



الهيئة العامة للطرق
Roads General Authority

كود الطرق السعودي

٢٠٢٣
الإصدار الأول

تصميم الطرق والجسور والأنفاق
كود الطرق السعودي ٣٠٢ - تصميم مرافق الطرق ومنافعها
الهيدرولوجيا والتصميم الهيدروليكي

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	تصميم الطرق والجسور والأنفاق	كود الطرق السعودي ٣٠١	التصميم الهندسي للطرق
٦		كود الطرق السعودي ٣٠٢	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - الهيدرولوجيا والتصميم الهيدروليكي
٧		كود الطرق السعودي ٣٠٣	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - مناطق الاستراحة، ومحطات فحص الشاحنات، ومواقف السيارات والمرائب
٨		كود الطرق السعودي ٣٠٤	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم أنظمة السلامة الخاملة
٩		كود الطرق السعودي ٣٠٥	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - تصميم منطقة أعمال الطرق
١٠		كود الطرق السعودي ٣٠٦	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - المنافع العامة، وإنارة الطرق والشوارع، وأجهزة التحكم والمراقبة
١١		كود الطرق السعودي ٣٠٧	تصميم مرافق الطرق ومنافعها - زراعة المسطحات الخضراء، والإعلانات الخارجية
١٢		كود الطرق السعودي ٣٠٨	تصميم الرصف
١٣		كود الطرق السعودي ٣٠٩	مواصفات المواد والاختبارات القياسية
١٤		كود الطرق السعودي ٣١٠	تصميم الجسور والأنفاق
١٥	إنشاء الطرق والجسور والأنفاق	كود الطرق السعودي ٤٠١	إنشاء الطرق
١٦		كود الطرق السعودي ٤٠٢	إنشاء الجسور 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 باجووير

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 الرييشي

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 ٣٠٢)

أ.د. عبدالعزيز بن سليمان الطرياق

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
ك.....	قائمة الأشكال
ن.....	قائمة الجداول
١.....	١- مقدمة
١.....	١-١ ملخص الأبواب:
١.....	٢-١ النطاق:
٢.....	1-3 المواصفات والأكواد المرجعية:
٣.....	٢- الهيدرولوجيا
٣.....	١-٢ مقدمة:
٣.....	١-١-٢ السياسة
٣.....	٢-١-٢ الرموز والتعريفات:
٣.....	٣-١-٢ تعريفات مفاهيمية:
٤.....	٢-٢ اختيار الإجراءات الهيدرولوجية:
٤.....	١-٢-٢ مقدمة:
٥.....	٢-٢-٢ المواقع المقيسة:
٥.....	٣-٢-٢ المواقع غير المقيسة:
٥.....	٣-٢ معادلات الانحدار:
٥.....	١-٣-٢ مقدمة:
٥.....	٢-٣-٢ معادلة تالوت المعدلة:
٨.....	٣-٣-٢ معادلات الانحدار الإقليمية لوزارة النقل السعودية MOT:
١٠.....	٤-٣-٢ قيود استخدام معادلات الانحدار:
١٠.....	٤-٢ توصيف هطول الأمطار:
١٠.....	١-٤-٢ مقدمة:
١٠.....	٢-٤-٢ منحنيات الشدة-المدة-التكرار (IDF Curves):
١١.....	٣-٤-٢ عامل التخفيض السطحي:
١٢.....	٤-٤-٢ مخطط توزيع الأمطار Hyetograph:
١٢.....	٥-٢ الطريقة المنطقية:
١٢.....	١-٥-٢ مقدمة:
١٣.....	٢-٥-٢ التطبيق والخصائص:
١٣.....	٣-٥-٢ المعادلة
١٣.....	٤-٥-٢ معامل الجريان السطحي:
١٦.....	٥-٥-٢ زمن التركيز:
١٧.....	٦-٥-٢ شدة هطول الأمطار:

١٧.....	مثال للطريقة المنطقية:	٧-٥-٢
١٧.....	نمذجة الهيدروغراف:	٦-٢
١٧.....	مقدمة:	١-٦-٢
١٨.....	مفاهيم ومعادلات وحدة الهيدروغراف (SCS):	٢-٦-٢
٢٦.....	٣- قنوات الصرف	
٢٦.....	١-٣ مقدمة:	
٢٦.....	نظرة عامة:	١-١-٣
٢٦.....	أنواع المصارف المائية المفتوحة:	٢-١-٣
٢٨.....	تعريف القناة:	٣-١-٣
٢٨.....	٢-٣ مواصفات التصميم:	
٢٨.....	قنوات المجاري المائية:	١-٢-٣
٢٩.....	السدود والحواجز الترابية الجانبية:	٢-٢-٣
٢٩.....	قنوات الصرف على جانب الطريق:	٣-٢-٣
٣٠.....	٣-٣ اعتبارات عامة لتصميم القنوات:	
٣٠.....	٤-٣ تعريفات ومعادلات تدفق القناة المفتوحة:	
٣٠.....	نظرة عامة:	١-٤-٣
٣٠.....	الرموز	٢-٤-٣
٣٢.....	الطاقة النوعية:	٣-٤-٣
٣٢.....	خط ميل الطاقة:	٤-٤-٣
٣٢.....	التدفق المستقر وغير المستقر:	٥-٤-٣
٣٢.....	التدفق المنتظم والتدفق غير المنتظم:	٦-٤-٣
٣٣.....	التدفق المتغير تدريجيًا والسريع التغير:	٧-٤-٣
٣٣.....	تصنيف التدفق:	٨-٤-٣
٣٣.....	التدفق السلس والتدفق المضطرب:	٩-٤-٣
٣٣.....	عدد فرود (Froude number):	١٠-٤-٣
٣٣.....	التدفق الحرج:	١١-٤-٣
٣٣.....	التدفق تحت الحرج:	١٢-٤-٣
٣٤.....	التدفق فوق الحرج:	١٣-٤-٣
٣٤.....	قطاع التحكم:	١٤-٤-٣
٣٦.....	القفزة الهيدروليكية:	١٥-٤-٣
٣٦.....	القوة النوعية:	١٦-٤-٣
٣٧.....	العمق المقترن في القنوات الأفقية ($So \geq 10\%$):	١٧-٤-٣
٣٨.....	القنوات المستطيلة:	١٨-٤-٣
٣٨.....	القنوات المائلة ذات العمق المقترن ($So < 10\%$):	١٩-٤-٣
٣٨.....	موقع القفزة الهيدروليكية:	٢٠-٤-٣

٢١-٤-٣	طول القفزة الهيدروليكية:	٣٩
٢٢-٤-٣	معادلة الاستمرارية:	٣٩
٢٣-٤-٣	معادلة مانينغ (Manning):	٤٠
٢٤-٤-٣	النقل:	٤٠
٢٥-٤-٣	معادلة الطاقة:	٤١
٢٦-٤-٣	فواقد الطاقة خلال الانتقال في القناة:	٤٢
٢٧-٤-٣	فقدان الطاقة في منحنيات القناة:	٤٣
٢٨-٤-٣	التعليق الجانبية في منحنيات القناة:	٤٣
٥-٣	التحليل الهيدروليكي للقناة المفتوحة:	٤٣
١-٥-٣	عام:	٤٣
٢-٥-٣	المقاطع العرضية:	٤٤
٣-٥-٣	اختيار قيمة معامل مانينغ:	٤٤
٤-٥-٣	القطاعات السطحية للمياه (طريقة خطوة-المياه المرتدة):	٤٥
٥-٥-٣	حدود دراسة القطاع الطولي:	٤٥
٦-٥-٣	إجراء حساب القطاع الطولي:	٤٧
٧-٥-٣	أساليب التحليل الخاصة:	٥٠
٨-٥-٣	التحليل ثنائي الأبعاد:	٥٠
٩-٥-٣	تحليل التدفق غير المستقر:	٥٠
٦-٣	تبطيئات القناة:	٥٠
١-٦-٣	التبطيئات المرنة:	٥١
٢-٦-٣	التبطيئات الصلبة:	٥٢
٣-٦-٣	حدود إجهاد القص:	٥٤
٧-٣	إجراءات تصميم قناة مجرى مائي:	٥٤
٨-٣	إجراءات تصميم قناة على جانب الطريق:	٥٥
١-٨-٣	الأهداف المرجوة من التصميم الهيدروليكي للقنوات:	٥٥
٢-٨-٣	منهجية التصميم:	٥٦
٣-٨-٣	الإجراءات التفصيلية:	٥٦
٤-٨-٣	الخيار رقم ١:	٥٧
٥-٨-٣	الخيار رقم ٢:	٥٩
٦-٨-٣	أمثلة على القطاع الأحادي:	٦٣
٤- العبارات		٦٦
١-٤	مقدمة:	٦٦
١-١-٤	نظرة عامة:	٦٦
٢-١-٤	تعريف عبارة:	٦٦
٢-٤	التصميم الهيدروليكي:	٦٧

