ عملية التكامل:

- النظام الشامل.

- التكامل بين الأنظمة الحالية.
- توحيد المواصفات.
- بنية النظام.

الجدول (هـ -١١) يلخص المسائل المرتبطة بكل منها.

الجدول (هـ–١١) قضايا التكامل – ملخص (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 3.11).

أسلوب التكامل	الأهداف	الأسلوب	المتطلبات	النتائج	المشكلات
تصميم نظام شامل.	من خلال تصميم كل شيء معًا، تجنب التكرار ومسائل التعاون المشترك.	التصميم العام.	الفهم الجيد للاحتياجات العامة. التنسيق الجيد بين الأطراف المعنية.	يوفر توحيد الخدمات، على سبيل المثال: تجنب التكرار.	الأمر يستغرق وقتًا طويلًا لتصميم نظام ضخم. مخاطر انخفاض القدرة على الصيانة، ومخاطر انخفاض القدرة على الترقية، وربما صعوبة التكيف مع الظروف الجديدة (هذه المسائل يمكن حلها من خلال التخطيط الجيد والنهج المعياري).
التكامل بين الأنظمة الحالية.	توسيع نطاق التغطية من خلال ربط أنظمة مماثلة في مناطق مختلفة.	إنشاء نظام واجهة مستخدم.	التنسيق الجيد بين الأطراف. مستوى معين من توحيد الخدمات.	إمكانية إنشاء خدمة سلسة واسعة النطاق زيادة المنافع.	يمكن أن يتسبب تنفيذ عملية التكامل بشكل سيء إلى تدهور الخدمات الحالية. كيفية تصفية المعلومات ذات الصلة من معلومات المنطقة الواسعة.
توحيد المواصفات.	ضمان قابلية التعاون المشترك بين العناصر والخدمات والمعدات.	أنشطة جهات توحيد المواصفات. عمليات السوق الفعلية.	الاتفاق بين الأطراف المعنية.	إتاحة تعدد الاستخدامات. توسيع الأسواق من خلال إتاحة المنافسة.	عملية بطيئة للغاية، وكثيرًا ما يصعب التوصل إلى اتفاقات. مخاطر المعيار الذي لا يستخدمه أحد.
بنية النظام.	ضمان صلابة الهيكل العام مع تعزيز التعاون المشترك.	أنشطة جهة توحيد المواصفات.	التعاون والاتفاق بشكل جيد بين الأطراف المعنية. إجراء عملية مراجعة جيدة تسمح بإمكانية التوسع.	إنشاء صورة واسعة. السماح بمختلف الابتكارات الجديدة التي تعمل وفقًا لمعايير الهندسة المعمارية.	عملية بطيئة للغاية، وكثيرًا ما يصعب التوصل إلى اتفاقات. مخاطر المعيار الذي لا يستخدمه أحد. احتمال حدوث مضاعفات مفرطة.

هـ-١-١١-١-٨ معوقات التنفيذ:

دمج الأنظمة المختلفة هو نهج فعال لعمليات الشبكة. ومع ذلك، هناك عدد من القضايا التي تحتاج إلى معالجتها (World Road Association, (2003)):

- التخطيط المستقبلي:
- يمكن أن يكون تحقيق التكامل كفكرة ثانية أمرًا صعبًا للغاية. بمجرد أن يُشغَّل أي نظام، يمكن أن ينطوي استبداله على مقاومة مالية ومؤسسية كبيرة. وإذا كان هناك أي إمكانية لدمج خدمات مختلفة في المستقبل؛ فينبغي أن تُضمَّن ضمن تقديرات مختلفة من البداية.

- بالإضافة إلى ذلك، فإن الجهود المختلفة لجلب المشغلين معًا والتوصل معهم إلى اتفاق سيستغرق الكثير من الوقت ويحتاج مشغلي شبكة الطرق إلى إتاحة الوقت لعملية المفاوضات هذه.
- فوائد قصيرة وطويلة المدى:
- النظام المتكامل يعني أنه يمكن أن يكون من الصعب تحسين تطبيق واحد، أو خدمة واحدة على المدى القصير. يمكن ألا تكون البروتوكولات العامة والموحدة هي الحل الأمثل لتلك الخدمة الخاصة. على سبيل المثال: إذا كان نظام تحصيل الرسوم الإلكترونية ضروريًا فقط لامتداد طريق واحد لرسوم المرور فيمكن ألا يكون من المنطقي التفكير في نظام وطني مشترك، الأمر الذي يتطلب نظامًا أكثر تعقيدًا. وينبغي أن تثبت أنها مفيدة على المدى الطويل، ولكن المدة المحددة قد تختلف من مكان إلى آخر، وفي المدى القصير، سيكون إدخال نظام تحصيل الرسوم الإلكترونية الجاهز أسهل وأرخص.
- سيكون أفق التخطيط مختلفًا بالنسبة إلى كل مشغل. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن قرار دمج نظام ما (أو عدم دمجه) سيتأثر أيضًا بهذا الأفق.
- المواصفات الحالية مقابل المواصفات الجديدة:
- في بعض الأحيان يمكن أن يثبت أن تنسيقات البيانات الحالية أو بروتوكولات الاتصال غير كافية. ومع ذلك، فإن إنشاء بروتوكول عام ومعياري أو إنشاء تنسيق لتبادل البيانات ليست مهمة تافهة خاصة لتطبيقات تشغيل الشبكة التي غالبًا ما تكون مهمة للغاية. ومن خلال دمج الخدمات المختلفة في بروتوكول اتصال واحد، -على سبيل المثال- سيكون للنظام نقطة فشل واحدة. ويجب أن يكون البروتوكول قويًا للغاية، وسيصبح الاختبار الذي يتطلب ضمان القوة صعبًا مع زيادة تعقيد هذا النموذج وأهميته. وفي بعض الحالات؛ فإنه من المنطقي التضحية بمستوى الخدمة من أجل تحقيق التكامل باستخدام معيار موجود ومثبت، بدلًا من محاولة إنشاء معيار مثالي.

ومن الواضح أن العديد من المسائل المتعلقة بالتكامل ليست تقنية بحتة؛ بل مؤسسية أيضًا. وفيما يخص المفاوضات بين المشاركين، وتقسيم العمل بين القطاعين الخاص والعام، ومسألة القبول؛ فقد أصبحت كلها مهمة للغاية في عملية اتخاذ المشغل للقرارات.

ه-١-١١-٢التشغيل المشترك:

تعريف التشغيل المشترك عند تطبيقه على أنظمة النقل الذكية هو ((World Road Association, (2003):

> قدرة أنظمة النقل الذكية على توفير الخدمات للأنظمة الأخرى، وقبول الخدمات من الأنظمة الأخرى، واستخدام خدمات أنظمة النقل الذكية المتبادلة بحيث تمكنها من العمل معًا بشكل فعال. وقدرة أنظمة النقل الذكية على تحقيق التشغيل المشترك عندما تُوفَّر خدمات أنظمة النقل الذكية بسلاسة في الزمان والمكان.

وقدرة أنظمة النقل الذكية على تحقيق التشغيل المشترك لها أهمية خاصة بالنسبة إلى مستخدمي الطرق ومشغلي شبكة الطرق. في الحالات التي تُقسَّم فيها المسؤولية التشغيلية بين فئات الطرق المختلفة. تشكل عملية التشغيل المشترك مشكلة محتملة.

ولكي تكون الخدمة قابلة لتحقيق التشغيل المشترك؛ ينبغي معالجة ثلاثة مستويات من عملية التشغيل المشترك:

- التشغيل المشترك التقني هو: قدرة الأنظمة الفرعية التقنية على التواصل مع بعضها البعض باستخدام واجهات وبروتوكولات الاتصال الموحدة. وتتمثل المسائل التقليدية في الطبقات المادية، وطبقات البيانات الخاصة بالبث الإذاعي.
- يتحقّق التشغيل المشترك الإجرائي عندما تستخدم الإجراءات المشتركة من قبل جميع مشغلي شبكة الطرق المعنيين ومن قبل مستخدميها. تتمثل القضايا النموذجية في قواميس البيانات المنسقة، أو واجهات التفاعل بين الإنسان والآلات.
- يتطلب تحقيق التشغيل المشترك التعاقدي اتفاقات بين مشغلي الشبكات بشأن بعض المسائل مثل: الإجراءات التشغيلية، ومستويات الخدمة، والمعاملات المالية، وأمن البيانات، وعمليات التنفيذ.

ه-١-١١-٢-١ أين يكون التشغيل المشترك ضروري؟

يشكل تحقيق التشغيل المشترك مشكلة خاصة إذا كان النظام يتكون من أنظمة فرعية ثابتة ومتنقلة. على سبيل المثال: ينبغي أن تكون الوحدات المدمجة في المركبات التي تسافر عبر الحدود، أو بين الولايات القضائية قادرة على التواصل مع المعدات الموجودة على جانب الطريق في مواقع جغرافية مختلفة. ويشكل التشغيل المشترك مشكلة كذلك عندما تتجاوز آثار عمليات الحركة حدود المناطق التي تقع تحت مسؤولية المشغلين المجاورين، وتحتاج إلى تبادل البيانات والمعلومات أو التحكم بها. وتتمثل المجالات ذات الأولوية للتشغيل المشترك في:

- **إدارة المرور ومراقبتها**: تتطلب إدارة المرور عبر السلطات القضائية تبادل معلومات المرور بين مشغلي الشبكات وإجراءات منسقة لإدارة الشبكة (على سبيل المثال: أين يريد مشغلو الشبكات المجاورون تركيز تدفق المرور، وكيف سيديرون الحوادث الكبيرة التي تؤثر في مشغلي الشبكات المجاورين).
- **معلومات المرور والمتنقلين**: ينبغي تنسيق البيانات المستمدة من العديد من المصادر المختلفة (مستشعرات المرور الموجودة على جانب الطريق، وبيانات شرطة المرور، واتصالات المستخدمين، ومراكز إدارة المرور) التي تنشر على المستعملين عن طريق عدة أنظمة مختلفة (لافتات الرسائل المتغيرة المركبة على جانب الطريق، والإذاعة، والإنترنت، وأجهزة الملاحة المزودة داخل المركبات) من أجل تجنب تضارب المعلومات المقدمة للسائقين. على سبيل المثال: ينبغي أن تكون هناك وسائل مناسبة متاحة للسائقين؛ للحصول على خرائط الطرق الرقمية من أجل ضمان سهولة توفير خدمات معلومات المرور والمتنقلين عبر الحدود.

- **تحصيل الرسوم الإلكترونية**: يتطلب الدفع المشترك الخاص بتحصيل الرسوم الإلكترونية للسفر عبر الامتيازات بعض الوحدات المزودة داخل المركبات القادرة على الاتصال بأجهزة الإرشاد الموجودة على جانب الطريق في محطات الرسوم. وتتطلب اتفاقيات بين مشغلي محطات الرسوم بشأن إجراءات التخليص.
- **إدارة الحوادث وحالات الطوارئ**: في حالات الطوارئ، ينبغي أن يكون المتنقلون قادرين على الاتصال بالخدمات بواسطة أجهزتهم الخاصة (الهاتف المحمول، ونظام الطوارئ المزود داخل المركبات) بغض النظر عن وجهات سفرهم، وينبغي أن تكون خدمات الطوارئ قادرة على العثور على المعلومات المهمة عن السيارة والناس والبضائع المحمولة بغض النظر عن مصدر المركبة. وفي حين أن شبكات الهواتف المحمولة، وأنظمة الطوارئ المزودة داخل المركبات ليست ضمن اختصاص وكالة الطرق؛ فإن مراكز إدارة المرور التي تديرها جهات الطرق ينبغي أن تكون قادرة على قبول المعلومات التي تتدفق من أنظمة المسؤولين.

ه-١-١١-٢-٢ تكاليف التشغيل المشترك وفوائده:

تتمثل العيوب المرتبطة بالتشغيل المشترك في:

- فقدان بعض استقلالية مشغلي الشبكة إلى جانب الإجراءات التي يمكن أن تستغرق وقتًا طويلًا؛ بسبب التفاوض بشأن المسائل الإجرائية والتعاقدية.
- في بعض الحالات، تكون المعدات أكثر تكلفة بسبب الاحتياجات الوظيفية الإضافية (مثل المعدات متعددة المواصفات الموجودة على جانب الطريق أو الوحدات متعددة المواصفات المزودة داخل المركبات).
- تكلفة الانتقال من الأنظمة غير القابلة للتشغيل المشترك إلى الأنظمة القابلة للتشغيل المشترك (مثل: تجديد الأنظمة القائمة التي لا تمتثل للمواصفات الجديدة).

وتتمثل فوائد التشغيل المشترك في:

- تحسين فاعلية إدارة مسائل التشغيل المروري عبر الحدود، على سبيل المثال: إدارة الحوادث.
- توفير المزيد من الراحة للمسافرين الذين يمكنهم استخدام معداتهم (المنزلية)، ووسائل الدفع الخاصة بهم عند الانتقال إلى السلطات القضائية الأخرى.
- توفير المدخرات لأصحاب المركبات بسبب تجنب الاضطرار إلى حمل أكثر من وحدة واحدة داخل المركبة للقيام بنفس الوظيفة.
- عروض أكثر تنافسية بسبب الأسواق المشتركة الكبيرة عندما يطلب مشغلو الشبكات بعض المعدات. المصادر المتعددة بدلا من بالمصادر الأحادية، على سبيل المثال: المعدات المخصصة لمراقبة إشارات المرور.

وثمة مسألة خاصة بالنسبة إلى جميع الأنظمة القابلة للتشغيل المشترك هي عدم تجهيز المستخدمين، أي المركبات التي ينبغي أن تستخدم خدمة ما، ولكنها غير مزودة بالمعدات المناسبة القابلة للتشغيل المشترك. إذا كان على مشغلي الشبكات ضمان عدم التمييز ضد المستخدمين غير المجهزين (مثل: المستخدمين المتنقلين بين المناطق ذات الأنظمة المختلفة)؛ فينبغي أن تقدم بعض الحلول لضمان اتخاذ إجراء يدوي لنفس الوظيفة.

ه-١-١١-٢-٣ كيفية تحقيق التشغيل المشترك؟

هناك ثلاث طبقات مؤسسية تشارك في عملية التشغيل المشترك.

- **الطبقة الحكومية والحكومية الدولية**: تنسيق أنظمة المرور على الطرق، وخاصة المتطلبات التقنية للمركبات والمعدات المزودة بداخلها مثل: تنسيق تعليم السائقين فيما يتعلق بواجهات التفاعل بين الإنسان والآلة
- **البنية والتوحيد القياسي**: العنصر الرئيس في عملية التشغيل المشترك هو التوحيد القياسي، ويفضل أن يكون ضمن إطار بنائي مشترك. ولن تستطيع الأنظمة الفرعية المختلفة أن تعمل فيما بينها لتنفيذ مهمة معينة إلا عندما تُوحَّد الواجهات. ينبغي أن تتضمن المواصفات إجراءات الاختبار بحيث يمكن للمشغلين اعتماد المعدات لاستخدامها بشكل متبادل.
- **الاتفاقات المبرمة بين مؤسستين تجاريتين**: تعمل شركات تصنيع المركبات وصناعة الأجهزة الإلكترونية معًا لفترة طويلة من أجل تطوير أنظمة التشغيل المشترك. ومع ذلك، هناك حالات تجارية تسيطر عليها مصالح تجارية قوية تساهم في استبعاد المنافسين من الدخول في نظام راسخ. جهات الطرق ليس لها أي دور سوى دورها التشجيعي في هذه الطبقة.

هـ-٢ أنظمة وإجراءات مراكز إدارة المرور:

هـ-٢-١ نظرة عامة عن مراكز إدارة المرور:

هـ-٢-١-١ دورها:

ينبغي أن يكون دور مركز إدارة المرور (يشار إليه بأشكال مختلفة باسم إدارة النقل، أو التشغيل المروري، أو مركز مراقبة المرور في مختلف الولايات القضائية) هو العمل كمحور للتركيز على ما يأتي:

- مراقبة شبكة الطرق.
- السيطرة على التشغيل المروري الجارية على الشبكة.
- التنسيق بين إدارة الحوادث وإدارة المناسبات الخاصة والمخطط لها.
- التحكم المروري على الشبكة من خلال أنظمة التحكم المتاحة لها.
- نشر المعلومات المتعلقة بالمرور على وسائل الإعلام ومقدمي الخدمات.

ينبغي أن يكون مركز إدارة المرور هو مركز تنسيق التقنيات المستخدمة في التشغيل المروري، ولا سيما الاتصالات، وتقنيات المراقبة والاستشعار المستخدمة في مراقبة الشبكة. تتكون الأنظمة المستخدمة في المركز الحديث من نوعين: تلك التي تدعم وظائف النظام مباشرة وتلك التي هي (عوامل تمكين) مثل الاتصالات وتحويل الفيديو ومعالجة البيانات وإدارة الأعطال. الشكل (هـ-١) يوضح غرفة التحكم في نظام إدارة المرور لمشروع توسعة طريقي أبو بكر الصديق والعروبة عبر قاعدة الرياض الجوية.

يمكن أن يكون لدى جهات الطرق تفويضٌ لإدارة التشغيل المروري التي تغطي الطرق السريعة، والطرق الرئيسة السطحية. ويمكن أن تكون في وضع جيد؛ لتقديم نهج متكامل للتشغيل المروري. من ناحية أخرى يمكن تقسيم مسؤوليات هذه الفئات من الطرق بين السلطات المحلية وجهات الطرق الحكومية مع وجود بعض الاتفاقيات المحلية المبرمة بغرض إدارة التنسيق.

عادة ما يكون لمشغلي الطرق ذات الرسوم مراكز التحكم الخاصة بهمالتي تتضمن بعض وظائف التشغيل المروري. علاوة على ذلك، غالبًا ما تحتوي الأنفاق الرئيسة أيضًا على غرفة تحكم مخصصة؛ مما يسهل تكامل أنظمة التشغيل المروري مع منافذ التهوية والاتصالات. في مثل هذه الحالات، يعد الاتصال، وتبادل البيانات والمعلومات بين الطرق ذات الرسوم أو غرفة التحكم في الأنفاق ومركز إدارة المرور الرئيس في المدينة أمرًا ضروريًا.

يمكن لا توفر المراكز التي تخدم المدن الصغيرة مجموعة كاملة من الوظائف؛ فمن الواضح أن هذا يعتمد على حجم الشبكة المشمولة ونشاط المرور عليها.

أساسًا، ينبغي أن يكون مركز إدارة المرور بمثابة آلية لتقديم الخدمات لخدمات دعم مستخدمي الطرق. إنه مصدر يمكن من خلاله إدارة استخدام شبكة الطرق من مكان واحد بشكل فوري.

وثمة اتجاه متزايد يتمثل في إدماج أنشطة عمليات النقل الأوسع نطاقًا في وظائف مراكز إدارة المرور الأكبر حجمًا. ويرجع ذلك بشكل كبير إلى التركيز المتزايد على الحفاظ على فاعلية عمليات النقل العام في مواجهة زيادة أحجام المرور العامة، ويتمثل دور مركز إدارة المرور في توفير مركز لإدارة المناسبات الخاصة. لهذا السبب، يمكن أن تدعم بعض مراكز إدارة المرور-على الرغم من تشغيلها من قبل جهات الطرق- عمل موظفي عمليات النقل العام بدوام كامل.



الشكل (ه–١) غرفة التحكم بنظام إدارة المرور لمشروع توسعة طريقي أبوبكر الصديق والعروبة عبر قاعدة الرياض الجوية (المصدر: Royal Commision for Riyadh City).

ه-٢-١-٢ المقياس:

سيعتمد حجم مركز إدارة المرور، ونطاق الأنظمة التي يدعمها، ومدى تعقيدها على نوع شبكة الطرق التي يديرها ونطاقها وكثافة استخدام المرور على الشبكة. يمكن أن تتراوح مراكز إدارة المرور بين:

- تباينت المراكز الكبيرة المبنية لهذا الغرض والتي تعمل على مدار ٢٤ ساعة يوميًا مع اختلاف مستويات التوظيف استجابة لمستويات الأنشطة وفترات ذروة المرور.
- بالنسبة إلى المدن الصغيرة، ثمة غرفة صغيرة مزودة بمحطات عمل تحت إشراف مشغل أو اثنين بدوام جزئي.

ه-٢-١-٣ الأنظمة:

تتكون الأنظمة التي تدعم تشغيل مركز إدارة المرور من نوعين:

- الأنظمة المتصلة مباشرة بوظائف المركز، مثل:
- مراقبة الشبكات.
- إدارة الحوادث.
- التحكم المروري.
- معلومات المرور.
- تمكين الأنظمة التي تدعم وظائف مركز إدارة المرور، مثل:
- الاتصالات.
- واجهة التفاعل بين الإنسان والآلة.
- التحكم بالفيديو لشبكة كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية.
- معالجة بيانات المرور.
- جدولة الأنشطة.
- إدارة الأعطال.
- إدارة الموقع الإلكتروني.
- قواعد بيانات المعلومات المتعلقة بالمكان والزمان والحدث والنقل والبنية التحتية.
- تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.

تبرز أعداد التطبيقات والأنظمة المدعومة وتنوعها الحاجة إلى وضع استراتيجية فعالة؛ لتحقيق التكامل بين الأنظمة الموجودة في مركز إدارة المرور. أحد عناصر هذه الاستراتيجية هو نظام مشترك لواجهة المستخدم الخاصة بمجموعة متنوعة من تطبيقات إدارة المرور المدعومة في مركز إدارة المرور. ينبغي أن يوفر نظام واجهة إدارة المرور واجهة مستخدم قائمة على

الخرائط قابلة للتهيئة من أجل تطبيقات برامج إدارة المرور، وتعرض معلومات من هذه التطبيقات مثل: حالة الموقع، وأجهزة الإنذار بحدوث خطأ، ومواقع الازدحام، وصور كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية، ووقوع الحوادث.

وفي المراكز الكبيرة، ينبغي النظر إلى وظائف إدارة المرور على أنها مهام بالغة الأهمية في الحفاظ على فاعلية تدفق المرور، وستكون الحاجة إلى خطط رسمية لاستعادة القدرة على العمل بعد وقوع الكوارث مسألة مطروحة؛ للنظر فيها. يمكن أن تشمل خطط التعافي من الكوارث، من منظور الأنظمة، النظر فيما يأتي:

- مدى أهمية النظام.
- الحاجة إلى التكرار (على مستوى الأجهزة، والأنظمة، والخدمات، والمستويات الوظيفية، ومستويات المرافق).
- الحاجة إلى التشغيل الآمن للأنظمة ذات البعد الأمني.
- اختيار مصادر الطاقة الاحتياطية:
- إمدادات الطاقة غير المنقطعة مع قدرة توليد احتياطية للأنظمة والمرافق الحيوية.
- بطارية احتياطية لأنظمة الطاقة المنخفضة.

لاحظ أن هذه التقديرات يمكن أن تنطبق أيضًا على المعدات الموجودة في الميدان.

هـ-٢-١-٤ الإجراءات:

تتطلب الأدوار المتعددة التي يتولاها مركز إدارة المرور، والطابع التشغيلي للأدوار الهامة على مدار الساعة مع ما يترتب على ذلك من اعتماد على التوظيف بنظام النوبات، ومجموعة الأنظمة الضخمة التي يحتاج الموظفون إلى الإلمام بها، وضع وصيانة مجموعة شاملة من الإجراءات الموثقة التي تغطي جميع الأنشطة. وينبغي أن يكون ذلك في كثير من الأحيان في إطار نظام رسمي لإدارة الجودة.

هـ-٢-٢ مراقبة المرور:

تُعد القدرة على مراقبة المرور محورًا لأي مركز لإدارة المرور. ستعتمد الأنظمة المستخدمة لتوفير هذه القدرة إلى حد كبير على أنواع الطرق الموجودة في الشبكة التي تُراقب.

وعلى الطرق الشريانية السطحية بجانب التقاطعات متماثلة المستوى التي يُتحكَّم فيها بواسطة أنظمة إشارات المرور واسعة النطاق. توفر أجهزة استشعار حلقة إشارات المرور القدرة على كشف المركبات؛ مما يتيح لبعض الأنظمة (مثل: النظام المروري التكيفي المنسق في سيدني وستريمز، وما إلى ذلك) تحديد مستويات ازدحام المرور في اتجاهات التقاطعات. الشكل (هـ-١) يوضح عرض النظام المروري التكيفي المنسق في سيدني لمستويات الازدحام.

يمكن أن يشير الازدحام الذي يحدث في وقت و/أو مكان غير معتاد إلى وقوع حادث.

وتوفر أجهزة الاستشعار القدرة على مراقبة الخط الأول على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة أو الطرق السريعة. على سبيل المثال: تتوفر أنظمة الاستشعار التلقائي عن الحوادث لتحليل بيانات جهاز الاستشعار وتحديد الحوادث المحتملة. يجب أن تكون المسألة الرئيسة بالنسبة إلى مشغلي مركز إدارة المرور هي التوازن بين وقت الاستشعار ومعدله ومعدل الإنذار الكاذب. سيشهد نظام الاستشعار التلقائي عن الحوادث التي ضُبِطت للكشف السريع مع وجود احتمال ضئيل (لفقدان) أي حادث ارتفاع معدل الإنذار. وبالتالي، فإن وسائل التحقق من الحوادث هي إحدى وسائل المساعدة الأساسية لأنظمة الاستشعار.

كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية هي أكثر تقنيات المراقبة انتشارًا وقدرةً على التحقق من الحوادث. وعادةً ما تُنشَر كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية المزودة بإمكانية التحريك والإمالة والتكبير والتصغير على طرق المرور الرئيسة، وعند التقاطعات الحيوية وفي المواقع الخطرة مثل الأنفاق. إن دور تلك الكاميرات في الاستشعار المباشر عن الحوادث محدود؛ ولكن دورها في التحقق من الحوادث أمر ضروري، ويمكن أن يكون مفيدًا في مراقبة التقدم المحرز في أثناء التحقيق في الحوادث وإخلائها -إذا كانت تقع بالقرب من موقع الحادث-.

ويمكن أن تكون كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية متصلة بشكل دائم، أو يمكن استخدام الاتصالات الهاتفية؛ لتوصيلها بالإنترنت فقط عند الحاجة. يمكن استخدام مجموعة من تقنيات الاتصال ذات النطاق الترددي المتغير، مع اختلاف جودة الصورة نتيجة لذلك.

هـ-٢-٣ المراقبة البيئية:

تتضمن الظروف البيئية التي تؤثر في تدفق المرور التي يمكن مراقبتها، ويمكن أن تتطلب تدخلًا في ظل الظروف المناخية القاسية، ظروف الطقس مثل الضباب والمطر والرياح، والظواهر الطبيعية مثل الفيضانات وحرائق الغابات. وتوجد تقنيات للكشف عن هذه الحالات لإبلاغ مركز إدارة المرور بحالات الإنذار. وتشمل أمثلة ذلك ما يأتي:

- نظام استشعار الضباب باستخدام لافتات الرسائل التحذيرية المتغيرة/لافتات السرعة الموصى بها.
- نظام استشعار الأمطار باستخدام لافتات الحد الأقصى للسرعة المتغيرة.
- نظام التحذير من الرياح الشديدة.
- أنظمة التنبيه الخاصة بالفيضانات المرتبطة بأنظمة النقل الذكية.

كما تُعد كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية أدوات مفيدة في مراقبة الظروف البيئية.

ه-٢-٤ دعم القرارات:

ينبغي أن تدعم أنظمة مراقبة الشبكة عملية اتخاذ القرار. إن مسؤوليات المشغل متنوعة مثل: مراقبة المعلومات المتعلقة بالمرور، والظروف البيئية، واتخاذ القرارات بشأن مدى خطورة الحوادث، واختيار الوظائف التشغيلية، وتحديد أولوياتها، والتواصل مع مجموعات التنسيق. ويجب إجراء هذه العمليات في فترة زمنية قصيرة استجابة لوقوع الحوادث؛ لذا فإن تكامل أنظمة مركز إدارة المرور مهم لدعم عمليات اتخاذ القرار.

ومن الأمثلة على تكامل الأنظمة ودعم عملية اتخاذ القرار داخل مركز إدارة المرور الأنظمة الآتية:

- معالجة بيانات المرور.
- التعامل مع الحوادث.
- التعامل مع الاستجابة.
- الأنشطة المجدولة.
- إعداد/مراقبة الأجهزة الخاصة بالطرق.
- وظائف التدبير الإداري.
- وظائف إدارة الأعطال.
- واجهة التفاعل بين الإنسان والآلة.

يمكن أن يسهل مركز إدارة المرور عملية اتخاذ القرار في حالة وقوع حادث من خلال تحليل المنطقة المتضررة وتحفيز استجابة المشغلين، والتي تتضمن عادةً تطبيق خطط استجابة محددة مسبقًا (على سبيل المثال: من خلال استخدام لافتات الرسائل المتغيرة ولافتات حد السرعة المتغير وكاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية).

ه-٢-٥ تقييم التشغيل:

ينبغي أن تدعم أنظمة مراقبة الشبكة مراقبة وتقييم وظائف التشغيل الأخرى. ينبغي مراقبة آثار الأنشطة التشغيلية وتقييمها؛ لتحديد الإجراءات الإضافية التي يمكن اتخاذها. يمكن أن يوفر تدفق البيانات الآنية من أنظمة التحكم والطرق السريعة بعض التعليقات المتعلقة بأحوال المرور بخصوص الإجراءات المتخذة استجابة للحوادث، ويمكن أن تسمح كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية بمراقبة مواقع الحوادث بصورة مرئية إذا كانت الكاميرات تقع بالقرب من الموقع. وبالتالي ينبغي الحفاظ على حلقة مغلقة من المعلومات التي تشمل المراقبة، واتخاذ القرارات، وتقييم الآثار الناتجة.

تفتح التطورات المستجدة في بيانات وحدة الاستكشاف ومستودعات البيانات والتحليلات فرصًا جديدة؛ للحصول على رؤى أفضل لأداء الشبكة. أحد الأمثلة على ذلك هو استخدام قارئ البلوتوث لمراقبة الازدحام غير المعتاد.

ه-٣ بيانات أنظمة النقل الذكية في عملية اتخاذ القرار:

ه-٣-١ الغرض:

الغرض من هذا الجزء هو تعريف سلطات المرور والممارسين بالأساسيات المتعلقة بجمع بيانات أنظمة النقل الذكية وتخزينها وتحليلها وتبادلها؛ لإدارة الأداء وتحسين عملية اتخاذ القرار. تمتلك جهات النقل وفرة من البيانات القائمة على المستشعرات المركبة على جانب الطريق، والتعهيد الجماعي وإنترنت الأشياء، وبيانات المركبات المتصلة، وبيانات النقل المجاور. يمكن أن تساعد الأساليب الحديثة لإدارة هذه البيانات ودمجها وتطبيقها على تطور جهات النقل؛ لتتحول عن اتخاذ القرارات المبنية على الخبرة والفهم إلى اتخاذ القرارات المستنيرة التنبؤية المثالية وحتى السلبية. يحدد هذا الجزء سياق الكيفية التي يمكن بها للبيانات الآنية والمحفوظة أن تحسن إدارة أنظمة النقل وعملياتها واتخاذ القرارات على نطاق أوسع على مستوى مؤسسات النقل.

ه-٣-٢ الأهداف:

يتضمن هذا الجزء الأهداف الآتية:

- تحديد مصادر أنظمة النقل الذكية ومحتواها والبيانات المرتبطة بها.
- بيان كيف يمكن لأنظمة النقل الذكية وتطبيقات البيانات ذات الصلة الإحاطة بالمشاريع والبرامج، والقرارات، والتشغيل الآني وتحسينها.
- فهم تطور التقنيات والأدوات التي تحول البيانات، مما يتيح للأفراد الوصول إلى المعلومات كلما دعت الحاجة إليها؛ بدلًا من انتظار تقرير سنوي أو شهري.
- إدراج بعض المبادئ لتنظيم البيانات الحديثة وإدارتها ولماذا كلاهما ضروريان؛ لتحقيق أقصى استفادة من البيانات.

ه-٣-٣ مقدمة:

جمعت أنظمة النقل الذكية بعض البيانات الآنية لمراقبة أنظمة النقل وتشغيلها من خلال أجهزة ميدانية ثابتة (على سبيل المثال: أجهزة استشعار المرور، وتحديد هوية المركبات الآلي، ومستشعرات البلوتوث، والمستشعرات البيئية، والكاميرات) في بداية الستينيات، مع أول مركز لإدارة المرور، وأجهزة كشف الحلقة الحثية، ولافتات الرسائل الديناميكية. وبعد ما يقرب من أربعة عقود، تطورت تقنيات استشعار أنظمة النقل الذكية وظهرت كعنصر أساسي في التشغيل المروري بالنسبة إلى معظم الجهات من خلال التقدم المحرز في مجالي الاتصالات ورسم الخرائط (Auer, et al., 2016). في عام ٢٠١٠، كان ظهور هذا الكم الهائل من البيانات مع تنوعها وسرعتها الفائقة ناتجًا عن تقنيات التعهيد الجماعي للأجهزة الميدانية المتنقلة والمركبات المتصلة وغيرها من التقنيات (على سبيل المثال: أداء إشارات المرور، تحديد موقع المركبة آليًا، مستشعرات الاحتكاك المتنقلة، الكاميرات المتنقلة، تطبيقات الهواتف الذكية، أجهزة الفحص الدقيق للمركبات، وسائل التواصل الاجتماعي، الأقمار الذكية). عند دمج هذه البيانات المتنوعة وتحليلها ومشاركتها بشكل فعال، يمكنها أن تساعد الجهات على تحسين التشغيل المروري وصيانة الأنظمة وسلامة المرور وتخفيف عبء العمل على المشغل والتأثيرات البيئية.

وحتى يكون الأمر واضحًا يمكن لمصدر بيانات واحد أن يفيد جوانب متعددة من جوانب التشغيل، وعلى العكس من ذلك، يمكن أن يؤدي تكامل مصادر البيانات المتعددة إلى تحويل جانب محدد من جوانب التشغيل البري أو التشغيل المروري العابر. بالنسبة إلى هذا الجزء، سيُستخدَم مصطلح (عملية اتخاذ القرارات المستنيرة المبنية على تحليلات البيانات) كمجموعة شاملة من التقنيات والتطبيقات والممارسات لجمع البيانات ودمجها وتحليلها وعرضها؛ لمساعدة الأفراد والجماعات على اتخاذ القرارات بثقة أكبر ودقة وإحكام وبساطة وسرعة وذات تأثير في الوقت المناسب.

ويحدد ما يأتي العنصر الزمني للبيانات: تعكس البيانات الواردة في الوقت الحقيقي المعلومات المحدَّثة عادةً في أقل من خمس دقائق، من الناحية المثالية مع تأخير زمني لبضع دقائق فقط من جمع البيانات إلى تصورها. يمكن تحديث البيانات الواردة في الوقت الحقيقي تقريبًا في حدود خمس إلى ثلاثين دقيقة مع تأخيرات زمنية تصل إلى ساعة واحدة. تعتمد القرارات في الوقت الحقيقي على البيانات الواردة في الوقت الحقيقي، وتستلزم عادةً استجابة سريعة في غضون دقيقة أو بضع دقائق. تستند القرارات المماثلة في الوقت الحقيقي تقريبًا إلى البيانات الواردة في الوقت الحقيقي تقريبًا. عادة ما تستغرق هذه القرارات وقتًا أكبر بين مراقبة البيانات والاستجابة لها. فيما يأتي استعراض ثلاثة أمثلة على البيانات وكيفية الاسترشاد بها في عملية اتخاذ القرار:

- **مقاييس أداء إشارات المرور الآلية:** يمكن الآن لمشغلي أنظمة النقل الوصول إلى بيانات أحداث وحدة المراقبة عالية الدقة لمراقبة وتحسين سلامة نظام الإشارات، وجودة المراقبة (مثال: تخصيص السعة أو الإجراءات الوقائية)، وجودة التعاقب (مثال: تحسين المسارات).
- **أنظمة إشارات المرور المستجيبة للحوادث:** من خلال دمج بيانات الحوادث وزمن الرحلات الواردة في الوقت الحقيقي من شراكة تطبيقات التعهيد الجماعي للملاحة مع بيانات مقاييس أداء إشارات المرور الآلية، يمكن لمشغلي مركز إدارة المرور تعديل الإشارات المرورية؛ لدعم توجيه المسارات حول أي طريق مغلق مؤقتًا بسبب وقوع أي أحداث مثل الاصطدامات الواقعة على الطرق (Effinger, 2020).
- **يمكن لمستشعرات الاحتكاك تحسين تشغيل الطرق الشتوية:** يمكن استخدام أجهزة الرادار الإلكترونية المثبتة في الجزء الخلفي من الشاحنات التابعة للهيئة لقياس درجة الحرارة، والاحتكاك، وبيانات الرطوبة الخاصة بالطرق، ومشاركة

البيانات في الوقت الحقيقي مع نظام دعم قرارات الصيانة الخاصة بالجهة. ويمكن للبيانات الواردة من الأجهزة تمكين عمال الصيانة من التركيز على قطاعات الطرق التي تحتاج إلى علاج بدلًا من معالجة قطاعات كاملة من الطرق.

هـ-٣-٤ مصادر البيانات وأنواعها:

يتطور مشهد البيانات لإدارة أنظمة النقل وتشغيلها من حيث قيام هيئة النقل العام بإنشاء البيانات والتحكم فيها إلى حيث قيام كيانات خارج هيئة النقل بالأمر ذاته. ويركز القسم الفرعي (هـ-٣-٤-١) على أنواع البيانات الواردة من مصادر مختلفة من خلال عدسة الاستخدامات الأوسع في عملية اتخاذ القرار. ومصادر البيانات المعروضة في القسم الفرعي (هـ-٣-٤-١) مصنفة في المجموعات الخمس الآتية:

- بيانات البنية التحتية الخاصة بأنظمة النقل الذكية التقليدية والحديثة.
- بيانات التشغيل المروري.
- بيانات التعهيد الجماعي.
- بيانات النقل المجاورة.
- البيانات الضخمة الحديثة وتقنيات المستشعرات.

ه-٣-٤-١ مصادر البيانات وأنواعها:

ه-٣-٤-١-١ بيانات البنية التحتية الخاصة بأنظمة النقل الذكية التقليدية والحديثة:

عادةً ما تخضع البيانات المستمدة من البنية التحتية الخاصة بأنظمة النقل الذكية لملكية جهات النقل والسيطرة عليها، وإن كان من المحتمل إدارتها باستخدام منتجات البائعين. في حالات البيانات التي يديرها البائعون، واجهت الجهات المحلية أو الوطنية في بعض الأحيان صعوبة في تغيير الموردين والأنظمة؛ بسبب الحجم أو التوافق أو آثار التعلم. يمكن أن تجد الجهات أيضًا صعوبة في تنسيق البيانات الواردة من بائع سابق مع مزود بيانات جديد.

تُنظَّم الكثير من البيانات، وتتناسب جيدًا في قواعد البيانات المترابطة؛ باستثناء بيانات الفيديو الرقمية (على سبيل المثال، كاميرات المراقبة أو رادارات لوحات الترخيص الآلية). تتطلب هذه الأنظمة تركيب التقنيات على جانب الطريق وصيانتها (إما مدمجة داخل الرصف أو فوق الطريق أو على طول جانب الطريق). تتطلب أيضًا اتصال المعلومات المستمدة من جانب الطريق بالقدرة المركزية على معالجة البيانات وتحليلها، عادةً من خلال خدمات الألياف أو الخدمات الخلوية.

البيانات المستمدة من مستشعرات المرور:

تشمل مستشعرات البنية التحتية التقليدية لأنظمة النقل الذكية أجهزة استشعار الحلقات، وأجهزة الاستشعار والاستشعار المغناطيسية، ومعالجات صور الفيديو، ومستشعرات رادار الميكروويف، وأجهزة رادار الليزر، ومستشعرات الأشعة تحت الحمراء السلبية، ومستشعرات المجموعة الصوتية، ومستشعرات بالموجات فوق الصوتية، بالإضافة إلى مجموعات من تقنيات الاستشعار.

وتقيس بعض أجهزة الاستشعار مباشرة مرور المركبة أو وجودها، بينما يستنتج البعض الآخر تدفق المرور وسرعتها بناءً على تحليل وتفسير البيانات الخوارزمية. وتقوم هذه المجموعة من المستشعرات عادةً بإنشاء بعض البيانات التي تشمل التاريخ والوقت وهوية المستشعر وموقع الطريق والاتجاه والسرعة والحجم والإشغال وتصنيف المركبات أو وزنها.

- عادةً ما تُجمَع بيانات المستشعرات على الفترات الزمنية الفاصلة بين عمليات جمع العينات (١٥ أو ٣٠ أو ٦٠ ثانية) وتجميعها على فترات فاصلة بمقدار دقيقة واحدة أو خمس أو خمس عشرة أو حتى ستين دقيقة.
- يمكن أن تكون بيانات المستشعرات، المخزنة عادةً في قاعدة بيانات ارتباطية، بحجم جيجابايت أو حتى تيرابايت اعتمادًا على الكيان (الوطني والإقليمي والمحلي) ومستوى تجميعها قبل الأرشفة.
- كانت بيانات المستشعرات المجموعة، والتي تملكها هيئة النقل، تدار -عادةً- في موقع العمل وتتاح إلكترونيًا بشكل مجاني، ولكن بشكل إجمالي فقط. ويتحول العديد من الجهات الآن إلى أنظمة إدارة البيانات المعتمدة على البائعين والتي تدمج التخزين والتحليلات.
- إن جودة هذه البيانات مرتبطة بقدرة الهيئة على اكتشاف انحرافات المستشعرات وإجراء إعادة ضبط روتيني في الوقت المناسب، وكذلك الحفاظ على مواقع المستشعرات الدقيقة.

في حين أن المستشعرات لا تزال الركيزة الرئيسة لمراقبة أحجام المرور؛ فإن العديد من الجهات بدأت في التحول إلى استكمال المستشعرات الخاصة بالبنية التحتية ببيانات أجهزة الفحص الدقيق للمركبات. عندما تُدمَج بيانات المستشعر مع بيانات جهاز الفحص الدقيق من خلال البائعين، يصبح الوصول والمشاركة مقيدين، وقد تحد مشكلات ملكية البيانات من استخدامها.

بيانات المستشعرات البيئية:

محطة الاستشعار البيئي هي المحور الرئيس لمجموعة من المستشعرات المتخصصة في قياس حالة الرصف (على سبيل المثال: درجة الحرارة، الجفاف، الرطوبة، الصقيع، درجة التجمد، التركيز الكيميائي)، سرعة/اتجاه الرياح، الترسيب/التراكم، درجة حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، وضوح الرؤية، مستوى المياه/الفيضانات، عمق الثلوج، الظروف الجوفية وغيرها. تتم معالجة البيانات المستمدة من محطة الاستشعار البيئي الميدانية من خلال اتصالات نظام معلومات الطقس على الطرق وأجهزته وبرامجه.

- يمكن أن تستعين العديد من الجهات الإقليمية والمحلية ببائعي القطاع الخاص؛ لإدارة بيانات نظام معلومات الطقس على الطرق وتصميمها من خلال الاتصالات والمعالجة الخاصة، مع تخزين البيانات عادةً في قاعدة بيانات ارتباطية.
- إن جودة هذه البيانات مرتبطة بقدرة الهيئة أو البائع على اكتشاف انحرافات المستشعرات وإجراء إعادة معايرة روتينية في الوقت المناسب. يشير الانحراف إلى التدهور التدريجي للمستشعر والعناصر الأخرى التي يمكن أن تجعل القراءات تتراجع عن حالة المعايرة الأصلية. عادةً ما يقوم مقدمو نظام معلومات الطقس على الطرق بتضمين بعض عمليات فحص الجودة والتحقق من صحة البيانات الأكثر تقدمًا، وإجراء بعض التصحيحات لمواجهة انحراف المستشعرات.

تغذي هذه البيانات قرارات الصيانة الاستراتيجية والتكتيكية فيما يخص الأحوال الجوية في فصل الشتاء. وبإمكان العديد من الجهات تطبيقها على الظواهر المناخية غير الشتوية مثل الأمطار أو الفيضانات أو الضباب. يمكن للجهات أيضًا استخدام هذه البيانات لاطلاع المتنقلين على المستجدات وفي استراتيجيات حد السرعة المتغير.

التعرف الآلي على المركبة والبلوتوث:

تستخدم تقنيات التعرف الآلي على المركبة وتقنيات البلوتوث شبكة من المستشعرات الموجودة على جانب الطرق لتقدير زمن الانتقال بين المستشعرات وعلى نطاقها. ويجمع كلا النظامين بيانات الموقع والوقت من الأجهزة التي تمر بالقرب من المستشعر لتقدير معدل زمن الانتقال وسرعة السير وأنماطه بين المستشعرات. ويتمثل الغرض الرئيس من تقنية التعرف الآلي على المركبة

في دفع رسوم المرور. وعادةً ما تعكس أجهزة قراءة التعرف الآلي على المركبة نقاط تحصيل الرسوم. ويمكن وضع أجهزة قراءة إضافية في موقع استراتيجي لتقدير زمن الانتقال بين أقصر القطاعات أو المسارات. وتتبع أجهزة كشف البلوتوث عنوان التحكم في الوصول إلى الوسائط الخاص بأجهزة السائقين.

- لا تتم مشاركة بيانات التعرف الآلي على المركبة عادةً بشكل مفصل؛ بسبب القلق بشأن معلومات التعريف الشخصية. بدلًا من ذلك، تُشارَك زمن الانتقال باعتبارها معدلًا. وبالمثل، فإن شركات البلوتوث لا توفر سوى إحصائيات موجزة ومعدلات بدلًا من توفير بيانات على مستوى المركبة.
- بالنسبة إلى كلا النظامين، تتدهور جودة تقدير زمن الانتقال مع انخفاض جهاز الاستجابة الخاص بالتعرف الآلي على المركبة أو مستشعرات البلوتوث على طول شبكة الطرق. على سبيل المثال: تعكس زمن الانتقال البالغ عشرين دقيقة للوصول إلى جهاز قراءة الرسوم الثاني أو مستشعر البلوتوث، زمن الانتقال منذ عشرين دقيقة.
- يمكن أن يؤدي تكرار الاتصالات الصادرة من مستشعر البلوتوث إلى نقطة معالجة البيانات المركزية إلى زيادة تدهور دقة توقيت المعلومات.
- يمكن استخدام بيانات التعرف الآلي على المركبة والبلوتوث في كثير من الأحيان؛ لمراقبة أداء النظام في الوقت الحقيقي وقد أُستخدِمت للكشف عن وقوع الحوادث المحتملة على طول الطرق الرئيسة. وفي ظل توسع استخدام الطرق ذات الرسوم، بدأ المشغلون في التحول إلى استخدام تطبيقات الهواتف الذكية؛ لدفع ومشاركة معدلات الرسوم. ويمكن أن تتيح التحليلات المحفوظة لبيانات الهواتف الذكية نماذج أفضل لتحديد رسوم الازدحام. ومع ذلك، فإن معظم نماذج تحديد رسوم الازدحام تعد ملكية خاصة.

مستشعرات قائمة على نظام تحديد موقع المركبة آليًا:

يعمل نظام تحديد موقع المركبة آليًا على تتبع المركبات (على سبيل المثال: الحافلات، ومركبات دوريات خدمات السلامة) عادةً باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع العالمي، ونظام اتصالات البيانات اللاسلكية. وتشمل البيانات التي أُنشئت -عادةً- بيانات المركبات والمشغلين والمسارات والأحداث (على سبيل المثال: وقت الوصول) وبيانات الموقع الجغرافي المكاني. بالإضافة إلى بيانات الموقع، يمكن للجهات جمع بيانات إضافية خاصة ببعض التطبيقات المحددة من خلال التطبيقات الموجودة في المركبات وأنظمة الاستشعار ذات القيمة المضافة. على سبيل المثال: بالنسبة إلى مركبات النقل العام، يمكن ربط بيانات تحصيل الأجرة، أو عدد الركاب أو حساب السرعة أو أوقات الوصول والمغادرة أو بيانات الإشارة ذات الأولوية بنظام تحديد موقع المركبة آليًا. ويمكن جمع البيانات مثل: درجة حرارة الرصف، ودرجة حرارة الهواء، ومعدل تطبيق المواد وأنواعه، وفحص المحرك، أو حتى صور كاميرات لوحة القيادة ونقلها من مركبات صيانة الطقس على الطرق. وتعكس المستشعرات ذات القيمة المضافة استراتيجية إنترنت كل الأشياء وحوسبة الحافة؛ حيث يتم إدماج المستشعرات في الأشياء المادية، وغالبًا مع المستشعر الذي يجمع بيانات الأداء وتصفيتها وتحليلها وتجميعها ونقلها لتوفير النطاق الترددي وتوفير المعلومات الواردة في الوقت الحقيقي.

- اعتمادًا على التطبيق، يمكن جمع بيانات نظام تحديد موقع المركبة آليًا؛ لاستخدامها في الوقت الحقيقي و/أو حفظها لاستخدامها على فواصل زمنية بالملي ثانية، من بضع ثوان إلى بضع دقائق.
- عادةً ما تُخزَّن بيانات نظام تحديد موقع المركبة آليًا باستخدام حلول قائمة على السحابة يتبناها البائعون؛ نظرًا لحجم هذه البيانات. بعض الجهات تقوم بتخزين البيانات المعالجة باستخدام قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية.
- لا تقترن مشكلات جودة بيانات نظام تحديد موقع المركبة آليًا عادةً مع بيانات الموقع الخاص بالنظام، إلا عندما يكون الشارع مكتظًا بالبنايات الشاهقة على كلا الجانبين. ويمكن أن يتسبب ذلك في تدهور إشارة نظام تحديد المواقع العالمي على الصعيد الميداني. وبالمثل؛ في المناطق الريفية والجبلية التي تفتقر إلى التغطية الخلوية الكافية (الفجوة في البيانات)، تُشكل جودة نظام تحديد المواقع العالمي مشكلة.
- غالبًا ما تلاحظ الجهات التي تستخدم نظام تحديد موقع المركبة آليًا وجود بعض التحديات في تثبيت المستشعرات ذات القيمة المضافة ومعايرتها؛ باستخدام إنترنت كل الأشياء، ومشكلات توافق البيانات واستردادها.

يمكن استخدام هذه البيانات على الفور في العمليات اليومية، مثل: التنبؤ بمواعيد وصول الحافلات ومشاركتها. ويمكن أن تدعم هذه البيانات العمليات الجارية في الوقت الحقيقي ودعم قرارات الصيانة. ويمكن تطبيق البيانات المحفوظة الخاصة بنظام تحديد موقع المركبة آليًا واقترانها بالمستشعرات لتحسين تحديد المسارات والالتزام بالجدول الزمني. يمكن دمج هذه البيانات مع بيانات النقل الأوسع نطاقًا لجعل اتخاذ القرارات السياسية والتخطيطية بناءً على اتجاهات الأداء.

الفيديو الرقمي في المرور:

تستخدم كاميرات التصوير المرتبطة بشبكة تلفزة دائرية مستشعرات بصرية لاستخراج المعلومات المتعلقة بالمرور من الفيديو. وتعد أنظمة كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية عنصرًا رئيسًا بالنسبة إلى مراكز إدارة المرور والأطراف المعنية بالاستجابة. كما يمكن لبيانات الفيديو أن تلتقط معلومات التعريف الشخصية، وتتجاوز تيرابايت من البيانات يوميًا، وبالتالي؛ فإن مقاطع الفيديو الخاصة بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية الثابتة لا تُخزَّن عمومًا، أو تخزن لمدة قصيرة جدًا (لمدة أسبوعين -مثلا-). ويمكن مراقبة مقاطع الفيديو الخاصة بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية من قِبل المشغلين، وغالبًا ما تُشارَك في الوقت الحقيقي مع المتنقلين والأطراف المعنية بالاستجابة.

ويمكن للجهات تركيب كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية المزودة بإمكانية التحريك والإمالة والتكبير والتصغير على مركبات دوريات خدمات السلامة، مع إمكانية بث مقاطع الفيديو (Pack, et al., 2019). كما يمكن أن توفر

الجهات للجهات المعنية بالاستجابة (مثل: إنفاذ القوانين أو إطفاء الحرائق أو الخدمات الطبية في حالات الطوارئ) منصات لمشاركة مقاطع الفيديو عالية الدقة، التي تختلف عن مقاطع الفيديو العامة ذات الجودة المنخفضة. ويمكن أن تساعد هذه المقاطع الأطراف المعنية بالاستجابة في إجراء جولة بالكاميرات في داخل الموقع قبل الاستجابة؛ بغرض فهم الوضع بشكل أفضل، واتجاه منهجية التعامل، واحتمالية الحاجة إلى موارد إضافية. وهذه أمثلة على مشاركة البيانات بدون حفظها.

ويمكن معالجة الفيديو باستخدام تحليل الصور لاتخاذ القرارات في الوقت الحقيقي، وحفظ البيانات لتحليلات اتجاه المسار. على سبيل المثال: يمكن تحليل الفيديو للكشف عن الحوادث المحتملة، والقيادة في الاتجاه الخاطئ، والسرعات البطيئة/الازدحام، أو المشاة الموجودين على الطريق وتنبيه المشغلين بها. كما يمكن لتحليلات الصور جمع البيانات، مثل: تعدادات المركبات (وقوف المركبات أو المرور المتحركة)، وحركات الانعطاف، وأنواع المركبات (شاحنة، سيارة، دراجة، مشاة)، وأكثر من ذلك ((City of Bellevue, Washington (USA) and Microsoft Corp (2019), TrafficVision (2015)). ويُعد مجال تحليل الصور مجالًا كبيرًا للنمو باستخدام الذكاء الاصطناعي، وبشكل أكثر تحديدًا، التعلم المتعمق، والذي نوقش بشكل أكبر في الجزء الفرعي (هـ -٣-٥). ويعتقد أن أقدم مثال على معالجة الصور هي أنظمة قراءة لوحات المركبات آلياً.

كما تتطابق هذه الأنظمة مع الصور في مستشعر موجود في اتجاه المسار؛ لتقدير زمن الانتقال ومساراتها. ويحل البلوتوث وغيره من التقنيات منخفضة التكلفة محل استخدام جهاز قراءة لوحات الترخيص الآلية، ولكن لا يزال هذا الجهاز يستخدم لإنفاذ القانون (على سبيل المثال: استشعار المركبات المسروقة أو انتهاك الرسوم)، وتعدادات مواقف المركبات، وإنفاذها (Rotenberg, (2014), Zmud, et al., (2016)). ومن العناصر الحديثة المكملة للدوائر التلفزيونية المغلقة أنظمة الطائرات دون طيار، التي غالبًا ما تسمى الطائرات المسيَّرة.

بيانات إشارات المرور:

تختلف كفاءة نظام المرور وإمكانية اتصاله بشكل كبير، بالإضافة إلى وجود اختلافات في كمية البيانات وجودتها وتكرارها؛ لدعم جميع مستويات عملية اتخاذ القرار. وفي حال عدم توافر الإشارات الذكية، يستخدم مهندسو المرور بعض المستشعرات مثل الأنابيب الهوائية؛ لقياس أحجام المرور وتقدير حركات الانعطاف حسب الحاجة، بما كل ثلاث إلى خمس سنوات (Denney & Iteris, 2009). وعادةً ما تُجمَع البيانات المستمدة من هذه المصادر في غضون خمس عشرة دقيقة أو على مدار الساعة لبضعة أيام. كما يستخدم المهندسون بيانات زمن الانتقال من المركبات التي تسمى دراسات المركبات العائمة، والتي تعبر المسارات عادةً قبل تحسينات الإشارات وبعدها؛ لقياس التغيرات الطارئة على زمن الانتقال ومدة التوقف عند الإشارات. وغالبًا ما تُخزَّن أنواع البيانات القديمة هذه في جداول البيانات، وربما على جهاز حاسب محمول فردي بدلًا من أي خادم يمكن الوصول إليه من قبل المستخدمين الأوسع نطاقًا. وتستخدم بأداة النقل الوسيطة ذات أنظمة الإشارة التقليدية (غير التكيفية) أجهزة الاستشعار التي تُوضَع قبل الإشارات، عادةً لتوقيت الاستجابة للطلب، والذي يلتقط أيضًا بيانات أحجام المرور. ويمكن تخزين بيانات الأحجام واستردادها من وحدة تحكم إشارات المرور.

عادةً ما تجمع أنظمة التحكم التكيفي في المرور بيانات معدلات الطلب على المرور في الوقت الحقيقي؛ لضبط توقيت إشارات المرور؛ لتحسين تدفق المرور في أنظمة إشارات المرور المنسقة ((FHWA, (2012a). كما تستخدم هذه الإشارات مستشعرات متعددة النقاط؛ لتحسين حركات الانعطاف في أي تقاطع وعبر مجموعة من التقاطعات. وغالبًا ما تطبق أنظمة التحكم التكيفي في المرور النماذج الخاصة بالمرور لتحديد استراتيجيات الإشارات. وتحتاج أنظمة التحكم التكيفي في المرور إجراء الاتصالات ويمكن دمجها مع نظام إدارة المرور المتقدمة التابع للجهة. وهناك العديد من الموردين لأنظمة التحكم التكيفي في المرور، كما توجد البيانات عادةً داخل النظام (Stefanovic, 2010).

لقد ظهرت تقنية أنظمة مقاييس أداء إشارات المرور الآلية بين عامي ٢٠١٢ و٢٠١٦، ما يخلق قدرة عالية الدقة على تسجيل البيانات وتحليلها للبنية التحتية الحالية الخاصة بإشارات المرور (Lattimer, 2020). ومن خلال استخدام مقاييس أداء إشارات المرور الآلية، يمكن أن تتحول أنظمة الإشارات من إدارة قائمة على الشكاوى وحالات الطوارئ بشكل دوري لمدة تتراوح ما بين (٣-٥ سنوات)، إلى إدارة وقائية قائمة على الأداء. الشكل (هـ - ٢) يحدد مختلف الأجهزة والمستشعرات والاتصالات والبرامج اللازمة؛ لتقديم لوحات القيادة والتحليلات التي تدفع المشغل إلى اتخاذ القرارات بينما يلخص الشكل (هـ -٣) العديد من مقاييس الأداء عالية الجودة التابعة لمقاييس أداء إشارات المرور الآلية ((Curtis, (2016), Gotfredson, (2016)).



الشكل (هـ–٢) متطلبات النظام لمقاييس أداء إشارات المرور المؤتمتة (المصدر: Figure 7 – (USDOT-JPO, (2021).



الشكل (هـ–٣) فئات مقاييس أداء أنظمة إشارات المرور الآلية (المصدر: Figure 8 – (USDOT-JPO, (2021).

تتناول أنظمة البائعين ملفات البيانات الأولية (٠,١ ثانية من سجلات بيانات وحدة التحكم)، وتجمع البيانات في خانة تخزين مدتها خمس عشرة دقيقة من خلال المعالجة اللاحقة باستخدام مجموعة من خوارزميات المقاييس. يتطلب إعداد مقياس أداء إشارات المرور الآلية تقاطعًا تفصيليًا ومعلومات خاصة بالمستشعر بجانب خصائص الأنظمة، مثل تصحيح زمن انتقال البيانات لمستشعرات محددة أو حدود السرعة. مقياس أداء إشارات المرور الآلية ليس مستشعرًا، ولكنه نظام لدمج مراقبي المرور وبيانات مستشعر التقاطع الأخرى وإتاحة هذه البيانات من خلال منصات التحليلات لتعزيز قرارات إدارة الأنظمة المحسنة.

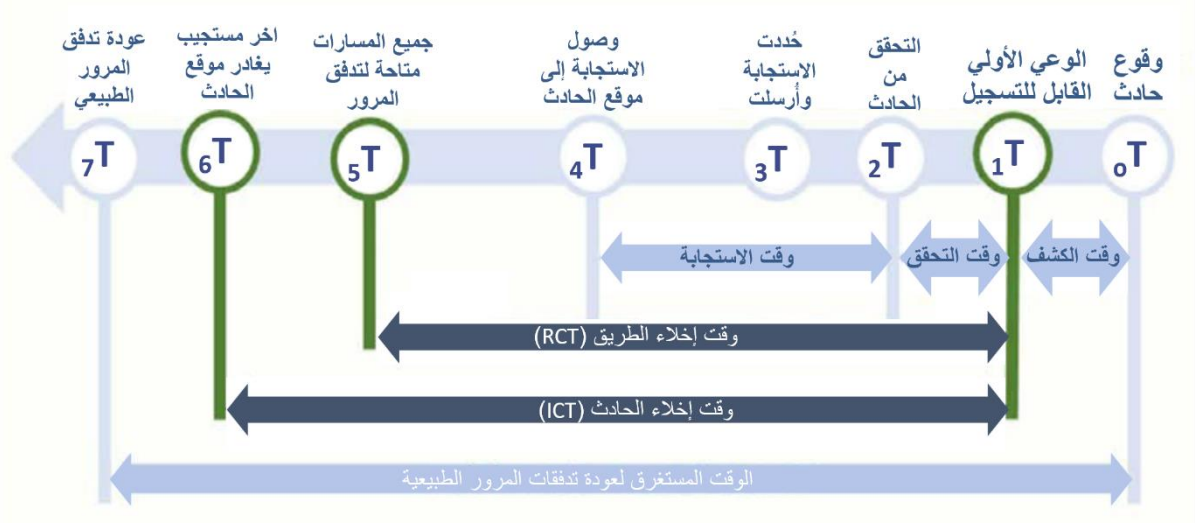
هـ-٣-٤-١-٢ بيانات التشغيل المروري:

تقوم مراكز إدارة النقل (المرور) بتوليد البيانات المتعلقة بعمليات نظام النقل. على سبيل المثال: قد يدخل مشغل مركز إدارة المرور بيانات خاصة بالحوادث، مثل الموقع والمسارات المحجوبة والمدة، والاستجابة المنشورة، وربما بيانات أخرى خاصة بالجدول الزمني للحوادث، كما هو موضح في الشكل (هـ -٤) (Jodoin, 2018). فمن الممكن عادة تخزين هذه البيانات داخل نظام إدارة المرور المتقدمة مع عناصر الإدخال اليدوية/الرصدية والتوليد الآلي للبيانات. وتجمع معظم الجهات عناصر الجدول الزمني (T1) و(T5)، لكن القليل منها تجمع كل عناصر الجدول الزمني السبعة، خاصة في المواقع ذات التوافر المحدود للمستشعرات، مثل كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية. كما تعمل بعض أنظمة إدارة المرور المتقدمة على تمكين المشغلين أيضًا من إدخال خانة اختيار الاصطدامات الثانوية (Pecheux, 2016). ويمكن تسجيل العديد من مكونات الجدول الزمني بشكل سلبي مع تناسق ودقة أكبر بكثير مع المركبات المزودة بأنظمة إدارة المرور المتقدمة الناضجة، وتحليلات الفيديو وتحديد موقع المركبة آليًا.

يمكن لمشغلي مراكز إدارة النقل تسجيل بيانات الاستجابة لدورية خدمة سلامة البيانات يدويًا (على سبيل المثال: العدد والموقع ومدة الاستجابة للحوادث حسب نوع الاستجابة). غالبًا ما تقوم دورية خدمة السلامة بتسجيل هذه البيانات من خلال منصة

متنقلة داخل السيارة أو من خلال سجلات ورقية. يمكن أن تُجمَع البيانات الخاصة بالموقع والطريق من خلال تحديد موقع المركبة آليًا لدورية خدمة السلامة، أو يمكن أن تكون متاحة فقط كسجل ثابت مخطط للطرق، وتكرار الخدمة حسب الوقت اليومي والمرفق.

سس



الشكل (ه–٤) مقاييس أداء إدارة حوادث المرور في الولايات المتحدة الأمريكية (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 9).

تُسجَّل العديد من بيانات قرارات العمليات الأخرى مثل لافتات الرسائل المتغيرة التي تشير إلى زمن الانتقال أو التحذيرات أو حد السرعة المتغير تلقائيًا من خلال نظام إدارة المرور المتقدمة. يمكن أن يقوم مركز إدارة المرور أيضًا بتسجيل تفعيل ومدة معدلات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة الديناميكية، والاستخدام الديناميكي للكتف بدوام جزئي وغير ذلك من الاستراتيجيات النشطة لإدارة المرور والطلب. وتعزز هذه البيانات المهيكلة وشبه المهيكلة والتي غالبا ما تكون مشفرة جغرافيا صقل الاستراتيجيات التشغيلية لإدارة المرور والطلب. فتختلف جودة واكتمال واتساق هذه البيانات باختلاف وظيفة ما إذا كان المشغلون يدخلون البيانات يدويًا أو تُشغَّل آليا من خلال الطوابع الزمنية لإجراءات المشغل.

ه-٣-٤-١-٣ بيانات التعهيد الجماعي:

بصفة عامة، التعهيد الجماعي هو: "ممارسة معالجة الحاجة أو المشكلة من خلال تجنيد خدمات عدد كبير من الناس من خلال التقنيات" .(Colyar, 2018) يمكن تحديد بيانات التعهيد الجماعي؛ للنقل على أنها بيانات جُمِعت من خلال موردي الفحص الدقيق للمركبات (على سبيل المثال، Google) وبيانات الهاتف المحمول وبيانات وسائل التواصل الاجتماعي.

- عادةً لا تخضع معظم البيانات المأخوذة من هذه المصادر، باستثناء التطبيقات المملوكة للهيئة، لملكية جهات النقل وسيطرتها. في الغالب تكون تلك البيانات عبارة عن منتجات الصندوق الأسود ذات مصدر محدود (غير واضح ما هي المصادر التي تولد البيانات) بجانب امتلاكها لقيود في الاستخدام والمشاركة.
- تُقدَّم بعض البيانات بصورة نشطة من قبل المتنقلين، بينما تُجمَع معظمها بشكل سلبي من المتنقلين.
- الكثير من تلك البيانات غير منظمة، ونصية بطبيعتها، وغير قياسية، ومتفاوتة من موجز بيانات إلى آخر.

تتضمن الأنواع الشائعة من البيانات المؤَلّدة من خلال التعهيد الجماعي: السرعة وزمن الانتقال والأحداث (على سبيل المثال: الحوادث، المركبة المتوقفة، الفيضانات)، حالة البنية التحتية (على سبيل المثال: انقطاع الإشارات، الحفر)، سلوك الانتقال (اختيار المسار، الوضع)، بيانات الثقة (على سبيل المثال: تصور الجهة، أو أداء الطريق) ((FHWA, (2019b). توفر الأقسام الفرعية الآتية تفاصيل خاصة بمجس المركبات، وتطبيقات الهاتف المحمول، وبيانات وسائل التواصل الاجتماعي.

بيانات مجس المركبة:

يقوم بائعو مجسات المركبات بتجميع البيانات باستخدام النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع للأسطول والسائق، وتحديد الموقع الجغرافي الخلوي والمستشعرات لأكثر من عقد لتوفير بيانات سرعة الارتباط في الوقت الحقيقي، وبيانات المنبع-المقصد المحفوظة. ففي بعض البلدان، يستخدم بائعو بيانات مجسات المركبات الآن بيانات المركبات المتصلة، ويوفرون حزم تحليلات، ويقومون بتحويل البيانات؛ لدعم اتخاذ القرار في الوقت الحقيقي من خلال المنبهات ومقاييس الأداء.

