



الهيئة العامة للطرق
Roads General Authority

كود الطرق السعودي

٢٠٢٣
الإصدار الأول

التخطيط والدراسات الأولية
كود الطرق السعودي ٢٠٢ - الأعمال المساحية ورسم الخرائط

رؤية VISION
2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

كود الطرق السعودي
SAUDI HIGHWAY CODE



القائمة الرئيسية 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		كود الطرق السعودي ٣٠١	التصميم الهندسي للطرق
٦	تصميم الطرق والجسور والأنفاق	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		كود الطرق السعودي ٤٠١	إنشاء الطرق
١٦	إنشاء الطرق والجسور والأنفاق	كود الطرق السعودي ٤٠٢	إنشاء الجسور والأنفاق
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



المواصفات السعودية
Saudi Standards

وزارة البيئة والمياه والزراعة
Ministry of Environment Water & Agriculture



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



المركز الوطني
للسلامة الطرق
National Road Safety Center



مركز دعم هيئات التطوير
DEVELOPMENT AUTHORITIES SUPPORT CENTER



اللجنة التوجيهية

معالي م. بدر بن عبدالله الدلامي
رئيس اللجنة

م. بدر بن علي الحقباني
عضو

م. عبدالله بن عبدالرحمن الربيعه
عضو

أ.د. علي بن سعيد الغامدي
مدير عام المشروع

أ. طامس بن علي الحمادي
عضو

م. علي بن سعيد الغامدي
عضو

م. رامي بن إسماعيل جلي
عضو

م. أجدر بن محمد السلمي
عضو

م. عبدالله بن محمود كاشغري
عضو

م. خالد بن وليد الرشيد
عضو

م. هذلول بن حسين الهذلول
عضو

د. خالد بن يحيى القحطاني
عضو

م. عمر بن عبدالرحمن الضبعان
عضو

م. سالم بن جبران القحطاني
عضو

م. طارق بن زياد الشامي
عضو

م. عبدالله بن سليمان السليمان
عضو

م. مياسم بنت مبارك باجوير
سكرتارية اللجنة

م. نواف بن أحمد الظبياني
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

م. تركي بن عبدالله العمودي

المدير الفني

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي

المدير الفني العام

م. محمد بن فايز المنيع

عضو

م. عبدالعزيز بن علي السحيباني

المدير الإداري

الفريق الفني

م. تركي بن عبدالله العمودي

المدير الفني

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي

المدير الفني العام

أ.د. علي بن سعيد الغامدي

مدير عام المشروع

م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي

عضو

م. مياسم بنت مبارك باجوير

عضو

م. عثمان بن مختار محمد

عضو

م. فهد بن علي المحمود

عضو

م. إبراهيم بن حسين أبوحليقة

عضو

م. مشعل بن عبدالله باوزير

عضو

م. أوس بن عبدالمنعم بخاري

عضو

م. عمر بن أسامة كبوش

عضو

م. يوسف بن عبدالعزيز العمار

عضو

الفريق الإداري

أ. نجلاء بنت سعيد جراد

مشرف تطوير الموقع الإلكتروني

م. نواف بن أحمد الظبياني

مدير التواصل

م. عبدالعزيز بن علي السحيباني

المدير الإداري

أ. شوق بنت خالد الخريجي

عضو

أ. موزي بنت ابراهيم الريشي

عضو

م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي

مشرف الترجمة

م. عبدالله بن عبدالرحمن الملاحي

عضو

أ. عبدالله بن محمد العمري

عضو

أ. نادر بن فياض الشاربي

عضو

الفريق القانوني

أ. أحمد بن مصلح الثقفي

عضو

أ. نجود بنت عبداللطيف بدران

عضو

اللجنة الفنية (كود الطرق السعودي ٢٠٢)

أ.د. عبدالله بن محمد القرني

عضو

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي

رئيس

فريق تدقيق الترجمة الفني

م. فيصل بن عبدالرحيم العنزي

عضو

م. تركي بن عبدالله العمودي

عضو

أ.د. سعد بن عبدالرحمن القاضي

رئيس

م. مياسم بنت مبارك باجوير

عضو

م. عثمان بن مختار محمد

عضو

م. مشعل بن عبدالله باوزير

عضو

م. إبراهيم بن حسين أبودليقة

عضو

م. عبدالعزيز بن عبدالله العسكر

عضو

م. عبدالله بن عبدالعزيز بخش

عضو

فريق تدقيق الترجمة اللغوي

د. نورة بنت عبدالعزيز الشعلان

عضو

د. فاطمة بنت علي الألمعي

عضو

د. هيفاء بنت محمد الفريح

رئيس

أ. نوف بنت عيسى المالكي

عضو

أ.د. زاهية بنت سالم جويرو

عضو

جدول المحتويات

أ.....	جدول المحتويات
ي.....	قائمة الأشكال
ل.....	قائمة الجداول
١.....	١- المقدمة:
١.....	١-١ ملخص الأبواب:
٢.....	٢-١ النطاق:
٢.....	٣-١ المواصفات والأكواد المرجعية:
٥.....	٢- مفاهيم المسح الأساسية:
٥.....	١-٢ مقدمة في المسح:
٥.....	٢-٢ تعريف المسح:
٥.....	٣-٢ المسح الأرضي:
٥.....	٤-٢ تطور المسح:
٦.....	٥-٢ مبادئ المسح:
٦.....	٦-٢ المسح وإدارة الأخطاء:
٦.....	١-٦-٢ نظرية الخطأ:
٧.....	٢-٦-٢ مفهوم القياس والخطأ:
٧.....	٣-٦-٢ مصادر الخطأ:
٧.....	٤-٦-٢ أنواع الأخطاء:
٩.....	٥-٦-٢ الدقة والإحكام:
٩.....	٧-٢ مواصفات دقة الخريطة:
١٠.....	٨-٢ المرجع الإسنادي للمسح في المملكة العربية السعودية:
١٢.....	١-٨-٢ المرجع الإسنادي الأفقي:
١٥.....	٢-٨-٢ المرجع الإسنادي الرأسي:
١٦.....	٣-٨-٢ الوحدات:
١٦.....	٤-٨-٢ الأنظمة الأخرى:
١٧.....	٥-٨-٢ النقاط المرجعية الجيوديسية:
١٨.....	٩-٢ منهجيات المسح:
١٩.....	١-٩-٢ المسح بجهاز نقطة المحطة المتكاملة:
١٩.....	٢-٩-٢ التسوية:
١٩.....	٣-٩-٢ المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS):
٢٠.....	٤-٩-٢ المسح الجوي:
٢١.....	٥-٩-٢ المسح عن طريق سبر الصدى:
٢٢.....	٦-٩-٢ المسح الضوئي بالليزر الأرضي:

٢٢	٧-٩-٢ أنظمة أجهزة الخرائط المتنقلة:
٢٤	٣- متطلبات المسح لمشاريع الطرق:
٢٤	١-٣ إجراءات مسح مشاريع الطرق:
٢٤	١-١-٣ مسوحات التحكم:
٢٦	٢-١-٣ المسوحات الطبوغرافية:
٢٦	٣-١-٣ مسوحات التضاريس:
٢٧	٤-١-٣ مسوحات القياس المساحي:
٢٧	٥-١-٣ مسوحات قياس أعماق البحار:
٢٨	٦-١-٣ مسوحات الإنشاء:
٢٨	٢-٣ مراحل دورة حياة مشروع طريق:
٢٨	١-٢-٣ دراسة الجدوى:
٣٠	٢-٢-٣ التصميم الابتدائي للطريق:
٣١	٣-٢-٣ التصميم التفصيلي / النهائي:
٣٢	٤-٢-٣ الإنشاء:
٣٢	٥-٢-٣ التشغيل/الصيانة:
٣٣	٣-٣ الأدوار والمسؤوليات:
٣٣	١-٣-٣ صاحب العمل:
٣٣	٢-٣-٣ المصمم / الاستشاري:
٣٣	٣-٣-٣ المقاول:
٣٣	٤-٣-٣ المسؤولية عن دقة بيانات المسح:
٣٤	٤- إرشادات عامة لأعمال المسح الميداني:
٣٤	١-٤ تخطيط أعمال المسح:
٣٤	١-١-٤ تخطيط المسح الميداني:
٣٤	٢-١-٤ منتجات رسم الخرائط الحالية في المملكة العربية السعودية:
٣٥	٢-٤ معايرة الأدوات:
٣٥	٣-٤ التحضير المسبق:
٣٦	٤-٤ متطلبات التوثيق العامة:
٣٦	١-٤-٤ دقة البيانات:
٣٦	٢-٤-٤ سلامة البيانات:
٣٦	٣-٤-٤ قابلية القراءة:
٣٦	٤-٤-٤ التعليقات:
٣٦	٥-٤-٤ تسجيل الملاحظات الميدانية:
٣٧	٦-٤-٤ إدارة الملاحظات الميدانية وتسليمها:
٣٩	٥-٤ الاتصالات الميدانية:
٣٩	١-٥-٤ الاتصال بمالك العقار:
٣٩	٢-٥-٤ دخول العقارات الخاصة:

٤١	٦-٤ السلامة أثناء المسح:
٤١	١-٦-٤ تدابير سلامة الطرق:
٤٢	٢-٦-٤ تدابير سلامة طاقم المسح:
٤٣	٥- إعداد الخرائط:
٤٣	١-٥ تمثيل السمة:
٤٤	٢-٥ التفاصيل الأفقية:
٤٥	٣-٥ التفاصيل الرأسية:
٤٥	٤-٥ إطار الخريطة:
٤٦	٥-٥ إجراءات مراقبة الجودة:
٤٨	٦- تسليم البيانات والتنسيقات:
٤٨	١-٦ بيانات المسح وبيانات نظم المعلومات الجغرافية:
٤٨	٢-٦ الصيغ النقطية:
٤٩	٣-٦ صيغ ملفات CADD:
٥١	٤-٦ صيغ نظم المعلومات الجغرافية الموجهة:
٥١	٥-٦ صيغ خريطة GIS:
٥٢	٦-٦ صيغ الملفات الأخرى:
٥٣	٧- التحكم الأفقي (محطات النقاط المتكاملة):
٥٣	١-٧ إنشاء نقاط التحكم:
٥٣	٢-٧ نقاط التحكم الأفقي:
٥٤	٣-٧ معايرة الأدوات:
٥٤	٤-٧ العناية بالأدوات:
٥٤	٥-٧ ضبط الأداة:
٥٥	٦-٧ عمليات الملاحظة:
٥٥	١-٦-٧ الزوايا:
٥٥	٢-٦-٧ المسافات:
٥٦	٧-٧ التثليث:
٥٧	٨-٧ طريقة المضلعات (الترافرس):
٥٨	٩-٧ الضبط:
٦٠	٨- التحكم الرأسي (التسوية):
٦٠	١-٨ نقاط التحكم الرأسي:
٦٠	٢-٨ المعدات:
٦٠	١-٢-٨ معايرة الأجهزة:
٦٠	٢-٢-٨ العناية بالأجهزة:
٦١	٣-٨ التسوية التفاضلية:

٦٣	٤-٨ التسوية عالية الدقة:
٦٤	٥-٨ ضبط البيانات الرأسية:
٦٥	٩- المسح الطبوغرافي (محطة النقاط المتكاملة):
٦٥	٩-١ تحديد مواقع المحطات:
٦٥	٩-٢ طرق المسح الأرضي (محطة النقاط المتكاملة):
٦٦	٩-٢-١ تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات المسافة:
٦٦	٩-٢-٢ طريقة التمديد:
٦٧	٩-٢-٣ طريقة التعامد:
٦٧	٩-٢-٤ طريقة المضلعات (الترافرس):
٦٧	٩-٢-٥ الطريقة القطبية (Polar):
٦٨	٩-٢-٦ تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات الزاوية:
٦٨	٩-٢-٧ طريقة التقاطع العكسي:
٧٠	١٠- المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS):
٧٠	١٠-١ مبادئ النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٧٠	١٠-١-١ تعريف النظام:
٧٠	١٠-١-٢ مبدأ آلية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٧٠	١٠-١-٣ مكونات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٧٢	١٠-١-٤ سمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ومجالات الاستخدام:
٧٢	١٠-٢ تقنيات المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٧٥	١٠-٢-١ الطريقة الساكنة:
٧٦	١٠-٢-٢ الطريقة الساكنة السريعة:
٧٧	١٠-٢-٣ طريقة الحركة:
٧٩	١٠-٢-٤ نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي:
٧٩	١٠-٢-٥ تحديد الوضع المطلق الدقيق:
٧٩	١٠-٣ المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية شاملاً الشبكة السعودية الوطنية لمحطات الرصد المرجعية العاملة باستمرار (CORS):
٧٩	١٠-٣-١ خدمات محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية في الوقت الحقيقي:
٨٠	١٠-٣-٢ منتجات محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية:
٨٠	١٠-٤ مسوحات التحكم بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٨١	١٠-٤-١ تعليمات مسح التحكم بنظام الملاحة العالمي عبر الأقمار الصناعية:
٨٥	١٠-٤-٢ تخطيط مسوحات التحكم بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٨٨	١١- جمع البيانات بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٨٨	١١-١ مبادئ جمع البيانات:
٨٩	١١-٢ خط الأساس للمسح الساكن:
٨٩	١١-٣ خط الأساس للمسح الساكن السريع:

٩٠	٤-١١ خط الأساس للمسح الحركي:
٩١	٥-١١ الملاحظات الميدانية والبيانات:
٩٢	١٢- معالجة البيانات من النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:
٩٢	١-١٢ مقدمة:
٩٢	٢-١٢ معالجة خط الأساس:
٩٣	٣-١٢ تعديل الخطأ:
٩٣	١-٣-١٢ التعديل الأفقي:
٩٤	٢-٣-١٢ التحكم والتعديل العمودي:
٩٤	٣-٣-١٢ تحليل تعديل المربعات الصغرى:
٩٥	٤-٣-١٢ تحليل خطأ الإغلاق للحركة في الوقت الحقيقي:
٩٦	٥-٣-١٢ تطوير تصميم المسح:
٩٧	٤-١٢ تقديم التقارير:
٩٧	١-٤-١٢ نموذج الإحداثيات:
٩٧	٢-٤-١٢ تقارير المسح:
٩٧	٥-١٢ معالجة النتائج:
٩٩	١٣- المسح الجوي:
٩٩	١-١٣ المقدمة:
٩٩	٢-١٣ مسوحات الليدار (LiDAR):
١٠٠	٣-١٣ مسوحات التصوير الجوي:
١٠٢	١-٣-١٣ المنصات الجوية المأهولة (بطيّار):
١٠٣	٢-٣-١٣ المنصات دون طيار (طائرات بدون طيار، درونز):
١٠٤	٣-٣-١٣ العوامل التي تخضع للتقييم:
١٠٥	٤-٣-١٣ التصوير بالقمر الصناعي:
١٠٥	٤-١٣ معالجة البيانات من المسوحات الجوية:
١٠٦	١-٤-١٣ التثليث الجوي:
١١٠	٢-٤-١٣ إنشاء نموذج السطح الرقمي والسحابة النقطية:
١١١	٣-٤-١٣ الصور الجوية مصححة الأبعاد:
١١٢	٤-٤-١٣ الرسومات المتجهة (Vector Plots):
١١٤	٥-١٣ اختيار أفضل منهجية لكل مقياس:
١١٥	١٤- المسح بالليزر:
١١٥	١-١٤ المعدات:
١١٥	١-١٤ الميكانيكية:
١١٦	٢-١-١٤ الكهروميكانيكية الدقيقة:
١١٦	٣-١-١٤ الحالة الصلبة:
١١٦	٤-١-١٤ طرق قياس المسافة:

١١٧.....	٢-١٤ الإجراءات:
١١٧.....	١-٢-١٤ معايرة الأدوات:
١١٧.....	٢-٢-١٤ العناية بالأدوات:
١١٨.....	٣-٢-١٤ إعداد الجهاز:
١١٨.....	٤-٢-١٤ إعداد الأداة:
١١٩.....	٥-٢-١٤ عملية المسح:
١٢٠.....	٣-١٤ معالجة البيانات:
١٢٠.....	١-٣-١٤ ملف السحابة النقطية:
١٢١.....	٢-٣-١٤ معالجة السحابة النقطية:
١٢٣.....	٣-٣-١٤ إمكانية التشغيل البيئي مع برامج التصميم بمساعدة الحاسب:
١٢٤.....	٤-١٤ الدقة والإحكام:
١٢٥.....	٥-١٤ التسليم:
١٢٦.....	١٥- رسم الخرائط المتنقلة:
١٢٦.....	١٥-١ المعدات:
١٢٨.....	١٥-١-١ الكاميرات والرؤية:
١٣٠.....	١٥-١-٢ الليدار (LiDAR):
١٣١.....	١٥-١-٣ الموقع والملاحة:
١٣٣.....	١٥-٢ الإجراءات:
١٣٤.....	١٥-٢-١ معايرة المعدات:
١٣٤.....	١٥-٢-٢ العناية بالمعدات:
١٣٤.....	١٥-٢-٣ الحصول على البيانات:
١٣٧.....	١٥-٣ معالجة البيانات:
١٣٧.....	١٥-٣-١ تنقية السحابة النقطية:
١٣٨.....	١٥-٣-٢ تفكيك السحابة النقطية:
١٣٨.....	١٥-٤ الدقة والإحكام:
١٣٨.....	١٥-٥ التسليم:
١٤٠.....	١٦-١ عمليات مسح الأعماق البحرية:
١٤٠.....	١٦-١-١ مسير بالصدى:
١٤٢.....	١٦-١-١-١ مسبارات الصدى أحادية الشعاع:
١٤٤.....	١٦-١-١-٢ مسبارات الصدى متعددة الشعاع:
١٤٥.....	١٦-٢ مسوحات الليدار الجوية:
١٤٥.....	١٦-٣ توقعات الدقة للأعماق البحرية:
١٤٦.....	١٦-٤ المعدات:
١٤٦.....	١٦-٥ الإجراءات:
١٤٦.....	١٦-٥-١ قياس العمق والمرجع الجيوديسي:

١٤٧	١٦-٥-٢ معدات نظام تحديد المواقع:.....
١٤٧	١٦-٦ معالجة البيانات:
١٤٨	١٦-٧ الدقة والإحكام:
١٤٨	١٦-٧-١ معدات نظام تحديد المواقع:.....
١٤٩	١٦-٧-٢ التعريفات وقياسات الجودة:.....
١٥٠	١٦-٧-٣ المواصفات الباثيمترية:
١٥٠	١٦-٨ المخرجات:
١٥٢	١٧- نموذج التضاريس الرقمية (DTM):
١٥٢	١٧-١ خصائص نموذج التضاريس الرقمي:.....
١٥٢	١٧-١-١ عام:.....
١٥٤	١٧-١-٢ اللقطات الموضعية:
١٥٤	١٧-١-٣ الخطوط الفاصلة:
١٥٥	١٧-٢ جمع بيانات نموذج التضاريس الرقمي الأرضي:.....
١٥٦	١٧-٣ جمع بيانات نموذج التضاريس الرقمي الجوي:
١٥٧	١٧-٤ إنشاء نموذج التضاريس الرقمي:.....
١٥٩	١٧-٥ المخرجات:
١٦٠	١٨- المساحة التفصيلية لمشاريع الطرق:
١٦٠	١٨-١ الجهة المختصة:
١٦٠	١٨-٢ مسوحات الأراضي العامة:.....
١٦٠	١٨-٣ أركان الحدود الخاصة:
١٦٠	١٨-٤ الأجهزة والمعدات:
١٦١	١٨-٥ الأبحاث الميدانية:.....
١٦١	١٨-٥-١ التحقق من إثبات السجل:
١٦١	١٨-٥-٢ استطلاع خطوط الإشغال والطرق:
١٦١	١٨-٥-٣ المقابلات مع أصحاب الممتلكات والسكان المحليين:
١٦١	١٨-٥-٤ تمييز أركان الأرض:
١٦٢	١٨-٦ خريطة الأساس لحرم الطريق:.....
١٦٢	١٨-٧ خرائط الأرض التفصيلية لحرم الطريق:
١٦٣	١٨-٨ توثيق حرم الطريق:
١٦٣	١٨-٨-١ توثيق حرم الطريق لغرض المعاينة أو التقويم:
١٦٣	١٨-٨-٢ توثيق حرم الطريق بناءً على طلب أصحاب الممتلكات المجاورة:
١٦٣	١٨-٨-٣ توثيق حرم الطريق لمساح الأراضي من القطاع الخاص:
١٦٤	١٩ مسوحات الإنشاء وإرشادات الآلات المؤتمتة:
١٦٤	١٩-١ ممرات الطرق:

١٦٤.....	١-١-١٩	تحديد حدود المشروع:
١٦٤.....	٢-١-١٩	مرحلة ما قبل الإنشاء:
١٦٥.....	٣-١-١٩	مرحلة الإنشاء:
١٦٨.....	٤-١-١٩	مرحلة ما بعد الإنشاء/كما-هو-مُنفذ:
١٦٨.....	٥-١-١٩	الدقة:
١٦٩.....	٦-١-١٩	نماذج الملاحظات:
١٦٩.....	٢-١٩	الجسور:
١٦٩.....	١-٢-١٩	بدء المشروع:
١٦٩.....	٢-٢-١٩	مرحلة ما قبل الإنشاء:
١٦٩.....	٣-٢-١٩	مرحلة الإنشاء:
١٧١.....	٤-٢-١٩	مرحلة ما بعد الإنشاء/كما-هو-مُنفذ:
١٧١.....	٥-٢-١٩	الدقة:
١٧١.....	٦-٢-١٩	نماذج الملاحظات:
١٧٢.....	٣-١٩	الأنفاق:
١٧٢.....	١-٣-١٩	بدء المشروع:
١٧٢.....	٢-٣-١٩	مرحلة ما قبل الإنشاء:
١٧٢.....	٣-٣-١٩	مرحلة الإنشاء:
١٧٣.....	٤-٣-١٩	مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ:
١٧٣.....	٥-٣-١٩	الدقة:
١٧٣.....	٦-٣-١٩	نماذج الملاحظات:
١٧٣.....	٤-١٩	ساحات وقوف السيارات:
١٧٣.....	١-٤-١٩	بدء المشروع:
١٧٤.....	٢-٤-١٩	مرحلة ما قبل الإنشاء:
١٧٤.....	٣-٤-١٩	مرحلة الإنشاء:
١٧٤.....	٤-٤-١٩	مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ:
١٧٤.....	٥-٤-١٩	الدقة:
١٧٥.....	٦-٤-١٩	نماذج الملاحظات:
١٧٥.....	٥-١٩	المباني:
١٧٥.....	١-٥-١٩	بدء المشروع:
١٧٥.....	٢-٥-١٩	مرحلة ما قبل الإنشاء:
١٧٥.....	٣-٥-١٩	مرحلة الإنشاء:
١٧٦.....	٤-٥-١٩	مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ:
١٧٦.....	٥-٥-١٩	الدقة:
١٧٦.....	٦-٥-١٩	نماذج الملاحظات:

١٧٦	٦-١٩ التوجيه الآلي للمعدات (AMG) في مسوحات الإنشاء:
١٧٧	١-٦-١٩ المفهوم:
١٧٨	٢-٦-١٩ إعداد البيانات وتبادلها:
١٧٩	٣-٦-١٩ الإجراء:
١٨٠	٤-٦-١٩ الإرشادات:
١٨٢	٢٠-٢ صيانة الطرق ونموذج معلومات البناء (BIM):
١٨٢	١-٢٠ صيانة الطرق وأعمال المسح:
١٨٢	٢-٢٠ مراقبة المشروع:
١٨٢	٣-٢٠ إجراءات وتقنيات نموذج معلومات البناء:
١٨٣	١-٣-٢٠ الأدوات والتقنيات:
١٨٣	٢-٣-٢٠ نموذج معلومات البناء في تصميم الطرق:
١٨٤	٣-٣-٢٠ نموذج معلومات البناء في أثناء مسوحات الإنشاء:
١٨٤	٤-٣-٢٠ نموذج معلومات البناء للمسوحات كما-هو-مُنقذ:
١٨٦	٢١-٢ إجراء الاستثناء:
١٨٦	١-٢١ العناصر التي تتطلب استثناءات:
١٨٦	٢-٢١ العملية:
١٨٧	٣-٢١ التقييم ومبررات إجراء الاستثناء:
١٨٨	المراجع
١٩٠	أ- الملحق أ - أكواد العلامات والسمات:
١٩٠	١-أ وضع العلامات (MoMRAH, 2005):
١٩٢	٢-أ رموز السمات للخرائط الطبوغرافية، مقياس ١:١٠,٠٠٠:
٢٠٧	ب- الملحق ب - مسرد المصطلحات:
٢٠٩	ج- الملحق ج - الاختصارات والرموز:
٢١٢	د- الملحق د - الوحدات:

قائمة الأشكال

- الشكل (٢-١) منحني التوزيع الطبيعي..... ٨
- الشكل (٢-٢) نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (GASGI, 2022)..... ١١
- الشكل (٢-٣) تغطية شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (GASGI, 2021). يمكن توفير المعلومات المحدثة عبر الرابط <https://ksacors.gcs.gov.sa>..... ١٨
- الشكل (٢-٤) (تغطية شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (GASGI, 2021). يمكن توفير المعلومات المحدثة عبر الرابط <https://ksacors.gcs.gov.sa>..... ٢٠
- الشكل (٢-٥) السحابة النقطية المتولدة من المسح الجوي..... ٢١
- الشكل (٢-٦) توضيح لآلية سبر الصدى..... ٢١
- الشكل (٢-٧) دمج مستشعرات أنظمة رسم الخرائط المتنقلة..... ٢٢
- الشكل (٣-١) الفرق بين نماذج السطح الرقمية ونماذج التضاريس الرقمية - نماذج المنسوب الرقمية..... ٢٧
- الشكل (٤-١) مراحل الملاحظات الميدانية..... ٣٨
- الشكل (٤-٢) نموذج الاتصال بمالك العقار (DMAT, 2016)..... ٤٠
- الشكل (٥-١) مخطط سير أعمال ضبط جودة الخرائط الطبوغرافية (MoMRAH, 2005)..... ٤٧
- الشكل (٩-١) طريقة تقاطع النقاط حسب قياسات المسافة..... ٦٦
- الشكل (٩-٢) طريقة التمديد..... ٦٦
- الشكل (٩-٣) طريقة التعامد..... ٦٧
- الشكل (٩-٤) طريقة المضلعات (الترافرس)..... ٦٧
- الشكل (٩-٥) الطريقة القطبية..... ٦٨
- الشكل (٩-٦) تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات الزاوية..... ٦٨
- الشكل (٩-٧) طريقة التقاطع العكسي..... ٦٩
- الشكل (١٠-١) مكونات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية..... ٧١
- الشكل (١٠-٢) مسح ساكن - ثُمِّل المثلثات المجوفة الفارغة المستكشفت المتنقلة..... ٧٥
- الشكل (١٠-٣) مسح ثابت سريع - ثُمِّل المثلثات المجوفة الفارغة المستكشفت المتنقلة..... ٧٦
- الشكل (١٠-٤) مسح طريقة الحركة بطريقة التوقف والتحرك - ثُمِّل الدوائر المجوفة الفارغة مواقع المستكشفت المتنقلة..... ٧٧
- الشكل (١٠-٥) مسح حركي - ثُمِّل الدائرة المجوفة الفارغة موقع المستكشفت المتنقل..... ٧٧
- الشكل (١٠-٦) خطوط الأساس المستقلة وغير المستقلة..... ٨٥
- الشكل (١٠-٧) أفضل ممارسات شبكة المراقبة..... ٨٦
- الشكل (١١-١) النقطة المرجعية للهوائي ومركز طور الهوائي لكل من (L1) و (L2) وإزاحتها..... ٨٩
- الشكل (١٢-١) تحليل خطأ إغلاق طريقة الحركة في الوقت الحقيقي..... ٩٥
- الشكل (١٣-١) نمط الطيران النموذجي فوق منطقة الاهتمام..... ١٠٠
- الشكل (١٣-٢) مخطط عملية المسح الجوي..... ١٠٦
- الشكل (١٣-٣) مدخلات ومخرجات التتليث الجوي..... ١٠٦
- الشكل (١٣-٤) صورة مصححة من المبنى وتفاصيل على الحافة..... ١١٣
- الشكل (١٤-١) أجهزة ليدار مع المسح الضوئي الميكانيكي..... ١١٦
- الشكل (١٤-٢) شبكة مسح مفضلة..... ١٢٠
- الشكل (١٤-٣) عدة أنواع من أهداف أجهزة المسح الأرضي بالليزر (Fryskowska-Skibniewska, 2019)..... ١٢٢

- الشكل (٤-١٤) مستويات مختلفة من التفاصيل (LoD) للمباني وفقًا لنموذج (CityGML). لا يتم تمثيل مستوى التفاصيل (٠)، نظرًا لأنه ليس نموذجًا ثلاثي الأبعاد، ولكنه ببساطة مخطط المبنى مع الارتفاع كسمة (OGC, 2012). ١٢٤.....
- الشكل (١٥-١) أمثلة على كاميرات (٣٦٠) درجة لرسم الخرائط المتنقلة. ١٢٨.....
- الشكل (١٥-٢) أمثلة على أجهزة رسم الخرائط المتنقلة المثبتة بالسيارة. ١٣٠.....
- الشكل (١٥-٣) أمثلة على نماذج صغيرة وخفيفة الوزن محمولة باليد وعلى الظهر من نظام رسم الخرائط المتنقلة. ١٣١.....
- الشكل (١٥-٤) أمثلة على وحدات القياس بالقصور الذاتي عالية الدرجة لرسم الخرائط المتنقلة. ١٣٣.....
- الشكل (١٥-٥) طريق واحد بمسارات متعددة. ١٣٥.....
- الشكل (١٥-٦) طريق واحد مقسم بمسارات متعددة. ١٣٥.....
- الشكل (١٥-٧) طريق مزدوج بمسارات متعددة. ١٣٦.....
- الشكل (١٦-١) عينة من تغييرات سرعة الصوت في درجات الحرارة والأعماق المختلفة. ١٤١.....
- الشكل (١٦-٢) مواصفات النظام الخاص والحصري للمنظمة الهيدروغرافية الدولية. ١٤٢.....
- الشكل (١٦-٣) عينات من الحصول على نقاط مسارات الصدى أحادية الشعاع. ١٤٣.....
- الشكل (١٦-٤) أمثلة سفينة سطحية غير مأهولة من (STONEX) وهندسة المحيطات العميقة، التي يمكن استخدامها لمسبارات الصدى أحادية ومتعددة الشعاع أو حتى لمستشعرات الليدار. ١٤٤.....
- الشكل (١٦-٥) أمثلة على مسبارات الصدى متعددة الشعاع من Teledyne Marine و Kongsberg Maritime و NORBIT. ١٤٥.....
- الشكل (١٦-٦) البيانات المقطعية الخام والمعالجة (Wilson & Richards, 2006). ١٤٧.....
- الشكل (١٦-٧) تمثيل الخطوط الكنتورية الأولية للسطح والخطوط الكنتورية الممهدة (Wilson & Richards, 2006). ١٥١.....
- الشكل (١٧-١) مجموعة نموذجية لسمات نموذج التضاريس الرقمي. ١٥٣.....
- الشكل (١٧-٢) نموذج التضاريس الرقمي مع استخدام الخطوط الفاصلة في (أ) وبدون استخدامها في (ب). ١٥٤.....
- الشكل (١٧-٣) تعيين الخطوط الفاصلة - قطاع نموذجي. ١٥٥.....
- الشكل (١٧-٤) (أ) نموذج السطح الرقمي من التصوير المساحي الضوئي و (ب) التصوير مصحح الأبعاد. ١٥٦.....
- الشكل (١٧-٥) (أ) سحابة نقطية خام و (ب) بيانات سحابة نقطية أرضية محددة أوتوماتيًّا. ١٥٧.....
- الشكل (١٧-٦) إنشاء نموذج التضاريس الرقمية: (أ) مع حدود خارجية و (ب) بدون حدود خارجية. ١٥٨.....
- الشكل (١٩-١) مثال على التوجيه الآلي للمعدات المستخدم في موقع إنشاء (DOT, 2013). ١٧٧.....
- الشكل (١٩-٢) معدات لطرائق التوجيه الآلي للمعدات. ١٧٨.....
- الشكل (أ-١) العلامات من الدرجة الأولى والثانية (MoMRAH, 2005). ١٩٠.....
- الشكل (أ-٢) العلامات من الدرجة الثالثة (MoMRAH, 2005). ١٩١.....

قائمة الجداول

الجدول (١-١) مسميات وعناوين مواصفات (ISO) و (IEC) المنطبقة على كود الطرق السعودي ٢٠٢.....	٢
الجدول (١-٢) مقاييس رسم الخرائط والدقة الأفقية.....	١٠
الجدول (٢-٢) مقاييس رسم الخرائط، والفترات الكنتورية، والدقة الرأسية.....	١٠
الجدول (٣-٢) مكونات نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية الذي سجلته الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية في قاعدة بيانات (EPSG (GASGI, 2022).....	١٣
الجدول (٤-٢) مكونات نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية الذي سجلته الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية في سجل ISO الجيوديسي (GASGI, 2022).....	١٤
الجدول (٥-٢) وحدات القياس.....	١٦
الجدول (٦-٢) الأطر المرجعية القائمة على نظام الإسناد الأرضي الدولي المستخدمة من قبل أعضاء فريق التركيز المرجعي الجيوديسي (GASGI, 2022).....	١٧
الجدول (١-٣) قابلية تطبيق منهجيات المسح على إجراءات المسح خلال دورة حياة مشروع طريق.....	٢٤
الجدول (٢-٣) درجات المسح: درجة الطريق مقابل مواصفات المسح الجيوديسي الوطني.....	٢٥
الجدول (٣-٣) المنهجيات المناسبة حسب نوع التحكم والدرجة.....	٢٥
الجدول (٤-٣) مقاييس المسح وأدواته وأنواعه خلال فترة مشاريع الطرق.....	٢٨
الجدول (٥-٣) تفاصيل التغطية بشأن الطريق القائم / المقترح / الممر لدراسات الجدوى.....	٢٩
الجدول (٦-٣) تفاصيل التغطية بشأن الطريق المقترح / القائم / الممر لدراسات الجدوى.....	٣٠
الجدول (٧-٣) تباعد نقطة التحكم.....	٣١
الجدول (١-٤) صور الأقمار الصناعية ومسافة المعاينة الأرضية.....	٣٥
الجدول (١-٥) السمات الرئيسية وعدد الطبقات (MoMRAH, 2005).....	٤٤
الجدول (٢-٥) أبعاد ومساحات الخريطة حسب المقياس (MoMRAH, 2005).....	٤٦
الجدول (١-٦) أبعاد مربعات البيانات النقطية حسب المقياس.....	٤٩
الجدول (٢-٦) القواعد الطبوغرافية المتعلقة بالتحقق من الطبقة الواحدة.....	٥٠
الجدول (٣-٦) القواعد الطبوغرافية المتعلقة بالتحقق من الطبقة المجمعة.....	٥١
الجدول (١-٧) دقة التحكم الأفقي.....	٥٣
الجدول (٢-٧) متطلبات التعديل الأفقي بطريقة المضلعات/التوافرس (MoMRAH, 2005).....	٥٧
الجدول (١-٨) متطلبات التحكم الرأسي (التسوية) (MoMRAH, 2005).....	٦١
الجدول (١-١٠) اختيار نوع المسح المناسب للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية - المزايا والعيوب.....	٧٤
الجدول (٢-١٠) المعايير والمواصفات المناسبة لمسوحات تحكم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (MoMRAH, 2005) (ODOT, 2014).....	٨٢
الجدول (١-١٣) معلمات الطيران لرحلات الطيران بالطائرات بطيار ودون طيار.....	١٠١
الجدول (٢-١٣) مقاييس رسم الخريطة والامتثال الأفقي والرأسي لصور خرائط الأقمار الصناعية (Orthophotomaps).....	١٠٢
الجدول (٣-١٣) مزايا وعيوب كل نوع من أنواع الطائرات دون طيار.....	١٠٣
الجدول (٤-١٣) أنواع النقاط المتضمنة في التثليث الجوي.....	١٠٧
الجدول (٥-١٣) معلمات معايرة الكاميرا.....	١٠٨
الجدول (٦-١٣) مقاييس رسم الخريطة مقابل الدقة الأفقية ومقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية.....	١١٠
الجدول (٧-١٣) مقاييس رسم الخريطة مقابل الدقة الرأسية لمنسوب النقطة مقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية (تداخل بنسبة ٧٠٪، وافترض عدسة ١٠٠ درجة، مع نسبة قاعدة/ارتفاع تبلغ ٢).....	١١١

- الجدول (٨-١٣) مقاييس الخريطة، مقابل حجم البكسل الأرضي من الصور الجوية مصححة الأبعاد، ومسافة المعاينة الأرضية الموصى بها للصور الأصلية. ١١١
- الجدول (٩-١٣) مقاييس رسم الخريطة مقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية والمنصة الأكثر ملاءمة. ١١٣
- الجدول (١٠-١٥) أشهر أنواع أجهزة الاستشعار لأنظمة الملاحة عبر الإنترنت. ١٢٧
- الجدول (١١-١٥) خصائص الإرشادية لنظام رسم الخرائط الأرضية المتنقلة. ١٣٨
- الجدول (١٢-١٦) ملخص المواصفات الباثيمتريّة لسلامة المسوحات الهيدروغرافية الملاحية. ١٤٩
- الجدول (١٣-١٧) إجراءات نموذج التضاريس الرقمي والمواصفات حسب مقياس الرسم. ١٥٣
- الجدول (١٤-١٨) رموز السمات للخرائط الطبوغرافية، مقياس ١:١٠٠٠ (MoMRAH, 2005). ١٩٢



١- المقدمة:

١-١ ملخص الأبواب:

ينقسم مجلد كود الطرق السعودي ٢٠٢ (الأعمال المساحية ورسم الخرائط) إلى (٦) أجزاء تحتوي على (٢١) بابًا. وفيما يلي عرض موجز لتلك الأجزاء والأبواب:

الجزء (١) - الأعمال المساحية ورسم الخرائط ومشاريع الطرق (الباب ١ حتى الباب ٧): يغطي هذا الجزء من الكود المتطلبات العامة للأعمال المساحية، وكيفية تطبيقها على مشاريع الطرق.

الجزء (٢) - مسح وتسوية نقاط المسح المتكاملة (الباب ٧ إلى الباب ٩): يغطي هذا الجزء من الكود التفاصيل، وذلك عند استخدام محطات النقاط المتكاملة (TPS)، وأجهزة التسوية للمسح.

الجزء (٣) - المسح بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) (الباب ١٠ إلى الباب ١٢): يغطي هذا الجزء من الكود التفاصيل، وذلك عند استخدام أدوات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية للمسح.

الجزء (٤) - منهجيات المسح الأخرى (من الباب ١٣ إلى الباب ١٦): يغطي هذا الجزء من الكود المتطلبات، وذلك عند استخدام أجهزة ومنهجيات المساحة الجوية، ورسم الخرائط المتنقلة، والمسح بالليزر، ومسح الأعماق البحرية لمشاريع الطرق.

الجزء (٥) - إجراءات مسح مشاريع الطرق (من الباب ١٧ إلى الباب ٢٠): يغطي هذا الجزء من الكود تفاصيل إجراءات المسوحات الخاصة المستخدمة في مشاريع الطرق.

الجزء (٦) - الإجراءات الاستثنائية (الباب ٢١): ينتهي المجلد بهذا الجزء من خلال بيان الإجراءات الاستثنائية.

الباب (١): المقدمة - يقدم هذا الباب نظرة عامة على أبواب المجلد، ونطاقه، وقائمة كاملة بالمواصفات المرجعية الواردة فيه.

الباب (٢): مفاهيم المسح الأساسية - يقدم هذا الباب المسح، وطرقه، ومفاهيمه، ومبادئه الأساسية، بالإضافة إلى تعريف المرجع الإسنادي للمسح.

الباب (٣): متطلبات المسح لمشاريع الطرق - يصف هذا الباب إجراءات المسح، التي تنطوي عليها مراحل تصميم الطرق والإنشاء والصيانة، بالإضافة إلى المفاهيم الأساسية - الأخرى - المتعلقة بالعاملين المشاركين في المسح.

الباب (٤): إرشادات عامة لأعمال المسح الميداني - يصف هذا الباب إجراءات التخطيط والإعداد المتعلقة بالعمل الميداني للمسح، بالإضافة إلى التوجيهات العامة للعمل الميداني المطبقة في جميع منهجيات المسح.

الباب (٥): إعداد الخرائط يصف هذا الباب شكل الخرائط النهائية - التي ستُعد من خلال أعمال المسح.

الباب (٦): تسليم البيانات والصيغ - يقدم هذا الباب معلومات عن تنسيقات البيانات المتاحة، والمستخدمة عند تقديم بيانات المسح النهائية.

الباب (٧): التحكم الأفقي (TPS) - يصف هذا الباب الإجراءات المطلوبة؛ لإنشاء التحكم الأفقي في مشاريع الطرق، باستخدام محطات النقاط المتكاملة (TPS).

الباب (٨): التحكم الرأسي (Leveling) - يصف هذا الباب الإجراءات المطلوبة؛ لتأسيس التحكم الرأسي في مشاريع الطرق، باستخدام المناسيب.

الباب (٩): المسح الطبوغرافي (TPS) - يصف هذا الباب الإجراءات التي ينطوي عليها المسح الأرضي باستخدام محطات النقاط المتكاملة.

الباب (١٠): المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية - يقدم هذا الباب معلومات عامة عن مسوحات وتقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

الباب (١١): جمع بيانات بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية - يصف هذا الباب العمليات المطلوبة في الموقع لمسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

الباب (١٢): معالجة البيانات من النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية - يصف هذا الباب الإجراءات التي تنطوي عليها معالجة بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، وتصحيح الأخطاء.

الباب (١٣): المسح الجوي، يصف هذا الباب إجراءات المسح الجوي - ويقدم مفهوم المسح التصويري والمسح الجوي الليداري (LiDAR)، باستخدام المركبات الج بيطار وبدون طيار.

الباب (١٤): المسح بالليزر - يصف هذا الباب الإجراءات المطلوبة لاستخدام المسح الأرضي بالليزر (TLS) في مشاريع الطرق.

الباب (١٥): رسم الخرائط المتنقلة - يصف هذا الباب مسوحات رسم الخرائط المتنقلة، إضافة إلى مقدمة للإجراءات، ومعالجة البيانات، والمعدات اللازمة.

- الباب (١٦): عمليات مسح الأعماق البحرية -** يصف هذا الباب الإجراءات المطبقة في استخدام مسوحات قياس الأعماق البحر، وسير الصدى في مشاريع الطرق.
- الباب (١٧): نموذج التضاريس الرقمية -** يقدم هذا الباب إرشادات لجمع بيانات نموذج التضاريس الرقمية (DTM) وإنشائها ومراقبة جودتها.
- الباب (١٨): المساحة التفصيلية لمشاريع الطرق -** يغطي هذا الباب المهام التي ينطوي عليها إنشاء خرائط المسح التفصيلية لمشاريع الطرق.
- الباب (١٩): مسوحات الإنشاء وإرشادات الآليات المؤتممة -** يحدد هذا الباب ضرورات مسوحات الإنشاء وتوظيف التوجيه الآلي للمعدات (AMG) في إنشاء مشاريع الطرق.
- الباب (٢٠): صيانة الطرق ونماذج معلومات البناء (BIM) -** يغطي هذا الباب مفهوم نموذج معلومات البناء عند استخدامه في مشاريع الطرق.
- الباب (٢١): إجراء الاستثناء -** يوفر هذا الباب الإجراء الاستثنائي للتصميم المطلوب لتجاوز محتوى هذا المجلد.

٢-١ النطاق:

تخضع جميع أعمال المسح أو الأنشطة المتعلقة بالمسح، التي تقوم بها جميع الجهات ذات الصلة لسياسات وإجراءات هذا المجلد. هذا الجزء مخصص باعتباره دليل المستخدم؛ حيث يعرف القواعد المقبولة حاليًا والمحددة عمومًا، وطرق المسح المناسبة، والمعدات اللازمة لإجراء أنشطة رسم الخرائط بدقة لمشاريع الطرق. محتوى هذا الجزء ملزم، ولكن يسمح بالاستثناءات في حالات محددة إذا كانت مدعومة وموافق عليها بشكل صحيح، وذلك باتباع إجراءات استثناء التصميم المنصوص عليها في الباب (٢١) المقابل. يشكل محتوى هذا الجزء الأساس لعقود جهات الطرق المختصة.

٣-١ المواصفات والأكواد المرجعية:

يجب أن تكون مواصفات جميع أعمال معايرة وإجراءات الأدوات الجيوديسية مثلما حُدد في مواصفاتها، في وثائق العقد -إن وجدت-، ووفقًا لما يلي في أحدث إصدار لها:

- ١ - مواصفات المنظمة الدولية للمعايير (ISO).
- ٢ - مواصفات اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC).

الجدول (١-١) يعرض مواصفات المنظمة الدولية للمعايير (ISO) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) المتعلقة بأعمال المسح ورسم الخرائط، بما في ذلك المسميات والعناوين.

الجدول (١-١) مسميات وعناوين مواصفات (ISO) و (IEC) المنطبقة على كود الطرق السعودي ٢٠٢.

ISO	IEC	ترجمة المسمى إلى العربية	المسمى بالإنجليزية
12858-1		البصريات والأجهزة البصرية - الأجهزة المساعدة للأجهزة الجيوديسية - الجزء ١: قامات تسوية إنفار	Optics and Optical Instruments – Ancillary Devices for Geodetic Instruments - Part 1: Invar Levelling Staffs
12858-2		البصريات والأجهزة البصرية - الأجهزة المساعدة للأجهزة الجيوديسية - الجزء ٢: الحوامل الثلاثية	Optics and Optical Instruments – Ancillary Devices for Geodetic Instruments - Part 2: Tripods
12858-3		البصريات والأجهزة البصرية - الأجهزة المساعدة للأجهزة	Optics and Optical Instruments – Ancillary



ISO	IEC	ترجمة المسمى إلى العربية	المسمى بالإنجليزية
		الجيوديسية - الجزء ٣: ثلاثيات القوائم الانضباطية	Devices for Geodetic Instruments - Part 3: Tribrachs
16331-1		البصريات والأجهزة البصرية - إجراءات المختبر لاختبار المسح وأدوات الإنشاء - الجزء ١: أداء أجهزة قياس المسافة بالليزر المحمولة	Optics and Optical Instruments – Laboratory Procedures for Testing Surveying and Construction Instruments - Part 1: Performance of Handheld Laser Distance Meters
17123-1		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوديسية وأدوات المسح - الجزء ١: النظرية	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 1: Theory
17123-2		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوديسية وأدوات المسح - الجزء ٢: المستويات	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 2: Levels
17123-3		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوديسية وأدوات المسح - الجزء ٣: أجهزة المزاواة	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 3: Theodolites
17123-4		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوديسية وأدوات المسح - الجزء ٤: عدادات المسافة الكهروضوئية (قياسات EDM للعاكسات)	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 4: Electro-Optical Distance Meters (EDM Measurements to Reflectors)
17123-5		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوديسية وأدوات المسح - الجزء ٥: إجمالي المحطات	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 5: Total Stations
17123-6		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying



ISO	IEC	ترجمة المسمى إلى العربية	المسمى بالإنجليزية
		الجيوإيسية وأدوات المسح – الجزء ٦: عناصر الليزر الدوارة	Instruments - Part 6: Rotating Lasers
17123-7		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوإيسية وأدوات المسح - الجزء ٧: أدوات السبابة الضوئية	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 7: Optical Plumbing Instruments
17123-8		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوإيسية وأدوات المسح – الجزء ٨: نظم القياس الميدانية GNSS في المواقع الحركية في الزمن الفعلي (RTK)	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 8: GNSS Field Measurement Systems in Real-Time Kinematic (RTK)
17123-9		البصريات والأجهزة البصرية - الإجراءات الميدانية لاختبار الأجهزة الجيوإيسية وأدوات المسح – الجزء ٩: ماسحات الليزر الأرضية	Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments - Part 9: Terrestrial Laser Scanners
	60825-1	سلامة منتجات الليزر – الجزء الأول: تصنيف المعدات والمتطلبات	Safety of Laser Products - Part 1: Equipment Classification and Requirements



٢- مفاهيم المسح الأساسية:

١-٢ مقدمة في المسح:

رسم الخرائط والمسح يشار إليه -أيضاً- بمصطلح الجيوماتكس (Geomatics)، وهو مجال جمع، وتخزين، ومعالجة، وتقديم المعلومات الجغرافية أو المراجع المكانية، ويُعنى بشكل أساسي بفهم شكل وخصائص العالم المادي؛ نظراً لعلاقتها الأساسية بالسماط الطبيعية والبشرية للبيئة، وتلعب أعمال المسح دوراً مهماً جداً في كل مشروع إنشائي، والأمن البشري، والمصلحة العامة. إن المسح يخدم كأساس معظم دراسات الإنشاء التي نراها اليوم، خاصة فيما يتعلق بتنظيم المدن، وإنشاء المرافق العامة، والتخطيط الحضري والريفي؛ لذلك يلعب المسح ورسم الخرائط دوراً مهماً في كل جانب من جوانب الأنشطة المتعلقة بالطرق؛ مثل: تصميم الطرق، وإنشائها، وصيانتها.

٢-٢ تعريف المسح:

المسح هو العلم والفن الذي يهدف إلى تصوير سطح الأرض، بما في ذلك سماته الأفقية والرأسية على الخرائط بمقاييس رسم مناسبة؛ ويشير المسح إلى جميع المحتويات الموجودة على هذا السطح، سواء كانت طبيعية، مثل: (الجبال، أو الأودية، أو الأنهار، أو البحار) أم من صنع الإنسان؛ مثل: (المباني، والطرق، وحدود الممتلكات الخاصة والعامة).

تعتمد أعمال المسح على قياس المسافات والزوايا والاتجاهات والارتفاعات باستخدام أجهزة مراقبة بصرية وإلكترونية ورقمية متعددة الدقة والغرض، ويستند -أيضاً- إلى العمل المكتبي، الذي يتطلب أنواعاً مختلفة من الحسابات والتعديلات والرسومات، ومن خلال أجهزة الحاسوب، ومحطات العمل التفاعلية.

لأغراض هذا الكود، يجب الإشارة إلى جميع "المسوحات" المذكورة فيما يلي باسم "مسح الطرق".

٣-٢ المسح الأرضي:

يُحدد المسح الأرضي المواقع الأفقية والرأسية للنقاط والسماط على سطح الأرض وفقاً لنظام مرجعي معين؛ ويحدد الاتجاهات، ويقيس الأطوال، ويحدد حدود الأرض، وأخيراً ينتج خرائط مفصلة بمقاييس مختلفة؛ تصف تفاصيل سمات الأرض. ويمكن تقسيم المسح الأرضي إلى جزئين:

- **المسح المستوي:** هي المنطقة التي تهدف إلى تصوير سطح الأرض كسطح محدود مسطح بغض النظر عن شكله الكروي، واستخدامه محدود في مسح وتوثيق (staking) المساحات الصغيرة؛ إذ يُستخدم في دراسة وتنفيذ المشاريع الهندسية ذات الحجم المحدود؛ مثل: المباني والجسور والأنفاق والمناجم.
- **المسح الجيوديسي:** وهي المنطقة التي تفحص تصوير سطح الأرض كسطح غير منتظم يقارب الشكل البيضاوي. وتُستخدم في مناطق واسعة؛ مثل: البلدان، والقارات، والمشاريع الكبيرة، كمشاريع الطرق. ويهدف إلى تحديد شكل وحجم وجاذبية الأرض، ومسح ورسم خرائط لمساحات واسعة. وتستخدم -أيضاً- لإنشاء نقاط التحكم ورصدها؛ لتكون الأساس لجميع أعمال المسح.

٤-٢ تطور المسح:

خلال العقدين الماضيين، شهدت علوم المسح تقدماً هائلاً في جميع إجراءاتها المتعلقة بالتقنيات الميدانية والمكتبية؛ إذ لم يعد المسح يتعلق فقط بقياس المسافات والزوايا، بل ذهب -بعيداً- إلى العديد من التطبيقات الأخرى؛ مثل: **النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية**، والمسح الضوئي بالليزر، والمسح التصويري الرقمي، ورسم الخرائط المتنقلة، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والعديد من تقنيات المسح الأخرى، وكلها محددة بالمصطلح المعروف باسم الجيوماتكس (Geomatics).

وفي نفس الصدد، قامت إحدى منظمات الاتحاد الدولي للمساحين (FIG) - في إصدارها رقم (٢) في عام ١٩٩١ م - بتعريف المسح، ومهنة المسح على النحو التالي:

المساح هو شخص مهني يتمتع بالمؤهلات الأكاديمية والخبرة الفنية للقيام بواحد أو أكثر من الأنشطة التالية:

- تحديد وقياس وتصوير الأرض، والأجسام ثلاثية الأبعاد، والحقول النقطية، والمسارات.
- تجميع وبيان الأراضي والمعلومات ذات الصلة جغرافياً.
- استخدام تلك المعلومات للتخطيط والإدارة الفعالة للأرض والبحر وأي منشآت قائمة عليها.
- إجراء البحوث في الممارسات المذكورة أعلاه وتطويرها.

قد تتضمن المهام التفصيلية للمساحين واحدًا أو أكثر من الأنشطة التالية، التي قد تحدث إما على سطح الأرض أو في البحر؛ فوّه أو تحته، ويمكن تنفيذها بالاشتراك مع مهنيين آخرين:

- ١- تحديد حجم وشكل الأرض، وقياس جميع البيانات اللازمة؛ لتحديد حجم، وموضع، وشكل، ومحيط أي جزء من الأرض، ومراقبة أي تغيير فيها.
- ٢- وضع الأجسام في المكان والزمان، وكذلك وضع ومراقبة السمات الفيزيائية، والمنشآت، والأعمال الهندسية على سطح الأرض أو فوقه أو تحته.
- ٣- تطوير واختبار ومعايرة أجهزة الاستشعار، والأجهزة، والأنظمة؛ للأغراض المذكورة أعلاه وغيرها من أغراض المسح.
- ٤- الحصول على المعلومات المكانية واستخدامها، من صور المدى القريب، والصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية، وأتمتة هذه العمليات.
- ٥- تحديد موقع حدود الأراضي العامة أو الخاصة، بما في ذلك الحدود الوطنية والدولية، وتسجيل تلك الأراضي لدى الجهات المختصة.
- ٦- تصميم وإنشاء وإدارة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وجمع البيانات، وتخزينها، وتحليلها، وإدارتها، وعرضها، ونشرها.
- ٧- تحليل وتفسير ودمج الأشياء والظواهر المكانية في نظم المعلومات الجغرافية، بما في ذلك تصور وتوصيل هذه البيانات في الخرائط والنماذج والأجهزة الرقمية المتنقلة.
- ٨- دراسة البيئة الطبيعية والاجتماعية، وقياس الموارد البرية والبحرية، واستخدام هذه البيانات في تخطيط التنمية في المناطق الحضرية والريفية والإقليمية.
- ٩- تخطيط وتطوير الممتلكات سواء أكانت حضرية أم ريفية، وسواء أكانت أراضي أم مباني.
- ١٠- تقدير القيم وإدارة الممتلكات، سواء أكانت حضرية أم ريفية، وسواء أكانت أراضي أم مباني.
- ١١- تخطيط وقياس وإدارة أعمال الإنشاء، بما في ذلك تقدير التكاليف.

عند تنفيذ الأنشطة المذكورة أعلاه، يأخذ المساحون في الاعتبار الجوانب القانونية والاقتصادية والبيئية والاجتماعية ذات الصلة والمؤثرة في كل مشروع.

٢-٥ مبادئ المسح:

يعتمد المسح، مثل العلوم الأخرى، على مبادئ هندسية قوية، على النحو التالي:

- العمل من الكلي إلى الجزئي: يعد هذا أحد أهم المبادئ التي تستند إليها أعمال المسح؛ حيث يمنع تراكم الأخطاء المتضمنة في كل طريقة مسح، ويسهل عملية السيطرة عليها. على سبيل المثال: بالنظر إلى الممارسة الفعلية لأعمال المسح، قد يلاحظ المرء أن المسوحات تبدأ من نقاط التحكم على المستويات الوطنية والإقليمية، ثم المحلية.
- الاقتصاد والدقة: يجب تخطيط أعمال المسح بعناية، وحصر المطلوب من أجل دقة التطبيق، بأقل التكاليف الممكنة؛ فالدقة العالية تعني المزيد من الوقت والجهد، وبالتالي المزيد من التكلفة.
- تكرار عمليات المراقبة: تتطلب ممارسة المسح المهني أخذ قياسات وملاحظات إضافية؛ لضمان دقة العمل، وفحص النتائج من مواقع وجوانب مختلفة. ويساعد تكرار عمليات المراقبة على العثور على قيمة دقيقة للسمة المرصودة.
- النسبية: يطلق على تحديد موقع محدد بناءً على الموضع المعروف لسمة أخرى اسم (الموقع النسبي). فعلى سبيل المثال: تتضح النسبية في تطبيقات مسح الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ حيث يتم تحقيق عمليات رصد السمات التي سيتم مسحها، باستخدام جهاز استقبال مرجعي ثابت وجهاز متحرك يتم حساب موقعه بالنسبة للنقطة الثابتة؛ وتستخدم أيضًا الشبكات الحديثة للمحطات المرجعية العاملة باستمرار (CORS)؛ مثل المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (KSA - CORS) لتلبية هذا الشرط فيما يتعلق بتقنيات النظام العالمي عبر الأقمار الصناعية والحركة في الوقت الحقيقي GNSS - RTK الخاصة بجهاز استقبال واحد. يتطلب تحديد الموقع المطلق -دون استخدام نقطة مرجعية ثابتة- أجهزة دقيقة، ومعالجة متقدمة وضبط دقيق وكمية كبيرة من وقت المراقبة؛ لذلك يتم تنفيذ معظم أعمال المسح بالتناسب مع مرجع ثابت دقيق.

٢-٦ المسح وإدارة الأخطاء:

١-٦-٢ نظرية الخطأ:

نظرًا لطبيعة المسح، تنتقل الأخطاء في كل عملية مسح مع اختلاف حجمها ونوعها وفقًا لطرق المسح المختلفة. يمكن التخلص من الأخطاء المتضمنة في المسوحات أو تجنبها بناءً على عدة عوامل تختلف من خبرة المساح إلى المعالجة الدقيقة لإجراءات ضبط الأداة، ومعايرة الأدوات، والأجهزة المستخدمة بشكل صحيح وغيرها. يجب أن يكون المساحون على دراية ومعرفة جيدة بمصادر الخطأ؛ حتى يتمكنوا من تجنبها، وإذا حدث ذلك، فيجب عليهم الكشف عنها في الوقت المناسب. يجب أن يكون المساح على دراية -أيضًا- بدرجة الدقة المطلوبة في القياسات والنطاق الدقيق لعملية المسح. سوف ترشده هذه المعرفة لاختيار أنسب طريقة للمسح، وكذلك جودة المعدات اللازمة، وخبرة العاملين عليها.

من ناحية أخرى، ينبغي عدم تنفيذ أعمال المسح المختلفة المتضمنة في تصميم الطرق وإنشائها وصيانتها بنفس الدرجة من الدقة. بل يجب إعطاء كل عمل قدرًا محددًا من الدقة فيما يتعلق بأهمية ونطاق هذا العمل. على سبيل المثال: تتطلب المسوحات المتعلقة بدراسات جدوى الطرق مستوى مختلفًا من الدقة عن التصميم النهائي للطرق.

٢-٦-٢ مفهوم القياس والخطأ:

تتضمن معظم أعمال المسح التي يقوم بها المساح عملية قياس المسافات والزوايا والاتجاهات وما إلى ذلك. تتطلب هذه القياسات تحقيق عدة خطوات متتالية؛ على سبيل المثال، فيما يتعلق بأخذ ملاحظات محطات النقاط المتكاملة، تتضمن هذه الخطوات التركيز والتوجه والمطابقة والقراءة، والحصول في النهاية على قيمة فردية لموقع النقطة الملحوظة.

تخضع القياسات عمومًا للتغيير والتباين والخطأ؛ نتيجة لعدم كمال الحواس البشرية، وخاصة البصر والسمع واللمس، واستحالة صنع أجهزة وأدوات قياس مثالية، وكذلك بسبب التغيير المستمر في الظروف البيئية مثل: درجة الحرارة وضغط الهواء والرطوبة، والرياح وجاذبية الأرض وغيرها. على سبيل المثال: إذا أراد المرء قياس مسافة بين نقطتين بشرط قياس عدة مرات على التوالي، وكان هناك تغيير في درجة الحرارة أثناء عملية القياس، فسيؤدي ذلك إلى تغيير في طول شريط القياس، مما يؤدي إلى قراءات شريطية متنوعة. فإذا أخذ هذا التغيير في ظروف القياس في الاعتبار، فستكون المسافة التي حُصل عليها غير صحيحة.

يتضح مما سبق أن جميع القياسات عرضة للتغيير، ولا يوجد أبدًا قياس صحيح تمامًا. إن ظاهرة التغيير في القياسات هي شيء طبيعي ومتوقع، حتى لو كانت ظروف القياس ثابتة ولا تتغير. يُعرف هذا التغيير في القياسات بالخطأ الحقيقي (K)، وهو الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية للعامل.

$$K = X - H$$

المعادلة (١-٢)

حيث إن:

K = الخطأ في القياس.

X = القيمة المقاسة.

H = القيمة الصحيحة.

٣-٦-٢ مصادر الخطأ:

تكون جميع القياسات، مهما كانت دقيقة، مصحوبة دائمًا بخطأ، بسبب عدة عوامل أهمها ما يلي:

- الأخطاء الشخصية: الأخطاء التي يرتكبها المساح نفسه، بسبب ضعف حواسه؛ مثل: السمع والبصر واللمس. ومن أمثلة الأخطاء الشخصية: المراقبة الخاطئة للهدف، والخطأ في تقدير الميول، والخطأ في تسجيل المعلومات وغيرها. وعادة ما تحدث هذه الأخطاء بسبب اللامبالاة، والإهمال أثناء تنفيذ العمل.
- أخطاء الأدوات: الأخطاء التي تحدث بسبب عدم مثالية دقة أجهزة وأدوات المسح. فأدوات المسح تتكون من عدة أجزاء، تنتجها مواد مختلفة، وهي على درجات من الاستقرار، والصلابة، ومقاومة التأثيرات الخارجية. لذا تحدث أخطاء في القياس -على الرغم من تطوير معدات المسح الحديثة- فهي لا تستطيع الوصول إلى درجة مطلقة من الكمال والدقة؛ بسبب صعوبة صنع جهاز ثابت لا يتأثر بالعوامل الطبيعية.
- الأخطاء الطبيعية: أخطاء بسبب التغيير المستمر في العوامل البيئية؛ مثل: الرياح، والحرارة، والرطوبة، وانكسار أشعة الشمس وما إلى ذلك. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه في المناخ الحار للمملكة العربية السعودية، يجب الانتباه إلى هذه التغيرات التي تسبب أخطاء في القياس. نتيجة لهذه الشروط، فمن المستحسن ألا يتم القياس عند درجة حرارة عالية جدًا. يجب أن تؤخذ في الاعتبار دائمًا الأخطاء المتوقعة من أداة المسح وظروف التشغيل التي يطرحها صانع الأداة. لا ينبغي إعداد أدوات مثل محطات النقاط المتكاملة بدون مظلة تحميها من حرارة الشمس؛ مما قد يتسبب في تمدد بعض أجزائها، وبالتالي إعطاء قراءات غير صحيحة.

٤-٦-٢ أنواع الأخطاء:

يمكن تصنيف أخطاء القياس إلى ثلاثة أنواع موضحة في الأقسام التالية.

١-٤-٦-٢ أخطاء فادحة:

تعزى الأخطاء الفادحة إلى العوامل التالية:

- عدم اهتمام المراقب أو نتيجة لإهماله أو جهله أو نسيانه.
- عدم دقة معلومات التسجيل
- وجود خلل في أدوات القياس ذاتها.

ومن الأمثلة على هذه الأخطاء: الخط بين الأرقام والحروف المتشابهة، والإغفال في تسجيل مرحلة من مراحل القياس أو القياس ذاته، والتصوير الخاطئ للهدف، والوضع الخاطئ للعمود الذي يحمل جهاز استقبال الهدف / النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والتسجيل الخاطئ للقيمة، وما إلى ذلك. وتعد الأخطاء الفادحة أخطاءً سهلة الكشف؛ بسبب تأثيرها الملحوظ على نتائج القياس. ومن أجل تجنبها؛ يجب أن يركز المساحون على العمل، وأن يظهروا عناية فائقة؛ ويجب -أيضًا- اتخاذ التدابير التالية أثناء أعمال المسح:

- التحقق من صحة الإرشادات المتعلقة بالهدف المنشود.
- أخذ ملاحظات إضافية والتأكد من توافقها.
- قراءة القياس مرتين أو أكثر والتأكد من كتابته بشكل صحيح.
- معايرة الأدوات والتحقق من سلامتها قبل العمل.
- تصميم طريقة عمل سليمة تمكن من اكتشاف الأخطاء بسهولة.

٢-٦-٤-٢ أخطاء منتظمة:

وهي الأخطاء التي لها طابع الانتظام، وعادة ما تتبع قانونًا ماديًا يمكن التعبير عنه بمعادلة رياضية. بالنظر إلى المعرفة السابقة المتعلقة بأسباب الأخطاء المنتظمة، يمكن حسابها وخصمها من القياسات.

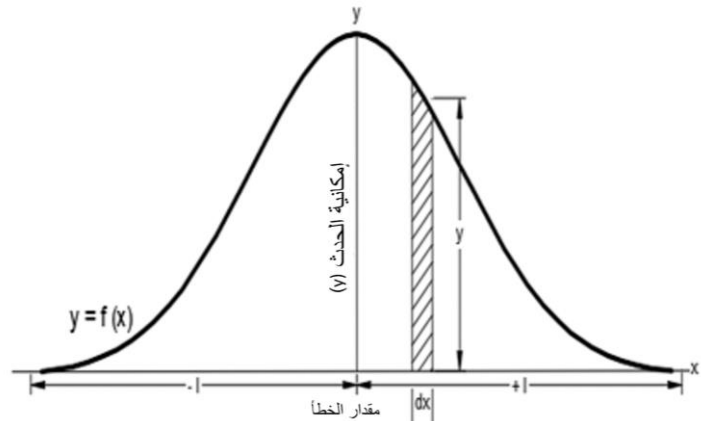
تتضمن أمثلة الأخطاء المنتظمة: القياس باستخدام شريط عند درجة حرارة أعلى أو أقل من درجة الحرارة التي تمت فيها معايرة الشريط، ثني الشريط (انحراف الشريط)، الميل، التوجيه غير الصحيح، أداة غير سليمة، أو الارتفاع المستهدف. يمكن إزالة الأخطاء المنتظمة أو تجنبها:

- تتضمن إزالة الأخطاء المنتظمة إيجاد العلاقة الرياضية بين هذه الأخطاء والكمية المقاسة، وحساب مقدار التصحيح، وإضافته إلى القياس. تتضمن الأمثلة أخطاء ناتجة عن التغير في درجة الحرارة والضغط في وسائل القياس الإلكترونية، والتي يمكن تصحيحها باستخدام الرسم البياني للضغط-درجة الحرارة-التصحيح الموجود على الجهاز المعني.
- يتم تجنب الأخطاء المنتظمة باختيار طرق القياس المناسبة، وإجراء عمليات المراقبة بطريقة تساعد على تجنبها. تتضمن هذه الأمثلة الخطأ الناتج عن عدم دقة خط الرؤية، بينما يؤثر أخذ القراءات في خطوط التسوية على اختلاف مقاسات الارتفاع المكتسبة (الموازاة). يمكن تجنب ذلك عن طريق وضع جهاز التسوية في منتصف المسافة بين النقاط الأمامية والخلفية.

٢-٦-٤-٣ الأخطاء العشوائية:

بعد إزالة الأخطاء الفادحة من القياسات وتصحيح الأخطاء المنتظمة، تبقى أخطاء صغيرة تعرف باسم الأخطاء العشوائية. فالأخطاء العشوائية هي أخطاء عارضة، لا يمكن التعرف عليها أو تحديدها بسهولة؛ لأنها لا تمتلك سلوكًا منهجيًا.

تشمل هذه الأخطاء الفشل في ضبط الجهاز بشكل صحيح فوق المحطة، والميل/الفشل في ضبط فقاعة العمود الذي يحمل الهدف/مستقبل نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، وتقلبات الطقس أثناء عملية المراقبة وغيرها، فأسباب الخطأ العشوائي -عادة- ما تكون غير معروفة؛ لذا فإن توزيعها يخضع للتوزيع الطبيعي إذا تم تسجيل تكرار جميع الأخطاء العشوائية ووضعها في رسم بياني، فسوف يأخذ ذلك شكل منحنى يعرف باسم منحنى توزيع الخطأ الطبيعي (الشكل ١-٢).



الشكل (١-٢) منحنى التوزيع الطبيعي.

يكشف هذا المنحنى عن الخصائص التالية فيما يتعلق بالأخطاء:

- احتمالية أن يكون الخطأ سالبًا تساوي احتمالية أن يكون موجبًا.
- احتمالية حدوث خطأ صغير أكبر من احتمالية حدوث خطأ كبير.
- الأخطاء العشوائية الكبيرة نادرة الحدوث.

يشير ارتفاع المحور الصادي إلى دقة القياسات، بينما يعني تسطحه عدم الدقة في القياسات. على الرغم من أنه لا يمكن تجنب الأخطاء العشوائية تمامًا بسبب نقص المعرفة بقيمها وعلاماتها الجبرية، إلا أنه يجب بذل محاولة لتقليل تأثير هذه الأخطاء. ويتم ذلك بإحدى الطريقتين التاليتين:

- اختيار أجهزة دقيقة بمستوى عالٍ من الدقة.
- قياس المشاهدات عدة مرات وأخذ المتوسط الحسابي لها.

٥-٦-٢ الدقة والإحكام:

الإحكام (Precision) والدقة (Accuracy) هي أهم العناصر الأساسية عند إجراء القياسات. وتمثل الدقة درجة المطابقة للموصفة، في حين يتعلق الإحكام بدرجة الصقل في أداء العملية أو في بيان النتيجة.

يقيس الإحكام الأخطاء العشوائية، أي مدى دقة تجميع القياسات. ولا تشير دقة القياس إلى أي شيء حول ما إذا تم تجميع القياسات بشأن القيمة الصحيحة.

وتقيس الدقة مدى قرب القياسات من القيمة "الصحيحة"، وهي عبارة أقوى من الإحكام؛ لأنها تشمل أخطاء عشوائية ومنظمة على حد سواء. ولتقييم الدقة، ينبغي أن تكون النتيجة الحقيقية معروفة بالفعل.

وتنبغي الإشارة هنا إلى أن نظام "محطات النقاط المتكاملة" يوفر عادة في صحيفة الوقائع الخاصة به معلومات عن مواصفات الإحكام (قابلية التكرار)، بينما توفر أجهزة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية معلومات دقيقة.

٧-٢ مواصفات دقة الخريطة:

المنتج النهائي لكل عملية مسح هو خريطة بمقياس معين تملأ منطقة العالم الفعلي التي يمكن عرضها على الخريطة المنتجة. بناءً على متطلبات المشروع والمنطقة المرسومة، يمكن اتخاذ مسارات مختلفة فيما يتعلق بقرار المقياس المستخدم. يتحكم مقياس الخريطة في الدقة الأفقية والرأسية للسماح المعروضة في الخريطة، وفقًا للمواصفات التالية:

- الدقة الأفقية: يجب أن تكون مواقع السمات الأفقية التي تمت ملاحظتها بدقة، وضمن الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء ($RMSE_{xy}$)، البالغ ٠,٢٥ ملم على مقياس الخريطة، أي أقل من ٠,٢٥ مترًا على خريطة بمقياس ١:١,٠٠٠ (MoMRAH, 2005). يجب ألا تتحرف أي سمة أفقية عن مواضعها الحقيقية بأكثر من ٠,٤٣ ملم لمستوى ثقة ٩٥٪. يتم عرض الدقة الناتجة لمقاييس متعددة في الجدول (١-٢).
- الدقة الرأسية: لا يمكن التعبير عن الدقة الرأسية على الخريطة إلا في حالة عرض الخطوط الكنتورية في الخريطة. يجب أن تكون الدقة الرأسية المعبر عنها من حيث الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ أفضل من ثلث (٣/١) الفترة الكنتورية، ويجب ألا يكون الخطأ عند أي من هذه الارتفاعات عند مستوى ثقة ٩٥٪ أكبر من ثلثي (٣/٢) الفترة الكنتورية. ويمكن التحقق من ذلك بأخذ عينة مختارة من النقاط على خط الكنتور، وقياسها بدقة في الطبيعة من أقرب نقطة تحكم. يعد أي خط محيطي مقبولا إذا كان يقع ضمن الدقة الرأسية المسموح بها عند تحريكه في أي اتجاه، مع ما لا يزيد عن ٠,٥ ملم أو عُشر (١٠/١) المسافة الأفقية بين الخطوط، أيهما أكبر في مقياس الخريطة (MoMRAH, 2005). في حالة نقاط الارتفاع الموضعي، يجب أن يكون الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ لجميع نقاط الارتفاع دقيقًا بمقدار ربع (٤/١) من الفترة الكنتورية. يجب ألا يتجاوز الخطأ في نقاط الارتفاع عند مستوى ثقة ٩٥٪ نصف الفترة الكنتورية. يختلف اختيار الفترة الكنتورية وفقًا للمقياس ونوع الأرض وما إلى ذلك. ترد الفترات الكنتورية النموذجية والدقة المقابلة وفقًا للمناقشة السابقة في الجدول (٢-٢). تكون الدقة الرأسية في الجدول (٢-٢) للبيانات الكنتورية صالحة -أيضًا- لبيانات الارتفاع الناتجة عن بيانات الارتفاع الرقمية من أي شكل.

الجدول (١-٢) مقاييس رسم الخرائط والدقة الأفقية.

الدقة الأفقية (م)		مقياس رسم الخريطة
أقصى خطأ (مستوى ثقة ٩٥٪)	الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE)	
٠,٢٢	٠,١٣	١:٥٠٠
٠,٤٣	٠,٢٥	١:١,٠٠٠
٠,٨٧	٠,٥٠	١:٢,٠٠٠
٢,١٧	١,٢٥	١:٥,٠٠٠
٤,٣٣	٢,٥٠	١:١٠,٠٠٠
٨,٦٦	٥,٠٠	١:٢٠,٠٠٠

الجدول (٢-٢) مقاييس رسم الخرائط، والفترات الكنتورية، والدقة الرأسية.

الدقة الرأسية لارتفاع النقطة		دقة الكنتور الرأسية (م)		الفترة الكنتورية النموذجية (م)	مقياس رسم الخريطة
أقصى خطأ (مستوى ثقة ٩٥٪)	الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE)	رقم خطأ الحد الأقصى ٩٥٪	الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ		
٠,١٠	٠,٠٥	٠,١٣	٠,٠٧	٠,٢٠	١:٥٠٠
٠,٢٠	٠,١٠	٠,٢٧	٠,١٣	٠,٤٠	١:١,٠٠٠
٠,٥٠	٠,٢٥	٠,٦٧	٠,٣٣	١,٠٠	١:٢,٠٠٠
١,٠٠	٠,٥٠	١,٣٣	٠,٦٧	٢,٠٠	١:٥,٠٠٠
٢,٠٠	١,٠٠	٢,٦٧	١,٣٣	٤,٠٠	١:١٠,٠٠٠
٥,٠٠	٢,٥٠	٦,٦٧	٣,٣٣	١٠,٠٠	١:٢٠,٠٠٠

٨-٢ المرجع الإسنادي للمسح في المملكة العربية السعودية:

تتطلب معظم المسوحات التي فُحصت في هذا المجلد تعاون منظمات وجهات متعددة. يحدد هذا الوضع ضرورة استخدام مرجع إسنادي أفقي ورأسي مشترك ودقيق إلى جانب إجراءات مسح رقابة متسقة ودقيقة؛ لتوفير موقع دقيق وآمن للأعمال الثابتة وحقوق الطريق. يوفر المرجع الإسنادي إطارًا مرجعيًا لمسح المواقع والارتفاعات على سطح الأرض، ورسم خرائط لها. يُستخدم كأساس لحساب المواضع الأفقية والرأسية المشتقة على سطح الأرض. يتم استخدام مجموعة من نقاط التحكم (النقاط المرجعية الجيوديسية التي تُشكل شبكة جيوديسية) لمواقع معروفة لتنفيذ هذه المعطيات.

إن المرجع الإسنادي الجيوديسي الوطني هو المرجع الأساس لجميع أعمال المسح والرسم التخطيطي وتنفيذ المشاريع في جميع أنحاء البلاد، ووجوده مطلب أساسي لأي بلد في العالم؛ فهو حجر الزاوية في كل مشروع لإنتاج الخرائط، و رابط قوي ودقيق لجميع دراسات الطرق والخطط الهندسية والبيانات المساحية على المستوى الوطني.

الشبكة الجيوديسية هي مجموعة من النقاط الثابتة والمعلة التي يعرف موقعها (الإحداثيات) بدقة فيما يتعلق بسطح الأرض، وتُعد الإطار العام الذي يتم فيه الإشارة إلى البيانات الأفقية والرأسية عند صنع الخرائط الطبوغرافية. يعد وجود هذه الشبكة ضروريًا؛ لأن جميع أعمال المسح من تصميم الطرق، إلى رسم الخرائط المساحية تشير إلى نفس مستوى المقارنة. وهكذا يمكن استخلاص المعلومات الصحيحة عند مقارنة بيانات المسح الناتجة في أي عملية (مثل مسح عقاري) بالبيانات المساحية الناتجة عن عملية أخرى، مثل: خرائط المرافق.

ويمكن أن تتخذ الشبكة الجيوديسية الوطنية أشكالاً مختلفة. قديماً كانت تُنشأ الشبكات الجيوديسية باستخدام طريقة التثليث، أي قياس الزوايا، مدعومة بالملاحظات الفلكية، وأطوال خط الأساس؛ لتحديد إحداثيات جميع نقاط الشبكة. وفي الوقت الحاضر، يدعم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الشبكات الجيوديسية الوطنية، مما يجعل من السهل دعمها وتحديثها.

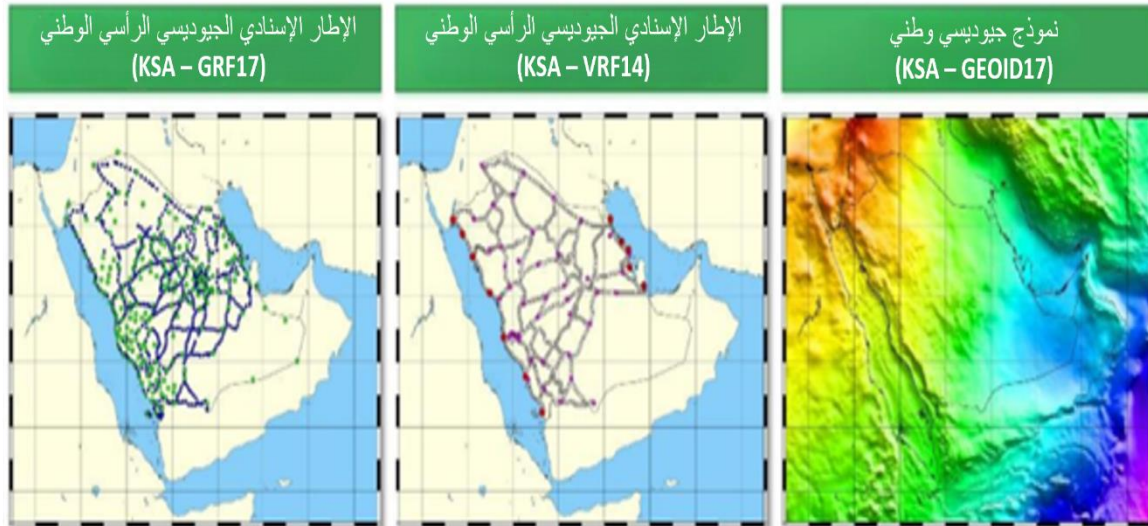
وفي جميع أنحاء المملكة العربية السعودية، يُطبق نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (SANSRS). ونظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية هو نظام مرجعي، متسق، يحدد الإحداثيات الديكارتية، وخطي الطول العرض، والارتفاع، والمقياس، والجاذبية، والاتجاه. ويحدد نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية المواقع في أراضيها بدقة، بالإضافة إلى تحديده التغيرات في سطح الأرض، وحقل الجاذبية في الزمان والمكان.

يتكون نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية من المكونات (GASGI, 2022) الجيوديسية التالية (الشكل ٢-٢):

- الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية (KSA – GRF).
- الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية (KSA-VRF).
- نموذج جيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GEOID).

ومن بينها، يحقق الإطار الإسنادي الجيوديسي (KSA-GRF17) الوطني للمملكة العربية السعودية المرجع الإسنادي الأفقي الأساسي المستخدم في المملكة العربية السعودية، بينما يحقق الإطار الإسنادي الرأسي الوطني (KSA-VRF14) للمملكة العربية السعودية، ونموذج جيوديسي (KSA-GEOID21) للمملكة العربية السعودية المرجع الإسنادي الرأسي المعني. وقد نُفذ نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية هذا بالتعاون مع أعضاء فريق التركيز المرجعي الجيوديسي، وهم (GASGI, 2022):

- ١- وزارة الدفاع – الإدارة العامة للمسح العسكري (GDMS).
- ٢- وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (MoMRAH).
- ٣- مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية (KACST).
- ٤- الهيئة العامة للمساحة (GCS).
- ٥- أرامكو السعودية.



الشكل (٢-٢) نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (GASGI, 2022).

قرار مجلس الوزراء رقم (٩٠) بتاريخ ١٤٤٢/٢/٥ هـ (GASGI, 2022) وينص على تكليف الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية باعتماد وتنفيذ واستخدام نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية في نشاطها، وتعزيز استخدام نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية، وإدارته وتنفيذه في المملكة العربية السعودية.

ويجب أن يصبح نظام (الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية) الأساس لجميع المنتجات الجغرافية المكانية الوطنية، وأن يستخدم لرسم الخرائط والتخطيط في طائفة واسعة من التطبيقات العلمية والهندسية. وترتبط جميع المسوحات في المملكة بنظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية؛ لذا يجب أن تستند جميع عمليات رسم الخرائط والتخطيط والتصميم والإنشاء لكل مشروع نقل جديد، أو أي تحسين لمشاريع النقل الحالية داخل المملكة العربية السعودية إلى نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (GASGI, 2022).

١-٨-٢ المرجع الإسنادي الأفقي:

المرجع الإسنادي الأفقي هو إطار مرجعي لتمثيل مواضع المواقع بدقة على سطح الأرض، بالعرض والطول أو باستخدام نظام إحداثيات آخر. وتنفذ المساند الأفقية بمعالم نحاسية تدخل إلى سطح الأرض، بينما تُحدد مواضعها الدقيقة باستخدام تقنيات المسح المثلثي والتثليث بالمسافات.

١-٨-٢-١ تعريف نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (SANSRS):

الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني، المعروف باسم (الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧)، هو أحدث إصدار للإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني الذي تم تطويره في عام ٢٠١٩. ويعتمد الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية لعام ٢٠١٤ (ITRF 2014) في حقبة ٢٠١٧،٠، وهي الحقبة التي يتزامن فيها كلا الإطارين الإسناديين. في تلك الحقبة، الإحداثيات هي نفسها في كلا الإطارين المرجعيين، لكنها تختلف فيما يتعلق ببعضها البعض في أي حقبة مختلفة عن عام ٢٠١٧،٠ بسبب دوران الصفيحة العربية (GASGI, 2022).

بشكل رسمي، يتم تعريف الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧، وهو الإطار الإسنادي الجيوديسي الموحد للمملكة العربية السعودية (KSA – GRF)، بطريقة:

- تتزامن مع الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية لعام ٢٠١٤ في حقبة ٢٠١٧،٠.
- يتحرك بشكل مشترك مع الجزء المستقر من الصفيحة التكتونية العربية.

باتباع هذا التعريف؛ تُعطى التحولات العامة التي تربط الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ بإطار الإسناد الأرضي الدولي ٢٠١٤، لكل من مواضع المحطة وسرعاتها، نسبياً إلى المكونات الثلاثة الموقعة لمتجه قطب دوران الصفيحة العربية (أو السرعة الزاوية) المقدرة (GASGI, 2022) للإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧.

لحسن الحظ، فإن نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية مصحوباً بالمحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية التي لا تعمل -فقط- على إنشاء وتعريف ونشر وصيانة الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية، بل توفر لمجتمع المستخدمين الوصول إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية بتوزيع البيانات لكل من المعالجة اللاحقة وفي الوقت الحقيقي. تقدم خدمات تحديد المواقع التالية (GASGI, 2022):

- الوصول إلى ملفات تنسيق التبادل المستقل لجهاز الاستقبال (RINEX) من المحطات المرجعية.
- شبكة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي في الوقت الحقيقي (شبكة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي) بمستوى دقة عشرة ديسيمترات في أي نقطة داخل المملكة.
- شبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) بمستوى دقة سنتيمتر في مناطق محددة.
- محطة واحدة من محطات RTK بدقة سنتيمتر بالقرب من المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (اعتماداً على المسافة للمحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية).

٢-١-٨-٢ الإسقاط:

يُستخدم إسقاط ميركاتور المستعرض العالمي (UTM)؛ في العديد من المناطق، لإسقاط الإحداثيات الجيوديسية والجغرافية المركزية (SANSRS)، وتعيين إحداثيات رسم الخرائط على سطح الأرض في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية. يتم اعتماد المناطق (٣٦ نيوتن، ٣٧ نيوتن، ٣٨ نيوتن، ٣٩ نيوتن، ٤٠ نيوتن) بناءً على موقع المشروع قيد النظر.

وعلاوة على ذلك، ومن أجل جعل "نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية" متاحاً في مختلف البرمجيات الجيوديسية وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية، استهلكت الهيئة العامة للمساحة إجراءات تسجيل جميع مكونات نظام (الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية) في كل من سجل EPSG وسجل ISO الجيوديسي بتحديد قيم ما يلي بالجدول (٢-٣) والجدول (٢-٤).

الجدول (٢-٣) مكونات نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية الذي سجلته الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية في قاعدة بيانات EPSG (GASGI, 2022).

الرقم	الاسم	الرمز	النوع	ملاحظات
١	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧	١٢٦٨	المرجع الإسنادي الجيوديسي	المملكة العربية السعودية - بحرًا وبرًا
٢	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧	٩٣٣١	نظام الإحداثيات الجيوديسي (مركزية الأرض)	
٣	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧	٩٣٣٢	نظام الإحداثيات الجيوديسي (الجغرافي ثلاثي الأبعاد)	
٤	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧	٩٣٣٣	نظام الإحداثيات الجيوديسي (الجغرافي ثنائي الأبعاد)	
٥	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٦ نيوتن	٩٣٥٦	نظام الإحداثيات المسقط	
٦	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٧ نيوتن	٩٣٥٧	نظام الإحداثيات المسقط	
٧	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٨ نيوتن	٩٣٥٨	نظام الإحداثيات المسقط	
٨	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٩ نيوتن	٩٣٥٩	نظام الإحداثيات المسقط	
٩	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٤٠ نيوتن	٩٣٦٠	نظام الإحداثيات المسقط	
١٠	عين العبد إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ (١)	٩٣٦٢	تحويلات الإحداثيات	تحويل المعلمات الثلاث الأولية، الدقة ٢ م

الرقم	الاسم	الرمز	النوع	ملاحظات
١١	عين العبد إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ (٢)	٩٣٦٣	تحويلات الإحداثيات	شبكة تحويل (بصيغة IGN)، الدقة ١٠-٥ سم
١٢	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني لعام ٢٠١٤ إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ (١)	٩٣٣٤	تحويلات الإحداثيات	تحويل ١٥ معلمة الدقة: ١ ملم
١٣	الإطار الإسنادي الأرضي ٢٠٠٠ إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ (١)	٩٣٦١	تحويلات الإحداثيات	تحويل ٧ معالم الدقة: ١٠-٥ سم
١٤	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ إلى النظام الجيوديسي العالمي ٨٤ (١)	٩٣٨٣	تحويلات الإحداثيات	مشتق من الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني لعام ٢٠١٤ إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧. سار من ٢٠١٧,٠٠ ويتناقص بمقدار حوالي ٢,٥ سم سنوياً
١٥	الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية، جدة ٢٠١٤ (١)	١٢٦٩	المرجع الإسنادي الرأسي	المملكة العربية السعودية – بحرًا
١٦	ارتفاع الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤	٩٣٣٥	نظام الإحداثيات الرأسي	الارتفاعات المتعامدة
١٧	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ إلى ارتفاع الإطار الإسنادي الرأسي الوطني ٢٠١٤ (١)	٩٣٥٥	تحويلات الإحداثيات	نموذج المجسم الأرضي أو المجسم الأرضي أو الجيود المجسم الأرضي أو الجيود (geoid) (نموذج جرافو سوفت)؛ الدقة: ٢٠-٢ سم

الجدول (٢-٤) مكونات نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية الذي سجلته الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية في سجل ISO الجيوديسي (GASGI, 2022).

الرقم	الاسم	الرمز	النوع
١	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ - اكس واي زد	٧٧٧	نظام الإحداثيات الجيوديسي
٢	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ - LatLonEHt	٧٧٨	نظام الإحداثيات الجيوديسي
٣	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ - LatLon	٧٧٩	نظام الإحداثيات الجيوديسي
٤	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٦ نيوتن	٩٥٥	نظام الإحداثيات المسقط

الرقم	الاسم	الرمز	النوع
٥	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٧ نيوتن	٩٥٦	نظام الإحداثيات المسقط
٦	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٨ نيوتن	٩٥٧	نظام الإحداثيات المسقط
٧	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٣٩ نيوتن	٩٥٨	نظام الإحداثيات المسقط
٨	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ / منطقة ميركاتور المستعرض الشامل ٤٠ نيوتن	٩٥٩	نظام الإحداثيات المسقط
٩	الإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤ / Oht	٧٨٠	نظام الإحداثيات الرأسي
١٠	الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني لعام ٢٠١٤ إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ [الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، النسخة ١]	٧٨١	التحويل
١١	الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ إلى الإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤ [الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، النسخة ١]	٧٨٢	التحويل

٢-٨-٣ تحويلات الإحداثيات:

يستخدم تحويل المعلومات السبعة المعروف (هيلمرت/Helmert) لتحويل الإحداثيات الجيوديسية بين إطار الإسناد الأرضي الدولي (ITRS) الأقدم والإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية. ينطوي تحويل هيلمرت، المعروف -أيضاً- باسم صيغة "Bursa-Wolf" والتي تتضمن ثلاثة معايير للتحويل، وثلاثة للتناوب، وواحد للتدرج بين الإطارين الإسناديين المعنيين. يمكن توفير قيم المتغيرات لبعض التحويلات بواسطة تحويلات الإحداثيات المعنية المسجلة في الجمعية الأوروبية للمسح النفطي، ومن إرشادات تنفيذ نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (GASGI, 2022).

يتم إجراء التحويلات بين الإطار الإسنادي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية وعين العبد بهدف تحويل شبكة تمثل العديد من قيم معلومات الترجمة الخاصة بتحويل هيلمرت المعنى. الشبكة كثيفة بما يكفي لتوفير الدقة في حدود ١٠ إلى ١٠٠ ملم. يتم إحالة القارئ المهتم بالمبادئ التوجيهية لتنفيذ نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية (GASGI, 2021) للحصول على مزيد من المعلومات حول منهجية التحويل المعنية.

علاوة على ذلك، يتم توفير أداة تحويل إطار الإسناد الجيوديسي بواسطة الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية التي تساعد في عملية تحويل الإحداثيات بين أطر الإسناد الجيوديسي المذكورة أعلاه.

٢-٨-٢ المرجع الإسنادي الرأسي:

يستخدم المرجع الإسنادي الرأسي لتحديد مناسيب النقاط على سطح الأرض أو في الأعماق تحت الماء. يشمل نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤ (Jeddah 2014)، وهو أحدث إصدار لنظام الإسناد الرأسي الوطني (NVRS) في المملكة العربية السعودية. عُرف الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤ بناءً على بيانات قياس الارتفاع؛ عبر الأقمار الصناعية، وحقل الجاذبية، ومستكشف دوران المحيطات (GOCE) في الحالة الثابتة، بالإضافة إلى عمليات المراقبة في الموقع؛ من مقاييس المد والجزر، والجاذبية الوطنية الأرضية، وشبكات التسوية (GASGI, 2022). الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤ هو مقياس لمدى ارتفاع المد والجزر بجدة للمد، ويُفَضَّل من خلال تقنيتين للإدراك الطبيعي، على النحو التالي:

معايير التحقيق الطبيعي:

أثناء تطوير نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية، أُعيد إنشاء وتكثيف شبكة التسوية الجيوديسية الحالية (GLN) بدقة من الدرجة الثانية/الفترة الأولى. تُبْنَت مقاييس جديدة ومستبدلة وقياسها وحسابها في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية. على هذا النحو، كان من المفترض أن يؤدي تجديد شبكة التسوية الجيوديسية إلى جعلها تصل إلى كثافتها وجودتها الأصلية، وهي مناسبة لتكون

بمثابة أساس للتطوير المستقبلي داخل المملكة. تتكون شبكة التسوية الجيوديسية من (٣٨٩٣) معياراً مادياً، لأكثر من (٨٨) خط تسوية يمتد على طول (٢٢٨٦٩) كم من شبكة التسوية. (GASGI, 2022).

استكمال شبكة التحقيق الطبيعي (KSA-GEOID21):

طورت الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية نموذج جغرافي دقيق متمركز حول الأرض في نموذج جيوديسي للمملكة العربية السعودية ٢٠٢١، يجمع بين البيانات المتاحة ذات الصلة في المملكة؛ مثل: بيانات الجاذبية الأرضية، ونقاط الجاذبية المحمولة على متن السفن، وما إلى ذلك. يسمح النموذج الجيوديسي المحسوب بالكشف عن قياس الجاذبية الأرضية السعودي على شبكة بدقة (٢ × ٢) كم؛ مما يوفر -أخيراً- دقة قياس ارتفاع تبلغ حوالي ٢٠ ملم في المنطقة الشرقية للمملكة العربية السعودية، مع تغطية بيانات جيدة، وحوالي ١٠٠ إلى ٢٠٠ ملم لبقية المملكة العربية السعودية. (GASGI, 2022).

علاوةً على ذلك، يتم توفير أدوات حساب الارتفاع الخاصة بالنموذج الجيوديسي للمملكة العربية السعودية، بواسطة الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية؛ لحساب الارتفاع الجيوديسي وإنشاء شبكات الاستكمال الجيوديسي.

يجب اسناد جميع المناسيب المتضمنة في مشاريع الطرق إلى الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤. إذا أُستخدم مرجع إسنادي بديل؛ فيجب ذكره بوضوح، إضافةً إلى التصحيح المطبق لضبط المناسيب إلى الإطار الإسنادي الرأسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٤.

٢-٨-٣ الوحدات:

وحدة القياس الخطي في نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية هي المتر ووحدة القياس الزاوي فيما يتعلق بالإحداثيات الجيوديسية هي الدرجات العشرية. الجدول (٢-٥) يلخص وحدات القياس المستخدمة لنظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية.

الجدول (٢-٥) وحدات القياس.

إطار عمليات القياس	وحدة القياس	خصائص نظام القياس
كروى: خط الطول وخط العرض لنظام الإحداثيات الجغرافية.	الزوايا: الدرجات العشرية.	مجسم بيضاوي: النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤.
مسقط: مناطق ميركاتور المستعرض الشامل ٣٦ نيوتن، ٣٧ نيوتن، ٣٨ نيوتن، ٣٩ نيوتن، ٤٠ نيوتن الشرقية والشمالية.	متر خطي.	المرجع الإسنادي الأفقي: الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية. المرجع الإسنادي الرأسي: الإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية.

٢-٨-٤ الأنظمة الأخرى:

استخدم نوعان رئيسيان من الأطارات الجيوديسية في المملكة العربية السعودية قبل إنشاء الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية ٢٠١٧ (GASGI, 2022):

- استندت الأطر الجيوديسية إلى الشبكة الجيوديسية الوطنية (NGN) التي تأسست في الستينيات؛ وكان الإطار الناتج يسمى مستند عين العبد (AAA). ومستندها البيضاوي هي 1909 Hayford (International, 1924). وقد استخدمته أرامكو أساساً قبل إدخال النظام العالمي لتحديد المواقع /النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. لم تعد الشبكة الجيوديسية الوطنية تفي بمتطلبات الدقة والسرعة والفعالية اللازمة لعمل المسح على المستوى الوطني.
- مع إدخال نظام الإسناد الأرضي الدولي بعد إنشاء تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، حققت الأطر الجيوديسية المستخدمة في المملكة العربية السعودية عدة إنجازات وطنية لنظام الإسناد الأرضي الدولي عبر إنجازات عالمية تسمى (إطار الإسناد الأرضي الدولي) (ITRF)، والتي أضافت السنة الأخيرة من البيانات المستخدمة. الجدول (٢-٦) يلخص هذه الأنظمة المرجعية القائمة على نظام الإسناد الأرضي الدولي. ومن الأمثلة على هذا النظام الشبكة الجيوديسية السعودية (SGN)، التي أنشأتها وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان.

الجدول (٢-٦) الأطر المرجعية القائمة على نظام الإسناد الأرضي الدولي المستخدمة من قبل أعضاء فريق التركيز المرجعي الجيوديسي (GASGI, 2022).

وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان	إدارة المسح العسكري - الهيئة العامة للمساحة	شركة أرامكو السعودية	النظم القائمة على نظام الإسناد الأرضي الدولي
الشبكة الجيوديسية السعودية (SGN 2000) الإطار الإسنادي الأرضي لوزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان - ٢٠٠٠ بناء على إطار الإسناد الأرضي الدولي ٢٠٠٠ في حقبة ٢٠٠٤,٠	مرجع المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية بناءً على إطار الإسناد الأرضي الدولي ٢٠٠٠ في حقبة ٢٠٠٣,١٩٩٨	النظام الجيوديسي العالمي ٨٤ بناء على إطار الإسناد الأرضي الدولي ٩٤ في حقبة ١٩٩٨,٠	

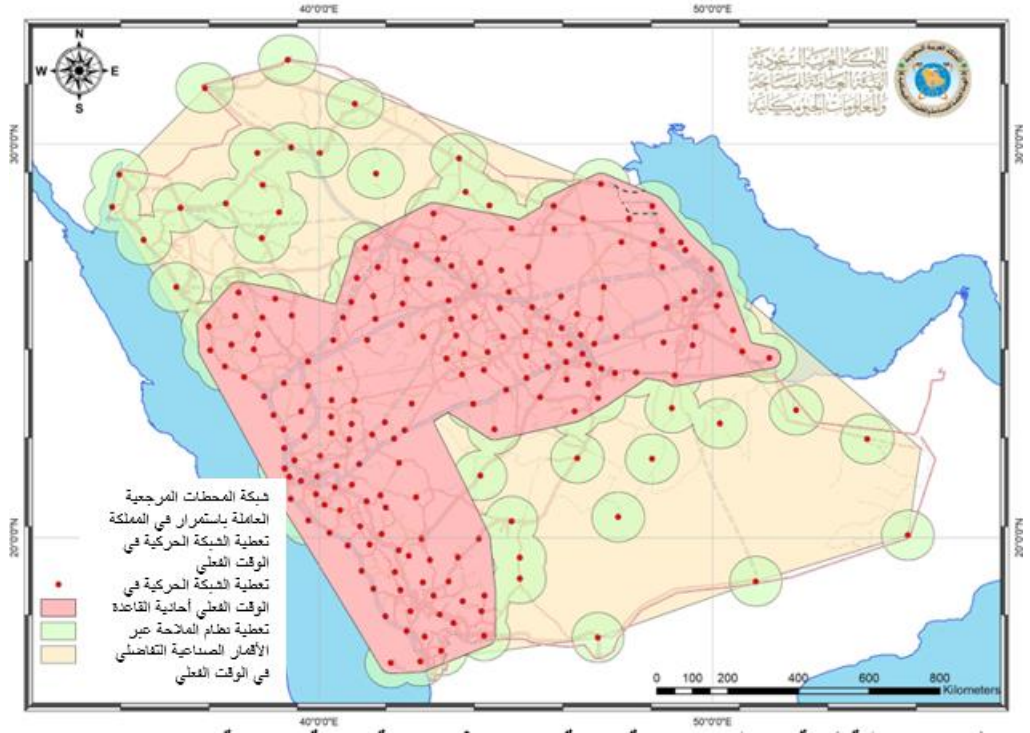
يجب الإشارة إلى أن هذه الأنظمة توثق هنا من أجل التكميل. من الضروري، من الآن فصاعدًا، أن تقوم جميع الجهات التي تضطلع بأعمال المسح لمشاريع الطرق في جميع أنحاء المملكة لتأسيس عملها على تنفيذ نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية.

وينبغي أن تقدم الجهات المسؤولة طرق التحويل لأي نظام جيوديسي آخر تم استخدامه مسبقًا في المملكة، مثل الأنظمة المحلية. كما يمكن الرجوع إلى الأنظمة المحلية في الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية من خلال تقدير تحويل متعدد الحدود ثنائي الأبعاد، مثل التحويل متعدد الحدود أو التحويل متعدد الحدود من الدرجة الثانية. يمكن إجراء ذلك بسهولة من خلال الجمع بين ثلاث إحداثيات على الأقل لنقاط التحكم في النظام المحلي، إلى إحداثياتها المقاسة باستخدام طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية والمحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية.

٥-٨-٢ النقاط المرجعية الجيوديسية:

تعد نقاط التحكم الجيوديسية جزءًا من مجموعات كبيرة من نقاط التحكم المنسقة، التي تشمل نقاط إدارة المسح العسكري، ونقاط التحكم الجوية، ونقاط التحكم الأخرى في المشروع العام أو الخاص. نقاط التحكم الجيوديسية هي نقاط محددة، ومعلمة بمواقع أفقية و/أو رأسية مقاسة بدقة. تستخدم نقاط التحكم الجيوديسية بوصفها أساسًا لتحديد مواقع نقاط التحكم المنسقة البديلة. تحتفظ كل جهة مسح بتفاصيل عن موقع وإحداثيات مسح نقاط الإسناد الجيوديسي داخل نطاق صلاحيتها. خلال تنفيذ الشبكة الجيوديسية السعودية، أنشأت وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (١٣) نقطة تحكم من الدرجة ١ و ٦٥٩ من الدرجة ٢؛ وذلك لمساعدة قسم المساحة في وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان على القيام بدوره المهم والحيوي فيما يتعلق بالمساحة والخرائط على المستوى الوطني في المملكة.

في الوقت الحاضر، هناك ميل إلى التقليل من استخدام نقاط الإسناد الجيوديسي مع إدخال المحطات المرجعية العاملة باستمرار، أي شبكة من المحطات المرجعية العاملة باستمرار على تتبع الأقمار الصناعية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية وتدفق البيانات إلى مركز التحكم. ثم ترسل بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لاحقًا إلى المستخدمين المسجلين، أي المساحين. في إطار نظام الإسناد المكاني الوطني للمملكة العربية السعودية، طُورت المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية مع (٢٠٩) محطة نشطة، توفر شبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، وشبكة الحركة في الوقت الحقيقي أحادية القاعدة وتغطية نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي في الوقت الحقيقي الشكل (٢-٣).



الشكل (٢-٣) تغطية شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (GASGI, 2021). يمكن توفير المعلومات المحدثة عبر الرابط <https://ksacors.gcs.gov.sa>.

تهدف شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية إلى توفير خدمة تحديد مواقع النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الموثوقة والدقيقة عبر الشبكة؛ وكذلك تحقيق وتوزيع وصيانة الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني، المعروف باسم الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية. ٢٠١٧ توفر المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية للمستخدمين المنتجات التالية:

- تنزيل البيانات الأولية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية
- شبكة طريقة الحركة وطريقة الحركة في الوقت الحقيقي ونظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي في الوقت الحقيقي.
- خدمة ما بعد المعالجة عبر الإنترنت.
- ارتفاع المجسم الأرضي أو الجيويد (geoid).

وتعرض تفاصيل المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية في الجزء (١٠-٣) في هذا المجلد.

٩-٢ منهجيات المسح:

هناك العديد من منهجيات مسح الأراضي المتعلقة بالتقنيات والأدوات المناسبة، واختيار أيهما أفضل هو أمر يعتمد على طبيعة وتضاريس المنطقة، وحجم المشروع، والدقة المطلوبة، وشكل ونوع المنتج النهائي لعملية المسح. ينبغي استخدام سبع منهجيات مسح أساسية أثناء المسح؛ لتصميم الطرق وإنشائها ومراقبتها، على النحو التالي:

- المسح عن طريق محطات النقاط المتكاملة (TPS).
- التسوية (Leveling).
- المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS).
- المسح الجوي (Aerial Surveying).
- المسح عن طريق سبر الصدى (Echo-sounding).
- المسح الضوئي بالليزر الأرضي (Terrestrial Laser Scanning).
- أنظمة الخرائط المتنقلة (Mobile Mapping).

وتنبغي الإشارة إلى إمكانية الجمع بين هذه المنهجيات لتحسين سرعة الإنجاز، وتقليل التكلفة النسبية، وزيادة درجة الدقة، فضلا عن جودة المنتج النهائي. في الفقرات التالية، سيتم تقديم وصف موجز لكل طريقة.

هناك العديد من المنهجيات الثانوية المستخدمة في أعمال المسح؛ على سبيل المثال: تدعم الطرق الأرضية من خلال محطات النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، من خلال قياس المسافات وهي أبسط طريقة للمسح وأقلها تكلفة؛ حيث تعتمد على أدوات قياس بسيطة (أشرطة، أعمدة، أجهزة قياس المسافة الإلكترونية (EDM)). بهذه الطريقة تُحدد النقاط والسمات عن طريق قياس المسافة من النقاط المرجعية الثابتة؛ لذلك يجب استخدام أجهزة قياس المسافة لقياس المسافات الأفقية فقط، ويقتصر توظيفها على المواقع المسطحة إلى حد ما.

١-٩-٢ المسح بجهاز نقطة المحطة المتكاملة:

يعد مسح المحطة المتكاملة أو نقطة المحطة المتكاملة أو مسح (TPS) أقدم طرق المسح، ومن أكثر الطرق استخداما، نظرا لسهولة وبساطة استخدامها، بالإضافة إلى قدرتها على توفير قياسات زاوية ومسافة عالية الدقة، مما ينتج عنه مواضع نسبية دقيقة للغاية.

المحطات المتكاملة الحديثة هي أجهزة تجمع بين جهاز المزواة أو الثيودولايت (theodolite) الكلاسيكي، ووحدات قياس وتسجيل المسافة؛ وبذلك، تقيس المحطات المتكاملة بدقة عالية الزوايا الأفقية والرأسية والمسافات، وتسجل النتائج في ذاكرتها الداخلية أو حتى في وحدات التحكم المرفقة ببرامج الإدارة المناسبة. ويمكن الجمع بين الزوايا الرأسية وقياسات المسافة، لتوفير اختلافات الارتفاع، إلا أنها ليست دقيقة مثل أجهزة التسوية التي تم فحصها في الجزء التالي.

مع إدخال وحدات التسجيل، قضت هذه الأجهزة تمامًا على الطرق التناظرية القديمة؛ حيث تمت قراءة الملاحظات من الجهاز وكتابتها على ملاحظات المسح، وربما يكون أكبر مصدر للأخطاء الفادحة في المسح في الماضي. حدثت تحسينات كبيرة -أيضا- في مسح محطات النقاط المتكاملة في السنوات الأخيرة، مع إدخال محطات النقاط المتكاملة الآلية التي تسمح بالتشغيل عن بعد. وُمدت مع أجهزة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ مما يوفر القدرة على تحديد موقعها باستخدام طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية المناسبة؛ مثل الطريقة الساكنة السريعة وطريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK) التي تم فحصها في الأبواب ١٠، ١١، ١٢- من هذا المجلد.

مع إدخال تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الحركية الحديثة؛ مثل طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK)، وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK)، تدهورت أهمية المسح عن طريق محطات النقاط المتكاملة. ومع ذلك ينبغي اختيار المسح عن طريق محطات النقاط المتكاملة في عدة حالات، وخصوصًا عند التعامل مع مسوح مراقبة صغيرة النطاق وعالية الدقة، في البيئات الحضرية والحرورية (ذات الغطاء النباتي العالي)؛ حيث تتدهور كفاءة تقنيات النظم العالمية للملاحة الحركية عبر الأقمار الصناعية، وكذلك حيثما تملحها متطلبات الدقة (مثل الإنشاء).

٢-٩-٢ التسوية:

نطاق التسوية هو لقياس أو التحقق من ارتفاع النقاط المحددة بالنسبة إلى المرجع الإسنادي، تُنفذ التسوية باستخدام أدوات التسوية. المستويات هي أدوات بصرية تستخدم لإنشاء نقاط أو التحقق منها في نفس المستوى الأفقي، وتستخدم بشكل شائع في المسح لقياس الارتفاعات. تقيس عملية التسوية -والمعروفة باسم التسوية المباشرة أو التفاضلية- المسافات الرأسية مباشرة على شاخص مدرج باستخدام أداة التسوية تستخدم التسوية المتعلقة بمشاريع الطرق بشكل أساسي في مسوحات التحكم والإنشاء.

٣-٩-٢ المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS):

يشير النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية إلى عدة مجموعات من الأقمار الصناعية، التي تبث إشارات من الفضاء، تُنقل بيانات تحديد المواقع والتوقيت إلى مستقبلات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، التي تستخدم هذه البيانات بعد ذلك لتحديد موقعها، ويقدم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية تغطية عالمية النطاق. وقد استحدث هذا النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بوصفه مصطلحا يعمم مفهوم النظام العالمي لتحديد المواقع، الذي كان يمثل أول مجموعة من الأقمار الصناعية العاملة والفعالية تخدم هذا الغرض. ويشمل النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية نظام غاليليو (Galileo) الأوروبي، ونظام الملاحة (NAVSTAR GPS) في الولايات المتحدة الأمريكية، ونظام غلوناس (GLONASS) الروسي العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ونظام بيدو (BeiDou) الصيني للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

من أجل تحديد موقع أفقي دقيق على الأرض، هناك حاجة إلى إشارات من ثلاثة أقمار صناعية على الأقل؛ لتحديد الموقع الرأسي، وحاجة إلى إشارات من أربعة أقمار صناعية على الأقل. ونظرا لقدرته على تحديد المواقع؛ يُستخدم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على نطاق واسع للمسح. يمكن لجلسات مراقبة جهاز استقبال النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لبضع ساعات فقط أن تسفر عن مواقع ثلاثية الأبعاد بدقة تبلغ بضع سنتيمترات. تطورت التقنيات التفاضلية بعد فترة وجيزة من إدخال الكوكبة الأولى (GPS)، باستخدام المحطات الأساسية (الشكل ٢-٤)، تسمح بتحديد موقع نقطة على سطح الأرض بدقة -وفي بعض الحالات- على الفور.

تتطور إرشادات المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية باستمرار مع التقدم في المعدات والتقنيات. من المتوقع حدوث تغييرات في هذه الإرشادات عند حدوث هذه التطورات. وتشمل التغييرات الأخيرة اعتماد وحدات القياس بالقصور الذاتي (IMU)/

مقاييس الميل على مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ؛ مما يسمح بتحديد مواضع النقاط بغض النظر عن ميل العمود الذي رُكب جهاز الاستقبال عليه.



الشكل (٢-٤) (تغطية شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (GASGI, 2021). يمكن توفير المعلومات المحدثة عبر الرابط (<https://ksacors.gcs.gov.sa>)).

هناك أنواع مختلفة من تقنيات المسح طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية مثل الطريقة الساكنة، والثابتة السريعة، وطريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK) وغيرها. وينبغي استخدام تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الثابتة والسريعة في مسوحات مراقبة المناطق الكبيرة، بينما ينبغي استخدام تقنيات طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK) في البيئات الريفية وغير الحرجية، نظراً لاستيفاء متطلبات الدقة. لمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى الأبواب (١٠) و(١١) و(١٢) من هذا المجلد.

٢-٩-٤ المسح الجوي:

هو العلم المعني بجمع بيانات الخرائط عن طريق الصور الجوية والصور عبر الأقمار الصناعية وبيانات الليزر التي تجمع جويًا، باستخدام كاميرا ومعدات أخرى. ولا تقتصر منتجات المسح الجوي على صنع الخرائط الطبوغرافية فقط، حيث يمكن استخدامها في العديد من المجالات العلمية الأخرى مثل: الجيولوجيا، وعلوم الأرض، وتصنيف التربة، والاستشعار عن بعد وغيرها.

تطورت طرق المسح الجوي بهدف التصوير الفوتوغرافي خلال السنوات الأخيرة بطريقة فتحت آفاقاً واسعة في إنتاج الخرائط. وأدى إدخال المركبات الجوية بدون طيار (UAV)، والتقنيات ذات الصلة؛ مثل: الهيكل من الحركة (SfM)، والاستريو متعدد المناظر (MVS) إلى زيادة تعزيز توظيفها، مما يوفر القدرة على توليد سحب نقاط ملونة دقيقة (الشكل ٢-٥). علاوة على ذلك، يمكن -أيضاً- استخدام الصور عبر الأقمار الصناعية، التي توفر تغطية لمنطقة واسعة جداً، مع أجهزة استشعار حديثة توفر مسافة أخذ عينات أرضية تصل إلى ٣,٠ متر (GSD)، لأغراض رسم الخرائط على مدى مناسب. أخيراً يمكن استخدام استشعار الضوء الجوي وتحديد المدى أو الليدار (LiDAR) بخصائصه الفريدة؛ لتوفير نماذج تضاريس رقمية دقيقة (DTM)، مع الغطاء النباتي التلقائي القابل للإزالة، حيث تتطلب تقنيات المسح التصويري أو الأرضي الأخرى موارد متعددة، أو تفشل في ذلك.

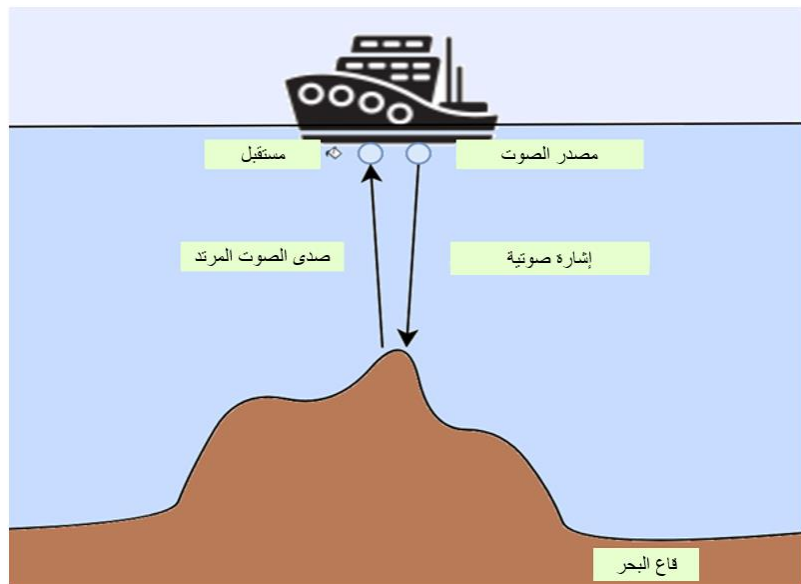
تعد المسوحات الجوية -حاليًا- أكثر طرق المسح شيوعاً. وقد ثبت عملياً أن طرق المسح الجوي توفر ما لا يقل عن ٥٠ ٪ من الوقت والجهد والمال اللازم لإنتاج الخرائط مقارنة بالطرق الأرضية. وعادة ما تستخدم لرسم الخرائط المساحية، والمسح الطبوغرافي لمناطق واسعة أو مسح نموذج التضاريس الرقمية، والتصميم الابتدائي/النهائي للطرق، ومشاريع أخرى. يمكن استخدام المسوحات الجوية لتوفير العديد من المنتجات؛ مثل: خرائط المتجهات، ونماذج السطح الرقمي (DSM)، والصور الجوية مصححة الأبعاد (ثبت أنها تمثل خلفية ممتازة لمعلومات المتجهات)، أو حتى تطبيقات الواقع الافتراضي والمعزز.



الشكل (٥-٢) السحابة النقطية المتولدة من المسح الجوي.

٥-٩-٢ المسح عن طريق سبر الصدى:

مسبار الصدى أو الملاحه الصوتية وتحديد المدى (السونار/ SONAR) هو نظام يحدد عمق الماء بناءً على الصوت المنعكس على قاع البحر. يتكون النظام من جهاز إرسال صوتي وجهاز استقبال يلتقط الصدى المنعكس، والتوقيت الإلكتروني، ومعدات التكبير، إلى جانب شاشة للتحكم التشغيلي والتحقق من التغطية. يمكن ربط مسبار الصدى ببدن السفينة، وقطرها من سفينة سطحية (يرسل مسبار الصدى نبضة صوتية إلى الماء، فتنتقل الطاقة الصوتية عبر الماء إلى قاع البحر؛ حيث تنعكس مرة أخرى نحو المستقبل، حيث يتم توقيتها وتسجيلها.



الشكل (٦-٢) توضيح لآلية سبر الصدى.

يستخدم السبر بالصدى على نطاق واسع في المسح الهيدروغرافي الذي يهدف إلى تحديد الحدود بين السمات الفيزيائية للمساحات المائية؛ مثل الأنهار، والبحيرات، والمجاري المائية، والمناطق البرية المجاورة، وكذلك- شكل قاع البحر. وتركز الدراسات المسحية الهيدروغرافية في المقام الأول على الظواهر التي تؤثر على سلامة الملاحة، وتنتشر تلك المعلومات في شكل يمكن من استخدامها في الملاحة البحرية.

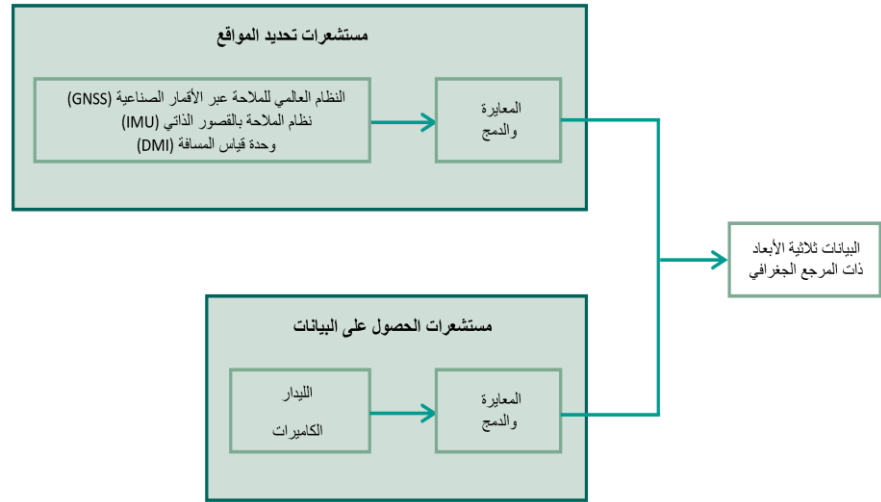
٦-٩-٢ المسح الضوئي بالليزر بالأرضي:

المسح الضوئي بالليزر، باستخدام الليدار (Vosselman & Maas, 2010)، هي طريقة تستخدم الليزر لقياس المدى (المسافة) من خلال استهداف جسم وقياس الزمن الذي يحتاجه الضوء للانتقال نحو الجسم والرجوع. إنها طريقة نشطة، أي أنها توفر مصدر إضاءة خاص بها، وبالتالي لا تعتمد على مصادر خارجية، ويمكن أن تعمل ليلاً ونهاراً. تتمثل مخرجاتها في سحابة نقطية ذات ضوضاء منخفضة، ملونة بشدة الإشارة المرتدة. يمكن لأنظمة الليدار التي تدمج الكاميرات المعايرة -أيضاً- إرجاع معلومات الألوان الطبيعية لكل نقطة.

تستخدم مستشعرات الليدار الثابتة على الحوامل الثلاثية (الأرضية) عند الحاجة إلى تمثيل رقمي ثلاثي الأبعاد لجسم أو سطح الأرض (Toth & Shan, 2009). معظم التطبيقات الشائعة هي في المسح، والجيوديسيا، وتسجيل التراث الثقافي، والجيولوجيا، وعلم أشكال الأرض (الجيومورفولوجيا/geomorphology)، وعلم الزلازل، وعلم الغابات، وفيزياء الغلاف الجوي، وقياس الارتفاع بالليزر. ينقسم المسح إلى مسوحات ثابتة من محطات مختارة، بنفس معنى التقاطع مع المحطة المتكاملة. وتستند منهجية قياس المسافة الخاصة بهم إلى وحدة قياس المسافة المكافئة للمحطات الإجمالية. تسمى المساحات الضوئية الثابتة (الليدار) بالمساحات الضوئية الليزرية الأرضية (TLS). تُوظف المساحات الضوئية الليزرية الأرضية عندما تكون هناك حاجة إلى سحب نقطية عالية الدقة والكثافة في المشاريع المتعلقة بالطرق، على سبيل المثال: عمليات مسح المنحدرات الجانبية والسطحية، وفي المسوحات المنفذة.

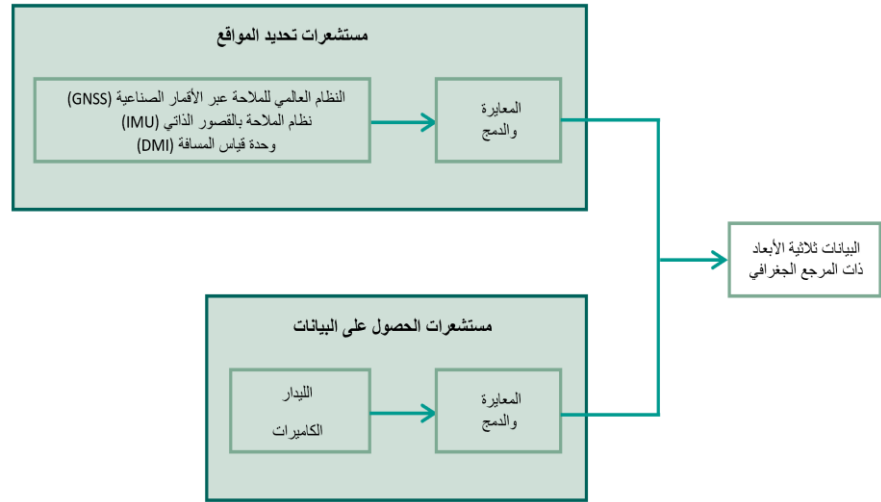
٧-٩-٢ أنظمة أجهزة الخرائط المتنقلة:

أنظمة أجهزة الخرائط المتنقلة هي أجهزة تجمع البيانات الجغرافية المكانية من منصة متنقلة، مزودة -عادة- بمجموعة من الكاميرات، الليدار، الرادار، مسبارات الصدى، أو أي عدد من أنظمة الاستشعار عن بعد، من أجل الاستخدامات البرية أو الجوية أو البحرية. إن منفذ أنظمة رسم الخرائط المتنقلة يغذي طلب الحصول على بيانات سريعة وفعالة من حيث التكلفة في مناطق واسعة، إضافة إلى التطورات التقنية التي تلبي هذا الطلب. وفي هذا الصدد، حدث تطوران جديران بالذكر بوجه خاص أجهزة استشعار الليدار والملاحة الدقيقة. السمة المشتركة لأنظمة أجهزة الخرائط المتنقلة هي أنها تجمع بين جميع أجهزة الاستشعار اللازمة لحل مشكلة محددة، مثبتة على منصة مشتركة. من خلال المزامنة الدقيقة لجميع تدفقات البيانات، يمكن جمع البيانات من أجل استخدام معين، حتى في الوقت الحقيقي. على هذا النحو تتكون أنظمة أجهزة الخرائط المتنقلة بشكل نمطي من نوعين رئيسيين من المستشعرات؛ مستشعرات لتحديد الموقع، أي النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (INS)، وحدة قياس المسافة (DMI)، ومستشعرات لجمع البيانات، أي: الليدار والكاميرات)



.)

الشكل (٧-٢) دمج مستشعرات أنظمة رسم الخرائط المتنقلة.



ويشمل الناتج الرئيس من هذه الأنظمة السحب النقطية ثلاثية الأبعاد، والصور والفيديو ذات المرجع الجغرافي، وبيانات نظم المعلومات الجغرافية والخرائط الرقمية. لذا يُعد نظام الخرائط المتنقلة مصدرًا مهمًا لمختلف التطبيقات، بما في ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، النمذجة ثلاثية الأبعاد للأماكن المغلقة وفي الهواء الطلق، والنقاط بيانات نظم المعلومات الجغرافية، وخرائط الاستجابة للكوارث ثلاثية الأبعاد بمستويات عالية من التفصيل، والمركبات المستقلة (Elhashash, et al., 2022).

تُستخدم أنظمة رسم الخرائط المتنقلة في العديد من التطبيقات البرية والبحرية والجوية والأماكن المغلقة، بما في ذلك:

- إدارة / صيانة الأصول والبنية التحتية.
- صور ثلاثية الأبعاد لأدوات رسم الخرائط عبر الإنترنت، ومشاهدات مستوى الشارع، وتطبيقات الجوال باستخدام بيانات الخريطة.
- رسم خرائط الطرق ومرافق الطرق.
- تقييم ورصد سطح الطريق.
- ممرات السكك الحديدية والمنافع العامة.
- مسوحات خطوط الأنابيب (جسر، نفق، وغيرها).

نظرًا لتنوع التطبيقات، هناك مجموعة واسعة من التطبيقات التي تندرج تحت فئة أنظمة رسم الخرائط المتنقلة المعممة. يعتمد اختيار نظام رسم الخرائط المتنقلة المناسب على التطبيق وخصائصه الفريدة.

٣- متطلبات المسح لمشاريع الطرق:

١-٣ إجراءات مسح مشاريع الطرق:

خلال فترة مشروع الطريق، تُنفذ العديد من إجراءات المسح. وتُصنف هذه الإجراءات التي تُطبق على عدة مراحل في فترة مشاريع الطرق بشكل أساسي إلى ست فئات، وهي التحكم، والتضاريس، والطوبوغرافيا، والقياس المساحي، وقياس الأعماق البحرية، والإنشاء، كما هو موضح في الفقرات التالية. الجدول (١-٣) يلخص قابلية تطبيق منهجيات المسح على إجراءات المسح لمشاريع الطرق.

الجدول (١-٣) قابلية تطبيق منهجيات المسح على إجراءات المسح خلال دورة حياة مشروع طريق.

إجراءات المسح								
التحكم	الطوبوغرافيا	التضاريس	القياس المساحي	قياس أعماق البحر	الإنشاء			
-	✓	✓	-	-	-	قمر صناعي	جوي	منهجيات المسح
-	✓	✓	✓	-	-	التصوير المساحي الضوئي		
-	-	✓	-	✓	-	ليدار		
✓	✓	✓	✓	-	✓	محطات النقاط المتكاملة	أرضي	
✓	-	-	-	-	✓	المستوى		
✓	✓	✓	✓	-	✓	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية		
✓	✓	✓	-	✓	-	المسح الأرضي بالليزر		
✓	-	-	-	-	-	سبر بالصدى		
✓	✓	-	-	✓	-	أنظمة الخرائط المتنقلة		

١-١-٣ مسوحات التحكم:

تتمثل الخطوة الأولى بكل مشروع مسح في تحديد مرجع المشروع مع إنشاء نقاط تحكم. يتم التحكم في المشاريع بمساعدة عمليات مسوحات التحكم التي يتم خلالها تنفيذ شبكة موحدة متسقة من المحطات الأرضية المادية (السمات). وهذه النقاط هي أساس النظام المرجعي الأفقي والرأسي للمشروع. ويحدد الموضع الدقيق لكل نقطة تحكم، ويُستخدم لاحقاً للمسوحات الطبوغرافية التفصيلية أو وتوتيد (staking) الإنشاء أو الاحتياجات المماثلة. وتضمن مسوحات التحكم أن للمشاريع المجاورة تحكم متوافق ونظام مرجعي مشترك. ويمكن استخدام النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية، ومحطة النقاط المتكاملة والمستويات بدلاً من ذلك؛ لقياسات النقاط الأفقية والرأسية. وينبغي استخدام تعديل المربعات الصغرى للتقدير النهائي للإحداثيات. يجب أن ترجع مسوحات التحكم في المملكة العربية السعودية إلى إطار المرجع الجيوديسي الوطني في المملكة (KSA-GRF17) و(KSA-VRF14).

تُصنف كل من مسوحات التحكم الأفقية والرأسية والشبكات الناتجة إلى درجات دقة، يحدد الغرض ودرجة الدقة التفاوتات المسموح بها. وعلى وجه التحديد، فيما يتعلق بمشاريع الطرق:

- التصنيف من الدرجة الأولى يعني أعلى دقة، ويشير إلى التحكم في الممر فيما يتعلق بمشاريع الطرق، وهو أكثر صرامة من حيث متطلبات الدقة مقارنة بالدرجة الثانية، التي بدورها أكثر تطلبًا من الدرجة الثالثة.
- يُستخدم تصنيف الدرجة الثانية لمشاريع الطرق لإنشاء تحكم في المشروع (الموقع) بين المسارات، التي تحدها شبكة التحكم من الدرجة الأولى.
- تحدد معايير التصنيف من الدرجة الثالثة التحكم في المشاريع المحلية؛ مثل: المشاريع الهندسية الصغيرة، للتحسينات والتطويرات المحلية، بالإضافة إلى مشاريع رسم الخرائط الطبوغرافية الصغيرة.
- نقاط التحكم ذات الدرجة الأقل هي نقاط ثابتة، مستخدمة في المسوحات الطبوغرافية، على سبيل المثال: المحطات.

توضع علامات دائمة على نقاط التحكم من الدرجة الأولى والثانية والثالثة من خلال السمات الموضحة في الملحق (أ).

تتبع مسوحات التحكم لغرض مسح الطرق، الواردة فيما يلي في هذا المجلد، تصنيف الدرجات الوارد في الجدول (٣-٢). يضاف الجدول (٣-٢) مزيداً من التوضيح على العلاقة بين درجات مسح الطرق وتصنيف مواصفات الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي والمسح الجيوديسي الوطني (FGCC, 1984)، والمعتمد كذلك من الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية.

الجدول (٣-٢) درجات المسح: درجة الطريق مقابل مواصفات المسح الجيوديسي الوطني.

درجة مساح الطرق	درجة مواصفات المسح الجيوديسي الوطني
الأولى	الدرجة الثانية/ الفئة الأولى
الثانية	الدرجة الثانية/ الفئة الثانية
الثالثة	الدرجة الثالثة/ الفئة الثانية
الدرجة الرابعة فأقل	الدرجة الرابعة فأقل

وتُنشأ نقاط مراقبة لعمليات مسح الطرق عموماً بمساعدة مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية المعروضة في الأبواب (١٠) و(١١) و(١٢)، خاصة فيما يتعلق بالتحكم الأفقي. يجب استخدام مسوحات التحكم في محطة النقاط المتكاملة (الباب ٧-١) للتحكم الأفقي في الحالات التالية (CALTRANS, 2016):

- عندما لا يمكن تطبيق طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، على سبيل المثال: المناجم، والأنفاق، والبيئات الحضرية.
- عندما يتعذر الوفاء بالدقة النسبية التي تتطلبها الدراسة الاستقصائية بواسطة تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (مثلاً، عندما تكون هناك حاجة إلى دقة عالية في مواقع محدودة الحجم).

فيما يتعلق بالتحكم الرأسى؛ يجب استخدام التسوية التفاضلية لدقة الدرجة الأولى والثانية والثالثة باستخدام معدات وممارسات المسح المناسبة. ويمكن أيضاً استخدام الارتفاع المثلي وطرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الثابتة في المسوحات من الدرجة الثالثة. ويجب أن توفر الارتفاعات لأغراض الدقة من الدرجة الرابعة، عن طريق التسوية التفاضلية، أو الارتفاع المثلي، أو باستخدام طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. ويلخص الجدول (٣-٣) المعلومات المذكورة آنفاً.

الجدول (٣-٣) المنهجيات المناسبة حسب نوع التحكم والدرجة.

درجة مساح (الطريق)	التحكم الأفقي	التحكم الرأسى
الأولى	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^١ محطة النقاط المتكاملة ^٢ .	التسوية.
الثانية	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^{١-٢} محطة النقاط المتكاملة ^٢ .	التسوية.

التسوية، محطة النقاط المتكاملة، النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^{١-٢} .	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^١ محطة النقاط المتكاملة ^٢ .	الثالثة
النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^٢ محطة النقاط المتكاملة، التسوية.	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ^٢ محطة النقاط المتكاملة ^٢ .	أقل
ملاحظات:		
١- ساكن ^١ ساكن سريع.		
٢- التثليث / التثليث بالمسافات / ضبط الشبكة.		
٣- (طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة).		
٤- مسح اجتيازي.		

٢-١-٣ المسوحات الطبوغرافية:

تُستخدم المسوحات الطبوغرافية في جمع البيانات الميدانية المتعلقة بالسمات الطبيعية، والتي صنعها الإنسان في منطقة المشروع قيد التصميم، وعادة ما تُدعم المسوحات الطبوغرافية من خلال التحكم الأفقي والرأسي من الدرجة الثالثة والأقل، وتعتمد الطرق والأدوات المستخدمة في المسوحات الطبوغرافية على الغرض من المسح، ودرجة الدقة المطلوبة، وطبيعة التضاريس المراد تغطيتها، ومقياس الخريطة.

يمكن استخدام العديد من طرق المسح؛ لدعم المسوحات الطبوغرافية. يتم العمل الميداني التقليدي في المسح الطبوغرافي مع محطة النقاط المتكاملة، من خلال إنشاء إطار أساسي لنقاط التحكم الأفقية والرأسية المحلية، أي: المحطات التي تشكل مسح اجتيازي. وبمجرد إنشاء تلك النقاط، يقوم المساحون بتحديد موقع سمات المعالم الطبيعية أو التي من صنع الإنسان في محيط كل محطة والتي ستظهر على الخريطة المعنية، وقياسها، وتوثيقها في الملاحظات الميدانية.

في السنوات الأخيرة، يُستبدل الاستخدام الواسع لمحطة النقاط المتكاملة بأساليب النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (الأبواب ١٠ و ١١ و ١٢)، على سبيل المثال، طريقة الحركة في الوقت الحقيقي وطريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة؛ لأنها تتطلب طاقةً أصغر، ولا تعتمد على محيط خط رؤية صغير لكل محطة لقياس تفاصيل السمة. ومع ذلك لا تزال أساليب محطة النقاط المتكاملة مفضلة في حالات مناطق الغابات ذات الغطاء النباتي العالي، والبيئات الحضرية؛ حيث تكون أساليب نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية العالمية محدودة بسبب محدودية الرؤية السماوية المتاحة، وكذلك عندما تتطلب الدقة المطلوبة ذلك.

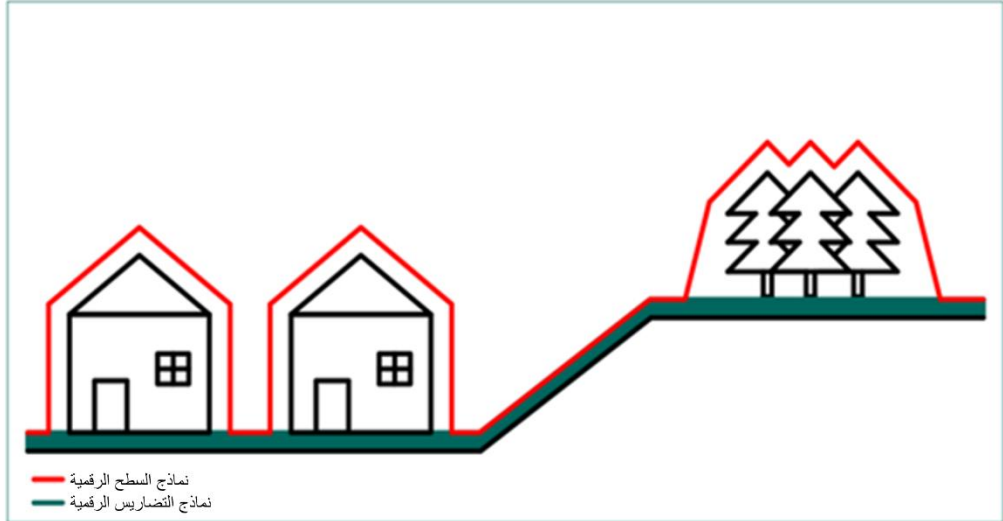
بصرف النظر عن استخدام طرق المجال الأرضي يمكن -أيضاً- تنفيذ المسوحات الطبوغرافية باستخدام التصوير الجوي والمسح التصويري (الباب ١٣)، وهي الطريقة الأكثر كفاءة للحصول على كميات كبيرة من البيانات الطبوغرافية. ومع ذلك لا يمكن للمسح التصويري -دائماً- النقاط تفاصيل السمة الفعلية؛ بسبب الغطاء النباتي وخصائص الموقع الأخرى.

أخيراً، يمكن استخدام رسم الخرائط المتنقلة؛ لتوثيق سطح الطريق القائم، نظراً لطبيعة المشروع ومتطلبات الدقة.

٣-١-٣ مسوحات التضاريس:

تهدف مسوحات التضاريس إلى الحصول على تمثيل لسطح الأرض، وإنشاء نموذج تضاريس رقمي للمنطقة قيد الدراسة، ويعد نموذج التضاريس الرقمي نموذجاً طبوغرافياً لسطح الأرض، يمكن التحكم فيه بواسطة برامج الحاسب. ويمكن تطوير نموذج التضاريس الرقمية من جانب الارتفاع، ويضيف إمكانيات ثلاثية الأبعاد لتصميم المشاريع؛ كما يساعد في إجراءات مثل: مسارات الطرق، وموقع المباني المستقبلية، وأنواع أخرى.

ويجب عند هذه النقطة التمييز بين نماذج التضاريس الرقمية ونماذج السطح الرقمية ونماذج المنسوب الرقمية، فعلى الرغم من أن جميع تلك النماذج تصف المناسيب، إلا أن الاختلاف الرئيس فيما بينها هو أن نموذج الارتفاعات الرقمية هو نموذج منسوب "الأرض المجردة"، وهو عبارة عن مجموعة شاملة من نموذج التضاريس الرقمية ونموذج السطح الرقمي، مع كون نموذج التضاريس الرقمية عبارة عن نموذج الارتفاعات الرقمية معزز بسمات مثل خطوط الانكسار والتلال، بينما يكون نموذج السطح الرقمي عبارة عن نموذج التضاريس الرقمية الذي يشمل السمات الطبيعية والاصطناعية على سطح الأرض. يوضح الرسم التخطيطي للشكل (١-٣) الاختلافات بين نموذج التضاريس الرقمية ونموذج السطح الرقمي، حيث يتبع نموذج التضاريس الرقمية (الممثل بالخط الأخضر) الأرض، بينما يتبع نموذج السطح الرقمي (الممثل بالخط الأحمر) الهياكل على السطح.



الشكل (٣-١) الفرق بين نماذج السطح الرقمية ونماذج التضاريس الرقمية - نماذج المنسوب الرقمية.

يمكن إجراء مسوحات التضاريس بإجراءات بديلة، أو بالتزامن مع المسوحات الطبوغرافية، اعتمادًا على طبيعة المشروع. وتُجمع البيانات المقدمة لتطوير نموذج التضاريس الرقمية من خلال قياسات المسح الميداني؛ مثل: محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والمسح الضوئي بالليزر الأرضي، بالإضافة إلى الأساليب الجوية مثل: القياس التصويري والليدار.

٤-١-٣ مسوحات القياس المساحي:

وفقًا لما ذكره قرار مجلس الوزراء رقم (٥٤) بتاريخ ١٤٣٧/٢/١١ هـ، يحق لمالكي الأراضي في المملكة العربية السعودية الحصول على تعويض عن الأجزاء المقتطعة لتخطيط أو تحديد وتنفيذ شبكات الطرق الرئيسية؛ لذلك تنشأ الحاجة إلى إجراء مسوحات مساحية لتحديد الممتلكات العامة والخاصة في الأرض. وتُشير مسوحات القياس المساحي إلى تسجيل الوضع الحالي لملكية العقارات المتأثرة بمشاريع الطرق، بناءً على المستندات والأدلة التاريخية والظروف الميدانية الفعلية ومعايير الممارسة الحالية. وتُشير أيضًا -إلى القسط الأولي أو إلى إعادة تثبيت الحدود والسمات العقارية الموجودة بالفعل. وتوثق مسوحات القياس المساحي السياسات والمواصفات والإجراءات المتعلقة بمراقبة حدود مشاريع الطرق.

تنتج مسوحات القياس المساحي خرائط مساحة تفصيلية، مرسومة على نطاق واسع، توضح تقسيمات قطعة الأرض. وتُظهر خرائط المساحة التفصيلية المسافة والحمل بين زوايا قطعة الأرض، بما في ذلك المعلومات الطبوغرافية أو النباتية. يجب على مسوحات القياس المساحي توفير مواقع دقيقة للمواضع الأفقية للطرق، والمباني، والأراضي العامة، والحدود الخاصة، وحرم الطريق، وخرائط المساحة التفصيلية لحرم الطريق، وغيرها من التطورات المستقبلية.

يمكن إجراء مسوحات القياس المساحي بإجراءات بديلة، أو بالتزامن مع المسوحات الطبوغرافية، اعتمادًا على طبيعة المشروع. ويجب استخدام محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، وطرق القياس التصويري، بدلاً من ذلك أو مجتمعة، في المسوحات المساحية.

٥-١-٣ مسوحات قياس أعماق البحار:

مسوحات قياس أعماق البحار هي مجموع كل تقنيات الاستحواذ وطرق المعالجة لإنشاء خريطة ثلاثية الأبعاد للمناطق التي تغطيها المياه، سواء أكان ذلك بحرًا أو نهرًا أو بحيرة. وتُقاس هذه المسوحات العمود المائي فوق عدد كبير من النقاط، وتعيد في النهاية إنشاء سطح قاع البحر والأجسام الموجودة عليه؛ إما من حطام السفن، أو الهياكل والبنية التحتية الأخرى التي هي من صنع الإنسان.

ومن الناحية التقليدية؛ فإن الناتج الأولي لعمليات مسح قياس أعماق البحار هو الخرائط البيانية للأعماق. تنتج مخططات قياس أعماق البحار المطبوعة خطوطًا كنتورية لإظهار العمق من السطح المرجعي، وعادة ما يعني مستوى مانع التسرب. وتعرف هذه الخطوط باسم التساوي العمقي. في العصر الرقمي؛ المخرجات الأساسية هي ملفات نموذج السطح الرقمي، التي يمكن من خلالها إنتاج العديد من التصورات المرئية.

وتجرى عمليات مسح أعماق البحار لمشاريع الطرق بالقرب من الجسور المخططة وغيرها من المواقع القريبة من المسطحات المائية والمتأثرة بها. وتستند منهجيات المسح المستخدمة في سبر الصدى (السونار) أو الليدار الجوي لقياس عمق عمود الماء بدقة (في المياه الصافية والضحلة).

٦-١-٣ مسوحات الإنشاء:

قبل نشاط الإنشاء لأي مشروع؛ يجب نقل معلومات التصميم من المخطط إلى الأرض. ويتحقق ذلك -بشكل عام- من خلال مسوحات الإنشاء وتثبيت النقاط بالأوتاد (التوتيد/staking). وتستخدم مسوحات الإنشاء لأي مشروع إنشاء، من الطرق إلى المباني والأنفاق إلى الأعمال الهيدروليكية والهياكل تحت الماء. وتعد مسوحات الإنشاء مفيدة ومهمة للغاية؛ لأن جميع مراحل الإنشاء تستند إلى مخرجاتها. توجه مسوحات الإنشاء -في إنشاء الطرق- جميع الأعمال؛ من الأعمال الترابية الأولية، إلى وضع الرصف، وإنشاء أعمدة الإنارة، وما إلى ذلك. ويستمر عمل مسوحات الإنشاء حتى بعد نهاية إنشاء الطريق؛ لإنتاج رسومات دقيقة كما نُفذ (as-built drawings).

وتستخدم المعدات القياسية -المستخدمة في معظم المسوحات الأرضية- في المسوحات الإنشائية؛ مثل مستويات محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. وتتطلب مسوحات الإنشاء استعادة شبكة التحكم في التصميم النهائي، والتحقق منها، وتكثيفها. وهم عادة أكثر تطلبًا للدقة فيما يتعلق بمراحل التصميم. وترد تفاصيل مسوحات الإنشاء في الباب (١٩) من هذا المجلد.

٢-٣ مراحل دورة حياة مشروع طريق:

في الأجزاء التالية، تُعرض متطلبات المسح العامة، فيما يتعلق بجميع مراحل تصميم الطرق والإنشاء والصيانة. الجدول (٤-٣) يلخص ويقدم معلومات مجدولة مدرجة في الأجزاء الفرعية التالية.

١-٢-٣ دراسة الجدوى:

خلال مرحلة دراسة الجدوى/التصميم المفاهيمي، تُحدد الاتجاهات المحتملة لمسار الطرق، ومواقف السيارات، والجسور، وغيرها من المواقع المتعلقة بالطرق. ولهذا الغرض؛ يلزم إجراء مسح لتوفير الخلفية الطبوغرافية اللازمة لتحديد توجيهات الدراسة العامة.

الجدول (٤-٣) مقاييس المسح وأدواته وأنواعه خلال فترة مشاريع الطرق.

مراحل مشاريع الطرق							
التشغيل/الصيانة	الإشاء	التصميم التفصيلي	التصميم الابتدائي	دراسة الجدوى/ المفهوم			
خاص بالعملية	غير محدد	١:١,٠٠٠ ١:٥٠٠.٢ ١:٢٠٠.٣	١:٢,٠٠٠ — ١:٥,٠٠٠	١:١٠٠٠٠	مقياس الرسم		
-	-	-	-	✓	قمر صناعي	جوي	منهجيات المسح
-	-	✓	✓	✓	التصوير المساحي الضوئي		
-	-	✓	✓	-	ليدار		
✓	✓	✓	✓	-	محطة النقاط المتكاملة	أرضي	
✓	✓	✓	✓	-	المستوى		
✓	✓	✓	✓	-	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية		
✓	✓	✓	-	-	المسح الأرضي بالليزر		



مراحل مشاريع الطرق					
دراسة الجدوى / المفهوم	التصميم الابتدائي	التصميم التفصيلي	الإشياء	التشغيل/الصيانة	
-	-	✓	✓	-	سبر بالصدى
-	-	✓	✓	✓	أنظمة الخرائط المتنقلة
✓	✓	✓	✓	✓	التحكم
✓	✓	✓	✓	✓	التضاريس
-	✓	✓	✓	✓	الطوبوغرافيا
-	-	✓	-	-	القياس المساحي
-	-	✓	°✓	-	قياس أعماق البحار
-	-	-	✓	✓	الإشياء
ملاحظات:					
١- نموذج السطح الرقمي فقط. ٢- عند التقاطعات. ٣- بخصوص بتحسين الطرق. ٤- عدم تشجيع استخدامها بتوسع. ٥- في ظل الظروف المناسبة، على سبيل المثال، الجسور.					

وينبغي إجراء دراسات الجدوى بمساعدة التصوير مصحح الأبعاد التي ينتجها التصوير الجوي أو صور القمر الصناعي، ونموذج السطح الرقمي، بالإضافة إلى الخرائط الموجودة. وينبغي أن تراعي الصور الجوية أو صور القمر الصناعي المستخدمة مجموعات جديدة. كما ينبغي إجراء مسح استطلاعي ميداني للكشف عن المعلومات التي تخفيها النباتات أو غيرها من العوائق.

يجب أن تكون الخرائط المنتجة في دراسات الجدوى والتصميم المفاهيمي بمقياس (١:١٠٠٠٠) أو أصغر. فيما يتعلق بجميع منتجات الخرائط لدراسات الجدوى، تُحدد الدقة الأفقية والرأسية من خلال مقياس الخريطة المعني كما هو موضح في الجزء (٧-٢).

يجب إنتاج صور خرائط مصححة الأبعاد تجمع بين التصوير مصحح الأبعاد، والمخططات الناتجة عن نموذج السطح الرقمي، وبيانات المتجهات، والسمات النصية المستمدة من الخرائط الحالية، والتفسير الضوئي، ومسح الاستطلاع الميداني. سيتم تضمين السمات ذات الحجم الكبير فقط في هذه الخرائط نظرًا لصغر مقاسها، على سبيل المثال؛ محاور الطرق، والمباني الكبيرة، والجسور، وما إلى ذلك.

يجب أن تتبع المنطقة التي ستغطيها هذه المسوحات التفاصيل الواردة في الجدول (٣-٥)، فيما يتعلق بمواقع الممرات المخطط لها في البداية.

الجدول (٣-٥) تفاصيل التغطية بشأن الطريق القائم / المقترح / الممر لدراسات الجدوى.

نوع المشروع	عرض الممر المراد تغطيته (صور وخرائط ونموذج سطح رقمي)
ممر طريق غير محدد	٥ كم

نوع المشروع	عرض الممر المراد تغطيته (صور وخرائط ونموذج سطح رقمي)
ممر طريق محدد	٥٠٠ م على جانبي الخط الوسطي
تحسين الطرق	١,٥ كم على جانبي الخط الوسطي
محولات قائمة	٣ × ٣ كم
محولات مقترحة	٥ × ٥ كم

تتضمن المخرجات لهذه المرحلة كحد أدنى ما يلي:

- التقرير الفني بما في ذلك الطرق المختارة وتقرير المعالجة (الحسابات).
- رسومات وجدول مراقبة المشروع توضح إحداثيات نقاط التحكم.
- ملفات رقمية ذات مرجع جغرافي لنموذج السطح الرقمي.
- ملفات جغرافية رقمية مرجعية من التصوير مصحح الأبعاد.
- صورة فوتوغرافية رقمية مصححة الأبعاد بما في ذلك المخططات الناتجة عن نموذج السطح الرقمي وبيانات التوجيه والبيانات النصية بصيغة قابلة للتعديل.
- أوراق خرائط التصوير مصحح الأبعاد بصيغة PDF، جاهزة للطباعة إلى نطاق واسع.
- أي بيانات إضافية يطلبها صاحب المشروع ويقدمها بصورة رقمية.

٢-٢-٣ التصميم الابتدائي للطريق:

يتطلب التصميم الابتدائي للطريق مسكاً طبوغرافياً عالي الجودة؛ بهدف توفير نموذج تضاريس رقمية لممر الطريق، مع جميع سمات الطريق والموجودة في الممر، والمسجلة بالصيغة ثلاثية الأبعاد. على هذا النحو؛ يتضمن التصميم الابتدائي للطرق مسكاً تفصيلياً لموقع المشروع بمقاييس يجب أن تتراوح بين ١:٥٠٠٠ و ١:٢٠٠٠، وفقاً لقرار مالك المشروع. وتحدد الدقة الأفقية والرأسية فيما يتعلق بجميع منتجات المسح للتصميم الابتدائي بواسطة مقياس الخريطة المعني كما هو موضح في الجزء (٧-٢).

وينبغي إجراء مسوحات التصميم الابتدائي بمساعدة الوسائل الجوية المأهولة أو غير المأهولة، أي المسح التصويري الجوي. ويجب عدم استخدام صور الأقمار الصناعية للتصميم الابتدائي للطريق. ولا يُشجع استخدام الطرق الأرضية (محطة النقاط المتكاملة/النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية) في هذه المرحلة بسبب ارتفاع تكلفتها. ويمكن استخدام الليدار للحصول على نموذج السطح الرقمي في الحالات التي لا يمكن فيها الحصول على بيانات التضاريس الفعلية عن طريق المسح الضوئي؛ وفي هذه الحالة يجب - أيضاً- جمع الصور الجوية. وينبغي أن تراعي جميع البيانات المستخدمة لهذا الغرض، والصور الجوية، وبيانات الليدار المجموعات الجديدة. ترد تفاصيل حول المسوحات التصويرية والليدار في الباب (١٣) من هذا المجلد.

ينبغي أن تتبع المنطقة التي تغطيها هذه المنتجات التفاصيل المقدمة في الجدول (٣-٦) وفقاً لطبيعة التضاريس المعنية.

الجدول (٣-٦) تفاصيل التغطية بشأن الطريق المقترح / القائم / الممر لدراسات الجدوى.

نوع المشروع (طريق جديد أو تحسين طريق قائم)	عرض الممر المراد تغطيته (الصور والخرائط ونموذج السطح الرقمي)
تضاريس مسطحة (درجة الميل أقل من ١٠٪)	٣٠٠ م (١٥٠ م على كل جانب من الخط الوسطي)
تضاريس تلالية (الميل بين ١٠٪ - ٢٠٪)	٤٠٠ م (١٥٠ م على كل جانب من الخط الوسطي)



نوع المشروع (طريق جديد أو تحسين طريق قائم)	عرض الممر المراد تغطيته (الصور والخرائط ونموذج السطح الرقمي)
تضاريس جبلية (درجة الميول أكبر من ٢٠ ٪)	٢٠٠ م (١٠٠ م على كل جانب من الخط الوسطي)

في حين أن الاستخدام المكثف للطرق الأرضية في التصميم الابتدائي غير محبذ؛ ينبغي إيجاد تحكم للمشروع من الدرجة الأولى والثانية في هذه المرحلة. ويجب الرجوع إلى نقاط التحكم في التلث الجوي المستخدمة في عملية التصوير الفوتوغرافي لهذه الشبكة. يجب استخدام مسوحات التحكم في النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لهذه العملية، وفقاً لمواصفات الأبواب (١٠) و(١١) و(١٢). ويجب أن تكون جميع الارتفاعات والإحداثيات مرتبطة بإطار المرجع الجيوديسي الوطني في المملكة (KSA-GRF17) و(KSA-VRF14) الموضوع أعلاه.

يجب أن يتبع التباعد بين نقاط التحكم من الدرجة الأولى والثانية قيم الجدول (٣-٧). يجب إنشاء نقاط تحكم في بداية الموقع ونهايته على الأقل.

الجدول (٣-٧) تباعد نقطة التحكم.

درجة المسح	تباعد نقاط التحكم
الدرجة الأولى (التحكم في الممر)	٤ - ١٠ كم
الدرجة الثانية (مراقبة المشروع)	٥٠٠ - ٢,٠٠٠ م

يجب أن ينتج المسح بيانات متجهيه من خلال تحديد جميع الهياكل الموجودة في عرض المسح، وكذلك إنشاء نموذج التضاريس الرقمية المعني. وستشمل البيانات التي جُمعت ما يلي:

- حدود خط الملكية، وحدود محميات الطرق، والأسبجة، والأسوار، وساحات الخردة.
- المباني والجسور والقنوات بما في ذلك المستويات المقلوبة للمدخل والمخرج، والممرات السفلية، والمنحدرات، والطرق، والطرق المنفصلة عند التقاطعات، وطرق الوصول، والتقاطعات، وجميع الخدمات السطحية الأخرى، والسماوات التي من صنع الإنسان.
- الوديان، والحدود المائية، والأخوار، ومناسيب النقاط، وسماوات تضاريس أخرى.

تتضمن المخرجات لهذه المرحلة كحد أدنى ما يلي:

- التقرير الفني بما في ذلك تقرير المعالجة (الحسابات).
- سمات التحكم في المشروع، والرسومات، والجدول التي توضح إحداثيات نقاط التحكم.
- الملفات الرقمية ذات المرجعية الجغرافية لنموذج التضاريس الرقمية النهائي.
- ملفات جغرافية رقمية مرجعية من الصور الجوية مصححة الأبعاد.
- نتائج خريطة الصور الجوية مصححة الأبعاد الرقمية بما في ذلك خطوط الارتفاع الناتجة عن نموذج السطح الرقمي، وبيانات المتجه، والبيانات النصية، برموز مناسبة ووسيلة إيضاح.
- أوراق خرائط التصوير مصحح الأبعاد بصيغة PDF، جاهزة للطباعة على نطاق واسع.
- أي بيانات إضافية يطلبها صاحب المشروع وتُقدم بصورة رقمية.

٣-٢-٣ التصميم التفصيلي / النهائي:

يتطلب التصميم النهائي/التفصيلي للطريق إجراء مسح طبوغرافي عالي الجودة. وعلى هذا النحو؛ يجب أن تكون مقاييس المسح ١:١٠٠٠ على الأقل في ممر الطريق الرئيس و ١:٥٠٠ في التقاطعات. وقد تتطلب مشاريع تحسين الطرق مقاييس أكبر، على سبيل

المثال: ١:٢٠٠، خاصة عندما تُجرى تحسينات في ممر طريق قائم. وتُحدد -أيضًا- الدقة الأفقية والرأسية فيما يتعلق بجميع منتجات الخرائط في التصميم النهائي بواسطة مقياس الخريطة المعني كما هو موضح في الجزء (٢-٧).

يجب إجراء مسوحات التصميم النهائية باستخدام الأرض (النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية/محطة النقاط المتكاملة/المسح الأرضي بالليزر) أو المسح التصويري الجوي، وطرق الليدار ذات المقياس المناسب. لا توفر صور الأقمار الصناعية الدقة المطلوبة؛ ولذلك يجب عدم استخدامها في التصميم النهائي. يجب أن تراعي جميع البيانات المستخدمة لهذا الغرض، والصور الجوية، وبيانات الليدار المجموعات الجديدة. ويمكن -أيضًا- استخدام طرق رسم الخرائط المتنقلة في مشاريع تحسين الطرق؛ لأنها توفر نتائج ذات مقياس مناسب وعرض مسح مناسب.

يجب أن يكون العرض الأساسي للمنطقة المراد تغطيتها أكبر بثلاثة أضعاف على الأقل من الحد الأقصى لعرض ممر الطريق المخطط له، بما في ذلك الميول الجانبية، أو ١٢٠ م، أيهما أكبر. ويمكن تحقيق الحد الأقصى لعرض ممر الطريق المخطط له، بما يشمل الميول الجانبية، من مخططات التصميم الابتدائية ذات الصلة. وعلى هذا النحو، في ممر يبلغ طوله ٥٠ مترًا بما في ذلك الميول الجانبية وفقًا للتصميم الابتدائي، سينتج عن إجمالي عرض المسح المعني (١٥٠) مترًا، بينما في ممر يبلغ عرضه ٣٠ مترًا سينتج عن عرض مسح قدره ١٢٠ مترًا.

أثناء التصميم النهائي، يلزم إجراء مسوحات للتحكم والطوبوغرافيا والتضاريس والمساحة. ويجب استرداد سمات مسوحات التحكم، التي حُصل عليها أثناء مسح التصميم الابتدائي، والتحقق منها خلال هذه المرحلة. وفي حالة استخدام الطرق الأرضية؛ يجب تكثيف شبكة التحكم لدعم أنشطة المسح الرئيسية. وينبغي ارتباط جميع الارتفاعات والإحداثيات بإطار المرجع الجيوديسي الوطني في المملكة (KSA-GRF17) و(KSA-VRF14) الموضح أعلاه.

ينبغي إنتاج المسح لبيانات المتجهات عن طريق تحديد موقع جميع الهياكل الموجودة ضمن عرض المسح المخطط له، بالإضافة إلى إنشاء نموذج التضاريس الرقمية الأكثر تفصيلاً، مع سمات خط الفصل. وتتضمن بيانات المسح التي جُمعت في التصميم النهائي جميع السمات الواردة في مسح التصميم الابتدائي، بمقياس ودقة أعلى مع إضافة سمات أصغر حجماً (غير مرئية في المقاييس الأصغر للتصميم الابتدائي)، وسمات التضاريس الأكثر تفصيلاً:

- المباني بما في ذلك مستويات البوابة.
- خدمات المنافع العامة تحت الأرض؛ مثل: غرف التفتيش، والسدود الصندوقية، والآبار.
- أعمدة إنارة الشوارع، وأعمدة الكهرباء، والخطوط العلوية، وعلامات الخدمة، وما إلى ذلك.
- لافتات المرور، وحواجز السلامة.
- سمات أخرى صغيرة من صنع الإنسان.

خلال مرحلة التصميم النهائي، يجب -أيضًا- إجراء المسوحات المساحية كما هو موضح في الباب (١٨) وعندما تكون هناك حاجة إلى جمع البيانات الخاصة بالسطح تحت الماء أثناء التصميم النهائي، يجب -أيضًا- إجراء مسوحات أعماق البحار باستخدام أدوات سبر الصدى، أو مسوحات الليدار الجوية كما هو موضح في الباب (١٦) من هذا المجلد.

تتطابق مخرجات أعمال المسح حول التصميم النهائي مع تلك الموضحة في الجزء الفرعي (٣-٢-٢) المتعلقة بالتصميم الابتدائي، باستثناء المقاييس/الأساليب/التفاصيل المختلفة الموضحة هنا.

٣-٢-٤ الإنشاء:

بالإضافة إلى كونه إجراء مسحيًا، يعد الإنشاء -أيضًا- مرحلة من مراحل تنفيذ مشروع الطريق، التي يتخللها إجراء مسوحات الإنشاء. وخلال مرحلة الإنشاء، تُجرى -أيضًا- المسوحات حسب ما هو مُنفذ (as-built)، وتهدف إلى التحقق مما إذا كان الإنشاء الفعلي قد اكتمل كما هو متوقع وفقًا لتصميم المحاذاة الأفقية والمحاذاة الرأسية والقطاعات العرضية. وعلى هذا النحو في هذه المرحلة؛ فمن المؤكد توافق الإنشاء مع التصميم. ويشمل المسح الفعلي لمشاريع الطرق -على سبيل المثال لا الحصر- جميع المواقع النهائية للمباني؛ للمنشآت والمنافع، وغرف التفتيش، والصمامات، ومصارف مياه السيول، وخزانات تجميع المياه، والأرصعة (البردورات) ومجاري الصرف الجانبية، والرصف، وهياكل اللافتات، وأعمدة الإنارة، وإشارات المرور وما إلى ذلك. من الضروري إجراء مسح طبوغرافي مفصل باستخدام محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والمسح الأرضي بالليزر. أخيرًا، يُعد نظام رسم الخرائط المتنقل مثاليًا للمسوحات المخططة لمرات الطرق.

٣-٢-٥ التشغيل/الصيانة:

هناك العديد من الحالات التي يمكن فيها تطبيق أعمال المسح أثناء تشغيل الطرق وصيانتها، التي تتعلق بشكل أساسي بالتحكم في أعمال الإنشاء الحالية وسطح الطريق. وتتطلب هذه الأعمال شبكة تحكم في التصميم / الإنشاء (السمات)، التي يجب صيانتها بشكل صحيح بعد الانتهاء من إنشاء الطريق. ولهذه الأغراض تستخدم أجهزة أرضية؛ مثل: محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والمسح الأرضي بالليزر.

ينشأ عمل مسح رئيس آخر قد يحدث أثناء تشغيل الطريق من الحاجة إلى تحديث معلوماته كما هو مُنفذ (as-built) نحو توظيف نموذج معلومات البناء (BIM). ويُعد نموذج معلومات البناء نموذج معلومات يمثل العناصر الهيكلية، باستخدام تقنية



رقمية ثلاثية الأبعاد، مع ملاءمتها لمصدر بيانات يحتوي على معلومات متنوعة ذات صلة حول هذه العناصر. وبالإضافة إلى ذلك، لا تحمل العناصر النمذجة ثلاثية الأبعاد المعلومات الجغرافية المكانية فحسب، بل تحتوي -أيضاً- على معلومات البيانات الوصفية، التي تصف سمات تلك العناصر. ينبغي إجراء هذه الاستطلاعات مع نظام رسم الخرائط المتنقل، إذ تُعد مثالية لهذا النوع من الاستخدام. ترد تفاصيل حول نموذج معلومات البناء في إنشاء الطرق ومسوح الخرائط المتنقلة في البابين (١٥) و (٢٠) من هذا المجلد.

٣-٣ الأدوار والمسؤوليات:

في الفقرات التالية، تُحدد الأدوار الرئيسية المتعلقة بالدراسات الاستقصائية مع المسؤوليات المطبقة على كل دور معين.

١-٣-٣ صاحب العمل:

يفرض صاحب العمل، بوصفه مالك المشروع المتطلبات والمواصفات، وبالتالي يتحمل مسؤولية ضمان اكتمال أعمال المسح على النحو المحدد. فصاحب العمل مسؤول عن تعيين المصمم / الاستشاري (فيما يتعلق بتصميم الطرق)، والمقاول (فيما يتعلق بإنشاء الطرق)، التي يجب أن تلبى المتطلبات المحددة في الأصل. وأثناء اختيار المصمم / الاستشاري / المقاول، يجب على صاحب العمل التأكد من أن الأفراد العاملين / الموظفين المختارين يستوفون متطلبات التأهيل والخبرة.

٢-٣-٣ المصمم / الاستشاري:

يجب أن تفي جميع أعمال المسح التي يقوم بها مساح المصمم / الاستشاري خلال أي مرحلة من مراحل تصميم مشروع الطريق بمتطلبات الدقة، والمبادئ التوجيهية العامة التي يطررها صاحب العمل. ويجب على المصمم / الاستشاري تعيين مساح يكون مسؤولاً عن جميع أعمال مسوحات المصمم / الاستشاري.

٣-٣-٣ المقاول:

فريق مسح المقاول مسؤول عن إجراء المسح المطلوب للإنشاء. ويجب احترام متطلبات الدقة المسموح بها، التي يحددها صاحب العمل، ويجب أن تكون جميع أعمال المسح/التوثيق (staking) ضمن هذه المتطلبات. ويكون على فريق المقاول تعيين مسؤول مسح يتحمل مسؤولية جميع أعمال المسح التي يقوم بها المقاول.

٤-٣-٣ المسؤولية عن دقة بيانات المسح:

أثناء تصميم المشروع، يجب أن تكون شركة المساحة التابعة للمصمم / الاستشاري مسؤولة عن أي خطأ يحدث في أعمال المسح. وخلال مرحلة الإنشاء، يجب أن يكون المقاول مسؤولاً عن دقة أعمال المسح طوال فترة الإنشاء وبعدها.

٤- إرشادات عامة لأعمال المسح الميداني:

٤-١-٤ تخطيط أعمال المسح:

٤-١-٤-١ تخطيط المسح الميداني:

قبل البدء بعمل المسح الميداني، من الضروري فهم الغرض من وراء ذلك، وتحديد النتيجة النهائية التي يجب تحقيقها، والتخطيط لكيفية ظهور هذه النتائج. وجمع أي أعمال مسح سابقة تتعلق بالموقع قيد الدراسة، مثل: التقارير، والخرائط، ونقاط التحكم الموجودة وما إلى ذلك. علاوة على ذلك، يجب دراسة الخرائط الحالية، والصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية المتعلقة بالموقع مقدماً. الجزء الفرعي (٤-١-٢) يقدم هذه المعلومات. وينبغي -أيضاً- دراسة الخرائط الأخرى المتاحة للاستخدام العام؛ مثل: خرائط جوجل -وما إلى ذلك- قبل بدء العمل.

يساعد المسح الميداني الأولي -أيضاً- في تحديد طبيعة الموقع، ووضع رؤية أو خطة لكيفية تنفيذ العمل بأكثر الطرق كفاءة -من حيث الموارد المتاحة- وعدم المبالغة في تقدير الدقة والتأكد من مواعيتها للتكاليف الواقعية. وينبغي أن يشارك مهندس المسح المشرف، وفريق المسح المكلف بالعمل، وكذلك المستفيد -إن أمكن- في إعداد هذه الخطة (MoMRAH, 2005).

خلال هذه العملية الأولية لتحديد مواقع نقاط التحكم، التي سيتم استخدامها لدعم أعمال المسح، يتم اختيارها تقريبياً. عندما تُستخدم مسوحات محطة النقاط المتكاملة بوصفها منهجية أساسية للمسح، فإنه يجب تصميم مسوحات المضلعات "التفافرس" (traverse) الرئيسية بطريقة تجعلها أقل ما يمكن، بناءً على الفرضيات التي: (أ) تحتاج فيها نقاط التحكم إلى تضمين السمات المراد مسحها، و(ب) تكون أقرب ما يمكن إليها. بالإضافة إلى ذلك، يجب ألا تكون الزوايا بين المحطات حادة للغاية لتجنب الأخطاء.

خلال المسح الاستطلاعي من الضروري إعداد كروكي للمنطقة المراد مسحها؛ بحيث تصف السمات الرئيسية في المنطقة؛ مثل: المباني القائمة، والشوارع، والتفاصيل الثابتة. ويمكن استخدام إشارة (اتجاه الشمال) في الرسم، ويمكن أن تحمل السمات معلومات إضافية مع بعض الأسماء المذكورة وما إلى ذلك. سيستخدم هذا الرسم كأساس لتسجيل الملاحظات الميدانية.

قد يكون من المفيد في هذا الصدد التقاط بعض الصور الرقمية؛ لاستخدامها في تخطيط المسح، وفي إعداد تقرير المسح للمشروع. ويمكن -أيضاً- استخدام هذه الصور الرقمية -عند الضرورة- بوصفها دليلاً على وجود أو عدم وجود بعض المرافق والعناصر الإنشائية المهمة الأخرى (MoMRAH, 2005).

٤-١-٢-٢ منتجات رسم الخرائط الحالية في المملكة العربية السعودية:

يمكن توفير المنتجات الحالية من قبل الجهات المسؤولة بالمملكة العربية السعودية؛ مثل: الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، وما إلى ذلك. وتشمل المنتجات، على سبيل المثال لا الحصر، الصور الجوية، والأقمار الصناعية، الخرائط القياسية / الطبوغرافية والمساحية، نماذج الارتفاعات الرقمية، الخرائط الهيدروغرافية، ويمكن أن تساعد منتجاتها في عملية التخطيط لأعمال المسح الميداني، وتساعد في تحديد طريقة المسح المناسبة لكل عمل.

يجب ألا يقتصر المصمم / الاستشاري المعين لأعمال المسح -عند البحث عن بيانات الخرائط المتاحة- على القائمة التالية؛ بل يجب عليه إجراء أبحاثه الخاصة عن الخرائط الأخرى المتاحة وأعمال المسح في أي جهة ذات صلة / معنية في المملكة العربية السعودية.

٤-١-٢-١ التصوير الجوي:

تمتلك الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية خرائط؛ مصححة الأبعاد، ناتجة عن إجراءات التصوير الجوي الرقمي، وتغطي عدة أجزاء من المملكة العربية السعودية.

- صور ضوئية، مصححة الأبعاد، بمقياس ١:٥٠,٠٠٠، بدقة ٠,٥ متر، تغطي كل خريطة مساحة ١٥' خط طول ١٥' خط عرض، أو ما يعادل ٢٧ كم × ٢٧ كم.
- مقياس ١:٢٥,٠٠٠ مع دقة ٠,٢٥ م، تغطي كل خريطة مساحة طولها ٧,٥ قدم × ٧,٥ قدم أو ما يعادل ١٣,٥ كم × ١٣,٥ كم.

تستخدم هذه المنتجات الجوية النظام الجيوديسي العالمي (WGS 84) بوصفه مرجعاً إنسانياً أفقياً ويُحدد متوسط مستوى سطح البحر باستخدام المرجع الرأسي القديم (Jeddah, 1969).

يمكن تسليم المنتجات في ملفات بصيغة (Geo Tiff) الرقمي، على وسيط إنتاج رقمي لكل طلب مستخدم، أو منتجات مطبوعة على ورق عالي الجودة لكل متطلبات المستخدم.

٤-١-٢-٢ صور الأقمار الصناعية:

تتوفر العديد من صور الأقمار الصناعية -في جميع أنحاء المملكة- من قبل جميع أقمار التصوير الرئيسية، مع توفر الصور بتكلفة من خلال عدة مزودين، وفي عدة تواريخ. ويرد في الجدول (٤-١) تلخيص مسافة المعاينة الأرضية لكل قمر صناعي.



الجدول (٤-١) صور الأقمار الصناعية ومسافة المعاينة الأرضية.

تصوير الأقمار الصناعية	مسافة المعاينة الأرضية (م)
جيو آي (GeoEye)	٠,٤١
وورلدفيو-٢ (WorldView-2)	٠,٤٦
وورلدفيو-٣ (WorldView-3)	٠,٣١
بلياديس نيو (Pléiades Neo)	٠,٣٠
كويك بيرد (QuickBird)	٠,٦٠

٤-٢-٣ رسم الخرائط القياسية / الطبوغرافية:

تُوفر المعلومات العامة، والمعيارية/ الطبوغرافية للمملكة العربية السعودية، وتُقدم للمستخدمين من خلال موقع (CASGI) في شكل رقمي.

- خارطة طريق بمقياس ١:٣,٠٠٠,٠٠٠، باللغتين العربية والإنجليزية. تحتوي خارطة الطريق على مراكز سكانية حضرية ومعزولة، وشبكات نقل، ومرافق، وتظليل التلال الرقمية، وأعماق البحر، وما إلى ذلك.
- خرائط إرشادية للمدن، والمناطق الحضرية والثقافية، بما في ذلك المشاعر المقدسة، وما إلى ذلك.
- الخريطة العامة للمملكة العربية السعودية بمقياس ١:١,٠٠٠,٠٠٠. تغطي الخريطة كامل أراضي المملكة العربية السعودية والدول المجاورة الأخرى في شبه الجزيرة العربية.
- وفرت الحدود البرية الدولية للمملكة العربية السعودية في ملف بصيغة وتنسيق (GeoDB).
- الخرائط الطبوغرافية للمملكة العربية السعودية بمقياسي ١:٥٠,٠٠٠ و ١:٢٥,٠٠٠ المستخدمة في التخطيط والمشاريع الهندسية. وتحتوي الخريطة الطبوغرافية على معلومات عن سكان المناطق الحضرية، والمباني المعزولة والريفية، وشبكات النقل، والمنافع، ومسافات الطرق، وما إلى ذلك.
- نموذج الارتفاعات الرقمي للمملكة العربية السعودية. يتم وضع قيم الارتفاع في كل (١٥ x ١٥) 'خلية جغرافية، مع تباعد ثابت يبلغ تقريباً ٣٠ مترًا.

٤-٢ معايرة الأدوات:

يجب معايرة جميع المعدات المستخدمة في مسوحات مشاريع الطرق قبل المسح بعام واحد -على الأقل- من بدء أعمال المسح الميداني. وينبغي -أيضاً- معايرة المعدات، واختبارها من وقت لآخر، وتعديلها، إذا لزم الأمر، مرة واحدة على الأقل في السنة. ويمكن إجراء هذه الاختبارات من قبل أخصائي الإصلاح والصيانة، أو من قبل المساح نفسه. وفي كلتا الحالتين، يجب أن تكون نتائج الاختبار متطابقة مع الحد الأقصى من الأخطاء المسموح بها المشار إليها في كُتيبات هذه الأجهزة، ويجب إرفاق وثائق الاختبار بتقرير عمل المسح. المواصفات المطبقة لمعايرة الأجهزة هي: (ISO12858، ISO16331 و ISO17123).

٤-٣ التحضير المسبق:

يجب إعداد العمل الميداني مسبقاً عن طريق البرمجة الفعالة المحددة لعمل اليوم التالي، وتوزيع المسؤوليات على أعضاء فريق المسح. ويمكن أن يساعد تحديد الإجراءات والأساليب المناسبة -اعتماداً على المشروع- في إزالة أي عوائق قد تحدث.

٤-٤ متطلبات التوثيق العامة:

تتمثل إحدى مزايا أدوات وتقنية المسح الحالية في إتاحتها حفظ البيانات، وتنظيمها، وتصنيفها، وجدولتها تلقائيًا. وبدون هذه التقنية؛ فإن اللجوء للطرق التقليدية أمر لا مفر منه. وفي كلتا الحالتين يجب معرفة الشروط الأساسية التالية؛ للتسجيل الدقيق، والترتيب المناسب لبيانات وملاحظات المسح التي تزيد من اتساقها.

١-٤-٤ دقة البيانات:

في حال لم تكن القياسات، والملاحظات، والحسابات اللاحقة، والرسومات، دقيقة وسليمة للوضع؛ فستكون عديمة الفائدة؛ لذلك كان من الضروري اتخاذ جميع الخطوات المعقولة لتحقيق الدقة المطلوبة دون زيادتها أو نقصانها؛ فقد يؤدي انخفاض الدقة إلى فشل المشروع بأكمله والعناء، بينما قد تؤدي زيادة الدقة إلى زيادة التكاليف؛ مما يترتب عليه التأخر في إنجاز المشروع بأكمله.

٢-٤-٤ سلامة البيانات:

من الضروري التحقق من اكتمال المعلومات التي تُجمع في نهاية كل يوم عمل ميداني قبل مغادرة الموقع؛ ويدعم هذا تسلسل العمل الميداني بين الأيام دون ارتباك أو إضاعة للوقت، ويضمن -في نفس الوقت- تجنب المراجعات غير الضرورية بسبب القياسات غير المكتملة.

٣-٤-٤ قابلية القراءة:

لتجنب الشك في دقة الملاحظات المكتوبة أو الأرقام أو الحروف؛ فمن الضروري أن تكون الكلمات والأرقام في دفتر الملاحظات الميدانية قابلة للقراءة، ويعتمد ذلك على خبرة المساح، وتجاربه السابقة، ودقته، بالإضافة إلى جودة الورق، والحبر، والأقلام المستخدمة.

٤-٤-٤ التعليقات:

يعد تقديم التعليقات أثناء المسح أمرًا ضروريًا لجميع العمليات اللاحقة للتصميم وتنفيذ المشروع. ويمكن أن تكون تعليقات المسح المقدمة متسقة وضرورية وذات صلة.

يوفر جامع البيانات الإلكترونية القدرة على إرفاق السمات بالبيانات بسهولة؛ وذلك باستخدام برنامج جامع البيانات المناسب، الذي يكرر بسهولة آخر السمات المسجلة إلى النقطة التالية، يوفر برنامج جمع البيانات -عادةً- إمكانية تعديل نقاط أو خصائص نقطة محددة في الحالات التي تنشأ فيها هذه الحاجة وذلك من خلال السماح بإضافة قيم محددة يدويًا. وعلى الرغم من أن هذه العملية -عادةً- ما تكون طبيعية وسهلة التحقيق، إلا أنها -غالبًا- ما تؤدي إلى تكديس بيانات زائدة عن الحاجة، وشغل حجم كبير من ذاكرة جامع البيانات. مما يستدعي تجنب تكرار التعليقات غير الضرورية التي ترفقها فقط بالملاحظات المطلوبة. فغالبًا ما يوجد التعليق غير ذي الصلة ارتباكًا لمستخدمي البيانات النهائيين؛ مما يؤدي إلى ارتكاب أخطاء.

٥-٤-٤ تسجيل الملاحظات الميدانية:

في الوقت الحاضر تُجمع الملاحظات الميدانية التي تجمعها الطواقم باستخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية أو المحطات المتكاملة، سواء كانت آلية أو غير ذلك، وحفظها بصيغة إلكترونية. وعلى الرغم من استخدام طرق جمع البيانات الإلكترونية المبينة على أدوات المسح؛ فإنه ينبغي على الطواقم الميدانية -أيضًا- تسجيل المعلومات المناسبة في الدفاتر الميدانية أو غيرها من الأجهزة الرقمية. وليس القصد من ذلك مضاعفة جهود جامع البيانات، بل استكمال التفاصيل، أو الأحداث المهمة، أو التصحيحات التي يلزم إدخالها على الملف الإلكتروني، والجوانب المهمة الأخرى للمسح الميداني.

على هذا المنوال تتضمن الملاحظات الميدانية للمسح مجموعة متنوعة من البيانات في نماذج رقمية وورقية لأنواع البيانات التالية:

- ملاحظات مُسجلة بخط اليد أو مسجلة إلكترونيًا.
- السجلات الإلكترونية من أدوات القياس. قد تكون هذه السجلات بتنسيقها الأصلي أو تنسيق مكافئ قابل للتفسير.
- السجلات التي تُصحح، أو تُعدل، أو تُصوب بطرق ممارسات أعمال المسح الجيدة؛ للسماح بإجراء حسابات المسح.
- توثيق طرق ونتائج التصحيح أو التعديل أو التصويب.
- تشمل الصور -على سبيل المثال لا الحصر- التصوير الفوتوغرافي والفيديو.

في إطار هذا المنظور، يكون الناتج النهائي للمسح الميداني عبارة عن مجموعة من الملاحظات الميدانية.

الملاحظات الميدانية موجودة لتوثيق أعمال المسح التي أجريت. فوجودها أهمية كبيرة؛ إذ إنها -في بعض الحالات- تحصل على صفة رسمية، وتصبح وثائق قانونية (على سبيل المثال، في مسوح الحدود والإنشاء). وعلى هذا النحو لا يُسمح بإزالة

الملاحظات أو محوها من الدفاتر الميدانية. وفي حال إجراء تعديلات / تصحيحات على الملاحظات؛ يجب رسم خط يشير إلى الخطأ (دون حجب)، ويجب كتابة القيمة أو المعلومات الصحيحة بجواره (Illinois DOT, 2015).

يجب مراعاة الإرشادات التالية عند استخدام الملاحظات الميدانية (Illinois DOT, 2015, MoMRAH, 2005, NSW, BSSI, 2018):

- ينبغي إعداد الملاحظات الميدانية بطريقة مرتبة ودقيقة وكاملة وسهلة الفهم وفقاً لاستخدام المساحين.
- يجب أن تُسجل جميع الحقائق والقراءات والملاحظات فور التأكد منها.
- يجب أن تُسجل الأسماء الكاملة لجميع أفراد الطاقم الذين شاركوا في المسح بالوسائل المستخدمة.
- يجب ظهور تاريخ إنجاز العمل المسجل في الملاحظات الميدانية. وتتضمن الملاحظات الميدانية للمسح -أيضاً- رقم المشروع وعنوانه والتعريف بالمشروع وموقعه.
- يجب ألا تكون البيانات المُدخلة في المذكرات الميدانية مترجمة، ويُفضل استخدام ملاحظات إضافية خاصة بمجمع البيانات أو استخدام صفحات إضافية.
- يجب أن تبقى الرسومات التخطيطية بسيطة ومرتبطة.
- يجب تسجيل القيم العددية بطريقة تحدد درجة الدقة التي يؤخذ بها القياس -على سبيل المثال- يجب تسجيل قراءات الشاخص التي تم أخذها إلى أقرب ٠,٠١ متر على أنها ٢,٥٠ متر وليس ٢,٥ متر.
- يُقترح استخدام رسومات تخطيطية (Sketches)؛ لا سيما عندما يكون من المستحيل ترتيب المعلومات ترتيباً فعالاً، من المهم ملاحظة أنه عند رسم الرسومات التخطيطية لا يكون المقياس ضرورياً؛ نظراً لإمكانية المبالغة في بعض العناصر مع تقليل العناصر الأخرى أيضاً. من أجل فهم وتحويل البيانات من دفتر الميداني إلى مخططات وخرائط دقيقة ومفهومة؛ من المهم إظهار التفاصيل الدقيقة والنقاط المميزة بوضوح.
- يُفضل استخدام التصوير الفوتوغرافي بالوسائل الإلكترونية؛ لجمع البيانات لأغراض الرسم.
- يجب أن يُمكن رسم الرسومات التخطيطية بالوسائل الإلكترونية على نطاق واسع باستخدام خلفية الصور الملتقطة عبر الأقمار الصناعية أو الجوية عندما تكون كثافة البيانات المسجلة منتظمة إلى حد ما.
- ينبغي أن تُستخدم الملاحظات التفسيرية لتكملة البيانات العددية والرسومات التخطيطية.
- يجب أن تتضمن الملاحظات الميدانية طبيعة وموضع أي علامة مسح أو معلم وجدهما المساح، وطبيعة أي علامة مسح وضعها المساح.
- يجب الإشارة بوضوح في ملاحظاته الميدانية إلى خط الإسناد للمسح، ومصدر التوجه المعتمد.
- يجب أن يُسجل المساح في ملاحظاته الميدانية أسماء الملكيات، والمنازل، والطرق، والأنهار، والأخوار، والبحيرات، وأرقام المنازل.
- عند استخدام الملاحظات الميدانية المكتوبة بخط اليد يوصى باستخدام قلم رصاص حاد وصلب إلى حد ما (3H أو 4H)، وفي هذه الحالة يجب استخدام دفتر ملاحظات ميداني. ويُنصح -أيضاً- باستخدام الرموز الاصطناعية -عندما تُوحى الظروف بذلك- لتقليل الكتابة، شريطة أن يكون هناك جدول دقيق من هذه الرموز يُوضّح معانيها.
- يُصحّ قبل مغادرة الموقع بإجراء فحص قصير وشامل، ومراجعة المعلومات المسجلة، والتجول في المنطقة التي جرى مسحها، والتأكد من فحص كل شيء.
- يجب أن يوقع المساح شخصياً، ويؤرخ كل صفحة أو ورقة من الملاحظات الميدانية، لجميع المسوحات التي أجراها المساح شخصياً، أو كانت تحت إشرافه. في حال الوسائل الإلكترونية يجب استخدام (التوقيع الرقمي) للتوقيع على الملفات المعنية بأي طريقة إلكترونية متاحة؛ على سبيل المثال: طباعة البيانات بصيغة PDF، وتوقيع ملف PDF المستخرج، أو التوقيع على ملف مضغوط يتضمن الملاحظة الميدانية، وبيانات جامع البيانات المعنية. قبل التوقيع على الملاحظات الميدانية والبيانات الإلكترونية؛ يجب على المساح التأكد من دقة جميع المعلومات ذات الصلة.

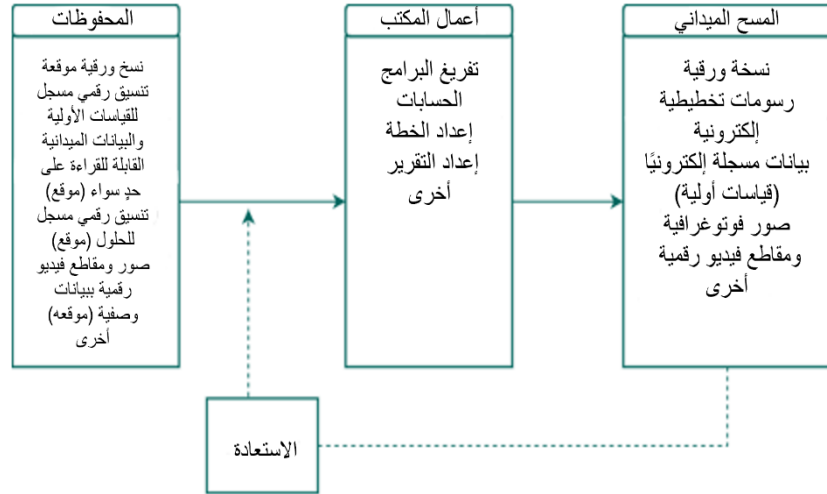
٦-٤-٤ إدارة الملاحظات الميدانية وتسليمها:

تُعرض المراحل العامة لمذكرات المسح الميدانية بدءاً بالالتقاط وانتهاء بالاستخدام والأرشفة في الشكل (٦-٤). ونظراً لأهمية الملاحظات الميدانية يجب النظر في استعادتها في أي وقت غير معروف بعد الأرشفة إذ يجب أن تكون الملاحظات الميدانية قابلة للاسترداد بقدر ما يمكن استخدامها للتحقق من وتوثيق أي نتائج تعتمد على البيانات التي تم التقاطها. ويجب أرشفة البيانات الرقمية في كلٍ من تنسيق الالتقاط الخام، وتنسيق قابل للقراءة يحتوي على جميع البيانات الميدانية ذات الصلة.

يجب الاحتفاظ بالملاحظات الميدانية إلى أجل غير مسمى؛ إذ قد يحتاج المساح الرجوع إليها عند الرد على الطلبات أو في التحقيقات التي تجريها الجهة المعنية أو الدعاوي القانونية، ويجب مراعاة الملاحظات التالية حول إدارة الملاحظات الميدانية:

- يجب الاحتفاظ بالملاحظات الميدانية في المحفوظات مع الفهارس، والإحالات المرجعية، وجميع المعلومات والوثائق الأخرى ذات الصلة بتلك الملاحظات الميدانية.
- يجب الاحتفاظ بنسخة إلكترونية -إضافة إلى البيانات المختصرة- من جميع بيانات القياس الأولية بما في ذلك عمليات رصد الزاوية والمسافة المتعلقة بمحطة النقاط المتكاملة، وبيانات الرصد الأولية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية فيما يتعلق بطرقه.

- تُعد النسخ المسحوقة ضوئياً من الملاحظات الميدانية المطبوعة تنسيقاً مقبولاً لتخزين الملاحظات الميدانية على المدى الطويل. يجب الاحتفاظ بالنسخ المسحوقة ضوئياً بصيغة معترف بها عالمياً (مثل: صيغة PDF و JPEG و TIFF).
- يجب مسح الملاحظات الميدانية ضوئياً بدقة؛ تضمن عدم فقدان سلامة الملاحظات الميدانية الأصلية.
- يجب التأكد من أنه لا يزال ممكناً فتح الملاحظات الميدانية الإلكترونية المحفوظة بأحدث الأجهزة والبرامج عند نقل البيانات، وقد ينطوي ذلك على تحويل البيانات القديمة إلى صيغ جديدة من الممكن فتحها وقراءتها في وقت لاحق.



الشكل (١-٤) مراحل الملاحظات الميدانية.

١-٦-٤-٤ الملاحظات المكتوبة بخط اليد:

من بين مختلف الدفاتر الميدانية المتاحة عند استخدام الملاحظات المكتوبة بخط اليد، فإن الحجم الأكثر استخداماً هو (١١٤ ملم × ١٨٤ ملم). يجب تجميع كل دفتر ميداني أعده صاحب العمل أو أعد له في دفتر ميداني بهذا الحجم، باستخدام قماش أو جلد مقلد؛ بحيث تكون هناك نتيجة موحدة.

أحياناً يكون ضرورياً استخدام دفاتر ميدانية مكررة (كربونية)؛ إذ تكون الدفاتر المكررة مطلوبة وأساسية عندما تُرسل نسخة إلى هيئة أو جهة أو صاحب عمل آخر. في ظل هذه الظروف؛ تستخدم هذه الدفاتر؛ للاحتفاظ بسجل الملاحظات بعد تسليم الدفاتر الميدانية المكتوبة بقلم رصاص إلى الطرف الآخر.

يجب احتواء كل دفتر ميداني على ملاحظة مكتوبة على الورقة الأولى، تطلب ممن يعثر على الدفتر إعادته إلى المهندس التابع لصاحب العمل الذي دُون اسمه وتفاصيل الاتصال به داخل الدفتر الميداني. وترد أدناه بعض المبادئ التوجيهية المتعلقة بفهرسة الملاحظات الميدانية:

- يمكن لصق خريطة توضيحية توضح موقع المسح على الجزء الداخلي من الغلاف الأمامي؛ لمساعدة مستخدم دفتر المسح، ويجب تدوين تاريخ بدء المسح في نفس الصفحة.
- يجب أن تحمل الورقة الثانية من الدفتر الميداني أسماء طاقم المسح ومناصبهم.
- يجب وضع أرقام الصفحات في الزاوية اليمنى العلوية من جميع صفحات الدفتر.
- قد تُدون البيانات الإضافية التي يمكن إضافتها لاحقاً على الصفحات الفارغة الموجودة في مقدمة الدفتر وفي الجزء الخلفي منه.
- يجب تدوين التاريخ والأحوال الجوية على الصفحة الخاصة ببداية كل يوم عمل.
- عند الانتهاء من كتابة الملاحظات في الدفتر الميداني؛ يجب وضع فهرس في أول الأوراق الفارغة التي تركت في مقدمة الدفتر.
- إذا كان الدفتر يحتوي على ملاحظات حول المستوى؛ فيجب التحقق منها في الميدان، ووضع ملاحظة في الصفحة الأخيرة، موضحاً اسم الفاحص والتاريخ.
- في الملاحظات الطبوغرافية يجب فحص بيانات المنحنى، وتدوين ملاحظة مماثلة.

يجب وضع المعلومات المتعلقة بكيفية بدء المسح على إحدى الصفحات الأولى، ويفضل استخدام فقرة ورسوم تفسيرية في تلك الصفحات. علاوة على ذلك، ينبغي تضمين معلومات حول المرجع الإنشائي المستخدم وما إذا كان التمرکز جديداً أو سابقاً أو عشوائياً.

٤-٦-٢ التسليم:

ينبغي على الاستشاري تقديم نسخ ورقية وإلكترونية لصاحب العمل -إذا لزم الأمر- أثناء أعمال المسح الميداني أو عند الانتهاء منها. ويجب أن تكون الوثيقة الورقية مُغلّفة بمجلد يحتوي على جميع البيانات المجموعة على ورق مقاس (A4). ويجب أن يظهر اسم الاستشاري على جميع الوثائق الورقية المقدمة إلى صاحب العمل. وتشمل بيانات المسح المجموعة إلكترونياً بيانات المسح الأولية والمعالجة على حد سواء.

٤-٥ الاتصالات الميدانية:

من المهم أن يتواصل فريق المسح بطريقة مناسبة، وأن يكون لدى الفريق علاقات جيدة مع كل شخص يشاركونهم الميدان؛ ممن لهم ممتلكات قريبة أو الذين من المحتمل أن يتضرروا منه. وتحقيقاً لهذه الغاية من المهم أن تُجرى اتصالات موظفي المسح بطريقة رسمية؛ ومن ثم تبرز أهمية نموذج الاتصال بمالك العقار ومفهوم حق الدخول.

٤-٥-١ الاتصال بمالك العقار:

قبل أسبوع واحد -على الأقل- من بدء أي نشاط مسح ميداني يؤثر على حق الملكية الخاصة في الدخول؛ يجب إرسال رسائل من الجهة المسؤولة أو من صاحب العمل إلى مالكي العقارات المتضررين قبل دخول العقار، ويجب على طاقم المسح التركيز على تكوين علاقة جيدة مع ملاك العقارات والحصول على موافقتهم. ومن المستحسن الاتصال شخصياً بهم؛ لتوضيح نطاق المسح، وسبب الحاجة إلى الدخول، وجميع الأنشطة الأخرى المعنية. ويمكن استخدام نموذج الاتصال بمالك العقار () لتوثيق المحادثات معهم (DMAT, 2016).

٤-٥-٢ دخول العقارات الخاصة:

ينبغي على كل مالك عقار خاص منح حق الدخول قبل إجراء أي نوع من أنواع المسح على عقاراته / عقاراتها. ومن أجل توثيق حق الدخول؛ سيقدم صاحب العمل النماذج ذات الصلة، كما هو موضح في ()، التي يجب على مالك الأرض توقيعها قبل محاولة الدخول إلى عقاراته / عقاراتها. في الحالات التي لا يمكن فيها الحصول على النماذج الموقعة -في الوقت المناسب- يمكن الحصول على حق الدخول اللفظي، ومع ذلك يجب بذل كل محاولة لتأمين حق الدخول المكتوب قبل الانتهاء من المسح. ويمكن تضمين تفاصيل حول مدة المسح والموظفين المسؤولين في النموذج. وقد تتضمن الاتفاقية -أيضاً- تفاصيل إضافية؛ مثل: أوقات محددة للوصول إلى العقار، أو شروط الإخطار قبل الدخول إلى العقار.

يجب على موظفي المسح إظهار الاحترام عند دخول العقارات الخاصة، حتى في حال تمتع صاحب العمل بالحق القانوني لدخولها. ويجب على طاقم المسح إخطار مالكي العقارات مسبقاً، وبطريقة صحيحة؛ لا سيما عند إشغال أراضيهم لفترة طويلة من الوقت، أو عندما يكون جزء كبير من عقاراتهم ضمن نطاق المسح؛ ويجب على موظفي المسح الذين يدخلون العقارات الخاصة تقدير واحترام ممتلكات المالك؛ إذ يجب عليهم:

- تجنب إلقاء النفايات، الحصول على إذن قبل تحديد أي نقاط مسح أو أهداف جوية، التنظيف الدائم للموقع بعد الانتهاء من أعمال المسح في الموقع.
- طلب الإذن لاستخدام المركبات ومسارات السير المقبولة عند دخول الحقول المزروعة، والحد من تلف المحاصيل، ومحاولة استخدام نفس مسارات الإطارات عند المغادرة.
- التأكد من إغلاق البوابة بعد المرور منها.

إذا رفض مالك العقار منح حق الدخول، أو عند تراجعه عن الإذن الممنوح منه؛ فيجب على موظفي المسح الامتنثال للحدث، وإبلاغ صاحب العمل / جهة المسح المعنية. يجب أن يجري موظف المسح المسؤول مفاوضات مع مالك العقار؛ للحصول على حق الدخول / العودة. وفي حال عدم منح الإذن؛ يمكن اتخاذ إجراء قانوني.

تفاصيل العقار:				
الاسم:				
العنوان:		ص.ب:		
المدينة:				
رقم الخريطة:		تصنيف العقار:		
صك الملكية:		الصفحة:		
ملاحظات:				
رقم المشروع:				
التفاصيل:				
الشخص الذي تم الاتصال به:		المالك		
		المستأجر		
يوجد ما يلي في العقار:				
آبار		منافع تحت الأرض		
خزانات صرف صحي (بيارات)		مقابر		
خزانات وقود تحت الأرض		أركان العقار		
صهاريج مياه		أشجار نخيل		
علامات مياه مرتفعة		أنواع المباني		
خطوط ري		أسوار		
بئر محفور بواسطة:		نيابة عن:		التاريخ:
التعليقات:				
الرسم التخطيطي:				

الشكل (٤-٢) نموذج الاتصال بمالك العقار (DMAT, 2016).

٤-٦ السلامة أثناء المسح:

يمكن إجراء مشاريع المسح في مواقع مختلفة تتسم ببيئات وخصائص وظروف مختلفة (داخل المباني والطرق ونحو ذلك). بصرف النظر عن الظروف المنطقية، من المهم تهيئة بيئة آمنة للموظفين والمشاة والسائقين، وذلك لتحقيق الإنجاز العاجل والسريع للمشروع ذي الصلة. التعليم والتدريب على منوال الطريقة التي تُعد فيها هندسة السلامة أكثر الوسائل فعالية لتفادي أسباب الحوادث البيئية (الظروف الخطرة)، فإن تعليم السلامة هو أكثر الوسائل فعالية لمنع حدوث الأنشطة غير الآمنة. ينبغي للموظفين تبني الاتجاهات الآمنة والحصول على المعرفة ذات الصلة، وذلك من خلال التدريب الكافي. ويُعزَّز الوعي بالسلامة، والذي تم إيجاده من خلال التعليم، عن طريق التدريس التكميلي في عادات وممارسات وقدرات العمل الآمنة. يمكن الحد من الحوادث والوقاية منها من خلال التثقيف وإيجاد بيئة عمل آمنة. وفيما يلي عرض إجراءات سلامة الطرق وطاخم المسح، من أجل التواصل مع الجهات والموظفين المعنيين وتثقيفهم وإخطارهم بتدابير السلامة التي يجب اتباعها أثناء تنفيذ المشاريع.

٤-٦-١ تدابير سلامة الطرق:

تُعد سلامة الطرق ذات أهمية كبيرة في عمليات مسح الأراضي، ويجب التعامل معها وفقاً لـ (كود الطرق السعودي ٣٠٥) تصميم مرافق الطرق ومنافعها – تصميم منطقة أعمال الطرق). يجب تلقي كل موظفي المسح وكذلك مستخدمي الطرق/ الأشخاص القريبين من أعمال المسح على أقصى مستوى ممكن من السلامة؛ وعليه يجب على أطراف المسح استخدام معداتهم بعناية، واتباع جميع الإجراءات المتاحة بدقة. وتشمل العوامل الرئيسية التي تؤثر على الحماية المستخدمة في كل حالة ما يلي (FDOT, 1999) و (كود الطرق السعودي ٣٠٥) تصميم مرافق الطرق ومنافعها – تصميم منطقة أعمال الطرق):

- السرعة.
- حجم المرور.
- هندسة الطريق الجيومترية.
- مدة التشغيل.
- التعرض للمخاطر.
- الطقس (أو ظروف الطريق).

عند قيام الموظفين بالعمل في حرم الطريق، وعندما يكونوا معرضين لحركة المرور، مثل عندما يكونون في المداخل الخاصة أو مواقف السيارات أو مواقع الإنشاء وما إلى ذلك، أو عندما يرى المشرف في الموقع أن ذلك ضرورياً، يجب على الموظفين ارتداء سترات سلامة عالية الوضوح أو معاطف واقية من المطر باللونين الأصفر والبرتقالي. إضافة إلى ذلك، يجب أن تكون سترات السلامة عاكسة للعمل في الليل. يجب ارتداء السترة العاكسة كطبقة خارجية في حالة ارتداء ملابس كثيرة أو ملابس خارجية أخرى (FDOT, 1999).

يجب توجيه الموظفين فيما يتعلق بأهمية البقاء في حالة تأهب وأن يكونوا مهذبين مع مستخدمي الطريق. يتحمل الشخص المسؤول عن فريق المسح مسؤولية التحقق من اتخاذ احتياطات السلامة اللازمة بشكل صحيح. وينبغي للمساحين توخي مزيد من الحذر أثناء تواجدهم حول الآلات الكبيرة والمتحركة بسرعة، لا سيما عند المشي على طرق نقل المواد، وكذلك لدى تواجدهم حول الآلات التي لا توفر للسائق رؤية جيدة.

عند العمل على الطريق أو بالقرب منه، يجب وضع لافتات مرورية المناسبة بوصفها أدنى مقياس للسلامة على الطرق. هناك فئتان بخصوص لافتات الطريق لأعمال المسح اللافتات التحذيرية، وأجهزة التوجيه القنواطي (كود الطرق السعودي ٣٠٥) تصميم مرافق الطرق ومنافعها – تصميم منطقة أعمال الطرق). قبل البدء بأي عمل مسح على الرصف أو في حدود (٥) أمتار من حافة مسار السير يجب وضع اللافتات التحذيرية في مكانها المخصص، ويجب استخدامها في كل مرة يعمل فيها موظفو المسح في منطقة مزدحمة. ومما يؤكد أهمية تغيير اللافتات التحذيرية مع تقدم العمل أن المساحين يتحركون باستمرار على طول الطريق. ويجب تبديل هذه الأجهزة أو إزالتها أو تغطيتها كلما توقف العمل، حتى في نهاية اليوم أثناء إجراء المسوحات؛ ستحمي هذه العملية سائقي المركبات والمساحين من مشكلات كثيرة المحتملة. عندما تتغير طبيعة النشاط إلى النقطة التي لم تعد فيها لافتة معينة أو جهاز تحذير آخر ضرورية، يجب تدوير اللافتة أو الجهاز أو إزالته أو تغطيته، وإذا لزم الأمر، استبداله بجهاز مناسب. اللافتات التحذيرية الأكثر شيوعاً هي (عمال يشتغلون) و(طاخم المسح) و (حاملو الأعلام في الأمام) و" (ابق في مسارك). يمكن استخدام الأضواء الكهرمانية لتحذير المركبات القادمة بوجود العمال الذين يمشون على الأقدام أو بالقرب من العمليات. وتجنب استخدام تلك الأضواء إذا لم يتوافر ثمة خطر على العمال أو الأشخاص المتواجدين، حيث تفقد الأضواء التحذيرية الكثير من فعاليتها عند إساءة استخدامها أو استخدامها على نحو مفرط، لأنها قد تؤدي إلى حجب حركة المرور أو تشتيتها دون داعٍ (كود الطرق السعودي ٣٠٥) تصميم مرافق الطرق ومنافعها – تصميم منطقة أعمال الطرق).

في المواقع التي قد يتواجد فيها المساحون لمدة طويلة، مثل مواقع ضبط الأجهزة، يمكن أن تكون للمركبات الواقية أهمية خاصة، ويمكن صف المركبات الواقية فيما بين موقع العمل المتحرك وحركة المرور القريبة. كما تُعد المركبة المزودة بمصاص صدمات (vehicle mounted attenuator)، التي تستخدم كمخفف وترافق عملية المسح التي تتحرك في اتجاه حركة المرور، خياراً إضافياً. ويكون تركز المركبات المحمية بمثابة حواجز مرور فعالة. وينبغي إبقاء مركبة الأمان قريبة بدرجة كافية (ولكن ليست قريبة جداً) لتوفير حماية مادية حقيقية للعمال، مع تجنب تعريضهم للخطر.

فيما يتعلق بأجهزة التوجيه القنواطي، فهي أحد الأنواع التالية: المخاريط، واللوحات الرأسية، والبراميل البلاستيكية، والمتاريس. يجب استخدام اللوحات والمخاريط الرأسية فقط- عندما تكون هناك حاجة إلى جهاز محمول؛ لإدارة إغلاق المسار الذي سيستمر ليوم واحد فقط، أو في حال عدم توفر حواجز أكثر متانة. ينبغي استخدام المتاريس كلما كان ذلك مناسباً. غير أنه من الصعب حملها وتجميعها. وتستخدم المخاريط، ذات اللون البرتقالي، لتوجيه حركة المرور عبر منطقة أعمال الطرق وحولها (كود الطرق السعودي ٣٠٥ تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم منطقة أعمال الطرق).

أحياناً قد يحتاج المساح إلى تقسيم حركة المرور أو إغلاق طريقها، وتستخدم المخاريط للقيام بذلك، يجب استخدام البراميل البلاستيكية فقط- في حال عدم توفر خيارات أفضل. نظراً لحجمها، لا تستخدم البراميل بشكل يومي.

عند استخدام اللافتات وأجهزة التوجيه القنواطي ينبغي وضعها قبل الشروع في العمل، وفي المواقع في المداخل ذات الرؤية الكافية. تتحكم الظروف الميدانية -أيضاً- في الوضع الفعلي للافتات وأجهزة التوجيه القنواطي. يوضع الأفراد الذين يستخدمون شواخص قف- تمهل حسب الحاجة؛ لتوفير أفضل اتجاه لحركة المرور والسلامة للعاملين.

يمكن استخدام الشاحنات المزودة بمصابيح علوية؛ لتوفير حماية إضافية للأفراد عن طريق سد المسار أو الوقوف على الكتف، وقد تكون مشاركة الشرطة مطلوبة؛ لاعتبارات السلامة. هذا مهم -بشكل خاص- قبل بدء أعمال المسح وأثناء تنفيذ إجراءات السلامة بما في ذلك تركيب اللافتات التحذيرية المؤقتة (المسح قيد التنفيذ) ومخاريط السلامة وما إلى ذلك، وهي مهمة -أيضاً- بعد الانتهاء من أنشطة المسح أي أثناء تفكيك معدات السلامة (كود الطرق السعودي ٣٠٥ تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم منطقة أعمال الطرق).

قبل الشروع في أي عمل مسح يجب الحصول على موافقة مسبقة على جميع إجراءات السلامة من الجهة المعنية.

٢-٦-٤ تدابير سلامة طاقم المسح:

إلى جانب تدابير سلامة الطرق، من المهم تهيئة بيئة وظروف السلامة وتوفيرها لأطقم العمل والموظفين العاملين في الموقع. يجب أن تولى سلامة الموظفين أهمية قصوى، حيث توفر بيئة العمل الآمنة القدرة على إكمال المشروع بأسرع ما يمكن وبأقل قدر ممكن من المشاكل.

يمكن عقد اجتماعات السلامة قبل كل مشروع لضمان الحماية الكافية للموظفين وتنقيفهم. ينصح باستخدام الملابس التي توفر الحماية الكافية. وفي المقام الأول، يجب على جميع الموظفين ارتداء معدات الحماية الشخصية المناسبة أثناء القيام بأي عمليات قد تعرضهم للخطر. لذا، يجب على موظفي المسح ارتداء أحذية العمل الجلدية عالية الجودة التي توفر أكبر قدر من الحماية (ODOT, 2013).

يجب على جميع الموظفين ارتداء خوذة واقية معتمدة أثناء العمل أو زيارة المناطق التي يحددها المهندس المقيم على أنها "مناطق يجب ارتداء الخوذات الصلبة فيها". وتخضع تلك الخوذات لفحوصات منتظمة، ويتم استبدالها على الفور إذا تبين أنها معيبة. كما يجب ارتداء الخوذات كلما كان ذلك مطلوباً، كما هو الحال عند العمل تحت الجسور. يمكن استخدام النظارات الواقية وسترات الأمان والأقنعة الواقية من الغبار وحماية الأذن والقفاذات وغيرها من المعدات المساعدة إذا لزم الأمر. وينبغي لأطقم العمل أن تكون على استعداد تام لظروف الطقس والمناخ المحلي. في ظروف الإجهاد الحراري والتعرض لأشعة الشمس، يجب أن يلتزم الموظفون باتباع الإجراءات الوقائية، مثل ارتداء الملابس الخفيفة وأغطية الرأس والحصول على فترات راحة متكررة ونحو ذلك. عندما لا تكون الظروف، مثل درجات الحرارة العالية، مواتية لسلامة الموظفين، يجب تطبيق تعليق العمل حتى تتحسن تلك الظروف (ODOT, 2013).

وينبغي لطواقم عمل المسح، إذا كانت تعمل مشياً على الأقدام أو بالقرب من مداخل السيارات الخاصة، أن تكون في مواجهة حركة المرور القادمة (عندما تسمح الظروف بذلك). وإذا تعذر ذلك، يمكن أن يكون العامل المساعد بمثابة "مراقب". يُنصح بمواجهة حركة المرور من أي موقع عمل في حرم الطريق. عندما يعمل أفراد الطاقم في مناطق ذات حركة مرور، مثل الطرق ومداخل السيارات الخاصة وما إلى ذلك، يجب عليهم الحذر من إجراء أي حركات مفاجئة قد تربك السائقين وتسبب أذى أو إصابات للعاملين، والمارة والسائقين وغيرهم. وعند العمل على الطريق أو بالقرب منه، ينبغي للمساحين تفادي تعطيل حركة المرور قدر الإمكان. وتتمثل إحدى طرق نجاح عدم مقاطعة حركة المرور في تطبيق خطوط الإزاحة؛ وهي مفضلة على وجه الخصوص على الطرق ذات المرور الكثيف وعالية السرعة لتجنب المعابر. إذا كان العبور ضرورياً، يجب على أفراد الطاقم الانتظار حتى تقل حركة المرور بشكل طبيعي على الأقل. علاوة على ذلك، يمكن استخدام الحواجز وأشرطة التحذير والشاحنة المزودة بمصاص الصدمات ونحو ذلك لحماية أطقم المسح أثناء إجراء القياسات (Florida DOT, 1999).

يجب أن يكون جميع العمال على دراية بالابتكارات الخاصة بالسلامة، بما في ذلك الأدوات والأساليب، وذلك لإجراء المسوحات بأمان، فالمرقبة المستمرة للسلامة ضرورية. ويجب معالجة جميع انتهاكات السلامة في مكان العمل على الفور، كما يجب أن يتوافر مخزون من جميع معدات السلامة المناسبة.

يمكن تفادي مخاطر الحيوانات بشكل فعال إلى حد ما إذا افترض طاقم العمل أن جميع الحيوانات في منطقة العمل تعد عدوانية وربما خطيرة. لا ينبغي لأفراد طاقم العمل الاقتراب من أي حيوانات اليفة أو بريّة لمداعبتها. تأكد دائماً من أن المالك قد أدخل جميع الحيوانات المنزلية عدوانية وأمنها قبل دخول منطقة العمل أو أي منطقة مغلقة ذات أهمية لاستكمال القياسات (Florida DOT, 1999).

قبل البدء في أي أعمال مسح، يجب الحصول على موافقة مسبقة على جميع إجراءات السلامة من الجهة المختصة.

٥- إعداد الخرائط:

تنتهي أعمال المسح -بغض النظر عن الأدوات والمنهجيات المستخدمة- بتحديد السمات التي لوحظت في الطبيعة على الخرائط، مع مقاييس رسم معينة وفقاً لطبيعة المشروع قيد النظر، ودورة حياته. ونظراً لأن هذه الإجراءات مثل دراسة الجدوى؛ تتطلب إنتاج خرائط ذات مقياس صغير، بينما تتطلب مرحلة التصميم الابتدائي والنهاي / التفصيلي ذات مقياس أكبر وفقاً للتفاصيل الموضحة في الجزء (٢-٣). بغض النظر عن طريقة المسح ومرحلة دورة حياة مشروع الطريق قيد الدراسة، يجب أن تتبع الخرائط النهائية التي تنتجها أعمال المسح المواصفات التالية: فيما يتعلق بتمثيل السمة والتفاصيل الأفقية والرأسية، ومخطط الخريطة الذي تُعرض بيانات المسح عليه، وإجراءات مراقبة الجودة. ويجب أن تتبع السمات المعروضة على الخرائط الدقة الموضحة في الجزء (٢-٧).

٥-١ تمثيل السمة:

يتم تمثيل السمات على الخريطة باستخدام ثلاثة رموز أساسية: النقطة والخط والمضلع.

- النقطة: الرمز المستخدم للإشارة إلى السمات ذات الحجم الصغير أو السمات التي لا يسمح مقياس الرسم بإظهارها في شكلها؛ مثل: نقاط التحكم، ونقاط المناسيب، والآبار، وأعمدة الكهرباء، وأعمدة الإنارة، ولافتات المرور، والأشجار وما إلى ذلك. عادة ما يتم ترميز سمات النقطة بعلامات؛ مثل: الدوائر، والمستطيلات، والرموز الأخرى ذات الأبعاد الثابتة.
- الخط: تمثل سلاسل الخطوط / سمات الخطوط شكل وموقع الأجسام الجغرافية؛ مثل: الخطوط المركزية (المحاور)، والطرق، والسكك الحديدية، والجداول المائية، والأنهار، وخطوط المنافع العامة وما إلى ذلك. وتُعد سمات الخط سمات نقط متصلة. الخطوط لها طول وليس لها عرض. يتم ترميز سمات الخط بخطوط متصلة ومتقطعة ومنقطة ذات عرض ولون مناسبين، وما إلى ذلك.
- المضلع: تمثل السمات متعددة الأضلاع شكل وموقع أنواع السمات المتجانسة؛ مثل: البلدان، وأنواع التربة، والخصائص، والبحيرات، وحدود الغطاء النباتي، وقطع الأراضي، والمزارع، والمناطق الخضراء، والمناطق الرملية، والمحاجر، ومساحات البناء وما إلى ذلك. تتكون من حلقة خارجية واحدة، والعديد من الحلقات الداخلية (الحدود)، وهي عبارة عن سلاسل خطوط مغلقة. يتعامل الترميز في السمات متعددة الأضلاع مع ترميز حدودها، كونها سمات خطوط مغلقة، وداخلها. تظهر هذه الرموز في مواضع وتصاميم مختلفة؛ مثل: -لمقاس -الشكل -النمط -اتجاه -لموضع -لنسيج -اللون.

تعتمد رؤية السمة وتمثيلها وفقاً لأنواع السمات السابقة -أيضاً- على مقياس الخريطة المعنية؛ إذ يمكن تمثيل السمات المعروضة، في صورة أشكال مضلعة، بمقاييس كبيرة بواسطة سمات خطية أو نقطية بمقاييس أصغر.

يجب تصنيف السمات في طبقات، مع عرض أنواع مختلفة من المباني والطرق وغيرها من السمات. يعرض الجدول (٥-١) عدد الطبقات المستخدمة حسب نوع السمة فيما يتعلق بالسمات الرئيسية. يحتوي الملحق (١-٢) على التفاصيل المتعلقة بعدد (٣١٠) طبقات مدرجة في أكواد سمات الخرائط الطبوغرافية (MoMRAH, 2005). ويشجع كود الطرق السعودي مستخدم هذا المجلد على متابعة أي تحديثات تجريها وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان في تلك الطبقات، وأن يكون على دراية بأي منتجات جديدة تقدمها الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية.

الجدول (٥-١) السمات الرئيسية وعدد الطبقات (MoMRAH, 2005).

الجزء	نوع السمة	عدد الطبقات
أ	المناطق المميزة	٣١
ب	المباني	٤٧
ج	الإنشاءات	٢٣
د	النقل	٩٢
هـ	المرافق	٣٥
و	سمات محددة	١٨
ز	السمات البحرية	٤٦
ح	المناسيب	١٨
ط	النباتات	٣٦
ي	الهوامش	١٩
ك	رسم الخرائط	٨

٥-٢ التفاصيل الأفقية:

يجب أن توضح الخرائط النهائية التي تنتجها أعمال المسح -كحد أدنى- التفاصيل الأفقية التالية (MoMRAH, 2005):

- ١- المباني والمنشآت: يجب أن تظهر المباني الدائمة التي تزيد مساحتها عن (٦) ملم^٢ على مقياس الخريطة بحدودها الخارجية. يمكن إما تعيم المباني الأصغر لتشير إلى السمات، أو إزالتها حسب الاقتضاء. يجب إظهار الأطلال، والمباني المهدمة جزئياً، والمباني قيد الإنشاء، والمباني الأخرى في خطوط متقطعة، مع تجاهل الانعطافات الصغيرة التي لا يمكن تمثيلها في حدود ٠,٧٥ ملم على مقياس الخريطة.
- ٢- الحدود: يجب الإشارة إلى الجدران، والأسوار، وحدود الميدان المماثلة على الخريطة بخطوط مفردة، تمثل المحور الطبيعي (مركز) للحدود. في حالة حدود الملكية الثابتة، يجب أن يمثل الخط الحافة الخارجية للحدود. إذا كانت الجدران أسمك من ٠,٥٠ ملم على مقياس الخريطة، فينبغي الإشارة إليها بخطوط مزدوجة في مواقعها الحقيقية.
- ٣- الطرق والسكك الحديدية: يجب عرض حواف الطرق، أو المسارات الجانبية، أو حدود أرصفة المشاة والجسور والأنفاق والجدران الاستنادية على الخريطة. يجب الإشارة إلى الطرق الترابية، وطرق المشاة، إما بخطوط متقطعة مستمرة، أو بخطوط أنحف، أو بحواف واسعة، متى تم تحديدها بوضوح وبعرض كافٍ ليتم توقيعه على مقياس رسم الخريطة. يُشار إلى السكك الحديدية إما حسب عرض الخط أو برمز خاصة.
- ٤- المنافع: يجب عرض الأبراج، وأعمدة الكهرباء، وعناصر المنافع المرئية متى كان ذلك مناسباً لمقياس الخريطة.
- ٥- الممرات المائية وقنوات الصرف والسمات الساحلية: يجب ظهور الأبار، والأنهار، والقنوات بخطوط مزدوجة أو فردية بما يتناسب مع عرضها ومقياسها، ويشار إلى قيعان الوادي بالخطوط المتقطعة، وكما ينبغي عرض البحيرات، والبرك، وخطوط السواحل البحرية.
- ٦- تصنيف التضاريس والغطاء النباتي واستخدام الأراضي: يجب تضمين سمات التضاريس؛ مثل: النتوءات الصخرية، والصخور العالية، والكثبان الرملية في الخريطة، يجب أن يكون الغطاء النباتي وسمات استخدام الأراضي محددة فقط للفتات الأساسية من حدائق النخيل، والغابات، والمحاصيل، والمزارع. يجب عرض الأشجار الكبيرة الفردية بمفردها، كما يجب عرض السمات غير القياسية الأخرى؛ مثل: المقابر، والمحاجر، والملاعب الرياضية، ومواقف السيارات، والأماكن الترفيهية.
- ٧- الأسماء والتعليقات: يجب الإشارة إلى أسماء الأماكن، والمناطق، والمدن، والقرى، والسمات الطبيعية، والشوارع، والمباني الكبيرة، وتقسيمات الطرق، والمرافق السطحية المرئية على أنها مأخوذة من الخرائط الموجودة، أو وفقاً لما جُمع أثناء العمل الميداني.

كما يجب أن تشمل الخرائط ذات مقياس ١:١٠٠٠ وأكبر من ذلك، كحد أدنى:

- ١- المنافع، بما يشمل غرف التفتيش بأنواعها وأنواع المداخل وأوصاف فتحات اليد وأنواع الغرف المختلفة والألوان وإشارات المرور والأعمدة من أي نوع وأجهزة الري وملحقات الغاز ونحو ذلك.
- ٢- ينبغي إبراز عناصر المسطحات المائية والجدول بشكل أكبر في الخريطة وعرضها بطريقة تساعد على تحديد خطوط الفصل المستخدمة في إنشاء نموذج التضاريس الرقمية الصحيحة. تتضمن هذه العناصر أسفل الميول وأعلىها، وقيعان الخنادق، وخطوط مجاري الصرف الجانبية، وما إلى ذلك. علاوة على ذلك، ينبغي أن تحتوي الخرائط في هذا المقياس أي علامات خطية مجمعة بمحاذاة الفواصل أو تغييرات الطبقات في التضاريس، مع تحديد انقطاعات التضاريس مثل النتوءات وأسفل المنحدرات أو أي تغيير حاد في السطح القائم. يقدم الجزء الفرعي (٣-١٧) والشكل (٣-١٧) مزيداً من التفاصيل.
- ٣- معدات الطرق وعناصر الطرق، مثل خطوط الدراجات، وسمات المناطق الخضراء، والعلامات الرأسية والأفقية. يجب أيضاً تضمين مكونات السكك الحديدية المختلفة، مثل أعلى القضبان، وحافة الأساس الحجري، وأسفل ميل الأساس الحجري، وحافة الأساس التحتي للسكة، ونحو ذلك.
- ٤- معلومات إضافية، بما في ذلك صناديق البريد وأكشاك الهاتف والمقاعد والنوافير وطفائيات الحريق وأعمدة الإنارة والمداخل المقوسة الكبيرة للمباني التي يزيد عرضها عن مترين والمرئية من المناطق العامة والبوابات التي يزيد عرضها عن مترين.

٣-٥ التفاصيل الرأسية:

تمثل التفاصيل الرأسية في الخرائط من خلال نقاط المناسيب الموضعية والخطوط الكنتورية، وترد الفترات الكنتورية النموذجية حسب المقياس في الجزء (٧-٢)، يجب اشتقاق الخطوط الكنتورية باستخدام نموذج التضاريس الرقمية (DTM) المعني الذي تم إنشاؤه كما هو موضح في الباب (١٧). يجب تصنيف الخطوط الكنتورية إلى رئيسية وثانوية. يجب تحديد الخطوط الكنتورية الرئيسية كل خمسة خطوط، وعرضها بخطوط أكثر سمكاً من الخطوط الكنتورية الثانوية، يمكن حذف الخطوط الثانوية على الميول الشديدة إذا كان تقاربها أقل من (١) ملم على مقياس الخريطة.

يجب أن تكون المناسيب الموضعية في الأماكن التالية (MoMRAH, 2005):

- بين الفترات الكنتورية العادية عـد (٥٠ - ١٠٠) ملم من كل خط كنتور على مقياس الخريطة شريطة وجود هذه المسافات.
- في مواقع النتوءات الأرضية؛ مثل: قمم التلال.
- في المواقع المسطحة.
- في المناطق المنخفضة.
- على طول محاور الطرق وعند التقاطعات.
- على طول التغييرات الجوهرية في الميول في الصعود أو الانخفاض.

٤-٥ إطار الخريطة:

يجب أن يفي إطار الخريطة بالمتطلبات التالية (MoMRAH, 2005):

- ١- يجب أن تتضمن الخريطة النهائية شبكة الإحداثيات، ونقاط التحكم، والسمات الأفقية، والخطوط الكنتورية، ونقاط المناسيب، والتسميات وما إلى ذلك.
- ٢- يجب أن تتضمن الخريطة رقم الورقة، ومقياس الخريطة، وعلامة الشمال، ونظام الإحداثيات المستخدم، واسم المشروع، وفهرس الخريطة الذي يحتوي على الأوراق المجاورة، وتاريخ المسح، والفترات الكنتورية، والمناسيب. يجب كتابة التعليقات أو الحواشي السفلية بوضوح. تُعرض خطوط الشبكة بخطوط مستمرة كل (١٠٠) ملم على مقياس الخريطة.
- ٣- يجب رسم أوراق الخرائط النهائية مباشرة من البيانات الرقمية، على أوراق شفافة من البوليستر، ثابتة الأبعاد، بسماكة لا تقل عن (٠,١٥) ملم.
- ٤- يجب أن تتضمن الخريطة مفتاح للخريطة؛ برموز النقاط، وأنواع الخطوط، وألوانها، والعروض. يجب أن تكون أحجام وأشكال الطباعة مطابقة لما عُرض في ورقة الخريطة ذات الصلة.
- ٥- يجب أن يتوافق فهرس الخرائط، والترقيم، وحجم اللوحة مع نظام تقسيم الخرائط، بحيث تكون منطقة المسح مغطاة بعدد كافٍ من الأوراق المناسبة اقتصادياً، التي يجب ألا يتجاوز حجمها الإجمالي حجم (A0)، أي (٨٤١ × ١١٨٩) ملم^٢، ودون نسخ متكرر للتفاصيل في التداخلات. يجب وضع منطقة الرسم الفعلية ضمن حدود التنسيقات القياسية للألواح المقدمة من مالك المشروع المعني. ينبغي أن تكون المساحة الفعلية للرسم على خريطة ذات مقياس أكبر من أو يساوي (١:٢,٠٠٠) هي (١,٠٠٠ × ٧٥٠) ملم^٢؛ يجب أن تكون نفس المساحة للمقياس الأقل من أو تساوي (١:٢,٥٠٠) هي (٨٠٠ × ٦٠٠) ملم^٢. يُلخص الجدول (٢-٥) هذه المعلومات.

الجدول (٥-٢) أبعاد ومساحات الخريطة حسب المقياس (MoMRAH, 2005).

مقياس رسم الخرائط	مساحة الرسم الفعلية (مم ^٢)	مساحة الخريطة (كم ^٢)	الأبعاد (كم ^٢)
١:٥٠٠	٧٥٠ × ١٠٠٠	٠,١٨٧٥	٠,٣٧٥ × ٠,٥
١:١,٠٠٠	٧٥٠ × ١,٠٠٠	٠,٧٥	٠,٧٥ × ١
١:٢,٠٠٠	٧٥٠ × ١,٠٠٠	٣,٠	١,٥ × ٢
١:٢,٥٠٠	٦٠٠ × ٨٠٠	٣,٠	١,٥ × ٢
١:٥,٠٠٠	٦٠٠ × ٨٠٠	١٢	٣ × ٤
١:١٠,٠٠٠	٦٠٠ × ٨٠٠	٤٨	٦ × ٨
١:٢٠,٠٠٠	٦٠٠ × ٨٠٠	١٩٢	١٢ × ١٦
١:٢٥,٠٠٠	٦٠٠ × ٨٠٠	٣٠٠	١٥ × ٢٠

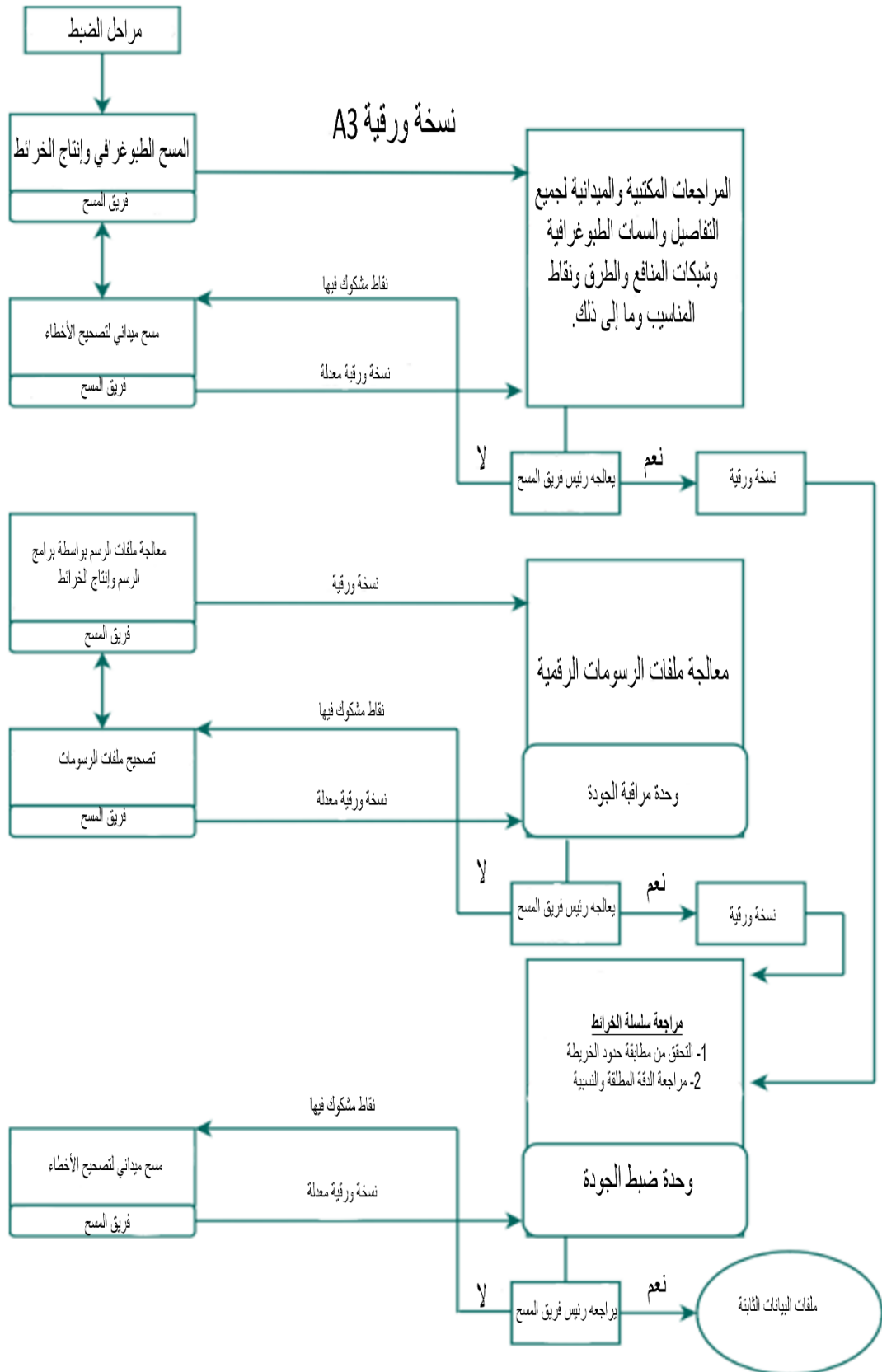
- ٦- يجب تضمين البيانات التالية في هوامش الخريطة مفتاح الرموز، وحقل العنوان، واسم المشروع، وموقع المشروع، والجهة المتعاقدة، ورقم المشروع، واسم الورقة، ومقياس الخريطة، ونوع الخريطة، ومفتاح عرض الأوراق المجاورة، وتاريخ الإعداد، والمرجع الجيوديسي، والتوقعات المطلوبة.
- ٧- يجب أن تراعي الأسماء المعروضة على الخريطة السمات المهمة. يجب تحديد نوع وحجم الأسماء المدرجة في الخريطة وفقاً لفئات السمات المعنية، ومن ضمن الأمثلة على فئات السمات المذكورة في المناطق الحضرية، مثل: المنطقة، والمدينة، والحدود الإدارية، والمساجد، والمدارس، ومراكز التسوق، ومواقف السيارات، والمساحات العامة، والأماكن المميزة، والمقابر، والسمات الطولية والمائية، والطرق، والشوارع الرئيسية والثانوية، والسكك الحديدية.

٥-٥ إجراءات مراقبة الجودة:

يتطلب تجميع الخرائط إجراءات مراقبة جودة معينة تضمن جودتها. وتُعد أعمال المسح، التي ترتبط بحقوق العديد من المواطنين، وتشكل الأساس لتنفيذ المشاريع الإنشائية، من أهم الأعمال التي يجب أن تطبق عليها إجراءات صارمة لمراقبة الجودة. في جميع الحالات، يجب اتخاذ الخطوات التالية؛ لمراقبة جودة الخرائط المنتجة:

- ١- يجب أن يقوم مهندس المسح أو رئيس المساحين أو الوحدة المتخصصة المعنية بإجراءات مراقبة جودة أعمال المسح، وفقاً للهيكل التنظيمي للجهة التي يُنفذ فيها العمل.
- ٢- التأكد من تنفيذ جميع الخطوات المنهجية الموضحة في هذا المجلد، وعدم الاعتماد على الدقة النهائية التي تم التوصل إليها؛ حيث قد يكون ذلك محض صدفة.
- ٣- فحص دقة الملاحظات، والتأكد من أن متوسط الخطأ التربيعي أقل من المسموح به.
- ٤- فحص الوثائق والسجلات المساحية، وتقرير المسح، والتأكد من إعدادها إعداداً صحيحاً ومنهجياً.
- ٥- فحص الخريطة المنتجة في أعمال المسح، والتأكد من جودتها، وعدم وجود أخطاء رسم اعتيادية -بما في ذلك- وجود مضلعات (التفافرس) غير مغلقة، والزيادات، وأوجه القصور في تقاطع الخطوط، ووجود نتوءات في الخريطة، وسمات غير محددة بشكل كامل، أو غير متصلة، أو كونها خارج مجموعاتهما، وهذا مؤكد إذا تم إنتاج الخريطة بتنسيق رقمي.
- ٦- وضع علامة على عمل المسح؛ تشير إلى اجتيازه إجراءات مراقبة الجودة.

يجب تعيين وحدة مستقلة لمراقبة الجودة مع مهمة مراجعات مراقبة الجودة باتباع سير العمل الموضح في الشكل (٥-١) (MoMRAH, 2005).



الشكل (٥-١) مخطط سير أعمال ضبط جودة الخرائط الطبوغرافية (MoMRAH, 2005).

٦- تسليم البيانات والتنسيقات:

ترجع تنسيقات (صيغ) تسليم البيانات إلى إجراءات نقل البيانات من الاستشاري إلى صاحب العمل فيما يتعلق بمخرجات كل مرحلة من مراحل عمل المسح.