يمكن للجهات استكمال بيانات مجس المركبة ببيانات مستشعر البنية التحتية لأنظمة النقل الذكية. لمزيد من الدقة خلال زمن الانتقال وتقدير السرعة على الطرق السريعة والشريانية. شرعت بعض الجهات في سحب مستشعرات البنية التحتية لأنظمة النقل الذكية بين

التبادلات لصالح بيانات مجس المركبة مع الاحتفاظ بمستشعرات أنظمة النقل الذكية عند التبادلات لالتقاط بيانات حجم المرور ونوع المركبة.

بيانات الهاتف المحمول:

أصبحت أجهزة الهاتف المحمول (أي الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية) منتشرة في كل مكان هذه الأيام. فمن الممكن استخدام الهواتف الذكية في تتبع مسارات الشخص الذي يحملها؛ لا سيما وأن سعة البطاريات وكفاءة معالجات التطبيقات قد تطورت بشكل كبير، فقد أصبح من الممكن تسجيل موقع شخص بمستوى عالٍ من التردد. تستخدم الهواتف المحمولة إما تطبيقًا مثبتًا أو بطاقة وحدة تعريف المشترك للكشف.

جمع البيانات من خلال التطبيق المثبت:

يمكن للهواتف الذكية المزودة بنظام الملاحة العالمي عبر الأقمار الصناعية جمع بيانات الموقع تلقائيًا من خلال التطبيقات المثبتة. فيمكن أن تشمل البيانات التي وُلِّدت ونُقِلت من قبل مستخدمي التطبيق الموقع أو خصائص الرحلة (مثل: السرعة) أو وسيلة النقل (مثل: السيارة، أو النقل العام، أو المشي أو الدراجة). ويمكن للبيانات المستمدة من الهواتف المحمولة توفير المعلومات التي يمكن لجهات الطرق استخدامها لتطوير إدارة المرور، وكذلك التخطيط الحضري.

جمع البيانات من خلال وحدة تعريف المشترك:

يوجد عدد كبير من أجهزة الهواتف اللاسلكية المحمولة التي تسجل في الأبراج الخلوية أو الأنظمة الفرعية للمحطة الأساسية في أثناء الانتقال على طول قربها. يمكن أن يحتوي نمط تحركات هذه الأجهزة على معلومات رئيسة عن أداء شبكة النقل. يوجد طريقتان رئيستان لتحديد مواقع الهواتف المحمولة من خلال البنية التحتية للاتصالات السلكية واللاسلكية، أي تحديد المواقع النشطة وغير النشطة للهاتف المحمول.

تحديد الموقع النشط للهاتف المحمول هو: عملية يتم من خلالها تتبع الهاتف المحمول في الوقت الفعلي عن طريق استخدام قياسات من الشبكة. يمكن تحقيق ذلك عن طريق التثليث المساحي من خلال تفعيل برنامج (ping) للهاتف في الشبكة، والذي يشبه إجراء مكالمة هاتفية دون حدوثها حقيقة.

يقوم تحديد المواقع غير النشط للهاتف المحمول باستخراج البيانات الخاصة بالموقع التاريخي خارج الهاتف من ملفات سجل مشغلي الاتصالات. تتيح هذه الطريقة عرضًا طوليًا لجميع المشتركين. يعمل أي هاتف ذكي يُشغَّل كمستشعر يحمله الأفراد، كما يقدر الهاتف الذكي على جمع البيانات عن الحركات والأنشطة.

أ-١-١-١-٥-١ بيانات الشبكة الاجتماعية:

يمكن اشتقاق البيانات الضخمة المتعلقة بالشبكات الاجتماعية من وسائل التواصل الاجتماعي/ أدوات الشبكة القائمة على الإنترنت. وسائل التواصل الاجتماعي هي أنظمة قائمة على الإنترنت تنشر المعلومات للآخرين.

ه-٣-٤-١-٤ بيانات النقل المجاورة:

كثيرا ما تشكل البيانات التي تولدها كيانات عامة وخاصة خارج النقل قيمة كبيرة بالنسبة إلى عمليات النقل. تشتمل الأمثلة على البيانات المجاورة للنقل بيانات الطقس، وبيانات الإرسال بمساعدة الحاسب للسلامة العامة من أجهزة إنفاذ القانون أو مكافحة الحرائق أو بيانات الإبلاغ عن تعطيل إنفاذ القانون. تعزز البيانات من الأحداث المخطط لها مثل الحفلات الموسيقية أو الرياضات الاحترافية أو المهرجانات أيضًا من قيمة عمليات النقل. يناقش هذا الجزء الفرعي بمزيد من التفصيل تقارير التصادمات وبيانات الإرسال بمساعدة الحاسب وأنواع بيانات الطقس.

بيانات سجلات المرور الرسمية:

عادة ما تشتمل نظم بيانات سجلات المرور الرسمية (مثل سجلات التصادم للمركبات) على جميع بيانات السلامة المرورية وإدارتها وتحليلها. وتكمن فائدة هذه البيانات في التخطيط لإدارة حوادث المرور وسلامة المرور. يمكن أن تتضمن بيانات سجلات المرور الرسمية أنظمة بيانات مثل: التصادم والمركبة والسائق والطرق وحكم الاقتباس ورصد الإصابات.

بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب:

يمكن أن تستخدم جهات السلامة العامة (إنفاذ القانون ومكافحة الحرائق والإنقاذ والخدمات الطبية في حالات الطوارئ) أنظمة بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب لفهرسة الأنشطة وتنسيقها. وتمثل بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب مصدرًا لا يقدر بثمن لبيانات الحوادث في الوقت الفعلي بالنسبة إلى مشغلي مركز إدارة المرور؛ وذلك لأن معظم حوادث الطرق تُكتَشف لأول مرة من خلال مكالمات خدمات الطوارئ. فتدعم بيانات الإرسال بمساعدة حاسب استشعار الحوادث والإخطار بها والاستجابة إليها. تشمل حقول البيانات تسجيل دخول الموظفين/إيقافهم، واستشعار الحوادث المحددة زمنيا، وتعيين الموظفين الميدانيين وإجراءات المرسل وإجراءات الموظفين الميدانيين، مثل النص الحر. تتطلب معالجة هذه البيانات استخراج ومقارنة صفوف بيانات متعددة؛ نظرًا إلى أن بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب تُسجَّل باستخدام قاعدة بيانات الأحداث؛ حيث يرتبط كل صف بإجراء واحد. فتشمل البيانات المحددة لدعم عمليات مركز إدارة المرور أوقات استشعار الحوادث والتحقق منها، ونوع المستجيب وأوقات الوصول، ونوع الحادث وشدته، وأوقات إغلاق المسار وفتحه ووقوع التصادم الثانوي، وأوقات مغادرة مكان المستجيب (Pecheux, et al., 2019). فيما يأتي تقديرات للوصول إلى بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب:

- في بعض الأحيان تواجه الجهات صعوبات في ضمان وصول الأنواع الصحيحة من الحوادث (على سبيل المثال: حوادث الطرق وليس العنف المنزلي) وعدم إرسال معلومات يمكن التعرف عليها شخصيًا إلى مشغل مركز إدارة المرور.
- تختلف أنظمة بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب حسب البائع. ولديها صيغ ملكية أو مشكلات أخرى تمنع تصدير البيانات في الوقت الحقيقي. يمكن أن تحتاج الأنظمة جهودًا كبيرة في ترجمة البيانات. وبالتالي، يمكن أن تكون هناك ثغرات في عمليات جهات مختلفة في الوصول إلى بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب في بعض المناطق.
- هناك تكلفة مرتبطة بتصفية ومشاركة بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب. يمكن أن تكون المسؤولية المالية/عدم اليقين بشأن الحفاظ على موجز البيانات تحديًا كبيرًا.
- يمكن أن يمنع عدم وجود اتفاقية بين الجهات، أو سياسات مشاركة البيانات، أو عمليات أمن البيانات هيئة مزود بيانات الإرسال بمساعدة الحاسب من مشاركة هذه البيانات.

بيانات الطقس:

بالإضافة إلى نظام معلومات الطقس على الطرق التابع لجهة النقل، يمكن للمديرين الحصول على معلومات عن الطقس على الطرق من الكثير من المصادر. تشمل بيانات الطقس ما يأتي:

- مجالات الغلاف الجوي مثل درجة حرارة الهواء والرطوبة والرؤية وسرعة الرياح واتجاهها ونوع ومعدل هطول الأمطار والغطاء السحابي وحدوث الإعصار أو المجرى المائي والبرق وموقع خلية العاصفة ومسارها، وجودة الهواء.
- بيانات منسوب المياه.
- تتضمن مجالات الرصف درجة حرارة الرصف ونقطة تجمد الرصف، وحالة الرصف (مثل المُبلل والجليد والفيضان)، والتركيز الكيميائي للرصف، والظروف الجوفية (مثل درجة حرارة التربة).

يمكن أن تسترشد هذه البيانات بقرارات استباقية وفي الوقت الفعلي.

٥-١-٤-٣-ه البيانات الضخمة الحديثة وتقنيات المستشعرات:

تؤدي إتاحة الاتصالات منخفضة التكلفة والعديد من المستشعرات إلى إيجاد فرص جديدة لجمع البيانات وتحليلها واستخدامها، وهو أمر واعد للغاية من خلال التقنيات المتصلة (المركبات، والمتنقلون، والبنية التحتية)، وأنظمة الطائرات دون طيار والبيانات الناشئة الأخرى. هذه التقنيات، المصنفة على أنها ناشئة اعتبارًا من عام ٢٠٢٠، مختلفة من حيث الحجم والتنوع والسرعة، والمعالجة، والأمن والاستخدام. تعكف الجهات حاليًا على تطوير القدرة على الوصول إلى هذه البيانات والاستفادة منها، وهي بيانات تشتمل على إمكانات هائلة. سيجذب هذا الجزء الفرعي الانتباه إلى أنواع البيانات المتولدة من مصادر البيانات الناشئة.

بيانات المركبة والمتنقل والبنية التحتية المتصلة:

تستخدم المركبات المتصلة تقنيات الاتصال لمشاركة البيانات مع المركبات الأخرى والبنية التحتية للطرق والبنية التحتية السحابية بدون سائق نشط أو مدخلات ركاب. المركبات الآلية، التي تمتلك بعض جوانب التحكم (التوجيه والفرملة وما إلى ذلك)، مجهزة بعشرات المستشعرات (الرادار الجانبي، والسونار، ونظام تحديد المواقع العالمي، واستشعار الضوء، وتحديد المدى (الليدار (LIDAR)) والكاميرا، وتشخيص المحرك) والمعالجات الدقيقة لتخزين البيانات ونقلها. المتنقل المتصل هو الشخص الذي يستخدم جهاز محمول لتوليد ونقل بيانات الحالة، مثل موقع المتنقل، وخصائص الرحلة (على سبيل المثال: السرعة)، والوضع والحالة (على سبيل المثال: ركوب السيارة، وركوب النقل العام، والمشي، وركوب الدراجات)، ووقت المغادرة، واختيار الوجهة.

تُستخدَم البيانات من المركبات المتصلة والآلية بشكل روتيني في صناعة المركبات لخدمات التجار/الصيانة والترفيه، والخدمات أو الإعلانات القائمة على الموقع.

تعد مقاييس أداء إشارات المرور الآلية مثالًا على البنية التحتية المتصلة.

ويمكن أن يتخطى حجم البيانات التي تولدها المركبات المتصلة بسرعة التيرابايت في اليوم؛ ولذلك، فيما يتعلق بعمليات النقل والتخطيط، ينبغي أن يركز الوصول إلى بيانات المركبات المتصلة على أنواع واستخدامات محددة من البيانات.

بيانات أنظمة الطائرات دون طيار:

بناءً على مجموعة المستشعرات المضمنة في أنظمة الطائرات دون طيار؛ لتحسين التشغيل والإنشاء والتفتيش والسلامة، يمكن لأنظمة الطائرات دون طيار، التي تسمى عادةً الطائرات المسيَّرة، التقاط فيديو عالي الدقة بالإضافة إلى بيانات أخرى. وتستطيع أنظمة الطائرات دون طيار نقل البيانات في الوقت الحقيقي/أثناء التحليق، أو تخزين البيانات (بطاقة ذاكرة فلاش) للإرسال في ختام الرحلة.

تشمل حالات الاستخدام ذات القيمة العالية لدى أنظمة الطائرات دون طيار فحص الأصول والتحقيق في حوادث إنفاذ القانون والوعي بالحالة. كما أن استخدامات أنظمة الطائرات دون طيار آخذة في التوسع.

البيانات الناشئة الأخرى:

لدعم القرارات التشغيلية، يمكن لجهات النقل الوصول إلى مجموعة من البيانات الناشئة الأخرى.

تستطيع بعض المدن الوصول إلى البيانات المتعلقة برحلات شركات شبكات النقل؛ لتعزيز القرارات المتعلقة بالسياسات والاستثمار، خاصة لأنها تؤثر في التغيرات في الحركة واستخدام النقل. وبالمثل، يمكن أن تكون بيانات التنقل الدقيق متاحة للجهات؛ لدعم التشغيل ووظائف التخطيط المتعلقة بالإنصاف والسلامة، والاستخدام والآثار البيئية من الدراجات البخارية المشتركة والدراجات وحلول التنقل المشتركة الأخرى. من الممكن أن تتراوح البيانات من التركيبة الديموغرافية والاستخدام الزمني والمكاني وأطوال الرحلات إلى المدد وإمكانية الوصول. غالبًا ما تُقرّب البيانات، على سبيل المثال، تقريب وقت بداية ونهاية الرحلة إلى أقرب خمس عشرة دقيقة، (Chicago Metropolitan Agency for Planning (USA), 2019). يمكن أن تشمل أمثلة البيانات الأخرى بيانات خاصة بالإصابة أو كفاية وقوف المركبات أو حالة الإصلاح.

ه-٣-٥ تقنيات وأدوات تحويل البيانات وإبلاغ القرارات:

أولًا، يقدم هذا الجزء الفرعي إدارة الأداء، وكيف يوجه الاختيار ويستخدم البيانات والتحليلات.

بعد ذلك، يتغلغل هذا الجزء الفرعي في الفئات الواسعة من التحليلات المتاحة لتحويل البيانات إلى معلومات؛ لصنع القرار في الوقت الحقيقي والاستراتيجي. أغلبية المتخصصين في النقل على علم بمفهوم نماذج نضج القدرة. هناك الكثير من النماذج لنضج قدرات البيانات والتحليلات. ويُعد نموذج نضج تحليلات تحويل البيانات باستخدام الذكاء أحد هذه الأمثلة، والذي يصف النضج التحليلي العام للهيئة عبر التنظيم والموارد والبنية التحتية للبيانات والتحليلات والإدارة.

ويختتم هذا الجزء الفرعي بمناقشة عن أهمية فهم طبيعة ونوعية البيانات قبل استخدامها؛ لاستخلاص مقاييس الأداء، وخاصة قبل استخدامها للاسترشاد بها في اتخاذ القرارات.

ه-٣-٥-١ إدارة الأداء:

إدارة الأداء هي عملية ضمان تحقيق الأنشطة والمخرجات لأهداف المنظمة بطريقة تتسم بالفعالية والكفاءة. من الممكن للجهات، إن لم يوجد إطار لإدارة الأداء، أن تغرق بسرعة في البيانات والتحليلات المعقدة والكثير من مقاييس الأداء التي يمكن أن تكون مجتمعة متضاربة بطبيعتها.

ينبغي على جهات النقل أن تضع خط الأساس، وتضع أهدافًا لمقاييس أداء نقل معينة تتعلق بالرصفيات والأصول والتشغيل والشحن وتخفيف الازدحام وجودة الهواء. فعلى سبيل المثال: يُعرَّف أحد مقاييس الأداء المطلوبة- وهو مستوى موثوقية زمن الانتقال- بأنه نسبة زمن الانتقال (المئين ٨٠) لقطاع الإبلاغ إلى زمن الانتقال العادي (المئين ٥٠)، مع أهداف مختلفة المدة لأنواع مختلفة من الطرق ((FHWA, (2022i).

تُعد البيانات المتولدة من البنية التحتية لأنظمة النقل الذكية والمصادر ذات الصلة أساسية بالنسبة إلى مقاييس الأداء الوطنية والإقليمية والمحلية، ليس فقط لإدارة وعمليات نظم النقل في الوقت الحقيقي والاستراتيجي؛ ولكن أيضًا لإدارة الأصول على نطاق أكثر اتساعًا، وتخطيط الاستثمار، والقوى العاملة. على سبيل المثال: غالبًا ما تغذي البيانات الخاصة بالمرور والنسبة المئوية للمرور حسب فئة الوزن أدوات أنظمة إدارة الرصفيات للتنبؤ بحالة الرصف من الإصلاح وتقدير دورة الحياة. يستخدم مخططو النقل البيانات المتعلقة بالمنبع-المقصد ومسارات الانتقال لمعايرة النماذج والتحقق من صحتها للطلب المستقبلي وأداء الشبكة. من الممكن أن تؤثر البيانات المتعلقة بخطورة الظواهر الجوية القادمة على قرارات التوظيف.

وينبغي لجهات النقل أن تحدد مهمتها حسب الأهداف، وأهدافها حسب الغايات، ومقاييس وأهداف الأداء لكل هدف. مثال على ٢٠ مقياس أداء عبر خمس عشرة غاية وأربعة أهداف (السلامة، والموثوقية، والكفاءة، والتنسيق) لبرنامج إدارة أنظمة النقل وعملياتها، موضح في الجدول (هـ -١٢).

الجدول (ه–١٢) مقاييس أداء إدارة وتشغيل أنظمة النقل بوزارة النقل في أوهايو (الولايات المتحدة الأمريكية) (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 23 -adjusted).

المستوى	أهداف البرنامج	مقاييس الأداء
مقاييس البرنامج	تقليل الاصطدامات الثانوية الناتجة عن حوادث المرور.	النسبة المئوية للاصطدامات الثانوية بالنسبة للاصطدامات الأولية على الطرق السريعة الخاضعة للمراقبة.
	تقليل الاصطدامات المتعلقة بمنطقة العمل.	تكرار حوادث الاصطدام في منطقة العمل.
	تقليل حوادث (الاصطدام) على جانب الطريق.	التكرار.

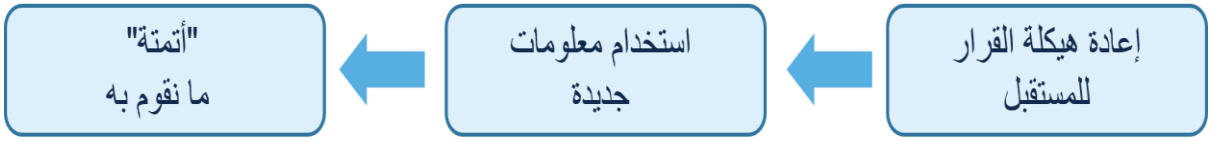
المستوى	أهداف البرنامج	مقاييس الأداء
	تعظيم التدفق الحر لزمن الانتقال على نظام الطريق السريع.	النسبة المئوية للوقت الذي يتمتع فيه سائقو المركبات بتدفق مجاني لزمن الانتقال.
	زيادة مرونة نظام النقل في مواجهة الظواهر الجوية الشتوية.	النسبة المئوية للطرق التي تستعيد سرعتها في غضون ١٦ كم/الساعة من السرعات المتوقعة في غضون ساعتين من انتهاء حدث الطقس القاسي.
	تقليل إخلاء الحوادث.	المدة.
	تقليل إخلاء الطرق.	المدة.
	تحسين الممرات المحكومة بإشارات مرورية.	النسبة المئوية للمسارات التي أعيد ضبط توقيتها سنويًا.
	تقليل المرور بمنطقة العمل.	عدد ساعات سرعة التشغيل أقل من ٥٥ كم/الساعة في كل منطقة عمل خاضعة للمراقبة.
	توفير استجابة وإدارة متسقة للحوادث في جميع أنحاء الولاية.	النسبة المئوية للمستجيبين في حالات الطوارئ المدربين على إدارة الحوادث المرورية في البلد (وزارة النقل/ الأشغال العامة، الإطفاء، الشرطة، الجر، الخدمات الطبية في حالات الطوارئ).
المقاييس الثانوية	تحسين الممرات المحكومة بإشارات مرورية.	نسبة الوصول على اللون الأخضر.
	تحقيق الموثوقية المثلى لزمن الانتقال في المسارات الرئيسة لنقل البضائع.	النسبة المئوية من الوقت الذي يمر به مشغلي الشحن من تدفق لزمن الانتقال الحر.
تدابير الرصد	زيادة موثوقية المعدات والاتصالات إلى أقصى حد.	نسبة وقت تشغيل الأصول بالمائة.
		شبكة الاتصالات وقت التشغيل.
		النسبة المئوية للأصول بعد عمر الخدمة.
	الاستجابة لحوادث المركبات الثقيلة وإزالتها في أسرع وقت ممكن.	الرد < ٤٥ دقيقة؛ الإخلاء < ٩٠ دقيقة.
	توسيع قدرات إدارة ومراقبة مركز إدارة المرور.	النسبة المئوية للمرات المكتظة (التدفق الحر لزمن الانتقال وتحليل مستوى الخدمات)، مع أنظمة النقل الذكية الثابتة.
		عدد أجهزة جمع بيانات الهاتف المحمول (تحديد موقع المركبة آليًا/نظام التموضع العالمي، الكاميرات، مستشعرات الطقس).
	إدارة عبء عمل موظفي مركز إدارة المرور.	عدد الحوادث المسجَّلة.
	عقد اجتماعات مراجعة بعد العمل لنسبة ١٠٠٪ من الحوادث التي تتجاوز أهداف الإخلاء.	النسبة المئوية للاجتماعات التي تعقد في غضون ٣٠ يوما.
	رصد أصول/أحداث النقل الرئيسة لتفادي الأعمال الضارة.	عدد الأصول/الأحداث المرصودة.
	تعزيز أدوات إدارة نظام النقل والتشغيل؛ لتحسين إدارة حالات الطوارئ.	عدد الجهات التي لديها إمكانية الوصول إلى بيانات كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية ووزارة النقل.

يمكن استخدام مقاييس الأداء مثل وقت السير على الطريق والحجم وتكرار الاصطدامات وأوقات الإخلاء من الحوادث لترتيب الممرات؛ للتحسينات، وتعزيز صنع قرارات الاستثمار (MacAdam, 2018).

اختيار المقاييس والأهداف الصحيحة هو العلم والفن. يمكن ألا يكون لدى المقاييس على مستوى واحد ارتباط منطقي بتلك الموجودة في أعلى السلسلة. ينبغي على الجهات التفكير من الأعلى إلى الأسفل ومن الأسفل إلى الأعلى في اختيار المقاييس ووضعها. بمجرد تحديد المقاييس، ينبغي على الجهات التعرف على مستوى التأثير الذي تمارسه على المقياس مقارنة بالعوامل الخارجية (مثل: تغير الطقس أو الطلب) وتحديد الأهداف ممكنة التحقيق، ولكن مع عنصر سليم من التمديد المطلوب.

وبالنسبة إلى برامج أنظمة النقل الذكية للهيئة، تشمل الأهداف المشتركة تحسين سلامة الطرق، واستخدام الطاقة وموثوقية الرحلات وزمن الانتقال والكفاءة المتعددة الوسائط وفعالية تكاليف عمليات أنظمة الطرق. ينبغي أن تسهم برامج التشغيل المحددة (مثل: منطقة العمل وحوادث المرور والطقس على الطرق وإشارات المرور والنقل العام والشحن والإدارة المتكاملة للممرات) في أهداف الجهة. ينبغي استخدام البيانات المولدة بواسطة أنظمة النقل الذكية، والأنظمة ذات الصلة؛ لرصد أداء البرامج، ودعم صنع القرار في الوقت الفعلي، ودعم التخطيط للعمليات (على سبيل المثال: استراتيجية الصيانة والتوسع الفعالة لمستشعرات أنظمة النقل الذكية). من الممكن تصنيف استخدام البيانات لتحسين القرارات عبر ثلاث مجالات - أتمتة الأنشطة الحالية واستخدام معلومات جديدة لتحسين صنع القرار الحالي، وإعادة هيكلة عملية صنع القرار لتحقيق المزيد من الكفاءة والنتائج (Shah, et al., 2020).

تساعد البيانات والتقنية والخدمات المتاحة لبرامج أنظمة النقل الذكية في جميع المجالات الثلاثة الموصوفة في الشكل (هـ -٥).



الشكل (هـ–٥) استخدام التحليلات لتحويل العمليات اليدوية ذات الورق الكثير إلى عمليات مؤتمتة معاد هيكلتها؛ لتحسين صنع القرار (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 24).

خلاصة القول، ينبغي لنهج إدارة الأداء أن يخلق مسارًا للتحسين. ويتيح نهج إدارة الأداء إمكانية تقديم طلبات التمويل، وتحديد أولويات الاستثمارات على أساس احتياجات أداء محددة، باستخدام البيانات لقياس الحالة الراهنة، والتقدم المنشود نحو تحقيق الهدف. يستطيع نهج إدارة الأداء أن يبين للموظفين كيف يسهم عملهم في تحقيق أهداف الجهة وغاياتها. كما تعزز إدارة الأداء الشفافية ومشاركة القيمة المتولدة من الاستثمارات، وتلبية المتطلبات الوطنية والإقليمية والمحلية.

هـ-٣-٥-٢ التحليلات التقليدية والفعلية والمتقدمة:

ليس هناك أداة أو برنامج واحد يستطيع تلبية مجموعة واسعة من متطلبات دعم القرار داخل الجهة. البعض منها يوفر تحليلات مخصصة معقدة وقدرات متقدمة أخرى، في حين أن البعض الآخر يمكن أن يوفر تصورا جغرافيا مكانيا أكبر في الوقت الفعلي. هناك العديد من الاعتبارات التي تؤثر في قرار الهيئة ببناء أو شراء قدرات تحليلية لدعم صنع القرار.

التحول الرئيس في التحليلات هو *حوسبة الحافة*. يحدث هذا في أثناء معالجة البيانات في موقع الجهاز، مع نقل مقاييس الأداء ذات الصلة المعالجة فقط من خلال تقنية اتصالات، وعادة ما يُتخلَّص من البيانات الأولية. على سبيل المثال: تستطيع خدمة تحليلات الفيديو داخل السيارة والمستندة إلى الحافة اكتشاف أماكن وقوف المركبات المفتوحة من خلال منصة الهاتف الذكي التي تعمل بنظام (Android) باستخدام الكاميرا، ونظام تحديد المواقع العالمي والمستشعرات بالقصور الذاتي لعد المركبات المتوقفة من خلال عرض إطار الكاميرا وتحميل بيانات العدد والموقع فقط (Grassi, et al., 2017). تعد حوسبة الحافة استراتيجية مفيدة لضمان الخصوصية والحد من عرض النطاق الترددي اللازم لنقل البيانات من جهاز إلى النظام المركزي.

يتوسع القسم الفرعي في (هـ -٣-٥-٣) التحليلات التقليدية والفعلية والمتقدمة.

هـ-٣-٥-٣ التحليلات التقليدية والفعلية والمتقدمة:

هـ-٣-٥-٣-١ التحليلات التقليدية:

تُستخدَم البيانات من أنظمة النقل الذكية وبيانات النقل الأوسع نطاقًا لما يقرب من ثلاثة عقود لدعم صنع القرار. تركز هذه التحليلات على استكشاف البيانات العددية؛ لاستنتاج خصائص السكان من تلك الموجودة في عينة تمثيلية. يمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات كالآتي:

- تحاول **الإحصائيات الوصفية** -التي تسمى أيضا الإحصائيات الموجزة- أن تصف ميزات جمع البيانات كميًا. من الأمثلة على الإحصائيات الوصفية مقياس الاتجاه المركزي (المتوسط والوسيط والمنوال)، مخططات التوزيع التكراري والأرباع والارتباطات. تركز معظم لوحات المعلومات والتقارير في الوقت الحقيقي على الإحصائيات الوصفية.
- **الإحصائيات الاستدلالية**. يسمى أيضًا بالإحصاء الاستقرائي، محاولة استنتاج خصائص السكان استنادًا على توزيع البيانات الموجود في عينة. تشمل طرق التعدادات الاستدلالية المشتركة تحليل التباين، والانحدار الخطي، والمتوسطات المتحركة، والشبكات العصبية. تسعى التعدادات الاستدلالية إلى فهم العلاقات السببية وتشكل أساسًا لصنع قرارات الاستثمار.
- **تحليل البيانات الاستكشافية** هو: نهج لتحليل القواعد البيانية؛ لتحديدها وتلخيصها باستخدام أنواع مختلفة من التحليلات، غالبًا ما تكون بصرية. يعد هذا النوع من التحليل شائعًا جدًا اليوم في مجال علم البيانات؛ حيث يستكشف المحللون «ما تخبرنا به البيانات» دون أن يفهموا بالضرورة سبب أو اختبار فرضيات محددة.

التحليلات التقليدية هي الدعامة الأساسية لجهات النقل؛ حيث تصدر تقارير أسبوعية وشهرية وسنوية عن الاتجاهات في مقاييس الأداء الرئيسة. وترد البيانات التي تدعم هذه التحليلات في جداول البيانات (مثل: Excel) وقواعد البيانات العلائقية. ويجري إعداد بعض التقارير آليا، في حين تجرى تحليلات أخرى يدويا، حسب الحاجة. يُدعَم الكثير من التخطيط للعمليات وصنع القرار الاستراتيجي الأوسع باستخدام التحليلات التقليدية.

ه-٣-٥-٣-٢ التحليلات في الوقت الحقيقي:

طوّرت أنظمة إدارة المرور المتقدمة، التي تعد جوهر بيانات مراكز التشغيل المروري عن طريق استخدام قواعد البيانات العلائقية التقليدية التي تُعد مكلفة لتطويرها لتحليلات الوقت الحقيقي بسبب الحاجة الكامنة إلى توافر كبير وأوقات معالجة منخفضة للمعلومات في الوقت الحقيقي. من الممكن لقدرات التخزين والحوسبة المتاحة باستخدام البنية التحتية السحابية دعم تحليل البيانات المعقد جدًا في الوقت الحقيقي عبر قواعد بيانية كبيرة جدًا مع تحديثات ميلي ثانية، وحتى ميكروثانية. تقدم منصات التحليلات الحديثة حلولًا تحليلية في الوقت الحقيقي قائمة على السحابة والتي تستطيع القيام بالآتي:

- القيام بإجراء تحليلات السلاسل الزمنية في الوقت الحقيقي، مثل فروق الحجم والسرعة.
- القيام بإنشاء مقاييس ومحفزات للاستخدام في المراقبة والإخطارات وأجهزة الإنذار في الوقت الحقيقي.
- تحليلات السلسلة والفروع في الوقت الحقيقي، وتوليد العديد من موجزات التحليلات في الوقت الحقيقي من مصدر واحد للبيانات في الوقت الحقيقي.
- القيام بدمج موجزات البيانات في الوقت الحقيقي لزيادة البيانات، واكتشاف الارتباط والاختلاف.
- القيام بتغذية نتائج تحليل البيانات في الوقت الحقيقي إلى لوحات المعلومات في الوقت الحقيقي
- القيام بإجراء تحليل التعلم الآلي في وضع عدم الاتصال بالإنترنت عن طريق استخدام تدفقات البيانات المؤرشفة.
- القيام بتدريب خوارزميات التعلم الآلي في الوقت الحقيقي باستخدام موجز البيانات المتدفق.

ه-٣-٥-٣-٣ التصنيف / التحليلات العنقودية:

التحليلات العنقودية هي مهمة التنقيب في البيانات التي تتكون من تجميع مجموعة من السجلات بطريقة تجعل الأشياء في نفس المجموعة تشبه بعضها البعض أكثر من تلك الموجودة في مجموعات أخرى. وهي تقنية شائعة تستخدم في العديد من المجالات، مثل التعلم الآلي، والتعرف على الأنماط، وتحليل الصور. تقوم العديد من الطرق المختلفة بتحديد مجموعات البيانات (على سبيل المثال: التجميع القائم على التقسيم، والتجميع الهرمي، والتجميع العنقودي القائم على الكثافة). تدعم معظم البرامج طرق التجميع المتعددة (Shah, et al., 2020).

إن أحد أكثر خوارزميات التجميع شيوعًا التي تستخدم طريقة التقسيم يُطلق عليها الخوارزمية التصنيفية. تهدف الخوارزمية التصنيفية إلى تقسيم عدد محدود من نقاط البيانات إلى عدد محدد من المجموعات التي تنتمي فيها كل ملاحظة إلى المجموعة التي تتسم بأقرب متوسط. أُستُخدِم التحليل التجمعي لمدة عقود في مجال النقل، على سبيل المثال: لتحديد الموسمية في أنماط المرور، أو تحديد مجموعات تضم أنواعًا من المتنقلين لأغراض التخطيط. أُستُخدِم التحليل التجمعي في سياق البيانات الكبيرة؛ لمعالجة بيانات البلوتوث بفعالية لحساب الأعداد والسرعات لسير المركبات وراكبي الدراجات والمشاة (Bathaee, et al., 2018).

ه-٣-٥-٣-٤ تحليل الرسم البياني:

يتكون تحليل الرسم البياني من طرق تقوم بوضع البيانات في شكل رسم بياني للعُقد المتصلة؛ لتحليل الروابط بين هذه العُقد على نحو أفضل. غالبًا ما يصل تحليل الرسم البياني إلى حلول تقريبية بدلًا من الحلول الدقيقة؛ بسبب المتطلبات الحسابية وتعقيد البيانات وحجمها. فيما يأتي أربعة أنواع من تحليل الرسم البياني مناسبة للاستخدام في مجال النقل:

- يستخدم **تحليل المسار**؛ لتحديد أقصر مسافة بين عقدتين.
- يستخدم **تحليل الاتصال**؛ لتحديد نقاط الضعف في الشبكات. يعد هذا مناسبًا تمامًا للاتصال متعدد الوسائط العابر (Mishra, et al., 2015).

- يجد **تحليل المجتمع** مجموعات تضم أناسًا متفاعلين ضمن شبكة اجتماعية، على سبيل المثال: لتحديد ما إذا كانوا عابرين والتنبؤ بما إذا كانت الشبكة ستنمو.
- يُستخدم **التحليل المركزي**؛ لتحديد العقد أو الحواف الأكثر ارتباطًا ببقية الرسم البياني. يمكن أن يساعد ذلك على تحديد الأفراد الرئيسين الذين قد يعملون كميسرين أو حواجز أمام الوصول إلى الجمهور أو نشر سياسة الهيئة.

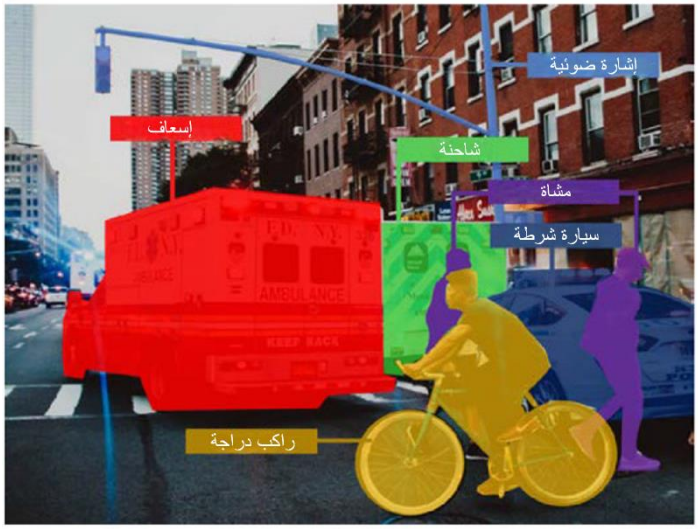
تستخدم تطبيقات، مثل (Google Maps)، تحليل الرسم البياني للتوصية باستخدام أقصر طريق. غالبًا ما يُدمَج تحليل الرسم البياني باستخدام التنقيب في النصوص. وتستخرج ميزة التنقيب في النصوص الكلمات، بالإضافة إلى استنتاج الموضوعات من الوثائق المكتوبة والتي تُنظَّم بعد ذلك في شكل رسم بياني ليتم الوصول إليها.

هـ-٣-٥-٣-٥ تحليلات النص:

يعد التنقيب في النصوص، أو التحليلات، عملية تحليل للنص الذي يمكن للبشر قراءته ويُنظَّم في ثلاث خطوات: تحويل النص المكتوب إلى متجهات كلمات، تصفية متجهات الكلمات؛ لإزالة الكلمات الشائعة للغاية أو الكلمات غير المطلوبة مثل: المقالات، والتحليلات الإحصائية لمتجهات الكلمات المختارة؛ لاكتشاف وجود الكلمات وتسلسلها. كثيرًا ما يتم استخدام خاصية التنقيب في النصوص في عمليات التصنيف، أو التجميع، أو التقسيم أو تحليل المشاعر (مثل العاطفة أو المعتقدات)، أو استخراج الكيانات (على سبيل المثال: أرقام الهواتف أو الأسماء)، أو نمذجة علاقة الكيان.

هـ-٣-٥-٣-٦ تحليلات الفيديو والصورة:

تتشابه عملية معالجة الفيديو والصور مع خاصية التنقيب في النصوص من حيث إنها تتشكل في نوع واحد من البيانات التي يصعب تحليلها في شكلها الأصلي، وفي هذه الحالة، صورة واحدة أو أكثر، وتعالجها لتكون قابلة للتحليل آليًا. ينتقل تحليل الصور والفيديو الوثيقة إلى الشبكة العصبية الآن إلى ما هو أبعد من الاكتشاف البسيط للكيانات داخل صورة نحو التحلل الفعلي أو تجزئة الصورة؛ لتحديد جميع الكيانات الموجودة في الصورة وتحديد موقعها وتعقبها في الوقت الحقيقي، كما هو موضح في الشكل (هـ -٦). لأغراض النقل. قد يعني ذلك حساب عدد المركبات الفريدة الموجودة على الطريق وجمع المعلومات الديموغرافية بشأن الركاب في الحافلة والكشف بدقة أكبر عن الحوادث بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية، إلى جانب الكثير من (Shah, et al., 2020). ومع ذلك، يمكن أن يكون التعرف على الصور متحيزًا بناءً على البيانات المستخدمة في التدريب.



الشكل (هـ–٦) رسم توضيحي لتجزئة الصورة واستشعارها (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 25).

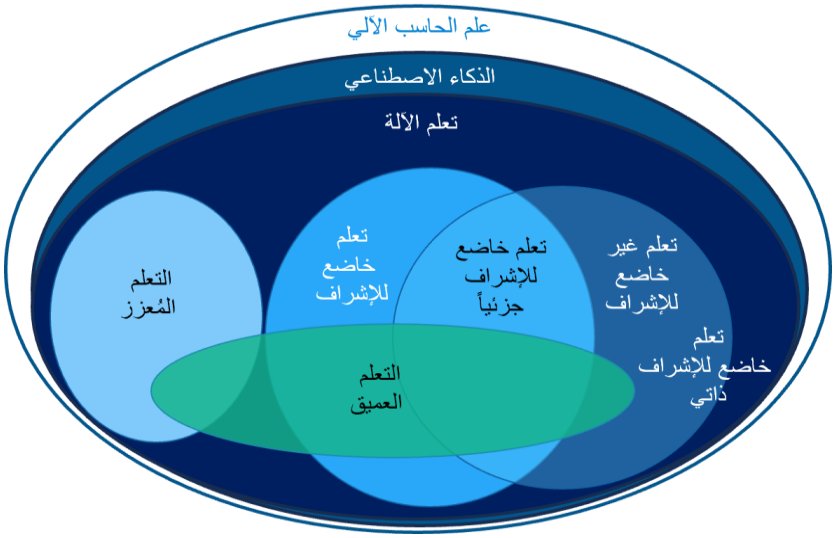
تعتمد جهات النقل عادةً على بائعي التقنية؛ لدعم إمكانية تحليلات الفيديو والصورة لاكتشاف المساحات الفارغة في مواقف انتظار المركبات واكتشاف الخلطات النموذجية عند التقاطعات، ولعمليات الطرق السريعة، واكتشاف مجموعة من الحوادث (على سبيل المثال: المركبات المتوقفة في أثناء سير المرور أو القيادة في طريق خطأ أو تباطؤ المرور أو وجود أحد المشاة على الطريق أو وجود حطام على الطريق).

هـ-٣-٥-٣-٧ التنبؤ والذكاء الاصطناعي والشبكات العصبية والتعلم العميق:

تشكل نماذج الانحدار العامل الرئيس في التحليلات التنبؤية. ويمكن استخدام نماذج الانحدار للتنبؤ بمدة الحادث أو الزيادة المحتملة التي ستشهدها المرور. يمكن استخدام الانحدار في كل من تحليلات البيانات التقليدية والكبيرة. كما يكمن الهدف من تحليل الانحدار في ملاءمة نوع معين من المعادلات الرياضية أو

النموذج لعرض التفاعلات الموجودة في البيانات المرصودة. ويمكن استخدام العديد من أنواع المعادلات المختلفة لإجراء تحليل الانحدار من نماذج الانحدار الخطي؛ حيث تحاول ملاءمة البيانات في معادلة خطية بسيطة مع المعادلات الأكثر تعقيدًا مثل خوارزمية الغابة العشوائية والتي تنشئ وتجمع بين الآلاف من أشجار صنع القرارات المختلفة المشتقة من البيانات.

ومن بين المتخصصين في مجال النقل، تُستخدَم مصطلحات التعلم الآلي والتعلم العميق، والذكاء الاصطناعي وحتى التحليلات التنبؤية بالتبادل وغالبًا ما يتم ذلك على نحو غير دقيق. الشكل (هـ - ٧) يوضح العلاقة بين المصطلحات شائعة الاستخدام (Mysla, 2020).



الشكل (هـ–٧) مخطط "فين" (Venn) للاستراتيجيات الحسابية الشائعة (المصدر: Mysla V., (2020)).

في حين أن الذكاء الاصطناعي يتمثل في استخدام علوم الحاسب لتقليد القدرات البشرية؛ فإن التعلم الآلي يشكل مجموعة فرعية محددة من الذكاء الاصطناعي الذي يدرب الآلة على كيفية التعلم. ويشكل التعلم الآلي فرع تقليدي للتصنيف والتحليل التنبئي. بدأت النماذج المبكرة في أواخر الأربعينيات واستمرت في التطور حتى أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. تتضمن بعض فئات طرق التعلم الآلي الاستدلال البايزي، والانتشار الخلفي، وآلة المتجهات الداعمة، والشبكات العصبية المتكررة، ودعم تجميع المتجهات. غالبًا ما كانت هذه الأساليب معقدة للغاية وأقل فعالية من نماذج الانحدار البسيطة؛ بسبب حجم البيانات والوصول الحسابي. يعمل التعلم الآلي على أتمتة عملية بناء النماذج التحليلية من خلال استراتيجيات غير خاضعة للإشراف، أو خاضعة للإشراف، أو معززة، أو مختلطة، وقد وصفت كل منها أدناه:

- يُمكّن **التعلم غير الخاضع للإشراف** (جهاز الحاسب) التعرف على الأنماط من تلقاء نفسه، وذلك مع الحد من الإشراف البشري أو بدونه. تطبق الآلة طرق التجميع وطرق الارتباط الأخرى على البيانات لاكتشاف الأنماط دون إشراف المحلل.
- تتطلب خوارزميات **التعلم الخاضع للإشراف** أمثلة يمكنهم التعلم منها. يُطلق على هذه العملية اسم التدريب ويمكن أن تتطلب آلافًا أو عشرات الآلاف أو حتى الكثير من الأمثلة التي قدمها البشر للتعرف على القاعدة. فعادةً ما تُستخدَم مجموعة فرعية من الأمثلة لتدريب الخوارزمية، وتُستخدَم باقي الأمثلة لاختبار النموذج. على سبيل المثال: يمكن للأفراد تمييز الصور؛ للإشارة إلى أنها تضم محركات إطفاء أم لا، وستستخدم الخوارزمية مجموعة فرعية من الصور المصنفة لتقدير ما إذا كانت المجموعة الثانية تضم محركات إطفاء. يجري المستخدم تقييمًا لمدى دقة الخوارزمية في الحصول على التقدير. عادةً ما تستخدم نماذج التعلم الخاضعة للإشراف استراتيجيات الانحدار و/أو التصنيف.
- يتيح **التعلم المعزز** إمكانية اختيار الخوارزمية آليًا للتفاعل مع البيئة. تستهدف هذه الخوارزميات حلًا لمشكلة ما. يمكن أن يتمثل أحد الأمثلة البسيطة على التعلم المعزز في مكنسة كهربائية ذاتية التنقل حيث إنها تتعرف على التضاريس بناءً على المسوحات التكرارية لمساحة الأرضية. هذه طريقة التجربة والخطأ للتعلم.
- تشمل الاستراتيجيات الهجينة **التعلم شبه الخاضع للإشراف والخاضع للإشراف الذاتي**. يُشرَف على التعلم شبه الخاضع للإشراف؛ حيث تحتوي بيانات التدريب على عدد قليل جدًا من الأمثلة المصنفة، وعدد كبير من الأمثلة غير المصنفة. يشير التعلم الخاضع للإشراف الذاتي إلى مشكلة التعلم غير الخاضع للإشراف حيث وضعت في إطار بتقديرها مشكلة تعلم خاضعة للإشراف من أجل تطبيق خوارزميات التعلم الخاضعة للإشراف لحلها.

ظهر التعلم العميق، الذي يعد أحد أساليب التعلم الآلي للشبكة العصبية، في العقد ٢٠١٠؛ للاستفادة من البيانات الكبيرة وقدرة الحوسبة السحابية منخفضة التكلفة. معظم نماذج التعلم العميق عبارة عن تطبيقات الصندوق الأسود استنادًا إلى أداة المورد، ومع ذلك فهي تتمتع بإمكانيات هائلة في النقل بدءًا من اكتشاف الأخطاء إلى تقاسم المركبات/مشاركة القيادة وكذلك بدءًا من التشغيل المستمد من بيانات النقل إلى مراقبة سلامة المركبات.

هـ-٣-٥-٤ فهم البيانات:

جودة البيانات عبارة عن مقياس لدرجة تلبية البيانات؛ لغرض الاستخدام المقصود بواسطة الأنظمة والتشغيل والناس. ستة أبعاد أساسية لجودة البيانات (وفقًا لرابطة إدارة البيانات) تشمل الآتي:

- **الدقة** - هل تصف البيانات بشكل صحيح حدث العالم الحقيقي الموصوف؟ خاصة عند أخذ عينات من العالم الحقيقي، هل تعكس العينة العالم الحقيقي؟
- **الاتساق** — هل تعكس البيانات عبر الأنظمة نفس المعلومات متزامنة مع بعضها البعض؟ هل هناك معلومات متضاربة؟
- **الاكتمال** — هل سُجِّلت جميع عناصر البيانات، وهل هناك سجلات مفقودة؟ يمكن أن تكون أوجه القصور في اكتمال البيانات ناتجة عن المستشعرات غير المتصلة بالإنترنت، أو عن الأفراد الذين لا يدخلون البيانات.
- **التفرد** — هل عدد مولدات أو سجلات البيانات فريد؟ على سبيل المثال: إذا كان هناك ٣٠ مستشعر على جزء من الطريق، فهل سيوفّر ٣٠ تدفقًا فريدًا للبيانات يتميز عن بعضه البعض، أم سيكون هناك مستشعر واحد يوفر البيانات مرتين؟
- **التوقيت** — هل يعكس الطابع الزمني على البيانات حقيقة وقت تسجيل البيانات، أم أن هناك تأخيرات غير قياسية في البيانات؟ على سبيل المثال: هل عملية الإبلاغ من مستشعر واحد سيتأخر بشكل كبير أم يُزامن توقيت الساعة؟ بشكل أكثر شيوعًا: هل ستُحتسَب فروق المناطق الزمنية في أرشيفات البيانات؟
- **الصلاحية** — هل تتوافق البيانات مع الصيغة المتوقعة (تنسيق، نوع، نطاق)؟ هل توجد أحجام مرورية غير مناسبة مع السعة لجزء من الطريق، أو هل يشير زمن الانتقال إلى سرعة غير واقعية؟

عندما تقوم المؤسسات بجمع البيانات ومعالجتها لتقديم التقارير وتعدادات لوحة المعلومات ودعم اتخاذ القرار دون استكشاف البيانات في المقام الأول؛ فإن المعلومات الناتجة يمكن أن تضلل عملية اتخاذ القرار. ينبغي أن تركز الجهات على جودة البيانات وينبغي أن تبقى يقظة تجاه جميع الجوانب المتعلقة بجودة البيانات.

هـ-٣-٦ إدارة البيانات وحوكمتها:

تتمثل إدارة البيانات في القيام بجمع البيانات وحفظها واستخدامها بأمان وكفاءة مع تقليل التكاليف. ينبغي أن يكمن الهدف من إدارة البيانات في مساعدة الناس والمؤسسات والأشياء المتصلة على تحسين استخدام البيانات ضمن نطاق السياسة والتنظيم للنهوض بالأهداف وتحسينها. يمكن أن يكون من الأفضل تقدير إدارة البيانات كوظيفة تدعم استراتيجية إدارة البيانات الشاملة للمؤسسة. يعمل القسم الفرعي (هـ -٣-٦-١) على تلخيص الدور المتطور لإدارة البيانات — من السياسات المركزية والصارمة الخاضعة لرقابة تقنية المعلومات إلى الإدارة الموزعة المشتركة بين الكيان المركزي لتقنية المعلومات وخطوط عمل محددة. يعمل القسم الفرعي (هـ -٣-٦-٢) على تقديم المفهوم الحديث للبيانات التي يسهل الوصول إليها.

هـ-٣-٦-١ إدارة البيانات:

إدارة البيانات هي ممارسة السلطة والرقابة وصنع القرارات المشتركة بشأن إدارة أصول البيانات. في حين أن إدارة البيانات كانت مرتبطة بشكل وثيق تقليديًا بإدارة المخاطر القانونية، والامتثال التنظيمي والأمن. ينبغي أن تصبح إدارة البيانات مفهومًا أكثر مرونة وأكثر تعددًا للأوجه؛ ليوفر أدوات وعمليات (مثل قاموس الأعمال ونماذج البيانات الدلالية وقواميس البيانات وما إلى ذلك)؛ لتعزيز فهم البيانات في جميع أنحاء المنظمة، بدلًا من إملاء طريقة صارمة وفريدة للوصول إلى بيانات الهيئة الخاضعة للرقابة. ولهذا السبب، ينبغي أن تشمل إدارة البيانات على نطاق واسع سلسلة توريد البيانات بأكملها بدلا من تكليف هياكل البيانات، وأدوات البيانات لوحدات الأعمال. أصبحت إدارة البيانات بالغة الأهمية، ليس فقط بسبب الكمية المتزايدة من البيانات، ولكن أيضًا بسبب زيادة إمكانية الوصول إلى البيانات (راجع القسم الفرعي هـ -٣-٦-٢). ينبغي أن يحتوي مركز جميع إدارة البيانات الناجحة على ثمانية مبادئ (Data Governance Institute, 2022):

- **النزاهة**: ينبغي على المشاركين في إدارة البيانات التحلي بالنزاهة مع تعاملاتهم مع بعضهم البعض، كما ينبغي أن يكونوا صادقين وصريحين عند مناقشة الدوافع والقيود والخيارات والتأثيرات على القرارات المتعلقة بالبيانات.
- **الشفافية:** ينبغي أن تتسم عمليات إدارة البيانات والإشراف بالشفافية، وينبغي أن يكون واضحا لجميع المشاركين ومراجعي الحسابات: كيف ومتى أُدخلت القرارات والضوابط المتصلة بالبيانات في التشغيل.
- **إمكانية المراجعة:** ينبغي أن تكون القرارات والتشغيل والضوابط المتعلقة بالبيانات الخاضعة لإدارة البيانات قابلة للمراجعة، كما ينبغي أن تكون مصحوبة بوثائق لدعم متطلبات المراجعة التشغيلية والقائمة على الامتثال.
- **المساءلة:** ينبغي أن تحدد إدارة البيانات المسؤوليات عن القرارات والتشغيل والضوابط المتعلقة بالبيانات المتعددة الوظائف.
- **الإشراف:** ينبغي أن تحدد إدارة البيانات مسؤوليات أنشطة الإشراف التي تقع على عاتق فرادى المساهمين، وكذلك المسؤوليات عن مجموعات مشرفي البيانات.
- **الضوابط والتوازنات:** ينبغي لإدارة البيانات أن تحدد المسؤوليات بطريقة تُدخل الضوابط والتوازنات بين فرق الأعمال والتقنية، وكذلك بين أولئك الذين ينشئون/يجمعون المعلومات، وأولئك الذين يديرونها، وأولئك الذين يستخدمونها، وأولئك الذين يدخلون المواصفات ومتطلبات الامتثال.
- **التوحيد القياسي:** ينبغي لإدارة البيانات أن تقدم وتدعم توحيد بيانات المؤسسة.

- **إدارة التغيير:** ينبغي لإدارة البيانات أن تدعم الأنشطة الاستباقية والتفاعلية لإدارة التغيير فيما يتعلق بقيم البيانات المرجعية وهيكل/استخدام البيانات الرئيسة والبيانات الوصفية.

يرد في الجدول تقييم ذاتي لنضج القدرات من أجل منظور إدارة البيانات الحديثة الجدول (هـ -١٣) ((NCHRP, (2020)).

الجدول (ه–١٣) التقييم الذاتي لنضج قدرة حوكمة البيانات (المصدر: Figure 28 – (USDOT-JPO, (2021)).

سؤال	التقييم		
	منخفض	متوسط	مرتفع
هل للجهة ملكية كاملة للبيانات التي تحصل عليها من أطراف ثالثة، ووصول غير مقيد إليها؟	في معظم الحالات، يمتلك الطرف الثالث البيانات ويحد من الوصول إليها واستخدامها.	في بعض الحالات، تمتلك الجهة البيانات من الطرف الثالث، ولكن يجب أن تمتثل لقيود الاستخدام الصارمة.	في معظم الحالات، تمتلك الجهة بيانات الطرف الثالث وقد تستخدمها بالكامل مع القليل من القيود.
هل الجهة مقيدة بسبب ارتفاع تكاليف الوصول إلى البيانات ذات الصلة باحتياجاتها واستخدامها؟	تكلفة باهظة لاستخدام البيانات.	تكلفة عالية لاستخدام البيانات.	تكلفة معتدلة لاستخدام البيانات.
هل يقتصر استخدام المستخدمين على استخدام أدوات معينة فقط عند تحليل البيانات ذات الأهمية؟	يقتصر المستخدمون على عدد صغير من أدوات تحليل الملكية.	يمكن للمستخدمين استخدام مجموعة من الأدوات (مع بعض القيود)، معظمها مسجلة الملكية، ولكن بعضها مفتوح المصدر؛ لتحليل البيانات.	يمكن للمستخدمين استخدام أي عدد من الأدوات لتحليل البيانات مع القليل من القيود.
هل الوصول إلى البيانات أو استخدامها أو تحليلها محدود بموجب سياسات وممارسات إدارة البيانات في الجهة؟	تحد سياسات وممارسات إدارة بيانات الهيئة بشدة من الوصول إلى البيانات، أو استخدامها، أو تحليلها.	تحد سياسات وممارسات إدارة بيانات الجهة إلى حد ما من الوصول إلى البيانات واستخدامها وتحليلها.	ولا تحد سياسات الجهة وممارساتها في مجال إدارة البيانات من إمكانية الوصول إلى البيانات أو استخدامها أو تحليلها.
هل برنامج إدارة البيانات مستخدم من قبل الجهة؟	لا تُستخدم برامج إدارة البيانات.	تُستخدم برامج إدارة البيانات، لكنها ليست مثالية.	تُستخدم برامج إدارة البيانات المثلى.
هل تتبع الجهة خطة موثقة لإدارة البيانات؟	الجهة ليس لديها خطة موثقة لإدارة البيانات.	تتبع الجهة خطة مفككة غير موثقة إلى حد كبير لإدارة البيانات.	تتبع الجهة خطة موثقة ومحدثة بصفة مستمرة لإدارة البيانات.
هل يوجد لدى الجهة خبراء داخليون لإدارة البيانات، أم هل تقوم الهيئة بإسناد إدارة نظام البيانات إلى جهة خارجية أو أكثر؟	تعتمد الجهة على أطراف خارجية لإدارة البيانات.	يُستعان بمصادر خارجية لبعض أنظمة البيانات، بينما تتم إدارة أنظمة أخرى داخليًا.	تقوم الجهة بإدارة جميع أنظمة البيانات داخليًا.
هل تراقب الجهة بنشاط أنظمة إدارة البيانات الخاصة بها؟	لا تتوافر مراقبة نشطة للأنظمة.	تتوفر بعض لوحات معلومات نشاط الأنظمة.	تستخدم الجهة المراقبة التفاعلية والاستباقية لأنظمة إدارة البيانات.

ه-٣-٦-٢ بيانات يسهل الوصول إليها:

إنها عملية إتاحة البيانات للمستخدمين النهائيين على نطاق المؤسسة؛ حيث يمكّن ذلك الأفراد داخل جهة ما، وربما خارجها من الوصول إلى البيانات عند الحاجة، بدلًا من انتظار المتخصصين لإعداد تقارير أو لوحات معلومات للمستخدم النهائي. بالإضافة إلى ذلك، فإن البيانات التي يسهل الوصول إليها مع تحليلات الخدمة الذاتية التكميلية يمكن أن تتيح للأفراد داخل إحدى المؤسسات إعداد التقارير ولوحات المعلومات وتخصيصها استنادًا إلى احتياجاتهم الخاصة.

تستطيع البيانات التي يسهل الوصول إليها تمكين الأفراد في أي مستوى من المؤسسة لاستخدام البيانات؛ لتحسين عملية اتخاذ القرار. ويمكن أن يوفر ذلك فرصًا لرؤى جديدة من خلال السماح للأشخاص أصحاب الخبرات المختلفة باستكشاف البيانات.

كما يمكن أن يتيح ذلك للموظفين معرفة البيانات والرغبة في استخدام البيانات لتوجيه القرارات. ومع ذلك، ثمة مخاطر تتعلق بالبيانات التي يسهل الوصول إليها، ويتمثل أهمها في احتمالية استخدام البيانات، أو تفسيرها على نحو خطأ؛ ما يتسبب في اتخاذ قرارات خطأ. كما يوجد خطر يتمثل في فقدان المصدر الوحيد الموثوق للحقائق المتعلقة بالبيانات؛ حيث يمكن أن تقوم كل مجموعة بمعالجة البيانات وتحليلها على نحو مختلف. ويمكن تقليل هذه المخاطر عن طريق حوكمة البيانات وإدارتها بفعالية.

بالنسبة إلى المتخصصين في أنظمة النقل الذكية، فإن البيانات التي يسهل الوصول إليها تعني توفير إمكانية الوصول إلى ثروة من البيانات إلى جانب المعلومات المتعلقة بجودة البيانات وإمكانية استخدامها داخل المؤسسة. وهذا يعني دعم تكامل البيانات المقدمة من مصادر متعددة بهدف دعم لوحات المعلومات في الوقت الفعلي، وأدوات دعم القرار لمشغلي مركز إدارة المرور ومهندسي المرور. كما يتطلب ذلك إدارة الطبيعة الخاصة بملكية بعض البيانات ومتطلبات خصوصية البيانات. ولهذه الأسباب، تشكل إدارة البيانات وحوكمتها أمرًا بالغ الأهمية لعمليات النقل ومجموعات أنظمة النقل الذكية.

ه-٣-٦-٣ إدارة البيانات الحديثة:

طُوِّرت عملية إدارة البيانات التقليدية؛ لدعم وظائف إعداد التقارير الروتينية المتسقة باستخدام أنظمة قواعد البيانات الارتباطية من خلال تحديد المتطلبات بالكامل. وتتضمن المتطلبات فهم البيانات التي ستُستخدَم، كيفية تنظيف هذه البيانات وتصفيتها وتنظيمها؛ وربما يتطرق الأمر إلى معرفة التحليل الذي سيُجرَى على البيانات المنظمة والشخص المسؤول عن إجرائه، وكذلك عدد المرات. ويشار إلى هذه المواصفات المتعلقة بمعالجة البيانات للتخزين باسم *المخطط-أولًا* .

في أنظمة بيانات *المخطط-أولًا* ، لا يمكن تخزين البيانات حتى تُحدَّد جداول المخطط، كما تُنشأ قواعد البيانات باستخدام المخطط المحدد. وتكمن ميزة هذا النظام التقليدي في البيانات السريعة والمتسقة والحاسمة. ونظرًا إلى أن مصادر البيانات تصبح أكثر تنوعًا، وتتغير بسرعة أكبر ويزداد حجمها؛ فإن فلسفة المخطط-أولًا لا يمكنها معالجة الأمر؛ لذا لا يمكن إعادة تصميم إستراتيجية تخزين البيانات هذه بالسرعة الكافية للتعامل مع التغييرات المتكررة في البيانات ومتطلبات العمل. فيمكن أن تفرض هذه العملية التجميع أو التنظيف الذي يعيق فرص التحليلات غير المتوقعة في المستقبل.

تتغلب إدارة البيانات الحديثة على قيود بنية إدارة البيانات التقليدية عن طريق قلبها رأسًا على عقب واتباع نهج *المخطط-أخيرًا*. وتُخزن البيانات فور وصولها من دون أي تغييرات أو عمليات تحويل. ومن ثم، يمكن أن تطبق وحدات مختلفة نمذجة البيانات والتحليلات للاستخدام المقصود. وبفعل ذلك، يفصل نهج *المخطط-أخيرًا* تخزين البيانات وتحليلها وإدارتها؛ للسماح بشكل أفضل بالتغييرات السريعة. ومع ذلك، ثمة تكلفة باستخدام نهج المخطط-أخيرًا. ففي حالة عدم وجود إدارة جيدة للبيانات، يمكن أن يؤدي نهج المخطط-أخيرًا إلى تفسير البيانات واستخدامها بشكل غير صحيح، وفقدان أحد مصادر البيانات الموثوق. وتبرز هذه المفاضلة ضمن إطار "مخطط قاعدة البيانات" و"البيانات" في الجدول (هـ -١٤) ((NCHRP, (2020). كما يلخص هذا الجدول مختلف عناصر إدارة البيانات.

الجدول (ه–١٤) الاختلافات بين إدارة البيانات التقليدية والحديثة (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 29).

	الخصائص	نظام/ إدارة البيانات التقليدية		نظام/إدارة البيانات الضخمة الحديثة
١-	**تصميم النظام**	تُصمم الأنظمة وتُبنى لغرض محدد سابقًا. ينبغي تحديد جميع المتطلبات سابقًا قبل الإعداد والنشر.	***على النقيض***	تُصمم الأنظمة وتُبنى لأغراض كثيرة غير متوقعة. تُجرَى تعديلات مستمرة على النظام بعد النشر.
٢-	**مرونة النظام**	صُمم النظام على مبدأ "اضبطه وانسَ الأمر". مُصمم لمرة واحدة؛ للحفاظ على حالته كما هي لسنوات عديدة. فالأنظمة صلبة ولا يمكن تعديلها بسهولة.	***على النقيض***	النظام مؤقت ومرن. مُصمم لتوقع التغييرات والتكيف معها بسهولة. فيكتشف التغييرات ويضبطها تلقائيًا.
٣-	**ميزات الأجهزة/البرامج**	ميزات النظام على مستوى الأجهزة. الأجهزة والبرامج مقترنة بإحكام.	***على النقيض***	ميزات النظام على مستوى البرامج. الأجهزة والبرامج منفصلة.
٤-	**طول العمر الافتراضي للأجهزة**	مع تطور التقنية، تصبح الأجهزة قديمة بسرعة. لا يستطيع النظام مواكبة ذلك.	***على النقيض***	مع تطور التقنية، يمكن التخلص من الأجهزة. يتغير النظام لمواكبة ذلك.

	الخصائص	نظام/ إدارة البيانات التقليدية		نظام/إدارة البيانات الضخمة الحديثة
٥-	**مخطط قاعدة البيانات**	المخطط عند الكتابة ("المخطط أولًا").	***على النقيض***	المخطط عند القراءة ("المخطط أخيرًا").
٦-	**التخزين والمعالجة**	تتمركز البيانات والتحليلات (الخوادم).	***على النقيض***	تُوزع البيانات والتحليلات (السحابة).
٧-	**التركيز التحليلي**	تُنفق ٨٠٪ من الموارد على تصميم البيانات وصيانتها؛ تُنفق ٢٠٪ من الموارد على تحليل البيانات.	***على النقيض***	تُنفق ٢٠٪ من الموارد على تصميم البيانات وصيانتها؛ تُنفق ٨٠٪ من الموارد على تحليل البيانات.
٨-	**كفاءة استخدام الموارد**	تُنفق معظم الأموال على الأجهزة والبرامج (تتطلب الكثير من الصيانة).	***على النقيض***	تُنفق معظم الأموال على البيانات والتحليلات (تتطلب صيانة أقل).
٩-	**حوكمة البيانات**	إدارة البيانات مركزية؛ يتحكم قسم تقنية المعلومات بشكل قوي فيمن يرى/يحلل البيانات (ثقيلة في وضع السياسات).	***على النقيض***	تُوزع إدارة البيانات بين الكيان المركزي ومجالات الأعمال؛ البيانات متاحة للعديد من المستخدمين.
١٠-	**البيانات**	يستخدم نموذج بيانات محكمًا وقواعد دخول صارمة تهدف إلى الحفاظ على البيانات المعالجة وتجنب تلفها وحذفها.	***على النقيض***	مراعاة أن البيانات المعالجة يمكن التخلص منها ويسهل إعادة إنشائها من البيانات الأولية. التركيز بدلًا من ذلك على الحفاظ على البيانات الأولية غير المعدلة.
١١-	**الوصول إلى البيانات واستخدامها**	قلة من الناس الذين يمكنهم الوصول إلى البيانات؛ يقصر استخدام البيانات وصنع القرار على "قلة مختارة".	***على النقيض***	كثير من الناس الذين يمكنهم الوصول إلى البيانات؛ يطبق مفهوم "أعيُن كثيرة" للسماح بالرؤى وصنع القرار على جميع مستويات أي منظمة.

٥-٣-٦-٤ تحليلات استباقية لإدارة البيانات:

تتوفر الآن أدوات الرصد الفعال للبيانات الواردة، والوصول إلى البيانات، واستخدامها داخليًا وخارجيًا. ويمكن أن تساعد هذه الأدوات على كشف الحالات الشاذة المتعلقة بالأمان وجودة البيانات. كما يمكن أن تساعد هذه الأدوات على تخصيص الخدمات استنادًا إلى سلوكيات المستخدم. إذ سيختلف منتج البائع المحدد استنادًا إلى أنظمة البيانات. يقدم القسم الفرعي (هـ -٣-٦-٥) أمثلة على إمكانات التحليلات الاستباقية، وكيفية استخدامها من قِبل جهات النقل ((NCHRP, (2021).

في حين أن مجموعة تقنية المعلومات المركزية يمكن أن تقود تحليلات إدارة البيانات الاستباقية، مع زيادة اللامركزية في إدارة البيانات، ينبغي على عمليات النقل ومجموعة أنظمة النقل الذكية تعلم إستراتيجيات وتطبيقها بغية رصد البيانات الواردة والوصول إلى البيانات بشكل أفضل.

٥-٣-٦-٥ إمكانات التحليلات الاستباقية:

تخصيص خدمات البيانات: عن طريق تحليل أنماط الوصول إلى البيانات، يمكن للجهات تحديد أكثر أنواع المستخدمين شيوعًا، وتخصيص عروضها؛ لتلبية احتياجات هذا المستخدم. فعلى سبيل المثال: إذا وجد أن تسعين بالمائة من المستخدمين يقومون بتنزيل التقارير بتنسيق (PDF)، فيمكن آنذاك التركيز على إتاحة جميع التقارير الجديدة في صورة ملفات (PDF) لدعم هذا التفضيل.