٦-١ بيانات المسح وبيانات نظم المعلومات الجغرافية:

تصف جميع البيانات المجمعة أثناء المسوحات مواقع وارتفاعات السمات الطبيعية والصناعية المعروضة على الخريطة. في الوقت الحاضر تُدعم عملية رسم الخرائط من قبل نظام المعلومات الجغرافية، وبرامج التصميم التي تسمح بعرض البيانات، والتميز إليها وتقديمها على الخرائط؛ لذلك يتم تخطيط البيانات المجمعة في صيغ ملفات نظم المعلومات الجغرافية الشائعة لتطوير الخرائط الطبوغرافية ونماذج التضاريس ثلاثية الأبعاد (3D). وتُصنف بيانات المسح ورسم الخرائط فيما يلي:

- البيانات النقطية: تتكون -في أبسط أشكالها- من مصفوفة من الخلايا (أو وحدات البكسل)، منظمة في صفوف وأعمدة (أو شبكة)، حيث تحتوي كل خلية على قيمة تمثل المعلومات؛ مثل: درجة الحرارة. يُستخدم التمثيل النقطي لرسم خرائط للتغيرات المستمرة في الظواهر الطبيعية. وتشمل الملفات النقطية المشتركة الصور الجوية الرقمية، والصور من الأقمار الصناعية، والصور الرقمية، والخرائط المسوحة ضوئياً، وملفات نماذج السطح الرقمية، ونموذج الارتفاعات الرقمية. وتشمل صيغ أجهزة المسح الشائعة JPG و TIFF و BSQ و IMG وغيرها.
- التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD): في سياق رسم الخرائط، هو استخدام أجهزة الحاسب للمساعدة في إنشاء، أو تعديل، أو تحليل، أو تحسين للأمتل رسم يحتوي على خريطة. تُستخدم ملفات (CADD) في إنتاج الخرائط، وتحويل بيانات المسح الأولية (أي الملاحظات الميدانية) إلى خرائط فعلية. تحتوي ملفات (CADD) على بيانات المسح الأولية، والسمات التي تم مسحها، إضافة إلى أسلوبها، وجميع البيانات والأوصاف الأخرى -على سبيل المثال- رقم الورقة، مقياس الخريطة، اسم المشروع، المتضمنة في الخريطة النهائية. تصنف ملفات (CADD) السمات إلى طبقات، وتدعم فكرة النموذج (التصميم) مقابل الأوراق، وقد تتضمن ملفات (مرجعية) نقطية تُستخدم فيها كخرائط أساسية. تشمل صيغ التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD) الشائعة ملف رسم الأوتوكاد بالامتداد (DWG)، وصيغة تبادل الرسم بالامتداد (DXF)، و ملف تصميم مايكروسوفتشن بالامتداد (DGN).
- صيغ نظام المعلومات الجغرافية الخطية: تتضمن صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخطية سمات مكانية، مع بيانات السمات التي يمكن استخدامها لعرضها على الخريطة. يمكن أن تحتوي صيغ نظم المعلومات الجغرافية الموجهة على عدة طبقات (فئات السمات)، مع وجود العديد من بيانات السمات (أعمدة البيانات) المرفقة بها. في إطار هذا المنظور قد تتضمن صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخطية -أيضاً- أنظمة قاعدة بيانات مع دعم البيانات المكانية. لا تحتوي صيغ نظم المعلومات الجغرافية الموجهة على أي معلومات حول الأسلوب المستخدم عند عرضها على الخريطة الفعلية؛ وبالتالي فإن بيانات نظم المعلومات الجغرافية الخطية تعمل فقط كأساس لإنتاج الخرائط. تشمل الصيغ الشائعة لنظم المعلومات الجغرافية الخطية قاعدة البيانات الجغرافية بصيغة (SHP)، وملف قواعد البيانات الجغرافية وقاعدة بيانات الملف الشخصي، والحزم الجغرافية.
- نظم المعلومات الجغرافية الخاصة بالخرائط: تتضمن صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخاصة بالخرائط جميع المعلومات اللازمة حول الأسلوب المستخدم لعرض صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخطية والنقطية على الخريطة الفعلية، إضافة إلى معلومات ورقة الخريطة الأخرى المعروضة خارج منطقة الخريطة الفعلية؛ نظراً لأن صيغ بيانات الخريطة تحتوي فقط -على إشارة إلى البيانات الفعلية، غالباً ما يوفرها مالك المشروع، أو يمكن تطويرها بشكل مستقل وقبل إكمال أعمال المسح. تكون صيغ خرائط نظم المعلومات الجغرافية محددة في حزمة البرامج المستخدمة. تشمل الصيغ الشائعة (MXD) و (QGS) و (GWS) وغيرها.
- أخرى: الصيغ الأخرى بما في ذلك ملفات بيانات المسح الخام والمعالجة، وملفات الملاحظات الميدانية، وملفات ساحبية، وملفات خاصة بنموذج التضاريس الرقمية، بالإضافة إلى ملفات الخرائط النهائية، وملفات التقرير، مقدمة بصيغة الوثائق القابلة للنقل (PDF).

في الفقرات التالية، نورد مواصفات التسليم لكل فئة من فئات صيغة الملفات.

٦-٢ الصيغ النقطية:

تُستخدم الصيغ النقطية (Raster) لتقديم بيانات الفوتوغرافيا التعامدية، وصور الأقمار الصناعية المتعامدة، ونموذج السطح الرقمي، ونموذج الارتفاعات الرقمي. ينبغي النظر في النقاط التالية فيما يتعلق بتسليم البيانات النقطية:

- يجب تسليم البيانات النقطية التصويرية بصيغة بيانات (GeoTIFF)، باستخدام نطاقات ٣٨ بت (اللون الحقيقي) وضغط (JPG) بنسبة (٩٠٪). يجب تضمين المراجع الجغرافية في ملف (GeoTIFF) الفعلي.
- يجب تسليم بيانات (نموذج السطح الرقمي، ونموذج الارتفاعات الرقمي النقطية) بصيغة ٣٢ بت للنقطة العائمة (GeotIFF). يجب تضمين المراجع الجغرافية في ملف (GeoTIFF) الفعلي.
- يجب أن يكون حجم البكسل المتعلق بالبيانات المصورة (الصور الفوتوغرافية التعامدية وصور الأقمار الصناعية التعامدية) مساوياً للجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء للخريطة الأفقية المعنية. على سبيل المثال: وفقاً للجدول (١-٢) لخريطة بمقياس (١:١,٠٠٠)، يجب أن يكون الملف المتعامد الضوئي المعني بحجم بكسل قدره ٠,٢٥ متر.
- يجب أن يساوي حجم البكسل الخاص بملفات نموذج السطح الرقمي ونموذج الارتفاعات الرقمي ٤ أضعاف الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء للخريطة الأفقية المعنية، على سبيل المثال: وفقاً للجدول (١-٢) لخريطة بمقياس (١:١,٠٠٠)، يجب أن يكون ملف نموذج السطح الرقمي المعني بحجم بكسل قدره ١,٠٠ متر.

الجدول (١-٦) أبعاد مربعات البيانات النقطية حسب المقياس.

مقياس الخريطة	حجم الصورة (بكسل)	حجم نموذج السطح الرقمي / نموذج الارتفاعات الرقمي (بكسل)	أبعاد المربعات (كم ^٢)
١:٥٠٠	٦,٠٠٠ × ٨,٠٠٠	١,٥٠٠ × ٢,٠٠٠	٠,٧٥ × ١
١:١٠٠٠			١,٥ × ٢
١:٢٠٠٠			٣ × ٤
١:٢٥٠٠			٣,٧٥ × ٥
١:٥٠٠٠			٧,٥ × ١٠
١:١٠٠٠٠			١٥ × ٢٠
١:٢٠٠٠٠			٣٠ × ٤٠
١:٢٥٠٠٠			٣٧,٥ × ٥٠

- يجب توصيل البيانات النقطية مقسمة في مربعات الأبعاد، التي يوفرها الجدول (١-٦)، على شبكة من هذه الأبعاد بدءاً من أصل نظام الإحداثيات (٠,٠٠). يجب تسمية المربعات بعد إحداثيات (س) و (ص) لنقطة اليسار السفلية الخاصة بها، باستخدام الأرقام الخمسة الأولى من (س) والخمسة الأولى من (ص)، التي تم تنسيقها بأصفار متقدمة بحيث يكون طولها ٧ أرقام (خانات). على هذا النحو يجب أن تتكون أسماء المربعات من ١٠ أرقام في شكل (س س س س س س س) (ص ص ص ص ص). على سبيل المثال: بالنسبة للمربع ذي الإحداثيات السفلية اليسرى الموجودة عند ٥٠٠,٠٠٠، ٤,٠٠٠,٠٠٠، فإن الجزء (س) هو "٠٥,٠٠٠" والجزء (ص) هو "٤٠,٠٠٠" والاسم الإجمالي هو "٠٥٠٠٠٤٢٠٠٠".

٣-٦ صيغ ملفات CADD:

- تعد صيغ ملفات (CADD) أكثر المخرجات شيوعاً لأعمال المسح ورسم الخرائط لمشاريع الطرق، خاصة في مراحل التصميم الابتدائي والنهائي. يجب مراعاة النقاط التالية فيما يتعلق بتسليم ملفات بصيغ التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD):
- يجب أن تحتوي ملفات (CADD) على جميع سمات الخريطة التي مُسحت وصُنفت وفقاً لمواصفات طبقة السمات الخاصة بالملحق (أ) لمقاييس (١:١٠٠٠)، أو باتباع مواصفات طبقة السمات الخاصة بوزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان للمقاييس المختلفة.
- يجب احتواء كل طبقة سمة على بيانات من نوع السمة المحددة (نقطة، سلسلة خطية، مضلع). على سبيل المثال: يجب عدم تضمين مراجع مكون رمز البقعة في أي طبقة سمة سلسلة خطية.



- يجب أن تحتوي الملفات بصيغ التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD) -بالإضافة إلى سمات الخريطة التي -مُسحت على بيانات مسح أولية، على الرغم من عدم عرض هذه البيانات على الخريطة النهائية.
- يجب عرض سمات الخريطة في نموذج ملف التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD)، بينما يجب عرض مخطط الورقة والأوصاف؛ مثل: العناوين، والمقياس وما إلى ذلك، في ورقة الرسم (التخطيط).
- يجب استخدام الترميز المقدم لطبقات السمات في الملحق (أ) أو ما شابه ذلك في حالة عدم استخدام خرائط الأساس. عند استخدام الصور كخريطة أساسية، يجب ضبط رمز السمة وفقاً لمخطط ألوان خريطة الأساس بعد التشاور مع صاحب العمل.
- يجب تسليم جميع الملفات الخارجية المستخدمة في ملف التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD) الرئيس لتجميع الخريطة إلى الملف الرئيس. تتضمن هذه الملفات الصور، والخطوط، وأنواع الأسطر، وأنماط المخطط، والمراجع الخارجية وما إلى ذلك. توفر معظم برامج التصميم والرسم باستخدام الحاسب (CADD) أدوات لتجميع هذه الملفات الخارجية المستخدمة (على سبيل المثال، الإرسال الإلكتروني في برنامج الأوتوكاد).
- يجب تسليم ملفات (CADD) بصيغة ملف رسم الأوتوكاد (DWG) وصيغة تبادل الرسم (DXF)، ولف تصميم مايكروستيشن (DGN). يتم التحكم في صيغ الملفات المقبولة لبيانات المسح بواسطة حزم البرامج المستخدمة من قبل صاحب العمل، وبالتالي يمكن لصاحب العمل -أيضاً- اختيار صيغ ملفات معينة.

الجدول (٦-٢) القواعد الطبوغرافية المتعلقة بالتحقق من الطبقة الواحدة.

نوع السمة	القواعد الطبوغرافية المطبقة
هندسة النقاط	يجب ألا تكون هناك نسخ مكررة. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية غير سليمة. يجب ألا تحتوي على هندسة متعددة الأجزاء. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية فارغة.
هندسة الخطوط	يجب ألا يحتوي أجسام متداخلة. يجب ألا يتقاطع. يجب ألا تكون هناك نسخ مكررة. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية غير سليمة. يجب ألا تحتوي على هندسة متعددة الأجزاء. يجب ألا تحتوي على عقد مزيفة. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية متوازية. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية فارغة.
هندسة المضلعات (الترافرس)	يجب ألا تكون هناك نسخ مكررة. يجب ألا يكون هناك ثغرات. يجب ألا تتداخل المضلعات. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية غير سليمة. يجب ألا تحتوي على هندسة متعددة الأجزاء. يجب ألا تحتوي على عقد مزيفة. يجب ألا تحتوي على أشكال هندسية فارغة.

٤-٦ صيغ نظم المعلومات الجغرافية المتجهة:

تتضمن صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخطية سمات مكانية مع بيانات السمات التي يمكن استخدامها لعرضها على الخريطة. لا تُستخدم صيغ بيانات نظم المعلومات الجغرافية الخطية بشكل متكرر في المسح ورسم الخرائط لمشاريع الطرق. ومع ذلك، فهي مناسبة للعديد من المخرجات؛ لا سيما في المسح التفصيلي لمشاريع الطرق (الباب ١٨). وتوفر البيانات الكنتورية -التي تُنتج تلقائيًا من صيغ نموذج السطح الرقمي/ نموذج الارتفاعات الرقمي- النقطية- في صيغ نظم المعلومات الجغرافية الخطية. ويجب مراعاة النقاط التالية عند تسليم ملفات نظم المعلومات الجغرافية:

- يجب تسليم بيانات نظم المعلومات الجغرافية الخطية في صيغة ملف الحزمة الجغرافية، ويمكن -أيضًا- قبول قاعدة البيانات الجغرافية بصيغة (Shapefile)، وقاعدة بيانات الملف، وقاعدة بيانات الملف الشخصي.
- هناك العديد من القواعد الطبوغرافية الخاصة، التي يجب تطبيقها، والتحقق من جودة السمات المدرجة في المجموعة المعطاة. ويرد وصف هذه القواعد المطبقة على طبقة واحدة في الجدول (٢-٦)، بينما يلخص الجدول (٣-٦) هذه القواعد المطبقة على طبقات مجمعة؛ على سبيل المثال: يمكن فحص طبقة تحتوي على أشكال هندسية نقطية إذا كانت مغطاة بمضلعات في طبقة هندسية مضلعة. ينبغي تدقيق القواعد الطبوغرافية في الجدول (٢-٦) والجدول (٣-٦) قبل تسليم الملف، بالنظر إلى سياق الطبقة المحددة. يجب التحقق من القواعد باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية.

الجدول (٣-٦) القواعد الطبوغرافية المتعلقة بالتحقق من الطبقة المجمعة.

هندسة النقاط	هندسة الخطوط	هندسة المضلعات (الترافرس)
هندسة النقاط	يجب أن تكون مغطاة بـ يجب أن تكون مغطاة بنقاط نهائية من	يجب أن تكون مغطاة بـ يجب أن تكون داخل
هندسة الخطوط	يجب أن تكون النقاط النهائية مغطاة بـ	
هندسة المضلعات (الترافرس)	يجب احتواؤها على	يجب ألا تتداخل مع

فيما يتعلق بالقواعد المقدمة في الجدول (٣-٦) والمطبقة على السمات الخطية:

- الأجسام المتعدية هي أجسام لها نقطة نهاية واحدة -على الأقل- لا يشاركها جسم آخر. غالبًا ما ينتج الجسم المتدلي عن الرقمنة غير الدقيقة؛ حيث يمتد الجسم إلى ما بعد تقاطعه المقصود مع الجسم المستهدف.
- العقدة المزيفة هي عقدة غير ضرورية في رابط هندسي، يشترك فيه جسمان فقط؛ على سبيل المثال: يمكن تقسيم الرابط الطويل دون داع إلى العديد من الروابط الأصغر بواسطة العقدة المزيفة. توجد عقد مزيفة حيث تلتقي رابطتان؛ تنشئ إزالتها خطأً واحدًا على طبقة واحدة.

٥-٦ صيغ خريطة GIS:

تحافظ صيغ نظم المعلومات الجغرافية للخريطة على الأسلوب المستخدم لعرض بيانات نظم المعلومات الجغرافية الخطية والبيانات النقطية على الخريطة الفعلية، مع الإشارة إلى البيانات الفعلية إلى جانب معلومات ورقة الخريطة الأخرى المعروضة خارج منطقة الخريطة الفعلية. لا تُستخدم صيغ بيانات نظم المعلومات الجغرافية الخطية بشكل متكرر في المسح ورسم الخرائط لمشاريع الطرق. ومع ذلك، عندما تتضمن المخرجات مثل هذه الملفات؛ يجب مراعاة النقاط التالية:

- يجب عرض سمات الخريطة في قسم الخريطة، بينما يجب أن يتم عرض مخطط الورقة والأوصاف؛ مثل: العناوين، والمقياس، وغيرها في الرسم التخطيطي.
- يجب استخدام الترميز المقدم لطبقات السمات من قبل وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان عند عدم استخدام خرائط الأساس. عند استخدام الصور بوصفها خريطة أساسية يجب ضبط رمز السمة وفقًا لمخطط ألوان خريطة الأساس، وذلك بعد التشاور مع صاحب العمل.
- يجب تسليم جميع الملفات الخارجية المستخدمة لتجميع الخريطة، بالإضافة إلى الملف الرئيس.



٦-٦ صيغ الملفات الأخرى:

- فيما يتعلق بجميع أنواع الملفات الأخرى المدرجة في تقديم أنشطة المسح ورسم الخرائط لمشاريع الطرق؛ فيتم تطبيق القواعد التالية:
- بالإضافة إلى ملفات (CADD)، ونظم المعلومات الجغرافية الخاصة بالخرائط والقابلة للتحرير، يجب تسليم كل خريطة أنتجت بصيغة ملف (PDF) بدقة (٣٠٠) نقطة في البوصة على الأقل.
 - يجب تسليم جميع التقارير في كل من الصيغ القابلة للتحرير (DOC / ODT / XLS) وما إلى ذلك) بالإضافة إلى صيغة (PDF) بدقة (٣٠٠) نقطة في البوصة على الأقل.
 - يجب تسليم نماذج التضاريس الرقمية بصيغة ملفات (ESRI TIN).
 - يجب تسليم ملفات السحابة النقطية، التي أنشئت بواسطة الليدار أو المسوحات الجوية في (E 57). ويمكن أيضًا استخدام صيغ (LAS) أو (LAZ).
 - تُغطى تفاصيل تقديم الملاحظات الميدانية، وصيغ الملفات ذات الصلة في الجزء الفرعي (٦-٤-٤).

٧- التحكم الأفقي (محطات النقاط المتكاملة):

يهدف التحكم الأفقي إلى إنشاء نقاط تحكم، على شكل نقاط ثابتة على الأرض، مصنوعة من الخرسانة أو المواد الصلبة الأخرى، على عمق يضمن الاستقرار. هذه النقاط -التي تسمى أيضا المعالم أو النصب (monuments)- لها إحداثيات معروفة في النظام المرجعي المحدد؛ مما يعني أن مواقعها في المرجع الإسنادي محددة بدقة، وتعمل بوصفها مرجعا أساسيا لجميع أعمال المسح وإنتاج الخرائط.

كانت هذه النقاط مرتبطة تاريخياً ببعضها البعض في شكل شبكة من المثلثات؛ لذلك تعرف -أيضا- باسم "نقاط التثليث". تختلف دقة (ترتيب) هذه النقاط؛ حسب الغرض من إنشائها، ووفقا لدرجة الدقة المطلوبة، والمسافة بين النقاط.

هناك طرق متعددة لإنشاء هذه النقاط بما في ذلك التثليث، والتثليث بالمسافات، وطريقة المضلعات (الترافرس)؛ من بينها فإن طريقة المضلعات (الترافرس) هي الأبسط والأسهل والأكثر شيوعاً في المملكة في الماضي. يعتمد اختيار الطريقة المناسبة على طبيعة المشروع، وحجمه، وتضاريس الموقع، والدقة، والوقت المطلوب.

١-٧ إنشاء نقاط التحكم:

تعتمد أعمال المسح الأرضي على نقاط التحكم الأرضية المنشأة، التي تثبت بالقرب من المنطقة المراد مسحها. عند استخدام محطات النقاط المتكاملة، يجب أن تشكل هذه النقاط مساراً مغلقاً؛ لتسهيل الرصد في الموقع، والتحقق من الملاحظات بما لا يقل عن خمس نقاط موزعة في شكل هندسي دقيق؛ يسمح لكل نقطة برؤية النقطتين المجاورتين، وأن تكون قريبة من التفاصيل المراد مسحها. من المستحسن -أيضاً- أن تكون أطوال جوانب الاجتياز متساوية أو متطابقة تقريبا، وألا تكون زواياها حادة للغاية ولا منفرجة للغاية، ينبغي أن تكون قريبة قدر الإمكان من المتطلبات المذكورة أعلاه.

يجب إحالة جميع نقاط التحكم في المسح المثبتة على الطبيعة إلى نظام الإسناد المكاني الوطني السعودي. وينبغي اختيار مرجعية مناسبة وتنفيذها، بما في ذلك الدراسات المسحية للأنظمة العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية، أو استخدام نقاط التحكم القريبة القائمة التي تنشئها أي طريقة. وفي الحالة الأخيرة، ينبغي مراعاة ما يلي:

- تحديد نوع وعدد ودقة النقاط التي ستستخدم مسبقاً، وذلك من خلال الحصول على وصفها التحليلي من الجهة المعنية.
- يمكن استخدام نقاط التحكم الموجودة فقط -بدرجة أعلى من تلك التي ستنشأ.
- عند استخدام نقاط التحكم الحالية يجب على المساحين صيانتها بشكل صحيح، وعدم تعريضها لأي إجراء يؤثر على استقرارها وديمومتها، وينبغي إبلاغ الجهات المختصة بأي تباين أو اختلاف في قيم إحداثياتها.

٢-٧ نقاط التحكم الأفقي:

هي مجموعة من النقاط التي تعرض عليها إحداثيات ثنائية الأبعاد (الشرق أو الشمال أو خطوط الطول والعرض) فيما يتعلق بالمرجع الإسنادي المحدد. نظراً لأنه ليس من المجدي أو الاقتصادي أن تكون جميع نقاط التحكم في الشبكة بأعلى دقة ممكنة، لذا تُستخدم مستويات مختلفة من الدقة.

بالنسبة لشبكات التحكم الأفقية المنشأة باستخدام محطات النقاط المتكاملة، فإن مواصفات الدقة فيما يتعلق بـ (أ) قياسات المسافات والزوايا، و (ب) الترتيب، موصوفة في الجدول (١-٧). في الترتيبات الدنيا، تنطبق مواصفات الجدول (٢-٧).

الجدول (١-٧) دقة التحكم الأفقي.

الترتيب	قياس المتبقي من المسافة المسموح به	قياس المتبقي من الزاوية المسموح به
الأولى	١:١٢٠٠٠٠	٢ بوصة
الثانية	١:٦٠٠٠٠	٤ بوصة
الثالثة	١:٣٠٠٠٠	٥ بوصة

٣-٧ معايرة الأدوات:

يجب معايرة معدات مسح محطات النقاط المتكاملة، واختبارها من وقت لآخر، وضبطها إذا لزم الأمر. تُطبق -أيضا- المتطلبات المتعلقة بمعايرة الأدوات المطروحة في الجزء (٤-٢) على جميع المعدات الطبوغرافية، في مسوحات محطات النقاط المتكاملة.

بالإضافة إلى ذلك يجب فحص جميع أجهزة قياس المسافة إلكترونياً باستمرار، وصيانتها بانتظام، ومعايرتها سنوياً -على الأقل- على خط أساسي دقيق؛ لتحديد ثابت الأداة، وعامل المقياس. يجب فحص ترددات أو اهتزازات أجهزة قياس المسافة إلكترونياً كل (٣) إلى (٤) أشهر.

قبل استخدام محطات النقاط المتكاملة يجب التأكد من جميع الزوايا والمحامل، وتسجيلها بالدرجات والدقائق والثواني، ويجب حساب جميع المحامل، والتعبير عنها في اتجاه عقارب الساعة من (صفر) إلى (٣٦٠) درجة.

٤-٧ العناية بالأدوات:

تعد أجهزة المسح -وخاصة أجهزة محطات النقاط المتكاملة، والمسح الأرضي بالليزر- أجهزة حساسة؛ بمعنى أنها في حال تعرضها لأدنى صدمة سيتأثر عملها بشدة، ولا يمكن إعادتها إلى حالتها الأصلية إلا بالرجوع إلى مركز الصيانة المتخصص؛ لذلك يجب استخدام أدوات المسح بعناية. علاوة على ذلك لا ينبغي تركها دون حماية خاصة لا سيما عند العمل في الطرق وفي المناطق ذات حركة المرور الكثيفة.

يجب الحيلولة دون سقوط أدوات المسح على الأرض، وحمايتها من التعرض للغبار، والحرارة الشديدة، والرطوبة الزائدة. فيما يلي قائمة بالموضوعات التي يجب مراعاتها وتجنبها عند استخدام محطات النقاط المتكاملة:

- ١- تجنب إجهاد الأداة -خاصة- عند إخراجها من صندوقها؛ فلا ينبغي حمل محطات النقاط المتكاملة من جهة المنظار أو ثلاثي الأطراف. بل يجب وضع اليد تحت القاعدة، ودعمها باستخدام اليد الأخرى.
- ٢- يجب أن تكون الأداة متصلة جيداً بالحامل ثلاثي القوائم، والتأكد من ذلك قبل تركها.
- ٣- تجنب ربط الجهاز بإحكام شديد بالحامل ثلاثي القوائم؛ لأن ذلك قد يتسبب في تلف براغي التثبيت. ومع ذلك يجب أن يكون مربوطاً جيداً به؛ لضمان عدم انفلات الأداة من الحامل.
- ٤- يجب إبعاد الجهاز عن الاهتزازات قدر الإمكان، سواء أثناء الاستخدام أو غيره.
- ٥- لا تستخدم القوة في التعامل مع الأداة؛ فقد يؤدي ذلك إلى كسر أحد محاورها.
- ٦- عند تحريك الجهاز لمسافة قصيرة يجب حمله رأسياً قدر الإمكان، مع وضعه على الكتف، وربط براغي الحركة الأفقية برفق؛ بحيث لا يتحرك أثناء حمله فمن السهل انكسار الجهاز إذا اصطدم بأي شيء وكانت البراغي مربوطة جيداً. وفي حالة تحريك الجهاز لمسافة كبيرة فمن الأفضل وضعه في صندوقه.
- ٧- يجب وضع مادة لامتصاص الرطوبة، وكذلك وضع نوع من مبيدات الجراثيم في صندوق الأدوات؛ للحماية من الرطوبة والبكتيريا والميكروبات.
- ٨- يجب استخدام مظلة أثناء العمل؛ لحماية الجهاز من حرارة الشمس، والمطر حيث إن التعرض للحرارة الناتجة عن الشمس يؤدي إلى تمدد أجزاء الأداة، ويقلل من دقتها.
- ٩- يجب أن تظل الأداة ثابتة أثناء تشغيلها؛ لذا يجب تثبيت أرجل الحامل ثلاثي القوائم في الأرض، وذلك وفقاً لطبيعة الأرض التي تستخدم عليها الأداة؛ فإذا كانت الأرض صخرية فيجب تثبيت الأرجل من خلال الشقوق في الصخور، وعند وضعها على رصيف مشاة من البلاط يجب تثبيت أرجل الحامل الثلاثي من خلال الفواصل.
- ١٠- إذا كانت الرياح شديدة وتؤثر على ثبات الجهاز؛ فيجب إيقاف العمل.
- ١١- لا يوجد سوى وضع واحد محدد للجهاز ليتم وضعه بنجاح داخل صندوقه. قد يتلف الجهاز في حال استعمال القوة أو الضغط عليه داخل الصندوق. وينبغي تجنب هذه الإجراءات؛ بسبب الطبيعة الحساسة والدقيقة لهذه الأجهزة.

٥-٧ ضبط الأداة:

تتطلب وسائل جمع البيانات بواسطة محطات النقاط المتكاملة فهم المبادئ الأساسية لهذا الجهاز والإلمام بعملية بدء تشغيله، وتحديد طرق قياس الزوايا الأفقية والرأسية، وكذلك كيفية قياس المسافات، ثم كيفية إجراء الحسابات اللازمة، واستخراج إحداثيات النقاط المرصودة. وتتضمن عملية تهيئة محطات النقاط المتكاملة على محطة جديدة ثلاث مراحل:

تمركز الأداة: هو وضع الجهاز بحيث يكون في مركز أو امتداد محوره الرأسي فوق مركز علامة المحطة المعنية بالضبط، وفي نفس الوقت يوضع في موضع أفقي -تقريباً- يحدده ميزان الجهاز. تستخدم العديد من أجهزة محطات النقاط المتكاملة المعاصرة مهبطاً ليزرياً؛ لتنفيذ المحور الرأسي. في حالات أخرى يعتمد تنفيذ التمركز على العين المجردة وعبر الهبوط البصري؛ لتحريك أرجل الحامل الثلاثي بحركات صغيرة حتى يتزامن تقاطع الغرزة العرضية في الهبوط البصري مع مركز نقطة المحطة.

ضبط الجهاز أفقيًا: إنها عملية وضع الأداة في وضع أفقي تمامًا، باستخدام براغي الضبط الثلاثة للوح ثلاثي الأطراف. تلخص الطريقة في الخطوات التالية:

- ١- يُفتح برغي الحركة الأفقية السريعة، ويدور الجهاز حتى يكون المحور الطولي للجهاز موازيًا للخط الذي يربط أي برغيين من براغي التسوية، ثم يدور هذان البرغيان في اتجاهين متعاكسين؛ إما للدخول أو للخارج بنفس المقدار؛ حتى يستقر الميزان الطولي في منتصف مساره.
- ٢- يتم تدوير الجهاز بزاوية (٩٠) درجة؛ بحيث يكون موضعه الحالي عموديًا على الموضع السابق، ثم يتم تدوير برغي التسوية الثالث للوح ثلاثي الأطراف بمفرده؛ حتى يستقر الميزان الطولي في منتصف مساره.
- ٣- تتكرر الخطوتان السابقتان حتى تستقر الفقاعة الطولية في منتصف مسارها، بغض النظر عن الاتجاه الذي تدور فيه الأداة. عندما تظل الفقاعة الطولية في منتصف مسارها في أي موضع للجهاز، نكون قد انتهينا من عملية ضبط أفقية الجهاز.

إعداد المنظار الخلفي: يتم ذلك من خلال رصد نقطة أخرى من موقع معروف مع الهدف. ينبغي تعديل التركيز على التلسكوب وينبغي إزالة "اختلاف المنظر" (parallax) عند توجيهه نحو الهدف، بطريقة تكون فيها صورة الهدف واضحة وتتوافق مع الغرزة المتقاطعة. يجب ضبط العدسة العينية؛ بحيث يكون تركيزها على مستوى الغرزة المتقاطعة أيضًا. سيؤدي أي عيب في الحصول على الصورة المطبقة على الغرزة المتقاطعة إلى أخطاء عالية بالجهاز. وباستكمال هذه العملية، تكون عملية التهيئة قد انتهت، وتكون الأداة جاهزة للرصد.

٦-٧ عمليات الملاحظة:

١-٦-٧ الزوايا:

هناك طريقتان لرصد الزوايا الأفقية:

١-١-٦-٧ طريقة الزوايا المنفردة:

في هذه الطريقة تُرصد كل زاوية على حدة، وبشكل مستقل عن الزاوية الأخرى، ثم تُستنتج القيمة النهائية لكل زاوية. وللقيام بذلك، يجب إجراء عمليتي رصد لكل زاوية. وتُعد هذه الطريقة واحدة من أكثر الطرق دقة لمراقبة الزوايا الأفقية، ولكن يعيبها ما تستغرقه من وقت طويل في عملية الرصد.

٢-١-٦-٧ الطريقة التراكمية:

هذه الطريقة أسرع، ولكنها أقل دقة من طريقة الزوايا المنفردة؛ لأن أي خطأ في إحدى الزوايا يؤثر على الزاوية التالية. تعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على اعتبار أن أحد الاتجاهات هو اتجاه الرصد الأساس، وتحتسب جميع الزوايا الأخرى بوصفها اختلافات في الرصد عن الرصد الأساس. عندما يكون عدد الزوايا المراد قياسها من محطة معينة مرتفعًا؛ يفضل استخدام هذه الطريقة؛ حيث إنها تمثل الحالة الفعلية في أعمال المسح، وتُعد الطريقة الأكثر شيوعًا من حيث الاستخدام.

٣-١-٦-٧ عمليات الملاحظة الزاوية لنقاط التحكم:

لإنشاء نقاط تحكم أفقية من الدرجة الأولى والثانية والثالثة، يجب مراعاة التعليمات التالية:

- يجب ملاحظة الزوايا الرأسية المباشرة والعكسية، بين الساعة التاسعة صباحًا والثالثة مساءً.
- لا ينبغي قياس الزاوية الأفقية أثناء النهار، بين الساعة العاشرة صباحًا والثانية بعد الظهر، في الأيام الصافية والحارة، ولا خلال نصف ساعة من شروق الشمس أو قبل غروبها.
- يجب رصد الزوايا على قوس كامل في موضعي التلسكوب (المباشر والعكسي)؛ لتجنب الخطأ الذي قد يحدث بسبب ميل المحور الرأسي للجهاز.
- يجب رصد الزوايا بنقاط بدء مختلفة على القرص الأفقي للجهاز؛ لتقليل الخطأ أو الحد منه في الدائرة الأفقية للجهاز. يمكن تقسيم الدائرة إلى قسمين أو ثلاثة أو أربعة أقسام وفقًا لعدد الأقواس المراد رصدها في كل مرة. في حالة الحاجة إلى قوسين فقط - يبدأ أحدهما بصفر، ثم (١٨٠) درجة. ولكن إذا كانت هناك حاجة لثلاثة، فسيبدأ أحدها بصفر، ثم (١٢٠) درجة، ثم (٢٤٠) درجة. في حالة الحاجة إلى أربعة أقواس، يجب أن يبدأ أحدها بصفر، ثم (٩٠) درجة، ثم (١٨٠) درجة، ثم (٢٧٠) درجة، وهكذا.
- يجب استخدام أجسام محددة ومضاءة بعناية؛ لرصد الزوايا النهارية والليلية.

٢-٦-٧ المسافات:

مثل أي أداة قياس أخرى تتعرض أجهزة قياس المسافة إلكترونياً -المستخدمة في محطات النقاط المتكاملة (وكذلك أي جهاز آخر لقياس المسافة إلكترونياً) - لأخطاء؛ تنتج عادة عن عدم دقة الأجهزة، وعدم الدقة في بيانات الطقس، واختلافات الارتفاعات، والجهاز،

وتحديد الموقع المستهدف، وغيرها. تُحدد هذه الأخطاء -عادة- من قبل الشركات المصنعة لمعدات المسح كقيمة ثابتة للجزء الثابت (C_1) وقيمة متغيرة للجزء المتغير (C_2) المعطى فيما يتعلق بالمسافة المقاسة الفعلية. وبالتالي، يتم التعبير عن الانحراف المعياري (S_d) لقياس المسافة (d) بالمعادلة التالية:

$$S_d = \pm (C_1 + C_2 \times d) \quad \text{المعادلة (٧-١)}$$

يلخص المتغير (C_1) (ثابت) الأخطاء المتعلقة بعدم دقة الأجهزة وتموضع الأجهزة والموقع المستهدف، بينما يتضمن (C_2) (عامل المقياس) الأخطاء الناتجة عن الظروف الجوية. عادة ما يتم توفير (C_2) في أجزاء في المليون (ppm). تهيم أخطاء حالة الطقس على الخطأ الكلي عند التعامل مع القياسات بعيدة المدى، بينما تهيم أخطاء تحديد الموضع على الخطأ الكلي فيما يتعلق بالقياسات القصيرة. ما لم ينص صراحة على خلاف ذلك، يجب الالتزام بالمتطلبات والمواصفات والمبادئ التوجيهية التالية المتعلقة بالمسافات لجميع ترتيبات نقاط التحكم الأفقية:

- يجب أخذ قياسات أجهزة قياس المسافة إلكترونياً وفقاً للإجراءات المحددة من قبل الشركة المصنعة. يجب قياس كلا الارتفاعين، فيما يتعلق بالجهاز والعاكس (الهدف)، في غضون ± 5 ملم، وتسجيلهما مع قياس المسافات.
- يجب تجنب قياسات المسافة خلال النهار بين العاشرة صباحاً والثانية مساءً في الأيام الصافية والحارة. وينطبق الشيء نفسه أيضاً -على مدة النصف ساعة التي تلي شروق الشمس أو تسبق غروب الشمس، بسبب التغيرات غير المنتظمة في الانكسار.
- تقيس جميع وسائل قياس المسافة إلكترونياً المسافات المائلة مباشرة، بينما يتم حساب قيم أخرى؛ مثل: الاختلافات الأفقية والرأسية بواسطة المسافات المقاسة والزوايا الرأسية (السمت). لإنشاء نقاط تحكم أفقية مع مسارات، من الضروري تحويل مسافة الميل أولاً إلى المستوى الأفقي، ثم إلى مستوى البحر، ثم إلى الإشارة إلى المرجع الجيوديسي. تُحسب بعد ذلك المسافة الأفقية وفقاً لترتيب المسح: أ) تتطلب المسوحات من الدرجة الأولى والثانية الحصول على مناسب نقاط التحكم (التي تم الحصول عليها عن طريق التسوية التفاضلية)، وكذلك منسوب الجهاز، والهدف، ب) قد تستخدم المسوحات ذات الرتبة الثالثة وما يليها الزوايا الرأسية بالإضافة إلى منسوب الجهاز والهدف.
- يجب تسجيل بيانات الأرصاد الجوية، أي: درجة الحرارة، والضغط، والرطوبة، في موضع الأداة في الدفتر الميداني. وفي المسارات من الدرجة الأولى، يجب إجراء رصد الزاوية، وقياس المسافة، وجمع بيانات الطقس على ارتفاع لا يقل عن (١,٥) متر فوق الأرض؛ لتجنب الاختلافات غير المتوقعة في درجة الحرارة.

٧-٧ التثليث:

هو الطريقة الرئيسية المستخدمة في مسوحات الرصد عن طريق محطات النقاط المتكاملة؛ لأنها فعالة للغاية، خاصة عند مسح مناطق واسعة. وقبل استحداث تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع / النظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية، كانت الطريقة الرئيسية لإنشاء شبكات المراقبة على مستوى الدول أو البلدان. تعتمد الطريقة تاريخياً على إنشاء شبكة من المثلثات المترابطة؛ حيث تُقاس جميع الزوايا الداخلية لكل مثلث مباشرة على الأرض، مع قياس طول أحد أضلاع أحد المثلثات بدقة، وتسميته بالخط الأساس؛ وباستخدام خط القاعدة المقاس والزوايا الملحوظة يمكن حساب أطوال أضلاع جميع المثلثات.

يتطلب التثليث بدء المسح من نقطتين -على الأقل- للإحداثيات المعروفة والمرئية لبعضها البعض؛ لتحديد السمت، وقياس الخط الأساس. تتطلب عملية التثليث -أيضاً- قياس جميع زوايا كل مثلث في الشبكة، بينما من الممكن نظرياً قياس زاويتين فقط واستنتاج الزاوية الثالثة رياضياً؛ حيث يتم إدخال عمليات الرصد الإضافية هذه وتنشأ الحاجة إلى الضبط.

على نحو مماثل لاستخدام الزوايا يمكن استخدام قياسات المسافة لتحديد الشكل الهندسي للمثلث، باستخدام عملية تسمى (التثليث بالمسافات). والتثليث بالمسافات هو عملية تحديد موقع نقطة من خلال تشكيل مثلثات إلى النقطة من النقاط المعروفة التي تتضمن قياسات الزاوية فقط -عند النقاط المعروفة. توسع قدرة محطات النقاط المتكاملة الحديث على قياس الزوايا والمسافات الأفقية مفهوم التثليث بالزوايا، والتثليث بالمسافات الذي يجمع بينهما، مع طريقة ضبط المربعات الصغرى.

وقد تراجعت أهمية عمليات التثليث تراجعاً كبيراً على مر السنين التي أعقبت الأخذ بأساليب النظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية. ومع ذلك لا تزال طريقة فعالة، ينبغي استخدامها في مناطق محدودة، بدلا من النظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

٨-٧ طريقة المضلعات (الترافرس):

هي طريقة تستخدم في مجال المسح؛ لإنشاء شبكات تحكم، من خلال وضع محطات المسح على طول خط أو مسار التنقل، ثم استخدام النقاط التي مُسحت سابقاً بوصفها قاعدة للتحكم في النقطة التالية. ينبغي إتباع إنشاء مضلعات (الترافرس) في الطبيعة الخطوات التالية:

- استكشاف ووضع رسم تخطيطي عام للمنطقة.
- اختيار وتحديد نقاط المضلعات/الترافرس (محطات) في الطبيعة.
- إعداد بطاقات وصف لكل محطة.
- قياس الزوايا الداخلية أو الخارجية للترافرس، بالإضافة إلى أطوال الأضلاع.
- تحديد سمت جانب الترافرس.
- حساب البيانات وضبطها.

الجدول (٧-٢) والتعليمات أدناه توفر المتطلبات والإرشادات؛ لإنشاء نقاط تحكم أفقية مع الترافرس. لتحقيق المعايير والمواصفات المحددة في هذا الجدول يجب اتباع إجراءات محددة كافية، سواء كانت تتعلق بالشكل الهندسي، أو المعدات والأجهزة، أو الإجراءات الميدانية ومعالجة البيانات. ما لم ينص صراحة على خلاف ذلك، يجب الالتزام بالمواصفات والإرشادات التالية لجميع درجات نقاط التعديل الأفقية باستخدام تقنيات الترافرس (MoMRAH, 2005):

- ١- تُختار جوانب الأضلاع بحيث تكون قريبة من الخطوط المستقيمة بين المحطات الطرفية، مع زاوية انحراف لا تتجاوز ٥٠ درجة.
- ٢- يجب أن تكون أطوال جوانب الأضلاع دائماً قريبة من بعضها بعض ضمن عامل (١: ٣).
- ٣- يجب أن تكون جميع الأطوال الجانبية للمحطة ضمن مسافة (D/4) حيث D هي المسافة بين المحطة الأولى واتجاهها.
- ٤- الكابول أو اللقطات الجانبية غير مسموح بها.
- ٥- يجب بذل كل جهد ممكن لإنشاء ممرات متقاطعة؛ من أجل تعزيز الضعف الذاتي لتقنية الترافرس، ولاستخدامها في ضبط المربعات الصغرى.
- ٦- يُضبط اتجاه واحد -على الأقل- من جوانب الترافرس، باستخدام نقاط تحكم محددة بالفعل.

الجدول (٧-٢) متطلبات التعديل الأفقي بطريقة المضلعات/الترافرس (MoMRAH, 2005).

الترتيب		الخصائص والسمات
الخامسة	الرابعة	
١:٥٠٠٠	١:١٠٠٠٠	الدقة النسبية
هندسة الشبكة (الجيومترية)		
١٠	٢٠	أطول مسافة للمرور بين نقطتين معينتين (كم)
٢٠	١٨	الحد الأقصى لعدد الأضلاع
٢	٢	أقل عدد من النقاط التي يجب التركيز عليها
مواصفات الأجهزة		
٦	٣	أدنى قراءة لأجهزة قراءة الزوايا (درجة ثانية)
العمل الميداني		
الإرشادات		
٢	٣	الحد الأدنى لعدد اللقطات
٤	٢,٥	الحد الأقصى للخطأ المعياري (بالتواني)



الترتيب		الخصائص والسمات
الخامسة	الرابعة	
١:٥٠٠٠	١:١٠٠٠٠	الدقة النسبية
٨	٦	الحد الأقصى للفرق عن المتوسط (بالتواني)
الزوايا الرأسية العكسية المطلوبة لتقليل المسافة المائلة		
٢	٢	عدد الملاحظات
١٠	١٠	أقصى فرق بين الملاحظات (بالتواني)
$50 \times l\sqrt{n}$	$50 \times l\sqrt{n}$	الحد الأقصى للفرق بين الملاحظات (بالتواني): الحد الأقصى لخطأ إغلاق الخط (مم) = متوسط طول المسافة n = عدد الأضلاع الترافرس
المسافات		
٥ ملم فما فوق ٥ جزء / مليون	٥ ملم فما فوق ٥ جزء /ليون	دقة الجهاز نيا
أقصى فرق بين القراءات (مم)		
١٠	١٠	قياس المسافة إلكترونياً
من ١ إلى ٣٠٠٠٠	من ١ إلى ٦٠,٠٠٠	الحد الأدنى من الدقة النسبية
العمل المكتبي		
$12 \times \sqrt{n}$	$24 \times \sqrt{n}$	الحد الأقصى لخطأ الإغلاق الزاوي (بالتواني) n = عدد التهيئات
$0.54 \times \sqrt{q}$	$0.3 \times \sqrt{q}$	الحد الأقصى لخطأ الإغلاق الموضعي (متر) q = المسافة (كم)

٩-٧ الضبط:

تستخدم جميع الطرق المستخدمة لضبط القياسات مفهوم (خطأ الإغلاق) أي: الفرق بين ما يُقاس في إغلاق جانب المضلع والإحداثيات المعروفة للنقطة الفعلية، وهي قيمة تُستخدم كأساس للضبط.

هناك عدة خطوات لحساب النتائج لجانب طريقة المضلعات (الترافرس) وضبط خطأ الإغلاق الزاوي، وهي حساب الاتجاه في وضع البداية، والحصول على قيم الزوايا المتوسطة الملحوظة، وحساب خطأ الإغلاق في اتجاه النهاية. يلي ذلك مرحلة التصحيح؛ بالنظر إلى أن خطأ الإغلاق يقع ضمن الحدود المسموح بها، يُوزع خطأ الإغلاق بالتساوي على محطات المضلع مع إشارة تصحيح مقابلة للعلامة المحسوبة. بعد تصحيح الزوايا، التي يساوي مجموعها المجموع النظري للشكل الهندسي للمضلع؛ يتم اتباع منهجية مماثلة فيما يتعلق بخطأ الإغلاق في الإحداثيات؛ مما يؤدي إلى توزيع خطأ خطي بين جوانب المضلع.

عند استخدام التثليث، يُستخدم المفهوم البسيط لمجموع زوايا المثلث لضبط القياسات. يتميز المثلث المستوي بالعلاقة الهندسية المعروفة جيداً، وهي أن مجموع زواياه الداخلية يبلغ (١٨٠) درجة. تُستخدم هذه العلاقة لضبط المثلث، وهناك حالتان:

- إذا كانت الملاحظات متساوية في الأوزان؛ في هذه الحالة يُضبط المثلث (أي: إيجاد القيمة الأكثر احتمالاً لزواياه الداخلية) من خلال توزيع خطأ الإغلاق بالتساوي على الزوايا الداخلية. إذن مجموعها يساوي (١٨٠) درجة بالضبط.



- بالنظر إلى أن الملاحظات لها وزن مختلف؛ يُضبط المثلث من خلال تصحيح زواياه الملحوظة بكمية تتناسب عكسيًا مع وزن الزاوية. هذه هي الحالة الفعلية عندما تتكرر عمليات رصد الزاوية عدة مرات، ولكن في أوقات مختلفة على كل زاوية مثلثة، أو عند استخدام أدوات مختلفة لكل رصد.

وتنبغي الإشارة هنا -أيضًا- إلى أنه في حالة المثلث القائم الزاوية يُغير سطح الأرض شكل المثلث، ويصبح مجموع زواياه الداخلية أكثر بقليل من (١٨٠) درجة. وهذا ما يسمى (الزيادة الكروية)، وهي زيادة طفيفة جدًا، حوالي ثانية لمثلث يبلغ حوالي (١٢٥) كم^٢، ولأن مسح المراقبة عن طريق محطات النقاط الإجمالية لمشروع الطريق ينطبق فقط على مناطق محدودة، فإن معظم المثلثات التي يراقبها المساحون تُعد مسطحة ويمكن تجاهل الزيادة الكروية فيها.

يمكن حساب جميع الطرق المستخدمة في التحكم الأفقي، المسح المثلثي، التثليث بالمسافات، طريقة المضلعات (الترافرس) باستخدام ضبط المربعات الصغرى. والمربعات الصغرى هي أفضل طريقة ضبط؛ لأنها تأخذ في الاعتبار -في نفس الوقت- جميع العوامل التي تؤثر على القياسات وتحد منها؛ مما يؤدي إلى القيمة الأكثر احتمالاً، وتكون متسقة -أيضاً- مع نظرية الاحتمال. علاوة على ذلك عندما تترايط الترافرس المتعددة لتشكيل شبكة يجب تعديل النقاط المشتركة بين مضلعين أو أكثر مع الأخذ في الاعتبار كلا المضلعين، وهو أمر لا يمكن القيام به باستخدام حساب الترافرس التقليدية. وأخيراً فإن الطرق البسيطة الموصوفة مسبقاً لضبط الترافرس والملاحظات المثلثة هي في الأساس شكل بسيط لضبط المربعات الصغرى.

توفر محطات النقاط المتكاملة الحديثة، وبرامج المسح النسبي القدرة على ضبط بيانات المحطات؛ لتوفير مواقع النقاط النهائية بغض النظر عن شكل الشبكة التي تشكلها الملاحظات الفعلية، وباستخدام المربعات الصغرى.

تتطبق القواعد التالية على ضبط التحكم الأفقي:

- يجب أن تُستخدم طريقة ضبط أقل المربعات؛ لضبط شبكات التحكم الأفقي.
- يجب أن تحسب أوزان مقاييس المسافة وفقاً لقيم الانحراف المعياري المعطاة بالصيغة الواردة في الجزء الفرعي (٧-٦).
- يجب حساب الأوزان المتعلقة بملاحظات الزوايا / الاتجاهات، وفقاً لقيم دقة الزاوية الأفقية المقدمة لكل محطة نقاط متكاملة، وفقاً لبائعها.
- يجب أن يكون إجراء اختبار مربع كاي (Chi-squared test)، المستخدم لتحديد ما إذا كان هناك فرق ذو دلالة إحصائية بين الانحرافات المتوقعة والملاحظات الفعلية لقبول نتائج الضبط.

٨- التحكم الرأسي (التسوية):

٨-١ نقاط التحكم الرأسي:

يشير التحكم الرأسي إلى الإجراءات التي تحدد القيم الدقيقة للمنسوب، أو الارتفاعات في نقاط التحكم الرأسية، و يُشار إليها عادةً باسم "النقاط المرجعية" (benchmarks). تُوفر مناسيب النقاط المرجعية بالنسبة للمرجع الإسنادي، وعادة ما يكون متوسط مستوى سطح البحر، الذي يتم التعبير عنه -أيضاً- بواسطة النموذج الجيوديسي. وتُوضع نقاط التحكم الرأسية في مواقع قريبة من بعضها بعض، وعادة ما تكون على طول السكك الحديدية والطرق وما إلى ذلك. وينفذ المرجع الإسنادي الرأسي في المملكة العربية السعودية بواسطة الإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية (KSA-VRF14)، والنموذج الجغرافي المعني (KSA-GEOID21).

يُنشأ التحكم الرأسي مع التسوية. ونطاق التسوية هو قياس أو التحقق من ارتفاع النقاط المحددة بالنسبة إلى المرجع الإسنادي. ويستخدم عادة في الجيوديسيا ورسم الخرائط، لقياس الارتفاع الجيوديسي، وفي الإنشاء، لقياس اختلافات ارتفاعات سمات الإنشاء. يُعرف -أيضاً- باسم (التسوية المباشرة التفاضلية)، ويقاس المسافات الرأسية مباشرة على شاخص متدرج، أو قامة التسوية، باستخدام أداة تسوية؛ مثل: مسواة قياس ارتفاعات الطرق (dumpy level) أو الميزانية (Tranist) أو أجهزة "الثيودولايت" (theodolites) لقياس الزوايا. تُنشأ خطوط رؤية مختلفة أثناء التسوية التفاضلية. الارتفاع المعياري المعروف، والنقطة غير المحددة بارتفاع غير معروف، هي بقع القراءتين على طول خط الرؤية. للحصول على ارتفاع النقطة غير المعروفة؛ يحدد طرح هاتين القراءتين فرق الارتفاع غير المعروف.

ومن بين المواقع المناسبة لإيجاد النقاط المرجعية: السرادقات، وجدران أرصفة العبّارات البحرية، والجسور البارزة، ومداخل المباني ذات الأعمدة، والجدران الحدودية. والنقاط المرجعية لها سطح مستو؛ بحيث لا تتغير قاعدة قامة التسوية عند توجيهها أو تحويلها.

يمكن -أيضاً- تحديد الفرق في الارتفاع بين نقطتين بشكل مثلي، باستخدام زوايا رأسية (سمتية)، ومسافات أفقية أو مائلة، باستخدام طريقة تسمى الارتفاع المثلي، ومع ذلك، فهذه الطريقة غير مناسبة لعمليات مسح التحكم الأعلى درجة.

يجب استخدام التسوية التفاضلية لدقة الترتيب الأول والثاني، وباستخدام معدات وممارسات المسح المناسبة. يجب توفير الارتفاعات في الترتيب الثالث عن طريق التسوية التفاضلية والارتفاع المثلي. يجب توفير الدقة في الترتيب الرابع وما يليه عن طريق التسوية التفاضلية أو الارتفاع المثلي، أو عن طريق النظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية (الأبواب من ١٠ إلى ١٢).

٨-٢ المعدات:

يتم إجراء التسوية التفاضلية باستخدام أدوات التسوية؛ وهي أداة بصرية تُستخدم لتحديد أو تأكيد النقاط في نفس المستوى الأفقي. وتُستخدم -أيضاً- لتحديد الارتفاعات النسبية للأجسام أو العلامات عند استخدامها مع قامة تسوية. غالباً ما تُستخدم في البناء والمسح؛ لنقل، وقياس، وتعيين ارتفاعات السمات أو العلامات المعروفة جيداً.

يجب توفير دقة المستويات المستخدمة في مسوحات الرصد -بغض النظر عن ترتيب المسح- دقة لا تقل عن (١,٥) ملم لكل كيلومتر من التسوية المزدوجة. يجب إجراء الارتفاع المثلي باستخدام محطة نقاط متكاملة نموذجية.

يجب إجراء التسوية باستخدام مستويات تلقائية دقيقة وقامات التسوية الدقيقة المدرجة إلى ١ سم أو أقل. يجب استخدام أدوات التسوية الإلكترونية الرقمية والقامات المناسبة ذات الرموز الشريطية لزيادة الدقة والمساعدة في الكشف عن أخطاء القراء والتسجيل وتجنبها. في حالة استخدام مستويات عادية (غير رقمية)، تطبق متطلبات إضافية خاصة، كما هو موضح في الأجزاء التالية.

٨-٢-١ معايرة الأجهزة:

يجب معايرة أجهزة التسوية، واختبارها من وقت لآخر، وضبطها إذا لزم الأمر. بالإضافة إلى المتطلبات العامة المتعلقة بمعايرة الأجهزة في الجزء (٤-٢)، يجب أن تمتلك أجهزة التسوية لما يلي:

- ١- يجب فحص خطأ توجيه النظر (الإيزاء/collimation) في جميع أجهزة التسوية قبل المراقبة الميدانية، ويجب ضبطها كلما لزم الأمر.
- ٢- يجب إجراء ما يسمى اختبار الموازنة (Peg Test) مرة واحدة على الأقل في الأسبوع، واستخدامه لتصحيح البيانات التي جُمعت وفقاً لنتائج الاختبار إذا لزم الأمر.

٨-٢-٢ العناية بالأجهزة:

نظراً لأن أجهزة التسوية حساسة ودقيقة؛ فإن القواعد المتعلقة بالعناية بأجهزة محطات النقاط المتكاملة في الجزء (٧-٤) تنطبق -أيضاً- هنا.

٨-٣ التسوية التفاضلية:

تُنشأ معظم نقاط التحكم الرأسية باستخدام التسوية التفاضلية؛ حيث يتم قياس فروق الارتفاع في أجزاء صغيرة متصلة من خلال الترافرس للتسوية. ثم تُجمع الأجزاء معاً؛ لتحديد إجمالي فروق الارتفاع بين النقاط المعنية. يحدد الجدول (٨-١) متطلبات نقاط التحكم الرأسية المحددة بواسطة طريقة التسوية التفاضلية. وبالإضافة إلى ذلك ينبغي مراعاة الإجراءات التالية:

- ١- يجب أن تبدأ وتنتهي الترافرس للتسوية عند إنشاء النقاط عند نفس درجة الدقة أو أعلى.
- ٢- يجب أن تكون مسافات الرؤية الخلفية والأمامية متوازنة. يساعد وضع الجهاز في منتصف المسافة بين نقاط القراءة الأمامية والخلفية على التخلص من الخطأ، الناتج عن انكسار الأشعة -بسبب المرور عبر طبقات الهواء ذات الكثافة المختلفة- والخطأ الناتج عن انحناء سطح الأرض، والخطأ الناتج عن الإيزاء بين الفقاعة الأفقية والمحور الأفقي الصحيح للأداة.
- ٣- يجب أن تكون مواقع أجهزة الرؤية الخلفية والأمامية والتسوية في مواقع قريبة من خط مستقيم.
- ٤- يجب إجراء عمليات رصد التسوية بين الساعة التاسعة صباحاً والثالثة مساءً.
- ٥- يجب وضع أداة التسوية أثناء عملية التسوية على قاعدة أو أرضية صلبة، وفي المناطق الرخوة يجب استخدام قامة التسوية بالبراغي كلما أمكن ذلك. وفي حالة التربة الرملية يجب استخدام الشاخص الخشبي ذي البرغي كنقطة تحول. أما بالنسبة للأسطح الخرسانية أو الصلبة فيجب استخدام قاعدة صلبة مسطحة.
- ٦- يجب أن تكون النقاط، التي يُقاس ارتفاعها في نهاية العمل اليومي محددة جيداً، وفي مواقع ثابتة؛ حيث تُستخدم عند الانتهاء من العمل في أي وقت لاحق.
- ٧- ولابد من إعداد النقاط المرجعية التي حددت حديثاً قبل عدة أسابيع من أول تسوية للخط؛ وذلك لإعطائها الوقت الكافي لتحقيق الاستقرار والتوطيد والثبات.

الجدول (٨-١) متطلبات التحكم الرأسي (التسوية) (MoMRAH, 2005).

الترتيب					السمات
الخامس	الرابع	الثالث	الثاني	الأول	
$50\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$12\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$	الدقة. الحد الأقصى للإغلاق لكل خط (مم) $L =$ الطول الأفقي للمضلع (كم)
هندسة الشبكة					
٣٠	٤٠	٥٠	١٠٠	٣٠٠	أقصى طول مستقل بين النقاط المرجعية (كم)
٢	٣	٤	٥	٦	الفجوة القصوى بين النقاط المرجعية (كم)
٢	٢	٢	٢	٢	أطول مسافة لكل جزء (كم)
٢	٢	٢	٢	٣	الحد الأدنى لعدد النقاط المرجعية ذات الترتيب المتساوي أو الأعلى التي يجب الالتزام بها
معايرة الأدوات					
ISS قضبان خشبية	IDS / ISS	IDS	IDS	IDS	نوع المقياس المستخدم: شبكة مزدوجة المقطع (IDS) شبكة ذات مقطع واحد (ISS)
٠,١٠	٠,١٠	٠,١٠	٠,١٠	٠,١٠	قراءة أصغر ارتفاع (مم)
٠,١٥	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٥	٠,٠٥	الحد الأقصى لخطأ خط الرؤية لكل لقطة (مم/م)
الإجراءات الميدانية					



الترتيب					السمات
الخامس	الرابع	الثالث	الثاني	الأول	
M / W-3	M / W-3	D	D	D	طريقة الرصد الأدنى D = المستوى الرقمي M = ميكروميتر W-3 = ثلاث أنابيب شعرية
SR/ DR	DR/ SRDR	DR/ SRD R	DR/ SRDR	DR/ SRDR	مسارات العمل DR = مزدوج SR = فردي SRDS = مزدوج وفردي في نفس الوقت
١٠٠	٩٠	٨٠	٧٠	٥٠	أطول مسافة تصوير (متر)
١٠	٨	٦	٤	٢	أكبر فرق في المسافة بين القراءات الأمامية والخلفية لكل موضع (متر)
٠,٥	٠,٥	٠,٥	٠,٥	٠,٥	الحد الأدنى لارتفاع خط الرؤية عن الأرض (م)
٣	٢	-	-	-	أكبر فرق بين الأنابيب الشعرية العلوية والأنابيب الشعرية السفلية في قراءة الأنابيب الشعرية الثلاثة (مم)
		٠,٧	٠,٤	٠,٣	أقصى فرق بين أعلى وأدنى قياس فرق الارتفاع لكل عمود (مم)
عمل مكتبي					
$35\sqrt{L}$	$16\sqrt{L}$	$9\sqrt{L}$	$6\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$	الإغلاق بين الخلف والأمام (مم) L = الطول الأفقي للمضلع (كم)
$50\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$12\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$	الحد الأقصى لخطأ الإغلاق لكل مضلع أو حلقة (مم) L = الطول الأفقي للمضلع أو إجمالي طول الحلقة (كم)

يمكن تلخيص بعض الملاحظات العامة حول عمل التسوية في النقاط التالية:

- ١- يجب أن تبدأ عملية التسوية دائماً -وتنتهي بقراءة على علامة مستوى ثابت (نقطة مرجعية).
- ٢- يجب التحقق من دقة قامة التسوية قبل الاستخدام، خاصة بالقرب من الوصلات في حالة القامة متعددة القطع. يجب -أيضاً- التحقق مما إذا كانت قامات التسوية مقلوبة أو مستقيمة.
- ٣- يجب فحص وضبط جهاز التسوية، وفقاعة التسوية المعنية، قبل بدء عملية قياس الارتفاع.
- ٤- يجب أن تكون فقاعة التسوية في منتصفها عند مراقبة الارتفاع أو أخذ القراءة في كل نقطة متضمنة في عملية التسوية؛ لذلك يجب إجراء فحص وضع فقاعة التسوية قبل وبعد أخذ القراءة.
- ٥- يجب ألا تتجاوز المسافة بين جهاز المستوى وموظفي التسوية ١٠٠ و ٥٠ متراً، في أعمال التسوية العادية والدقيقة، على التوالي (انظر أيضاً الجدول ٨-١).
- ٦- يجب تثبيت قامة التسوية رأسياً، ويجب تطبيق صورة الأنابيب الشعرية على صورة القامة -تماماً- بحيث يجب ألا يكون هناك اهتزاز في صورة الأنابيب الشعرية عند تحريك العين.
- ٧- يجب اختيار نقاط النقل لتكون في مواقع مسطحة ومستقرة وصلبة. ويجب تثبيت موضع قامة التسوية عند نقاط الانعطاف؛ بحيث لا ينخفض أو يرتفع عند تدويره لمواجهة الجهاز في موقعه الجديد.
- ٨- يجب ألا تواجه العدسة الشمس؛ لأنه من الصعب رصد القراءات.

- ٩- ينبغي عدم تحريك الجهاز إلا بعد أخذ قراءة أمامية (عند نقطة تحول أو نقطة نهاية المشروع)، لا ينبغي تحريك جسم المساح إلا بعد أخذ قراءة خلفية (علامة مستوى ثابت أو نقطة تحول).
- ١٠- في أوقات الحر الشديد، يجب وضع مظلة على الجهاز لحمايته من الحرارة، وفي ظل هذه الظروف لا تؤخذ القراءات المتعلقة بقامة التسوية على مسافات طويلة، ولا ينبغي أن تزيد عن (٠,٥) متر؛ للحد من تأثير انكسار الأشعة؛ إذ تؤثر حرارة الشمس على تدرجات الشاخص، وفقاعة التسوية، وانحناء سطح أنبوب التسوية الذي يغطي ويحتوي على الفقاعة.
- ١١- لتجنب تراكم قطرات الماء على الهدف عند هطول الأمطار؛ يفضل عدم القيام بأعمال التسوية في مثل هذه الظروف. إذا كان من الضروري العمل في الطقس الممطر؛ فيجب حماية العدسات بحواجز أو أدوات وقائية أخرى ويجب وضع مظلة على الجهاز لتحقيق الوضوح في عملية المراقبة.
- ١٢- يجب أن يكون الرسم التخطيطي الذي يوضح علامة التوزيع واضحًا ودقيقًا.
- ١٣- يجب استخدام الأدوات التالية إلى جانب جهاز التسوية وقامة التسوية: شريط لاصق، أعمدة، مظلات، براغي، أوتاد، قضبان حديدية قصيرة، زوايا حديدية، مطارق، طلاء، طباشير ملون، أدوات رسم بسيطة، أقلام، آلة حاسبة إلكترونية.
- ١٤- يجب ألا تأخذ الحسابات في أعمال التسوية العادية والمسافات المحدودة في الاعتبار انحناء الأرض وانكسار الأشعة؛ بسبب التأثير الطفيف في النتيجة النهائية.
- ١٥- تُجهز بعض أجهزة التسوية بدائرة لقياس الزوايا الأفقية؛ مما يساعد على تحديد مواقع نقاط المستوى. علاوة على ذلك ترمز الأنابيب الشعرية المدرجة إلى قياس المسافات (عن طريق ضرب الفرق بين قراءات الأنابيب الشعرية المدرجة العلوية والسفلية بثابت محدد يتبع نوع الجهاز). بالنظر إلى: هذه المعلومات، وإحداثيات النقطة والرؤية الخلفية المعروفة؛ يمكن تحديد نقطة وضع القامة. ومع ذلك فإن الدقة منخفضة عند مقارنتها بدقة محطات النقاط المتكاملة؛ لذلك، ينبغي تجنب هذا الاستخدام.

كما ذكرنا سابقًا يجب تفضيل المستويات الإلكترونية (الرقمية) لأعمال التسوية عالية الدقة. أما عند استخدام مستويات غير رقمية بسيطة؛ فيجب اتباع التعليمات التالية:

- ١- يجب استخدام دفتر ملاحظات مناسب لأعمال التسوية؛ لتسجيل أرقام النقاط، والقراءات المختلفة؛ على سبيل المثال: الارتفاعات والمسافات الأفقية؛ إذ يُسهل هذا الدفتر عملية الكتابة، ويساعد على تجنب الأخطاء الكتابية إلى حد كبير، ويُعد -أيضًا- سجلًا يمكن الاحتفاظ به في المستقبل؛ لأغراض مراجعة الحسابات، وللاستخدام الملاحظات الميدانية.
- ٢- يجب التأكد من صحة علامات المستوى الثابت.
- ٣- يجب توخي الحذر عند كتابة القراءات المختلفة في أماكنها الصحيحة، والتأكد من صحتها.
- ٤- القراءة الأولى -التي يجب إدخالها في جدول التسوية- هي قراءة خلفية، والقراءة الأخيرة هي قراءة أمامية.
- ٥- يجب إجراء قراءات الشاخص باستخدام إحدى الطريقتين البديلتين: (أ) قراءة متوسط الأنابيب الشعرية الوسطى، و (ب) قراءة متوسط الأنابيب الشعرية الثلاثة.
- ٦- تحتوي معظم أجهزة التسوية على شعيرة واحدة أفقية أساسية، وشعيرتين أفقيتين إضافيتين (الشعيرات المدرجة)، تُوفر لتقدير المسافة بين الجهاز والقامة؛ لذلك ينبغي الاهتمام باختيار الشعيرات الوسطى.
- ٧- إذا لم يكن المستخدم من ذوي الخبرة؛ يُنصح بأخذ القراءات في جميع الشعيرات الثلاثة. وعلى سبيل التحقق؛ يجب أن يكون الفرق بين القراءات العليا والمتوسطة مساويًا للاختلاف بين القراءتين المتوسطة والسفلية.

٨-٤ التسوية عالية الدقة:

في أعمال التسوية التي تتطلب دقة عالية (الدرجة الأولى والثانية)، يجب مراعاة التعليمات والمتطلبات الإضافية التالية (MoMRAH, 2005):

- ١- يجب استخدام المستويات الرقمية الإلكترونية فقط.
- ٢- يجب ضبط جهاز التسوية يوميًا.
- ٣- يجب استخدام خاصية ضبط المربعات الصغرى لتوزيع الأخطاء المسموح بها.
- ٤- يجب فحص الفقاعة المستخدمة في الرصد وتدرجاتها.
- ٥- يجب فحص الفقاعة باستمرار عند أخذ القراءات.
- ٦- يجب مراعاة الأخطاء الناتجة عن انحناء الأرض وانكسار الأشعة في جميع الحسابات.
- ٧- يجب ألا تتجاوز المسافة بين جهاز التسوية والقامة ٥٠ مترًا.
- ٨- يجب حماية جهاز التسوية من تأثيرات الشمس ومن الرياح؛ باستخدام مظلة، وتجنب قراءة أقل من نصف متر على الارتفاع؛ لتجنب تأثير وهج الأرض، وانكسار الأشعة قدر الإمكان.
- ٩- يجب دائمًا تثبيت قامة التسوية على قاعدة مثlette فولاذية، أو على أي قاعدة صلبة مسطحة مناسبة أخرى.
- ١٠- يجب استخدام قامات التسوية ذات الجودة العالية، التي تقاوم التغيرات في درجة الحرارة والرطوبة.
- ١١- لا يوصى بتنفيذ أعمال التسوية الدقيقة في أيام الرياح القوية؛ لأن هذه الرياح تسبب اهتزازات في الجسم والمعدات. وفي حالات الطوارئ يوصى بحماية الجهاز، واستخدام مقياس قصير، بالإضافة إلى أخذ القراءات من مسافات قصيرة.

٨-٥ ضبط البيانات الرأسية:

تتسم عملية إجراء التسوية بحقيقة أن تأثير معظم الأخطاء المنهجية والعشوائية يتناسب طرديًا مع طول خط التسوية. ومن ثم يمكن تفادي الأخطاء المنهجية في التسوية من خلال وضع جهاز التسوية في منتصف المسافة بين النقطتين؛ (بحيث تكون مسافة القراءة الأمامية مساوية لمسافة القراءة الخلفية). ويمكن تفادي الأخطاء العشوائية في التسوية من خلال ضبط ارتفاعات القياس، وذلك ببدء التسوية من نقطة مرجعية معروفة، وقياس الاختلافات في الارتفاع، والقرب من نقطة مرجعية أخرى أو نفس رقم الارتفاع، ثم تكتمل حلقة التسوية المذكورة. من خلال إغلاق حلقة التسوية، يمكن تحديد الفرق، أي الخطأ في الإغلاق بين ما يتم حسابه في الإغلاق والارتفاع القياسي المعروف. يكون هذا الخطأ في الإغلاق أساسًا لضبط الخط العرضي للتسوية، وإذا كان هذا الخطأ ضمن مدى الخطأ المسموح به (الجدول ٨-١)، يجب ضبط الخط العرضي للتسوية.

ويكون ضبط خط الضبط الفردي من خلال توزيع خطأ الإغلاق؛ إما على الاختلافات في الارتفاعات المرصودة (بما يتناسب مع طول كل جانب إلى مجموع الجوانب على طول خط الضبط)، أو على الارتفاعات المحسوبة لكل نقطة (بطريقة تتناسب مع المسافة التراكمية للنقطة). ولتسهيل عملية الحساب، نوجد ما يسمى بعامل التصحيح (م)؛ بقسمة مقدار خطأ الإغلاق في مقابل علامته الجبرية على المسافة الإجمالية للخط.

$$\text{المعادلة (٨-١)} \quad \text{خطأ الإغلاق} = \text{عامل التصحيح (م)} \times \text{المسافة الإجمالية}$$

يُضبط فرق الارتفاع لكل نقطة بضرب عامل التصحيح في المسافة الجزئية لتلك النقطة. لاحظ -أيضا- أن عامل التصحيح يكون موجبا إذا كان خطأ الإغلاق سالبا، على الرغم من أنه يتحول إلى سالب إذا كان الخطأ موجبا.

في حين يمكن تطبيق هذا النهج التبسيطي في الخطوط العرضية للتسوية الفردية، والخطوط العرضية المتداخلة مع نقاط التقاطع المشتركة، التي تتطلب حسابات أكثر تعقيدا. في هذه الحالة يجب ضبط الخطوط العرضية للتسوية في الوقت ذاته، باستخدام ضبط أقل المربعات، بمساعدة الأوزان النسبية لكل جانب تسوية، التي تُحدد عكسيا بما يتناسب مع طول الضلع.

يجب مراعاة أن تكون آثار خطأ المُسامطة في أجهزة التسوية ضمن الحدود الدنيا، وذلك من خلال الإجراءات الميدانية الموضحة في الأقسام السابقة، وتحقيق التوازن بين أطوال الرؤية الأمامية والخلفية واستخدام أجهزة الاتزان الجيد (NOAA, NGS, 1982)؛ ومع ذلك إذا لم يصل خطأ المُسامطة إلى صفر، يُضاف عامل تصحيح مع العلامة الجبرية الناتجة للفرق في الارتفاع باستخدام الصيغة التالية:

$$\text{المعادلة (٨-٢)} \quad C_c = -(e \times SDS)$$

حيث " C_c " هي قيمة تصحيح مسامتة المستوى بالمليمترات، و " e " معامل خطأ المسامتة بالمليمتر/م، و " SDS " هي مقادير الفرق الكلي في أطوال الرؤية للقطاع المعبر عنها بالامتار.

لتحقيق الحد الأدنى من تأثير الانكسار، يجب حساب التصحيحات على الفروق في الارتفاعات باتباع المنهجية الموضحة في (NOAA, NGS, 1982) أو في أي طريقة حديثة أخرى ذات صلة.

ينبغي ألا تؤخذ التصحيحات الفلكية الخاصة بحساب تأثير تسارع المد والجزر بسبب القمر والشمس على الأسطح متساوية الجهد للأرض في الاعتبار لأغراض مسح الطرق بسبب تأثيرها المحدود، وهو ٠,١ ملم/كم (NOAA, NGS, 1982) على الأكثر، وينطبق الشيء نفسه على التأثيرات الأورتومترية (orthometric) بسبب تأثيرها المحدود على مشاريع الطرق.

تطبق القواعد التالية على تسوية ضبط التحكم الرأسي:

- يجب أن تُستخدم طريقة ضبط أقل المربعات لضبط شبكات التحكم الرأسي، يجب تطبيق جميع التصحيحات المذكورة أعلاه (المسامطة والانكسار وما إلى ذلك) على فروق الارتفاع قبل تطبيق طريقة ضبط أقل المربعات.
- يجب أن تُحسب أوزان فروق الطول عكسيا بما يتناسب مع إجمالي طول الضلع.
- يجب أن يكون إجراء اختبار مربع كاي (Chi-squared test) -المستخدم لتحديد ما إذا كان هناك فرق ذو دلالة إحصائية بين الانحرافات المتوقعة والملاحظات الفعلية- لقبول نتائج التعديل.

ينبغي الإشارة هنا إلى أن جميع إجراءات المعالجة والضبط المذكورة أعلاه تُعد التحكم الرأسي مختلفًا وغير مطلوب كثيرًا لأغراض مسوحات الطرق مقارنةً بالإجراءات التي تطبقها الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية على المستوى الوطني وفقًا لمواصفات المسح الجيوديسي الوطني.

٩- المسح الطبوغرافي (محطة النقاط المتكاملة):

تهدف المسوحات الطبوغرافية إلى جمع بيانات المسح المستوي (planimetric) والارتفاعات للسمات الطبيعية والصناعية؛ بهدف إعداد الخرائط الطبوغرافية، وكذلك بيانات التضاريس المستخدمة في نماذج التضاريس الرقمية. عادة ما تُدعم المسوحات الطبوغرافية من خلال التحكم الأفقي والرأسي في دقة الترتيب الثالث والأدنى.

يتم العمل الميداني التقليدي في المسح الطبوغرافي من خلال محطة النقاط المتكاملة، عن طريق إنشاء إطار أساسي لنقاط التحكم الأفقية والرأسية المحلية (أي المحطات). بمجرد إنشاء تلك النقاط يقوم المساحون بتحديد تفاصيل السمة المعترف به في المنطقة المجاورة لكل محطة، وقياسها، وتوثيقها في الملاحظات الميدانية. تتكون تلك التفاصيل من جميع السمات الطبيعية أو الصناعية التي تظهر على الخريطة على النحو الموضح في الجزئين (٢-٥) و (٣-٥).

وخلال السنوات الأخيرة، يميل الاستخدام المكثف لمحطة النقاط المتكاملة إلى الاستعاضة عنه بأساليب النظم الملاحية العالمية للرصد عبر الأقمار الصناعية، مثل طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK)، وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK)؛ حيث تتطلب طاقماً أصغر، ولا تعتمد على المنطقة المجاورة الصغيرة لكل محطة لقياس تفاصيل السمات. ومع ذلك لا يزال استخدام طرق محطة النقاط المتكاملة هو الأنسب في حالات وجود غطاء نباتي وحضري عالي الكثافة؛ حيث تكون طرق النظم الملاحية العالمية للرصد عبر الأقمار الصناعية محدودة من حيث الرؤية المتوافرة للسماء، أو إذا لم يكن بالإمكان تحديد الدقة النسبية التي يتطلبها المسح باستخدام تقنيات النظم الملاحية العالمية للرصد عبر الأقمار الصناعية.

٩-١ تحديد مواقع المحطات:

يُحدد موقع المحطات بناءً على طبيعة المشروع، على طول سمات المنطقة التي خضعت للمسح، ونوع العمل المطلوب لإنجاز المشروع. يمكن معرفة إحداثيات المحطة في حال إنشاء مسح سابق تم إجراؤه من قبل؛ وهو ما يسمى (العمل على محطة معروفة). وفي حال عدم وجود محطة سابقة بالإحداثيات المعروفة؛ يتطلب الأمر إنشاء محطة جديدة. يمكن أيضاً إنشاء محطات جديدة لتلبية الحاجة إلى مسح المزيد من المعلومات والتفاصيل حول البيئة، وتوسيع شبكة نقاط التحكم. ويمكن تحديد إحداثيات المحطة الجديدة من خلال الطرق التالية:

- نقطة التمرکز الحرة: تُعرف طريقة نقطة التمرکز الحرة أو التقاطع العكسي بأنها عملية تحديد موقع نقطة واحدة غير معروفة فيما يتعلق بالنقاط المعروفة. باستخدام تلك الطريقة، يمكن وضع محطة النقاط المتكاملة بحرية بحيث تكون جميع نقاط المسح على درجة رؤية مناسبة من الجهاز. ثم تقاس المحامل والمسافات حتى نقطتين معروفتين على الأقل من شبكة التحكم. تدعم محطة النقاط المتكاملة الحديثة هذه الطريقة، ويحدد مباشرة إحداثيات المحطة الجديدة بالنظر إلى القياسات وإحداثيات نقطة التحكم المستخدمة. وينبغي أن تكون طريقة نقطة التمرکز الحرة هي الأنسب لإنشاء محطات جديدة تدعم محطة النقاط المتكاملة.
- طريقة المضلعات (الترافرس): تكون على غرار طريقة المضلعات (الترافرس) المستخدمة في التحكم الأفقي. عند استخدامها لتحديد مواقع المحطات لدعم المسح الطبوغرافي، والكابولي أو الجانبي. تُطبق تلك الطريقة في حال عدم وجود عدد مناسب من نقاط التحكم بالقرب من المحطة المنشأة حديثاً.
- النظم الملاحية العالمية للرصد عبر الأقمار الصناعية، طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK): ينبغي استخدام تلك الطريقة -فقط- عندما تتطلب ظروف الدقة والإحكام استخدامها، في حال لم يتطلب الأمر دقة أفقية أفضل من الدقة الأفقية (٣٠) ملم والدقة الرأسية (٤٠) ملم.

٩-٢ طرق المسح الأرضي (محطة النقاط المتكاملة):

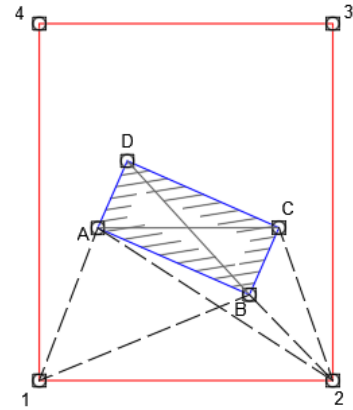
كما ذكر يُعبر عن العلاقة المطلوب تحديدها بين سمات وتفاصيل البيئة الصناعية أو الطبيعية ولتمثيل تلك السمات على الخرائط؛ من خلال قياس المسافات والزوايا ونحو ذلك. تسمى الطرق التي تستخدم تلك الإجراءات، وتشمل قياس المسافات والزوايا، بطريقة المسح الأرضي (MoMRAH, 2005). يمكن تصنيف هذه الطرق إلى سبع فئات متميزة على أساس إجراء القياسات والملاحظات. وتشمل تلك الفئات:

- تقاطع النقاط حسب قياسات المسافة.
- التمديد.
- التعامد.
- المضلعات (الترافرس).
- القطبية (Polar).
- تقاطع النقاط حسب قياسات الزاوية.
- التقاطع العكسي.

لتوضيح تلك الطرق بمزيد من التفصيل تُستخدم أشكال مساعدة. تمثل الأشكال الأساس المتمثل في الرؤوس (A) و (B) و (C) و (D) وشبكة تحكم من الإحداثيات المعروفة (الرؤوس ١ و ٢ و ٣ و ٤) التي تتمركز حول المبنى ذي الصلة.

١-٢-٩ تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات المسافة:

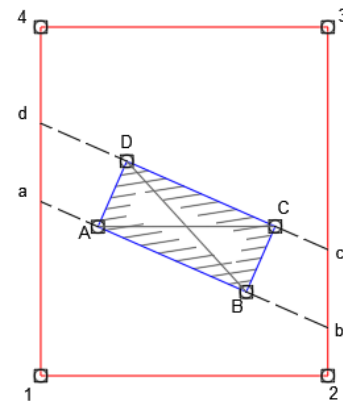
تُعد هذه الطريقة من أبسط وأسهل الطرق في التنفيذ. وتُستخدم بشكل أساسي في مواقع الإنشاء؛ للمساعدة في عملية رفع المباني والإنشاءات، من خلال تحديد حدودها. يوضح الشكل (١-٩) المسافة بين النقاط ذات المواضع المعروفة (١ و ٢)، وتقاس الزوايا (A) و (B) من المبنى. تقاس المسافات باستخدام شريط قياس، أو قياس المسافات إلكترونياً، أو من خلال جهاز المسح. ثم يمكن حساب إحداثيات النقطتين (A) و (B). بعد ذلك، يمكن ربط إحداثيات النقطتين (C) و (D) بإحداثيات النقطتين (A) و (B) بنفس الطريقة. يمكن حساب الإحداثيات باستخدام برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CADD) أو البرامج الأخرى ذات الصلة.



الشكل (١-٩) طريقة تقاطع النقاط حسب قياسات المسافة.

٢-٢-٩ طريقة التمديد:

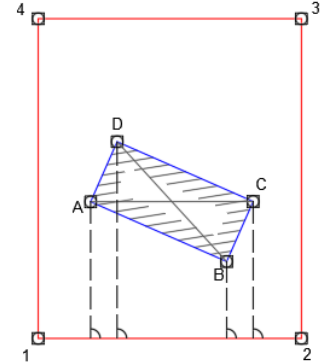
تستخدم هذه الطريقة بشكل أساسي خلال الإنشاء؛ لتحديد حدود المباني المفردة. يُستخدم تمديد اتجاه المبنى إلى الخطوط التي تربط نقاط التحكم لتحديد موقع حدود المبنى. في الشكل (٢-٩) تمتد الخطوط (A-B) و (C-D) إلى الخطوط التي تربط نقاط التحكم (١-٤) و (٢-٣). تُقاس المسافة بين تقاطع كل منها لكل رأس من رؤوس المبنى.



الشكل (٢-٩) طريقة التمديد.

٣-٢-٩ طريقة التعامد:

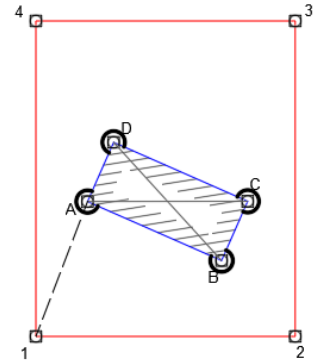
كانت هذه الطريقة تُستخدم بشكل أساسي من قبل، عن طريق قياس النقاط باستخدام الترافرس وخطوط المسح؛ لتحديد إحداثيات نقاط الاهتمام. وحاليًا لم تعد هناك حاجة لاستخدام تلك الطريقة التي لم تعد فعالة بفضل تطور محطة النقاط المتكاملة. (انظر الشكل ٣-٩).



الشكل (٣-٩) طريقة التعامد.

٤-٢-٩ طريقة المضلعات (الترافرس):

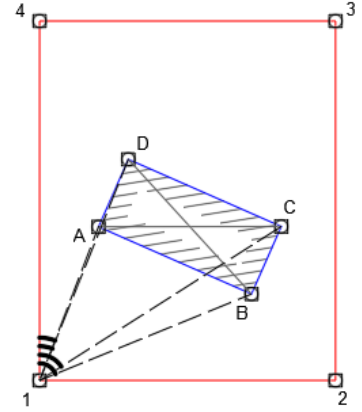
هي الطريقة الشائعة في الاستخدام، والمطبقة ضمن إجراءات المسح في الوقت الحاضر، و تحقق أقصى استفادة من سمات المسح الطبوغرافي. وتعني المضلعات (الترافرس) وضع محطة النقاط المتكاملة على طول خط التنقل، وباستخدام النقطة التي سبق مسحها وجعلها كقاعدة لرصد النقطة التالية. ويكمن الهدف الأساسي من طريقة المضلعات (الترافرس) في إنشاء نقاط تحكم إضافية. وكثيراً ما يتطلب الأمر استخدامها في المناطق الحضرية؛ لإجراء مسح للمساحات الخلفية، ذات الوصول والرؤية المحدودين. يوضح الشكل (٤-٩) النقاط من (A) إلى (D) التي يمكن ربطها بنقاط التحكم في موضع معروف (١ و ٤) من خلال قياس الانحراف من الاتجاه (٤-١) إلى النقطة (A)، باستخدام محطة النقاط المتكاملة الذي يمكنها -أيضاً- حساب إحداثياته.



الشكل (٤-٩) طريقة المضلعات (الترافرس).

٥-٢-٩ الطريقة القطبية (Polar):

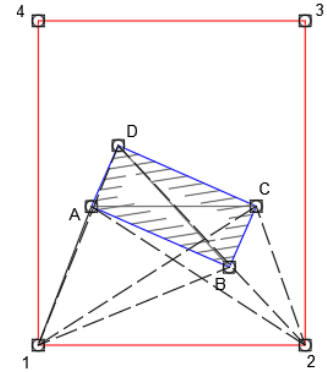
تعمل أجهزة الطريقة القطبية في المناطق الحضرية المزدهمة وظروف الرؤية المنخفضة، وتستخدم على الأغلب لمسح المباني الشاهقة. تحدد الطريقة القطبية اتجاه ومسافة كل نقطة جديدة (من A حتى D) من محطة الإحداثيات المعروفة. تكون الطريقة الموضحة في الشكل (٥-٩)؛ حيث يفترض أن يشير رقم (١) إلى المحطة - و (٤ - ١) إلى الاتجاه المشار إليه. تحدد التقنية القطبية عدة نقاط من محطة واحدة، على عكس طريقة المضلعات (الترافرس)، التي تستخدم كل نقطة جديدة كمحطة للنقطة التالية. يُنصح بتحديد بعض النقاط التي خضعت للمسح مرة أخرى باستخدام محطة مختلفة واتجاه آخر (على سبيل المثال رقم ٤ للمحطة و ١ - ٤ إلى الاتجاه المشار إليه). ويمكن إجراء جميع الحسابات اللازمة على الفور من خلال محطة النقاط المتكاملة في الموقع.



الشكل (٩-٥) الطريقة القطبية.

٩-٢-٦ تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات الزاوية:

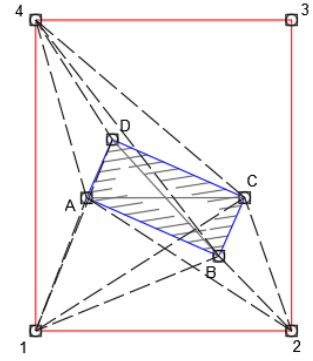
تستخدم هذه الطريقة بشكل أساسي في المواقع التي يصعب الوصول إليها، وذات الرؤية المنخفضة والظروف غير المساعدة. في هذه الطريقة يمكن حساب إحداثيات النقاط التي مُسحت (من A إلى D) عن طريق قياس اتجاهاتها من عدة محطات مختلفة للإحداثيات المعروفة. وينبغي رصد النقاط من محطتين على الأقل تشتركان في الرؤية المتبادلة بينهما وبين النقاط التي مُسحت. في الشكل (٩-٦) يُفترض رصد المحطات المعروفة (١ و ٢) والنقاط من (A إلى D)، عن طريق قياس زوايا الانحراف بين النقاط التي مُسحت والمحطات. يمكن استخدام تقاطع شعاعين من نقطتين معروفتين للحصول على إحداثيات أي نقطة عن طريق حل مثلث ذي قواعد وزوايا معروفة. وخلال السنوات الأخيرة ومع تقلص الهدف من محطة النقاط المتكاملة وقياس المسافات إلكترونياً؛ تناقصت أهمية تلك الطريقة، حيث يمكن حساب إحداثيات النقاط التي لا يمكن الوصول إليها مباشرة باستخدام الطريقة القطبية وقياس المسافة بدون انعكاس.



الشكل (٩-٦) تقاطع النقاط حسب طريقة قياسات الزاوية.

٩-٢-٧ طريقة التقاطع العكسي:

هي تقنية لتحديد موضع نقطة واحدة غير معروفة بالنسبة للنقاط المعروفة الأخرى. على الرغم من أن طريقة التقاطع العكسي معقدة رياضياً، إلا أنها تتمتع بميزة تركيز العمل في مكان واحد. يمكن تلخيص خطواتها على أنها تركيز على النقطة التي تُوضع محطة النقاط المتكاملة بها (A أو B أو C أو D)، ثم ربطها بثلاث نقاط على الأقل بإحداثيات معروفة (١ و ٢ و ٤) وقياس الزوايا، على الرغم من أنه من الأفضل مراقبة نقطة رابعة للتحقق (الشكل ٩-٧). وخلال السنوات الأخيرة تحسنت الأهداف من محطة النقاط المتكاملة وطريقة التقاطع العكسي لقياس المسافات إلكترونياً، بما يشكل مفهوم (محطة الارتكاز الحر) (الجزء ٩-١).



الشكل (٧-٩) طريقة التقاطع العكسي.

١٠- المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS):

يشير النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية إلى عدة مجموعات من إشارات بث الأقمار الصناعية من الفضاء، التي تنقل بيانات تحديد المكان والزمان إلى مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. وبعدها تستخدم المستقبلات هذه البيانات لتحديد الموقع. وعموماً، يوفر النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التغطية. صيغ مصطلح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بوصفه مصطلحاً يُعمم فكرة نظام تحديد المواقع العالمي، الذي كان أول برج قمر صناعي فعلي يعمل لهذا الغرض. يتضمن النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية نظام (جاليليو) (Galileo) الأوروبي، ونظام تحديد المواقع العالمي الأمريكي (نافستار) (NAVSTAR)، والنظام الروسي العالمي (غلوناس) (GLONASS)، ونظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الصيني (بيدو) (BeiDou).

ولتحديد موقع أفقي على الأرض بدقة؛ لا بد أن تُرسل ثلاثة أقمار صناعية -على الأقل- إشارات. أما تحديد الموقع الرأسي؛ فيتطلب إرسال الإشارات من أربعة أقمار صناعية على الأقل. وتُستخدم نظم الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية بكثرة؛ لما تتميز به من قدرة على تحديد المواقع؛ إذ يمكن لمستقبل واحد بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية أن يرصد خلال دورات تستمر لعدة ساعات -فقط- مواقع ثلاثية الأبعاد بدقة تصل لبضع سنتيمترات. وتتيح التقنيات التفاضلية -المتطورة حديثاً- بعد ظهور أول برج (النظام العالمي لتحديد المواقع) تحديد موقع أي نقطة على سطح الأرض بدقة تكون -في بعض الحالات- في الحال.

ويتواصل تطور توجيهات المسح في النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ويقدم تحسينات تُجرى للمعدات والتقنيات. ومن المتوقع أن تطرأ تغييرات على هذه التوجيهات نظراً لحدوث هذه التطورات. تتضمن التطورات الحديثة تثبيت وحدات القياس بالقصور الذاتي/مقاييس الميل لمستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ مما يتيح قياس الميل، وتحديد مواقع النقطة بصرف النظر عن ميل العمود الذي تُثبت عليه المستقبل.

١-١٠ مبادئ النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

١-١-١٠ تعريف النظام:

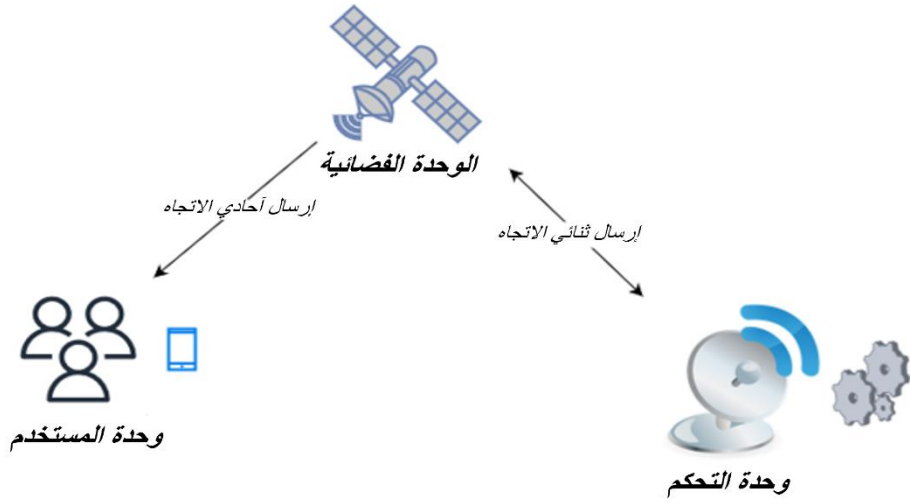
يشير النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية إلى أنظمة تدعمها عدة مجموعات أقمار بشرية الصنع؛ تسمح بتحديد المواقع، والسرعة، والاتجاه بجميع أرجاء العالم (براً، وبحراً، وجواً) على مدار الساعة، وفي أي ظروف مناخية. يمكن استخدام أي نظام/ برج على حدة أو مع الأنظمة الأخرى؛ وفقاً للمستقبل المستخدم، ولأغراض الملاحة والمسح؛ مما يوفر إمكانات هائلة في هذا المجال بدقة وسرعة.

٢-١-١٠ مبدأ آلية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

تستند فكرة النظام الفضائي للملاحة -ببساطة- على قياس الوقت اللازم للمدة التي تقطع فيها الموجات الكهرومغناطيسية المسافة بين الأقمار الصناعية التي تنقل هذه الموجات من الفضاء وبين المستقبل الذي يستقبلها على سطح الأرض. وبفضل استخدام القيمة المعروفة لسرعة الضوء؛ يمكن تحديد المسافة التي بين الأقمار الناقلة للإشارات والمستقبل على سطح الأرض. ومن ثم يمكن الحصول على إحداثيات النقطة الأرضية بدقة تصل إلى ٠،٠١ جزء من مليون؛ بعد تجميع البيانات الأولية من عدة أقمار صناعية ومعالجتها لمدة ساعة على الأقل (MoMRAH, 2005).

٣-١-١٠ مكونات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

تتألف جميع أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية من ثلاث مكونات أساسية: الوحدة الفضائية، ووحدة التحكم، ووحدة المستخدم؛ ومبين كل منها في الأقسام التالية (الشكل ١-١٠).



الشكل (١٠-١) مكونات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

١٠-١-٣ الوحدة الفضائية:

بدأ ظهور الوحدة الفضائية لنظام تحديد المواقع العالمي الأمريكي (نافستار) (NAVSTAR) في منتصف السبعينيات، بمجموعة من الأقمار الصناعية التي طورتها وزارة الدفاع الأمريكية، التي تدور حول الأرض في مدار قطبي عند خط الاستواء، بزاوية ٥٥ درجة، وعلى ارتفاع يبلغ حوالي ٢٠,٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض. وتتوزع هذه الأقمار الصناعية بانتظام في ستة مدارات؛ بحيث يوجد ثلاثة أقمار صناعية في كل مدار، فضلاً عن وجود أقمار صناعية احتياطية أخرى. يدور كل قمر صناعي حول الأرض حوالي دورتين كاملتين في اليوم.

وتتبع تطوير نظام تحديد المواقع العالمي (نافستار) نظام الملاحة (غلوناس) (GLONASS) السوفياتي، و (جاليليو) (Galileo) الأوروبي، و (بيدو) (BeiDou) الصيني. تدور أقمار جاليليو الصناعية على ارتفاع ٢٤,٠٠٠ كم. ويمثل جاليليو أول نظام عالمي لتحديد الموقع للاستخدام المدني، الذي تتفرد به عدة دول ويعمل على أساس تجاري. إن تعدد أبراج الأقمار الصناعية -هذه- يبين أهمية هذه التقنية؛ مما يضمن استمرارها وإبقاءها بمنأى عن الاحتكار والسيطرة. وتزود الأقمار الصناعية بساعات ذرية -فائقة الدقة- تسمح بتحديد معلومات الوقت بدقة.

مهام الأقمار الصناعية هي كما يلي:

- تعديل المدار وفقاً للتوجيهات المرسلة إليه من وحدة التحكم.
- استقبال المعلومات المرسلة من وحدة التحكم وتخزينها.
- الحصول على التوقيت الدقيق من الساعات الذرية المثبتة عليها.
- إرسال المعلومات إلى المستخدمين بترددات ورموز محددة.

١٠-١-٣-٢ وحدة التحكم:

تتمثل مهمة وحدة التحكم في تعقب الأقمار في مداراتها الفضائية، ورصدها، وإجراء حسابات لتحديث المعلومات الملاحة التي ترسلها، وإجراء جميع العمليات ذات الصلة -واللازمة للتحكم في هذه الأقمار الصناعية باستمرار-. فيما يخص وحدة التحكم في نظام تحديد المواقع العالمي الأمريكي؛ فهي تتكون مما يلي:

- خمس محطات مراقبة في أماكن متباعدة حول العالم.
- محطة تحكم رئيسية.
- ثلاث محطات لإرسال إشارات التحكم والمعلومات الملاحة إلى الأقمار الصناعية في مداراتها.

وقد مُسحت مواقع محطات الرصد بدقة عالية جداً. كما تُستخدم مستقبلات دقيقة؛ لجمع بيانات مدارات الأقمار الصناعية، وإرسال المعلومات المجمعة إلى محطة التحكم الرئيسية. تعالج محطة التحكم الرئيسية البيانات التي تجمعها جميع الأقمار الصناعية؛ محددة مواقعها، وسرعاتها، وفرق التوقيت بينها بدقة عالية. بعد ذلك تستخدم المحطة الرئيسية هذه النتائج لتحديث المعلومات الملاحة لكل

قمر صناعي وإجراء التصحيحات اللازمة، ثم ترسلها إلى القمر الصناعي المعني عبر إحدى محطات الإرسال الثلاث. على هذا النحو يُرود كل قمر صناعي بمعلومات ملاحية جديدة، وبيانات توقيت صحيحة، مرة واحدة -على الأقل- يوميًا؛ لضمان دقة النظام.

١٠-١-٣ وحدة المستخدم:

تتكون وحدة المستخدم من المستقبل الذي يستعمله مستخدم كل نظام؛ لتتبع مواقع، وسرعته، وبيانات تنقله؛ وفقًا لاحتياجاته. تهدف هذه الأجهزة إلى استقبال الإشارات التي ترسلها الوحدة الفضائية باستخدام هوائي مناسب، ومعالجتها لإجراء الحسابات اللازمة، والحصول على النتائج ذات الصلة. ويمكن تزويد المستقبلات -حسب نطاق استخدامها- بشاشة عرض، أو وحدات تحكم، أو مستقبلات أخرى؛ مثل: البلوتوث (Bluetooth)، الواي فاي (Wi-Fi)، وغيرهما. وتُجري المستقبلات جميع الحسابات اللازمة لتحويل الإشارات المرسلة من الأقمار الصناعية إلى إحداثيات موقع الهوائي (خطوط الطول، وخطوط العرض، والارتفاع).

١٠-١-٤ سمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ومجالات الاستخدام:

يتميز المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بعدة سمات -فيما يخص أساليب المسح الجيوديسية التقليدية- هي على النحو التالي:

- ١- لا توجد حاجة للرؤية المتبادلة بين النقاط المرصودة.
 - ٢- إمكانية إنشاء نقطة التحكم بجزء صغير من التكلفة والوقت المطلوبين لاستخدام الطرق التقليدية.
 - ٣- إمكانية الحصول على نتائج دقيقة بسرعة فائقة.
 - ٤- سهولة استخدام المعدات؛ مما يقلل الحاجة إلى موظفين مختصين ومدربين.
- يُستخدم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية في عدة جوانب، بدءًا من المسوحات المتعلقة بالتحكم والمواقع، ووصولًا إلى مسوحات الأعماق البحرية ورسم الخرائط المتنقلة. فيما يلي بعض هذه الاستخدامات:
- ١- مسوحات التحكم.
 - ٢- أعمال مسح الخرائط، وإصدارها، وتحديثها.
 - ٣- أعمال المسح البحري، وقياس الأعماق.
 - ٤- مسوحات التحكم للمسح التصويري.
 - ٥- مسوحات الإنشاء وتوثيق أركان قطع الأراضي ... وما إلى ذلك.
 - ٦- إدارة الأسطول؛ عن طريق التحديد الدقيق للملاحة والمسار (برًا، أو بحرًا، أو جواً).
 - ٧- تتبع حركة الأهداف (الصواريخ، والطائرات، والسفن، والأقمار الصناعية... وما إلى ذلك).
 - ٨- دراسة حركة القشرة الأرضية.
 - ٩- تحديد مقدار الجاذبية الأرضية.

١٠-٢ تقنيات المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

يحمل كل قمر بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ساعات دقيقة جدًا، تُستخدم بوصفها مرجعًا للتوقيت والترددات في أنظمة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. وترسل أقمار النظام العالمي لتحديد المواقع معلومات توضيحية فريدة عن مواقعها، وتوقيتها، وحركة ملاحظتها؛ استنادًا إلى ترددين: تردد (L1) يبلغ ١,٥٧٥ ميغا هرتز، (أي: ما يعادل طول موجي يبلغ نحو ١٩٠ ملم)، متضمنًا رمزًا دقيقًا (P)، ورمزًا عامًا (C/A)؛ وتردد (L2) الذي يبلغ ١,٢٢٧ ميغا هرتز، (أي: ما يعادل طول موجي يبلغ نحو ٢٤٤ ملم) متضمنًا رمزًا دقيقًا (P) -نقطة- الذي يبلغ طوله الموجي نحو (٢٩,٣) م بالمقارنة برمز (C/A) الذي يبلغ طوله الموجي (٢٩٣) م. وترسل أقمار أخرى بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية معلومات مماثلة عن ترددات أخرى.

من بين الرسائل التي تبثها الأقمار الصناعية؛ الرسائل التي تنقل خصائصها الملاحية في أشكال التقويم الفلكي والتقويم السنوي. يحتوي التقويم الفلكي على معلومات عن رقم الأسبوع، ودقة القمر الصناعي، وحالته، وعمر البيانات، ومعاملات تصحيح ساعة القمر الصناعي، ومعاملات المدار الصالحة لمدة ساعتين من وقت التقويم الفلكي وبعده. يحتوي التقويم السنوي على معلومات مدار أقل دقة من معلومات التقويم الفلكي الصالحة لمدة تصل إلى ٩٠ يومًا.

وتستند جميع طرق مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية إلى تطبيق العلاقة بين المسافة والسرعة والزمن:

$$distance = time \times speed$$

المعادلة (١-١٠)

حيث أن: (distance) هي المسافة، و(time) هو الزمن، و(speed) هي السرعة.

يُقاس المستقبل الوقت المطلوب لوصول موجات القمر الصناعي (كل قمر صناعي على حدة)، وتُطبق العلاقة السابقة؛ بحيث يمكن الحصول على المسافة بين المستقبل والقمر الصناعي. ومن خلال معرفة الموقع المداري للقمر الصناعي وقت الرصد؛ تتحدد المسافة النظرية لموقع نقطة الاستقبال بالنسبة لهذا القمر الصناعي.

تُعالج عمليات رصد النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية للحصول على مواقع النقاط الدقيقة، التي توفرها إحداثياتها الأرضية المركزية المقاسة بالنسبة لمركز الأرض (X, Y, Z)؛ وفقًا لنظام (WGS 84). وبما أن هناك ثلاثة عناصر إحداثية مجهولة (X, Y, Z)؛ فلا بد أن تقوم ثلاثة أقمار صناعية -على الأقل- بعملية الرصد لإيجاد عناصر الإحداثيات الثلاثة المجهولة، بالإضافة إلى رصد من قمر صناعي رابع؛ لتغطية نقص الساعات -الدقيقة جدًا- في الجزء المستقبل؛ مما يؤدي إلى توقيت غير صحيح. وكلما زاد عدد الأقمار الصناعية؛ قل تعديل المربعات الصغرى للحصول على نتائج أكثر دقة.

عمومًا، يوجد ثلاث تقنيات أساسية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

- التحديد المطلق للنقطة.
- النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي.
- التحديد النسبي؛ باستخدام (مشاهدات طور الناقل).

يتطلب استخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية في المسح وجود اثنين أو أكثر من مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والحصول على مشاهدات موجة طور الناقل في الوقت ذاته. ويوفر تحديد الموقع النسبي باستخدام الترددات (L1) و (L2) نتائج دقيقة للغاية؛ إذ يستقبل اثنين أو أكثر من المستقبلات من نفس مجموعة الأقمار الصناعية والإشارات في نفس الوقت. وتُعالج عمليات الرصد -هذه- لتحديد مكونات خط الأساس بين نقاط التحكم؛ مما يوفر نتائج بدقة (٠,٠١) جزء في المليون. يُنشأ خط أساس النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بين نقطتين، تشغلها في الوقت ذاته مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. ومن خلال المعالجة اللاحقة لخط الأساس؛ يُمكن حساب متجه يحدد فروق الإحداثيات ثلاثية الأبعاد -النسبية- بين كلتا النقطتين.

وتعتمد الدقة في مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على عوامل عديدة؛ مثل:

- عدد الأقمار الصناعية المرصودة ومواقعها في الوقت ذاته.
- مدة المسح.
- موقع الشبكة وطول خط الأساس.
- التقويم الفلكي، وتأثيرات الطقس، والنماذج، وطرق المسح.

من بين العناصر المذكورة أعلاه تؤدي أخطاء الساعة والغلاف الجوي (من الغلاف الجوي العلوي والسفلي) دور مهم في دقة الرصد. عند استخدام معالجة البيانات التفاضلية (على سبيل المثال، الطريقة الساكنة، طريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK)، وطريقة الحركة في الوقت الحقيقي (RTK)، وما إلى ذلك)؛ يمكن التخلص من تأثيرات أخطاء الساعة، أو التقليل منها إلى حد معين. لا ينطبق هذا -لأسوء الحظ- على أخطاء الانكسار الجوي خاصة عند استخدام خطوط أساس طويلة؛ حيث تختلف أخطاء الطبقات العليا من الغلاف الجوي؛ وفقًا لخط العرض (تزداد مع زيادة خط العرض)، ووفقًا لموسم المسح وتوقيته خلال ساعات النهار. تتراوح قيمة خطأ الانكسار في الغلاف الجوي العلوي من (١) إلى (١٠) أجزاء في المليون. يمكن أن تحل المستقبلات -المزدوجة التردد- مشكلات التأخير، بينما يمكن معادلة هذه الأخطاء أو تقليلها باستخدام القياسات التفاضلية.

وتشمل تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية المستخدمة -حاليًا- لأغراض المسح؛ ما يلي:

- الطريقة الساكنة السريعة.
- الطريقة الساكنة.
- الطريقة المستمرة.
- طريقة الحركة في الوقت الحقيقي.
- طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة.
- النظام العالمي لتحديد المواقع التفاضلي.
- تحديد المواقع الدقيقة.

قبل اختيار التقنية المناسبة؛ يجب مراعاة العوامل التالية:

- الغرض من البيانات المجمعة.
- متطلبات الدقة الأفقية والرأسيّة للمشروع.
- أفضل الممارسات الدولية والمحلية.
- متطلبات المسح المحلية.
- تكلفة المعدات.
- الحل بالوقت المناسب.

بناءً على إجابات هذه الأسئلة؛ يمكن اختيار أحد الأساليب السابقة. وتُلخّص الفقرات الآتية جميع التقنيات المتوفرة حاليًا، ويُلخّص الجدول (١-١٠) هذه المناقشة.

تعتمد جميع الطرق -المذكورة أعلاه، والمستخدمه في مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية- على مدى القرب من محطات الرصد المرجعية المستمرة، وتوافرها، أو على مستقبل آخر مثبت على نقطة تحكم قائمة؛ تُسمى: (نقطة مرجعية)، تستقبل الرصد خلال الفترة الزمنية نفسها، وتسمى المستقبلات المثبتة على هذه النقاط المرجعية: (قواعد)، في حين تُسمى المستقبلات المستخدمة لقياس نقاط جديدة: (مستكشفات).

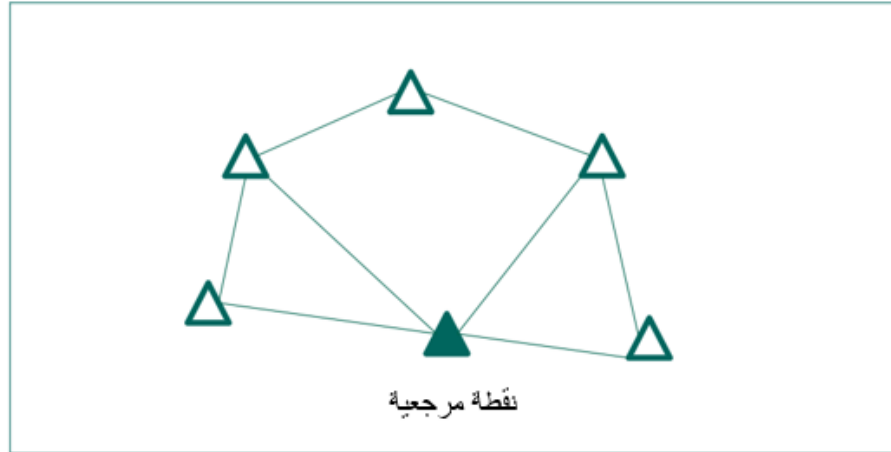
الجدول (١٠-١) اختيار نوع المسح المناسب للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية - المزاي والعيوب.

نوع المسح	المزايا	العيوب
طريقة الحركة في الوقت الحقيقي:	المواقع المصححة في الوقت الحقيقي في مستوى إحدائي معروف. القدرة على الانتقال إلى هندسة نقاط البيانات، وحسابها في هذا المجال. يوفر مواقع نهائية، ولا يحتاج إلى حسابات إضافية، ويقلل من الموارد والخدمات اللوجستية في المكتب. عند استخدامه مع معدات شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة تُضبط مرة واحدة فقط؛ يتطلب موارد أقل ميدانياً. يوفر حلولاً حسب السنتيمترات.	زيادة كبيرة في تكلفة المعدات. عند استخدامه في وضع بقاعدة متنقلة؛ فسيؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في الخدمات اللوجستية لإعداد المعدات. يجب توفر اتصال لاسلكي بين المستكشف المتنقل. يجب إنشاء قاعدة على موقع معروف؛ لاستخدام المزاي في وضع القاعدة والمركبة المتجولة. عند استخدامه مع شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة؛ يجب أن يتصل بالشبكة، وعادة ما يكون ذلك عبر الإنترنت.
طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة:	تقليل الخدمات اللوجستية والتكاليف والتعقيدات ميدانياً. يوفر حلولاً ثابتة في الحالات التي لا تقوم فيها طريقة الحركة في الوقت الحقيقي بذلك. يوفر حلولاً حسب السنتيمترات.	عادة ما تكون البيانات المصححة غير متوفرة حتى معالجتها. يتطلب زيادة الموارد في المكتب؛ لأداء المعالجة. من الضروري إنشاء قاعدة عند القياس، أو استخدام شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة.
ساكن سريع:	تقليل نفقات المعدات ومضاعفاتها -مقارنة بطريقة الحركة- في الوقت الحقيقي، وطريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة. يوفر حلولاً أكثر دقة من طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، وتتطلب طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة وقت إشغال أقل -عادةً- أقل من ٢٠ دقيقة.	عادة ما تكون البيانات المصححة غير متوفرة حتى معالجتها. يتطلب زيادة الموارد في المكتب؛ لتركيب وجمع البيانات الأولية، على نحو أكثر دقة. من الضروري إعداد قاعدة عند المقياس، أو استخدام شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة. يوفر حلولاً أقل دقة من الساكن.
ساكن:	دقة أعلى من الساكن السريع، ومعدات أقل من طريقة الحركة في الوقت الحقيقي أو طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة.	البيانات المصححة -عادة- لا تكون متاحة حتى معالجتها. يتطلب موارد متزايدة في المكتب؛ لإجراء المعالجة. يتطلب أوقات إشغال طويلة. يتطلب المزيد من التركيب، وجمع البيانات التعريفية، على نحو أكثر دقة. يتطلب زيادة الموارد -ميدانياً- فيما يتعلق بالطريقة الساكنة السريعة؛ بسبب الحاجة إلى قياسات متزامنة على كل موضع متحرك. من الضروري إعداد قاعدة عند المقياس، أو استخدام شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة.

نوع المسح	المزايا	العيوب
المستمر:	أعلى دقة ممكنة.	يتطلب بنية تحتية معقدة، وتركيبًا دقيقًا، وأوقات إشغال طويلة جدًا.
النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلية:	هو مفيد على خط أساس أطول (المسافة بين المحطة الأساسية والمستقبل المتنقل). أقل تكلفة من طريقة الحركة في الوقت الحقيقي.	أقل دقة من جميع الطرق الأخرى.
تحديد المواقع الدقيقة:	يستخدم مستقبلًا واحدًا أقل تكلفة من طريقة الحركة في الوقت الحقيقي. ويوفر مواقع دقيقة مع أخطاء تشبه طريقة الحركة في الوقت الحقيقي في ظل الظروف الجيدة.	يتطلب المزيد من قوة المعالجة، ويتطلب تيار خارجي لتصحيح التقويم الفلكي، الذي قد يكون متاحًا بعد فترة زمنية طويلة.

١٠-٢-١ الطريقة الساكنة:

تسمح إجراءات الطريقة الساكنة -بمسخ النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية- بتصحيح العديد من الأخطاء المنهجية عند الحاجة إلى تحديد المواقع بدقة عالية. تُستخدم إجراءات الطريقة الساكنة لإنتاج خطوط أساس بين مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الثابتة بتسجيل البيانات على مدة زمنية ممتدة، تتغير خلالها هندسة القمر الصناعي. على هذا النحو؛ تعتمد مسوحات الطريقة الساكنة على أوقات الأشغال الطويلة؛ لتحديد مواقع عالية الدقة. تعتمد مسوحات الطريقة الساكنة -أيضًا- على قرب محطات الرصد المرجعية المستمرة وتوفرها، أو على مستقبل آخر مثبت على نقطة تحكم موجودة؛ تسمى: (نقطة مرجعية)، يستقبل الرصد خلال المدة الزمنية نفسها؛ تسمى المستقبلات المثبتة على هذه النقاط المرجعية: (قواعد)، بينما تسمى المستقبلات المستخدمة لقياس النقاط الجديدة: (مركبات متنقلة). من الواضح أنه يمكن استخدام قاعدة واحدة لقياس العديد من النقاط؛ باستخدام مستكشفات متنقلة متعددة (الشكل ١٠-٢). دقة الموقع؛ هي: دالة في طول المسح، وطول خط الأساس بين القاعدة والمستكشفات المتنقلة، و-أيضًا- دقة التركيب، ونقطة التحكم المستخدمة. تتطلب مسوحات الطريقة الساكنة عمليات تثبيت أكثر استقرارًا ودقة من المسوحات طريقة الحركة. تتم المسوحات من الدرجة الأولى والثانية (التحكم في الممر)؛ فيما يتعلق بالمواقع الأفقية بالقيام بالمسوحات ثابتة.



الشكل (١٠-٢) مسح ساكن - تُمثل المثلثات المجوفة الفارغة المستكشفات المتنقلة.

تتسم هذه الطريقة بما يلي:

- إنشاء شبكات تحكم عالية المستوى، وفحصها، وإعادة إنشائها.
- مراقبة شبكات التحكم.
- مراقبة حركات القشرة الأرضية.
- قياس التشوهات والتغيرات في الهياكل والسدود.

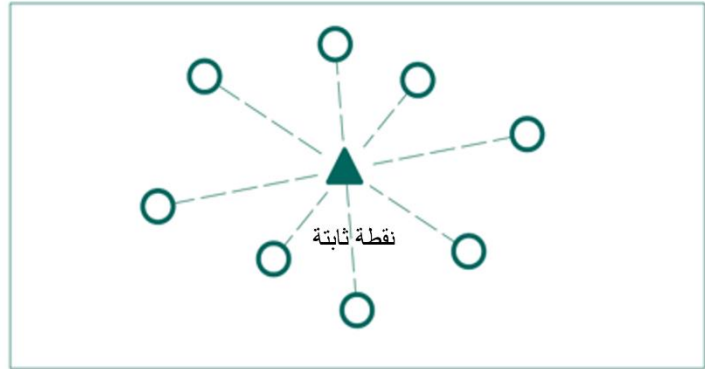
- قياس خطوط الأساس؛ بأطوال كبيرة، ودقة عالية.
- القياسات التقليدية.

خصائص هذه الطريقة ومزاياها هي:

- دقة قياس عالية $\pm (5 \text{ ملم} + 1 \text{ جزء في المليون})$.
- طريقة قياسية لقياس الأطوال الأكبر من 20 كم.
- مراقبة أكبر عدد ممكن من الأقمار الصناعية.
- وقت رصد لا يقل عن ساعتين.
- دقة أكبر.
- أفضل اقتصادياً من الطريقة التقليدية.

٢-٢-١٠ الطريقة الساكنة السريعة:

مقارنة بمسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ فإن مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية السريعة والثابتة تتطلب أوقاتاً أقصر (من 5 إلى 20 دقيقة تقريباً). وتتطلب إجراءات مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية السريعة الثابتة معدات وتقنيات معالجة بيانات أكثر تطوراً من نظيرتها في طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الثابتة. لا ينبغي -عادة- إجراء المسوحات التي تحتاج إلى دقة أفقية من الدرجة الأولى (أي: التحكم في الممر)؛ باستخدام طرق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية السريعة الثابتة. تعتمد مسوحات الطريقة الساكنة السريعة -أيضاً- على وجود محطات الرصد المرجعية المستمرة، أو قاعدة إضافية بالقرب من مستقبلات -قادرة على جمع تصحيحات الموقع- بالتزامن مع المستكشف المتنقل.



الشكل (٣-١٠) مسح ثابت سريع - تُمثل المثلثات المجوفة الفارغة المستكشفات المتنقلة.

في مسوحات الطريقة الساكنة؛ يُثبت مستقبل على نقطة معروفة إحداثياتها (قاعدة، على نقطة مرجعية)، بينما يتحرك واحد أو أكثر من المستقبلات الأخرى (أي: المستكشفات المتنقلة)؛ لمسح نقاط جديدة (الشكل ٣-١٠).

يُستخدم نظام الطريقة الساكنة السريعة من أجل:

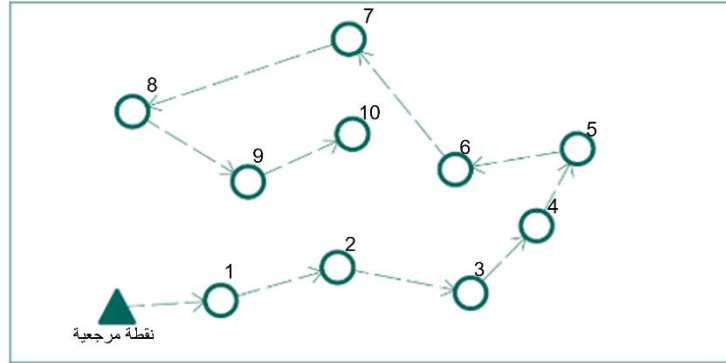
- التحكم بالمشروع (مسوحات التحكم من الدرجة الثانية).
- نقاط التحكم للمسح الجوي.
- أعمال المسح المفصلة.
- الاستخدامات الهندسية.

خصائص هذه الطريقة ومزاياها هي:

- قياس خطوط الأساس حتى 15 كم.
- دقة القياس $\pm (10 \text{ ملم} + 1 \text{ جزء في المليون})$.
- يتراوح وقت المراقبة من (5 دقائق إلى 20 دقيقة).
- طريقة سهلة، وسريعة، وفعالة.

٣-٢-١٠ طريقة الحركة:

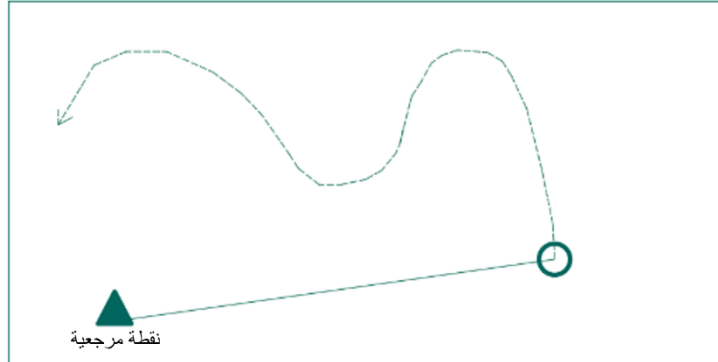
يُنْبَت مستقبلاً على نقطة مرجعية معروفة إحداثياتها، بينما يتحرك مستقبل آخر (مستكشف متنقل) من نقطة إلى أخرى. يوجد العديد من الاختلافات في هذه الطريقة؛ وهي: طريقة التوقف والتحرك، وتعميمها بعد طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة في الوقت الحقيقي. في طريقة التوقف والتحرك (طريقة الحركة)؛ تظل المركبة المتنقلة في البداية ثابتة مما يمكنها من إجراء عمليات رصد أعلى من النقطة الأولى لمدة (٥) إلى (١٠) دقائق، ثم تتحرك نحو النقاط التالية، وتثبت فوق كل نقطة، وتبقى عليه لعدة ثوانٍ، وهكذا حتى نهاية السلسلة (الشكل ١٠-٤).



الشكل (١٠-٤) مسح طريقة الحركة بطريقة التوقف والتحرك - تُمثل الدوائر المجوفة الفارغة مواقع المستكشفات المتنقلة.

١٠-٢-٣-١ طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة:

تشبه هذه الطريقة طريقة التوقف والتحرك، والفرق أن المشغل لا يتدخل في بداية المسح؛ لأنه يتم تلقائياً وفقاً للفترة الزمنية المحددة. توفر المستقبلات الحديثة ما يصل إلى (٢٠) حلاً حركياً في الثانية.



الشكل (١٠-٥) مسح حركي - تُمثل الدائرة المجوفة الفارغة موقع المستكشف المتنقل.

تُستخدم هذه الطريقة في الآتي:

- المسح الطبوغرافي.
- أعمال المسح البحري.
- أعمال المسح المفصلة.
- مسوحات الإنشاء؛ (الطرق، وخطوط الأنابيب، وما إلى ذلك).
- مسوحات نموذج التضاريس الرقمية.
- المسوحات التفصيلية.
- مسوحات تحكم منخفضة المستوى.

خصائص هذه الطريقة ومزاياها هي:

- ضرورة توفر محطات الرصد المرجعية المستمرة، أو محطة قاعدية، على نقطة تحكم معروفة.
 - إمكانية نقل المستقبل المتنقل بأي وسيلة؛ سواء على عمود، أو على ظهر جهاز الرصد، أو بوسائل نقل أخرى.
 - الوقوف عند نقطة البداية لبضع دقائق.
 - قياس النقاط الجديدة تلقائياً في أثناء التنقل؛ وفقاً لمدة زمنية محددة.
 - طريقة سريعة واقتصادية للقياسات المستمرة.
 - دقة القياس (± 20 ملم + 1) جزء في المليون.
 - تطلب اتصال مستمر مع وجود أربعة أقمار صناعية على الأقل.
 - طريقة سريعة واقتصادية.
 - إمكانية استخدامها دون وجود أي نوع من الوصلات، التي تتطلبها الطريقة المتحركة في الوقت الحقيقي.
 - احتمال توفير حلول الإصلاح في حال فشل طريقة الحركة في الوقت الحقيقي؛ لأنها تستخدم البيانات من عمليات الرصد اللاحقة، بينما تستخدم طريقة الحركة في الوقت الحقيقي البيانات من الملاحظات السابقة فقط.
- ومن جانب آخر، قد لا يكون المرء واثقاً مما إذا كانت عمليات رصد النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية تؤدي إلى حل ثابت في كل موقع من مواقع المسح.

١٠-٢-٣ طريقة الحركة في الوقت الحقيقي:

في المسح بتقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ تبيت محطة قاعدية تصحيحات للمواقع على مستقبل متنقل للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. ولكي يتمكن المستخدم من استعمال تقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي؛ يجب عليه إنشاء وصلة نقل بيانات بين مستقبل المحطة القاعدية والمركبة المتنقلة. ويجب إتاحة مستقبل واحد -على الأقل- للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية فوق نقطة معروفة -عادة- ما تكون محطة مسح التحكم، التي تظل ثابتة في أثناء المسح. يمكن أن يُثبت المستخدم مستقبل القاعدة على بقايا صخرية، وفي هذه الحالة يكون مدى التصحيحات محدوداً؛ بسبب الوسائل المستخدمة لإرسال التصحيحات (مودم التردد فوق العالي) عادة أقل من (١٠) كم.

لكن عند توفر محطة الرصد المرجعية المستمرة؛ فلن يكون استخدام القاعدة الأساسية ضرورياً؛ نظراً لأن محطة الرصد المرجعية المستمرة تؤدي هذا الغرض، ففي هذه الحالة سيقصر مدى التصحيحات على مسافة تتراوح بين (٥٠) إلى (٧٠) كيلومتراً، من المحطة الأساسية؛ تبعاً لنوع المستقبل المتنقل. وعادة ما تكون الدقة المحققة في مدى $\pm 10 - 50$ ملم أفقياً ورأسياً؛ اعتماداً على مسافة خط الأساس، والظروف الجوية.

تُعد هذه الطريقة من أسرع طرق المسح، وتتبع القواعد والمفاهيم المطبقة في الطرق ذاتها المبينة سلفاً. وتتميز بعدم الحاجة إلى مدد زمنية طويلة للتهيئة عند نقطة البداية، والحاجة الإضافية إلى وصلة بيانات عملية بين المستقبلات الأساسية والمتنقلة. يستخدم مسح طريقة الحركة في الوقت الحقيقي:

- المسح الطبوغرافي.
- أعمال المسح البحري.
- أعمال المسح المفصلة.
- مسوحات الإنشاء؛ (الطرق، وخطوط الأنابيب، وما إلى ذلك).
- مسوحات نموذج التضاريس الرقمية.
- المسوحات التفصيلية.
- مسوحات تحكم منخفضة المستوى.

خصائص هذه الطريقة ومزاياها هي:

- ضرورة توفر محطات الرصد المرجعية المستمرة، أو محطة أساسية على نقطة تحكم معروفة.
- إمكانية نقل المستقبل المتنقل بأي وسيلة؛ سواء على عمود، أو على ظهر جهاز الرصد، أو بوسائل نقل أخرى.
- قياس النقاط الجديدة تلقائياً في أثناء التنقل؛ وفقاً لمدة زمنية محددة.
- طريقة سريعة واقتصادية للقياسات المستمرة.
- دقة القياس (± 20 ملم + 1) جزء في المليون.
- تطلب اتصال مستمر مع وجود أربعة أقمار صناعية على الأقل. في حالة فقدان الاتصال؛ لا بد من إجراء تهيئة جديدة (-) ادة- لبضع ثوان.
- طريقة سريعة واقتصادية.
- يتطلب نوعاً من الوصلات مع المستقبل الأساس؛ في شكل مودم التردد فوق العالي، أو النظام العالمي للجوال. يمكن دعم الحاجة إلى المستقبل الأساس من أي نظام لمحطات الرصد المرجعية المستمرة؛ على سبيل المثال: محطات الرصد المرجعية المستمرة بالملكة العربية السعودية.

١٠-٢-٤ نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي:

يمثل نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية (نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي) تعزيزاً لنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الذي يوفر دقة محسنة؛ لتحديد المواقع، لنحو (٣٠-١٠) ملليمترًا فيما يتعلق بأفضل الاستخدامات. يستخدم نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي شبكة من المحطات المرجعية الأرضية الثابتة؛ لإرسال الفرق بين المواقع التي يبينها نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية والمواقع الثابتة المعروفة. تُرسل هذه المحطات الفرق بين مدى القمر الصناعي المقاسة الزائفة (pseudoranges) والمدى الزائفة الفعلية (المحسوبة داخليًا)، وقد تصحح محطات الاستقبال النطاقات الزائفة بنفس المقدار. عادة ما تُرسل إشارة التصحيح الرقمي محليًا عبر أجهزة إرسال أرضية ذات مدى أقصر.

ويتشابه تكوين النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية المتباين ونظم تقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي؛ من حيث أن كلتا الطريقتين تتطلبان إعداد مستقبل محطة أساسية في موقع معروف، ومستقبل متنقل يحصل على التصحيحات من المحطة الأساسية، ووصلة اتصال بين المستقبلين. الفرق هو أن تقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي (طريقة طور الناقل) أكثر دقة -بكثير- من النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي (طريقة قائمة على الكود).

من ناحية أخرى، يتمتع النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي بميزة كونه مفيد على خطوط الأساس الأكثر طولاً (المسافة بين المحطة الأساسية والمستقبلات المتنقلة)، في حين أن النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي أقل تكلفة. إن التكنولوجيا المطلوبة لتحقيق دقة أعلى لأداء تقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي تجعل تكلفة المستقبل القادر على استخدام طريقة الحركة في الوقت الحقيقي أعلى من تكلفة جهاز قادر على تشغيل النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي فقط..

١٠-٢-٥ تحديد الوضع المطلق الدقيق:

يمكن حساب المواضع والمواقع الدقيقة باستخدام طريقة تحديد المواقع الدقيقة أيضاً. يمكن لهذه الطريقة أن تقدر بنجاح -مع أخطاء صغيرة- تصل إلى بضع سنتيمترات (ظروف مثالية) -مواقع سمات التضاريس المعنية. وهي تجمع بين عدة تقنيات -متطورة إلى حد ما- لتنقيح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. السمة الرئيسية لتقنيات تحديد المواقع الدقيقة هي إمكانية استخدامها مع الأجهزة القريبة من مستوى المستخدم؛ لتحقيق نتائج قريبة من مستوى المسح. وعلى عكس الطرق المعيارية لتقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، التي تستخدم مزيجاً من المستقبلات الأساسية (الثابتة مؤقتاً) والمستقبلات (المتنقلة القريبة)؛ تستخدم طريقة تحديد المواقع الدقيقة مستقبلًا واحدًا للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. ولأن كلا من تحديد المواقع الدقيقة والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي يستخدمان محطات مرجعية دائمة لتحديد الأخطاء النظامية، يوجد تداخل بين هاتين الطريقتين المختلفتين بشكل واضح.

تتمثل نقاط الضعف الرئيسية في تحديد المواقع الدقيقة -مقارنة بالطرق التقليدية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية- أنها تتطلب المزيد من قوة المعالجة، وتتطلب تياراً خارجياً لتصحيح التقويم الفلكي، كما تستغرق بعض الوقت (حتى عشرات الدقائق) للغطية بدقة كاملة. لم يُستخدم تحديد المواقع بدقة -إلى حد كبير- لأغراض المسح بعد، لكن يبدو أنه سيصبح المنهجية المستخدمة على نطاق واسع في السنوات المقبلة.

١٠-٣ المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية شاملاً الشبكة السعودية الوطنية لمحطات الرصد المرجعية العاملة باستمرار (CORS):

تشغل الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية بالملكة العربية السعودية محطات الرصد المرجعية المستمرة. وتتألف الشبكة حالياً من أكثر من (٢٠٠) محطة من محطات الرصد المرجعية المستمرة؛ إذ تعمل المحطات الجديدة على التوسع المستمر للشبكة المتاحة (GASGI, 2020).

تهدف شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة في المملكة العربية السعودية إلى توفير خدمة لتحديد مواقع النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، موثوق في أدائها، ودقيقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الهدف من الشبكة هو إنشاء وتوزيع وصيانة إطار مرجعي جيوديسي وطني؛ يسمى (KSA-GRF17).

١٠-٣-١ خدمات محطات الرصد المرجعية المستمرة بالملكة العربية السعودية في الوقت الحقيقي:

توفر شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة بالملكة العربية السعودية عدداً من خدمات تحديد المواقع لمستخدميها المشتركين، على أساس الوقت الحقيقي؛ كما هو موضح أدناه:

- شبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي: ترسل شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية تدفق بيانات تصحيح لشبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي للمستخدمين؛ عن طريق خادم (NTRIP) بمحطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية. يمكن لمستخدمي محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية المسجلين الوصول إلى تدفق بيانات التصحيح عبر الإنترنت، مع إضافة السمات المناسبة إلى جامعي البيانات الميدانية التابعين لها/مراقبي النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. تبلغ الدقة الموضعية للوقت الحقيقي لشبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي حوالي (٣٠-٤٠) ملم.
- تحديد مواقع النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي: ترسل شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية تدفق بيانات تصحيح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي للمستخدمين؛ عن طريق خادم محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية (NtRIP). يمكن للمستخدمين المسجلين الوصول إلى تدفق البيانات التصحيحية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي عبر الإنترنت. يمكن أن تصل الدقة الموضعية في الوقت الحقيقي للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التفاضلي إلى متر واحد.
- محطة أحادية لتقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي: تتوفر خدمة تقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي لمحطة واحدة؛ للاستخدام في المناطق التي لا تتوفر فيها خدمة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي للشبكة. توفر خدمة المحطة الأحادية لتقنية طريقة الحركة في الوقت الحقيقي دقة محدودة؛ عندما يكون موقع المركبة المتجولة على بعد أكثر من (١٥) كم من محطات الرصد المرجعية المستمرة يمكن أن تكون الدقة مساوية لخدمة شبكة طريقة الحركة في الوقت الحقيقي. يمكن استخدام طريقة الحركة في الوقت الحقيقي لمحطة واحدة على مسافات أعلى من محطات الرصد المرجعية المستمرة الأساسية بدقة أقل إلى حد ما.

١٠-٣-٢ منتجات محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية:

توفر شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية عددًا من المنتجات لمستخدميها المسجلين؛ منها ما يلي:

- ملفات البيانات الأولية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية: توفر شبكة محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية للمستخدمين المسجلين بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بتنسيقات متعددة حسب الحاجة. يتوفر تنسيق التبادل المستقل للمستقبل بالإصدارات التالية: (٢,١٠) و (٢,١١) و (٣,٠٢) و (٣,٠٣). يمكن استخدام هذه البيانات للمعالجة اللاحقة لخط الأساس التفاضلي للتطوير؛ لذا فإن هذه الملفات تُسهل معالجة مسوحات الطريقة الساكنة، والساكنة السريعة، وطريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة. وبعد الانتهاء من المسح؛ يمكن للمستخدم - ببساطة- تنزيل البيانات الأولية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ إما من موقع الشبكة العنكبوتية الخاص بمحطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية لوقت رصد حملته، أو من محطة مرجعية افتراضية بالقرب من موقع المسح الخاص به.
- التبادل المستقل للمستقبل الافتراضي: يُطلق على ملف التبادل المستقل للمستقبل اسم (افتراضي)؛ عندما لا تُقاس البيانات الأولية -حقًا- باستخدام مستقبل ولكنها تُحسب من نموذج شبكة في الوقت الحقيقي. تنشأ ملفات افتراضية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية من الشبكة. وتُشتق بيانات التبادل المستقل للمستقبل الافتراضي -بمحطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية- من عمليات الرصد المحيطة بمحطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية، وبطرق الاستقراء. يُدعم استخدام التبادل المستقل للمستقبل الافتراضي؛ عندما تكون المسافة من أقرب محطة أساسية أكثر من (١٥) كم.
- البيانات الأولية لمحطات الرصد المرجعية المستمرة: تتوفر ملفات سجل الموقع لكل محطة من محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية. يحتوي هذا الملف -على سبيل المثال لا الحصر- على معلومات جميع المعدات التاريخية (المستقبل/الهوائي) المستخدمة في تلك المحطة، والموقع التقريبي، والمالك، وجهة التشغيل.
- المعالجة اللاحقة لتحديد المواقع إلكترونياً عبر الأقمار الصناعية.
- ارتفاع المجسم الأرضي أو الجيويد (geoid).

١٠-٤ مسوحات التحكم بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

لا تناسب دقة معدات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية المهام العالية الدقة؛ عند العمل في نطاقات قصيرة. وفي الحالات المثالية؛ يمكن أن تقترب دقة معدات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية من (٥) ملم؛ فمن الشائع أن يكون الخطأ الداخلي لمجموع قياسات المحطة (٢-٣) ملم فقط؛ لذا تكون المحطة الإجمالية أداة أكثر دقة عند العمل ضمن إجمالي النطاق الأقصى للمحطة (٦٠-٥٠٠) م. من ناحية أخرى، يمكن أن تحافظ معدات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على دقة (٥) ملم حتى عند إجراء القياسات على مدى عدة كيلومترات. كما أن مستوى الدقة لمعدات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية في النطاقات الطويلة مفيد، خاصة في مشاريع البناء الكبيرة؛ مثل: مشاريع إنشاء الطرق التي تغطي مئات الكيلومترات.

يجب ربط عمليات رصد النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بنقاط التحكم الحالية من نفس الترتيب أو أعلى من مسح التحكم ذاته، ولا ينبغي استخدام محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية، أو أي محطة رصد مرجعية أخرى متاحة،

أو شبكة نقاط تحكم أخرى مستخدمة في المملكة؛ لإنشاء نقاط تحكم جديدة منخفضة المستوى مباشرة. كما يجب -مثالياً- تثبيت شبكات تحكم من المستوى الأول لمشاريع الطرق، مع إجراء مسوحات ثابتة معنية بمحطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية بشأن التحكم الأفقي، وإجراء التسوية بشأن التحكم العمودي؛ ومن ثم يجب تثبيت شبكة تحكم من المستوى الثاني، تستهدف شبكة التحكم من الدرجة الأولى (المعنية وغيرها)؛ متبعة المواصفات المبينة في الفقرات التالية:

١٠-٤-١ تعليمات مسح التحكم بنظام الملاحة العالمي عبر الأقمار الصناعية:

يتضمن هذا الجزء الفرعي مواصفات دقة تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لمسوحات التحكم، ومواصفاتها، وتوجيهاتها. ويبين النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية فروق الارتفاعات، أو الارتفاع الخاص بالمجسم الأرضي الناقص لنظام (WGS-84) فضلاً عن المواقع الأفقية. وعلى هذا النحو، تتطلب تسوية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية نموذجاً مجسماً أرضياً؛ ليتسنى له نقل ارتفاع المجسم الإهليلجي الأرضي إلى وحدات أورتومتريّة (orthometric)، وفي جميع أرجاء المملكة، طور نموذج KSA-GEOID وأستخدم لهذا الغرض. ورغم أن تحديد ارتفاع النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية تقنية تسوية اقتصادية إلى حد ما، فإن الارتفاعات المتوصل إليها تشكل -عموماً- معامل أقل دقة من المكونات الأفقية بمقدار ٣-٢ مرات؛ لذا يمكن أن تُعد تسوية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية منتجاً فرعياً لعملية مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

وفقاً للجدول (٣-٣) الذي يبين الطرق المناسبة لنوع التحكم ودرجته؛ يُستخدم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية للتحكم الأفقي. إذ يبين هذا الجدول أن نقاط التحكم من المستوى الثالث -وما يعلوه - يجب وضعها باستخدام مسوحات تحكم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، فيما يخص تحديد المواقع الأفقية بالتزامن مع التسوية بشأن التحكم في الارتفاع (الارتفاع المثلي، والتسوية الثابتة للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية للمسوحات من المستوى الثالث). وقد تكون تسوية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية مجدية في التصميم الابتدائي، لكن يجب ألا تُستخدم سوى التسوية التفاضلية، والارتفاع المثلي؛ للأغراض الأكثر تفصيلاً، وأغراض الإنشاء.

ومن الأخطاء المقترفة في مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ الأخطاء متعددة المسارات -الأكثر شيوعاً- التي تشير إلى خليط من مكونات موجة خط البصر وغيرها، التي تعكسها العوائق القريبة، عدة مرات قبل الوصول إلى الموقع الفعلي للهوائي المستلم؛ لذا يجب وضع نقاط التحكم المحددة والمقاسة -باستخدام تقنيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية- في منطقة صافية سماؤها، بعيداً عن أي عوائق طبيعية أو بشرية قد تقضي إلى حدوث هذا الخطأ.

كما يوضح الجدول (٣-٣) معايير ومواصفات مسوحات التحكم في النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، فضلاً عن المعلومات الآتية حول الإجراءات الميدانية، وإجراءات المكتب الواجب اتباعها:

- ١- يجب أن تكون جميع برامج معالجة المستقبل وخطوط الأساس من النوع الجيوديسي.
- ٢- تُطبق كذلك متطلبات معايرة الأجهزة الموضحة في الجزء (٤-٢) في مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لجميع المعدات الطبوغرافية. ويمكن التحقق من الأجهزة والبرامج -إن لزم الأمر- باستخدام نقاط تحكم متوفرة عالية المستوى. كما أن قياس (خط الأساس الصفري) إحدى الطرق المجدية الأخرى التي يمكن إجراؤها بوصل هوائي واحد إلى مستقبلين باستخدام جهاز تقسيم الهوائي. ويجب أن تتوافق بيانات الموقع المتحصل عليها من المستقبلين ضمن جزء من (١٠) ملم.
- ٣- يجب إحكام التحكم في جميع المعدات المستخدمة، وصيانتها، وتشغيلها على يد عاملين مختصين ومدربين.
- ٤- تستند جميع قياسات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على الموقع الدقيق للهوائي؛ لذا فإن تمرّكه على العلامة الأرضية بدقة يعطي أفضل النتائج.
- ٥- يجب أن تكون مواقع الأقمار الصناعية وهندستها في أثناء المسح الميداني كافية لضمان دقة النتائج. ويجب ألا يتجاوز تأثير توزيع الأقمار الصناعية في التخفيف الهندسي للدقة وفي حال التخفيف الهندسي للدقة (PDOP) يجب ألا تزيد عن (٨). كما يجب أن يلتزم المستخدم بتوصيات الشركة المصنعة لمستقبل النظام العالمي للملاحة فيما يخص الدقة المحققة في أثناء أطوار المسح؛ إذ يساعد هذا على حل مشكلات التباس الأرقام الصحيحة المجهولة عند استخدام برامج معالجة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ذات الصلة.
- ٦- يؤثر بدء العمل بإحداثيات غير دقيقة في دقة نتائج خط الأساس؛ فيجب أن تُستخدم الإحداثيات الأولية ضمن (١٠) أمتار من الموقع الفعلي للمستقبل لبدء معالجة خطوط الأساس وتعديلها. وبعد رفع الإتاحة الانتقائية، وبفضل تطور المستقبلات الجيوديسية؛ يتحقق هذا المطلب الخاص بالمواقع الأولية في الأغلبية العظمى للمسوحات.
- ٧- ليس من الضروري الحصول على قراءات أرصاد جوية؛ إذ تُستخدم البرمجة الحديثة لمعالجة خط الأساس، ومستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لنمذجة طبقة الغلاف الجوي السفلية.
- ٨- يجب تغيير ارتفاع الهوائي بمقدار (٠,١) متر -على الأقل- عند إعادة تمرّك المستقبل؛ ما لم يُثبت على قاعدة خرسانية.
- ٩- قد تكون المسارات المتعددة مصدر ضار للأخطاء؛ خاصة عندما تكون مدد القياس قصيرة. والظروف المعتادة لخطأ المسارات المتعددة الموجود هي: الاقتراب من الأسطح المعدنية، والأشجار الرطبة، والمباني المرتفعة، والأسوار السلكية. وإذا كان هناك احتمال لحدوث خطأ المسارات المتعددة؛ فيجب زيادة مدة القياس بمعامل (٢)؛ للسماح بتقليل تأثيره في تغيير مواقع الأقمار الصناعية.

أما عن تسوية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، المستخدمة في المسوحات منخفضة المستوى وفقاً للجدول (٣-٣)؛ فيجب وضع ما يلي في الحسبان.

- ١- يجب استخدام نموذج (KSA-GEOID)؛ لتحويل ارتفاعات المجسم الإهليلجي الأرضي من نظام (WGS 84) إلى ارتفاعات المجسم الأرضي أو الجيوييد (geoid)، والعكس.
- ٢- يجب ربط عمليات رصد النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بنقاط التحكم الحالية من المستوى ذاته أو أعلى من مسح التحكم نفسه، ولا ينبغي استخدام محطات الرصد المرجعية المستمرة بالمملكة العربية السعودية، أو أي محطة رصد مرجعية أخرى متاحة، أو شبكة نقاط تحكم أخرى مستخدمة في المملكة؛ لإنشاء نقاط تحكم جديدة منخفضة المستوى مباشرة بعد تسوية النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.

الجدول (١٠-٢) المعايير والمواصفات المناسبة لمسوحات تحكم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (MoMRAH, (ODOT, 2014) (2005).

مستوى المسح					الوصف
الخامس	الرابع	الثالث	الثاني	الأول	
٣٠	١٥	٨	٣	١	الانحراف المعياري (ملم).
منهجيات مسح تحديد المواقع بواسطة الأقمار الصناعية					
✓	✓	✓	✓	✓	الساكنة.
✓	✓	✓	✓		الطريقة الساكنة السريعة.
✓	✓				طريقة الحركة.
عملية المسح					
١٠	١٠	١٠	١٥	١٥	أدنى ارتفاع لزاوية الحجب.
٤	٤	٥	٥	٥	العدد الأدنى للأقمار الصناعية المزمع رصدها.
٧	٥	٥	٥	٣	الحد الأقصى لخطأ التمرکز (ملم).
٢	٢	٢	٢	٢	الحد الأدنى لعدد القياسات المستقلة لارتفاع الهوائي.
٨	٨	٨	٨	٨	الحد الأقصى للتخفيف الهندسي للدقة في أثناء الرصد.
٦	٦	٦	٦	٦	الحد الأقصى للتخفيف الموضعي للدقة في أثناء الرصد.
هندسة الشبكة					
-	٠,١	٠,٢	٠,٢	٥	أدنى مسافة موصى بها بين النقاط (كم).
-	٠,٢٠ - ٠,٠٥	٠,٢ - ٠,٥	٠,٥ - ١,٥	١٠	المسافة النموذجية بين النقاط (كم).



مستوى المسح					الوصف
الخامس	الرابع	الثالث	الثاني	الأول	
١	٢	٣	-	-	أقصى مسافة بين النقاط للتردد الواحد (كم).
٢	٣	٣	٤	-	أدنى عدد من النقاط الواجب توفرها داخل الشبكة.
تمركز النقطة المستقلة					
-	١ %	٢ %	٤ %	٥ %	ثلاث مرات (٪) - على الأقل- من إجمالي النقاط.
-	٥ %	٨ %	١ %	١ %	مرتان (٪) - على الأقل- من إجمالي النقاط.
٢	٢	٢	٣	٣	خط الأساس الأصغر المستقل لكل نقطة.
متطلبات المسح الساكن					
٢	٢	٣	٤	٦	أدنى عدد من المستقبلات التي تعمل بالتزامن.
٥	٥	٥	٥	٥	الفصل الزمني الموصى به بين القراءات؛ (ثانية).
١	٢	٢	٢	٣	أدنى عدد من خطوط الأساس لكل نقطة.
٤	٥	٥	٦	٦	أدنى عدد للأقمار الصناعية المرئية في الوقت ذاته.
أدنى وقت للإشغال (ساعات)					
٠,٥	١,٠	-	-	-	تردد أحادي، خطوط الأساس أقل من ٥ كم.
٠,٢٥	٠,٥	١,٠	١,٥	٢	تردد مزدوج، خطوط الأساس أقل من ٥ كم.
-	-	١,٠	٣	٤	تردد مزدوج، خطوط الأساس من ٥ كم إلى ١٠ كم.
-	-	-	٦	٦	تردد مزدوج، خطوط الأساس من ٥ كم إلى ١٠ كم.
-	-	-	-	٨	تردد مزدوج، خطوط الأساس من ١٥ إلى ٣٠ كم.
-	-	-	-	١٢	تردد مزدوج، خطوط الأساس أكبر من ٣٠ كم.
التقويم الفلكي					
BE	BE	BE	RE/BE	RE	الحد الأدنى من متطلبات التقويم الفلكي: BE = مرسل. RE = النصف المرصود من التقويم الفلكي - الفائق السرعة - بالخدمة الدولية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.



مستوى المسح					الوصف
الأول	الثاني	الثالث	الرابع	الخامس	
خطوط الأساس المتكررة					
٠,١	١	٥	١٠	٥٠	الحد الأقصى لمتوسط الفرق (ملم) لأي خط أساس ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
-	١,٥	٨	١٥	٧٥	أقصى فرق (ملم) لأي خط أساس ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$).

يجب مسح نقاط التحكم المرجعية (من المستوى الأول حتى الثالث)؛ باستخدام طرق المسح الساكنة، أو الساكنة السريعة. وعند استخدام الحركة؛ مثل: طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، وطرق إنشاء نقاط تحكم (مسح من المستوى الرابع وما تحته)، ينبغي اتباع الإجراءات التالية:

- ١- ينبغي إنشاء نظام التحكم في المشروع أو التحقق منه.
- ٢- يجب تركيب محطات أساسية لنقاط التحكم من المستوى الثالث وما يعلوه.
- ٣- ينبغي فحص قياس نقاط التحكم الجديدة (مرتين، أو ثلاث مرات) على الأقل.
- ٤- ينبغي إعادة تشغيل التلقي المتنقل بين مرات القياس؛ باستخدام ارتفاعات هوائي مختلفة. تساعد عمليات إعادة التشغيل -هذه- على إيجاد الحلول الصحيحة لحالات الالتباس، وبعض الأخطاء عشوائية.
- ٥- يجب وضع المستقبل المتنقل على عمود -على الأقل- ليشكل دعامة ثلاثية القوائم، أو على دعامة ثلاثية القوائم وثلاثية الأذرع. ومن المهم تمرکز مستقبل الهوائي، وتعديله أفقيًا، وقياسه بدقة.
- ٦- يُحظر استعمال قياسات الميلان حتى بمستقبلات وحدات قياس بالقصور الذاتي؛ لإجراء مسوحات التحكم.
- ٧- ينبغي العناية بقياس ارتفاع الهوائي الصحيح فيما يخص النقطة المرجعية لهوائي المستقبل؛ وفقًا لمواصفات الشركة المصنعة.
- ٨- ينبغي إجراء مسح لنقطة تحكم جديدة في أقل من (٣٠) ثانية. كما يجب أن تقل دقة تحديد المواقع عن (٠,٠٢) م، وينبغي ألا تقل زاوية القطع عن (١٥) درجة، وعدد الأقمار الصناعية ينبغي ألا يقل عن خمسة.
- ٩- تؤدي دقة النقطة المحددة بمقدار (٠,٠٢) م إلى دقة قدرها (٠,٠٥) (٢,٤٥x) بنسبة مستوى ثقة (٩٥ %) للاتجاه نحو الشرق والشمال.
- ١٠- يجب أن يكون التوافق مع نقاط التحكم الموجودة (رأسياً) أقل من (٠,٠٥).

٢-٤-١٠ تخطيط مسوحات التحكم بواسطة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

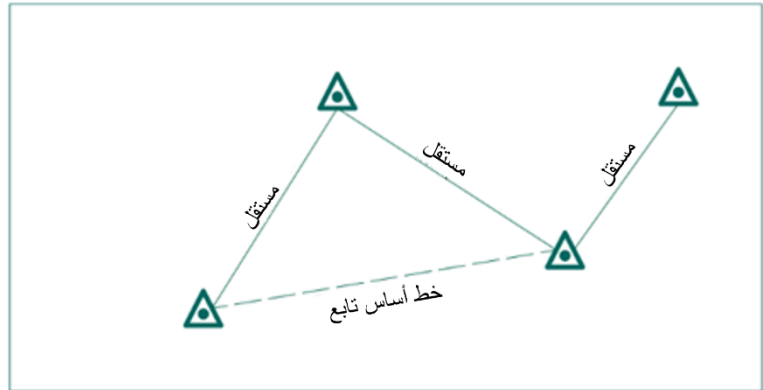
تتمثل إحدى الخطوات الأولى لتخطيط مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية في اختيار التقنية المناسبة لدرجة الدقة المطلوبة، ويوفر الجدول (٣-٣) المعلومات الأساسية، في حين يعرض الجدول (٢-١٠) تعليمات للمستخدمين بشأن التقنيات التي يمكن استخدامها في إنشاء مسوحات المراقبة؛ طبقاً لترتيب المسح، ولا يعتمد موقع وتوزيع نقاط التحكم التي تُنشأ على عوامل؛ مثل: شكل الشبكة، أو الرؤية المتبادلة لنقطة المراقبة.

وتُجرى المسوحات عالية الترتيب -بوجه عام- بطرق ساكنة، وساكنة سريعة؛ لإنتاج خطوط الأساس. ومع وجود ثلاثة أجهزة استقبال تقوم بالملاحظة يكون هناك -في نفس الوقت- ثلاثة خطوط أساس محتملة؛ وتنتج أربعة أجهزة استقبال، وستة خطوط أساس محتملة. وبصفة رسمية، يكون لمجموعة معينة من أجهزة الاستقبال (N) التي تقوم بجمع البيانات في نفس الوقت عدد (M) من خطوط الأساس المحتملة:

$$M = \frac{1}{2} \times (N \times (N - 1)) \quad \text{المعادلة (٢-١٠)}$$

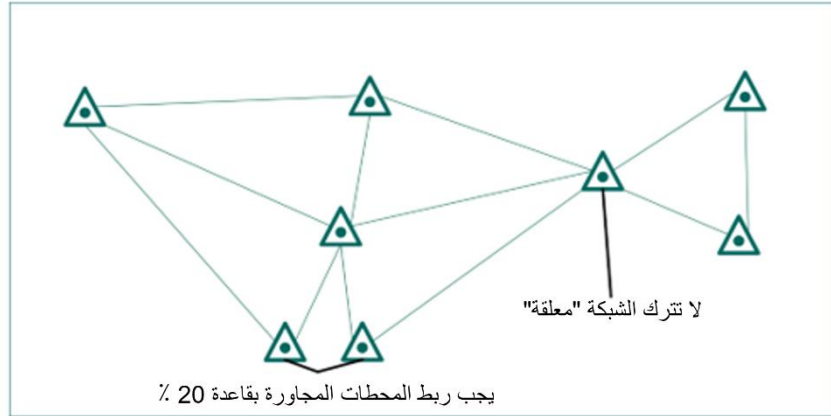
ورغم ذلك لا يكون العديد من خطوط الأساس المحتملة (M) مستقلاً؛ لأنه تم اشتقاقها من نفس بيانات الملاحظة، على غرار خطوط الأساس المستقلة. ونظراً لأنه تم احتساب خطوط الأساس المستقلة باستخدام برامج المعالجة؛ فلم تعد هناك متغيرات مجهولة. ولا تضيف معالجة خطوط الأساس غير المستقلة -المتبقية- سوى تكرار موجود؛ مما يؤدي إلى إحصاءات ضبط محسنة للأمثلة بشكل خاطئ. ويكون عدد خطوط الأساس المستقلة -المتاحة لجلسة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية وتنتجها أجهزة الاستقبال (N) - هو (N-1). وعليه نجد في

(أن أربعة أجهزة استقبال تنتج ثلاثة خطوط أساس مستقلة. وفي أثناء ما بعد المعالجة المعروضة في الجزء (٣-١٢) من هذا المجلد؛ يمكن للمساح اختيار خطوط الأساس المستقلة لجلسة الملاحظة تلك.



الشكل (٦-١٠) خطوط الأساس المستقلة وغير المستقلة.

تحدد هندسة الشبكة كيفية توزيع الأخطاء، وجودة إحداثيات نقاط المراقبة النهائية. وبناءً عليه؛ فإن لاختيار خطوط أساس الملاحظة أهمية بالغة. ولا تُدرج خطوط الأساس غير المستقلة في ضبط الشبكة. وينبغي توصيل نقطتي شبكة -على الأقل- بكل نقطة، ويجب تشغيلها مرتين -على الأقل- باستخدام إعداد مستقل. ويقتضي ذلك إعادة ترتيب إعداد أجهزة الاستقبال على الحامل الثلاثي/ القاعدة الثلاثية، وإعادة قياس ارتفاع الجهاز، ويكشف الشكل (٧-١٠) عن وجوب تكون الشبكة من سلسلة من الحلقات المغلقة، الموصلة بالتبادل؛ لنفاذي وجود محطات معلقة، قد تعمل كموصلات، كما يجب توصيل جميع المحطات المجاورة؛ باستخدام قاعدة (٢٠٪) (ODOT, 2014)، التي تنص على أن يكون أي خط أساس مستقل مكون من نقاط توصيل مقاسة، أقرب من (٢٠٪) من إجمالي المسافة بين تلك النقاط المتتالية على طول خطوط الأساس الحالية (الشكل ٧-١٠). وكحد أدنى، يجب استخدام ثلاث محطات مرجعية جيوديسية -تخص المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية- في مراقبة الشبكة ذات الترتيب الأول.



الشكل (١٠-٧) أفضل ممارسات شبكة المراقبة.

بالإضافة إلى المعلومات الواردة في الجدول (١٠-٢)؛ يجب اتباع التعليمات الية:

- ١- يجب ربط جميع أعمال مسح الترتيب الأول بالإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية (KSA-GRF17)، والإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية (KSA-VRF14)، والمحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (KSA-CORS).
 - ٢- كحد أدنى، يجب استخدام ثلاث محطات مرجعية جيوديسية -تخص المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية (KSA-CORS) في مراقبة الشبكة.
 - ٣- وينبغي توصيل نقطتي شبكة -على الأقل- بكل نقطة ذات خطوط أساس مستقلة، ويجب شغل كل نقطة مرتين -على الأقل- باستخدام إعداد قل.
 - ٤- على غرار مسح محطة النقاط المتكاملة، يكون التمرکز الدقيق للهوائي، والضبط الأفقي؛ باستخدام مسامير تسوية القاعدة الثلاثية إلزامياً. كما يكون القياس الدقيق لارتفاع الهوائي مهماً جداً. وبعد مرور وقت كافي؛ يتم إجراء تمرکز مستقل، وضبط أفقي للهوائي، وقياس ارتفاع الهوائي.
- وبعد الحصول على معلومات عن شبكات المراقبة الحالية في المنطقة -بنفس الترتيب أو ترتيب أعلى- يجب تنفيذ تصميم لشبكة نقط المراقبة المقرر إنشاؤها، والنظر إلى تنوع المعدات المستخدمة، وحقيقة أنه في أثناء المسوحات الميدانية يكون الوقت المتاح للمراقبة قصيراً، وقد يحول عدم الالتفات للتخطيط الجيد بعض العواقب البسيطة إلى مفاجآت غير سارة في أثناء عمل المراقبة.
- وفيما يلي تلخيص لخطوات تخطيط عمل مسح:

- ١- تصميم الشبكة: يشمل تعريف نطاق المشروع والشبكة، الذي يعتمد بشكل رئيس على متطلبات الدقة، وشكل الأقمار الصناعية المقرر مراقبتها، بالإضافة إلى شبكة نقاط المراقبة الحالية. وينتج عن ذلك أن يوفر تصميم أفضل المعلومات المجمعة بين النقاط الجديدة والحالية، ويكون أكثر دقة فيما يخص المواضيع ذات الصلة.
- ٢- جدولة أوقات المسح: عند تحديد جدول المسح؛ يجب مراعاة ملي:
 - أ- استخدام المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية أو نقاط المراقبة الحالية.
 - ب- عدد أجهزة الاستقبال المتاحة.
 - ج- الوقت المخطط له، ووقت التنقل لكل نقطة.
 - د- عدد النقاط لكل يوم.
 - هـ- أوقات الإشغال.
- ٣- جودة المراقبة: يجب مراعاة ما يلي؛ عند اختيار أجهزة الاسال:
 - أ- يؤثر اختيار نوع أجهزة الاستقبال في نوع نظام التسجيل ووطه.
- ٤- الاستكشاف: لا يمكن اعتبار الرسم التخطيطي منجزاً إلا بعد عملية الاستكشاف الميداني. ويجب القيام بما يلي؛ في أثناء عملية الاستكشاف:
 - أ- تحديد نوع الأرض والإشارة وإمكانية سير المركبات عليها.
 - ب- تحديد أطوال الكابلات.
 - ج- تحديد العوائق الطبيعية والبشرية في المنطقة.
 - د- تحديد مواقع النباتات والأشجار التي قد تعيق المسح أو تسبب أخطاءً في أثنائه.
 - هـ- مراجعة حالة نقاط المراقبة الحالية، والتأكد من وجودها، وعدم تلفها.
- ٥- تنظيم الشؤون الإدارية: من وجهة نظر معينة، تتجه الرغبة -دائماً- نحو تقليل تكاليف العمل الميداني، دون الإخلال بالدقة المطلوبة. ويركز التقليل على العناصر الية:



- أ- النقل والتحركات.
 - ب- عدد أجهزة الاستقبال المتاحة، وأنواعها.
 - ج- استخدام أجهزة الاستقبال المملوكة أو المؤجرة.
 - د- استخدام شبكة المحطات المرجعية العاملة باستمرار.
- ٦- عوامل أخرى مثل:
- أ- تحديد نوع المصدر الكهربائي؛ هل هو تيار متردد، أو تيار مستمر؟ (١٢) فولت أو (٢٤) فولت؟.
 - ب- جودة الأجهزة، ومتانتها، ووزنها، وقابلية نقلها.
 - ج- أطوال الكابلات المتاحة، ومصادر الطاقة الخارجية.
 - د- طبيعة سطح الأرض، وقابلية السير عليه، وقابلية الوصول لنقاط المراقبة الحالية.
 - هـ- وسائل النقل المناسبة لمنطقة المشروع، واللازمة لنقل المعدات والأفراد؛ (السيارات، مركبات النقل، طائرات الهليكوبتر).

١١- جمع البيانات بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

١١-١ مبادئ جمع البيانات:

قد تكون وفرة البيانات مؤشراً على الدقة التي تم إجراء القياس بها. ولكي يكون لهذا المؤشر مغزى؛ يجب عدم تكرار إدراج مصادر الخطأ المحتملة بطريقة نظامية في القياسات المتاحة. وفي مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، يجب أن تكون هناك أعمال مسح متعددة، بهندسيات قمر صناعي بديلة، ومسح متكرر للنقطة؛ بحيث يتم التخلص من المصادر المحتملة للأخطاء التراكمية الناتجة من تعدد المسارات، وانحراف المدار، والتأخير في الأجواء العلوية والسفلية. وحتى إذا كررت قياسات النقطة في أي يوم آخر؛ يجب جمع البيانات في عدة أوقات زمنية؛ بحيث يمكن الحصول على تهيئة مختلفة للأقمار الصناعية. كما توفر الملاحظات الوفيرة مصادقة إضافية لأخطاء التوضع، مع مجموعة ثانية من قياسات ارتفاع الهوائي.

يجب اختبار أي معدات تُستخدم في أثناء مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لتمرکز الهوائي أعلى نقطة المراقبة؛ مثل: (القاعدة الثلاثية، وميزان المياه، وما إلى ذلك) بصفة دورية، وضبطها حسب الضرورة. ويمكن إجراء هذه الاختبارات من قبل موظفي الإصلاح والصيانة، أو من قبل المساح نفسه. وعلى أي حال؛ يجب ألا تتجاوز نتائج الاختبار الحد الأقصى المسموح به من الأخطاء، كما يجب إرفاق وثائق الاختبار بتقرير المساح.

يجب أن تشمل أخطاء الملاحظة (الأوزان) -المستخدمة في ضبط المربعات الصغرى- تقديرات لإجمالي أخطاء تمرکز الهوائي، التي تتألف من:

- دقة التمرکز في الاختبار المذكور آنفاً.
- الخطأ في قياس ارتفاع الهوائي.
- استقرار مركز قاعدة الهوائي.

وفيما يخص مسوحات مراقبة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ يجب توافر التمرکز المستقل، وطريقة جمع البيانات لكل قياس خط أساس، كما يجب قياس ارتفاعات الهوائي في بداية ونهاية كل إعداد مستقل. وإذا أخذت قياسات الهوائي من مستوى سطح الأرض بدلاً من مستوى العلامة المحددة؛ عندها -وفي البداية أو النهاية- يجب تسجيل ارتفاع السمة لثلاث نقاط -على الأقل- حول مستواه الأرضي. كما يوصى باستخدام معدات تمرکز ثابتة الارتفاع في جميع أعمال المسح، لاسيما في مشاريع الضبط الرأسي. ويجب النقاط صور واضحة ورسومات بيانية مفصلة للسمة/العلامة النقطة عند الإعداد. كما يجب إعداد ملاحظات عن كل نقطة، بما في ذلك على الأقل ما يلي:

- ١- أوقات بداية ونهاية الإشغال.
- ٢- اسم المساح المتواجد في المحطة.
- ٣- تحديد جهاز الاستقبال (الطراز والرقم التسلسلي).
- ٤- جميع قياسات ارتفاع الهوائي (بار).
- ٥- تعريف النقطة (اسم النقطة ورا).
- ٦- وصف السمة والعلامة.
- ٧- رسم تخطيطي وصورة للسمة/ نقطة التحكم الجديدة.

تختلف مدة المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بسبب عوامل مختلفة، منها ما يلي:

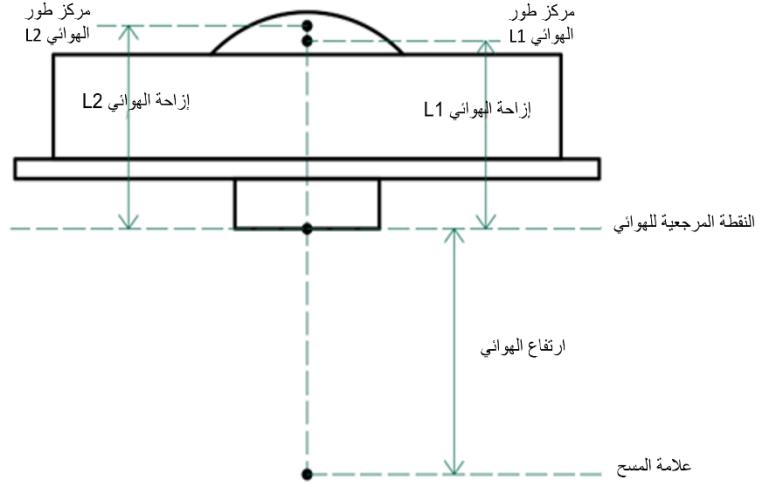
- مستوى الدقة المطلوب.
- عدد الأقمار الصناعية المتاحة.
- أجهزة الاستقبال المتاحة.
- تقنية المسح.
- برامج المعالجة.

يكفي القول إنه يمكن الحصول على نتائج كافية لفترات المسح التي تتراوح من دقيقة واحدة إلى عدة ساعات أو أيام. وستقل وفرة الملاحظات مع التحليل والتوثيق المناسبين من أي مشكلات. وتنعكس الأخطاء الفعلية على ضبط الشبكة؛ عند استخدام إستراتيجية وزن مناسبة مع ملاحظات وفيرة، ويعرض الجدول (١٠-٢) المواصفات الإضافية للتخطيط، وجمع البيانات.

يُقاس ارتفاع الهوائي (الشكل ١١-١) بين علامة النقطة ومركز قاعدة الهوائي، قبل وبعد كل دورة مراقبة. ويُسجل لأقرب (١) ملم، ويُحظر نقل الهوائي في أثناء الإشغال. ولتفادي أي اعتراض لشبكات القمر الصناعي؛ يُوضع الهوائي في مواقع خالية من العوائق، وأعلى من (١٠) درجات إلى (١٥) درجة من الأفق الأفقي.

تعتمد الملاحظات الدقيقة للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على الإشارات النظيفة غير المعدلة. وقد تعكس الأشياء القريبة، مثل: (المباني، والأشجار، والمركبات) إشارات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، مما يؤدي إلى تأثيرات متعددة المسار، ويتسبب في أخطاء القياس. قد يؤدي الإرسال اللاسلكي القوي (من أجهزة الراديو المحمولة، أو أبراج الراديو، أو هوائيات النظام العالمي لاتصالات الهواتف المحمولة، أو خطوط الكهرباء) إلى تدهور إشارات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، مما يؤدي إلى تجنب هذه المناطق عند الإمكان. ويسمح المنظر المفتوح للسماء لجهاز الاستقبال بتتبع عدد أكبر من الأقمار الصناعية.

يجب أن تُعد الملاحظات المتعاقبة -على نفس النقطة- مستقلة. ولتحقيق الإشغال الثاني المناسب؛ يجب أن يكون الإعداد دون تسوية، وأن تُقلب القاعدة الثلاثية (١٢٠) درجة، وتُعاد تسويتها بارتفاع هوائي جديد. ويساعد اتخاذ هذه الخطوات في تقليل الأخطاء النظامية. ويكون الوقت المستغرق في عدم التسوية وإعادة التسوية كافياً للفجوة بين الملاحظات.



الشكل (١١-١) النقطة المرجعية للهوائي ومركز طور الهوائي لكل من (L1) و (L2) وإزاعاتها.

تُعد الأخطاء الفادحة في قياسات ارتفاع الهوائي المصدر الأكثر شيوعاً للخطأ في مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ومن المهم الكشف عن تلك الأخطاء الفادحة؛ حيث إن جميع مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية ثلاثية الأبعاد؛ سواء أستخدم المكون الرأسي أم لا. وتحدد قياسات ارتفاع الهوائي الارتفاع، من علامة سمة المسح إلى النقطة المرجعية للهوائي نظام تحديد المواقع العالمي (الشكل ١١-١)، وتتضمن أجهزة الاستقبال الحديثة مركزي طور هوائي؛ واحد يخص إشارة (L1)، والآخر يخص (L2) (وإزاحتين، على التوالي)، وباستثناء العوامل الثلاثية ثابتة الارتفاع، والهوائيات المثبتة بصفة دائمة؛ يجب قياس ارتفاعات الهوائي المستقل، في بداية جلسة الملاحظة ونهايتها.

وتتناول التعليمات التالية مختلف أنواع المسح عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ مثل: الساكن السريع، والساكن، والحركة في الوقت الحقيقي (RTK) والحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK) بالتوقف/التحرك. وبالإضافة إلى ذلك يجب أن يلتزم المستخدمون باتباع الإجراءات والتوصيات المنصوص عليها في دليل المعدات والبرامج.

٢-١١ خط الأساس للمسح الساكن:

تنطبق الإرشادات التالية؛ عند المسح بالطريقة العادية النة:

- ١- يجب أن يكون وقت التسجيل ساعتين على الأقل، ويزيد مع طول خط الأساس الذي يُمسح.
- ٢- يجب تغيير مواقع الأقمار الصناعية بشكل ملحوظ في أثناء مدة المراقبة.
- ٣- يجب مسح أكبر عدد ممكن من الأقمار الصناعية (بحد أدنى: أربعة)؛ كما هو شائع في جمع المعدات الجوالة المستخدمة في المسح الثابت، في نفس المدة الية.
- ٤- يجب استخدام أجهزة الاستقبال مزدوجة التردد (L1/ L2). كما يمكن استخدام أجهزة الاستقبال أحادية التردد؛ لخطوط الأساس القصيرة (أقل من ١٠ كم)، ولمسوحات ذات الترتيب قل.
- ٥- يجب جمع ملاحظات كافية لحل حالات الغموض، لاسيما بالنسبة لخطوط الأساس التي تزيد عن (١٥) كم.
- ٦- على غرار المسح الطبوغرافي؛ يكون التمرکز الدقيق للهوائي، والضبط الأفقي -باستخدام براغي تسوية القاعدة الثلاثية- إلزامياً، كما يكون القياس الدقيق لارتفاع الهوائي لأقرب (١) ملم مهماً جداً. ويجب توخي الحذر لقياس ارتفاع الهوائي بشكل صحيح فيما يتعلق بالنقطة المرجعية للهوائي (الشكل ١١-١)؛ طبقاً لمواصفات الجهة المصنعة.

٣-١١ خط الأساس للمسح الساكن السريع:

تنطبق الإرشادات التالية؛ عند استخدام طريقة الساكن السريع:

- ١- يجب جمع معلومات كافية لحل حالات الغموض.
- ٢- طبقاً لجهاز الاستقبال المستخدم؛ يجب الرجوع إلى توصيات الجهة المصنعة؛ فيما يخص: طول فترات الملاحظة، وأعداد الأقمار الصناعية، ومواقعها، وملاءمة أجهزة الاستقبال (الأحادية، أو مزدوجة التردد).
- ٣- قد تشكل أخطاء المسار المتعدد -التي تنتج عن عكس العوائق المغلقة القريبة- مصدرًا رئيسًا للأخطاء، لاسيما في أثناء فترات المراقبة القصيرة؛ ولهذا يجب الاعتناء بهذه المشكلة.
- ٤- يجب أن يكون وقت التسجيل خمس عشرة دقيقة على الأقل، ويزيد مع طول خط الأساس الذي يُمسح.
- ٥- يُعد التمرکز الدقيق للهوائي، والضبط الأفقي -باستخدام براغي تسوية القاعدة الثلاثية لارتفاع الهوائي؛ فيما يتعلق بالنقطة المرجعية للهوائي- مهمين جدًا.

١١-٤ خط الأساس للمسح الحركي:

تنطبق هذه الإرشادات على خطوط الأساس لمسوحات التوقف، والتحريك، وطريقة الحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK):

- ١- عند التنقل بين النقاط الجديدة؛ يجب أن يعمل جهاز الاستقبال الجوال باستمرار، وألا يفقد الاتصال بالقمر الصناعي.
 - ٢- يُفضل وجود خمسة أقمار صناعية مشتركة أو أكثر؛ بسبب احتمالية فقدان الإشارات في أثناء التحريك بين النقاط.
 - ٣- يجب أن يكون الحد الأدنى للبقاء في نقطة معينة كافياً؛ لتسجيل (٥) إلى (١٠) حلول، حسب جهاز الاستقبال.
 - ٤- قد تشكل ظاهرة المسار المتعدد مصدرًا رئيسًا للأخطاء، لاسيما في أثناء فترات المسح القصيرة؛ ولهذا يجب الاعتناء بهذه المشكلة.
 - ٥- يمكن استخدام أجهزة استقبال جيوديسية أحادية التردد، لمسافة قاعدة المستكشف التي تقل عن (١٠) كم، رغم أنه يُفضل - بشدة- استخدام أجهزة الاستقبال مزدوجة التردد.
- تشمل تقنية المسح بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي بث البيانات اللاسلكية من جهاز استقبال أساس ثابت إلى أجهزة الاستقبال المتحركة، ومعالجة هذه البيانات آنياً؛ للحصول على إحداثيات ثلاثية الأبعاد للأجهزة المتحركة. وتنطبق الإرشادات التالية على المسح بطريقة الحركة في الوقت القي:
- ١- يمكن استخدام أجهزة استقبال جيوديسية أحادية التردد للمسافات التي تقل عن (٥) كم من القاعدة، وعلى الرغم من ذلك، يُفضل بشدة استخدام أجهزة الاستقبال مزدوجة التردد.
 - ٢- قد يصل المدى النموذجي للمسح بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي إلى (٥٠ - ٧٠) كم؛ حسب نوع جهاز الاستقبال الجوال.
 - ٣- ينبغي على المساح الامتثال لتوصيات الجهة المصنعة؛ فيما يخص الحد الأدنى من عدد الأقمار الصناعية، ومواقعها؛ للتقليل من تأثير توزيع القمر الصناعي في دقة الضع.
 - ٤- قد يشكل تأثير المسار المتعدد مصدرًا رئيسًا للأخطاء، لاسيما في الطرق الحركية، ويجب توخي الحذر في هذا الشأن، شريطة وضع القاعدة، وأجهزة الاستقبال الجوال في مناطق تقل فيها ظاهرة المسار المتعدد، وإذا كان من المرجح أن تظهر مسارات متعددة في المعدات الجوال؛ فيجب زيادة فترة المسح لكل نقطة بحيث يقل تأثير المسار المتعدد في أثناء التغييرات في مواضع الأقمار الصبة.
 - ٥- للسماح بالتنوع الكافي في مجموعة الأقمار الصناعية المستخدمة، وتحسين الكشف عن الخطأ؛ مثل: المسار المتعدد، ينبغي عدم القيام بإعادة تحديد موضع القاعدة إلا بعد مرور (٤٥) دقيقة -أو أكثر- على النقطة المرجعية.
 - ٦- عند نقل محطة القاعدة إلى نقطة مرجعية جديدة؛ يجب مسح النقاط المتعددة التي لوحظت من القاعدة مرة أخرى (مرتين) بشكل مستقل؛ فهذه أكثر طريقة موثوقة للتحقق من وجود أخطاء تراكمية أو رئيسة، ويوضح الجزء الفرعي (١٢-٤-٣) هذه الطريقة المستخدمة في تحليل جودة المسح بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي، واستخدام مقارنات خطأ الإغلاق بين المسوحات المتعددة لنفس اطة.
 - ٧- لا يمكن تطبيق ضبط المربعات الصغرى على النقاط الممسوحة بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي، وعلى الرغم من ذلك، قد تسمح بعض أجهزة استقبال الرصد الحركي في الوقت الحقيقي للمستخدمين بأخذ مكونات خط الأساس (بدلاً من الإحداثيات)؛ لإدراجها في تعديل المربعات ارى.
 - ٨- يجب أن تكون مواضع وإحداثيات جهاز الاستقبال الأساس معروفة -سلفاً- قبل البدء في المسح بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي (أو استخدام المحطات المرجعية العاملة باست).
 - ٩- يجب مسح نقاط المراقبة الإضافية الحالية في أثناء المسوحات؛ عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بطريقة الحركي في الوقت الحقيقي؛ لضمان المطابقة الكافية للنقاط المرجعية الأفقية والرأسية في منطقة الع.
 - ١٠- عندما تتوفر قياسات الميلان بوحدات القياس بالقصور الذاتي -استناداً إلى جهاز الاستقبال- يجب اتباع تعليمات الجهة المصنعة؛ فيما يخص معايرة وحدات القياس بالقصور الذاتي قبل أخذ قياسات الميلان. وتشمل هذه التعليمات: أخذ الشاخص، ورسم دائرة حول الأرض، وهز الشاخص، والمشي في الأنحاء، والانتظار، وما إلىك.
 - ١١- عندما تتوفر قياسات الميلان بوحدات القياس بالقصور الذاتي -استناداً إلى جهاز الاستقبال- يجب اتباع تعليمات الجهة المصنعة؛ فيما يخص زوايا الميلان المسموا.
 - ١٢- يجب تسجيل العناصر التالية مع الإحداثيات المستخرجة: تعريف النقاط المرجعية، والتاريخ، والوقت، والمرجع، وعدد الأقمار الصناعية التي لوحظت، والانحراف القياسي للإحداثيات المستخرجة، وارتفاع الشاخص والرمز.



ومن أهم مزايا طريقة الحركة في الوقت الحقيقي: أنه لا توجد حاجة إلى المزيد من معالجة البيانات؛ لذا يتم الوصول للجودة المطلوبة دون تطبيق أي خطوة حساب إضافية.

٥-١١ الملاحظات الميدانية والبيانات:

يرد ذكر متطلبات التوثيق العامة لجميع أعمال المسح في الجزء (٤-٤) من هذا المجلد، وبالإضافة إلى ذلك، يجب مراعاة النقاط التالية؛ فيما يخص الملاحظات الميدانية، والبيانات التي تُجمع لأعمال المسح؛ عن طريق النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

- ١- يجب استخدام الملاحظات الميدانية في تسجيل جميع المعلومات ذات الصلة، كما قد تكون مكتوبة بخط اليد أو إلكترونية. وعند استخدام الملاحظات المكتوبة بخط اليد؛ يجب استخدام دفتر ميداني.
- ٢- يجب تسجيل نوع جهاز الاستقبال، ورقمه التسلسلي، والبرنامج المستخدم في جمع البيانات في الملاحظات الميدانية.
- ٣- يعد من الضروري وجود دليل على المراجعة التامة المستقلة لارتفاع الهوائي.
- ٤- يجب أن تشمل الملاحظات الميدانية: سرد للجزء الذي مُسح من الشبكة، بالإضافة إلى الاسم أو التعريف لمستخدم كل نقطة، ويجب شرح أي خط أساس يُقاس بشككم.
- ٥- يجب إتاحة الملاحظات الميدانية في شكل إلكتروني أو في دفتر تسجيل ميداني؛ لفحصها من قبل أي جهة مختصة.
- ٦- يجب حفظ بيانات المسح الأولية في السجلات المؤرشفة؛ لتكون متاحة للمراجعة عند الطلب من قبل جهات الاف.
- ٧- إذا طلب المشرفون ملفات نتائج مسوحات خط الأساس، والضبط النهائي؛ يجب تقديمها بصيغة رقمية

١٢- معالجة البيانات من النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

١-١٢ مقدمة:

تشمل معالجة البيانات بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية البيانات التي أخذت بواسطة المحطات المرجعية العاملة باستمرار (KSA-CORS) على سبيل المثال، وغيرها من البيانات المسجلة في الملاحظات الميدانية؛ مثل: ارتفاعات الهوائي، وقياسات مرحلة المعالجة لتحديد موجهات خط الأساس، وإجراء عمليات الضبط والتحويل للموجهات، والمواقع التي عُولجت، وتقتضي كل خطوة من هذه الخطوات تحليل ومراقبة جودة البيانات المسجلة باستخدام القياسات والتقييمات الإحصائية؛ للحصول على مستوى الموثوقية المطلوب، كما تعتمد هذه الخطوات -كذلك- على تقنية القياس، ونوع أجهزة الاستقبال، وهوائيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، والملاحظات المسجلة، وبرامج المعالجة المستخدمة، وتشمل العوامل المؤثرة في معالجة البيانات ملي:

- ١- الدقة المبدئية للموضع: يجب أن تشير الإحداثيات الفعلية لموقع النقطة المرجعية -التي تشكل خط الأساس- إلى الإطار الإسنادي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية (KSA-GRF17)، والإطار الإسنادي الرأسي للمملكة العربية السعودية (KSA- VRF14)، كما يجب أن تكون إحداثياتها الأفقية والرأسية معروفة، وأن تكون دقتها؛ كما هو موضح في الجدول (١٠-٢)، وكتقدير تقريبي، في حال وجود خطأ بمقدار (١٠) أمتار في إحداثيات النقطة الأولية غير المعروفة؛ يؤدي وجود خطأ بمقدار (١) جزء في المليون -تقريبًا- إلى خط الأساس المحسوب.
 - ٢- التقويم الفلكي للمدار: يجوز استخدام مدارات البث في معالجة جميع خطوط الأساس التي يقل طولها عن (٣٠) كم، مع مراعاة مواءمتها لأمر المسح المحدد (الجدول ١٠-٢، الجزء الخاص بالتقويم الفلكي)؛ ونظرًا لأن الخطأ المداري بمقدار (٢٠) مترًا يؤدي إلى خطأ في خط الأساس بمقدار (١) جزء في المليون تقريبًا؛ فإنه ينبغي استخدام لخدمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الدولية (النصف الملاحظ) أو التقويم الفلكي (فائق السرعة، أو السريع) لخطوط الأساس المذكورة.
 - ٣- تقليل خطأ الجو: يمكن استخدام النماذج القياسية؛ لتأخير إشارة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية في الستراتوسفير، على النحو المستخدم في أغلبية برامج معالجة خط الأساس التجاري.
- وترد في الأجزاء التالية تفاصيل عن معالجة خط الأساس.

٢-١٢ معالجة خط الأساس:

يُعالج خط الأساس باستخدام البرامج المناسبة، استنادًا إلى الجهة المصنعة لجهاز الاستقبال، والبيانات المقدمة، وتفضيل المساح. ونظرًا لتطور ملفات تنسيق التبادل المستقل لجهاز الاستقبال؛ فإن أغلبية أجهزة الاستقبال الجيوديسية تنتج عمليات لتصدير الملفات؛ مما يتيح معالجتها من خلال برامج أي بائع. كما توفر المحطات المرجعية العاملة باستمرار؛ مثل: (المحطات المرجعية العاملة باستمرار في المملكة العربية السعودية) ملفات تنسيق التبادل المستقل لجهاز الاستقبال، بعدة صيغ. كما يجب أن تكون برامج ما بعد المعالجة -والمستخدمة- قادرة على تنفيذ تعديل المربعات الصغرى المقيد؛ لإنتاج إحصاءات لخطوط الأساس، وأخطاء الشبكة؛ أحسب بقايا خط الأساس، وقم بإصدار القطوع الناقصة للخطأ، وأحسب درجات الحرية، وما إلى ذلك؛ بحيث تمنح المساح القدرة على تحديد جودة الإحداثيات النهائية، ومصدر أي خطأ محتمل.

وعند استيراد بيانات الرصد، من المهم التأكد أن يكون نوع الهوائي صحيح وارتفاعه مدرج في الملف أيضًا. وتفسر عدة برامج (RINEX) ملف تنسيق التبادل المستقل لجهاز الاستقبال؛ من خلال تطبيق إزاحة رأسية على مركز الطور الهوائي، أي: الموضع الفعلي للهوائي داخل جهاز الاستقبال (الشكل ١١-١)، ويجب أن يكون المساح على علم بهذه الإزاحة، وأن يصححها بشكل مناسب في حال تحريف البرامج للإزاحات وارتفاع الهوائي، ويجب استخدام نماذج هوائي جهاز الاستقبال المطلق من خدمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الدولية مع الإزاحات الصحيحة لمركز الطور؛ لاستغلال الاتساق التام.

يكون حل الأعداد الصحيحة -الثابت إلزاميًا بالنسبة لكل خط أساس- معالج ومدرج في الشبكة. وتحدد برامج المعالجة التجارية بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية عدم وضوح الأعداد الصحيحة، أي: العدد غير المعروف لدورات الطول الموجي الموجودة بين الهوائي والقمر الصناعي، ولإشارات القمر الصناعي للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، وعندما يتحول عدم وضوح الأعداد الصحيحة إلى (ثابت)؛ يعني ذلك: أن البرنامج قام باحتساب العدد الدقيق للدورات، وفي أي حالة أخرى، يتحول حل الإحداثيات النهائية إلى (عائم)، وتتحوّل الإشارات المزعجة أو أوقات الإشغال القصيرة -دون ثبات- إلى حالات الغموض.

قد تتواجد خطوط أساس بها مشكلات؛ حتى في النقاط التي تُشغل -بشكل صحيح- مع فترات إشغال طويلة، وبيئة خالية من المسار المتعدد، وما إلى ذلك، وفي هذه الحالة؛ يجب أن يبحث المساح عن حالات انزلاق الدورة في بيانات خط الأساس، وتحديث حالات انزلاق الدورة مع خسارة القفل على قمر صناعي معين، ويتضح لنا في شكل فواصل في مخطط القمر الصناعي المعين، وتحديث حالات انزلاق الدورة؛ بسبب: العوائق، وانخفاض قوة الإشارة، وإشارات اللاسلكي المجاورة الأعلى، وما إلى ذلك، وفي حال حدوث عدة فواصل في المخطط؛ يجب التخلص من القمر الصناعي، وإعادة معالجة خط الأساس. كما يجب النظر في إزالة إشارات القمر الصناعي ذات الجودة الأقل -لمعالجة خط الأساس؛ من خلال رفع زاوية القطع، وإعادة معالجتها. وتُستبعد الحلول العائمة من الحل النهائي باستخدام حلول المربعات الصغرى (ODOT, 2014).

لا يمكن الحصول على إحدائيات دقيقة إلا عندما تكون معلومات المدار الخاصة بالأقمار الصناعية المستخدمة في تقويماتها الفلكية معروفة، ويثبت كل قمر صناعي فردي تقويمه الفلكي المتوقع، ويتضمن معايير المدار التي تتوقع المكان الذي سيكون القمر الصناعي موجوداً فيه على مدار الساعات العديدة القادمة. ورغم أن بيانات التقويمات الفلكية التي تُثبت قد تحسنت بشكل كبير في الأعوام الأخيرة، وفي عدة مواقع، لا سيما في خطوط الأساس الطويلة، إلا أنه يمكن استخدام تقويمات فلكية (ملاحظة) أكثر دقة. وتوجد عدة أنواع من التقويمات الفلكية؛ بدءاً من تلك التي تُثبت أنبياً إلى النهائية التي تكون متاحة بعد ١٢ إلى ١٨ يومًا. ومن بينها يكون النصف الملاحظ من التقويم الفلكي فائق السرعة كافيًا لمعظم أعمال التحكم بالمشروع، الذي يكون متاحًا بعد (٣) إلى (٩) ساعات (ODOT, 2014)، كما يجب استخدام الإرشادات التالية عند معالجة خطوط الأساس (MoMRAH, 2005)، و (ODOT, 2014):

- ١- يجب أن تكون الإحدائيات الأفقية والرأسية للنقطة المرجعية المذكورة في الإطار الإنشائي الجيوديسي الوطني للمملكة العربية السعودية (KSA-GRF17)، والإطار الإنشائي الرأسي للمملكة العربية السعودية (KSA-VrF14). ويجب أن تكون النقط المرجعية ذات درجة مساوية أو أعلى.
- ٢- نظرًا لتأثير طبقة الستراتوسفير؛ تُستخدم أجهزة استقبال مزدوجة التردد لخطوط الأساس الطويلة. وعند استخدام أجهزة استقبال أحادية التردد؛ يجب ألا تتجاوز خطوط الأساس (٥) كم.
- ٣- يجب أن تكون جميع خطوط الأساس لحلول ثابتة لعدم الوضوح، بغض النظر عن ها.
- ٤- يجب فحص خطوط الأساس المعالجة؛ من حيث الجودة الرديئة. وإذا كانت جودة البيانات غير كافية؛ يجب استبعاد خط الأساس من المعالجة، وتكرار الملات.
- ٥- يجب إزالة الأقمار الصناعية ذات حالات انزلاق الدورة، قبل معالجة خط الأساس.
- ٦- يكون الحد الأدنى لزاوية قناع الارتفاع (القطع) ١٠ درجات، و ١٥ درجة؛ استنادًا إلى ترتيب سح.
- ٧- تقتضي أفضل الممارسات أن تُعالج خطوط الأساس باستخدام خدمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الدولية النهائية. ورغم ذلك -إن لم يكن ذلك عمليًا- يجوز معالجة خطوط الأساس التي تقل عن (١٠) كم لمسوحات المراقبة ذات الترتيب الثاني أو أقل بالتقويمات الفلكية التي تُثبت.
- ٨- يجب استخدام خدمات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الدولية حسب الن.
- ٩- يمكن استخدام النماذج الجوية الافتراضية للبرامج في معالجة جميع خطوط الأساس.
- ١٠- يجب توثيق اسم برنامج المعالجة، ورقم النسخة، وخيارات معالجة خط الأساس في أثناء المعالجة.

١٢-٣ تعديل الخطأ:

١٢-٣-١ التعديل الأفقي:

يجب أن يُنفذ التعديل الأفقي باستخدام طريقة المربعات الصغرى؛ لتحليل بيانات خط الأساس، وتحديد إحدائيات النقاط الممسوحة. يجب أن يتمكن البرنامج المستخدم للتعديل من حساب الأخطاء المعيارية في إحصائيات خط الأساس المختلفة، وأن يكون مزود بالإطار المرجعي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GRF17)، والإطار المرجعي العمودي للمملكة العربية السعودية (KSA-VRF14)، والنظام الجيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GEOID21)، كما يجب أن يتضمن البرنامج -أيضًا- محددات النقاط المرجعية؛ مثل: الملاحظات الموزونة.

عند استخدام إستراتيجية الترجيح لتعديل المربعات الصغرى؛ يجب أن تُستخدم نفس قيم الترجيح -أيضًا- مع جميع حلول خط الأساس المشابهة، بصرف النظر عن استخدام الحد الأدنى من التعديل المحصور بالكامل يتم التحكم في أوزان خط الأساس بوضوح؛ حسب: طولها، وزمن الإشغال، وغيرهما من القيم الإحصائية التي يُحدها برنامج معالجة خط الأساس.

يجب أن تكون نتائج التعديل مدعومة بتحليل إحصائي للكشف عن أي أخطاء كبيرة. تُقدّر صحة حسابات الإحدائيات بواسطة طرق نشر الخطأ من نقاط المراقبة، ويُستخدم معامل التباين للتحكم في تقديرات دقة النقطة الناتجة. تم توضيح أن الزيادة في معامل التباين فوق ١,٥ تشير -على وجه التحديد- إلى وجود أخطاء تراكمية بين المسح والشبكة. في هذه الحالة؛ يفشل اختبار مربع كاي (χ^2) (square test) المعني ويُرفض المسح الجديد.

يجب أن يكون برنامج معالجة خط الأساس قادرًا على معالجة الشبكة؛ بتعديل المربعات الصغرى أو -على الأقل- بتوفير إحصائيات لمتجهات خط الأساس بحيث يمكن إدخالها في برنامج آخر لتعديل الشبكة. تتضمن خطوات التعديل النهائي للشبكة: تعديلًا مقيدًا بالحد الأدنى، وتعديلًا مقيدًا بالكامل؛ على النحو الموضح في الأقسام التالية:

١٢-٣-١-١ التعديل المقيد بالحد الأدنى:

التعديل المقيد بالحد الأدنى (أو المقيد داخليًا)؛ هو: تعديل المربعات الصغرى باستخدام نقطة تحكم واحدة فقط؛ من خلال خط أساس واحد يربطها بالنقاط غير المعروفة، مما يسمح للشبكة المقاسة بالكشف عن موثوقيتها الداخلية ودقتها. يجب إجراء تعديل أولي للمربعات الصغرى المقيدة لاستخراج إحدائيات نقاط التحكم؛ وفقًا لما يلي:

- ١- يجب إجراء اختبار مربع كاي (χ^2 test) لتحديد ما إذا كان هناك فرق ذو دلالة إحصائية بين الانحرافات المتوقعة والملاحظات الفعلية؛ لقبول نتائج التعديل.

- ٢- بعد الانتهاء من تعديل المربعات الصغرى؛ يجب أن يكون الخطأ الموضعي المتوقع مع القواطع الناقصة للخطأ (ellipses) ذات الصلة. بالنقاط النهائية التي مُسحت، وبقي خط الأساس يجب أن يكون حسابها للأخطاء الموضعية مع الأخذ في الاعتبار وزن الوحدة (عادة ما يساوي ١)، ما لم يفشل تقدير اختبار مربع كاي -وفي الحالة الأخيرة- يجب التحقق من الملاحظات أو النموذج الإحصائي أو حتى الرياضي، بعد إعادة ضبط السمات. وفي حالة عدم القدرة على معالجة الحالة؛ يجب زيادة الخطأ المقدر في خطوط الأساس بمعامل التباين.
- ٣- وللتأكد من جودة الملاحظات؛ يجب مراجعة القيم المتبقية لخطوط الأساس، لضمان وجود خطوط أساس، وقيم متبقية يتم تناولها أو حذفها. وكثيراً ما تتضمن مراجعة الإحصاءات تقييماً دقيقاً للانحرافات المعيارية في خطوط الأساس. يجب فحص القيم المتطرفة المحتملة بين القيم المتبقية لخط الأساس؛ فتُحذف أي قيم متطرفة، أو تُطبق إستراتيجية ترجيح مختلفة، ويجب الاستمرار في التعديلات حتى تصبح جميع الملاحظات ضمن التفاوتات المحددة للدقة والموثوقية.
- ٤- للامتثال لمتطلبات الموثوقية الداخلية؛ يجب استيفاء الشروط التالية:
 - أ- يجب أن تؤكد قواطع الخطأ الناقصة قدرة تصميم الشبكة على تلبية المواصفات.
 - ب- يجب أن تؤكد القيم المتبقية المعيارية، وتقديرات التباين أن الملاحظات تتفق -تماماً- مع طلب المسح المطلوب.
- ٥- يجب أن تتوافق جميع نقاط المراقبة في المسح مع مواصفات طلب المسح المناسبة، سواء كانت هذه النقاط مرتبطة بملاحظات خط الأساس أم لا.

٢-١-٣-١٢ التعديل المقيد بالكامل:

وبعد الانتهاء من التعديل المقيد بالحد الأدنى؛ يجب أن تُجرى تسوية المربعات الصغرى المقيدة تماماً؛ بما في ذلك مواقع جميع المحطات المعروفة مع جميع خطوط الأساس المستقلة ذات الصلة. يخضع هذا التعديل لنفس الخطوات المذكورة أعلاه. يُجرى اختبار مربع كاي مرة أخرى، وتُحسب الأخطاء الموضوعية والقواطع الناقصة للخطأ، ويُقبل الحل بعد اجتياز اختبار كاي، وأن تكون جميع أخطاء النقاط ضمن المدى المقبول. يجب فحص القيم المتطرفة المحتملة بين نقاط المراقبة وخطوط الأساس الخاصة بها. يجب حذف القيم المتطرفة وإجراء التسوية المقيدة؛ حتى تكون جميع نقاط المراقبة ضمن التفاوتات المحددة للدقة والموثوقية. يجب التحقق من وقوع القيم المتبقية لخط الأساس النهائي ضمن المدى المقبول، الذي يحدده طلب المسح. فيما عدا ذلك، يجب أن يُرفض المسح ويعاد بالكامل.

٢-٣-١٢ التحكم والتعديل العمودي:

تُحدد الارتفاعات الناتجة عن المسح على أساس توافق هذا المسح مع الارتفاعات القائمة. وبالنظر إلى أن النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية يوفر معلومات الارتفاعات؛ فيما يتعلق بالارتفاعات الإهليلجية (WGS84)، يجب استخدام نموذج جيوديسي لتحويل الارتفاعات الإهليلجية إلى قياسات متعامدة، أي: الجيوديسيات والارتفاعات. وفقاً لـ (MoMRAH, 2005) توجد ثلاث إستراتيجيات للنمذجة الجيوديسية، باستخدام طريقة المربعات الصغرى لتحديد الارتفاع المتعامد، وباستخدام شبكات التحكم التي أنشئت سلفاً بشكل مناسب. يجب أن تكون الشبكة المرجعية خالية من الأخطاء الكبيرة والتراكمية، مع بقاء التعديل العمودي المحلي والاختلافات الجيوديسية لرصدها. إن إستراتيجيات النمذجة الجيوديسية المُشار إليها في (MoMRAH, 2005) تكون وحيدة الارتفاع وثنائية الارتفاع وتعديل المربعات الصغرى.

ولحسن الحظ، طُور نموذج جيوديسي صالح، يغطي المملكة بالكامل، ضمن الإطار المرجعي العمودي للمملكة العربية السعودية (KSA-VRF14)، والنظام الجيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GEOID21). وعلاوة على ذلك، وبالنظر إلى أن التحكم العمودي من الدرجة الأولى والثانية في أعمال المسح لمشاريع الطرق -وفقاً لهذا الكود- يتم إيجاده عن طريق التسوية؛ فإن أهمية التعديل العمودي بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية تتخفف.

على هذا النحو، تُجرى المسوحات الإحصائية للتعديل العمودي بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، بالتزامن مع التعديل الأفقي، ومعالجة خط الأساس المقابل، وبرنامج تعديل الشبكة، وتُحول ارتفاعات (WGS84) الإهليلجية المحسوبة -ببساطة- إلى ارتفاعات جيوديسية تستخدم نموذج النظام الجيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GEOID21) (والعكس صحيح).

٣-٣-١٢ تحليل تعديل المربعات الصغرى:

التحليل الدقيق لمخرجات تعديل المربعات الصغرى هو الأساس لإنجاز مشروع يمكنه تحقيق أهدافه المرجوة. يجب تقييم الإحصائيات التالية لكل تعديل يتم إجراؤه في أي مشروع:

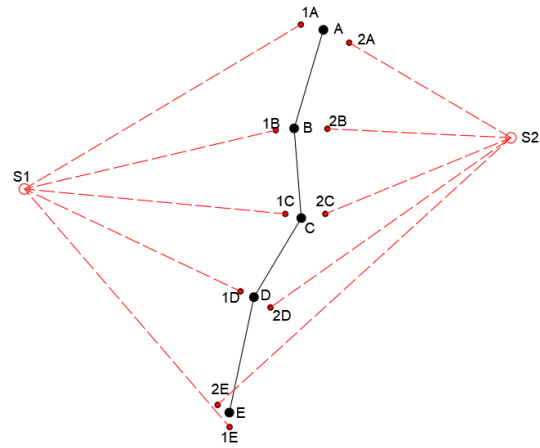
- ١- يجب تقييم تباين وزن الوحدة في الشبكة (معامل التباين) ودرجات الحرية. تُستخدم قيم معامل التباين من (١,٥) إلى (١,٠) كإحصاء مقبول لمسح التحكم.
- ٢- يجب أن تكون القيم العليا والدنيا لجذر متوسط مربع الخطأ (RMS)، والانحراف المعياري للقيم المتبقية للمراقبة المطلقة مساوية للدقة المطلوبة أو أفضل منها. قد تشير العلامة الجبرية للقيم المتبقية عند نقطة أو حلقة في الشبكة إلى وجود أخطاء

- تراكمية أو كبيرة لم تُكتشف في الملاحظات، وتشوه هذا الجزء من الشبكة، وهكذا ستكون أي اتجاهات شائعة في القيم المتبقية سبباً لمزيد من الاختبار.
- ٣- يجب مقارنة القيم المتبقية المعيارية، المحسوبة من القيم المتبقية المطلقة، مقسومة على خطأها المعياري، باختبار مربع كاي ويجب دراسة أي قيم متبقية قياسية زائدة. يشير عدم نجاح اختبار مربع كاي إلى وجود بعض الأخطاء في النموذج. تتأثر هذه الاختبارات -إلى حد كبير- بالقيود الخارجية للشبكة، وعادةً لا تفشل الشبكات عالية الجودة في اختبار مربع كاي، ولا تُعد القيم المتبقية المخالفة المستقلة مبرراً لرفض التحكم.
- ٤- يجب حساب أهاليج الخطأ عند مستوى ثقة (٩٥ ٪) لإحداثيات النقطة ولكل خط أساس. تعطي أهاليج الخطأ تقديراً صحيحاً لموثوقية النقاط. تُضرب أنصاف أقطار أهاليج الخطأ في معامل التباين إذا كان أعلى من (١,٥). تُعد الأهاليج الصغيرة وشبه الدائرية علامة على أن الشبكة يتم تنفيذها وفقاً للشروط، بينما تشير أهاليج الأخطاء الكبيرة والشاذة إلى وجود مشكلات في خطوط الأساس، أو نقاط ضعف في تصميم الشبكة.
- ٥- يجب حساب الإزاحات الظاهرية للموقع من الاختلافات بين الإحداثيات، التي تم الحصول عليها من التعديل المقيد بالحد الأدنى، والقيم المعروفة لنقاط التحكم الخارجية للشبكة. يستخدم هذا للتحقق من الأخطاء التراكمية قبل حساب التعديل النهائي وتعيين إعدادات دقة مؤقتة للمشروع.

١٢-٣-٤ تحليل خطأ الإغلاق للحركة في الوقت الحقيقي:

في تقنيات المسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية للحركة في الوقت الحقيقي؛ تُحسب إحداثيات النقاط الجديدة بالإشعاع من نقطة مرجعية واحدة، وينطبق الشيء نفسه -أيضاً- على الثبات السريع عند استخدام جهازين -فقط- من المستقبلات. باستخدام هذه التقنية؛ قد لا تكون هناك قياسات مباشرة كافية بين النقاط الجديدة، وقد لا يكون مناسباً تطبيق تعديل المربعات الصغرى. في هذه الحالة؛ يمكن تطبيق تحليل خطأ الإغلاق بهدف تطبيق أساسين مستقلين (MoMRAH, 2005).

يمكن توضيح أفضل طريقة لشرح ميزة استخدام تحليل خطأ الإغلاق بدلاً من تعديل المربعات الصغرى؛ من خلال المثال الموضح في الشكل (١٢-١)، وهو مشروع مسح يطلب فيه صاحب العمل مسح نقاط التحكم الجديدة (من A إلى E) على طول محور الطريق. يطلب صاحب العمل -أيضاً- دقة أفقية نسبية تبلغ (٠,٠٥٠) متر (عند مستوى ثقة ٩٥ ٪) بين النقاط الجديدة، وأن تكون إحداثيات جميع النقاط من الدرجة الرابعة. مُسحت جميع النقاط الجديدة في البداية باستخدام النقطة (S1) كنقطة مرجعية، ثم مُسحت مرة أخرى باستخدام النقطة (S2) كنقطة مرجعية ثانية.



الشكل (١٢-١) تحليل خطأ إغلاق طريقة الحركة في الوقت الحقيقي.

على سبيل المثال: عند مسح النقطة الجديدة (A) من النقطة المرجعية (S1)، يتم إنتاج الإحداثيات (A1) للنقطة (A)، وعند استخدام (S2) كنقطة مرجعية؛ تكون الإحداثيات التي تم الحصول عليها للنقطة (A) هي (2A). بالنسبة للاختبار؛ من الضروري مراعاة خطأ الإغلاق بين المواضع التي مُسحت على كل نقطة جديدة (على سبيل المثال: بين (1A) و (2A)). يمكن حساب الانحرافات المعيارية (SD_{A1} و SD_{A2}) لهذا الخطأ لكل مشاهدة (A1 و A2)؛ وفقاً للخطأ المتوقع لخط الأساس المرصود للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ الذي يمكن إيجاده بالمعادلة التالية:

$$SD_{baseline} = (C_1 + C_2 \times d)$$

المعادلة (١٢-١)

حيث يلخص المتغير C_1 (ثابت) الأخطاء المتعلقة بعدم دقة المستقبلات وهكذا، بينما يتضمن C_2 (عامل القياس) أخطاء تتناسب مع طول خط الأساس بين المستقبلين. عادةً ما يتم إيجاد (C_2) بالجزء في المليون (ppm)؛ لذلك -بالنظر إلى SD_{A1} و SD_{A2} - يكون خطأ الإغلاق الأفقي (2D) المتوقع (SD_A) وفقاً للمعادلة التالية:

$$SD_A = \sqrt{SD_{1A}^2 + SD_{2A}^2} \quad \text{المعادلة (٢-١٢)}$$

إذا كان متجه خطأ الإغلاق ثنائي الأبعاد (2D) الحقيقي أقل من الانحراف المعياري ($SD_A \times 2.45$)؛ فإن ملاحظات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية تتوافق مع مواصفات الشركة المصنعة عند مستوى ثقة (٩٥ %) بمجرد أن تجتاز الملاحظات هذا الاختبار؛ يمكن حساب متوسط إحداثيات النقطة (A) بالإحداثيات (1A) و (2A). غالباً ما يكون المتوسط الحسابي البسيط كافياً. ومع ذلك، إذا بدا أن أطوال خطوط الأساس مختلفة - إلى حد كبير - فمن المناسب استخدام متوسط مرجح؛ وفقاً لمسافات النقطتين المرجعيتين. أو يمكن ببساطة اعتبار أن إحداثيات النقاط المرجعية خالية من الأخطاء. ثم يمكن حساب (SD_A) لمتوسط إحداثيات النقطة (A)؛ على النحو التالي:

$$SD_A = \sqrt{\frac{SD_{1A}^2 + SD_{2A}^2}{2^2}} \quad \text{المعادلة (١٢-٣)}$$

بنفس الطريقة، يمكن إجراء اختبار خطأ الإغلاق على جميع النقاط التي مُسحت، وحساب الانحراف المعياري لمتوسط الإحداثيات الناتجة. لاختبار مدى تطابق المسح مع متطلبات صاحب العمل؛ يمكن حساب الانحراف المعياري لمتجه بين متوسط إحداثيات النقطتين الجديدتين (B) و (C) على النحو التالي:

$$SD_{BC} = \sqrt{SD_B^2 + SD_C^2} \quad \text{المعادلة (١٢-٤)}$$

من أجل تحقيق المتطلبات (عند مستوى ثقة ٩٥ %)؛ يجب أن تكون قيمة ($SD_{BC} \times 2.45$) أقل من القيمة التي حددها صاحب العمل. تنبغي الإشارة -أيضاً- إلى أن تعدد أخطاء الإغلاق الكبيرة في النقاط التي مُسحت تشير إلى ضعف الإحداثيات عند إحدى النقطتين المستخدمتين كنقطة مرجعية أو كليهما، أو قد تكون هذه النقاط تالفة. قد تشير أخطاء الإغلاق الكبيرة المستقلة إلى ضعف حلول خط الأساس.

١٢-٣-٥ تطوير تصميم المسح:

إذا كانت النتائج التي تم الحصول عليها مع تحليل خطأ الإغلاق لا تفي بالمواصفات المطلوبة؛ فهناك عدة خيارات لتحسين تصميم المسح:

- ١- يمكن استخدام تقنيات عالية الدقة؛ على سبيل المثال: ساكنة، وساكنة سريعة لخطوط الأساس الطويلة. على سبيل المثال: يقلل هذا الخيار (SD_{1A}) و (SD_{2A}) في المثال السابق.
- ٢- يمكن استخدام نقطة مرجعية أقرب إلى منطقة المشروع. هذا يقلل -أيضاً- (SD_{1A}) و (SD_{2A}) في المثال السابق.
- ٣- يمكن إضافة الملاحظات من نقطة مرجعية ثالثة. اعتماداً على طول خط الأساس الجديد؛ يؤدي ذلك إلى تحسين الانحراف المعياري لمتوسط إحداثيات النقطة التي مُسحت، وتقليل قيمة الانحراف المعياري.
- ٤- يمكن إضافة قياسات خط الأساس المستقلة في إحدى النقاط المرجعية، ويفضل من النقطة الأقرب (النقطة S2 في الشكل (١٢-١))، بالنظر لنفس تأثير الخيار السابق.
- ٥- يمكن إضافة ملاحظات مستقلة أخرى عن طريق القياس المباشر بين النقاط الجديدة؛ على سبيل المثال: (A) و (B). في هذه الحالة؛ يجب استخدام تعديل المربعات الصغرى بدلاً من طريقة تحليل الإغلاق المبسطة المذكورة أعلاه.



يختلف الاختيار الصحيح من مشروع إلى آخر وفقاً للعوامل اللوجستية. في المثال السابق، قد يكون الخيار الرابع هو الأكثر واقعية. على أي حال، إذا كانت النقاط الجديدة ليست على نفس الخط وموزعة بالتساوي على منطقة المشروع؛ فإن العديد من النقاط الجديدة قد لا تلي الموصفات المطلوبة بسبب مسافات خط الأساس الطويلة. في هذه الحالة، من المستحسن تكثيف النقاط المرجعية (الخيار رقم ٢) بدلاً من زيادة الملاحظات الإضافية (الخياران ٣ و ٤). يمكن القول -أيضاً- إنه إذا كانت القياسات المباشرة مطلوبة لزيادة الملاحظات الإضافية (الخيار ٥)؛ فمن المستحسن استخدام الطريقة الساكنة السريعة بدلاً من طريقة الحركة في الوقت الحقيقي.

١٢-٤ تقديم التقارير:

١٢-٤-١ نموذج الإحداثيات:

ترجع جميع الإحداثيات الجيوديسية في المملكة العربية السعودية للإطار المرجعي الجيوديسي (KSA-GRF17)، والإطار المرجعي العمودي (KSA-VRF14)، مع أهداف النموذج الجيوديسي. تُجرى التحولات من النظام الجيوديسي العالمي (WGS84) -التي تُقدم لها حلول النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية- إلى الأنظمة -المذكورة أعلاه- مع تحويل المعلمات السبعة المعروفة (Helmert) (الجزء ٢-٨). تُحوّل الارتفاعات الإهليلجية إلى أورتومتريّة (orthometric) لغرض النموذج الجيوديسي المعني، النظام الجيوديسي للمملكة العربية السعودية (KSA-GEOiD21). ترد تفاصيل معلمات التحويل في (GASGI, 2022) التي يحال إليها القارئ المهتم.

١٢-٤-٢ تقارير المسح:

يجب إعداد تقرير مكتوب عن المشروع، وتوقيعه من الشخص المسؤول عن المسح الجيوديسي. يجب أن يُقدّم التقرير النهائي كدليل على إنجاز أعمال المسح الجيوديسي بنجاح. يجب إعداد التقارير، وفقاً للجزء (٤-٤) والباب (٦) من هذا المجلد، وأن تتضمن -على الأقل- ما يلي (MoMRAH, 2005):

- ١- وصف تفصيلي للمشروع؛ يلخص شروط المشروع، وأهدافه، وطرق تنفيذه، وإنجازاته.
- ٢- خطة المسح، والمعدات المستخدمة، والأقمار الصناعية المستخدمة، وأوقات الإشغال.
- ٣- وصف لطريقة معالجة البيانات المنفذة، مع شرح للبرامج والإصدارات المستخدمة، والتقنيات المتبعة؛ بما في ذلك المعلمات الخاصة بها، ونمذجة الأخطاء والتقويمات الفلكيات المستخدمة، وما إلى ذلك.
- ٤- ملخص وتحليل مفصل لأعمال التحكم في المربعات الصغرى؛ بما في ذلك كل من التعديل المقيد بالحد الأدنى والمقيد بالكامل، قائمة بالملاحظات والقيود المدرجة في الحلول، وقائمة بالقيمة المتبقية (النموذجية والمطلقة)، والاختلافات في الأوزان، وتنسيق الموثوقية النسبية، وتنسيق الأخطاء المتوقعة عند مستوى ثقة (٩٥ ٪)، وما إلى ذلك.
- ٥- تحديد أي بيانات أو حلول أُسْتُعِدَّتْ من الشبكة، مع شرح أسباب رفضها.
- ٦- إرفاق خريطة لنقاط المشروع الجديدة، ونقاط المراقبة المستخدمة بالتقرير على نطاق مناسب. يجب أن يتضمن التقرير -أيضاً- وصفاً لكل علامة.

١٢-٥ معالجة النتائج:

آخر خطوة في أعمال المسح هي إعداد أرشيف لملاحظات المسح، وبيانات المراقبة. يجب إعداد الأرشيف؛ وفقاً للجزء (٤-٤) والباب (٦) من هذا المجلد؛ بما في ذلك -على الأقل- ما يلي (MoMRAH, 2005):

- ١- أصل الدفاتر الميدانية.
 - ٢- وثائق الحساب الأساسية.
 - ٣- ملاحظات المستقبل الأصلي.
 - ٤- تقرير عن المواضع المحسوبة، والأعداد الصحيحة المقدرة، والقيم المتبقية.
- عند أرشفة بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية؛ يجب أن تؤخذ في الاعتبار البيانات الأولية، وبيانات النواتج الناتجة عن معالجة خط الأساس. بالنسبة لبيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية الخام؛ يوصى باستخدام صيغة (RINEX). يمكن استخراج نتائج المعالجة الأساسية من مشروع البرامج المستخدمة، وأرشفتها. واحتياطياً، في حال استخدام برنامج مستقل لتعديل المربعات الصغرى ثلاثية الأبعاد؛ يمكن أرشفة ملف الإدخال الأصلي.

وينبغي أن تتضمن الملاحظات المتعلقة بإجراءات الرسم التخطيطي والمسح، وكذلك الملاحظات الميدانية عناصر مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التالية:



- ١- موقع الهوائي، وانحرافه؛ وذلك إذا لم يكن الهوائي مثبتاً أعلى علامة النقطة، ويجب وصف العلامة التي يتمركز الهوائي عليها، وقيم الإزاحة اللامركزية ثلاثية الأبعاد -من علامة الانحراف إلى علامة النقطة- المستخدمة لتصحيح حساب الإحداثيات.
- ٢- الجهة المشرفة على المسح: يجب ذكر الجهة المسؤولة عن الإشراف على مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية.
- ٣- نوع المستقبل: يجب تسجيل نوع المستقبل، ورقمه التسلسلي، وإذا أمكن، نوع الهوائي، والرقم التسلسلي.
- ٤- زمن الإشغال: يجب ذكر تاريخ ووقت الإشغال بالتوقيت العالمي الموحد لبداية ونهاية دورة المراقبة؛ وهي الأوقات التي يبدأ فيها المستقبل بتسجيل إشارات الأقمار الصناعية والانتهاؤ من تسجيلها.
- ٥- الترددات المستخدمة: يجب تحديد جميع أنواع الترددات التي تُستخدم (L1/L2).
- ٦- الأقمار الصناعية التي رُصدت: يجب تسجيل جميع الأقمار الصناعية التي رُصدت خلال فترة الإشغال باستخدام نظام ترقيم شبه عشوائي.
- ٧- وصف نقاط التحكم: يجب تقديم وصف كامل السمة/العلامة؛ بما في ذلك ما يلي:
 - أ- الثبات.
 - ب- نوع السمة/العلامة؛ بما في ذلك كيفية بنائه.
 - ج- الموقع بالنسبة لسطح الأرض، والمرافق، وما إلى ذلك.
- ٨- معلومات إضافية: وينبغي تقديم أي معلومات أخرى قد تكون مفيدة؛ على سبيل المثال: ارتفاع العلامة فوق الأرض، وزاوية قناع الارتفاع؛ لمعالجة خط الأساس، وما إلى ذلك.

١٣- المسح الجوي:

١٣-١ المقدمة:

يستخدم المسح التصويري الصور الفوتوغرافية لاستخراج معلومات مترية ثلاثية الأبعاد موثوقة. تعتمد الدقة المتوقعة لأي نظام أجهزة أو برامج معينة بشكل أساسي على مسافة الكاميرا إلى الجسم. العامل التالي الأكثر أهمية هو دقة المرجع الجغرافي. ويتم ذلك؛ إما عن طريق نقاط التحكم الأرضية (GCP)، أو نظام منصة الكاميرا الممكنة بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، وهي الحالة الأكثر شيوعاً في الوقت الحاضر. الكاميرا هي أداة القياس في المسح التصويري؛ لذا فإن جودة الكاميرا أمر بالغ الأهمية في توقع الدقة. السمة الرئيسية للمسح التصويري هي قدرته على تقديم أي مستوى من الدقة، والصحة، مع التخطيط السليم للحصول على الصور والتحكم.

العيب الرئيس هو أنه يمكن فقط- قياس ما يُسجل في الصور؛ لذلك لا يمكن قياس المنشآت والأرض تحت الغطاء النباتي أو الأشجار بشكل صحيح.

يمكن التقاط الصور من عدة منصات، بما في ذلك الأقمار الصناعية، والطائرات بطيار ودون طيار. ويتمثل الفرق الرئيس بينها في المساحة المغطاة في كل وحدة زمنية، أو تحمل رحلة الطيران. فجودة الكاميرا تتضمن بشكل أساسي صلابة الكاميرا -أو لا- يليها جودة العدسة وجودة المستشعر؛ ولذلك تكون الكاميرات التصويرية ثقيلة. لا يمكن حمل هذه الكاميرات بواسطة مركبات دون طيار صغيرة، ولا يمكن تركيبها إلا على الطائرات التي تعمل بطيار.

يمكن أن تكون مخرجات المسح التصويري؛ خرائط خطية، ونماذج سطحية رقمية، وسحب نقطية، وخطوط أرضية، والصور الجوية المقومة. تعطي الصور الجوية المقومة الرقمية خلفية ممتازة لأي معلومات خطية قائمة. يتطلب إنشاء صور جوية مقومة وجود نموذج سطح رقمي. ويمكن إنشاء نموذج سطح رقمي مباشرة من الصور الجوية أو من المسح الجوي بتقنية الليدار (LiDAR). في حال استخدام الصور الجوية؛ يمكن إنشاء نموذج مسح جوي فقط؛ مما يعني أنه سيتم تسجيل مظلة الأشجار والغطاء النباتي كمعلومات ارتفاع، التي قد تكون مزعجة لبعض الاستخدامات؛ بما في ذلك حسابات الحجم. هذا هو الفرق الرئيس بين المسح التصويري والمسح بتقنية الليدار؛ إذ إن المسح بتقنية الليدار يمكنه إنتاج نموذج سطح رقمي، أو نموذج تضاريس رقمي.

تُستخدم المسوحات الجوية لرسم الخرائط المساحية، أو المسح الطبوغرافي للمناطق الكبيرة، أو التصميم الابتدائي للطرق، ومشروعات الإنشاء. يُستخدم التصوير الفوتوغرافي النظائري لرسم الخرائط الطبوغرافية، في حين أن استخدام صور مائلة إضافية يجب أن تقلل من ضوضاء السحابة النقطية، وتحسين دقة (Z)، وإنتاج المزيد من النقاط في الأسطح العمودية في المنحدرات والمنشآت التي يصنعها البشر؛ مثل: المباني في المناطق الحضرية. وغالباً ما تُعالج كتل الصور ألياً -تقريباً- باستخدام تقنيات الهيكل من الحركة (SfM) والاستريو متعدد المناظر (MVS). ولا يُستخدم الرسم التخطيطي الجسم -وهو توجيه مباشر على أزواج مجسمة- إلا عند توقع توجيه دقيق لبعض الميزات التي من صنع الإنسان أو الحدود البرية. تُسهل الأتمتة -أيضاً- المعالجة السريعة لأعداد هائلة من الصور الجوية في منتجات نموذج السطح الرقمي والصور الجوية المقومة، التي تميل في الوقت الحاضر إلى استبدال المخططات الخطية التقليدية.

يمكن استخدام رحلات الطيران بطيار ودون طيار للحصول على البيانات، مع استبدال الرحلات بطيار بسرعة بالرحلات دون طيار. وقد جُهزت طائرات رسم الخرائط الحديثة بهوائيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، وهي قادرة على توفير بيانات التحديد الدقيق للمواقع بطريقة الحركة في الوقت الحقيقي، أو طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة لكل صورة التقطت. تقلل هذه القدرة -أو حتى تلغي- الحاجة إلى نقطة التحكم الأرضية؛ مما يساعد على تقليل الوقت الإجمالي من تشغيل الرحلات إلى تسليم المنتجات.

المسح الجوي هو أداة مثالية للمسح العقاري، والطبوغرافي، والتضاريس، و الرسم التخطيطي، والتصميم، ومراقبة البنية التحتية الخطية، مثل: الطرق، وخطوط الكهرباء، وما إلى ذلك، أو المواقع الإنشائية الكبيرة. تُقدّم الصور الجوية المقومة سجلاً مرئياً مفصلاً للوضع القائم، ولكنها تحتاج إلى مهارات تفسير أساسية من المستخدم. وفي الوقت نفسه هي أرشيف وثائق ممتاز لرصد التقدم المحرز في الإنشاء، وتُقبل كدليل في الم

١٣-٢ مسوحات الليدار (LiDAR):

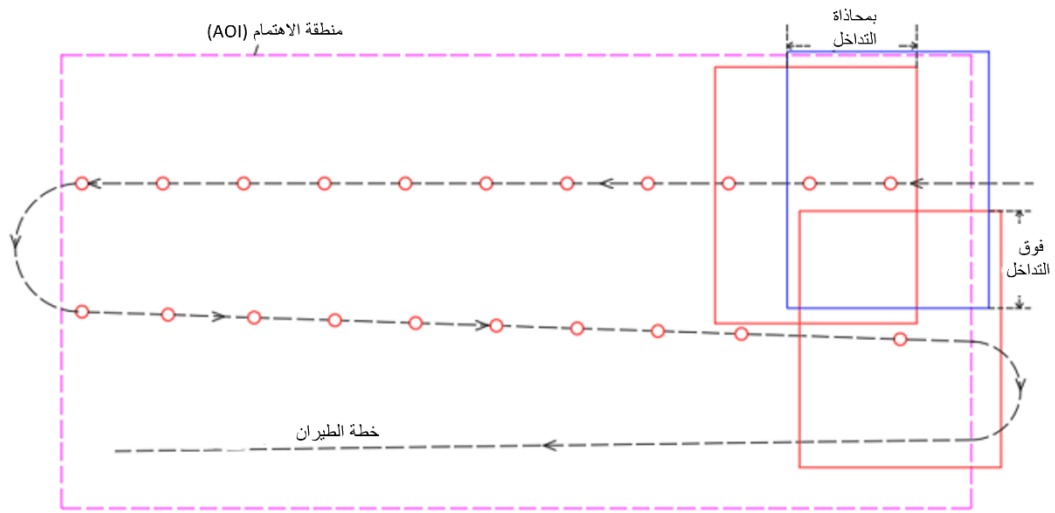
تستخدم تقنية الليدار (LiDAR) أشعة فائقة السرعة؛ لفحص محيطها. كمبدأ، تصدر تقنية الليدار أشعة ليزر ترتد عند الأجسام وتعود إلى مستقبل الأداة. وهكذا، يتم حساب الوقت والمسافة من الأجسام. وفي حال معرفة موقع الأداة واتجاهها؛ يمكن حساب إحداثيات الجسم ثلاثي الأبعاد. وتنتج تقنية الليدار عدداً ضخماً من نقاط الأجسام على شكل سحابة نقطية.

إن الميزة الرئيسية التي تتفرد بها تقنية الليدار هي: تحليل وجه الموجة، التي تعني أنه يمكن تسجيل الارتدادات المتعددة لكل شعاع صادر. وبهذه الطريقة، يمكن تسجيل الجزء العلوي من الغطاء النباتي والأرض السفلية في المرور الواحد.

يجب أن تكون المنصة الجوية المزودة بتقنية الليدار مجهزة بهوائيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية عالية الدقة، ووحدة قياس جيوديسية بالصور الذاتي؛ لأن موقع كل نقطة أرضية يرتبط بالموقع والاتجاه الدقيقين لوحدة الليدار. وبشكل افتراضي يمكن لمسوحات الليدار تسجيل النقاط ثلاثية الأبعاد فقط- دون أي معلومات عن الألوان بخلاف طاقة الإشارة المنعكسة، وهذا هو العيب

الرئيس فيها. وعادة ما تحمل المنصات الحديثة -المحمولة جواً- كاميرا منفصلة؛ لتسجيل الصور، والمعلومات المتعلقة بالألوان في السحابة النقطية المسجلة. وعادة ما تُستخدم هذه الصور في معالجة التصوير المساحي الضوئي، وإنشاء صور جوية مصححة الأبعاد (orthophotomosaics)، مع أن الطيران يمكن تحسينه للمستوى الأمثل؛ إما بالتصوير المساحي الضوئي، أو بتقنية الليدار، ولا يمكن استخدامهما في نفس الوقت؛ نظراً لاختلاف متطلبات الطيران لكل منهما

وحتى الآن، الأجهزة المزودة بتقنية الليدار هي أجهزة ثقيلة الوزن، ويمكن تركيبها على الطائرات المأهولة فقط. والأجهزة الحديثة المزودة بتقنية الليدار أخف وزناً وأصغر حجماً؛ لذا يمكن حمل بعض أنواعها على المنصات الجوية دون طيار؛ وفقاً للمنطقة المراد تغطيتها، ومداها، وارتفاع الطيران. ورغم ذلك تُعد بديلاً مناسباً للطائرات المأهولة -وخاصة مسوحات المناطق أو المسارات الصغيرة- التي تُستخدم في تصميم الطرق وإنشائها. وعلاوة على ذلك، تُعد الأجهزة المزودة بتقنية الليدار في تسجيل الأرض أسفل الأغشية النباتية مهمة؛ لتقدير الحجم بدقة. ويمكن لمسوحات الليدار الجوية باستخدام الليزر الأخضر الحصول على بيانات قياس الأعماق حتى ٥٠ متراً، وفقاً لدرجة وضوح الرؤية في الماء.



الشكل (١٣-١) نمط الطيران النموذجي فوق منطقة الاهتمام.

يمكن تخطيط المسوحات الجوية بتقنية الليدار؛ على نحو يلبي أي متطلبات تتعلق بكثافة النقطة، ودقتها؛ وفقاً لارتفاع الطيران ومواصفات الليدار.

٣-١٣ مسوحات التصوير الجوي:

لا تتأثر مبادئ معالجة التصوير المعياري، والتصوير المساحي الضوئي بالمنصة المستخدمة في التصوير؛ لذا فإن المعالجة لا تختلف إذا كانت الصور ملتقطة من خلال طائرة دون طيار (درون)، أو طائرة مأهولة، أو قمر صناعي. وفي الحالة الأخيرة؛ ثمة فرصة متاحة في خوارزميات التصوير المساحي الضوئي؛ ويرجع ذلك -أساساً- إلى عملية تشكيل الصورة، التي تختلف عن الإسقاط المركزي. ثمة اختلافات طفيفة بين الطائرات المأهولة والطائرات دون طيار. إن أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند طلب أو تخطيط الطيران هي مدى المنطقة، ومورفولوجيا التضاريس، وارتفاع الطيران، ومواصفات الكاميرا/ العدسات، ووجود نظام ملاحية عبر الأقمار الصناعية على الطائرة للإسناد الجغرافي بشكل مباشر. والعوامل الأخرى التي تؤثر في الطيران هي الأحوال الجوية، ولوائح الطيران. وعدسة الكاميرا، وارتفاع الطيران هما العاملان الأكثر تأثيراً في الدقة. يتأثر مقياس الصور (k) (المعادلة ١٣-١) وحجم البكسلات الأرضية مباشرة بالعدسة وارتفاع الطيران. ويرتبط حجم البكسلات الأرضية مباشرة بدقة المشروع ومتطلباته الكلية. ويرتبط مقياس الصور بمقياس الخريطة النهائي، ولكن يجب عدم الخلط بينهما.

$$\frac{1}{k} = \frac{\text{الطول البؤري}}{\text{ارتفاع الطيران}}$$

(المعادلة ١٣-١)



يتم التقاط الصور في خطوط (كما هو موضح في الشكل ١٣-١)، وجميع طائرات الرسم التخطيطي مزودة ببرنامج خاص لتخطيط الطيران. ويجب أن يحدد الدليل التجريبي المعلمات الأساسية، ثم يتم حساب الطيران تلقائيًا، ويتم تحميل البيانات على الدليل التجريبي التلقائي للطائرة. وهذه المعلمات موضحة في الجدول (١٣-١) مع تفسيرها وتوضيح أهميتها.

الجدول (١٣-١) معلمات الطيران لرحلات الطيران بالطائرات بطيار ودون طيار.

ملاحظات		معلمات الطيران
إلزامي		
	مضلع مغلق	منطقة الاهتمام
يحدد دقة الخريطة النهائية، وتفاصيلها، وهذه القيم متصلة ببعضها بعضًا؛ فتحدد أحدها يحدد القيم الأخرى. وبمجرد تحديد أحدها؛ يعرض برنامج تخطيط الطيران القيمة الأخرى. ولا يمكن تحديد كليهما في أحد أنظمة الكاميرا/ العدسات.	m	ارتفاع الطيران، أو حجم البكسلات الأرضية.
كلما زادت؛ تزداد الصورة الملتقطة؛ لذا يزيد وقت الطيران. ونسبة ٦٠ ٪ هي الحد الأدنى والنسبة الموصى بها في المناطق المسطحة. وتزداد في المناطق الكثيفة مورفولوجيًا؛ أي: يجب أن تصل إلى ٨٠ ٪ في المناطق الحضرية.	٦٠ - ٨٠ ٪ نموذجيًا ٨٠ ٪	بمحاذاة التداخل، أو أمامه.
كلما زادت، تزداد الصورة الملتقطة، ويزيد وقت الطيران. ونسبة ٦٠ ٪ هي الحد الأدنى، والنسبة الموصى بها في المناطق المسطحة. وتزداد في المناطق الكثيفة مورفولوجيًا. أي: ينبغي أن تصل إلى ٨٠ ٪ في المناطق الحضرية.	٢٥ - ٨٠ ٪ نموذجيًا ٦٠ ٪	تداخل عابر أو عرضي.
عوامل اختيارية/ أخرى للنظر فيها		
عادة ما يُحدد تلقائيًا؛ لتقليل الصور الملتقطة إلى الحد الأدنى. ويتأثر بشكل منطقة الاهتمام.		اتجاه الطيران.
يتطلب مصدر خارجي لمعلومات نموذج السطح الرقمي أو مستشعرات على الطائرة. ويساعد على الحفاظ على ثبات مقياس الصور أعلى العائق، كما أنه مهم في حال وجود اختلاف كبير في الارتفاع في منطقة الاهتمام. ويجب توخي الحذر عند تطبيقه في الرحلات دون طيار؛ لأن التضاريس، المنحدرات، والوديان، والوديان المشجرة قد لا تعطي الطائرة تحذيرًا بوقت كافٍ للارتفاع. السلامة أولاً.		تتبع التضاريس.
يُوصى بها فقط- في حال وجود منشآت من صنع البشر، أو وديان حضرية في منطقة الاهتمام.		خطوط الطيران المتقاطعة.
لا يوصى بها في المناطق المسطحة. ويوصى بها - فقط- في المناطق الحضرية الكثيفة، أو المناطق التي تتنوع تضاريسها بشكل كبير.		الصور المائلة.

ملاحظات	معلومات الطيران
وقت الطيران بطائرات دون طيار عادة ما يكون مبالغ فيه؛ السلامة أولاً.	زمن الطيران. (الطائرات دون طيار فقط).

يتم الحصول على الصور بالتتابع بنسبة (٦٠ ٪) -على الأقل- على طول خط الطيران. وعندما تكمل الطائرة الخط؛ تستدير وتلتقط صوراً في خط متواز بمعدل تداخل (٢٥ ٪) -على الأقل- مع الخط السابق. وتستمر رحلة الطيران بهذا النهج حتى تتم تغطية المنطقة بالكامل (الشكل ١٣-١). يعد الطيران أعلى التداخل وجانبه عاملاً مهماً للدقة. تبلغ نسبة التداخل النموذجي (٦٠-٨٠ ٪) على طول التداخل وعبره، لكنه قد يتنوع حسب سمات المنطقة التي يُغطّيها ومتطلبات المسح الجوي. يستخدم التداخل المتباعد (غير الكثيف) مع التضاريس المسطحة والمناطق الزراعية، بينما تستخدم التضاريس الكثيفة في المناطق الحضرية المعقدة.

إن أهم المزايا التي تتفرد بها المنصات الجوية عن التصوير بالأقمار الصناعية التحليل المكاني والدقة الأعلى. كما تتميز بالنمذجة التفصيلية ثلاثية الأبعاد للمباني والتضاريس. يوضح امتثال كل منصة في كل مقياس خريطة في الجدول (١٣-٢)، والعناصر الموصى بها موضحة في الجدول (١٣-٩).

الجدول (١٣-٢) مقاييس رسم الخريطة والامتثال الأفقي والرأسي لصور خرائط الأقمار الصناعية (Orthophotomaps).

مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية			محيط الدقة الرأسية		
	بدون طيار	بطيّار	قمر صناعي	بدون طيار	بطيّار	قمر صناعي
١:٥٠٠	✓	✓		✓	✓	✓
١:١,٠٠٠	✓	✓		✓	✓	✓
١:٢,٠٠٠	✓	✓		✓	✓	✓
١:٥,٠٠٠	✓	✓	✓	✓	✓	✓
١:١٠,٠٠٠	✓	✓	✓	✓	✓	✓
١:٢٠,٠٠٠	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ملاحظات:						
١- غير فعال، وبالتالي لا ينصح به.						
٢- أفضل ممارسة.						
٣- فقط في المنصات دون طيار والطيران المنخفض.						

١٣-١-٣ المنصات الجوية المأهولة (بطيّار):

تُعد الطائرات المأهولة أكثر المنصات الجوية تنوعاً، ويمكن أن تستوعب أي متطلبات لرحلات الطيران، فيما يتعلق بارتفاع الطيران، ومقياس الخريطة، ومدة الطيران. وعادة ما تكون مزودة بكاميرات التصوير المساحي الضوئي عالية الدقة، وهوائيات النظام العالمي للملاحة للإسناد الجغرافي بشكل مباشر. وتخضع كاميرات التصوير المساحي الضوئي، مثل: (Leica DMC III, Vexcel) Ultracam Eagle, Phase One PAS, IGI DigiCam) للمعايرة المسبقة بهندسة (جيومترية) مستقرة، وعدسات دقيقة عالية الجودة. وتلتقط مستشعراتها صور بعدد (٤) ألوان (أزرق، وأخضر، وأحمر، وأشعة تحت حمراء). والميزة الرئيسية التي تتفوق بها الطائرات المأهولة عن الطائرات دون طيار؛ هي: فاعليتها؛ حيث يمكنها الطيران لوقت أطول، وتغطية المنطقة المسوحة بشكل أسرع.

والعيب الرئيس في هذه المنصات؛ هو: تكلفتها العالية، ووقت تجهيزها. ويجب تنظيم هذه الرحلات قبل الوقت المحدد بعدة شهور وفقاً لتوفر الطائرات. وبعد التكليف مباشرة، تتعهد شركة الطيران بالعناية بتصاريحات الطيران المطلوبة.