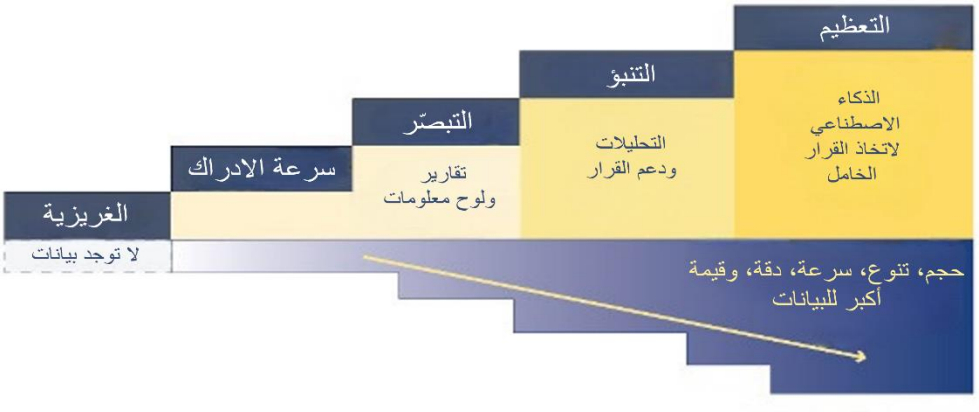
المراقبة المؤتمتة للبيانات الواردة: تقوم أنظمة بيانات جهاز الاستشعار الحلقي بالفعل بفحص المعلومات التي من الواضح أنها خطأ قبل دفعها داخل نظام إدارة المرور المتقدمة. ومع استيراد أحجام من البيانات، وسرعات أكبر إلى بيئة مستودع بيانات من مصادر متعددة، ينبغي إجراء فحوصات مماثلة. وفي حالة وقوع البيانات ضمن المعلمات العادية؛ فإنها تُحمَّل من دون حوادث. وإذا كانت البيانات تختلف اختلافًا كبيرًا عن التوقعات، فينبغي وضع علامة عليها للمراجعة البشرية لمعرفة ما إذا كانت البيانات قيمة خارجة مشروعة، أو إذا كانت ثمة مشكلة تتعلق بجودة البيانات ينبغي معالجتها. وتُفضل عملية وضع العلامات هذه على حذف البيانات المشكوك فيها تلقائيًا؛ إذ تقلل مخاطر تجاهل البيانات الجيدة، وتقدم معلومات تشخيصية قيمة عند استكشاف مشكلات جودة البيانات المستمرة وإصلاحها.

الأمان: يمكن تحسين أمان البيانات عبر عمليات استشعار العيوب. ينبغي أن يكون تأمين الوصول الإداري إلى قاعدة البيانات، هو خط الدفاع الأول ضد الاستخدام غير المصرح به أو الضار. ومن خلال التحليل الاستباقي لنشاط المستخدم الإداري، يمكن

اتخاذ إجراءات وقائية عند إصدار أوامر مشكوك فيها. على سبيل المثال: إذا قام المسؤول المعني بتسجيل الدخول فقط في أثناء ساعات العمل خلال أيام الأسبوع بالدخول فجأة إلى النظام في منتصف الليل وأدخل أوامر لإتلاف البيانات، فيمكن لعملية كشف الشذوذ اكتشاف هذا السلوك الشاذ، ومنع أوامر الحذف؛ حتى يتمكن مسؤول آخر من التحقيق في الموقف، وتأكيد صحة تلك الأوامر.

هـ-٣-٧ اتخاذ قرارات مستنيرة بالبيانات:

ينبغي للبيانات، -إبلاغ القرارات على كل مستوى من مستويات المنظمة. لقد قدمت الأقسام الثلاثة السابقة مصادر أنظمة النقل الذكية، والبيانات ذات الصلة، وسياق التحليلات، وأنواعها لإبلاغ القرارات، وكذلك الإدارة والحوكمة اللازمة؛ لزيادة إمكانية الوصول إلى البيانات، وتطور عملية صنع القرار إزاء معلومات بيانات التشغيل التي تحركها الغريزة والحدس لتلك التي تستخدم رؤى من البيانات من خلال التقارير ولوحات المعلومات ودعم القرار والذكاء الاصطناعي. يوضح الشكل (هـ -٨) هذا التقدم في صنع القرار وأنواع منتجات البيانات المرتبطة بقرارات أسرع وأبسط، وفعالة ومحسّنة.



الشكل (هـ-٨) تطور صنع القرار (المصدر: USDOT-JPO, (2021) – Figure 30).

تُحدد المستويات الأربعة الآتية لصنع القرار ((NCHRP, (2021):

- **المؤسسة:** تؤثر القرارات المتخذة على مستوى المؤسسة في التركيز والتشغيل والبنية التحتية على مستوى الجهة. تتضمن أمثلة القرارات المتخذة على مستوى المؤسسة تخصيص الموارد عبر مجالات الأعمال، وتحديد الأولويات الاستراتيجية، والاستثمارات في أنظمة بيانات المؤسسة الجديدة أو الإدارة، وتعديل ميزانية الجهة.
- **البرنامج:** يمكن أن تشير القرارات المتخذة على مستوى البرنامج إلى مكتب عمليات تشغيل أوسع أو مكتب الصيانة والتشغيل، أو إلى مجموعات محددة مثل سلامة المرور أو إشارات المرور، أو إلى جهود عمليات محددة مثل إدارة الطقس في أثناء السير على الطرق أو إدارة حوادث المرور.
- **المشروع:** يمكن لعملية صنع القرار التعمق أكثر في المشاريع الفردية. على سبيل المثال: ثمة مجموعة من القرارات التي يمكن اتخاذها كجزء من إنشاء طريق جديد، أو توقيت الإشارة، أو تنفيذ حد السرعة المتغير، أو تحديث العملية. ويمكن أن تنطوي هذه القرارات على تقديرات قصيرة الأجل وطويلة الأجل. كما تُتاح البيانات على مستوى المشروع من خلال أنظمة دعم القرار، مثل الواجهات التي تسحب البيانات من أنظمة إدارة المرور المتقدمة.
- **الخط الأمامي**: تُتخذ هذه القرارات على المستوى الجزئي للعمليات اليومية، عادةً من قِبل مشغلي الخطوط الأمامية. وغالبًا ما تكون هذه القرارات تفاعلية وتتعامل مع موضوعات، مثل وقت إرسال أطقم الصيانة الشتوية ومعدلات التطبيق للاختيار وكيفية الاستجابة لحادث ما، مثل معلومات المتنقل ذات الصلة، وما إلى ذلك. وتستهدف معظم أنظمة دعم القرار قرارات الخطوط الأمامية داخل مجال التشغيل/أنظمة النقل الذكية.

ه-٤ إشارات التقاطع وعمليات التشغيل للنقل:

ه-٤-١ الإشارات وعمليات التشغيل:

ينبغي ألا تأخذ إشارات المرور في الحسبان بشكل منفصل، لكن كنظام متكامل من تقاطعات متعددة. ونظرًا إلى أن التأخير في إشارات المرور غالبًا ما يتسبب في ربع إلى ثلث إجمالي مدة رحلة طريق النقل؛ فمن المهم أخذ الإعدادات والتقنية التي من شأنها تحسين أداء النظام في الحسبان بشكل نموذجي؛ للحفاظ على حركة مركبات النقل العام بين محطات التوقف. وفي العديد من المدن، صُمِّمت إشارات المرور ونمط التعاقب تقليديًا بشكل أساسي للمرور التلقائية دون اكتراث بمستخدمي الشارع الآخرين وخصوصًا وسائل النقل.

ينبغي أن تركز استراتيجيات الإشارة على الهدف المتمثل في الأفراد المتحركين بدلًا من تفضيل وضع منفرد. وقد تُزيد إجراءات معينة من ملاءمة النقل وموثوقيته وإمكانية التنبؤ به بينما تحسّن من التشغيل المروري العام لكل المستخدمين. وينبغي تحسين خطط توقيت الإشارة عند وجود أولوية إشارة مركبات النقل العام أو من دونها؛ لتقليل تأخير الناس بدلًا من تأخير المركبة وتفضيل حركة المشاة. وتساعد شبكة الإشارات على تحقيق أهداف كل من سياسات الهيئة المحلية وخطط النقل الإقليمية الأوسع نطاقًا.

ه-٤-٢ تعاقب إشارة النقل:

تعاقبات إشارة النقل، هي أحد أشكال أولوية إشارة مركبات النقل العام محددة الوقت سابقًا أو (الخاملة)"، وهي تعاقبات إشارة (موجات خضراء) معينة على سرعات سير واقعية لحركة النقل في الشارع، غالبًا في نطاق ١٩-٣٢ كم/ساعة.

تحدد سرعات تعاقب الإشارة سرعة الشارع الحضري. لكن غالبًا ما تُعيَّن تعاقبات الإشارة من دون تقدير التأخير المرتبط بالتوقف، مثل زمن التوقف والوقت الضائع في التسارع والتباطؤ في كل محطة توقف. وقد تتسبب التعاقبات المعينة على حد السرعة أو في نطاقه في تأخر مركبات النقل العام عن تعاقب الإشارة بعد التوقف، كما قد تؤدي دورات الإشارة الطويلة إلى تأخير إضافي عند النقل.

يتيح استخدام دورة الإشارة القصيرة مع الإزاحات المسؤولة عن زمن التوقف خاصةً عند التوقفات ذات الحجم الكبير للحافلات وعربات الترام بالبقاء ضمن (موجة الإشارة الخضراء) لتعاقب الإشارات. وتندمج دورات الإشارة القصيرة جيدًا مع تعاقبات السرعة المنخفضة عن طريق مواصلة تقليل عقوبة التخلف عن تعاقب الإشارات. ويمكن لتعاقبات الإشارات المحدد توقيتها على ١٩-١٤ كم/ساعة، على المسارات عالية التردد وذات الاتجاه الواحد، تحسين متوسط سرعة النقل بشكل كبير. وتقوم دورات الإشارة بدمج أزمنة التوقف المتوقعة.

ه-٤-٢-١ التطبيق والسياق:

- في الشوارع المحكومة بإشارات مرورية ذات حجم كبير من مركبات النقل العام، عادةً أكثر من ١٠ لكل ساعة، أو مع الحركة للأمام المجتمعة أقل من ٤ إلى ٦ دقائق في مسارات مخصصة، أو ذات حركة مرور مختلطة.
- عندما تكون أولوية إشارة سير السيارة أقل جدوى أو تحتوي على مزايا محددة مثل، شوارع ذات مسافات قصيرة بين الإشارات وشوارع تحتوي على مستويات عالية من نشاط المشاة وشوارع بدورات إشارة قصيرة.
- تُعد تعاقبات إشارات النقل الأكثر فعالية في الشوارع ذات الاتجاه الواحد. وربما من الضروري في الشوارع ذات الاتجاهين إعطاء الأولوية لخدمة النقل في اتجاه الذروة إذا كانت التعاقبات غير ممكنة في كلا الاتجاهين.

ه-٤-٢-٢ الفوائد:

- يسمح تقليل سرعات تعاقب الإشارات؛ لتصل إلى متوسط أوقات سير النقل للحافلات، وعربات الترام بمواكبة تعاقب الإشارات.
- خاصةً في الشوارع ذات مسارات النقل، أو حيث تتلاشى معظم المرور داخل أساطيل المركبات. ويمكن لمركبات النقل العام الإلحاق بتعاقب الإشارات بعد التوقف.
- يمكن أن يؤدي الجمع بين تعاقب الإشارات منخفضة السرعة ودورات الإشارة القصيرة إلى تحسين أداء النقل.
- توفر تعاقبات إشارات التوقيت لخفض السرعات مزايا إضافية من حيث الكفاءة لراكبي الدراجات، وتعزز بيئة ذات شوارع حضرية آمنة لجميع المستخدمين عن طريق تثبيط السرعات العالية.
- ويمكن للجمع بين الاختلافات المنخفضة ومتوسط زمن الانتقال المنخفض؛ باستخدام تعاقبات إشارات النقل على مسار نقل متكرر وطويل؛ أن ينتج عنه توفير الوقت الكافي لتحقيق مسار إضافي بعدد المركبات نفسه.
- لتحقيق أقصى قدر من تأثير أولوية الإشارة السلبية، ينبغي تقليل تباين مدة رحلة النقل من خلال تعزيز التوقف ومسارات النقل المخصصة.

ه-٤-٢-٣ الاعتبارات:

- ينبغي مراعاة سرعات تعاقب الإشارات في محيط الشارع المُجمل. ويتعلق طول المجموعة ومسافة العبور وحجم المرور باختيار سرعات تعاقب الإشارات المواتية للنقل.

- يمكن أن تزيد مدة رحلة المركبة الآلية الخاصة عند تقليل تعاقب الإشارات، ولكن نظرًا إلى أن تأخر الإشارة يُعد جزءًا كبيرًا من مدة رحلة السيارة، فيمكن أن تعوض دورات الإشارة القصيرة هذه الزيادة لمعظم الرحلات.
- يمكن أن تكون أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة غير عملية في شوارع وسط المدينة التي تحتوي على تعاقبات التقاطعات، أو في شوارع مسارات النقل ذات أحجام نقل عالية. وبدلًا من ذلك، يمكن لتوقيت الإشارات أن تدرج زمن التوقف النموذجي عند التوقفات ضمن تعاقب الإشارات، أو يمكن ضبط التعاقب على سرعة منخفضة.
- ينبغي تضمين تعاقبات الشوارع المتقاطعة في تخطيط توقيت الإشارة خاصةً للشوارع ذات نقل مرتفع أو حجم إجمالي.
- تكون هناك حاجة إلى إيلاء المزيد من الاهتمام في الشوارع التي تحتوي على مجموعة من خدمات النقل لوضع الإزاحات؛ لخفض التأخير. وستتطلب تغييرات توقيت الإشارة في بعض الحالات إعطاء أولوية لخدمة سريعة عبر منطقة محلية.

هـ-٤-٢-٤ موصى به:

١- ينبغي ضبط الإشارات على سرعة سير مركبات النقل العام الحقيقية بين التوقفات مثل، زمن التباطؤ والتوقف والتسارع بالإضافة إلى التأخر في الانعطاف إلى اليمين إن وجد. بينما تتغير السرعات المحددة، يمكن غالبًا ضبط نظم الإشارات دون توقف على ٣٢-٤٠ كم/س، بينما ينبغي ضبط نظم الإشارات قبل التوقف على ١٩-٢٤ كم/س؛ بسبب التباطؤ وينبغي أن تكون الإشارة بعد التوقف مسؤولة عن كل من زمن التوقف الكامل من الباب المفتوح إلى الباب المغلق ومتوسط السرعة المنخفضة المحقّقة في أثناء التسارع.

٢- يمكن أن تستفيد الشوارع التي تحتوي على نقل عام في مسار مخصص من السرعات ٢٤-٣٢ كم/س إذا تمكنت الحافلة من اللحاق بالتقدم بعد توقف.

٣- ينبغي أن يتيح تعاقب إشارات النقل نسبة عالية جدًا من مركبات النقل العام؛ للوصول في وقت طور الإشارة الخضراء عند كل إشارة على طول الشارع. وبالنسبة إلى المسارات المستهدفة (ليس من الضروري كل المسارات الموجودة في الشارع)، فينبغي أولًا تقييم نمط وصول مركبات النقل العام لكل إشارة في نقطة النهاية للمرور. وينبغي ضبط النسبة المئوية المستهدفة لوصول المركبات. وينبغي تعديل إزاحة الإشارة؛ بحيث تصل نسبة مئوية كبيرة (مثل من ٨٠٪ إلى ٩٠٪) عند الإشارة على الأقل خمس ثوان بعد بدء طور الإشارة الخضراء وعشر ثوان قبل انتهاء طور الإشارة الخضراء. كما ينبغي تعديل إشارات نقطة النهاية للمرور وفقًا لذلك مع مراعاة الإزاحة الجديدة. وينبغي أن يكون التقدم الناتج أسرع إلى حد ما من مدة رحلة النقل الحالي؛ حيث سيُخفض تأخر الإشارة بشكل كبير لعمليات التشغيل الأبطأ. وينبغي أن تنعكس زمن الانتقال الجديدة هذه في الجداول الزمنية المحدثة.

٤- في حركات المرور المختلطة وفي أقسام الوجهات مع التوقفات المتكررة، تستفيد عمليات النقل عادةً من سرعات تعاقب الإشارات التي تتراوح من ١٩-٢٤ كم/س والتي يمكن أن تتزامن مع سرعة الإشارة المريحة لوسائل النقل النشطة (Pangilinan & Carnarius, 2014). وتستفيد محطات التوقف البعيدة والقريبة من التعاقبات المواتية؛ للنقل مما يضع الحافلة أمام فصيل المرور بعد توقف قريب، وخلف الفصيل بعد توقف بعيد.

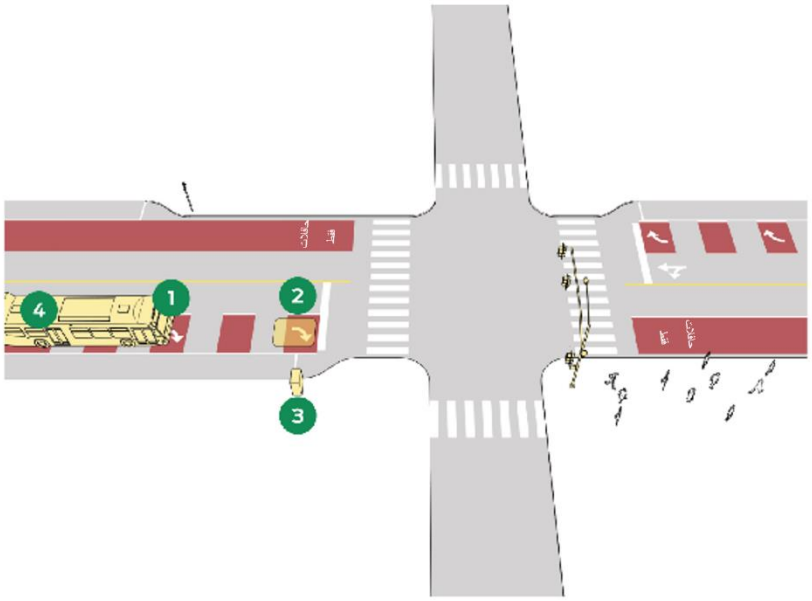
٥- ينبغي ضبط سرعات تعاقب الإشارات لتكون أقل من حد السرعة مما يمنع مشغلي النقل وراكبي الدراجات من أن يُحفّزوا على السرعة للإلحاق بالتقدم إذا تأخروا قليلًا. ويمكن أن تتطلب شوارع النقل فقط التي تحتوي على نسبة مشاة عالية سرعات منخفضة.

٦- عندما تشارك الدراجات والحافلات أحد المسارات، فينبغي استخدام سرعات الدراجة السائدة؛ لضبط سرعات تعاقب النقل لمنع تحقيق قفزات نوعية. تبلغ سرعات الدراجات عادةً ١٩ كم/س للأرض المستوية، وتقل للطرق المرتفعة وتزيد للطرق المنخفضة لتصل إلى ٣٢ كم/س.

٧- عندما تكون المرور في أثناء فترة الذروة أعلى من المرور في منتصف النهار والمرور المسائية، فينبغي أن تكون سرعات تعاقب الذروة قليلة جدًا ومتناسقة مع حركة مرور في أثناء الذروة وربما مع دورات الإشارة الطويلة. يمكن استخدام سرعات عالية قليلًا تصل إلى ٣٢ كم/س في بعض الشوارع مع دورات قصيرة في أوقات غير أوقات الذروة.

هـ-٤-٣ أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة:

تقوم أدوات أولوية إشارة مركبات النقل العام بتعديل توقيت إشارة المرور أو أطوارها عندما تكون مركبات النقل العام موجودة إما بشروط للتشغيل المتأخر، أو دون قيد أو شرط لجميع النقل الوافد. يمكن أن تكون أولوية إشارة مركبات النقل العام أداة قوية؛ لتحسين كل من زمن الانتقال والموثوقية خاصةً في شوارع المسارات مع دورات الإشارة الطويلة والمسافات بين الإشارات. في المناطق الحضرية، تُضخَّم مزايا أولوية إشارة مركبات النقل العام بشكل كبير عند تنفيذها مع استراتيجيات أخرى مثل مسارات النقل المخصصة.



الشكل (هـ–٩) رسم التقاطع مع سمات تقنية أولوية الإشارة لمركبات النقل العام (الجدول هـ - ١٥) (المصدر: NACTO, (2016)).

هـ-٤-٣-١ التطبيق والسياق:

- عندما تكون الإشارات مصدرًا رئيسًا لتأخر النقل، خاصةً عندما يكون التأخير الفردي جزءًا كبيرًا؛ لتأخر النقل حتى في الأوقات أو المواقع التي لا يُعد فيها الازدحام المروري مشكلة أساسية. ولكي تعمل أولوية إشارة مركبات النقل العام، ينبغي على مركبات النقل العام أن تكون قادرة على الوصول إلى الإشارة إما عن طريق مسار مخصص، أو ممرات عبور، أو عن طريق الاستفادة من مسار خالٍ آخر.
- إن المسارات التي تحتوي على دورات إشارة طويلة نسبيًا، أو مسافات طويلة نسبيًا بين الإشارات تُعد مرشحة جيدة لأولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة.
- توفر التقاطعات الخاصة التي تحتوي على دورات الإشارة الطويلة، أو التي تفضل الشوارع المتقاطعة وتعمل خارج تقاطع بقية المسار مزايا قوية.
- عندما تنعطف مسارات النقل، يمكن لأولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة مد زمن طور الانعطاف، أو إعادة خدمة طور الانعطاف؛ لتوفير مسار انعطاف خالٍ، ووقت طور إضافية للمناورات البطيئة.
- يُعد من الأسهل تنفيذ استراتيجيات أولوية إشارة مركبات النقل العام المشروطة مع فوارق مسار متوسطة إلى طويلة مما يسمح لدورة الإشارة بالعودة تدريجيًا إلى توقيتها غير الأولي. في المسارات ذات التردد العالي، ينبغي تحديد ما إذا كان يتم تقديم أولوية الإشارة في كل دورة إشارة، أم فقط للمركبات المتأخرة. في أغلب التطبيقات، عندما تستقبل مركبة نقل طور أولوية (~١٠ ثوان)، فيستُعاد الوقت المخصص عن طريق استقطاع الوقت مما يصل إلى أربع دورات لاحقة. إذا كانت فوارق المسار قصيرة جدًا، فلا يمكن استعادة دورة الإشارة وقد يحدث تأخر عكسي (Smith, et al., 2005).
- بالنسبة إلى النقل السريع بالحافلات ووسائل النقل بالسكك الحديدية الخفيفة والتي تستخدم غالبًا مركبات كبيرة؛ لزيادة فوارق المسار وتقليل التكلفة في المسارات ذات قدرة استيعاب عالية.
- ينبغي الأخذ في الحسبان أولوية الإشارة غير المشروطة، أو تعديل توقيت الإشارة عند الإشارات الموجّهة.

هـ-٤-٣-٢ الفوائد:

- يمكن لأولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة تقليل تأخر النقل بشكل كبير. وفي بعض الحالات خُفِضت مدة رحلة الحافلات حوالي ١٠٪ وقُلِّل التأخير حتى يصل إل ٥٠٪ عند التقاطعات المستهدفة.
- تُعد أولوية إشارة مركبات النقل العام فعّالة عند التقاطعات مع صفوف الانتظار الطويلة الروتينية، أو في مسارات النقل المتأخرة بشكل شائع. تُعد أولوية إشارة مركبات النقل العام الأكثر فعالية عند التقاطعات مع توقف بعيد أو عدم توقف؛ مما يسمح للحافلة بإخلاء التقاطع دون الانتظار عند إشارة.

هـ-٤-٣-٣ الاعتبارات

- تعتمد فائدة أولوية الإشارة على كل من العوامل التشغيلية والهندسية مثل نوع مرفق النقل، وسعة وحجم المرور العامة، ومسافة تباعد الإشارات وطول الدورة.
- يمكن أن تزيد أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة من أوقات الانتظار في شوارع التقاطعات، وذلك يُعد عاملًا مهمًا عندما تتقاطع خطوط النقل العام.
- عند أحجام النقل العالية، ينبغي أخذ الاستراتيجيات المسبقة في الحسبان، مثل تعاقبات إشارة النقل. في الشوارع التي تحتوي على مسافات قصيرة بين الإشارات، فيمكن أن تمنح استراتيجية توقيت الإشارة الثابت للسرعة المنخفضة المزيد من المزايا للنقل وللمرور متعددة الوسائط عن أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة.
- تتطلب أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة درجة عالية من التنسيق بين الجهات المسؤولة عن الإشارات، ومركبات النقل العام، وعمليات التشغيل فيما يتعلق بالتقنية المدمجة، بالإضافة إلى أنظمة الاتصال وتقنية الإشارة والجداول الزمنية المتعلقة بالنقل وأهداف النظام. ويمكن أن تتطلب احتياجات التنسيق اتفاقيات طويلة المدى، وتخطيطًا لشراء المركبات ومعدات الإشارة بناءً على الأهداف؛ حيث إن كل المعدات لا يمكنها إجراء الوظائف كلها.

الجدول (هـ–١٥) سمات تقنية أولوية الإشارة لمركبات النقل العام (المصدر: (NACTO, (2016).

تقنية أولوية إشارة مركبات النقل العام	
تستخدم أولوية الإشارة النشطة مزيجًا من التقنية المدمجة والجانبية التي تحدد نوع أولوية الإشارة التي يمكن تنفيذها. تتطلب الأولوية المشروطة دائمًا تحديد موقع المركبة آليًا المدمج، أو نظام تحديد المواقع العالمي، أو الاتصال البصري أو من خلال الليزر أو روابط أخرى بين مركبة النقل ونظام الإشارة.	●
يمكن توفير أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة على ممرات النقل باستخدام كشّافات الحلقة الأرضية؛ لتحديد مركبات النقل العام التي وصلت حيث لا توجد سوى المركبات المصرح بها.	●
تُعد وحدات التحكم في إشارة التقاطع وأنظمة إدارة إشارة المرور المركزية دائمًا عناصر النظام ذات العمر الافتراضي الأطول، وينبغي اختيارها مع مراعاة المرونة والتنسيق المباشر مع جهات النقل والمتخصصين التقنيين. في معظم الحالات، سيتطلب تنفيذ أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة تحديث التقنية في كابينة وحدة التحكم بالإشارة أو في مركبات النقل العام المدمجة أو في كليهما. ومع ذلك، يمكن استخدام نظام اكتشاف بسيط يكشف فقط عن وجود مركبة، مثل كاشف الحلقة الأرضية؛ لتوفير أولوية غير مشروطة لمركبات النقل العام التي تسير على ممرات النقل دون الحاجة لمعدات خاصة طالما لدى التقاطع قدرة اكتشاف المركبات الأخرى.	●
باستخدام شبكة إنترنت المحمول اللاسلكي أو الاتصال ذات النطاق الترددي العالي، يمكن لمركبات النقل العام الإبلاغ عن وقت وصولهم المقدر عند التقاطع، وعن حمولة الركاب، وعن الالتزام بالجدول الزمني، ونوع أو رقم المسار، وعن خواص أخرى لوحدة التحكم بإشارة المرور أو نظام الإشارة. يمكن استخدام وسائل تكنولوجية متنوعة؛ للكشف عن مركبة نقل قامت بإخلاء التقاطع ولم تعد تحتاج إلى أولوية بعد الآن. يمكن لأنظمة الإشارة المتقدمة استخدام هذه المعلومات. لإعطاء الأولوية لطلبات أولوية الإشارة، حدد استراتيجية أولوية إشارة مركبات النقل العام الأنسب للموقف، وقم بإنهاء طور الأولوية بمجرد عدم الحاجة إليها.	●

هـ-٤-٣-٤ موصى به:

١- ينبغي تقييم أولوية إشارة مركبات النقل العام وتخطيطها بناءً على أهداف تقليل تأخر الناس، وتحسين موثوقية النقل. عند تنفيذ أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة عند التقاطع؛ ينبغي إعطاء الأولوية لأكبر عدد ممكن من الركاب الوافدين بناءً على الفترات الزمنية للإخلاء وسعة مسار المشاة لعبور المشاة.

٢- بالنسبة إلى مسارات النقل التي تحتوي على فوارق مسار (أقل من ٦ دقائق)، فيمكن أن يكون من المفيد تشغيل أولوية إشارة مركبات النقل العام المشروطة مما يعطي الأولوية فقط للمركبات المتأخرة. في المسارات التي تحتوي على فوارق مسار أطول أو بموثوقية عالية، ينبغي تطبيق أولوية إشارة مركبات النقل العام عامةً لكل عمليات سير النقل، مع تضمين توفير الوقت في الجدول الزمني للخدمة. عندما تكون فوارق المسار أقل من ٤ دقائق، فتزيد احتمالية تأخير مركبة النقل خلف مركبة نقل أخرى تتلقى طور أولوية في حين أن دورة الإشارة تقوم بتصحيح نفسها. يمنح التعاقب الثابت فائدة أكبر مع التردد العالي (Chada & Newland, 2002).

٣- عندما يكون حجم مركبة النقل عاليًا بما يكفي بحيث لا يمكن إعطاء الأولوية لكل الوافدين؛ فينبغي إعطاء الأولوية لعمليات السير المتأخرة أو المركبات المليئة تمامًا أو الخدمات السريعة.
٤- تقوم التوقفات البعيدة بزيادة فعالية أولوية إشارة مركبات النقل العام بما أن الوصول عند الإشارة يمكن توقعه بسهولة أكثر من زمن التوقف. ومع ذلك، يمكن أن تكون التوقفات القريبة هي الأفضل عند نقاط النقل.
٥- في التشغيل المروري المختلط. تُعد أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة أكثر فعالية غالبًا في فترات الذروة. فهي أكثر فعالية عند أحجام المرور العالية، مع نسب حجم المركبة إلى قدرة الاستيعاب (الحجم/قدرة استيعاب) من ٠,٥ إلى ٠,٧ وتظل فعّالة حتى تصل إلى حوالي ٠,٩ من نسبة حجم المركبة إلى قدرة الاستيعاب. في العزلة، تُعد أولوية إشارة مركبات النقل العام أكثر فعالية عند نسب حجم المركبة إلى قدرة الاستيعاب بين ٠٥ و٠,٧ والتي تفيد بشكل كبير في تقليل تأخر النقل لما يصل إلى ٠,٩.
٦- ينبغي تطبيق تعديل الإشارة بحرص كبير حيث إنه يتطلب توقع وصول مركبة النقل قبل وقت كاف؛ لتوفير فترة زمنية كاملة لإخلاء المشاة.

٥-٤-٣-٥ اختياري:

تتضمن أولوية إشارة مركبات النقل العام التكيفية اكتشافًا مستمرًا على طول مسارات النقل، وليس فقط عند مقاربات التقاطع ويمكن أن تُدمَج مع أجهزة عدّ الركاب الآلية، والاتصال بين مركبات النقل العام، ووحدات التحكم في الإشارة، وبيانات المرور في الوقت الفعلي؛ لتحديد تداخلات أولوية إشارة مركبات النقل العام مع دقة أفضل، وتقليل لتأثيرات المرور العامة. يظهر الاختبار الميداني لأولوية إشارة النقل التكيفي أنه قُلِّل تأخير التقاطع عند موقع واحد مزدحم لجميع المستخدمين. ٤٣٪ للحافلات و١٦٪ للمرور العامة و١٢٪ لحركة مرور الشوارع المتقاطعة (Li, et al., 2011).

٥-٤-٣-٥-١ معالجات الإشارة:

امتداد إشارة المرور الخضراء:

يوفر امتداد إشارة المرور الخضراء وقتًا إضافيًا لمركبة النقل التي كُشِف عنها لإخلاء تقاطع. ويُعد امتداد إشارة المرور الخضراء هو الأكثر قابلية للتطبيق عندما يسير نقل خلف صف انتظار المركبة، كما هو شائع عند الإشارة الأولى بعد التوقف البعيد. ويمكن أن يكون امتداد إشارة المرور الخضراء الشكل الأسهل لأولوية إشارة النقل لتنفيذها في الشوارع الحضرية؛ حيث إنها لا تتطلب بشكل غير متوقع قطع طور المشاة.

إعادة تخصيص إشارة المرور الخضراء:

يتغير إعادة تخصيص إشارة المرور الخضراء عندما يحدث طور الإشارة الخضراء في دورة الإشارة إذا كانت مركبة النقل في طريقها للوصول متأخرة؛ فينبغي أن يبدأ طور الإشارة الخضراء وتنتهي في وقت متأخر لاستيعاب النقل. يوفر إعادة تخصيص الطور مزايا متشابهة لامتداد الطور، ولكن مع تأثير قليل على حركة مرور شوارع التقاطع نظرًا إلى أن إجمالي وقت الإشارة الخضراء لكل دورة لا يتغير. وهذه الاستراتيجية تتطلب تقنية تحديد موقع المركبة آليًا.

اقتطاع الإشارة الحمراء:

يوفر اقتطاع الإشارة الحمراء طور الإشارة الخضراء في وقت سابق مما بُرمِج بطريقة أخرى مما يقوم بإخلاء طريق التقاطع مع مركبة نقل منتظرة في وقت أقرب من غير ذلك. يتطلب اقتطاع الإشارة الحمراء استشعار مركبة نقل بعيدة بشكل كاف بحيث يمكن إخلاء طور عبور المشاة. ومن الأسهل تنفيذه على مجموعات طويلة أو على ممرات نقل بأزمنة رحلة يمكن توقعها.

اقتطاع الإشارة الخضراء لنقطة البداية للمرور:

يقوم اقتطاع الإشارة الخضراء لنقطة البداية للمرور الذي يُعرف أيضًا بتجاوز صف الانتظار العكسي بوقف المرور خلف الحافلة عند اكتمال الصعود مما يسمح للحافلة بإعادة الدخول إلى المسار بعد التوقف للتحميل. يمكن أيضًا استخدام اقتطاع الإشارة الخضراء لنقطة البداية للمرور لوقف المرور عند تقاطع ما؛ حيث يؤدي النقل إلى التوقف البعيد في المسار، مما يمنع الوقوف في صف الانتظار في التقاطع. ويُعد اقتطاع الإشارة الخضراء الأكثر فعالية في طرق النقل ذات تردد معتدل حيث يكون التأخير فور إعادة الدخول بسبب الازدحام أمرًا شائعًا. ويمكن أيضًا أن يفيد الركاب الذين ينزلون ويعبرون الشارع خلف الحافلة.

إدخالات الطور وتغييرات تسلسل الطور:

تصف إدخالات الطور وتغييرات تسلسل الطور أطوار الحافلات الخاصة فقط أو أولوية أطوار الانعطاف المستخدمة لمسارات الانعطاف المشترك/تجاوز صف الانتظار، وتُعد أيضًا مفيدة عندما تقوم الحافلات بالانعطاف يسارًا.

إعادة تقديم خدمة الطور:

توفر إعادة تقديم خدمة الطور نفس الطور مرتين في دورة الإشارة المعينة، مثل طور الانعطاف لليسار أو تجاوز صف الانتظار. ويمكن لإعادة تقديم خدمة الطور تقليل فترات تأخير الحافلة بشكل كبير خاصةً عندما يكون الطور المعني قصير نسبيًا.

في الجدول (هـ -١٦)، تُلخّص أولوية إشارة مركبات النقل العام النشطة المختلفة بالنسبة إلى التهيئة الهندسية للطرق المختلفة.

الجدول (ه–١٦) أنواع أولوية الإشارة لمركبات النقل العام النشطة والتهيئة الهندسية (الجيومترية) التكميلية (المصدر: NACTO, (2016)).

معالج الإشارة	أنواع المسارات	أنواع التوقفات
امتداد إشارة المرور الخضراء.	مسار النقل العام، ممرات النقل العام، الرحلات المختلطة.	البعيدة: الانسحاب أو في المسار.
إعادة تخصيص إشارة المرور الخضراء.	مسار النقل العام، ممرات النقل العام، الرحلات المختلطة.	البعيدة: الانسحاب أو في المسار.
اقتطاع الإشارة الحمراء.	مسار النقل العام، ممرات النقل العام، الانعطاف المشترك لليمين/تجاوز صف الانتظار.	قريبة أو بعيدة: الانسحاب أو في المسار.
اقتطاع الإشارة الخضراء لنقطة البداية للمرور.	رحلة مختلطة.	قريبة أو بعيدة: الانسحاب.
إدخال الطور/تغيير تسلسل الطور.	مسار النقل العام، ممرات النقل العام.	أي نوع.
إعادة تقديم خدمة الطور.	مسار النقل العام، ممرات النقل العام، الرحلات المختلطة.	أي نوع.

هـ-٤-٤ دورات الإشارة القصيرة:

في المرور المختلطة، يكون متوسط سرعات وسائل النقل العام أبطأ من حركة مرور المركبات؛ حيث تتوقف مركبات النقل العام بشكل متكرر، وتميل إلى التخلف عن تعاقب الإشارات.

في شوارع الأحياء والشوارع الصغيرة الأخرى التي فيها مستويات نشاط المشاة عالية؛ فإن الإشارات ذات أطوال الدورات القصيرة وسرعات التعاقب تكون مواتية للسير بسرعة منخفضة وتسمح لوسيلة النقل العام بالعودة إلى التعاقب بسرعة. عندما يكون لدى وسيلة النقل العام أزمنة توقف لا يمكن التنبؤ بها، أو في حالة عدم وجود تعاقب منسّق للإشارة؛ فإن تقصير طول دورة الإشارة من شأنه أن يقلل بشكل كبير من الوقت الذي تقضيه مركبات النقل العام في الانتظار عند الإشارات الحمراء.

هـ-٤-٤-١ التطبيق والسياق:

- في الشوارع التي لا يوجد بها تعاقب منسّق للإشارة، مثل الشوارع التي تلعب دورًا ثانويًا في نظام إشارة المرور، تعمل دورات تعاقب الإشارة الأقصر على تقليل حالات التأخير في الشوارع الجانبية.
- كذلك في الشوارع المحكومة بإشارات مرورية مرور التي تُسار فيها وسائل نقل بشكل متكرر، أو في المرور المختلطة أو المسارات المخصصة.
- عندما تكون أولوية إشارة سير وسائل النقل النشطة مجدية بشكل أقل أو تتمتع بفوائد محدودة، مثل الشوارع ذات المسافات القصيرة بين الإشارات وشوارع وسط المدينة ذات النشاط المرتفع للمشاة.

هـ-٤-٤-٢ الفوائد:

- يمكن لدورات تعاقب الإشارة الأقصر أن تقلل من صافي التأخير بالنسبة إلى مركبات النقل العام، خاصةً في مواقع الموقف عند التقاطع. مع أطوال الدورات الأقصر، تكون الغرامة الواقعة على مركبات النقل العام بسبب تجاوز الضوء الأخضر أقل، بالإضافة إلى ذلك، تؤدي دورات تعاقب الإشارة الأقصر إلى إنشاء صفوف انتظار أقصر، مما يقلل من احتمالية منع مركبة النقل العام من الوصول إلى نقطة التوقف بسبب المرور (Furth & SanClemente, 2006).
- يمكن لدورات تعاقب الإشارة الأقصر أن تقلل من أوقات انتظار المشاة الإجمالية والتأخير في عبور الشارع مما يحسن من إمكانية وصول الراكب إلى وسيلة النقل العام. ومع توفير الوقت الكافي لعبور المشاة؛ فإنه يمكن لدورات تعاقب الإشارة الأقصر تحسين سلامة المشاة عن طريق تقليل أوقات الانتظار والعبور وفقًا للإشارة.

هـ-٤-٤-٣ الاعتبارات:

يمكن أن تقلل دورات تعاقب الإشارة الأقصر من الوقت المتاح للمشاة لعبور الشارع. لكن سرعات سير المشاة تختلف بشكل كبير؛ حيث يسير المشاة الذين يعانون من إعاقة حركية ببطء يصل إلى ٠,٦١ متر في الثانية (متر/ثانية)؛ حيث يمكن أن تحتاج فصائل المشاة الكبيرة، مثل الركاب الذين يترجلون من على أحد الأرصفة المركزية، وقتًا أطول للعبور. وينبغي تقصير مسافات العبور بدلًا من إطالة دورات تعاقب الإشارة كلما كان ذلك ممكنًا؛ حيث يمكن للمشاة الذين يسيرون بسرعة ٠,٩١ متر/ثانية عبور شوارع تصل إلى ٢٣ مترًا في ٢٥ ثانية، مما يسمح بتجزؤ دورات التعاقب بمقدار ٦٠ ثانية بالتساوي.

هـ-٤-٤-٤ الحرجة:

في السياقات الحضرية، يُحدَّد الحد الأدنى لطول دورة الإشارة استنادًا إلى فترات إخلاء المشاة ومسافة العبور (عرض الشارع)؛ حيث ينبغي توفير وقت كافٍ للمشاة الذين يسيرون ببطء نسبيًا، بسرعة تتراوح بين ٠,٧٦ و٠,٩١ متر/ثانية، للعبور عندما تبدأ إشارة "السير" في الوميض، حتى لو احتسِبت فترات الإخلاء حتى ١,٠٧ متر/ثانية. ويُوصى بتوفير وقت سير لا يقل عن ٧ ثوانٍ، مع توفير ٤ ثوانٍ كحد أدنى. (FHWA, (2009), Section 4E06).

هـ-٤-٤-٥ موصى به:

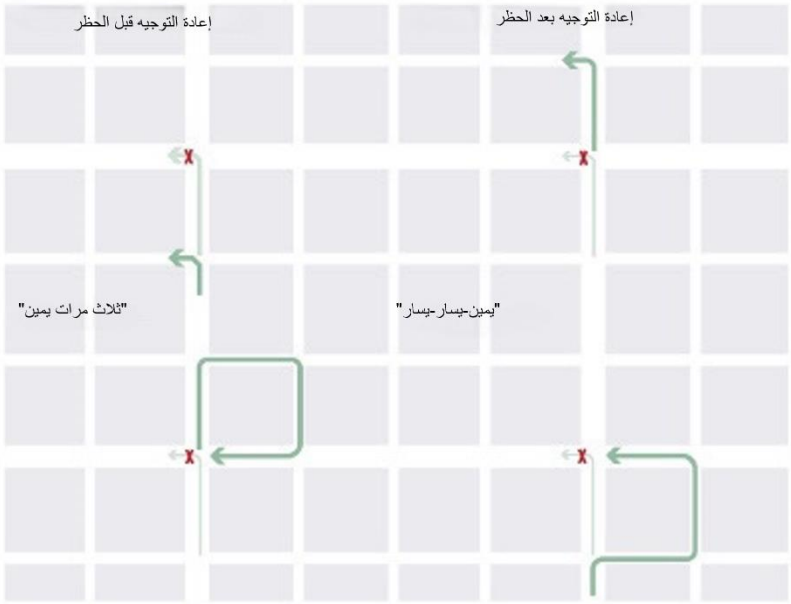
١- باستثناء الحالات التي تتجاوز فيها مسافات العبور ٢١-٢٤ مترًا، أو عندما يكون من الضروري إضافة طور إشارة ثالث لفصل المركبات المنعطفة عن المشاة؛ فمن الممكن عادةً تعيين أطوال دورة الإشارة عند ٦٠ ثانية.

٢- في الشوارع التي لا يوجد بها تعاقب إشارات ولا أولوية إشارة سير مركبات نقل نشطة، ينبغي أن تتضمن كل دورة إشارة وقتًا كافيًا للسماح للحافلة بالسير من نقطة وقوف إلى أخرى.

ه-٤-٥ قيود الانعطافات:

تستهلك الانعطافات لليسار قدرًا كبيرًا من المساحة ووقت الإشارة بشكل خاص، في حين أن الانعطافات لليمين في صفوف الانتظار تُشكل مشكلة بشكل خاص لعمليات النقل في المسار الأيمن.

ويمكن أن يؤدي منع وجود الانعطافات في الأماكن التي تُشكل مشكلات، وتحويل حجم الانعطاف إلى التقاطعات حيث يمكن استيعابها بشكل أفضل - وذلك بفضل وجود أطوار الإشارة ومسارات للانعطاف - إلى تحسين أداء وسائل النقل العام، وأداء المرور بشكل عام، وسلامة السير وركوب الدراجات الهوائية في الوقت نفسه. تُمثل حركات الانعطاف ٣٢٪ من الاصطدامات التي تشمل الحافلات والمشاة. ويشمل ثُلثي هذه الاصطدامات حافلات كانت تنعطف لليسار عندما اصطدمت بالمشاة (Pecheux, et al., 2007).



الشكل (ه–١٠) الاستراتيجيات التشغيلية المحتملة لإعادة توجيه الانعطافات لليسار التي تمثل إشكالية (المصدر: NACTO, (2016)).

ه-٤-٥-١ التطبيق والسياق:

- يمكن تطبيق قيود الانعطافات على الشوارع التي تحتوي على مسارات نقل عام مخصصة أو لا تحتوي عليها.
- وتنطبق قيود الانعطاف لليسار على نطاق واسع على الشوارع متعددة المسارات ذات الاتجاهين، ويمكن أن تكون مفيدة في الشوارع ذات الاتجاهين التي تحتوي على مسار واحدة لكل اتجاه مع أحجام نقل عام مرتفعة للغاية.
- تُعد موانع الانعطاف لليسار مكونًا مهمًا لخدمات النقل العام ذات السعة العالية التي تسير في الوسط، مثل: وسائل النقل السريع بالحافلات، ووسائل النقل بالسكك الحديدية الخفيفة التي تسير في الوسط. كما ينبغي أن تمنع الشوارع التي تسير بها وسائل النقل السريع بالحافلات ووسائل النقل بالسكك الحديدية الخفيفة الانعطافات لليسار من مسار النقل العام وتسمح بها فقط من إحدى المسارات المجاورة التي تحتوي على طور انعطاف مخصص.
- تُعد موانع الانعطاف لليمين مفيدة بشكل خاص للتقاطعات في مناطق وسط المدينة ذات المستويات المتعددة للسير وركوب الدراجات المرتفعة، أو للشوارع التي تحتوي على مرافق دراجات على الجانب الأيمن؛ حيث يؤدي السماح بالانعطافات إلى حدوث فترات تأخير طويلة لمركبات النقل العام التي تسير في المسار الأيمن. في التقاطعات الكثيفة المخصصة للمشي وركوب الدراجات؛ فإن تقييد الانعطافات، مثل: الانعطافات لليمين عندما يومض الضوء الأحمر، يتمتع بأحد المزايا التي تتعلق بسلامة مستخدمي الطريق المعرضين للخطر، ولكن بدون أن تتطلب التغييرات في التصميم المادي تنفيذًا دوريًا. بالإضافة إلى ذلك، إذا قُيّدت الانعطافات في مكان ما؛ فينبغي توفير بديل مناسب للحفاظ على الامتثال (Antonucci, et al., 2004).
- كما يلزم توافر إدارة الانعطافات لممرات النقل العام الجانبية.
- لدى انعطافات الدراجات تأثير ضئيل على حركة مرور وسائل النقل العام والمشاة. ويمكن السماح بها حتى في حالة منع الانعطافات الأخرى.

ه-٤-٥-٢ الفوائد:

- يمكن أن تقلل قيود الانعطاف لليسار بشكل كبير فترات تأخير وسائل النقل العام لجميع أنواع مرافق وسائل النقل العام باستثناء مرافق الطريق ذات الاتجاه الواحد على الجانب الأيمن.
- يمكن أن تقلل قيوم الانعطاف لليسار من تكرار تعرض المشاة للإصابات وتكرار وقوع حوادث اصطدام المركبات التي تتضمن مركبات وسائل النقل العام.
- حيث تمنع قيود الانعطاف لليمين المفروضة على مسارات مرور وسائل النقل العام عند جانب الطريق ومسارات مرور وسائل النقل العام الجانبية من فترات تأخير وسائل النقل العام عن المركبات المنعطفة. ويمكن أن تقلل من تكرار تعرض المشاة للإصابات.
- في الشوارع ذات الاتجاهين، يمكن لقيود الانعطاف لليسار أن تزيد بشكل كبير من السعة لمسارات المرور العامة. وفي الشوارع التي تفي بالسعة أو تقترب منها؛ فإن هذا يمكن أن يتيح إمكانية استخدام مسار نقل عام مع تقليل التأخير والانتظار لحركة مرور المركبات العامة.

ه-٤-٥-٣ الاعتبارات:

- حيثما يكون للانعطاف المراد منعه حجم حركة مرور معتدل أو مرتفع؛ فمن المحتمل أن يحدث تحويل. ينبغي تحديد مسارات بديلة للانعطاف من شأنها أن تولد تعارضات أقل بين المركبات المنعطفة والمشاة، وخدمة النقل العام، والمرور القادمة.
- ينبغي وضع مدى ارتباط الشبكة في الحسبان عند التخطيط لقيود الانعطافات. ينبغي أن يحدد تحليل الشبكة على الأقل مسارات بديلة للمركبات؛ للوصول إلى المفترق المحدد الذي لم يعد يتلقى أي انعطاف، مع الأخذ في الحسبان توفير فتحات للانعطاف وهندسة التقاطع العامة وأحجام السير وركوب الدراجات وغيرها من جوانب الانعطافات. قد تكون بعض مسارات التحويل أقل استحسانًا من المنعطف الأصلي، بينما يمكن أن يكون البعض الآخر أكثر أمانًا وفعالية مع تدخلات بسيطة نسبيًا.
- يمكن أن تحسن موانع الانعطاف لليسار التشغيل الخاص بوسائل النقل العام التي تسير في الجانب الأيمن في مسارات المرور المختلطة. ومع ذلك، ينبغي مراعاة الزيادات في حجم الانعطاف لليمين عند النظر في المزايا المحتملة لعمليات النقل العام.

ه-٤-٥-٤ الحرجة:

- ينبغي تركيب لافتات منع الحركة المحددة (على سبيل المثال: "ممنوع الانعطاف يمينًا "، أو "ممنوع الانعطاف يسارًا"، أو "ممنوع الانعطافات"، أو "ممنوع الانعطاف باستثناء الدراجات الهوائية") حيثما كان ذلك مناسبًا.

ه-٤-٥-٥ موصى به:

١- ينبغي وضع لافتات منع الانعطاف في الأماكن التي يسهل على السائقين الذين قد يريدون الانعطاف رؤيتها فيها. وينبغي وضع لافتة "ممنوع الانعطاف يمينًا" بجوار لوحة إشارة المرور الضوئية التي يراها السائقون في المسار الأيمن.
٢- ينبغي وضع لافتة "ممنوع الانعطاف يسارًا" (أو "ممنوع الانعطاف للخلف" أو كلًا من "ممنوع الانعطاف للخلف"/"ممنوع الانعطاف يسارًا") بجوار لوحة إشارة المرور الضوئية التي يراها مستخدمو الطريق في المسار الأيسر. كما أنه من الممكن تركيب لافتة تُضيء وتنطفئ، تحمل إشارة ممنوع الانعطاف يسارًا في الأماكن التي تكون فيها الانعطافات لليسار ممنوعة في أثناء وجود مركبات النقل العام.
٣- ينبغي وضع لافتة "ممنوع الانعطافات" بجوار لوحة إشارة مرور ضوئية يستطيع جميع مستخدمي الطريق الموجودين بذلك الاتجاه رؤيتها.
٤- بالنسبة إلى مسارات الحافلات التي تحتوي على قيود الانعطافات، ينبغي وضع علامة خط متصل على طول المسار عند الاتجاه المؤدي إلى التقاطع على طول مسار الحافلات.
٥- في حالة وجود بنية تحتية مخصصة للدراجات الهوائية في أحد الشوارع، ينبغي استثناء الدراجات من قيود الانعطاف وتوفير مسار اتجاه قصيرة أو مرفق آخر.
٦- إذا كان من الممكن القيام بانعطافات من تقاطع سابق؛ فينبغي وضع لافتات إرشادية قبل التقاطع السابق.

ه-٤-٥-٦ اختياري:

١- يمكن توفير لافتات إرشادية لتوجيه المركبات نحو المنعطفات المسموح بها أو مسارات التحويل الموصى بها.
٢- من الممكن تركيب عناصر الفصل الرأسية، أو عناصر التصميم الهندسية الأخرى المعززة ذاتيًا؛ لمنع الانعطافات المحظورة أو تجنبها.
٣- تُعد موانع الانعطاف المستخدمة بشكل جزئي، التي تُطبَّق عادةً خلال فترات ذروة المرور متعددة وسائل النقل العام، أداة مفيدة لتقليل التأخير في الشوارع غير المزودة بمساحة انعطاف مخصصة. في حين أن موانع الانعطاف لليسار في فترة الذروة تُعد استراتيجية تقليدية لزيادة معدل نقل المرور بشكل عام - مما قد يؤدي إلى زيادة أحجام المرور بمرور الوقت -

؛ فإن قيود الانعطاف المطبقة في فترة الذروة على الانعطافات لليسار أو الانعطافات لليمين يمكن أن تحسن بشكل كبير من الأداء والسلامة إما لمسار نقل عام في فترة الذروة فقط أو لمسار نقل عام تعمل في كل وقت.

هـ-٤-٥-٧ استراتيجيات إدارة الانعطاف لليمين والانعطاف لليسار:

تُعرَض استراتيجيات إدارة الانعطاف لليمين في الجدول (هـ -١٧) مع افتراض شارع أحادي الاتجاه أو ثنائي الاتجاه مع وجود وسائل نقل عام على الجانب الأيمن.

الجدول (هـ–١٧) استراتيجيات إدارة الانعطاف لليمين (المصدر: NACTO, (2016)).

مرفق النقل العام	خدمة النقل العام	ظروف النقل العام	استراتيجيات الانعطاف
النقل العام في أثناء المرور المختلطة.	متكرر.	قدر منخفض من التأخير عند الانعطاف وارتفاع حجم المشاة/ركوب الدراجة.	منع الانعطافات.
	متكرر.	قدر معتدل من التأخير عند الانعطاف.	فتحة للانعطاف لليمين أو منع الانعطافات.
	مرور الحافلات المتكرر أو أي وسيلة نقل عام بالسكة الحديدية.	قدر مرتفع من التأخير عند الانعطاف.	مسار انعطاف لليمين عند جانب الطريق، مسار مرور وسائل النقل العام الجانبية لتجاوز صفوف الانتظار.
	مرور الحافلات المتكرر بشكل من منخفض إلى معتدل.	قدر مرتفع من التأخير عند الانعطاف.	مسار الانعطاف لليمين المشتركة/تجاوز صفوف الانتظار.
مسار مرور وسائل النقل العام عند جانب الطريق.	مرور الحافلات المتكرر أو أي وسيلة نقل عام بالسكة الحديدية.	قدر معتدل من التأخير عند الانعطاف.	منع الانعطافات.
	متكرر (فترات تقاطر بمقدار ٥-١٥ دقيقة).	قدر مرتفع من التأخير عند الانعطاف.	مسار الانعطاف لليمين المشتركة ذات إشارة أولوية عبور وسائل النقل العام (متقدمة أو إشارة خضراء ممتدة).
مسار مرور وسائل النقل العام الجانبية.	متكرر (١٥ دقيقة أو أقل).	قدر معتدل من التأخير عند الانعطاف.	فتحة الانعطاف لليمين.
		قدر مرتفع من التأخير عند الانعطاف.	مسار الانعطاف لليمين الطويلة التي تؤدي إلى الجانب الأيمن من مسار مرور وسائل النقل العام الجانبية.

تُعرَض استراتيجيات إدارة الانعطاف لليسار في الجدول (هـ -١٨) الوارد أدناه مع افتراض أن وسائل النقل العام هي المركبات الأكثر مرورًا في أغلب الأحيان في الجزء الأوسط من المسارات.

الجدول (هـ–١٨) استراتيجيات إدارة الانعطاف لليسار (المصدر:(NACTO, (2016).

مرفق النقل العام	خدمة النقل العام	ظروف النقل العام	استراتيجيات الانعطاف
ممرات النقل العام الوسطى.	أي نوع.	في أي ظروف.	يفضل المنع، أو توفير مسار منفصل للانعطاف وطور إشارة مرور منفصل.
مسار مرور وسائل النقل العام الوسطى.	أي نوع.	أي نوع.	يفضل المنع، أو توفير مسار منفصل للانعطاف وطور إشارة مرور منفصل.
المرور المختلطة (مسار واحد، ثنائي الاتجاه).	متكرر للغاية.	قدر مرتفع من التأخير.	منع الانعطافات لليسار، أو توفير مسار منفصل للانعطاف وطور إشارة مرور منفصل.
	متكرر.	مرتفع.	توفير إمكانية تجاوز صف الانتظار أو مسار للانعطاف لليسار.

ه-٥ الأنظمة والإجراءات الخاصة بالمحافظة على صلاحية الطرق وسلامتها:

ه-٥-١ إدارة الحوادث:

ه-٥-١-١ مقدمة:

يمثل الحادث المروري حدثًا غير مخطط له ويؤدي إلى انخفاض مؤقت في سعة الطريق؛ مما يعيق التدفق الطبيعي للمرور. ويقلل الازدحام الناجم عن الحوادث بشكل ملحوظ من موثوقية نظام الشبكة وجودة الخدمة المقدمة لمستخدمي الطريق. يمكن أيضًا إدراج حالات الطوارئ مثل الظروف المناخية المتطرفة والكوارث الطبيعية، والأمور المخطط لها مثل أعمال الطرق والمناسبات الخاصة التي تؤثر على السلامة وتدفق المرور؛ حيث يهدف نظام الاستشعار التلقائي عن الحوادث بشكل عام إلى اكتشاف الأحداث غير المتكررة (انهيار التدفق) بعد حدوثها. ثم بعد ذلك ينبغي على مركز إدارة المرور البت في وضع خطة إدارة الحوادث لحل الحادث. ويستطيع نظام الاستشعار التلقائي عن الحوادث تحديد التغييرات غير العادية التي تطرأ على السرعة والتدفق والإشغال.

ه-٥-١-٢ نظرة عامة على إدارة حوادث المرور:

إدارة حوادث المرور هي: عملية إدارة استجابات الجهات والسلطات القضائية المتعددة لاضطرابات المرور على الطرق، وتهدف إلى تقليل مدة الحوادث وتأثيرها، وتحسين سلامة سائقي المركبات وضحايا حوادث الاصطدام والمستجيبين للحوادث. كما ينبغي أن تقلل من الوقت المستغرق؛ لاكتشاف وقوع الحادث والتحقق منه، وتنفيذ الاستجابة المناسبة، وإزالة آثار الحادث بأمان، مع إدارة التدفق المتأثر حتى تُستعاد السعة الكاملة. ينبغي أن تؤدي إدارة حوادث المرور الفعّالة والمنسقة إلى تحقيق ما يأتي:

- تقليص مدة حوادث المرور، وبالتالي تقليل التأخير المرتبط بالحوادث وتكلفة الازدحام، وتحسين موثوقية النقل الخاص والنقل التجاري والنقل العام ونقل البضائع.
- تحسين سلامة سائقي المركبات، وضحايا حوادث الاصطدام والمستجيبين للحوادث، من خلال التعافي السريع (الحد من التعرض)، وبالتالي تقليل مخاطر وقوع حوادث ثانوية وتحسين سلامة المستجيبين.
- تقليل استهلاك الطاقة، وتحسين جودة الهواء (من خلال تقليل انبعاثات عوادم المركبات).

وتتمثل المراحل الخمس؛ لتنفيذ عملية متكاملة لإدارة حوادث المرور في ((Austroads, (2017c):

- تعاون الجهات المتعددة.
- التخطيط لإدارة حوادث المرور.
- إدارة حوادث المرور.
- تقييم الأداء.
- تطوير الإمكانات.

ينبغي أن يستند إطار عمل إدارة حوادث المرور إلى مبادئ الإدارة الآتية ((Austroads, (2017c):

- التعاون فيما بين السلطات القضائية والجهات المتعددة.
- لا يمكن التشديد كفاية على أهمية التنسيق بين الأطراف المعنية من أجل الوصول إلى اتفاق جماعي للاستجابة السريعة. تُعد الأدوار والمسؤوليات المحددة بوضوح بين جميع الجهات قبل الحادث وأثنائه وبعده أمرًا بالغ الأهمية لضمان الإحساس بالحاجة الملحة إلى إعادة إرساء ظروف المرور العادية بأمان.
- وضع هيكل معياري بلغة مشتركة.
- من المهم بالنسبة إلى هيكل استجابة الجهات المتعددة أن يكون الفريق قابلًا للتطوير؛ ليناسب مستويات مختلفة من الحوادث. ومن الأهمية بمكان وجود لغة مشتركة ذات مصطلحات متسقة ومتفق عليها؛ لتحقيق التواصل الفعّال خلال كل مرحلة من مراحل عملية إدارة حوادث المرور.
- تخطيط الاستجابة للحوادث متعدد المراحل.
- يتمثل في معرفة أن مرحلة إدارة حوادث المرور بدءًا من اكتشاف الحوادث وحتى استعادة المرور تساعد على التخطيط التشغيلي وتقييم الأداء وتحسينات العملية.
- ترتيب أولويات مبادرات إدارة حوادث المرور؛ لمعرفة القيمة مقابل المال.
- بدلًا من التركيز فقط على الفوائد التي تعود من تقليل التأخير، ينبغي أن تأخذ عملية تقييم صافي الفوائد (القيمة مقابل المال) في الحسبان "القيم الأساسية الثلاثة" التي تشمل الآثار الاقتصادية (المالية) والاجتماعية والبيئية.
- سياسة إزالة آثار الحادث السريعة.
- ما لم يكن هناك ما يستدعي خلاف ذلك (على سبيل المثال: أن يلزم إجراء تحقيق شامل لحادث كبير)، ينبغي أن تكون عملية إزالة آثار الحادث السريعة مبدأ أساسيًا في إدارة حوادث المرور. كما ينبغي أن يعكس ذلك القوانين والسياسات والإجراءات ذات الصلة.
- التكيف التكنولوجي في مختلف مراحل إدارة حوادث المرور.

- بالاعتماد على معالجة المعلومات المتقدمة والاتصالات السلكية واللاسلكية والتقنيات الإلكترونية، يجب أن توفر أنظمة النقل الذكية خدمات دعم لمستخدمي الطريق في مراحل مختلفة من إدارة الحوادث بدءًا من معلومات المستخدم وإدارة المرور والتحكم المتقدم في المركبات وحتى خدمات تخزين البيانات.
- إبداء الملاحظات والتقييم والتحسين المستمر.
- ومن المهم بالقدر ذاته إجراء مراجعة بعد الحوادث، وتقييم التشغيل قيد التنفيذ، وتطوير الإمكانات من أجل تحسين ممارسات إدارة حوادث المرور.

هـ-٥-١-٣ أنواع الحوادث وخصائصها:

من المفيد تصنيف الحوادث حسب خطورتها ومدتها المحتملة؛ لأن هذا يساعد بشكل كبير في توفير الاستجابة المتسقة والملائمة وفي الوقت المناسب. يرد ملخص لنظام تصنيف نموذجي موصى به في الجدول (هـ -١٩).

الجدول (هـ–١٩) أنواع/تصنيفات الحوادث النمطية (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.1).

	المستوى ١	المستوى ٢	ما يزيد عن ٣:	ما يزيد عن ٤:	ما يزيد عن ٥:
نوع الحادث.	مركبة في مسرب الطوارئ.	مركبة في مسار.	حادث تصادم بسيط (بدون إصابات) حطام بسيط.	حادث تصادم خطير (مع وقوع إصابات). حطام/خسارة حمولة حريق.	إصابات نتيجة حادث تصادم كبير. مواد خطرة. حريق.
المدة المقدرة.	لا قيمة.	٠-٣٠ دقيقة	٣٠-٦٠ دقيقة	١-٢ ساعة	أكبر من ساعتين
الاستجابة النموذجية.	وحدة الاستجابة للمرور/القطر. وحدات الاستجابة للمرور هي خدمات تجوال على الطريق توفر المساعدة الأساسية في حالة الأعطال، وإزالة آثار الحادث، والتحكم المروري.	وحدة الاستجابة للمرور/القطر. التحكم المروري.	الشرطة. التحكم المروري. القطر. التنظيف.	الشرطة حريق الإسعافات الطبية التحكم المروري القطر التنظيف	الشرطة. حريق. الإسعافات الطبية. مواد خطرة. التحكم المروري. القطر. التنظيف.

هـ-٥-١-٤ مكونات إدارة الحوادث:

المكونات الخمسة الأساسية لإدارة حوادث المرور هي:

- الاستشعار والتحقق.
- الاستجابة.
- إدارة الموقع والتحقيق وإزالة آثار الحادث.
- إدارة المرور.
- معلومات الركاب.

ترد أدناه مناقشة هذه المكونات بمزيد من التفصيل.

هـ-٥-١-٥ التخطيط لإدارة حوادث المرور:

يمكن أن يؤدي التخطيط لخطط وبرامج الاستجابة للحوادث، وإضفاء الطابع الرسمي عليها، والتنسيق عبر الجهات والسلطات القضائية المتعددة، إلى تحسين كفاءة الموارد وتوفير فوائد أكبر للمجتمع من خلال تحسين السلامة وتقليل الازدحام؛ لضمان نجاح عملية التخطيط لإدارة حوادث المرور، فإنه من المهم تحديد الأطراف المعنية الرئيسة وإشراكهم في العملية.

هـ-٥-١-٥-١ التخطيط لإدارة الحوادث: الممارسة الموصى بها:

- ينبغي تحديد إدارة حوادث المرور بتقديرها أولوية رئيسة في كل هيئة مستجيبة رئيسة.

- ينبغي أن تشارك الأطراف المعنية الرئيسة عن قرب في عملية التخطيط لإدارة حوادث المرور؛ ولا سيما الشرطة وخدمات الطوارئ.
- كما ينبغي تشكيل فريق تخطيط؛ لإجراء عمليات التخطيط وإدارة الحوادث.
- ينبغي التوصل إلى فهم واضح لأهداف كل طرف من الأطراف المعنية وأولوياته.
- ينبغي تحديد احتياجات إدارة الحوادث ودوافعها كجزء من عملية التخطيط.
- كما ينبغي تطوير الأهداف المتفق عليها والنتائج المرجوة، مع فهم الأهداف المتعارضة لمختلف المستجيبين.
- بعد تقييم الخيارات المتاحة؛ لتحقيق الأهداف المرجوة. ينبغي وضع إطار عمل استراتيجي يشمل إجراءات استراتيجية ومقاييس الأداء والأهداف.
- بعد الاتفاق على إطار العمل الاستراتيجي، ينبغي وضع خطة عمل متعددة السنوات، أو برنامج للتنفيذ يتضمن تفاصيل الاستراتيجيات، والإجراءات ومقاييس الأداء على المدى المتوسط والطويل.
- يجب تولي مهمة التخطيط للاستجابة للحوادث، بما يشمل استخدام نماذج المحاكاة المجهرية.
- ينبغي مراعاة إجراءات منع وقوع الحوادث، أو تقييم المخاطر من أجل إدارة الحوادث.
- كما ينبغي إعداد خطة عمل سنوية توضح بالتفصيل مشاريع ومبادرات محددة وبرامج جارية يجب تحقيقها، تدعمها إجراءات متفق عليها للحصول على التمويل.
- ينبغي تحديد التدابير التي ستتبَّع وستُستخدَم لقياس أداء البرنامج ووضع الأهداف، كما ينبغي إعداد طرق متفق عليها لجمع مقاييس الأداء وتتبعها وتقديم التقارير حولها.