٢-٣-١٣ المنصات دون طيار (طائرات بدون طيار، درونز):

عند رسم خرائط المناطق الأصغر حجماً؛ تكون رحلات الطائرات بطيار غير فعالة؛ نظراً لطول المدة، والتكلفة الباهظة. وفي هذه الحالة، يكون لاستخدام الطائرات دون طيار مزايا كبيرة؛ حيث تقل تكلفتها، ويمكن تخطيطها بشكل أسرع، وتتوفر العديد من الشركات في هذا الصدد. أما عن عيوبها الرئيسة فهي عدم القدرة على حمل وزن كبير خلال مدة الطيران، ومحدودية مداها؛ لذا تغطي منطقة أصغر في كل رحلة، مع أن العيب الأخير يمكن تجاوزه بزيادة عدد الرحلات. تفرض حقيقة أنها لا تتمكن من حمل كاميرات التصوير المساحي الضوئي الكبيرة قيوداً محددة على جودة الصورة. التحسينات الحديثة لمنصات الطائرات دون طيار مكنتها من حمل كاميرات بشكل أفضل، ودعم نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، ومكنتها من الطيران لمدة (٩٠) دقيقة أطول، كما يمكنها حمل كاميرات متعددة الأطياف تدعم تقنية الليدار؛ لذا فهي مماثلة للطائرات المأهولة من الناحية التقنية، غير أنها أقل جودة بمقدار ضئيل.

تعني قيود ارتفاع الطيران في الطائرات دون طيار أنها لا تلي جميع متطلبات مقياس الخريطة، لكن على النحو الآخر، تمتاز بانخفاض حجم البكسل الأرضية وكثرة التفاصيل. ولا تعني كثرة التفاصيل زيادة الدقة بالضرورة؛ لأن الكاميرات المحمولة على الطائرات دون طيار أقل جودة مما يؤثر في الدقة النهائية.

الجدول (٣-١٣) مزايا وعيوب كل نوع من أنواع الطائرات دون طيار.

المزايا	العيوب	الاستخدام النموذجي
سهولة الوصول. ميسورة التكلفة. سهولة الاستخدام. إقلاع وهبوط عمودي، وتحليق. إمكانية التحكم في الكاميرا بشكل جيد. قابلة للتشغيل في مساحة محدودة. الأمان (٦-٨-١٠ مروحيات).	قصر مدة الطيران. سعة حمولة صغيرة الأمان (٤ مروحيات).	التصوير، وتسجيل مقاطع الفيديو جواً. النمذجة ثلاثية الأبعاد للآثار والمواقع. الليدار. رسم المواقع الصغيرة. فحص مرافق الطاقة المتجددة. أقل من ١٠ ملم مسافة المعاينة الأرضية (GSD).
تحمل أطول. تغطي مساحة أكبر. سرعة الطيران العالية. الأمان.	الإطلاق والاستعادة. يتطلب مساحة كبيرة. لا تدعم الإقلاع والهبوط العمودي، والتحليق. أصعب في الطيران. وتحتاج تدريبات أكثر. انخفاض الحد الأدنى من ارتفاع الطيران في بعض التطبيقات.	الرسم التخطيطي الجوي. فحص خطوط الأنابيب، وخطوط الطاقة. السلامة. متابعة عمليات الإنشاء الكبيرة. رصد المناجم المفتوحة أكبر من ١٥ ملم مسافة المعاينة الأرضية (GSD).

المزايا	العيوب	الاستخدام النموذجي
مروحة واحدة:	الإقلاع والهبوط العمودي، والتحليق. عالية التحمل لمدة طويلة. تعمل بالبنزين. سعة حمولة عالية.	أصعب في الطيران. وتحتاج إلى تدريب أكثر. غالية الثمن.
هجين ثابتة الجناح:	إقلاع وهبوط عمودي. عالية التحمل لمدة طويلة. عوامل الأمان متوفرة.	أداء التحليق غير مثالية. والموردون محدودون في الوقت الحالي.
	تسليم طائرات الدرون. رسم الخرائط الجوية. الليدار.	

١٣-٢-١ الأنواع الرئيسية:

تنقسم الطائرات دون طيار إلى (٣) فئات؛ تمتاز كل منها بسمات طيران فريدة. والاختلافات الرئيسية؛ هي: زمن الرحلة، ومداها، والوزن. وتؤثر هذه العوامل في المنطقة المغطاة في الرحلة الواحدة، والمستشعرات، ومنطقة الإقلاع والهبوط، والفاعلية الكلية. وهذه العوامل حاسمة في اختيار مهمات الطيران، والتخطيط لها.

ينبغي ملاحظة أنه رغم أن الطائرة دون طيار والمستشعرات على متن الطائرة غير مرتبطتين ببعضهما، فإن معظم الموردين -حاليًا- يقدمون حلولاً متكاملة. وعليه تندمج خصائص المستشعرات والطائرات للحصول على تخطيط مثالي. يُلخص الجدول (١٣ - ٣) مزايا وعيوب كل نوع من أنواع الطائرات دون طيار.

١٣-٢-٢ مقارنة بين الطائرات المأهولة والطائرات دون طيار:

المزايا الرئيسية لمسوحات الطائرات دون طيار مقارنة بالطائرات المأهولة:

- موفرة للنفقات.
- المدة القليلة بين طلب الرحلة وتنفيذها؛ لأن العمليات اللوجستية والتخطيط لها أبسط.
- مسافة المعاينة الأرضية (GSD) أفضل؛ وعليه ستكون الصور أكثر تفصيلاً.
- تنوع تخطيط الطيران.
- هوائيات النظام العالمي للملاحة -عبر الأقمار الصناعية- على متن الطائرات دون طيار -عادة ما تكون معايرة؛ بإزاحة ذراع مزدوج، بين مركز إسقاط الكاميرا ومركز الهوائي؛ للوصول إلى موقع الصورة مباشرة. وهذه الحالة غير شائعة في الطائرات المأهولة؛ حيث يحتاج ذراع الرافعة إلى احتسابه وكأنه غير معروف في حزمة المربعات الصغرى.

والعيوب الرئيسية هي:

- صغر المستشعرات يؤدي إلى تغطية أقل في كل صورة، ووقت أطول في معالجة المنطقة موضع المسح.
- معظم الطائرات دون طيار -الحديثة- مجهزة بكاميرات دون المستوى الأمثل، مع أن مسافة المعاينة الأرضية (GSD) أفضل للرحلات بالطائرات المأهولة بكاميرات التصوير المساحي الضوئي المعايرة، والنتائج المتعلقة بدقة الرسم التخطيطي متماثلة.
- استخدام الكاميرات غير المعايرة في الطائرات دون طيار تتطلب استخدام معايرة ذاتية خلال التثليث الجوي (تعديل الحزمة). وهذه الحقيقة تزيد من عدد نقاط التحكم الأرضي؛ وتتطلب وقتاً أكثر، وتكلفة أعلى.
- قد يتطلب الأمر القيام بالعديد من رحلات الطيران؛ لتغطية المنطقة المحددة بقيود وقت الطيران في الطائرات دون طيار.
- قد لا تتيح اللوائح القانونية الطيران فوق مناطق محددة.

١٣-٣ العوامل التي تخضع للتقييم:

عند تفويض رحلات طيران دون طيار أو تنفيذها لرسم الخرائط، فإن العوامل الرئيسية اللازم أخذها في الاعتبار هي:

- نوع الطائرة دون طيار؛ من حيث المدى، وموقع الإقلاع والهبوط.
 - متعددة الشفرات؛ تعني تغطية لمنطقة أقل في كل رحلة (١) كم^٢، وصغر في مساحة الإقلاع والهبوط، ومقاومة للرياح بشكل أفضل وثبات أعلى، كما أنها أفضل للمناطق الصغيرة والرسم التخطيطي التفصيلي.

- جناح ثابت، ومنطقة تغطية أفضل، مناسبة لتخطيط المسارات والمناطق الكبيرة، تحتاج إلى مساحة كافية للإقلاع والهبوط (أكبر من ٢ كم).
- يجمع النوع الهجين بين مزايا النوعين؛ إذ يمكنه الإقلاع والهبوط في مساحات صغيرة؛ مثل: متعددة المراحل، ويمكنه -أيضا- تغطية منطقة كبيرة في رحلة الطيران الواحدة.

● الكاميرا

- مقياس الصورة أو ما يعادله؛ هي: العناصر الأكثر أهمية في أي مشروع التقاط صور، ويمكن حسابه بجمع البعد البؤري، وارتفاع الطيران (المعادلة ١-١٣).
 - مستشعر الكاميرا (شبه الموصل المعدني المؤكسد المتمم - CMOS) للمنطقة المادية؛ كلما كان أكبر زادت تغطية الكاميرا، وقل الحصول على صور للمنطقة موضع المسح، ويجب استخدام المستشعرات بقياس (١) بوصة أو أفضل. والمستشعرات الكاملة الإطار؛ هي: النوع الأكثر شيوعاً في التصوير المساحي الضوئي، بينما المستشعرات بصيغ كبيرة (سلسلة كاميرات Phase One) مدمجة بالفعل في طائرات رسم الخرائط دون طيار عالية الجودة.
 - تُعد معايير الكاميرا، وجودة العدسات عوامل مهمة في عملية المعالجة، وبحكم التجربة؛ كلما كان مستشعر الكاميرا أكبر تكون الكاميرا وعدساتها أفضل.
- أصبحت الطائرات دون طيار المجهزة بنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية هي القياسية في مشروعات رسم الخرائط؛ لأنها تسمح بالمعالجة دون أي نقاط تحكم أرضية. وبما أن الحصول على نقاط تحكم أرضية في مسوحات الممرات مهمة معقدة للغاية من حيث الوقت والتكلفة؛ لذا يوصى باستخدام مسوحات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية بمحطة رئيسية أو دعم لشبكة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية (الحركة في الوقت الحقيقي (RTK) والحركة في مرحلة ما بعد المعالجة (PPK)).

- تشريعات الطائرات دون طيار، وتصاريحها، ورخص التشغيل والتأمين، وما إلى ذلك.
 - السماح برحلات الطيران التي تدعم أنظمة ما وراء خط الرؤية المرئي (BVLOS)، و تزيد الفاعلية والتغطية بدرجة كبيرة.
 - الأحوال الجوية؛ مثل: سرعة الرياح، واتجاهها.
 - سلامة البطارية.
 - السمات الخاصة للطائرات، ومدى الاعتماد عليها.
- تأتي قوائم فحص الأمان، واعتبارات السلامة على رأس أولويات أي رحلة جوية.

١٣-٣-٤ التصوير بالقمر الصناعي:

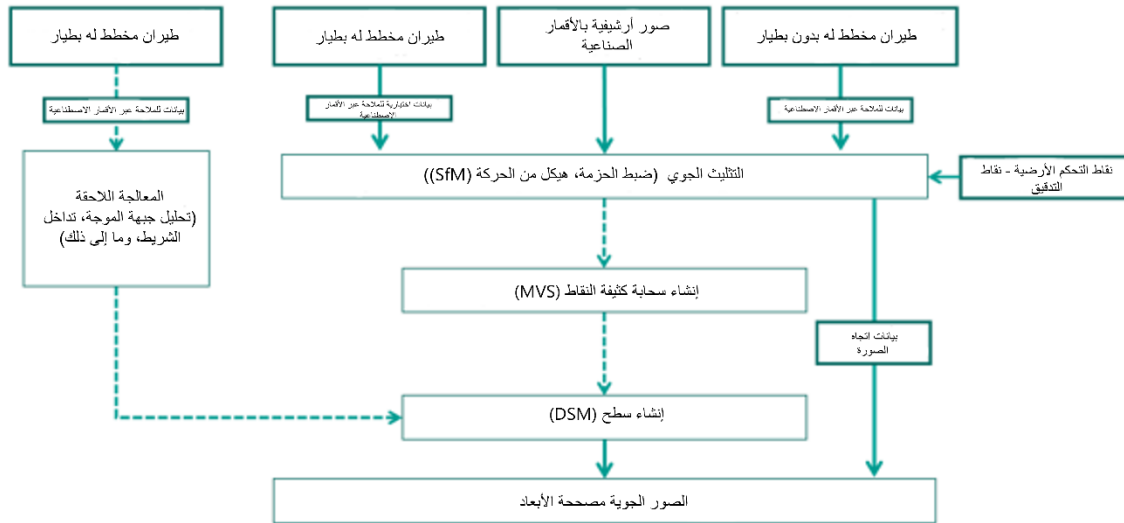
الاختلاف الرئيس بين التصوير بالقمر الصناعي مقارنة بمنصات الطائرات هو عملية تكوين الصورة؛ لأن هيئتها الهندسية لا تمتثل للإسقاط المركزي. تعمل معظم كاميرات القمر الصناعي في وضع وجود صفوف خطية من المستشعرات، والتي تسمى بوش بروم (pushbroom)، الذي يعني أن مغلاق العدسة (shutter) مستمر ويشكل صورة لخط واحد في كل مرة. في الممارسة، هذا يعني أن برنامج المعالجة الحاسوبي يجب أن يحتوي على خوارزميات مختلفة لمعالجة هذه الصور.

وحيثاً، فأفضل حجم للبكسلات الأرضية التجارية المتاحة هو (٣٠٠). ويتوفر في بعض الأقمار الصناعية خاصية التقاط الصور بشكل مجسم؛ لاستخلاص نموذج السطح الرقمي. ونظراً لخصائص عملية تكوين الصورة، وارتفاعها الكبير في الطيران، والمسافة بين مساراتها، فإن دقة ارتفاع نموذج السطح الرقمي أقل مما يوحى به حجم البكسلات الأرضية.

و مع أن نموذج السطح الرقمي يمكن استخلاصه من خلال صور القمر الصناعي، فعادة ما يُتجنب. ويفضل الاستعانة بمصادر أخرى للحصول على المعلومات المتعلقة بالتضاريس. في معظم الحالات يُجمع بين التغطية الأحادية المجال لصور القمر الصناعي، ونموذج السطح الرقمي من مصدر آخر (الليدار، خطوط الكنتور، نموذج السطح الرقمي القائم) للتحقق من دقة النموذج.

١٣-٤ معالجة البيانات من المسوحات الجوية:

تتبع المعالجة المدمجة أو المسوحات الجوية والليدار النظام الموضح في الشكل (١٣-٢). للحصول على صور جوية مصححة الأبعاد، هناك حاجة إلى نموذج سطح رقمي موجود، ويمكن إنشاء نموذج السطح الرقمي -هذا- إما عن طريق التصوير الجوي أو بيانات الليدار.

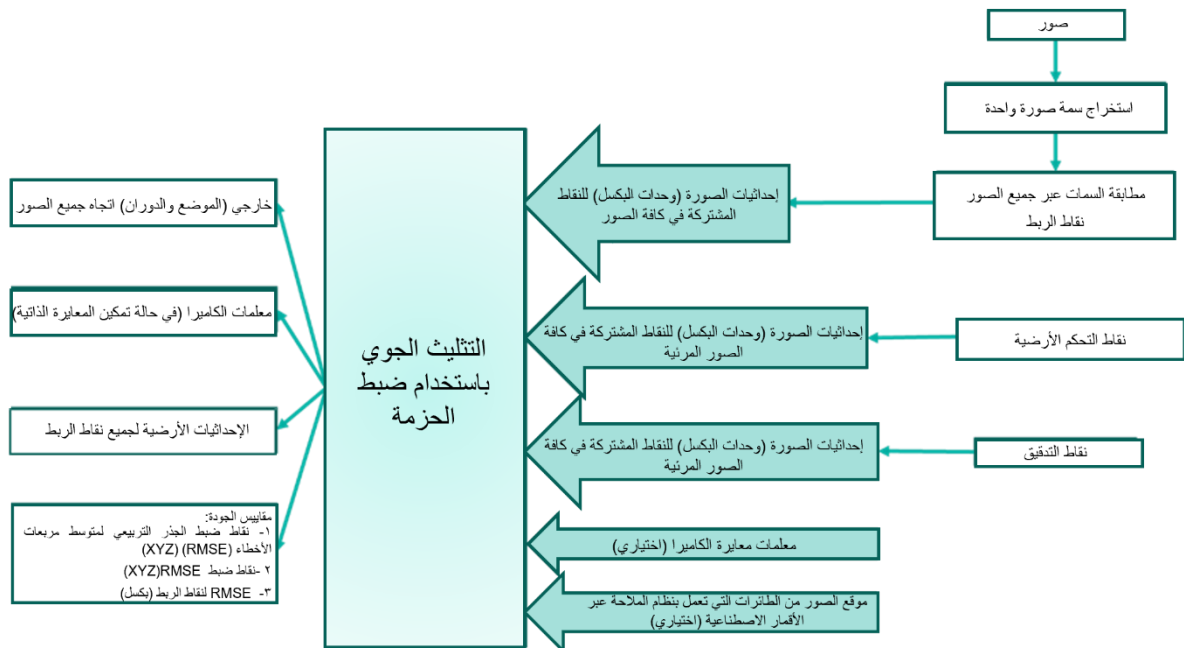


الشكل (١٣-٢) مخطط عملية المسح الجوي.

١٣-٤-١ التثليث الجوي:

يُعد التثليث الجوي أهم عملية في المسح التصويري. كما أنه يُملّي الدقة والجودة النهائيين لمجموعه الصور؛ لذا من المهم أن يضبط المشغل المعلومات المهمة، وأن يمتلك القدرة على الوصول إلى مقاييس الجودة الداخلية.

تعتمد معظم برامج التصوير المساحي الضوئي الحديثة على خوارزميات هيكلية مؤتمتة من الحركة (Sfm)؛ لمحاذاة الصور، وإجراء ضبط المربعات الصغرى (ضبط الحزمة). ويوجد العديد من الخيارات التجارية لبرامج التصوير المساحي الضوئي بمستويات مختلفة من التشغيل المؤتمت ومشاركة المستخدم. يعمل بعضها مثل الصناديق السوداء؛ حيث تُستورد الصور ثم تُصدر الصور الجوية مصححة الأبعاد النهائية مع الحد الأدنى من مشاركة المستخدم. ينبغي تجنب هذه الحلول البرمجية؛ لأنها لا توفر المرونة، ولا تدابير الجودة الشاملة. تُعرض نظرة عامة حول عملية التلثيث الجوي، والمدخلات، والمخرجات، وأنواع النقاط في الشكل (١٣-٣). كما يوجد ثلاثة أنواع من النقاط في هذه العملية: نقاط الربط، ونقاط التحكم، ونقاط التدقيق (الجدول ١٣-٤).



الشكل (١٣-٣) مدخلات ومخرجات التثليث الجوي.

الجدول (١٣-٤) أنواع النقاط المتضمنة في التثليث الجوي.

النوع	يقاس في الميدان (الإحداثيات X, Y, Z معروفة)	يقاس على الصور	مستخدمة في تعديل الحزمة	الوظيفة - الدور
الربط		أوتوماتيًّا	ü	ضمان المحاذاة والاتصال بين صور المربع، أساسية من أجل الإحكام (precision).
التحكم	ü	يدويًّا	ü	ضمان الإسناد الجغرافي مع (KSA-GRF17, KSA-GRV14). أساسية من أجل الدقة (accuracy).
التدقيق	ü	يدويًّا		التحقق من إحكام النتيجة ودقتها.

لتقييم نتائج التثليث الجوي، يجب استخدام نقاط التدقيق. وتُقاس هذه النقاط -أيضًا- في الميدان، ولكن لا تُستخدم في أثناء ضبط المربعات الصغرى (تعديل الحزمة - BA)؛ لذا لا تشارك في العمليات الحسابية.

من الجوانب المهمة في التثليث الجوي العلاقة بين نقاط الربط وأوزان نقاط التحكم الأرضية، التي تُحدد في معلمات تعديل الحزمة. وبعبارة أخرى؛ من خلال تفضيل أحدهما على الآخر قد تختلف نتائج التثليث بشكل كبير، من حيث الجوهر، والأرقام، ومقاييس الجودة (الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE)). كما ذكر سلفاً، تكون نقاط الربط مسؤولة عن شكل المربع التخطيطي (block)، وصلابته، بينما تكون نقاط التحكم مسؤولة عن إحالة المربع التخطيطي إلى الأرض؛ يوجد طريقتان:

- من خلال الاستفادة من نقاط التحكم الأرضية (على سبيل المثال: الإعلان عن دقة نقاط التحكم الأرضية البالغة ٠,٠١ متر في X, Y, Z)؛ يُجبر شكل المربع التخطيطي على التشوه لتلبية مواضع نقطة التحكم الأرضية. ويؤدي ذلك إلى تقليل الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) على نقاط التحكم الأرضية (الوحدات الأرضية)، وزيادة الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) على نقاط الربط (وحدات الصورة). وعلى الرغم من أن الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) في نقاط التحكم الأرضية يقترح تثليثاً جويًا جيداً عند قياس نقطة عشوائية في المربع التخطيطي، فإن موضعها سيكون أسوأ بكثير مما سيقرحه الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) في نقاط التحكم الأرضية. لذا ينبغي على المرء أن يتحقق من الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) في نقاط الربط واستخدام نقاط التدقيق؛ حيث أن الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) في نقاط التدقيق يكشف عن ضعف الحل.
- من خلال الاستفادة من دقة نقطة الربط (أي: إعلان دقة القياس على الصور ٠,٢٥ بكسل)؛ يتم تقوية الهندسة الداخلية للمربع التخطيطي، ويصبح شكل المربع التخطيطي جامداً للغاية ولكنه لن يلي مواضع نقطة الأرض. وباعتباره يزداد الخطأ التربيعي لمتوسط الجزر على نقاط التحكم الأرضية؛ مما يشير إلى حل سيئ رغم أن الدقة الداخلية للمربع التخطيطي تكون جيدة.

للتغلب على هذه التناقضات؛ ينبغي تعيين الأوزان بقيم واقعية؛ بحيث تمثل المقاييس الخاصة بالجودة (جودة التعديل):

- دقة نقطة التحكم الأرضية (X, Y, Z) كما أُجري قياسها في المجال. تحديد طريقة القياس (النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية، طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، طريقة الحركة لما بعد المعالجة، نظام تحديد المواقع العالمي أحادي التردد، المزواة، وما إلى ذلك) ومواصفات المعدات.
- دقة نقطة التحكم الأرضية كما قيست على الصور، في وحدات الصورة. تُفرض من خلال تمييز نقاط التحكم من خلفيتها وخبرة المشغلين. ويمكن تقديرها؛ إذ تتراوح عادة بين (٠,٥ - ٢) بكسل.
- دقة نقطة الربط في وحدات الصورة. ويعتمد هذا على طريقة استخراج السمة في البرنامج الحاسوبي، والجودة الهندسية للكاميرا. يمكن تقديرها بقيم تبدأ من (١) بكسل للكاميرات التصويرية، ومستخلصات سمة البكسل الفرعية، حتى (٣) بكسل للكاميرات غير التصويرية، ومستخلصات الميزات القياسية.

يسمح أفضل برنامج بإعداد كل هذه المعلمات، وأحياناً يسمح بتعيين قيم منفصلة للدقة القياسية والرأسية لنقاط التحكم الأرضية، أو حتى قيم مختلفة في كل نقطة تحكم أرضية؛ للتعويض في حالة قياسها بطرق/معدات مختلفة.

بعد تعديل موضع كل صورة للمربع التخطيطي في حيز ثلاثي الأبعاد تُحسب بدقة عالية، وهذه هي النتيجة الرئيسة للتثليث الجوي. في أثناء ضبط الحزمة؛ يمكن -أيضًا- حساب مجاهيل أخرى؛ مثل: معايرة الكاميرا، في حال استخدام كاميرات غير تصويرية. تسمى عملية استخدام الكاميرا ذات المعلمات غير المعروفة، و تُحسب بعد ذلك في أثناء ضبط الحزمة، بالمعايرة الذاتية. ويمكن حساب

المجاهيل الأخرى في أثناء تعديل الحزمة، وهي معلمات المتجه ثلاثي الأبعاد بين مركز عرض الكاميرا وهوائي نظام تحديد المواقع العالمي على متن الطائرة.

ينبغي إجراء المعايرة الذاتية للكاميرا:

- عندما تكون معلمات الكاميرا مجهولة.
 - في كافة الأوقات التي تُستخدم فيها كاميرا غير تصويرية، حتى لو كانت معلمات الكاميرا معروفة من مشروع سابق.
 - وعندما تعد هذه الكاميرات ليست صلبة بما يكفي لاستدامة معلمات المعايرة السابقة.
 - عندما نرغب في تقليل الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) حتى في حالة استخدام كاميرا قياس ضوئي معايرة.
 - عندما تكون معلمات الكاميرا التصويرية معروفة، ولكن يُشتبه في أن الكاميرا تعرضت للتشوه (في أثناء النقل؛ بسبب الحرارة/البرودة الشديدة، وما إلى ذلك).
 - عندما لا يدعم البرنامج إدخال الكاميرا المعايرة؛ يلزم معايرة كافة الكاميرات على أي حال.
- تُعرض معلمات الكاميرا التي ينبغي تعيينها على أنها غير معروفة في الجدول (٥-١٣).

الجدول (٥-١٣) معلمات معايرة الكاميرا.

متى	مغلق عدسة متدرج	عدم التعامد	تشويه العدسة المماسية	تشويه العدسة الشعاعية	النقطة الرئيسية	البعد البؤري
كاميرا تصويرية.			✓	✓	✓	✓
كاميرا غير تصويرية، غير معايرة.			✓	✓	✓	✓
كاميرا منخفضة الجودة.		✓	✓	✓	✓	✓
إطارات فيديو، كاميرا منخفضة الجودة دون مغلق ميكانيكي ولا شامل.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
البعد البؤري: f معلمات النقطة الرئيسية: y_0, x_0 معلمات تشويه العدسة الشعاعية: k_3, k_2, k_1 معلمات تشويه العدسة المماسية: p_2, p_1 المعلمات غير المتعامدة: b_2, b_1						

تقوم عملية الإسناد الجغرافي بمحاذاة صور المربع التخطيطي مع (KSA-GRF17) و (KSA-GRV14). يمكن استخدام طريقتين، تستخدم الطريقة الأولى نقاط التحكم الأرضية لربط المربع التخطيطي الجوي بالأرض. بينما تستخدم الطريقة الثانية الإحداثيات الجغرافية المسجلة للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لكل مركز ضوئي لربط المربع التخطيطي بالأرض. وفي الحالة الأخيرة يجب عدم استخدام أي نقاط تحكم أرضية. في أي حال، ينبغي حساب الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) في نقاط التدقيق كوسيلة لتجنب الأخطاء الجسيمة أو كتقدير لدقة المربع التخطيطي.

١٣-٤-١-١ نقاط الربط:

يستخدم برنامج التثليث الجوي المعاصر بنية من شكل الحركة؛ لاستخراج عدد كبير من نقاط الربط تلقائيًا عبر المربع التخطيطي. ينبغي إجراء التصفية والحذف اليدوي للخطأ الإجمالي لنقاط الربط قبل تعديل الحزمة، ولكن لا توفر كافة البرامج هذه الوظيفة.

تعرف نقاط الربط بأنها نقاط أرضية غير محددة، ولكن يمكن تحديدها جيداً في الصور. ينبغي قياس كل صورة بأكثر عدد ممكن من الصور. عندما تُقاس نقطة في العديد من الصور؛ فإنها تزيد من صلابة المربع التخطيطي. لا توجد متطلبات أخرى لنقاط الربط بخلاف أن تكون مرئية بوضوح في أكبر عدد ممكن من الصور. كما تعد الخوارزميات الآلية ذات أهمية كبيرة في تحديد عدد كبير من النقاط لكل صورة، ومطابقتها عبر الصور. ومع ذلك، فهي عرضة لعدم التطابق، وتحدد كل نقطة ربط على ثلاث صور في المتوسط، وهو دون المستوى الأمثل (في حالة تداخل نموذجية تتراوح بين ٦٠ و ٨٠ ٪، يكون المتوسط ٧ صور)، ويختلف عدد الميزات المستخرجة لكل صورة حسب محتوى الصورة. يمكن استخدام دقة الصورة كمقياس للسمات المستخرجة المحفورة، التي يجب ألا تتجاوز ٠,٢ ٪ من إجمالي عدد البكسلات الموزعة بالتساوي على الصورة.

في الوقت الذي تكون الخوارزميات الآلية فعالة جداً للمربعات التخطيطية الصغيرة؛ عندما يزداد عدد الصور يزداد وقت المعالجة أضعافاً مضاعفة، ما لم تُستخدم بعض المعرفة المسبقة لتخطيط الصورة. كما تزيد دقة الصورة -أيضاً- من حمل المعالجة. ولذلك- في بعض الأحيان- قد تحدث محاذاة أولية؛ باستخدام صور منخفضة الدقة (عن طريق اختزال الصور الأصلية) للحصول على محاذاة تقريبية لرسم تخطيط الصورة. كما يمكن استخدام هذه المعلومات في المحاذاة الثانية مع الصور ذات الدقة الكاملة كمعرفة أولية عن موقعها؛ لتقليل البحث عن نقاط الربط للصور المجاورة فقط.

وتنبغي الإشارة إلى أنه في المناطق ذات نسيج صورة سيئ، قد تفشل الخوارزميات في التعرف على نقاط الربط ومطابقتها.

يكون مقياس الجودة المرتبط بجودة نقطة الربط هو الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لنقاط الربط، معبراً عنه بوحدات الصورة، عادةً بالكسل، وعند استخدام كاميرا معايرة (كاميرا تصويرية)؛ تكون هذه القيمة في حدود (٠,٧) بكسل، وعند استخدام كاميرات غير معايرة؛ قد يصل ارتفاعها إلى (١,٥) بكسل. تعد هذه القيمة حساسة للغاية في حال عدم التطابق؛ ولهذا السبب ينبغي أن تتم تصفية نقاط الربط قبل التعديل النهائي للحزمة. إذا كان البرنامج يدعم تصفية نقاط الربط، فينبغي الاستفادة، وتكون المؤشرات التي يمكن استخدامها لتصفية نقاط الربط على النحو الموضح أدناه:

- القيد فوق القطبي؛ قم بإزالة النقاط التي تحتوي على بقايا أكبر من (١) بكسل للكاميرات التي تمت معايرتها، أو أكبر من (٢) للكاميرات ذات الجودة الرديئة غير المعايرة.
- يوصى بزوايا تقاطع أقل من (١٠) درجات، ويجب تجنب درجات التقاطع الأقل من (٥) درجات.

ينبغي تصفية نقاط الربط الخاطئة باستخدام طريقة الاسترخاء. على سبيل المثال: إذا كانت بقايا فوق القطبية عالية مثل (٤) بكسل في التشغيل الأولي؛ فينبغي إزالة النقطة الأكبر من (٢,٥) بكسل، ثم ينبغي تعديل الحزمة لحساب الناتج الباقي، ثم إزالة نقاط الربط للقيم الناتجة بأكبر من بكسل واحد. لن يُزال أكثر من (٥ ٪) من إجمالي حساب نقاط النوع في خطوة واحدة. ينبغي تعديل الحزمة، وإعادة حساب المخلفات بين كل خطوة من خطوات الإزالة.

١٣-٤-١-٢ متطلبات نقاط التحكم الأرضية:

يُعد توزيع نقاط التحكم الأرضية أمراً بالغ الأهمية لدقة المربع التخطيطي. ويختلف التوزيع؛ وفقاً لشكل المربع التخطيطي، والتداخلات، واستخدام الكاميرا التي خضعت للمعايرة أو التي لم تخضع. يجب وضع أربع نقاط تحكم في زوايا المربع التخطيطي. أما المربع التخطيطي الذي به تداخلات نموذجية بنسبة (٨٠ - ٦٠ ٪)، فينبغي وضع نقاط التحكم الأرضية:

- في الزوايا الأربع للمربع التخطيطي.
- في الصورة الأولى والأخيرة لكل رحلة من رحلتي طيران متتاليتين.
- في السطر الأول والأخير من المربع التخطيطي؛ ينبغي وضع نقطة تحكم أرضية واحدة لكل عشر صور.
- ينبغي وضع نقاط تحكم إضافية بشكل متساوٍ في منتصف المربع التخطيطي، بمعدل صورة واحدة تقريباً من كل (٤٠) صورة إذا كان المربع التخطيطي يحتوي على (١٠٠) صورة أو أقل، وواحدة من كل (٥٠) صورة إذا كان المربع التخطيطي يحتوي على (١٠٠ - ٥٠٠) صورة، وواحدة من كل (٧٠) صورة للمربعات التخطيطية الأكبر.

عند استخدام الكاميرا غير المعايرة؛ تتضاعف الحاجة إلى نقاط التحكم في منتصف المربع التخطيطي، ويجب وضع نقاط التحكم في المناطق المنخفضة والعليا من المنطقة المعنية.

تُعد عمليات مسح الممرات -التي عُينت كذلك الموجودة في خرائط الطرق- أكثر عرضة للخطر من حيث دقة الارتفاع. لهذا السبب ينبغي وضع نقاط التحكم الأرضية:

- ينبغي وضع نقطتي تحكم في الصورة الأولى والأخيرة لكل رحلة من رحلتي طيران متتاليتين.
- بالإضافة إلى ذلك، يلزم وجود نقطة تحكم واحدة لكل خمس صور. يجب وضع أدوات التحكم بالتناوب على جانبيها من خط رحلة الطيران.

ملاحظة عامة: تُعد تكلفة نقاط التحكم الأرضية وحالات التأخير فيها كبيرة ولا ينبغي الاستهانة بها، ويعد هذا السبب في أن معظم أنظمة مسح الطائرات تكون مجهزة بهوائيات النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية من أجل الإسناد الجغرافي المباشر. على سبيل المثال: يؤدي استخدام برنامج عمل آلي بكاميرات غير معايرة؛ لتغطية مساحة كبيرة، مع العديد من الصور الصغيرة، إلى زيادة عدد نقاط التحكم الضرورية. إذا كانت المنطقة كبيرة؛ فينبغي -أيضاً- مراعاة وقت التنقل. إذا كانت المنطقة التي رُسمت قاحلة -دون طرق-

فإن التنقل إلى مواقع محددة في البرية يستغرق وقتاً أطول، ويحتاج إلى مركبات خاصة، ومساعدة ملاحية. تنعكس كل هذه المشكلات على التكلفة النهائية؛ مما يؤدي -في بعض الأحيان- إلى فشل الرحلة الجوية الآلية التي كانت جذابة ابتداءً.

كقاعدة عامة، يجب أن يكون الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) على نقاط التحكم الأرضية أقل بثلاث مرات من الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لمتطلبات الخريطة النهائية؛ على النحو المحدد في الجدول (٢-٢).

في الصور الملتقطة عبر الأقمار الصناعية؛ يجب استخدام أربع نقاط تحكم -على الأقل- لكل صورة، على الرغم من أن المزيد من النقاط يزيد من الدقة. في التداخلات الكبيرة والتغطية المجسمة؛ يمكن استخدام نقاط الربط لزيادة الدقة.

نظرًا لخصائص كل مشروع (شكل المنطقة، وتكوين التضاريس، وتوزيع نقطة التحكم الأرضية، وهندسة المربع التخطيطي، وجودة الكاميرا، ودقة المستشعر، وما إلى ذلك)، لا يمكن اعتبار الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لنقاط التحكم الأرضية مقياسًا موثوقًا به لتقدير إحكام ودقة المربع التخطيطي. يُعين هذا الدور لنقاط التدقيق، التي لا تستخدم في أثناء حسابات تعديل الحزمة، لذا فهي مقومات غير مستندة إلى أساس.

الجدول (٦-١٣) مقياس رسم الخريطة مقابل الدقة الأفقية ومقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية.

مقياس رسم الخريطة	دقة الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) (م)	الحد الأقصى لمسافة المعاينة الأرضية من الصور الأصلية (م)
١:٥٠٠	٠,١٣	٠,١١
١:١,٠٠٠	٠,٢٥	٠,٢٠
١:٢,٠٠٠	٠,٥٠	٠,٤١
١:٥,٠٠٠	١,٢٥	١,٠٢
١:١٠,٠٠٠	٢,٥٠	٢,٠٤
١:٢٠,٠٠٠	٥,٠٠	٤,٠٨

١٣-٤-٣ متطلبات نقطة التدقيق:

ينبغي توزيع نقاط تدقيق التثليث الجوي بالتساوي على منطقة المربع التخطيطي. ينبغي ألا تقل عن (٤)، وتكون (٤/١) -على الأقل- من كمية نقطة التحكم الأرضية، وفي حال إجراء التثليث الجوي باستخدام مراكز الصور الخاصة بنظام الملاحة عبر الأقمار الاصطناعية؛ فينبغي أن تكون نقاط الفحص (٤/١) نقاط التحكم الأرضية المكافئة في حال استخدامها.

يجب أن يكون الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) على نقاط التدقيق الأرضية أقل من الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لمتطلبات الخريطة النهائية؛ على النحو المحدد بواسطة الجدول (١-٢) والجدول (٢-٢).

في صور الأقمار الصناعية؛ ينبغي استخدام أربع نقاط تدقيق -على الأقل- لكل صورة.

يمكن رؤية الحد الأقصى لحجم البكسل الأرضي للصور؛ لتلبية متطلبات الدقة الأفقية لكل مقياس رسم خريطة في الجدول (٦-١٣).

١٣-٤-٢ إنشاء نموذج السطح الرقمي والسحابة النقطية:

يعتمد توليد السحابة النقطية على الستريو متعدد العرض (MVS)، وهو مؤتمت بالكامل في برامج القياس التصويري الحديثة. يمكن أن تصل كثافة السحابة النقطية إلى نقطة واحدة لكل رسم لكل صورة، ولكن هذه الكثافة العالية غير ضرورية وتتطلب وقتاً أطول للمعالجة. نظرًا لأن السحابات النقطية التصويرية مشوشة؛ يُستخدم أي عدد زائد من النقاط داخليًا بواسطة البرنامج لإزالة التشويش. يجب ألا تقل كثافة نقطة التضاريس عن (١٠) أضعاف حجم بكسل الأرض، أو (٠,٥) ملم x عامل مقياس الخريطة النهائية؛ أيهما يعيد المزيد من النقاط. بخلاف الكثافة، توجد معلومات محدودة فقط- يجب تعيينها. قد تطبق البرامج -أحيانًا- حدًا أدنى لعدد الصور

التي تكون النقطة مرئية عندها. على الرغم من أنه قد يُعين الحد الأدنى عند (٢) لزيادة عدد النقاط، فمن المستحسن تفضيل حد من ثلاث صور لزيادة موثوقية النقاط المتبقية. يوضح الجدول (١٣-٧) قيم الحد الأقصى لمسافة المعاينة الأرضية لكل مقياس رسم.

الجدول (١٣-٧) مقاييس رسم الخريطة مقابل الدقة الرأسية لمنسوب النقطة مقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية (تداخل بنسبة ٧٠ ٪، وافترض عدسة ١٠٠ درجة، مع نسبة قاعدة/ارتفاع تبلغ ٢).

مقياس رسم الخريطة	الدقة العمودية لمنسوب النقطة (م)	الحد الأقصى لمسافة المعاينة الأرضية من الصور الأصلية (م)
١:٥٠٠	٠,٠٥	٠,٠٤
١:١,٠٠٠	٠,١٠	٠,٠٧
١:٢,٠٠٠	٠,٢٥	٠,١٨
١:٥,٠٠٠	١,٥٠	٠,٣٥
١:١٠,٠٠٠	١,٠٠	٠,٧١
١:٢٠,٠٠٠	٢,٥٠	١,٧٧

ينبغي إجراء الفحص البصري قبل إنشاء نموذج السطح الرقمي لإزالة التشويش والأخطاء الجسيمة، ويمكن القيام بذلك تلقائيًا عن طريق تحديد دقة النقاط المستخرجة إذا كان البرنامج يدعم هذه الوظائف.

يجب أن تكون دقة كل نقطة متوافقة مع دقة المنسوب النقطي للجذوب (٢-٢). كما يمكن إنشاء خطوط المحيط تلقائيًا عن طريق برنامج القياس التصويري. وبخلاف ذلك، يمكن تصدير سحابة نقطية أو نموذج السطح الرقمي (بتنسيق TIFF)، واستخدامها في برنامج نظم المعلومات الجغرافية؛ حيث تُنتج الخريطة النهائية، وعلى أي حال، يجب أن يتجانس المحيط قبل الرسم النهائي (الباب ٦).

١٣-٤-٣ الصور الجوية مصححة الأبعاد:

إنشاء صور جوية مصححة الأبعاد عملية مؤتمتة بالكامل في برامج القياس التصويري الحديث. تُقوم كل صورة ذات مرجعية جغرافية (طائرة أو قمر صناعي) باستخدام نموذج السطح الرقمي. قد يكون مصدر نموذج السطح الرقمي عبارة عن مسح ليدار أنشئ من المعالجة التصويرية لصور المربع التخطيطي. يُسمح بأي مجموعة نفي مصدر الصورة ومصدر نموذج السطح الرقمي بمتطلبات الدقة ذات الصلة.

الجدول (١٣-٨) مقاييس الخريطة، مقابل حجم البكسل الأرضي من الصور الجوية مصححة الأبعاد، ومسافة المعاينة الأرضية الموصى بها للصور الأصلية.

مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية للجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) (م)	مسافة المعاينة الأرضية من جانب الصور الجوية مصححة الأبعاد	الحد الأقصى لمسافة المعاينة الأرضية من الصور الأصلية (م)
١:٥٠٠	٠,١٣	٠,٠٥	٠,٠٥

مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية للجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) (م)	مسافة المعاينة الأرضية من جانب الصور الجوية مصححة الأبعاد	الحد الأقصى لمسافة المعاينة الأرضية من الصور الأصلية (م)
١:١,٠٠٠	٠,٢٥	٠,١٠	٠,٠٩
١:٢,٠٠٠	٠,٥٠	٠,٢٠	٠,١٨
١:٥,٠٠٠	١,٢٥	٠,٥٠	٠,٤٥
١:١٠,٠٠٠	٢,٥٠	١,٠٠	٠,٩١
١:٢٠,٠٠٠	٥,٠٠	٢,٠٠	١,٨٢

يُحدد حجم البكسل الأرضي النهائي الصور الجوية مصححة الأبعاد من جانب المستخدم، ولكن ينبغي أن يتوافق مع حجم بكسل الأرض للصور الأصلية، وألا يكون بأي حال أصغر من حجم بكسل الأرض الأصلي. قد تحتوي الصور الجوية مصححة الأبعاد النهائية - على الأقل - على (١,١) × مسافة المعاينة الأرضية من التصوير الفوتوغرافي الأصلي (الجدول ١٣-٨). نظرًا لأن الصور الجوية مصححة الأبعاد تصحيح تفاضلي للصورة الأصلية؛ تُجرى إعادة التشكيل على قيم البكسل. إذا كان البرنامج يوفر خيارات لطريقة إعادة التشكيل؛ فينبغي اختيار الاستيفاء الثنائي لأنه يحتفظ بمعظم معلومات الصورة الأصلية.

دُمجت الصور المصححة الأبعاد (orthorectified) للمربع التخطيطي في الصور الجوية مصححة الأبعاد بطريقة سلسلة، تُنشأ خطوط التماس تلقائيًا من البرنامج، وتكون غير مرئية في المنتج النهائي، وخلال هذه العملية يُوازن اللون عبر تعديل الصور وعبر المربع التخطيطي.

١٣-٤-٤ الرسومات المتجهة (Vector Plots):

تُعد الصور الجوية مصححة الأبعاد منتجًا رائعًا لرسم خرائط الأسطح المستمرة والناعمة دون تضاريس. وليس هذا ما يقتضيه الحال عند وجود الأسطح الرأسية مثل تلك الموجودة في الأشياء التي من صنع الإنسان (أي جدران المباني)؛ حيث لا يمكن لنموذج السطح الرقمي وضع نموذج كامل لهذه الأسطح والأدوات، وتظهر هذه الحافات في الصورة التقويمية النهائية (الجدول ١٣-٤). وفي هذه الحالات، لا ينصح باستخدام الصور الجوية مصححة الأبعاد كخلفية لتوجيه الخطوط العريضة للمباني. وينطبق الشيء نفسه على السمات والمنشآت الأخرى. ولكي تفي الصور الجوية مصححة الأبعاد بمتطلبات الدقة لمقياس خريطة معين لمثل هذه التفاصيل، ينبغي تقليل نموذج السطح الرقمي للصور الجوية مصححة الأبعاد للجدول (١٣-٨) بعامل اثنين على الأقل، وهذا يجعل المشروع بأكمله غير فعال؛ مما يزيد من تكلفة الاستحواذ والمعالجة.

ينبغي تفضيل الرسومات المجسمة المتجهة التقليدية مخطط المجسم التقليدي عندما:

- يتطلب وجود مباني وسمات من صنع الإنسان.
- يتطلب وجود حدود الأرض.
- يجب تسجيل مناسيب النقاط والمواقع المحددة بأعلى دقة.



الشكل (١٣-٤) صورة مصححة من المبنى وتفاصيل على الحافة.

تظل العملية التصويرية كما هي حتى بعد التثليث الجوي، عندما تُستخدم نتائج تعديل الحزمة لعرض زوج من الصور المختارة، عن طريق المستخدم في شاشات عرض مجسمة مناسبة؛ حيث يمكن للمستخدم استخدام فأرة ثلاثية الأبعاد لرقمنة حافات المباني بدقة، وتفاصيل أخرى كما وُصفت من جانب متطلبات المشروع. دقة مجسم الصور الفوتوغرافية تساوي الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لنقاط التدقيق بعد التثليث الجوي. لا يستبعد الرسم التخطيطي المجسم إنشاء الصور التقويمية كخلفية لتصوير التفاصيل الثانوية للمنطقة.

الجدول (١٣-٩) مقاييس رسم الخريطة مقابل حجم البكسل الأرضي للصور الأصلية والمنصة الأكثر ملاءمة.

مقياس رسم الخريطة	حجم بكسل الأرض للصور الأصلية	منصة بدون طيار	منصة بطيار	قمر صناعي
١:٥٠٠	٠,٠٤	✓	✓	
١:١,٠٠٠	٠,٠٨	✓	✓	
١:٢,٠٠٠	٠,١٩		✓	
١:٥,٠٠٠	٠,٣٩		✓	✓
١:١٠,٠٠٠	٠,٧٨			✓
١:٢٠,٠٠٠	١,٩٤			✓



١٣-٥ اختيار أفضل منهجية لكل مقياس:

بوجود الكثير من التنوع، ليس من السهل اختيار أفضل منهجية لحالتها وسيناريوها. ومع ذلك، فإن الطريقة الأكثر فاعلية للحصول على البيانات تصبح واضحة عند النظر في حجم اليكسل الأرضي للتصوير الأصلي، الذي يمكن أن يقلل منه أنسب برنامج عمل، ويلخص الجدول (٩-١٣) الجدول (٦-١٣) والجدول (٧-١٣) والجدول (٨-١٣) من خلال الاحتفاظ بأصغر حجم ليكسل الأرض يلبي كافة احتياجات الدقة الأفقية والرأسية والتفاصيل للخريطة النهائية.

والجدير بالذكر أنه يجب على المرء أن يضع في اعتباره أن صور الليدار هي الأكثر دقة وإحكام لاستخراج التضاريس؛ بسبب إشارات عودة الليدار المتعددة. يمكن دمج نموذج السطح الرقمي الخاص بتقنية الليدار مع أي صور لإنشاء الصور الجوية مصححة الأبعاد، بشرط أن يفي كل من نموذج السطح الرقمي والصور بمتطلبات دقة الخريطة النهائية.

تجدر الإشارة -أيضاً- إلى أنه على الرغم من إمكانية استخدام أزواج مجسمة من صور القمر الصناعي لاستخراج نموذج السطح الرقمي، إلا أن هذه تعد الطريقة الأقل دقة.

١٤ - المسح بالليزر:

يعد الليدار (Vosselman & Maas, 2010) طريقة تستخدم الليزر لقياس المدى (المسافة)؛ من خلال استهداف جسم وقياس الزمن الذي يحتاجه الضوء للانتقال نحو الجسم والرجوع. إنها طريقة نشطة، أي: توفر مصدر إضاءة خاص بها، لذا لا تعتمد على مصادر خارجية، ويمكن أن تعمل ليلاً ونهاراً. تتمثل مخرجاتها في سحابة نقطية ذات تشويش منخفض، ملونة من شدة الإشارة المرتدة. يمكن لأنظمة الليدار -التي تدمج الكاميرات المعايير أيضاً- إرجاع معلومات الألوان الطبيعية لكل نقطة.

قد تكون مستشعرات أنظمة الليدار ساكنة على حوامل ثلاثية (أرضية)، أو محمولة جواً (الجزء ١٣-٢)، أو مثبتة على أسطح السيارات (الباب ١٥). عندما تكون أجهزة الليدار متحركة؛ فإنها تعتمد على العديد من أجهزة الاستشعار الأخرى لتحديد موقعها المطلق، واتجاهها في الفضاء، ولتحديد موقع نقاط الهدف بدقة في الفضاء ثلاثي الأبعاد. تتأثر دقة النقاط في السحابة النقطية النهائية -بشدة- بدقة أجهزة الاستشعار الداعمة. عادةً ما تكون هذه المستشعرات عبارة عن نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية العالمي، ووحدة قياس القصور الذاتي (IMU)، ومؤخراً قياس المسافات المرئية (التوطين البصري المتزامن ورسم الخرائط (vSIAM)).

وهي تُستخدم عند الحاجة إلى تمثيل رقمي ثلاثي الأبعاد لجسم ما أو لسطح الأرض (Toth & Shan, 2009). معظم تطبيقاتها الشائعة هي في المسح، وعلم تقسيم الأرض، وتسجيل التراث الثقافي، والجيولوجيا، وعلم شكل الأرض، وعلم الزلازل، والغابات، وفيزياء الغلاف الجوي، وقياس الارتفاع بالليزر. في الآونة الأخيرة، تُستخدم -أيضاً- في التحكم، والملاحة في السيارات، أو المركبات ذاتية القيادة (Jayaweera, et al., 2018).

ميزة فريدة لمستشعرات الليدار هي إمكانية تسجيل إشارات رجوع متعددة عبر إرسال واحد. تسمح قدرة إشارة الليدار على اختراق الغطاء النباتي، وتسجيل إشارة رجوع أولية من مظلة أشجار الغابة وأخرى من الأرض؛ مما يسمح بإزالة الغطاء النباتي في أثناء المعالجة اللاحقة، أو تقدير ارتفاع الغطاء النباتي، المستخدم في المسوحات الجوية (الباب ١٥). لذلك قد يسجل الليدار نموذج السطح الرقمي ونموذج التضاريس الرقمية في الوقت نفسه، مع تقييد المنشآت من صنع الإنسان، التي تُسجل حتماً داخل السحابة النقطية النهائية. تتطلب الإزالة الموثوقة للمنشآت من صنع الإنسان الاختيار اليدوي والإزالة، أو معلومات إضافية شاملة؛ مثل: مساحة البناء، وخطوط الانكسار، وما إلى ذلك.

في هذا الباب نركز على المسح الضوئي الأرضي الساكن، المستخدم في مشاريع الطرق؛ حيث يُوظف -على سبيل المثال لا الحصر- لغرض مسح الميول، ومراقبتها، ومسوحات المباني، وما إلى ذلك.

١٤-١ المعدات:

بغض النظر عن نقطة التركيب، تعتمد مساحات الليدار على باعث ليزر وجهاز استقبال. ويوجد ثلاث فئات رئيسية:

- آلية مع مرايا دوارة.
- كهروميكانيكية دقيقة (MEMS).
- الحالة الصلبة.

وتنبغي الإشارة إلى وجود فجوة سعرية بين المساحات الضوئية الميكانيكية والمساحات الضوئية الأخرى؛ حيث تكلف الأولى -غالباً- مئات الآلاف من الريالات (في وقت صدور هذا المجلد)، والفئتان الأخيرتان أرخص بعشر مرات تقريباً.

١٤-١-١ الميكانيكية:

تحتوي المساحات الضوئية الليزرية -ثلاثية الأبعاد- على عدة مرايا دوارة؛ لتوجيه الليزر بسرعة، وجمع آلاف إن لم يكن ملايين النقاط في غضون ثانية. وتعد هذه الأنظمة باهظة الثمن (الشكل ١٤-١)، وذات دقة عالية، وأنظمة موثوقة، ولكنها حساسة. وهي مخصصة لمحترفي الجغرافيا المكانية. كما إنها مقاومة للصدمات والاهتزازات، ولكنها قد تتطلب معايير في حالة التعرض لصدمة سقوط قوي. تدرج مساحات الليزر الضوئية الأرضية -المستخدمة في مسوحات الليدار الساكنة- ضمن هذه الفئة؛ حيث تكون لها القدرة على إجراء مسح ضوئي قدره (٣٦٠ × ٢٧٠) تقريباً حول الماسح الضوئي، تاركين مساحة صغيرة -فقط- حول الحامل ثلاثي القوائم دون مسح ضوئي.



Teledyne Lynx HS600 نظام
الخرائط المحمول مع النظام العالمي
للملاحة عبر الأقمار الصناعية
والكاميرات وأجهزة ليدار

Riegl VQ-880-GH (قمة) للمنصات
الجوية بطياري و VUX-120 (قاع)
للطائرات بدون طيار. الحجم ليس
مطابق للمقاييس .

P30/P40 Leica Scan Station
(قمة) و BLK360 (قاع). الحجم ليس
مطابق للمقاييس .

المصدر : <https://leica-geosystems.com>

المصدر :

<https://www.teledyneoptech.com>

المصدر : <http://www.riegl.com>

الشكل (١٤-١) أجهزة ليدار مع المسح الضوئي الميكانيكي.

٢-١-١٤ الكهروميكانيكية الدقيقة:

الماسحات الضوئية؛ عبارة عن: ماسحات ضوئية أصغر حجمًا، وأخف وزنًا، وقابلة للحمل مع استهلاك منخفض للطاقة. ولا تزال تحتوي على عدد صغير من الأجزاء المتحركة الصغيرة؛ لذا فهي لا تزال حساسة للصدمات والاهتزازات، كما أن منطقة المسح الخاصة بها محدودة في مستوى واحد، أو في مجال رؤية محدود. وقد طُورت بطريقة أساسية لأنظمة الملاحة المستقلة، وتعد ميسورة التكلفة؛ حيث تُنتج بكميات كبيرة لصناعة الروبوتات والسيارات.

٣-١-١٤ الحالة الصلبة:

غالبًا ما يتم الخلط بينها وبين الماسحات الكهروميكانيكية الدقيقة؛ بسبب الحجم والتكلفة المتشابهين، تعتمد على تقنية مختلفة، وليس فيها أجزاء متحركة على الإطلاق، وعادة ما توفر مجال رؤية أصغر، وهي مقبولة في صناعة السيارات إذا كان عليها مسح الأشياء في اتجاه الحركة أمام المركبة.

تُدمج كلاً من أنظمة ماسحات الكهروميكانيكية الدقيقة والماسحات الضوئية ذات الحالة الصلبة، بسبب القدرة على تحمل تكاليفها واستهلاكها المنخفض ووزنها الخفيف، في الأنظمة الجغرافية المكانية، مثل: المركبات الجوية بدون طيار (UAV)، أو المنصات المتنقلة المماثلة (الأبواب ١٣ و ١٥)؛ مما يوفر بديلاً منخفض التكلفة للأنظمة الميكانيكية. ويتمثل القيد الرئيس في مجال رؤيتها الصغيرة ومداها المريح ولكن الصغير مقارنة بالمجال الميكانيكي؛ حيث يبلغ حوالي (٢٠٠) متر كحد أقصى.

٤-١-١٤ طرق قياس المسافة:

من أجل تقييم المسافة بين المستشعرات والأشياء التي مُسحت؛ يستخدم المسح الضوئي الأرضي طريقتين: زمن الطيران (ToF)، وتحول الطور، وقد يمتص كلا النوعين من أجهزة ضبط المدى، أو يعكسان الطاقة بشكل مختلف؛ اعتمادًا على تصميمهما الخاص. تُعرض هذه الأساليب في الأقسام التالية.

١-٤-١-٤ ماسحات زمن الطيران:

ترسل ماسحات وقت الطيران نبضة، وتنتظر عودتها؛ لقياس المسافة من الهدف بناءً على (المعادلة ١-٤). تُعرف ماسحات وقت الطيران -أيضاً- بالسرعة البطيئة؛ حيث يجب عليها الانتظار حتى يعود نبضها إلى المستقبل ويتم قياسها. وتكون سرعتها بضعة آلاف من النقاط في الثانية، عادة ما بين (٥٠-١٥٠) ألف نقطة في الثانية. ومن ناحية أخرى فلها مدى ممتد يصل -بحد أقصى- إلى (٢) كم أو أكثر. توفر ماسحات وقت الطيران القدرة على معالجة شكل الموجة؛ مما يسمح لقدرات المعالجة الداخلية بتحديد عوائد أو انعكاسات متعددة لنفس نبضة الإشارة، ويوفر هذا استشعاراً متعددًا للأهداف، يصل -أحياناً- إلى (١٥) نتيجة لكل نبضة. لذلك فإن الماسح الضوئي قادر على تسجيل إشارة العودة من أوراق النباتات والأرض تحتها. تعد الدقة النموذجية لقياس الإشارة (٢-٦) ملم.

$$\text{المعادلة (١-٤)} \quad \text{سرعة الضوء} \times \text{زمن الطيران} = \frac{\text{المسافة}}{2}$$

١-٤-٢ ماسحات تحول الطور:

تعدل الماسحات الضوئية الليزرية لتحول الطور ضوء الليزر المنبعث باستمرار -إلى أطوار متعددة، وتقارن تحويلات الأطوار لطاقة الليزر المرتجعة. نظراً للحاجة إلى إصدار طاقة ليزر بشكل مستمر؛ فإن مداها أقل من ماسحات وقت الطيران، لكن سرعتها أعلى بكثير، عادةً مليون نقطة في الثانية أو أعلى. في الماسحات الضوئية لتحول الطور، ينبعث شعاع ليزر بقوة بصرية معدلة، وينعكس على جسم ما. عقب ذلك يُستشعر الضوء المنعكس ويُقارن بالضوء المنبعث؛ لتحديد تحول الطور، وزمن الطيران؛ وفقاً للمعادلة (١-٤).

$$\text{المعادلة (٢-١٤)} \quad \text{زمن الطيران} = \frac{\text{تحول الطور}}{2\pi \times \text{تردد التعديل}}$$

يُنقل زمن الطيران المحسوب بالمعادلة (٢-١٤) إلى المعادلة (١-٤)؛ لتقدير المسافة. غالباً ما تُستخدم ترددات تعديل متعددة لزيادة دقة تقدير زمن الطيران. تتراوح الدقة النموذجية بين (٢-١٠) ملم، بينما يقتصر المدى الأقصى على (٣٠٠) متر أو أقل.

تعتمد كثافة النقاط على الإعدادات والمسافة من الهدف. ومن حيث نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) تعتمد المقارنة بين ماسحات زمن الطيران والماسحات الضوئية لتغير الطور على تفاصيل التطبيق. كما أنها تعتمد على عدة عوامل (المسافة، المادة، زاوية الميل، وما إلى ذلك)، بدلاً من التقنية المستخدمة. في الوقت الحاضر توفر بعض الشركات المصنعة ماسحات ضوئية مختلطة تستخدم كلا التقنيتين.

٢-١٤ الإجراءات:

المسح باستخدام المسح الأرضي بالليزر مقسم إلى عدة استطلاعات ساكنة من محطات مختارة، بنفس معنى ترافرس (traverse) محطة النقاط المتكاملة في الواقع، تستند منهجية قياس المسافة الخاصة بها إلى وحدة قياس المسافة المكافئة لمحطة النقاط المتكاملة. وفي كل محطة يُجمع عدد كبير من النقاط ثلاثية الأبعاد وتُخزن. يُجهز المسح الأرضي بالليزر المعاصر بكاميرات منخفضة الدرجة، وهي قادرة على توفير معلومات الألوان الطبيعية لكل نقطة في السحابة النقطية، إلى جانب كثافة الإشارة المنعكسة.

١-٢-١٤ معايرة الأدوات:

يجب معايرة معدات المسح الأرضي بالليزر من جانب متخصصي الإصلاح والصيانة وفقاً لاقتراحات الشركة المصنعة. في حين أن معدات المسح الأرضي بالليزر مقاومة للصدمات والاهتزازات؛ فإنها قد تتطلب معايرة في حالة التعرض لصدمة أو سقوط قوي. تُطبق -أيضاً- المتطلبات المتعلقة بمعايرة الأدوات المطروحة في الجزء (٢-٤) على كافة المعدات الطبوغرافية في المسح الأرضي بالليزر.

٢-٢-١٤ العناية بالأدوات:

تُعد أجهزة المسح الأرضي بالليزر هشة وحساسة؛ حيث يمكن أن يكون للصدمة الصغيرة تأثير كبير في جودة أدائها، ولا يمكن إصلاحها أو إعادتها إلى حالتها الأصلية إلا بواسطة متخصصي الصيانة المحترفين؛ لذلك ينبغي التعامل مع هذه الأجهزة بعناية. ولا ينبغي تركها مكشوفة بأي وسيلة، خاصة عند العمل قرب المناطق المزدحمة؛ مثل: الطرق، وما إلى ذلك. علاوة على ذلك، ينبغي اتباع الإرشادات العامة؛ كما هو موضح في الجزء (٢-٤).

إجراءات وإرشادات العناية بالأجهزة؛ لتجنب إتلاف الجهاز والتأثير في جودة القياسات ولتأمين التشغيل غير المُقاطع للجهاز هي مماثلة لتلك المستخدمة في المسح الأرضي بالليزر (الجزء ٧-٤)، كما هو موضح أدناه:

- قد يؤدي التشتت أو صرف الانتباه إلى سقوط الجهاز على الأرض؛ لذا لا ينبغي ترك الجهاز دون مراقبة.
- ينبغي أن يظل الجهاز مستقرًا في أثناء المسوحات.
- لا ينبغي إجبار الجهاز؛ فقد يؤدي ذلك إلى إتلافه.
- يمكن تحريك الجهاز وهو مثبت على حامل -ثلاثي الأرجل- خاص به، ولكن ينصح بالحذر؛ لأن الحركات المفاجئة قد تتلفه.
- ينبغي أن تظل الأسطح البصرية (مثل: مرآة المسح، وما إلى ذلك) لأجهزة المسح الأرضي بالليزر نظيفة. لا تقم -مطلقًا- بفرك الغبار أو المخلفات الموجودة على الأسطح الضوئية؛ لأن ذلك سيؤدي إلى خدش الزجاج، وقد يؤدي إلى تلف الجهاز. وبدلاً من ذلك، استخدم منفضة الغبار بالغاز المضغوط. يجب ضمان إيقاف تشغيل جهاز المسح الأرضي بالليزر مع إزالة بطاريته قبل تنظيفه.
- ينبغي ألا يتعرض الجهاز لدرجات حرارة شديدة الانخفاض أو الارتفاع. حددت الظروف المثالية لتشغيل الجهاز من جانب الشركة المصنعة وينبغي اتباعها. علاوة على ذلك، ينبغي تجنب التغيرات السريعة في درجات الحرارة عند تحريك الجهاز؛ مما يمنح الجهاز وقتًا للتأقلم.
- إذا كانت الرياح شديدة بما يكفي للتأثير في ثبات الجهاز؛ فيجب إيقاف العمل. بالإضافة إلى ذلك، يوصى بتجنب تعريض الجهاز لأشعة الشمس المباشرة لفترات طويلة من الزمن.
- ينبغي -دائمًا- تثبيت الجهاز على حامل أرضي أو حامل ثلاثي القوائم. يضمن استخدام الحامل ثلاثي القوائم -المخصص لنظام المسح- أقصى قدر من الاستقرار في أثناء المسوحات. وتجنب تركيب الجهاز على الأرض دون حامل أرضي أو حامل ثلاثي القوائم.
- لا يوجد سوى موقع واحد محدد لجهاز المسح الأرضي بالليزر؛ ليوضع بنجاح داخل الحافظة الخاصة به. قد يتلف الجهاز في حال استعمال القوة أو الضغط عليه داخل الحافظة. وينبغي تجنب هذه الإجراءات بسبب الطبيعة الحساسة والدقيقة لهذه الأجهزة.

وفقًا للمواصفات الدولية (IEC 60825-1) والتقارير الفني (IEC TR 60825-14 (2004-02) (IEC, 2004) تم تصنيف أجهزة المسح الأرضي بالليزر على أنها ليزر من الفئة ١، والفئة ٢، والفئة ٣R؛ لذا لا تتطلب:

- مشاركة مسؤول سلامة أجهزة الليزر.
- ملابس واقية.
- نظارات وعلامات تحذير خاصة.

٣-٢-١٤ إعداد الجهاز:

ينبغي -دائمًا- فحص معدات المسح الأرضي بالليزر قبل كل يوم عمل. هناك أشياء ينبغي التحقق منها:

- الجهاز فعال، ويعمل على النحو المنشود.
- كافة الملحقات الممكنة (حامل ثلاثي القوائم، حقيبة واقية للنقل الآمن، بطاريات احتياطية، شاحن، وما إلى ذلك) للجهاز تكون فعالة ومجهزة للاستخدام.
- ينبغي أن تكون بطاريات الجهاز مشحونة بالكامل، أو على الأقل أن تكون قادرًا على شحن البطاريات في موقع العمل. يُنصح بحمل بطارية أو بطاريتين احتياطية للجهاز.
- ينبغي -أيضًا- أن تكون الملحقات الإضافية التي تتلاءم مع استخدام هذه الأجهزة، مثل: الهواتف الذكية، والأجهزة اللوحية المتصلة بالجهاز مشحونة بالكامل وجاهزة للاستخدام.
- تخزين داخلي كاف لجهاز المسح الأرضي بالليزر فيما يتعلق بالمشروع.

٤-٢-١٤ إعداد الأداة:

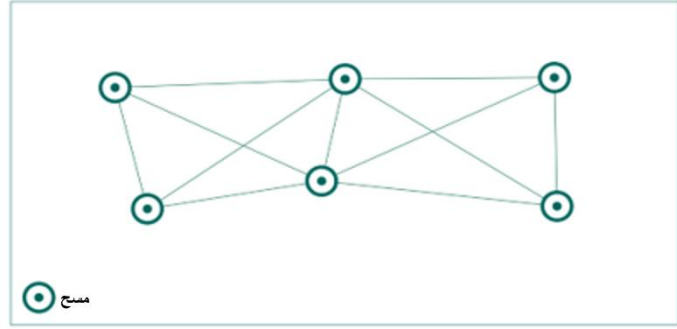
تشكل السحابة النقطية مع معلومات اللون والشدة لكل نقطة القياسات الأولية من المسح الأرضي بالليزر في النظام المرجعي للماسح الضوئي. تُصنف كل نقطة وفقًا لعاندها في حال استخدام واجهة الموجة لمساحات زمن الطيران. بالمقارنة مع تشغيل أداة محطة النقاط المتكاملة، كما هو موضح في الجزء (٧-٥)، فإن أجهزة المسح الضوئي الأرضي أسهل في الإعداد والاستخدام. لا تتطلب أدوات المسح الضوئي الأرضي التمرکز مقارنةً بمحطة النقاط المتكاملة، ولكن يمكن تطبيق الضبط الأفقي لأداة المسح الضوئي الأرضي؛ إذا كان الحامل ثلاثي القوائم يوفر هذه القدرة. بعد إزالة أداة المسح الأرضي بالليزر من الحافظة الخاصة بها، وتثبيتها على الحامل ثلاثي القوائم؛ يتبع التعديل الأفقي:

- يجب إجراء الضبط الأفقي للمسح الأرضي بالليزر قبل كل مسح، ويمكن تحقيقه من خلال عرض فقاعة المستوى أو مقياس الميل. اضبط ارتفاع قائمتين من القوائم الثلاث للحامل، بحيث تكون الفقاعة قريبة من المركز. في حال عدم توفر فقاعة مستوى؛ يمكن إجراء الضبط الأفقي تقريباً.
- بمجرد الانتهاء من الإعداد؛ يمكن للمساح تشغيل جهاز المسح الأرضي بالليزر لبدء المسح. وفي الوقت نفسه يمكن للمستخدم عرض البيانات المسجلة بواسطة جهاز المسح الأرضي بالليزر في الوقت الحقيقي، حيث يوفر العديد من أجهزة المسح الأرضي بالليزر خيار الاتصال بالهواتف الذكية/الأجهزة اللوحية، واستخدام البرنامج المخصص (التطبيق) الذي طورته الشركة المصنعة. يمنح هذا الخيار المستخدم القدرة على عرض البيانات المسجلة بواسطة جهاز المسح الأرضي بالليزر في الوقت الحقيقي وإدارتها في الموقع.
- قد تختلف مدة القياس من دقيقة إلى عدة دقائق، اعتماداً على جهاز المسح الأرضي بالليزر، وكثافة المسح ونوعه، وما إلى ذلك. في أثناء عملية القياس؛ يجب أن يظل جهاز المسح الأرضي بالليزر ثابتاً، ويحظر تحريكه أو لمسه.
- تقوم أجهزة المسح الأرضي بالليزر بالمسح في مختلف مجالات النظر اعتماداً على نوع جهاز المسح الأرضي بالليزر. في أثناء كل عملية المسح، ينبغي أن يظل المستخدم غير مرئي لمجال رؤية جهاز المسح الأرضي بالليزر، أو على الأقل ألا يقف قريباً جداً من الجهاز؛ حتى يتمكن المسح من التقاط أكبر قدر ممكن من المعلومات عن المناطق المحيطة.
- بعد اكتمال كل مسح؛ يمكن للمستخدم نقل جهاز المسح الأرضي بالليزر (المثبت على الحامل ثلاثي القوائم) إلى موقع المسح التالي. من أجل أن تكون المسوحات مترابطة بنجاح، ينبغي أن تحقق بيانات المسح تداخلاً بنسبة (٦٠ %) على الأقل (أو وفقاً لتعليمات الشركة المصنعة لجهاز المسح الأرضي بالليزر) بين عمليات المسح.
- تعد الأسطح شديدة الانعكاس (مرايا، معدن مصقول)، والماصة (السوداء)، والشفافة (زجاج شفاف) غير مواتية للمسح؛ لذلك يجب توخي الحذر عند مسح مثل هذه الأشياء.
- غالباً ما تتطلب العوائق (مثل: الأشجار أو الأعمدة) تعديل مواضع المسح؛ لضمان إمكانية التقاط كافة بيانات المسح حول منطقة المسح. التداخل وراء العائق خلال المسوحات أمر مطلوب.
- تتسبب العوائق الأخرى للأجسام المتحركة الصغيرة أو الكبيرة في ظروف مناخية غير مواتية (مثل: تحرك أوراق الأشجار بسبب الطقس العاصف، وما إلى ذلك) يمكن أن تؤثر في جودة المسوحات.
- قد يؤدي مسح مثل هذه الأسطح إلى الحصول على بيانات مضللة أو فقدان البيانات؛ مما قد يؤثر في عملية التسجيل. في حالة لزوم الأمر، يمكن للمستخدم تلوين هذه الأسطح أو رشها ببودرة أو حجبها بلاصق؛ للحد من الآثار المترتبة على مسح هذه الأسطح.
- لا تؤثر الإضاءة المنخفضة في القياسات، نظراً لأن معظم أجهزة المسح الأرضي بالليزر مدمجة في تقنيات الإضاءة الذاتية (مثل: كاشف ضوئي، وما إلى ذلك).

١٤-٢-٥ عملية المسح:

في أثناء عملية المسح؛ ينبغي على المستخدم:

- عدم تحريك أو لمس أجهزة المسح الأرضي بالليزر.
- التحقق من أن كافة معلومات المسح (على سبيل المثال: دقة المسح، والكثافة، واللون) تم اختيارها وتطبيقها بشكل صحيح.
- التحقق -دائماً- من وجود مساحة تخزين داخلية كافية لجهاز المسح الأرضي بالليزر.
- ينبغي أن يتداخل ما لا يقل عن ثلاث إلى أربع عمليات مسح (عند الاقتضاء)؛ حتى يكون تسجيل السحابة النقطية منتشراً ودقيقاً قدر الإمكان. ينبغي أن تحتوي شبكات المسح على عمليات مسح متعددة، متداخلة، وتغطي نفس المناطق (الشكل ١٤-٢).
- يعد ترتيب درجات المسح أمراً مهماً؛ لأن عملية التسجيل تكون أبسط بكثير في حال إجراء المسوحات بترتيب منطقي. سيكون من الأسهل تتبع المسوحات وتسجيلها في حال قيامك بالدوران أو التحرك بثبات نحو نقطة مرجعية (مبنى أو هدف آخر). تؤدي ترتيبات المسح -الأكثر تعقيداً- إلى فهم -أكثر صعوبة- في أثناء عملية تسجيل المسح.



الشكل (٢-١٤) شبكة مسح مفضلة.

٣-١٤ معالجة البيانات:

تكون القياسات الأولية من جهاز المسح الأرضي بالليزر عبارة عن سحابة نقطية تحتوي على معلومات اللون والشدة في كل نقطة، في النظام المرجعي للماسح الضوئي. إذا استخدمت الجبهة الموجية الخاصة بماسحات زمن الطيران، فستُصنف -أيضًا- كل نقطة وفقًا لرجوعها.

يجب معالجة البيانات الأولية قبل أن تصبح معلومات مفيدة. وتكون الخطوة الأولى هي تسجيل كافة محطات المسح في نظام مرجعي مشترك. أما الخطوة الاختيارية الثانية فهي تصنيف النقاط إلى فئات. تعد هذه خطوة مؤتمنة مدعومة بتقنيات الذكاء الاصطناعي، وباستخدام معلومات اللون والشدة أو المعايير الهندسية البسيطة، أو مزيج من الاثنين معًا. وتكون الخطوة الأخيرة هي استخراج الكيانات الهندسية (الجيومترية)، وهي عملية شبه مؤتمنة مدعومة بوحدة برمجية للتصميم المعماري بمساعدة الحاسب (CAAD). قد يكون المنتج النهائي عبارة عن سحابة نقطية موحدة، أو ملف تصميم بمساعدة الحاسب (CADD)، أو نموذج معلومات البناء (BIM).

١-٣-١٤ ملف السحابة النقطية:

تستخدم معظم أجهزة المسح الأرضي بالليزر التجارية الحالية صيغة خاصة بها، وتكون مصحوبة ببرامج مخصص لقراءة بيانات الماسح الضوئي، والمعالجة المسبقة، والتصدير بصيغ أكثر شيوعًا وقابلة للتشغيل البيني. عادةً ما تحتوي الصيغ الخاصة بالماسحات الضوئية على معلومات إضافية وهيكل الملف، بما في ذلك الصور الملتقطة، وبيانات الموقع والتوجيه، والعودة المتعددة إذا كانت متوفرة، وما إلى ذلك، كما تحتوي الصيغ الشائعة على معلومات أقل بطريقة أكثر تنظيمًا.

١-٣-١٤-١ فيما يتعلق ببيانات السحابة النقطية:

XYZ

تعد هذه مجموعة ملفات غير قياسية، تستند إلى الإحداثيات الديكارتية (XYZ)، على الرغم من أنه رمز قياسي أمريكي لتبادل المعلومات (ASCII). وهناك توافق واسع عبر البرامج، يجب على المرء تحديد الأعمدة والوحدات عند استيراد الملف.

PTS, PTX

هذه الصيغ شائعة جدًا في الوقت الحاضر، وتدعمها معظم نموذج معلومات البناء (BIM s/w)، وهي عملية، نظرًا لسهولة تحويلها ومعالجتها.

E57

هذه صيغة ملف محايد للبائع؛ لتخزين سحابة نقطة أجهزة المسح الأرضي بالليزر. يمكن استخدامه -أيضًا- لتخزين الصور، والبيانات الوصفية التي تنتجها الماسحات الضوئية بالليزر، وأنظمة التصوير ثلاثية الأبعاد الأخرى. كما أنه مضغوط، ويستخدم على نطاق واسع. ويستخدم الكود الثنائي جنبًا إلى جنب مع رمز قياسي أمريكي لتبادل المعلومات (ASCII)؛ مما يوفر الكثير من إمكانية الوصول إلى رمز قياسي أمريكي لتبادل المعلومات (ASCII)، وسرعة النظام الثنائي. يمكن أن يمثل (E57) شدة المجال الطبيعي، والألوان، والحجم. وهو مقبول على نطاق واسع كمواصفة، وتدعم معظم البرامج الاستيراد والتصدير بهذه الصيغة. ربما يكون الخيار الأفضل في الوقت الحاضر.

LAS, LAZ

قُدِّمَ (LAS) من جانب الجمعية الأمريكية للمسح التصويري والاستشعار عن بعد (ASPRS)، وهو عبارة عن صيغة ملف ثنائي، مع سجلات ثابتة، خاصة للمسوحات الهوائية بتقنية الليدار. يمكن أن تحتوي -أيضاً- على العديد من البيانات الوصفية لكل نقطة ذات صلة بطبيعة الليدار، مثل: اتجاه الرحلة، والعودة، والزوايا من نظيرتها (nadir)، وما إلى ذلك، كما أن (LAZ) هي نسخة مضغوطة من (LAS).

٢-٣-١٤-١ البيانات الخاصة بالشبكة المثبتة:

OBJ

تم تطوير صيغة الملف هذه بواسطة تقنيات جبهة موجية، وأُعيدت من جانب مجموعة واسعة من تطبيقات الرسومات ثلاثية الأبعاد. تعد صيغة بيانات (ASCII) أمراً بسيطاً يمثل الهندسة الهيكلية ثلاثية الأبعاد؛ مثل: النقاط، والمثلثات، والأعمدة، واللون، والملمس. توجد بعض الإصدارات الثنائية الخاصة بـ (OBJ)، لكنها تُعد واحدة من أكثر الصيغ العامة المتاحة.

PLY

هذه الصيغة (المعروفة -أيضاً- باسم: صيغة مثلث ستانفورد (Stanford) مستوحاة من (OBJ)، ومصممة لغرض تخزين البيانات ثلاثية الأبعاد. يستخدم (PLY) قوائم من المضلعات (الترافرس) المسطحة اسمياً؛ لتمثيل الكائنات. كان الهدف إضافة قدرات التمدد، والقدرة على تخزين عدد أكبر من العناصر المادية. والنتيجة كانت بتنسيق ملف قادر على تمثيل اللون، والشفافية، والقواعد السطحية، والملمس، والإحداثيات، وقيم ثقة البيانات. يوجد كل من (ASCII) وغيرها من الصيغ الثنائية (binary).

٢-٣-١٤-٢ معالجة السحابة النقطية:

يوفر معظم بائعي المساحات الضوئية برامج لمعالجة السحابة النقطية الخاصة بهم، على الأقل للمعالجة المسبقة للبيانات الخام من المساح الضوئي. بالإضافة إلى ذلك، طورت العديد من الشركات الأخرى برامج معالجة السحابة النقطية. ومن خلال تصدير السحب النقطية بصيغة ملف (XYZ)؛ يمكن تحليل السحب النقطية من أي ماسح ضوئي باستخدام أي برنامج تابع لجهة خارجية. تشمل الوظائف الأساسية لمثل هذا البرنامج: التنظيف، والتصنيف، والتجزئة، والتصنيف، والتقسيم، والتقديم مع الملسم، والتوجيه، والمخرجات القائمة على الصور، والرسوم المتحركة، والتصور. تُضمّن ميزات التحرير / التحليل الأساسية -التالية- في معظم حزم برامج المسح الضوئي الأرضي:

- توليد السحابة النقطية من صور الليزر.
- تصور سحابة نقطية عامة؛ بما في ذلك التحريك، والإمالة، والتكبير/التصغير.
- تحرير سحابة النقاط العامة؛ بما في ذلك إضافة النقاط، وحذفها، وإزالة الضوضاء، وكتابة النقاط بالصيغة العشرية.
- القدرة على تجميع المسوحات المتعددة معاً.
- القدرة على التعامل مع تنسيقات الاستيراد والتصدير المختلفة (إلى برامج التصميم بمساعدة الحاسب على سبيل المثال).

عُثر على الميزات المتقدمة -التالية- في بعض حزم البرامج -وليس كلها- أو أنها جزء من وحدات إضافية:

- القدرة على إنشاء سطح مثلثي (شبكة غير منتظمة مثلثة، أو TIN).
- القدرة على ملائمة الخطوط والطائرات والأشكال الأخرى؛ لتوجيه مجموعات السحابة.
- القدرة على عمل ملفات تعريف ومقاطع عرضية من خلال سحابة نقطية.
- القدرة على عمل قياسات مثل: المسافات، والزوايا، والمساحات، والأحجام.
- القدرة على تسجيل المسوحات، بما في ذلك الكشف التلقائي عن الأهداف.
- إجراء نمذجة صلبة (توليد الحجم) استناداً إلى الخطوط، والطائرات، والأسطح الأخرى المحددة من جانب المستخدم.
- إجراء الاستخراج التلقائي للأشكال القياسية من السحابة.
- الحصول على تقنية الكشف عن الحافات؛ لتحديد حدود المواد الصلبة، والطائرات، والأشكال الأخرى.
- القدرة على ثني صورة رقمية على سطح مثلث.
- حساب شبكة مضلعة -ثلاثية الأبعاد- كاملة تلقائياً، (وليس ٢,٥D) من سحابة نقطية.
- القدرة على دمج المسوحات مع المخططات الأرضية، والرسومات الهندسية للأشياء، والمعلومات التي مُسحت.
- القدرة على تصور المساحة في (٣٦٠) درجة من مجالات الصورة والواقع الافتراضي.

افتراضياً، تعد برامج المسح الضوئي الأرضي نقاط قياس في نظامها الداخلي -عادةً- مع نقطة مرجعية (٠,٠,٠) في مركز دوران المساح الضوئي، وسمت عشوائي. تجهيز بعض تطبيقات المساح الضوئي الحديثة بأنظمة تحديد المواقع تختلف من هوائيات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، أو البوصلة، أو البارومترات لتقدير الارتفاع، أو وحدة القياس بالقصور الذاتي،

أو حتى الكاميرات الخاصة بالتوطين البصري المتزامن ورسم الخرائط. فئة أخرى من الماسحات الضوئية الحديثة توفر وظائف المحطة الكلية، مع القدرة على التصويب يدويًا إلى نقطة وقياس الزاوية والمسافة، وبالتالي السماح بوظائف الترافرس أو إعادة التجزئة؛ لتقدير موضع برامج المسح الضوئي الأرضي، وهي نقاط قياس في نظامها الداخلي، عادةً مع نقطة مرجعية (0,0,0) في موضع النظام المرجعي المستخدم.

تسمح بعض الأنظمة بإعداد مسودة تقدير للموضع والتوجيه. إذا كان التقدير دقيقًا بدرجة كافية؛ فيمكن استخدامه للإسناد الجغرافي المباشر لجهاز الحاسوب في أثناء مرحلة الحصول على البيانات. خلاف ذلك، يمكن استخدام بيانات الموقع، والارتفاع، والاتجاه كتقديرات أولية لمزيد من التسجيل الدقيق.

١٤-٣-٢-١ إعداد السحابة النقطية:

قد تكون بعض أجزاء البيانات المسجلة في السحابة النقطية مضللة أو غير دقيقة. لتجنب التأثير في عملية المحاذاة بين مجموعات مميزة من السحب النقطية؛ ينبغي اتخاذ خطوات لإزالة هذه المعلومات من مجموعات البيانات النهائية. يمكن تسجيل بيانات خاطئة بسبب الأسطح الرطبة شديدة الانعكاس (مرايا، معدن مصقول) والماصة (السوداء) والشفافة (زجاج شفاف). تؤثر هذه الأسطح في قدرة نظام الليزر على استقبال سطح نبضي راجع. عند مواجهة هذه المشكلات؛ كحل يمكن للمستخدم تلوين هذه الأسطح، أو رشها ببودرة أو حجبها بلاصق؛ للحد من أثارها على المسح. قد تحدث عوائق أخرى؛ بسبب الأجسام المتحركة الصغيرة أو الكبيرة، أو مرور البشر، أو تحريك أوراق الأشجار بسبب الطقس العاصف، وما إلى ذلك، فقد تؤثر في جودة المسوحات. يمكن إزالة البيانات الخاطئة من البيانات المعاد تفسيرها بواسطة البرنامج المقابل، المصاحب لجهاز المسح الأرضي بالليزر. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي توخي الحذر عند مواجهة مثل هذه الآثار؛ مثل: يمكن إزالة البيانات الصالحة عن طريق الخطأ على طول البيانات الخاطئة (TMR, 2021).

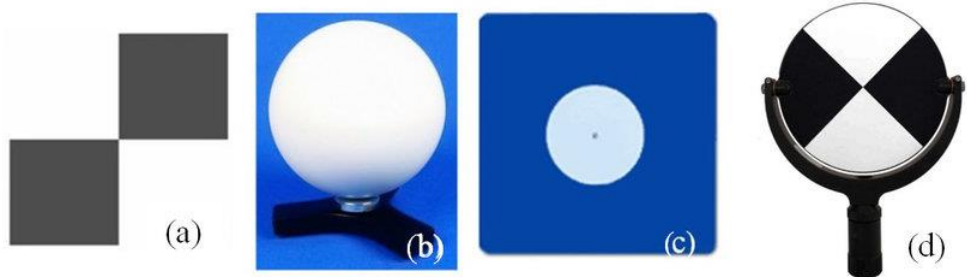
١٤-٣-٢-٢ التسجيل باستخدام المضلعات (الترافرس):

تسمح بعض أجهزة المسح الأرضي بالليزر بوضعها على نقاط معروفة، وتعيين السمات نحو نقطة معروفة. ويدعم بعضها الآخر وظائف المحطة الإجمالية الأساسية. في مثل هذه الحالات؛ تُسجل أجهزة الحاسوب على الموقع مباشرة، عن طريق تعيين أجهزة المسح الأرضي بالليزر الضوئي على نقاط معروفة، والنظر للخلف نحو نقطة معروفة. تُسجل سحابة السحابة النقطية في النظام المرجعي للمسح الأرضي بالليزر، ولا إلى مزيد من المعالجة بعد التنزيل.

١٤-٣-٣-١ التسجيل باستخدام الأهداف:

هي عملية التسجيل الأكثر شيوعًا. الأهداف الكروية هي الأكثر شيوعًا، والتي يمكن التعرف عليها من خلال معالجة أجهزة الحاسوب الشخصية. يمكن استخدامها؛ إما كنقاط ربط بسيطة بين عمليات مسح الضبط، أو إحداثيات مخصصة لتسجيل الحاسوب في نظام مرجعي معروف. يمكن تقدير إحداثيات الأهداف باستخدام المحطات المتكاملة. ثلاثة أهداف بين أجهزة الحاسوب المجاورة تكفي لتسجيلها معًا.

اعتمادًا على تقنية الماسح الضوئي (ماسحات زمن الطيران، أو تحول الطور)؛ قد تختلف الأهداف بين المنشئين. يمكن استخدام ورقة مقاس (A4) عادية (بالأبيض والأسود) كهدف للماسحات الضوئية لتحول الطور، بينما تحتاج ماسحات ز الطيران إلى أهداف دائرية متخصصة ذات أسطح عاكسة (الشكل ١٤-٣). وعادةً ما يتم التعرف على هذه الأهداف تلقائيًا؛ عن طريق المعالجة اللاحقة (S/W) لجهاز المسح الأرضي بالليزر، ويمكن تعيين الإحداثيات كما قيس بواسطة إجمالي المحطات، ومن ثم التسجيل الجغرافي لجهاز الحاسوب. يمكن وضع هذه الأهداف حول منطقة المسح وقرية بدرجة كافية من الجهاز، في أثناء عملية مسح جهاز المسح الأرضي بالليزر.



الشكل (١٤-٣) عدة أنواع من أهداف أجهزة المسح الأرضي بالليزر (Fryskowska-Skibniewska, 2019).



٤-٣-١٤ التسجيل بمساعدة الحاسب:

تعد الخوارزمية الرئيسية المستخدمة من جانب كافة البرامج لتسجيل نقطة-سحابة إلى نقطة-سحابة أقرب نقطة تكرارية (ICP) (Zhang, 1994). وهي تعمل مباشرة على السحب النقطية دون الحاجة إلى تحويلها إلى أسطح قبل ذلك. تقوم الخوارزمية بشكل متكرر بمراجعة المسودة الأولية للتحويل (مجموعة النقل والتناوب)، اللازمة لتقليل عدة مسافات من المصدر إلى السحابة النقطية المرجعية، أي: مجموع الفروق التربيعية بين إحداثيات الأزواج المتطابقة. ومع ذلك قد يفشل؛ في حال عدم وجود تداخل كافٍ (أكبر من ٦٠٪) بين أجهزة الحاسوب المجاورة.

بشرط أن يكون لدى أجهزة المسح الأرضي بالليزر بعض مستشعرات الموضع/التوجيه على متنها، وأن كل عملية مسح تحتوي على بيانات وصفية حول موقعها، يمكن أن تبدأ عملية أقرب نقطة تكرارية دون تدخل بشري، باستخدام أقرب نقطة تكرارية لتحسين تسجيل الحاسوب. في حال فشل المستشعرات الموجودة على اللوحة في توفير تقريب أولي جيد، فيمكن القيام بذلك يدويًا وإعادة تشغيل العملية.

٥-٣-١٤ عملية التعديل:

يجب تشغيل تعديل المربعات الصغرى المقيدة داخليًا -دون نقاط تحكم- مما يسمح لشبكة المسح المقاسة بالكشف عن موثوقيتها الداخلية ودقتها على عمليات مسح متعددة -معًا- عند استخدام التسجيل بمساعدة الحاسب مع تسجيل السحابة-السحابة.

للتأكد جودة ضبط المسح الضوئي، ينبغي مراجعة المخلفات للتأكد من عدم وجود روابط شبكة مع المخلفات التي يجب معالجتها أو إزالتها. يجب التحقق من القيم الخارجية المحتملة بين بقايا الارتباط.. ينبغي إزالة أي قيم خارجية، ويجب إعادة تشغيل الضبط حتى تصبح كافة الروابط ضمن التفاوتات المحددة للدقة والموثوقية.

بعد الانتهاء من تعديل الحد الأدنى من القيود، يجب تشغيل تعديل المربعات الصغرى المقيدة بالكامل، بما في ذلك مواضع كافة نقاط التحكم المعروفة المستخدمة في عملية التسجيل، جنبًا إلى جنب مع كافة روابط التدقيق ذات الصلة. يخضع هذا التعديل لنفس الخطوات المذكورة أعلاه. يجب فحص القيم الخارجية المحتملة بين نقاط التحكم وروابط شبكة المسح. يجب إزالة القيم الخارجية وإعادة تشغيل التعديل المقيد؛ حتى تصبح كافة نقاط التحكم ضمن التفاوتات المحددة للدقة والموثوقية. يجب التحقق من المخلفات النهائية للارتباط من كونها ضمن المدى المقبول. في الحالة الأخرى، تُرفض عملية المسح وتُكرر عملية المسح الإجمالي.

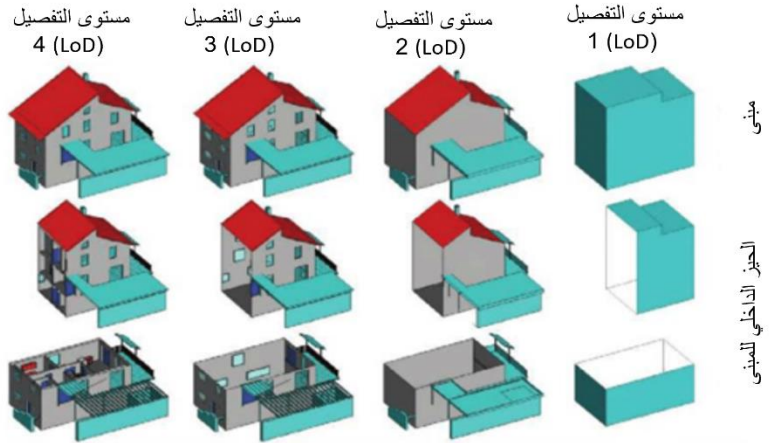
٣-٣-١٤ إمكانية التشغيل البيئي مع برامج التصميم بمساعدة الحاسب:

غالبًا ما يُبالغ في تقدير الوقت والتكلفة اللذين يلزمهما لمعالجة النقطة السحابية غير المهيكلة لتصبح نموذج تصميم بمساعدة حاسب كاملًا. وفي الوقت الحاضر، تحسنت قابلية التشغيل البيئي بشكل كبير، مما سمح لبرامج التصميم بمساعدة الحاسب التقليدية التعامل مع ملايين النقاط، وهو ما لم يكن مسلم به منذ بضع سنوات. ومع ذلك فإن تحويل سحابة نقطية غير منظمة في نموذج التصميم بمساعدة الحاسب ثلاثي الأبعاد لا يزال عملية شبه مؤتمتة، و تتطلب تدخلًا يدويًا مكثفًا.

تشتمل برامج التصميم بمساعدة الحاسب -بشكل أساسي- على مجموعات بنتلي (Bentley) وأوتوديسك (Autodesk)، التي توفر وحدات مخصصة للتشغيل البيئي للحاسوب الشخصي. وتتوفر -أيضًا- مجموعات برامج أخرى، إما إضافة إلى برامج التصميم بمساعدة الحاسب -المذكورة أعلاه- أو كحلول قائمة بذاتها. يوفر كافة بائعي أجهزة المسح الأرضي بالليزر الرئيسيين؛ مثل: (Leica، Faro، Trimble)، وما إلى ذلك) برامج مع وظائف الحاسوب الشخصي إلى برامج التصميم بمساعدة الحاسب.

توفر هذه البرامج وظائف لتقسيم الحاسوب بشكل هندسي، واستخراج العناصر الأساسية الهندسية، مثل: المخاريط، والطائرات، والأسطوانات، وما إلى ذلك، باستخدام عمليات شبه مؤتمتة؛ للتعرف على الأشكال الأكثر تعقيدًا، وتركيبها، مثل: خطوط الأنابيب، ووصلات خطوط الأنابيب، والصنابير، وما إلى ذلك، المختارة من مكتبات الكائنات ثلاثية الأبعاد المخصصة الموسعة.

فيما يتعلق بتشكيل الكائنات التي من صنع الإنسان (المباني، والجسور، والطرق، والأنفاق، والموانئ، وما إلى ذلك) لإنشاء نموذج مدينة ثلاثي الأبعاد للبيئة المعمورة، فإن مفهوم مستوى التفاصيل أدخل من قبل معهد كارلسويه للتقنية (الألماني) (الشكل ٤-١٤).



الشكل (١٤-٤) مستويات مختلفة من التفاصيل (LoD) للمباني وفقاً لنموذج (CityGML). لا يتم تمثيل مستوى التفاصيل (٠)، نظراً لأنه ليس نموذجاً ثلاثي الأبعاد، ولكنه ببساطة مخطط المبنى مع الارتفاع كسمة (OGC, 2012).

١٤-٤ الدقة والإحكام:

تعتمد الدقة الشاملة لمسح الليدار الكامل على عدة جوانب؛ مثل:

- مواصفات أجهزة المسح الأرضي بالليزر، ونوعها.
- الدقة والوضوح (كثافة النقاط).
- نسبة الإشارة إلى التشويش.
- مدى وميل ومادة الجسم.
- أحوال الطقس والموقع.
- دقة التسجيل.
- ستؤدي الظروف البيئية، مثل: الأمطار الغزيرة، والثلوج، والضباب إلى تدهور دقتها بصورة كبيرة.

لذلك ليس من السهل التنبؤ بالدقة الشاملة، لأنها مرتبطة بالإعدادات وإستراتيجية الاستحواذ. ولذلك نُصح بتحديد المسح على نحو صحيح في أثناء التشغيل. ويعد التحقق من المخرجات أمراً صعباً، خاصة من حيث الاكتمال. كما أنه من السهل التحقق من الدقة باستخدام محطات النقاط المتكاملة ذات المستوى الصناعي، للتحقق من المسافات بين النقاط في النموذج ثلاثي الأبعاد الذي سُلِم.

ترد الدقة والإحكام النموذجيتان فيما يتعلق بالمقياس في الجدول (١٤-١).

يُحدد الإحكام حسب مواصفات ونوع الماسح الضوئي. ومع ذلك يمكن تنظيم إحكام كل نقطة من إعدادات الماسح الضوئي، نظراً لأن معظم الماسحات الضوئية الحديثة قد تقدم تمريرات متعددة عبر نفس النقطة لتقليل نسبة الإشارة إلى التشويش، على حساب إبطاء سرعة المسح الضوئي.

عادةً ما يحقق الليدار الميكانيكي دقة في المدى عند مستوى السنتيمتر (من ١ إلى ٨ سم) للقياس الكامل لمداها. وتحقق مستشعرات الليدار ذات الدرجة المنخفضة -بسعر أقل بكثير- دقة المدى على مستوى السنتيمتر (عادة من ٢ إلى ٢٠ سم) لمداها الكامل، الذي يكون -عادةً- أقل من أجهزة الليدار الميكانيكية. ولا تزال هذه الدقة مناسبة لاستخدامات تجنب العوائق واكتشاف الأشياء.

الجدول (١٤-١) إحكام وكثافة الليدار المتوقعة فيما يتعلق بالمقياس.



المقياس	كثافة النقطة [ملم]	دقة القياس [ملم]
مدى قريب	١:٥	٠,٥
	١:١٠	١,٠
أرضي	١:٢٠	٢,٥
	١:٥٠	٥,٠
	١:١٠٠	١٥,٠
جوي	١:٢٠٠	٣٠,٠
	١:٥٠٠	٧٥,٠

٥-١٤ التسليم:

تُعد الوثائق والنتائج النهائية للمسوحات جزءاً أساسياً من المشروع. ويجب أن تُظهر وثائق مشروع المسح بالليزر تسلسل بيانات واضح من عنصر التحكم الأساس المنشور إلى النتائج النهائية. وتتطلب المشاريع المختلفة أنواعاً مختلفة من النتائج النهائية، التي يمكن أن تتراوح من منتج قياسي لبرنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CADD) مُترجم إلى نموذج مادي ثلاثي الأبعاد مطبوع باستخدام الحجم المناسب للجسم الفعلي.

مطلوب وقت مكتبي كبير لاستخراج كيانات صلبة من سحابة نقطية إلى صيغة برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CADD) أو صيغة نمذجة لمعلومات البناء (BIM) قابلة للاستخدام. وستختلف نسبة الوقت الميداني إلى الوقت المكتبي اختلافاً كبيراً، مع تعقيد الطريق والسمات المسوحة ضوئياً. ويجب توفير موارد لاستخراج البيانات (أجهزة حاسوب، وبرامج، وموظفين مدربين).

قد تشمل النتائج الخاصة بمسوحات مسح الليزر الأرضي أو مسح ليزر آخر، على سبيل المثال لا الحصر، ما يلي:

- أجهزة حاسوب جديدة بتنسيق محدد، مع معلومات الكثافة واللون لكل نقطة.
- أجهزة حاسوب تم تنظيفها.
- جهاز حاسوب مسجل ومدمج.
- جهاز حاسوب مفكك لكمية الكثافة المطلوبة.
- تصنيف النقاط.
- نموذج شبكة مثلث مع الملمس.
- ملفات تصميم الطريق.
- ملفات بصيغة برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CADD).
- ملفات صور رقمية مجسمة (mosaic).
- نماذج قياس مادية لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للموضوع.
- تقرير المسح وملفات مراقبة الجودة/ضمان الجودة.
- ملفات البيانات الوصفية الجغرافية المكانية.

١٥- رسم الخرائط المتنقلة:

أنظمة رسم الخرائط المتنقلة هي أجهزة تجمع البيانات الجغرافية المكانية من منصة متنقلة، مزودة -عادة- بمجموعة من الكاميرات، الليدار، الرادار، مسبارات الصدى، أو أي عدد من أنظمة الاستشعار عن بعد؛ من أجل الاستخدامات البرية، أو الجوية، أو البحرية. إن استخدام أنظمة رسم الخرائط المتنقلة يغذي طلب الحصول على بيانات سريعة وفعالة؛ من حيث التكلفة، أو مناطق واسعة، إضافة إلى التطورات التقنية التي تلبي هذا الطلب. وفي هذا الصدد، حدث تطوران جديران بالذكر بوجه خاص، هما أجهزة استشعار الليدار والملاحة الدقيقة. السمة المشتركة لأنظمة رسم الخرائط المتنقلة هي أنها تجمع بين جميع أجهزة الاستشعار اللازمة لحل مشكلة محددة، مثبتة على منصة مشتركة. من خلال المزامنة الدقيقة لجميع تدفقات البيانات، يمكن جمع البيانات من أجل استخدام معين، حتى في الوقت الحقيقي.

قد تختلف المنصة المتنقلة من طائرة، أو سيارة، أو سفينة سطحية أو تحت سطح البحر، مأهولة أو غير مأهولة، لذلك يمكن اعتبار جميع أنواع المركبات الجوية غير المأهولة (UAV)، والدرون، والمركبات السطحية غير المأهولة (USV)، والمركبات التي تعمل عن بعد تحت الماء (ROV)، والسيارات، والروبوتات، وحتى البشر منصات متحركة. حسب التعريف، فإن رسم الخرائط الفوتوغرافية المحمولة جواً باستخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ونظام وحدة القياس بالقصور الذاتي للإشارة الجغرافية المباشرة، هو نظام رسم خرائط متنقلة، على الرغم من أن استخدام البيانات الإضافية من النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ونظام وحدة القياس بالقصور الذاتي اختياري لعملية القياس التصويري، فإن الليدار المحمول جواً يُعد -أيضاً- خدمة لنظام رسم الخرائط المتنقلة، ولكن في هذه الحالة، تعد بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ونظام وحدة القياس بالقصور الذاتي جزءاً لا يتجزأ من عملية التسجيل الجغرافي لبيانات الليدار، التي ستكون عديمة الفائدة بخلاف ذلك.

ويشمل الناتج الرئيس من هذه الأنظمة السحب النقطية ثلاثية الأبعاد، والصور، والفيديوهات ذات المرجع الجغرافي، وبيانات نظم المعلومات الجغرافية، والخرائط الرقمية. وعليه يُعد نظام رسم الخرائط المتنقلة مصدراً مهماً لمختلف التطبيقات، بما يشمل على سبيل المثال لا الحصر، النمذجة ثلاثية الأبعاد في الأماكن المغلقة وفي الهواء الطلق، والتقاط بيانات نظم المعلومات الجغرافية، وخرائط الاستجابة للكوارث ثلاثية الأبعاد بمستويات عالية من التفصيل، والمركبات المستقلة (Elhashash, et al., 2022).

وتُستخدم أنظمة رسم الخرائط المتنقلة في العديد من الاستخدامات البرية، والبحرية، والجوية، والأماكن المغلقة.

- إدارة/صيانة الأصول والبنية التحتية.
- صور ثلاثية الأبعاد لأدوات رسم الخرائط عبر الإنترنت، ومشاهدات مستوى الشارع، وتطبيقات الجوال؛ باستخدام بيانات الخريطة.
- رسم خرائط الطرق ومرافقها.
- تقييم ورصد سطح الطريق.
- ممرات السكك الحديدية والمنافع.
- مسوحات خطوط الأنابيب (جسر، نفق، وغيرها).
- رسم خرائط الأماكن المغلقة لنماذج معلومات البناء، ومواقع/آثار التراث الثقافي.
- مسح الخرائط الجوية؛ باستخدام طائرات بطيار أو دون طيار، وباستخدام الكاميرا والليدار، أو أيًا منهما.
- التعدين (نماذج التضاريس الرقمية، مراقبة التشوه، الخرائط الطبوغرافية، الاستكشاف، تصميم المناجم، قياسات الحجم، وما إلى ذلك).
- التخطيط العمراني والعقارات.
- المدن الذكية والمدن التوأمية رقمياً.
- الزراعة - إدارة المحاصيل.
- المسوحات الهيدروغرافية، ورسم خرائط قاع البحر، والاستشعار/التنقيب تحت الماء.
- إنشاء بيانات افتراضية للألعاب، والأفلام، ومحاكاة الواقع الافتراضي.

نظراً لتنوع التطبيقات؛ هناك مجموعة واسعة من التطبيقات التي تندرج تحت فئة أنظمة رسم الخرائط المتنقلة المعممة. تُدرج قائمة حالية موسعة، ولكن غير مستنفدة لنظام رسم الخرائط المتنقلة في (Elhashash, et al., 2022). يعتمد اختيار نظام رسم الخرائط المتنقلة المناسب على التطبيق وخصائصه الفريدة.

١٥-١ المعدات:

يتكون نظام رسم الخرائط المتنقلة -عادة- من نوعين رئيسيين من أجهزة الاستشعار؛ أجهزة استشعار لتحديد المواقع، وأجهزة استشعار لجمع البيانات. نظراً لتوفر أجهزة الاستشعار وتنوعها (الجدول ١٥-١)، فهناك العديد من تطبيقات وفئات رسم الخرائط المتنقلة.

يجب أن تكون جميع أجهزة الاستشعار المثبتة على النظام الأساسي المحمول متزامنة مع الوقت (الشكل ٢-٧). ونظراً لأن بعض المستشعرات تسجل البيانات بترددات مختلفة، فربما لا تكون متزامنة بالضرورة، بمعنى أنها جميعاً تحصل على البيانات في نفس



الوقت تمامًا، ولكن يُشار إليها جميعًا في نفس الإطار الزمني، لذلك يمكن ربطها في أثناء عملية ما بعد المعالجة. كما تعتمد دقة المزامنة المطلوبة على أداء النظام المطلوب، وعلى السرعة القصوى المسموح بها، التي تتحرك بها مركبة المسح.

الجدول (١٥-١) أشهر أنواع أجهزة الاستشعار لأنظمة الملاحة عبر الإنترنت.

اسم جهاز الاستشعار	بيانات جهاز الاستشعار	الخصائص
تنسيق كبير، كاميرات جوية.	الهندسة (الجيو مترية) / الوصف.	دقة هندسية (جيو مترية) ممتازة.
كاميرات متعددة الأطياف.	الوصف.	تُضيف معلومات وصفية غنية للتصنيف.
كاميرات الفيديو.	تحديد المواقع / الوصف.	مجسمة أو أحادية، تستخدم في التوطين المتزامن، ورسم الخرائط، والقياس البصري للمسافات. يمكن -أيضًا- استخدام البيانات من الكاميرات لوصف السمة.
ليزر تحديد القطاع الطولي، ماسحات ليزر، ليدار.	الهندسة (الجيو مترية) / الوصف.	تقيس المسافة بين جهاز الاستشعار والكائن بعد الدمج مع معلومات تحديد الموقع، يكون المنتج النهائي؛ عبارة عن: سحابة نقطة موحدة. بعد الدمج مع الكاميرات، يمكن تصدير سحابة نقطية ملونة.
أجهزة استشعار فوق صوتية.	الهندسة (الجيو مترية) / الوصف.	تستخدم؛ إما لقياس مسافة مستشعر الجسم، أو قياسات المقطع العرضي، خاصة للاستخدامات البحرية.
النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS).	تحديد المواقع.	تحديد المواقع بدقة عالية في الوقت الحقيقي (الملاحة) أو في عملية ما بعد المعالجة.
وحدة القياس بالقصور الذاتي (IMU).	تحديد المواقع.	معلومات الموقع والتوجيه، دقة منخفضة في الموقع، دقة من منخفضة إلى عالية في التوجيه؛ اعتمادًا على درجة دقة النظام.
أداة قياس المسافة، عداد المسافات.	تحديد المواقع.	معلومات إضافية في الوقت الحقيقي حول المسافة المقطوعة.
مسبار الأعماق متعدد الشعاع.	الهندسة (الجيو مترية).	مسابير الصدى لقياس الأعماق، تجمع النقاط من أعماق البحر.
خط أساسي فائق القصر، خط أساسي قصير، خط أساسي طويل.	تحديد المواقع.	توفر أنظمة تحديد المواقع الصوتية معلومات الموقع، بدلاً من نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية للمسوحات تحت الماء.

وفي العادة يمكن تصنيف نظم رسم الخرائط المتنقلة التجارية (استنادًا إلى منصات الاستضافة الخاصة بها) إلى أجهزة محمولة، وحقيقية ظهر، وعربة، ومركبة. كما صُممت بعض المنصات للعمل في الداخل دون الاعتماد على نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، بينما يمكن للمنصات الأخرى العمل في الداخل والخارج. تفرض المنصة حدودًا من حيث المساحة، وعتبات الوزن لأجهزة استشعار جميع البيانات. قد تتطلب خصائص حركة المنصة -أيضًا- استخدام مستشعرات تحديد المواقع المحددة لوضع نموذج/توقع أفضل للمسار والتوجهات الفعلية في أثناء مهمة الاستحواذ. يعد استخدام نظام رسم الخرائط المتنقلة في البيئة المحرومة من إشارة نظام الملاحة عبر الإنترنت (في الداخل، تحت الماء، وما إلى ذلك) أمرًا بالغ الأهمية، لأن نظام تحديد المواقع الآخر يجب أن يحل محل وظيفته.

في الأجزاء الفرعية التالية تتوفر نظرة عامة على أجهزة استشعار تحديد المواقع وجمع البيانات، بالإضافة إلى مناهج اندماج أجهزة الاستشعار ذات الصلة.

١٠-١-١٥ الكاميرات والرؤية:

تنوع الكاميرات الحديثة والقدرة على تحمل تكاليفها يُعيد مناقشة تصميم مفهوم نظام رسم الخرائط المتنقلة من خلال التكرار ويُفسح الطريق أمام تطبيقات جديدة ومرنة لنظام رسم الخرائط المتنقلة. إلى جانب الخوارزميات، والمكتبات من رؤية الحاسوب، والروبوتات، يمكنها أن توفر أدوات مرنة لعملية ما بعد المعالجة؛ مما يزيد من إمكانياتها مدعومة بأدوات برمجية متاحة بسهولة.

في شكل كاميرات متعددة الأطياف؛ فإنها توفر طبقات إضافية من المعلومات، غير متوفرة من الكاميرات الضوئية. كما تُستخدم هذه المعلومات لتصنيف الميزات في تطبيقات الزراعة وعلم الغابات؛ لاكتشاف الأمراض في الأشجار/المحاصيل أو مرحلة النضج للزراعة.

يتضاعف استخدام الكاميرات في نظام رسم الخرائط المتنقلة أربع مرات:

- تجميع البيانات ثلاثية الأبعاد التي تم جمعها.
- قياسات ثلاثية الأبعاد أو إعادة بناء نقاط كثيفة ثلاثية الأبعاد وربطها ببعضها بعض.
- استشعار وتصنيف السمات.
- توفير تحديد المواقع.

١٠-١-١٥-١ كاميرات ٣٦٠ درجة وكاميرات عين السمكة:

تعتمد القياسات ثلاثية الأبعاد لنظام رسم الخرائط المتنقلة على مستشعرات الليدار، بينما تُستخدم الصور بشكل أساسي لتوفير معلومات قياس لونية/طيفية. يعتمد تقدير العمق وجمع البيانات ثلاثية الأبعاد لنظام رسم الخرائط المتنقلة -في الغالب- على مجعبي بيانات الليدار؛ نظرًا لخصائصها المنخفضة التشويش والوصف الممتاز للأشكال ثلاثية الأبعاد، خاصة في الحافات. لذلك على الرغم من استخدام الأجهزة الممتازة للملاحة أو تجنب العوائق -على سبيل المثال: في صناعة السيارات- فإنها تفتقر إلى المعلومات المرئية المهمة للتفسير البشري. وتُستخدم الكاميرات جنبًا إلى جنب مع أجهزة استشعار الليدار؛ لتلوين السحابة النقطية التي توفرها، أو نسيج الشبكة ثلاثية الأبعاد (السطح) التي أنشئت من بيانات سحابة نقطة الليدار.

أدت التطورات في تقنيات الكاميرا إلى وجود كاميرات بزوايا (٣٦٠) درجة، وهي عبارة عن حاويات أو مجموعة كاميرات معيارية تحت هيكل واحد. وتُعد هذه الكاميرات قادرة على تسجيل فيديو بمعدل عالٍ/مُفصل أو صور ثابتة. وقد يكون الناتج النهائي عبارة عن محتوى فيديو/صور ثابتة بزوايا (٣٦٠) درجة -فقط- مناسب لتطبيقات الواقع الافتراضي، مثل: جوجل ستريتس (Google streets)، ولكنه -أيضًا- مثالي لالتقاط معلومات الألوان لتطبيقات رسم الخرائط على الهاتف الجوال. ومن ثم فإن هذه الكاميرات (الشكل ١٠-١٥) تُعد حاملة نموذجية من نظام رسم الخرائط المتنقلة، ومناسبة لتلوين السحب النقطية.

كما يمكن استخدام كاميرات عين السمكة -الأرخص بكثير- بدلاً من ذلك. وهي كاميرات أحادية العدسة، تغطي مجال رؤية واسع جدًا (١٨٠ درجة أو أكثر). عادةً ما توفر مزيجًا من الاثنين، وقد توفر بانوراما كاملة بزوايا (٣٦٠) درجة، ولكن بجودة أقل بكثير من كاميرات (٣٦٠) درجة -المخصصة- والمذكورة أعلاه.



+Ladybug5

المصدر: www.flir.com



Mosaic 51

المصدر: www.mosaic51.com

الشكل (١٠-١٥) أمثلة على كاميرات (٣٦٠) درجة لرسم الخرائط المتنقلة.

١٥-١-٢-١ تجميع البيانات ثلاثية الأبعاد:

على الرغم من أن جميع البيانات ثلاثية الأبعاد -في نظام رسم الخرائط المتنقلة- يعتمد -في الغالب- على الليدار، إلا أن ظهور رؤية الحاسب والروبوت يوفر بديلاً قابلاً للتطبيق مع الكاميرات. في الواقع تعتمد العديد من التطبيقات -فقط- على كاميرات الاستريو (المجسمة) لاستعادة المعلومات ثلاثية الأبعاد، بدلاً من أجهزة استشعار الليدار الأكثر تكلفة. وتُعد هذه الكاميرات كاميرات رؤية معدات، ذات اتجاه نسبي معروف سلفاً، ومزامنة -بدقة عالية- مع مناطق متداخلة. ويمكن لهذه الكاميرات توفير عمق وحجم بدقة أفضل، بحيث تُدمج مع بيانات الليدار. ومع ذلك فإن دقة عمقها تعتمد على خصائصها الهندسية، ودقة الوضوح، وخوارزميات البرامج.

وفي التطبيقات، يُسجل عدد محدود من النقاط/السمات، أو لا يلزم سوى عدد قليل من قياسات المسافة، وتُعد الكاميرات أداة أكثر كفاءة. وقد تشمل هذه التطبيقات تسجيل البنية التحتية (أعمدة الكهرباء، وأعمدة الإنارة، وإشارات المرور، وما إلى ذلك)، والعقارات (طول الواجهة، وارتفاع المبنى، وما إلى ذلك)، وصيانة الطرق، وتطبيقات الواقع الافتراضي، وما شابه ذلك.

في حال وجوب النقاط البيئية ثلاثية الأبعاد ينبغي أن توفر خوارزميات (SfM) و (MVS) والتوطين ورسم الخرائط المتزامن (SLAM) شبكات نسبية ثلاثية الأبعاد على الرغم من تكلفة فترات ما بعد المعالجة الممتدة والتشويش الشديد.

من جانب آخر، فهي ممتازة إذا قيس عدد قليل من النقاط المحددة يدوياً باستخدام الملاحظة المجسمة بواسطة المشغلين البشريين. لا يزال بإمكانهم توفير معلومات النسيج؛ لدمج البيانات ثلاثية الأبعاد باستخدام مستشعرات الليدار.

١٥-١-٣-١ تصنيف السمات:

أثر ظهور الذكاء الاصطناعي وتبنيه على نطاق واسع في المركبات ذاتية القيادة، فقد أثر أيضاً في علم رياضيات الأرض (geomatics) أيضاً. ويسمح التكرار في البيانات للعديد من أجهزة الاستشعار الخاصة بالحصول على البيانات بإجراء بحث موسع في التصنيف المؤتمت للسمات في نظام رسم الخرائط المتنقلة (MMS). وفي الوقت ذاته تشكل البيانات الضخمة التي تجمعها هذه الأنظمة تحدياً للتفسير البشري -خاصة- من حيث الوقت. لذلك أدخلت أدوات يمكنها تصنيف البيانات، وتقليل العبء البشري، أو حتى التخلص منه.

وبصرف النظر عن شدة الليدار أو الكاميرات الملونة أو الكاميرات الحساسة للألوان أو الكاميرات متعددة الأطياف، تحصل الكاميرات متعددة الأطياف على معلومات إضافية لتحقيق هذه الغاية. وتُعد أكثر التطبيقات شيوعاً في الزراعة والغابات. وتشمل التطبيقات السابقة استشعار أمراض المحاصيل، واستشعار إجهاد المحاصيل، وتقييم مؤشر النضج في مزارع العنب، وكلها تستخدم للزراعة المحكّمة، أي: التدخلات المستهدفة. أما في قطاع الغابات؛ فيُستخدم الذكاء الاصطناعي والتصنيف للعد المؤتمت لمواقع الأشجار جنباً إلى جنب مع القياسات الأساسية (الارتفاع وعرض مظلة الأشجار)، وهي مفيدة لرصد الغابات، والفحص، واستشعار أمراض الأشجار.

وتتبعي الإشارة إلى أن أبحاث الذكاء الاصطناعي تركز على التصنيف الأساس لنقاط الليدار في الأرض/المبنى/الغطاء النباتي؛ لإعداد البيانات من جيل نموذج المدينة لمستويات التفصيل (٢) (أو المدينة الرقمية التوأمية). يُستعان بالبحث للتعرف على فتحات الواجهات (الأبواب، والنوافذ، والشرفات)، ولإعداد تصنيف البيانات تجاه نماذج المدينة لمستويات التفصيل (٣).

١٥-١-٤-١ تحديد المواقع:

يمكن أن تدعم الكاميرات المجسمة (القسم الفرعي ١٥-١-٢)، أو الكاميرات الفردية وضع الاستريو (المجسم) أو الوضع الأحادي، من خلال التوطين ورسم الخرائط المتزامن (SLAM). تم تطوير التوطين ورسم الخرائط المتزامن في مجال الروبوتات، الذي طُور في الثمانينيات، والذي مكن الروبوتات من التنقل -بشكل مستقل- عبر بيئات غير معروفة؛ باستخدام العديد من التقنيات، وأجهزة الاستشعار. وفي الوقت الراهن، تُعد المستشعرات المستخدمة في التوطين ورسم الخرائط المتزامن عبارة عن ملفات تعريف وكاميرات ليدار بشكل أساسي.