هـ-٥-١-٦ استشعار الحوادث والتحقق منها:

تُعد عملية الاستشعار العملية المنوطة بجمع البيانات، وتحديد الحادث عند وقوعه والحصول على معلومات أو معلومات استخبارية كافية لتحديد الاستجابة المناسبة. يرد موجزًا لتقنيات استشعار الحوادث ومزاياها وعيوبها في الجدول (هـ-٢٠).

الجدول (هـ-٢٠) تقنيات استشعار/ التحقق من الحوادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.2).

طرق الاستشعار	الوصف	المزايا	العيوب
الاستشعار التلقائي عن الحوادث - استخدام أنظمة المرور (على سبيل المثال: نظام حاسب الإدارة المركزي والنظام المروري المنسق القابل للتكيف في سيدني والعلوم والتقنية والروبوتات والهندسة والفنون والرياضيات والفيديو والأنظمة القائمة على البلوتوث).	يقارن برنامج الخوارزميات بيانات المرور من أجهزة الاستشعار (الحلقات، الأشعة تحت الحمراء، الفيديو، تعريف المركبات، الفيديو، البلوتوث) بالمرور العادية. مجموعات متعددة من الأساليب الإحصائية والتحليلية المتاحة، بدرجات متفاوتة من الموثوقية. يمكن أن يشمل أيضًا استشعار المركبات غير المتحركة من خلال تقنية استشعار الحوادث بالفيديو.	الاستشعار التلقائي – يوفر نظام الإنذار دعم القرار.	تحتاج إلى تغطية أجهزة الاستشعار (الحلقات على سبيل المثال: على مسافة ٥٠٠ متر على الطرق السريعة). موازنة الوقت للكشف، مع معدل الاستشعار ومعدل الإنذار الخاطئ. تحتاج إلى التحقق باستخدام الكاميرا أو وسائل أخرى.
أنظمة عرض الازدحام المروري.	يمكن أن تشير أنظمة عرض الازدحام المروري والإنذارات تلقائيًا إلى الحوادث المحتملة.	تُستخدم البنية التحتية الحالية للتحكم في المرور.	الحاجة إلى تغطية أجهزة الاستشعار (حلقات على سبيل المثال: كل ٥٠٠ متر). الحاجة إلى نظام متكامل، باستخدام المعلومات من نظام المرور وضبط المداخل إلى الطرق السريعة وما إلى ذلك. تحتاج إلى التحقق باستخدام الكاميرا أو وسائل أخرى.
كاميرات (كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية).	تعد كاميرات التكبير والإمالة الشاملة، على الأقل على طرق المرور الرئيسة والمواقع الحرجة، مهمة بشكل خاص للمواقع الخطرة مثل الأنفاق.	القدرة على التحقق من الحوادث بسهولة (قادرة أيضًا على مراقبة المرور). يمكنها استخدام تقنية استشعار طريق الفيديو.	تكلفة المعدات والاتصالات. من المستحيل متابعة كل كاميرا يدويًا

طرق الاستشعار	الوصف	المزايا	العيوب
المكالمات التلفونية الطارئة.	يقوم الجمهور وسائقو المركبات بالإبلاغ عن الحوادث إلى مركز اتصال الطوارئ ويتم توصيلهم بخدمات الطوارئ الذي يقوم لاحقًا بتقديم المشورة لهيئة الطرق (أكثر طرق الاستشعار شيوعًا).	التكلفة المنخفضة (لهيئة الطرق). العمل يوميًا على مدار الساعة. يمكن التحقق من الحادث عند تلقي مكالمات متعددة. تقديم نصيحة سريعة عن الحوادث في مناطق الازدحام الشديد، وعادة ما تكون أقل من دقيقة واحدة في فترات ذروة الازدحام.	الاعتماد على المكالمات العامة - يكون عدد المكالمات مرتفعًا جدًا، بالنسبة إلى الحوادث الأكثر خطورة. عادة ما تحتاج إلى التحقق من المعلومات لتوضيح الموقع والخطورة والمدى. تحتاج إلى مركز اتصال لتوفير المعلومات في الوقت المناسب لهيئة الطرق – سواء كانت صوتية أم فاكس أم إلكترونية. تتطلب مراكز الاتصال المتعددة معلومات التنسيق، على سبيل المثال: الشرطة والإطفاء والإسعاف.
الخط الساخن للإبلاغ عن حوادث الطرق	يقوم العامة وسائقو المركبات بالإبلاغ عن الحوادث إلى مركز اتصالات المرور أو النقل.	الاستشعار السريع. يمكن التحقق من الحادث عند تلقي مكالمات متعددة – بالإضافة إلى أنه يمكن استخدام كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية إذا كان ذلك متاحًا. عملية الاستشعار اقتصادية نسبيًا حيث أن مركز الاتصال له استخدامات متعددة.	الحاجة إلى العمل في فترات الازدحام الشديد، ويفضل أن يكون ذلك على مدار الساعة (تداعيات تحديد المصادر). الاعتماد على مكالمات الجمهور للخط الساخن للمرور (التعليم). الحاجة إلى التحقق من المعلومات وتحسين جودتها، وتوضيح الموقع والخطورة والمدى. تحصل مراكز الاتصال المتعددة، على سبيل المثال: الشرطة والإطفاء والإسعاف والمرور على نفس المعلومات/ معلومات مختلفة.
هاتف الطوارئ على جانب الطريق.	الأجهزة الموجودة على مسافات منتظمة – عادةً على طرق المرور الرئيسة فقط.	وضوح الغرض – الاتصال المباشر بمركز الاتصال. الموقع الصحيح للهاتف معروف. متاح يوميًا على مدار الساعة.	يعتمد على مكالمات الجمهور. عادة ما تحتاج إلى التحقق من المعلومات لتوضيح الموقع والخطورة والمدى. تحتاج إلى مركز اتصال لتوفير المعلومات في الوقت المناسب لهيئة الطرق – سواء كانت صوتية أم فاكس أم إلكترونية. تكلفة التركيب/ الصيانة – تصبح أقل استخدامًا مع انتشار الهواتف المحمولة.
وحدات الاستجابة للحوادث، خدمات القطر المتعاقد عليها.	تقوم المركبات الخاصة أو خدمات القطر بدوريات لمراقبة المرور/ أقسام الحوادث في فترات الذروة.	الاستشعار والتحقق عن طريق مصدر موثوق. توفير المعلومات الاستخبارية في الوقت المناسب لتمكين الاستجابة المناسبة. الاستجابة المبكرة - قادرة على إصلاح الحوادث الصغيرة.	تداعيات توفير الموارد لتمويل خدمات الاستجابة للحوادث – يعتمد الوقت والمناطق التي يمكن تسيير دوريات فيها على الالتزام المستمر بالموارد. يعيق الازدحام المروري الوصول إلى الخدمات. ضمان سلامة المستجيب لخدمات الاستجابة على الطرق عالية السرعة.

طرق الاستشعار	الوصف	المزايا	العيوب
دوريات الشرطة.	دورية فترة الذروة في قطاعات المرور العالية الحرجة.	الاستشعار والتحقق عن طريق مصدر موثوق. توفير المعلومات الاستخبارية في الوقت المناسب. الوصول السريع. الاستجابة المبكرة. سلطة معترف بها من قبل السائق.	تداعيات تحديد المصادر لتوفير الموارد لتمويل خدمة خاصة. مشكلة سلامة المستجيب على الطرق السريعة. صعوبة الوصول في ظروف الازدحام.
مراقبة الحادث.	السائقون المحترفون – هيئة الطرق وسيارات الأجرة والسعاة وشاحنات القطر والحافلات.	مصادر مطلعة. تغطية واسعة لشبكة الطرق.	الحاجة إلى التعليم لاستدعاء مستوى مفيد من الاستجابة. لا تزال بحاجة إلى التحقق اعتمادًا على المصداقية.
إشارة الاستغاثة.	تنقل المركبات إشارة استغاثة تُشغَّل تلقائيًا.	تلقائية. سريعة. صحيحة الموقع (طبقًا لنظام تحديد المواقع العالمي).	انتشار محدود – موجود حاليًا فقط في المركبات عالية الجودة أو الخدمة المدفوعة للمستهلكين. يحتاج مركز الاتصال الخاص إلى ترحيل الرسالة
مراقبة المرور جويًا.	تستخدم خدمات إعداد تقارير المرور الطائرات خلال فترات الذروة.	تغطية واسعة. قادرة على استعراض بؤر التوتر.	المصالح التجارية. تقتصر على فترات الذروة فقط.
الهواتف الذكية ونظام الملاحة العالمي عبر الأقمار الصناعية (مثل نظام تحديد المواقع العالمي).	تتمتع غالبية الهواتف الذكية بإمكانية الوصول إلى نظام الملاحة العالمي عبر الأقمار الصناعية، والذي يعد نظام تحديد المواقع العالمي جزءًا منه، ومجهز بمقاييس التسارع والمستشعرات الجيروسكوبية والبوصلة، إلى جانب الخدمات المتنقلة واسعة النطاق التي تقدمها شركات الاتصالات.	تحديد الحوادث من تحركات المركبات.	عدم رغبة شركات الاتصالات في تقديم البيانات والمعلومات إلى أطراف ثالثة.
أنظمة النقل الذكية التعاونية والاتصالات قصيرة المدى المخصصة.	تتضمن أنظمة النقل الذكية التعاونية اتصالات متخصصة من مركبة إلى مركبة/ بنية تحتية، والتي تشمل الاتصالات المخصصة قصيرة المدى	يمكن للمركبات التواصل مع المركبات/ البنية التحتية بشأن المخاطر. يمكن للمركبات التواصل عبر الاتصالات الخلوية للاتصال مجددًا بالمركز.	تتطلب الاتصالات المخصصة قصيرة المدى أن يتم تمكين المركبات الأخرى بوحدات اتصالات مخصصة قصيرة المدى أو بدلًا من ذلك يتم تركيب وحدات على جانب الطريق على مسافات ٥٠٠ متر للحفاظ على الاتصالات بين المركبات وجانب الطريق. لا تتمتع الاتصالات الخلوية بزمن انتقال منخفض مثل الاتصالات المخصصة قصيرة المدى وبالتالي يمكن ألا تكون مناسبة لجميع التطبيقات. تتطلب الاتصالات الخلوية أيضًا تغطية خلوية.
وسائل التواصل الاجتماعي والاستشعار التشاركي والتعهيد الجماعي.	يمكن أن تلعب وسائل التواصل الاجتماعي في الوقت الحقيقي والتعهيد الجماعي دورًا في استشعار حوادث المرور. يمكن الإبلاغ عن العديد من الحوادث البسيطة، مثل الحوادث غير	يمكن أن توفر نظرة ثاقبة لا تستطيع الأساليب الأخرى توفيرها.	يمكن أن توفر تشتيت الانتباه للسائقين.

طرق الاستشعار	الوصف	المزايا	العيوب
	الناجمة عن الإصابات وتعطل المركبات في وقت سابق عبر وسائل التواصل الاجتماعي مقارنة بالطرق التقليدية. علاوة على ذلك، يمكن أن يساعد تحليل وسائل التواصل الاجتماعي في الإبلاغ عن مخاطر الازدحام والسلامة. الاستشعار التشاركي هو اتجاه لجمع البيانات وتفسيرها حيث يقدم الأفراد المعلومات لمقدمي الخدمات إما طوعًا أو كرهًا.		
طائرات دون طيار لبيانات المرور.	يمكن تزويد الطائرات دون طيار لجمع بيانات المرور بأنظمة الملاحة مع وقت طيران محدد مسبقًا، وكاميرات عالية الدقة ورابط جمع البيانات ذي سعة عالية.	تغطية واسعة. قادرة على استعراض بؤر التوتر.	يمكن أن تكون سلطات الطيران المدني أو غيرها من السلطات قد قيدت استخدام الطائرات دون طيار.

يعالج الاكتشاف الآلي بيانات المرور ويوفر إنذارًا، ما يسمح للعامل بالتركيز على بعض الأحداث التي يمكن أن تكون حوادث محتملة. يعالج الاكتشاف الآلي بيانات المرور ويوفر إنذارًا، ما يسمح للمشغل بالتركيز على بعض الأحداث التي قد تكون حوادث محتملة. يمكن قياس أداء هذه الخوارزميات من حيث معدل الاستشعار ووقته ومعدل الإنذار الخاطئ. تؤدي الخوارزميات الحالية إلى استشعار ٩٠٪ من الحوادث بمعدل إنذار خاطئ أقل من ١٪.

على الرغم من الجهود المبذولة في الاستشعار التلقائي عن الحوادث، نظرًا لتوافر الهواتف المحمولة، فإن الوسيلة السائدة لاكتشاف الحوادث في المناطق ذات المستويات المعقولة من المرور هي المكالمات من السائقين. ومع ذلك، يمكن أن تكون المعلومات الواردة من هذه المكالمات غير دقيقة أو غير كاملة؛ لتمكين الاستجابة السريعة والفعالة.

يؤكد **التحقق** من الحادث وقوع الحادث، ويحسن المعلومات المتعلقة بالموقع، ويتيح أفضل المعلومات الممكنة عن طبيعة ومدى وشدة الحادث لتمكين الاستجابة الفعالة.

يُتحقَّق من حوادث المرور في البداية من قِبل مركز اتصالات خدمات الطوارئ ذات الصلة (أي الشرطة والإطفاء والإسعاف)، وعادةً ما يتم ذلك عن طريق الحصول على المشورة من أول أفراد خدمة الطوارئ المستجيبين في الموقع. يوفر ذلك مصدر معلومات موثوق يمكنه تقديم المشورة ذات الصلة بشأن متطلبات الاستجابة والوصول. من المساوئ وصول المستجيب الأول إلى مكان الحادث يمكن أن يستغرق بعض الوقت.

تشمل الوسائل التي يمكن استخدامها للتحقق من الحوادث ما يأتي:

- كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية في مراكز التحكم المروري.
- الوحدات الميدانية: أفراد الشرطة، أو خدمات الطوارئ في موقع الحادث، ووحدة الاستجابة للحوادث.
- وسائل أخرى مثل المراقبة الجوية من خلال خدمات إعداد التقارير المرورية.

ينبغي أن يكون الهدف هو التحقق من وقوع حادث مروري في أسرع وقت ممكن، وتأكيد ما إذا كان الموقع صحيحًا، وتحديد نوع ومدى وشدة الحادث؛ حتى يمكن إجراء الاستجابة المناسبة.

هـ-٥-١-٦-١ كشف الحوادث والتحقق منها: الممارسة الموصى بها:

- ينبغي تطوير علاقات عمل قوية والحفاظ عليها مع المنظمات الأخرى التي لديها القدرة على كشف الحوادث: خدمات الطوارئ في المقام الأول (الشرطة، والإطفاء، والإسعاف)، وكذلك خدمات إعداد التقارير عن المرور الإذاعية والتلفزيونية؛ لضمان سرعة توفير المعلومات ذات الصلة. ينبغي وضع بروتوكولات واتفاقيات تبادل البيانات والمعلومات الخاصة بحوادث المرور.
- ينبغي تشجيع توفير البيانات في الوقت الحقيقي عن حوادث المرور من أنظمة الإرسال بمساعدة الحاسب لخدمات الطوارئ.
- القدرة على الاستشعار والمراقبة عبر الشبكة لتغطية المواقع أو الممرات التي تشهد معدلات حوادث عالية. ينبغي أن تكون أجهزة استشعار المركبات قادرة على مراقبة سرعات المرور وتدفقها، والبرمجيات؛ للتحليل والتنبيه عن الحوادث المحتملة تلقائيًا، وتشغيل كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية للتحقق من الحوادث.

- ينبعي توفير علامات مرجعية للموقع على مسافات منتظمة (على سبيل المثال: على مسافة كل ٢٥٠ مترًا) على خطوط المرور العالية؛ لتمكين تحديد أكثر دقة لموقع الحوادث وتوفير توجيه أكثر دقة للمستجيبين. بدلًا من ذلك، ينبغي التأكد من أن جميع المستجيبين يمتلكون أجهزة تعمل بنظام تحديد المواقع العالمي.
- ينبغي النظر في استخدام عدد من وسائل الاستشعار البديلة أو التكميلية، مثل: الاستشعار التلقائي عن الحوادث، والاستشعار بالفيديو، واستخدام الهواتف المحمولة، أو بطاقات رسم المرور كوسيلة لتوفير بيانات حركة مرور أكثر صحة وفي الوقت المناسب.
- ينبغي ضمان توفير أنظمة للكشف السريع عن الحوادث في الأنفاق. ينبغي مراعاة توفير أنظمة متعددة في الأنفاق الرئيسة، على سبيل المثال: الاستشعار التلقائي عن الحوادث والاستشعار والتحقق بالفيديو.
- ينبغي توفير معلومات المرور والحوادث لخدمات الطوارئ (على سبيل المثال: توفير البث المباشر للفيديو من الكاميرات إلى اتصالات الشرطة ووحدات التحقيق في الحوادث، وتوفير خرائط إلكترونية للازدحام في الوقت الحقيقي لخدمات الطوارئ؛ لتمكينها من تحديد طرق الوصول الأقل ازدحامًا).
- ينبغي نشر خدمات الاستجابة للحوادث في الأوقات والمواقع كثيرة للحوادث؛ وذلك للعمل أيضًا كأول مستجيبين وتوفير معلومات الاستشعار والتحقق لمراكز التحكم المروري والطوارئ. ينبغي التأكد من توفر قنوات اتصال عالية الجودة التي يمكن أن تشمل الراديو والهاتف والإنترنت اللاسلكي (الفيديو والبريد الإلكتروني) وأجهزة الاستدعاء وكاميرات الفيديو المحمولة للمستجيبين.
- ينبغي بناء المقدرة على مراقبة حوادث المرور، مع موظفي جهات الطرق ودوريات الشرطة ومجموعات السائقين المحترفين مثل سائقي سيارات الأجرة والحافلات والشاحنات.
- ينبغي توعية المتنقلين بما له علاقة بكيفية الإبلاغ عن حوادث المرور وما الذي يُبَلّغ عنه. ينبغي توفير خط ساخن للمرور، والذي يمكن أن يوفر أيضًا تقارير محدثة للمرور.
- ينبغي السعي وراء الابتكارات؛ لتقليل الوقت اللازم للكشف والتحقق من حوادث المرور مثل: الوقت المستغرق لإخطار خدمات الطوارئ. ينبغي مراقبة الوقت المستغرق للكشف عن الحوادث والتحقق منها والإبلاغ عنها.

هـ-٥-١-٧ الاستجابة لحوادث المرور:

الاستجابة للحوادث هي التنشيط الأولي للاستجابة لحالات الطوارئ، وتوجيه الموارد اللازمة إلى مكان الحادث لتقديم الرعاية للمصابين وإعادة الطريق إلى حالة العمل الطبيعية.

عادةً ما تشمل الاستجابة للحوادث وإدارة المواقع اللاحقة أكثر من هيئة واحدة. من الضروري أن يكون هناك فهم واضح من قبل كل هيئة لأدوارها ومسؤولياتها. ترد الترتيبات النموذجية في الجدول (هـ -٣)، رغم أن الترتيبات التشغيلية التفصيلية بين المنظمات يمكن أن تختلف بين السلطات القضائية.

الاستجابة في الوقت المناسب مهمة لأنها:

- تقلل من إجمالي مدة الحادث.
- تنقذ الأرواح من خلال إسراع خدمات الإسعاف، وتقلل تأثير الإصابات على المدى الطويل.
- تقلل من احتمالية وقوع حوادث ثانوية.

الهدف الأساسي هو ضمان توفير الموارد الصحيحة في الوقت المناسب إلى مكان الحادث، الأمر الذي يتطلب:

- التقييم الصحيح والمستمر لنطاق المشكلة.
- معرفة الموارد المتاحة، وقدرة الجهات المستجيبة، والوضع الحالي، والتوافر.

تُعد بروتوكولات الاستجابة المخططة مسبقًا، والتي يمكن كتابتها كدليل للاستجابة للحوادث، ذات قيمة لتدريب الموظفين الجدد وتكون بمثابة مرجع. ينبغي أن يتضمن الدليل ما يأتي:

- تفاصيل البروتوكولات المتفق عليها بين الجهات.
- الإجراءات المعيارية الموثقة.
- بروتوكولات التواصل.
- معلومات الاتصال.
- قوائم الموارد.
- متطلبات جمع البيانات.
- مذكرات وخطط التحويل.
- تغييرات توقيت الإشارة المكوَّنة مسبقًا.
- رسائل معلومات المتنقل المعيارية.
- بروتوكولات الإشارة الاستباقية لمركبات الطوارئ.

توفر إجراءات الاستجابة الفوائد الآتية:

- تقليل الارتباك، وازدواجية الجهود خلال الفترة الحرجة للاستجابة الأولية للحادث.

- استخدام أفضل الممارسات.
- توضيح الأدوار والمسؤوليات.
- البقاء على اطلاع دائم إذا تم التحديث؛ حيث تُحدَّد أفضل الوسائل أو الدروس المستفادة.
- التأكد من تغطية المتطلبات القانونية.
- تقديم إرشادات عن كيفية التعامل مع الظروف الخاصة.

ينبغي تقديم خدمات الاستجابة للحوادث بشكل عام من خلال مجموعة من وحدات الاستجابة للحوادث، وأطقم صيانة الطرق، وخدمات الجر، وإزالة أثار الحوادث.

هـ-٥-١-٧-١ الاستجابة للحادث: الممارسة الموصى بها:

- ينبغي وضع إجراءات الاستجابة، مثل الاستجابات المعيارية لفئات واسعة من الحوادث. ينبغي النظر في مجموعة الحوادث المحتملة التي يمكن أن تحدث؛ حيث إن التخطيط المسبق يوفر الوقت عندما تكون الاستجابة مطلوبة.
- ينبغي إجراء تدريب متعدد الجهات؛ لتطوير فهم بروتوكولات الاستجابة، وتحسين الاتصال، وفهم الأدوار والمسؤوليات.
- ينبغي استخدام معلومات دعم القرار الآلية، وتزويد المشغلين بقوائم وتفاصيل الاتصال بالموظفين الرئيسين والمعدات والمواد، حسب المنطقة الجغرافية.
- ينبغي تطوير بروتوكولات الاتصال والاستجابة المتفق عليها بين الجهات. ينبغي ضمان التواصل الجيد بين مراكز التحكم والجهات المستجيبة والمستجيبين؛ لتمكين استجابة أولية منسقة ومراقبة المرور لدعم سيارات الإسعاف والمطافئ. يمكن أن تؤدي التدريبات المشتركة بين الجهات إلى تطوير فهم العمليات الفنية والمصطلحات والإجراءات.
- ينبغي الحصول على أنظمة اتصالات متوافقة لجميع المستجيبين (من المركز إلى المستجيب، ومن المستجيب إلى المستجيب)، بالإضافة إلى توفير البدائل في حالة فشل التقنية (على سبيل المثال: شركات الهواتف المتعددة وأنظمة الراديو الاحتياطية ومصادر الطاقة البديلة).
- ينبغي إنشاء أنظمة لتزويد خدمات الشرطة والطوارئ بمعلومات عن الخطوط الأقل ازدحامًا من وإلى مكان الحادث. وينبغي توفير أولوية الإشارة إذا لزم الأمر.
- ينبغي استخدام خدمات الاستجابة المخصصة للحوادث، وتنظيمها بشكل مناسب في جميع أنحاء الشبكة، ويفضل أن تغطي مواقع وأوقات الحوادث الشديدة؛ حتى تتمكن من الاستجابة السريعة للحوادث، ولتوفير متطلبات الاستجابة الأولية لجعل المشهد آمنًا.
- ينبغي النظر في استخدام دوريات الشرطة للدراجات النارية خلال فترات/ مواقع حوادث المرور الشديدة؛ لتقديم استجابة سريعة وموثوقة.
- ينبغي تحديد الأهداف وإجراءات الأداء للوقت المستغرق بين التحقق وإرسال الاستجابة، ووصول الاستجابة الأولى إلى الموقع.
- ينبغي توفير أنظمة دعم الحوادث المناسبة لمشغلي مركز إدارة المرور التي تمكنهم من تقديم دعم القرار وتسجيل الأحداث وتنسيق المعلومات الواردة مع الخرائط ورؤية الكاميرا وأنظمة إدارة المرور وظروفها الحالية ومواقع وحدات الاستجابة للحوادث (باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي) وكذلك إدارة لافتات الرسائل المتغيرة ولافتات حد السرعة المتغير وخطوط الهاتف الساخنة وتقارير المرور للإنترنت والإعلام.
- ينبغي التأكد من توفر أعداد مناسبة من المشغلين ذوي الخبرة لفترات الذروة؛ للتعامل مع الحجم المتوقع للحوادث، بما يشمل مرافق التعامل مع الحوادث الكبرى مع فرق مشتركة من جهات متعددة.
- ينبغي وضع الإجراءات المطوَّرة بالشراكة مع المستجيبين للحوادث؛ بحيث يكون المستجيبون الأوائل من أي خدمة من خدمات الطوارئ مسؤولين عن جعل المشهد آمنًا حتى وصول مشغلي هيئة الطرق.
- ينبغي تقديم إخطار مبكر للمستجيبين الذين يتطلبون مُهلاً زمنية طويلة، مثل فرق التحقيق في حوادث الاصطدام، والمواد الخطرة، والمركبات الثقيلة، وخدمات إنقاذها، ومعدات إزالة أثار الحوادث المتخصصة.
- ينبغي دمج إجراءات التعلم والتحديث المستمدة من الاستجوابات بعد كل حادث كبير.
- ينبغي النظر في شراء مرافق الاتصالات المحمولة للحوادث الكبرى ونشرها، عند الحاجة، مثل مركز التحكم المحمول أو الكاميرات.

هـ-٥-١-٨ إدارة موقع الحوادث المرورية والتحقيق والإخلاء:

هـ-٥-١-٨-١ إدارة الموقع:

إدارة الموقع هي: إدارة الموارد لإزالة آثار الحادث، وتقليل التأثير على تدفق المرور. وتنطوي على تنسيق الأنشطة من قِبل مختلف مشغلي الجهات المستجيبة، وتوفير السلامة في مكان الحادث. تتوفر معلومات وإرشادات تفصيلية في القسم الفرعي (هـ-٥-١-٩).

ينبغي أن تتمثل إحدى المهام الرئيسة في إدارة موقع الحادث في التحكم المروري في مكان الحادث، خاصةً للحفاظ على المستجيب والسلامة العامة. وتعد المحافظة على تدفق المرور حول مكان الحادث، بمجرد أن يُعالَج لجرحى، وسيلة مهمة أيضًا لتقليل الازدحام والتأخير وتقليل مخاطر الحوادث الثانوية.

يمكن تنفيذ إجراءات التحكم المروري بالقرب من مكان الحادث مبدئيًا بواسطة المستجيب الأول سواء أكانت الشرطة أم وحدة مكافحة الحريق أم وحدة الاستجابة للحوادث. ويمكن أن يؤدي التوافر المحدود لأجهزة التحكم المروري للمستجيبين الأوائل إلى تقييد المعيار الذي يمكن القيام به في البداية، ولكن من المهم تسريع المرور بأمان في أسرع وقت ممكن ويمكن تحقيق ذلك من خلال التحكم الإيجابي بالمرور؛ ما يوفر تحديدًا واضحًا للمسار من خلال مشهد الحادث ووجود جهاز تحكم يوجه المرور باستمرار بعد المشهد. ويحقق هذا أهدافًا منها تسريع المرور وزيادة السلامة بأقصى قدر.

ينبغي تقدير مواقع الحوادث بأنها مناطق عمل مؤقتة، مع جميع المتطلبات المصاحبة لاستخدام أجهزة التحكم المروري المناسبة بأسرع ما يمكن إتاحتها، ما يسمح بوجود مناطق عازلة كافية لسلامة المستجيبين والتأكيد على الوعي المروري لهم.

هـ-٥-١-٨-٢ التحقيق:

يهدف التحقيق إلى توثيق أسباب الحوادث المرورية وتحديد المسؤولية عن أي أضرار، واستيفاء متطلبات التأمين، وتوفير البيانات لمهندسي المرور والحوادث المرورية الخطيرة التي تنطوي على إصابات خطيرة، أو وفيات أو أنشطة إجرامية مشتبه بها، يلزم تقديم دليل على ما تم جمعه، وإبلاغ الطبيب الشرعي.

تتراوح تقنيات التحقيق من القياس اليدوي إلى التقنيات المتطورة؛ للمساعدة على جمع البيانات للتحليل وإعداد التقارير. ويمكن أن يؤدي استخدام التقنيات المناسبة والفعالة من حيث التكلفة إلى تقليل الوقت المطلوب بشكل كبير لجمع الأدلة، وبالتالي تقليل الوقت الذي يُغلَق فيه الطريق أمام المرور.

هـ-٥-١-٨-٣ إزالة الحوادث:

إزالة الحوادث هي الإزالة الآمنة وفي الوقت المناسب لأي مركبات متوقفة، أو حطام أو مواد مسكوبة من على الطريق وأكتافه، وإعادة الطريق إلى سعته الكاملة. وتُعد إزالة الحوادث عادةً أكثر الخطوات استهلاكًا للوقت في عملية إدارة الحادث؛ حيث تستغرق ضعف مدة الخطوات الأخرى في العملية. ويتوفر المزيد من المعلومات في القسم الفرعي (هـ -٥-١-١٠).

هـ-٥-١-٨-٤ إدارة الموقع والتحقيق والإخلاء: الممارسة الموصى بها:

- ينبغي الاتفاق على بروتوكول لمن يتحكم في الموقع/الحدث: الطوق (الكوردون) الداخلي (أي موقع الحادث المباشر) والطوق (الكوردون) الخارجي - (المنطقة المحيطة بالمحيط الخارجي لموقع الحادث) الذي يدير المرور حول موقع الحادث.
- ينبغي بناء شراكات وإجراءات أقوى بين المستجيبين الرئيسين. وينبغي تطوير الاتفاقات المشتركة بين الجهات التي تهدف إلى تحسين الإزالة السريعة من خلال بروتوكولات العمليات المشتركة.
- ينبغي وضع سياسة إزالة سريعة متفق عليها وعالية المستوى وجريئة، أو سياسة إنشاء طرق مفتوحة على المستوى الحكومي، كما يجب سن قوانين ولوائح الإزالة السريعة. وإعطاء السلطة لإخلاء مسارات المرور، والحد من المسؤولية، أو تجنبها، واسترداد التكاليف وتوفير الحوافز لمستخدمي الطرق.
- ينبغي تحديد أهداف الإزالة السريعة مثل: إزالة جميع الحوادث في غضون ٩٠ دقيقة.
- تُعد الاستجابة السريعة للحوادث أمرًا بالغ الأهمية في الأنفاق. وينبغي النظر في القدرة المخصصة للاستجابة إلى الحوادث وإخلائها.
- ينبغي تحسين إجراءات التحقيق في الأعطال، وينبغي توفير التقنيات المناسبة؛ لضمان إجراء تحقيق صحيح في الوقت المناسب.
- ينبغي إدخال شراكات مبتكرة بين القطاعين العام والخاص تسهل إزالة الحوادث، وتوفّر معلومات المرور، مثل عقود القطر/ الإنقاذ القائمة على الأداء.
- ينبغي إجراء استجوابات منهجية رسمية؛ لتقديم التقييمات والتحسين المستمر.
- ينبغي جمع وتحليل البيانات والمعلومات بشكل أفضل.
- ينبغي أن تكون عقود معدات القطر/ الإنقاذ الثقيلة متاحة في وضع الاستعداد خلال فترات الذروة.
- ينبغي إجراء استجوابات ما بعد الحادث (بعد الحوادث الكبرى بفترة وجيزة)؛ لتقييم البروتوكولات والإجراءات الحالية وتنقيحها.

د-٥-١-٩ إدارة الموقع بعد الحادث:

ينبغي أن يكون قائد موقع الحادث مسؤولًا عن إدارة الموقع في أثناء تأمينه وإدارة المرور في المكان وحوله وإجراء التحقيقات وجمع الأدلة وإزالة المركبات المحطمة من الموقع قبل إعادة فتحه للمرور. يمكن أن يكون قائد موقع الحادث بشكل عام ضابط شرطة، ما لم يكن هناك حريق أو انسكاب مادة خطرة، وفي هذه الحالة ينبغي أن تكون خدمة الإطفاء تحت السيطرة حتى يُتعامَل مع هذا الموقف بشكل صحيح. يرد مزيد من المعلومات عن نقل المواد الخطرة في كود الطرق السعودي ٦٠٣ (سلامة الطرق).

ينبغي أن يتمثل الهدف الرئيس في إدارة الموقع بضمان سلامة جميع المستجيبين والمشاركين في موقع الحادث ومستخدمي الطريق الآخرين. ولتحقيق الفعالية، يحتاج المستجيبون في موقع الحادث إلى معلومات دقيقة عن التقدم المحرز في إزالة آثار الحادث، والمعدات اللازمة لإكمال الإخلاء.

تتطلب الإدارة الفعالة للموقع تقييمًا مستمرًا للموقع، واحتياجات المستجيبين، وفهمًا لأولويات المستجيبين الآخرين.

إدارة الموقع هي عملية:

- التقييم الدقيق للحادث والموقع.
- تحديد الأولويات.
- إنشاء مركز قيادة كنقطة محورية للاتصالات وقيادة الفعاليات.
- إبطال مفعول أي مخاطر أو حريق.
- ضمان إخراج المصابين ونقلهم إلى المستشفى.
- حشد الموارد ومتطلبات الاستجابة.
- ضمان سلامة المستجيبين والسائقين.
- إخطار وتنسيق الاستجابات من الجهات والمنظمات المناسبة.
- الحفاظ على تواصل واضح مع المستجيبين ومراكز التحكم.
- إدارة المرور في مكان الحادث.
- إجراء التحقيقات اللازمة في أي نشاط إجرامي؛ لإرسالها إلى الطبيب الشرعي.
- تخليص المركبات المتضررة، وتنظيف الموقع، وإعادة فتح الطريق أمام المرور.

من المهم مراجعة ما يمكن القيام به بشكل متكرر؛ لتحسين السلامة والمرور في مكان الحادث، مثل تقدير المدة المتبقية للحادث، وتقديم تحديث لمركز التحكم؛ لضمان إطلاع المستجيبين والسائقين على المستجدات.

تشمل أهداف إدارة موقع الحادث ما يأتي:

- ضمان سلامة ضحايا الحوادث والمستجيبين ومستخدمي الطرق.
- تنسيق الأنشطة بين جميع المستجيبين المعنيين.
- تقليل آثار الحادث على المرور، على سبيل المثال: تقليل الازدحام ومدة تأخر الرحلة.
- الحفاظ على التواصل الفعال بين الجهات.
- تعظيم استخدام الموظفين المشتركين وموارد المعدات.

للمساعدة على الإدارة الفعالة للموقع، من المهم أن يكون هناك قوائم موارد شاملة ومحدثة، مثل:

- قوائم جهات اتصال المستجيبين حسب المنطقة: للشرطة والإطفاء والإسعاف والمرور والقطر، مثل جهات الاتصال البديلة -إذا كان المستجيب قيد الاتصال بالفعل، أو غير متاح بأي شكل آخر-.
- قوائم الاتصال بالمستجيبين المتخصصين: الإنقاذ والتحقيق في الحوادث، وسلامة المركبات، والبيئة، والمواد الخطرة، والمهندسين الإنشائيين وما إلى ذلك.
- قوائم المعدات والمواقع المتاحة: القطر والاسترداد ومراقبة المرور وتخليص الموقع.
- الإمدادات والمواد المتاحة لامتصاص الانسكابات
- مواقع المستشفيات ومراكز الإطفاء والشرطة ومستودعات أعمال الطرق وما إلى ذلك.
- نسخ من أي اتفاقيات بين الجهات.

هناك أيضًا قوائم موارد للموارد المتخصصة والمواد التي ينبغي أن تكون متوفرة، مثل:

- معالجات تسرب النفط/ المواد الكيميائية/ المواد الخطرة.
- الأخصائيون الطبيون/ مسعفون متخصصون في العناية المركزة، إخلاء بطائرة هليكوبتر.
- معدات الإصلاح المتخصصة: الرافعات الشوكية، والأوناش، والأكياس الهوائية لرفع الأشياء الثقيلة.
- مراكز التحكم المروري المتنقلة: الكاميرات المحمولة، والاتصالات.
- المعدات المحمولة: إضاءة الطوارئ، ولافتات الرسائل المتغيرة، وإشارات المرور، ولافتات حدود السرعة وما إلى ذلك.

تتمثل إحدى المهام الرئيسة في إدارة موقع الحادث في التحكم المروري في مكان الحادث، خاصةً للحفاظ على المستجيب والسلامة العامة. تعد المحافظة على تدفق المرور حول مكان الحادث- بمجرد أن يُعالَج الجرحى- وسيلة مهمة أيضًا لتقليل الازدحام والتأخير، وكذلك لتقليل مخاطر الحوادث الثانوية.

يمكن تنفيذ إجراءات التحكم المروري بالقرب من مكان الحادث مبدئيًا بواسطة المستجيب الأول سواء أكانت الشرطة أم وحدة مكافحة الحريق أم وحدة الاستجابة للحوادث. من المهم أن تُسيَّر المرور بأمان في أقرب وقت ممكن ويمكن تحقيق ذلك من خلال التحكم الإيجابي في المرور؛ ما يوفر تحديدًا واضحًا للمسار من خلال موقع الحادث ووجود وحدة تحكم تقوم باستمرار بتوجيه المرور بعد الحادث. يحقق هذا هدفي تدفق المرور وتحقيق أقصى قدر من السلامة.

ينبغي تقدير موقع الحوادث كمنطقة عمل مؤقتة، مع جميع المتطلبات المصاحبة لاستخدام أجهزة التحكم المروري المناسبة، ما يسمح بوجود مناطق عازلة كافية لسلامة المستجيبين والتأكيد على الوعي المروري لهم.

تُعد مواقع الحوادث أماكن عمل خطرة، لذا ينبغي الانتباه بعناية لضمان مراعاة أمور الصحة والسلامة المهنية بعناية. هناك عدد من الأمور الأخرى، المحددة من خلال ممارسة الإدارة، التي يجب أخذها في الحسبان:

- يعد تقليل مدة الحوادث أمرًا مهمًا؛ لأن حدوث حوادث ثانوية يرتبط ارتباطًا مباشرًا بالتعرّض (exposure).
- غالبًا لا يكون التحكم المروري في موقع الحادث هو التركيز الرئيس؛ حيث يركز المستجيبون على جوانب الإنقاذ والتحقيق والتعافي.
- يمكن ألا يفهم جميع المستجيبين التحكم الأساسي في المرور، وبالتالي يمكن أن يفضلون حظر كل المرور.
- يجب أن تكون هناك مسؤولية واضحة عن المهام المختلفة: الإنقاذ والتحقيق وإزالة آثار الحريق والسيطرة على المرور التي يفهمها جميع المستجيبين.

يعد تحديد المواقع غير الصحيحة لمركبات الاستجابة مشكلة متكررة يمكن أن تجعل وصول المستجيبين أمرًا صعبًا، ويقلل من تدفق المرور. يعد إنشاء مناطق انطلاق خارج الموقع مفيدةً؛ حيث يلزم استدعاء المعدات والمركبات عندما تكون مطلوبة في مكان الحادث.

يعد نظام الإضاءة في حالات الطوارئ سببًا آخر للقلق؛ حيث يمكن أن تتسبب الأضواء الوامضة عالية السطوع في إبهار السائقين، ما يؤدي إلى تشتيت الانتباه، ما يؤدي إلى إبطاء مرور المركبات.

أحد المجالات التي غالبًا ما تُنسَى هو النشر المبكر لموارد الإخلاء؛ حيث يمكن أن يستغرق الأمر بعض الوقت لإيصال المعدات المطلوبة، مثل كاسحات الطرق إلى موقع الحادث.

٥-٥-١-١٠ إخلاء الحوادث:

ينبغي أن تكون إزالة الحوادث عملية متعددة الجهات ذات هدف واحد في إطار نهج هيكل قيادة الحادث؛ لإزالة عوائق الطرق بأمان واستعادة تدفق المرور. لا تُوثَّق أوقات الإخلاء الفعلية بشكل عام بطريقة شاملة، ما يجعل من الصعب تقييم أداء الهيئة وتحسينه. تقليل أوقات الإخلاء له أكبر فائدة محتملة في تحسين أوقات إدارة الحوادث الإجمالية، وبالتالي تقليل التأخير والازدحام والحوادث الثانوية.

يمكن أن تقل أوقات الإخلاء عندما تُرسَل الموارد المناسبة إلى مكان الحادث. يعد التعاون بين الجهات وبين إطفاء الحرائق والإنقاذ، ودوريات الخدمة، وإنفاذ القانون والقطر والتعافي أمرًا بالغ الأهمية لتحسين أداء إخلاء مواقع الحوادث. من خلال التدريب بين الولايات القضائية، يمكن لموظفي إدارة الحوادث اكتساب فهم أفضل لشواغل الجهات الأخرى ومهامها وتسهيل الاتصالات، وبالتالي تحسين أوقات الإخلاء.

سيتيح توثيق أوقات الإخلاء من الحوادث فهمًا أفضل؛ لأداء الإخلاء من الحوادث. ويسمح بالتحسينات في المستقبل.

ينبغي أن تشمل أهداف إزالة الحوادث ضمان سلامة المستجيبين، وضحايا الحوادث، وسائقي المركبات الآخرين، وإزالة آثار الحادث من الطريق في أسرع وقت ممكن.

ينبغي أن تشمل عملية الإخلاء ما يأتي:

- تخليص الضحايا المحتملين المحاصرين في حوادث الطرق.
- جعل الموقع آمنًا: معالجة الظروف الخطرة.
- التحقيق في الحادث: جمع البيانات والأدلة.
- إخلاء الموقع: إزالة الأنقاض والحطام والمواد المنسكبة.

يشير الإخلاء السريع إلى مجموعة من المبادرات التي تهدف إلى تقليل الوقت المستغرق؛ لإزالة حوادث المرور. ينبغي إجراء إزالة آثار الحوادث بسرعة، مع استخدام المنطق (بدلًا من توخي الحذر من حيث تداعيات المسؤولية)، عن طريق إزالة المركبات/ الحطام عن الطريق؛ لتمكين العودة بشكل أسرع إلى تدفقات المرور العادية، واستكمال هذا النهج بتشريعات منخفضة المسؤولية لحماية الجهات المستجيبة. تهدف سياسة الإخلاء السريع إلى الإذن بالإزالة السريعة للمركبات المعطلة أو المحطمة من مسارات الانتقال. تشجع سياسة الطرق المفتوحة المستجيبين للحوادث على الإزالة السريعة للمركبات المعطلة أو المحطمة، والبضائع

المنسكبة، والحطام الذي يعيق المرور. من المهم أيضًا تحديد أهداف الأداء، مثل الإخلاء جميع الحوادث من الطريق خلال ٩٠ دقيقة من وصول المستجيب الأول.

ينبغي تطوير شراكات أقوى وإجراءات تشغيل متفق عليها بين المستجيبين الرئيسين باستخدام الاتفاقات المشتركة بين الجهات التي تهدف إلى تحسين الإخلاء السريع من خلال بروتوكولات العمليات المشتركة. بالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى تدريبات منتظمة ومنتديات مستمرة للمناقشة المنتظمة للسياسات والمسائل التشغيلية.

هـ-٥-١-١١إدارة المرور ومعلومات المتنقلين في موقع الحادث:

إدارة المرور هي تطبيق إجراءات مراقبة المرور في موقع الحادث وعلى شبكة الطرق المتأثرة بالحادث. وينبغي أن تتمثل الأهداف في تقليل اضطراب المرور مع الحفاظ على مكان عمل آمن للمستجيبين. ويمكن تصنيف إجراءات التحكم المروري إلى تلك التي تهدف إلى تحسين تدفق المرور بعد مكان الحادث، وتلك التي تهدف إلى تحسين تدفق المرور على الطرق البديلة.

تتضمن تقنيات تحسين التدفق بعد الحادث ما يأتي:

- إقامة سيطرة حركة مرور نشطة في مكان الحادث.
- إدارة مساحة الطريق (فتح وإغلاق المسارات، وحجب الجزء المطلوب فقط من مكان الحادث).

تتضمن تقنيات تحسين تدفق المرور على الخطوط البديلة ما يأتي:

- إدارة أجهزة التحكم المروري بشكل فعال (مثل إشارات المرور) في المناطق التي يتأثر فيها تدفق المرور بالحادث
- تحديد الخطوط البديلة وتطويرها وتشغيلها.

بجانب رعاية المصابين وضمان السلامة العامة، ينبغي أن تكون صيانة تدفق المرور حول مكان الحادث ذات أولوية قصوى أثناء عملية إدارة الموقع.

هـ-٥-١-١١-١ معلومات المتنقل:

تتضمن معلومات المتنقل تنشيط وسائل مختلفة لنشر المعلومات المتعلقة بالحادث لسائقي المركبات المتضررين. تشمل الوسائط المستخدمة لنشر معلومات السائقين البث الإذاعي التجاري، ولافتات الرسائل المتغيرة وأنظمة معلومات الهاتف والإنترنت أو الخدمات عبر الإنترنت. ينبغي نشر معلومات السائقين في أسرع وقت ممكن وإلى أن يعود تدفق المرور إلى حالته الطبيعية.

ينبغي أن تتضمن أنواع معلومات المتنقل (عند توفرها):

- مواقع الإنترنت، مع تقارير المرور، وصور الكاميرا، وأوقات الانتقال، وأعمال الطرق، والأحداث.
- بث المرور على الراديو التجاري، من خلال مقدمي الخدمات التجارية.
- الخط الساخن للمرور، مع الرسائل المسجلة للحوادث وأعمال الطرق الحالية، بالإضافة إلى القدرة على الإبلاغ عن الحوادث.
- وسائل أخرى، مثل داخل المركبة (قناة الرسائل المرورية لنظام بيانات الراديو) والرسائل النصية القصيرة واللاسلكية/ البريد الإلكتروني.
- لافتات الرسائل المتغيرة توجيه المتنقلين إلى الخط الساخن للمرور؛ للحصول على معلومات محددة تتعلق بالموقع والتأخيرات المرتبطة بالحوادث، بالإضافة إلى اقتراح مسارات بديلة لتجنب الازدحام.

إدارة المرور ومعلومات المتنقل: الممارسة الموصى بها:

- ينبغي استخدام مراكز إدارة المرور؛ لتنسيق التبليغ عن الحوادث والاستجابة لها.
- ينبغي وضع سياسات وإجراءات محددة لإدارة المرور في أثناء الاستجابة للحوادث (على سبيل المثال: مراقبة المرور النشطة في مكان الحادث وإدارة مساحة الطريق وخطط التحويل وتغيير توقيت الإشارة).
- ينبغي تحديد الطرق البديلة عبر الشبكة، ووضع الخرائط، ولافتات التحويل وتوقيت الإشارة المنقح وما إلى ذلك.
- ينبغي تدريب جميع المستجيبين على التحكم الفعال في المرور.
- ينبغي تحسين قنوات الاتصال؛ لتوفير معلومات دقيقة وفي الوقت المناسب عن المرور لمستخدمي الطريق.
- ينبغي استخدام أنظمة معلومات السائقين في الوقت الحقيقي التي توفر معلومات خاصة بالحادث لمستخدمي الطريق.
- في الأنفاق؛ حيث يمكن أن تكون المعلومات في الوقت الفعلي مهمة لمستخدمي الأنفاق في حالات الطوارئ، ينبغي النظر في نظام لتجاوز البث الإذاعي.

هـ-٥-١-١٢مقاييس الأداء:

ينبغي على جهات الطرق بشكل عام جمع المعلومات عن جميع جوانب حوادث المرور (مثل أوقات الوصول والمغادرة لجميع مركبات الاستجابة) واستخدام مقاييس الأداء لتحديد مدى فعالية عملية إدارة الحوادث بشكل عام. تشمل التدابير المستخدمة عدد (أو تكرار) الحوادث ووقت الاستشعار ووقت الاستجابة ووقت الإخلاء.

يُعرَض طار عمل موصى به لقياس الأداء والذي ينظر في المدخلات والعمليات والمخرجات في الجدول (هـ -٢١).

الجدول (هـ–٢١) إطار قياس الأداء (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.3).

العنصر	المدخلات	العملية	المخرجات
إدارة الحوادث.	الاستشعار والتحقق.	الاستجابة وتقييم الأداء والمراجعة.	تقليل التأخير في المرور؛ الحفاظ على السلامة.
الإجراءات المحتملة.	عدد الحوادث (حسب الفئة: كبيرة، متوسطة، ثانوية). وقت الاستشعار والتحقق.	وقت الاستجابة للمستجيبين. وقت الاستجابة (استشعار التنشيط). عدد التحويلات المرورية. الوقت لتخليص الحوادث. مدة الحوادث. عدد الإجابات على الاستفسارات. وقت فقدان المسار. العلاقة بين المستجيبين. استخلاص المعلومات/ التدقيق في الحوادث الكبرى.	التأخير بسبب الحوادث. الحوادث الثانوية. رضا العملاء (شكاوى، تقارير إعلامية).

هـ-٥-٢ إدارة الأحداث المخططة والخاصة:

الحوادث المخطط لها هي نوع خاص من الحوادث حيث إن حدوثها معروف مسبقًا. يوفر هذا الفرصة للتحكم في تأثير هذه الحوادث على شبكة الطرق بقدر أكبر من اليقين مقارنة بالحوادث الأخرى. يستخدم مصطلح (حدث خاص) هنا ليعني حادث مخطط له بحجم أو تعقيد كبير.

يمكن تقسيم الحوادث المخطط لها إلى الفئات التالية:

- أحداث خاصة.
- تطوير الطرق.
- مشغولية الطرق.

هـ-٥-٢-١ أحداث خاصة:

الحدث الخاص (من حيث إدارة المرور) هو: أي نشاط مخطط يُجرَى كليًا أو جزئيًا على الطريق، ويتطلب مشاركة جهات متعددة، ويتطلب ترتيبات خاصة لإدارة المرور، ويمكن أن يشمل عددًا كبيرًا من المشاركين و/ أو المشاهدين (على سبيل المثال: المسيرات وأسواق الشوارع الممتدة لعدة أيام).

يجب أن ينطبق التعريف أيضًا على الأحداث التي تُجرَى في مكانها الخاص -إذا كان الحدث يتطلب ترتيبات خاصة لإدارة المرور ودعمًا متعدد الجهات-.

هـ-٥-٢-١-١ التخطيط للأحداث الخاصة:

يمكن أن تختلف المناسبات الخاصة في الحجم والتأثير. من الواضح أن كيفية إدارتها من منظور المرور ينبغي أن تعتمد على حجم الحدث، وكذلك عدد الجهات التي تحتاج إلى المشاركة في التخطيط والإدارة اللاحقة. ينبغي أن يحدد المقياس أيضًا مدى ودرجة التخطيط المطلوب لمعالجة جوانب المرور.

يقدم الجدول (هـ -٢٢) نموذجًا واحدًا لتصنيف المناسبات الخاصة، ويظهر مصفوفة تخطيط لكل فئة من فئات الحدث. لاحظ أن هذا نموذج واحد فقط من عدد من النماذج المحتملة. يمكن أن يكون للاختصاصات القضائية المختلفة أدوار ومتطلبات لجهات مختلفة، لكن المصفوفة الموجودة في الجدول (هـ -٢٢) تشير إلى أمور التخطيط التي ينبغي معالجتها.

الأمور الأخرى التي يمكن تضمينها لكل فئة من فئات الحدث في المصفوفة هي:

- المُهل المطلوبة للحصول على موافقة الهيئة (هيئة الطرق والشرطة والحكومة المحلية).
- متطلبات الرسوم لكل هيئة (إن وجدت).

- الحاجة إلى تأمين الالتزام.

يعرض القسم الفرعي (هـ -٥-٢-٣) مثالًا لنموذج خطة إدارة النقل ((Roads and Traffic Authority NSW, (2006). يوضح متطلبات التخطيط للفئات الثلاث الأولى من المناسبات الخاصة، باستخدام تصنيفات الأحداث الموضحة في الجدول (هـ - ٢٢). يعمل القسم الفرعي (هـ -٥-٢-٣) كقائمة مراجعة تخطيط عالية المستوى، ما يضمن معالجة أمور المرور والنقل التالية:

- الموقع والخطوط.
- مواقف المركبات.
- تأثير الإنشاءات وتهدئة المرور وتوليدها.
- النقل العام.
- إعادة فتح الطرق بعد الحدث.
- متطلبات إدارة حركة مرور فريدة من نوعها للحدث.
- تأثيرات المركبات الثقيلة.
- فتح مواقع المناسبات الخاصة.
- خطط الطوارئ.

لاحظ أن جميع الأحداث، بخلاف الأحداث الصغيرة جدًا التي تتطلب في مثال التصنيف موافقة الشرطة فقط، تتطلب نظام توجيه المرور الذي يوضح بالتفصيل استخدام أجهزة التحكم المروري (مثل اللافتات والحواجز)؛ لضمان سلامة الطريق للمستخدمين خلال الحدث.

يوفر القسم الفرعي (هـ -٥-٢-٤) قوائم مراجعة مختارة لإدارة النقل للأحداث الخاصة المخطط لها ((FHWA, (2003).

هـ-٥-٢-١-٢ إدارة الحدث:

خلال مراحل تنفيذ حدث خاص، على كل هيئة معنية تقديم الدعم المناسب كما تم التفاوض عليه خلال مرحلة التخطيط. من المهم ملاحظة أن التنفيذ التشغيلي لحدث ما يظل إلى حد كبير مسؤولية منظم الحدث رغم أن القيادة العامة للحدث منوطة بمجموعة قيادة.

هـ-٥-٢-٢ إشغال الطريق:

فئة أخرى من الأحداث المخطط لها هي إشغال الطرق. يتكون إشغال الطريق من أي نشاط (بخلاف المناسبات الخاصة كما هو محدد في الجزء الفرعي السابق) من المحتمل أن يؤثر في الكفاءة التشغيلية لشبكة الطرق، بمعنى آخر، نشاط يتطلب استخدام الطريق بطريقة مُثلى للتأثير في تدفق المرور، أو نشاط على الطرق الوعرة يؤثر في تدفق المرور. عادةً ما ينطوي إشغال الطريق على إغلاق واحدة أو أكثر من مسارات المرور.

أمثلة من إشغالات الطرق:

- بناء الطرق.
- صيانة الطرق مثل إعادة التسطيح، أو رسم الخطوط.
- تركيب المرافق العامة وصيانتها.
- إغلاق المسارات حول موقع المبنى؛ لتقليل المخاطر، أو لدخول وخروج الرافعات، أو المعدات الأخرى.
- أنشطة التصوير التي تتضمن إغلاق المسارات/ الطرق.
- قطع العشب على طول شريط وسطي قد يتطلب إغلاق طرق أو مسارات الطوارئ.

هـ-٥-٢-٢-١ الموافقات على إشغال الطرق:

على جهات الطرق تفعيل مخطط ترخيص إشغال الطرق لتنظيم الشغل المؤقت لمساحة الطريق، وضمان تلبية متطلبات إدارة المرور. المبادئ التي تقوم عليها هذه المخططات هي:

- الحاجة إلى الحفاظ على تدفق المرور إلى مستوى مقبول من الخدمة، مثل:
- عدد المسارات المغلقة.
- مدة وأوقات الغلق.
- التنسيق التنظيمي.

ينبغي أن تخضع إشغالات الطرق التي تقوم بها هيئة الطرق نفسها لإجراء الموافقة على الإشغال الداخلي؛ حيث ينبغي على جزء السلطة المسؤولة عن التشغيل المروري مراجعة مقترحات الإشغال للجزء المسؤول عن أعمال الطرق.

عادةً ما تتضمن الأمور التي ينبغي ملاحظتها، والتي قد تؤثر في تأثير إشغال الطرق على تدفق المرور ما يلي:

- وجود لافتات ضوئية على بعد ١٠٠ متر من الموقع.
- التأثيرات الناشئة عن أطوار الإشارة (المسارات، مسارات الانعطاف، الاستشعار).

- دوارات في حدود ١٠٠ متر من الموقع.
- وجود أي تقاطع سكة حديد قريب.
- إشغال بالقرب من طول طريق يخضع لإدارة حركة المد والجزر (مسار عكسية).
- عدد المسارات المرورية في كل اتجاه.
- استخدام كبير للأراضي المجاورة مع مداخل/ مخارج رئيسة مثل المستشفيات/ المدارس/ السوبر ماركت.
- وجود اتجاهات الطرق السريعة المخصصة لسير المركبات متوسطة/ مقسمة/ مرتفعة.
- أي قيود على جانب الطريق مثل:
- الطرق الخالية/ حافلات أو مسارات النقل العام.
- قيود وقوف المركبات المصممة.
- مناطق التحميل.
- مواقف الحافلات.
- صفوف سيارات الأجرة.

ه-٥-٢-٢-٢ خطط إدارة المرور:

ينبغي أن يكون كل إشغال على الطريق موجود ضمن خطة إدارة المرور. ينبغي تحديد تفاصيل الخطة من خلال التأثيرات على حركة الإشغال. ينبغي أن تُدمج خطة إدارة المرور نشاطًا ما في تشغيل شبكة الطرق. ينبغي أن تقيم الخطة تأثير النشاط على تدفق المرور. ينبغي أن يصف الأنشطة المقترحة، وتأثيرها على المنطقة العامة (مثل: ركاب النقل العام وراكبي الدراجات والمشاة وسائقي المركبات والعمليات التجارية)، وكيفية معالجة هذه التداعيات.

كما ينبغي أن تتضمن خطة إدارة المرور تفاصيل العمل المعني، مثل مخطط موقع العمل الذي يوضح بالضبط مكان تنفيذ العمل، وحركات المركبات حول موقع العمل وتحديد:

- شوارع ذات اتجاه واحد.
- وسع المسارات.
- عدد المسارات المتأثرة وإجمالي عدد المسارات.
- إشارات المرور.
- مسارات الانعطاف.
- مستوى خطوط عبور السكك الحديدية.
- عبور المشاة.
- أي معلومات أخرى ناتجة عن مسح الموقع.

ه-٥-٢-٢-٣ خطة إدارة المرور: الممارسة الموصى بها:

ينبغي أن تصف خطة إدارة المرور و/أو تضع أحكامًا، عند الحاجة لما يأتي:

- أي بناء، قائم أو مقترح، قد يتعارض مع الإشغال.
- أي تحركات مقيدة، انعطافات محظورة، مسارات للمركبات الثقيلة/ العالية.
- أي أجهزة لتهدئة المرور.
- ما إذا كان الإشغال يؤثر على أجزاء من الطريق تخضع لإدارة التدفق الجذري للمرور (مسار قابلة لعكس اتجاه السير) (عادةً في أوقات الذروة صباحًا أو مساءً).
- أي تداعيات على النقل العام والسكان المحليين والشركات ومراكز التسوق والمساجد والمناطق الصناعية ومحطات وقوف المركبات والمرافق العامة (مثل: ملاعب كرة القدم البيضاوية والمدارس والمستشفيات وما إلى ذلك).
- الوصول إلى مركبات الطوارئ والمركبات الثقيلة وراكبي الدراجات والمشاة (ينبغي إجراء ترتيبات خاصة من قبل المنادي بالتنسيق مع الهيئة المتضررة ووصفها بالتفصيل، وينبغي اعتمادها من قبل الهيئة المتضررة، (على سبيل المثال: الشرطة ورجال الإطفاء والإسعاف).
- الساعات التي يكون فيها الإشغال ساريًا: على الطرق الشريانية التي تقترب فيها التدفقات المرورية من السعة، والتي حُدِّدت بالطرق ذات الممرات الخالية أو فترات الذروة لوقوف المركبات، وعلى الطرق التي بها مسارات للحافلات أو النقل العام، ينبغي عادةً عدم السماح بإشغال الطرق إلا في حالة الطوارئ
- مقدار الوقت المطلوب، في حالة الطوارئ التي تتطلب توجيهًا لوقف الأعمال لإعادة الطريق إلى الحالة الصالحة للمرور (ينبغي مراعاتها والإبلاغ عنها في خطة إدارة المرور).
- ما إذا كانت المرور المقترحة تتعارض مع أي جهاز تنظيمي للتحكم في المرور.
- يؤدي الازدحام المروري الكبير إلى زيادة أوقات الانتقال (يمكن أن تخفف الانعطافات من الازدحام ويمكن أن تتضمن لافتات استراتيجية ذات أغراض خاصة، على سبيل المثال: لافتات الرسائل المتغيرة).
- ما إذا كان استخدام لافتات الرسائل المتغيرة مطلوبًا (سواء أكانت محمولة أم دائمة)؛ يمكن أن تحتاج هيئة الطرق إلى إعداد لافتات رسائل متغيرة تحذر مستخدمي الطريق من التأثير المروري للإشغال.

- ما إذا كان من الضروري الإعلان عن ترتيبات إدارة المرور في الصحف/ وسائل الإعلام المحلية (حيث يعطل الإشغال الوصول إلى الشركات المحلية والمقيمين، على المنادي إرسال بريد لإبلاغ المجتمع المحلي/ المتأثر بالتغييرات التي تطرأ على ظروف المرور العادية والتي يمكن حدوث اضطرابات بها).
- خطوط الانعطاف.
- تفاصيل عملية الاستشارة العامة (كيف يتم إخطار المجتمع بالأنشطة).
- أي تغييرات مطلوبة على لافتات منطقة السرعة تتطلب تصريحًا من هيئة الطرق.
- التغييرات المطلوبة لتشغيل إشارة المرور (يمكن أن تحتاج هيئة الطرق إلى تعديل إشارات المرور وأنظمة التحكم لاستيعاب الإشغال).
- قيود وقوف المركبات.
- التأثيرات على المرافق طوال مدة الإشغال أو بعد انتهاء الإشغال، على سبيل المثال: تعطيل مستشعرات المرور.
- إذا كان سيتم تنفيذ المشروع على مراحل؛ فإنه سيُقدّم وصف كامل للعمل الذي يتم تنفيذه في كل مرحلة، بالإضافة إلى الأوقات المقترحة (على سبيل المثال: وصف المشروع هو "تركيب خط المياه الرئيس"، ولكن يمكن أن يكون للمشروع مراحل مختلفة مثل:
- التنقيب في المسارات الشمالية: الأوقات المقترحة.
- التنقيب في المسارات الجنوبية: الأوقات المقترحة.
- خطط لحل المشكلات/ المخاطر المحتملة التي يمكن أن تتداخل مع إشغال الطريق.

٤-٢-٥-ه نظام توجيه المرور:

يمكن الإشارة إلى نظام توجيه المرور بأسماء مختلفة بين السلطات القضائية. نظام توجيه المرور عبارة عن وثيقة توضح كيف يمكن فصل المرور بأمان عن العمال في موقع أو خط العمل. والغرض منه أن يكون بمثابة تعليمات موجهة من مشرفي الأعمال إلى فرق الموقع، وينبغي أن يكون -عادةً- في شكل رسم بياني يوضح حالة الطريق (المسارات والإشارات وغيرها). ينبغي أن يتضمن -غالبا- تفاصيل عن كيفية إدارة المرور حول موقع أو نشاط عن طريق اللافتات المؤقتة والحواجز ونشر موظفي مراقبة المرور. يمثل نظام توجيه المرور أحد متطلبات الصحة والسلامة المهنية الموصى بها لموقع العمل.

الجدول (هـ–٢٢) مصفوفة تخطيط المناسبات الخاصة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 5.4 adjusted).

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
١	حدث من الفئة الأولى: يؤثر في أنظمة المرور والنقل الرئيسة. يعطل المجتمع خارج الحدث في مساحة واسعة. يتطلب مشاركة هيئة الطرق والشرطة وسلطة حكومية محلية واحدة أو أكثر. يتطلب خطة تفصيلية لإدارة النقل يتطلب الإعلان عن جوانب المرور الخاصة	يمكن أن ينطبق الآتي على الحدث من الفئة الأولى: يقام على الطريق أو في مكان خاص. ينطوي على صناديق أو سلطات عند استخدام المرافق التي يديرونها ينطوي على سلطات و/أو مقدمي خدمات النقل العام. التأثير في قطاع النقل البري. ضرورة قيام جهة الطرق بتوفير طرق	على سبيل المثال: حدث يؤثر في طريق النقل الرئيس في عاصمة أو مدينة إقليمية (على سبيل المثال: الحج). حدث يقلل من سعة الطريق الرئيس عبر بلدة ريفية.	تلزم خطة إدارة النقل. يوصى بخطة إدارة النقل النموذجية	مخططات التحكم المروري التي وضعها شخص مؤهل وُنفذّت بتوجيه من شخص مؤهل. تجب مراعاة إمكانية الوصول للأشخاص ذوي الإعاقة.	٢٨ يومًا لجميع الأحداث التي تتطلب تنظيم المرور أو التي يتم فيها تنفيذ حدث خاص. غير مطلوب عند عدم وجود تنظيم للمرور.	تتولى هيئة الطرق الترتيبات إذا لزم الأمر. قد تنطبق الشروط.	يُعزّز حيثما كان ذلك ممكنًا.	مطلوب: راجع خطة إدارة النقل.	يمكن أن يكون مطلوبًا. راجع خطة إدارة النقل. يجب النظر في وقوف المركبات للأشخاص ذوي الإعاقة.	موصى به.