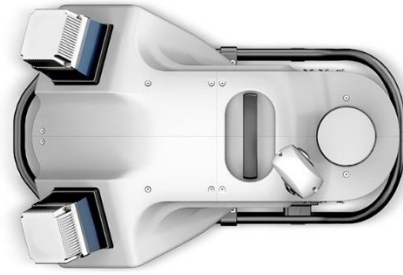
تعتمد الكاميرات -بشكل خاص- على ارتباط كل إطار بالإطار السابق، ومن ثم يُسجل كل إطار جديد بالإطار السابق، من حيث الموقع، والاتجاه (٥ أو ٦ معلومات حسب استخدام الكاميرات الأحادية أو الاستريو). عندما يُنفذ التوطين ورسم الخرائط المتزامن باستخدام الكاميرات فقط، فلن يُسجل المسار جغرافياً، ويكون تحديد المواقع نسبياً فقط. ومن ثم لا يمكنها توفير نظام مستقل لتحديد المواقع، لأن التسجيل نسبي، ويعاني المسار من الانجراف، وهو الخطأ المتراكم على كل إطار.

كما يمكن أن توفر أنظمة التوطين ورسم الخرائط المتزامنة والمستندة إلى الكاميرا معلومات زائدة عن الحاجة للاندماج مع أنظمة تحديد المواقع الأخرى، أو توفير تحديد المواقع، والتوجيه المستقل. بالنسبة للموضع الأخير من إشارة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية المسجلة عند فقدان الإشارة قريباً، في التطبيقات في الأماكن المغلقة أو شبه المائية.



Trimble MX50

[المصدر: https://geospatial.trimble.com/](https://geospatial.trimble.com/)



Leica Pegasus TRK700 neo

[المصدر: https://leica-geosystems.com/](https://leica-geosystems.com/)

الشكل (١٥-٢) أمثلة على أجهزة رسم الخرائط المتنقلة المثبتة بالسيارة.

٢-١-١٥ الليدار (LiDAR):

يُعد الليدار، أو الاستشعار وتحديد المدى بالضوء، أداة بصرية تستخدم أشعة الليزر الاتجاهية؛ لقياس المسافات من الأشياء. وهو يوفر قياساً فريدياً ودقيقاً للنقطة على كائن ثلاثي الأبعاد؛ لذا عند الجمع بين العديد من هذه القياسات معاً، يمكن استرداد خصائص الشكل والسطح للأشياء. تمت تغطية أساسيات تقنية الليدار والتطبيقات الثابتة في الباب (١٤) من هذا المجلد.

وباعتباره أداة قياس ثلاثية الأبعاد، فهو يتمتع بالعديد من الميزات المرغوبة؛ مثل: الدقة العالية، ومعدل الاستحواذ العالي، والمعلومات المسجلة ثلاثية الأبعاد الكثيفة، ويبدى ثباتاً في الإضاءة، ويمكنه اختراق الأجسام المتناثرة جزئياً، مثل: الستائر. وعند استخدامه بوصفه نظاماً فرعياً متنقلاً لرسم الخرائط، فإنه يتطلب مجموعة من أنظمة الملاحة عالية الدقة والمعايرة جيداً لاسترداد النقاط ثلاثية الأبعاد بشكل موثوق، وتركيبها وتكلفتها، بالإضافة إلى جهاز استشعار الليدار الباهظ الثمن بالفعل، يجعل منه وسيلة تجميع عالية التكلفة. نظراً لأن نظام رسم الخرائط المتنقل يتحرك؛ فلا داعي لمساحات الليدار الضوئية ذات ٣٦٠ درجة (مثل: تلك الموضحة في الباب ١٤ الخاص بالمسح الضوئي بالليزر)، ولكن هناك حاجة -فقط- لجهاز الليدار الذي يحدد القطاع الطولي (أو الدوار). تتضمن أنظمة رسم الخرائط المتنقلة الحديثة واحداً على الأقل أو أكثر من أدوات الليدار التي تحدد القطاع الطولي، باعتبارها أجهزة استشعار رئيسة للحصول على البيانات ثلاثية الأبعاد. من خلال تحريك هذه المحولات جنباً إلى جنب مع نظام رسم الخرائط المتنقلة، من الممكن تسجيل نقاط السحب الكثيفة، جنباً إلى جنب مع شدة الإشارة المنعكسة، أو حتى الإشارات المتعددة المرتدة. وأي تلوين لاحق يعتمد على معلومات الكاميرا.

وقد تحقق أجهزة الليدار -من فئة المسح والمستخدم في نظام رسم الخرائط المتنقلة- الدقة إلى مستوى المليمتر، عندما تكون مستقرة. عند التحرك على منصة متنقلة، تظل دقتها النسبية كما هي، لكن الدقة المطلقة النهائية تعتمد على دقة أجهزة استشعار تحديد المواقع.

معدل الحصول على البيانات في جهاز الليدار الذي يحدد القطاع الطولي (الشكل ٣-١٥ والشكل ٤-١٥) مرتبطة بسرعة السيارة. وفي حال كانت مرتفعة، فسيكون هناك وقت أقل للحصول على البيانات، وعليه فهناك حاجة إلى المزيد من حزم الليدار داخل القطاع الطولي؛ لضمان أن الكائن موضع الاهتمام موصوف على نحو صحيح بنقاط كافية. على سبيل المثال: قد يكون الليدار ذو (٣٢) شعاعاً كافياً لمركبة تتحرك بسرعة (٥٠ - ٦٠) كم/ساعة، ولكن يوصى باستخدام الليدار ذي (١٢٨) شعاعاً للسرعات الأعلى، تصل لحد (١٠٠ - ١١٠) كم/ساعة؛ بحيث يصبح للبيانات المكتسبة دقة كافية. كما يمكن أن تكون المعايير التشغيلية الأخرى لليدار مهمة -أيضاً- ويجب أخذها في الاعتبار اعتماداً على التطبيق (على سبيل المثال: قد يكون الليدار بعيد المدى غير ضروري للتطبيقات في الأماكن المغلقة). ويُعد الوزن واستهلاك الطاقة -أيضاً- موضع اهتمام، عندما يكون الليدار مخصصاً للاستخدام كحقيبة ظهر.



Backpack ViAmetris BMS3D-HD

المصدر: <https://viametris.com/backpack-mobile-scanners>



Hand held Zeb Horizon

المصدر: <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon>

الشكل (٣-١٥) أمثلة على نماذج صغيرة وخفيفة الوزن محمولة باليد وعلى الظهر من نظام رسم الخرائط المتنقلة.

يمكن رؤية مدى بعض معلمات تشغيل الليدار أدناه:

- دقة المدى من (٠,١) سم إلى (٨) سم.
- المدى من (١,٥) متر إلى (٨٠٠) متر.
- عدد حزم الأشعة من (١٦) إلى (١٢٨) شعاعاً.
- (٣٠٠,٠٠٠) نقطة في الثانية إلى (٣,٥٠٠,٠٠٠) نقطة في الثانية، مرتبطة بعدد حزم الأشعة.

يعد استخدام الليدار ذي الحالة الصلبة في نظام رسم الخرائط المتنقلة اتجاهًا واعدًا، نظرًا لتكلفتها الأقل من تدوير الليدار، وقد تكون هناك تطبيقات تجارية في المستقبل القريب.

٣-١-١٥ الموقع والملاحة:

على الرغم من استخدام عدد من الأنظمة المختلفة في الملاحة العامة، فإن المتطلبات الصارمة -إلى حد ما- من حيث الدقة والبيئة تجعل تكامل نظام الملاحة بالقصور الذاتي (INS) مع مستقبلات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية جوهر أي مجموعة أجهزة استشعار لنظام رسم خرائط متنقل دقيق للتطبيقات قصيرة المدى. يوفر هذا المزيج -أيضًا- تكرارًا كبيرًا، ويجعل استخدام أجهزة استشعار إضافية لأغراض الموثوقية غير ضروري عادةً. وعادةً ما يشتمل نظام رسم الخرائط المتنقلة (المثبت) على السيارة وعلى وحدة قياس المسافة، باعتبارهما معلومات إضافية عن المسافة.

تُدمج جميع المعلومات الواردة من أجهزة المستشعرات الموضع والملاحة؛ باستخدام مجموعة متنوعة من مرشح كالمان (Kalman filter)، المحسن للدرجة المثلى لخصائص الحركة للمنصة المتنقلة.

١-٣-١-١٥ النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية:

يستخدم مستقبل نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الإشارات من أبراج الأقمار الصناعية، مثل: نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GLONASS)، وغاليليو (Galileo) وبيدو (BeiDou) لحساب موضع مركز الهوائي وسرعته وارتفاعه. تمت تغطية المزيد حول أساسيات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية في الجزء الفرعي (٣-٩-٢).

والفوائد الرئيسية لنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية هي:

- البيانات التي جُمعت لها مرجع عالمي، وذات أهمية قصوى لتطبيقات رسم الخرائط المتنقلة.
- بسبب الاعتماد الخارجي للنظام؛ فهو غير متأثر أو أقل عرضة للأخطاء المتراكمة.

من جانب آخر، ثمة بعض القيود:

- الإشارة محدودة أو غير موجودة في البيئة الحضرية المعقدة، بجوار المباني المرتفعة أو الأنفاق أو تحت الماء أو البيئة المغلقة أو تحت الأشجار.
- قد يكون نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية للحركة في الوقت الحقيقي قادرًا على توفير تحديد المواقع في الوقت الحقيقي، ولكن لتحقيق إمكانات الدقة الكاملة؛ يلزم إجراء معالجة لاحقة لتقليل الأخطاء من تشويش المستقبل، والمدى الزائف، وطور الموجة الحاملة، وتحولات دوبلر، والتأخيرات الجوية، وما إلى ذلك.

تتخصص المعلومات التي يوفرها هوائي نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية على (X و Y و Z) ولا يمكن للنظام توفير بيانات دوران وتوجيه دقيقة، التي تُعد بالغة الأهمية لجهاز الليدار الذي يحدد القطاع الطولي وكاميرات ليدار، بحيث تُسجل جغرافيًا. تُكيف - أيضًا - مقاييس الدقة النظرية للمناطق المفتوحة. وعلى هذا النحو، عند جمع البيانات ثلاثية الأبعاد في مناطق حضرية كثيفة ذات شوارع ومباني ضيقة أو بيئات مغلقة. تتأثر إشارة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية - بشدة - بالانسدادات، وانعكاسات الإشارات، لذا يمكن أن تكون القياسات الناتجة غير دقيقة، حتى إذا كان من الممكن الوصول إلى حل ثابت. ومن ثم فإنه يتطلب أجهزة استشعار تكميلية عند العمل في ظل هذه الظروف. بصورة عامة، من المتوقع أن تحقق منصة تحديد المواقع لنظام رسم الخرائط المتنقلة - عالية الجودة - دقة تتراوح من (٥) إلى (٥٠) ملم، بسرعات يمكن أن تصل إلى أقصى سرعة للطرق (١٢٠ - ١٣٠) كم/ ساعة عند التفكير في تكامل أجهزة الاستشعار المتعددة. لذلك يُستخدم باعتباره نظام تحديد مواقع تكميلي، ويُستخدم جنبًا إلى جنب مع وحدات القياس بالقصور الذاتي.

١٥-١-٣ وحدة القياس بالقصور الذاتي:

وحدة القياس بالقصور الذاتي (IMU) هي جهاز استشعار مستقل، يسجل الموضع النسبي للتوجه، والتسارع الاتجاهي للمنصة. على عكس نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، فهو نظام مستقل، لا يتطلب روابط لمصادر إشارة خارجية، لذا فهو مستقل عن المعلومات/أجهزة الاستشعار الخارجية.

تتكون وحدة القياس بالقصور الذاتي من مقياس تسارع وجيروسكوب (gyroscope)، وتستخدم لاستشعار التسارع والسرعة الزاوية. وتُعالج هذه القياسات الأولية بواسطة وحدة حوسبة ذاتية؛ لتوفير تحديد للمواقع في الوقت الحقيقي. لذا فإن وحدة القياس بالقصور الذاتي ووحدة الحوسبة - جنبًا إلى جنب مع الخوارزمية ككل - تُسمى - أيضًا - نظام الملاحة بالقصور الذاتي.

وتشمل فوائده الرئيسية أنه:

- قادر على التنقل في جميع البيئات، مثل: الداخل، والخارج، وتحت الماء، والأنفاق، والكهوف، وما إلى ذلك.
- مصدر بيانات تكميلي ضروري للبيانات الحضرية، حيث أن نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية غير مستقر.

في حين أن القيود هي:

- يمكن التعامل مع الانجراف القوي من الأخطاء المتراكمة بمرور الوقت مع نظام المعايرة والتكملة؛ من أجل التصحيح إلى الوضع الصحيح في الوقت المناسب.
- يقتصر على التنقل قصير المدى.

ترتبط درجة/جودة أجهزة استشعار وحدة القياس بالقصور الذاتي بنوع الجيروسكوب المستخدم، إذ تستخدم غالبية وحدات القياس بالقصور الذاتي - خفيفة الوزن - الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة، التي تكون ميسورة التكلفة، ولكنها تعاني من ضعف الدقة، وأخطاء الانجراف الكبيرة (غالبًا من ١٠ إلى ١٠٠ درجة/ساعة). والفئات الرئيسية للجيروسكوبات؛ هي:

- الجيروسكوبات الإستراتيجية (٥٠٠,٠٠٠ - ٠,٠٠١٠ درجة/ساعة أو درجة في الشهر).
- الجيروسكوب الملاحي (٠,٠١ - ٢٠٠,٠٠٠ درجة/ساعة أو درجة في الأسبوع).
- الجيروسكوبات التكتيكية (١ - ١٠ درجة/ساعة أو درجة في الساعة).
- الجيروسكوب منخفض الدقة (١٠٠ - ١٠,٠٠٠ درجة/ساعة أو درجة في الثانية).

وعلى النحو - المذكور - آنفًا - تُحسب المعلومات الموضعية الخاصة بوحدات القياس بالقصور الذاتي من خلال نهج حساب موضع السفينة. ومثل العديد من طرق التنقل المستقلة الأخرى، فإنه يعاني من أخطاء تراكمية، مما يؤدي - غالبًا - إلى انجرافات كبيرة عن مواقعه الحقيقية. ومن ثم فإن قياساته ستكون دقيقة - فقط - لفترة قصيرة - نسبيًا - في إشارة إلى نقطة البداية. وهو قادر على تسجيل المواقع النسبية فيما يتعلق بنقطة البداية، التي يمكن - عادةً - توفيرها ديناميكيًا بواسطة نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية في الحقول المفتوحة. ويوفر هذا - باعتباره نهجًا قياسيًا - معلوماتٍ موضعية - أكثر دقة - في بيئات معقدة ومختلطة مع محيط مفتوح ومغلق.



Survey+ v3

[المصدر: https://www.oxts.com/](https://www.oxts.com/)



PwrPak7D-E2

[المصدر: https://novatel.com/products](https://novatel.com/products)



Phins Surface

[المصدر: فينس-سيرفس - إكسبلو](#)



POS Track

[المصدر: https://www.applanix.com](https://www.applanix.com)

الشكل (١٥-٤) أمثلة على وحدات القياس بالقصور الذاتي عالية الدرجة لرسم الخرائط المتحركة.

١٥-٣-٣ أداة قياس المسافة:

تُشير أداة قياس المسافة -عمومًا- إلى الأدوات التي تقيس المسافة المقطوعة للمنصة. وفي كثير من الحالات، يُشار إلى أداة قياس المسافة بدلاً من ذلك- على أنها عداد المسافات، أو مستشعر العجلات لنظام رسم الخرائط المتنقلة استنادًا إلى السيارات أو الدراجات. وهي تحسب المسافة بناءً على عدد الدورات التي تدور فيها العجلة. نظرًا لأن أداة قياس المسافة تقيس المسافة فقط، فهي -غالبًا- ما تُستخدم باعتبارها معلومات تكميلية لنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية/وحدات القياس بالقصور الذاتي باعتبارها وسيلة فعالة لتقليل الأخطاء المترجمة وتقييد الانجراف من وحدات القياس بالقصور الذاتي في البيئات المحرومة من نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية، مثل: الأنفاق. كما أنها تتطلب المعايرة قبل الاستخدام، وقياس المسافة والسرعة والتسارع.

١٥-٢ الإجراءات:

الاستحواذ على البيانات عملية صورة مباشرة، ويعتمد -إلى حد كبير- على المعدات. التدخل البشري مطلوب فقط لتوجيه/مناورة المركبة، إذا لم تكن ذاتية القيادة، ومراقبة جمع البيانات. عادة ما يكن نظام رسم الخرائط المتنقلة مصحوبًا ببرنامج التحسين للامتثال للمسار؛ لضمان التغطية الكاملة والفعالة لمجال الاهتمام.

وتعد معايرة الأنظمة والمزامنة من العوامل الحاسمة في عملية الحصول على البيانات، إلى جانب أقصى سرعة استحواذ؛ من أجل تجنب التغطية المحدودة للبيانات. مطلوب معرفة دقيقة بالموقع النسبي (أذرع المستوى) بين جميع الأنظمة الفرعية؛ من أجل الاندماج الناجح لجميع البيانات. غالبًا ما تُعاير أجهزة الاستشعار وتُدمج طوال دورة جمع البيانات. والهدف من ذلك هو معايرة المواضع النسبية

بين أجهزة الاستشعار المتعددة، بما في ذلك ما بين الكاميرات، وبين الكاميرا والليدار، أو بين أجهزة استشعار الليدار والكاميرا والملاحة.

ومن أجل تحديد موقع نظام رسم الخرائط المتنقلة، يقوم نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي وأداة قياس المسافة بقياس موضع وحركة المنصة بشكل مستمر. في معظم التطبيقات الخارجية تُوفر بيانات الملاحة، وتُحدد المواقع الرئيسية بواسطة القمر الصناعي لنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية إلى المستقبل، والقياسات التكميلية لوحدة القياس بالقصور الذاتي، وأداة قياس المسافة عندما تكون إشارات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية غير كافية أو مفقودة. وفي بعض الحالات المحددة، التي يتعذر فيها الوصول إلى نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية تمامًا، مثل: رسم خرائط الكهوف، أو رسم الخرائط شبه المائية؛ يجب استبدال نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ببعض الأنظمة المكافئة (الباب ١٦).

ويتم الحصول على البيانات -أيضًا- في وقت واحد، من خلال أجهزة استشعار الليدار المدمجة، أو أجهزة الاستشعار المرئية أو الصوتية؛ لإنتاج غيوم نقطية دقيقة، ثلاثية الأبعاد، وملونة، بواسطة الصور من الكاميرا المرتبطة.

١٥-٢-١ معايير المعدات:

اعتمادًا على التخصيص ومتطلبات الشركة المصنعة؛ يمكن إعداد نظام رسم الخرائط المتنقلة بعدة طرق. ومع ذلك يجب معايير المكونات الرئيسية -بغض النظر عن تكوين نظام رسم الخرائط المتنقلة- وفقًا لتعليمات الشركة المصنعة. علاوة على ذلك يجب اتباع الإرشادات العامة؛ على النحو الموضح في الجزء (٤-٢).

١٥-٢-٢ العناية بالمعدات:

من السهل التعامل مع نظام رسم الخرائط المتنقلة غير المثبتة ونقلها؛ حيث يُعامل معها -معظم الأوقات- بواسطة شخص واحد، يمكنه التنقل بسهولة في جميع أنحاء المنطقة محل الاهتمام. من ناحية أخرى؛ فإن نظام رسم الخرائط المتنقلة (المحمولة) أثقل، ويصعب تثبيتها، على عكس غير المثبتة؛ التي تكون أخف وزنًا بشكل كبير، وتوفر المزيد من الحركة. كما تختلف أجهزة رسم الخرائط المتنقلة من إعدادات التثبيت الخاصة بها إلى الآليات والتقنيات المعتمدة، لذا فمن الصعب ومن غير الحكمة ذكر التعليمات التفصيلية حول هذه الأنظمة ومعداتنا. ومع ذلك -بغض النظر عن نوع أجهزة رسم الخرائط المتنقلة المستخدمة- ثمة بعض فحوصات السلامة العامة، والاستعدادات التي يجب أخذها في الاعتبار:

- يجب إكمال فحص السلامة قبل وبعد كل مهمة.
- يجب تجنب الصدمات الميكانيكية المفاجئة، إذ قد تؤدي الصدمة إلى إتلاف الجهاز بشكل دائم.
- يجب إزالة جميع الأجزاء المكسورة أو التالفة واستبدالها في أسرع وقت ممكن.
- يجب إجراء فحص يضمن أن جميع البراغي مثبتة جيدًا (يُشير بشكل أساسي إلى أنها أجهزة لرسم الخرائط المتنقلة، الثقيلة والمثبتة).
- تُفحص جميع توصيلات الكابلات، حيث يجب أن تكون متصلة جيدًا وخالية من التلف.
- تظل الأسطح البصرية (مثل: مرآة المسح وما إلى ذلك) لأجهزة رسم الخرائط المتنقلة نظيفة. يجب تجنب فرك الغبار أو الحطام من الأسطح البصرية؛ لأن هذا سيؤدي إلى خدش الزجاج، وقد يتلف الجهاز، بدلاً من ذلك يُنصح باستخدام منفضة الغاز المضغوط. قبل التنظيف يجب إيقاف تشغيل جهاز رسم الخرائط المتنقلة، وكذلك إزالة البطارية من الجهاز. يجب تنظيف أو تجفيف أي اتساخ أو رطوبة قبل تشغيل جهاز رسم الخرائط المتنقلة.
- قد يؤدي بدء مهمة -قبل حل أي مشكلة حدثت سلفًا مع النظام- إلى إلحاق ضرر دائم بالنظام.
- يجب تثبيت كل عمليات التركيب والتثبيت لأرفف السقف الممكنة وفقًا لتعليمات الشركة المصنعة.
- هذا النوع من المعدات ليس سهل الاستخدام، ويجب أن يكون المشغل مدربًا، وذو خبرة، ويهتم بتلبية جميع المتطلبات والشهادات.
- تعبئة المعدات -بشكل صحيح- في حقائبها المخصصة للنقل يضمن سلامة المعدات في أثناء النقل والتخزين.

١٥-٢-٣ الحصول على البيانات:

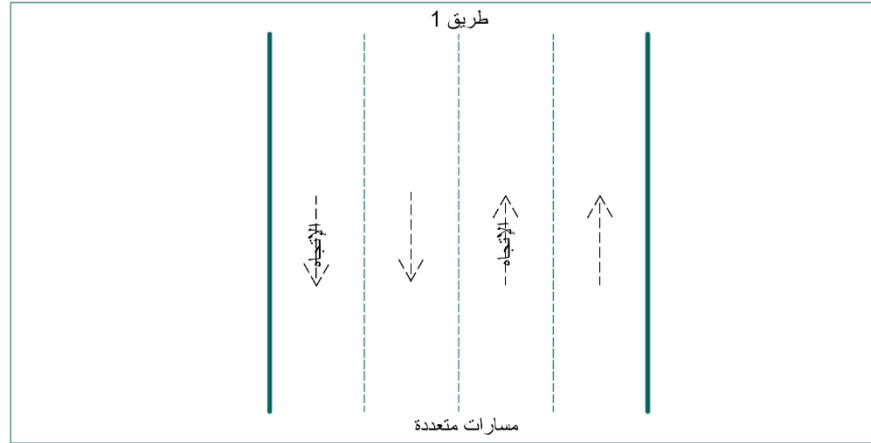
١٥-٢-٣-١ متطلبات التمرير المتعدد:

عند تنفيذ رسم الخرائط المتنقلة من المهم تكرار المسح؛ لأنه ضروري لإنتاج نتائج إحصائية موثوقة. يتطلب الاستحواذ الناجح لسحب النقاط الكاملة المرور على رصف الطريق ثلاث مرات على الأقل. يُنصح -أيضًا- بعدد مرات مرور متعددة على مدى فترة زمنية؛ لتقليل الأخطاء التي يسببها تحول نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية بسبب تأثير تعدد المسارات والتظليل. بغض النظر عن نوع أو عدد المساحات الضوئية المستخدمة؛ يجب ممارسة ثلاثة مرات مرور مستقلة -على الأقل- ما لم تتطلب ظروف معينة خلاف ذلك. يُفحص كل مسار ثلاث مرات -على الأقل- في حال كان مسح أحد المسارات لا يتداخل -تمامًا- مع مسح المسار المجاور. عند مواجهة مسارات متعددة؛ يُنصح بمراعاة الأنسب للمسح الضوئي (TMR, 2021).

٢-٣-٢-١٥ متطلبات المرور على الطرق:

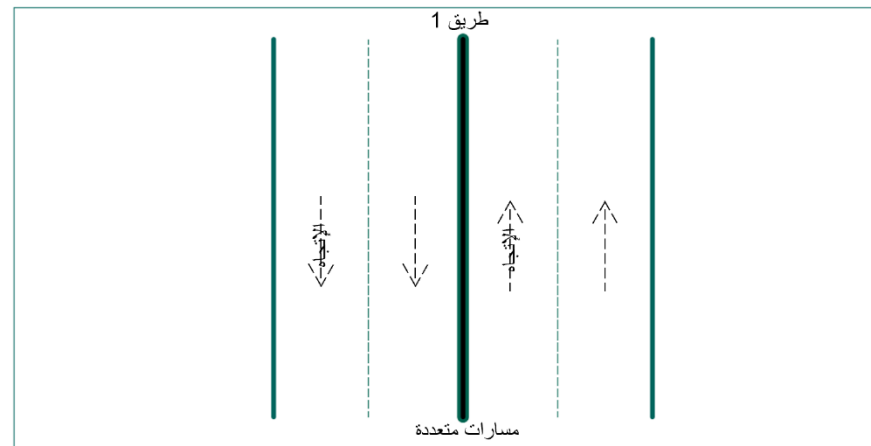
يتطلب رسم الخرائط المتنقلة عددًا كبيرًا من البيانات والمعلومات من أجل أن يكون دقيقًا. وينبغي أن يُستوفى هذا المبدأ بغض النظر عن نوع وتركيبية الطرق والمسارات. قد تكون هذه الأنواع والتركيبات على طول ممارساتها المفضلة (TMR, 2021):

- طريق واحد بمسارات متعددة (الشكل ١٥-٥): ينبغي المرور مرة واحدة في كل اتجاه من اتجاهات السير لتوفير ما يكفي من التغطية، والكثافة، والتكرار في البيانات التي جُمعت، وهناك حاجة إلى المرور لمرة ثالثة في أي من الاتجاهين.



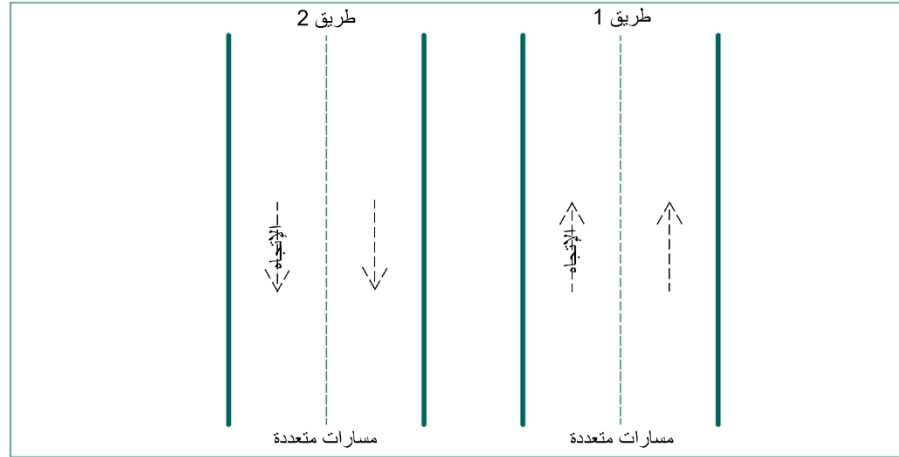
الشكل (١٥-٥) طريق واحد بمسارات متعددة.

- طريق واحد ومسارات مُقسمة (الشكل ١٥-٦): يجب تطبيق ثلاث عمليات مسح -كحد أدنى- لكل اتجاه في حال عدم وجود تداخل كافٍ بين المسوحات في الاتجاه المعاكس بسبب الحاجز. (TMR, 2021).



الشكل (١٥-٦) طريق واحد مُقسم بمسارات متعددة.

- طريق مزدوج بمسارات متعددة (الشكل ١٥-٧): على الطرق المزدوجة ذات المسارات المتعددة، حيث لا تتداخل المسوحات الضوئية من كل جادة طريق بشكل كامل، يجب أن يُسمح كل طريق ثلاث مرات على الأقل (TMR, 2021).



الشكل (١٥-٧) طريق مزدوج بمسارات متعددة.

١٥-٢-٣-٣-٣: بيانات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الضعيفة:

عندما تعيق إشارات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الضعيفة إتمام المهمة، ينبغي أن تُطبق إستراتيجيات أخرى. يمكن تنفيذ تقنيات وحدات القياس بالقصور الذاتي، وأدوات قياس المسافة طالما أن دقتها تفي بالحد الأدنى من الدقة المطلوبة للمشروع.

١٥-٢-٣-٤: تداخل البيانات:

تُعد الخطوات والفجوات في السحابة النقطية المعينة -سواء كانت أفقية أو رأسية- غير مقبولة. قد تحدث هذه الظواهر في عمليات المرور (المسح) المستقلة على تقاطعات الطرق، أو حيث يتم إيقاف المسوحات و تبدأ على الطريق. لضمان توفير سحابة نقطية متسقة وشاملة في هذه المواقع، يجب استخدام نقاط التحكم. عندما يجب مطابقة المشروع الحالي مع مشروع نظام رسم خرائط متنقلة قديم، فإن مقترح المشروع سينضمّن جميع المعلومات والبيانات ذات الصلة -واللازمة لضمان مطابقة سلسلة لمجموعتي البيانات.

١٥-٢-٣-٥: عوامل نظام رسم الخرائط المتنقلة:

بشكل عام، تتأثر جودة سحابة النقاط المقدمة بالبيئة، والتلويّن، والظلال، والكثافة، ونمط السحابة النقطية. تزداد صعوبة إنشاء مواصفات تغطي كل مكون من مكونات كل نظام، نظرًا لوجود العديد من بائعي ومصنعي أجهزة نظام رسم الخرائط المتنقلة المختلفين، بينما يمكن -أيضًا- تطبيق تهينة الأجهزة المخصصة. الهدف هو توفير تفاصيل كافية حول إعداد أدوات نظام رسم الخرائط المتنقلة بنجاح قدر الإمكان. ومن أجل تحقيق الدقة المطلوبة في التعرف على الميزات، يجب أن تكون سحابة النقاط المقدمة ذات جودة كافية. و تتوفر -أدناه- معلومات حول العوامل البيئية، والتلويّن، والكثافة، والدقة، والمدى (TMR, 2021).

- العوامل البيئية: تتفاعل الأجهزة المختلفة على نحو مختلف مع العوامل البيئية المختلفة. على سبيل المثال: تؤثر الأسطح الرطبة في قدرة نظام الليزر على استقبال نبضة عائدة. ستختلف جودة السحابة النقطية التي أُلْتقطت وفقًا للطقس، بما يشمله من مطر، ومياه راكدة، وحتى الندى الكثيف. ينبغي أن تؤخذ جميع الحالات في عين الاعتبار، من أجل تطبيق أفضل تقنية ممكنة.
- تلويّن السحابة النقطية: تُستخدم طريقتان رئيسيتان، تقوم الطريقة الأولى بتلويّن سحابة النقاط بقيم (الأحمر، والأخضر، والأزرق) التي عُينت إلى نقاط فردية داخل السحابة النقطية من الصور. وتستخدم الطريقة الثانية قيمة مشتقة من قوة الإشارة الراجعة إلى ماسح الليزر. ويوفر هذا اللون الرمادي المشتق من الكثافة.
- الكثافة ودقة المسح الضوئي: في حين أن بعض الأنظمة يمكنها التقاط أكثر من مليون نقطة في الثانية، فإن بعضها الآخر يمكنه فقط القيام بجزء صغير من ذلك. يعتمد اختيار دقة السحابة النقطية المناسبة على الدقة المطلوبة للمشروع. وثمة عامل آخر يجب مراعاته، وهو سرعة المركبة التي تؤثر بشكل كبير في كثافة النقطة النهائية ودقة السحابة النقطية.
- المدى: تختلف المساحات الضوئية وأجهزة الاستشعار في الدقة ومدى الالتقاط، ويصل مداها حتى ٢٠٠ متر، وذلك في المعدات الأكثر تقدمًا. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤثر جودة أنظمة وحدة القياس بالقصور الذاتي وأداة قياس المسافة ونظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية في مدى البعد عن الماسح الضوئي، الذي تتوافق فيه سحابة نقطية مع الحد الأدنى من دقة المشروع المطلوبة. غالبًا ما يكون جزء السحابة النقطية، الذي يلبي متطلبات دقة المشروع، أقرب بكثير من المدى الأقصى، الذي يمكن لنظام رسم الخرائط المتنقلة التقاطه.

١٥-٢-٣-٦ النقاط الصور:

عندما يدعم نظام رسم الخرائط المتنقلة تقنية النقاط الصور المرجعية الجغرافية، فينبغي أن تُستخدم. وعند النقاط الصور، ثمة بعض المتطلبات المهمة التي يجب الوفاء بها (TMR, 2021):

- يجب أن تصف الصور المنطقة مساحة المشروع كلها.
- يجب أن تُلتقط الصورة في وقت واحد مع النقاط السحابية النقطية.
- ينبغي أن أن تغطي الصور مساحة المشروع بالكامل.
- تُعاني الصور الملتقطة في الصباح الباكر وفي وقت متأخر بعد الظهر من التعرض الزائد أو الناقص، والتي من المحتمل أن تتسبب في بعض المشكلات. عادةً ما تكون الفترة المُثلَى من اليوم للنقاط الصور بين الساعة (٨) صباحاً و (٤) م

١٥-٣ معالجة البيانات:

يتألف نهج رسم الخرائط باستخدام نظام رسم الخرائط المتنقلة من الخطوات التالية:

- ١- المعايير.
- ٢- التزامن.
- ٣- الحصول على البيانات.
- ٤- نمذجة الحركة.
- ٥- الإسناد الجغرافي.
- ٦- التكامل ودمج البيانات.
- ٧- مراقبة الجودة.
- ٨- الأتمتة والتحسين للأتمتة الخاص بتدفق البيانات.

بالإضافة إلى معايير جهاز استشعار الوقت الحقيقي في أثناء الحصول على البيانات، يجب دمج مخرجات جهاز الاستشعار كخطوة معالجة لاحقة؛ لتحقيق قياسات موضعية أكثر دقة. ويخدم ذلك أغراضاً متعددة: توطيئاً أكثر دقة، وإعادة بناء هندسية (جيومترية) أكثر دقة، ومحاذاة البيانات من أجل الاندماج. ويُنفَّذ بواسطة برنامج حاسوبي، ويتضمن نمذجة الحركة للأمام وللخلف، واستشعار الحلقات المغلقة والتحقق منها؛ لضمان محاذاة سلسلة للبيانات ثلاثية الأبعاد.

يتضمن تكامل نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي وأداة قياس المسافة للتوطين الدقيق دمج جميع معلومات المستشعر؛ لإخراج المواقع المقدرة من خلال التقديرات الإحصائية/العشوائية المثلَى. وتعد الخوارزمية النموذجية المستخدمة لهذا الغرض هي مرشح كالمان (Kalman filter)، الذي يستخدم قياسات مستمرة -مع مرور الوقت- مع عدم يقينها، بالإضافة إلى نموذج عشوائي لكل جهاز استشعار، والخصائص الديناميكية للمركبة؛ لتقدير المتغيرات غير المعروفة في مخطط تكراري. يُعد مرشح كالمان (Kalman) هو أبسط مقدر ديناميكي يفترض النماذج الخطية والتشويش العشوائي بتوزيع غاوسي (Gaussian) الإحصائي للملاحظات. وعلى هذا النحو -غالبًا- ما يُعاد تبنيه من خلال مرشح كالمان (Kalman) الموسع للنماذج غير الخطية.

تتمثل الخطوة الأخيرة في عملية ما بعد المعالجة في استخدام المسار المقدر للإشارة، إلى عمليات مسح الليدار بالصور، وجميع البيانات ذات الصلة في نظام إحداثيات محلي. ويشير الإسناد الجغرافي إلى تحديد إحداثياتها الجيوديسية، التي تعتمد -في الغالب- على بيانات تحديد المواقع عبر نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي وأداة قياس المسافة المدمجة. يشمل الإسناد الجغرافي على تقدير -إن لم يكن معروفاً من المعايير المسبقة- لإزاحتي اتجاه محور هوائي الرادار البصري (خط التسديد) والموقع (ذراع المستوى)؛ فيما يتعلق بنظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي. تحدد معالم خط التسديد وذراع المستوى العلاقة الهندسية بين مستشعرات تحديد المواقع وجمع البيانات. يوجد نهجان لإجراء الإسناد الجغرافي: (١) النهج المباشر، الذي يستخدم بيانات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي فقط، و (٢) النهج غير المباشر، الذي يستخدم بيانات نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية ووحدة القياس بالقصور الذاتي، بالإضافة إلى نقاط التحكم الأرضية، وتعديل الحزمة للتنقيح. وتُعد النهج المباشرة أقل تطلباً؛ نظراً لأنها لا تتطلب نقاط تحكم أرضية، ويمكنها تحقيق الدقة في مستويات الديسيمتر إلى السنتيمتر. ويمكن أن توفر النهج غير المباشرة نتائج أكثر دقة (على مستوى السنتيمتر)، حيث تُعتمد طرق المسح النموذجية مثل: نقاط التحكم الأرضية وتعديل الحزمة. ومع ذلك فهي باهظة الثمن وقد تختلف دقتها بناءً على إعدادات نقاط التحكم الأرضية (أي: موضع وعدد نقاط التحكم الأرضية).

١٥-٣-١ تنقية السحابية النقطية:

يُعد المبدأ الأساس لخدمة نظام رسم الخرائط المتنقلة، والحصول على أكبر قدر ممكن من المعلومات حول مساحة محددة محل الاهتمام. وتصور المساحات الضوئية وأجهزة الاستشعار الأخرى البيئة القائمة في الوقت المحدد لعملية الالتقاط. وغالباً ما تكون المعلومات التي تُلتقط في السحابية النقطية غير صالحة وغير دقيقة. ويجب اتخاذ إجراءات لإزالة هذه المعلومات من مجموعات البيانات النهائية، وإلا فقد تتأثر عملية المحاذاة بين مجموعات مختلفة من السحب النقطية. عادةً ما تشير المعلومات الزائدة عن الحاجة

وغير الصالحة للنقاط في السحابة النقطية إلى حركة مرور المركبات على الطرق في وقت عملية الالتقاط، وغيرها من الأجسام الصغيرة أو الكبيرة المتحركة بسبب ظروف جوية غير مواتية، مثل: تحرك أوراق الأشجار بسبب الطقس العاصف، وما إلى ذلك. يلزم توخي الحذر لمنع حذف أي خصائص صالحة من البيانات التي تبدو غير صحيحة. يُنصح بدلاً من حذف البيانات بنقلها إلى ملفات أخرى أو تسميتها بطريقة تجعل من الممكن تمييزها عن البيانات النظيفة (TMR, 2021).

٢-٣-١٥ تفكيك السحابة النقطية:

تُستخدم تقنية فك السحابة النقطية لمطابقة الكثافة المطلوبة. يجب تطبيق عملية التفكيك من أجل تقليل الكثافة التي أنشئت إلى نسب أكثر قبولاً عندما يتم الجمع بين العديد من السحب النقطية. ويجب -عادة- أن تكون كثافة السحابة النقطية المتصلة أعلى من كثافة السحابة ذات النقطة الواحدة عند استخدام تقنية التفكيك، ولكن يجب توخي الحذر؛ لضمان بقاء النقاط الأساسية في المنتج النهائي الذي سُلِّم (TMR, 2021).

١٥-٤ الدقة والإحكام:

تختلف الدقة المتوقعة لنظام رسم الخرائط المتنقلة -المصممة للتطبيقات الأرضية- باختلاف المنصة التي رُكبت عليها، حيث تعكس منصة التركيب -أيضاً- التطبيق الذي صُمِّمت من أجله، مثل: الأماكن المغلقة، في الهواء الطلق، نموذج معلومات البناء، نمذجة المدينة، إدارة المرافق، وما إلى ذلك.

يمكن العثور على دقة وإحكام هذه الأنظمة في الجدول (٢-١٥).

الجدول (٢-١٥) خصائص الإرشادية لنظام رسم الخرائط الأرضية المتنقلة.

النوع	الكاميرا	أقصى مدى	وحدة القياس بالقصور الذاتي /نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية	الدقة
المثبت على سيارة.	٣٦٠ درجة، أو ما شابه.	٨٠ — ٦٥٠ م	$\sqrt{}/\sqrt{}$	$\pm 2 - \pm 5$ سم
المحمول باليد.	اختياري.	١٠٠ م	x/x	$\pm 2 - \pm 8$ سم
قابل للارتداء	٣٦٠ درجة، أو ما شابه.	١٠٠ م	$\sqrt{}/$ اختياري	$\pm 1 - \pm 5$ سم
عربة	٣٦٠ درجة، أو ما شابه.	١٠٠ م	$\sqrt{}/$ اختياري	$\pm 0.15 - \pm 1.5$ سم

١٥-٥ التسليم:

وُصِفَت نتائج نظام رسم الخرائط المتنقلة البحرية في الجزء (١٦-٨)، وُصِفَت نتائج عمليات مسح الليدار الجوية في الجزء الفرعي (١٥-٤). تُعد تسليمات نظام رسم الخرائط المتنقلة الأرضية مماثلة لتلك الموضحة في الجزء (١٤-٥) من هذا المجلد.

نظرًا لكمية البيانات المتحصل عليها في هذه الاستطلاعات -فضلاً عن تعقيد هياكل البيانات- عادةً ما يقدم البائعون حلولاً شاملة للمعالجة اللاحقة، والتنقل عبر البيانات والتصور الموسع.

وبصرف النظر عن تسجيل المعلومات، يعد رسم الخرائط المتنقلة الأرضية وثيق الصلة بفهم المشهد وتصنيف الكائنات. لذلك يعد توفير معلومات المشهد الحرجة، إما في الوقت الحقيقي أو بعد المعالجة اللاحقة أمرًا بالغ الأهمية. ويُعد تحديد دلالات الأشياء وهندستها جزءًا أساسيًا من العملية. وفي الوقت الحاضر، تدعم التحسينات في نماذج التسليم، ومجموعات البيانات المتزايدة باستمرار اتجاهًا متزايدًا نحو أداء معالجة البيانات المحمولة وفهم المشهد؛ باستخدام القياسات المجمعة من النظام المتنقل. يتضمن ذلك الاستشعار في



الوقت الحقيقي، والتتبع، والتجزئة الدلالية لكل من الأجسام الديناميكية (مثل: المشاة)، والثابتة (مثل: علامات الطريق الأرضية أو اللافتات) في مشهد، التي يمكن أن تكون جزءاً من التسليم النهائي.

نظراً لأن كلاً من نظام رسم الخرائط المتنقلة وخدمات الخرائط المتنقلة باهظة الثمن، يمكن تفصيل التسليمات النهائية حسب صاحب العمل والتطبيق المحدد.

١٦- عمليات مسح الأعماق البحرية:

مسوحات الأعماق البحرية (Bathymetric surveys) هي مجموع كل تقنيات الاستحواذ على البيانات، وطرق المعالجة لإنشاء خريطة ثلاثية الأبعاد (أو على نحو مكافئ نموذج تضاريس رقمي، الباب ١٧) للمناطق التي تغطيها المياه؛ سواء كان ذلك بحرًا أو نهراً أو بحيرة. وتقيس المسوحات -هذه- عمود الماء فوق عدد كبير من النقاط، وأخيراً تعيد إنشاء سطح قاع البحر والأشياء الملقاة عليه؛ بما يشمل المنشآت والبنى التحتية من صنع الإنسان.

ومن الناحية التقليدية، فالناتج الأساس لمسوحات الأعماق البحرية هو مخططات الأعماق البحرية. تنتج مخططات قياس الأعماق المطبوعة خطوطاً محيطية لإظهار العمق من السطح المرجعي، وعادة ما يعني مستوى مانع التسرب. وتعرف هذه الخطوط الكنتورية باسم التساوي العُمقي. في العصر الرقمي، المخرج الأساس هو ملفات نظم المعلومات الجغرافية، التي يمكن من خلالها إنتاج العديد من المرئيات البصرية، أو استخدامها مباشرة باعتبارها مدخلات في نظم المعلومات الجغرافية وبرامج المعالجة الأخرى لتصميم الطرق.

كما أن التقنيات المستخدمة لقياس ارتفاع عمود الماء بدقة هي إما سبر صدى السفينة (السونار) أو الليدار الجوي. تستخدم المسوحات المائية سفناً سطحية أو مغمورة، باعتبارها منصات مزودة بأجهزة سونار مغمورة، لذا تنتقل الإشارة الصوتية في وسط واحد فقط. تُجرى المسوحات الجوية باستخدام أجهزة استشعار الليدار المتنقلة جواً، حيث تنتقل إشارة الليزر في وسطين، وعليه فإن التعامل مع انكسار الماء في مرحلة ما بعد المعالجة أمر ضروري. ويعد كلا التطبيقين -في جوهرهما- تطبيقين لرسم الخرائط المتنقلة، تتم مناقشة أساسياتهما وتقنيتهما الداعمين بالتفصيل في الباب (١٥) من هذا المجلد.

وفقاً للجدول (٤-٣)، يمكن استخدام عمليات مسح الأعماق البحرية في التصميم الابتدائي (١-٢٠,٠٠٠ - ١:٥,٠٠٠) والتصميم التفصيلي (١:١,٠٠٠)، عندما يكون وجود جسر فوق جسم مائي ضرورياً. بالنظر إلى أن عمليات مسح الأعماق البحرية قد توفر معلومات العمق -فقط-، فإن الجدول (٢-٢) يتطلب أن يكون متوسط الدقة الرأسية المتوقعة لمسوحات (١:١,٠٠٠) هو جنر تربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) قدره (٠,١٠) مترًا للمنسوب الموضعي أو (٠,١٣) مترًا للكنتور، بينما بالنسبة لمسوحات (١:٢,٠٠٠) تكون المتطلبات (٠,٣٣) مترًا و (٠,٢٥) مترًا، على التوالي. لسوء الحظ لا يمكن الوفاء إلا بالآخر -جزئياً- بالتقنية والمعدات الحالية.

١-١٦ مسبر بالصدى:

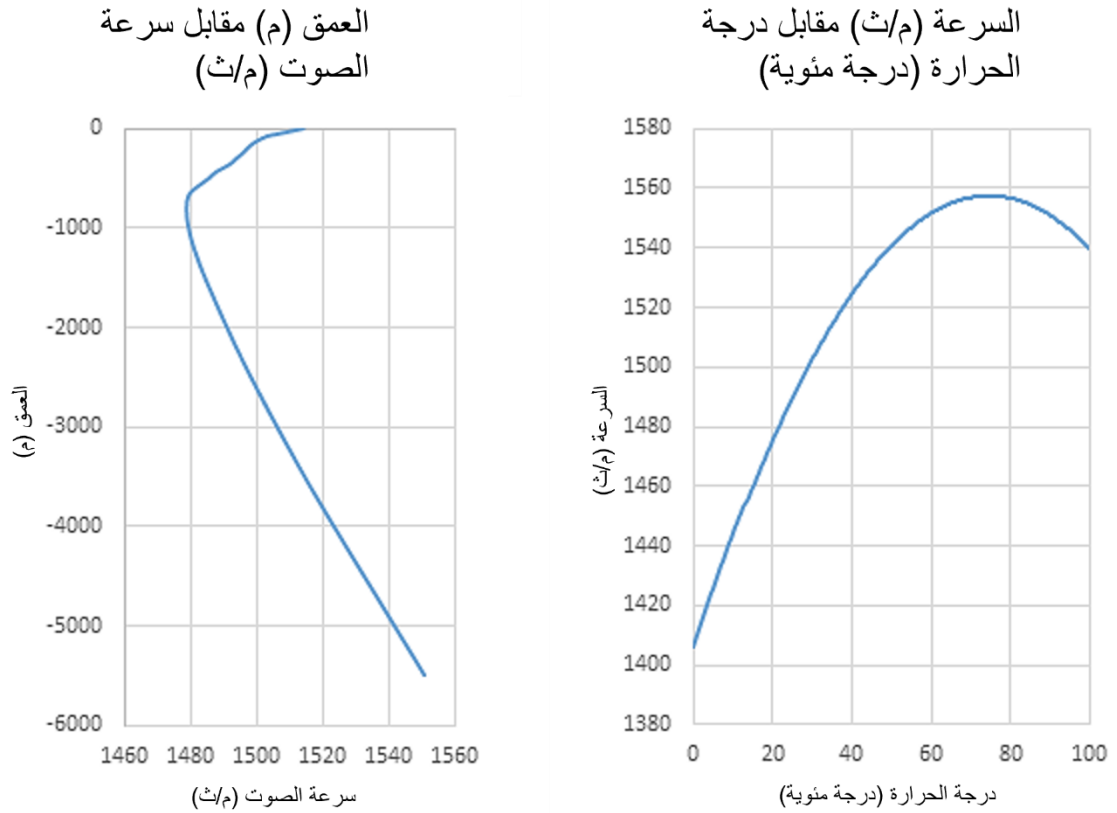
يُعد مسبار الصدى نظاماً يحدد عمق الماء بناءً على الصوت المنعكس على قاع البحر. ويتكون النظام من جهاز إرسال صوتي وجهاز استقبال يلتقط الصدى المنعكس والتوقيت الإلكتروني ومعدات التكبير إلى جانب شاشة للتحكم التشغيلي والتحقق من التغطية. يمكن ربط مسبارات الصدى ببدن السفينة، أو سحبها من سفينة سطحية أو على ظهر سفينة (الشكل ١٦-٤). ويرسل مسبار الصدى نبضة صوتية إلى الماء، حيث تنتقل الطاقة الصوتية عبر الماء إلى قاع البحر ثم تنعكس مرة أخرى نحو المستقبل حيث يتم توقيتها وتسجيلها. ويُعد المبدأ مشابهاً للمبدأ المستخدم في الليدار (الباب ١٤ المسح بالليزر)، ولكن استبدل الليزر بالصوت نظراً لخصائص الانتشار الأفضل في الماء (الشكل ١٦-٤).

كما يستفيد السبر بالصدى من حقيقة أن الماء وسيلة ممتازة لانتشار الصوت. وعلى هذا النحو، ففي الماء سترتد نبضة صوتية من طبقة عاكسة وتعود إلى مصدرها على هيئة صدى. ويمكن استخدام الوقت بين إرسال الصوت واستقبال صدى ارتداده من قاع البحر لتحديد العمق.

ولاستخدام سرعة الصوت لقياس عمق الماء، نحتاج معرفة السرعة التي ينتقل بها الصوت في وسط الماء بالضبط. وتعتمد سرعة الصوت على درجة حرارة الماء والملوحة والضغط على طول عمود الماء. وفي حال تمت مراقبة هذه العوامل البيئية بواسطة أجهزة استشعار، عندها يمكن تعديل سرعة الصوت لتقدير دقيق للعمق. وتتراوح سرعة الصوت في الماء بين (١,٤٠٠) م/ث و (١,٥٧٠) م/ث، أو أربع مرات أسرع من سرعة الهواء (المعادلة ١-١٦). ومن الأهمية بمكان التنبؤ بسرعة الصوت بدقة، لأن تقدير العمق يعتمد عليه بصورة مباشرة. ونظراً لاختلافات السرعة واعتمادها على العوامل البيئية، فإن استخدام المستشعرات لتسجيل هذه العوامل البيئية يُعد أمراً إلزامياً.

$$\text{المعادلة (١-١٦)} \quad \text{سرعة الصوت} \left[\frac{\text{م}}{\text{ث}} \right] \times \text{زمن الرحلة الدائرية (ث)} = \text{عمق الماء (م)}$$

في المعادلة (١-١٦)، يُقسّم وقت الرحلة ذهاباً وإياباً (الرحلة الدائرية) على ٢ لحساب الرحلة ذات الاتجاهين إلى قاع البحر والعودة.



الشكل (١٦-١) عينة من تغييرات سرعة الصوت في درجات الحرارة والأعماق المختلفة.

تُعد سرعة الصوت أمراً بالغ الأهمية لهذه العمليات، لذا يجب تعويضها بشكل مناسب. واستخدام أجهزة الاستشعار البيئية لدرجة الحرارة، والملوحة، والضغط -وهي العوامل الرئيسية التي تؤثر في المعادلات التجريبية (Kinsler, et al., 1982)- هو الطريقة الأكثر شيوعاً.

$$C(Z, T, S) = 1449.05 + T(4.57 - T(0.0521 - 0.00023T)) + (1.333 - T(0.0126 - 0.00009T))(S - 35) + D(Z)$$

المعادلة (١٦-٢)

حيث إن:

T = درجة الحرارة بالدرجات المئوية.

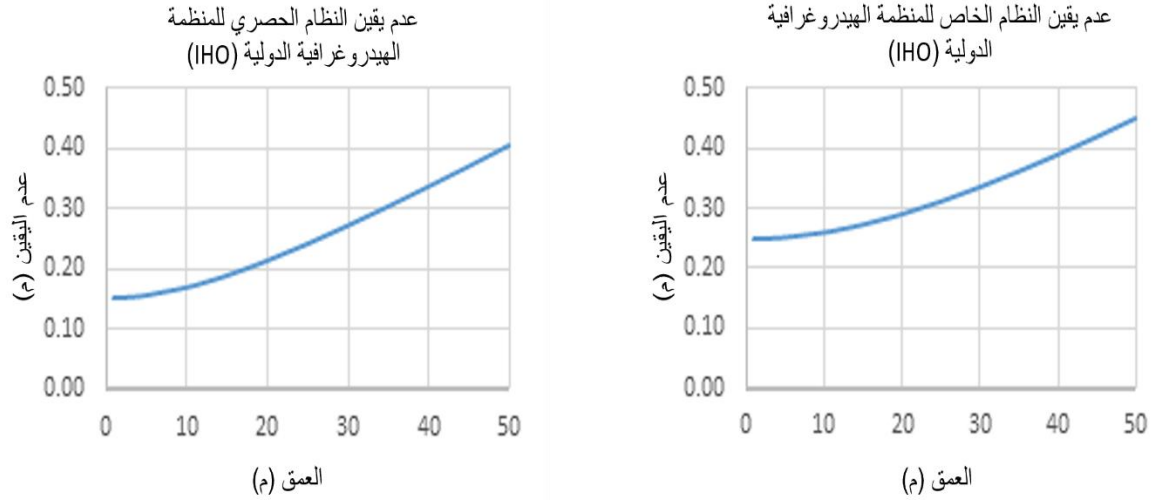
S = الملوحة بأجزاء الألف.

Z = العمق بالكيلومتر.

$$D(Z) \sim 16.3Z + 0.18Z^2$$

ونظراً لأن أعماق أساسات الجسور لن تتعدى ١٠٠ متر، فإن أهم العوامل التي يجب مراعاتها هي درجة الحرارة والملوحة. يمكن إجراء تصحيح سرعة الصوت في رأس محول الطاقة (القراءات أو الملوحة ودرجة الحرارة فقط -على الرأس)، أو في تكامل القطاع الطولي لسرعة الصوت في الوقت الحقيقي. على الرغم من أن السيناريو الأخير يعد السيناريو الأمثل، نظراً للعمق الصغير لأساسات الجسر، يمكن -أيضاً- استخدام تصحيح رأس محول الطاقة.

لم تُناقش أوجه عدم اليقين -المتعلقة بهذه الأنظمة- بالتفصيل، ولا في الوحدات من قبل البائعين. وتشير بعض الأوراق الفنية إلى أن المنتج يمكن أن يفي بمعايير الطلبات الخاصة للمنظمة الهيدروغرافية الدولية (الشكل ١٦-٢). تم تعريف معايير دقة الطلب الخاصة بالهيدروغرافيا/قياس الأعماق على النحو الذي وضعته المنظمة الهيدروغرافية الدولية في موناكو، ونشرت في المنشور الخاص رقم ٤٤ (S-44) (IHO, 2022) -في عام ٢٠٢٠- على أنها (٠,٢٥) مترًا، بالإضافة إلى دالة العمق في المعادلة (٤-١٦). ونظرًا لأن دقة مسح مسبار الصدى (الشكل ١٦-٢) هي (٠,٢٥) (مترًا) أو أسوأ، فقد نقي فقط بمقياس (الجدول ٢-٢) (١:٢,٠٠٠) للخطوط الكنتورية، أو مقياس (١:٥,٠٠٠) لكل من الكونتور والمنسوب الموضعي، لذا فهي مناسبة فقط للتصميم الابتدائي. حتى لو استوفيت معايير الأمر الحصري؛ فلا يزال من غير الممكن تلبية الدقة الرأسية لخريطة مقياس الرسم (١:١,٠٠٠).



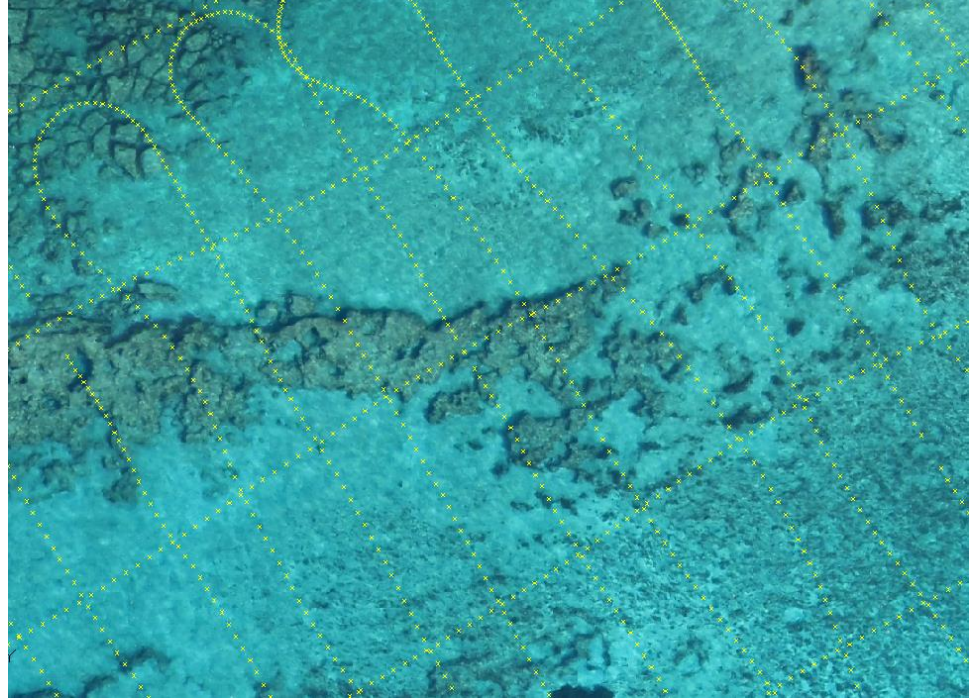
يمكن تقسيم مسبار الصدى إلى فئتين، مسبارات صدى أحادية الشعاع ومسبارات صدى متعددة الشعاع شاملة (Wölfl, et al., 2019). تستخدم أجهزة سونار المسح الجانبي -أيضًا- تقنية تعتمد على صدى الصوت، ولكن لا يمكن استخدامها لاشتقاق معلومات عمق موثوقة. قد توفر فقط المعلومات المرئية المتعلقة بتضاريس القاع، وفي بعض الأحيان تُدمج مع أنظمة مسبارات الصدى أحادية الشعاع أو مسبارات الصدى متعددة الشعاع؛ لفهم قاع البحر، والمنشآت، أو الأجسام الموجودة عليه بشكل أفضل.

١-١-١٦ مسبارات الصدى أحادية الشعاع:

تُستخدم مسبارات الصدى أحادية الشعاع بصورة أساسية من قبل المساحين الهيدروغرافيين لقياس عمق المياه مباشرة تحت مسبار الصدى، وقياس نقطة واحدة لكل أزيز. عادة ما يحتوي هذا النوع من مسبار الصدى على الباعث والمستقبل (محولات الطاقة) في علبة واحدة. ينتقل الصوت في شعاع صوت واحد، ويسجل عمقًا واحدًا نتيجة لكل قياس. تنتظر معظم الأنظمة عودة النبض قبل إرسال النبضة التالية. عادةً ما تُسجل (٢٠ - ٣٠) نقطة في الثانية في المياه الضحلة، أما في المياه العميقة فتعتمد سرعة التسجيل على الوقت الذي يحتاجه الصوت للانتقال إلى القاع والعودة.

وتُعد زاوية فتح الحزمة مهمة؛ لأن العمق المرتجع سيكون متوسط مساحة قاعدة المخروط. وتختلف زوايا الشعاع نفسها بين بضع درجات إلى بضع عشرات من الدرجات. تعني زاوية الشعاع الصغيرة أن جزءًا صغيرًا فقط من الجزء السفلي هو المسجل الذي يدعم دقة أفقية أفضل لمصدر الصدى. كلما زاد تردد الصوت، كانت زاوية الشعاع ذات الأحجام المتشابهة للمحول أصغر. كما يشير الحجم الأصغر عند نفس التردد إلى زاوية شعاع أكبر.

الميزة الرئيسية لنظام مسبارات الصدى أحادية الشعاع هي بنيته القوية، وصغر حجمه، وتكلفته المنخفضة. عيبه هو أنه يقيس فقط الأعماق الفردية على طول الخط الذي تبحر به السفينة، لذا يجب تسجيل العديد من الخطوط المتوازية الكثيفة لتغطية منطقة ما. عادةً ما يكون للمناطق التي تغطيها مسبارات الصدى أحادية الشعاع كثافة متفاوتة من النقاط، في نمط شبكي غير منتظم (الشكل ١٦-٣). من الصعب -أيضًا- مسح المياه الضحلة، حيث يجب أن تكون السفينة فوق النقاط التي تم مسحها مباشرة، وهذا ليس هو الحال مع مسبارات الصدى متعددة الشعاع (انظر أدناه).



الشكل (١٦-٣) عينات من الحصول على نقاط مسبارات الصدى أحادية الشعاع.

باختصار، يمكن استخدامها في مسوحات قياس الأعماق، بشرط أن تسمح كثافة النقاط والتغطية المحددة بمثل هذا النهج. خصائص مسبارات الصدى أحادية الشعاع:

- رخيص (نسبيًا).
- من الأفضل استخدامه للمقاطع الموجودة في قاع البحر.
- جيد لمسوحات المرافئ والموانئ، أو المسوحات الساحلية التي تغطي مساحة محدودة.
- مثالي للقوارب الصغيرة والظروف القاسية.
- عمق بمدى من ١ سم إلى ٦,٠٠٠ مترًا.
- خيار المسح الجانبي في بعض الأحوال.



PHANTOM H-3000 هندسة المحيطات العميقة.

المصدر: www.deepocean.com



Stonex Nemo110، سفينة سطحية غير مأهولة.

المصدر: www.stonex.it

الشكل (١٦-٤) أمثلة سفينة سطحية غير مأهولة من (STONEX) وهندسة المحيطات العميقة، التي يمكن استخدامها لمسبارات الصدى أحادية ومتعددة الشعاع أو حتى لمستشعرات الليدار.

١٦-١-٢ مسبارات الصدى متعددة الشعاع:

توفر مسبارات الصدى متعددة الشعاع للمساحين الهيدروغرافيين القدرة على اكتشاف وتسجيل أعماق قاع البحر على طول رقعة تحت سفينة المسح. للحصول على هذه الأعماق، يرسل محول الطاقة نبضة صوتية تنعكس من الأسفل وتُلقَى بواسطة مجموعة من المحولات. يحتوي النظام على جهاز إرسال واحد، وعدد (عادةً ٢٥٦) من أجهزة الاستقبال، التي تعمل بترددات متوسطة أو عادية. تُشكّل الحزم المتقاربة عند الاستقبال. تتراوح زاوية الرقعة بين (١٢٠) درجة و (١٧٠) درجة، حسب البائع. تعتمد الرقعة السفلية على زاوية المسطحات وعمق المياه، وعادة ما تكون من (٣) إلى (٢٥) مرة من عمق المياه، اعتمادًا على ما إذا كان النظام محسنًا للدرجة المثلى للمياه الضحلة أو العميقة.

وتكون معظم مسبارات الصدى متعددة الشعاع عبارة عن مسبارات "مياه ضحلة" ذات مدى يتراوح بين بضعة عشرات من الأمتار إلى بضعة مئات من الأمتار. كما تحتوي مسبارات الصدى متعددة الشعاع الحالية على زوايا شعاع تتراوح بين (٠,٥) درجة و (٥) درجات، وهو ما يتوافق مع المنطقة السفلية التي تعكس الصدى. اعتمادًا على التنفيذ، تُقاس الأعماق بما يسمى الوضع متساوي الزوايا أو متساوي البعد. وبالمثل بالنسبة لمسبارات الصدى أحادية الشعاع، يعتمد معدل اختبار الاتصال بصورة أساس على عمق المياه الذي يصل إلى (٦٠) نبضة/ثانية في المياه الضحلة.

تُثبت مسبارات الصدى متعددة الشعاع -بشكل عام- على بدن السفينة أو تُثبت على عمود في السفينة. يمكن تشغيل معظم مسبارات الصدى متعددة الشعاع في وضع مسبارات الصدى أحادية الشعاع. في حال الحاجة إلى مزيد من المعلومات، فيمكن تحديد بيانات عمود الماء كخيار. ويتيح ذلك للمستخدم إضفاء الطابع الرقمي على الإشارة بأكملها على عمود الماء، وبالتالي السماح باكتشاف الأجسام الموجودة فيه. وتُعد البيانات المرتدة خيارًا آخر لمسبارات الصدى متعددة الشعاع. في هذه الحال لا يُقاس العمق -فقط- ولكن -أيضًا- قوة الإشارة المستقبلية. ستعطي الأشياء المختلفة كميات مختلفة من الانعكاس، مما يسمح بالتمييز بين أنواع المواد المختلفة في الأسفل.

يمكن تثبيت مسبارات الصدى متعددة الشعاع (الشكل ١٦-٥) على عمود، أو بدن السفينة، أو في سفن سطحية غير مأهولة. يمكن تثبيت مسبارات الصدى متعددة الشعاع تحت سطح البحر على مركبات تعمل تحت الماء عن بعد، أو مركبات مستقلة تحت الماء، على الرغم من استخدام هذه الأساليب تحت الماء في المياه العميقة.

الميزة الرئيسية لمسبارات الصدى متعددة الشعاع هي قدرتها على تغطية المنطقة محل الاهتمام بالكامل، بدلاً من الحصول على ارتفاعات قليلة، والاستيفاء بينهما (الشكل ١٦-٣). وتمتلك مسبارات الصدى متعددة الشعاع الخصائص التالية:



B44 Norbit Winghead

المصدر: norbit.com



EM 2040P MKII محول طاقة منظر أمامي وخلفي

المصدر: www.kongsberg.com



T20-P SeaBat

المصدر: www.teledynemarine.com

الشكل (١٦-٥) أمثلة على مسبارات الصدى متعددة الشعاع من Teledyne Marine و Kongsberg Maritime و NORBIT.

- مدمجة وخفيفة الوزن (حوالي ٧ من ١٠ كجم)، وغلاف من حديد غير قابل للصدأ، ونافاذة صوتية من اليورثين.
- جيدة لعمليات مسوحات المرور والمسوحات الهيدروغرافية العامة.
- تغطية مفصلة للمنطقة محل الاهتمام.
- يختلف تردد التشغيل من (٠,٥) كيلو هرتز إلى (٧٠٠) كيلو هرتز.
- أعماق قابلة للكشف من (٠,٥) متر إلى (١١,٠٠٠) متر.
- تتراوح زاوية المسطرة بين (١٢٠) درجة و (١٧٠) درجة.
- عرض الشعاع الفعال من (٠,٥) درجة إلى (٥,٠) درجة.

١٦-٢ مسوحات الليدار الجوية:

يمكن استخدام المسوحات الجوية باستخدام الليدار لقياس الأعماق في المناطق الساحلية، وأعماق تصل إلى (٥٠) مترًا، اعتمادًا على رؤية المياه وتعكرها. ونظرًا لأن الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء (على سبيل المثال: ١٠٦٤ نانومتر) يمتص في الماء، تستخدم أجهزة الليدار لقياس الأعماق كلاً من الليزر تحت الأحمر والأخضر (على سبيل المثال: ٥١٥ نانومتر أو ٥٣٢ نانومتر). ويُستخدم كلا الطولين الموجيين معًا؛ الطول الموجي السابق لتقدير مستوى سطح الماء، والآخر لتقدير العمق. ويُجرى تعويض انكسار الماء في أثناء ما بعد المعالجة. ونظرًا لأن الانعكاس الأول (رجوع الليدار) يتوافق مع سطح الماء والآخر لقاع البحر، فمن الممكن حساب عمق الماء وانحراف زاوية انكسار الماء المقابل.

يعتمد اختراق العمق على رؤية المياه، ويتراوح من (٤) أمتار إلى (٥٠) مترًا. وتعتمد كثافة النقاط على ارتفاع الطيران وخصائص معدات الليدار، لكنها تعادل مسوحات الليدار الأرضية. وتُعد دقة نقاط قاع البحر أسوأ من نظيرتها في اليابسة. أجهزة استشعار الليدار لمسوحات الطائرات المأهولة هي معدات متكاملة مكونة من الليدار نفسه ونظام دقيق لتحديد المواقع وعادة مُستشعر تصوير. يمكن للبرنامج الذي يوفره البائع معالجة البيانات الأولية من جهاز الليدار. وتشمل مرحلة ما بعد المعالجة:

- محاذاة خطوط الطيران المتجاورة.
- معالجة كاملة لواجهة الموجة.
- تصحيح انكسار المياه (ليس ضروريًا في المسوحات الأرضية باستخدام نظام الليدار الجوي).
- تلوين السحابة النقطية في حال كانت هناك كاميرا على متنها.

يوفر البائعون معلومات دقيقة لنظامهم ككل، وفي جميع الحالات يستوفون معايير دقة النظام الخاص بالهيدروغرافيا/قياس الأعماق على النحو الذي وضعته المنظمة الهيدروغرافية الدولية في موناكو، ونشرتها في المنشور الخاص رقم ٤٤ (S-44) (IHO, 2022) في ٢٠٢٠. ونظرًا لأن دقة الليدار المحمول جواً (الشكل ١٦-٢) هي (٠,٢٥) مترًا أو أسوأ، فربما يمكنها فقط تحقيق (الجدول ٢-٢) المقياس (١:٢٠,٠٠٠) للخطوط الكنتورية أو المقياس (١:٥٠,٠٠٠) لكل من الكنتور والمنسوب الموضعي، وعلى غرار طرق سبر الصدى (انظر: الجزء ١٦-١). باختصار فهي دقيقة، مثل مسبارات الصدى متعددة الشعاع، وتفي بأمر المنظمة الهيدروغرافية الدولية الخاص، ولكن لها قيود من حيث العمق، وقد لا تكون فعالة في المناطق الصغيرة، مثل: مسح ممر جسر فوق بحيرة أو نهر.

من ناحية أخرى، فمسوحات الليدار الجوية ممتازة للمسوحات الساحلية الممتدة، حيث يمكنها تسجيل قاع اليابسة والبحر بسلاسة، وتقليل المناطق الميتة في منطقة كسر الموجة، والتقاط كليهما في نفس الرحلة وفي نفس الوقت، باستخدام نفس نظام الاستحواذ بدلاً من ليدار سبر الأرض وسبر الصدى من أجل العمق. ومع ذلك فإن حدود اختراق عمق الليدار قد تُستبعد من بعض التطبيقات.

١٦-٣ توقعات الدقة للأعماق البحرية:

يمكن لكل من التقنيات والإجراءات المقابلة الخاصة بمسبارات الصدى والليدار أن تفي -فقط- بدقة الأمر الخاص من المنظمة الهيدروغرافية الدولية، التي تكافئ -تقريبًا- ولكن ليس بدرجة صارمة الدقة الرأسية للخرائط بمقياس (١:٢٠,٠٠٠).

ونظرًا لأن توقعات الدقة الرأسية للخرائط بمقياس (١:١٠,٠٠٠) لا يمكن تحقيقها بأي منهما، يجب أن يكون التصميم التفصيلي كافيًا ببيانات من أي منهما. في هذه المرحلة تجدر الإشارة إلى أنه نظرًا لأن مسبارات الصدى أحادية الشعاع لا يمكنها توفير تغطية كاملة ومفصلة للمنطقة محل الاهتمام، فيجب أن تُستخدم مسبارات الصدى متعددة الشعاع والليدار، مع تغطية نقطية كثيفة، لاستخراج خطوط الكنتور والمناسيب الموضعية لقياس الأعماق.

وبالنظر إلى أن مسوحات الليدار الجوية لقياس الأعماق تتوافق مع منهجيات وإجراءات الليدارات الجوية العامة (على النحو المذكور في الجزء ١٣-٢)؛ فيركز الجزء المتبقي من هذا الجزء على مسبار الصدى لقياس الأعماق (Jayaweera, et al., 2018).

١٦-٤ المعدات:

تتكون معدات السبر بالصدى لمسبارات الصدى أحادية الشعاع أو مسبارات الصدى متعددة الشعاع مما يلي:

- مُرسل.
- مُستقبل.
- مؤشر تذبذب.
- معدات توقيت وتضخيم إلكترونية.
- مؤشر أو مسجل رسم بياني.
- سفينة/قارب/مركبة مقطورة.

عند التحضير لمسح قياس الأعماق، يجب على المرء التأكد من أن المعدات المستخدمة قادرة على الحصول على البيانات التي تفي بمتطلبات المسح. لذلك يجب إدراج تحقيق أولي لإجمالي عدم اليقين المنتشر لجميع المعدات والطرق والتصحيحات المستخدمة لإكمال المسح. كما يجب -أيضاً- مراعاة التأثير الزمني والمكاني للوسط -الذي تتم فيه القياسات- في حساب عدم اليقين الأولي هذا. من خلال هذا الحساب المسبق في سيناريو محدد، يمكن تحديد ما إذا كان إعداد الأجهزة كافياً لمتطلبات المسح. وفي حال تعذر حساب أوجه عدم اليقين قبل المسح، تُتبع منهجية بديلة لوصف أوجه عدم اليقين المحققة للتحقق من تلبية المتطلبات.

بالإضافة إلى ذلك يجب أن تكون المعدات المستخدمة خالية من الأخطاء (المنهجية)، التي يجب تحديدها من خلال المعايير العادية والاعتماد على النحو المعلن في الجزء (٤-٢) من هذا المجلد. استخدام المعدات المُعايرة هو الخطوة الأولى نحو عملية مراقبة الجودة. كما ينبغي أن يُفحص النظام بالكامل في الظروف الحقيقية (في الموقع) قبل المسح، وكذلك في كل مرة يكون هناك شك حول أدائها. ويُوصى بالحفاظ على حزمة بيانات المعدات الرئيسية، وإدراج المعلومات ذات الصلة في التقرير النهائي المصاحب لكل مسح، أو أيًا منهما (IHO, 202).

١٦-٥ الإجراء:

تتبنى المنظمات والشركات التي تجري مسوحات قياس الأعماق إجراءات موحدة لجميع مراحل العملية، من جمع البيانات إلى المعالجة والتحقق؛ لضمان جودة الخدمة وتقليل مخاطر الخطأ. ويجب معايرة معداتهم على أساس سنوي. باستخدام التوحيد القياسي في جميع الإجراءات، من الممكن إدراج الفحوصات، والاختبارات المنتظمة بحيث يمكن اكتشاف الأخطاء التي تحدث في المراحل المبكرة، ومعالجتها بشكل صحيح. ويُعد هذا مهماً بشكل خاص للأخطاء التي لا يمكن اكتشافها أو تصحيحها بعد ذلك.

وقد تتضمن الإجراءات مخططات التدفق، التي يمكن استخدامها للتدقيق الخارجي، وتوحيد مواصفات المنتجات النهائية. وتُعد فحوصات ضمان الجودة في جميع خطواتها العملية، من الإعداد والحصول على البيانات والطرائق ومعالجة البيانات اللاحقة والإنتاج النهائي، جزءاً لا يتجزأ من الإجراءات.

١٦-٥-١ قياس العمق والمرجع الجيوديسي:

يتمتع مسبار الأعماق متعدد الشعاع -كأداة مسح هيدروغرافي- بمزايا كبيرة عن مسبار الأعماق أحادي الشعاع؛ وتظهر في قدرته على اكتشاف الأجسام الصغيرة، وتحقيق تغطية قاعية متسقة بنسبة (١٠٠) ٪ بطريقة فعالة؛ فهو يتطلب معدات مساعدة رئيسية؛ مثل: مستشعر الحركة والعنوان المناسب (وفقاً لتطبيقات رسم الخرائط المتنقلة، الباب ١٥)، التي يجب دمجها بشكل صحيح للتشغيل الصحيح. ويجب إجراء هذا التعديل في أي إعادة تركيب للمعدات في سفينة جديدة. القدرة على تقدير القطاع الطولي لسرعة الصوت من خلال عمود الماء ضروري لتصحيح انكسار الشعاع. ويتطلب مسبار الأعماق متعدد الشعاع مع مصفوفات المحولات المسطحة -أيضاً- قياساً فورياً دقيقاً لسرعة الصوت عند المحول؛ لتمكين حدوث توجيه حزمة الأشعة الصحيح.

يجب أن يكون المستخدمون على دراية بالأداء المتوقع للنظام، وأن يستخدموا منهجية استحواذ قوية لإثبات ذلك قبل قبول النظام على أنه يعمل جيداً. مطلوب معايرة دقيقة لنظام مسبار الأعماق متعدد الشعاع على فترات منتظمة بعد ذلك. يجب استخدام سطح مرجعي، مثل منطقة قاع البحر، حيث يمكن مقارنة القياسات القابلة للتكرار للتحقق من تكرار النظام (Ora, et al., 2020). خلال بداية ونهاية المسح. يتأصل في التفاصيل والتغطية المتزايدة التي حققت مع مسبار الأعماق متعدد الشعاع القدرة على رؤية الأخطاء المرتبطة بوضوح ذراع الرافعة، وإزاحة المستشعرات، والتأخيرات الزمنية، وسرعة الصوت، والحركة المفرطة للسفينة. غالباً ما يُبالغ في تقدير القدرة على حساب متوسط مثل هذه الأخطاء أو تخفيفها في المعالجة اللاحقة وتكون مُضللة. وينبغي تجنب المعالجة اللاحقة في هذا السياق ما لم يُوصف حجم التغيير من السجل الأولي إلى السجل المُخفف بوضوح. يجب ذكر هذه الأخطاء وإدراجها في التقرير النهائي لحساب قيمة الدقة الإجمالية المصاحبة للبيانات (IHO, 2022).

يجب تحديد الارتباط بالمرجع الرأسي (α)؛ كما قد يختلف المستوى المرجعي للمسح عن المستوى المرجعي الجيوديسي في بعض الحالات، أي: إذا ما كان ينبغي أن تكون الأعماق مرتبطة بأقل مد في المنطقة التي مُسحت لضمان وجود خلوص كافٍ تحت اللوح المركزي أسفل السفينة في قنوات الشحن.

يجب -أيضا- تطبيق معلومات المد والجزر في الوقت الحقيقي، إذا كانت فترة التجميع طويلة، أو كان تأثير المد والجزر كبيراً. تُستخدم بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية -عادةً- للتحقق من صحة هذه التأثيرات وتصحيحها.

١٦-٥-٢ معدات نظام تحديد المواقع:

يجب تصحيح الأعماق التي قيست بواسطة مسبار الأعماق أحادي الشعاع أو مسبار الأعماق متعدد الشعاع لتحركات السفن، والإشارة إليها جغرافياً. يستخدم النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على نطاق واسع لإصلاح موضع السفينة في أثناء مسوحات أعماق البحار/الهيدروغرافية. يجب إثبات مصدر التصحيحات التفاضلية بالمقارنة مع نقطة مراقبة مسح معروفة أو نظام شبكة. يجب تكوين مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لإخراج المواضع في المرجع الإسنادي المطلوب (WGS-84).

في أنظمة مسبار الأعماق متعدد الشعاع، يجب -أيضاً- تحديد زمن انتقال نظام الموقع وتطبيقه في برنامج الحصول على المسح. إذا كان ذلك ممكناً، يجب إجراء فحص ديناميكي مقابل هدف سفلي مميز اشتق موقع معروف من أجله، حيث يعمل هذا على الكشف عن أي أخطاء في زمن انتقال السفينة/القارب، ولا يمكن اكتشافها بطريقة أخرى أو من خلال فحص ثابت. يجب أن تكون الأهداف السفلية موجودة في المياه الضحلة (أي أقل من ١٠ أمتار)؛ للتأكد من أن بصمة مسبار الصدى والدقة اللاحقة للهدف قابلة للمقارنة مع نظام تحديد المواقع المستخدم.

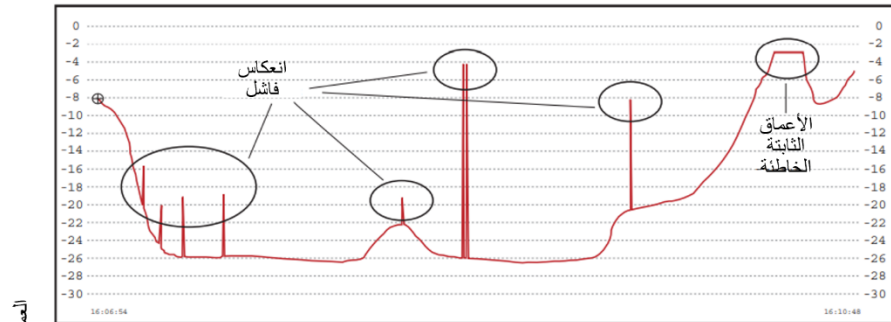
١٦-٦ معالجة البيانات:

يوصى بإجراء معالجة البيانات باستخدام حزمة معالجة هيدروغرافية مخصصة تحافظ على سلامة البيانات. توفر الحزم الحديثة مرونة كاملة تقريباً وإمكانية معالجة البيانات أو تخفيفها بشكل مفرط. يجب على المساحين الرجوع إلى تعليمات الشركات المصنعة، المصاحبة لحزم معالجة المسح، ووضع منهجية مناسبة ونهج تشغيلي موحد فيما يتعلق بالمعدات، والبرامج المستخدمة.

يجب أن تتضمن المعالجة اللاحقة لبيانات المسح الهيدروغرافي/مسح الأعماق الإسناد الجغرافي وإزالة الأخطاء الجسيمة والضوضاء، لإنتاج مجموعة بيانات جرى تنظيفها (الشكل ١٦-٦)، لمزيد من المعالجة أو لتوليد المنتجات المطلوبة (مثل: صحائف السبر) لتحليلها لاحقاً. في حالة مسبار الأعماق متعدد الشعاع، من الضروري -أيضاً- ضمان أعماق سلسلة عبر خطوط المسح وخطوط الفحص المتقاطعة المحتملة.

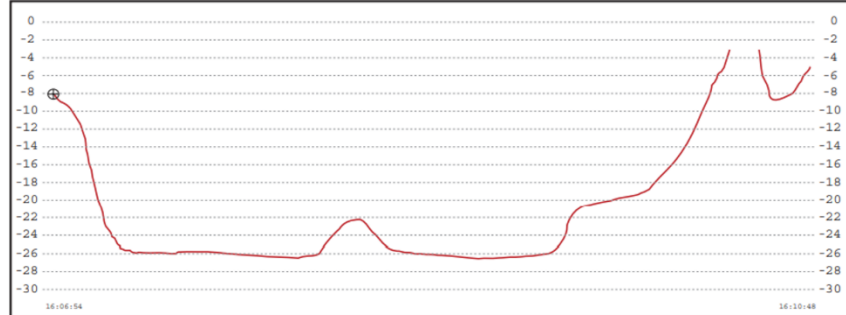
حيثما أمكن؛ ينبغي استخدام الرموز الهيدروغرافية البحرية القياسية في صحائف المسح. على وجه الخصوص، يجب اتباع الاتفاقية القياسية لعرض الأعماق كمتر وديسيمتر؛ حيث يظهر الديسيمتر في شكل رمز سفلي (subscript) (على سبيل المثال: ٥٦ بدلاً من ٥,٦ (Ora, et al., 2020)).

البيانات المقطعية الخام



المعق (بالقدم)

البيانات المقطعية المعالجة



الشكل (١٦-٦) البيانات المقطعية الخام والمعالجة (Wilson & Richards, 2006).

ينبغي إجراء المسوحات المتعلقة بقياس الأعماق بواسطة أفراد يتمتعون بالمؤهلات و/ أو الشهادات المناسبة (FIG, 2010).

١٦-٧ الدقة والإحكام:

لتحقيق الجودة المطلوبة (الدقة والإحكام)، هناك ثلاث مجالات مهمة تؤثر فيها، هي المواد، والإجراءات، والموظفون. كل منها ضروري لإجراء مسح مراقبة الجودة. لا تتعلق مراقبة الجودة -فقط- بالأرقام والحسابات، بل هي عبارة عن مجموعة من جميع العوامل التي تؤثر في المسح.

تعتمد الدقة الأفقية والرأسيّة النهائية لمسح الأعماق على عدة عوامل:

- نوع وجودة نظام قياس العمق (الصدى).
- دقة الأعماق المقاسة (الصدى).
- معايرة النظام والمحاذاة (مركبة تحت الماء ذاتية القيادة).
- دقة المرجع الرأسي والأفقي (منسوب المياه الديناميكي).
- أخطاء سحب السفينة، استقرار المنصة، سرعة السفينة (مركبة تحت الماء ذاتية القيادة).
- نظام تحديد موقع السفينة (مركبة تحت الماء ذاتية القيادة).
- استراتيجية الجمع المعتمدة (مركبة تحت الماء ذاتية القيادة، منسوب المياه الديناميكي).
- الطقس والظروف البيئية (الصدى).

دُمجت جميعًا ضمن المعادلة (٣-١٦)، في أعماق تصل إلى (٢,٠٠٠) متر، يتحلل خطأ (٢σ) (مستوى ثقة ٩٥ ٪) إلى (٨-٧) أمتار (Zwolak, et al., 2020).

$$\sigma_d^2 = \sigma_{dAUV}^2 + \sigma_{d echos}^2 + \sigma_{dWL}^2 \quad \text{المعادلة (٣-١٦)}$$

١٦-٧-١ معدات نظام تحديد المواقع:

وُضعت مواصفات الدقة الهيدروغرافية/قياس الأعماق من قبل المنظمة الهيدروغرافية الدولية في موناكو، ونُشرت في المنشور الخاص رقم ٤٤ (S-44) (IHO, 2022)، في عام ٢٠٢٠. ولاستيعاب متطلبات الدقة المختلفة للمناطق التي ستمسح بطريقة منهجية، تصف المنظمة الهيدروغرافية الدولية خمسة أوامر للمسح. وتشمل هذه، وتدرجًا من أوامر متساهلة إلى صارمة:

- الأمر (٢).
- الأمر (1b).
- الأمر (1a).
- الأمر الخاص.
- الأمر الحصري.

مسوحات "الأمر (٢)" مخصصة للمناطق التي يكون فيها عمق المياه معتبراً للتصوير العام للقاع مناسباً. تُجرى مثل هذه المسوحات في مناطق على عمق يصل لأكثر من (٢٠٠) متراً. مطلوب ما لا يقل عن (٥ ٪) تغطية قياس الأعماق موزعة بالتساوي لمنطقة المسح.

"الأمر (1b)" مخصص للمناطق التي من المتوقع أن تعبر فيها أنواع من السفن السطحية المنطقة، بحيث يُعد التصوير العام للقاع مناسباً. كحد أدنى مطلوب تغطية قياس أعماق موزعة بالتساوي بنسبة (٥ ٪) لمنطقة المسح. يوصى بترتيب المسح هذا -فقط- في حال عدم وجود مشكلة في إزالة اللوح المركزي أسفل السفينة.

"الأمر (1a)" مخصص للمناطق التي قد تصبح فيها السمات الموجودة في الجزء السفلي مصدر قلق لنوع حركة المرور السطحية المتوقع أن تعبر المنطقة، ولكن حيث يُعد الخلو تحت اللوح المركزي أسفل السفينة غير بالغ الأهمية. مطلوب بحث عن السمات بنسبة (١٠٠ ٪) لاكتشاف السمات ذات الحجم المحدد. يصبح الخلو تحت اللوح المركزي أسفل السفينة أقل أهمية مع زيادة العمق، وعليه يزداد حجم السمة المراد اكتشافها مع زيادة العمق، مثل: المناطق التي يزيد عمقها عن (٤٠) متراً. ومن الأمثلة على المسوحات في المياه الساحلية، والموانئ، ومناطق الرسو، والممرات، والقنوات.

يهدف مسح "الأمر الخاص" إلى الإشارة لتلك المناطق التي يكون فيها الخلو تحت اللوح المركزي أسفل السفينة أمراً بالغ الأهمية، لذلك يلزم البحث عن السمات بنسبة (١٠٠ ٪)، والتغطية تحت الأعماق بنسبة (١٠٠ ٪)، كما أن حجم السمات التي سيتم اكتشافها من خلال هذا البحث هي أكثر تطلبًا من الأمر (1a) بشكل مقصود. المناطق التي تتطلب مثل هذه المسوحات هي مناطق الرسو، والموانئ، والمناطق الحساسة من الممرات، وقنوات الشحن. تُجرى مسوحات الأمر الخاص عن طريق استخدام خطوط مقاربة بالتزامن مع

سونار المسح الجانبي، أو صفيقات المحولات المتعددة، أو مسبار العمق متعدد الشعاع عالي الدقة؛ للحصول على بحث سفلي بنسبة (١٠٠٪).

تعد المسوحات الهيدروغرافية ذات "الأمر الحصري" امتدادًا للأمر الخاص للمنظمة الهيدروغرافية الدولية (IHO)، مع مزيد من متطلبات عدم اليقين الصارمة، وتغطية البيانات. يُقصد من استخدامها أن يقتصر على مناطق المياه الضحلة، مثل: الموانئ، ومناطق الرسو، والمناطق الحساسة من الممرات والقنوات، أو في مناطق حرجة محددة مع الحد الأدنى من الخلوص تحت اللوح المركزي أسفل السفينة وخصائص القاع التي قد تكون خطيرة على السفن. مطلوب البحث عن السمات بنسبة (٢٠٠ ٪) ، وتغطية قياس الأعماق بنسبة (٢٠٠ ٪)، التي يمكن تحقيقها من خلال الجمع المتداخل بشكل مناسب، أو عن طريق الحصول على أكثر من مجموعة بيانات مستقلة واحدة ضمن المسح. حجم السمات المراد اكتشافها أكثر تطلبًا من الأمر الخاص بشكل مقصود.

٢-٧-١٦ التعريفات وقياسات الجودة:

المقاييس -الأكثر شيوعًا- المشمولة في المسح الهيدروغرافي هي:

تغطية باثيمترية (قياس الأعماق): المدى الذي مُسحت فيه منطقة ما باستخدام طريقة منهجية لقياس العمق، وتعتمد على مزيج من نمط المسح، ومدى أدوات المسح.

سمة: أي جسم؛ (سواء كان طبيعيًا أو من صنع الإنسان) يختلف عن المنطقة المحيطة.

استشعار السمة: قدرة النظام على اكتشاف سمات مميزة ذات حجم محدد.

البحث عن سمة: المدى الذي مُسحت فيه منطقة ما باستخدام طريقة منهجية؛ لتحديد السمات المميزة.

إجمالي عدم اليقين الأفقي: أحد مكونات إجمالي عدم اليقين المنتشر محسوبًا في البعد الأفقي. إجمالي عدم اليقين الأفقي هو كمية ثنائية الأبعاد، مع تضمين جميع أوجه عدم اليقين في القياس الأفقي المشمولة.

إجمالي عدم اليقين المنتشر: عدم يقين ثلاثي الأبعاد، مع تضمين جميع أوجه عدم اليقين في القياس المشمولة.

إجمالي عدم اليقين الرأسي: أحد مكونات إجمالي عدم اليقين المنتشر محسوبًا في البعد الرأسي. إجمالي عدم اليقين الرأسي هو كمية أحادي البعد مع تضمين جميع أوجه عدم اليقين في القياس الرأسي المشمولة.

بإدراك وجود عاملين يؤثران على عدم اليقين الرأسي، أحدهما يعتمد على العمق والآخر مستقل عن العمق، تستخدم لحساب الحد الأقصى المسموح به من عدم اليقين في القياس الرأسي.

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad \text{(المعادلة ٤-١٦)}$$

يجب إدخال المعلمتين (a) و (b)، إلى جانب العمق (d)، في المعادلة ؛ لحساب الحد الأقصى المسموح به من إجمالي عدم اليقين الرأسي.

عدم اليقين: تقدير مدى القيم التي من المتوقع أن تقع ضمنها القيمة الحقيقية للقياس، على النحو المحدد، ضمن مستوى ثقة معين.

الجدول (١-١٦) ملخص المواصفات الباثيمترية لسلامة المسوحات الهيدروغرافية الملاحية.

الأمـر	إجمالي عدم اليقين الأفقي	إجمالي عدم اليقين الرأسي	استشعار السمة	التغطية الباثيمترية
٢	+ ٢٠ م ١٠ ٪ عمق.	a=1.0 m b=0.023	غير محدد.	٥ ٪
1b	+ ٥ م ٥ ٪ عمق.	a=0.5 m b=0.013	غير محدد.	٥ ٪

الأمـر	إجمالي عدم اليقين الأفقي	إجمالي عدم اليقين الرأسـي	استشعار السمة	التغطية الباثيمترية
1a	٥ م + ٥ ٪ عمق.	a= 0.5 m b=0.013	سمات بالمكعب أكبر من ٢ م في أعماق تصل إلى ٤٠ م؛ ١٠ ٪ من العمق أبعد من ٤٠ م.	أقل من أو يساوي ١٠٠ ٪
خاص	٢ م	a=0.25 m b=0.0075	سمات بالمكعب < ١ م.	١٠٠ ٪
حصري	١ م	a=0.15 m b=0.0075	سمات بالمكعب < ٠,٥ م.	٢٠٠ ٪

٣-٧-١٦ المواصفات الباثيمترية:

تصف مواصفات المنظمة الهيدروغرافية الدولية للمسوحات الهيدروغرافية (IHO, 2022) بالتفصيل جميع المواصفات، إلى جانب الدقة ومطابقة القياس لجميع أوامر المسح. يُقدم وصف موجز في الجدول (١٦-١)، ولكن يمكن تحديد الأساليب الأخرى التي تعتمد على الأوامر المحددة لموقع الإنشاء بطريقة مماثلة.

٨-١٦ المخرجات:

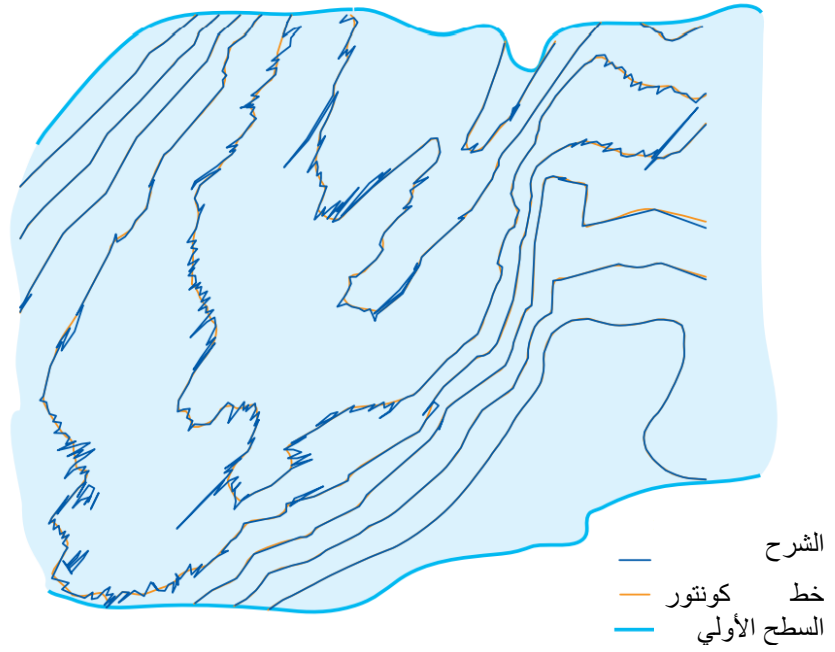
تشير مخرجات المسح إلى جميع البيانات، والتقارير، والمنتجات المرتبطة بالمسح الهيدروغرافي / الباثيمتري، الذي سيقدم قبل أو في أثناء الإنشاء. بالنظر إلى أن مسوحات قياس الأعماق تدرج تحت فئة نموذج التضاريس الرقمية، فإن جميع المتطلبات مماثلة لتلك الموضحة في الجزء (٥-١٧) من هذا المجلد.

تشمل نتائج المسح الهيدروغرافي / الباثيمتري المطلوبة لصاحب العمل ما يلي:

- تقارير مسوحات المشروع.
- البيانات الرقمية.
- البيانات الوصفية.

اختياريًا:

- نسخ ورقية من الرسوم البيانية والخرائط.
 - البيانات الخام التي تم الحصول عليها.
 - البيانات التي تم إحداث مرجع جغرافي لها، قبل إزالة التشويش.
- يجب تحرير خطوط الكنتور المُسلمة لتتوافق مع قواعد رسم الخرائط (الشكل ١٦-٧).



الشكل (١٦-٧) تمثيل الخطوط الكنتورية الأولية للسطح والخطوط الكنتورية الممهدة (Wilson & Richards, 2006).

١٧- نموذج التضاريس الرقمية (DTM):

تهدف مسوحات نموذج التضاريس الرقمية إلى إنشاء تمثيل لسطح الأرض. وبشكل أكثر تحديداً، يكمن الغرض من مسح نموذج التضاريس الرقمية في تحديد وحساب نموذج التضاريس الرقمي لمنطقة المشروع، وهو نموذج طبوغرافي لسطح الأرض يمكن معالجته ببرامج الحاسب. علاوة على ذلك، يُعد نموذج التضاريس الرقمي تمثيلاً للارتفاع السطحي لسطح الأرض، بالرجوع إلى نظام الإحداثيات المقدم. يمكن تطوير نموذج التضاريس الرقمي جانب الارتفاع، وبضيف إمكانيات ثلاثية الأبعاد لتصميم المشاريع، كما أنه يساعد في إجراءات مثل: تصميم محاذاة الطريق، والعبارات، وموضع المباني، وما إلى ذلك. بشكل عام، فإن نماذج التضاريس لها تأثير أساسي في عملية المشاريع المتعلقة بالطرق والإنشاء. وتُجمع البيانات المقدمة على أنها مدخلات لإعداد نماذج التضاريس الرقمية على نحو أساسي بواسطة الإجراءات الجوية، مثل: التصوير المساحي الضوئي، والليدار، بالإضافة إلى طرق المسح الميدانية التقليدية، مثل: المسح الطبوغرافي، والنظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية، وغيرها من الطرق الأخرى.

١-١٧ خصائص نموذج التضاريس الرقمية:

عند إجراء مسح نموذج التضاريس الرقمية، من المهم النظر في الطريقة المستخدمة لجمع البيانات اللازمة. ويضمن اختيار الطريقة إنجاز المسح بدقة وسرعة. بشكل عام، يُنشأ نموذج المسح الرقمي باستخدام الطرق الجوية (التصوير المساحي الضوئي/الليدار)، في حين أن طرق المسح الأرضي (محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية) تساعد على الحصول على البيانات التي لا يمكن الوصول إليها. عندما تشترك المناطق في خصائص الغطاء النباتي الكثيف -لأي سبب من الأسباب، أو المناطق التي يتعذر الوصول إليها- يمكن للطرق الجوية أو الليدار تأمين جمع البيانات. من ناحية أخرى، عندما يكون لمسح نموذج التضاريس الرقمي متطلبات أن يكون بمقاس كبير بالقرب من الإنشاءات أو المباني التي تشكل عقبات أمام جمع البيانات الجوية، يمكن اعتماد طرق المسح الأرضي لتأمين جمع هذه البيانات. علاوة على ذلك، لا يمكن تطبيق طرق المسح التصويري الجوي البسيطة في مناطق الغطاء النباتي الكثيف، وفي هذه الحالة، قد تكون مسوحات الليدار أو المسوحات الأرضية محطة النقاط المتكاملة / النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية -فقط- مفيدة.

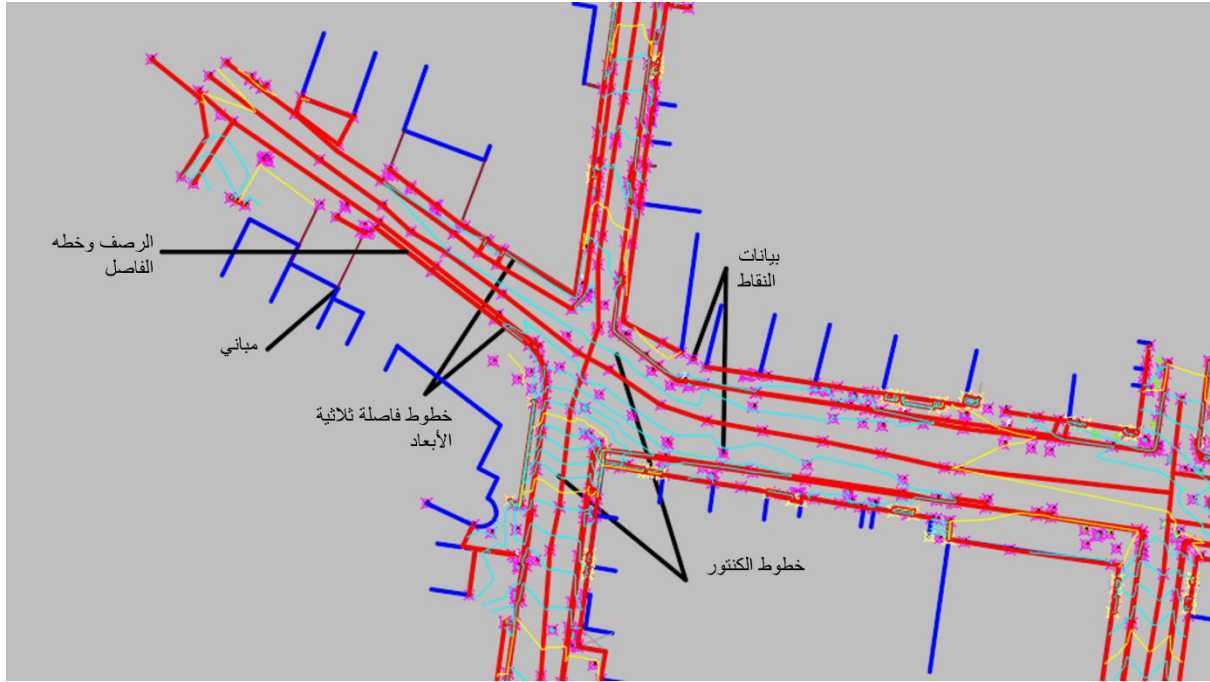
١-١-١٧ عام:

نماذج التضاريس الرقمية هي المنتجات الرئيسية التي تُنتج خلال مسح نموذج التضاريس الرقمية. يمكن تقديم هذه النماذج بواسطة التصوير المساحي الضوئي، والليدار الجوي (الباب ١٣-)، أو بواسطة طرق المسح الميداني باستخدام المسح الطبوغرافي، أو النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية. بشكل عام، يتكون نموذج التضاريس الرقمي من لقطات موضعية والحدود الفاصلة (الشكل ١-١٧):

- اللقطات الموضعية هي نقاط كتلة، بارتفاع موسوم (محدد)، وتضاف في المناطق التي تكون فيها التضاريس مسطحة -نسبياً- أو مائلة على نحو متسق. تتموضع اللقطات الموضعية بشكل عام عند الارتفاعات والمنخفضات الطبيعية من التضاريس، والمناطق المنتظمة أو المسطحة نسبياً.
- تعد الحدود الفاصلة علامات خطية مجمعة، بمحاذاة الفواصل، أو تغييرات الطبقات في التضاريس، مع تحديد انقطاعات التضاريس، مثل: النتوءات، وأسفل الميول، أو أي تغيير حاد في السطح القائم.

تعد كثرة ارتفاعات التضاريس المقاسة وكثافتها -على نحو كاف- من الأمور المهمة للغاية، فيما يتعلق بالحوسبة الدقيقة لنماذج التضاريس الرقمية. علاوة على ذلك، وبسبب أن أساليب التصوير المساحي الضوئي الأتوماتيكية تلتقط نموذج السطح الرقمي، إذ من الشائع أن تتضمن البيانات الملتقطة التي تم الحصول عليها معلومات الارتفاع حول أعلى سطح معروض. بالمثل، وفي حال عدم إمكانية الوصول إلى مناطق تضاريس محددة في نطاق المشروع بواسطة أساليب التصوير المساحي الضوئي (مثل: المناطق تحت الجسور والأشجار، والعشب المرتفع، وأي سمات أخرى)؛ لذا سيكون هناك فراغ في البيانات. إذا كان من الضروري ملء الفراغ المنشأ أو أخذ قرار بشأن ذلك، فينبغي إجراء قياسات مسح ميدانية تكميلية (MnDOT, June, 2007).

تُعد نماذج التضاريس الرقمية باستخدام نموذج شبكة المثلثات غير المنتظمة، التي تحوسب على نحو عام بفضل اللقطات الموضعية والحدود الفاصلة. في نموذج شبكة المثلثات غير المنتظمة، توصل النقاط المجمعة فيما بينها لتشكيل شبكة من المثلثات تغطي سطح منطقة المشروع. لذا تعد شبكة المثلثات غير المنتظمة تمثيلاً لسطح مستمر، يتكون من أوجه مثلثية على نحو كامل.



الشكل (١٧-١) مجموعة نموذجية لسمات التضاريس الرقمي.

تحوسب شبكة المثلثات غير المنتظمة باستخدام أسلوب تثليث ديلوني (Delaunay). تثليث ديلوني لمجموعة مُعطاة (P) ، التي تتكون من نقاط منفصلة في الوضع العام هو عبارة عن تثليث $(DT(P))$ ، بحيث لا توجد أي نقطة (P) داخل الدائرة المحيطة لأي مثلث في $(DT(P))$. تضاعف تثليثات ديلوني الحد الأدنى لجميع زوايا المثلث في مدى التثليث، حيث تميل إلى تجنب المثلثات الأصغر حجمًا. تستخدم تلك الطريقة -على نحو واسع النطاق- لنمذجة التضاريس أو المجسمات بواسطة سحابة نقطية، نظرًا لأن التثليث يشكل مجموعة متميزة من المثلثات لاستخدامها بوصفها أوجهًا في النموذج. تتجنب تثليثات ديلوني -على نحو خاص- المثلثات الصغيرة (بسبب أن دائرتها المحيطة كبيرة مقارنة بمنطقتها).

من ناحية أخرى، يمكن إيجاد المثلثات الصغيرة في نمذجة التضاريس في العالم الفعلي. وبذلك تنشأ الحاجة إلى تثليثات ديلوني المقيدة، وتعميم تثليثات ديلوني التي تدفع القطاعات المطلوبة المحددة ضمن مدى التثليث بوصفها حافات، على نحو تفضلي مع تثليثات ديلوني ذاتها، القائمة -على نحو خاص- على وضعية مجموعة رؤوس مُعطاة، دون النظر إلى كيف ينبغي توصيلها بواسطة الحافات. تعرف هذه الحافات -الموجودة في نمذجة التضاريس- بوصفها حدودًا فاصلة، تدفع أضلاع المثلث نحو الارتباط بالحدود الفاصلة للانقطاع. يجب أن تقدم مسوحات نموذج التضاريس الرقمية ثقلًا محددًا في أثناء الالتقاط الصحيح للحدود الفاصلة ونمذجتها. على سبيل المثال، سيجري عملية التثليث لقاع خندق، أو الأجزاء غير المتناسقة للتضاريس -التي تبقى غير محددة- بواسطة الحدود الفاصلة عبر الانقطاعات، وستعرض التضاريس في شكل مسطح في هذه المناطق.

ختامًا، وبمعرفة ملف شبكة المثلثات غير المنتظمة المحسوب، يمكن حساب مجموعة متنوعة من النتائج بناءً على استيفاء لبيانات شبكة المثلثات غير المنتظمة (MnDOT, June, 2007). تمثل خطوط الكنتور (الشكل ١٧-١) والقطاعات العرضية والأحجام، وما إلى ذلك النواتج المشتقة الأكثر شيوعًا. يُلخص الجدول (١٧-١) المواصفات والإجراءات المتعلقة بإنشاء نموذج التضاريس الرقمي.

الجدول (١٧-١) إجراءات نموذج التضاريس الرقمي والمواصفات حسب مقياس الرسم.

المقياس				الوحدات	المواصفة
١:٥٠٠	١:١,٠٠٠	١:٢,٠٠٠	١:٥,٠٠٠		
٥	١٠	٢٠	٥٠	م	المسافة القصوى بين نقاط الكتلة.
٥	١٠	٢٠	٥٠	م	المسافة القصوى بين النقاط المتتالية من نفس الحد الفاصل.

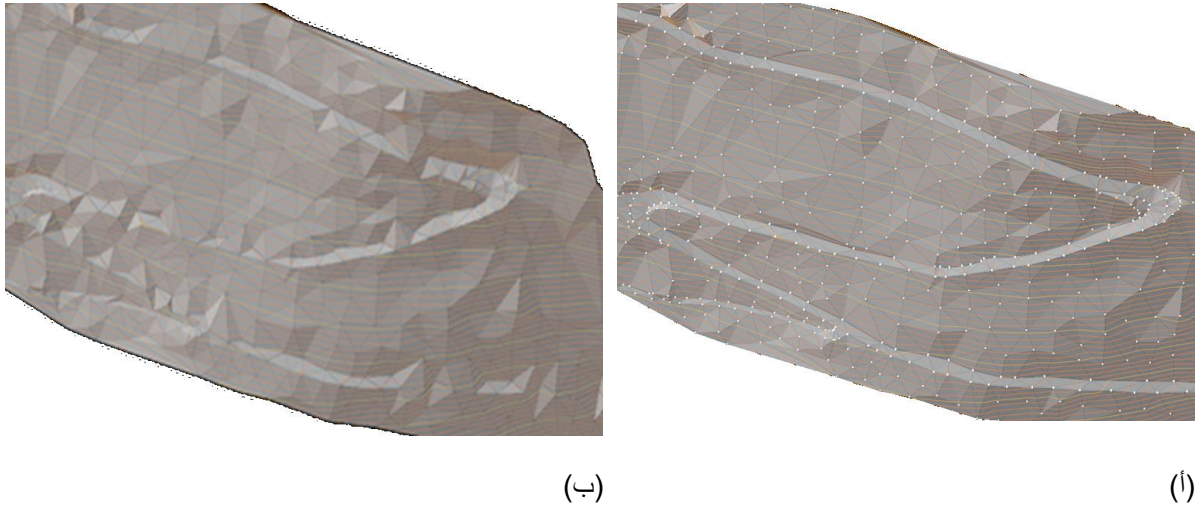
١٠	٢٠	٤٠	١٠٠	م	المسافة القصوى بين القطاعات العرضية.
١٠٠	٤٠٠	١,٦٠٠	١٠,٠٠٠	٢م	الحد الأقصى لمنطقة الفراغ التي لا تحتاج إلى تغطية بواسطة نموذج التضاريس الرقمي.

٢-١-١٧ اللقطات الموضعية:

تحدد نقاط البيانات إحداثيات (XYZ) (ثلاثية الأبعاد) في موقع ما، وتُجمع في شكل قطاع طولي أو شبكي. يمكن الحصول عليها في مواقع تغيير الطبقات المهمة. تسمح التطورات الحديثة في أساليب التصوير المساحي الضوئي (على سبيل المثال: الهيكل من الحركة) بجمع نقاط بيانات الكتلة على امتداد شبكة من المسافات البينية الصغيرة للغاية، التي تبلغ (٠,٠٥) م على سبيل المثال. ومن ناحية أخرى، في الحالات التي يكون فيها المسح الميداني مطلوباً، لا يمكن أن تكون نقاط الكتلة أبعد من بعضها بعض أكثر من (١٠) أمتار للمقاييس الكبيرة (الجدول (١-١٧)). اعتماداً على المنطقة التي تُسحت، يجب جمعها في شكل شبه شبكي، أو قطاع عرضي في الميدان، بحيث لا تتجاوز المسافة بينهما (١٠) أمتار. يمكن -أيضاً- استخدام نقاط عشوائية عند الضرورة؛ لتحديد حالات التضاريس الفريدة، مثل: جانب التل غير المنتظم -شديد الانحدار- مع نباتات متنوعة، وحفر، وما إلى ذلك.

٣-١-١٧ الخطوط الفاصلة:

تمثل الخطوط الفاصلة تغييراً حاداً للطبقات في السطح القائم. من أجل إدراج الخطوط الفاصلة في عملية تطوير نموذج التضاريس الرقمي، يجب إنشاؤها في بيئة ثلاثية الأبعاد، حيث تُعَيَّن الارتفاعات الخاصة بها. لذلك يجب تمثيل الخطوط الفاصلة في شكل سلاسل خطية في مساحة ثلاثية الأبعاد. يجب ألا تتجاوز المسافة بين نقاط البيانات لسلسلة خطية واحدة (١٠) أمتار للمقاييس الكبيرة (الجدول (١-١٧)).



الشكل (٢-١٧) نموذج التضاريس الرقمي مع استخدام الخطوط الفاصلة في (أ) وبدون استخدامها في (ب).

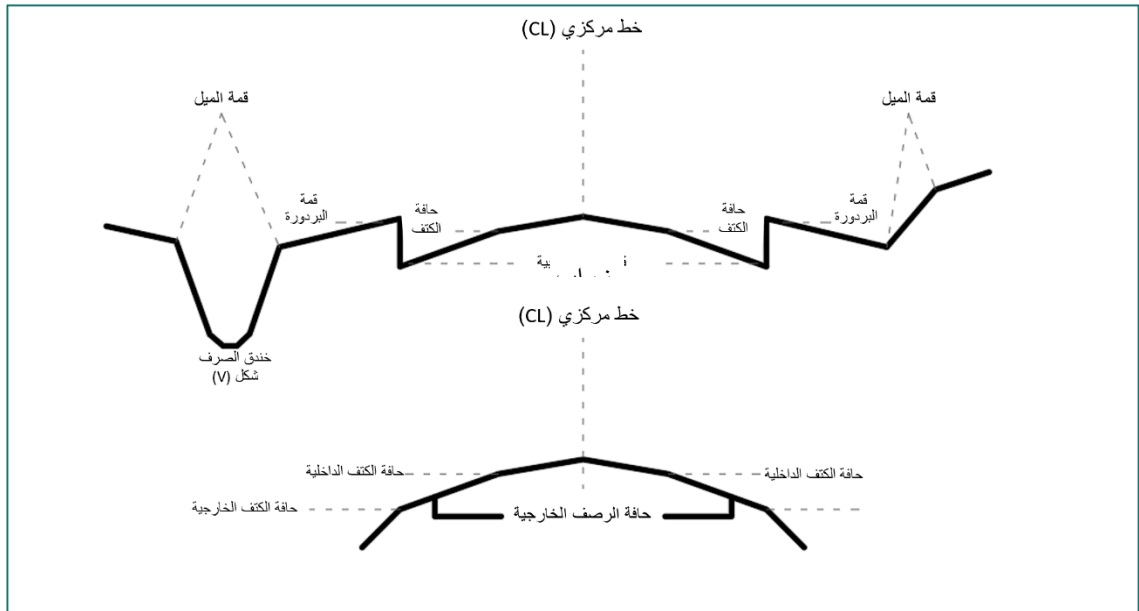
يعتمد الحساب الصحيح لنموذج التضاريس الرقمي -إلى حد كبير- على الموضع الصحيح للخطوط الفاصلة. قد يؤدي تحديد الموضع بطريقة غير ملائمة، أو عدم وجود الخطوط الفاصلة إلى حساب غير دقيق لنموذج التضاريس الرقمي. على سبيل المثال، الشكل (١٧-٢) يوضح نموذج التضاريس الرقمي، الذي أنشئ مع استخدام الخطوط الفاصلة، بينما يوضح الشكل (١٧-٢ "ب") نفس المنطقة مع نموذج التضاريس الرقمي المنتجة دون استخدام الخطوط الفاصلة، حيث تبين أن غيابها يؤدي إلى عدم توضيح أسطح الطرق، والميول الجانبية، وما إلى ذلك.

العناصر الرئيسية التي يجب جمع بيانات الخطوط الفاصلة من أجلها هي (بعضها موضح في قسم الشكل ١٧-٣):

- الخطوط الوسطية للطرق (المحاور).
- الحافات الداخلية والخارجية للأكتاف.
- خطوط مزاريب الصرف الجانبية .

- قمم البردورات والميول.
- أسفل ميول خنادق الصرف.
- قيعان قنوات الصرف.
- أسفل الميول.
- قمم الميول.
- جسور جسم الطريق (Embankments).
- التاج (التقاء الميول العرضية).
- الجدران الاستنادية.
- حافات رصف الطرق.
- أرضفة المشاة.
- منشآت الصرف.
- البنود الخرسانية.

لا تنحصر التغييرات المفاجئة الأخرى أو (الفواصل) في التضاريس على القائمة أعلاه. يجب -أيضاً- إجراء مسح لأي فاصل تضاريس آخر يُعثر عليه في أثناء مسح نموذج التضاريس الرقمي، وإدراجه باعتباره حدًا فاصلًا عند إنشاء نموذج التضاريس الرقمي.



الشكل (١٧-٣) تعيين الخطوط الفاصلة - قطاع نموذجي.

أخيرًا، تُستخدم الخطوط الفاصلة المعتمدة -أيضًا- لتغطية مناطق الفراغ، في الظروف التي لا يمكن فيها الحصول على ارتفاعات نقاط البيانات، أو لم يتحصل عليها.

١٧-٢ جمع بيانات نموذج التضاريس الرقمي الأرضي:

هناك العديد من المتغيرات التي يجب مراعاتها في أثناء مسح نموذج التضاريس الرقمي الأرضي. في البداية، يجب التأكد من أن توزيع النقاط التي جُمعت على الأرض يتوافق مع سطحه الفعلي وتصميمه بشكل صحيح. علاوة على ذلك، يجب جمع جميع السمات الأساسية لحساب نموذج التضاريس الرقمي الصحيح، مثل: الحدود الفاصلة، واللقطات الموضعية، وما إلى ذلك.

يُعد كل من التباعد الصحيح بين النقاط العشوائية والموضع الصحيح للحدود الفاصلة أمرًا بالغ الأهمية؛ لنمذجة المواقع المادية بدقة باستخدام نموذج التضاريس الرقمي. يجب جمع النقاط العشوائية في جميع الحدود الدنيا والحدود القصوى المحلية داخل منطقة المشروع. الحد الأدنى أو الحد الأقصى المحلي هو موقع داخل الموقع المصمم، على ارتفاع منخفض أو مرتفع بالنسبة للنقاط المجاورة.

بالإضافة إلى ذلك، يجب جمع النقاط العشوائية على شبكة أو قطاعات عرضية في جميع أنحاء الموقع، بحيث تكون المسافة من نقطة عشوائية إلى أخرى في الشبكة متساوية تقريباً، ولا تتجاوز (١٠) أمتار للمقاييس الكبيرة (الجدول ١٧-١).

عندما يُوصف سطح التضاريس بالتغيرات والانقطاعات المفاجئة، مثل النتوءات وأسفل الميول وقمم وقيعان خنادق الصرف وتيجان الطريق وحافات رصف الطريق، وما إلى ذلك، يجب مسح الحدود الفاصلة لتمثيل السطح بدقة. بشكل عام، يجب ألا تتقاطع الحدود الفاصلة مع بعضها بعض. إذا كانت الحدود الفاصلة تتقاطع مع بعضها بعض، فقد تواجه مشاكل في تثليث السطح (الجزء ١٧-٤). يجب أن يكون للخطوط الفاصلة المتقاطعة نفس الارتفاع في نقطة تقاطعها، حيث لا يمكن أن يحتوي السطح على نقطتين عند نفس (X, Y) لهما قيم (Z) مختلفة.

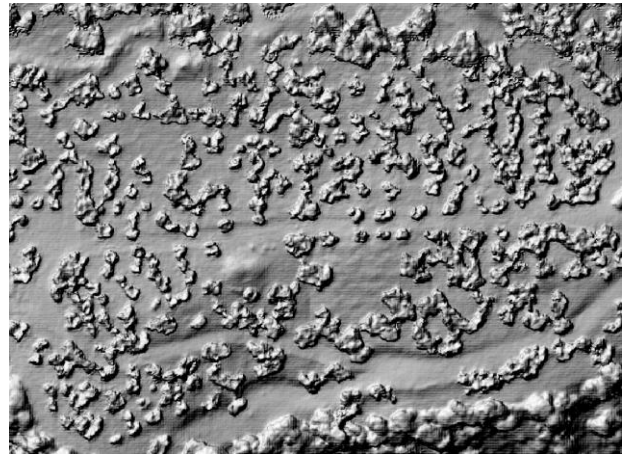
يجب مسح الخطوط الفاصلة -باعتبارها أجسام ثلاثية الأبعاد- مع عدد كافٍ من النقاط التي مُسحت؛ لتحديد سمة الخط الفاصل بشكل كافٍ في صورة ثلاثية الأبعاد، والتباعد بين نقاط العينات لنفس الخط الفاصل، بما لا يزيد عن (١٠) أمتار للمقاييس الكبيرة (الجدول ١٧-١). يجب أن يتضمن جمع البيانات -دائماً- عدداً كافياً من النقاط، التي تمثل -بأكبر قدر ممكن من الدقة- الحد الفاصل في صورة ثلاثية الأبعاد.

١٧-٣ جمع بيانات نموذج التضاريس الرقمي الجوي:

أصبحت بيانات المسح الرقمي من التصوير المساحي الضوئي للبيانات الأكثر استخداماً من قبل المخططين والمصممين، ولا سيما في إنشاء نموذج التضاريس الرقمي اللازم في عمليات تخطيط وتصميم الطرق. أحد مصادر هذه البيانات هو نمذجة التصوير المساحي الضوئي، المستمدة من التصوير الجوي، أو من رحلات الليدار الجوية.

ويمكن لطائرات رسم الخرائط الحديثة (المجهزة بهوائيات، وكاميرات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية) أن تلتقط صوراً فوتوغرافية تستخدم في مسوحات نموذج التضاريس الرقمي. يتم الحصول على نموذج السطح الرقمي التصويري المساحي الضوئي المعاصر تلقائياً -تقريباً- باستخدام تقنيات الهيكل من الحركة، والإستريو المجسم متعدد المناظر، بدلاً من الرسم التخطيطي المجسم اليدوي، المستخدم خلال العصر التحليلي للتصويري المساحي الضوئي في الماضي. وترد التفاصيل في الباب (١٣).

يُعرض مثال على الحصول على نموذج السطح الرقمي التصويري المساحي الضوئي في الشكل (١٧-٤ "أ")، حيث يُقدم نموذج التضاريس الرقمي بمقاس (٥) سم لمسافة أخذ عينات أرضية باستخدام تقنية ظل التل، مما يسمح بتصوير الغطاء النباتي الذي يُضْمَن في النموذج المعني، والذي يُعد -أيضاً- مرئياً في الصور الضوئية مصححة الأبعاد، كما في الشكل (١٧-٤ "ب").



(ب)

(أ)

الشكل (١٧-٤) (أ) نموذج السطح الرقمي من التصوير المساحي الضوئي و (ب) التصوير مصحح الأبعاد.

من أجل إنتاج نموذج التضاريس الرقمي من بيانات نموذج السطح الرقمي التي أُنشئت تلقائياً، يجب -دائماً- إزالة الغطاء النباتي/المنشآت المدرجة في نموذج السطح الرقمي باستخدام الطرق التالية:

- تطبيق الحدود الداخلية يدوياً باستخدام حدود فاصلة معتمدة حولها.
- استخدام خوارزميات التصنيف الأوتوماتي المناسبة؛ لتحديد بيانات النقطة الأرضية، عن طريق إزالة الغطاء النباتي، والمنشآت (الشكل ١٧-٥). يمكن تحقيق هذا الإجراء عن طريق تقسيم سحابة نقطية أنشئت تلقائياً إلى خلايا بحجم معين، ثم

اختيار أدنى نقطة تعطي تقريبًا أوليًا لنموذج التضاريس الفعلي. بعد ذلك، تُضاف نقاط جديدة -بشكل متكرر- إلى النموذج، بشرط أن تفي بمتطلبات هندسية معينة فيما يتعلق بتقريب التضاريس الحالية (على سبيل المثال، المسافة والزوايا، وما إلى ذلك).

في حين أن النهج الأول (اليدوي) غير فعال إلى حد ما، لكنه يُنتج نتائج صحيحة ودقيقة. ومن ناحية أخرى، تُعد خوارزميات تصنيف النقاط فعالة -للاغاية- من حيث الموارد البشرية، ولكنها تعتمد -بشكل كبير- على قيم المعلومات المستخدمة. لذلك يجب استخدام هذه الأساليب التلقائية بحذر، ويجب فحص النتائج، والتحقق منها من قبل مستخدم ذي خبرة.



(ب)

(أ)

الشكل (١٧-٥) (أ) سحابة نقطية خام و (ب) بيانات سحابة نقطية أرضية محددة أوتوماتيًّا.

على أي حال، يجب تطبيق الاستيفاء داخل منطقة الفراغ التي أنشئت تلقائيًا أو يدويًا. يجب ألا تحتوي مناطق الفراغ التي يجب تغطيتها بواسطة نموذج التضاريس الرقمي (على سبيل المثال، المناطق المغطاة بالغطاء النباتي) على مناطق ذات قيم أكبر من تلك الموضحة في الجدول (١٧-١). بخلاف ذلك، يجب اتباع أحد البدائل التالية لإكمال منطقة الفراغ:

- مسح نموذج التضاريس الرقمي الأرضي باستخدام طرق محطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التقليدية.
- الرسم المجسم اليدوي للحصول على بيانات التضاريس، إن أمكن.

علاوة على ذلك، يجب -أيضًا- استخراج الخطوط الفاصلة (يدويًا) من نموذج السطح الرقمي، أو عن طريق الرسم التخطيطي المجسم، وإدراجها في نموذج التضاريس الرقمي النهائي. ومع ذلك -حتى في ظل هذه القيود- تكون مسوحات نموذج التضاريس الرقمي التصويرية الضوئية أكثر كفاءة فيما يتعلق بمسوحات نموذج التضاريس الرقمي الميدانية (الأرضية) التقليدية. لذلك، ينبغي تفضيلها، بالنظر إلى المواصفات العامة الموضحة في الجدول (١٧-٢) والجدول (١٧-٣) والجدول (١٧-٤).

من ناحية أخرى، تتمتع تقنية المسح الجوي باستخدام الليدار بميزة فريدة، تتمثل في الإزالة التلقائية للغطاء النباتي في بيانات الليدار، من حيث التكلفة الأعلى للمعدات. ومع ذلك إذا كانت هناك حاجة إلى نموذج تضاريس رقمي حقيقي، فيجب وضع علامة على المنشآت التي من صنع الإنسان، وإزالتها من البيانات التي تم الحصول عليها. ومع ذلك فإن ميزة الإزالة التلقائية للغطاء النباتي تجعل المسح الجوي -باستخدام الليدار- مثالية للحصول التلقائي على نموذج التضاريس الرقمي في مناطق الغابات/النباتية العالية.

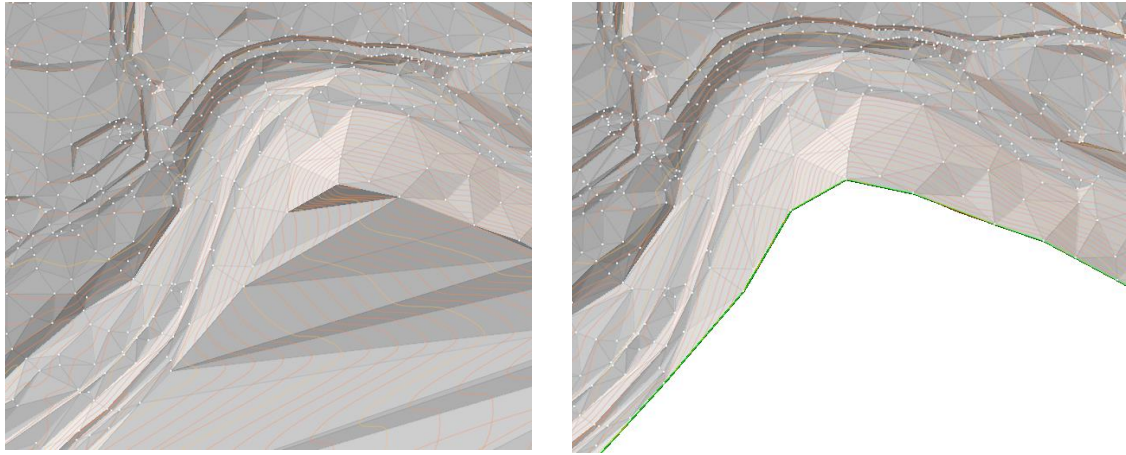
١٧-٤ إنشاء نموذج التضاريس الرقمي:

أنشئ نموذج التضاريس الرقمي بهدف تنفيذ حزم البرامج الحاسوبية لتثليث ديلاوني، وتثليث ديلاوني المقيد. بغض النظر عن حزمة البرامج المستخدمة؛ هناك أربعة عناصر رئيسة يجب تعريفها لإنشاء نموذج التضاريس الرقمي:

- نقاط الكتلة.
- الخطوط الفاصلة.
- الحدود الداخلية.
- الحدود الخارجية.

نُوقش أول عنصرين منها باستفاضة في الأقسام السابقة، فيما يتعلق بالحدود الداخلية والخارجية، تُستخدم -بشكل عام- لإخفاء المناطق التي يمكن فيها إنشاء نموذج التضاريس الرقمي، ومع ذلك فإن شكلها على النحو الذي أنشئ بواسطة برنامج غير صالح؛ على سبيل المثال: فيما يتعلق بالحدود الداخلية، يمكن الغرض منها في وصف المناطق الفارغة، التي لا تحتاج إلى تغطية بواسطة نموذج التضاريس الرقمي، على سبيل المثال، مساحات البناء، حيث أن هذه الحدود الداخلية تعمل كخطوط فاصلة معتمدة.

تُستخدم الحدود الخارجية لمنع إنشاء نموذج التضاريس الرقمية في المناطق التي لا يكون تمثيلها فيها صالحًا، بالقرب من الحدود الخارجية للمنطقة التي جرى مسحها. يشكل تثليث ديلاوني المستخدم لإنشاء أشكال مثلثات نموذج التضاريس الرقمي في الجسم المحدب بأكمله، الذي يُشكل بواسطة مجموعة النقاط، الخطوط الفاصلة المستخدمة في التثليث. ومع ذلك فإن هذا ليس صحيحًا دائمًا، لأن المثلثات التي تشكلت بالقرب من منطقة الجسم المحدب الخارجي تميل لأن تكون صغيرة، على النحو الموضح في الشكل (٦-١٧) "ب"، مما يؤدي إلى خطوط كنتورية خاطئة للغاية في المنطقة. ومن ناحية أخرى، الشكل (٦-١٧) "أ" يُصور نفس المنطقة ذات الحدود الخارجية، ويعرض معلومات عن نموذج التضاريس الرقمية -فقط- في المناطق التي تكون فيها صالحة بالفعل.



(ب)

(أ)

الشكل (٦-١٧) إنشاء نموذج التضاريس الرقمية: (أ) مع حدود خارجية و (ب) بدون حدود خارجية.

أخيرًا، يعمل كلا النوعين من الحدود، الخارجية والداخلية، كحدود فاصلة في إنشاء نموذج التضاريس الرقمية. يجب تمثيل جميع هذه العناصر في صورة ثلاثة الأبعاد، أي: يجب أن تحمل كل نقطة موضوعية أو نقطة خطية معلومات ثلاثية الأبعاد.

وعلى هذا النحو، تنطبق القواعد التالية:

- يجب تمثيل جميع العناصر المستخدمة في إنشاء نموذج التضاريس الرقمي في صورة ثلاثية الأبعاد.
- عندما يكون ملائمًا، يجب استخدام الحدود الداخلية لإزالة المناطق الفارغة، التي لا تحتاج إلى تغطيتها بواسطة نموذج التضاريس الرقمي.
- عندما يكون ملائمًا، يجب استخدام الحدود الخارجية لإزالة المثلثات من منطقة نموذج التضاريس الرقمية الخارجية.
- يجب أن يمثل نموذج التضاريس الرقمية النهائية بالكامل ارتفاعات التضاريس في جميع المناطق المغطاة.

قبل إنشاء نموذج التضاريس الرقمي -بغض النظر عن البرنامج الحاسوبي المستخدم- يجب إجراء الاختبارات التالية للتأكد من استخدام جميع العناصر -بشكل صحيح- في إنشاء نموذج التضاريس الرقمي:

- **الخطوط الفاصلة المتقاطعة:** إذا تقاطعت الخطوط الفاصلة مع بعضها البعض في صور ثنائية الأبعاد، فستتم مواجهة مشكلات في تثليث السطح، حيث أنه في نقطة التقاطع ثنائية الأبعاد يوفر كل خط فاصل ارتفاعه الخاص للنقطة المعنية (باستخدام الاستيفاء الخطي بين نقطة الخط الفاصل السابقة والتالية). ومع ذلك لا يمكن أن تحتوي الأسطح الممثلة بتثليث ديلاوني على نقطتين عند نفس (X, Y) لهما قيم Z مختلفة. لذلك، يجب أن تشترك الخطوط الفاصلة المتقاطعة في نفس الارتفاع عند نقطة التقاطع، عن طريق إضافة رأس مشترك على كلا الخطين الفاصلين.
- يجب أن يفحص المستخدم **النقاط الموضعية القريبة من بعضها البعض**، على عتبة محددة؛ للتأكد من الاتساق. لا يتم -عادةً- جمع هذه النقاط في الميدان، وتميل إلى تضمينها في المسح عن طريق الخطأ. على سبيل المثال، النقطة التي جرى مسحها بارتفاع أداة غير صحيح، و مُسحت -بشكل صحيح- مرة أخرى دون حذف النقطة السابقة.



- **النقاط القريبة من حافات الخطوط الفاصلة غير المتضمنة في نفس الخط الفاصل أو خط فاصل آخر، على عتبة يحددها المستخدم.** إذا كانت نقطة موضعية واحدة، قريبة من خط فاصل قد يكون مؤشراً على أنه ينبغي أن يكون جزءاً من الخط الفاصل. وتميل هذه الأخطاء إلى تشكيل مثلثات صغيرة الحجم في التثليث، مما يؤدي إلى تفسير خاطئ للتضاريس.

بعد الانتهاء من الاختبارات -المذكورة أعلاه- وإنشاء نموذج التضاريس الرقمية الأولية، يجب رسم الخطوط الكنتورية، أو التصور وفقاً لقدرات البرامج. على سبيل المثال، تظليل التل، ورسم القطاعات العرضية، وما إلى ذلك. يجب أن يُجري المساح فحصاً بصرياً لارتفاع الانقطاعات، والقيم المتطرفة في نموذج التضاريس الرقمية المشيدة. في هذه الحالات -وبعد تحديد هذه البيانات- يجب إما استبعادها من التثليث وتحريرها، بحيث يُعَيَّن الارتفاع الصحيح وفواصل الإصلاح والحدود، وما إلى ذلك. يجب عدم استخدام مثلثات المبادلة، وبدلاً من ذلك يجب استخدام خط فاصل لتغيير ترتيب المثلثات. ويرجع ذلك إلى الحاجة إلى الاستنساخ، أي: إنشاء نموذج التضاريس الرقمية مرة أخرى بعناصره الأساسية، دون الحاجة إلى التحرير اليدوي. يجب تكرار العملية -المذكورة أعلاه- حتى لا يمكن تمييز أي أخطاء.

١٧-٥ المخرجات:

يشمل تسليم نموذج التضاريس الرقمية جميع عناصر نموذج التضاريس الرقمية الموضحة في الأقسام السابقة، إلى جانب المثلثات النهائية التي أنشئت بواسطة البرنامج المعني. لذلك، يجب أن يتضمن التسليم النهائي نموذج التضاريس الرقمية في صور ثلاثية الأبعاد:

- نقاط الكتلة/ النقاط الموضعية.
- الخطوط الفاصلة.
- الحدود الداخلية.
- الحدود الخارجية.
- مثلثات الإخراج.
- الخطوط الكنتورية مع الفاصل وفقاً لمقياس؛ على النحو الموضح في الجدول (٢-٢).

يجب تسليم العناصر -المذكورة أعلاه- بصيغة المتجهات، على سبيل المثال، صيغة تبادل الرسم (DXF)، وصيغة ملف رسم الأوتوكاد (DWG)، ملف تصميم مايكروستيشن (DGN). يمكن -أيضاً- استخدام صيغ نظم المعلومات الجغرافية (GIS) المناسبة، (على سبيل المثال: shapefile، الحزمة الجغرافية، وهكذا) لهذا الغرض. توفر الأجزاء (٦-٣) و (٦-٤) معلومات حول تسليم بيانات التصميم والرسم باستخدام (CADD)/ المتجهات. يجب تسليم نموذج التضاريس الرقمية النهائية بصيغة (ESRI TIN).

يمكن -أيضاً- تسليم نموذج الارتفاعات الرقمية النهائي المنتج من نموذج التضاريس الرقمية المشيد، وفقاً لمسافة المعاينة الأرضية وتنسيقات الملفات الخاصة بالجزء (٦-٢)، لا سيما في حالة النماذج التي أنشئت بواسطة التصوير المساحي الضوئي.

١٨- المساحة التفصيلية لمشاريع الطرق:

وفقاً لقرار مجلس الوزراء السعودي (رقم ٤٣٧/٥٤ لعام ٢٠١٥)، يحق لملاك الأراضي في المملكة العربية السعودية الحصول على تعويض عن الأجزاء المقطوعة للتخطيط أو لتحديد وتنفيذ شبكات الطرق الرئيسية. لذلك، تنشأ الحاجة إلى إجراء مسوحات للأراضي؛ لتحديد الممتلكات العامة والخاصة في الأرض.

يشير مسح الأراضي إلى التحديد الأولي، أو إعادة الحدود والنُصُب، فيما يتعلق بالممتلكات العقارية، وذلك بناءً على الوثائق، والأدلة التاريخية، والظروف الميدانية الفعلية، ومواصفات الممارسة القائمة. ويوثق مسح الأراضي السياسات، والمواصفات، والإجراءات المتعلقة بمراقبة حدود مشاريع الطرق (MnDOT, 2007).

يجب أن توفر مسوحات الأراضي مواقع دقيقة للمواقع الأفقية والرأسية؛ للطرق، والمباني، والأراضي العامة، والحدود الخاصة، وحرَم الطريق وخرائط الأراضي التفصيلية لحرَم الطريق، والتطورات المستقبلية الأخرى. خارطة الأرض التفصيلية (plat) هي خريطة مساحية تُرسم بمقياس رسم؛ لتوضيح تقسيمات قطعة الأرض. وتُظهر خرائط الأرض التفصيلية المسافة والاتجاه بين أركان قطع الأراضي، وأحياناً تشمل المعلومات الطبوغرافية أو الغطاء/الكساء النباتي.

١٨-١ الجهة المختصة:

تُوجه كافة مهام مسح الأراضي، والإشراف عليها من قبل جميع الأقسام المعنية، وإدارات صاحب العمل، وتهدف المنظمة (MnDOT, 2007) إلى ما يلي:

- الانتهاء من خرائط الأرض التفصيلية، الخاصة بحرَم الطريق.
- مراجعة جميع الوثائق المتعلقة بمسح الأراضي، بما في ذلك الملفات الصادرة من نظام تسجيل الأراضي في المملكة العربية السعودية.
- دعم عملية اتخاذ القرار، فيما يتعلق بالتوطين المناسب لأركان قطع الأراضي، وخطوط حرَم الطريق، خاصة في الظروف المعقدة، أو التي محل جدل. قد تتطلب بعض الحالات الخاصة استشارة وزارة العدل.
- الحفاظ على الاتصال مع جميع الأقسام التابعة لوزارة العدل في المملكة العربية السعودية، ووزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، بالإضافة إلى الجهات الحكومية الأخرى في كل جانب من جوانب مسح الأراضي.

١٨-٢ مسوحات الأراضي العامة:

إن تحديد موقع أركان الأرض العامة واعتمادها بالقرب من ممتلكات الطرق وحقوق الطريق، لهما أهمية كبيرة لكل من صاحب العمل والعامة، إذ تستند جميع البيانات المستخدمة في شراء ممتلكات الطرق للاستخدام العام، مثل: الأوصاف القانونية ومخططات وخرائط الطرق، إلى أركان الأراضي الحكومية هذه. لذلك تبرز أهميتها إذا وُضع أي منها بشكل غير صحيح بطريقة أو بأخرى، فإن جميع الممتلكات الموصوفة أو المشار إليها من هذه الزاوية يمكن أن تكون مفتوحة للنزاعات الحدودية المستقبلية أو التقاضي المكلف (MnDOT, 2007). يجب وضع علامات على هذه المواضع، وإعادة إنشائها بشكل دائم. ويجب على السلطات المعنية الحفاظ على واستبدال جميع أركان الأجزاء وأرباعها المعروفة التي دُمِرت أو طُمست من خلال إنشاء، أو إعادة إنشاء، أو صيانة طريق عام.

١٨-٣ أركان الحدود الخاصة:

عادة ما تكون أركان الحدود الخاصة عبارة عن أركان تحدد خرائط الأراضي التفصيلية للتقسيم الفرعي، ومسوحات الأراضي المسجلة أو مسوحات الحدود. ويُعد موقع، وإعادة إنشاء، واستمرار هذه الأركان ضرورة؛ لاكتساب حرَم الطريق، وتحديد النُصُب (MnDOT, 2007).

١٨-٤ الأجهزة والمعدات:

تشمل المعدات المستخدمة لمسح الأراضي ما يلي:

- طرق المسح الأرضي (محطة نقاط متكاملة).
- مسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS)؛ باستخدام تقنيات طريقة الحركة بعد المعالجة اللاحقة (PPK) في الوقت الحقيقي.

- معدات أخرى منخفضة التكلفة، مثل: أشرطة، وأجهزة قياس المسافة بالليزر، والملحقات المتعلقة بأدوات طرق المسح الأرضي (محطة نقاط متكاملة)، ومسح النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، مثل: الأعمدة، والبراغي، والمواشير، والأهداف.

١٨-٥ الأبحاث الميدانية:

سيُجرى بحث شامل لتحديد جميع حدود الملكية العامة والخاصة، التي تقع ضمن منطقة إنشاء الطرق، أو تلامسها، أو تؤثر فيها بأي وسيلة، ويكون إدراج جميع أركان الأرض الضرورية لغرض الروابط القانونية للأراضي- أمرًا في غاية الأهمية؛ من أجل القضاء على المشكلات القانونية المستقبلية.

فبعد الحصول على جميع الوثائق المتعلقة بالملكية -إن وجدت- يجب التحقق من المعلومات الخاصة بها، واستكمالها على الأرض. وتُجرى فحوصات أرضية للوقوف على الفجوات، والتداخلات، والتناقضات المحتملة في بيانات المسح، التي قد يكون لها تأثير في حق صاحب العمل في الطريق، أو قيمة الأرض المنزوعة الملكية.

وتشمل الخطوات التي يجب اتخاذها التحقق من إثبات السجل على الأرض، واستطلاع خطوط الإشغال والطرق، وإجراء مقابلات مع ملاك الأراضي والسكان المحليين (MnDOT, 2007).

١٨-٥-١ التحقق من إثبات السجل:

تتمثل المرحلة الأولى من الأبحاث الميدانية في تحديد موقع نُصَب أركان الأرض المعروفة والموجودة بالفعل في الموقع. تستند هذه النُصَب إلى السجلات التي تشير إلى وجودها بالفعل، مع مراعاة التغيرات المحلية التي قد تشير إلى تدمير النُصَب، على سبيل المثال، حفريات الطرق العميقة بعد تاريخ جمع إثباتات السجل، وسُتحدد أركان الأرض المفقودة، بحيث يُعاد إنشاؤها بمساعدة سمات أخرى.

١٨-٥-٢ استطلاع خطوط الإشغال والطرق:

رهنًا بعدم وجود أحد أركان ملكية، يجب إجراء مسح ميداني؛ لاسترجاع خطوط الإشغال والطرق، وأركان الممتلكات التي يمكن استخدامها لتحديد الركن المفقود. ويجب تثبيت هذه العناصر المستخدمة؛ لإقامة الركن المفقود في مسح التحكم. وفي حال كان نُصَب ركن قطعة الأرض مفقود أو لا يبدو أنه يتناسب مع خطوط الإشغال، فينبغي الإشارة إليه على الخط الميداني الأزرق على خارطة الأرض التفصيلية أو في شهادة المسح. قد يجب ربط خطوط الإشغال؛ لتحليل والتحقق من عملية رسم خارطة الأرض التفصيلية (MnDOT, 2007).

١٨-٥-٣ المقابلات مع أصحاب الممتلكات والسكان المحليين:

تعد المقابلات مع أصحاب الممتلكات والمساكن المحلية أمرًا في غاية الضرورة، حيث توفر معلومات قيمة حول أركان الأرض المتضررة/التي يتعذر العثور عليها، بالإضافة إلى معلومات حول الحدود الحقيقية لقطع الأراضي داخل منطقة المشروع. وقبل إجراء المقابلات، يجب أن يكون مُجري المقابلة على دراية جيدة بمدى المشروع، والتواريخ التقريبية للمراحل المختلفة لأعمال الإنشاء المخطط لها، كما يجب أن يفهم -أيضًا- حدود المعلومات التي يمكنه تقديمها لأصحاب الممتلكات والسكان المحليين. ويجب أن تتضمن المقابلات أسئلة حول الأرض، على وجه التحديد (NYSDOT, 2009) ما يلي:

- طلب مساعدة في تحديد أركان الممتلكات ونُصَبها.
- طلب معلومات حول نزاعات الملكية المحتملة، أو الخلافات، أو الإجراءات القانونية حول حدود الملكية في المنطقة المجاورة.
- طلب مساعدة في تحديد الأجزاء، أو الأرباع، أو التعرجات، أو النُصَب القضائية في المنطقة.

يجب على المحاورين تدوين ملاحظات قصيرة بالأسماء والتواريخ والحقائق المهمة في أثناء المقابلة، وعند الانتهاء من المقابلة يجب كتابة ملاحظات كاملة. إذا كانت هناك حاجة إلى بيان يتعلق بالتحقق من نُصَب أحد الأركان، فيجب صياغتها، وتوقيعها في أثناء المقابلة، من قبل المحاور وصاحب الملكية.

١٨-٥-٤ تمييز أركان الأرض:

رهنًا بعدم وجود سجلات ووثائق قانونية ونظام مساحي فيما يتعلق بالأرض المتأثرة بالمشروع قيد التصميم، يجب إصدار مخطط مساحي يوثق أي أرض ذات ملكية عامة وخاصة. ويجب تحديد أركان الأرض على الحدود المطبقة، على سبيل المثال، بوضع سياج.

في حال عدم وجود حدود مطبقة، يجب على ملاك الأراضي المجاورة الاتفاق في الموقع على حدود الممتلكات المعنية. ويجب مسح أركان الأرض -هذه- لاحقاً، باستخدام طرق المسح الأرضي (محطة نقاط متكاملة)، والمسح بالنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS)، ووضع علامات وتُصَب عليها بشكل دائم. ويجب صياغة البيانات المتعلقة بالتحقق من هذا الركن وتوقيعها خلال المقابلة من قبل المحاور وجميع أصحاب الممتلكات المشاركين.

١٨-٦ خريطة الأساس لحرم الطريق:

خريطة الأساس لحرم الطريق هي الخريطة التخطيطية المستخدمة في عملية الاستحواذ على حرم الطريق (MnDOT, 2007)، وعادة ما تكون هناك حاجة إلى خريطة أساس جديدة لحرم الطريق، عندما يتطلب المشروع حق طريق إضافي أو حدثت تنمية حضرية في المشاريع القائمة. ويجب أن تتضمن كل خريطة أساس لحرم طريق بجميع السمات الطبيعية والسمات التي من صنع الإنسان التي تم الحصول عليها في أثناء مسوحات الموقع الميدانية، فضلاً عن خلفية الصور إذا كانت متوفرة. على وجه التحديد، يجب تضمين الخصائص التالية بشكل إلزامي:

- الطرق القائمة بأسمائها ورقمها.
- جميع أركان الممتلكات المكتشفة في أثناء البحث في السجلات والمسح الميداني.
- خطوط البلوك (المربعات التخطيطية) وخطوط الملكية الأخرى.
- خطوط حرم الطريق القائم -من أي نوع- بأبعادها، بحيث يمكن حساب أي حق طريق مقترح يرتبط بحرم الطريق القائم.
- غرف التفتيش، وأحواض التجميع، وقواعد المنافع العامة والصمامات، مع ضرورة تجنب إظهار الوصلات الخطية لمنشآت المنافع هذه.
- موقع العبارات دون الإشارة إلى التفاصيل.
- الأبار (المستخدمة أو غير المستخدمة) الواقعة على بعد (١٠) أمتار من حرم الطريق.
- خزانات الوقود تحت الأرض، وأنظمة الصرف الصحي، بما في ذلك خزانات الصرف الصحي، والمنافذ، وحقول الصرف.
- السياج والحدود وأركان الأرض القائمة.

يجب تضمين التعليقات التوضيحية في خريطة الأساس لحرم الطريق، فيما يتعلق بكل من بيانات المحاذاة (نقطة بداية المنحنى، ونقطة التقاطع (PI)، ونقطة المماس (PT)، وأنصاف الأقطار، وأطوال المنحنيات، وما إلى ذلك)، بالإضافة إلى الخصائص المحددة سلفاً، مثل: أسماء الشوارع، والطرق الريفية، والسكك الحديدية، والأنهار، والجداول المائية، ومعلومات المباني (نوع المنشأة، عدد الطوابق). أخيراً، عند وجود خريطة أساس كبيرة لحرم الطريق تمتد على صفحات متعددة، يجب أن تكون خريطة الفهرس في الجانب الأيمن من كل صفحة.

١٨-٧ خرائط الأرض التفصيلية لحرم الطريق:

بشكل عام، يجب أن تكون جميع حرم الطرق/جميع الأراضي التي سيستحوذ عليها (تنزع ملكيتها) مستندة على خارطة الاستحواذ. تحدد خريطة الأرض التفصيلية الوصول إلى حرم الطريق، وأي حقوق ارتفاع (مؤقتة ودائمة) تحصل عليها جهة الطرق، وتعرض حقوق الملكية، وقطع الأراضي التي يُستحوذ عليها، مع الشرح بالرسومات الذي يُرفق بكود قطعة الأرض.

يظهر اسم صاحب الملكية، ومنطقة كل نوع من أنواع المنفعة التي أُستحوذ عليها من كل مالك في شكل جدول، إلى جانب كود قطعة الأرض المعنية.

يُشار إلى جميع خرائط الاستحواذ مرجعياً إلى (KSA-GRF17)، كما تُحسب -أيضاً- أركان حدود خرائط الاستحواذ. ويُعثر على البيانات الأساسية حول عوامل التحويل، والروابط مع خطوط وأركان مسح الأراضي العامة وغيرها من البيانات في مجلد خرائط الأراضي التفصيلية أو تقرير المسح الخاص بالمشروع. فيما يلي البيانات اللازمة لحساب إحداثيات أركان حدود خارطة الأرض التفصيلية:

- خريطة حرم الطريق مع حدود الإنشاء، وحرم الطريق المقترح، ويفضل أن يكون ذلك في شكل مضلع (مضلعات) يحيط بالمنطقة المُستحوذ عليها.
- بيانات قطعة الأرض (إحداثيات الحدود) على شكل مضلعات (التوافر).
- تفاصيل حول المسار، على سبيل المثال، قيم الإحداثيات الخاصة بنقاط المحاذاة المقترحة.
- البيانات المتعلقة بخرائط التقسيم الفرعي المتأثرة بحدود خرائط الأراضي التفصيلية، بما في ذلك إحداثيات الأركان التي عُثر عليها.
- ملف بيانات لبيانات منحني حدود حرم الطريق.



١٨-٨ توتيد حرم الطريق:

لأغراض أخرى غير رسم خارطة الأرض التفصيلية وتحديد النُصْب على نطاق واسع، فإن وضع العلامات والتوتيد في حدود حرم الطريق يشمل ما يلي:

- توتيد حرم الطريق، لغرض المعاينة أو التقييم.
- توتيد حرم الطريق، بناءً على طلب أصحاب الممتلكات المجاورة.
- توتيد حرم الطريق لمساحي الأراضي من القطاع الخاص.

١٨-٨-١ توتيد حرم الطريق لغرض المعاينة أو التقييم:

يُنْفَذ التوتيد لغرض المعاينة أو التقييم، عندما يطلب المهندس المعني بحرم الطريق مراجعة ذلك، ويحصل طاقم المسح على خريطة حرم الطريق السارية حاليًا، ويستخدمها للإرشاد. ولا تُثَبَّت الأوتاد على أركان الأرض بشكل دائم، بل تُوضَع الأوتاد مؤقتًا بدقة تبلغ (± 0.3) م (MnDOT, 2007).

١٨-٨-٢ توتيد حرم الطريق بناءً على طلب أصحاب الممتلكات المجاورة:

قد يُطالب أصحاب الممتلكات في قطع الأراضي المجاورة بتوتيد حرم الطريق، وذلك للتأكد من أنهم لا يقومون بإجراء تحسينات على أراضي لا يملكونها. وعادة ما تُوضَع أعمدة ولافتات في هذا النوع من التوتيد، وقد يُطلب -أيضًا- نقل خط المحور من مكانه المستخدم؛ لشراء حرم الطريق، وإعادة تثبيته (MnDOT, 2007).

١٨-٨-٣ توتيد حرم الطريق لمساح الأراضي من القطاع الخاص:

يُجرى هذا النوع من التوتيد من خلال توفير ملف إحداثيات للتحكم والمحاذاة ونقاط حدود حرم الطريق لمساح الأراضي من القطاع الخاص.

١٩- مسوحات الإنشاء وإرشادات الآلات المؤتمتة:

قبل بدء نشاط الإنشاء لأي مشروع، يجب نقل معلومات التصميم من المخطط إلى أرض الواقع. ويتحقق ذلك -بشكل عام- من خلال المسوحات والتوتيد. وتستخدم مسوحات الإنشاء لأي مشروع إنشائي، للطرق، والمباني، والأنفاق، والأعمال الهيدروليكية والمنشآت تحت الماء. وتعد مسوحات الإنشاء مفيدة ومهمة للغاية، لأن جميع مراحل الإنشاء تعتمد على مخرجاتها. كما يُعد إنشاء شبكة التحكم وتحديد حدود المشروع والمسح ما قبل الإنشاء من المتطلبات الأساسية لأعمال الإنشاء الفعلية. ويستمر المسح الإنشائي -بشكل عام- خلال جميع مراحل أعمال الإنشاء، على سبيل المثال، في إنشاء الطرق، توجه مسوحات الإنشاء جميع الأعمال، من الأعمال الترابية الأولية، وإنشاء أعمدة الإنارة، وحتى بعد انتهائها من أجل إنتاج رسومات محكمة للأعمال كما-هو-مُنفذ.

تنقسم أعمال المسوحات للطرق والمنشآت ذات الصلة، مثل الجسور، وما إلى ذلك، إلى ثلاث فئات رئيسية: أعمال المسح ما قبل الإنشاء، وفي أثناء الإنشاء، وما بعد الإنشاء. ويمكن الاطلاع على التفاصيل الكاملة الخاصة بمسوحات الإنشاء للطرق والجسور ومواقف السيارات والمباني في الأجزاء من (١٩-١) إلى (١٩-٥) من هذا المجلد.

تستخدم المعدات القياسية المستخدمة في معظم المسوحات لإجراء مسوحات الإنشاء:

- محطة النقاط المتكاملة (TPS).
- النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS).
- التسوية (Leveling).
- المسح الأرضي بالليزر.
- معدات أخرى منخفضة التكلفة؛ مثل: الأشرطة، وأجهزة قياس المسافة بالليزر، والملحقات المتعلقة بمحطة النقاط المتكاملة، والنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، مثل: الأعمدة، والبراغي، والمواشير، والأهداف.

ينبغي فحص جميع المعدات المستخدمة في المسوحات الإنشائية، والتحقق من ضبطها على المعايير المناسبة قبل بدء أعمال الإنشاء/التوتيد الفعلية. تنطبق هنا -أيضاً- تعليمات ومواصفات المعايير الواردة في الجزء (٤-٢) من هذا المجلد، بالإضافة إلى إرشادات المعايير المحددة الواردة في جزء المعايير لكل نوع أداة من هذا المجلد، على سبيل المثال، الجزء (٧-٣) المتعلق بمحطة النقاط المتكاملة.

١٩-١ ممرات الطرق:

تشير مسوحات إنشاء الطرق إلى موقع المحاذاة، والميول، وغيرها من السمات الأساسية للطريق على الأرض، وذلك لتوجيه الإنشاء، وتحقيق نتيجة قريبة قدر الإمكان مما رسمه المصمم في الرسومات المعنية. بالنسبة لجميع مسوحات الإنشاء، فإنها تتضمن مراحل ما قبل الإنشاء، والإنشاء، وما بعد الإنشاء، كما هو مبين في الأجزاء الفرعية التالية.

١٩-١-١ تحديد حدود المشروع:

يقدم مالك المشروع التحكم الأولي الذي سيتم من خلاله ربط مسح الإنشاء. ويمكن إيجاد التحكم بالمشروع مع النُصْب المناسبة خلال مرحلة تصميم المشروع ومسوحات التحكم الأولية. ويكون المقاول/المساح مسؤولاً عن استعادة مسح التحكم الأولي، من خلال تحديد النُصْب المناسبة في الموقع.

وبعد استعادة التحكم، يجب التحقق مما إذا كان جيداً، ويتبع دقة الأمر المعني. فإذا كان التحكم جيداً، يقوم المقاول/المساح بتحديد ما إذا كانت هناك حاجة إلى تحكم إضافي لأغراض الإنشاء، ويكون مسؤولاً عن التوتيد/الإيجاد. وإذا لم يكن كذلك، فسيجب إعادة تحديد التحكم الميداني. ويجب على مالك المشروع والمقاول/المساح مراجعة جميع بيانات مسح التحكم، وتقرير أفضل طريقة لتحقيق التحكم المناسب. ويجب على المقاول تقديم معلومات التوتيد -هذه- إلى مالك المشروع، الذي يجب أن يتحقق -أيضاً- من دقتها.

١٩-١-٢ مرحلة ما قبل الإنشاء:

قبل الشروع في أعمال المسح الإنشائي الفعلية، يجب على المساحين المعيّنين لمشروع الإنشاء فحص المخططات والمتطلبات الخاصة بما يتعلق بإنشاء المشروع. وينبغي أن يكون مهندس المشروع على دراية بأي خطأ أو نقص كبير سوف يلفت انتباه المساح فيما يتعلق بالمشروع قيد الفحص. وبعدها سيتخذ مهندس المشروع جميع الخطوات اللازمة لحلها (IDOT, 2015). يجب إبلاغ صاحب العمل/صاحب المشروع بذلك وسماع رأيه.

لا تسمح المراجعة الشاملة للمشروع -من هذا النوع- بالكشف عن الأخطاء وأوجه القصور فحسب، بل تساعد -أيضاً- المساح على التعرف على المشروع، والاستعداد -بشكل أفضل- لتخطيط عملياته عند بدء أعمال الإنشاء الفعلية. وتعد مراجعة مخطط ما قبل الإنشاء، وإعداد الملاحظات، والحسابات المتنوعة، والعمل الميداني أموراً ضرورية للتشغيل السلس لمشروع الإنشاء.

كما تُعد العلاقات المتنامية بين جميع الجهات المشاركة في إنشاء المشروع ضرورية للتشغيل السلس لمشروع الإنشاء، إذ تساعد الاتصالات الجيدة بين جميع الأطراف المعنية، أي: المقاول، والمهندس، والمساح، والمفتشين في تحقيق هذا الهدف. علاوة على ذلك،

من المهم للغاية- أن يقيم المساح علاقة عمل مع المقاول وأي مشرف آخر، مما يجعل مهمة المساح أسهل بكثير، ويقال -بشكل كبير- من احتمالات حدوث أخطاء.

وهكذا، تشمل إجراءات ما قبل الإنشاء إقامة علاقة جيدة بين جميع الأفراد المعنيين. ولتحقيق هذا الهدف -قبل بدء أنشطة الإنشاء- سيعقد الاستشاري مؤتمراً مع المقاول، وموظفيه المشرفين، بالإضافة إلى الموظفين الهندسيين المعنيين التابعين لصاحب العمل، ويكون لهذا الاجتماع أهمية خاصة لمساح الإنشاء، لأنه يجب أن يخطط، وينظم واجباته لتلبية تسلسل الأعمال المخطط لها من قبل المقاول؛ حتى لا يكون هناك تأخير أو انقطاع في أداء عمله. ويجب أن يكون المقاول وموظفوه على دراية بأهمية الحفاظ على محطات العبور والنقاط المرجعية خلال جميع أعمال الإنشاء (IDOT, 2015).

٣-١-١٩ مرحلة الإنشاء:

خلال مرحلة الإنشاء، يقوم طاقم المسح بتجميع جميع عناصر الطريق الأساسية، التي توجه أعمال الحفر، والرصف، والوضع النهائي لسطح الطريق. مزيد من التفاصيل المتعلقة بمسوحات الإنشاءات موضحة في الفقرات التالية.

١-٣-١٩ بدء العمل:

عند الشروع في أعمال التوثيد، يجب على فريق المسح أخذ زمام المبادرة والتشاور مع المقاول لتحديد أجزاء العمل التي ستحدد بالأوتاد أولاً، وينبغي أن يتفق الطرفان على ما يلي:

- الخطوط والميول المطلوبة.
- التصاريح المطلوبة لمعدات الإنشاء.
- المسائل الأخرى التي تتعلق بأعمال الرسم التخطيطي.

يجب أن يقوم فريق المسح بترتيب عملهم؛ بحيث يكون لديهم -دائمًا- أوتادًا كافية محددة سلفًا؛ حتى لا يتأخر المقاول في بدء العمل. وعلى اعتبار أن علامات تأشير نقاط تصميم الطرق المختلفة -عادة- ما تُطمس في أثناء مرحلة الإزالة والمسح، فمن المفيد إنشاء نقاط مرجعية خارج حدود منطقة الإزالة. ويجب تعيين النقاط المرجعية -على الأقل- كل (٣) إلى (٥) أمتار خلف حدود المنحدرات الموضحة. في المتوسط، يجب تعيين النقاط المرجعية -على الأقل- كل (٧٠) إلى (١٠٠) مترًا. عادةً ما تُوضع النقاط المرجعية في النقاط التي يمكن فيها إعادة إنشاء محاذاة خط المحور بسهولة، مثل نقاط الانحناء (PC).

قبل وضع الأوتاد، يجب إنشاء خطوط المسح والتحقق منها، ويجب استخدام جميع نقاط التحكم؛ للإشارة إلى نقاط جديدة خارج منطقة الإنشاء. ويجب أن ترتبط النقاط الجديدة بنقاط التقاطع (PI)، ونقاط الانحناء (PC)، ونقطة المماس (PT)، ويجب تعيين مقاييس الإنشاء والتحقق منها قبل تعيين الأوتاد.

يجب إغلاق جميع المستويات المأخوذة في أثناء تحديد الأوتاد وكذلك العلامات المرجعية قبل استخدام مناسب الأوتاد. بمجرد تثبيت الأوتاد، يجب أن تُحصى باستخدام ألواح خشبية، وأعلام عالية الوضوح. ويجب أن تحدد الألواح الخشبية بشكل واضح الأوتاد واستخدامها؛ لتجنب الالتباس (IDOT, 2015).

١-٣-١٩ ٢-٣-١٩ تدقيق العمل:

بغض النظر عن طريقة التوثيد المستخدمة، يجب تدقيق العمل قدر الإمكان؛ لتجنب احتمال حدوث أخطاء. ويجب تدقيق البيانات المقدمة من الدراسة المعنية، مثل: منسوب الميل وبيانات المنحنى، وما إلى ذلك، قبل استخدامها. وينبغي التحقق -بشكل متكرر- من جميع القياسات، وملاحظات المستوى، والمسافات المحسوبة. وينبغي إجراء التدقيق بوجود المخططات باليد بدلاً من الاعتماد على ذاكرة المساح.

١-٣-١٩ ٣-٣-١٩ التسجيل:

يتطلب الإنشاء السليم للمشروع أن يتم عمل التخطيط الميداني بدقة، ويجب الاحتفاظ بالملاحظات الميدانية وفقًا لممارسات موحدة ومتوافقة - كحد أدنى - مع الترتيب، وسهولة القراءة، والوضوح، والاكتمال، والاستمرارية، والدقة. ويجب أن يتبع تسجيل الملاحظات الميدانية التعليمات الواردة في الجزء الفرعي (٤-٤-٥) و تسجيل الملاحظات الميدانية.

من الأهمية بمكان أن تكون السجلات الميدانية التي تحتوي على جميع العناصر الضرورية، مثل: الميول، والرسومات، وروابط الخطوط، والعلامات المرجعية، والبيانات الأخرى جاهزة سلفًا. سيؤدي عدم التجهيز إلى الرجوع إلى المخططات -غالبًا- للحصول على معلومات الرسم التخطيطي، مما سيؤدي إلى مزيد من التأخير والإزعاج. ويجب تطبيق تدقيق مستقل للملاحظات والرسومات، كما يجب أن تحتوي السجلات على مناسب الميل على الفترات المطلوبة، وروابط خط المسح، والعلامات المرجعية، وبيانات المنحنى، وأي بيانات أخرى مطلوبة للاستخدام المتكرر (IDOT, 2015).

يجب أن تحتفظ سجلات المسح بسجل كامل مقروء لجميع الأوتاد المثبتة، ويجب أن تتضمن -أيضًا- ما يلي:

- الوصف، وتواريخ تثبيتها، والإحداثيات، والارتفاعات الخاصة بجميع العلامات المرجعية الجديدة، وكذلك الروابط الجديدة الخاصة بجميع النقاط.
- يجب وصف أي طبقة أو تغييرات أخرى من التصميم الأصلي بعناية.

١٩-٣-٤ منهجية التوتيد:

ينبغي اتباع طريقة قياسية للتوتيد، ولكن يمكن أن تختلف؛ لتلبي الشروط الطبوغرافية، ونوع الإنشاء، والمعدات المستخدمة، وتفضيلات المقاول. ويعد هذا أمراً مريحاً للمقاولين الذين يعملون في أكثر من منطقة، كما أنه يقلل من فرصة حدوث ارتباك أو سوء فهم بين المهندسين في ميدان العمل و ممثل صاحب العمل (IDOT, 2015).

تؤدي تطورات هندسة الجيوماتيكس والتطورات التقنية المعاصرة إلى تنفيذ إنشاءات مؤتمتة، حيث تتطلب عملية التوتيد جهداً أقل بكثير من الجهد الذي يبذله المساح الميداني. وتستخدم الأدوات الحديثة التي تشمل: النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS)، ومحطة النقاط المتكاملة، والأدوات المؤتمتة (الروبوتية) في التوتيد، ليس فقط نقاط مفردة بدلاً من نموذج المشروع المقترح بأكمله. في حين أن هذا يقلل بشكل كبير - من الحساب الميداني، إلا أنه لا يزال من الضروري أن يقوم الطاقم الميداني بالتوتيد لجميع العناصر على الأرض بشكل صحيح. يجب أن يقوم موظفو المكتب بفحص الأدوات -بشكل دوري- للتأكد من تحميل النموذج، أو النقاط الصالحة -حالياً- في الأداة المعنية (IDOT, 2015).

١٩-٣-٥ المنحنيات:

يجب تدقيق بيانات المنحنيات المدرجة في المخططات بعناية، بما في ذلك نقاط التقاطع (PI)، ونقاط المماس (PT). وعند التوتيد؛ عادة ما يُطلب القيام بالخطوات التالية (IDOT, 2015):

- ينبغي أن تتم عمليات الإعداد على نقطة التقاطع (PI)، التي يكون بها موجه أمامي وخلفي على نقطة تقاطع (PI) أو نقطة مماس (PT) أخرى، ويجب قياس مسافة الظل (المماسية) بدقة في كل اتجاه، ويجب تعيين المحاور عند نقطة الانحناء (PC) ونقطة المماس (PT) للمنحنى. ويكون رقم محطة نقطة الانحناء (PC) هو رقم نقطة التقاطع (PI)، مطروحاً منه مسافة الظل (المماسية). ومحطة نقطة المماس (PT) هي محطة نقطة الانحناء (PC) زائداً طول المنحنى الخاص بها.
- قبل استعمال المنحنيات، يجب إنشاء جداول المحطات، وزوايا الانحراف، وأطوال الأوتار، والتحقق منها. وبعد إنشاء نقطة الانحناء (PC)، ونقطة المماس (PT)؛ يحدث الإعداد عبر نقطة الانحناء (PC)؛ لمتابعة الشد في المنحنى.

في مناسبات عدة، من الضروري استعمال منحنيات في الاتجاه المعاكس لاتجاه التمرکز. في المنحنيات الطويلة -ذات الرؤية المعوقة- من الضروري الانعطاف عند نقطة واحدة أو أكثر في المنحنى أو المنحنيات؛ لتعيين قيم الإحداثيات.

يجب أن تعلق المنحنيات بمعدل خطأ قدره (٠,٠٧٥) م كحد أقصى لكل (٣٠٠) م طول. يجب توزيع خطأ الإغلاق -بشكل متناسب- على طول كاف. أما في المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة والتي لها مسافات من نقطة منتصف المنحنى إلى نقطة التقاطع (PI)، أي المسافة الخارجية، قدرها (٠,٦) متر أو أقل، يكون من الأسرع استعمال المنحنيات عن طريق التعديلات المماسية. في أي حالة أخرى، ستستخدم قيم إحداثيات المنحنى لتحديد المنحنى.

يمكن مواجهة صعوبة كبيرة في السير في المنحنيات إذا لم تتحقق زوايا التقاطع، ويجب حساب بيانات المنحنى الجديدة.

١٩-٣-٦ التسجيل - المناسيب الأرضية الأصلية للمشروع:

مع نهاية التوتيد الأولي، يجب أن يقوم كل من الاستشاري والمقاول بإجراء مسح مشترك لتسجيل المناسيب الأرضية لممر الطريق. لتقدير كميات الأعمال الترابية فيما يتعلق بمدفوعات الطرق المالية، يجب أن تؤخذ القطاعات العرضية على فترات قدرها (٢٥) م، ويجب أن تستخدم مشاريع البنية التحتية (٢٥) م كفترات تربيعية للشبكة لنفس السبب. يجب أن تجرى حسابات الحجم بعد حساب نموذج التضاريس الرقمية ذي الصلة.

١٩-٣-٧ حفر الاستعارة:

تنشيت الأوتاد والحصول على القطاعات العرضية لحفر الاستعارة أمر بالغ الأهمية لإجراء حسابات دقيقة للحجم، حيث يجب أن يتم ذلك بعناية وبأكثر من الدقة العادية، لتجنب الارتباك، وإمكانية حدوث خلاف مع المقاول حول الأحجام المعنية.

يمكن إجراء حسابات الحجم لحفر الاستعارة باستخدام أوتاد، عبر مجموعة قطاعات عرضية، تشير إلى خط الأساس (وخطه الموازي على جانب الحفرة المقابل)، كما هو موضح في (IDOT, 2015). في حال تجهيز حفرة الاستعارة من قبل الجهات المعنية، يجب توتيدها قبل بدء الإنشاء (لتجنب تعدي المقاول على الممتلكات الخاصة). في الحالات الأخرى، حيث تُجهز حفرة الاستعارة من قبل المقاول، بناءً على الموافقة والتراخيص اللازمة، فإن المقاول يجب أن يقوم بتمكين المساح من التوتيد المناسبة، وأخذ القطاعات العرضية الأولية اللازمة.

عند استخدام الأوتاد لحساب حجم حفرة الاستعارة، وعندما تكون الحفر مجاورة لحرم الطريق، فمن المناسب استخدام خط محور الطريق كخط أساس، وسيكون البعد الطويل للحفرة موازياً لخط الأساس. وفي كل حالة، يجب الحفاظ على خط الأساس، أو يمكن إعادة إنشائه حتى يُنتهى من كل الأعمال. ويجب أن تكون الخطوط الأساسية -دائماً- خطوطاً مستقيمة، بغض النظر عن شكل حفرة الاستعارة، والنقاط المرجعية المتبقية على الأرض بعد اكتمال أعمال الاستعارة (IDOT, 2015). وفي هذه الحالة، يمكن إجراء حساب الحجم مباشرة عن طريق قياسات ارتفاع دلتا (delta)، المأخوذة بناءً على الأوتاد قبل الاستعارة الأرضية وبعدها.

يمكن -أيضاً- إجراء حساب حجم حفرة الاستعارة من خلال إجراءات نموذج التضاريس الرقمية، التي أصبحت أكثر تكراراً في السنوات الأخيرة. على وجه التحديد، يمكن استخدام أي طريقة مناسبة، مثل تلك الطرق الموضحة في الباب (١٧)؛ للحصول على

نموذج التضاريس الرقمية الأولي والنهائي (بعد الاستعارة)، ثم استخدامها لإجراء حسابات الحجم بالطرق التقليدية (القطاعات العرضية)، أو أي طريقة أخرى توفرها البرمجيات المعاصرة.

وتجدر الإشارة -هنا- إلى أنه في حال تعرضت حفرة الاستعارة للفيضانات، وتعليق المقاول العمل لفترة طويلة، يجب قطع الحفرة بشكل عرضي -على الفور- بعد توقف العمل. في حال حدوث فائض؛ يجب قطع الحفرة بشكل عرضي مرة أخرى قبل بدء العمل، حيث قد تؤثر الرواسب الغرينية -بشكل ملحوظ- على الكميات المقاسة (IDOT, 2015).

١٩-١-٣-٨ التسوية السطحية:

عادةً ستستخدم ثلاث مجموعات من الأوتاد للتحكم في عقد الإنشاءات. وتشمل هذه المجموعات (IDOT, 2015):

- حرم الطريق، والتحكم، والهيكل.
- درجة الميل التمهيدية.
- درجة الميل النهائية.

قبل عمليات التوتيد، يجب الاتفاق على الطريقة المعينة مع المقاول، إذ يجب اختيارها لتوفير الدقة اللازمة لكل عملية، وتُدون في السجل الميداني وتُعطى للمقاول مكتوبة. وقبل البدء بالعمليات الخاصة بأعمال الأتربة، يجب فحص ارتفاعات الأرض الأصلية للتأكد من دقتها.

وبعد تحديد سمات الأعمال الترابية، يلزم وجود خط من الأوتاد على طول خط محور الطريق، مما يوفر اكتمال ميل القمة. بعد إنشاء الطريق، ومع الاقتراب من الوصول إلى درجة الميل المطلوبة قدر الإمكان باستخدام الأوتاد السابقة، يجب وضع أوتاد الخط والرصف على فترات تبلغ (١٠) أمتار، بل يكون مطلوب وضع فترات على مسافات أقرب في المنحنيات الأفقية أو الرأسية الضيقة. يجب أن تكون الأوتاد المستخدمة لهذا الغرض من المعدن، وبطول كافٍ لاختراق درجة الميل بدرجة كافية، بحيث لا تتسبب حركة المعدات في حدوث اختلافات بمجرد تحديد درجة الميل. ويمكن بناء طبقة ما تحت الأساس وطبقة الرصف من أوتاد الرصف هذه (IDOT, 2015).

قبل عمليات الأعمال الترابية، قد يكون من الضروري وضع أوتاد ميول؛ لتحديد أسفل الميل للخنائق أو مناطق الردم. ينبغي أن تشير هذه الأوتاد إلى أعمال القطع أو الردم للطريق والخنق، وموقع المحطة، ومسافة الإزاحة، ومعدلات الميول من الودت حتى أسفل الميل. يجب استخدام علامة ملحوظة عند نقاط التوازن، التي تمثل نقطة تقاطع الميل الجانبي ومستوى الأرض القائم.

يجب مراجعة بيانات المنحنى، والقطاعات النموذجية الموضحة في المخططات لمعدلات التعلية الجانبية، وحدود التعلية الجانبية، وأطوال المنحنيات الانتقالية، ونقاط الدوران. في بعض الحالات، قد تؤدي هذه التعلية الجانبية إلى حدوث مشكلات في الصرف، خاصةً في الرصفيات العريضة الموضوعة في تضاريس مستوية. يجب مراجعة أي شكوك بشأن التعلية الجانبية للرصف، مع المقاول والمصمم وصاحب العمل (IDOT, 2015).

١٩-١-٣-٩ العبارات:

قبل توتيد أي عبارة، ينبغي التحقق في الحقل من أن الموقع -حسب الموضح على المخططات- سوف يناسب القناة بالصورة المثلى. في حال وجود أي شك بشأن نقل العبارة من مكانها، أو تعديل زاوية الانحراف، يجب إبلاغ المقاول والمصمم وصاحب العمل لفحص ما إذا كان يجب تغيير موقع وخصائص العبارة.

يجب ضبط جميع مداخل العبارات لتلائم خندق الطريق، سواء من حيث الصف أو درجة الميل. وتحدد مداخل العبارة بواسطة بوتدين على خط المحور الخاص بفوهة العبارة. وفوق هذه لأوتاد، يجب وضع علامة على قطع خط تدفق الخندق. إذا بُنيت جدران احتجاز (رأسية)؛ فيجب أن يكون الارتفاع العلوي للجدارين الرأسيين موازياً لميل الكتف، حتى لو كان ميل الخندق ليس بنفس درجة ميل الرصف (IDOT, 2015).

وتوتد العبارة نفسها بواسطة خط محور فوهتها، وبوضع وتد على خط المحور بمسافة لا تقل عن (١,٥) متراً خارج كل جدار رأسي. ويجب أن تشمل الأوتاد المسامير التي توفر الخط المعني، ويجب أن يُميز الودت بخط قطع التدفق، المقاس من قمته، ويجب -دائماً- التحقق من طول المخطط؛ للتأكد من دقته.

في بعض الأحيان، بعد بناء القوالب، من الضروري ضبط الارتفاع، لاستخدامه في الجزء العلوي من الجدران الرأسية، ويجب أن يزود المقاول بالارتفاعات الموجودة على القوالب التي يتم عندها تحديد الحافة المشطوفة. كما يجب أن تكون قمم الجدران الرأسية موازية لدرجة ميل خط محور قاع الطريق (IDOT, 2015).

١٩-١-٣-١٠ الرصف:

قبل توتيد الرصف الفعلي، يجب إعداد سجلات ميدانية، ويجب التحقق من جميع درجات الميل المحسوبة والموضحة في المخططات؛ حيث يجب حساب أي درجة ميل محسوبة للنقاط الأخرى، والتحقق منها. ومع الأخذ في الاعتبار أن الرصف الجديد مرتبط بالرصف القائم؛ فيجب فحص جميع الارتفاعات النسبية.

يجب تضمين البيانات التالية في السجلات الميدانية، بالإضافة إلى الارتفاعات (IDOT, 2015):

- منسوب كل حافة من حواف الرصف على المنحنيات ذات التعلية الجانبية، وعلى المنحنيات الانتقالية ذات التعلية الجانبية في نهايات المنحنيات، بفترات قدرها (١٠) أمتار.
- الروابط الخاصة بجميع نقاط التحكم في خط المسح، ونقاط الانحناء (PC)، ونقاط المماس (PT)، ومواقع وارتفاعات العلامات المرجعية.
- الجداول الخاصة بزوايا انحراف المنحنى والأوتار.
- جداول الإزاحة عن خط المسح، لتشكيل خط الأوتاد عند الحاجة.

تتم عملية توتيد الرصف من خلال عمليات إنشاء خط حبال. وتتضمن عملية إقامة خط الحبال أوتاداً معدنية تُثبت على فترات بمقدار (١٠) أمتار، على طول كلا جانبي الطريق أو على جانب واحد منه. ويتطلب التوتيد على جانبي الطريق استخدام معدات إنشاء مزودة بأجهزة استشعار؛ للتحكم في الميول المؤتمتة المثبتة على كلا الجانبين (الأيمن والأيسر) من الماكينة. من ناحية أخرى، يتطلب التوتيد في جانب واحد استخدام آلة مجهزة بأجهزة استشعار متصلة بها من جانب واحد. يبلغ طول الأوتاد المعدنية عادة (٦٠) سم، وتُثبت على المحاور لكل من آلات الإنشاء ذات المسارات المزدوجة والمسارات الفردية. بالنسبة للمقاطع والميول ذات التعلية الجانبية؛ يجب وضع الأوتاد المعدنية كل (٥) أمتار؛ لتحقيق الدقة ومطابقة القياس بشكل أكبر (Lee, 2007).

يجب تقييم موقع وموضع كل خط حبال على الطريق بشكل منفصل، لأن ظروف كل جزء من الطريق قد تختلف باختلاف التعلبات الجانبية، والقمم/التيجان، والإزاحات. بالإضافة إلى ذلك، يجب وضع كل خط حبال على مسافة ثابتة من خط محور الطريق (أو الحافة النظرية للرصف). يجب -أيضاً- تعليق كل خط حبال على ارتفاع ثابت، فوق المستوى الذي يمر عبر الأركان السفلية للبلطة المقترحة (Lee, 2007).

١٩-١-٤ مرحلة ما بعد الإنشاء/كما-هو-مُنفذ:

الغرض من مسوحات كما-هو-مُنفذ هو التحقق مما إذا كان الإنشاء الفعلي قد اكتمل كما هو متوقع وفقاً لتصميم المحاذاة الأفقية، والمحاذاة الرأسية، والقطاعات العرضية. على هذا النحو -في هذه المرحلة من أعمال المسح- يتم التأكيد على توافق الإنشاء مع التصميم. وينبغي تحديد مواضع جميع عناصر الطريق، من المنافع العامة حتى صرف الطريق، أفقياً وعمودياً بعد الإنشاء، ووضعها معاً في مسح كما-هو-مُنفذ. وترسل المخرجات/النتائج النهائية لهذا المسح إلى الجهة المختصة، بحيث يمكن مقارنتها بالمخططات المعتمدة للمشروع.

يتضمن مسح كما-هو-مُنفذ -على سبيل المثال لا الحصر- جميع المواقع المنفذة نهائياً والخاصة بالمنشآت، والمنافع، وغرف التفريش، والصمامات، ومصارف مياه السيول، وخزانات تجميع المياه، والبردورات والمزاريب، والرصف، وهياكل اللافتات، وأعمدة الإنارة، وإشارات المرور، وما إلى ذلك.

ينبغي -تفضيلاً- إجراء القياسات النهائية للعناصر المنشأة بشكل متزامن مع عمليات الإنشاء، مما يؤدي إلى مزيد من الدقة والموثوقية. بالنسبة للعناصر التي لا يمكن تدقيقها إلا بعد اكتمال الإنشاء، سيُجرى المسح النهائي بعد ذلك.

يجب تحديث المخططات الأصلية لإظهار أي تعديلات أو إضافات أُجريت في أثناء مرحلة الإنشاء. وفي هذه الحالة، يجب تدوين التصويبات، والتغييرات، والإضافات -بشكل صريح- على صفحات المخطط النهائي.

توفر القائمة التالية بعض المعلومات التي يجب تدقيقها ميدانياً، وتصحيحها، وإضافتها على صفحات المخطط الأصلي (IDOT, 2015):

- التحكم الأفقي والرأسي.
- الموقع والأبعاد والارتفاعات لمنشآت الصرف.
- التغييرات في القطاعات النموذجية.
- المسار الأفقي.
- درجة ميل القطاع الطولي.
- جميع الوحدات الموجودة تحت الأرض (الكابلات، والمجاري/ conduits، والأنابيب، وما إلى ذلك)

يجب ربط مواقع التنفيذ النهائي لعناصر المشروع -بما في ذلك الارتفاعات- بالمرجعين المعتمدين (KSA-GRF17) و (KSA-GRV14)، ما لم ينص صراحة على خلاف ذلك في العقود ذات الصلة.

١٩-١-٥ الدقة:

تختلف مسوحات الإنشاء على أساس كل مشروع على حده. بالإضافة إلى ذلك، يشهد استخدام التوجيه الآلي والتلقائي للإنشاء تقدماً سريعاً، وسيصبح في النهاية هو القاعدة وليس الاستثناء. قد يؤدي حدوث أي خطأ في التوتيد إلى عمل يحتاج إلى تكرار ذلك، وقد يؤدي حتى إلى هدم وتكرار الإنشاء. وهكذا، يجب على فريق المسح أن يطلب من أي جهة معنية إخطارهم على الفور إذا كان من المحتمل وقوع خطأ في أي وتد ميل في أي وقت، حيث إن مثل هذا الإجراء من شأنه تزويد فريق المسح بالقدرة على التحقق من الارتفاع قبل التقدم في العمل بدرجة كبيرة.

يجب أن تتبع مسوحات التحكم الإضافية التي وُضعت في أثناء مرحلة الإنشاء لزيادة التحكم الأصلي في المشروع نفس المواصفات التي أستخدمت في المسح الأصلي، وذلك باتباع درجات الدقة الواردة في الأبواب (٧) و (٨) و (١٠) الخاصة بمسوحات التحكم. كما يجب -أيضًا- أن تتبع نقاط التقاطع (PI)، ونقاط المماس (PT)، ونقاط الانحناء (PC)، وغيرها من نقاط المحاذاة الممتدة درجات الدقة المُعطاة لمسوحات التحكم من الدرجة الثالثة على الأقل. ينبغي -أيضًا- أن تتبع المحطة الأساسية المحددة للتحكم في المعدة نفس المواصفات المطلوبة لضبط المشروع الأصلي (IDOT, 2015).

يجب أن يُحدد السطح النهائي للأعمال الترابية بالأوتاد، وفقًا للقطاعات الطولية والميول والقطاعات العرضية والتعليقات الجانبية الواردة في دراسة التصميم -ذوي الصلة- مع تفاوتات ارتفاع تبلغ (± 30) ملم، ويجب تهيئة مستويات سطح الأرض العلوي لأعمال الحفر، والسكك الحديدية، وفقًا للارتفاعات، والميول الطولية والعرضية التي قدمتها الدراسة، كما يجب ألا تظهر تفاوتات الارتفاع فيما يتعلق بالتفاوتات النظرية المقدمة في الدراسة -انحرافات تزيد عن (٢٠) ملم.

وفقًا للمناقشة السابقة، يمكن توثيق المستوى العلوي من الأعمال الترابية بمسح طريقة الحركة في الوقت الحقيقي، باستخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS RTK) التقليدي، باستخدام العلامات المرجعية المناسبة كأساس داخل موقع الإنشاء. يجب أن يوثق الرصف النهائي باستخدام محطة النقاط المتكاملة لتحقيق درجات دقة أعلى.

١٩-٦ نماذج الملاحظات:

يجب تدوين الملاحظات الميدانية بملء نماذج مُعرّفة سلفًا لمسوحات الإنشاءات في أثناء القيام بتنفيذ مسح الإنشاء، ويجب أن تحتوي هذه الملاحظات على قوائم الأوتاد لجميع العناصر التي مُسحت وبيان مواضع التوثيق فعليًا فيها.

١٩-٢ الجسور:

١٩-٢-١ بدء المشروع:

يوفر مالك المشروع التحكم الأولي، الذي بناءً عليه سٌربط مسح الجسر، وبعد استعادة عنصر التحكم، يجب التحقق مما إذا كان جيدًا، ويتبع درجات دقة الأمر المعني. إذا كان التحكم في حالة جيدة، يقوم المقاول/المساح بتحديد ما إذا كانت هناك حاجة إلى تحكم إضافي لأغراض الإنشاء، ويكون مسؤولاً عن توثيقه/إيجاده. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فسيجب إعادة تعيين عنصر التحكم الميداني، ويجب على مالك المشروع والمقاول/المساح مراجعة جميع بيانات مسح التحكم، وتحديد أفضل طريقة لتحقيق التحكم المناسب.

يجب التحقق من نقاط التحكم المستعادة، التي تتبع معايير دقة الأمر المعني، وإعادة إنشاء وإضافة تحكم إضافي إذا لزم الأمر، وتكون درجة سماحية الجسر أقل قيمة من السماحية المستخدمة لإنشاء الطرق البسيطة. لذلك فإن فحص التحكم في المشروع يستغرق وقتًا أطول.

١٩-٢-٢ مرحلة ما قبل الإنشاء:

يجب اتباع المبادئ التوجيهية الواردة في الجزء (١٩-٢) لأعمال مشاريع الطرق -أيضًا- في هذه المرحلة. علاوة على ذلك، يجب الاتصال بالمقاول بشأن مكان تخزين المعدات والمواد؛ لتجنب التوثيق وإيجاد نقاط تحكم في هذا الموقع.

قبل توثيق الجسر، ينبغي فحص أبعاد المخطط والارتفاعات. ويُعد التحقق من ارتفاعات قاع الأساس (القاعدة) من الأمور بالغة الأهمية. ويجب إجراء مسح باستخدام نموذج التضاريس الرقمي أسفل الجسر لغرض تحديد القطاع الطولي للحافات وخط المحور للطريق أو حدود الوادي الفاصلة؛ من أجل التحقق منها مقابل ارتفاع الهيكل الجديد. وسُجمع معلومات أكثر تفصيلاً عن نموذج التضاريس الرقمي في مناطق القواعد؛ لحساب أعمال الحفر ودفعات المقاول. ويجب أن يجرى مسح أعماق البحار إذا ما تطلب الأمر ذلك.

١٩-٢-٣ مرحلة الإنشاء:

تكون جميع جوانب عملية توثيق الإنشاء المذكورة في الجزء الفرعي (١٩-٣) في هذا الباب قابلة للتطبيق -أيضًا- في مسح إنشاء الجسور. وتتضمن الفقرات التالية بيانًا حول الإجراءات والتعليمات الإضافية المطلوبة.

١٩-٢-٣-١ عام:

قبل البدء الفعلي في عمليات الإنشاء، يجب إجراء عملية التوثيق، والفحص، والرجوع إلى النقاط المرجعية فيما يتعلق بالمنشأة بأكملها، وسيتم استخدام الأوتاد المثبتة في أثناء الإنشاء عدة مرات، بدءًا من التوثيق في أثناء حفر الأساس حتى اكتمال إنشاء الجسر في نهاية المطاف. ومع تقدم أعمال الإنشاء، فإن العديد من عناصر الإنشاء ستعيق الرؤية بين الأوتاد، لذا يجب أخذ هذه الحقيقة في الاعتبار عند تحديد أماكن الأوتاد والمراجع الأولية. على هذا النحو، فإن وجود القليل من النقاط الإضافية الموثقة أمر مرحب به دائمًا. لهذا الغرض، يجب استخدام العديد من الأوتاد الموضوعة خارج منطقة الإنشاء الفعلية: يجب وضع ثلاث أوتاد -على الأقل- في كل خط وفي كل اتجاه من الموقع. ويجب التحقق من جميع ارتفاعات الأوتاد، كما يجب ضمان حماية الأوتاد، وسهولة الرجوع إليها، وتحديدًا بوضوح.

يجب وضع نقاط تحكم موجبة على كل ركيزة ودعامة طرفية بحيث يمكن في أثناء بناء جسم الطريق (embankments) المخروطي للجسر إجراء عمليات فحص بالأدوات بسهولة للكشف عن أي حركة.

يجب تسجيل كل وتد والارتفاعات المُعطاة للمقاول، وينبغي رسم كل سمة للجسر إلى جانب الأوتاد الموضوعة ومراجعتها والمسافات الخاصة بها، كما يجب مشاركة المخططات والمعلومات الخاصة بالتوثيق مع المقاول؛ لتجنب النزاعات المحتملة في المستقبل (IDOT, 2015).

ويجب أن يقوم طرف ثالث مستقل بالتحقق من جميع أعمال الرسم التخطيطي.

١٩-٢-٣-٢ التثليث:

مع الأخذ في الاعتبار ضرورة الحاجة إلى الأساليب عالية الدقة في أعمال إنشاء الجسور التي تتضمن -عادةً- هياكل طويلة، يجب قياس مواقع الركائز والدعامات الطرفية، من خلال تقنية محطة النقاط المتكاملة، بواسطة طرق التثليث، أو أي نظام قياس محكم آخر (IDOT, 2015). يجب -أيضًا- استخدام المستويات لأغراض التسوية.

عندما يتم تثليث المواقع -خاصة في الجسور الطويلة- ستُستخدم السمات الخرسانية فقط -أو الأوتاد الكبيرة العميقة والمقطعة بالقرب من مستوى الأرض، ويجب إجراء قياسات الطول -دائمًا- باستخدام محطات النقاط المتكاملة وبالوحدات الإلكترونية لقياس المسافة .

يجب تعيين خطوط التقاطع لكل ركيزة، بزاوية (٤٥) درجة مع خط الأساس، متى أمكن ذلك، حيث يجب أن يمتد خط الأساس لكلا الجانبين من خط المحور للجسر. يجب أن تتدفق خطوط التقاطع إلى نقاط فوق مستوى المياه العالية على جانبي الممر المائي أو الوادي، بحيث يمكن تعيين المواقع عند غمر الأرض المنخفضة. وينبغي ضبط الزوايا باستخدام التكرار، وينبغي التحقق منها بالقياسات (IDOT, 2015).

يجب هنا استخدام المبادئ التوجيهية العامة للبابين (٧) و (٨) فيما يتعلق بمسوحات التحكم الأفقية والرأسية.

١٩-٢-٣-٣ تحديد الخط المركزي (المحور):

لا يتطابق الخط المركزي لهيكل الجسر -دائمًا- مع محور الطرق. يجب إنشاء نقطتي تقاطع أو نقطتي تماس -على الأقل- تُؤخذان من مخططات الطرق أو ملاحظات المسح، وربطهما بشكل دائم في كل اتجاه من الجسر. ويكون نطاق هذه العملية هو التأكد من صحة زاوية التقاطع في كلا اتجاه الجسر. في حال عدم رؤية نقطة التقاطع (PI) أو نقطة التماس (PT) في كل اتجاه من الجسر، فيجب إنشاء نقطة تماس جديدة على كل جانب من الجسر، في أقرب نقطة ممكنة من نقطة التقاطع (PI) أو نقطة التماس (PT) الأولية. ويجب وضع نقطة تجمع (hub) دائمة على الخط الوسطي، بالقرب من الجسر، دون إعاقة أعمال المقاول، كما يجب أن يُطلب من المقاول الحفاظ على إخلاء المعدات والمواد بين نقاط التجمع هذه. يجب وضع هدف تصويب دائم على الخط الوسطي للجسر وبارتفاع تسمح به الأرض، ويجب أن يكون من الممكن وضع الخط الوسطي من جانبي المجرى/الوادي (IDOT, 2015).

يجب إنشاء نقاط تجمع على الخط المركزي للحامل، أو الجزء الخلفي من الدعامة الطرفية، وعلى الخط المركزي لكل ركيزة. ويجب استخدام أوتاد ثقيلة ومسامير للخطوط بنقاط التجمع هذه. ويجب وضع العلامات المرجعية الدائمة في أقرب مكان ممكن من الجسر، ويجب التحقق من العلامات المرجعية الأصلية قبل إنشاء نقاط إرشادية أخرى في موقع الجسر، كما يجب نقل العلامات المرجعية الجديدة إلى الخرسانة الدائمة أو الركائز على الهيكل، ثم استخدامها في العمل المتبقي، ولا ينبغي وضع العلامات المرجعية المؤقتة على السدود المشيدة حديثاً؛ لأنها قد تستقر/تهبط (IDOT, 2015).

١٩-٢-٣-٤ توثيق الدعامات:

عند توثيق الدعامات، يجب السماح لأي انحراف متوقع للدعامات، بحيث يكون طول الامتداد بعد الانحراف كما هو موضح أصلاً في الدراسة المعنية، ويمكن حساب الانحراف من الناحية النظرية. ومع ذلك يمكن أن يكون هذا محل ريب، بسبب الإعدادات البيئية الدقيقة في الردم والقواعد. لذلك يُفترض أن ضغط الردم سينقل الجزء العلوي من دعامة مغلقة، أو خازوق خرساني، أفقيًا بمعدل (٥) ملم لكل متر ارتفاع يُقاس من قاعدة الجسر إلى قاع الأساس/القواعد. بالنسبة للدعامات الطرفية المفتوحة؛ فإن نفس الحركة المفترضة تكون (٢,٥) ملم لكل متر. إذا كان امتداد (بحر) الجسر فرديًا، وكان تصحيح انحراف الدعامات ضروريًا؛ فينبغي إضافة الانحراف الكلي لكلا الدعامتين إلى طول الامتداد الأصلي الموضح في المخططات (IDOT, 2015).

يجب ضبط زاوية انحراف الدعامة على نقطة التجمع التي ضُبِطت على الخط الوسطي للحامل، أو الجزء الخلفي من الدعامة مع خط المحور للهيكل. على هذا الخط المنحرف، يجب تعيين نقاط التجمع على النحو التالي:

- واحدة بالقرب من الجسر.
- اثنتان على مسافات ٦٠ و ١٢٠ متر، أو أبعد ما يمكن عن الجسر.

يجب فحص زاوية الانحراف بالتكرار قبل المتابعة (IDOT, 2015).

١٩-٢-٣-٥ توثيق الركائز:

يتم تعيين زاوية الانحراف للركائز بنفس الطريقة المتبعة في وضع الدعامات، التي تحدد نقاط التجمع الإضافية في كل اتجاه. يجب أن يأخذ المساح في الاعتبار أن الخط الوسطي للحامل، والخط الوسطي للركيزة ليسا متماثلين دائمًا. يجب مراقبة المحاذاة الرأسية للركيزة بمحطة نقاط متكاملة في أثناء صب الخرسانة (IDOT, 2015).

١٩-٢-٣-٦ توثيد الأساسات:

في أثناء توثيد الأساسات، يجب مقارنة ارتفاع القاع حسبما تم قياسه في الموقع مع المخططات ذات الصلة. وإذا ما وجد فرق يزيد عن (٣٠) سم، عندئذٍ يجب على المساح التشاور مع المقاول، ومالك المشروع، وما إلى ذلك، من أجل تعديل التصميم حسب الحاجة. وفي حال تطبيق أشكال خط تحديد الخريطة في القاعدة/الأساس، عندئذٍ يجب إنشاء الجزء العلوي من القاعدة/الأساس عن طريق وضع مسامير بأداة في نقاط ملائمة حول القاعدة. عندما تكون الأساسات عميقة جدًا لضبط الارتفاعات بشكل مباشر، يمكن إنشاء المنعطفات عن طريق القياس وصولاً إلى مسمار من نقطة ارتفاع معروفة (IDOT, 2015).

١٩-٢-٣-٧ ارتفاعات متنوعة:

يجب ضبط جميع الارتفاعات بمستويات و/أو محطات النقاط المتكاملة. بعد بناء النماذج الخاصة بقاعدة الدعامات أو غطاء الركيزة؛ يجب تعيين نقاط تدرج الميل لارتفاعات قاعدة الجسر باستخدام الأداة المعنية. كما يجب -أيضًا- تعيين الارتفاعات في الأعلى والأجنحة باستخدام أداة. ويجب فحص ارتفاعات القاعدة بعد صب الخرسانة. ويجب فحص ارتفاعات قاعدة الجسر، عن طريق طرح سماكة السطح، والفجوة الدنيا بين أسفل بلاطة السطح والكمرة/العارضة (fillet)، والكمرة، وارتفاعات المحمل من ارتفاعات السطح المكتمل، قبل تحديد ارتفاعات قاعدة الجسر في الحقل. على بحور (امتدادات) الجمالونات الحديدية المدعومة بالسقالات والشدات الإنشائية المؤقتة، من الضروري تعيين كل نقطة دعم باللوحة على ارتفاع الحدة/التقوس بالضبط، قبل إجراء أي توصيلات.

١٩-٢-٣-٨ جسور الوديان:

تُحدد عناصر الجسر الهيكلية التي تقع تحت الماء من نقاط الضبط الأرضية، ويجب تثبيت نقاط ضبط مؤقتة على سد الإنضاب (cofferdam) عند إنشاء كل هيكل. ويجب التحقق من نقاط الضبط المؤقتة -هذه- وفحصها بشكل متكرر، على الأقل قبل كل مرحلة إنشاء؛ للتأكد من أن عنصر الضبط المحدد لم يتحرك أفقيًا ولا رأسيًا.

يجب تثبيت أوتاد الحماية عند كل محور، مع وضع علامات على المخطط؛ لتجنب أي التباس. وفي العديد من الحالات، يجب إنشاء خط أساس للمياه المنخفضة، والمياه المرتفعة. يمكن -عادة- إنشاء خطوط الأساس القائمة أعلى ارتفاعات الماء المنخفضة بالقرب من موقع الجسر.

يجب التحقق من ارتفاعات جزء القاعدة السفلي -كما هو موضح في المخططات- ومقارنتها بالمسافة الفعلية الموجودة أسفل قاع البحر، أو المجرى المائي، وفي حالة وجود اختلافات كبيرة، يجب على المقاول استشارة مالك المشروع أو المصمم لاتخاذ التدابير المناسبة.

يُفضل وصف موقع سدود الإنضاب من خلال مركز الرصف والخط المركزي للهيكل، بما يُمكن المقاول -بعد ذلك- من التحكم في أبعاد الهيكل، ومعرفة الأحمال اللازمة للقواعد، والصرف، وحجم الدعامات، والحواجز، وغيرها، ويجب أن تُحدد مواقع سدود الإنضاب عن طريق المسح المثلي.

١٩-٢-٤ مرحلة ما بعد الإنشاء/كما-هو-مُنفذ:

تُطبق -أيضًا- المبادئ التوجيهية العامة الواردة في الجزء الفرعي (١٩-٤-١) في هذا المجلد؛ بخصوص مرحلة ما بعد الإنشاء/كما-هو-مُنفذ؛ إذ يجب أن يبدأ مسح كما-هو-مُنفذ بمجرد أن يصبح ذلك ممكنًا، مما يعني أنه يجب تحديد المواقع الأفقية والرأسية الفعلية للسمات في الهيكل المكتمل بمجرد إنشاء السمات.

يتم هذا وفقًا للتوجيهات العامة، التي ينبغي أن تقضي بإجراء القياسات النهائية للإنشاءات بالتزامن مع عمليات الإنشاء.

يجب تحديث المخططات الأصلية؛ لإظهار أي تعديلات أو إضافات أُجريت في أثناء مرحلة الإنشاء. في هذه الحالة، يجب تدوين التصحيحات، والتغييرات، والإضافات -بشكل صريح- على صفحات المخطط النهائي.

١٩-٢-٥ الدقة:

يُعد المسح الإنشائي للجسور تحديدًا من حيث الدقة، التي يجب ألا تفوق (١٠) ملم أفقيًا و (٥) ملم رأسيًا؛ ما لم يُحدد خلاف ذلك من قبل الجهة المعنية/صاحب المشروع (DMAT, 2016).

١٩-٢-٦ نماذج الملاحظات:

كما هو الحال في إنشاء الطرق، يجب تدوين الملاحظات الميدانية بملء النماذج المحددة -سلفًا- لمسح إنشاء الجسور في أثناء عملية المسح الإنشائي، إذ يجب أن تحتوي هذه الملاحظات على قوائم توثيد جميع العناصر التي مُسحت مع تدوين المواضع الموثقة الفعلية فيها.

١٩-٣-١: الأنفاق:

١٩-٣-١ بدء المشروع:

تشمل خطوات ما قبل الإنشاء الخاصة بحفر الأنفاق بالتنقيب (Bernhard Maidl, 2012) ما يلي:

- تحديد المدى الجغرافي، حيث ستُنَفَّذ أعمال الإنشاء، وتصمم شبكة مراقبة المسح لتغطية المنطقة بأكملها.
- إجراء مسح استطلاعي لتحديد المراقبة (الموجودة والمحيطية)، وإنشاء محطات جديدة.
- إعداد شبكة مراقبة مسح، تربط جميع المحطات بالمحطات المعروفة بإحكام.
- استكمال قياسات الزاوية والمسافة بين المحطات، متبوعة بضبط المربعات الصغرى؛ لحساب إحداثيات محطات التحكم.

١٩-٣-٢ مرحلة ما قبل الإنشاء:

يجب -أيضاً- اتباع المبادئ التوجيهية الواردة في الجزء الفرعي (١٩-١-٢)، فيما يتعلق بأعمال ما قبل الإنشاء، الخاصة بمشاريع الطرق في هذه المرحلة.

١٩-٣-٣ مرحلة الإنشاء:

يسري العديد من جوانب عملية توثيد الإنشاء-المذكورة في الجزء الفرعي (١٩-١-٣) من هذا الباب- على مسح إنشاء الأنفاق. وتتضمن الفقرات التالية وصفاً للإجراءات والتعليمات الإضافية المطلوبة.

تُوضع شبكة التحكم الأصلية والجديدة على سطح الأرض، لذلك -قبل الإنشاء الأولي- يجب إنشاء محطة تحكم ثانوية في موقع انطلاق آلة حفر الأنفاق بالتنقيب (TBM)، ثم تُنقل إلى محطة التحكم في النفق على مستوى تحت الأرض. ويجب إجراء المحاذاة والتحكم في مستوى نفق الحفر باستخدام شبكة التحكم المثبتة والمحطة المتكاملة.

١٩-٣-٣-١ إجراءات حفر الأنفاق بالتنقيب:

لا يمكن -مطلقاً- توجيه آلة حفر الأنفاق بالتنقيب -المستخدمة في حفر الأنفاق- على الخط المكاني المقصود. واعتماداً على نوع حفر الأنفاق بالتنقيب، ونوع التربة في المنطقة، فإن آلات حفر الأنفاق بالتنقيب إما أن تسمح بعمليات التصحيح السريعة، أو تتبع سلوك رد فعل خامل.

يجب أن يُظهر المسح داخل النفق موقع آلة حفر الأنفاق بالتنقيب، فيما يتعلق بالخط المقصود مع تقدم أعمال الإنشاء؛ مثلاً: كل نصف متر. حُقّق ذلك لأول مرة في ظروف العالم الحقيقي مع تقدم تثبيت الموضع الذي يتم التحكم فيه بواسطة الحاسوب (Bernhard Maidl, 2012).

تسمح أدوات المسح المعاصرة بمراقبة دائمة لموقع آلة حفر الأنفاق بالتنقيب، ويتحقق ذلك من خلال تلقي شعاع ضوء الليزر، في نظام استقبال نشط، يُثبت -بشكل دائم- بآلة حفر الأنفاق بالتنقيب. باستخدام هذه الطريقة، يُحسب الانحراف الطولي، والدرجة لآلة حفر الأنفاق بالتنقيب في نفس الوقت (Bernhard Maidl, 2012). كما تستخدم -أيضاً- مقاييس الميل، التي تقيس زوايا التدرج والميل المستخدمة في آلات حفر الأنفاق بالتنقيب.

تُحدد الزاوية الدقيقة للانعراج باستخدام مستشعرات ذكية؛ حيث يستهدف انحراف جهاز الاستقبال النشاط المحور الطولي للجدول إلى شعاع الليزر، وتُستخدم الاختلافات في الاتجاهات (الأفقية والرأسية) للنقطة، التي يمر فيها شعاع الليزر عبر الجدول المستهدف إلى الموضع المقصود، مع زوايا التدرج، والميل، والانعراج؛ لحساب المستوى، والموقع الصحيحين.

بعد تحديد موضع آلة حفر الأنفاق بالتنقيب، يمكن حساب المسار المثالي أمام آلة حفر الأنفاق بالتنقيب. إذا كانت هناك انحرافات طفيفة -فقط-، فسيظل المسار المقصود هو محور القيادة المستقبلي، أما في حال وجود انحرافات لعدة سنتيمترات، يحسب البرنامج الذي يتحكم في العملية منحني التصحيح المناسب، بدءاً من أحدث منحني -محفور فعلياً- ويتوجه في حدود إمكانيات حفر الأنفاق بالتنقيب ببطء نحو المنحني المقصود. تؤدي التصحيحات السريعة إلى انحرافات عن المحور المثالي على الجانب الآخر (Bernhard Maidl, 2012).

تُعرض النتائج في صيغ رسومات بيانية، وأرقام أيضاً، فيما يتعلق بالمسار المصمم للنفق، بالإضافة إلى منحني التصحيح -المطلوب نقله مرة أخرى- إلى المسار. يتيح ذلك لسائق آلة حفر الأنفاق بالتنقيب، والنظر باستمرار إلى رد فعل الآلة في أثناء التوجيه. وبهذه الطريقة، نضمن أن عمليات التوجيه تتوافق مع الوضع الحالي، وأن المسار المتبع يعود باستمرار إلى المسار المحدد سلفاً. تُقاس المسافة بين الليزر والجدول المستهدف، وتُحدث بمسح جديد للنفق مع كل عملية تغيير لموضع الليزر (Bernhard Maidl, 2012) على النحو التالي بيانه.

١٩-٣-٢ التحكم في مسوحات النفق:

تحكم مسوحات الأنفاق باستخدام (خط عامل)، مما يعني أن طريقة الترافرس التقليدية مألوفة. حسبما جرت العادة في أنفاق التعدين؛ يُحكم المسح في سطح حفر الأنفاق، ويظل -هذا- قائماً حتى الأيام الأخيرة. وفقاً لـ (Bernhard Maidl, 2012)، في البداية، تُركب محطة التحكم الأفقية على شكل سناد قوسي، في الجزء السفلي من النفق، ثم تُوصل -بعد ذلك- المحطة بسطح النفق، ويُزال السناد القوسي، لإفساح المجال لأعمال الإنشاء، وتُنقل المحطة -بعد ذلك- إلى الممشى من محطة السطح، وتستمر إلى ما بعد نهاية المشروع. يجب تطبيق طرق أكثر تعقيداً من عمليات العبور البسيطة، التي تتضمن إجراءات متعددة من جانب إلى عدة محطات على الجانب الآخر. ويجب استخدام ضبط المربعات الصغرى في مسوحات الأنفاق. كما يُنصح باستخدام طرق (متعرجة، ومتعرجة مزدوجة) مقترحة -أيضاً- في (Bernhard Maidl, 2012)، لنقل نقاط مراقبة المسح في النفق. في طريقة التعرج المزدوج، تصبح كل ساق عبور بمفردها شكل رباعي. يربط العبور المتعرج المزدوج الشكل الرباعي. تسمح الطريقة المتعرجة المزدوجة باكتشاف الخطأ الإجمالي، وتوجيه الإعداد، باستخدام أربع محطات تحكم -على الأقل- (Bernhard Maidl, 2012).

١٩-٣-٤ مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ:

تُطبق المبادئ التوجيهية العامة الواردة في الجزء الفرعي (١٩-٤-١) في هذا المجلد، فيما يتعلق بمرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ لمشاريع الطرق هنا أيضاً. يجب تحديث المخططات الأصلية، لإظهار أي تعديلات أو إضافات أُجريت في أثناء مرحلة الإنشاء. في هذه الحالة، يجب تدوين التصحيحات، والتغييرات، والإضافات -بشكل صريح- على صفحات المخطط النهائي.

١٩-٣-٥ الدقة:

يجب أن تحقق مسوحات الأنفاق درجات الدقة المطلوبة التالية (DMAT, 2016).

- يجب أن يكون انتشار قياس المسافة المتكرر أقل من (٢ + ٢ جزء في المليون) ملم.
- يجب ألا يزيد انتشار قياس الزاوية المتكرر عن (٣) بوصات.

من المهم وجود نقاط مرجعية ثابتة في بداية القياسات، التي لا تتأثر بإنشاء النفق. ويجب أن تكون دقة محطات النقاط المتكاملة (TPS) المستخدمة (١ + ١ جزء في المليون) ملم، أو مقدار أفضل في الظروف المثالية للقياس. يمكن أن تنخفض هذه الدقة إلى (٣ + ١ جزء في المليون) ملم أو مقدار أسوأ في الظروف الصعبة للقياس، على سبيل المثال: انتشار الغبار، أو الاختلافات الكبيرة في درجات الحرارة داخل النفق.

تُقبل دقة الحفر بالتنقيب بمقدار (٨٠-١٠٠) ملم في جميع الاتجاهات للأنفاق، التي يصل طولها إلى (٥) كم. ومع ذلك فإن الأنفاق الأطول ستواجه أخطاء أكبر في عملية المسح.

١٩-٣-٦ نماذج الملاحظات:

تماماً كما هو الحال في إنشاء الطرق، يجب ملء الملاحظات الميدانية في النماذج المحددة -سلفاً- لمسح إنشاء الأنفاق في أثناء تنفيذها. ويجب أن تحتوي هذه الملاحظات على قوائم توثيق جميع العناصر التي مُسحت مع تدوين المواضع الموثقة الفعلية فيها.

١٩-٤-١ ساحات وقوف السيارات:

١٩-٤-١-١ بدء المشروع:

تتمكن الخطوة الأولية للبدء في استعادة/ فحص نقاط التحكم (الأفقية والرأسية) المحيطة بساحة مواقف السيارات. إذا كانت المراقبة جيدة، يقوم المقاول/المساح بتحديد ما إذا كانت هناك حاجة إلى تحكم إضافي لأغراض الإنشاء، ويكون مسؤولاً عن توثيقه/إيجاده. إذا لم يكن الأمر كذلك؛ فسيجب إعادة تعيين عنصر التحكم الميداني، ويجب على مالك المشروع والمقاول/المساح مراجعة جميع بيانات مسح التحكم، وتقرير أفضل طريقة لتحقيق التحكم المناسب، وبعد إنشاء التحكم في المشروع، يجب أن يحدد الاستشاري/المقاول الحد الفاصل لساحة انتظار السيارات، وأن يُوافق عليها من قبل الجهة المختصة/ صاحب العمل.

١٩-٤-٢ مرحلة ما قبل الإنشاء:

يجب -أيضًا- اتباع المبادئ التوجيهية الواردة في الجزء الفرعي (١٩-٢)؛ فيما يتعلق بأعمال ما قبل الإنشاء، الخاصة بمشاريع الطرق في هذه المرحلة.

١٩-٤-٣ مرحلة الإنشاء:

يسري العديد من جوانب عملية توثيد الإنشاء المذكورة في الجزء الفرعي (١٩-٣) من هذا الباب -أيضًا- على مسح إنشاء ساحات مواقف السيارات. وتتضمن الفقرات التالية وصفًا للإجراءات والتعليمات الإضافية المطلوبة.

١٩-٤-٣-١ تسجيل مناسب الأرض الطبيعية للمشروع:

مع نهاية عملية التوثيد الأولية، يجب على الاستشاري والمقاول إجراء مسح مشترك لتحديد الأرض الطبيعية لممر ساحة مواقف السيارات، وحتى يتمكنوا من تقدير كميات الأعمال الترابية بعد إنشاء ساحة مواقف السيارات، يجب جمع الارتفاعات في مربعات شبكية بعدها (٢٥) م.

١٩-٤-٣-٢ الأوتاد الخاصة بعملية التسوية:

إذا بُنيت ساحة مواقف السيارات على مقربة من نفس ميل -قدر الإمكان- مع الأوتاد السابقة؛ فسيكون من الضروري -عندئذ- ضبط أوتاد الخط والرصف على فترات تبلغ (١٥) مترًا. يجب أن تكون هذه الأوتاد من المعدن، وبطول كافٍ لاختراق الميل بمعدل كافٍ؛ بحيث لا تسبب حركة المعدات تغيرات بمجرد تحديد الميل (DMAT, 2016).

١٩-٤-٣-٣ الأوتاد الخاصة بالرصف:

قبل توثيد الرصف الفعلي، يجب إعداد سجلات ميدانية، ويجب التحقق من جميع الميول المحسوبة الموضحة في المخططات، بينما يجب حساب أي ميول محسوبة للنقاط الأخرى، والتحقق منها. بالنظر إلى أن الرصف الجديد مرتبط بالرصف القائم، يجب فحص جميع الارتفاعات النسبية.

بالإضافة إلى ارتفاعات الميول العادية، من المستحسن تضمين جداول التعويض من خط المسح لتشكيل خط الأوتاد عند الحاجة في السجلات الميدانية. إنها وسيلة مريحة وتوفر الوقت خصوصًا إذا ما نُقلت جميع المعلومات الضرورية من المخططات بعناية إلى السجلات الميدانية.

يقوم المقاول -عادةً- بوضع أوتاد معدنية لا يقل طولها عن (٦٠) سم، وتُدفع إلى الأرض -عادةً- على فترات بمقدار (١٠) أمتار. قد يختلف موقع خط الحبال من قسم لآخر من أقسام ساحة مواقف السيارات المراد العمل عليها. ويجب تقييم كل قسم بشكل منفصل؛ لتحديد الموقع أو الموضع المناسب لخط الحبال.

يجب ضبط كل خط حبال على مسافة ثابتة، ويجب -أيضًا- تعليق كل خط حبال على ارتفاع ثابت، فوق المستوى الذي يمر عبر الزوايا السفلية للبلطة المقترحة (DMAT, 2016).

١٩-٤-٤ مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنْفَذ:

تُطبق -أيضًا- المبادئ التوجيهية العامة الواردة في الجزء الفرعي (١٩-٤) في هذا المجلد، بخصوص مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنْفَذ؛ إذ يجب أن يبدأ مسح كما-هو-مُنْفَذ بمجرد أن يصبح ذلك ممكنًا؛ مما يعني: أنه يجب تحديد المواقع الأفقية والرأسية لفعالية للسماط في الهيكل المكتمل؛ بمجرد إنشاء السماط.

يتم هذا وفقًا للتوصيات النموذجية، التي تقضي بإجراء القياسات النهائية للإنشاءات، وينبغي أن تكون بالتزامن مع عمليات الإنشاء. يجب تحديث المخططات الأصلية؛ لإظهار أي تعديلات أو إضافات أُجريت في أثناء مرحلة الإنشاء. في هذه الحالة، يجب تدوين التصحيحات، والتغييرات، والإضافات -بشكل صريح- على صفحات المخطط النهائي.

١٩-٤-٥ الدقة:

كما هو مذكور أعلاه، تختلف مسوحات الإنشاء على أساس كل مشروع على حده، وبالتالي تُحدد الدقة المطلوبة -بشكل عام- من قبل المصمم/الاستشاري. ومع ذلك، فإن الدقة الأفقية والرأسية للمسح الإنشائي لساحات مواقف السيارات يجب أن يكون لها حد أعلى، يبلغ (٢٠) ملم و (١٠) ملم على الترتيب (DMAT, 2016).

١٩-٤-٦ نماذج الملاحظات:

كما هو الحال في إنشاء الطرق، يجب تدوين الملاحظات الميدانية بملء النماذج المحددة سلفاً؛ لمسح إنشاء ساحات مواقف السيارات في أثناء تنفيذها، إذ يجب أن تحتوي هذه الملاحظات على قوائم توثيد جميع العناصر التي مُسحت مع تدوين المواضع الموثدة الفعلية فيها.

١٩-٥ المباني:

يتعامل المسح الإنشائي -فيما يتعلق بالمباني- مع الوضع الدقيق على الأرض للأساسات وقواعدها، والركائز، وأي عنصر بناء آخر يتسم بالحيوية للتكوين السليم للمبنى. وتشتمل عملية توثيد المبنى أساسات الحفار بحيث يقوم الحفار بحفر الطابق الأرضي، أو القواعد، والارتفاعات، وزوايا المبنى، والإزاحات المناسبة خارج منطقة البناء؛ لمساعدة المقاول على وضع الهيكل في موقعه الصحيح، دون الحاجة إلى تكرار أعمال المسح.

١٩-٥-١ بدء المشروع:

تتمثل الخطوة الأولى لبدء المشروع في استعادة/فحص نقاط التحكم الأفقية والرأسية المحيطة بالمبنى. فبعد تحديد النقاط المرجعية، والتحقق منها، يجب على المقاول تحديد الحدود العامة لموقع المبنى، بمساعدة المساح، والموافقة عليها من قبل مالك المشروع.

١٩-٥-٢ مرحلة ما قبل الإنشاء:

يجب على المساح إجراء دراسة، وفحص دقيق لمخططات البناء، والأحكام الخاصة، قبل الإنشاء الفعلي/أعمال التوثيد، إذ يمكن أن يساعد ذلك في اكتشاف الأخطاء، وكذلك التعرف على المشروع. ويجب أن يكون مهندس المشروع على دراية بأي خطأ أو نقص كبير سوف يلفت انتباه المساح، فيما يتعلق بالمشروع قيد الفحص، وعندئذٍ سيتخذ مهندس المشروع جميع الخطوات اللازمة لحلها (IDOT, 2015)، ويجب إبلاغ صاحب العمل/صاحب المشروع بها وإبداء رأيه بشأنها.

تتضمن مرحلة ما قبل الإنشاء مراجعة المخطط، وإعداد الملاحظات، وإجراء الحسابات. ويجب إعداد دفاتر الملاحظات الميدانية، وفقاً لممارسات موحدة ومتوافقة -كحد أدنى- مع الأحكام، والوضوح، وقابلية القراءة، والاكتمال، والاستمرارية، والدقة. ويجب أن تتبع عملية تسجيل الملاحظات الميدانية التعليمات الواردة في الجزء الفرعي (٤-٤-٥).

١٩-٥-٣ مرحلة الإنشاء:

تتطبق معظم الخطوات -الموضحة أعلاه- في الأجزاء الفرعية (١٩-٣-١) إلى (١٩-٣-٨)، الخاصة بالمسح الإنشائي للطرق، وبالمسح الإنشائي للمباني.

١٩-٥-٣-١ تسجيل مناسيب الأرض الأصلية للمشروع:

مع نهاية عملية التوثيد الأولية، يجب على الاستشاري والمقاول إجراء مسح مشترك لتحديد الأرض الأصلية للمبنى، حتى يتمكن من تقدير كميات الأعمال الترابية بعد إنشاء المبنى. يجب جمع الارتفاعات في مربعات شبكية بعدها (٢٥) م.

١٩-٥-٣-٢ الأوتاد الخاصة بالأساسات:

يمثل الموقع الدقيق لقواعد المشروع، والموقع الدقيق للجنوع/الأعمدة خطوة مهمة للإنشاء السليم للمبنى، فيجب على المساح التحقق من معلومات المسح، والأوتاد الحدودية، والتأكد من أن المبنى في موقع صحيح على المربع التخطيطي، وأن جميع متطلبات الجهة المحلية مستوفاة، كما يجب أن يتم تثبيت زوايا المبنى، وأي عنصر آخر من عناصر البناء بأوتاد مؤقتة، باستخدام محطة النقاط المتكاملة، ويجب أخذ القياسات المباشرة بين النقاط المحددة بشرط، ويجب إجراء قياس المسافة الإلكتروني للتحقق من التوثيد الصحيح.

١٩-٥-٣-٣ الأوتاد الخاصة بخطوط الأعمدة:

يجب أن تكون خطوط الأعمدة مستقيمة ومستوية. وفي كل طابق يجب وضع خطوط أعمدة نحو كلا اتجاهي المبنى.

١٩-٥-٣-٤ تحديد مواقع الطوابق:

تحديد مواقع الطوابق في الارتفاع الصحيح بواسطة خطوط الحبال، إذ تُستخدم أوتاد خشبية، وقضبان أفقية خشبية، تُثبت على الأوتاد في البناء على ارتفاع محدد، وتكون -عادةً- أعلى مستوى الطابق المنفذ، ويُحدد مستوى الحدود الجانبية من قبل المساح. عادةً تبقى الحدود الجانبية على مسافة حوالي (٠,٩٠٠) مترًا من خط البناء، وذلك عند تحديد الحدود الجانبية.

١٩-٥-٣ تحديد مواقع المنافع:

يتضمن مصطلح المنافع العديد من العناصر الإنشائية، مثل: أنابيب الصرف الصحي، والمياه، والغاز، والنفط، وكذلك خطوط الاتصالات، والطاقة الكهربائية. بالنسبة للمنافع فوق سطح الأرض؛ يجب توثيق موقع الخطوط أو الأعمدة أو الأبراج اللازمة أفقياً بشكل بسيط. في بعض الأحيان، يجب -أيضاً- تحديد ارتفاع العمود؛ للتخلص الرأسي من العوائق.

من ناحية أخرى، تتطلب المنافع الموجودة تحت الأرض تحديد كل من الخط والميل. فيما يتعلق بالخطوط تحت الضغط (على سبيل المثال: خطوط المياه)؛ فيجب أن يوثق الخط فقط، نظراً لأن شرط الميل الوحيد هو الحفاظ على عمق غطاء التربة المحدد. ومع ذلك وفي حال وُضعت الخطوط في منطقة سيتم إِمالتها لأسفل، أو بها منافع أخرى متضاربة، فقد يكون من الضروري توثيق الارتفاعات. تتطلب خطوط تدفق الجاذبية، مثل خطوط أنابيب صرف مياه السيول، توثيقاً للميل، لضمان تثبيت الأنبوب -بشكل صحيح- عند الارتفاع الذي صُمم عليه، وعند توفير ميل في المخططات، يكون مطلوباً لتدفق الجاذبية عبر هذا الأنبوب.

١٩-٥-٤ مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ:

تُطبق -أيضاً- المبادئ التوجيهية العامة الواردة في الجزء الفرعي (١٩-٤) في هذا المجلد، بخصوص مرحلة ما بعد الإنشاء/ كما-هو-مُنفذ، إذ يجب أن يبدأ مسح كما-هو-مُنفذ؛ بمجرد أن يصبح ذلك ممكناً، ويجب تحديد المواقع الأفقية والرأسية الفعلية للسمات في الهيكل المكتمل بمجرد إنشاء السمات. ويجب أن تُمسح جميع عناصر تشييد المبنى، بما في ذلك المرافق الموجودة تحت الأرض، والمرافق الموجودة فوق الأرض، بالإضافة إلى إجمالي قطعة الأرض في أثناء الإنشاء، وبعده، وتُدمج في الرسومات التنفيذية النهائية (المبنية بالفعل).

يجب تحديث المخططات الأصلية؛ لإظهار أي تعديلات أو إضافات أُجريت في أثناء مرحلة الإنشاء. وفي هذه الحالة، يجب تدوين التصحيحات، والتغييرات، والإضافات -بشكل صريح- على صفحات المخطط النهائي.

توفر القائمة التالية بعض المعلومات التي يجب فحصها ميدانياً، وتصحيحها، وإضافتها على صفحات المخطط الأصلي (IDOT, 2015):

- التحكم الأفقي والرأسي.
- الموقع، والأبعاد، والارتفاعات لمنشآت المنافع.
- جميع الوحدات الموجودة تحت الأرض (الكابلات، والمواسير، والأنابيب، وما إلى ذلك).

١٩-٥-٥ الدقة:

كما هو مذكور أعلاه، تختلف دقة الإنشاءات فيما يتعلق بالأساسات، والأعمدة، وبلاطات الطوابق، والمنافع على أساس كل مشروع على حده. لذا، تُحدد درجات الدقة المطلوبة -بشكل عام- من قبل المصمم/الاستشاري. ومع ذلك، فإن الدقة الأفقية والرأسية للمسح الإنشائي لمشاريع البناء يجب أن يكون لها حد أعلى، يبلغ (١٠) ملم و (٥) ملم على الترتيب (DMAT, 2016).

١٩-٥-٦ نماذج الملاحظات:

كما هو الحال في الأعمال الإنشائية الأخرى، يجب تدوين الملاحظات الميدانية بملء النماذج المحددة -سلفاً- الخاصة بالمسح الإنشائي للمباني في أثناء تنفيذه، إذ يجب أن تحتوي هذه الملاحظات على قوائم توثيق لجميع العناصر التي مُسحت مع تدوين المواضع الموثقة الفعلية فيها.

١٩-٦ التوجيه الآلي للمعدات (AMG) في مسوحات الإنشاء:

التوجيه الآلي للمعدات (الشكل ١٩-١) هي طريقة في الإنشاءات تستخدم البيانات من مصادر، مثل: النماذج الهندسية ثلاثية الأبعاد، من أجل توجيه عمليات ومعدات الإنشاء أوتوماتياً في أثناء إجراءات مثل: العمل الأرضي (التسوية والكشط) وتنفيذ الرصف. يُعرّف التوجيه الآلي للمعدات على أنه استخدام تقنيات تحديد المواقع، مثل: النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) ومحطات النقاط المتكاملة (TPS) والليزر والأنظمة الصوتية الروبوتية؛ لتوجيه وضبط معدات البناء أوتوماتياً، وفقاً لمتطلبات التصميم المقصودة (White, et al., 2018). يساعد استخدام توجيه الآلات المؤتمتة -بشكل كبير- في عمليات الإنشاء، إذا أُستخدمت -بشكل صحيح- وعند الضرورة، فهو يحسن كفاءة الإنشاء، وسلامة وجودة الإجراءات، في حين أنه يختصر الجدول الزمني ويقلل من التكلفة ومن الآثار البيئية (DOT, 2013).

خلافاً لأساليب إنشاء الطرق التقليدية، يستخدم التوجيه الآلي للمعدات التحكم الخالي من الأسلاك لتوجيه المعدات. ولا تتطلب العمليات الخالية من الأسلاك وجود خطوط أسلاك، لذا فهي أسرع لأنها تلغي الحاجة إلى تعيين وإنزال خطوط الأسلاك في أثناء

تحركها على طول المشروع. وعلاوة على ذلك، ونظرًا لعدم وجود حاجة لإعادة توجيه المركبات حول خط الأسلاك، فإن التقنية الخالية من الأسلاك تتسبب في مقاطعات أقل لحركة المرور. ونتيجة لذلك، هناك تحسن في السلامة لكل من عمال الإنشاء وعامة الناس (IOWA SUDAS, 2018).

في حين تم استخدام التوجيه الآلي للمعدات في الإنشاء لأكثر من عقدين من الزمن، إلا أنها تقنية تتطور وتتغير جنبًا إلى جنب مع التقدم التقني. ومع ذلك، ليست كل مشاريع الطرق ومراحل الإنشاء مناسبة لاستخدام التوجيه الآلي للمعدات، حيث إنه في هذه المشاريع، قد تكون الطرق الأكثر تقليدية مناسبة للتطبيق.



الشكل (١٩-١) مثال على التوجيه الآلي للمعدات المستخدم في موقع إنشاء (DOT, 2013).

يستخدم التوجيه الآلي للمعدات بشكل رئيس في مساحات إنشاء ممرات الطرق التي نوقشت في الجزء (١٩-١) من هذا المجلد. لذلك تنطبق متطلبات الدقة والمتطلبات الأخرى المذكورة هناك -أيضًا- في حالة استخدام التوجيه الآلي للمعدات.

١٩-٦-١ المفهوم:

يقدم التوجيه الآلي للمعدات توجيه مؤتمت -بمساعدة الحاسب- لمعدات الإنشاء، مثل: ممهديات الطرق، والبلدوزرات، وما إلى ذلك؛ من أجل اتباع ما هو مخطط له، وما تقرره خطة العمل للفريق الهندسي. ويمكن تحقيق التوجيه، إما عن طريق التحكم المؤتمت المباشر للآلات، أو من خلال إشارات التوجيه المرئية و/أو المسموعة للمشغل (ODOT, 2021). وتشير التوجيهات المقدمة للمعدات من التوجيه الآلي للمعدات إلى التحكم الأفقي والرأسي للمعدات المستخدمة. تشمل المزايا الوفيرة لهذه الإجراءات ما يلي (DOT, 2013):

- انخفاض تكاليف الإنشاء، حيث يقلل التوجيه الآلي للمعدات من تكلفة الصيانة والوقود (طريقة صديقة للبيئة)، والتكاليف المساندة للجهة، وفي الوقت نفسه تحسن إنتاجية المعدات.
- جداول زمنية مقلصة، ووقت أقل للمسح والتوثيد، لأنه يزيد من إنتاجية المعدات، ويحسن الخدمات اللوجستية.
- زيادة الجودة، وزيادة مستويات الدقة والكفاءة، مع مزيد من الإحكام، وعدد أقل من الأخطاء التي تتطلب إعادة تنفيذ الأعمال، نظرًا لانخفاض هامش الخطأ.
- زيادة السلامة نظرًا لانخفاض الحاجة إلى إزالة خطوط الأسلاك، مما يرفع من مستويات السلامة ويقلل من تعرض الموظفين للمعدات الثقيلة.

من المهم أن يوضع في الاعتبار أن التوجيه الآلي للمعدات ليس مثاليًا لكل مشروع، ومع ذلك يمكن تطبيقها في عدد كبير من الحالات. أنواع المشاريع المناسبة لتوظيف التوجيه الآلي للمعدات هي (DOT, 2013):

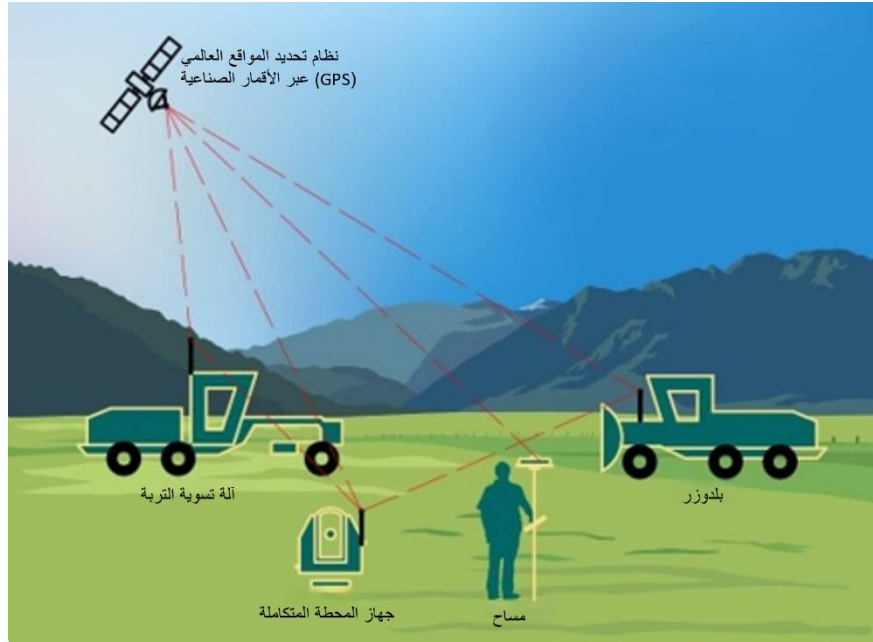
- المشاريع التي تشمل:
 - كميات كبيرة من إجراءات الإنشاء، مثل: الرصف، والتسوية، والكشط، وما إلى ذلك.
 - تصميم يعتمد على نمذجة تضاريس رقمية دقيقة.
- محاذاة جديدة، وصيانة المحاذاة القائمة.

- بيئة تسمح باستخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) لاستقبال إشارات الأقمار الصناعية، أو على الأقل بيئة توفر خط رؤية كافٍ لاستخدام محطة النقاط المتكاملة (TPS).

من ناحية أخرى، قد تحد المشاريع التي يتم وصفها بالخصائص التالية من مزايا طرق التوجيه الآلي للمعدات:

- توسيع مع إضافات أشرطة ضيقة.
 - التصاميم التي لا تستند إلى نمذجة تضاريس رقمية دقيقة.
 - صعوبات التصميم التي تحد من حساب دقيق لنموذج التضاريس الرقمية.
 - المشاريع التي لا يمكن نمذجتها في بيئة رقمية ثلاثية الأبعاد.
 - المشاريع التي تشمل منشآت.
 - نقص التدريب على التوجيه الآلي للمعدات، أو المعدات التي تستخدم إجراءات التوجيه الآلي للمعدات، أو القيود الأخرى التي تفرضها مواصفات المشروع التي تحد من استخدام التوجيه الآلي للمعدات.
- يتطور التوجيه الآلي للمعدات ويتغير باستمرار، لذا يمكن تطبيق تطبيقات جديدة لأساليب التوجيه الآلي للمعدات في سيناريوهات ومواقف مختلفة.
- وباختصار، يوفر التوجيه الآلي للمعدات طريقة منخفضة التكلفة، وفعالة، ودقيقة لأعمال الترابية (التسوية والكشط) وتنفيذ الرصف، بناءً على البيانات المحسنة من النماذج ثلاثية الأبعاد والنظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية.
- تتطلب إجراءات التوجيه الآلي للمعدات المعدات التالية (الشكل ١٩-٢):

- محطة النقاط المتكاملة (الروبوتية أو التقليدية).
- محطة قاعدية للنظم العالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية ، مودم راديوي (UHF).
- مسبار النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS).
- معدات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، مثل: الهوائيات، والكابلات، والبطاريات، وما إلى ذلك.
- آلة تسوية التربة، أو بلدوزر، أو حفارة، أو غيرها من الآلات المستخدمة في الأعمال الترابية وتنفيذ الرصف.