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
	بالحدث لجمهور عريض.	مفتوحة للأحداث الخاصة. ضرورة قيام جهة الطرق بتوفير تحويلات للمركبات الثقيلة. ضرورة قيام جهة الطرق بضبط إشارات المرور. ضرورة قيام جهة الطرق بإدارة لافتات الرسائل المتغيرة.									
٢	حدث من الفئة الثانية: يؤثر في المرور وأنظمة النقل المحلية ولكنه لا يؤثر في أنظمة	يمكن أن ينطبق الآتي على الحدث من الفئة الثانية: يقام على الطريق أو في مكان خاص	على سبيل المثال: حدث يسد الشارع الرئيس لبلدة أو مركز تسوق ولكنه لا يؤثر في	تلزم خطة إدارة النقل. يوصى بخطة إدارة النقل النموذجية	مخططات التحكم المروري التي وضعها شخص مؤهل وتم تنفيذها بتوجيه من	٢٨ يومًا لجميع الأحداث التي تتطلب تنظيم المرور أو التي يتم فيها تنفيذ حدث خاص.	–	يتم تعزيزه حيثما كان ذلك ممكنًا	مطلوب – راجع خطة إدارة النقل.	قد يكون مطلوبًا، راجع خطة إدارة النقل. يجب النظر في وقوف	موصى به

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
	المرور والنقل الرئيسة يعطل المجتمع خارج الحدث في المنطقة المحيطة بالحدث ولكن ليس في منطقة واسعة يتطلب مشاركة الشرطة والسلطات الحكومية المحلية يتطلب خطة تفصيلية لإدارة النقل يتطلب الإعلان عن جوانب المرور الخاصة بالحدث للمجتمع المحلي.	ينطوي على صناديق أو سلطات عند استخدام المرافق التي يديرونها ينطوي على سلطات و/أو مقدمي خدمات النقل العام.	طريق النقل الرئيس تجمع المركبات على الطرق الريفية المحلية.		شخص مؤهل. تجب مراعاة إمكانية الوصول للأشخاص ذوي الإعاقة.	غير مطلوب عند عدم وجود تنظيم للمرور.				المركبات للأشخاص ذوي الإعاقة	

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
٣	حدث من الفئة الثالثة: لا يؤثر في أنظمة المرور والنقل المحلية أو الرئيسة. يعطل المجتمع خارج الحدث في المنطقة المجاورة فقط. يتطلب موافقة سلطة حكومية محلية والشرطة. يُجرَى في الشارع في منطقة منخفضة المرور للغاية مثل طريق مسدود أو زقاق. يتطلب موافقة الشرطة على أن الحدث مؤهل للفئة الثالثة.	يمكن أن ينطبق الآتي على الحدث من الفئة الثالثة، اعتمادًا على سياسة سلطة الحكومة المحلية. يتطلب خطة إدارة نقل مبسطة غير متوفرة في جميع مناطق الحكومة المحلية. يتطلب الإعلان عن جوانب المرور الخاصة بالحدث إلى المجتمع.	على سبيل المثال: احتفال في حي الشارع.	قد تطلب السلطة الحكومية المحلية خطة إدارة النقل.	مخططات التحكم المروري التي وضعها شخص مؤهل وتم تنفيذها بتوجيه من شخص مؤهل. تجب مراعاة إمكانية الوصول للأشخاص ذوي الإعاقة.	٢٨ يومًا لجميع الأحداث التي تتطلب تنظيم المرور. غير مطلوب عند عدم وجود تنظيم للمرور.	–	–	مطلوب – راجع خطة إدارة النقل.	–	–

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
	لا يُستخدم أبدًا لسباقات المركبات.										
٤	حدث من الفئة الرابعة: مخصص للأحداث في الشوارع الصغيرة. يتطلب موافقة الشرطة فقط. يندرج ضمن سعة الشرطة لإدارته بنفسها. لا يكون احتجاجًا أو مظاهرة. دائمًا ما يكون حدثًا في الشارع. لا يتطلب موافقة الحكومة المحلية أو هيئة الطرق.	يمكن أن ينطبق الآتي على الحدث من الفئة الرابعة: يُقام على طرق مصنفة أو غير مصنفة. لا يسبب اضطرابًا للمجتمع خارج الحدث أو يسبب اضطرابًا معقولًا له. يتخطى حدود الشرطة المحلية والحكومة المحلية. يتطلب من الحكومة المحلية و/أو هيئة الطرق المساعدة عندما تحتاج الشرطة.	على سبيل المثال: مسيرة صغيرة في بلدة ريفية موكب صغير تحت حراسة الشرطة.	–	–	–	–	–	–	–	–

فئة الحدث	الوصف	الميزات	الأمثلة	خطة إدارة النقل	خطط إدارة المخاطر	الإعلان عن ترتيبات إدارة النقل	حدث خاص في مسارات الانعطاف للمركبات الثقيلة	النقل العام	مركبات الطوارئ والوصول المحلي	مواقف المركبات	التخطيط للطوارئ
	لا يتطلب الإعلان عن جوانب المرور الخاصة بالحدث إلى المجتمع لا يتطلب خطة إدارة النقل. لا يتطلب تدخل الحكومات الأخرى.										

هـ-٥-٢-٣ المناسبات الخاصة: نموذج خطة إدارة النقل

يقدم الجدول (هـ -٢٣) مثالًا على نموذج خطة إدارة النقل (Roads and Traffic Authority New South Wales (NSW), 2006)). ويوضح متطلبات التخطيط للفئات الثلاث الأولى من المناسبات الخاصة. ويفترض تصنيفات الأحداث الموضحة في الجدول (هـ -٢٢).

الجدول (هـ–٢٣) نموذج خطة إدارة النقل للمناسبات الخاصة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure A1 - Revised).

موارد المناسبات الخاصة	
نموذج خطة إدارة النقل للأحداث الخاصة	
١ تفاصيل الحدث	
١.١ ملخص الحدث	
اسم الحدث:	
موقع الحدث:	
تاريخ الحدث: ..... وقت بدء الحدث: ..... وقت انتهاء الحدث:	
يكون الحدث ☐ على جانب الشارع ☐متنقل في الشارع ☐ غير متنقل في الشارع ☐ يقام بانتظام على مدار العام (التقويم مرفق)	
١.٢ أسماء جهات الاتصال	
منظم الحدث *..... الهاتف:..... الفاكس:..... الهاتف المحمول:.....البريد الإلكتروني:.....	
شركة إدارة الحدث (إن أمكن):..... الهاتف:..... الفاكس:..... الهاتف المحمول:.....البريد الإلكتروني:.....	
الشرطة:..... الهاتف:..... الفاكس:..... الهاتف المحمول:.....البريد الإلكتروني:.....	
المجلس:..... الهاتف:..... الفاكس:..... الهاتف المحمول:.....البريد الإلكتروني:.....	
هيئة الطرق والمرور (إذا كان الحدث من الفئة الأولى) :..... الهاتف:..... الفاكس:..... الهاتف المحمول:.....البريد الإلكتروني:.....	
* *ملحوظة: منظم الحدث هو الشخص أو المنظمة التي استخراج تأمين الالتزام العام باسمها*	
١.٣ وصف موجز للحدث (فقرة واحدة)	

٢	**إدارة المخاطر - المرور**				
	٢,١ الصحة والسلامة المهنية - التحكم المروري	الفئة ١	الفئة ٢	الفئة ٣	
☐	الخطة (أو الخطط) المرفقة لتقييم المخاطر.				
	٢,٢ تأمين المسؤولية العامة				
☐	تم ترتيب تأمين المسؤولية العامة. تم إرفاق شهادة العملات.				
	٢,٣ الشرطة				
☐	الحصول على موافقة خطية من الشرطة.				
	٢,٤ فرق الإطفاء والإسعاف				
☐	إعلام فرق الإطفاء.				
☐	إعلام الإسعاف.				
٣	**إدارة المرور والنقل**				
	٣,١ المسار أو الموقع	الفئة ١	الفئة ٢	الفئة ٣	
☐	الخريطة مرفقة.				
	٣,٢ مواقف المركبات				
☐	مواقف سيارات منظمة - التفاصيل مرفقة.				
☐	مواقف سيارات غير مطلوبة.				
	٣,٣ تطورات الإنشاءات وتهدئة المرور وتوليد المرور				
☐	خطط لتقليل تأثير أنشطة البناء أو أجهزة تهدئة المرور أو التطورات المولدة للمرور. مرفقة.				
☐	لا توجد أنشطة بناء أو أجهزة لتهدئة المرور، أو تطورات مولدة للمرور في الموقع/المسار أو على المسارات الانعطافية.				
	٣,٤ الصناديق أو السلطات أو المؤسسات الحكومية				
☐	يستخدم هذا الحدث منشأة يديرها صندوق، أو مؤسسة أو سلطة. مرفق موافقة خطية.				
☐	لا يستخدم هذا الحدث منشأة يديرها صندوق أو سلطة أو مؤسسة.				
	٣,٥ التأثير على النقل العام والتأثر به				
☐	وضِعت مخططات النقل العام. التفاصيل مرفقة.				
☐	لن يتأثر النقل العام بالحدث، أو لن يؤثر فيه.				
	٣,٦ إعادة فتح الطرق بعد الأحداث المتحركة				
☐	هذا حدث متحرك. التفاصيل.				
☐	هذا حدث غير متحرك.				
	٣,٧ المتطلبات الخاصة لإدارة المرور لهذا الحدث	الفئة ١	الفئة ٢	الفئة ٣	

					☐ وصف المتطلبات الخاصة لإدارة المرور. مرفقة.
					☐ لا توجد متطلبات خاصة للمرور لهذا الحدث.
				٣,٨	**خطط الطوارئ**
					☐ خطط الطوارئ مرفقة.
				٣,٩	**تأثيرات المركبات الثقيلة**
					☐ تأثيرات المركبات الثقيلة .هيئة الطرق والمرور لإدارتها.
					☐ لا تؤثر في المركبات الثقيلة.
				٣,١٠	**فتح مواقع المناسبات الخاصة**
					☐ يلزم طرق سريعة خاصة للحدث. هيئة الطرق والمرور لترتيبها.
					☐ لا يلزم توفير طرق سريعة خاصة للحدث.
				٤	**تقليل التأثير على المجتمع خارج الحدث وخدمات الطوارئ.**
			الفئة ٣	٤,١	**الوصول إلى المقيمين المحليين والشركات والمستشفيات ومركبات الطوارئ**
					☐ الخطط المصممة لتقليل التأثير على المجتمع خارج الحدث مرفقة.
					☐ لا يؤثر هذا الحدث في المجتمع خارج الحدث سواء على المسار الرئيس (أو الموقع) أو مسارات الانعطاف.
				٤,٢	**الإعلان عن ترتيبات إدارة المرور**
					☐ إغلاق الطريق أو القيود. الوسيلة الإعلانية، ونسخة من الإعلانات المقترحة مرفقة.
					☐ لا يوجد إغلاق للطريق أو قيود؛ ولكن توجد طرق سريعة خاصة للحدث في الموقع. الوسيلة الإعلانية ونسخة من الإعلانات المقترحة. مرفقة.
					☐ لا يوجد إغلاق للطريق أو قيود أو طرق سريعة خاصة للحدث. لا يلزم الإعلان.
				٤,٣	**لافتات التحذير الخاصة للحدث**
					☐ لافتات المعلومات الخاصة للحدث موصوفة في خطة/خطط التحكم المروري.
					☐ لا يتطلب هذا الحدث لافتات التحذير الخاصة للحدث.
				٤,٤	**لافتات الرسائل المتغيرة الدائمة**
					☐ الرسائل والمواقع والأوقات مرفقة.
					☐ لا تستخدم هذه المناسبة لافتات الرسائل المتغيرة الدائمة.
				٤,٥	**لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة**
					☐ الرسائل والمواقع المقترحة للافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة مرفقة.
					☐ لا يستخدم هذا الحدث لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة.
				٥	**الموافقة**

تمت الموافقة على خطط إدارة المرور من قِبل: ..... منظم الحدث:.....

التاريخ:.....

٦ التصريح بتنظيم المرور*

تم استيفاء متطلبات المجلس بخصوص إدارة المرور؛ ولذلك، يصرح بتنظيم المرور لجميع الطرق غير المصنفة الموصوفة في خطط إدارة المخاطر المرفقة في خطط إدارة المرور هذه

تنظيم المرور مصرح به من قِبل: .....جهة الطرق والمرور:
.....

التاريخ: .....

تم استيفاء متطلبات جهة الطرق والمرور بخصوص إدارة المرور؛ ولذلك، يصرح بتنظيم المرور لجميع الطرق المصنفة كما هو موضوح في خطط إدارة المخاطر المرفقة في خطط إدارة المرور هذه.

تنظيم المرور مصرح به من قِبل: .....جهة الطرق والمرور:
.....

التاريخ: .....

ملاحظات:

١-منظم الحدث هو الشخص أو المنظمة التي تم إلغاء تأمين المسؤولية العامة باسمه.

٢ - يُقصد بـ "تنظيم المرور" تقييد أو منع مرور الأفراد أو المركبات أو الحيوانات على طريق بأكمله. وتتطلب المجالس وجهة الطرق والمرور تنظيم المرور كما هو موضح في خطط إدارة المخاطر في المخططات الموضوعة تحت إشراف شخص مختص.

هـ-٥-٢-٤ قائمة تدقيق تخطيط حدث كبير

الجداول الآتية، عندما تكون مركزة على حدث كبير في موقع واحد، وعندما لا تلبي احتياجات الأحداث المتحركة مثل المسيرات أو سباقات الدراجات أو سباقات الماراثون، فإنها توفر قائمة مفيدة من القضايا التي تجب معالجتها والتي يمكن تكملتها لتناسب الاحتياجات الأخرى حسب الضرورة (Latoski, et al., 2003).

الجدول (هـ–٢٤) قائمة تدقيق خطط الطوارئ (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B1).

حالة طارئة
الطقس انتشار طقس قاسٍ. غمران مسارات الوصول إلى موقع الحدث بالمياه. غمران مناطق وقوف المركبات الخاصة بالحدث بالمياه. الوقوف خلال الطقس الممطر..
التهديدات الأمنية.
حادثة مرور كبيرة.
حدث متأخر.
إلغاء الحدث.
غياب الموظفين والمتطوعين المدربين في يوم الحدث.
تعطل المعدات.
المظاهرات أو الاحتجاجات.
تصرف الزائر بطريقة مشاغبة.
الازدحام.
عنف راعي الحدث.

الجدول (هـ–٢٥) قائمة تدقيق خطة الموقع ومواقف المركبات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B2).

العنصر	ما يقدمه
مناطق وقوف المركبات للرعاة	توضيح مناطق وقوف المركبات المجانية والمدفوعة (نقود) والمحجوزة (تصريح). تحديد المواقف التي يُسمح فيها بتقارب المركبات في أثناء الاصطفاف.
	عرض نقاط الوصول المحددة لمناطق وقوف المركبات وتحديد القيود.
	تحديد عدد مسارات الدخول/الخروج (أو الخوادم) في كل نقطة وصول.
	تسمية كل موقف برقم أو حرف وتوفير اتجاهات خاصة بالموقف.
	إعلان وقت فتح مناطق وقوف المركبات، خاصةً إذا كان الوقت يختلف باختلاف منطقة وقوف المركبات.
	مناقشة مميزات كل منطقة وقوف سيارات (على سبيل المثال: ممهدة، مزودة بعمال، مزودة بإنارة، مزودة بأمن).
	تحديد وقت المشي المقدر بين كل منطقة وقوف للسيارات.
	تحديد روابط مسارات وصول المشاة.
	عرض مناطق وقوف المركبات الزائدة، وتحديد المسافة من المكان، وذكر مواصفات التشغيل (على سبيل المثال: الامتلاء بالكامل).
	تحديد مناطق وقوف الدراجات النارية.
	تحديد مناطق وقوف المركبات الترفيهية (على سبيل المثال: مبيت المركبات).
	توفير خريطة لمواقف المركبات المتوفرة خارج الموقع:

العنصر	ما يقدمه
	تتضمن معلومات عن قواعد الشارع (على سبيل المثال: اتجاه واحد أو ثنائية الاتجاه) والتوصيلات بين الطرق السريعة والطرق الشريانية الكبيرة. تحديد قيود وقوف المركبات في الشارع. تحديد قواعد منطقة وقوف المركبات الخاصة (على سبيل المثال، التحكم في منفذ الخروج). تحديد موقع نقاط دخول/خروج مناطق وقوف المركبات خارج الشارع. تضمين الأسعار إن وجدت. عرض مناطق وقوف المركبات المحظورة خارج الموقع (على سبيل المثال: الأحياء السكنية وما إلى ذلك).
معلومات الوصول إلى البوابة	تحديد أسماء البوابات كما هي موجودة على تذاكر رعاة الحدث.
معلومات كبار الزوار	عرض مناطق وقوف المركبات الخاصة بكبار الزوار (على سبيل المثال: ضيف/راعي رسمي).
	عرض مكان استلام بيانات الاعتماد.
	عرض مناطق الضيافة.
مسار الحافلات المكوكية ومحطاتها	إظهار مسار المكوك وجميع محطاته. تحديد التكاليف والتأكيد على الخدمات المجانية.
مواقع النزول/الركوب	عرض نقاط الوصول ومسارات الانعطاف لخدمة النقل العام/سيارات الأجرة/سيارات الليموزين/النظام المكوكي. عرض مسارات الحافلات الحصرية.
	عرض محطات حافلات النقل العام/السريعة.
	تحديد مواقع النزول/الركوب العامة المسموح فيها بالانعطاف.
	تحديد مواقع النزول الموجود بها خدمة صف المركبات.
	عرض مواقع النزول/الركوب لذوي الاحتياجات الخاصة.
مناطق وقوف المركبات الأخرى	عرض منطقة وقوف الحافلات السريعة/خدمات التأجير.
	عرض مناطق وقوف سيارات الليموزين.
	عرض مناطق وقوف سيارات الصحافة.
	عرض مناطق وقوف سيارات موظفو المناسبة.
مناطق وقوف المركبات لذوي الاحتياجات الخاصة	تحديد موقع محدد (على سبيل المثال: الصف الأول) للمساحات المخصصة لذوي الاحتياجات الخاصة فقط في مناطق وقوف المركبات العامة.
	تحديد عدد المساحات المتاحة.
الاعتبارات الأخرى	عرض خريطة جوية. الترويج لخيارات الشراء المسبق (التصريح).
	تحديد أماكن التقاط المركبات المسحوبة (على سبيل المثال: مصطفة في مكان غير قانوني).
	التأكيد على الأحكام الجديدة (على سبيل المثال: أماكن وقوف المركبات الجديدة وما إلى ذلك).
	عرض الخريطة بتنسيق شبكي للرجوع إليها بسهولة.
	إعداد الخرائط لمختلف أماكن المناسبة - إذا اختلفت خطة وقوف المركبات-.
	رسم خريطة للمقياس.
	عرض الممتلكات الخاصة.
	إظهار المعالم.
	تحديد مناطق مشاهدة الألعاب النارية المحلية.

الجدول (هـ–٢٦) قائمة تدقيق خطط وصول المشاة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B3).

العنصر
عرض مسارات وصول المشاة المقترحة.
عرض كباري وأنفاق المشاة.
تحديد خطط معابر المشاة الخاصة (على سبيل المثال: إغلاق الشارع أو معابر منتصف الطريق).
عرض مسار الحافلات المكوكية، واتجاه الحركة، ومواقع التوقف، ومناطق الركوب و النزول.
عرض التوصيلات الرأسية بين مستويات البنية التحتية (مثل السلالم والسلالم المتحركة والمصاعد والمنحدرات).
عرض معابر المشاة المعينة في أماكن الحدث التي تستخدم الشارع.
تحديد القواعد الخاصة.
توضيح مسارات وصول المشاة والمعابر المناسبة لرعاة المناسبة ذوي الاحتياجات الخاصة.

الجدول (هـ–٢٧) قائمة تدقيق خطط تدفق المرور (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table B4).

العنصر	ما يقدمه
مسار تدفق مرور ممر رعاة الحدث	تحديد منحدرات الطريق السريع المقترحة، من خلال اتجاه المسار أو من/إلى مكان الحدث أو منطقة وقوف المركبات المحددة. تحديد نقاط الممر المستهدفة التي تمثل نقطة تواصل بمسارات تدفق المرور المحلية. تحديد مخصصات الطرق السريعة أو المسارات الشريانية لحركة مرور المناسبة (على سبيل المثال، مسارين لليمين لحركة مرور الحدث). توفير معلومات بشأن مشاريع أعمال البناء في الطرق، حسب الحاجة، وتوضيح المسارات البديلة. تحديد الأساليب المعدلة للتحكم في المنحدرات (على سبيل المثال، الإغلاق/المسارات الإضافية). عرض أشكال محولات الطريق السريع (واتجاه السير) وأرقام الخروج. تحديد الرسوم، إن أمكن.
مسار تدفق المرور المحلي لرعاة الحدث	عرض رابط مسار تدفق مرور الممر. تحديد الشوارع المحلية التي تتصل بمداخل/مخارج منحدرات الطريق السريع. تحديد مسار تدفق المرور المقترح من/إلى مناطق وقوف المركبات العامة والمحجوزة (الحد الأدنى) أو مناطق وقوف المركبات الفردية (المقترحة). تحديد الشوارع ذات الاتجاه الواحد. عرض أماكن إغلاق أجزاء الطريق. تحديد حركات الانعطاف المسموح بها. التأكيد على مناطق الانعطاف التي يُتحكَّم فيها (الأماكن الممنوع بها الانعطافات أو المسموح بها بانعطاف واحد فقط). ذكر خطوط الطريق المعدلة (على سبيل المثال: المسارات متغيرة الاتجاه أو التدفق العكسي). تحديد مسارات وصول المشاركين/كبار زوار المناسبة.
معلومات المتنقل	ترويج استخدام الحدائق الإقليمية، ومواقع الركوب، وأماكن مواقف المركبات البعيدة المخصصة للحدث. تحديد ترددات الإذاعة التجارية، وإذاعة الطريق الإرشادية التي تحتوي على معلومات سير الحدث. التأكيد على أهمية اتباع المسار والالتزام بتعليمات ضابط التحكم المروري.
معلومات فريق إدارة المرور	تضمين خرائط الطوارئ التي توضح بالتفصيل طرق مناطق وقوف المركبات الزائدة. توفير اتجاهات مكتوبة لتحويل مسارات تدفق مرور الممر عبر نظام الشوارع المحلية. تحديد مسارات بديلة للدخول والخروج من نقطة الهدف ذاتها.
وسائط نقل الرحلة/مجموعات المستخدمين الأخرى	عرض مسارات النقل وتحديد رقم (أرقام) المسار المقابل. عرض المسارات المفضلة لسيارات الأجرة. تحديد مسارات الدراجات. تحديد مسارات المشاة.

العنصر	ما يقدمه
الاعتبارات الأخرى	توفير المعلومات بشأن كل من مسارات تدفق الدخول والخروج. التأكيد على دعم تنفيذ القانون للمسارات والتوجيهات المقترحة. تحديد أوقات الرحلة (من خلال وسائط نقل الرحلة) والمسافات (على سبيل المثال: من أماكن محددة). تحديد وقت دخول مسارات تدفق المرور الخاصة حيز التنفيذ والانتهاء منها. توزيع اتجاهات مكتوبة للقيادة للدخول/الخروج. تحديد نقاط الالتباس المحتملة على طول المسار المقترح (على سبيل المثال: مخارج الطريق السريع وحركات الانعطاف). تحديد قيود المركبات الثقيلة. تحديد المناطق المزدحمة/غير المزدحمة المتوقعة. استخدام وسائل الشرح لإبراز الحركات الحرجة. تسمية جميع الشوارع والطرق السريعة. ترميز المسارات المقترحة بألوان؛ لتحديد مناطق وقوف المركبات. التأكيد على الأحكام الجديدة (على سبيل المثال: أماكن إغلاق الطريق أو المسار الجديدة). إعداد الخرائط لمختلف أماكن المناسبة إذا اختلفت خطة وقوف المركبات. عرض مناطق وقوف المركبات. عرض بوابات المكان. رسم خريطة للمقياس. عرض الممتلكات الخاصة. إظهار المعالم.

الجدول (هـ–٢٨) قائمة تدقيق نظام توجيه المرور (AUSTROADS, (2020c) – Table B5).

العنصر	ما يقدمه
خطة التحكم في الطريق السريع	تحديد صيانة المرور وحمايتها وفقًا لإرشادات دليل أجهزة التحكم المروري الموحدة (على سبيل المثال: موقع معدات التحكم المروري وكميات المعدات ولافتات السلامة).
	تحديد التحكم في المنحدر وتعديلات السعة.
	تمييز التدفقات الحصرية للمرور (على سبيل المثال: الدمج من دون عوائق وما إلى ذلك).
	قياس منطقة التناسج وأطوال مسارات التسارع/التباطؤ وطول المنحدر.
	تحديد مواقع الاختناقات المرورية المحتملة للمراقبة.
خطة التحكم في الشارع	عرض قطاعات الطريق المغلق.
	تحديد التحكم في المسار الاتجاهية (على سبيل المثال: عمليات المسار البديلة).
	عرض الشوارع ذات الاتجاه الواحد.
	تحديد عدد مسارات الدخول والخروج في كل نقطة وصول للمكان (على سبيل المثال: مناطق وقوف المركبات ونقاط الركوب/النزول).
	عرض مسار المناسبة التي تستخدم الشارع.
	تحديد قيود وقوف المركبات.
	تحديد موقع مركز (مراكز) القيادة.
	دمج خطة اللافتات (على سبيل المثال: إظهار لافتات التوجيه الموجودة في المسار).
خطة التحكم في التقاطع	تحديد صيانة المرور وحمايتها وفقًا لإرشادات دليل أجهزة التحكم المروري الموحدة (على سبيل المثال: موقع معدات التحكم المروري، وكميات المعدات ولافتات السلامة).
	عرض حركات المشاة المسموح بها، ومواقع ممر المشاة.
	تحديد تعيينات مسارات الاقتراب، وعلامات سطح الطريق.
	تحديد التحكم المروري.

العنصر	ما يقدمه
	تمييز تدفقات حركات المرور الحصرية/المسموح بها (تحديد مسار الاقتراب ومسار الاستقبال المقابلة).
	تحديد القواعد الخاصة (على سبيل المثال: حظر الانعطاف، مسار الحافلات فقط، حركة مقيم/بتصريح فقط).
	عرض اتجاهات أماكن الإغلاق.
	تحديد قيود وقوف المركبات.
	تحديد موقع ضباط التحكم المروري.
	تحديد موقع منطقة تخزين المعدات في التقاطع.
خطة اللافتات	عرض موقع لافتات الرسائل القابلة للتغيير الدائمة/المتنقلة.
	عرض موقع محطات إذاعة الطريق الإرشادية الدائمة/المتنقلة.
	تحديد مجموعات رسائل لافتات الرسائل القابلة للتغيير. الدخول والخروج الافتراضي. سيناريوهات الطوارئ.
	عرض موقع اللافتات والرسالة الثابتة المؤقتة.
	تحديد موقع اللافتات الآلية الديناميكية.
خطة موقع المعدات	تحديد عدد مخاريط المرور والأسطوانات والحواجز المطلوبة في المواقع المحددة. تحديد مناطق تجميع المعدات (على سبيل المثال، زاوية كتف الطريق، الجزيرة الوسطية، التقاطع).
	تحديد موقع مناطق تخزين المعدات.
الاعتبارات الأخرى	توفير خطط لكل من عملية الدخول والخروج.
	تحديد مناطق أعمال البناء في الطرق.
	تضمين جدول بالكميات.
	عرض خريطة جوية.
	رسم خريطة للمقياس.
	إظهار المعالم.

ه-٦ أنظمة وإجراءات التحكم في الشبكة المرورية:

ه-٦-١ مقدمة:

يقدم هذا الجزء إرشادات تتعلق بأنظمة التحكم المروري وإجراءاتها، باستثناء أنظمة إشارات المرور التي نوقشت في الجزئين: (أطوار إشارات المرور وتوقيتها) و(إشارات التقاطع وعمليات التشغيل للنقل العام). ويشرح عددًا من الأنظمة التي يمكن أن تساعد على عمليات الشبكة بما فيها إدارة المسارات وحد السرعة المتغير وأنظمة النقل الذكية التعاونية ومساعدات السير/معلومات مستخدمي الطريق.

لا تعد الأنظمة المذكورة في هذا الجزء مهمة للتحكم في المرور وكفاءة الشبكة فحسب. بل لأنها تدعم أهداف السلامة العامة كذلك. فعلى سبيل المثال: تسهم أنظمة إدارة استخدام المسارات في وجود طرق آمنة، وحد السرعة المتغير في وجود سرعات آمنة، ومساعدات السير ومعلومات المستخدم في وجود مستخدمين آمنين، وأنظمة النقل الذكية التعاونية في وجود مركبات سالمة. في حين أن تصميم الأنظمة ذاتها وتشغيلها يمكن أن يكون معقدًا؛ فإن الواجهة التي تحتوي على مستخدمي الطريق والمعلومات التي يتلقونها ينبغي أن تأخذ في الحسبان العوامل البشرية والحدود. أما الفشل بذلك سينتج عنه إضرار بسلامة الأنظمة وفعاليتها.

ه-٦-٢ أنظمة إدارة المسار:

ه-٦-٢-١ أنظمة إدارة استخدام المسار:

ه-٦-٢-١-١ معلومات أساسية:

يُستخدم نظام إدارة استخدام المسارات للتحكم في حركة المركبات في المسار ومنها وإليها. ويمكن أن تتضمن الوظائف فتح/إغلاق المسار، والقدرة على إنشاء منطقة دمج قبل حالات إغلاق المسار، والاستخدام الخاص للرموز مثل رموز الحافلة أو النقل العام أو الشاحنة. ويمكن أن تتضمن تحكمًا ديناميكيًا في مناطق السرعة. كما يمكن أن يتكامل النظام مع أنظمة إدارة الطرق الأخرى مثل ضبط المداخل إلى الطرق السريعة، ولافتات الرسائل المتغيرة ولافتات حد السرعة المتغير ومعلومات المتنقل (على سبيل المثال: تحويلات المسار) لتوفير إدارة شاملة للممرات. كما أنه يسهل تنفيذ خطط إدارة الحوادث.

تعد إدارة استخدام المسار جزءًا رئيسًا من أنظمة المسارات متغيرة الاتجاه، ومخططات استخدام مسار كتف الطريق وأنظمة التحكم في الأنفاق كما هو موضح في الأقسام الآتية.

في أغلب الأحيان، يتضمن نظام إدارة استخدام المسار بشكل مباشر المكونات الآتية:

- لافتات التحكم في المسار.
- نظام التحكم في نظام إدارة استخدام المسار.

العناصر الآتية ليست جزءًا مباشرًا من نظام إدارة استخدام المسار، ولكن يمكنها دعم وظيفتها:

- محطات البيانات.
- لافتات الرسائل المتغيرة.
- لافتات حد السرعة المتغير.
- أجهزة استشعار الحوادث.
- الاتصالات.
- اللافتات القنطرية على الطريق السريع.
- التغطية بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية.

ه-٦-٢-١-٢ شاشات المسار التابعة لنظام إدارة استخدام مسار:

عادةً ما تتضمن شاشات التحكم في المسار الآتي:

- مسار مفتوحة، وحد السرعة.
- الدخول يسارًا أو يمينًا أو كليهما.
- مسار مغلقة.
- الخروج من المسارات.
- مسار الانعطاف المخصصة.

ينبغي أن يكون نظام إدارة استخدام المسار قادرًا على توفير القدرات الآتية إما بشكل مسبق، أو تجاوبًا مع سيناريوهات إدارة المرور الآتية:

الجدول (هـ–٢٩) قدرات أنظمة إدارة استخدام المسار لسيناريوهات إدارة المرور (المصدر: – AUSTROADS, (2020c) Table 7.1).

سيناريو إدارة المرور	قدرات نظام إدارة استخدام المسار
عمليات طبيعية - طلب قليل.	القدرة على إنشاء مسار للإيقاف الطارئ (غير مخطط استخدامها في الوقت الحالي).
عمليات طبيعية- طلب عالٍ.	إدارة مناطق الاندماج من خلال إنشاء لافتة إضافة مسار جديدة. زيادة (إعطاء الأولوية) مساحة الطريق المتاحة. توفير سعة إضافية عن طريق السماح باستخدام مسار كتف الطريق.
إدارة الحوادث.	حماية (جعلها آمنة) منطقة الحوادث. توفير وصول سريع لمركبات الطوارئ. زيادة (إعطاء الأولوية) مساحة الطريق المتبقية المتاحة. إدارة مناطق الاندماج من خلال إنشاء لافتة إضافة مسار جديدة.
أعمال الطرق/ الفعاليات المخطط لها.	حماية (جعلها آمنة) منطقة الأعمال/الأحداث. توفير وصول سريع لمركبات الطوارئ. زيادة (إعطاء الأولوية) مساحة الطريق المتبقية المتاحة. إدارة مناطق الاندماج من خلال إنشاء لافتة إضافة مسار جديدة.
عمليات التدفق العكسي.	إدارة استخدام المسار عند الاقتراب من منطقة التدفق العكسي.

هـ-٦-٢-٢ المسارات متغيرة الاتجاه:

يتمثل شكل محدد من أشكال إدارة استخدام المسار في المسار متغيرة الاتجاه. ويعد نظام المسارات متغيرة الاتجاه (أو نظام التدفق الجذري) النظام الذي يتم فيه عكس اتجاه تدفق المرور في مسار واحدة أو أكثر أو كتف طريق واحد أو أكثر إلى الاتجاه المعاكس لبعض الوقت.

يمكن تنفيذ تغيير اتجاه السير من قبل العديد من الأنظمة:

- تغيير الاتجاه اليدوي.
- الجزر الوسطية المتحركة.
- تغيير الاتجاه الديناميكي.

تُشغَّل هذه الأنظمة عادة يوميًا خلال فترات الذروة. ويمكن أن يُغيَّر اتجاه السير على أساس موعد ثابت (كل يوم في ساعات محددة سابقًا) أو على أساس ديناميكي استجابة لمتطلبات المرور. وتسمح التغييرات في موعد ثابت لسائقي المركبات بتوقع التغيير والتخطيط له بشكل أفضل. كما يوفر تغيير الاتجاه الديناميكي تدفقًا أكثر كفاءة للمرور عند وجود إفراط في التشبع في كلا الاتجاهين وعند وجود حاجة إلى تحسين وقت تغيير اتجاه السير لتحقيق أفضل استفادة من استجابة تغيرات الطلب.

هـ-٦-٢-٢-١ تغيير الاتجاه اليدوي:

تتكون أبسط أنظمة تغيير اتجاه السير من وضع أدوات تحديد المسارات بين تدفقات المرور المعاكسة، التي تحتوي على قطاعات انتقالية عرضية مستدقة. وتتكون أدوات التحديد عادة من أعمدة مخططة مصنوعة من البلاستيك الصلب، وتوضع في تجويفات محفورة، وتُغطى بالإيبوسكي في الرصف على مسافة ١٢ مترًا تقريبًا لإنشاء أشكال المسارات المطلوبة. وبما أنه لا يمكن حفر التجويفات-على سبيل المثال- في أرضيات الجسر؛ فإنه يمكن استخدام ملصقات فوق الرصف أو أدوات التحديد القابلة للطي.

يمكن نقلها من شكل مسار إلى أخرى يدويًا تحت حماية مركبة متحركة تسير في اتجاه تقليل المسار.

هـ-٦-٢-٢-٢ الجزر الوسطية المتحركة:

يمكن لأنظمة تغيير اتجاه السير المؤتمتة جزئيًا استخدام جزيرة وسطية متحركة بمساعدة مقطورة أو شاحنة مصممة لهذا الغرض.

ه-٦-٢-٢-٣ أنظمة تغيير الاتجاه الديناميكي:

تشتمل أنظمة تغيير الاتجاه الديناميكي عادة على شكل من أشكال التحديد أو الفصل لتدفقات المرور المعاكسة عند الوصلات الانتقالية في كل نهاية قطاع مسار متغيرة الاتجاه؛ لتوجيه المرور إلى الشكل المطلوب، جنبًا إلى جنب مع الإشارات العلوية للتحكم في المسار؛ للحفاظ على الشكل وعلى لافتات الرسائل المتغيرة و/أو لافتات الرسائل القابلة للتغيير عند كل نهاية؛ لإعلام مستخدمي الطريق وتوجيههم، وفي أغلب الأوقات، تكون أجهزة التحديد/الفصل في كل طرف قادرة على الأتمتة في نظام ديناميكي بالكامل، ويتكون من علامات رصف يمكن تبديلها عن بعد ومضاءة من الداخل أو الجزر الوسطية المتحركة التي يُتحكَّم فيها عن بُعد.

يجرى تغيير الاتجاه الديناميكي لاتجاه المسار من خلال إعادة تشكيل الاتجاه عن بُعد، ثم تغيير الشاشة تدريجيًا في الإشارات العلوية للتحكم في المسار. وفي حين أنه يمكن بدء هذه العملية تلقائيًا، لأسباب تتعلق بالسلامة، ينبغي أن يُتحقَّق دائمًا من صحة المشغلات؛ لذا ينبغي أن تساعد المراقبة بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية في هذا الموضع. ويكمن التسلسل التشغيلي المقترح في الآتي:

١- غلق المسار. ويمكن أن يتم ذلك في القطاعات بين الجسور المتتالية لتحقيق إغلاق تدريجي.
٢- الانتظار حتى تختفي المرور في القطاع.
٣- إعادة فتح المسار للمرور في الاتجاه المعاكس.

يعد التعيين الإيجابي للمسارات المفتوحة والمغلقة أمام المرور في كل اتجاه أمرًا أساسيًا في أنظمة المسارات متغيرة الاتجاه التي تعتمد على إشارات التحكم في المسار. ولهذا السبب، ينبغي عدم نشر أنظمة حد السرعة المتغير/لافتات التحكم في المسار المدمجة التي تعتمد على عرض حد السرعة للإشارة ضمنيًا إلى أن المسار مفتوحة في تطبيقات المسارات متغيرة الاتجاه ما لم يكن ثمة حاجز فعلي، ويفضل حاجز أمان، بين المسارات المعاكسة.

ه-٦-٢-٣ استخدام مسارات الأكتاف:

كما يوحي الاسم، يلزم لاستخدام مسار الكتف فتح الكتف الصلب لاستخدام المركبات (سواء للأغراض العامة أم المركبات المحددة). ويؤدي هذا في الواقع إلى إضافة مسار إضافية قابلة للمرور إلى المقطع العرضي الحالي القابل للمرور.

تعد تقنية زيادة السعة لشبكة الطرق الحالية فعالة في حالات مثل (AUSTROADS, 2007b):

- أطوال قصيرة (أقل من ٢ كم)، في مواقع الاختناقات المرورية الرئيسة؛ من أجل تخفيف الازدحام.
- بين المحولات، لتقليل الحاجة إلى تفاعل السائقين مع تدفق المرور الرئيسة.
- امتداد مخرج المنحدر بين محولين.
- عند دمجها مع أدوات أخرى مثل حد السرعة المتغير ونظام إدارة استخدام المسار ولافتات الرسائل المتغيرة. وغالبًا ما ينبغي تعديل حدود السرعة لتلائم البيئة الجديدة (من دون كتف) من أجل تحسين السلامة عند تشغيل أكتاف صلبة. وهذا يمكنه إتاحة استخدام التقنية على مسافات طويلة (AUSTROADS, 2008).

يمكن النظر في استخدام مسار الكتف للمرور العامة عندما (AUSTROADS, 2009):

- يتجاوز متوسط حجم المركبات ١٨٠٠ مركبة/س/مسار لعدة ساعات في اليوم لكل مسار.
- يكون متوسط وقت السير أكثر من ١٥٠٪ من التدفق الحر لوقت السير لعدة ساعات في اليوم
- وجود مستوى طلب مرتفع على المرور خلال فترة محددة (استخدام بدوام جزئي) أو خلال فترة ٢٤ ساعة (استخدام بدوام كلي).
- عندما يكون الكتف مناسبًا كمسار مرورية للمركبات.

ه-٦-٢-٤ أنظمة التحكم في الأنفاق:

من وجهة نظر التشغيل المروري، تتطلب الأنفاق أنظمة من أجل:

- إدارة الحوادث.
- إدارة استخدام المسارات.
- إغلاق الأنفاق.

كما أنها تتطلب أنظمة للتحكم في التهوية والإنارة والاتصالات وأنظمة مكافحة الحرائق وإنقاذ الأرواح، ولكنها تقع خارج مجال التشغيل المروري ولم تُناقَش هنا.

ه-٦-٢-٤-١ إدارة الحوادث:

تُعد إدارة الحوادث أمرًا بالغ الأهمية داخل الأنفاق؛ حيث تتطلب دعم أجهزة استشعار الحوادث وأنظمة حد السرعة المتغير ولافتات الرسائل المتغيرة. ويُوفِّر الاتصال المباشر في الأنفاق الرئيسة، مع مستخدمي الطريق من خلال أنظمة إعادة البث التي ينبغي أن تكون مرخصة بشكل محدد.

يُرجى ملاحظة أن فشل نظام تهوية الأنفاق في الحفاظ على جودة الهواء المحددة يعد حادثًا يتطلب وضع خطة لإدارة الحوادث. ويمكن أن يشمل هذا إما تقييد حجم المرور التي تدخل النفق أو إغلاق النفق مؤقتًا.

ه-٦-٢-٤-٢ إدارة استخدام المسارات:

تحتوي أنظمة إدارة استخدام المسار للأنفاق الرئيسة على العناصر ذاتها على غرار أنظمة إدارة استخدام المسار للطرق الأخرى: أنظمة أجهزة الاستشعار وخوارزميات أجهزة استشعار الحوادث وإشارات التحكم في المسارات. وتتمثل نقطة الاختلاف في أن إشارات التحكم في المسارات- حيث يُحدَّد موضع الإشارة ومساحة الارتفاع المحدود- يمكن أن تشتمل على مصابيح إشارات المرور التي تعرض أسهمًا بيضاء/خضراء تشير إلى الأسفل وجوانب متقاطعة حمراء.

ه-٦-٢-٤-٣ إغلاق الأنفاق:

في حالة وقوع حادث كبير في النفق، تقتضي الضرورة غالبًا منع دخول النفق. ويتحقق ذلك من خلال مجموعة من الآتي:

- لافتات الرسائل المتغيرة قرب النفق.
- إشارات المرور و/أو إشارات التحكم في المسار في المنطقة المجاورة مباشرة لبوابة النفق.
- بعض الحواجز الفعلية (حاجز أو بوابة) بالقرب من البوابة، إن أمكن عمليًا.

ويمكن أن يلزم إغلاق النفق كذلك لمنع مركبات معينة، مثل الشاحنات المرتفعة كثيرًا، من دخول النفق.

ه-٦-٣ حد السرعة المتغير:

ه-٦-٣-١ مقدمة:

إن إمكانية تغيير حدود السرعة استجابة لتغيرات مخاطر سلامة الطرق أداة قيمة يمكنها المساعدة على إدارة المخاطر فضلًا عن المساهمة في جعل السرعات آمنة على شبكة الطرق.

كما أن لافتات حد السرعة المتغير عبارة عن لافتات حدود سرعة (إما كهربائية أو ميكانيكية) يمكن تشغيلها؛ لتغيير الحد الأقصى للسرعة في أوقات مختلفة من اليوم حال ارتفاع مخاطر السلامة على الطريق، أو استجابةً لظروف الطريق، أو للأحوال المرورية، أو الجوية المختلفة. ويمكن أن تكون:

- مستخدمة على الطرق التي تشهد نشاطًا كثيفًا للمشاة في أوقات معينة، واحتمال حدوث تعارض حركة المشاة مع حركة المركبات بشكل بالغ (كما في مناطق محيط المدارس).
- مستخدمة على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة؛ لتحسين السلامة والسعة خلال أوقات زيادة المرور.
- مستخدمة في مواقع أخرى يمكن أن يؤدي ضبط حدود السرعة فيها إلى تحسين مستوى السلامة (كما في المناطق القريبة من حادث أو في أثناء الظروف الجوية السيئة أو عند التقاطعات الريفية المعزولة؛ لتخفيض حدود السرعة على الطرق الرئيسة عند وجود تراكم مروري على دخول الطريق الرئيس من تقاطع جانبي).

يمكن استخدام أنظمة حد السرعة المتغير وحدها، أو بجانب نظام إدارة استخدام المسار. كما يمكن استخدام أنظمة حد السرعة المتغير لمجموعة من الأغراض، منها:

- إدارة الطرق السريعة من أجل:
  - تقليل الحوادث.
  - الإدارة العامة للسرعة في أثناء الأحداث المخطط لها، كأعمال طرق أو فعاليات خاصة.
  - الحد من أعطال تدفق المرور
  - زيادة كفاءة الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة.
- على الطرق التي تشهد نشاطًا كثيفًا للمشاة مع احتمالية حدوث تعارض حركة المشاة مع حركة المركبات بشكل بالغ.
- على الطرق الشريانية الخاضعة لإدارة المسارات القابلة للانعكاس (نظام إدارة المسار)؛ من أجل استيعاب التشغيل العادي وعملية إدارة المسار على حدٍ سواء بأمان.
- الأنفاق والجسور.
- في محيط المدارس.

هـ-٦-٣-٢ أوضاع التشغيل:

يمكن استخدام طرق مختلفة لتشغيل لافتات حد السرعة المتغير (الجدول هـ -٣٠)

الجدول (هـ–٣٠) طرق تشغيل لافتات حد السرعة المتغير (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.2).

الأسلوب	الوصف
الوقت من اليوم	يحدد هذا النهج حدود سرعة مختلفة في أوقات مختلفة من اليوم وفقًا لجدول سرعة محدد مسبقًا. وتشغل مناطق سرعة محيط المدارس غالبًا وفقًا لنهج الوقت من اليوم. ينبغي تشغيل الجدول الزمني المحدد مسبقًا وتحديثه بناءً على جداول الباب الدراسي بالمدارس. ويمكن أن يستخدم نظام حد السرعة المتغير برنامجًا لتغيير حد السرعة آليًا حسب الوقت من اليوم بناءً على بيانات المرور التاريخية. وهذه الطريقة ستكون أشد فاعلية عند وجود شكل جانبي لحركة مرور ثابت ومحدد جيدًا لا يتغير كثيرًا من أسبوع لآخر. ويمكن أن يوفر الوقت من اليوم أيضًا نسخة احتياطية أكثر تعقيدًا من خوارزمية حد السرعة المتغير في حالة تعطل المعدات أو انقطاع الاتصال.
حدود السرعة الديناميكية	يجمع هذا النهج بيانات المرور، وبيانات اكتشاف الحوادث، وبيانات الطقس وغيرها من المعلومات ذات الصلة في الوقت الحقيقي، ويضع حدود السرعة الديناميكية بناءً على ظروف المرور والقواعد المنطقية (الخوارزميات). وتعمل حد السرعة المتغير لإدارة الحوادث باستخدام هذا النهج غالبًا.
التدخل اليدوي	تعد إمكانية تجاوز الخوارزميات ميزة مهمة كذلك في خوارزمية حد السرعة المتغير فهي تتيح للمشغلين التكيف مع أخطاء الحوادث والصيانة والانسجام المرتبطة بالخوارزميات يدويًا.
التحكم اليدوي	يستطيع المشغلون أو الموظفون الميدانيون كذلك التحكم في أنظمة حد السرعة المتغير يدويًا بنسبة ١٠٠٪. وينبغي أن يكون التفويض بإجراء تغييرات على العلامة مطلوبًا وكذلك الاحتفاظ بسجل تفويض لجميع التغييرات. وينبغي تسجيل جميع تغييرات حدود السرعة. وينبغي الاحتفاظ بهذا السجل (الدفتر) لأغراض الإثبات؛ ولاسيما لأجل الإنفاذ والإدارة الآمنة للحوادث والازدحام المروري وإدارة الأحداث المتعلقة بالطقس. كما يمكن الاحتفاظ بهذا السجل لتقييم النظام والبحث المستقبلي بمعرفة خبراء المرور.

هـ-٦-٣-٣ التنفيذ في مناطق محيط المدارس:

يمكن استخدام لافتات حد السرعة المتغير في مناطق سرعة محيط المدارس بصورة شائعة، خاصة على الطرق الشريانية. في الوقت الحالي، ينبغي أن تتجه الممارسة العامة نحو تخفيض حد السرعة إلى ٣٠-٤٠ كم/ساعة حسب نوع الطريق خلال الساعات المحددة (عند زيادة النشاط) في أيام الدراسة فقط. عند تطبيق حد السرعة المخفض، ينبغي أن تكون الممارسة المعيارية هي وميض المدور للإشارة إلى حدوث تغير عن الظروف العادية.

هـ-٦-٣-٤ الإنفاذ:

نظرًا للطبيعة المتغيرة لحد السرعة المعروض ولأغراض الإنفاذ، ينبغي أن يوفر نظام التحكم دائمًا سجلًا دقيقًا للشاشة.

أما في بعض الأنظمة؛ فيمكن أن تقترن شاشة حد السرعة المتغير بنظام إنفاذ آلي (يتضمن كاميرات فيديو أو ثابتة، وتسجيل أرقام لوحات الترخيص) يكتشف تجاوز سائقي المركبات حد السرعة المحدد بعتبة محددة مسبقًا.

هـ-٦-٣-٥ الاعتبارات الأخرى:

يمكن أن يواجه السائقون عددًا كبيرًا جدًا من مناطق السرعة المختلفة ضمن مسافة قصيرة أو واجهوا تغييرات كثيرة جدًا في حدود السرعة داخل منطقة حد السرعة المتغير تصبح القيادة مربكةً وغير آمنةً؛ ولهذا السبب ينبغي أن تكون تغييرات السرعة "سلسة" للتخفيف من إجهاد القيادة. ويمكن تضمين المبادئ الآتية في الخوارزميات التي تدير تشغيل حد السرعة المتغير:

- ينبغي عدم تغيير أي لافتة بشكلٍ متكررٍ؛ حتى لا يتعرض السائق لرؤية أكثر من تغيير في حد السرعة في موقع واحد، إلا في حالات الطوارئ (كما في الطقس القاسي أو الحوادث المرورية).
- ينبغي توفير مخفف حدود سرعة عند وجود تخفيض كلي في حدود السرعة بما لا يقل عن ٣٠ كم/ساعة.
- في حالات الطوارئ، يمكن ضبط مجموعة لافتات حد السرعة المتغير عند منبع موقع الحادث مباشرةً على حد السرعة الأكثر أمانًا. يمكن تخفيض مجموعات لافتات حد السرعة المتغير عند منبع مجموعة اللافتات الأولى تدريجيًا إلى هذه القيمة بزيادات

تتراوح بين ١٠ و٣٠ كم/ساعة كلافتات سرعة مخففة. يمكن إعادة مجموعات لافتات حد السرعة المتغير في اتجاه المصب بعد الحادث مباشرةً إلى الحد الأقصى الطبيعي للسرعة.

ينبغي أخذ تعطل اللافتة في الحسبان بالنسبة للافتات حد السرعة المتغير بما يشمل ما يلي:

- عند وجود لافتة فارغة في مصفوفة، ينبغي تطبيق السرعة المبينة في اللافتة/اللافتات المجاورة، وعند وجود جسر كامل أو مجموعة لافتات مثبتة على عمود فارغ، ينبغي تطبيق آخر لافتة حدود سرعة منطبقة على هذه المسافة من الطريق.
- ينبغي إخطار السائقين بالتغييرات التي تجري على الحد الأقصى للسرعة في حالة تعطل اللافتة الإلكترونية.
- ينبغي أن تعرض إشارات حد السرعة المتغير عند النقطة نفسها على طرق النقل، مثل المنحدرات، نفس حدود السرعة دائمًا.
- ينبغي مراقبة أداء لافتات حد السرعة المتغير من منظور التشغيل والصيانة. وتمثل المراقبة في الوقت الحقيقي أفضل الممارسات؛ بيد أنه من المسلم به أن هذا ليس مناسبًا دائمًا، لا سيما للنظم الريفية.
- تتضمن أفضل الممارسات في تصميم نظام حد السرعة المتغير إدارة المخاطر لمعالجة قضايا محددة مرتبطة بتطبيق حدود سرعة متغيرة (كما في حالة زيادة موثوقية حد السرعة المتغير الحرجة).

هـ-٦-٤ أنظمة النقل الذكية التعاونية:

تعمل أنظمة النقل الذكية التعاونية على تسهيل الاتصال اللاسلكي بين المركبات والبنية التحتية الموجودة على جانب الطريق. كما تتيح أنظمة النقل الذكية التعاونية إجراء تحديثات في الوقت الحقيقي عن بيئة الطريق فإذا اكتشفت مركبة خطرًا أو حادثًا يمكنها تبليغ المركبات الأخرى في المنطقة به، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة وقت التوعية عما يستطيع السائق تصوره. بالمثل، يمكن الإبلاغ عن الأخطار من مراكز إدارة المرور وإليه. كما يمكن أن تساعد أنظمة النقل الذكية التعاونية في الحد من الانبعاثات وزيادة الكفاءة من خلال الإبلاغ بتسلسل الإشارات بين المركبات وإشارات المرور، والمساعدة على إعطاء أولوية لبعض المركبات مثل الحافلات أو الشاحنات.

تعرف أنظمة النقل الذكية التعاونية بأنها اتصال بين الكيانات الآتية:

- اتصال المركبة بالمركبة.
- اتصال المركبة بالبنية التحتية.
- اتصال البنية التحتية بالمركبة.

تتيح أنظمة النقل الذكية التعاونية أيضًا إمكانية التواصل بين المشاة وراكبي الدراجات ومراكز إدارة المرور والمركبات مثل الترام والحافلات والقطارات والدراجات النارية. يشمل الاتصال بين المركبات (اتصال المركبة بالمركبة) وبين المركبات والبنية التحتية (اتصال المركبة بالبنية التحتية) في بيئة أنظمة النقل الذكية التعاونية الاتصالات من نظير إلى نظير (على سبيل المثال: اتصالات قصيرة المدى مخصصة بتردد ٥,٩ جيجاهرتز)، واتصالات واسعة النطاق مثل الاتصالات الخلوية من خلال استخدام خدمات مزود خدمات الاتصالات.

تعمل أنظمة النقل الذكية التعاونية من خلال ربط مستخدمي الطرق ببيئة الطريق على زيادة الوقت، والأفق المكاني الممنوح للمركبات والسائقين عما يمكن للسائق رؤيته بشكل طبيعي. تتيح زيادة الوقت والأفق المكاني نقل معلومات التهديدات، والمخاطر، وظروف الطريق إلى السائق في وقت أسرع مما يمكن للسائق إدراكه بشكل طبيعي، وهو ما يمكن أنظمة مساعدة السائق المتقدمة من تنفيذ أنظمة الاستجابة (اعتمادًا على طبيعة الإجراءات التي صممت أنظمة مساعدة السائق المتقدمة للقيام بها)، وإتاحة مزيد من الوقت أمام السائق لاتخاذ الإجراءات العلاجية المناسبة.

لذلك، يمكن أن يؤدي تطوير تطبيقات أنظمة النقل الذكية التعاونية ونشرها بشكل منظم إلى تحقيق التدابير الآتية.

- الحد من عدد الوفيات والإصابات من خلال تطبيق أنظمة سلامة الطرق النشطة، مثل تجنب الاصطدام وتحسين أوقات الاستجابة للحوادث (مسارات خالية لمركبات الطوارئ).
- الحد من التكاليف المرتبطة بحوادث الطرق؛ نظرًا لقدرة أنظمة النقل الذكية التعاونية على الحد من الحوادث بشكل كبير.
- الحد من أوقات التأخير، وتكاليف تشغيل المركبات الناتجة عن حدوث الازدحام.
- تحسين إنتاجية استخدام البنية التحتية، ومن ثم خفض التكاليف المرتبطة بتوفير البنية التحتية، وإدارتها، وزيادة كفاءة نظام النقل.
- الحد من الآثار السلبية لوسائل النقل على البيئة.

يقدم القسم الفرعي (هـ-٦-٤-١) معلومات عن أنظمة النقل الذكية التعاونية المتعلقة بالعناصر المختلفة لأنظمة النقل الذكية التعاونية ووسائط الاتصال والتطبيقات المحتملة.

ه-٦-٤-١ أنظمة النقل الذكية التعاونية:

ه-٦-٤-١-١ عناصر أنظمة النقل الذكية التعاونية:

تتضمن عناصر أنظمة النقل الذكية التعاونية لافتات حدود السرعة الإلكترونية، أو لافتات حد السرعة المتغير، والأجهزة الميدانية، وجمع بيانات المتنقلين، وإشارات المرور، وأنظمة معلومات المتنقل (AUSTROADS, 2014b).

لافتات حد السرعة المتغير:

يمكن استخدام أنظمة النقل الذكية التعاونية؛ لتوفير معلومات استشارية وتنظيمية عن حدود السرعة للمركبات بغرض اتخاذ إجراء من قبل السائق، أو لاتخاذ إجراء من قبل السيارة من خلال بعض الوسائل مثل محددات السرعة. ويهدف الإبلاغ عن حدود سرعة المركبات إلى تحسين الامتثال للسرعة والوعي.

وتتمتع لافتات حدود السرعة بمستويات متفاوتة من الديناميكيات. يمكن ضبط حد السرعة بناءً على الوقت من اليوم والأسبوع، كما في مناطق محيط المدارس، كما يمكن تعديل النماذج الأكثر ديناميكية وفقًا لظروف الطقس والمرور. يمكن أن تشمل تطبيقات لافتات حد السرعة الإلكترونية ما يأتي:

- إدارة الحوادث.
- إدارة صفوف الانتظار.
- التحكم في السرعة المرتبطة بأوجه القصور الهندسية.
- التحكم في السرعة المرتبطة بالظروف الجوية القاسية.
- أعمال الطرق (الصحة والسلامة المهنية).
- المسارات متغيرة الاتجاه.
- مناطق سرعة محيط المدارس.
- مناطق التسوق.
- الأنفاق والجسور.

تتطلب لافتات حد السرعة الديناميكية الأعلى مستوى أنظمة دعم وهندسة أكثر تقدمًا لتبليغ المركبات بالبيانات كما يلي:

- يمكن إدخال حدود السرعة المؤقتة في قاعدة بيانات وتنزيلها بواسطة المركبة، وتحديثها دوريًا حسب الحاجة.
- تتطلب حدود السرعة الديناميكية لافتة بيانات وجهاز استقبال داخل المركبة؛ للتبليغ بوقت وموقع حد السرعة المتنوع وفقًا لظروف الطقس والمرور الحالية.

جمع بيانات المتنقلين:

توفر بيانات المرور، مثل عدد المركبات من أنظمة التحكم المروري، وبيانات زمن الانتقال الواردة من المركبات وبيانات إشغال المسارات، لجهات الطرق نظرة ثاقبة على ظروف المرور في الشبة. يمكن للبيانات المجمعة من المركبات المجهزة بأنظمة النقل الذكية التعاونية أن تثري مجموعة بيانات المرور المتاحة لدى جهات الطرق.

ويمكن تسجيل بيانات زمن الانتقال المجمعة من المركبات المجهزة بأنظمة النقل الذكية التعاونية تاريخيًا؛ للمساعدة على تقييم أداء الشبكة والتخطيط المستقبلي. ويمكن كذلك استخدام بيانات زمن الانتقال في الوقت الحقيقي؛ لرصد الأخطار البيئية، مثل سوء الأحوال الجوية، والإبلاغ عنها أو التحذير من الحوادث الكبرى التي تخلق ازدحامًا غير عادي على الطرق.

إشارات المرور:

يمكن أن يؤدي دمج إشارات المرور في أنظمة النقل الذكية التعاونية إلى تحسين سلامة التقاطعات وكفاءة استهلاك الوقود وتسهيل أولويات المرور لمستخدمي طرق محددين مثل الحافلات. يمكن تنفيذ عدد من التطبيقات من خلال تبليغ بيانات أطوار الإشارة وتوقيتها إلى المركبات، مثل (AUSTROADS, 2014b):

- أمان التقاطعات (حيث تُبلَّغ المركبة بأطوار الإشارة من أجل المساعدة على منع تشغيل الضوء الأحمر).
- الموجة الخضراء.
- التحكم في تقاطع كفاءة الطاقة.
- استشارة السرعة المثلى لإشارة المرور.

توجد بعض التطبيقات، مثل نظام أولوية النقل العام، الذي يراقب تقدم المركبة التي لها أولوية على طول شبكة الطرق وتوفر مدخلات للتحكم في إشارة المرور.

أنظمة معلومات المتنقلين:

يمكن استخدام أنظمة النقل الذكية التعاونية؛ لتوفير المعلومات للسائقين لمساعدتهم في مهمة القيادة. كما هو الحال مع حد السرعة المتغير. توجد إمكانية لتقديم معلومات المتنقل للمركبات المجهزة بأنظمة النقل الذكية التعاونية من خلال الاتصالات الخلوية وبث الراديو والاتصالات المخصصة قصيرة المدى.

هـ-٦-٤-١-٢ وسائل اتصال أنظمة النقل الذكية التعاونية:

يمكن لمنصة أنظمة النقل الذكية التعاونية استخدام وسائط اتصال مختلفة اعتمادًا على تطبيق أنظمة النقل الذكية التعاونية المقرر تقديمها. فعلى سبيل المثال: تتطلب تطبيقات السلامة من مركبة إلى مركبة و/أو من مركبة إلى بنية تحتية مهلة انتقال منخفضة، ووسائل اتصال مجانية وموثوقة للغاية. وستكون وسائل الاتصال الأساسية لهذه التطبيقات هي الاتصالات المخصصة قصيرة المدى عبر نطاق الراديو ٥,٩ جيجاهرتز. ولهذا النطاق أهمية بالغة في تحقيق أهداف أنظمة النقل الذكية التعاونية. ومن المعروف أن أنظمة النقل الذكية التعاونية ستحتاج إلى معالجة التفاعل والربط البيني بين تردد ٥,٩ جيجاهرتز وغيرها من وسائط الاتصال سريعة التطور مثل: الشبكات الخلوية وشبكات الموجات الدقيقة وشبكات الألياف الخاصة.

هـ-٦-٤-١-٣ تطبيقات أنظمة النقل الذكية التعاونية:

السلامة:

تستطيع المركبة إدراك محيطها إدراكًا شاملًا من خلال تبليغ المعلومات بين المركبات عبر أنظمة النقل الذكية التعاونية في بيئة مشتركة، بما يتجاوز ما يوفره استخدام الرادار والمستشعرات. تستطيع المركبة من خلال هذا الوعي إبلاغ مشغلها بالمخاطر والمواقف التي يمكن ألا يدري السائق عنها شيئًا.

الإنتاجية والكفاءة:

تتمتع أنظمة النقل الذكية التعاونية بإمكانية الحصول على معلومات قيمة عن تدفق المرور من آلاف المركبات المجهزة في أي وقت. ويمكن أن تساعد هذه المعلومات مديري النقل في مراقبة المعلومات المقدمة والاستجابة لها، وذلك لتحسين إدارة أداء نظام النقل من خلال ضبط إشارات المرور ومنحدرات الطرق السريعة، وإرسال خدمات الطوارئ، وتزويد المركبة بمعلومات المتنقلين في الوقت الحقيقي؛ لإعادة توجيه المرور حول المواقع المزدحمة أو مواقع الحوادث.

البيئة:

سيوفر استخدام المركبات المجهزة كمسابير معلومات حصرية عن حالة الطريق؛ لدعم تحذيرات الأحوال الجوية، وإدارة الأصول، وتخطيط تصليح الطرق مثل: إرسال أطقم الصيانة لأعمال الطوارئ.

تتمتع أنظمة النقل الذكية التعاونية؛ نظرًا لتوفيرها تطبيقات الإنتاجية والكفاءة، بإمكانية الحد من الانبعاثات عبر تمكين مستخدمي الطرق من اتخاذ قرارات أكثر استنارة بشأن عادات القيادة والتي يمكنها الحد من التأثير البيئي لرحلاتهم.

هـ-٦-٥ وسائل الانتقال ومعلومات المستخدم على الطريق:

يقدم هذا الجزء الفرعي التوجيه بشأن أنظمة معلومات المتنقلين. ويولي اهتماما خاصًا بالأنظمة الموجهة لتوفير المعلومات لمستخدمي الطرق كجزء من وظائف التشغيل المروري لجهات الطرق.

هـ-٦-٥-١ معلومات مستخدمي الطرق:

يتمثل الغرض من توفير معلومات مستخدمي الطرق في التأثير على السلوك بطريقة أو أكثر من الطرق الآتية، بهدف استخدام شبكة الطرق بصورة أكثر كفاءة:

اختيار وضع النقل.

اختيار الطريق.

اختيار زمن الانتقال.

سلوك القيادة.

يلخص الجدول (هـ-٣١) الأساس المنطقي لكل نقطة من هذه النقاط، وأنواع الرسائل الموصى بها.

الجدول (هـ–٣١) سلوكيات مستخدمي الطرق المؤثرة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.3).

السلوك	الأساس المنطقي	الرسائل
اختيار وضع النقل.	تحفيز مستخدمي الطرق على تغيير وسيلة النقل إلى وسيلة أكثر استدامة (مثل: الحافلات والترام والدراجات الهوائية والمركبات كبيرة السعة). إسداء النصح بشأن فوائد التحويل إلى هذه الوسيلة. ويمكن أن تكون النصائح محددة بخصوص طرق معينة أو يمكن أن تتعلق باختيار وسائل النقل المستدامة عمومًا.	زمن الانتقال القياسي للمركبة ووسائل النقل العام (في حالة ملائمة وسائل النقل العام). زمن الانتقال المطلق لوسائل النقل العام فقط (لمسارات النقل العام ذات الأولوية). معلومات النقل العام، مثل مواعيد خدمة الحافلات أو الترام أو القطارات، أو الحافلة أو الترام أو القطار المتاح بعد ذلك. اتجاهات الاصطفاف والركوب مع زمن الانتقال أو بدونه. زمن الانتقال القياسي للاصطفاف والركوب. توافر مساحة مخصصة للركن. المعلومات القياسية لانبعاثات الغازات الدفيئة للمركبات والنقل العام.
اختيار الطريق.	الحد من الازدحام عن طريق تحفيز مستخدمي الطرق على اختيار المسارات المنظمة؛ لمساعدة وسيلة النقل الخاصة بهم. مساعدة وسائل النقل العام العاملة على الطرق من خلال تحفيز المرور العامة على استخدام طرق غير الطرق ذات الأولوية للنقل العام. إبلاغ مستخدمي الطرق بالطرق البديلة عند وقوع حوادث أو تأخيرات غير عادية على الطرق للحد من التأثيرات على تشغيل شبكة الطرق.	معلومات بخصوص وقوع حوادث أو تأخيرات على الطريق والطرق البديلة. زمن الانتقال على طول الطريق. زمن الانتقال المستقبلية المتوقعة على طول الطريق. طرق بديلة عند وقوع حوادث. زمن الانتقال على طرق بديلة.
اختيار زمن الانتقال.	يمكن أن ينجم عن الوقت الذي يختاره مستخدمو الطرق للتنقل مدد رحلات مختلفة للغاية. الحد من الازدحام عن طريق نشر أوقات ذروة طلب المستخدمين على الطرق.	معلومات بخصوص وقوع حوادث أو تأخيرات على الطرق. زمن الانتقال على طول الطريق. زمن الانتقال المستقبلية المتوقعة على طول الطريق. مقارنات لأوقات التنقل حسب الوقت من اليوم.
سلوك القيادة.	يمكن أن تؤثر سلوكيات السائق الفردية على كفاءة تشغيل الطرق. يمكن أن تؤثر قرارات السائق المتعلقة باختيار مسار مرورية، وتكرار تغيير المسار، ودمجها، وسرعة التنقل على سعة الطريق بشكلٍ كبير.	توافر المسار أمام مستخدم الطريق (بسبب وقوع الحوادث وأعمال الطرق والازدحام). سرعة التنقل المستحسنة أو المثلى. رسائل عامة عن تغيير المسار والتحذير المسبق لاستخدام المسار الصحيحة، على سبيل المثال: عند تغيير المسار أو دمجها.

فيما يتعلق باختيار الطرق، ينبغي الإشارة إلى أن تحويل نسبة بسيطة فقط من المرور من طريق مزدحم يمكن أن يؤدي إلى تحسن إجمالي زمن الانتقال بشكل كبير.

هـ-٦-٥-٢ قنوات تقديم المعلومات:

يحتاج مستخدمو الطريق معلومات في عدد من نوافذ الزمكان أو نقاط القرار القابلة للتحديد. بالنسبة إلى المتنقلين المنتظمين. يمكن أن يحتاجون هذه المعلومات قبل مغادرة المنزل أو مكان العمل؛ لمعرفة أن ظروف المرور ليست غير طبيعية. بالنسبة إلى المتنقلين غير المألوفين، ربما يحتاجون هذه المعلومات عن الطرق المفضلة، والمرور، وأعمال الطرق القائمة وغيرها من المعلومات لتخطيط الرحلة. يمكن وصف هذه المعلومات بأنها معلومات (ثابتة). عندما تتغير الظروف، نتيجة لوقوع حوادث أو أحداث غير مخطط لها أو ازدحام غير معتاد، يلزم عندئذٍ توفر درجة متفاوتة من المعلومات الديناميكية والتعليمية والتنبؤية لمستخدمي الطرق المألوفين وغير المألوفين.

يلزم وجود مجموعة من قنوات التقديم المختلفة؛ لتقديم معلومات تلبي مجموعة الاحتياجات الموضحة أعلاه. يعرض الجدول (هـ -٣٢) القنوات المتاحة لبث المعلومات لمستخدمي الطرق. يتوفر مزيد من المعلومات عن هذه الأنظمة في القسم الفرعي (هـ -٦-٥-٣).

الجدول (هـ–٣٢) قنوات تقديم المعلومات (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 7.4).

المعلومات	النظام	البث المرئي	البث الصوتي
قبل الرحلة.	جهاز حاسب.	الإنترنت. لوحة إعلانات إلكترونية. نص فيديو، كشك، بريد إلكتروني.	بث عبر الإنترنت.
	هاتف.	هاتف مزود بالإنترنت (الهواتف المزودة بالخدمة الراديوية الحزمية العامة وتقنية 3G/4G).	الخدمة الهاتفية الاستشارية للمسافرين. جهاز النداء. الهاتف المحمول (مركز الاتصال والصوت والرسائل القصيرة).
	التلفاز والراديو.	مجانًا على الهواء، قناة المعلومات. كابل تفاعلي.	بث إذاعي.
على الطرق.	أنظمة داخل المركبة.	ملاحة داخل المركبة. نظام بيانات الراديو – قناة الرسائل المرورية.	بث إذاعي. هاتف محمول دون الحاجة إلى استخدام اليدين. أنظمة الإعلان الآلي (النقل العام).
	أنظمة المعلومات على جانب الطريق.	الأكشاك. لافتات طرق ثابتة. لافتات زمن الانتقال. لافتات الرسائل المتغيرة.	-
	الأنظمة الشخصية.	المساعدون الرقميون الشخصيون. أجهزة النداء، الهواتف المحمولة (الرسائل القصيرة، الخدمة الراديوية الحزمية العامة).	الهاتف المحمول.

ه-٦-٥-٣ معلومات ما قبل الرحلة وفي الطريق:

ه-٦-٥-٣-١ معلومات ما قبل الرحلة:

الإنترنت:

يمكن أن توفر معلومات ما قبل الرحلة على مواقع جهات الطرق معلومات للمسافرين لمساعدتهم في اختيار وسيلة التنقل، واختيار الطريق، ووقت المغادرة، بل حتى الرغبة في إجراء الرحلة من عدمها. ويمكن أن تشمل المعلومات المقدمة ما يأتي:

- حوادث المرور.
- أعمال الطرق.
- مستويات الازدحام بترميز لوني.
- زمن الرحلات.
- ترتيبات المرور للفعاليات الخاصة.
- صور كاميرا الويب الحية.

هاتف:

يمكن أن يتوفر تقديم معلومات المرور قبل الرحلة لمستخدمي الطرق من خلال الهاتف عبر عدة قنوات (على سبيل المثال: خدمات الاتصال الهاتفي لظروف الطريق، وحوادث المرور ومعلومات المناسبات الخاصة أو خطوط الإبلاغ عن حوادث المرور التي تديرها سلطات عديدة، وربط مستخدمي الطرق مباشرة بالمشغلين في مركز إدارة المرور؛ بغرض الإبلاغ عن ظروف وحوادث المرور غير الطبيعية).

يمكن أيضًا الوصول إلى خدمات الإنترنت المذكورة أعلاه عبر الهواتف المحمولة التي تدعم الإنترنت. ويمكن إتاحة تطبيقات الهاتف المحمول التجارية في المدن؛ لتسهيل الحصول على معلومات المتنقلين. ويمكن أن تقدم خدمات الاشتراك أيضًا رسائل نصية قصيرة تنبه مستخدمي الطرق إلى وجود أعمال طرق وحوادث حالية بناءً على الملفات الشخصية لتعريف المستخدم والطريق، فعلى سبيل المثال: يمكن إرسال التنبيهات الحالية في وقت محدد من اليوم لطريق محدد. كما يمكن توفير هذه المعلومات عن طريق البريد الإلكتروني.

بث إذاعي:

تتضمن معلومات المرور التي تُبث عبر الراديو -عادةً- أعمال الطرق وتقارير الحوادث والازدحام غير المعتاد. يمكن الإعلان عن المعلومات إما بشكل مباشر بواسطة مذيع محطة الراديو، أو عن طريق مزود معلومات مرورية متخصص (يحصل على المعلومات غالبًا من جهة الطرق ولكن بمقدوره استكمالها بمعلومات من مصادر أخرى).

التلفاز:

تقتصر معلومات المرور المذاعة على التلفاز المجاني على مقاطع قصيرة عادةً تذاع في الصباح الباكر. وتصمم هذه المعلومات على أطر زمنية قصيرة جدًا، وعادةً ما تكون مدتها أقل من دقيقة، وتركز على طريق أو طريقين و/أو حوادث كبرى. يمكن أن يكون التلفاز الرقمي لقناة مرور مخصصة خيارًا.

ه-٦-٥-٣-٢ معلومات الطريق:

لافتات الرسائل المتغيرة:

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة على نطاق واسع؛ لتزويد مستخدمي الطرق بمعلومات عن ظروف الطريق والمرور. وتصدر رسائل لافتات الرسائل المتغيرة إلكترونيًا ويمكن تغييرها لعرض معلومات، أو أشكال، أو رموز محددة مسبقًا أو نصية مجانية. ويمكنها عرض مجموعة كبيرة من الرسائل الفردية بغرض توجيه مستخدمي الطرق أو تحذيرهم أو إرشادهم. ويمكن العثور على مزيد من المعلومات المفصلة بشأن لافتات الرسائل المتغيرة والتقنيات الأساسية الخاصة بها في جزء اللافتات الإلكترونية.

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة بوصفها لافتات فردية لمعالجة مشكلة معينة، أو كجزء من نظام لإدارة المرور على طول طريق أو داخل منطقة. كما يمكن تخصيص الاستخدام المنهجي الشائع لإدارة المرور في أثناء الحوادث على الطرق السريعة الحضرية كبيرة الحجم، أو على شبكة الطرق الشريانية. وينبغي تحديد الحاجة إلى لافتات الرسائل المتغيرة نموذجيًا بناءً على حاجة كل حالة على حدة لمعلومات السائق على الطرق. وينبغي أن يتأثر هذا بعوامل مثل:

- توفر الطرق البديلة وإمكانية استخدامها وفهم السائق لها.
- تأثيرات الازدحام على الطرق.
- خصائص المرور على الطرق.

- يلزم تقديم معلومات محددة عن السائق (مثل: زمن الانتقال)، أو دعم أدوات الإدارة الأخرى (مثل: تحديد سبب تخفيض حد السرعة المتغير).

يمكن أن يكون نظام لافتات الرسائل المتغيرة لافتة دائمة أو لافتة مؤقتة مثبتة على مقطورة أو مركبة لتلبية حاجة قصيرة المدى.

بغض النظر عن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة، ينبغي معالجة نفس مشكلات وضوح اللافتة وظهورها وفهمها كما هو الحال بالنسبة إلى الافتات الثابتة، والتي تزيد من خلال قدرة لافتات الرسائل المتغيرة على نشر الرسائل عبر أكثر من شاشة أو إطار.

يمكن تشغيل لافتات الرسائل المتغيرة بطريقة يدوية أو شبه آلية أو آلية بالكامل.

يعتمد التشغيل اليدوي أساسًا على مجموعة معدة مسبقًا من الرسائل العامة؛ كما يمكن استخدام النص الحر كذلك.

تعمل معظم الأنظمة الحالية بطريقة يدوية، حيث يتلقى المشغل المساعدة عبر مخرجات الحاسب مثل: زمن الانتقال على الطرق المتناظرة، أو ببساطة عن طريق البيانات الأخرى الواردة من الميدان (مثل صور الفيديو)، أو من خلال استراتيجيات محددة مسبقًا مصممة دون اتصال لعدد معين من الحالات. لا تستطيع هذه الأنظمة عمومًا التعامل مع المواقف المعقدة مثل: حوادث شبكة الطرق السريعة أو حالات الحوادث المتعددة، وغالبًا ما تعجز عن تقديم استراتيجية محدثة، بمجرد تنفيذ أول استراتيجية. كما أنها عمومًا لا تتضمن التنبؤات (الخاصة بالطلب وتأثير الاستراتيجية الحالية)؛ لذلك تعجز عن إنتاج استراتيجية (مثالية)، بل يمكنها إنتاج مواقف أسوأ من استراتيجية (عدم فعل شيء)؛ نظرًا إلى مخاطرة التسبب في التحويل المفرط.

يمكن للتشغيل شبه الآلي استخدام أجهزة كشف إشغال المسارات أو كاميرات كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية التي ترتبط بأجهزة الإنذار؛ للتحذير من وقوع حادث والتوصية برسائل محددة ينفذها مشغل مركز إدارة المرور.

تتطلب الأنظمة المؤتمتة بالكامل تكامل أنظمة استشعار الحوادث مع تحديد الرسائل ونشرها من أجل إدارة الحوادث، والازدحام، وتأثير الظروف الجوية السيئة. أما بالنسبة إلى الشبكات الكبيرة؛ فيمكن أن تستغرق وقتًا طويلًا لتطويرها وصيانتها عبر جميع مواقع الحوادث المحتملة؛ بحيث تغطي جميع حالات الطوارئ.

لكن من وجهة نظر تشغيلية، ونظرًا إلى أن نظام لافتات الرسائل المتغيرة يمكن استخدامه لأغراض مختلفة، فلابد من تحديد أولويات استخدامها. وفيما يأتي ترتيب تنازلي مقترح للأولوية بناءً على تقديرات سلامة الطرق وتدفق حركة السير:

- الحوادث.
- الازدحام المروري.
- أعمال الطرق.
- الظروف الجوية.
- توجيه مواقف المركبات.
- أحداث خاصة.
- رسائل السلامة على الطريق.
- رسائل المنافع المجتمعية.
- رسائل النقل العام.

يمكن اعتبار التطبيقات الثلاثة الأخيرة رسائل تكميلية أو إضافية، لا يمكن عرضها إلا إذا اعتبرها الاختصاص القضائي ذي الصلة مفيدة ومناسبة. يمكن أن تندرج المناسبات الخاصة ضمن هذه الفئة أو ربما تشكل حادثة هي ذاتها. ينبغي تجنب استخدام تركيبات لافتات الرسائل المتغيرة الخاصة بهيئة الطرق؛ لنشر الإعلانات التجارية تحت أي ظرف. ولا بد من عرض رسالة الأولوية القصوى. وهذا يتطلب مراقبة مستمرة للظروف والحوادث. إذا كانت رسالة أولوية عالية مناسبة، فإنها ستؤدي إلى التشكيك في لافتات الرسائل المتغيرة إذا عُرضت رسالة ذات أولوية منخفضة. وفي هذه الظروف يفضل عدم عرض أي رسالة.

تتمثل الميزة الرئيسة للافتات الرسائل المتغيرة في أنه يمكن نقل المعلومات إلى السائقين على الطرق؛ كي يتمكنوا من اتخاذ قرارات أكثر استنارة بشأن المسار الذي يختارونه، ومن ثم اختصار زمن الانتقال. كما يمكن استخدام نظام لافتات الرسائل المتغيرة لتسليط الضوء على الظروف الخطرة وهو ما يمكنه المساعدة على الحد من الحوادث. يتمتع نظام لافتات الرسائل المتغيرة بدرجات متفاوتة من الفعالية في تحويل المرور عن مسارات الحوادث وهو ما قد ينجم عنه درجات متفاوتة من وفورات زمن الانتقال بسبب تلك الحوادث.

يمكن أن يتمتع نظام لافتات الرسائل المتغيرة الآلي بوقت استجابة سريع، من وقت اكتشاف وقوع الحادث إلى رسالة تنقل الحالة إلى عموم السائقين. يمكن أن يؤدي هذا إلى تخفيف الازدحام عن طريق نقل المعلومات إلى السائقين ومنحهم فرصة تغيير المسار. يحتاج نظام لافتات الرسائل المتغيرة الآلي بالكامل أيضًا إلى حد أدنى من التفاعل البشري قبل تحرير الرسالة.

من العيوب المحتملة لاستعمال لافتات الرسائل المتغيرة أنها يمكن أن تؤدي إلى معدل تحويل أعلى مما يمكن لشبكة الطرق المحيطة التعامل معه، الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى ازدحام شبكة الطرق المحيطة (Chatterjee, et al., 2000). ينبغي النظر بعناية في استخدام لافتات الرسائل المتغيرة في ضوء التأثير المحتمل لتحويل المرور إلى شبكة يُحتمل أن تكون أقل

سعة. أدرك مديرو التشغيل المروري متأخرًا، اعتمادًا على شدة الحادث والوقت المستغرق لإخلاء الموقع، أنه كان من الأفضل في كثير من الأحيان عدم تحويل المسار. (٢٠٠٥)

لافتات زمن الانتقال:

تعد علامة زمن الانتقال نوعًا معينًا من لافتات الرسائل المتغيرة التي توفر تقديرات زمن الانتقال مباشرة لسائقي المركبات على الطرق السريعة، فهي يمكنها تقديم معلومات دقيقة في الوقت الحقيقي عن زمن الانتقال ومستويات الازدحام بترميز لوني على طول ممر الطريق السريع. تساعد مستويات الازدحام ذات الترميز اللوني السائقين على تقدير ظروف المرور مقدمًا وبسرعة.

يمكن للافتات، بناءً على تزويد السائقين بتقديرات دقيقة في الوقت الحقيقي لزمن الانتقال، أن توفر فرصة للسائقين لاختيار الطريق المناسب على باستنارة. يُترك للسائقين الأفراد قرار التحويل من عدمه استجابةً لمعلومات زمن الانتقال، لذلك تنخفض مخاطر التحويل الزائد التي سبقت مناقشتها أعلاه.

أنظمة الملاحة داخل المركبة

تستخدم أنظمة الملاحة داخل المركبة تقنية أنظمة تحديد المواقع العالمية مع الخرائط الرقمية لمساعدة السائقين على التنقل عبر شبكة الطرق. تستطيع أنظمة الملاحة المتوافقة إجراء تراكب لمعلومات الخريطة مع معلومات المرور المقدمة إلى وحدة الملاحة عبر تقنية نظام بيانات الراديو – قناة الرسائل المرورية على ناقل فرعي لبث موجة (FM). نظام البيانات الإذاعية هو معيار الاتصالات من اتحاد البث الأوروبي؛ لإرسال مقدار قليل من المعلومات الرقمية باستخدام البث الإذاعي التقليدي على موجة (FM).

يمكن أن تشتمل المعلومات المقدمة لأنظمة الملاحة المتوافقة مع نظام بيانات الراديو – قناة الرسائل المرورية على أعمال الطرق والحوادث والازدحام غير العادي.

يمكن تقديم التنبيهات، اعتمادًا على مزود الخدمة ونظام الملاحة الفردي، عن طريق التوليف الصوتي أو الرسومات أو إعادة التوجيه الآلي حول الحادث.

الهاتف والراديو:

تستطيع قنوات توصيل الهاتف والراديو كذلك تقديم نفس معلومات المرور داخل المركبة وعلى الطريق.

هـ-٧ أنظمة وإجراءات الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية:

(الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية) هو المصطلح المستعمل لوصف الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة المجهزة بمعلومات واتصالات وأنظمة تحكم ذكية مدمجة على طول الطريق وبجانبه. وهذا يشمل تطبيق حزمة متكاملة من أدوات أنظمة النقل الذكية. وتشمل هذه الأدوات الإشارات المنسقة على المنحدرات وحد السرعة المتغير والتحكم في المسارات واكتشاف الحوادث وبيانات تدفق المرور ومعلومات المتنقلين والمراقبة بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية. تتمتع الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية بالقدرة على تحسين الكفاءة وتعزيز السلامة.

يقدم هذا الجزء معلومات عامة بشأن الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية، كما يركز على الجوانب التشغيلية مرتفعة المستوى.

هـ-٧-١ نظرة عامة على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية:

هـ-٧-١-١ الأهداف التشغيلية:

تتمثل الأهداف التشغيلية للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية في توفير إدارة مرورية متكاملة من شأنها:

- توفير التنقل الآمن. أي أنها تزيد معدل النقل إلى أقصى حد على مستوى أمان مرتفع عن طريق الحد من إمكانية تعطل تدفق المرور والازدحام
- توفير موثوقية في وقت التنقل عن طريق تقليص التباين بين يوم وآخر.
- توفير معلومات المتنقل؛ لإبلاغ سائقي المركبات بأحوال المرور على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة.
- توفير إدارة متكاملة وفعالة للمرور في أثناء الحوادث، مع التحكم في استخدام المسار والسرعة في أقسام الطريق ذات الأولوية القصوى.
- إدارة سرعة المركبة وتفاضل السرعة بين المركبات؛ لتعزيز السلامة في أثناء فترات الازدحام أو الاصطفاف.
- توفير التكامل مع تشغيل الطرق الشريانية؛ لتحسين تشغيل شبكة الطرق العامة (الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة وغيرها من الطرق الشريانية).

تسير مشاريع الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية مدفوعة بمتطلبات تحسين السعة، لكنها تتمتع بقدر كبير من فوائد السلامة.

تشتمل أنظمة وإجراءات الطرق السريعة الذكية على تقديرات سلامة مختلفة. على سبيل المثال:

- تساهم أنظمة إدارة استخدام المسار وضبط المداخل إلى الطرق السريعة في ضمان سلامة الطرق.
- تعمل لافتات حد السرعة المتغير على تعزيز سلامة السير بسرعة.
- تساهم أنظمة النقل الذكية التعاونية في سلامة المركبات.
- تساهم لافتات الرسائل المتغيرة في سلامة المستخدمين.

إضافة إلى ما تقدم، تتمثل وظيفة أنظمة استشعار الحوادث وإدارتها في إتاحة الوصول السريع من جانب خدمات الطوارئ إلى الحوادث الخطيرة. يؤدي تقديم العلاج المبكر للركاب أو عمال الطرق المصابين في حوادث التصادم إلى تخفيف شدة الإصابات وزيادة فرص النجاة.

هـ-٧-١-٢ عناصر الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية:

يمكن تصنيف عناصر الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية المختلفة حسب الغرض الوظيفي الذي يشتمل على الذكاء أو التحكم أو المعلومات (الجدول هـ -٣٣).

الجدول (هـ–٣٣) عناصر الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية مصنفة حسب الوظيفة (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Table 8.1).

الذكاء	التحكم	المعلومات
معدات اكتشاف المركبات. كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية. اكتشاف الحوادث: أنظمة معالجة الصور.	اللافتات المنسقة على المنحدرات. لافتات حد السرعة المتغير. نظام إدارة استخدام المسار.	لافتات الرسائل المتغيرة للطرق السريعة. لافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية. مصادر المعلومات غير المتعلقة بالطريق: الراديو. الأنظمة الداخلية بالمركبة.

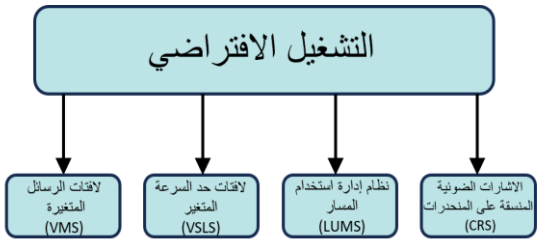
الذكاء	التحكم	المعلومات
خوارزميات بيانات المرور. معدات المراقبة البيئية: الطقس. الضوضاء. الانبعاثات. معدات حساب زمن الانتقال.		مواقع الويب/وسائل التواصل الاجتماعي. كاميرات كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية في الموقع. تطبيقات الهواتف الذكية/التلفزيونات الذكية.

يعتمد تشغيل الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية على تكامل الوظائف الأساسية الثلاث للذكاء والتحكم والمعلومات. تعد وظيفة الذكاء، والتي تتضمن جمع بيانات المرور هي أساس الطرق السريعة الذكية؛ حيث تبلغ بوظائف التحكم والمعلومات وكذلك مراقبة الأداء. تستخدم وظائف التحكم المعلومات الواردة من وظيفة الذكاء؛ لتحسين أداء الطرق السريعة، وزيادة الأمان والموثوقية والسعة. تساعد وظيفة المعلومات مستخدمي الطرق في اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن رحلتهم، مثل: اختيار الطريق وزمن الانتقال. يتخذ توفير المعلومات الميدانية أهميةً خاصة أثناء الظروف غير العادية مثل الحوادث.

هـ-٧-١-٢-١ التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية:

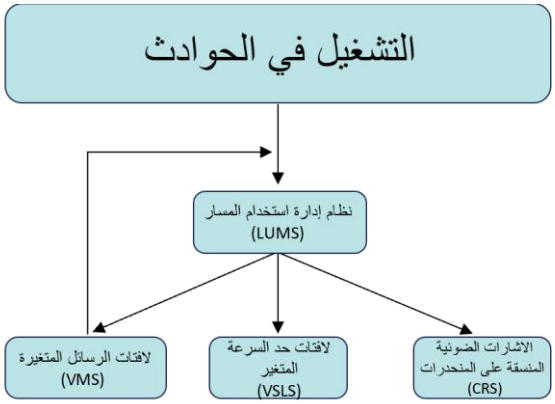
من الناحية التاريخية تُطوّر أنظمة منفصلة قائمة بذاتها لإدارة المرور على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة، أي لافتات الرسائل المتغيرة المنفصلة وحد السرعة المتغير وزمن الانتقال وضبط المداخل إلى الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة وما إلى ذلك، ومع ذلك، دُمِجت الأنظمة الفرعية داخل نظام الطرق السريعة الذكية بطريقة جعلت الإدارة والتفاعل أمرين جوهريين. ورغم أن التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية يمكن أن يتغير وفقًا للظروف؛ فإنه لا تزال الأنظمة الفرعية مترابطة في طريقة عملها. وفي غياب هذا التكامل، يواجه المشغلون تحديًا كبيرًا بسبب تعقيد التفاعل المطلوب، لا سيما عند وقوع حادث.

يظهر التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية في أثناء التشغيل الافتراضي (العادي) في الشكل (هـ -١١). يحدث التشغيل الافتراضي في حالة عدم وجود حوادث ويعمل النظام على تحسين معدل النقل وسرعة السير بأمان.



الشكل (هـ-١١) التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية أثناء ظروف المرور الأساسية (الطبيعية) (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 8.1).

في أثناء وقوع حادث، ينبغي أن يصبح نظام إدارة استخدام المسار هو النظام الفرعي السائد للتحكم في استخدام المسار وحدود السرعة على النحو المبين في التسلسل الهرمي (الشكل هـ -١٢). إذا تعرض أحد مستخدمي الطريق للصدم خلال الحادث، ينبغي إعطاء الأولوية لتسهيل وصول خدمات الطوارئ إلى الموقع بحيث يمكن بدء علاج الإصابات في أسرع وقت ممكن.



الشكل (ه–١٢) التسلسل الهرمي للأنظمة الفرعية أثناء وقوع حادث (المصدر: AUSTROADS, (2020c) – Figure 8.2).

ينبغي أن يوفر نظام الإدارة، في أي وضع من أوضاع التشغيل، عملية آلية تعمل ضمن قواعد محددة مسبقًا بالحد الأدنى من مدخلات المشغل عمومًا ما لم يكن التجاوز ضروريًا.

ه-٧-٢ ذكاء الشبكة:

يعد مفتاح الإدارة الفعالة للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة هو موثوقية بيانات المرور ودقتها في المواقع المناسبة. وينبغي أن يكون نظام استشعار المرور موثوقًا به؛ للحصول على معلومات على مستوى المسار، مثل حجم المركبة وسرعتها وإشغالها وتصنيفها، لمجموعة من الاستخدامات.

تعد البيانات في الوقت الحقيقي بشأن ظروف المرور ضرورية من أجل الإدارة الديناميكية الفعالة لتدفق حركة سير الطرق السريعة وهذا لأنها تتيح الآتي:

- إدارة استباقية للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة؛ لمنع عرقلة تدفق السير.
- الاستجابات التفاعلية للحوادث أو غيرها من العوامل الخارجة عن سيطرة النظام أو المشغل.
- توفير المعلومات الخاصة بالمتنقلين، خاصةً فيما يتعلق بزمن الانتقال والازدحام.

بالنسبة إلى خوارزميات التحكم في المنحدرات لتحسين تدفق السير، تتضمن بيانات المرور الأساسية المطلوبة، ويفضل أن تكون مسار تلو الأخرى، ما يأتي:

- الإشغال (كمؤشر على الكثافة) - المدخلات الحاسمة للتحكم في المسار الرئيس.
- عدد المركبات وسرعتها - مقاييس ثانوية لتقدير الطلب/صف الانتظار على المنحدر.
- تصنيف المركبة - مطلوب لدعم تقديرات الإشغال.

وهذه البيانات مطلوبة أيضًا لتطبيقات حد السرعة المتغير (مثل: حماية صف الانتظار، وإدارة الازدحام، والتحكم في تدفق حركة السير) والاكتشاف الآلي للحوادث. يمكن استخدام السرعة لحساب زمن الانتقال لنشرها عبر معلومات المتنقل في الوقت الحقيقي.

ينبغي أن تكون أجهزة الاستشعار موجودة على المسار الرئيس ومنحدرات الدخول/الخروج وطرق المنبع الشريانية، عند اللزوم. ينبغي تحديد موضع جهاز الاستشعار أساسًا من خلال المتطلبات المختلفة لخوارزميات الوقت الحقيقي (الآلية)؛ للتحكم الذكي في الطرق السريعة ووظائف المعلومات والذكاء. ينبغي أيضًا مراعاة الاحتياجات الإضافية للبيانات التاريخية للإبلاغ عن أداء الشبكة وأنشطة التخطيط.

ه-٧-٣ معلومات المتنقل الموضوعة على جانب الطريق:

تُعد اللافتات الإلكترونية الموضوعة على جانب الطريق التي تعرض الرسائل الصادرة إلكترونيًا عنصرًا مهمًا للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية؛ لتزويد مستخدمي الطريق بمعلومات تنظيمية وتحذيرية واستشارية أو تكتيكية مناسبة وفي وقتها، سواء عند الاقتراب من الطريق السريع، أو عند السير على المسار الرئيس. ويتحقق هذا من خلال العرض المتغير للرسائل المتعلقة بظروف الطريق والمرور الحالية والمستقبلية، مثل زمن الانتقال لأقسام الطرق السريعة في اتجاه المصب.

ينبغي أن تشكل اللافتات الإلكترونية على جانب الطريق جزءًا من استراتيجية معلومات المتنقل الشاملة للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة وشبكة الطرق الشريانية التي تتضمن أيضًا توفير مصادر معلومات للمسافرين في غير جانب الطريق، مثل تطبيقات المركبات والهاتف المحمول.

تساعد معلومات المتنقل المقدمة بطريقة مناسبة في اتخاذ القرار، وتخفيف إجهاد السائق وبالتالي زيادة سلامة مستخدمي الطرق. وينبغي تقديم المعلومات للسائقين بصورة واضحة لا لبس فيها وفي الوقت المناسب. ويمكن أن تؤدي الرسائل المعقدة أو المقدمة في وقت تعرض السائق لأعباء عمل ثقيلة إلى تشتيت انتباهه والتأثير على مهام القيادة الهامة.

ه-٧-٣-١ أنواع اللافتات الإلكترونية على جانب الطريق:

يوجد نوعان رئيسان من اللافتات الإلكترونية الدائمة على جانب الطريق يمكن نشرها؛ لدعم تشغيل الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية: لافتات الرسائل المتغيرة على المسار الرئيس، ولافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية، على النحو المبين أدناه:

- لافتات الرسائل المتغيرة على المسار الرئيس: هي إشارات مصفوفة كاملة متعددة الأغراض يمكنها عرض مجموعة متنوعة من الرسائل بأنواعها، مثل النصوص والرسوم التوضيحية. ينبغي تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة على المسار الرئيس للطريق السريع قبل مراحل اتخاذ القرار الرئيسة (أي المخارج الرئيسة/المحولات).
- يمكن تثبيت لافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية؛ لتوفير معلومات مسبقة عن حالة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع؛ لتعزيز القدرة على اختيار المسار قبل الدخول إلى الطريق السريع. ولهذا أهمية خاصة عندما يشهد الطريق السريع ازدحامًا أو حادثًا، وتوجد طرق شريانية بديلة زمن الانتقال الإجمالي إلى نفس الوجهة فيها أقصر.

يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة الدائمة لمعالجة مشكلات الأداء على طريق سريع، أو لتقديم رسائل إلى مركبات فردية معرضة للخطر. على سبيل المثال: أنظمة التحذير من الطقس، والتحذير من سرعة المركبات الثقيلة على منحدرات الدخول المنحنية، وتحذير المركبة من الارتفاع الزائد عند الاقتراب من الأنفاق وغيرها من المنشئات منخفضة الخلوص الرأسي. ويمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة المتنقلة/المؤقتة لإدارة أعمال طرق الحوادث والمناسبات الخاصة.

ه-٧-٣-٢ أنواع الرسائل وأولوياتها:

توجد مجموعة متنوعة من أنواع الرسائل المختلفة يمكن عرضها على لافتات الرسائل المتغيرة كجزء من عمليات الطرق السريعة الذكية. ينبغي عادةً تقدير نوع الرسالة الافتراضي لزمن الانتقال إلى وجهات مهمة في اتجاه المصب مثل: معلومات حالة الطريق السريع ذات ترميز لوني. تشمل أنواع الرسائل الأخرى (بترتيب الأولوية) ما يأتي:

١- حدث أو حادث مروري حالي (أي تحذير من خطر).
٢- سلامة المجتمع (أي تنبيهات الطوارئ).
٣- أعمال/أحداث الطرق (المستقبلية) المخطط لها.
٤- حملة/ترويج (أي ما يتعلق بالسلامة أو الازدحام أو إمكانية الوصول).

يشير التوجيه اللاحق في هذا الجزء الفرعي إلى ترقيم الأولوية المدرجة أعلاه. ومع ذلك، إذا لم تُعرض رسائل زمن الانتقال على أنها رسائل افتراضية، ينبغي أن تأتي في المرتبة الثالثة من حيث الأولوية (أي بعد سلامة المجتمع وقبل الأعمال/الأحداث المخطط لها).

الغرض الأساسي من لافتات الرسائل المتغيرة هو عرض معلومات ذات صلة بالرحلة الحالية لمستخدم الطريق في الوقت الحقيقي. ينبغي أن تكون للرسائل المتعلقة بالسلامة أو تدفق المرور في موقع معين (الرسائل ذات الأولوية ١ و٢) أسبقية على الرسائل التي تقدم معلومات أقل أهمية (الرسائل ذات الأولوية ٣ و٤).

ينبغي عمومًا تجنب الأعمال/الأحداث المخططة ذات الأولوية ٣ ورسائل الحملة/الترويج ذات الأولوية ٤ في لافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية الموجودة عند تقاطعات الطرق السريعة.

ه-٧-٣-٣ تشغيل لافتات الرسائل المتغيرة:

ه-٧-٣-٣-١ عرض الرسائل والموافقات:

ينبغي إنشاء مجموعات الرسائل العامة المعتمدة لكل نوع رسالة. يمكن أن تكون إجراءات الموافقة مطلوبة؛ للتحكم في الاختيار المناسب وعرض أنواع الرسائل المختلفة. يمكن أن تتطلب أنواع الرسائل المختلفة موافقة مسؤولين مختلفين داخل الهيئة. على وجه الخصوص، ينبغي توفر تفويض مناسب للموافقة على عرض الرسائل غير القياسية، أو الرسائل خارج مستويات الأولويات المحددة.

ينبغي دائمًا الموافقة المسبقة على هياكل الرسائل الجديدة لرسائل الأعمال/الأحداث المخططة ذات الأولوية ٣ ورسائل الحملة/الترويج ذات الأولوية ٤ قبل عرضها.

ه-٧-٣-٣-٢ أنواع التحكم:

يمكن التحكم في لافتات الرسائل المتغيرة في أوضاع التشغيل الآتية:

الإدخال اليدوي:

يمكن أن يتضمن ذلك الإدخال اليدوي من جانب المشغل لرسائل معدة مسبقًا من مكتبة رسائل قياسية، مع مساحات للمعلومات الخاصة بالسياق، مثل المعلومات المتعلقة بالموقع والوقت والتاريخ.

يمكن أن يتلقى المشغل تنبيهًا آليًا من النظام فيما يتعلق بالحاجة إلى تغيير عرض رسائل لافتات الرسائل المتغيرة (أي: من الاستشعار التلقائي عن الحوادث وتقنيات المراقبة البيئية)، أو تحديد المشكلة يدويًا عبر كاميرات كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية أو من خلال تعليقات شركاء التشغيل.

ينبغي تخفيض استخدام الرسائل النصية المجانية عمومًا؛ نظرًا لوجود خطر حدوث خطأ بشري يمكن أن ينجم عنه إرسال رسالة غير مناسبة.

الآلي:

بشكل عام، لا تنطبق التحديثات المؤتمتة بالكامل على لافتات الرسائل المتغيرة للطرق السريعة الذكية إلا على زمن الانتقال ورسائل حالة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع، وتحسب بشكل شائع باستخدام الخوارزميات بناءً على البيانات الواردة من أجهزة استشعار المركبات أو مصادر أخرى.

ينبغي أن يتمتع المشغلون بالقدرة على تحديد الخيار لعرض رسالة زمن الانتقال أو الموافقة عليه (أي إعطائها الأولوية على أنواع الرسائل الأخرى)، أو تجاوز قرار عرض رسالة زمن الانتقال بسبب أن أولوية الرسائل الأخرى أعلى.

شبه الآلي:

ينبغي أن يكون نظام الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة قادرًا على معرفة أوضاع (المعلومات فقط) و (مساعدة المشغل). يوفر النظام، في وضع مساعدة المشغل، تنبيهًا آليًا بناءً على حدوث تغيير في حالة الطريق السريع المكتشفة (مثل: حادثة أو ازدحام أو سوء الأحوال الجوية على نحو ما تبينه البيانات الواردة من أجهزة استشعار المركبات أو كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية أو أجهزة التنبؤ بالأحوال الجوية) كما يوصي بالاستجابة المناسبة، والتي يمكن أن تتضمن تحديثات لشاشات رسائل لافتات الرسائل المتغيرة. يُطلب من المشغل بعد ذلك تعديل خطة الاستجابة يدويًا أو الموافقة عليها قبل تنفيذها.

يمكن أن تستند الاستجابة المقترحة إلى خطة استجابة محددة مسبقًا (انظر أدناه)، أو من خلال نظام قائم على خوارزميات مثل تطبيق (الاستجابة الخوارزمية واسعة النطاق).

في مثل هذا التطبيق، (تسير) الخوارزمية في اتجاه المنبع من موقع الحادث على جميع المسارات الممكنة؛ لتحديد لافتات الرسائل المتغيرة التي ينبغي استخدامها للإبلاغ عن الحادث وما هي خيارات الرسالة (من مجموعة رسائل عامة) التي يمكن عرضها. والمسافة التي تسيرها تكون قابلة للتهيئة، ولكنها تتأثر أيضًا بنوع/شدة الحادث (على سبيل المثال: تبدو بعيدة عن الحوادث الأكبر). يستطيع المشغل تنفيذ خطة الرسالة الأولية بسرعة معقولة بناءً على توصيات الخوارزمية. ويمكن للمشغل، بعد معرفة تفاصيل أكثر عن الحادث، تحديث لافتات الرسائل المتغيرة ذات الصلة برسائل أكثر استهدافًا/صلة.

خطط الاستجابة المحددة مسبقًا:

يشمل هذا خططًا ذات أغراض خاصة؛ لعرض الرسائل على لافتات الرسائل المتغيرة المتتالية في اتجاه المصب من الحادث/الحدث. يمكن وضع الخطط كجزء من خطة الاستجابة للحوادث أو خطة إدارة المرور في حالة الحوادث. يمكن أن توفر الخطط أيضًا استجابات متكاملة لعناصر الطرق السريعة الذكية الأخرى، مثل شاشات عرض لافتات نظام إدارة استخدام المسار.

وتستخدم الخطط عادةً لملء مخطط الطريق السريع الذكي مسبقًا لتوضيح شاشات اللافتات المقترحة. يمكن للمشغل بعد ذلك مراجعتها وتحريرها والموافقة عليها قبل تنفيذها (أي الوضع شبه الآلي).

ينبغي أن يكون المشغل قادرًا على إعادة ترتيب الأولويات يدويًا وإيقاف/إزالة وإعادة تشغيل خطط الرسائل النشطة على لافتات الرسائل المتغيرة في أي وقت لتلبية احتياجات تشغيل الشبكة.

ه-٧-٤ ضبط المداخل إلى الطرق السريعة

تنظم أنظمة ضبط المداخل إلى الطرق السريعة المرور إلى الطرق السريعة بمعدل يمكن للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة التعامل معه وفقًا لأهداف الأداء. ضبط المداخل إلى الطرق السريعة هو التحكم المروري التي تدخل الطريق السريع/ الطريق شبه السريع عن طريق إشارات مرور على منحدرات الدخول. ينبغي تحسين أداء الطريق السريع/ الطريق شبه السريع من خلال الحفاظ على تدفق حركة المسار الرئيس على القدرات التشغيلية خلال فترات الذروة. الإجراءات الرئيسة لضبط المداخل إلى الطرق السريعة هي:

- قياس المركبات التي تدخل طريقًا سريعًا من منحدر دخول؛ لتفريق فصائل المركبات الملتحمة لتحقيق تدفق مروري موزع بالتساوي في منطقة الالتحام.

- إدارة تدفقات دخول المنحدرات؛ بحيث لا تتجاوز تدفقات المرور الرئيسة قدراتها التشغيلية خاصة عند الاختناقات، بما يحول دون الانتقال إلى تدفق حركة سير غير مستقرة. ويتحقق هذا من خلال إنشاء الإشغال الحرج والمحافظة عليه من خلال أقسام الاختناق في المسار الرئيس.

ه-٧-٤-١ أساسيات التحكم في ضبط المداخل إلى الطرق السريعة:

يدير منطق التحكم في عدادات المنحدرات تدفق حركة السير؛ بحيث لا تُتجاوز سعة المصب. إذا تم تجاوز سعة المصب، يتعرقل تدفق حركة السير ويتأثر الأداء الكلي. يتمثل الهدف الرئيس؛ للتحكم في الحد من احتمالية عرقلة تدفق حركة السير على المسار الرئيس الخاضع لقيود وقت الانتظار على صف الانتظار أو على المنحدر.

وينبغي أن يشتمل نظام ضبط المداخل إلى الطرق السريعة على خوارزمية فعالة تقنيًا تضع الإشغال الحرج، وتحافظ عليه؛ لقياس تدفق منحدر الدخول بفعالية بحيث تُحسَّن السرعات ومعدل النقل على المسار الرئيس.

وينبغي الحفاظ على كثافة حرجة عن طريق قياس عدد المركبات التي تدخل الاختناق من خلال تقييد منحدرات الدخول في اتجاه مصب الاختناق. ويتحقق هذا من خلال إشارات موضوعة عند منحدرات الدخول.

في أفضل ممارسات أنظمة ضبط المداخل إلى الطرق السريعة، من المهم أن تتمكن خوارزمية التحكم من إنشاء كثافة حرجة والحفاظ عليها؛ لضمان الحفاظ على تدفقات القدرة التشغيلية القصوى. جدير بالملاحظة أنه ينبغي استخدام الإشغال بدلًا من الكثافة؛ حيث لا يمكن قياس الكثافة بسهولة بواسطة أجهزة الاستشعار.

وإذا كان منطق ضبط المداخل إلى الطرق السريعة متساهلًا للغاية؛ بحيث يسمح لمزيد من المركبات بدخول الاختناق، يزداد الإشغال وتزداد احتمالية عرقلة تدفق حركة السير. أما إذا كان القياس شديد التقييد؛ فسيصبح المسار الرئيس غير مستغل بما فيه الكفاية، ويؤدي إلى زيادة صفوف الانتظار وأوقات الانتظار على المنحدر. ويمكن أن يمتد الجزء الخلفي من صفوف الانتظار على منحدرات الدخول كذلك إلى ما بعد المنحدر ويعيق حركة السير على الطرق الشريانية. ولا يمكن تحقيق أقصى قدر من معدل نقل المسار الرئيس إلا من خلال الحفاظ على الإشغال الحرج.

ه-٧-٤-٢ التحكم المحلي والمنسق:

يمكن أن تعمل قياسات المنحدرات تحت تحكم محلي أو تحكم منسق. وتعمل إشارات المنحدرات المعزولة دون الاتصال بإشارات منحدر المنبع الأخرى تحت تحكم محلي. يتضمن التحكم المنسق مجموعة من المنحدرات. كما يعمل التحكم المنسق على تحسين الإشغال عند الاختناق من خلال إدارة ما يصل إلى ستة أو أكثر من منحدرات الدخول في اتجاه المصب.

يمكن أن يكون التحكم المحلي مناسبًا عندما يتسبب دخول المرور في حدوث عرقلة في تدفق حركة السير في تدفق المسار الرئيس عند اختناق معزول لا يؤثر عمومًا على التقاطعات الأخرى على طول الطريق أو منها. تتمثل وظيفة ضابط المداخل إلى الطرق السريعة المحلي في إدارة معدل دخول المرور للتغلب على تأثير فصائل كبيرة غير خاضعة للتحكم من المرور القادمة من إشارات تقاطع منبع المنحدر. يمكن كذلك استخدام مقياس معزول؛ للتحكم في إجمالي حجم الدخول؛ للحفاظ على ظروف مستقرة عند اقتراب الطريق السريع/ الطريق شبه السريع من السعة.

يمكن أن يكون التحكم المحلي في تركيبات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة المعزول فعالًا في توفير تخفيضات في مشكلات الالتحام، وتحسين تدفق المرور على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة حيث يوجد تدفق التحام كبير، ولكن:

- لديه وظيفة وقدرة محدودة على موازنة العملية على طول الطريق عند مقارنتها بالتحكم المنسق، على سبيل المثال:
  - إذا كانت سعة الاختناق أقل من تدفق حركة السير الأولي، لا يمكن التحكم في الطلب على المسار الرئيس.
  - ويمكن أن يؤدي هذا إلى الشروع في وقت سابق في إجراءات تجاوز صف انتظار المنحدر، وعرقلة تدفق حركة السير المبكر.
  - يوفر عدالة متدنية مقارنة بمنحدرات المنبع، أي أن المنحدر عند الاختناق النشط يعاني أكثر، في حين أن منحدرات المنبع إما لا يُتحكَّم فيها أو لا تشارك التأخيرات بإنصاف.
- يُستبعد أن تكون قادرًا على الحفاظ على معدل نقل مثالي للطريق السريع/ الطريق شبه السريع في حالة وجود ازدحام متعلق بالاختناقات الأخرى على طول الطريق.

بناءً على الأسباب المذكورة أعلاه، لا يُنصح عمومًا بالتحكم في المنحدرات المحلية للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة كثيفة الحركة؛ حيث يلزم إدارة عدد من طلبات الدخول أو حيث يمكن أن تحدث عرقلة في تدفق حركة السير في عدد من المواقع.

يوصى عمومًا بنظام منسق، ولكن يمكن أن يكون التحكم المحلي في عداد المنحدرات مناسبًا في الحالة الآتية:

- يصبح الازدحام وعرقلة تدفق حركة السير موضعيًا؛ بسبب التحام المرور على الطريق السريع من منحدر دخول معين فقط.
- يمكن إدارة الاختناق بفعالية ضمن قيود التخزين لمنحدر الدخول الواحد.

- لن يوجد تحويل إلى منحدر مجاور.

من خلال التحكم المنسق، تصنف المنحدرات في عدد يمكن إدارته ويمكن أن تعمل معًا كنظام تحكم عندما تتطلب ظروف المرور التنسيق. يمكن أن تحدث الاختناقات، داخل مجموعة منسقة، في العديد من المواقع مثل دمج منحدر دخول ومواقع أخرى محدودة السعة. عادة ما تتطلب إدارة تدفق المرور والتحكم فيه على طول الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة قياسًا في جميع النقاط التي تدخل منها المرور إلى الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. ويمكن أن يشمل هذا ما يأتي:

- منحدرات الدخول ذات المرور الملتحم.
- منحدرات الدخول المؤدية إلى مسار إضافية.
- منحدرات الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة إلى الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة، أو قياس منحدرات المنبع على الطريق السريع/ الطريق شبه السريع المتقاطع.
- بداية الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.

ه-٧-٤-٣ التشغيل محدد الوقت والديناميكي:

يمكن أن تعمل قياسات المنحدر على أساس وقت محدد أو أساس ديناميكي. تعمل أنظمة ضبط المداخل إلى الطرق السريعة الديناميكية على تشغيل الإشارات وإيقافها ديناميكيًا بالإضافة إلى تغيير معدل القياس بناءً على تدفقات المرور على طول الطريق السريع/ الطريق شبه السريع والمنحدرات، وهذا يتطلب جمع بيانات عن ظروف تدفق المرور على الطريق السريع. وإذا أخفقت أنظمة جمع البيانات، يمكن أن يتحول النظام إلى دورة محددة الوقت افتراضيًا. يتضمن النظام الديناميكي على وجه العموم القدرات الآتية:

- التبديل الذي يحدث آليًا عندما يقترب تدفق الطريق السريع/ الطريق شبه السريع عند التحام محلي، أو اختناق من ظروف غير مستقرة.
- الاستجابة المؤتمتة لظروف الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة من خلال تعديل تدفق حركة السير باستمرار، كما في أوقات الدورات، على طول الطريق؛ لتحسين تدفق الطريق السريع/ الطريق شبه السريع وسرعات السير بالإضافة إلى موازنة صفوف الانتظار، وإدارة تأخير المرور على المنحدرات.
- القدرة المعززة على منع عرقلة تدفق حركة السير عند حدوث الاختناقات بسبب الطلب غير المحكوم، كما يوفر أيضًا استجابةً أشد فعالية لعرقلة تدفق حركة السير الناجمة عن حادث غير مخطط له، ويمكنه بعد ذلك إدارة تدفق حركة السير الداخلة إلى الطريق السريع؛ لتسهيل التعافي بشكل أسرع.

تستخدم إشارات المنحدر محدد الوقت معدلات قياس تستند إلى ظروف تدفق المرور العامة التاريخية خلال الوقت الذي تكون فيه إشارات المنحدر قيد التشغيل. لا يتغير معدل القياس بسبب تغير ظروف تدفق المرور على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الرئيسة. يتم -عادةً- تشغيل عملية ضبط المداخل إلى الطرق السريعة محددة الوقت وفقًا لإعدادات الوقت من اليوم، ثم تُستخدَم دورة إشارات زمنية محددة الوقت. يستطيع التشغيل محدد الوقت تغذية المركبات تدريجيًا في المسار الرئيس الذي يصل إلى المنحدر على شكل فصائل، ولكن لا يتكيف التشغيل مع ظروف تدفق الطريق السريع المتغيرة. يمكن أن يوفر هذا الشكل من العمليات بعض الفوائد لتدفق المسار الرئيس بيد أن فعالية محدودة في منع عرقلة تدفق حركة السير وتحسين معدل نقل الطرق السريعة. علاوة على ذلك، تعد قدرة التشغيل محدد الوقت للتكيف مع تدفق حركة السير المتغيرة على منحدر أو إدارة صفوف انتظار منحدرات محدودة يمكن أن توجد أوقات تعمل فيها الإشارات عندما لا يكون التحكم ضروريًا.

ه-٧-٤-٤ إدارة الطلب على المنحدر:

أحيانًا وفي أثناء عملية ضبط المداخل إلى الطرق السريعة يمكن ألا يُلبَّى طلب المرور على بعض المنحدرات. يمكن أن يحدث هذا خلال ساعة الذروة عندما تكون تدفقات المسار الرئيس في أعلى مستوياتها؛ بحيث يكون القياس في أقصى درجات التقييد. في الوقت نفسه، يمكن أن يكون تدفق الوصول إلى المنحدر أيضًا في ذروته ويكون أكبر من الحد الأقصى لمعدل القياس المسموح به. والنتيجة هي الانتظار في صف الانتظار على المنحدر الذي يمكن أن يفيض على الطرق الشريانية المجاورة -إذا توفرت مساحة تخزين غير كافية في التصميم-.

عند توقع وجود صفوف انتظار طويلة في أثناء عملية ضبط المداخل إلى الطرق السريعة ولا يمكن تجنبها أثناء التصميم، ينبغي مراعاة اتخاذ التدابير التي توفر تجاوز صف الانتظار على الطريق الشرياني. عمليًا، ومع تطبيق استراتيجيات ضبط المداخل إلى الطرق السريعة المنسقة، يمكن عمومًا تلبية متطلبات المنحدرات على مجموعة من المنحدرات لفترة أطول بسبب موازنة صفوف الانتظار.

ه-٧-٤-٥ إدارة الازدحام الشديد والحوادث:

في أثناء منع عرقلة تدفق حركة السير عمومًا، أو على الأقل تأخيرها على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية - عند حدوثها- تتطلب إدارة إشارات المنحدرات استراتيجية تشغيلية آلية ومتكاملة، من شأنها تقليل تفاقم الازدحام وتساعد أيضًا في استعادة تدفق حركة السير.

تشمل الحالات التي تؤدي إلى ازدحام شديد على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة ما يأتي:

- التحكم غير الكافي في تدفقات الدخول؛ بسبب عدم وجود تحكم عند مدخل الطريق السريع/ الطريق شبه السريع، أو عدم قياس بعض منحدرات الدخول، مثل منحدر مرتفع الطلب من طريق سريع/ الطريق شبه السريع متقاطع آخر.
- استراتيجيات أو سياسات التحكم في الوصول التي تؤدي إلى زيادة الطلب، مثل المنحدرات التي بها مسارات ذات الأولوية للتدفق الحر أو استراتيجية إدارة صف الانتظار التي تزيد من معدل القياس للمركبات من المنحدر عندما تمتد صفوف الانتظار إلى الطريق الشرياني.
- حادث على الطريق السريع. يفرض إغلاق مسار واحدة على الأقل، مما يؤدي إلى تقليص سعة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع للغاية.

تتطلب إدارة الازدحام الشديد والحوادث اتباع نهج متكامل يركز على الإجراءات التكميلية الآتية:

- إدارة تدفقات الدخول للمساعدة على استعادة تدفق حركة السير. يتم تقليل تدفقات الوصول إلى الاختناقات المكتظة أو موقع الحادث من خلال القياس التقييدي لأعلى منبع المنحدرات كاستجابة آلية للكشف عن الازدحام. يساعد القياس المقيد كذلك، إلى جانب توفير معلومات المتنقل على الطرق الشريانية؛ لإعلام السائقين بزمن الانتقال المتزايد على الطريق السريع/ الطريق شبه السريع أيضًا في تحويل المرور من الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.
- إغلاق منحدرات الدخول و/أو الطرق السريعة - في بعض الحالات، تتضمن إدارة الحوادث أيضًا إغلاق المنحدرات أو الطرق السريعة قبل موقع الحادث.
- تحويل المرور من خلال تقديم معلومات المتنقل. يستخدم بعض السائقين طريقًا بديلًا إذا قدمت إليه النصيحة في نموذج أو أكثر من هذه النماذج:
  - لافتات معلومات السائق في الوقت الحقيقي على الطريق الشرياني قبل مدخل الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.
  - لافتات الرسائل المتغيرة على المسار الرئيس؛ لتشجيع سائقي المركبات على مغادرة الطريق السريع/ الطرق شبه السريع قبل الوصول إلى الجزء المزدحم.
  - تقارير حالة المرور من المحطات الإذاعية، لاسيما خلال فترات الذروة.

في حالة وقوع حادث يتضمن إصابات بين مستخدمي الطرق أو العمال، ينبغي أن تكون أولوية إدارة المنحدرات هي تسهيل وصول خدمات الطوارئ إلى موقع الحادث بحيث يمكن بدء علاج الإصابات في أسرع وقت ممكن.

هـ-٧-٤-٦ اللافتات الإلكترونية للتحكم في المنحدرات:

تتمثل اللافتات الإلكترونية للتحكم في المنحدرات المرتبطة بتشغيل ضابط المداخل إلى الطرق السريعة فيما يأتي:

- *اللافتات التحذيرية والتنظيمية على الطرق.* تُوفَّر على الطرق المؤدية إلى تقاطع منحدر طرق شريانية/دخول لمواجهة المرور التي تتحول إلى المنحدر. وإضافةً إلى توضيح ما إذا كانت الإشارات قيد التشغيل، يمكن أيضًا تفعيلها للإشارة إلى إغلاق المنحدر كجزء من إدارة حوادث الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة.
- *اللافتات التحذيرية على منحدر الدخول.* يمكن استخدام هذه اللافتات على منحدرات الدخول في الحالات التي تكون فيها مسافة رؤية إشارات المنحدر محدودة. وهي تشير إلى أن الإشارات قادمة في الأمام وتنبه السائقين إلى لزوم التوقف عند تشغيل الإشارات.
- *لافتات الرسائل المتغيرة للطرق الشريانية.* يمكن أن تكون هذه اللافتات عبارة عن لافتات رسائل متغيرة ذات مصفوفة كاملة تُستخدم لعرض زمن الانتقال على الطريق السريع، مثل: تأخير المنحدر، بالإضافة إلى معلومات عن الحوادث وأعمال الطرق والطرق السريعة أو إغلاق المنحدر. وتُمكِّن هذه اللافتات السائقين من اتخاذ خيارات طريق بديلة قبل دخول الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة. وينبغي أن تكون موجودة على الطريق الشرياني قبل مسارات التحول إلى اليسار واليمين عند تقاطع المنحدر. عندما يكون التحول قريبًا من مفترق طرق في الطريق السريع/ الطريق شبه السريع؛ بحيث يوجد مساران في اتجاه المصب، ينبغي توفير لافتتين من هذه اللافتات، واحدة لكل مسار.

هـ-٧-٤-٧ كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية:

تستخدم كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية لمراقبة الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة ، مثل: المنحدرات والطرق الشريانية المجاورة. يمكن أن تعطي الكاميرا الموجودة عند التحول بالقرب من مدخل المنحدر التغطية الأفضل:

- من مداخل الطرق الشريانية.
- على طول المنحدر.
- في التحام الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.

هـ-٧-٤-٨ مسارات الوصول ذات الأولوية:

يمكن توفير مسار وصول ذات أولوية لتحسين مستوى الخدمة وهذا من أجل ما يأتي:

- الشاحنات؛ تقديرًا للقيمة الاقتصادية لحركة الشحن الفعالة، أو للسماح للمركبات الثقيلة بالوصول إلى السرعات التشغيلية للطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة على المنحدرات المرتفعة.
- المركبات التي يستقلها أكثر من شخص مثل الحافلات أو مركبات الأجرة أو المركبات مرتفعة الإشغال المحددة، على سبيل المثال: مسار عبور تعطي الأولوية والحافز للمشاركة في استخدام المركبات. ويمكن أن تستخدم الدراجات النارية أيضًا مسارات عبور.
- أولوية النقل العام؛ حيث يكون منحدر الدخول جزءًا من مسار الحافلات. يمكن تنفيذ مسار الأولوية بموجب قواعد الطريق المحلية، مع وضع اللافتات التنظيمية المناسبة.

ويفضل عموما، في سياق إدارة تدفق الطرق السريعة، التحكم في جميع تدفقات الدخول؛ لذلك، وكمبدأ عام، ينبغي عدم توفير مسارات الوصول ذات الأولوية إلا عند وجود حاجة استراتيجية. إضافةً إلى ذلك، وفي حال وجود حاجة استراتيجية، ينبغي إعطاء الأفضلية عمومًا لتوفير مسار وصول مقاسة ذات أولوية أو مسار جانبية محكومة جزئيًا/حرة بدلًا من الوصول إلى تدفق حركة السير الحر لضمان التحكم في جميع تدفقات الدخول.

ه-٧-٤-٩ منحدرات طريق سريع إلى طريق سريع:

يحدد أداء الطريق السريع الذكي من خلال قدرته على تقليل عرقلة تدفق حركة السير أو تجنبها، فضلا عن الأداء الجيد تحت الضغط والتعافي في أسرع وقت ممكن في حالة حدوث ازدحام. هذا يعني أنه ينبغي تصميم البنية التحتية؛ بحيث تراعي تقليل احتمالية تعطل تدفق حركة السير وتوفير مرافق؛ لإدارة الطلب على المرور وتدفقها ضمن سعة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. بالتالي، يتمثل المبدأ العام في التحكم في جميع المرور التي تدخل طريقًا سريعًا ذكيًا وتنظيمها.

على وجه العوم، يعد قياس منحدرات طريق سريع/ طريق شبه سريع إلى طريق سريع/ طريق شبه سريع أمرًا ضروريًا للإدارة العامة للطرق السريعة الحضرية، ويمكنه توفير وقتا إضافيًا في زمن الانتقال لسائقي المركبات من خلال المساهمة في منع تدفق حركة السير أو الحد من عرقلتها. عند تقديم قياس منحدر، لا يمكنه العمل إلا عند الحاجة ويمكن أن تكون عملية تدفق حركة السير غير المنقطعة متاحة في أوقات أخرى. إذا تعرقل تدفق حركة السير على الطريق السريع الذكي، قد يؤثر ذلك ليس على الطريق السريع/ الطريق شبه السريع الذكي فحسب، بل على المرور من الطريق السريع الداخل أيضًا.

عندما تدخل تدفق حركة السير العالية إلى طريق سريع/ طريق شبه سريع من طريق سريع/ طرق شبه السريع متصل، يتيح التحكم في هذه التدفقات الداخلية من خلال ضبط المداخل إلى الطرق السريعة بالتنسيق مع إشارات المنحدرات الأخرى على طول الطريق السريع. توفر القدرة على موازنة صفوف الانتظار وأوقات الانتظار بين المنحدرات المنسقة تحكمًا عامًا أكبر في تدفق حركة السير على طول الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. ومن المزايا الأخرى لقياس منحدرات طريق سريع إلى طريق سريع أنه قد يساعد على القدرة على إدارة المرور في أثناء الحوادث، وتحسين التعافي من انقطاع تدفق السير بعد وقوع الحوادث.

عندما يدخل السائقون منحدرات طريق سريع إلى طريق سريع من الطرق السريعة مرتفعة السرعة، لا بد من تنبيههم إلى احتمالية الحاجة للتوقف عند الإشارات الموجودة على المنحدر. ينبغي أن تشير اللافتات إلى الحاجة إلى الإبطاء وينبغي أن تكون هناك مسافة رؤية كافية لإشارات المنحدر؛ لمنحهم مسافة كافية للتوقف. يمكن أيضًا نشر حد السرعة المتغير لسرعات منخفضة على المنحدر عندما تكون الإشارات قيد التشغيل، وهذا يضمن اقتراب سائقي المركبات من الإشارات بسرعات آمنة.

ه-٧-٥ أنظمة إدارة السرعة واستخدام المسار:

تخصص أنظمة إدارة استخدام المسار، وتدير مساحة الطريق المتاحة من خلال عرض حد السرعة المتغير ولافتات التحكم في المسار. ينبغي أن تتنوع حدود السرعة، وحالة المسار استجابةً لتغير ظروف الطريق والمرور بمجرد اكتشافها بواسطة نظام إدارة الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة ومشغلي قناة الرسائل المرورية.

ينبغي أن تتمثل ممارسة الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية في توفير إدارة متكاملة للسرعة واستخدام المسارات بما يوفر التحكم الكامل في تدفقات المرور على المسار الرئيس لدعم أهداف الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية.



الشكل (ه–١٣) مدخل إلى نفق رئيس بطول ٧٠٠ متر يربط طريق الملك فهد وشارع العليا (المصدر: Royal Commision of Riyadh City).

ه-٧-٥-١ تطبيقات خاصة لحد السرعة المتغير:

يوجد عدد من التطبيقات الخاصة لحد السرعة المتغير يمكنها تقديم مزايا أمان مهمة، فضلًا عن المساعدة على تحسين تدفق المرور. غالبًا ما تعتمد هذه التطبيقات على خوارزميات آلية لاكتشاف تغير الظروف وتفعيل الاستجابة. وتدمج على وجه العموم مع غيرها من تطبيقات إدارة السرعة والمسار داخل نظام إدارة استخدام المسار. مع ذلك، يمكن تثبيتها في بعض أقسام الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة كنظام حدود سرعة متغيرة مستقل.

وتستطيع إدارة السرعة تحسين سلامة الطرق من خلال:

- تخفيض فارق السرعة بين المركبات (بحيث تكون التدفقات المرورية أكثر تجانسًا).
- الحد من تغيير المسار والكبح الناتج عن فروق السرعة.
- زيادة وقت استجابة السائقين لتغير الظروف.
- الحد من احتمالية الاصطدام وتخفيف الحادث بمقدار سبعين في حالة حدوثه.

نناقش تطبيقات حد السرعة المتغير للسلامة، وتحسين تدفق حركة السير بمزيد من التفصيل أدناه.

ه-٧-٥-١-١ حد السرعة المتغير من أجل حماية صف الانتظار وإدارة الازدحام:

عند حدوث عرقلة للتدفق المروري وموجات الصدمة؛ نتيجة لارتفاع الطلب أو وقوع حادث. يمكن أن تساعد حد السرعة المتغير في تخفيف موجات الصدمة ويمكن أن تساهم أيضًا في زيادة السلامة من خلال:

- مطابقة حد السرعة مع سرعة الازدحام المروري.
- حماية الجزء الخلفي من صف الانتظار عن طريق إبطاء سرعة المركبات المقتربة من الازدحام (وبالتالي الحد من مخاطر الحوادث الثانوية).

هـ-٧-٥-١-٢ حد السرعة المتغير لأجل الظروف الجوية القاسية:

يمكن أن يكون للظروف الجوية القاسية تأثيرات كبيرة على سلامة الطرق وازدحامها. ويمكن أن تؤدي التغييرات السلوكية للسائق أثناء الظروف الجوية القاسية إلى وجود تباينات في السرعة تزيد من مخاطر الاصطدام، لا سيما الحوادث الثانوية.

يؤدي اشتراط حد للسرعة في أثناء الظروف الجوية القاسية إلى تعيين سرعة آمنة لجميع السائقين، وبالتالي ينبغي تخفيض فارق السرعة. كما تتيح السرعة البطيئة مزيدًا من الوقت للسائقين للاستجابة في حالة مواجهة خطر (مثل وجود مياه فوق الطريق) وتقلص مسافات التوقف.

يمكن استخدام حد السرعة المتغير؛ لتحسين السلامة في الظروف الجوية القاسية في الحالات الآتية:

- ضعف الرؤية بسبب الرمال أو الضباب أو الدخان.
- حالة رصف أقل من المرغوب (أي: انخفاض معامل الاحتكاك نتيجة الرمال أو هطول الأمطار الغزيرة أو غمر الطريق أو وجود احتمال كبير للفيضان).
- تؤدي الظروف الجوية إلى تصرف السائقين بشكل مختلف (مثل: تغيير السرعة)؛ بسبب اختلاف تصورات المخاطر.
- تزيد الرياح الشديدة من مخاطر عدم الاستقرار (خاصة بالنسبة إلى المركبات الثقيلة خفيفة الحمولة).

يمكن تثبيت أنظمة المراقبة البيئية على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة لقياس الأحوال الجوية وحالة الطرق، وتقديم تنبيه للمشغل (أو استجابة نظام آلية) عند بلوغ حد قابل للتكوين. يمكن أن تتمثل الإجراءات في تخفيض حدود السرعة، بالإضافة إلى تدابير التخفيف الأخرى، مثل عرض رسائل التحذير على لافتات الرسائل المتغيرة وتفعيل مضخات المياه.

هـ-٧-٥-١-٣ حد السرعة المتغير للتحكم في التدفقات المرورية:

توجد خوارزميات حد السرعة المتغير التي يمكن تفعيلها عند التدفقات المرورية العالية؛ حيث تقترب من مستوى حرج (ولكن قبل عرقلة التدفقات المرورية)، من أجل سلاسة التدفقات المرورية واستقرارها عبر الاختناق الحرج وتقليل الازدحام.

نسرد بعض الاعتبارات الهامة ذات الصلة باستخدام حد السرعة المتغير فيما يأتي (Papageorgiou, et al., 2008):

- عند تفعيل حد السرعة المتغير بكثافات أقل من الحرجة، يمكن أن يكون لها تأثير سلبي على كفاءة المرور (أي تؤدي إلى زيادة زمن الانتقال).
- عند تفعيل حد السرعة المتغير عند الكثافات الحرجة والحرجة للغاية، يمكن أن تساعد على تأخير بداية عرقلة التدفقات المرورية (عن طريق تحويل الإشغال الحرج إلى قيم أعلى)؛ إلا أنها على وجه العموم ليس لها إلا قدرة محدودة على منع عرقلة التدفقات المرورية.
- توفر حد السرعة المتغير عند مستويات التشغيل الحرجة انخفاضًا في تمايز سرعة المركبات (مثل تجانس السرعات)، وهو ما قد يؤدي إلى تحسين استقرار التدفقات المرورية.

يمكن لدمج إشارات المنحدرات وعمليات حد السرعة المتغير أن تدر فوائد مجمعة (Abdel-Aty, et al., 2009).

هـ-٧-٥-١-٤ الانبعاثات واستهلاك الوقود:

يمكن أيضًا استخدام أنظمة حد السرعة المتغير لتخفيض حدود السرعة من أجل الفوائد البيئية، أي لتقليل انبعاثات المركبات واستهلاك الوقود وتحسين جودة الهواء وخفض مستويات الضوضاء.

هـ-٧-٥-٢ تطبيقات نظام إدارة استخدام المسار:

إشارات نظام إدارة استخدام المسار عبارة عن أجهزة للتحكم في المرور، ولها وظيفة تنظيمية على النحو المبين في القسم الفرعي (هـ -٦-٢-١).

يوجد عدد من تطبيقات نظام إدارة استخدام المسار المختلفة التي يمكن أن تسهم في تحقيق فوائد الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية. تتيح تطبيقات نظام إدارة استخدام المسار إجراء إدارة تفاعلية للمرور؛ استجابةً لحادث أو حدث أو ظروف جوية قاسية وأسباب أخرى للازدحام غير المتكرر. ويستخدم كذلك نظام إدارة استخدام المسار؛ لتحسين السعة من خلال تمكين الاستراتيجيات التشغيلية التي تتضمن استخدام مسار الطوارئ للمرور.

هـ-٧-٥-٢-١ نظام إدارة استخدام المسار لإدارة الحوادث والأحداث:

بمجرد التحقق من وقوع حادث، يمكن استخدام نظام إدارة استخدام المسار للتفعيل السريع والآمن لأجهزة إدارة المرور (لافتات نظام إدارة استخدام المسار) التي تغلق مسار أو أكثر، وتدير سرعة المرور عند الاقتراب من موقع الحادث وعبره.

يعمل حد السرعة المخفض على تحسين السلامة لمناورات تغيير المسار، ويوفر ظروفًا أكثر أمانًا في موقع الحادث لصالح العمال وضحايا الحوادث والجمهور العابر. يمكن استخدام التحكم في المسار؛ لتحسين الوصول في حالات الطوارئ إلى

موقع الحادث، وكذلك لتحويل المرور بعيدًا عن الطريق السريع/ الطريق شبه السريع عبر منحدر خروج في حالة إغلاق الطريق بالكامل أو وقوع حادث/حدث كبير.