الشكل (١٩-٢) معدات لطرائق التوجيه الآلي للمعدات.

١٩-٦-٢ إعداد البيانات وتبادلها:

لكي تعمل إجراءات التوجيه الآلي للمعدات بشكل صحيح وفعال، فإنها تتطلب التنفيذ الدقيق لنموذج ثلاثي الأبعاد، بما في ذلك النموذج السطحي، أو عناصر العمل المصممة الأخرى؛ كونها تمثيلًا رقميًا للخط، والميل، والقطاع العرضي المطبق على منطقة المشروع. ويتحمل المقاول وفريقه مسؤولية صيانة وتطوير نموذج الإنشاء الذي سيستخدمه التوجيه الآلي للمعدات والآلات.

كحد أدنى، يجب أن يحتوي النموذج الهندسي ثلاثي الأبعاد على المعلومات التالية (IOWA SUDAS, 2018):



- البدايات ونهايات المناسبات للانتقال للسمات الهندسية (الجيومترية) الرئيسية.
- بدايات ونهايات المنحنيات الرأسية والأفقية.
- نصف قطر التقاطع والتسوية.
- مناطق التسوية، مثل: الحواجز الترابية، وبرك الاحتجاز، والخنادق.

من الضروري أن يكون النموذج الهندسي ثلاثي الأبعاد المقدم للمقاول مستمراً، ولا يحتوي على فجوات أو مساحات فارغة داخل حدود النموذج. المقاول مسؤول عن التأكد من أن نموذج الإنشاء يتوافق مع مخططات العقد. وفي حال تم اكتشاف خطأ في المخطط، يجب على المقاول إخطار المهندس المسؤول. يقوم صاحب العمل بمراجعة مخطط العقد، ونموذج التصميم -إذا لزم الأمر- لمعالجة الأخطاء أو التناقضات التي يحددها المقاول. ويستمر المقاول في تحمل المسؤولية بشأن تحديث نموذج الإنشاء، وإرسال النسخة المنقحة إلى صاحب العمل (WDOT, 2021).

يجب على المهندس الرئيس إعداد تقرير عن الخطأ في النموذج المقترح من المقاول. يمكن تضمين نتائج إكمال التدقيقات الموضوعية، من خلال إسقاط البقع المعروفة التي أنشئت من القطاعات العرضية للمخطط على النموذج المقترح في تقرير الخطأ. يتحمل المهندس مسؤولية الاحتفاظ بسجل لجميع تعديلات نموذج التضاريس الرقمية والتواريخ المرتبطة بها. يجب تضمين ملفات نمذجة التضاريس الرقمية والمدد التي أستخدم فيها كل منها من قبل المشروع في الأرشيف.

يجب أن يكون تبادل البيانات بين صاحب العمل والمقاول فيما يتعلق بالتوجيه الآلي للمعدات بصيغ البيانات التالية (WDOT, 2021; IOWA SUDAS, 2018):

- نموذج التضاريس الرقمية (DTM): بصيغة (3D DGN) أو (LandXML).
- المحاذاة (الأفقية والرأسية والقطاعات الطولية): بصيغة (LandXML).
- القطاعات العرضية: بصيغة (2D DGN) و (pdf).
- أسلاك الخطوط (ثنائية الأبعاد و/أو ثلاثية الأبعاد) والعناصر الهندسية (الجيومترية) المستهدفة: بصيغة (DXF) و (DWG) على التوالي.
- بالنسبة للمستندات الأخرى؛ مثل: التقارير، والرسومات، و الخرائط: صيغ (pdf) أو (docx) هي الصيغ المفضلة.

يُعرف (LandXML) مواصفات لتبادل بيانات القطاع العرضي. ويشمل أنواع العناصر الهندسية (الجيومترية) الأساسية، ويمكن قراءتها من قبل العديد من موفري البرامج الحاسوبية، وخاصة (Bentley) و (Autodesk). بالإضافة إلى ذلك، قد يُستهلك (LandXML) بواسطة العديد من البرامج المستخدمة في صناعة إنشاء الطرق، بما في ذلك (AGTEK) و (Trimble) و (Carlson)، وغيرها. تحدد صيغة (LandXML) تنسيق تبادل البيانات للعناصر الهندسية (الجيومترية) الأساسية للطرق، بما في ذلك:

- بيانات نقاط القطاعات الطولية.
- بيانات منحني شبكات الأنابيب.
- البيانات الحزونية لنموذج أسطح التضاريس.
- بيانات مسح المحاذاة (مع معادلات المحطة).
- القطاعات العرضية (قطاعات السطح والتصميم).

١٩-٦-٣ الإجراءات:

١٩-٦-٣-١ تثبيت الإنشاء:

يمكن تقليل متطلبات توثيق الإنشاء التقليدية؛ لتوجيه المعدات ولزيادة توفير التكاليف. يؤدي تقليل متطلبات توثيق الإنشاء -أيضاً- إلى تحسين سلامة المساحين الذين يجتازون موقع الإنشاء في أثناء وجودهم على مقربة من المعدات الكبيرة. لا يزال توثيق الإنشاء -على الرغم من محدوديته- مطلوباً على فترات زمنية مخفضة؛ لضمان أن النموذج الهندسي ثلاثي الأبعاد ومعدات الإنشاء تعطي التصميم والارتفاعات الصحيحة. ويوفر هذا طبقة أخرى من مراقبة الجودة لمنتج نهائي أكثر دقة (IOWA SUDAS, 2018).

١٩-٦-٣-٢ التحكم بالمسح في التسوية السطحية بالتوجيه الآلي للمعدات (AMG):

من أجل الاستخدام السليم لتقنية التوجيه الآلي للمعدات، يعد التحكم الدقيق في المسح أمراً ضرورياً. لذلك، يجب استعادة شبكة التحكم، وفحصها، وتكثيفها في الموقع قبل أي استخدام؛ للتحكم في الآلات خلال مرحلة مسح الإنشاء المحددة من المشروع. يجب أن يكون نظام التوجيه الآلي للمعدات قادراً على الرجوع إلى موقع الإحداثيات؛ باستخدام محطة قاعدة النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS)، التي تنتقل التصحيحات إلى جهاز الاستقبال المتصل بمعدات التوجيه الآلي للمعدات المصاحبة. يجب أن تحتوي إعدادات التحكم في المسح على نَصَب واحد -على الأقل- ويظل دون عائق طوال فترة الإنشاء. يُوضع النَصَب (النُصْب) من أجل إحاطة منطقة الإنشاء، واستخدامها كنقطة (نقاط) تدقيق طوال عملية المشروع.

١٩-٦-٣-٣ التحكم في المسح للعمليات الخالية من الأسلاك:

تقليدياً، استخدمت خطوط الأسلاك للتحكم في منسوب آلة الرصف والتوجيه على الميل. من ناحية أخرى، فإن الرصف الخالي من الأسلاك (يُشار إليه -أحياناً- باسم: رصف ثلاثي الأبعاد) هو عملية إنشاء رصف باستخدام أنظمة توجيه إلكترونية غير

متصلة؛ لتوجيه الرصف على طول الميل دون مساعدة خطوط الأسلاك. عادة ما تستخدم آلات الرصف والكشط الخالية من الأسلاك محطات نقاط متكاملة، أو نظم عالمية للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) معززة بالليزر، لأغراض التحكم في المعدات، نظرًا لأن عمليات الرصف والكشط تتطلب درجات سماحية أكثر دقة وأقل مدى مقارنة بعمليات التسوية. كما هو الحال مع التسوية بالمعدات التي يُتحكم بها، تحتاج أنظمة التوجيه الخالية من الأسلاك إلى القدرة على تحديد موقعها الدقيق (إحداثيات X, Y, Z).

يختلف المسح والتحكم في المعدات للعمليات الخالية من الأسلاك عن الإجراءات المستخدمة في التحكم في مسوحات التسوية بالتوجيه الآلي للمعدات. وبالنسبة لمحطة النقاط المتكاملة، يجب إجراء مسح لإنشاء نقاط تحكم جديدة. وبشكل عام تُعين نقاط التحكم على طول ممر المشروع. ينبغي إنشاء نقاط التحكم لأعمال الرصف الخالي من الأسلاك من المسح الميداني الدقيق وربطها بعلامات مرجعية معروفة. يجب إنشاء نقاط التحكم في المواقع التي لا تتدخل فيها في العمليات المنجزة، ولن يتم زرعها من قبل الجمهور، وتأمين خط رؤية واضح، وعادة ما يمكن رؤية ثلاث نقاط تحكم -على الأقل- في وقت واحد، بواسطة معدات المسح المستخدمة.

في أثناء أعمال الرصف الخالي من الأسلاك، يجب التحقق من موقع وارتفاع البلاطة النهائية، مقابل مجمعات تدقيق الميول، لأول (٣٠) مترا من كل جولة، وفي مواقع محددة ذات اهتمام، مثل: المآخذ والتقاطعات المستمرة، حيث قد تكون الميول مستوية. في حال أمن الامتثال لمناسيب التصميم، فقد يتم التنازل عن هذه المتطلبات (White, et al., 2018).

بعد كل تعديل على آلة الرصف، يلزم معايرة معدات الرصف، وينصح به بشدة -وفقا لتوصيات الشركة المصنعة- ما لم تُوضع مواصفات أخرى من قبل صاحب العمل.

١٩-٦-٤ الإرشادات:

يجب مراعاة الإرشادات التالية عند التعامل مع التوجيه الآلي للمعدات في إنشاء الطرق (White, et al., 2018).

- يمكن للمقاول استخدام أي نوع من أنظمة التوجيه الآلي للمعدات، التي تؤدي إلى الامتثال للعقد، والمستندات، والمواصفات القياسية المعمول بها.
- يجب أن تشير مخططات العقد إلى مناطق المشروع، التي يمكن فيها استخدام أنظمة التوجيه الآلي للمعدات لإنشاء الطرق. وفي هذه المناطق، ينبغي للجهة المتعاقدة أن توفر نموذج تضاريس رقمي لإنشاء جسر (embankment) الطريق. ستستخدم تقنيات المسح والإنشاء التقليدية في جميع المناطق الأخرى، ما لم يختار المقاول بناء نموذج السطح المطلوب؛ لتسهيل التسوية بالتوجيه الآلي للمعدات لتلك المناطق دون أي تكلفة إضافية على الجهة المتعاقدة.
- يجب عدم إنشاء ميول السطح النهائية باستخدام النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS).
- يمكن للجهة المتعاقدة أن تشترط على المقاول العودة إلى الطرائق التقليدية بتوتيد القاعدة الترابية، بالنسبة لكل العمل أو جزء منه، في أي وقت في أثناء التشييد، إذا رأى المهندس أن توجيه آلة النظام العالمي لتحديد المواقع يسفر عن نتائج غير مقبولة.
- يجب على المقاول أن يحول البيانات الإلكترونية التي توفرها الجهة المتعاقدة إلى الشكل الذي يتطلبه نظامه.
- في حال اختار المقاول استخدام بيانات نموذج التضاريس الرقمي الموفر، فإنه يكون مسؤولاً -مسؤولية كاملة- عن جميع التكاليف، والمسؤولية، والدقة، والتأخيرات، وأن يعفي الجهة المتعاقدة وموظفيها من أي مسؤولية عن دقة البيانات ومطابقتها للعقد.
- لا تضمن الجهة المتعاقدة دقة البيانات الإلكترونية أو اكتمالها، أو أن تكون نظم البيانات التي تستخدمها الجهة المتعاقدة متوافقة -مباشرة- مع النظم التي يستخدمها المقاول.
- يمكن للمقاول استخدام أي نوع من أنظمة التوجيه الآلي للمعدات (AMG)، التي تحقق الامتثال لوثائق العقد والمواصفات القياسية المعمول بها.
- يجب على الجهة المتعاقدة أن توفر محاذاة المشروع ومعلومات نظام الإحداثيات وكذلك شبكة التحكم الأفقية والرأسية الأولية. ينبغي للجهة المتعاقدة أن توفر ملفات إلكترونية للمناطق المحددة لاستخدام التوجيه الآلي للمعدات، بالصيغ التالية (كبدائل).
 - مجموعة مايكرو ستيشن من بنتلي (Bentley's MicroStation) لبرامج تصميم الطرق.
 - نمذجة التضاريس الرقمية لسطح التصميم القائم والمقترح، وملفات نموذج التحكم في الماكينة السطحي بصيغة (ASCII)، وملفات بيانات المحاذاة بصيغة (ASCII).
 - ملفات برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CADD)، وملفات نموذج التحكم في الماكينة السطحي بصيغة (ASCII / LandXML)، وملفات بيانات المحاذاة بصيغة (ASCII / LandXML).
- يجب على الجهة المتعاقدة الموافقة أو التصديق على أي تغييرات على نموذج التضاريس الرقمي، التي يستخدمها التوجيه الآلي للمعدات قبل استخدامها لعمليات التسوية.
- قبل أي استخدام لمعدات التوجيه الآلي للمعدات، يجب على المقاول أن يوضح للجهة المتعاقدة قدراتها ودرجات سماحياتها في جلسة اختبار خاصة. في حال فشلت المعدات في تلبية مواصفات السماحية، يجب على المقاول إنشاء المشروع باستخدام طرق المسح والإنشاء التقليدية.
- يجب على المقاول أن يتحقق من صحة جميع نقاط التحكم التي توفرها الجهة المتعاقدة قبل استخدامها. كما سيقوم -أيضًا- بتكثيف شبكة التحكم وإنشاء نقاط تحكم ثانوية في المواقع (على طول المشروع، وخارج حدود المشروع)، كما هو مطلوب من قبل نظام التوجيه الآلي للمعدات المستخدم.



- يجب توفير نقاط التحكم وأوتاد التسوية التقليدية -من قبل المقاول في النقاط الحرجة، مثل: نقاط الانحناء (PC)، ونقاط المماس (PT)، والنقاط الحرجة الأخرى المطلوبة لإنشاء منشآت الصرف والطرق.
- يجب تدقيق معايرة الموقع -يوميًا- عند نقاط تحكم غير مستخدمة في المعايرة.
- يجب الحفاظ على جميع النقاط المرجعية والنُصُب التي تُنشئها الجهة المتعاقدة خارج حدود الإنشاء، وإعادة إنشائها إذا لزم الأمر.
- يجب أن يضع المقاول أوتاد للميول بحيث يمكن للجهة المتعاقدة أن تتحقق من دقة الإنشاء.
- في حال استخدام المقاول للتوجيه الآلي للمعدات للتسوية الدقيقة، ووضع مواد طبقة الأساس أو مواد الطرق الأخرى، يجب أن يستخدم نظام التوجيه الآلي للمعدات محطة نقاط متكاملة ليزيرية أو روبوتية.
- يجب على المقاول تدقيق وإعادة معايرة نظام التوجيه الآلي للمعدات الخاص به -إذا لزم الأمر- في بداية كل يوم عمل؛ لضمان الامتثال لوثائق العقد.

٢٠- صيانة الطرق ونموذج معلومات البناء (BIM):

٢٠-١ صيانة الطرق وأعمال المسح:

تُطبق أعمال المسح في أثناء تشغيل الطرق وصيانتها، في مجموعة متنوعة من الظروف: مراقبة الإنشاءات القائمة وسطح الطريق، وصيانة الرصف، وصيانة منافع الطرق، وأعمال الإنشاء الجديدة القريبة أو على سطح الطريق، من أعمال المنافع، والتحسينات الطفيفة على الطرق، وما إلى ذلك. بالنظر إلى أن التنفيذ الفعال لهذه الأعمال يتطلب شبكة التحكم في التصميم والإنشاء، فينبغي صيانتها بشكل صحيح- بعد اكتمال إنشاء الطريق.

٢٠-٢ مراقبة المشروع:

في أثناء أعمال المنافع على ممر الطريق أو بالقرب منه وفي حرم الطريق، يمكن حدوث المواقف التالية التي تؤثر في أعمال المسح:

- اختلال أو تدمير نُصْب المسح بسبب أعمال المنافع.
- منع تداخل عملية المسح في المستقبل من قبل مرافق منافع عامة.

في مثل هذه الحالات، ينبغي تزويد الجهة المعنية بإشعار كاف متى يجب نقل نُصْب المسح، ولا يوجد موقع آخر قابل لوضع مرفق المنافع داخل حرم الطريق الخاص به.

يمكن تضرر نُصْب المسح عن طريق حفر المنافع، إما من خلال انهيار التربة عليها، أو دفع تربة كثيفة نحوها. في التربة الرملية أو السائبة، أو عند الحفر أعظم من (١,٥) مترًا، تكون الظروف أسوأ. وعلاوة على ذلك، قد تتضرر النُصْب بسبب الردم غير السليم الذي يسبب الهبوط. عند إجراء أعمال حفر عميقة، ستغطي التربة التي أزيلت مساحات أكبر. لذلك ومن أجل تجنب تغطيتها بالتربة المحفورة أو اختلالها بالردم، يجب أن تكون النُصْب مرئية للحفار. يمكن أن يؤدي صدمها أو اهتزازها أو ترسيبات المعدات التي تمر فوق النُصْب أو بالقرب منه إلى اختلالها -أيضا- (ومن المحتمل أن يحدث ذلك).

وفيما يتعلق بمرافق المنافع الجديدة، ينبغي أن يراعي وضعها المناسب فوق الأرض العديد من البنى التحتية، مثل: الخطوط العلوية، والأعمدة، والأسلاك التي قد تتداخل مع الإشارات الواردة من الأقمار الصناعية للنظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS). عادة ما تُوضع مرافق المنافع فوق الأرض، مثل: الأعمدة، والركائز، والخزائن، والمراسي، وما إلى ذلك بالقرب من خط حرم الطريق؛ لإبعادها عن المنطقة الخالية، حيث توجد -أيضا- نُصْب المسح. لذلك يجب وضع مثل مرافق المنافع هذه بعيدًا عن نُصْب المسح؛ لتقليل اختلال أعمال المسح المحتملة في النُصْب القريبة، ولمنع نقلها أو تدميرها (WSDOT, 2021).

في أثناء وضع إحدى المنافع، يجب القيام بما يلي؛ لتجنب تضرر النُصْب:

- يجب أن تكون النُصْب، ومراكز/أبراج المشاهدة/الحراسة محاطة بسيياج سلامة برتقالي؛ لجعل النُصْب أكثر وضوحًا ولحمايتها بنصف قطر (٢) متر.
- يجب وضع لوح مطلي باللون الوردي و/أو راية مسح وردية في مكان قريب للإشارة -بصريا- إلى موقع النُصْب، إذا لم يكن للنُصْب مركز/برج مراقبة.
- ينبغي عدم وضع التربة أو المخلفات على النُصْب. في حال انسكبت كومة تربة على نُصْب، فيجب إزالة المادة يدويًا أو بفرشاة ناعمة.

٢٠-٣ إجراءات وتقنيات نموذج معلومات البناء:

يمكن أن يُجرى مسح رئيس آخر في أثناء تشغيل الطريق نتيجة الحاجة إلى تحديث معلوماته كما-هو-مُنفذ نحو توظيف نموذج معلومات البناء. نموذج معلومات البناء هو نموذج معلومات يمثل العناصر الإنشائية، باستخدام تقنية رقمية ثلاثية الأبعاد، تتلاءم مع مصدر للبيانات تحتوي على معلومات متنوعة ذات صلة- حول هذه العناصر. وبالإضافة إلى ذلك، لا تحمل العناصر ثلاثية الأبعاد المُمنمجة المعلومات الجغرافية المكانية فحسب، بل تحتوي -أيضا- على معلومات البيانات الوصفية، التي تصف سمات تلك العناصر. يجب أن تتم هذه المسوحات مع نظام رسم الخرائط المتنقلة، التي تعد مثالية لهذا النوع من الاستخدام.

في السنوات الأخيرة، تطور -أيضا- مفهوم ما يسمى بالتوائم الرقمية. التوأم الرقمي هو تمثيل رقمي لنظام بنية تحتية مادية مخططة أو فعالية في العالم الحقيقي، يعمل كنظير رقمي متطابق -بشكل فعال- لأغراض عملية، مثل: المحاكاة، والتكامل، والاختبار، والمراقبة، والصيانة. تجمع التوائم الرقمية بين قوة المحاكاة القائمة على الفيزياء، وأجهزة الاستشعار في الوقت الحقيقي. لذلك بدلا من أن يبدو التوأم الرقمي مثل المبنى، فإن سلوكه يماثله، مستجيبًا لظروف التشغيل وما إلى ذلك. بهذا المعنى، يركز التوأم الرقمي -بشكل أكبر- على أداء المبنى/ المنشأة أكثر من نموذج معلومات بناء نموذجي.

تهدف نموذج معلومات البناء إلى التعاون والتواصل -الأكثر سلاسة- بين جميع السلطات/ الجهات/ الإدارات وما إلى ذلك، التي ضُمّنت في أثناء تطوير المشاريع المتعلقة بالطرق والبنية التحتية لها. يمكن أن ينجح التحسن في الإنتاجية، والعمليات التجارية،

والشفافية، وتقليل الأخطاء بين الأطراف المدرجة، باستخدام نموذج معلومات البناء. يقدم نموذج معلومات البناء نمذجة بارامترية موجهة للأجسام، مما يعني أنه عند تطبيق تغيير في عنصر ما، تُضبط العناصر الأخرى المجاورة له تلقائياً؛ من أجل الحفاظ على أي علاقات سابقة بين المكونات المتأثرة (Azhar, et al., 2012).

ينطوي نموذج معلومات البناء على تأثير كبير في العمليات بأكملها، التي تتم خلال مشاريع الطرق. كما أن نموذج معلومات البناء هو: استراتيجية ذكية، قائمة على نموذج ثلاثي الأبعاد، وتتكون -في جوهرها- من نماذج/ مكونات ثلاثية الأبعاد، تُمثل -رقمياً- بواسطة أجسام تحتوي على سمات بارامترية ومعلومات بيانات وصفية. تُجمع جميع البيانات في مصدر واحد للمعلومات، ويمكن لجميع الأطراف الوصول إليه، ويمكن تحديثه بسهولة، على سبيل المثال، قاعدة بيانات علانية حديثة. يُؤسس إنشاء مصدر واحد للمعلومات أفضل تعاون ممكن بين الفرق المشاركة في التطوير، ويساعد على تقليل الأخطاء (UN, 2021).

يضمن توظيف نموذج معلومات البناء التدفق المستمر للبيانات والعمليات وأدوات الاتصال، في أثناء عملية نموذج معلومات البناء، حيث يُنشأ نموذج ويُستخدم خلال جميع مراحل التطوير. يمكن تنقيح هذا النموذج وتعديله باستمرار من قبل جميع الأعضاء، وفقاً للمواصفات وتغييرات التصميم التي حُدِدت، وفي نفس الوقت يمكن مراجعته؛ من أجل التأكد من أن أفضل الخيارات قد أُخذت قبل التنفيذ المادي للمشروع (Azhar, et al., 2012).

٢٠-٣-١ الأدوات والتقنيات:

تتضمن أدوات تصميم نموذج معلومات البناء جوانب من رسومات التصميم بمساعدة الحاسب (CADD) ثنائية الأبعاد (2D) إلى (3D)، والنمذجة الموجهة للأجسام. تعتمد نموذج معلومات البناء -بشكل أساسي- على تقنيات النمذجة البارامترية. توفر النمذجة البارامترية المستوى الأكثر تحسناً لنمذجة المعلومات لمكون البنية التحتية، وهي أكثر كفاءة مقارنة بتقنيات التصميم بمساعدة الحاسب (CADD) الأخرى (UN, 2021).

تستخدم النمذجة البارامترية -المبنية على الأجسام- سمات تسمى معلمات؛ من أجل إظهار خواص كل جسم جنباً إلى جنب علاقاته مع الاجسام الأخرى. يمكن أن تحتوي الخواص على معلومات مكانية، بالإضافة إلى سمات غير مكانية، مثل: معلومات الشركة المصنعة، والبائع، والمواد المستخدمة، ومتطلبات التعليمات البرمجية، وأي معلومات أخرى تتعلق بكيفية استخدام هذا الجسم (UN, 2021). ويمكن استخدام أنابيب الصرف كمثال مُمثل، حيث يتم تقديم العديد من البيانات الهندسية (الجيومترية)، والخصائص الهيدروليكية، والمواد، وما إلى ذلك، لكل عنصر. ويمكن تصنيف تطور النماذج ثلاثية الأبعاد (3D) التي أنشئت، وخصائص جسمها المحدد إلى مراحل مختلفة. وتتضمن المراحل المبكرة وصفاً أساسياً للنموذج ومكوناته، ومع تقدم النموذج والأجسام عبر المراحل؛ يصبح النموذج والأجسام أكثر دقة مع مزيد من المعلومات التي تصورها. وتُعرف هذه العملية باسم مستوى التطوير (LOD). يستخدم مستوى التطوير الرموز؛ من أجل وصف حالة ومرحلة كل مكون. الرموز هي جزء من مواصفات نموذج معلومات البناء، وتعريفها على النحو المنصوص عليه في مسودة مواصفات مستوى التطوير لمنتدى نموذج معلومات البناء لعام ٢٠١٣ (FIU, 2014):

- LOD 100: مفاهيمي، الشكل الأساس للمكون بدون تمثيلات هندسية (جيومترية).
- LOD 200: حيز مكاني مخصص عام، والتمثيل البياني للجسم.
- LOD 300: تجميعات محددة، وهندسة جيومترية دقيقة، وحجم وتمثيل رسومي لجسم يمكن قياسه دون الرجوع إلى معلومات غير منمذجة.
- LOD 350: يمكن تضمين مزيج من التجميعات المحددة والمفصلة، تمثيل رسومي دقيق (الشكل الهندسي الجيومترية، الحجم) لمكون داخل النموذج، معلومات وصفية.
- LOD 400: تجميعات تفصيلية، يمكن قياس كمية العنصر، وحجمه، وشكله، وموقعه، واتجاهه، كما هو مصمم مباشرة من النموذج دون الإشارة إلى معلومات غير نمطية، مثل: الملاحظات أو وسائل شرح الأبعاد.
- LOD 500: كما-هو-منفذ، فإن عنصر النموذج هو تمثيل تُحقق منه ميدانياً من حيث الحجم، والشكل، والموقع، والكمية، والتوجه. يمكن -أيضاً- إرفاق المعلومات غير الرسومية بالعناصر النمذجية.

لا تُعرّف نموذج معلومات البناء من خلال عملية أو برنامج واحد، على العكس من ذلك، فهي تقنية متعددة الطبقات، تتطلب تنسيق عمليات وبرامج مختلفة متعددة الوظائف. يمكن تقسيم الأدوات المطلوبة للإنجاز الناجح باستخدام نموذج معلومات البناء إلى فئات مختلفة، بناءً على استخدام كل أداة، ومرحلة العملية التي تُستخدم فيها (ابتدائي، إنشاء) (UN, 2021).

- أدوات التأليف المستخدمة لإنشاء النموذج الفعلي.
- تُستخدم أدوات التحليل لتحليل سلوك النموذج، والتنبؤ به، لمشاريع الطرق على وجه التحديد، وتشمل الأدوات الأكثر استخداماً حركة المرور، والرؤية، والضوضاء، وتحليل الإنارة.
- أدوات التحقق من الصحة؛ لضمان دقة وإحكام النموذج، التي تتوافق مع المتطلبات والمواصفات.

٢٠-٣-٢ نموذج معلومات البناء في تصميم الطرق:

تستخدم أدوات نموذج معلومات البناء -بشكل أساسي- لتحديد الموقع الأمثل لإنشاء البنى التحتية. اختيار الموقع الأمثل إجراء ديناميكي، يعتمد على المزايا والعيوب لكل موقع ممكن، ويمكن تحقيقه من خلال استخدام عمليات نموذج معلومات البناء. نظراً لأن نموذج معلومات البناء يقدم تصوراً معزّزاً للنموذج وأغراضه؛ يمكن للجهات المعنية أن تفهم -سلفاً- الآثار الاقتصادية والبيئية المحتملة

لتصميم الطرق. في مشاريع الطرق، يساعد تصور نموذج معلومات البناء على فحص النموذج من زوايا مختلفة، ويمكن أن يحدث الفحص -على سبيل المثال- من منظور السائق. تساعد هذه المراجعات على تحديد بؤر الحوادث المحتملة، مما يساعد على اقتراح التحسينات الممكنة (UN, 2021).

تتضمن النماذج ثلاثية الأبعاد التي تنتجها إجراءات نموذج معلومات البناء تمثيلات للتصميم المدني والإنشائي، مع تصميمات أخرى، مثل: الخدمات، والمرور، والإضاءة، وما إلى ذلك. وتُعد أدوات تصميم التأليف مسؤولة عن اتصال العناصر/المكونات من النماذج ثلاثية الأبعاد مع قاعدة بيانات تحتوي على معلومات وصفية، مثل: الجداول الزمنية، والمواد، والتكاليف، وما إلى ذلك. يوفر نموذج معلومات المباني أدوات، مثل: محاكاة المرور، وكميات القطع/الردم، وتدقيق الموقع، والفيضان، وتحليلات مستجمع المياه، وما إلى ذلك، التي يمكن أن تعمل كآلية مراجعة للنموذج ثلاثي الأبعاد المصمم. ويمكن أن تعمل هذه التحليلات -أيضاً- كاختبارات محاكاة؛ من أجل فحص سلوك النموذج ثلاثي الأبعاد في سيناريوهات محددة (Eastman, et al., 2008).

يُستخدم التحقق من صحة التعليمات البرمجية في برنامج نموذج معلومات البناء؛ من أجل مقارنة معلمات النموذج مع رموز المشروع، والمواصفات، والمتطلبات. وبشكل عام، تمثل هذه الرموز التزامات تنظيمية حيوية لتصميم الطرق وسلامتها. ويمكن أن تساعد أدوات نموذج معلومات البناء على الإسناد الترافقي للمواصفات المعمول بها مع قيود التصميم، وحدود السرعة هذه، وعناصر مسحاذاة الطريق، وما إلى ذلك (UN, 2021).

علاوة على ذلك، يوفر نموذج معلومات البناء القدرة على حساب الكميات المستخرجة -تلقائياً- من النموذج، وتقدير تكلفة المشروع على الفور. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تساعد عملية استخدام نموذج معلومات البناء -هذه- على مقارنة تكاليف التصميمات المختلفة لإجراء تغييرات في مراحل التصميم المبكرة، مما يساعد على تجنب تجاوزات الميزانية. أدوات نموذج معلومات البناء لحساب الكميات أكثر دقة من الحسابات بالطرق التقليدية، التي هي في الأساس تقديرات باستخدام رسومات ثنائية الأبعاد (UN, 2021).

عند مراجعة النموذج ثلاثي الأبعاد والتحقق منه بنجاح؛ يمكن إجراء تحليلات رباعية الأبعاد (4D) وخماسية الأبعاد (5D)، التي تقدم رؤية ديناميكية لمفهوم المشروع بقدر ما يتعلق بجوانب المدة والتكلفة. يُستخدم البعد الرابع لتقديم تصورات توضح تطور المشروع طوال مدته، ويمكن أن يساعد على الجدولة، والتخطيط الأفضل للأنشطة في الموقع، مع عدم حدوث أي تصادم بين هذه الأنشطة. تُنشأ تمثيلات البعد الخامس عند إضافة متغير التكلفة إلى متغيرات الوقت، والموقع (X, Y)، والارتفاع (Eastman, et al., 2008).

٣-٣-٢٠ نموذج معلومات البناء في أثناء مسوحات الإنشاء:

النموذج ثلاثي الأبعاد (3D) الناتج عن عملية نموذج معلومات البناء بمنزلة المدخلات الرئيسة لمسوحات الإنشاء بالتوجيه الآلي للمعدات (الجزء ١٩-٦). وبهذه الطريقة يُضمن التقدم الدقيق وتنفيذ المشروع. بشكل عام، يتم التحكم في معظم الآلات في الموقع، ومناولتها لاسلكياً بواسطة أجهزة الحاسوب. وتعلق أجهزة استقبال النظم العالمية لوسائل الملاحة على آلات إنشاء الطرق، التي تتحكم في سلوكها، والطرق التي تتبعها. وبمجرد إنشاء النموذج، يُشار إلى إحداثيات النظام العالمي لوسائل الملاحة للموقع، ويُحمل على أجهزة الحاسوب الخاصة بمعدات الموقع (UN, 2021).

علاوة على ذلك، تسهم تقنية نموذج معلومات البناء في أثناء المسوحات الإنشائية، مما يضمن سير عمل فعال وطلق، بينما يمكن أن يساعد على تنسيق أنشطة الموقع، والطواقم، وتقليل النزاعات إلى الحد الأدنى، والقضاء على سوء الاتصال. تساعد نموذج معلومات البناء على تصميم مخطط تخطيط الموقع، بحيث يمكن إنشاء تلقائياً، وضبطه ديناميكياً. يجب تضمين مكاتب الموقع، ومناطق التخزين، والمداخل، والطرق المؤقتة، والمرافق الأخرى، وما إلى ذلك في نموذج معلومات البناء ثلاثي الأبعاد مع المعلومات المناسبة.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام نموذج معلومات البناء من خلال الأجهزة المحمولة في الوقت الحقيقي على الموقع. لذا، يضمن نموذج معلومات البناء التنفيذ الدقيق للنموذج في أثناء المراجعة والتتبع، في الوقت الحقيقي لتقديم الإنشاء، والقضاء على حوادث السهو والأخطاء البشرية المحتملة.

٤-٣-٢٠ نموذج معلومات البناء للمسوحات كما-هو-مُنْفَذ:

يمكن التعبير عن مخرجات المسح المدمج في نموذج معلومات البناء، بدلاً من الرسومات البسيطة، مثل: مسوحات كما-هو-مُنْفَذ. ويمكن إجراؤها طوال عملية إنشاء الطرق، أو في أثناء تشغيلها. وتُجرى المسوحات الفعلية في نموذج معلومات البناء، باستخدام أنظمة المسح الأرضي بالليزر (TLS) الثابتة، ورسم الخرائط المتنقلة، مما يؤدي إلى إخراج سحب نقطية ضخمة. ثم يمكن استيراد بيانات سحابة نقطية إلى برنامج تأليف نموذج معلومات البناء، الذي يستخدم لإنشاء محتوى نموذج قابل للإنشاء.

تُحقق العملية من خلال خمس خطوات رئيسية، أي: الحصول على سحابة نقطية، ومعالجة سحابة نقطية، ونمذجة، وتصور، وتسليم نهائي. تُنفذ عملية الحصول على سحابة النقاط وتُعالج باستخدام أنظمة رسم الخرائط المتنقلة، أو المسح الأرضي بالليزر (TLS) البسيط، في حالة حجم الموقع المحدود، وباستخدام الإجراءات الموضحة في الأبواب (١٤) و (١٥) من هذا المجلد. ينبغي أن تتضمن عملية النمذجة والتصور ما يلي:

- استخراج التضاريس من سحابة نقطية.
- استخراج السمة التلقائية من سحابة نقطية.
- استخراج السمة اليدوية من سحابة نقطية.
- تصدير النقطة والسمات.



- تصدير علامات الطريق الأرضية.
- عرض سحابة نقطة -جنباً إلى جنب- مع سمات النقاط المستخرجة، وعلامات الطريق الأرضية.
- مواد مكونات رسم خرائط ممر.
- مراجعة مواد الممر.
- مراجعة علامات الخطوط الأرضية.
- الانتهاء من معاينة النموذج مع وبدون نقطة سحابة.

بشكل قاطع، يمكن أتمتة صور التضاريس والصور كما-هو-مُنقَذ، من خلال تبني تقنيات المسح الضوئي بالليزر ثلاثية الأبعاد، بينما يمكن تحقيق استيراد، وتسجيل، وفهرسة، وقص بيانات المسح الضوئي؛ باستخدام البرامج الحديثة. ثم يمكن استخدام استخراج سمة سحابة نقطة؛ لاستهداف الممر بدقة والنمذجة، في حين أن علامات خطوط الطريق، وأعمال الطلاء يمكن أن تساعد على إنتاج تصورات واقعية لنموذج معلومات البناء النهائي.

٢١- إجراء الاستثناء:

في جميع أعمال المسح لمشاريع الطرق المحددة في هذا المجلد، هناك بعض القيم والإجراءات الموضحة التي حددت على أنها ذات أهمية قصوى.

محتويات هذا المجلد تُحدد القواعد المقبولة -حاليًا- والمحددة -عمومًا-، وطرق المسح المناسبة، والمعدات اللازمة لإجراء أنشطة رسم الخرائط بدقة لمشاريع الطرق. تُعد المنهجيات، والإجراءات، وقيم التصميم، وقيم الخطأ (القصوى، والمقبولة، والمعبر عنها في جميع أنحاء المجلد) ملزمة، ولكن يُسمح باستثناءات في حالات محددة، إذا تم دعمها والموافقة عليها -بشكل صحيح- على النحو التالي.

عندما يتقرر أنه ليس من العملي استيفاء هذه القيم والإجراءات، يجب تقديم مبررات موثقة، ويجب الحصول على موافقة لإدراجها في نتائج المسح. الغرض من الأجزاء التالية هو تحديد متطلبات تبرير الاستثناء، والإجراءات المطلوبة للحصول على الموافقات اللازمة.

٢١-١ العناصر التي تتطلب استثناءات:

قد تتطلب خمسة عناصر مسح مدرجة في هذا المجلد استثناءات:

- **المنهجيات المختارة:** حسب الحجم، ومرحلة المشروع؛ وفقًا لما هو موضح في الجدول (٣-١) والجدول (٣-٤).
- **إجراءات المسح:** المطابقة في أثناء المسح الميداني الفعلي، وفي أثناء خطوات التجهيز المكتبي المتخذة بعد ذلك. على سبيل المثال، إجراءات المسح هي: جولات مرور متعددة (القسم الفرعي ١٥-٢-٣)، ومتطلبات معالجة البيانات (الجزء ١٥-٣) في رسم الخرائط المتنقلة.
- **الإجراءات الداعمة:** هي الإجراءات المتعلقة بالأدوات وما إلى ذلك، والمطابقة قبل المسح الميداني، على سبيل المثال: الإجراءات المتعلقة بالمعايرة، والعناية بالأجهزة في رسم الخرائط المتنقلة (الأجزاء الفرعية ١٥-٢-١ و ١٥-٢-٢) وهي إجراءات داعمة.
- **قيم المسح التصميمية:** هي قيم مقبولة للمعاملات المختارة، فيما يتعلق بتصميم المسح، قبل إجراء المسح الفعلي. على سبيل المثال: قيم الجدول (٣-٥) والجدول (٣-٦)، وهي قيم المسح التصميمية.
- **القيم القصوى المقبولة للخطأ:** هي المتبقيات المسموح بها لكل عملية مسح، وتُختار وفقًا للمنهجية المختارة، والمقياس، والدرجات، كما هو موضح في جميع أنحاء المجلد. على سبيل المثال: قيم الجدول (٢-١) ومقاييس الخريطة والدقة الأفقية، وهي في نفس التصنيف.

٢١-٢ العملية:

قبل المسح:

يُعد خطاب تبرير؛ لطلب الموافقة على المنهجيات المختارة، وقيم المسح التصميمية، والحد الأقصى لقيم الخطأ المقبولة من قبل مهندس المسح التابع للجهة المختصة، وتقديمه إلى وزارة النقل والخدمات اللوجستية، قبل تعيين استشاري المسح.

المسح:

في أثناء تنفيذ المسح الفعلي من قبل الاستشاري؛ يجب تقليل الحاجة إلى الاستثناءات في منهجيات المسح، وقيم تصميم المسح إلى الحد الأدنى، من خلال تحليل شامل في أثناء مرحلة تحديد النطاق، أو مرحلة ما قبل التصميم. ومع ذلك ليس من مستهجن في صفّل تصميم المسح في إجراء المسح الفعلي -بعد الحصول على بيانات تصميم أكثر دقة- أن تصبح الحاجة إلى استثناءات في منهجيات المسح وقيم التصميم واضحة.

قبل بدء العمل الميداني الفعلي للمسح، قد تكون الاستثناءات مبررة -أيضًا- لإجراءات المسح والدعم. من المهم أن يعالج مهندس المسح هذه التغييرات من وثيقة تحديد النطاق في وقت مبكر، وبطريقة مناسبة. من خلال معالجة الاستثناءات المحتملة في مرحلة المسح المبكر، يمكن تقليل التأثيرات في الجدول الزمني وتكلفة المشروع.

يجب تنقيح جميع عناصر التحكم التي تتطلب استثناءات (المنهجيات، والمسح، والإجراءات الداعمة، وقيم التصميم، والأخطاء المقبولة)، وتحديد ما قبل الانتهاء من المسح في الموقع. ونادرًا ما تعطى استثناءات للطلبات الصادرة في هذه المرحلة، مع وجود مبررات قوية. لن تُمنح الاستثناءات بسبب عدم وجود الوقت الكافي لإجراء التغييرات وللوفاء بالجدول الزمني للمشروع ومتطلبات المشروع.

سُترسل طلبات الاستثناء مع التبرير المناسب من مهندس المسح المسؤول إلى الجهة المختصة، للمراجعة والقبول. يمكن للجهة المختصة -أيضًا- تقديم طلبات إلى وزارة النقل والخدمات اللوجستية، للمراجعة والموافقة. يجب على مهندس المسح الاحتفاظ بجميع طلبات الاستثناء والموافقات في ملف المشروع، وإرسال نسخ إلى أي جهة معنية.



٣-٢١ التقييم ومبررات إجراء الاستثناء:

يجب أن تكون طلبات الاستثناء مصحوبة بتبرير مناسب. تتطلب الموافقة على الاستثناء أسباباً مقنعة؛ لتبرير سبب عدم إمكانية أو عدم استخدام الموصفة المعمول بها .

يجب مراعاة تأثيرات التباين عن الموصفة في دقة نتيجة المسح النهائي، وعلى سلامة وتشغيل المرفق، والتوافق مع الأجزاء المجاورة للطريق. يجب -أيضاً- مراعاة التصنيف الوظيفي للطريق، ونوع المشروع (على سبيل المثال: جديد، أو إعادة إنشاء).

يجب موازنة تكلفة الحصول على الموصفات المعمول بها الحالية مع أي تأثيرات ناتجة في المناظر الطبيعية، والتاريخية، والسمات البيئية الأخرى. ويجب النظر في التحسينات المستقبلية -المخطط لها- للطريق أو الممر.

يجب أن تشمل القضايا التي سيتم النظر فيها في أي تحليل:

- ما الدرجة التي تُخفض بها الموصفة؟
- ما التأثيرات -إن وجدت- التي سيجدها الاستثناء في الموصفات الأخرى؟
- هل يؤثر انخفاض الموصفة -بشكل كبير- في دقة نتائج المسح أو السلامة في منطقة معينة أو المشروع ككل؟
- هل هناك أي ميزات إضافية أخرى من شأنها أن تخفف من آثار الانحراف عن الموصفة؟

المراجع

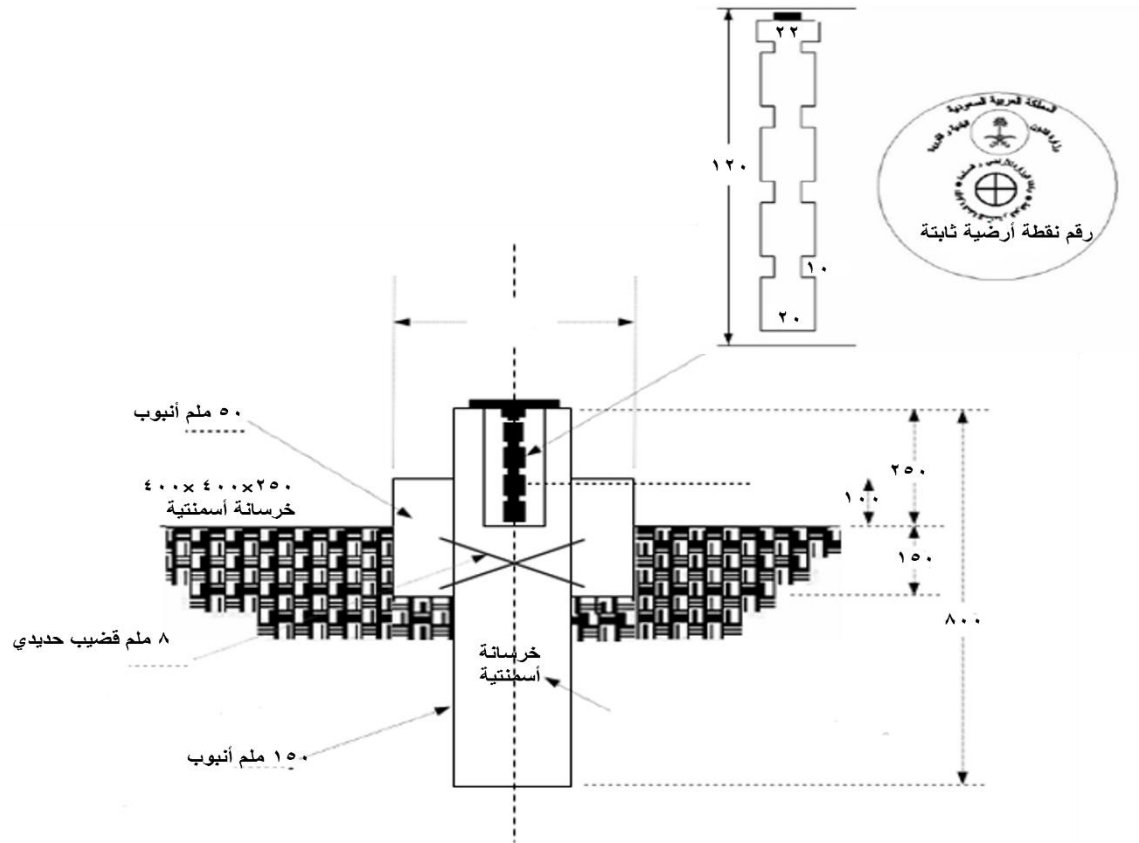
- GASGI, 2020. Getting Started with KSA-CORS Network v1.0. s.l.:Kingdom of Saudi Arabia, General Directorate of Geodesy.
- GASGI, 2022. *Saudi Arabia National Spatial Reference System Implementation Guidelines, Version 2.0*. s.l.:Kingdom of Saudi Arabia, General Authority for Survey and Geospatial Information.
- GASGI, 2022. *Technical Summary for Saudi Arabia National Spatial Reference System (SANSRS), Version 2.0*. s.l.:Kingdom of Saudi Arabia, General Authority for Survey and Geospatial Information.
- GASGI, December, 2021. *KSA Geospatial Standards Overview*. s.l.:Kingdom of Saudi Arabia (KSA) General Authority for Survey and Geospatial Information.
- KSA Cabinet Decision No. 54/1437, 2015. On the Approval of the Implementing Regulation of the Law of Expropriation for Public Benefit and Temporary Possession of the Real Estate, s.l.: Kingdom of Saudi Arabia Cabinet Decision No. 54/1437.
- MoMRAH, 2005. *GPS Survey Guide*. s.l.:Ministry of Municipalities, Rural Affairs and Housing.
- MoMRAH, 2005. *Terrestrial Mapping*. s.l.:Ministry of Municipalities, Rural Affairs and Housing.
- Bernhard Maidl, L. S. W. R. M. H. D. S. S. (., 2012. *Hardrock Tunnel Boring Machines*. s.l.:Wiley.
- CALTRANS, 2016. *Surveys Manual, Control Surveys*. s.l.:California Department of Transportation.
- DOT, 2013. *TECHBRIEF, Automated Machine Guidance with Use of 3D Models*, s.l.: Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K., 2008. *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners. Managers. Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc..
- FIU, 2014. *Building Information Modeling (BIM) Standard and Guide*, Florida: Florida International University.
- Florida DOT, 1999. *FDOT Safety of Location Surveyors*. Florida: Florida, Department of Transportation (FDOT).
- IDOT, 2015. *Survey Manual*, Illinois: State of Illinois, Illinois Department of Transportation, Bureau of Design and Environment.
- Illinois DOT, 2015. *Survey Manual, Chapter One - General*. Illinois: State of Illinois, Illinois Department of Transportation, Bureau of Design and Environment.
- IOWA SUDAS, 2018. *Design Manual*. Iowa: Iowa Statewide Urban Design and Specifications.
- Kinsler, L. E., Frey, A. R., Crippens, A. B. & Sanders, J. V., 1982. *Fundamentals of Acoustics*. New York: John Wiley and Sons.
- MnDOT, 2007. *Surveying and Mapping Manual*. Minnesota: Department of Transportation
- NYS DOT, 2009. *Land Surveying Standards and Procedures Manual*. New York: Department of Transportation, Design Division.
- ODOT, 2014. *Oregon Department of Transportation GNSS Guidelines*. Oregon: Oregon Department of Transportation.
- ODOT, 2021. *Construction Surveying Manual for Contractors*. Oregon: Oregon, Department of Transportation.



- Toth, C. K. & Shan, J., 2009. *Topographic laser ranging and scanning : principles and processing*. 1st ed. s.l.:CRC Press/Taylor & Francis Group.
- WDOT, 2021. *Construction and Materials Manual*. Wisconsin: Wisconsin Department of Transportation, Bureau of Project Development.
- White, D. et al., 2018. Use of Automated Machine Guidance within the Transportation Industry. *National Academies*.

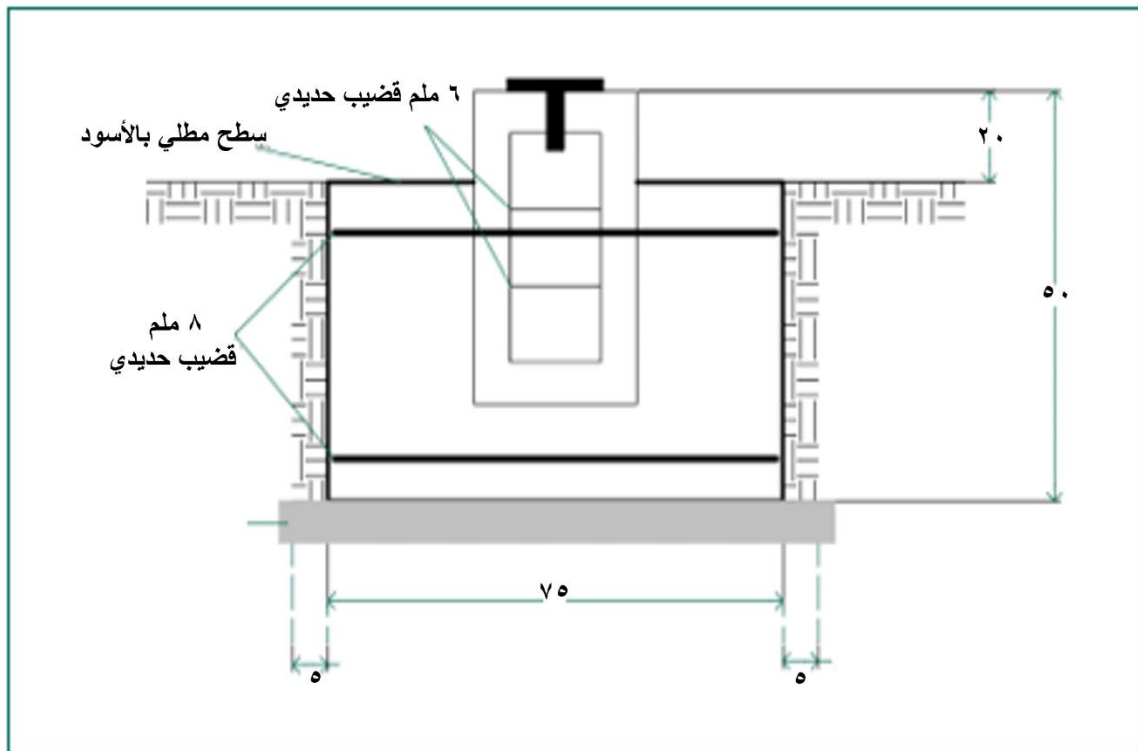
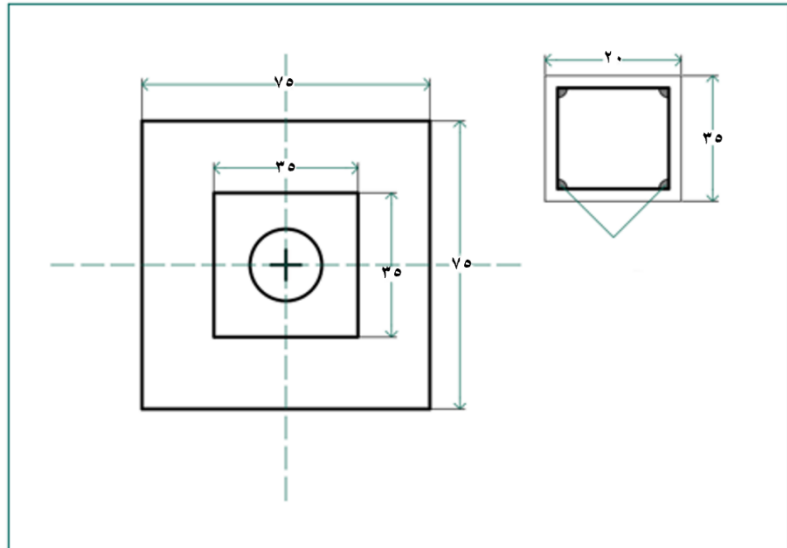
أ- الملحق أ - أكواد العلامات والسّمات:

أ- ١ وضع العلامات (MoMRAH, 2005):



الأبعاد بالمليمترات

الشكل (أ-١) العلامات من الدرجة الأولى والثانية (MoMRAH, 2005).



الأبعاد بالمليمترات

الشكل (أ-٢) العلامات من الدرجة الثالثة (MoMRAH, 2005).

أ-٢ رموز السمات للخرائط الطبوغرافية، مقياس ١:١,٠٠٠:

الجدول (أ-١) رموز السمات للخرائط الطبوغرافية، مقياس ١:١,٠٠٠ (MoMRAH, 2005).

م	أسماء الميزات	رمز المعلم/مجموعة الرسومات/نمط خط التحكم	المستويات / الطبقات	التون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO
١	مخطط منطقة المطار.	١٠٠١	١	٣	٠	٥	----	٠	-	√
٢	مخطط المنطقة المبنية.	١٠٠٢	٢	٣	١	٠	----	٠	-	√
٣	نمط المنطقة المبنية.	١٠٠٣	٢	٣	٠	٠	----	٠	-	√
٤	مضلع المنطقة المبنية.	١٠٠٤	٢	٩	٠	٠	----	٢	-	√
٥	مخطط المقابر.	١٠٠٥	٣	٥	٠	٥	----	٠	-	√
٦	نمط المقابر.	١٠٠٦	٣	٥	١	٠	١٠٠٦	٠	-	√
٧	مضلع المقابر.	١٠٠٧	٣	٥	٠	٠	----	٢	-	√
٨	مخطط شريط الهبوط.	١٠٠٨	١	٩	٠	٥	----	٠	-	√
٩	مخطط شريط الهبوط.	١٠٠٩	١	٩	١	٠	١٠٠٩	٠	-	√
١٠	مخطط المناطق المتفرقة.	١٠١٠	٥	٤	٠	٥	----	٠	-	√
١١	مخطط الحديقة.	١٠١١	٣	٢	٠	٥	----	٠	-	√
١٢	رمز الحديقة.	١٠١٢	٣	٢	١	٠	١٠١٢	٠	-	√
١٣	مضلع الحديقة.	١٠١٣	٣	٢	٠	٠	----	٢	-	√
١٤	مخطط الحفرة.	١٠١٤	٤	٥	٠	٥	---	٠	-	√
١٥	رمز الحفرة.	١٠١٥	٤	٥	١	٠	١٠١٥	٠	-	√
١٦	مخطط المحجر.	١٠١٦	٤	٦	٠	٥	----	٠	-	√
١٧	رمز المحجر.	١٠١٧	٤	٦	١	٠	١٠١٧	٠	-	√
١٨	مخطط المنطقة الترفيهية.	١٠١٨	٣	١	٠	٥	----	٠	-	√



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعه	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
١٩	رمز المنطقة الترفيهية.	١٠١٩	٣	١	١	٠	١٠١٩	٠	-	√	
٢٠	مخطط قلاب النفايات.	١٠٢١	٣	٦	٠	٥	----	٠	-	√	
٢١	رمز قلاب النفايات.	١٠٢٢	٣	٦	١	٠	١٠٢٢	٠	-	√	
٢٢	مضلع قلاب النفايات.	١٠٢٣	٣	٦	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٣	تذييل العلامة المرجعية.	١١٠١	٣٤	٣	١	٠	----	٠	١	√	
٢٤	تذييل للمؤشر الكنتوري.	١١٠٢	٤٣	٦	٢	٠	----	٠	٢	√	
٢٥	تذييل للمتوسط الكنتوري.	١١٠٣	٤٤	٥	٠	٠	----	٠	٢	√	
٢٦	تذييل لنقطة التحكم.	١١٠٤	٣٤	٣	١	٠	----	٠	١	√	
٢٧	ملصق عام.	١١٠٥	٥٧	٠	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٢٨	تذييل لمبنى حكومي.	١١٠٦	٥٥	٦	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٢٩	أرقام شبكة خطوط الطول والعرض.	١١٠٧	٥٦	٣	١	٠	----	٠	٦,٧٦	√	
٣٠	تذييل هيدروغرافي.	١١٠٨	٥٧	١	١	٠	----	٠	٤,٧٦	√	
٣١	تذييل لمنطقة السمات.	١١٠٩	٥٧	٣	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٢	تذييل للميزات المنفرقة.	١١١٠	٥٧	٦	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٣	تذييل لاسم المكان.	١١١١	٥٨	٣	٢	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٤	تذييل لاسم المقطع.	١١١٢	٥٩	٢	٤	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٥	تذييل لارتفاع البقعة.	١١١٣	٤٨	٦	١	٠	----	٠	٢	√	
٣٦	تذييل لاسم الشارع.	١١١٤	٦٠	٣	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٧	تذييل للعنوان.	١١١٥	٥٦	٠	٣	٠	----	٠	٥,٧٦	√	
٣٨	تعليق توضيحي للمرفق.	١١١٦	٥٧	٥	١	٠	----	٠	٣,٧٦	√	
٣٩	تذييل لشبكة مستعرض مركاتور العالمي.	١١١٧	٥٦	٠	١	٠	----	٠	٢	√	
٤٠	تذييل على السطح بارتفاع موضعي.	١١١٨	٤٨	١	١	٠	----	٠	٢	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز المخطط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٤١	خطوط شبكة خطوط الطول والعرض.	١٢٠١	٥٦	٣	١	٠	----	٠	-	√	
٤٢	مؤشرات شبكة خطوط الطول والعرض.	١٢٠٢	٥٦	٣	١	٠	١٢٠٢	٠	-	√	
٤٣	الخط المنظم.	١٢٠٣	٥٦	٨	٠	٠	----	٠	-	√	
٤٤	علامات التسجيل.	١٢٠٤	٥٦	٠	٠	٠	١٢٠٤	٠	-	√	
٤٥	الخط المحيطي.	١٢٠٥	٥٦	٣	١	٠	----	٠	-	√	
٤٦	خط التنسيق.	١٢٠٦	٥٦	٢	١	٠	----	٠	-	√	
٤٧	خطوط شبكة خطوط الطول والعرض.	١٢٠٧	٥٦	٤	٠	٠	----	٠	٢	√	
٤٨	علامات شبكة خطوط الطول والعرض.	١٢٠٨	٥٦	٤	١	٠	١٢٠٨	٠	-	√	
٤٩	مبنى المطار.	٢٠٠١	١	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٥٠	رمز المطار.	٢٠٠٢	١	٣	١	٠	٢٠٠٢	٠	-	√	
٥١	المخطط العام للمبنى.	٢٠٠٣	٦	٠	٢	٠	----	٠	-	√	
٥٢	النمط عام للمبنى.	٢٠٠٤	٢	٠	٢	٠	----	٠	-	√	
٥٣	الرمز العام للمبنى – مستطيل.	٢٠٠٥	٧	٠	١	٠	٢٠٠٥	٠	-	√	
٥٤	الرمز العام للمبنى – مربع.	٢٠٠٦	٧	٠	١	٠	٢٠٠٦	٠	-	√	
٥٥	مبنى حكومي.	٢٠٠٧	٨	٦	٣	٠	----	٠	-	√	
٥٦	رمز مبنى حكومي.	٢٠٠٨	٨	٦	١	٠	٢٠٠٨	٠	-	√	
٥٧	مبنى – Ruin.	٢٠٠٩	٦	٠	١	١	----	١	-	√	
٥٨	مبنى تحت الإنشاء.	٢٠١٠	٦	٠	١	٢	----	٠	-	√	
٥٩	مبنى القلعة.	٢٠١١	٩	٤	٣	٠	----	٠	-	√	
٦٠	رمز القلعة.	٢٠١٢	٩	٤	١	٠	٢٠١٢	٠	-	√	
٦١	مبنى محطة الوقود.	٢٠١٣	١٠	٢	٣	٠	----	٠	-	√	
٦٢	رمز محطة الوقود.	٢٠١٤	١٠	٢	١	٠	٢٠١٤	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز المعظم/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٦٣	مبنى محطة الإطفاء.	٢٠١٥	٨	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٦٤	رمز محطة الإطفاء.	٢٠١٦	٨	٣	١	٠	٢٠١٦	٠	-	√	
٦٥	مبنى المولد/المحطة الفرعية.	٢٠١٧	١١	٥	٢	٠	----	٠	-	√	
٦٦	رمز المولد/المحطة الفرعية.	٢٠١٨	١١	٥	١	٠	٢٠١٨	٠	-	√	
٦٧	مبنى المنارة.	٢٠١٩	٨	٥	٣	٠	----	٠	-	√	
٦٨	رمز المنارة.	٢٠٢٠	٨	٥	١	٠	٢٠٢٠	٠	-	√	
٦٩	مبنى المنشأة الطبية.	٢٠٢١	٨	٢	٣	٠	----	٠	-	√	
٧٠	رمز المنشأة الطبية.	٢٠٢٢	٨	٢	١	٠	٢٠٢٢	٠	-	√	
٧١	مبنى محطة ترحيل الموجات الصغرى.	٢٠٢٣	١١	٣	٢	٠	----	٠	-	√	
٧٢	رمز محطة ترحيل الموجات الصغرى.	٢٠٢٤	١١	٣	١	٠	٢٠٢٤	٠	-	√	
٧٣	مبنى المسجد.	٢٠٢٥	١٢	٢	٣	٠	----	٠	-	√	
٧٤	رمز المسجد.	٢٠٢٦	١٢	٢	١	٠	٢٠٢٦	٠	-	√	
٧٥	مبنى المسجد (الجمعة).	٢٠٢٧	١٢	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٧٦	رمز المسجد (الجمعة).	٢٠٢٨	١٢	٣	١	٠	٢٠٢٨	٠	-	√	
٧٧	مبنى البلدية.	٢٠٢٩	٩	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٧٨	رمز البلدية.	٢٠٣٠	٩	٣	١	٠	٢٠٣٠	٠	-	√	
٧٩	مبنى مركز الشرطة.	٢٠٣١	٨	٠	٣	٠	----	٠	-	√	
٨٠	رمز مركز الشرطة.	٢٠٣٢	٨	٠	١	٠	٢٠٣٢	٠	-	√	
٨١	مبنى مكتب البريد.	٢٠٣٣	٨	٤	٣	٠	----	٠	-	√	
٨٢	رمز مكتب البريد.	٢٠٣٤	٨	٤	١	٠	٢٠٣٤	٠	-	√	
٨٣	مبنى مكتب الهاتف العام.	٢٠٣٥	١١	٦	٣	٠	----	٠	-	√	
٨٤	رمز مكتب الهاتف العام.	٢٠٣٦	١١	٦	١	٠	٢٠٣٦	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٨٥	مبنى دورة المياه العامة.	٢٠٣٧	١٠	١	٢	٠	----	٠	-	√	
٨٦	رمز دورة المياه العامة.	٢٠٣٨	١٠	١	١	٠	٢٠٣٨	٠	-	√	
٨٧	محطة الضخ - مبنى الوقود.	٢٠٣٩	١٣	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٨٨	محطة الضخ - رمز الوقود.	٢٠٤٠	١٣	٣	١	٠	٢٠٤٠	٠	-	√	
٨٩	محطة الضخ - مبنى المياه.	٢٠٤١	١٣	١	٣	٠	----	٠	-	√	
٩٠	محطة الضخ - رمز المياه.	٢٠٤٢	١٣	١	١	٠	٢٠٤٢	٠	-	√	
٩١	تغيير مستوى السقف.	٢٠٤٣	١٤	٦	٠	٠	----	٠	-	√	
٩٢	مبنى المدرسة/الكلية/الجامعة.	٢٠٤٤	٨	١	٣	٠	----	٠	-	√	
٩٣	رمز المدرسة/الكلية/الجامعة.	٢٠٤٥	٨	١	١	٠	٢٠٤٥	٠	-	√	
٩٤	سياج من الطوب للقياس.	٣٠٠١	١٥	١	١	٠	----	٠	-	√	
٩٥	رمز سياج من الطوب.	٣٠٠٢	١٥	١	١	٤	----	٠	-	√	
٩٦	سياج الحديد والطوب.	٣٠٠٣	١٥	٢	١	٨	----	٠	-	√	
٩٧	سياج الأسلاك.	٣٠٠٤	١٥	٤	٠	٤	----	٠	-	√	
٩٨	بوابة.	٣٠٠٥	١٥	٦	١	١	----	٠	-	√	
٩٩	حدود الأرض.	٣٠٠٦	١٦	٧	١	٧	----	٠	-	√	
١٠٠	مخطط البناء المنحدر.	٣٠٠٧	١٧	١	١	٠	----	٠	-	√	
١٠١	رمز البناء المنحدر.	٣٠٠٨	١٧	١	٠	٣	----	٠	-	√	
١٠٢	البناء العمودي.	٣٠٠٩	١٧	١	١	٦	----	٠	-	√	
١٠٣	هيكل متنوع.	٣٠١٠	١٨	٦	١	٠	----	٠	-	√	
١٠٤	سمة متنوعة.	٣٠١١	١٨	٦	٠	٣	----	٠	-	√	
١٠٥	مخطط الرافعة الثابتة.	٣٠١٢	١٨	٣	١	٠	----	٠	-	√	
١٠٦	رمز الرافعة الثابتة.	٣٠١٣	١٨	٣	١	٠	٣٠١٣	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعه	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
١٠٧	مخطط الخطوات.	٣٠١٤	١٧	١	١	٢	----	٠	-	√	
١٠٨	نمط الخطوات الداخلية.	٣٠١٥	١٧	١٠	٠	٠	----	٠	-	√	
١٠٩	مخطط المسبح.	٣٠١٦	١٨	١	١	٠	----	٠	-	√	
١١٠	رمز مخطط المسبح.	٣٠١٧	١٨	١	١	٠	٣٠١٧	٠	-	√	
١١١	مخطط ساحة المطار.	٤٠٠١	١	٣	١	٠	----	٠	-	√	
١١٢	الجسر.	٤٠٠٢	١٩	٩	٢	٠	----	٠	-	√	
١١٣	مخطط مواقف السيارات المرصوفة.	٤٠٠٣	٢٠	٣	١	٠	----	٠	-	√	
١١٤	مخطط مواقف السيارات غير المرصوفة.	٤٠٠٤	٢٠	٣	١	٣	----	٠	-	√	
١١٥	رمز موقف السيارات.	٤٠٠٥	٢٠	٣	١	٠	٤٠٠٥	٠	-	√	
١١٦	عبارة.	٤٠٠٦	١٩	٣	١	٠	----	٠	-	√	
١١٧	قطع.	٤٠٠٧	١٩	٩	١	٠	----	٠	-	√	
١١٨	قطع دون خط.	٤٠٠٨	١٩	٩	١	١	----	٠	-	√	
١١٩	ردم.	٤٠٠٩	١٩	١١	١	٠	----	٠	-	√	
١٢٠	ردم دون خط.	٤٠١٠	١٩	١١	١	١	----	٠	-	√	
١٢١	مسار مركب.	٤٠١١	٢١	٣	٠	٥	----	٠	-	√	
١٢٢	رمز مركب.	٤٠١٢	٢١	٣	١	٠	٤٠١٢	٠	-	√	
١٢٣	جسر مشاة.	٤٠١٣	١٩	٩	٢	٠	----	٠	-	√	
١٢٤	ممر مشاة.	٤٠١٤	٢٢	٣	١	٥	----	٠	-	√	
١٢٥	حاجز السكك الحديدية.	٤٠١٥	٢١	٩	١	٠	----	٠	-	√	
١٢٦	خط سكة حديد واحد.	٤٠١٦	٢١	١٠	١	٤	----	٠	-	√	
١٢٧	خط سكة حديد مزدوج.	٤٠١٧	٢١	٣	١	٦	----	٠	-	√	
١٢٨	كتف طريق.	٤٠١٨	٢٣	٩	٠	٠	----	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
١٢٩	حافة الطريق المرصوف.	٤٠١٩	٢٣	٣	١	٠	----	٠	-	√	
١٣٠	حافة الطريق المرصوف Clx.	٤٠٢٠	٢٣	٩	١	٠	----	٠	-	√	
١٣١	الخط الوسطي للطريق المرصوف Clx.	٤٠٢١	٢٣	٩	٠	٣	----	٢	-	√	
١٣٢	الخط الوسطي للطريق المرصوف Sym.	٤٠٢٢	٢٣	٩	١	٠	----	٠	-	√	
١٣٣	الطريق المرصوف < ١٥ م - Ncr Clx.	٤٠٢٣	٢٣	١	٣	٥	----	٢	-	√	
١٣٤	الطريق المرصوف < ١٥ م - Scr Clx.	٤٠٢٤	٢٣	١	٣	٢	----	٢	-	√	
١٣٥	الطريق المرصوف < ١٥ م - Dcr Clx.	٤٠٢٥	٢٣	١	٣	٣	----	٢	-	√	
١٣٦	الطريق المرصوف < ١٥ م - Ncr Sym.	٤٠٢٦	٢٣	١	١	٥	----	٠	-	√	
١٣٧	الطريق المرصوف < ١٥ م - Scr Sym.	٤٠٢٧	٢٣	١	١	٢	----	٠	-	√	
١٣٨	الطريق المرصوف < ١٥ م - Dcr Sym.	٤٠٢٨	٢٣	١	١	٣	----	٠	-	√	
١٣٩	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Ncr Clx.	٤٠٢٩	٢٣	٢	٣	٥	----	٢	-	√	
١٤٠	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Scr Clx.	٤٠٣٠	٢٣	٢	٣	٢	----	٢	-	√	
١٤١	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Dcr Clx.	٤٠٣١	٢٣	٢	٣	٣	----	٢	-	√	
١٤٢	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Ncr Sym.	٤٠٣٢	٢٣	٢	١	٥	----	٠	-	√	
١٤٣	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Scr Sym.	٤٠٣٣	٢٣	٢	١	٢	----	٠	-	√	
١٤٤	الطريق المرصوف ١٥-١٠ م - Dcr Sym.	٤٠٣٤	٢٣	٢	١	٣	----	٠	-	√	
١٤٥	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Ncr Clx.	٤٠٣٥	٢٣	٤	٢	٥	----	٢	-	√	
١٤٦	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Scr Clx.	٤٠٣٦	٢٣	٤	٢	٢	----	٢	-	√	
١٤٧	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Dcr Clx.	٤٠٣٧	٢٣	٤	٢	٣	----	٢	-	√	
١٤٨	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Ncr Sym.	٤٠٣٨	٢٣	٤	١	٥	----	٠	-	√	
١٤٩	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Scr Sym.	٤٠٣٩	٢٣	٤	١	٢	----	٠	-	√	
١٥٠	الطريق المرصوف ١٠-٧ م - Dcr Sym.	٤٠٤٠	٢٣	٤	١	٣	----	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
١٥١	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Ncr Clx	٤٠٤١	٢٣	٥	٢	٥	----	٢	-	√	
١٥٢	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Scr Clx	٤٠٤٢	٢٣	٥	٢	٢	----	٢	-	√	
١٥٣	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Dcr Clx	٤٠٤٣	٢٣	٥	٢	٣	----	٢	-	√	
١٥٤	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Ncr Sym	٤٠٤٤	٢٣	٥	١	٥	----	٠	-	√	
١٥٥	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Scr Sym	٤٠٤٥	٢٣	٥	١	٢	----	٠	-	√	
١٥٦	الطريق المرصوف ٧-٥ م- Dcr Sym	٤٠٤٦	٢٣	٥	١	٣	----	٠	-	√	
١٥٧	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Ncr Clx	٤٠٤٧	٢٣	٦	٢	٥	----	٢	-	√	
١٥٨	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Scr Clx	٤٠٤٨	٢٣	٦	٢	٢	----	٢	-	√	
١٥٩	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Dcr Clx	٤٠٤٩	٢٣	٦	٢	٣	----	٢	-	√	
١٦٠	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Ncr Sym	٤٠٥٠	٢٣	٦	١	٥	----	٠	-	√	
١٦١	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Scr Sym	٤٠٥١	٢٣	٦	١	٢	----	٠	-	√	
١٦٢	الطريق المرصوف ٥-٣ م- Dcr Sym	٤٠٥٢	٢٣	٦	١	٣	----	٠	-	√	
١٦٣	الجزيرة الوسطية للطريق المرصوف - Scr Sym	٤٠٥٣	٢٣	٣	١	٦	----	٠	-	√	
١٦٤	الطريق المرصوف < ١٠ م- Clx	٤٠٥٤	٢٣	٩	٣	٣	----	٢	-	√	
١٦٥	الطريق المرصوف ١٠-٥ م- Clx	٤٠٥٥	٢٣	٩	٢	٢	----	٢	-	√	
١٦٦	الطريق المرصوف > ٥ م- Clx	٤٠٥٦	٢٣	٩	١	٥	----	٢	-	√	
١٦٧	الطريق المرصوف < ١٠ م- Sym	٤٠٥٧	٢٣	٣	١	٣	----	٠	-	√	
١٦٨	الطريق المرصوف ١٠-٥ م- Sym	٤٠٥٨	٢٣	٣	١	٢	----	٠	-	√	
١٦٩	الطريق المرصوف > ٥ م- Sym	٤٠٥٩	٢٣	٣	١	٥	----	٠	-	√	
١٧٠	حافة الطريق غير المرصوف	٤٠٦٠	٢٤	١	٠	٣	----	٠	-	√	
١٧١	حافة الطريق غير المرصوف Clx	٤٠٦١	٢٤	٩	٠	٢	----	٠	-	√	
١٧٢	الخط الوسطي للطريق غير المرصوف Clx	٤٠٦٢	٢٤	١	٢	١	----	٢	-	√	



م	أسماء المميزات	الرمز المخطط/مجموعة الرسومات/خط التحكم	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO
١٧٣	الخط الوسطي للطريق غير المرصوف .Sym	٤٠٦٣	٢٤	١	٠	٥	----	٠	-	√
١٧٤	حافة الطريق U/C	٤٠٦٤	٢٤	٢	٠	٣	----	٠	-	√
١٧٥	حافة الطريق U/C—Clx	٤٠٦٥	٢٤	٢	٠	٢	----	٠	-	√
١٧٦	الخط الوسطي للطريق U/C—Clx	٤٠٦٦	٢٤	٢	٢	١	----	٢	-	√
١٧٧	الخط الوسطي للطريق U/C—Sym	٤٠٦٧	٢٤	٢	٠	٥	----	٠	-	√
١٧٨	محطة سيارات الأجرة/الحافلات	٤٠٦٨	٢٠	٣	١	٠	٤٠٦٨	٠	-	√
١٧٩	حافة المسار	٤٠٦٩	٢٥	٤	٠	٣	----	٠	-	√
١٨٠	حافة المسار — Clx	٤٠٧٠	٢٥	٤	٠	٢	----	٠	-	√
١٨١	الخط الوسطي لحافة المسار — Clx	٤٠٧١	٢٥	٤	٠	١	----	٢	-	√
١٨٢	الخط الوسطي لحافة المسار — Sym	٤٠٧٢	٢٥	٤	٠	٥	----	٠	-	√
١٨٣	بوابة النفق	٤٠٧٣	١٩	٣	٢	٠	----	٠	-	√
١٨٤	حافة النفق	٤٠٧٤	١٩	٥	٠	٣	----	٠	-	√
١٨٥	حافة النفق — Clx	٤٠٧٥	١٩	٥	٠	٢	----	٠	-	√
١٨٦	الخط الوسطي لحافة النفق — Clx	٤٠٧٦	١٩	٥	٠	١	----	٢	-	√
١٨٧	الخط الوسطي لحافة النفق — Sym	٤٠٧٧	١٩	٥	٠	٥	----	٠	-	√
١٨٨	مدخل سيارة خاص	٤٠٧٨	٢٣	٣	٠	٠	----	٠	-	√
١٨٩	خط الكهرباء - الجهد العالي	٥٠٠١	٢٦	٣	٠	٠	----	٠	-	√
١٩٠	خط الكهرباء — محلي	٥٠٠٢	٢٦	٩	٠	٠	----	٢	-	√
١٩١	خط أنابيب الغاز فوق الأرض	٥٠٠٣	٢٧	٤	١	٠	----	٠	-	√
١٩٢	خط أنابيب الغاز تحت الأرض	٥٠٠٤	٢٧	١٠	١	٤	----	٠	-	√
١٩٣	خط أنابيب الوقود فوق الأرض	٥٠٠٥	٢٨	٦	١	٠	----	٠	-	√
١٩٤	خط أنابيب الوقود تحت الأرض	٥٠٠٦	٢٨	١٢	١	٤	----	٠	-	√



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
١٩٥	خط أنابيب المياه فوق الأرض.	٥٠٠٧	٢٩	١	١	٠	----	٠	-	√	
١٩٦	خط أنابيب المياه تحت الأرض.	٥٠٠٨	٢٩	٧	١	٤	----	٠	-	√	
١٩٧	العمود الكهربائي - عالي الجهد.	٥٠٠٩	٢٦	٣	١	٠	٥٠٠٩	٠	-	√	
١٩٨	العمود الكهربائي - محلي.	٥٠١٠	٢٦	٣	١	٠	٥٠١٠	٠	-	√	
١٩٩	عمود الهاتف.	٥٠١١	٣٠	٠	١	٠	٥٠١١	٠	-	√	
٢٠٠	عمود أسلاك الضغط العالي.	٥٠١٢	٢٦	٣	١	٠	----	٠	-	√	
٢٠١	رمز عمود أسلاك الضغط العالي.	٥٠١٣	٢٦	٣	١	٠	٥٠١٣	٠	-	√	
٢٠٢	هوائي الراديو/التلفزيون.	٥٠١٤	٣١	٣	١	٠	٥٠١٤	٠	-	√	
٢٠٣	مصباح الشارع - متعدد.	٥٠١٥	٣٢	٣	١	٠	٥٠١٥	٠	-	√	
٢٠٤	مصباح الشارع - يسار.	٥٠١٦	٣٢	٣	١	٠	٥٠١٦	٠	-	√	
٢٠٥	مصباح الشارع - يمين.	٥٠١٧	٣٢	٣	١	٠	٥٠١٧	٠	-	√	
٢٠٦	خزان الغاز للقياس.	٥٠١٨	٢٧	٤	١	٠	----	٠	-	√	
٢٠٧	رمز خزان الغاز.	٥٠١٩	٢٧	٤	١	٠	٥٠١٩	٠	-	√	
٢٠٨	خزان الوقود للقياس.	٥٠٢٠	٢٨	٦	١	٠	----	٠	-	√	
٢٠٩	رمز خزان الوقود.	٥٠٢١	٢٨	٦	١	٠	٥٠٢١	٠	-	√	
٢١٠	خزان المياه للقياس.	٥٠٢٢	٢٩	٥	١	٠	----	٠	-	√	
٢١١	رمز خزان المياه.	٥٠٢٣	٢٩	١	١	٠	٥٠٢٣	٠	-	√	
٢١٢	صندوق الهاتف.	٥٠٢٤	٣٠	٠	١	٠	٥٠٢٤	٠	-	√	
٢١٣	خط الهاتف.	٥٠٢٥	٣٠	٠	٠	٠	----	٢	-	√	
٢١٤	برج المياه للقياس.	٥٠٢٦	٢٩	٧	١	٠	----	٠	-	√	
٢١٥	رمز برج المياه.	٥٠٢٧	٢٩	١	١	٠	٥٠٢٧	٠	-	√	
٢١٦	إشارة المرور.	٥٠٢٨	٣٢	٣	١	٠	٥٠٢٨	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٢١٧	بئر الوقود.	٥٠٢٩	٢٨	٦	١	٠	٥٠٢٩	٠	-	√	
٢١٨	بئر المياه.	٥٠٣٠	٢٩	١	١	٠	٥٠٣٠	٠	-	√	
٢١٩	فتحة التفقيش.	٥٠٣١	٢٩	٣	٠	٠	٥٠٣٤	٠	-	√	
٢٢٠	علامات المقاعد – Ngn.	٦٠٠١	٣٣	٢	١	٠	٦٠٠١	٠	-	√	
٢٢١	علامات المقاعد.	٦٠٠٢	٣٤	٢	١	٠	٦٠٠٢	٠	-	√	
٢٢٢	نقطة التحكم – Ngn.	٦٠٠٣	٣٣	٣	١	٠	٦٠٠٣	٠	-	√	
٢٢٣	نقطة التحكم.	٦٠٠٤	٣٤	٣	١	٠	٦٠٠٤	٠	-	√	
٢٢٤	مخطط المربع التخطيطي.	٦٠٠٥	٣٣	٢	٣	٠	----	٠	-	√	
٢٢٥	مخطط قطعة الأرض.	٦٠٠٦	٣٤	٠	١	٠	----	٠	-	√	
٢٢٦	قسم الشارع.	٦٠٠٧	٣٥	٣	١	٠	----	٠	-	√	
٢٢٧	الحدود الدولية بعلامات.	٦٠٠٨	٣٣	٣	٣	٠	----	٠	-	√	
٢٢٨	الحدود الدولية غير المعلمة.	٦٠٠٩	٣٤	٣	٣	٣	----	٠	-	√	
٢٢٩	نمط شاطئ الحصى.	٧٠٠١	٣٥	٤	١	٠	٧٠٠١	٠	-	√	
٢٣٠	مضلع شاطئ الحصى.	٧٠٠٢	٣٥	١٠	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٣١	حاجز الأمواج، الرصيف البحري، رصيف الميناء.	٧٠٠٣	٣٦	٠	٢	٠	----	٠	-	√	
٢٣٢	حافة القناة.	٧٠٠٤	٣٧	١	١	٠	----	٠	-	√	
٢٣٣	الخط المركزي للقناة.	٧٠٠٥	٣٧	٧	١	٧	----	٠	-	√	
٢٣٤	الخط المركزي للقناة < ٢٥ متر.	٧٠٠٦	٣٧	٧	٣	٠	----	٠	-	√	
٢٣٥	الخط المركزي للقناة ١٠-٢٥ متر.	٧٠٠٧	٣٧	٧	٢	٠	----	٠	-	√	
٢٣٦	الخط المركزي للقناة ٥-١٠ متر.	٧٠٠٨	٣٧	٧	١	٠	----	٠	-	√	
٢٣٧	صخرة ساحلية.	٧٠٠٩	٣٥	٠	١	٠	----	٠	-	√	
٢٣٨	خط ساحلي محدد.	٧٠١٠	٣٨	١	١	٠	----	٠	-	√	



م	أسماء المميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٢٣٩	خط ساحلي غير محدد.	٧٠١١	٣٨	١	١	٣	----	٠	-	√	
٢٤٠	سد.	٧٠١٢	٣٦	٣	٢	٠	----	٠	-	√	
٢٤١	نمط السد الداخلي.	٧٠١٣	٣٦	٩	٠	٠	----	٠	-	√	
٢٤٢	خندق.	٧٠١٤	٣٧	١	١	٥	----	٠	-	√	
٢٤٣	إشارة شبيهة بالسهم.	٧٠١٥	٣٩	١	١	٠	٧٠١٥	٠	-	√	
٢٤٤	إشارة شبيهة برأس السهم.	٧٠١٦	٣٩	١	١	٠	٧٠١٦	٠	-	√	
٢٤٥	رمز الميناء.	٧٠١٧	٣٦	١	١	٠	٧٠١٧	٠	-	√	
٢٤٦	بحيرة أو بركة - دائمة.	٧٠١٨	٣٨	٧	١	٠	----	٠	-	√	
٢٤٧	بحيرة أو بركة - جافة.	٧٠١٩	٣٨	٧	١	٢	----	٠	-	√	
٢٤٨	رمز بحيرة أو بركة.	٧٠٢٠	٣٨	٧	١	٠	٧٠٢٠	٠	-	√	
٢٤٩	حاجز.	٧٠٢١	٣٦	٠	١	٦	----	٠	-	√	
٢٥٠	نمط الأهوار أو المستنقعات.	٧٠٢٢	٤٠	٧	١	٠	٧٠٢٢	٠	-	√	
٢٥١	مضلع الأهوار أو المستنقعات.	٧٠٢٣	٤٠	٧	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٥٢	نمط الطين المسطح.	٧٠٢٤	٣٥	٤	٣	٠	٧٠٢٤	٠	-	√	
٢٥٣	مضلع الطين المسطح.	٧٠٢٥	٣٥	١٠	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٥٤	صهريج - دائم.	٧٠٢٦	٣٨	٣	١	٠	----	٠	-	√	
٢٥٥	صهريج - جاف.	٧٠٢٧	٣٨	٣	١	٢	----	٠	-	√	
٢٥٦	نهر - دائم.	٧٠٢٨	٤٠	١	١	٠	----	٠	-	√	
٢٥٧	جدول مائي - دائم.	٧٠٢٩	٤١	٧	١	٠	----	٠	-	√	
٢٥٨	مخطط واد كبير.	٧٠٣٠	٤١	١	١	٣	----	٠	-	√	
٢٥٩	نمط الوادي.	٧٠٣١	٤١	٧	١	٠	٧٠٣١	٠	-	√	
٢٦٠	واد صغير.	٧٠٣٢	٤١	١	٠	٦	----	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخلية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٢٦١	المياه في وقت الصورة الجوية.	٧٠٣٣	٣٨	٧	٠	٠	----	٠	٠	-	√
٢٦٢	مضلع الوادي.	٧٠٣٤	٤١	١	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٦٣	جرف منحدر.	٨٠٠١	٤٢	٠	١	٠	----	٠	-	√	
٢٦٤	المؤشر الكنتوري.	٨٠٠٢	٤٣	٦	٢	٠	----	٠	-	√	
٢٦٥	المتوسط الكنتوري.	٨٠٠٣	٤٤	٥	٠	٠	----	٠	-	√	
٢٦٦	انخفاض المؤشر الكنتوري.	٨٠٠٤	٤٣	٦	٢	٣	----	٠	-	√	
٢٦٧	انخفاض المتوسط الكنتوري.	٨٠٠٥	٤٤	٥	٠	٣	----	٠	-	√	
٢٦٨	تقريب المؤشر الكنتوري.	٨٠٠٦	٤٥	٦	٢	٤	----	٠	-	√	
٢٦٩	تقريب المتوسط الكنتوري.	٨٠٠٧	٤٦	٥	٠	٤	----	٠	-	√	
٢٧٠	نموذج الارتفاعات الرقمي-خط فاصل- دائري.	٨٠٠٨	٤٧	٢	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٧١	نموذج الارتفاعات الرقمي-خط فاصل- حاد.	٨٠٠٩	٤٧	٣	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٧٢	نموذج الارتفاعات الرقمي-خط فاصل- هيكل.	٨٠١٠	٤٧	٤	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٧٣	نموذج الارتفاعات الرقمي-نقطة شبكة.	٨٠١١	٤٨	٢	١	٠	٨٠١١	٢	-	√	
٢٧٤	نموذج الارتفاعات الرقمي-نقطة عشوائية.	٨٠١٢	٤٨	٣	١	٠	٨٠١٢	٢	-	√	
٢٧٥	ارتفاع البقعة.	٨٠١٣	٤٨	٦	١	٠	٨٠١٣	٠	-	√	
٢٧٦	بقعة ارتفاع السطح.	٨٠١٤	٤٨	١	١	٠	٨٠١٤	٠	-	√	
٢٧٧	نموذج الارتفاعات الرقمي- منطقة استبعاد.	٨٠١٥	٤٧	١	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٧٨	نموذج الارتفاعات الرقمي- منطقة التقريب.	٨٠١٦	٤٧	٠	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٧٩	نموذج الارتفاعات الرقمي-أعلى خط الصدع.	٨٠١٧	٤٧	٠	٢	٠	----	٢	-	√	
٢٨٠	نموذج الارتفاعات الرقمي-أسفل خط الصدع.	٨٠١٨	٤٧	٠	٣	٠	----	٢	-	√	
٢٨١	مخطط المنطقة المزروعة.	٩٠٠١	٤٩	٢	٠	٢	----	٠	-	√	
٢٨٢	نمط المنطقة المزروعة.	٩٠٠٢	٤٩	٨	١	٠	٩٠٠٢	٠	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز النمط/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٢٨٣	مضلع المنطقة المزروعة.	٩٠٠٣	٤٩	٨	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٨٤	مخطط الحديقة.	٩٠٠٤	٥٠	٢	٠	٢	----	٠	-	√	
٢٨٥	نمط الحديقة.	٩٠٠٥	٥٠	٨	١	٠	٩٠٠٥	٠	-	√	
٢٨٦	مضلع الحديقة.	٩٠٠٦	٥٠	٨	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٨٧	نمط منطقة الحصى.	٩٠٠٧	٥١	١٠	١	٠	٩٠٠٧	٠	-	√	
٢٨٨	مضلع منطقة الحصى.	٩٠٠٨	٥١	١٠	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٨٩	السياج النباتي.	٩٠٠٩	١٥	٢	١	٧	----	٠	-	√	
٢٩٠	مخطط البستان.	٩٠١٠	٥٢	٢	٠	٢	----	٠	-	√	
٢٩١	نمط البستان.	٩٠١١	٥٢	٨	١	٠	٩٠١١	٠	-	√	
٢٩٢	مضلع البستان.	٩٠١٢	٥٢	٨	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٩٣	بروز صخري.	٩٠١٣	٥١	٦	٠	٢	----	٠	-	√	
٢٩٤	رمز البروز الصخري.	٩٠١٤	٥١	١٢	١	٠	٩٠١٤	٠	-	√	
٢٩٥	مضلع البروز الصخري.	٩٠١٥	٥١	١٢	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٩٦	مخطط بستان النخيل.	٩٠١٦	٥٢	٦	٠	٢	----	٠	-	√	
٢٩٧	نمط بستان النخيل.	٩٠١٧	٥٢	١٢	١	٠	٩٠١٧	٠	-	√	
٢٩٨	مضلع بستان النخيل.	٩٠١٨	٥٢	١٢	٠	٠	----	٢	-	√	
٢٩٩	نمط منطقة الحصى.	٩٠١٩	٥١	٣	١	٠	٩٠١٩	٠	-	√	
٣٠٠	مضلع منطقة الحصى.	٩٠٢٠	٥١	٣	٠	٠	----	٢	-	√	
٣٠١	نمط منطقة الكثبان الرملية.	٩٠٢١	٥١	٦	١	٠	٩٠٢١	٠	-	√	
٣٠٢	مضلع منطقة الكثبان الرملية.	٩٠٢٢	٥١	٦	٠	٠	----	٢	-	√	
٣٠٣	نمط طبقة النظافة والأشجار.	٩٠٢٣	٥٣	٨	١	٠	٩٠٢٣	٠	-	√	
٣٠٤	مضلع طبقة النظافة والأشجار.	٩٠٢٤	٥٣	٨	٠	٠	----	٢	-	√	



م	أسماء الميزات	الرسومات/نمط خط التحكم	رمز المعظم/مجموعة	المستويات / الطبقات	اللون	الوزن	نمط الخط	الخطية / الرمز / المربع التخطيطي	الفئة / البناء	نوع / حجم الخط	عالمي
		ASC	LV	CO	WT	LC	CEL	CLA	FNT	SCO	
٣٠٥	شجرة معلم ليست نخلة.	٩٠٢٥	٥٣	٢	١	٠	٩٠٢٥	٠	-	√	
٣٠٦	شجرة معلم نخلة.	٩٠٢٦	٥٣	٢	١	٠	٩٠٢٦	٠	-	√	
٣٠٧	شجرة جانب الطريق/زينة.	٩٠٢٧	٢٣	٢	١	٠	٩٠٢٧	٠	-	√	
٣٠٨	رمز أشجار متفرقة غير نخيلية.	٩٠٢٨	٥٤	٨	١	٠	٩٠٢٨	٠	-	√	
٣٠٩	رمز أشجار متفرقة نخيلية.	٩٠٢٩	٥٤	٨	١	٠	٩٠٢٩	٠	-	√	
٣١٠	مضلع أشجار متفرقة.	٩٠٣٠	٥٤	٨	٠	٠	----	٢	-	√	



ب- الملحق ب - مسرد المصطلحات:

- صحيح** - درجة الاتفاق بين القياس أو الحساب أو المواصفات والقيمة الإسنادية المقبولة أو المعيار.
- تقويم** - جزء من الرسالة الملاحة التي ترسلها أقمار النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية وتتضمن معلومات مدارية أقل دقة من التقويمات الفلكية وتكون مقدرة لمدة ٩٠ يومًا.
- مركز طور الهوائي** - المصدر الظاهر للإشعاع على مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية، ولا يُشترط أن يكون موقع مركز طور الهوائي بالمركز الهندسي للهوائي.
- حدود** - يُثبت خط أساس النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية عبر مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لمسوحات الجودة، بمعدل مستقبلي بكل طرف من طرفي الخط، لشغل وتجميع بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية على نقطتين أثناء نفس الفترة.
- المعيار** - هي نقطة مميزة بعلامة مسح، تعمل كمرجع للارتفاع، ونقطة تحكم رأسية.
- خطوط القطع** - هي عبارة عن علامات خطية مجمعة بمحاذاة الفواصل أو تغييرات الطبقات في التضاريس، مع تحديد انقطاعات التضاريس مثل النتوءات وأسفل المنحدرات أو أي تغيير حاد في السطح القائم.
- نموذج معلومات البناء** - نموذج معلومات يمثل العناصر الهيكلية باستخدام تقنية ثلاثي الأبعاد الرقمية وتهينتها مع مصدر بيانات يحتوي على العديد من المعلومات ذات الصلة حول تلك العناصر.
- المعايرة** - عملية تغيير مدخلات أو تكوين جهاز أو نظام لتحسين دقة وإحكام التقدير. قد تشير المعايرة إلى عملية ضبط تقنية جمع البيانات لمطابقة حقيقة أرضية معروفة. يمكن للمعايرة
- مستوى الثقة** - يصف مستوى الثقة الإحصائية في معلومة مقدرة أو اختبار للدلالة. يعد مستوى الثقة بنسبة ٩٥ بالمائة أمرًا شائعًا لمعظم عمليات النقل.
- محطات مرجعية تعمل باستمرار** - هي شبكة من المحطات التي توفر بيانات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التي تتكون من قياسات مرحلة الناقل ومدى الشفرة لدعم تحديد المواقع ثلاثي الأبعاد.
- المرجع** - إطار مرجعي لتمثيل مواقع وارتفاعات المواقع على سطح الأرض بدقة بالإضافة إلى مجموعة من النقاط المرجعية للمواقع المعروفة.
- نموذج الارتفاعات الرقمي** - هو نموذج رقمي يصف ارتفاعات سطح الأرض المكشوفة، دون تضمين أي سمة طبيعية أو اصطناعية قد يتم إثباتها.
- نموذج السطح الرقمي** - هو نموذج رقمي يصف ارتفاعات سطح الأرض بما في ذلك الميزات الطبيعية والاصطناعية القائمة.
- التوأم الرقمي** - تمثيل رقمي لنظام بنية تحتية مادية فعلي أو مخطط له في العالم الحقيقي والذي يعمل كنظير رقمي متطابق بشكل فعال له لأغراض عملية، مثل المحاكاة والتكامل والاختبار والمراقبة والصيانة.
- نموذج التضاريس الرقمي** - هو نموذج رقمي يصف ارتفاعات سطح الأرض المكشوفة، دون تضمين أي سمة طبيعية أو اصطناعية قد يتم إثباتها.
- التقويم الفلكي** - جزء من الرسالة الملاحة التي تنقلها أقمار النظام الملاحي عبر الأقمار الصناعية ويُستخدم لحساب إحداثيات القمر الصناعي في الوقت الحقيقي ويتضمن معلومات عن عدد الأسابيع ودقة القمر الصناعي وسلامته وعمر البيانات ومعاملات تصحيح ساعة القمر الصناعي والمعلومات المدارية
- الجيويسيا** - تخصص يناقش قياس وتمثيل الأرض، بما في ذلك مجال الجاذبية في فضاء متغير زمني ثلاثي الأبعاد
- الجيويد (geoid)** أو المجسم الأرضي - السطح متساوي الجهد لحقل الجاذبية الأرضية الذي يناسب، في أقل تربوي، المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال حقبة معينة.
- النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية** - يشير إلى عدة مجموعات من الأقمار الصناعية التي تبث إشارات من الفضاء تنقل بيانات تحديد المواقع والتوقيت إلى مستقبلات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية التي تستخدم تلك البيانات بعد ذلك لتحديد موقعها.
- النظام العالمي لتحديد المواقع** - النظام العالمي لتحديد المواقع هو نظام من الأقمار الصناعية وأجهزة الحاسوب وأجهزة الاستقبال القادرة على تحديد خط العرض والطول لجهاز الاستقبال على الأرض من خلال حساب الفرق الزمني للإشارات من الأقمار الصناعية المختلفة للوصول إلى جهاز الاستقبال.
- الغموض الرقمي** - يُعرف هذا الرقم في مسوحات النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية بأنه رقم دورات الطول الموجي الكاملة غير المعلومة بين قمر النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية لذي ينقل الإشارة وبين المستقبل الذي يستقبل هذه الإشارة.

الاتحاد الدولي للمساحين - هو المنظمة الدولية الأولى التي تمثل مصالح المساحين في جميع أنحاء العالم.

المنظمة الدولية للمقاييس - هي الاتحاد العالمي لهيئات المعايير الوطنية. المنظمة الدولية للمقاييس هي منظمة غير حكومية تضم هيئات معنية بالمعايير من أكثر من ١٦٠ بلد، مع هيئة معنية بالمعايير تمثل كل بلد من البلدان الأعضاء.

تعديل المربعات الصغرى - نموذج لحل نظام معادلات محدد بشكل مفرد بناءً على مبدأ المربعات الصغرى لبقايا الملاحظة. ويستخدم على نطاق واسع في تخصصات المسح والجيوديسيا والمسح التصويري.

المستوى - هو أداة بصرية تستخدم لتحديد أو التحقق من النقاط في نفس المستوى الأفقي في عملية تعرف باسم التسوية، وتستخدم بالاشتراك مع طاقم التسوية لتحديد مستويات الارتفاع النسبية للأجسام أو العلامات.

قضيب التسوية (أو ذراع التسوية) - هو ذراع خشبي أو ألومنيوم متدرج، يستخدم مع أداة التسوية لتحديد الفرق في الارتفاع بين النقاط أو ارتفاعات النقاط فوق مرجع إسنادي رأسي.

كشف الضوء والمدى - طريقة استشعار عن بعد تستخدم النبضات الضوئية من الليزر لفحص سطح الأرض وجمع معلومات حول الشكل وخصائص السطح. يمكن استخدام مسبار ضوئي لصنع نماذج تمثيل رقمية ثلاثية الأبعاد للأجسام أو المناطق على سطح الأرض.

أنظمة رسم الخرائط المتنقلة - هي أجهزة تجمع البيانات الجغرافية المكانية من منصة متنقلة، مزودة عادة بمجموعة من الكاميرات، مسبار الضوء، الرادار، مسبارات الصدى، أو أي عدد من أنظمة الاستشعار عن بعد، من أجل الاستخدامات البرية أو الجوية أو البحرية.

المسح التصويري - علم وتكنولوجيا الحصول على معلومات موثوقة حول الأجسام المادية والبيئة من خلال عملية تسجيل وقياس وتفسير الصور الفوتوغرافية وأنماط الصور المشعة الكهرومغناطيسية والظواهر الأخرى.

الدقة - هي درجة الترتيب بين القياسات لبعضها بعض.

طريقة الحركة في الوقت الحقيقي - تطبيق المسح لتصحيح الأخطاء الشائعة في أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية الحالية (GNSS) ويعتمد على محطة إسنادية لتوفير تصحيحات في الوقت الحقيقي، وتوفير دقة تصل إلى مستوى سنتيمتر.

حق المرور - الحق القانوني، الذي ينشأ عن طريق منحه من مالك الأرض أو الاستخدام طويل الأمد (أي عن طريق التقادم)، في المرور على طريق معين عبر ممتلكات تخص شخصاً آخر.

الجانب المنحدر - الميل من حافة الطريق إلى سفح الخندق، معبراً عنه بنسبة المسافة الأفقية إلى المسافة الرأسية.

نسبة الإشارة إلى الضوضاء - وحدة قياس تستخدم في العلوم والهندسة لمقارنة مستوى الإشارة المطلوبة بالنسبة لمستوى الضوضاء الناتج. تشير النسب أعلى من ١:١ إلى ارتفاع الإشارة على نسبة الضوضاء.

الملاحة الصوتية والمدى - هي تقنية تستخدم انتشار الصوت (عادة تحت الماء، كما الحال في الملاحة البحرية) للملاحة أو قياس المسافات (المدى) أو التواصل مع أو الكشف عن الأشياء على أو تحت سطح الماء، مثل السفن الأخرى.

التجسيم - رسم خريطة من الصورة الملتقطة هوائياً باستخدام مجهر مجسم.

قياسات المسح - عملية قياس المسافات الأفقية والرأسية بين الأجسام، والزوايا بين الخطوط، بالنسبة إما إلى المستوى الأفقي أو الرأسي، ومسافات الميل.

أعمال المسح - تقييم وتسجيل تفاصيل مساحة الأرض من خلال تحديد المواقع الأرضية أو ثلاثية الأبعاد للنقاط والمسافات والزوايا بينها. من أجل المساعدة في تخطيط مشاريع البناء.

المسح - هو العلم والفن الذي يهدف إلى تصوير سطح الأرض، بما في ذلك سماته الأفقية والرأسية، على الخرائط بمقاييس رسم مناسبة.

المساح - مسؤول عن توفير المعلومات ذات الصلة بشكل ومحيط سطح الأرض لمشاريع الهندسة ورسم الخرائط والبناء.

محطة توتال بوينت - هي أداة إلكترونية/بصرية تستخدم للمسح وتشييد المباني، والتي تتضمن مزواة لقياس كل من الزوايا الرأسية والأفقية، مدمجة مع قياس المسافة الإلكترونية لقياس مسافة الميل من الأداة إلى نقطة معينة، ويستخدم حاسوب داخلي لجمع البيانات وإجراء الحسابات.

الاجتياز - هي طريقة تستخدم في مجال المسح لإنشاء شبكات تحكم من خلال وضع محطات المسح على طول خط أو مسار السفر، ثم استخدام النقاط التي تم مسحها سابقاً كقاعدة لرصد النقطة التالية.

تثليث زوايا - عملية تحديد موقع نقطة من خلال تشكيل مثلثات إلى النقطة من النقاط المعروفة التي تتضمن قياسات الزاوية فقط عند النقاط المعروفة.

تثليث مساحي - عملية تحديد موقع نقطة من خلال تشكيل مثلثات إلى النقطة من النقاط المعروفة التي تتضمن قياسات المسافة فقط عند النقاط المعروفة.



ج- الملحق ج - الاختصارات والرموز:

3D	ثلاثي الأبعاد
AAA	مرجع عين العبد
BA	تعديل الحزمة
BIM	نموذج معلومات البناء
BVLOS	ما وراء خط البصر
CADD	التصميم والرسم بمساعدة الحاسب
CMOS	أكسيد معدني متمم أشباه الموصلات
CORS	محطات مرجعية تعمل باستمرار
DMI	وحدة قياس المسافة
DSM	نموذج السطح الرقمي
DTM	نموذج التضاريس الرقمي
DXF	تنسيق تبادل الرسم
EDM	قياس المسافة الإلكترونية
EPSG	المجموعة الأوروبية لمسح البترول
FIG	الاتحاد الدولي للمساحين
GASGI	الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجغرافية المكانية بالمملكة العربية السعودية (المعروفة سابقاً باسم الهيئة العامة للمساحة)
GCP	نقطة التحكم الأرضية
GCS	الهيئة العامة للمساحة بالمملكة العربية السعودية (الاسم السابق للهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجغرافية المكانية قبل سبتمبر ٢٠٢٠)
GDMS	وزارة الدفاع - المديرية العامة للمساحة العسكرية
GIS	نظام المعلومات الجغرافية
GLN	شبكة التسوية الجيوديسية
GLONASS	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية
GNSS	النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية
GOCE	حقل الجاذبية ومستكشف دوران المحيط المستقر في الحالة

نظام تحديد المواقع العالمي	GPS
الإطار المرجعي الجيوديسي	GRF
مسافة المعاينة الأرضية	GSD
وحدة القياس بالقصور الذاتي	IMU
نظام الملاحة بالقصور الذاتي	INS
الإطار المرجعي الأرضي الدولي	ITRF
النظام المرجعي الأرضي الدولي	ITRS
مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية	KACST
المملكة العربية السعودية	KSA
المحطات المرجعية المتواصلة العمل في المملكة العربية السعودية	KSA-CORS
الإطار المرجعي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية	KSA-GRF
الإطار المرجعي الجيوديسي للمملكة العربية السعودية	KSA-VRF
نظام ميكانيكي كهربائي مصغر	MEMS
نظام الخرائط المتنقلة	MMS
وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان.	MoMRAH
مسجل متعدد العروض	MVS
الشبكة الجيوديسية الوطنية	NGN
المسح الجيوديسي الوطني التابع للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي	NGS
النظام المرجعي العمودي الوطني	NVRS
نقطة الانحناء	PC
نقطة التقاطع	PI
نموذج المستندات المحمولة	PDF
موقف التخفيف من الدقة	PDOP
طريقة الحركة بعد المعالجة	PPK
أجزاء في المليون	PPM



تحدد المواقع بدقة	PPP
نقطة التماس	PT
تنسيق التبادل المستقل للمستقبل	RINEX
الجزر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء	RMSE
مركبة تعمل تحت الماء عن بعد	ROV
طريقة الحركة في الوقت الحقيقي	RTK
نظام الإسناد المكاني الوطني السعودي	SANSRS
هيكل من الحركة	SfM
الشبكة الجيوديسية السعودية	SGN
التموضع وبناء خريطة المكان في آن واحد	SLAM
آلة حفر الأنفاق	TBM
تنسيق ملف صورة العلامة	TIFF
المسح الأرضي بالليزر	TLS
وقت الرحلة	ToF
محطة توتال بوينت	TPS
طائرات دون طيار	UAV
تردد فوق العالي	UHF
مركبة سطحية دون طيار	USV
مستعرض مركاتور العالمي	UTM
التعريب البصري المتزامن ورسم الخرائط	vSLAM
النظام الجيوديسي العالمي	WGS



د- الملحق د - الوحدات:

الوحدات البريطانية		وحدات النظام الدولي	
الطول			
		نانومتر	nm
		ميكرومتر	μm
بوصة	in	ملليمتر	mm
قدم	ft	سنتيمتر	cm
ياردة	yd	متر	m
ميل	mi	كيلو متر	km
المساحة			
بوصة مربعة	in ²	مليمتر مربع (مم ²)	mm ²
قدم مربعة	ft ²	سنتيمتر مربع	cm ²
ياردة مربعة	yd ²	متر مربع	m ²
		هكتار	ha
		كيلومتر مربع	km ²
الحجم			
		ملليمتر مكعب	mm ³
بوصة مكعبة	in ³	سنتيمتر مكعب	cm ³
قدم مكعب	ft ³	متر مكعب	m ³
		لتر	l
		ملليمتر	ML
الوزن			
		ملليجرام	mg
		جرام	gr
رطل	lb	كيلو جرام	kg
		طن	t
القوة			
قوة الرطل	lbf	نيوتن	N
كيلو رطل	kip	كيلو نيوتن	kN



الضغط			
رطل لكل بوصة مربعة	psi	باسكال	Pa
رطل لكل قدم مكعب	pcf		
		كيلو باسكال	KPa
		ميغاباسكال	MPa
الوقت			
		ثانية	s
		دقيقة	min
		ساعة	h
		يوم	d
		أسابيع	week
		شهر	month
		سنة	yr
درجة الحرارة			
درجة فهرنهايت	F°	درجة مئوية	C°
الزوايا			
		درجة	°
		جراد	g
التوصيل الحراري			
وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة- قدم-فهرنهايت	BTU/h·ft·°F	واط لكل متر كلفن	W/m·K
السعة الحرارية			
وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة رطل - فهرنهايت	BTU/lb·°F	جول لكل كيلو جرام كلفن	J/kg·K
غير ذلك			
ميل في الساعة	mph (mi/h)	كيلومترات لكل ساعة	km/h
		متر في الثانية	m/s



		متر في الثانية المربعة	m/s^2
		متر مكعب في الثانية	m^3/s
		سنتيمتر في الدقيقة	cm/min
		مليمتر مربع لكل ثانية	mm^2/s
		هرتز	Hz
		كيلو هرتز	kHz
		ميغا هرتز	MHz
		جيجا هرتز	GHz
		ديسيبل	dB
		كيلوجول	kJ
		جول	J
		فولت	V
		واط	W
		كولوم	C
		أوم	Ω
		أوم . متر	$\Omega \cdot m$
		درجة لكل ساعة	h°
		لومن	lm
		لوكس	lx
		كانديلا	cd
		كانديلا لكل متر مربع	cd/m^2
		مللي كانديلا لكل متر مربع لكل لكس	$mcd/m^2/lx$
		نيت (كانديلا لكل متر مربع)	nit
		لتر لكل متر مربع	l/m^2
		كيلو جرام لكل متر مربع	kg/m^2



		جرام لكل متر مربع	gr/m ²
		طن. كيلو متر	t·km
		ملي باسكال ثانية	ميجا باسكال
		باسكال ثانية	Pa·s
		سنتي بواز	cPs
		سنتي ستوك	cST
		كيلوجرام لكل هكتار	Kg/ha
		كيلوباسكال في المتر	KPa/m
		ملليجرام/ لتر	mg/l
رطل لكل بوصة مكعبة	pci	كيلو جرام لكل متر مكعب	kg/m ³
رطل لكل قدم مكعب	pcf		
		طن لكل متر مكعب	t/m ³
		كيلو نيوتن لكل متر	kN/m
		كيلو جرام - سم	kg·cm
		لتر في الدقيقة	l/min
		ميجا باسكال/ متر	MPa/m
		باسكال ثانية	Pa·s
قدم- رطل لكل قدم مكعب	ft-lbf/ft ³	كيلو نيوتن متر لكل متر مكعب	kN-m/m ³
قدم لكل ميل	ft/mi	متر /كيلومتر	m/km
بوصة لكل ميل	in/mi		
		ميليเมตร / كيلومتر	mm/km
		ميليเมตร / متر	mm/m
		راديان في الثانية	rad/s
		كيلو جرام لكل سنتيمتر مربع	kg/cm ²
		ميكروسترين	με



بوصة لكل بوصة لكل درجة فهرنهايت	in/in/°F		
غير ذلك			
عدد الركاب لكل رحلة		pass/trip	
سيارة ركاب		PC	
سيارات ركاب في الساعة		pc/hr	
مركبات ركاب في الساعة لكل مسار		pc/h/ln	
مركبة ركاب لكل كيلومتر		pc/km	
مركبات ركاب لكل كيلومتر لكل مسار		pc/km/ln	
مركبات الركاب في الميل لكل مسار		pc/pm/pl	
سيارات ركاب في الساعة		pcu/h	
المشاة		ped	
الثواني لكل مركبة		s/veh	
المركبة		veh	
مركبة لكل يوم		veh/d	
مركبة لكل كيلومتر		veh/km	
مركبة لكل كيلومتر لكل مسار		veh/km/ln	
مركبة لكل ساعة		veh/h	
مركبة في الساعة لكل مسار		veh/h/ln	
مركبة في المسار لكل دورة		veh/ln/cycle	
مركبة كيلو متر		veh- km	
مركبة في الساعة لكل مسار		vpmpl	
دورة في الدقيقة		rpm	
أجزاء في المليون		ppm	
جزء لكل مائة مليون		pphm	
نقطة لكل بوصة		dpi	
ريال سعودي		SAR	
ريال سعودي لكل مركبة - كيلومتر		SAR/veh-km	
ريال سعودي لكل مركبة لكل كيلومتر تقطعها		SAR/VKT	
ريال سعودي في الساعة		SAR/h	
ملليموز لكل سم		mmhos/cm	



الوحدات البريطانية		وحدات النظام الدولي	
الطول			
		نانومتر	nm
		ميكرومتر	μm
بوصة	in	ملليمتر	mm
قدم	ft	سنتيمتر	cm
ياردة	yd	متر	m
ميل	mi	كيلو متر	km
المساحة			
بوصة	in ²	ملليمتر مربع (مم ²)	mm ²
قدم	ft ²	سنتيمتر مربع	cm ²
ياردة	yd ²	متر مربع	m ²
		هكتار	ha
		كيلومتر مربع	km ²
الحجم			
		ملليمتر مكعب	mm ³
بوصة	in ³	سنتيمتر مكعب	cm ³
قدم	ft ³	متر مكعب	m ³
		لتر	l
		ملليمتر	ML
الوزن			
		ملليجرام	mg
		جرام	gr
رطل	lb	كيلو جرام	kg
		طن	t
القوة			
قوة	lbf	نيوتن	N
كيلو	kip	كيلو نيوتن	kN
الضغط			



رطل لكل بوصة	psi	باسكال	Pa
رطل لكل قدم	pcf		
		كيلو باسكال	KPa
		ميغاباسكال	MPa
الوقت			
		ثانية	s
		دقيقة	min
		ساعة	h
		يوم	d
		أسابيع	week
		شهر	month
		سنة	yr
درجة الحرارة			
درجة	F°	درجة مئوية	C°
الزوايا			
		درجة	°
		جراد	g
التوصيل الحراري			
وحدة حرارية بريطانية لكل	BTU/h·ft·°F	واط لكل متر كلفن	W/m·K
السعة الحرارية			
وحدة حرارية بريطانية لكل	BTU/lb·°F	جول لكل كيلو جرام كلفن	J/kg·K
غير ذلك			
ميل في	mph (mi/h)	كيلومترات لكل ساعة	km/h
		متر في الثانية	m/s
		متر في الثانية المربعة	m/s ²



		متر مكعب في الثانية	m^3/s
		سنتيمتر في الدقيقة	cm/min
		مليمتر مربع لكل ثانية	mm^2/s
		هرتز	Hz
		كيلو هرتز	KHz
		ميغا هرتز	MHz
		جيجا هرتز	GHz
		ديسيبل	dB
		كيلوجول	kJ
		جول	J
		فولت	V
		واط	W
		كولوم	C
		أوم	Ω
		أوم . متر	$\Omega \cdot m$
		درجة لكل ساعة	$h/^{\circ}$
		لومن	lm
		لوكس	lx
		كانديلا	cd
		كانديلا لكل متر مربع	cd/m^2
		مللي كانديلا لكل متر مربع لكل لكس	$mcd/m^2/lx$
		نيت (كانديلا لكل متر مربع)	nit
		لتر لكل متر مربع	l/m^2
		كيلو جرام لكل متر مربع	kg/m^2
		جرام لكل متر مربع	gr/m^2



		طن. كيلو متر	t·km
		ملي باسكال ثانية	ميغاباسكال
		باسكال ثانية	Pa·s
		سنتي بواز	cPs
		سنتي ستوك	cST
		كيلوجرام لكل هكتار	Kg/ha
		كيلوباسكال في المتر	KPa/m
		ملليجرام/ لتر	mg/l
رطل لكل بوصة مكعبة	pci	كيلو جرام لكل متر مكعب	kg/m ³
رطل لكل قدم مكعب	pcf		
		طن لكل متر مكعب	t/m ³
		كيلو نيوتن لكل متر	kN/m
		كيلو جرام - سم	kg·cm
		لتر في الدقيقة	l/min
		ميغا باسكال/ متر	MPa/m
		باسكال ثانية	Pa·s
قدم- رطل لكل	ft-lbf/ft ³	كيلو نيوتن متر لكل متر مكعب	kN-m/m ³
قدم لكل	ft/mi	متر /كيلومتر	m/km
بوصة	in/mi		
		ميلليمتر / كيلومتر	mm/km
		ميلليمتر / متر	mm/m
		راديان في الثانية	rad/s
		كيلو جرام لكل سنتيمتر مربع	kg/cm ²
		ميكروسترين	με
بوصة لكل	in/in/°F		



غير ذلك	
عدد الركاب لكل رحلة	pass/trip
سيارة ركاب	PC
سيارات ركاب في الساعة	pc/hr
مركبات ركاب في الساعة	pc/h/ln
مركبة ركاب لكل كيلومتر	pc/km
مركبات ركاب لكل كيلومتر	pc/km/ln
مركبات الركاب في الميل	pc/pm/pl
سيارات ركاب في الساعة	pcu/h
المشاة	ped
الثواني لكل مركبة	s/veh
المركبة	veh
مركبة لكل يوم	veh/d
مركبة لكل كيلومتر	veh/km
مركبة لكل كيلومتر لكل	veh/km/ln
مركبة لكل ساعة	veh/h
مركبة في الساعة لكل مسار	veh/h/ln
مركبة في المسار لكل دورة	veh/ln/cycle
مركبة كيلو متر	veh- km
مركبة في الساعة لكل مسار	vpmpl
دورة في الدقيقة	rpm
أجزاء في المليون	ppm
جزء لكل مائة مليون	pphm
نقطة لكل بوصة	dpi
ريال سعودي	SAR
ريال سعودي لكل مركبة -	SAR/veh-km
ريال سعودي لكل مركبة لكل	SAR/VKT
ريال سعودي في الساعة	SAR/h
ملليموز لكل سم	mmhos/cm



كود الطرق السعودي
SAUDI HIGHWAY CODE

كود الطرق السعودي

التخطيط والدراسات الأولية
كود الطرق السعودي ٢٠٢ - الأعمال المساحية ورسم الخرائط
الإصدار الأول | ٢٠٢٣