يمكن كذلك تشغيل التحكم في المسار، وتخفيض السرعة من خلال أعمال الطرق/أنشطة الصيانة المخطط لها أو غيرها من الأحداث.

هـ-٧-٥-٢-٢ نظام إدارة استخدام المسار لزيادة السعة (مثل استخدام مسار الطوارئ):

يعد نظام إدارة استخدام المسار مكونًا مهمًا في أي استراتيجية تشغيلية تسمح باستخدام مسار الطوارئ كليا أو جزئيًا من أجل زيادة سعة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. في حالة عدم وجود مسار طوارئ، يستخدم نظام إدارة استخدام المسار؛ لتزويد المشغلين بوسائل لإغلاق المسارات بسرعة وأمان؛ لحماية موقع الحادث في حالة وقوع حادث، ولتمكين الوصول في حالات الطوارئ. يوجد مزيد من التفاصيل بشأن الاستراتيجيات التشغيلية التي تتضمن عدم وجود مسار للطوارئ أو استخدام مسار الطوارئ كمسار سير في الجزء الفرعي (هـ -٦-٧).

هـ-٧-٥-٣ أنواع التحكم:

يُشغّل نظام إدارة استخدام المسار عادةً من خلال مزيج من التحكم الآلي (أي من خلال استخدام الخوارزميات) والتحكم اليدوي (أي بواسطة مشغلي قناة الرسائل المرورية). ويمكن أن يعتمد مستوى التحكم الآلي مقارنة بالتحكم اليدوي على تطبيق نظام إدارة استخدام المسار.

يمكن إنشاء طلبات نظام إدارة استخدام المسار (الإجراءات) عبر مشغلات متعددة، منها ما يأتي:

- *الطلبات اليدوية (من قبل المشغل)*: يمكن أن يقرر مشغلو قناة الرسائل المرورية ضرورة إجراء تفعيل أو تغييرات على نظام إدارة استخدام المسار؛ نتيجة الإنذارات أو التنبيهات الآلية الصادرة من النظام (أي الاكتشاف الخوارزميات دون استجابة آلية) أو مصادر أخرى لمعلومات عن ظروف الشبكة، مثل: المراقبة بكاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية، وردود الفعل الواردة من مستخدمي الطريق، وشركاء التشغيل (مثل: الشرطة وسائقي النقل العام وما إلى ذلك).
- *الطلبات الآلية (الخوارزمية)*: ينبغي تفعيل خوارزميات حد السرعة المتغير الآلية، وإلغاء تفعيلها عند استيفاء الحدود المحددة مسبقًا. ينبغي أن يكون النظام قابلًا للتهيئة؛ لتغيير تأثير الخوارزميات المختلفة حسب الوقت من اليوم واعتمادًا على ظروف المرور الحالية. ينبغي كذلك أن تكون عناصر التحكم القابلة للتعديل متوفرة لمنع التفعيل/إلغاء التفعيل عند الرغبة.
  - ينبغي أن تواصل الأنظمة المؤتمتة تقديم إخطارات منبثقة (اختيارية) لمشغلي قناة الرسائل المرورية؛ لإبلاغهم بأي إجراء تم اتخاذه.
- *خطط الاستجابة المحددة مسبقًا*: وضعت خطط الاستجابة المحددة مسبقًا في وضع عدم الاتصال وحفظها؛ بحيث يمكن تفعيلها عند الحاجة. على سبيل المثال: عند اقتضاء معالجة مجموعة محددة من حالة إغلاق مسار في موقع معين. يمكن أن تستند الخطط إلى الزمن أو تفعل يدويًا. يمكان أن تشتمل الخطط على استجابات نظام إدارة استخدام المسار لتغيير أولوية استخدام المسار أو فتح حركة مرور جزئيًا (سواء كان ذلك وفقًا لجدول زمني محدد أو استجابة للمواقف).
- *الطلبات شبه الآلية*: ينبغي أن يوفر النظام كذلك في سبيل دعم العمليات، خاصة في المراحل الأولى من إدخال وظيفة جديدة أو تدريب مشغل، الأوضاع الاختيارية الآتية:
  - وضع المعلومات فقط: يوفر هذا الوضع معلومات للمشغل بشأن الإجراء الذي يتخذه النظام عند اكتشاف حدث، لكنه لا ينفذ استجابة.
  - وضع مساعدة المشغل: يتطلب هذا الوضع شبه الآلي الموافقة على استجابات نظام إدارة استخدام المسار يدويًا أو تعديلها من قبل المشغل قبل التنفيذ، مما يقلل من المخاطر عند تكوين خوارزميات جديدة لأقسام الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة ، وعندما يكون معدل الاكتشاف والاستجابة الصحيحة مرتفعًا بدرجة كافية، مع انخفاض معدل الإنذار الكاذب بشكل مناسب، يمكن تحويل الخوارزمية إلى الوضع الآلي بالكامل.

هـ-٧-٥-٤ القواعد الأساسية والسياسية لنظام إدارة استخدام المسار:

في أثناء وقوع حادث، يعمل نظام التحكم على أتمتة إدارة المرور وفقًا لممارسات إدارة المرور ومبادئ التشغيل المصنفة كقواعد أساسية (لا يجوز كسرها) وقواعد السياسة (يمكن للمشغل تغييرها).

توجد أيضًا قواعد نظام (قواعد آلية) تسرع تنفيذ خطط نظام إدارة استخدام المسار، فمثلًا، يمكن أن يطلب النظام أن تكون أي سرعة غير افتراضية تظهر على نظام إدارة استخدام المسار مصحوبة بحلقة وامضة، وهذه القواعد تخفف العمل المطلوب من المشغل الاضطلاع به.

ينبغي أن تكون هذه القواعد والمبادئ متسقة عمومًا مع إرشادات هندسة المرور الواردة في المجلد الحالي من ممارسات وإرشادات موقع العمل، مثل كود الطرق السعودي ٦٠٢ (الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري)، وكود الطرق السعودي ٣٠٦ (تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة) وقواعد الطرق ومدونات قواعد ممارسة السلامة في مواقع العمل لإدارة المرور. إذا دُمِج

نظام إدارة استخدام المسار مع أنظمة التحكم الأخرى، ينبغي تحديث القواعد الأساسية والسياسية لضمان عدم وجود تعارض في القواعد بين كل نظام.

ه-٧-٥-٤-١ القواعد الأساسية:

ينبغي ترميز القواعد الأساسية في نظام التحكم؛ لتوفير أقفال متشابكة تمنع عرض مجموعات معينة من الرموز على اللافتات المجاورة عبر مسار واحد. تمنع هذه الأقفال المتشابكة عرض مجموعات الرموز الخطرة أو المتضاربة أو الغامضة منطقيًا.

ه-٧-٥-٤-٢ القواعد السياسية:

ينبغي دمج القواعد السياسية التشغيلية (يشار إليها أيضًا باسم قواعد التوصية) في النظام لدعم تطوير خطط إدارة المرور عند وقوع حادث أو حدث آخر في موقع محدد على الشبكة. وتتيح قواعد السياسة استجابة آلية للحادث أو الحدث يمكن للمشغل تنفيذه بسرعة.

يمكن أن تحل قواعد السياسة التشغيلية عمومًا محل متطلبات عدد كبير من خطط إدارة المرور المحددة مسبقًا لسيناريوهات مختلفة. في بعض ترتيبات المرور المعقدة أو حالات الطوارئ الكبرى، تقتضي إجراء بعض التعديلات على الخطط.

وقد تختلف القواعد السياسية بين حالة وأخرى. ولذلك ينبغي تحذير المشغل إذا كانت استجابة نظام إدارة استخدام المسار المطلوبة متعارضًا مع قاعدة سياسية. يمكن للمشغل بعد ذلك إما تعديل خطة الاستجابة للامتثال لهذه القواعد، أو تجاوز التحذير ومباشرة التنفيذ. يسجل النظام جميع القواعد السياسية.

ه-٧-٦ استخدام مسار الطوارئ في الطريق السريع/ الطريق شبه السريع الذكي:

تحظر قواعد سلامة الطرق عمومًا السير في مسار الطوارئ (أو كتف الطريق السريع/ الطريق شبه السريعة) إلا بسبب حادث (أي اصطدام أو عطل) أو إذا تُحكِّم فيه من خلال اللافتات وعلامات الخط على المسار. وتسمح القواعد بحظر استخدام مسار الطوارئ على المركبات إذا لم تكن مفتوحة للمرور؛ لكنها تسمح باستثناءات يستحسن فيها فتح الكتف إلى فئات محددة من المركبات.

ويمكن توفير سعة إضافية على طريق سريع/ الطريق شبه السريع دون الحاجة إلى إجراء علاجات توسعة مكثفة ومكلفة من خلال السماح للمرور العام باستخدام مسار الطوارئ. خلافًا لذلك، يمكن إنشاء مبانٍ جديدة دون مسار للطوارئ؛ لزيادة عدد المسارات الممكن إنشائها داخل ممر الطريق المتاح. وتدعم هذه الاستراتيجيات أهداف الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الذكية للاستفادة بشكل أفضل من البنية التحتية الحالية مع تعظيم قدرة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع والإنتاجية والكفاءة (معدل النقل).

يوجد عدد من التطبيقات المختلفة لاستخدام مسار الطوارئ، منها ما يأتي:

- للمرور العام (أي جميع أنواع المركبات) على أقسام معزولة بين المحولات لمعالجة مشكلات الازدحام المحلية.
- للمرور العام على أطوال ممتدة، كما من خلال المحولات؛ لموازنة السعة على طول الطريق.
- لتخزين صف الانتظار عند منحدرات الخروج- إذا لزم الأمر-؛ لمنع المركبات الواقفة في صفوف انتظار من التدفق على المسار الرئيس وخلق مشكلات تمس السلامة.
- لمركبات محددة (مثل مركبات الأجرة والحافلات)؛ للحد من تأخير رحلة المركبات ذات الأولوية خلال فترات الازدحام.

اعتمادًا على خصائص المرور، وانتشار أحجام المرور (الطلب) على مدار اليوم؛ فإنه يمكن أن تعمل مسار الطوارئ كمسار مرور بدوام جزئي خلال فترات الذروة أو على بدوام كامل (يُشار إليه عادةً باسم تشغيل جميع المسارات). عمومًا، تستخدم مسار الطوارئ الموجودة على الجانب الأيمن من الطريق.

ولا تحتوي الجسور والأنفاق الطويلة عادةً على مسار طوارئ نظرًا للقيود المادية وارتفاع تكلفة التزويد.

قد يتطلب عدم وجود مسار طوارئ على أساس دوام جزئي أو دائم اتخاذ تدابير مختلفة؛ لإدراجها في تصميم المشروع لإدارة سلامة الطرق، خاصةً في أثناء الحوادث، مثل، الترقيات الهندسية، مثل توفير أماكن توقف طوارئ، بالإضافة إلى تركيب أجهزة إدارة المرور المختلفة للتحكم في تدفقات المرور الرئيسة مثل نظام إدارة استخدام المسار (مثل حد السرعة المتغير).

عند السير في مسار الطوارئ، أو في قسم تشغيل جميع المسارات، ووقع حادث، يلزم إغلاق المسارات المتأثرة و/أو مسار الطوارئ لتمكين وصول الطوارئ وحماية ضحايا الحادث والمسعفين.

ه-٧-٧ واجهات طريق السريع/ طريق شبه سريع إلى طريق شرياني:

يناقش هذا الجزء الفرعي قضايا ومبادئ واستراتيجيات تحسين التشغيل في واجهات الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الشريانية/الذكية.

هـ-٧-٧-١ إدارة واجهات منحدر الدخول:

تعد القضية الأكثر إشكالية في مواقع منحدر الشرياني/الدخول هي الوقوف في صف الانتظار من المنحدر إلى الطريق الشرياني الذي يعيق المرور على طول الطريق الشرياني. يمكن أن ينتج عن تنفيذ ضبط المداخل إلى الطرق السريعة كجزء من نظام طريق سريع/ طريق شبه سريع ذكي بعضُ المنحدرات المقننة التي تلبي متطلبات المرور التي تزيد عن سعة التخزين المتاحة. لكن فيما يخص هذه المنحدرات، يمكن أن يكون اكتظاظ صف الانتظار على الطرق الشريانية المتصلة تداعيات كبيرة على شبكة الطرق الشريانية.

ويمكن أن يساعد ضبط المداخل إلى الطرق السريعة المنسق في التخفيف من مشكلة اكتظاظ صف الانتظار من خلال جعل قياس منبع ومصب المنحدرات أكثر تقييدًا، مما يسمح بالقياس الأقل تقييدًا على المنحدر المثقل في اتجاه المصب، مع ذلك، يمكن أن يذهب ضبط المداخل إلى الطرق السريعة المنسق بعيدًا لتخفيف المشكلة فقط. وبالتالي، عندما تتجاوز متطلبات المرور على منحدر تم قياسه سعة التخزين المتاحة له، يلزم زيادة معدل القياس على هذا المنحدر فوق الحد الأقصى المراد لتخفيف صف الانتظار والحد من العوائق على الطريق الشرياني. مع ذلك، يمكن تؤدي زيادة معدل تفريغ المركبات من منحدر الدخول إلى المسار الرئيس إلى الإضرار الشديد بأداء الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.

ينبغي أن تتضمن المعالجات البديلة ضبط تشغيل المرور الشريانية من المنبع لتكون بمثابة تخزين إضافي للمركبات المرتبطة بالطرق السريعة. تشمل العلاجات الداعمة تزويد سائقي المركبات بمعلومات التأخير؛ ليتسنى لهم العثور على طرق بديلة. إذا لم تكن المعالجات التشغيلية كافية؛ فإنه يلزم إجراء أعمال مدنية بسيطة لزيادة التخزين.

هـ-٧-٧-١ إدارة واجهات منحدر الخروج:

تعد القضية الأكثر إشكالية في مواقع منحدر الخروج/الطرق الشريانية هي صفوف الانتظار الطويلة التي تتشكل على منحدر الخروج عندما لا تفتح الإشارة الخضراء مدة كافية عند تقاطع الطريق الشرياني المجاور؛ لتمكين هذه المركبات بالخروج من المنحدر. عندما تتراكم صفوف انتظار منحدرات الخروج بحيث تتسع رقعتها نحو الطريق السريع/ الطريق شبه السريع ، فإنها تغلق المسار الأيمن للطريق السريع/ الطريق شبه السريع أمام المرور التي تتجاوز منحدر الخروج، بصرف النظر عن التسبب في تأخيرات طويلة لهذه المركبات الخارجة.

وحتى قبل اتساع رقعة صف الانتظار؛ فإن لصفوف الانتظار الطويلة على منحدر الخروج تأثيرًا يسفر عن تضييق مساحة التوقف المتاحة على المنحدر، مما يعني أن المركبات الخارجة ينبغي أن تبدأ في تخفيض سرعاتها عند الاقتراب من منحدر الخروج في المسار الأيمن من المسار الرئيس. يؤدي هذا التباطؤ في خروج المركبات من المسار الأيمن إلى إعاقة المركبات الأخرى في هذا المسار المجتازة لمنحدر الخروج ويزيد من احتمالية وقوع حوادث من الخلف.

تتحرك العديد من المركبات إلى المسار الأيمن عند الاقتراب من المنحدر للخروج من الطريق السريع/ الطريق شبه السريع. في الوقت نفسه، تتحرك المركبات الأخرى التي تتجاوز منحدر الخروج من المسار الأيمن تجنبًا للتباطؤ، وهو ما يزيد من تعطيل تدفق المرور ومن ثم اضطراب التدفقات المرورية وخطر وقوع حادث على الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.

يمكن تطبيق مجموعة معالجات متنوعة تتضمن زيادة سعة تخزين صف انتظار المنحدر، مثل استخدام مسارات الطوارئ. وتشمل الأساليب الأخرى زيادة سعة التفريغ لمنحدر الخروج، إما من خلال الأعمال المدنية الصغيرة، أو من خلال ضبط إشارات المرور لتحديد أولويات حركات منحدرات الخروج.

هـ-٧-٧-٢ إدارة واجهات نهاية الطريق السريع:

فيما يتعلق بالطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة التي تنتهي على طرق شريانية، لا تعمل استراتيجيات التحكم عادةً إلا على تخفيف الازدحام الناتج. ينطبق هذا بشكل خاص على الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة الشعاعية التي تغذي المناطق الحضرية الداخلية؛ بحيث تكون نهايتها هي المخرج الأساسي للمرور الداخل إلى منطقة الأعمال المركزية. ولا بد أن يكون لهذه الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة -قطعًا- تدفقات خروج كبيرة تنتقل إلى شبكة شريانية حضرية داخلية مزدحمة جدًا.

ثمة قاعدة عامة مفادها أنه ينبغي عدم تصميم الطرق السريعة/ الطرق شبه السريعة التي تخدم المناطق الحضرية الداخلية منتهية داخل مناطق الأعمال المركزية، بل تمر عبرها؛ بحيث توفر منحدرات خروج متعددة على طول الطريق. أما من الناحية المثالية، فينبغي أن تبدأ وتنتهي في المناطق الحضرية أو الريفية الخارجية، على الجانبين المتقابلين من المدينة؛ بحيث يمكن أن تكون بمثابة مسارات رئيسة عبر المدينة.

ولاستيعاب التدفقات المرورية الكبيرة القادمة من الطريق السريع/ الطرق شبه السريعة ، ينبغي أن تتباعد نهاية الطريق السريع/ الطريق شبه السريع إلى طريقين شريانيين أو أكثر؛ لتفريق المرور بسرعة عبر الشبكة الشريانية. ولهذا أهمية خاصة عندما يصاحب الانتقال من الطرق السريعة إلى الطرق الرئيسة انخفاضًا في عدد المسارات. علاوة على ذلك، ينبغي أن تعطي أطوار الإشارة عند تقاطعات نهاية الطرق السريعة الأفضلية دائمًا لحركة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع الخارجة.

٣-٧-٧-هـ إدارة واجهات الطريق السريع/ الطريق شبه السريع إلى الطريق السريع:

تظهر مشكلات واجهة الطريق السريع/ الطريق شبه السريع إلى الطريق السريع/ الطريق شبه السريع بشكلٍ شائع فيما يتعلق بالمنحدرات من طريق سريع/ طريق شبه سريع غير متحكم به إلى طريق سريع/ طريق شبه سريع ذكي متروك بدون قياس. في بعض الحالات، يستند قرار عدم تثبيت إشارات المنحدرات إلى تصور مفاده أنه ينبغي ألا يتوقف سائقو المركبات عند الانتقال من طريق سريع/ طريق شبه سريع إلى آخر. وهذا رغم أن المنحدر المعني يدخل الطريق السريع/ طريق شبه سريع الذكي داخل ممر تحكمه إشارات منسقة على جميع منحدرات الدخول الأخرى. يستطيع المنحدر غير المقيد، في فترات الذروة، إدخال كميات كبيرة من المرور غير المحكوم على الطريق السريع الذكي، وهو ما يضر بشدة بمستوى التحكم المطلوب لتحسين أداء الطريق السريع/ الطريق شبه السريع.

وينجم عن وجود مقدار كبير من المرور غير المحكومة المنتقلة من طريق سريع/ طريق شبه سريع إلى آخر -دائمًا- عرقلة التدفقات المرورية عند الالتحام حيث يكون الطلب أكبر من السعة. وهذه هي المشكلة ذاتها أساسًا التي تحدث داخل مناطق التحام الطريق السريع/ الطريق شبه السريع مع منحدرات دخول غير مُدارة من طرق شريانية، ولكن غالبًا ما يكون حجم المشكلة أكبر بكثير في عمليات التحام المنحدرات في واجهات الطريق السريع إلى الطريق السريع.

ويمكن أن يؤدي تطبيق إشارات المنحدرات على منحدر طريق سريع/ طريق شبه سريع إلى طريق سريع/ طريق شبه السريع، يدخل طريقًا سريعًا/ طريق شبه سريع ذكيًا إلى زيادة مستوى التحكم الذي يمكن تحقيقه على الطريق السريع/ الطريق شبه السريع الذكي بشدة. وعندما تحدث عرقلة للتدفقات المرورية على منحدر واجهات الطريق السريع/ الطريق شبه السريع إلى الطريق السريع/ الطريق شبه السريع ، تضطر المركبات التي تستخدم المنحدر إلى إبطاء سرعتها أو التوقف تمامًا. ويمكن لإشارات المنحدرات تحسين عملية الالتحام بحيث لا تضطر المركبات التي تقف في صف انتظار على المنحدر إلى التوقف تمامًا. والتقدم، بدلًا من ذلك، ببطء على طول المنحدر في صف انتظار متدحرج. ويمكن أن يتحسن التقدم على طول المنحدر خلال فترات الذروة عند تطبيق إشارات المنحدر.

و- الملحق و - أجهزة وأنظمة التحكم في وقوف المركبات:

و-١مقدمة:

تنقسم التقنيات المذكورة أدناه لإدارة وقوف المركبات في الشوارع وخارجها إلى أربع فئات رئيسة:

١- أنظمة التحكم في وقوف المركبات.
٢- أنظمة توجيه وقوف المركبات.
٣- الامتثال - تقنيات الإنفاذ.
٤- أنظمة المعلومات.

يقدم هذا الجزء وصفًا للميزات الأساسية لكل تقنية كما يسوق أمثلة على مكان تثبيتها حاليًا.

و-٢أنظمة التحكم في وقوف المركبات:

و-٢-١ أنظمة دفع الرسوم:

تشمل أنظمة التحكم في وقوف المركبات أنظمة وأجهزة متنوعة مثل: آلات التذاكر وأنظمة (الدفع والعرض) و(الدفع بالمساحة) وأنظمة (الدفع باللوحة) والأنظمة الهاتفية الافتراضية (التطبيقات) والعدادات الإلكترونية ذات المساحة الفردية وما إلى ذلك.

تشمل طرق التحكم شائعة الاستخدام لمرافق وقوف المركبات خارج الشارع آلات البيع (مثل: الدفع والعرض) أو حصول السائقين على تذكرة عند الدخول إلى ساحة وقوف المركبات ثم الدفع إما:

- عند الخروج/ في أثناء مغادرة ساحة وقوف المركبات.
- في آلة دفع رسوم مركزية، مترجلين على الأقدام قبل مغادرة ساحة وقوف المركبات (والحصول على رمز للسماح بالخروج من ساحة وقوف المركبات).

تتطلب هذه الأنظمة تطبيق آليات تحكم للدخول والخروج.

و-٢-٢ عناصر تحكم الدخول والخروج:

تشمل أنظمة تحكم الدخول والخروج في مواقف المركبات ما يأتي:

- **حاجز عمود الرفع**: يستخدم عمومًا عنما يلزم وجود نوع من التحكم في مرافق وقوف المركبات بعيدًا عن الشارع. وعادةً ما يقترن بأنظمة دفع رسوم.
- **أعمدة الإشارة الضوئية**: يمكن استخدامها عندما يقوم مستخدم مصرح له برفعها أو إنزالها؛ للسماح بالدخول إلى ساحة وقوف المركبات والتحكم فيها.

و-٣أنظمة توجيه وقوف المركبات:

تنطوي هذه الأنظمة على غرض مزدوج. أولًا: توفر البيانات لأجهزة معلومات وقوف المركبات مثل التطبيقات أو لافتات الرسائل المتغيرة التي توفر معلومات عن وقوف المركبات أو تحديد الطريق. ثانيًا: يمكن استخدام البيانات لأغراض الإنفاذ لتحديد ما إذا كانت المركبة متوقفة في مكان معين ومدة هذا التوقف. بهذه الطريقة، تهدف أنظمة توجيه وقوف المركبات إلى المساعدة على الحد من الازدحام وتحسين الإدارة الفعالة لمواقف المركبات. ويرد في الجدول الآتي أنواع أنظمة توجيه وقوف المركبات.

الجدول (و–١) أنظمة توجيه مواقف المركبات (المصدر: Austroads, 2020e).

المستشعرات الأرضية.	مستشعرات أماكن وقوف المركبات على الأرض والمعروفة أيضًا باسم "أنظمة استشعار إشغال أماكن وقوف المركبات" هي: أجهزة مدمجة تحت الأرض تكشف عن وجود مركبة في منطقة معينة أم لا. وهي تسجل وقت وصول المركبة ومغادرتها، ونقل هذه البيانات إلى خادم مركزي يجمع البيانات، ويعيد توجيهها إلى نظام توجيه وقوف المركبات أو أي جهاز آخر. وغالبًا ما تدمج مع الأجهزة المحمولة يدويًا لإبلاغ موظفي الامتثال بالمكان الذي تجاوزت فيه المركبات مدة المكوث.

توجيه مواقف المركبات.	يمكن أن تتخذ إرشادات وقوف المركبات عدة أشكال، ولكن المصطلح يشير إلى اللافتات والمعلومات التي تساعد السائقين في العثور على مواقف المركبات المتاحة وإبلاغهم بتوافر الأماكن الشاغرة. ويمكن أن تختلف إرشادات وقوف المركبات من سهم اتجاهي بسيط إلى لافتة تحتوي على معلومات في الوقت الحقيقي حول توفر ساحات انتظار إلى توفير البيانات على تطبيق أو جهاز داخل المركبة.
لافتات الرسائل المتغيرة.	يمكن استخدام لافتات الرسائل المتغيرة لأغراض متعددة مثل: التوجيه اليومي لمواقف المركبات أو إدارة أحداث خاصة. وهي تستطيع عرض الأرقام، وكذلك رسائل متعددة في جمل قصيرة على شرائح مختلفة.
أنظمة عد الساحات.	يستخدم عد ساحات الشارع مستشعرات في الأرض؛ لتوفير معلومات الاستيعاب/الفراغ في الوقت الحقيقي وإرشادات للسائقين قبل دخول ساحة أو أماكن وقوف المركبات. كما أنها تحسن استخدام مواقف المركبات وتوجه السائقين نحو ساحة فارغة قبل وصولهم إلى وجهتهم. وهذا يقلص المنافسة على الساحات والاصطفاف والازدحام المصاحب لذلك.
تطبيقات وقوف المركبات.	توفر التطبيقات معلومات في الوقت الحقيقي عن توفر أماكن انتظار للمركبات ومعلومات أخرى مثل: مقدار الرسوم وساعات العمل. ولتوفير خدمة ممتازة لجميع السائقين الراغبين في الحصول على مكان انتظار وسط المدينة، ينبغي على المدينة أن تدمج توافر جميع مواقف المركبات العامة في وسط المدينة ضمن تطبيق مواقف المركبات بالمدينة. وهذا يتطلب التفاوض مع مقدمي الخدمات المحتملين الآخرين.

و-٤ أنظمة الامتثال للتنفيذ:

يقدم هذا الجزء التقنيات التي يمكن استخدامها لتحسين مستوى الامتثال والحد من تكاليف المراقبة والإنفاذ في جميع ساحات وقوف المركبات.

و-٤-١ الأجهزة المحمولة:

تساعد الأجهزة المحمولة مسؤولي الإنفاذ على مراقبة امتثال مواقف المركبات للوائح والقيود في كل ساحة انتظار. وتتمتع هذه الأجهزة بقدرتها على إصدار المخالفة وطباعتها، والتقاط صورة للمركبات المخالفة، وتسجيل محادثة مع السائق والتحقق مرة أخرى من البيانات الأساسية لسجل مخالفات المركبة.

و-٤-٢ أنظمة كاميرا الهواتف المحمولة فقط:

تتكون هذه الأنظمة من كاميرا تسجل أرقام تسجيل المركبات ومثبتة على مركبات تسير على طول الشوارع تسجل تاريخ توقف المركبات المتوقفة ووقته. وتُعرف أيضًا باسم قارئ لوحة التسجيل الآلي وتستخدم كثيرًا للإنفاذ.

يؤدي التعرف على لوحة التسجيل دورًا مهمًا في استشعار الإشغال والامتثال. وتعتمد البرامج على البيانات وتستخدم بيانات الإشغال؛ لتحديد الأسعار في الأحياء المختلفة لتسجيل انعطاف مواقف المركبات، وتمرير المعلومات المتعلقة بالمخالفين إلى مسؤولي وقوف المركبات والمعلومات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن نقل بيانات الإشغال إلى واجهات مواقع الويب وتطبيقات الهواتف الذكية للمستخدمين النهائيين للاطلاع عليها.

و-٤-٣ أنظمة كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية الثابتة:

يمكن استخدام كاميرات تصوير مرتبطة بشبكة تلفزة دائرية الثابتة ليس فقط للأغراض الأمنية، ولكن لمراقبة الاستخدام غير القانوني للمناطق المحظورة تحديدًا مثل: مسارات الحافلات ومركبات الأجرة ومناطق التحميل.

وتعمل هذه الكاميرات على تحسين الامتثال من خلال تقديم دليل على الاستخدام غير المصرح به خلافًا للافتات القائمة. إذًا فهي جهاز أمان ومراقبة غير مكلف وموثوق.

و-٥ أنظمة المعلومات:

يتمثل التحدي الأكبر في تنفيذ تقنية جديدة لوقوف المركبات في تكامل الأنظمة المختلفة؛ نظرًا للتنوع الهائل لمنصات الأجهزة والبرامج التي تستخدمها الشركات المصنعة المختلفة. وتتضمن التقنية المتاحة العديد من المستشعرات المختلفة للأجهزة، وأنظمة الرسائل الديناميكية، وأجهزة التحكم المروري، وأنظمة الاتصالات اللاسلكية، وخوادم أجهزة الحاسب، وبرامج تشغيل الأجهزة، وواجهات التطبيقات. إضافةً إلى ذلك، يستخدم العملاء العديد من الأجهزة المختلفة مثل أجهزة مرسل الإشارة الخاصة بعلامة وقوف المركبات، ولوحات الترخيص (بعضها يمكن قراءته آليًا)، والهواتف الذكية المحمولة، وأنظمة معلوماتية بُعدية مدمجة. ويُعد توصيل

كل هذه الأجهزة من العديد من الموردين وربطها معًا في نظام أساسي واحد هو التحدي الأكبر أمام خفض تكلفة وتعقيد إدارة مواقف المركبات. وتجدر الإشارة إلى أهمية ضمان توفر المستوى المطلوب من التكامل بين مختلف عناصر الأجهزة والبرامج وخاصة إعداد التقارير في كل نوع من أنواع التقنية.

ز- الملحق ز- مسرد المصطلحات:

"ليزر - تقنية تُستخدم لقياس سرعات المركبات. راجع تأثير دوبلر".

(استشعار) حثّي - استشعار مستخدم طريق الذي يرسله جهاز استشعار إلى وحدة التحكم.

(مرفق) ذو مشغولية ركاب مرتفعة ورسوم – مرفق مفتوح أمام كل من المركبات ذات الإشغال المرتفع والسائقين المستعدين لدفع رسوم السير على المرفق.

اتجاه المقصد - ١. اتجاه تدفق حركة المرور. عمومًا، هو جانب تفريغ التقاطع ٢. مصطلح يشير إلى موقع تواجهه حركة المرور عقب مغادرتها لموقع في جهة المنبع حيث تتدفق في اتجاه (من المنبع إلى المقصد). على سبيل المثال: (نهاية اتجاه المقصد لخط مسار مروري يفصل المسار الذي ينعطف عن المسار المستمر للأمام في مدخل تقاطع) هي نهاية خط المسار الأقرب للتقاطع.

اتجاه المنبع - ١. الاتجاه الذي تتدفق منه حركة المرور. ٢. مصطلح يشير إلى موقع تواجهه حركة المرور قبل موقع في جهة المقصد حيث تتدفق في اتجاه (من المنبع إلى المقصد). على سبيل المثال: (نهاية اتجاه المنبع لخط مسار مروري يفصل المسار الذي ينعطف عن المسار المستمر للأمام في مدخل تقاطع) هي نهاية خط المسار الأبعد عن التقاطع .

اتجاه مقصد المرور – ١. اتجاه تدفق المرور. ويقصد به عمومًا، جانب التفريغ من التقاطع. ٢. مصطلح يشير إلى الموقع الذي يصادفه المرور بعد موقع المنبع حيث يتدفق في اتجاه "من المنبع إلى المقصد". على سبيل المثال: "نهاية مقصد المرور لخط المسار الذي يفصل مسار الانعطاف من مسار المرور العابر عند مدخل التقاطع" هي نهاية خط المسار الأقرب إلى التقاطع.

اتصال لاسلكي خاص بالعامة – يُعرف أيضًا باسم راديو موجة المواطنين .(CB) نظام اتصالات صوتية لاسلكي قصير المدى يَستخدمه الأفراد بشكل رئيس في المركبات والمنازل والمكاتب والمواقع الأخرى التي لا تتوفر فيها خدمة الهاتف اللاسلكي.

اتصال مركبة بالبنية التحتية - تقنية اتصال تتيح التبادل اللاسلكي للمعلومات بشأن السلامة أو التنقل أو الظروف المتعلقة بالبيئة بين المركبات ومكونات البنية التحتية للطرق، مثل: أجهزة القراءة والكاميرات العلوية التي تدعم تقنية تحديد الهوية باستخدام موجات الراديو (RFID) وإشارات المرور والخطوط الأرضية للمسارات وأنوار الشوارع ولافتات الطرق وعدّادات مواقف السيارات .

اتصال مركبة بكل الأشياء - نظام اتصال خاص بالمركبة يتيح تبادل المعلومات لاسلكيًا بين المركبة وأي كيان قد يؤثر في المركبة أو قد يتأثر بها. ويتضمن أنواعًا أخرى أكثر تحديدًا من الاتصالات مثل V2I (من المركبة إلى البنية التحتية) و V2N(من المركبة إلى الشبكة) و V2V(من المركبة إلى المركبة) و V2P(من المركبة إلى المشاة) و V2D(من المركبة إلى الجهاز). والغرض منه هو تحسين السلامة على الطرق وتوفير الطاقة وكفاءة حركة المرور على الطرق.

اتصال مركبة بمركبة - تقنية اتصال تتيح التبادل اللاسلكي للمعلومات إزاء سرعة المركبات المحيطة وموقعها. والغرض منها هو تحسين السلامة على الطرق وتجنب الاصطدامات وتخفيف الازدحام المروري، فضلًا عن تحسين البيئة.

أجهزة كشف مخالفات مرورية –كاميرا إنفاذ القوانين المرورية (مثل كاميرا الضوء الأحمر) التي يمكن تركيبها بجانب الطريق أو فوقه لكشف مخالفات السير (مثل المركبات التي تواصل السير عندما تكون إشارة المرور باللون الأحمر).

اختيار وسيلة النقل - اختيار بشأن استخدام أشكال مختلفة من وسائل النقل المرتبطة بخصائص الأفراد أو الأعمال التجارية أو الوحدات السكنية ومعلمات الانتقال لوسائل النقل المُتنافسة.

أداة قياس المسافة - أداة تسجل بدقة المسافات وإحداثيات المسح في أثناء قيادة الشخص.

الإدارة الاتحادية للطرق - هيئة داخل وزارة النقل الأمريكية تدعم حكومات الولايات والحكومات المحلية في تصميم وإنشاء وصيانة نظام الطرق القومية (برنامج مساعدات الطرق الاتحادية) ومختلف الأراضي المملوكة للحكومة الاتحادية والسكان الأصليين .

إدارة الأحداث - تعمل على إدارة الأحداث غير المتوقعة؛ لتقليل التأثير على شبكة النقل وسلامة المتنقلين إلى أدنى حد. وتتضمن إمكانات استشعار وقوع الأحداث عبر أجهزة مراقبة الطرق والاستجابة للأحداث من خلال التنسيق مع دوريات خدمة الطرق السريعة وجهات الاستجابة للطوارئ.

إدارة الطرق السريعة - تعمل على التحكم بالمرور وتوجيهه وتحذيره بهدف تحسين تدفق حركة الناس والبضائع في الطرق السريعة محدودة الوصول. ومن الأمثلة على إدارة الطرق السريعة تكامل معلومات المراقبة مع هندسة الطريق السريع (الجيومترية)، والتحكم في المركبات، مثل تنظيم دخولها عند مداخل الطرق، ولافتات الرسائل الديناميكية.

إدارة الطرق الشريانية – تُطبق أدوات التخطيط الوطنية والمحلية، ورأس المال، والأدوات التنظيمية والإدارية لتحسين وظائف النقل الخاصة بالطرق الشريانية، و/أو الحفاظ عليها عن طريق استخدام أجهزة المراقبة وخوارزميات الإشارات المتقدمة والتنسيق.

إدارة الطلب - التدخل النشط في السوق للتأثير في الطلب على الخدمات والأصول المتولدة و/أو المستخدمة في توريد هذه الخدمات من أجل مطابقة الموارد المتوفرة مع الاحتياجات الفعلية على أفضل وجه، وضمان تقديم الخدمات المقدمة بأفضل قيمة مقابل المال.

إدارة الطوارئ – تمثل أنظمة السلامة العامة وأنظمة الجهات الأخرى التي تدعم الاستجابة المنسقة للطوارئ، بما في ذلك الشرطة ، والإطفاء ، والخدمات الطبية الطارئة، وفرق الاستجابة للمواد الخطرة (HazMat) ، ومقدمي خدمات الإنقاذ، وخدمات الأمن/المراقبة التي تعمل على تحسين أمن المتنقلين في المناطق العامة.

إدارة المرور المتقدمة - مجموعة متنوعة من الاستراتيجيات لإدارة المرور على نحو أكثر فعالية في المرافق القائمة، مثل: المسارات المُدارة وأنظمة النقل الذكية .

إدراك المستخدم - مفهوم كيفية تجربة التشغيل المروري من قِبل سائق، أو مترجِّل، أو راكب دراجة، أو راكب نقل عام.

ادفع-و-اعرض (ماكينات تذاكر المواقف) - ماكينات قائمة بذاتها تُستخدم عادةً في الشارع، أو في مواقف السيارات الكبيرة؛ حيث يوقف السائقون سياراتهم ويمشون إلى أقرب ماكينة لاختيار مدة الوقوف التي يحتاجون إليها وسداد رسومها. وتصدر الماكينة تذكرة تحمل وقت الشراء وتاريخه وكذلك مدة الصلاحية وتاريخ انتهائها.

إركاب (عملاء) - عدد من يقومون برحلات في اتجاه واحد على نظام نقل عام في فترة زمنية معينة.

إزاحة - العلاقة الزمنية بين الطور/ الأطوار المنسقة استنادًا إلى النقطة المرجعية للإزاحة والمرجع الرئيس المحدد (أي الساعة الرئيسة أو نبض المزامنة).

استدعاء (أو استدعاء طور) - استدعاء يُجرَى لطور محدد في كل مرة تخدم فيها وحدة التحكم طورًا متعارضًا. وهذا يضمن أن الطور المحدد سيُخدم مرة أخرى.

استشعار التراجع - استشعار مخصص يقع في اتجاه المنبع من شريط التوقف. ويمكّن من إنهاء الأطوار بصورة أكثر كفاءة، ويُستخدم لحماية منطقة اتخاذ القرارات. وفي حالة عدم وجود استشعار شريط التوقف، سيستخدم استشعار التراجع وضع الذاكرة المقفلة. راجع أيضًا جهاز الاستشعار.

استطلاعات التفضيل المعلن - (SP) تساعد استطلاعات التفضيل المعلن في التحديد الكمي لكيف قد يكون سلوك الأشخاص في موقف جديد عن طريق عرض "بعض التجارب" عليهم. في هذه التجارب، يُطلب من المستجيبين الاختيار بين سياسات أو منتجات أو خدمات مختلفة تتسم بخصائص مرغوبة وأخرى غير مرغوبة. وعند القيام بذلك، يكشفون بشكل غير مباشر عن الأجزاء الأكثر أهمية بالنسبة لهم. تُستخدم استطلاعات التفضيل المعلن على نطاق واسع في النقل لفهم الكيفية التي سيقايض بها الأشخاص المال للحصول على شيء ما ملموس بدرجة أقل، مثل: توفير الوقت أو الموثوقية. كذلك، يمكن أن تكشف هذه الاستطلاعات كيف ستعمل التغييرات في البنية التحتية أو الخدمات على تغيير سلوك التنقل .

إشارة وامضة للمشاة "لا تعبر" - إشارة تحذر المشاة من انتهاء إشارة "اعبر" وبأن إشارة "لا تعبر" قد بدأت. ويمكن أن تكون فترة الإخلاء للمشاة أطول من فترة إشارة المرور الوامضة "لا تعبر"، حيث يمكن أن تشمل أوقات إشارة التغيير الصفراء وإشارة الإخلاء الحمراء.

الإشغال - الوقت الذي تقضيه المركبة فوق مستشعر طريق معبّرًا عنه بوحدة ثانية/مركبة أو كنسبة مئوية. يمكن استخدام الإشغال مع طول المركبة المفترض أو المعروف لاستنتاج سرعة المركبة. كما يمكن أن يشير الإشغال إلى عدد الأشخاص لكل مركبة كمقياس للإنتاجية.

أطوار الانعطاف لليسار السابقة- والمتأخرة - تسلسل الانعطاف لليسار؛ حيث تبدأ حركة من حركات الانعطاف لليسار مع الحركة المجاورة المستقيمة، وكذلك تبدأ حركة الانعطاف لليسار المقابلة في نهاية الحركة المستقيمة المتعارضة.

أطوار متزامنة - عبارة عن طورين أو أكثر في حلقات منفصلة قادرة على العمل معًا بدون حدوث أي حركات متعارضة.

أقصى مدة لعرض إشارة المرور الخضراء - الحد الأقصى للمدة التي يمكن أن يكون فيها الطور باللون الأخضر في وجود استدعاء متضارب.

امتداد الوقت الفعال للإشارة الخضراء - الجزء الأولي من الفاصل الزمني لتغير إشارة المرور إلى اللون الأصفر الذي تتقدم فيه مجموعة من حركات المرور بشكلٍ فعال بمعدل تدفق التشبع. وتُقاس بالثواني.

إنتاجية (تدفق الركاب / المركبات) – عدد الأشخاص أو المركبات التي تجتاز نقطة في مرفق نقل خلال فترة زمنية معينة.

إنترنت كل الأشياء – إنترنت كل الأشياء عبارة عن مصطلح فضفاض يشير إلى الأجهزة والمنتجات الاستهلاكية ذات الصلة بالإنترنت، والمجهزة بميزات رقمية موسعة. وهو فلسفة يتكون فيها مستقبل التكنولوجيا من خلال العديد من الأنواع المختلفة من المعدات والأجهزة والعناصر المتصلة بالإنترنت العالمي.

انتهاء الوقت - وقت إمكانية المرور انتهى في المؤقت (انتهت المهلة).

أنظمة قائمة على الهواتف الافتراضية (تطبيقات) - - تُعرف الأنظمة القائمة على الهواتف الافتراضية كذلك باسم (أنظمة من دون تذاكر). وهي عملية دفع عن طريق الهاتف الجوال يمكن إضافتها إلى العديد من أنظمة تسعير مواقف السيارات الإلكترونية؛ إذ يعمل الهاتف الجوال بوصفه عدّادًا يسجل وقت البدء، ويحسب مدة الإقامة وفقًا للمبلغ المسدد. كما تتيح التطبيقات القائمة على الهاتف الجوال للسائقين زيادة مبالغهم المدفوعة؛ لتمديد مدة البقاء وهو أمر مفيد تحسبًا للمواقف المفاجئة أو غير المتوقعة؛ إذ يحتاج السائقون إلى مزيد من الوقت لوقوف السيارات. ولن يُسمح بذلك إلا في حالة عدم تجاوز الزيادة لأي قيود زمنية. ويمكن للنظام تنبيه السائقين بانتهاء مدة وقوف السيارات الخاصة بهم عن طريق مكالمة هاتفية، أو رسالة نصية قصيرة.

أنظمة مساعدة السائق متقدمة - أنظمة مصممة لمساعدة السائقين على مهمة القيادة، مثل أنظمة الملاحة داخل المركبة، وأنظمة التحذير من التصادم.

أنظمة نقل ذكية - تشمل تطبيق التقنيات المتقدمة والناشئة في مجالات مثل مجالات تقنية المعلومات، والاتصالات، والتحكم، والإلكترونيات لتلبية احتياجات النقل البري.

أنظمة نقل ذكية تعاونية - منصة يمكن تطبيقها على المركبات والبنية التحتية على جوانب الطريق؛ لإتاحة اتصال مباشر ثنائي الاتجاه. وتتضمن اتصال المركبة بالمركبة واتصال المركبة بالبنية التحتية.

انعطاف محمي - حركات انعطاف يخدمها طور حصري يشير إليه مؤشر إشارة المرور بسهم أخضر. ولا يلزم المركبات المنعطفة اتباع حركة المركبات الأخرى ولكن يمكن أن يكون عليها الانتباه للمشاة.

أهداف - بيانات محددة قابلة للقياس مرتبطة بتحقيق الغايات.

أولوية (إشارة) - جهاز آلي أو يدوي؛ لتغيير أطوار إشارات المرور العادية، أو تسلسل إشارة مرور؛ لتقديم خدمة تفضيلية لأنواع معينة من المركبات كالحافلات أو القطارات.

أولوية إشارة مركبات النقل العام – مجموعة من الأدوات التي تعدل توقيت إشارة المرور، أو أطوارها عندما تكون مركبات النقل العام موجودة إما بشكل مشروط عندما تكون المركبة متأخرة، أو غير المشروط لجميع مركبات النقل العام الواصلة. ويتمثل الغرض منها في تقليل أوقات الرحلات من خلال تجنب الحاجة إلى التوقف ثم بدء التحرك عند التقاطعات المزودة بإشارات مرورية.

إيقاف إجباري - نقطة داخل دائرة يجب أن ينتهي فيها طور التشغيل بغض النظر عن استمرار الطلب. وتضمن هذه النقاط الموجودة في الدائرة المنسقة بدء الطور المنسق في وقت يكفي الحفاظ على نقطة الإزاحة المخصصة. ومع ذلك، لا يمكن أن تتجاوز حالات الإيقاف الإجباري أوقات الإخلاء.

إيقاف إجباري ثابت - أسلوب إدارة منقسمة يُستخدم مع العمليات المنسقة التي لا يمكن فيها تحرك نقاط الإيقاف الإجباري. وفي إطار هذا الأسلوب، يمكن للأطوار غير المنسقة استخدام الوقت غير المستخدم في الأطوار السابقة. راجع أيضًا "الإيقاف الإجباري."

البرنامج الوطني التعاوني لأبحاث الطرق - (NCHRP) برنامج وطني للأبحاث يُنفذ من خلال الجهود التعاونية لإدارة الطرق الاتحادية (FHWA) والأكاديمية الوطنية للعلوم والهندسة والطب (NASEM) والجمعية الأمريكية لموظفي الطرق والنقل (AASHTO).

برنامج ثابت - برنامج مدمج في وحدة التحكم بإشارات المرور، ويعمل على تشغيل نظام إشارات المرور. ويمكن أن تختلف الميزات حسب إصدار البرنامج الثابت.

بضائع - أي سلعة منقولة.

بلوغ الحد الأقصى - تم الوصول إلى الحد الأقصى الأخضر.

بيانات تعريف - مجموعة من البيانات التي تصف معلومات محددة عن البيانات الأخرى وتوفرها. ويعد القائم على تأليف البيانات والتاريخ المنشأ والتاريخ المعدَّل وحجم الملف أمثلة على بيانات التعريف الأساسية لغاية الوثيقة. وفي ملفات معالجة الكلمات، يمكن رؤية بيانات التعريف الأساسية هذه عادةً تحت (خصائص الملفات). كما تُنشَأ بعض أنواع البيانات التعريفية تلقائيًا عن طريق البرنامج، ويمكن إضافة أنواع أخرى إلى الملفات حسب الحاجة أو الرغبة. وإجمالًا، تسهل الأنواع المختلفة من بيانات التعريف العثور على الموارد الرقمية وتنظيمها وتحديدها واستخدامها وأرشفتها وحفظها.

بيانات فحص - البيانات التي تُنتجها المركبات بشأن موقعها وحركتها وطابعها الزمني الحالي. ويمكن للسيارة أن تُنتج بيانات الفحص من خلال أجهزة مدمجة فيها، أو من خلال أجهزة متنقلة توضع في المركبات.

بيانات كبيرة – البيانات التي لا تستطيع أنظمة إدارة البيانات التقليدية إدارتها بسبب حجمها ودرجة تعقيدها .

بيانات مفتوحة - البيانات المفتوحة هي بيانات يمكن استخدامها وإعادة استخدامها وإعادة توزيعها بحرية، رهنًا فقط وعلى الأغلب بمتطلبات الإسناد والمشاركة معًا.

تأثير دوبلر - المبدأ الفيزيائي الذي تقوم عليه قياسات السرعة باستخدام رادار أو مسدس ليزر. تُستنتَج السرعة عن طريق قياس انزياح التردد لموجة ليزر / رادار عالية التردد في أثناء انعكاسها من سيارة تقترب أو تتراجع.

تأخير - وقت الرحلة الإضافي الذي يستغرقه السائق أو الراكب أو راكب الدراجة الهوائية أو المشاة زيادة على الوقت اللازم للتنقل بالسرعة المطلوبة.

تأخير التحكم – تأخير يحدث بسبب وجود جهاز تحكم في حركة المرور، ويتضمن التأخير المصاحب لبطء المركبات في بداية التقاطع، والوقت المستهلك عند التوقف في مدخل التقاطع، والوقت المستهلك في أثناء تحرك السيارات في خط الانتظار، والوقت الذي تحتاج إليه المركبات للتسارع حتى الوصول إلى السرعة المرغوب فيها.

تأخير المسار – تأخير التحكم في مجموعة مسارات معينة.

تأخير زمن الانتقال - الفرق بين وقت الرحلة الفعلي المطلوب لاجتياز جزء من شارع أو طريق ووقت الرحلة الذي سيُعرَف بافتراض أن المركبة تجتاز قسم الدراسة بمتوسط سرعة يساوي السرعة أثناء تدفق المرور غير المزدحم في القسم قيد الدراسة. ويشمل تأخير التسارع والتباطؤ بالإضافة إلى التأخير بسبب الوقوف.

تأخير هندسي - مدة الرحلة الإضافية الناتج عن ميزات هندسية تجعل السائقين يقللون من السرعة (على سبيل المثال: تأخير يحدث عندما يوجد منعطف شديد في شارع شرياني، ما يتسبب في إجبار المركبات على إبطاء سرعتها، أو تأخير ناجم عن مسار غير مباشر يجبر المركبات على اجتياز مفترق طرق دائري).

تتابع المركبات – خوارزمية مستخدمة في نماذج المحاكاة المجهرية لوصف سلوك سائق مركبة يتابع مركبة أخرى.

تجاوز صف الانتظار - جزء قصير من مسار حافلات (مشترك غالبًا مع مسار ذي منعطف ناحية اليسار)، إلى جانب مؤشر أخضر متقدم مخصص للمسار، وهو يتيح للحافلات تجاوز صف انتظار السيارات عند إشارة مرور.

تجزؤ - الوقت المخصص لطور (الإشارة الخضراء وتغييرها للإشارة الصفراء زائد فترة الإخلاء للإشارة الحمراء أو عبور المشاة زائد فترات الإخلاء) في أثناء العمليات المنسقة. يمكن أن يُعبَّر بالثواني أو بالنسبة المئوية.

تحكم بالإشارات التكيفية - نظام إشارات متقدم لا يعمل مع خطط الوقت المحدد من اليوم.

تحكم حثّي في إشارة المرور - طريقة تحكّم تسمح بتسلسل متغير، ومدد متغيرة؛ لعرض الإشارات وفقًا لطلب المشاة والمركبات. وجميع حركات المركبات (الأطوار) مُشغلة حثّيًا في وضع (التحكم الحثّي الكامل) على خلاف (التحكم نصف الحثّي) الذي تكون فيه حركات المركبات الفرعية فقط حثّية (مثل المرور في الطريق الفرعي).

تحكم حثّي كامل - تشغيل بالإشارة بحيث تقوم أجهزة استشعار مركبات موضوعة في كل مدخل من مداخل التقاطع بالتحكم في حدوث كل طور إشاره وطوله.

تحكم حثّي مُنسق – نوع آخر من التحكم نصف الحثّي، يستخدم إعدادات التوقف الإجباري في جهاز التحكم؛ لتقييد الأطوار غير المنسقة المرتبطة بالتحركات في الشوارع الفرعية بحيث تُخدم الأطوار المنسقة في الوقت المناسب خلال دورة الإشارة والحفاظ على استمرار الحركات في الشوارع الرئيسة.

التحكم في مداخل الطرق السريعة - استراتيجية لإدارة حركة المرور على الطرق السريعة تقيد حركة المرور كليًا أو جزئيًا على المدخل؛ للحفاظ على ظروف تدفق مستقرة على الخط الرئيس للطريق السريع.

تحكم مروري مؤقت - التحكم المروري المؤقت هو: عملية إنشاء منطقة عمل، وتوفير إدارة نقل ذات صلة وتحكم مروري مؤقت في حرم الطريق للشوارع والطرق.

تحكم مسبق التوقيت - وضع تشغيل يُستدّعى من خلاله كل طور في كل دورة، بصرف النظر عن تغير ظروف حركة المرور. ولا يستخدم عادةً إلا في الشوارع شبه الشبكية المتقاربة.

تحكم نصف حثّي - تحكم بالإشارات تزود فيه بعض مداخل التقاطع (عادة في الشارع الفرعي) بأجهزة استشعار بينما لا تزود مداخل أخر بأجهزة استشعار (عادة في الشارع الرئيس).

تحليل الحساسية - عملية تنويع معلمات المدخلات في نموذج احتمالي لقياس تأثير هذه التغييرات على قياسات الأداء المتوقعة.

تحليل الشبكة - تحليل الشبكة هو أسلوب تحليل بيانات يهدف إلى تحليل البيانات المنظمة في مجموعة من العُقد والأضلاع المتداخلة (شبكة).

تداخل - عملية توقيت توفر طريقة لتشغيل حركة معينة بطور واحد أو أكثر. وهو ناتج منفصل يمكنه استخدام منطق خاص لتحسين التشغيل.

تدفق - دراسة التفاعلات بين المركبات والسائقين والبنية التحتية، بهدف فهم وتطوير شبكة طرق مثالية بجانب تحقيق حركة مرور فعالة، ولتقليل المشكلات المتعلقة بالازدحام المروري.

تدفق غير مشبع - تدفق حركة مرور حيث (أ) معدل تدفق الوصول أقل من سعة النقطة أو المقطع، أو (ب) لم يوجد صف انتظار متبقٍ من توقف سابق لمرفق ما، أو (ج) لا يتأثر تدفق المرور بظروف اتجاه المصب.

تدفق مزدحم - حالة تدفق مروري تحدث بسبب اختناق مروري في اتجاه المصب.

تدفق معاكس - تدفق مروري في اتجاه معاكس للتدفق الطبيعي.

تدفق مفرط التشبع - تدفق مروري حيث (أ) معدل تدفق الوصول يتجاوز السعة للنقطة أو المقطع، أو (ب) لم يتلاشَ صف انتظار أُنشِئ من توقف سابق لمرفق ما، أو (ج) يتأثر تدفق المرور بظروف اتجاه المصب.

تدفق موجي – وسيلة لزيادة السعة تحت ظروف ارتفاع حجم المرور والتقسيم الاتجاهي بالخطوط الأرضية عن طريق مسارات، أو طرق، قابلة لعكس اتجاه السير فيها.

ترسيخ - عملية يتحقق من خلالها المحلل من الأداء العام للمرور المتوقع على أساس نموذج لشبكة الطرق والشوارع مقابل القياسات الميدانية لأداء المرور، استنادًا إلى البيانات الميدانية غير المستخدمة في عملية المعايرة.

تشغيل - راجع التكرار.

تشغيل جميع المسارات - نظام تُزال فيه الأكتاف الصلبة وتحويلها إلى مسار ركض.

تشغيل حر - راجع غير منسقة.

تشغيل محاكاة - راجع التكرار.

تشغيل منعزل – تقاطع لا يعمل حاليًا كجزء من نظام منسق. ويُعرف أيضًا باسم التشغيل الحر. راجع أيضًا التشغيل غير المنسق.

تصحيح تعامدي - عملية معايرة صورة فيديو لتطبيق برنامج معالجة صور الفيديو لجمع البيانات المؤتمتة من الأبعاد (الحقيقية) المعروفة مثل: الخطوط الأرضية، أو عرض المسار، أو ارتفاع الكاميرا.

تصنيف (مركبات) - تجميع البيانات في صناديق بيانات تصف فئات المركبات المختلفة مثل: سيارات الركاب والشاحنات والحافلات.

التصوير - عملية تقديم البيانات في شكل صورة تسمح بفهم سريع للعلاقات والنتائج التي لا تتضح بسهولة من البيانات الأولية.

تعداد التحكم - عدّ دائم يُجرَى في موقع ثابت؛ بهدف تطوير عوامل التعديل اليومية والموسمية لتعدادات التغطية (قصيرة الأجل) في في المنطقة المدروسة.

تعداد الطوق (الكوردون) - تعداد منطقة عند نقاط الدخول والخروج الرئيسة لمنطقة فرعية يُجرَى عن طريق تحديد خط طوق حول محيط المنطقة المدروسة.

تعداد تغطية - تعداد مروري قصير الأجل ولكنه مستمر يُجرى خلال فترة زمنية تتراوح بين ٢٤ - ٧٢ ساعة في موقع معين. وتُضرَب تعدادات التغطية في عوامل التعديل اليومية والموسمية من تعدادات التحكم لتطوير تقديرات المتوسط السنوي المروري اليومي في الموقع (محل تنفيذ تعدادات التغطية).

تعداد خط التدقيق - تعداد المرور بين منطقتين فرعيتين يُجرى عن طريق تسجيل تدفقات المرور عند نقاط العبور بين المنطقتين. ويُجرَى تعداد خط التدقيق عادةً على طول حاجز طبيعي، أو من صُنع الإنسان فيه نقاط عبور محدودة، مثل طريق سريع حضري أو نهر.

تعداد قائم على المسار - نوع من دراسة الحجم يتطلب من المحلل تتبع مركبة عبر تقاطع مثل: دوار، أو شارع رئيس (superstreet).

تعلم الآلة – تعلم الآلة عبارة عن مجموعة فرعية من الذكاء الاصطناعي يَستخدم غالبًا التقنيات الإحصائية؛ لتزويد أجهزة الحاسب بالقدرة على (التعلم) باستخدام البيانات دون أن تُبرمَج صراحة.

تعيين ديناميكي للمرور - هو عملية تعيين حركة المرور على الطرق في نموذج محاكاة بناءً على ظروف المرور الحالية. راجع (الطريق).

تغيير المسار – خوارزمية تُستخدم في نماذج المحاكاة الدقيقة؛ لوصف سلوك تحول السائق إلى مسار مروري مجاور.

التقاطر - الوقت بالثواني بين وصول نقطة مشتركة على مركبتين متتاليتين (على سبيل المثال: المصد الأمامي)؛ إلى نفس النقطة في الحيز المكاني المتاح. كما أن التقاطر يصف الوقت بالدقائق بين حالات الوصول المتتالية لمركبات النقل العام.

تقاطع التدفق المستمر - (CFI) تصميم تقاطع يحسن تدفق المرور، ويقلل فترات التأخير عن طريق إتاحة الانعطاف لليسار والقيام بالحركات المستقيمة في مدخل واحد أو كلا المدخلين في الوقت نفسه. ويشار إليه أيضًا بالانعطاف لليسار المُزاح XDL) أو.(DLT

تقاطع دوران في الجزيرة الوسطية - تقاطع بديل يغير مسار جميع الانعطفات لليسار إلى تقاطعات دوران بشكل حرف (U) ذات اتجاه واحد.

تقاطع قاعدة اليد اليمنى - تقاطع يجب فيه على سائق المركبة إفساح الطريق للمركبات القادمة من اليمين.

تقاطع مقيد العبور مزوّد بفتحات دوران للخلف (RCUT) - تصميم تقاطع يقيد حركات الانعطاف لليسار عند التقاطع ولكنه يسمح بنفس الحركة في اتجاه المقصد عبر فتحة دوران للخلف لتسهيل حركة المرور والحد من التأخير وزيادة السلامة. ويستخدم على الطرق الريفية المزدوجة (مسارين في كل اتجاه) العالية السرعة . ويعرف أيضًا باسم تقاطع شارع فائق(superstreet) ، أو تقاطع انعطاف بشكل حرفJ ، أو تقاطعات شوارع متزامنة.

تقاطع منعزل – نقطة عبور واحدة بين مرفقين أو أكثر من مرافق الطرق.

التقدم (إشارة) - تنسيق مجموعة من إشارات المرور؛ بحيث تتلقى المركبات التي تتحرك في الشارع إشارات خضراء عند العديد من إشارات المرور المتتابعة.

تقليل الفجوة - هذه سمة تقلل وقت المرور إلى قيمة أصغر عندما يكون الطور نشطًا.

تكرار – تكرار أو تشغيل نموذج محاكاة باستخدام قيمة أولية مختلفة للرقم العشوائي؛ حيث يملأ كل تكرار نموذج المحاكاة بمجموعة مختلفة من الظروف الأساسية العشوائية التي ستؤثر في المعلمات المقدرة النهائية. وتتطلب دراسات المحاكاة عمليات تشغيل متعددة؛ للحصول على تقدير متوسط، والحصول على تقديرات متباينة.

تمديد - معلمة خاصة بجهاز الاستشعار تعمل على إطالة تشغيله بمقدار ثابت من الوقت قابل للبرمجة. وتُستخدَم -عادةً- مع تصميمات الاستشعار التي تجمع بين العديد من مستشعرات الارتداد؛ لإنهاء الطور الآمن من مداخل التقاطع عالي السرعة أو للمساعدة على الاستشعار مسار بعد مسار.

تنسيق- القدرة على مزامنة عدة تقاطعات؛ لتعزيز تشغيل الحركات في اتجاه واحد أو أكثر في النظام.

توزيع - مصطلح إحصائي يصف نطاق البيانات المرصودة وتكرار المشاهدات التي تقع ضمن مدى فرعي أو سلة بيانات مختلفة.

توسيع العدّ - عملية استقراء عدد الحجم المروري تُجرَى خلال فترة زمنية قصيرة (أقل من ساعة) للحصول على تقديرات للحجم في الساعة.

جهاز استشعار (أو الاستشعار) - جهاز يستخدم لحساب و/أو تحديد وجود مركبة أو دراجة أو مُترجّل على الطريق.

جهاز استشعار خط التوقف - جهاز استشعار يوجد عند خط التوقف، ويُستخدم بشكل عام في تفريغ صف الانتظار. وعادةً ما يستخدم وضع الذاكرة غير المقفلة إلى جانب تصميم جهاز استشعار المنطقة الواسعة؛ بحيث لا تمتد المركبات التي تقوم بالانعطافات المسموح بها أو تستدعي الطور.

جهاز التحكم المروري - لافتة أو إشارة أو خطوط أرضية أو أي جهاز آخر يستخدم لتنظيم المرور أو تحذيره أو توجيهه، موضوعة على أو فوق أو بجوار شارع، أو طريق، أو طريق خاص مفتوح للسير العام، أو مرفق للمشاة أو مسار مشترك-الاستخدام بموجب

سلطة جهة عامة أو مسؤول له سلطة قضائية، أو في حالة طريق خاص مفتوح أمام السير العام بموجب سلطة المالك الخاص أو المسؤول الخاص صاحب السلطة القضائية.

جهاز تحكم - جهاز يحدد كيفية استجابة إشارات المرور إلى المكالمات بناءً على معلمات التوقيت .

جهاز تحكم رئيسة - مكون اختياري لنظام الإشارات يسهل تنسيق نظام إشارات المرور مع أجهزة التحكم المحلية.

جودة الخدمة - نهج للقياس الكمي لتجربة السير على الطريق لمستخدمي نظام النقل.

جيب للانعطاف لليمين - عندما تكون أحجام المرور المنعطف ناحية اليمين عالية بما يكفي للتدخل في تشغيل النقل العام ولا يمكن حظرها، يقلل توفير جيب للانعطاف لليمين على يمين مسار النقل العام من تأخيرات الحافلات وعربات الترام.

حاجز (إشارة) – ١. نظام تقييد استمرار الحركة على الطريق مثبت على طول الطريق. ٢. نقطة مرجعية في تسلسل تتداخل فيه حلقتان أو أكثر. وتضمن الحواجز عدم وجود اختيار متزامن وتوقيت للحركات المتعارضة في حلقات مختلفة. وتحدد الحلقات مع الحواجز بشكل أساسي كيفية تنظيم وحدة التحكم لأطوار الإشارة، بحيث يجري توقيت الأطوار المتوافقة معًا دون حدوث أي تعارض.

حاجز مفصلي - يُعرَف الحاجز المفصلي باسم بوابة ذات أذرع متحركة، وهو عبارة عن عصا أو عمود يمنع وصول المركبات أو المشاة إلى أي نقطة يجري التحكم بها.

حافلة - مركبة طريق ذاتية الحركة، ذات إطارات مطاطية مصممة؛ لنقل عدد كبير من الركاب، وتنتشر بكثرة في الشوارع والطرق.

حالة ثابتة - نقطة على نظام مروري محاكى تصل خلالها جميع الأوضاع إلى حالة ثابتة ولا تتغير خلالها قياسات الأداء أو السلوك.

حجم - عدد المركبات أو المشاة أو الدراجات أو المركبات الثقيلة أو أي فئة أخرى من فئات المستخدمين ذات الأهمية التي تُلاحَظ في أثناء المرور بأي نقطة. وغالبًا ما يُعبَّرعن الحجم على أنه معدل الحجم في الساعة، وفي هذه الحالة تُستخدم فترة زمنية محددة لحساب المعدل.

حجم المرور التصميمي الساعيّ – (DHV) حجم حركة المرور خلال ساعة واحدة (الساعة التصميمية) التي تستخدم كشرط تشغيل مقبول لأغراض التصميم.

الحجم المروري السّاعي الاتجاهي التصميمي - (DDHV) هو حجم المرور المتوقع خلال الساعة التصميمية (عادةً ساعة الذروة) في اتجاه واحد من السير.

حد أدنى للفجوة - معلمة الكثافة-الحجم التي تحدد الحد الأدنى للوقت بين عمليات تشغيل جهاز الاستشعار (المُطبقة مع سمة تقليل الفجوات). راجع أيضًا: تقليل الفجوات.

حد أدنى من الضوء الأخضر - الحد الأدنى من الوقت الذي ينبغي أن يكون فيه الطور باللون الأخضر. ويجب تحديد هذا الحد الأدنى استنادًا إلى توقع السائق وتواجد المركبات بين أجهزة استشعار الارتداد وخط التوقف (في حالة عدم استخدام جهاز استشعار وجود خط التوقف).

حد أقصى للتنشيط - معلمة توقيت إشارة أساسية تزيل الحد الأقصى من اللون الأخضر كمعلمة طور أثناء التنسيق وتسمح للطور بالامتداد إلى ما بعد الحد الأقصى الطبيعي الأخضر .

حد السرعة المُعلن - حد للسرعة يحدده القانون أو اللوائح، ويُعرض على لافتات حدود السرعة.

حدث - اصطدام أو تعطل مركبة أو حدث آخر في مرفق نقل يمثل مصدرًا غير متوقع للازدحام.

حدود السرعة - الحد الأقصى أو الأدنى للسرعة المسموح بها على قطاعات الطريق المنصوص عليها بموجب القانون. ويجب الإعلان عن حدود السرعة كما نص عليها القانون؛ لتصبح قانونية.

حركة ثانوية - مركبة تدخل اتجاه محدد في تقاطع غير مزود بالإشارة، والذي يتوجب خضوعه للحركات الأخرى.

حركة محمية - حركة لها حرم طريق ودون حدوث حركات متعارضة.

حلقة – راجع مستشعر.

حلقة (Ring) - هيكل تسلسلي مكون من حركتين متعارضتين أو أكثر موقوتتين بشكل متعاقب و محددتين فرديًا، ومرتبتين بما يوفر مرونة بين الحركات المتوافقة في الحلقات المختلفة. وتحدد الحلقات مع الحواجز بشكل أساسي كيفية تنظيم وحدة التحكم

للمراحل؛ بحيث يجري توقيت المراحل المتوافقة معًا دون حدوث أي تعارض.

حمولة – ١. عدد الركاب في مركبة النقل. ٢. تأثير التسارع، ويشمل ذلك التأثير الناتج عن الجاذبية، أو التشوه المفروض، أو التغيير الحجمي.

الحوسبة السحابية – يشار إليها ببساطة باسم السحابة. وهي نموذج لتمكين وصول شبكة عند الطلب بمجموعة مصادر أو قدرات حوسبية قابلة للتهيئة (أي الشبكات والخوادم والتخزين والتطبيقات) وتوفَّر وتُطلَق بأقل مجهود إداري أو تفاعل بواسطة مقدم الخدمة.

خط سكك حديدية خفيفة – نظام سكة حديد يعمل بالطاقة الكهربائية، ويُشغل عربات فردية، أو قطارات قصيرة على مجموعة متفاوتة من أنواع المحاذاة في حرم طريق متحكم فيه جزئيًا.

خط/ شريط التوقف - خط متصل محدد بخط أرضي عبر الطريق أو جزء منه، والذي ينبغي أن تقف خلفه المركبات عندما يلزم التوقف بسبب وجود إشارات مرورية، أو لافتات تنظيمية.

خطأ جيب التمام - نوع من الأخطاء في دراسات السرعة يحدث بسبب أن زاوية سقوط الشعاع إلى اتجاه سير المركبة المستهدفة يُنتج قراءة على الوحدة تكون أقل من السرعة الفعلية.

خطأ معياري - مقياس لتفاوت البيانات الموجودة في عينة، ويُحسب عن طريق قسمة الانحراف المعياري للتقدير على الجذر التربيعي لحجم العينة.

خطط وقت من اليوم – خطط توقيت لإشارات المرور مرتبطة بساعات محددة من اليوم (أي تكون مرتبطة بوجود تقلبات في الطلب)، أو أيام الأسبوع، أو أيام خلال العام (مثل الإجازات والمواسم).

خوارزمية - مجموعة من القواعد لحل مشكلة ما في عدد محدد من الخطوات. وفي سياق المحاكاة، تكون عبارة عن قواعد تصف عنصرًا معينًا من سلوك السائق (على سبيل المثال: تتبع المركبات أو تغيير المسارات، أو قبول الفجوات).

دراجة نارية - مركبة ذاتية الحركة مزودة بعجلتين مترادفتين ولا يمكن أن يركبها أكثر من شخصين.

دراجة هوائية - مركبة ذات عجلتين مترادفتين تدفعها قوة بشرية، وعادةً ما يركبها شخص واحد.

درجة التأثير - طريقة لإعطاء أوزان لمختلف مقاييس الأداء، أو الأسئلة في أحد المسوحات.

الدليل الموحد لأجهزة التحكم المروري – وثيقة تحدد المتطلبات والإرشادات المرتبطة باستخدام الإشارات واللافتات والخطوط الأرضية وغيرها من أجهزة التحكم المرور ي.

دليل سعة الطرق - وثيقة مجلس أبحاث النقل (TRB) تشمل منهجيات حسابية لتقدير الأداء التشغيلي لتدفق المرور.

دوّار - تقاطع بشكل دائري بشكل عام يتصف بإعطاء الأفضلية عند الدخول والدوران حول جزيرة مركزية.

دوران للخلف – منعطف يُنشأ على الطريق -عادةً- من دون رجوع المركبة للوراء، ما يؤدي إلى عكس اتجاه سيرها.

دورة - سلسلة كاملة من دلالات إشارات المرور. وتتكون من طورين على الأقل.

الذكاء الاصطناعي - علم وهندسة صنع آلات ذكية، وخصوصًا برامج الحاسب الذكية.

رادار – تقنية تستخدم لقياس سرعات المركبات.

زمن الإخلاء الضائع - الجزء الأخير من فترة التغيير، الذي لا يستغله السائقون عادةً للمواصلة عبر التقاطع (أي، يستخدمون هذا الزمن في التوقف المسبق قبل الوصول إلى خط التوقف). ويُقاس بالثواني.

زمن الإدراك ورد الفعل - الزمن اللازم لسائق مركبة لرؤية إشارة المرور (الإدراك)، ثم البدء في تنفيذ الاستجابة المناسبة (رد الفعل).

زمن التأخير – الوقت المنقضي بين وصول مركبة صغيرة مستعدة للانتقال إلى الشارع الرئيس، ووصول الصدام الأمامي للمركبة التالية في مسار حركة المرور الرئيس. ومن المهم التمييز بين الفجوة وزمن التأخير؛ لأن السائقين يمكن أن يتفاعلون بشكل مختلف مع كل منهما.

زمن الركوب الضائع - الزمن المستغرق لوصول الركاب من مكان الانتظار في محطة توقف الحافلات إلى باب الحافلة.

زمن الطور الضائع – إجمالي زمن الإخلاء الضائع وزمن بدء التشغيل الضائع. ويُقاس بالثواني.

زمن المرور (أو فترة المركبة، تمديد المركبة، زمن الفجوة) - مؤقت الطور الذي ينهي طورًا ما عندما يتجاوز الوقت الناتج من آخر مستشعر إعدادات المؤقت.

زمن بدء التشغيل الضائع - الزمن الإضافي الذي تستهلكه المركبات الأولى في صف الانتظار الذي يتجاوز التقاطر فيه التقاطر المُشبّع بسبب الحاجة إلى رد الفعل لبدء المدلول الأخضر والتسارع. ويُقاس بالثواني.

زمن تأخير مرفوض - زمن تأخير لا تقبله مركبة في شارع فرعي عند خط التوقف.

زمن تأخير مقبول - زمن تأخير تستخدمه المركبات في الشوارع الفرعية للانتقال إلى الشوارع الرئيسة.

ساحة تحصيل الرسوم - الموقع الذي تُجمَع فيه الرسوم، ويتكون من مجموعة من أكشاك الرسوم، وجزر الرسوم، ومسارات الرسوم، وعادة مظلة. قد توجد ساحات تحصيل الرسوم على الخطوط الرئيسة للطرق، أو على منحدرات محول. يُشار أحيانًا إلى ساحة تحصيل الرسوم الرئيسة على أنها حاجز ساحة تحصيل الرسوم لأنها تُقاطع تدفق المرور.

ساعة الذروة - فترة الساعة الملاحظ أو المتوقع بأن تشهد أعلى حجم مروري خلال اليوم بأكمله أو أجزاء منه.

ساعة رئيسة - آلية توقيت المعلومات الأساسية ضمن منطق وحدة التحكم التي يشار إليها في كل وحدة تحكم في أثناء العمليات المنسقة.

سداد عن طريق لوحة تسجيل المركبة (ماكينات تذاكر وقوف السيارات) - ماكينات التذاكر التي تشبه نظام (السداد من خلال اللوحة) والتي لا تصدر تذاكر. تتطلب الماكينة لوحة رقمية أبجدية تسمح للسائقين بكتابة رقم تسجيل المركبة ثم تحديد مدة الوقوف التي يحتاجون إليها وسداد رسومها.

سداد عن طريق موقف سيارة (ماكينات تذاكر وقوف السيارات) - يعرف أيضًا باسم (العدادات المتعددة لموقف السيارة) وهو يشبه تذاكر (نظام السداد وإظهار التذكرة) إلا أنه لا يصدر تذكرة ولكنه يتطلب من السائق إدخال رقم موقف المركبة الخاصة به ثم السداد مقابل الوقت المحدد. يسدد السائقون فترة مدة الوقوف في أقرب ماكينة وفقًا لرقم موقف السيارة المحدَّد على أرض الواقع (أو المعروض بطريقة أخرى). ويكون السداد من خلال موقف السيارات الخيار الأكثر مراعاةً للبيئة عن نظام السداد وإظهار التذكرة؛ حيث إنه لا يصدر تذاكر، ويتطلب صيانة أقل بسبب قطع الغيار الأقل حركة.

سرعة - معدل تنقل الوحدات الآلية وغير الآلية، وتُعرَّف على أنها المسافة المقطوعة خلال وحدة زمنية، وعادة يُعبَّر عنها عن طريق كم/الساعة أو متر في الثانية (م/ثانية).

سرعة التدفق الحر - متوسط سرعة المركبات على قطاع الطريق الذي يُقاس وفقًا للطرق منخفضة الكثافة، وفي حال عدم وجود أجهزة التحكم المروري. ويمكن تقدير سرعة التدفق الحر إما باستخدام نموذج تحليلي، أو على أساس القياس الميداني.

سرعة التدفق الحر الأساسية - تعتمد سرعة التدفق الحر المحتملة على المحاذاة الرأسية والأفقية للطرق فقط، ولا يشمل ذلك تأثيرات عرض المسارات، والخلوص الجانبي، ونوع الجزيرة الوسطية، ونقاط الوصول.

سرعة التشغيل - مقياس متوسط السرعة على مقطع محسوبًا على أساس المسافة المقطوعة مقسومة على زمن التشغيل.

سرعة التشغيل - هي سرعة تشغيل مركبة نموذجية، أو حركة المرور ككل. يمكن تحديد سرعة التشغيل بمعرفة قيم السرعة، مثلًا: متوسط السرعة، أو الخطوة، أو المئين ٨٥.

السرعة التصميمية - السرعة التي تُختار لأغراض التصميم وربط السمات الهندسية للطريق وقياس جودة الخدمة التي يقدمها الطريق.

سرعة الخطوة - أعلى سرعة ضمن مدى معين من السرعات التي تمثل المزيد من المركبات مقارنةً بأي مدى آخر للسرعة. ويكون مدى السرعات المستخدم عادةً ١٠ كم/ساعة.

سرعة المَئين ٨٥ - هي السرعة التي يسير عليها أو على أقل منها ٨٥ % من المركبات.

سرعة آمنة - سرعة موصى بها لجميع المركبات التي تسير على مجموعة من الطرق وبناءً على تصميم الطريق وخصائص التشغيل وظروفه.

سرعة زمنية متوسطة – المتوسط الحسابي الأساسي للسرعة الذي يُجمَع في مكان محدد. ويسهل حسابه عن طريق تجميع سرعات جميع المركبات الفردية التي تعبر نقطة وقسمتها على عدد الملاحظات.

سرعة لحظية - سرعة المركبة كما قيست في نقطة محددة أو قطاع قصير، بدلًا من سرعة التنقل التي تقاس عن طريق قطاع أو

مسافة أطول من الطريق.

سرعة نظامية - حد السرعة المعمول به بناءً على إجراءات تشريعية وعادةً يطبق على الطرق ذات التصميم الخاص ذات المواصفات العملية، و/أو الاختصاصية القضائية، و/أو موقعية وليس من الضروري أن تظهرها لافتات حد السرعة.

سعة - قدرة مرفق النقل على استيعاب تدفق من الناس أو المركبات خلال فترة زمنية محددة.

سكة حديدية - نظام نقل يستخدم قطارات تعمل بموجب حقوق مرور حصرية أو مشتركة (مثل: أنظمة السكك الحديدية الخفيفة والثقيلة).

سماحية – الفرق المسموح به الذي يحدده المستخدم في اختبار ذي أهمية إحصائية. وفي دراسة السرعة، يمكن أن تكون السماحية عبارة عن الفرق الموجود قبل عمليات رصد السرعة وبعدها وهو أمر بالغ الأهمية.

شاحنة – مركبة نقل ثقيل تشارك بشكل أساسي في نقل البضائع والمواد أو في تقديم خدمات أخرى بخلاف النقل العام.

شارع رئيس – شارع يحمل الحجم الأكبر من حركة مرور المركبات عادةً. وهو الشارع الذي لا يُتحكَّم فيه من خلال لافتات "قف" في تقاطع ذي اتجاهين يُتحكَّم فيه من خلال لافتات "قف" (دليل سعة الطرق).

شارع فائق (Superstreet) - راجع منعطف بشكل حرف U مقيد.(RCUT)

شارع فرعي - شارع يتضمن عادةً الحجم الأقل من حركة مرور المركبات. الشارع الذي يُتحكَّم فيه عن طريق لافتات "قف" في تقاطع ذي اتجاهين يُتحكَّم فيه عن طريق لافتات "قف" (دليل سعة الطرق).

شاشة العرض (أو وجه مجموعة إشارات) - مجموعة من المدلولات (على سبيل المثال: أسهم ذات لون أحمر أو أصفر أو أخضر، سهم أخضر، مسموع) مجمعة معًا؛ للتحكم في حركة واحدة أو أكثر

شبكات نقل ذكية - شبكات طرق مزودة بـأنظمة معلومات، واتصال، وتحكم موجودة في الطريق وعلى جوانبه. سُخِّرت هذه الأنظمة القائمة على التقنيات للإدارة النشطة لتدفقات المرور، وتحسين سعة الطريق، وتحسين السلامة، بالإضافة إلى تقديم نتائج ضرورية لمستخدمي الطريق مثل موثوقية التنقل الأفضل ومعلومات التنقل في الوقت الحقيقي.

شبكة - عبارة عن مجموعة من الشوارع والطرق والتقاطعات التي تحدد الخصائص المادية المدرجة في مجال الدراسة أو ضمن حدود الدراسة. كما أن هذا يشير إلى الحدود المدرجة ضمن دراسة المحاكاة.

شبكة عصبية - الشبكة العصبية أحد أشكال تعلم الآلة الذي يستخدم تقنيات إحصائية على غرار طريقة عمل الخلايا العصبية في الدماغ البشري.

شرياني - شارع مزود بإشارة مرور ومخصص أساسًا للمرور في المقام الأول، ويوفر بشكل ثانوي الوصول إلى الملكيات المجاورة.

صف انتظار - تكدس المركبات في انتظار خدمتها من قبل إشارة مرور، أو تأخرها بسبب حدث في الطريق.

صندوق التحكم - مرفق يناسب جميع الفصول، وتوجد فيه المعدات الميدانية الموجودة في التقاطع.

طريق - طريق مقسم يُتحكَّم في الوصول إليه بالكامل، ويضم ما لا يقل عن مسارين (وأكثر من مسارين في الغالب) في كل اتجاه.

طريق - مصطلح عام للإشارة إلى طريق عام لأغراض سير المركبات، ويشمل المنطقة داخل حرم الطريق بأكملها.

طريق خاضع لدفع رسوم – مسار الطريق الخاضع لدفع رسوم عبارة عن مسار مرفق طريق سريع مُدار يُفتح أمام المركبات التي تسدد الرسوم المقررة فحسب.

طريق مركبات - جزء من طريق أو جسر مخصص لاستخدام المركبات، شاملًا الأكتاف والمسارات الإضافية.

طلب - عدد المركبات المتوقع أن تجتاز نقطة ما في فترة زمنية معينة. ومن الممكن أن يكون حجم المرور الفعلي الذي لوحِظ في تلك النقطة أقل بسبب الازدحام الذي يقلل تدفق المرور جهة المنبع أو جهاز التحكم المروري الذي يقلل من التدفق في موقع الدراسة. كما يمكن أن يشير مصطلح "الطلب" إلى مقدار الحمل المروري الذي ينوي استخدام مرفق.

طور - الفترات التي يستغرقها تغير الإشارة الخضراء وطور تغير الضوء الأصفر وزمن الضوء الأحمر لإخلاء التقاطع في دورة مخصصة لحركة (أو حركات) مرور محددة.

طور (أطوار) منسقة - عبارة عن طورين أو أكثر في حلقات منفصلة قادرة على العمل معًا دون حدوث أي حركات متعارضة.

طور إشارة المرور - فترة زمنية تسمح للحركات غير المتعارضة بإكمال تقدمها نحو تقاطع محكوم بإشارة مرورية، ويعد كذلك المصطلح المستخدم لوصف معلمات توقيت الإشارة المرتبطة بها.

طور رئيس - طور (أو أطوار) يستخدم؛ لتحديد متى ينبغي أن يكون التداخل نشطًا. ويمكن أن تكون الأطوار الرئيسة في حلقات مختلفة و/أو يمكن أن تكون على جوانب مختلفة لأحد الحواجز.

طور مُعدِل - طور مرتبط بالتداخل يتسبب في تغيير التداخل إلى اللون الأحمر عندما يكون الطور المُعدِل باللون الأخضر.

طول التخزين - طول مسار الانعطاف المتوفر؛ لتخزين المركبات المصطفة.

طول الدورة - مدة تسلسل كامل من الأطوار في حالة عدم وجود طلبات ذات أولوية. وفي وحدة التحكم حثيّة التشغيل، تعتمد الدورة الكاملة على وجود طلبات لجميع الأطوار التي ليست ذات أولوية. ويمكن أن تُستخدم بعض الدلالات أكثر من مرة في دورة واحدة.

طول صف الانتظار - طول جميع المركبات المتوقفة عند جهاز تحكم مروري، أو تأخرها عند حدوث اختناق مروري على طريق.

عارضة عمودية (Bollard) - هي: عارضة عمودية قصيرة ومتينة. وعادةً ما توضع في وسط ساحة وقوف السيارات كعائق مادي. ويمكن طيها يدويًا أو آليًا للسماح بدخول المستخدمين المصرح لهم. وتُستخدم غالبًا في ساحات وقوف السيارات الأصغر حجمًا مثل ساحات الوقوف المخصصة للزوار أو ساحات وقوف الشركات بوصفها بديلًا للبوابات ذات الأذرع المتحركة. ويمكن تشغيلها بطرق متنوعة، لكنها غالبًا ما تعمل بالبطارية أو بالطاقة الكهربائية.

عداد دفع أجرة موقف واحد - يتيح العداد دفع أجرة الوقوف في موقف واحد. تقبل العدادات الإلكترونية الجديدة الدفع نقدًا أو بطرق أخرى.

عداد رُكّاب آلي - نظام مؤتمت لحساب عدد الركاب الذين يصعدون مركبات النقل العام وينزلون منها. ويمكن استخدام هذه المعلومات لاحقًا لتحليل البيانات، أو للأنشطة في الوقت الفعلي، مثل منح أولوية الإشارة فقط إلى الحافلات نصف الممتلئة على الأقل.

عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات – هو: مقياس للطلب المروري، وهو طول جزء من الطريق بالكيلومترات مضروبًا في المتوسط السنوي اليومي للمرور عليه. بينما يمثل عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات السنوي عدد الكيلومترات المقطوعة بالمركبات في اليوم مضروبًا في عدد الأيام في تلك السنة (٣٦٥ أو ٣٦٦ يومًا).

العرض - سعة المرفق على معالجة الطلب.

عرض الموجة - الحد الأقصى للمدة الزمنية للإشارة الخضراء؛ لضمان حركة منسقة مخصصة في أثناء عبور ممر على سرعة ثابتة مفترضة، وعادةً ما تُقاس بالثواني.

عرض حرم الطريق - مقدار الأرض المحجوزة أو المستخدمة لأغراض النقل.

عشوائي - راجع نموذج.

عشوائي - يتعلق بعناصر أو أحداث ذات احتمالية محددة لحدوثها، أو تتضمنها.

العودة المبكرة إلى إشارة المرور الخضراء - مصطلح يستخدم لوصف خدمة طور منسق قبل وقت البدء المبرمج كنتيجة للوقت غير المستخدم من الأطوار غير المنسقة.

عينة - مجموعة فرعية تمثيلية من إجمالي السكان مستخدمة لتحليل البيانات، وتُستخدم إحصائيات (المتوسط، الانحراف المعياري) العينة لتقريب المعلمات الحقيقية للسكان.

غير منسقة (أو تشغيل حر) - إشارة مرور لا تعمل كجزء من نظام منسق من التقاطعات. ويمكن تعيين التشغيل الحر حسب التوقيت اليومي.

فترة – المدة الزمنية التي لا تتغير خلالها حالة إشارات المرور (مثل الإشارة الحمراء والصفراء والخضراء والوامضة) (أي الفترة الزمنية للإشارة باللون الأحمر، والأصفر، والأخضر، والفترة الزمنية الوامضة لإشارة لا تعبر).

فترة الإخلاء الحمراء – الفترة التي تلي فترة التغيير الصفراء وتسبق الفترة الخضراء التالية المتعارضة.

فترة تغيير الإشارة (بين إشارتين خضراء) – فترة زمنية للتغيير إلى الإشارة الصفراء مع فترة إخلاء الإشارة الحمراء التي تحدث بين أطوار إشارة المرور بهدف إخلاء التقاطع قبل بدء التحركات المتعارضة.

فترة تغيير الإشارة الصفراء - تتبع هذه الفترة فترة الإشارة الخضراء. وتُستخدم لتحذير السائقين من الإشارة الحمراء المرتقبة. وتظهر إشارة صفراء خلال هذه الفترة. وتُقاس بالثواني.

فترة زمنية قبل الخفض – تبدأ فترة توقيت الحجم-الكثافة عندما يكون الطور باللون الأخضر، ويوجد استدعاء عملي في طور متعارض. وعند اكتمال هذه الفترة، يبدأ الخفض الخطي لوقت المرور حتى يتم الوصول إلى أدنى فجوة، أو ينتهي الطور نتيجة انتهاء الفجوة. راجع أيضًا "الوقت إلى الخفض."

فجوة - الوقت المتاح بالثواني بين مركبتين متتاليتين في نفس النقطة في المسافة، ويُقاس من المصد الخلفي للسيارة الأمامية إلى المصد الأمامي للسيارة الآتية.

فجوة حرجة - حد وقت الفجوة المستخدم لتحديد ما إذا كانت المركبات أو المشاة أو راكبي الدارجات في طريق فرعي سيدخلون في تيار المرور الرئيس أو يعبرون منه. وفي نظرية التدفق المروري، تعرف بزمن الفجوة الذي تتساوى فيه فرص قبول أو رفض المرور في الشوارع الفرعية لأي فجوة. وفي إطار نماذج محاكاة المرور، غالبًا ما تُستخدَم بشكل مرادف مع مفهوم الفجوة الحدّية؛ حيث تقبل المركبات في الشوارع الفرعية دائمًا بفجوات أكبر من الفجوة الحدية، وترفض دائمًا الفجوات الأقصر.

فجوة مرفوضة - فجوة لا تقبلها مركبة في شارع فرعي عند خط التوقف.

فجوة مقبولة - فجوة تستخدمها المركبات في الشوارع الفرعية للانتقال إلى الشوارع الرئيسة.

فخ الإشارة الصفراء - حالة تقود المستخدم المتوجه نحو اليسار إلى التقاطع معتقدًا أن المستخدم الآخر يرى الإشارة الصفراء.

فشل الطور - حدوث توقف أو أكثر لمركبات لا يمكنها مواصلة التحرك عبر تقاطع أثناء مدلول إشارة أخضر واحد.

القابلية للدفع - ويُشار إليها بالاختصار(WTP) ، هو الحد الأقصى للسعر الذي يرغب العميل في دفعه مقابل منتج أو خدمة.

قاعدة بيانات ارتباطية - هي: نوع من قواعد البيانات المنظمة في شكل مجموعة من عناصر البيانات المترابطة عبر علاقات محددة مسبقًا (مخطط البيانات). وتنظم عناصر البيانات هذه كمجموعة من جداول ذات أعمدة وصفوف. وتستخدم الجداول للاحتفاظ بمعلومات عن الكائنات المقرر تمثيلها في قاعدة البيانات. يحتوي كل عمود في الجدول على نوع بيانات معين، ويحفظ الحقل القيمة الفعلية للسمة. كما يمكن في قاعدة البيانات الارتباطية الوصول إلى البيانات بعدة طرق دون الحاجة إلى إعادة تنظيم جداول قاعدة البيانات ذاتها.

قبول الفجوات- خوارزمية مستخدمة في نماذج المحاكاة الدقيقة؛ لوصف سلوك السائق أو المُترجل أو راكب الدراجة الذي يدخل أو يعبر حركة سير مرورية رئيسة متعارضة.

قطعي - راجع نموذج.

القفز بين السيارات - الحالة التي تحاول فيها سيارتان أو أكثر أن تتخطى الأخرى باستمرار على طريق بسرعة قصوى.

كتف – جزء من الطريق محاذٍ لطريق السير لاستيعاب المركبات المتوقفة والاستخدام في حالات الطوارئ والدعم الجانبي لطبقة الأساس والطبقة السطحية.

كثافة – ١. عدد المركبات في جزء من الطريق في لحظة زمنية مقسومًا على طول الجزء معبرًا عنه بالمركبات لكل كيلومتر (لكل مسار). ٢. الوزن لكل حجم وحدة لمادة معبر عنها بالكيلوجرامات لكل متر مكعب أو الجرامات لكل سنتيمتر مكعب.

لافتات رسائل متغيرة - يمكن تغيير لافتات الرسائل المتغيرة؛ لعرض رسائل المعلومات بهدف تنبيه السائقين بالحوادث التي تقع على الطريق أمامهم. كما تُستخدم لتحذير مستخدمي الطريق من حالة الطقس، وتزويدهم بمعلومات مهمة أخرى.

لافتة رسائل ديناميكية - لافتة إلكترونية تُنشَر على الطرق؛ لإبلاغ المتنقلين بتحذيرات محددة، بما في ذلك على سبيل المثال لا الحصر: الازدحام، والمناسبات الخاصة، وحوادث المرور، والتنبيهات الأخرى في حالات الطوارئ.

لغة استعلامات هيكلية - هي لغة مخصصة المجال، تُستخدم للبرمجة ومصممة لإدارة البيانات الموجودة في نظام إدارة قاعدة البيانات الارتباطية.

مادة خطرة - أي مادة أو مكون يمكن أن يؤثر سلبًا -عند إطلاقه بكميات كافية- على سلامة الناس أو المسؤولين أو الناقلين في عملية أثناء النقل و/أو الحيازة.

ماكينة بيع التذاكر - ماكينة بيع التذاكر، تعرف كذلك باسم ماكينة استخراج التذاكر، هي ماكينة بيع تستخرج تذاكر ورقية أو إلكترونية، أو تعيد شحن بطاقة مختزنة القيمة أو بطاقة ذكية أو محفظة هاتف جوال للمستخدم، وعادةً يكون ذلك عبر هاتف ذكي.

مُبرر - يصف المبرر حالة عتبة بناءً على الظروف المتوسطة أو تاطبيعية التي -إذا ثبت أنها مرضية كجزء من دراسة هندسية- يجب أن تؤدي إلى تحليل ظروف أو عوامل المرور الأخرى؛ لتحديد ما إذا كان هناك ما يبرر جهاز التحكم مروري أو أي تحسين

آخر. ولا تُعد المبررات بديلًا عن التقدير الهندسي. كما أن حقيقة استيفاء مبرر خاص بجهاز معين للتحكم المروري لا تُعد مبررًا قاطعًا لتركيب الجهاز.

متوسط - متوسط عينة محسوبًا عن طريق قسمة مجموع جميع المشاهدات على حجم العينة.

متوسط السرعة المقطوعة - (SMS) متوسطة سرعة جميع المركبات التي تحتل قطاع. تُعرَّف بكونها إجمالي المسافة المقطوعة على إجمالي وقت التنقل لجميع المركبات. وتعد سرعة القياس المستخدمة في علاقات الكثافة والتدفق والسرعة في نظرية تدفق المرور. يمكن كذلك تعريفها على أنها المتوسط التوافقي للسرعات التي تعبر نقطة خلال فترة زمنية.

متوسط المرور السنوي اليومي – (AADT) إجمالي حجم المرور الذي يمر بنقطة أو مقطع من طريق في كلا الاتجاهين لمدة عام مقسومًا على عدد أيام السنة .

متوسط المرور اليومي– (ADT) إجمالي حجم المرور خلال فترة زمنية محددة (أكبر من يوم واحد وأقل من عام) مقسمًا على عدد الأيام.

مثالية - عملية استخدام خوارزمية حاسوبية للحصول على التهيئة المثلى لتوقيت الإشارات أو استراتيجية أخرى للتحكم في المرور. تُحدَّد التهيئة المثلى عن طريق خفض أو زيادة دالة الهدف بأدنى/ أقصى قدر ممكن مثل التأخير الكلي للمركبة.

مجلس أبحاث النقل – مجلس أبحاث النقل هو مؤسسة تعمل على إدارة الأبحاث، واستضافة المؤتمرات، ونشر الأوراق العلمية والمنشورات في مجال النقل.

مجموعة مسارات – مسار أو مجموعة مسارات مخصصة لتحليل منفصل.

محاكاة - نهج تحليل قائم على برنامج يستخدم خوارزمية عشوائية تصف سلوك مستخدمي نظام النقل بالمركبات، وبغير المركبات بغرض قياس مقاييس الأداء المروري.

محطة توقف انسحابية - نقطة مخصصة على جانب الطريق يمكن خلالها للحافلات أو عربات القطار الانسحاب من التدفق المروري؛ لتحميل الركاب وإنزالهم.

محطة توقف في الجانب البعيد من التقاطع - محطات توقف نقل عام تقع بعيدًا عن التقاطع؛ حيث تتطلب قيام وحدات النقل العام (المركبات أو القطارات) بعبور التقاطعات قبل التوقف لخدمة الركاب.

محطة توقف في الجانب القريب من التقاطع - محطة توقف نقل عام تقع على جانب مدخل التقاطع؛ حيث تتوقف وحدات النقل العام (مركبات أو قطارات) لخدمة الركاب قبل عبور التقاطع.

محطة توقف في المسار - محطة توقف نقل عام حيث تسير مركبات النقل بجوار الرصيف، ويصعد الركاب وينزلون مباشرة من رصيف المشاة.

محطة توقف في المسار على رصيف المشاة - مكان تسير فيه مركبات النقل العام بجوار الرصيف، ويصعد الركاب وينزلون مباشرةً من رصيف المشاة. غالبًا تُلاحَظ محطات التوقف على الرصيف في مسارات النقل العام المخصصة، ولا يعد الانسحاب من حركة المرور أمرًا ضروريًا.

محور - محور دعم مركزي موجه بشكل متعارض مع الاتجاه المتوقع لحركة المركبة المثبتة على العجلات، وللدوران مع العجلات أو يكون ثابتًا على المركبة مع دوران العجلات حول المحور.

مُحوّل – نظام من الطرق المتصلة ينظم المرور بين طريقين أو أكثر لا يتقاطعان في نفس المستوى.

محول افتراق على شكل معين (DDI) - شكل من أشكال المحولات يتيح لاتجاهين من اتجاهات حركة المرور على مفترق الطرق بالانقسام والعبور مؤقتًا إلى الجانب الآخر؛ للوصول من الطريق وإليه بسهولة. كما يشار إليه بمحول متقاطع مزدوج على شكل معين.

محول حضري أحادي النقطة (SPUI) - محول على شكل معين (ماسيّ) يجمع بين كل الحركات القادمة من منحدر والمنعطفة لليسار نحو تقاطع واحد مزود بإشارات.

مخرجات - الجهد الناتج من مفتاح تحويل الحمل الذي يمد مدلول إشارة المرور بالطاقة.

مخطط الأطوار - تمثيل بياني لتسلسل الأطوار يتخذ عادةً شكل مخطط حلقة وحاجز.

مخطط توجيه المرور – ترتيب يضم لافتات وأجهزة مؤقتة؛ لتحذير مستخدمي المرور، وتوجيههم عند المرور بموقع أعمال طرق أو خطر مؤقت أو قبل المرور به.

مخطط قاعدة بيانات - مخطط قاعدة البيانات عبارة عن نوع من نماذج البيانات يستخدم لتنظيم البيانات داخل قاعدة بيانات ارتباطية.

مدة التأخر في صف انتظار - الفرق بين الوقت الذي تنضم فيه المركبة إلى نهاية صف الانتظار في تقاطع محكوم بإشارات مرورية والوقت التي تستغرقه لعبور التقاطع.

مدة خدمة الركاب - الوقت المستغرق في تحميل الركاب وتنزيلهم ودفع الأجرة، بالإضافة إلى الوقت المستغرق في فتح الأبواب وإغلاقها.

مدة فترة الأخضر - مدة فترة الأخضر المرتبطة بطور. ويتم عرض مدلول أخضر لهذه الدة. وتُقاس بالثواني.

مدخل تقاطع - مجموعة من المسارات في طريق اقتراب من تقاطع ما تستوعب جميع حركات الانعطاف يسارًا والحركات المستمرة للأمام وحركات الانعطاف يمينًا القادمة من اتجاه معين.

مدقق - شخص يُجري دراسة نقل عام في أثناء وجوده إما على متن مركبة نقل عام أو في محطة توقف النقل العام.

مركبة - كل جهاز فيه أو عليه أو يمكن بواسطته نقل أي شخص أو ممتلكات أو سحبها على طريق، باستثناء القطارات والنقل العام على السكة الخفيفة التي تعمل في مسار مخصص أو شبه مخصص. تعتبر معدات النقل العام على السكك الحديدية الخفيفة التي تعمل في مسار متعدد الاستخدامات عربة؛ حيث لا يلزم على حركة المرور الأخرى إعطاءها الأفضلية بموجب القانون.

مركبة ذات مشغولية ركاب عالية (HOV) - مركبة آلية تحمل أكثر من شخص، مثل: السيارات المشتركة والفانات المشتركة والحافلات.

مركبة ظل - مركبة توفر حماية قريبة للجزء الخلفي للعاملين الماشين على أقدامهم.

مركبة متصلة – ١. مركبة تستخدم الأجهزة والشبكات للتواصل مع المركبات الأخرى والأجهزة الميدانية. ٢. مركبات متصلة تتفاعل مع اتصال المركبة بالمركبة واتصال المركبة بالبنية التحتية واتصال المركبة بكل الأشياء عن طريق اتصالات لاسلكية.

مركز الإدارة المرورية – (TMC) وحدة معالجة البيانات المركزية والمراقبة التي ترصد تدفق حركة المرور وتقنية أنظمة النقل الذكية المنتشرة على طريق سريع أو شبكة طرق شريانية.

مرور/مركبات مستمرة للأمام – جميع المركبات التي تمر مباشرة عبر مسار في شارع، ولا تنعطف.

مزامنة - عملية الجمع بين تسجيلات فيديو، أو مجموعات بيانات متعددة ذات طابع زمني إلى نقطة زمنية معروفة مشتركة.

مسار النقل العام عند حافة الرصيف - راجع مسار وسائل النقل العام، عند حافة الرصيف.

مسار نقل عام مُزاح – راجع مسار مركبات نقل عام مُزاح.

مسار (Route) 1 - مسار جغرافي تتبعه مركبة أو متنقل من بداية رحلة معينة إلى نهايتها. ٢. مسار مخصص ومحدد بحيث تُخصص له وحدة نقل عام (مركبة أو قطار). يمكن أن تعبر مسارات مختلفة جزءًا واحدًا من الطريق أو الخط. ٣. في تعيين المرور، توجد مجموعة مستمرة من الوصلات التي تربط بين مركزي نقل، عادةً ما يكون المسار الذي يتطلب الحد الأدنى من الوقت لقطعه. ٤. المسار المحدد للسائق الذي يسير عبر شبكة نقل في المحاكاة. ويستطيع المستخدم تحديد المسارات بصورة دائمة (ساكنة) أو يمكن تحديدها من خلال خوارزمية تحسين المسار بواسطة النموذج (ديناميكي).

مسار (Trajectory) - مسار دقيق للمركبة عبر شبكة النقل، ويضم بيانات تشغيلية ذات صلة (الموقع والسرعة ومعدل التسارع) مسجلة في خطوات زمنية متكررة ومستخدمة في تحليل المحاكاة.

مسار إضافي – مسار إضافي على الطريق؛ للتوصيل بينه وبين الطرق المؤدية إلى منحدرات الدخول والطرق التي في نهاية منحدرات الخروج.

مسار المركبات ذات الإشغال المرتفع – أي مسار تفضيلي مخصص للاستخدام الحصري من قبل المركبات عالية الإشغال سواء طوال اليوم أو جزء منه، على سبيل المثال: مسار مخصص على طريق سريع أو أي طريق آخر أو شارع أو طريق مستقل على حرم طريق منفصل.

مسار النقل العام المُزاح - راجع مسار نقل عام، إزاحة.

مسار حافلات – مسار في شارع أو طريق محجوز بشكل رئيس للحافلات في أثناء فترات زمنية محددة (يمكن ألا يُستخدم لأغراض مرورية أخرى في ظل ظروف معينة، مثل الانعطاف لليمين أو اليسار، أو بواسطة سيارات الأجرة، أو الدراجات النارية أو السيارات المشتركة التي تفي بمتطلبات المرور التي شرعتها السلطات القضائية المتخصصة).

مسار حافلات النقل عند حافة الرصيف - يمكن تخصيص المسار المجاور للرصيف لمركبات النقل العام، خاصة عبر المسارات التي تكون فيها أماكن وقوف السيارات غير متوفرة أو غير مستخدمة بشكل جيد. ويمكن تنفيذ مسارات مركبات النقل العام عند حافة الرصيف بمستويات مختلفة من الفصل، وزيادة سعة الخدمة والسماح للركاب بالصعود مباشرة من الرصيف.

مسار ذو رسوم الإشغال العالي - مسارات طرق مُدارة ومحدودة الدخول توفر وصولاً مجانيًا للمركبات مرتفعة الإشغال، وتوفر السعة الزائدة للمركبات الأخرى التي لا تفي بمتطلبات الإشغال بسعر السوق.

مسار شاحنات – مسار مخصص للمركبات التجارية، وليس لمركبات النقل العام.

مسار شاحنات فقط خاضعة لرسوم - مرفق مخصص حصريًا للمركبات الثقيلة إلا أنه يفرض رسومًا مقابل استخدامه.

مسار مركبات ذات استيعاب مرتفع بمسار تدفق متزامن - مسارات المركبات ذات الإشغال المرتفع التي تعمل في نفس اتجاه المسارات المجاورة ذات التدفق المتنوع، وهي منفصلة عن مسارات الطريق المجاورة ذات الأغراض العامة باستخدام شريط مسار مروري قياسي، أو فاصل مطلي، أو حاجز.

مسار مركبات نقل عام مُزاح – تعرف كذلك باسم المسارات (العائمة) أو المسارات (المجاورة لأماكن وقوف السيارات)، ويعمل مسار مركبات النقل العام المُزاح على إبقاء مركبات النقل العام في المسار المتحرك في أقصى اليمين، ولكن يُبعَد عن الرصيف من خلال أماكن وقوف السيارات في الشارع، أو امتدادات الرصيف، أو مسارات الدراجات المرتفعة.

مسار مستقل عابر للمركبات ذات الإشغال المرتفع - مسار حصري على المدخل للمركبات التي تحمل أقل عدد محدد من الركاب (أكثر من واحد)، مثل الحافلات وسيارات الأجرة والسيارات المشتركة لفترات زمنية محددة.

مسار نقل عام/انعطاف لليمين مشترك - في الشوارع المزودة بمسار أيمن مخصص للنقل العام، والتي تستوعب كمية معتدلة من تحركات الانعطاف لليمين، يمكن أن يفسح مسار النقل العام مجالًا لحركات الانعطاف لليمين المقتربة من التقاطع.

مسارات النقل العام - مسارات النقل العام في الشوارع هي: مرافق نقل عام حصرية مفصولة ماديًا عن طرق المرور المختلط المزدحمة عن طريق جزر وسطية أو مفصولة رأسيًا من خلال عناصر أخرى. غالبًا ما تُنفَّذ؛ لضمان موثوقية خدمات النقل عالية التقاطر/ عالية السعة مثل: النقل السريع بالحافلات(BRT) ، أو النقل عبر السكك الحديدية الخفيفة(LRT) ، أو خطوط الترام الحديثة.

مسارات النقل العام - هي جزء من الشارع مخصصة للاستخدام التفضيلي أو الحصري لمركبات النقل، مما يسمح أحيانًا باستخدام محدود من قبل المركبات الأخرى. غالبًا ما يُعاد توجيهها من مسار مرور عام يُحدَّد من خلال وضع الخطوط، واللافتات، وعلامات الرصف. وتسمح مسارات مركبات النقل لمركبات النقل بالدخول والخروج بسهولة من المسار حتى تسير في مسارها.

مسارات ذات أغراض عامة - (المسار) ذو الغرض العام هو: مرفق طريق مفتوح لجميع الحركات المرورية دون قيود، على عكس المسارات المُدارة.

مسارات قابلة لعكس اتجاه السير - هي مسار واحد أو أكثر يمكن تشغيلها لنقل المرور في أي اتجاه من اتجاهات السير الموجودة في مرافق الطرق والشوارع الشريانية، وفي مجمعات الأحداث الرياضية/الفعاليات. وتسيَّر حركة المرور من خلال معالجات أنظمة النقل الذكية واللافتات المتغيرة والحواجز المتحركة.

مستشعر - مصطلح مستخدم لوصف الأنواع المختلفة من معدات جمع البيانات المؤتمتة التي تستخدم؛ للحصول على البيانات التشغيلية للمرور. تتضمن المستشعرات حلقات الحث المغناطيسي، وآليات الكشف بناءً على الفيديو، والمستشعرات التي تستخدم تقنية الأشعة تحت الحمراء أو الموجات الدقيقة.

مستودع بيانات - مستودع البيانات عبارة عن مجموعة كبيرة جدًا من البيانات الأولية وغير المصنفة التي لم تُغيَّر عن شكلها الأصلي الذي كانت عليه قبل تخزينها. ويُستخدَم مصطلح مستودع البيانات أحيانًا على أنه مرادف لمصطلح "مخزن البيانات الكبير."

مستوى الخدمة (LOS) - تقسيم طبقي كمي لمقياس الأداء أو المقاييس التي تمثل جودة الخدمة، المقاسة وفق مقياس أ – ف (A إلى(F ، حيث يمثل مستوى الخدمة (A) أفضل ظروف التشغيل من منظور السائق ويمثل مستوى الخدمة (F) أسوأ ظروف التشغيل.

مستوى ثقة - يصف مستوى الثقة الإحصائية بواسطة معلمة تقديرية أو اختبار الدلالة المعنوية. ويُعد مستوى الثقة بنسبة ٩٥ % شائعًا في أغلب عمليات النقل.

مصيدة (فخ) سرعة - طريقة للقياس غير المباشر للسرعة اللحظية للمركبة عن طريق قياس الوقت الذي تستغرقه مركبة لقطع مسافة قصيرة (معروفة)، مثل المسافة بين حلقتي حث مغناطيسي متقاربتين أو علامتين أرضيتين عرضيتين.

معايرة – ١. عملية تغيير المدخلات أو تهيئة الجهاز أو النظام؛ لتحسين دقة التقدير وصحته. ٢. عملية تعديل تقنية جمع البيانات لموافقة حقائق أساسية معروفة. ٣. التغيير في مدخلات نموذج محاكاة مروري؛ لضمان الحصول على مخرجات تناسب المشاهدات الميدانية. ٤. عملية تعديل المعلمات في مواصفة جديدة لتحقيق نفس الموثوقية تقريبًا الموجودة في مواصفة حالية أو لتحقيق مؤشر موثوقية مستهدف.

معدل التدفق - ١. يشير التدفق إلى كمية المياه المتدفقة. ٢. معدل الساعة المكافئ الذي تمر به المركبات أو مستخدمو الطرق الآخرون عبر نقطة أو جزء محدد من مسار أو طريق خلال فترة زمنية معينة تقل مدتها عن ساعة واحدة، وعادةً ما تكون ١٥ دقيقة.

معدل التدفق المُشبّع - يعد معدل التدفق المشبع هو المعدل المماثل على مدار الساعة الذي يمكن خلاله للمركبات المصطفة مسبقًا اجتياز مدخل التقاطع، مع افتراض أن الإشارة الخضراء متاحة طوال الوقت ولا يوجد أي وقت ضائع.

معهد مهندسي النقل (ITE) - رابطة دولية للمهنيين العاملين في مجال النقل الذين يتحملون مسؤولية تخطيط أنظمة النقل السطحي والبري في العالم وتصميمها وتنفيذها وتشغيلها وصيانتها. يمنح معهد مهندسي النقل الأعضاء وغيرهم خدمة التطوير المهني لتلبية احتياجات المجتمع من النقل الآمن والفعال والمتوافق مع البيئة.

مقاييس الفعالية - المقاييس أو الاختبارات التي تُظهر درجة تحقيق أهداف معينة.

مقطع - ١. للمرافق ذات التدفق غير المستمر (المُقاطع)، وصلة ونقاطها الحدودية. ٢. للمرافق ذات التدفق المستمر (غير المُقاطع)، جزء من مرفق بين نقطتين.

مقياس الأداء - هو عنصر بيانات يُستخدم؛ لتحديد جانب معين من خدمة النقل، ووصف جودة الخدمة. وتوجد أمثلة على مقاييس الأداء منها: التأخير أو مدة الرحلة أو الانبعاثات.

مقياس الخدمة - مقياس أداء يستخدم لتحديد مستوى الخدمة (LOS) لعنصر نظام النقل.

مكافئ سيارة ركاب (PCE) - عدد مركبات الركاب التي ستؤدي إلى نفس ظروف التشغيل لمركبة ثقيلة واحدة من نوع معين في ظل ظروف مماثلة للطريق والمرور والتحكم.

مكالمة طلب – طلب خدمة يرسل لوحدة التحكم بالإشارات الحثيّة. ويمكن أن تتطلب بعض الحركات مكالمات طلب منفصلة لأنواع المستخدمين المختلفين. على سبيل المثال: مكالمة طلب أولوية النقل العام هي تلك التي يمكن أن يُعدل فيها توقيت طور الإشارة العادي بسبب مكالمة طلب من مركبة نقل عام. مكالمات الطلب الأكثر شيوعًا هي مكالمات الطلب من المركبات ومكالمات الطلب من المشاة.

ممر (Corridor) - مجموعة من مرافق النقل الموازية المصممة لنقل الناس بين موقعين، على سبيل المثال: طريق سريع وشارع شرياني.

منبع ومقصد - البداية والنهاية. تُجمع نقاط البداية والنهاية لكافة الرحلات في شبكة النقل في مصفوفة المنبع-المقصد (O-D) المستخدمة للتخطيط والتحليل التشغيلي.

منحدر - ١. طريق مخصص يقدم اتصالاً بين طريقين آخرين؛ عادةً ما يكون أحد الطريقين على الأقل اللذين يربطهما المنحدر مرفق عالي السرعة مثل: طريق سريع، أو طريق متعدد المسارات، أو طريق تجميعي-توزيعي. ٢. ممر مشاة مائل يربط بين مرافق المشاة على مناسيب مختلفة.

منحنى الاستجابة للإخلاء - منحنى الاستجابة للإخلاء عبارة عن نموذج يساعد على التنبؤ بمعدل إخلاء الناس من منطقة طوارئ (إعصار مثلًا) كدالة في الزمن حتى يبدأ الحدث المرتقب .

منصة (Streams) - منصة نظام نقل ذكي مخصصة لتنسيق الإشارات وإدارة الطرق السريعة وتدابير إدارة المرور الأخرى .

منطقة (تحليل مروري) - منطقة دراسة على مستوى المدينة أو على مستوى المحافظة تشمل جميع ممرات الطرق السريعة والطرق الشريانية الرئيسة.

منطقة أعمال الطرق - جزء من الطريق تُجرى فيه أعمال الطرق. وتُحدَّد من خلال وضع لافتات ومحددات.

منطقة القرار (Decision Zone) - منطقة تقع أمام خط التوقف يتخذ فيها بعض السائقين خيار إما التوقف أو عبور التقاطع، عندما يتغير مدلول إشارة المرور من الأخضر إلى الأصفر. ومن الممكن استخدام تصميمات الاستشعار لتقليل احتمالية اضطرار السائقين إلى اتخاذ هذا النوع من القرارات في أثناء السير على الطرق. وتُعرف هذه المنطقة بأسماء أخرى مثل: منطقة الخيارات، ومنطقة اللاقرار، ومنطقة المُعضلة (dilemma zone) من النوع الثاني. ويجب عدم الخلط بين منطقة القرار (decision zone)ومنطقة المُعضلة (dilemma zone) التي تنجم عن الإخلاء غير المناسب .

منطقة المعضلة (Dilemma Zone) - حالة تحدث عندما تكون أوقات طور التغير الأصفر والإخلاء الأحمر (لإشارة تقاطع) قصيرة جدا بحيث لا يتمكن السائق من التوقف أو إخلاء التقاطع قبل بدء طور إشارة آخر متعارض. كما تعرف بمنطقة المعضلة من النوع الأول.

موثوقية - ١. مقياس لتصور المستخدم عن أداء المرور، يشير إلى ظروف مرور مستقرة نسبيًا على مدار عدة أيام بما يساهم في توجيه توقعات السائق. ٢. احتمال أن يعمل قسم الرصف على نحو مرضٍ للمرور والظروف البيئية ولفترة التصميم.

موثوقية بين التصنيفات – اختبار للتأكد من وصول العديد من المراقبين المستقلين بشكل موثوق إلى نفس النتيجة فيما يتعلق بدراسة النقل.

مؤشر زمن الانتقال - الوقت اللازم لقطع مسافة معينة.

موقع منعزل – منطقة دراسة محدودة، مثل تقاطع أو محول منفرد.

ميل المدخل- ميل مسارات دخول التقاطع، ويُعبَّر عنه بالنسب المئوية (بقيم موجبة للصعود وقيم سالبة للهبوط).

المَئين - معلمة تحدد جزءًا معينًا من توزيع الملاحظات. وسرعة المَئين ٥٠ هي معدل أو متوسط العينة. ومن الشائع استخدام سرعة المَئين ٨٥ في دراسات السرعة المرورية. تكفل سرعة المَئين ١٥ لسرعة السير في دراسات المناطق المخصصة للمشاة تمثيل التحليل لمستخدمي الطريق الذين يسيرون بسرعة بطيئة والأكثر عرضة للخطر.

نسبة الحجم إلى السعة (V/C) - نسبة معدل التدفق إلى السعة لعنصر النظام.

نظام - ١. مركب متكامل من الأشخاص والمنتجات والعمليات توفر القدرة على تلبية حاجة أو هدف مُعلن. ٢. مدى امتداد تحليل المحاكاة المكاني ومستوى التعقيد والمدة الزمنية.

نظام إدارة استخدام المسار – يُستخدم نظام إدارة استخدام المسار للتحكم في حركة المركبات في المسار ومنه وإليه. ويمكن أن تتضمن الوظائف فتح/إغلاق المسار، والقدرة على إنشاء منطقة دمج قبل حالات إغلاق المسار، والاستخدام الخاص للرموز مثل رموز الحافلة أو النقل العام أو الشاحنة، ويمكن أن تتضمن تحكمًا ديناميكيًا في مناطق السرعة. كما يمكن أن يتكامل النظام مع أنظمة إدارة الطرق الأخرى، مثل: تنظيم الدخول إلى الطرق عبر منحدرات المداخل، ولافتات الرسائل المتغيرة، ولافتات حدود السرعة المتغيرة، ومعلومات المتنقل (على سبيل المثال: التحويلات)؛ لتوفير إدارة شاملة للممرات. كما أنه يسهل تنفيذ خطط إدارة الأحداث.

نظام إدارة حركة المرور المتقدم - أنظمة من شأنها تقليل الازدحام المروري (في المناطق الحضرية) عن طريق تحسين كفاءة الاستفادة من البنى التحتية القائمة.

نظام تحديد المواقع العالمي –هو: نظام من الأقمار الصناعية وأجهزة الحاسب وأجهزة الاستقبال التي لديها القدرة على تحديد خط العرض وخط الطول لجهاز استقبال على الأرض عن طريق حساب الفارق الزمني للإشارات المنطلقة من الأقمار الصناعية المختلفة؛ للوصول إلى جهاز الاستقبال.

نظام تحديد موقع المركبة المؤتمت - نظام يحدد موقع المركبات التي تحمل معدات إلكترونية خاصة تبعث إشارة إلى مرفق التحكم المركزي. ويُستخدم نظام تحديد مواقع المركبات المؤتمت في استشعار أي عدم انتظام في الخدمة، وغالبًا ما يقترن بنظام إرسال بمساعدة الحاسب.

نظام تحكم مروري تكيفي - تعمل هذه الأنظمة على الاستجابة تلقائيًا للتقلبات الواقعة في تدفق المرور من خلال استخدام أجهزة استشعار في الشوارع مغروسة في الطريق.

نقطة الخضوع - النقطة الأبكر في تشغيل الإشارات المنسقة، يمكن أن يقرر عندها جهاز التحكم إنهاء الطور (الأطوار) المنسقة.

نقطة مرجعية للإزاحة (أو نقطة التنسيق) - النقطة المحددة التي تنشئ ارتباطًا بين التقاطع المزود بإشارات والساعة الرئيسة.

النقل العام السريع بالحافلات (BRT) - النقل العام السريع بالحافلات عبارة عن إستراتيجية نقل عام؛ حيث يُخصص للحافلات حرم طريق حصري أو معاملة تفضيلية في التقاطعات المزودة بإشارات مرورية؛ بهدف تقليل زمن السير الذي تستغرقه حافلات النقل العام وزيادة الموثوقية.

نقل عام لذوي الاحتياجات الخاصة - نظام نقل عام يهدف إلى خدمة ذوي الاحتياجات الخاصة في المجتمع.

نموذج - ١. نهج حسابي لتمثيل تدفق المرورالذي يشمل إجراءات قطعية (قائمة على المعادلات) موجودة في دليل سعة الطرق، إضافة إلى طرق عشوائية (احتمالية) متوفرة خلال المحاكاة. ٢. المثالية الرياضية أو الفيزيائية لهيكل إنشائي أو مكون مستخدم في التحليل؛ إضفاء الطابع المثالي على هيكل إنشائي لغرض التحليل.

نموذج دقيق (Mesoscopic) - نموذج لتدفق المرور يمثل حركات المركبات الفردية بناءً على نماذج التدفقات المرورية العيانية (علاقة السرعة والتدفق والكثافة).

نموذج كلي – نموذج مروري لتدفق المركبات الكلي (وليست المركبات الفردية) بناءً على مبادئ نموذج تدفق المرور على المستوى الكلي.

نموذج مجهري (Microscopic) - نموذج لتدفق المرور يمثل حركات المركبات الفردية استنادًا إلى الخوارزميات السلوكية على مستوى المركبة مثل: تتبع المركبات أو تغيير المسارات أو قبول الفجوات.

نموذج نضج القدرة – يُعد أحد النماذج التطويرية. ويشير مصطلح (النضج) إلى درجة رسمية العمليات وتحسينها، بدءًا من الممارسات المخصصة إلى الخطوات المحددة رسميًا وقياسات النتائج المُدارة والتحسين النشط للعمليات. ويهدف هذا النموذج إلى تحسين عمليات تطوير البرنامج القائم، ويمكن استخدامه أيضًا مع العمليات الأخرى.

واجهة الإنسان-الآلة– واجهة مستخدم أو لوحة معلومات تربط الشخص بآلة أو نظام أو جهاز.

الوزن في أثناء الحركة (نظام)- نظام من المستشعرات والأدوات الداعمة المصممة؛ لالتقاط وتسجيل أوزان المحور والأوزان الإجمالية في أثناء قيادة المركبات فوق موقع القياس. يمكن لنظام الوزن في أثناء الحركة تقدير أحمال الإطارات والسرعة وتباعد المحاور وفئة المركبة وفقًا لترتيب المحور والمعلمات الأخرى المتعلقة بالمركبة.

وقت الأخضر الفعال - الوقت الذي يُعتبر خلاله أن توليفة من حركات المرور ستتقدم بفعالية بمعدل تدفق التشبع. وتُقاس بالثواني.

وقت التوقف - إمّا أنها: ١. مجموع وقت خدمة الراكب والوقت الضائع للصعود للمركبة، أو ٢. الوقت الذي تقضيه وسيلة النقل العام (مركبة أو قطار) في المحطة أو الموقف، ويُقاس على أنه الفترة بين توقفها وانطلاقها.

وقت الحركة - الوقت الذي تتحرك فيه مركبة فعليًا (أو تتحرك بسرعة أكبر من السرعة المحددة مسبقًا) في أثناء قطعها جزءًا معينًا من شارع أو طريق.

ح- الملحق ح- الاختصارات والرموز:

AADT	متوسط المرور السنوي اليومي
AASHTO	الاتحاد الأمريكي لمسؤولي الطرق والنقل الحكوميين
ADT	متوسط المرور اليومي.
AOI	منطقة التأثير.
BESTUFS	أفضل حلول نقل البضائع في المناطق الحضرية.
BRT	النقل السريع بالحافلات.
CALTRANS	وزارة النقل في كاليفورنيا (الولايات المتحدة الأمريكية).
CFI	تقاطع التدفق المستمر.
C-ITS	أنظمة النقل الذكية التعاونية.
CMS	لافتة الرسائل القابلة للتغيير.
DDHV	الحجم المروري السّاعي الاتجاهي التصميمي
DDI	المحول المعيني الاتجاهي
DHV	وحجم المرور التصميمي السّاعي
DS	لافتات الاتجاه.
ESL	اللافتات الإلكترونية لحد السرعة
ET	طريق سريع خاضع لدفع رسوم.
FDOT	وزارة النقل في فلوريدا (الولايات المتحدة الأمريكية).
FHWA	إدارة الطرق الاتحادية (الولايات المتحدة الأمريكية)
GEH	عملية حسابية إحصائية لجيفري إي. هافرز.
HAZMAT	مواد خطرة.
HCM	دليل سعة الطرق.
HOV	مركبة ذات إشغال مرتفع.
HOT	ومسار المركبات ذات الإشغال المرتفع والتي برسوم
ITE	معهد مهندسي النقل.

LOS	مستوى الخدمة.
LRT	النقل عبر السكك الحديدية الخفيفة.
ML	المسارات المُدارة.
MOE	مقياس الفاعلية.
NASEM	الأكاديمية الوطنية للعلوم والهندسة والطب
NCFRP	البرنامج الوطني لأبحاث الشحن التعاوني (الولايات المتحدة الأمريكية).
NCHRP	البرنامج الوطني لأبحاث الطرق التعاونية (الولايات المتحدة الأمريكية).
NSW	نيوساوث ويلز (أستراليا).
O-D	المنبع-المقصد.
PCE	مكافئ سيارة الركاب.
P.E.	مهندس محترف.
RCUT	تقاطع مقيد العبور مزوّد بفتحات دوران للخلف
SMS	متوسط السرعة المقطوعة
SPUI	محول حضري أحادي النقطة
TMC	مركز الإدارة المرورية
TOT	مسار الشاحنات فقط الخاضع للرسوم
TRB	مجلس أبحاث النقل.
TSP	أولوية إشارة مركبات النقل العام.
USA	الولايات المتحدة الأمريكية.
V2V	اتصال المركبة بالمركبة.
V2I	اتصال المركبة بالبنية التحتية.
V/C	نسبة الحجم إلى السعة.
AADT	متوسط المرور السنوي اليومي
AASHTO	الاتحاد الأمريكي لمسؤولي الطرق والنقل الحكوميين

ADT	متوسط المرور اليومي.
AOI	منطقة التأثير.
BESTUFS	أفضل حلول نقل البضائع في المناطق الحضرية.
BRT	النقل السريع بالحافلات.
CALTRANS	وزارة النقل في كاليفورنيا (الولايات المتحدة الأمريكية).
CFI	تقاطع التدفق المستمر.
C-ITS	أنظمة النقل الذكية التعاونية.
CMS	لافتة الرسائل القابلة للتغيير.
DDHV	الحجم المروري السّاعي الاتجاهي التصميمي
DDI	المحول المعيني الاتجاهي
DHV	وحجم المرور التصميمي السّاعي
DS	لافتات الاتجاه.
ESL	اللافتات الإلكترونية لحد السرعة
ET	طريق سريع خاضع لدفع رسوم.
FDOT	وزارة النقل في فلوريدا (الولايات المتحدة الأمريكية).
FHWA	إدارة الطرق الاتحادية (الولايات المتحدة الأمريكية)
GEH	عملية حسابية إحصائية لجيفري إي. هافرز.
HAZMAT	مواد خطرة.
HCM	دليل سعة الطرق.
HOV	مركبة ذات إشغال مرتفع.
HOT	ومسار المركبات ذات الإشغال المرتفع والتي برسوم
ITE	معهد مهندسي النقل.
LOS	مستوى الخدمة.
LRT	النقل عبر السكك الحديدية الخفيفة.
ML	المسارات المُدارة.

MOE	مقياس الفاعلية.
NASEM	الأكاديمية الوطنية للعلوم والهندسة والطب
NCFRP	البرنامج الوطني لأبحاث الشحن التعاوني (الولايات المتحدة الأمريكية).
NCHRP	البرنامج الوطني لأبحاث الطرق التعاونية (الولايات المتحدة الأمريكية).
NSW	نيوساوث ويلز (أستراليا).
O-D	المنبع-المقصد.
PCE	مكافئ سيارة الركاب.
P.E.	مهندس محترف.
RCUT	تقاطع مقيد العبور مزوّد بفتحات دوران للخلف
SMS	متوسط السرعة المقطوعة
SPUI	محول حضري أحادي النقطة
TMC	مركز الإدارة المرورية
TOT	مسار الشاحنات فقط الخاضع للرسوم
TRB	مجلس أبحاث النقل.
TSP	أولوية إشارة مركبات النقل العام.
USA	الولايات المتحدة الأمريكية.
V2V	اتصال المركبة بالمركبة.
V2I	اتصال المركبة بالبنية التحتية.
V/C	نسبة الحجم إلى السعة.

طـ الملحق طـ وحدات:

وحدات النظام الدولي		الوحدات البريطانية	
الطول			
nm	نانومتر		
µm	ميكرومتر		
mm	ملليمتر	in	بوصة
cm	سنتيمتر	ft	قدم
m	متر	yd	ياردة
km	كيلو متر	mi	ميل
المساحة			
mm^2	مليمتر مربع (ملم٢)	in^2in^2	بوصة مربعة
cm^2	سنتيمتر مربع	ft^2ft^2	قدم مربعة
m^2	متر مربع	yd^2	ياردة مربعة
ha	هكتار		
km^2	كيلومتر مربع		
الحجم			
mm^3	ملليمتر مكعب		
cm^3	سنتيمتر مكعب	in^3	بوصة مكعبة
m^3	متر مكعب	ft^3	قدم مكعب
l	لتر		
ML	ملليمتر		
الوزن			
mg	ملليجرام		
gr	جرام		
kg	كيلو جرام	lb	رطل
t	طن		
القوة			
N	نيوتن	lbf	قوة الرطل

kN	كيلو نيوتن	kip	كيلو رطل
الضغط			
Pa	باسكال	psi	رطل لكل بوصة مربعة
		pcf	رطل لكل قدم مكعب
KPa	كيلو باسكال		
MPa	ميجاباسكال		
الوقت			
s	ثانية		
min	دقيقة		
h	ساعة		
d	يوم		
week	أسابيع		
month	شهر		
yr	سنة		
درجة الحرارة			
C°	درجة مئوية	F°	درجة فهرنهايت
الزوايا			
°	درجة		
g	جراد		
التوصيل الحراري			
W/m•K	واط لكل متر كلفن	BTU/h·ft·°F	وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة-قدم-فهرنهايت
السعة الحرارية			
J/kg·K	جول لكل كيلو جرام كلفن	BTU/lb·°F	وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة رطل - فهرنهايت
غير ذلك			

km/h	كيلومترات لكل ساعة	(mi/h) mph	ميل في الساعة
m/s	متر في الثانية		
m/s^2	متر في الثانية المربعة		
m^3/s	متر مكعب في الثانية		
cm/min	سنتيمتر في الدقيقة		
mm^2/s	مليمتر مربع لكل ثانية		
Hz	هرتز		
kHz	كيلو هرتز		
MHz	ميجا هرتز		
GHz	جيجا هرتز		
dB	ديسيبل		
kJ	كيلوجول		
J	جول		
V	فولت		
W	واط		
C	كولوم		
Ω	أوم		
Ω·m	أوم . متر		
h/º	درجة لكل ساعة		
lm	لومن		
lx	لوكس		
cd	كانديلا		
cd/m^2	كانديلا لكل متر مربع		
$mcd/m^2/lx$	مللي كانديلا لكل متر مربع لكل لكس		
nit	نيت (كانديلا لكل متر مربع)		

l/m^2	لتر لكل متر مربع		
kg/m^2	كيلو جرام لكل متر مربع		
gr/m^2	جرام لكل متر مربع		
t·km	طن. كيلو متر		
ميجاباسكال	ملي باسكال ثانية		
Pa·s	باسكال ثانية		
cPs	سنتي بواز		
cST	سنتي ستوك		
Kg/ha	كيلوجرام لكل هكتار		
KPa/m	كيلوباسكال في المتر		
mg/l	ملليجرام/ لتر		
kg/m^3	كيلو جرام لكل متر مكعب	pci	رطل لكل بوصة مكعبة
		pcf	رطل لكل قدم مكعب
t/m^3	طن لكل متر مكعب		
kN/m	كيلو نيوتن لكل متر		
kg·cm	كيلو جرام - سم		
l/min	لتر في الدقيقة		
MPa/m	ميجا باسكال/ متر		
Pa·s	باسكال ثانية		
m^3/m-kN	كيلو نيوتن متر لكل متر مكعب	$ft\text{-}lbf/ft^3$	قدم- رطل لكل قدم مكعب
m/km	متر /كيلومتر	ft/mi	قدم لكل ميل
		in/mi	بوصة لكل ميل

mm/km	ميلليمتر/ كيلومتر		
mm/m	ميلليمتر/ متر		
rad/s	راديان في الثانية		
kg/cm^2	كيلو جرام لكل سنتيمتر مربع		
με	ميكروسترين		
		in/in/ºF	بوصة لكل بوصة لكل درجة فهرنهايت
غير ذلك			
pass/trip	عدد الركاب لكل رحلة		
PC	سيارة ركاب		
pc/hr	سيارات ركاب في الساعة		
pc/h/ln	مركبات ركاب في الساعة لكل مسار		
pc/km	مركبة ركاب لكل كيلومتر		
pc/km/ln	مركبات ركاب لكل كيلومتر لكل مسار		
pc/pm/pl	مركبات الركاب في الميل لكل مسار		
pcu/h	سيارات ركاب في الساعة		
ped	المشاة		
s/veh	الثواني لكل مركبة		
veh	المركبة		
veh/d	مركبة لكل يوم		
veh/km	مركبة لكل كيلومتر		
veh/km/ln	مركبة لكل كيلومتر لكل مسار		
veh/h	مركبة لكل ساعة		
veh/h/ln	مركبة في الساعة لكل مسار		
veh/ln/cycle	مركبة في المسار لكل دورة		
veh- km	مركبة كيلو متر		
vpmpl	مركبة في الساعة لكل مسار		
rpm	دورة في الدقيقة		
ppm	أجزاء في المليون		

pphm	جزء لكل مائة مليون
dpi	نقطة لكل بوصة
SAR	ريال سعودي
SAR/veh-km	ريال سعودي لكل مركبة - كيلومتر
SAR/VKT	ريال سعودي لكل مركبة لكل كيلومتر تقطعها
SAR/h	ريال سعودي في الساعة
mmhos/cm	ملليموزلكل سم



كـــود الطـرق السعودي

٢٠٢٣
الإصدار الأول

هندسة المرور وسلامة الطرق
كود الطرق السعودي ٦٠١ - هندسة المرور