٦٧	عام:	١-٢-٤
٦٧	الممارسة القياسية:	٢-٢-٤
٦٨	التحكم في المدخل:	٣-٢-٤
٧٠	التحكم في المخرج:	٤-٢-٤
٧٥	سرعة المخرج:	٥-٢-٤
٧٥	ارتفاع المياه فوق جسم الطريق (غمر الطريق):	٦-٢-٤
٧٦	منحنيات الأداء:	٧-٢-٤
٧٧	نموذج تصميم العبارة:	٨-٢-٤
٧٧	إجراءات التصميم:	٣-٤
٨٢	التوثيق:	٤-٤
٨٢	تقرير مشروع التصميم الهيدروليكي:	١-٤-٤
٨٢	تقرير التصميم الهيدروليكي النهائي:	٢-٤-٤
٨٢	توجيه التخزين:	٥-٤
٨٢	مقدمة:	١-٥-٤
٨٢	إجراءات التصميم:	٢-٥-٤
٨٣	المدخل المستدقة:	٦-٤
٨٣	عام:	١-٦-٤
٨٣	مداخل مستدقة الجانب:	٢-٦-٤
٨٥	مداخل مستدقة الانحدار:	٣-٦-٤
٨٦	التصميم الهيدروليكي:	٤-٦-٤
٨٧	طرق التصميم:	٥-٦-٤
٨٨	منحنيات الأداء:	٦-٦-٤
٨٨	العبّارات مكسورة الظهر:	٧-٤
٨٨	مقدمة:	١-٧-٤
٨٨	القواعد الإرشادية:	٢-٧-٤
٨٩	إجراءات التصميم:	٣-٧-٤
٩٠	٥- مبددات الطاقة:	
٩٠	١-٥ مقدمة:	
٩٠	نظرة عامة:	١-١-٥
٩٠	تعريف:	٢-١-٥
٩٠	نظام تصميم القنوات والعبّارات - ١٤:	٣-١-٥
٩٠	٢-٥ إجراءات التصميم:	
٩٤	٦- أنظمة صرف مياه الأمطار:	
٩٤	١-٦ مقدمة:	
٩٤	السياسة:	١-١-٦

٢-١-٦	نظرة عامة:	٩٤
٣-١-٦	صرف المياه غير الكافي:	٩٤
٤-١-٦	إرشادات التصميم العامة:	٩٥
٥-١-٦	تخزين الاحتجاز:	٩٥
٢-٦	نهج التصميم العام:	٩٥
١-٢-٦	عملية التصميم:	٩٥
٣-٦	الهيدرولوجيا:	٩٦
١-٣-٦	مقدمة:	٩٦
٢-٣-٦	التكرار التصميمي:	٩٧
٣-٣-٦	مراجعة التكرار:	٩٧
٤-٣-٦	الطريقة المنطقية:	٩٧
٥-٣-٦	مدة التركيز:	٩٧
٤-٦	هندسة (جيومترية) الطرق:	٩٩
١-٤-٦	مقدمة:	٩٩
٢-٤-٦	مصبّات تفريغ المياه:	٩٩
٣-٤-٦	القطاع العرضي للطريق:	٩٩
٤-٤-٦	المحاذاة الرأسية:	١٠٠
٥-٤-٦	بردورة الرصيف والمزrab:	١٠٠
٦-٤-٦	الجزر الوسطية:	١٠٠
٥-٦	انتشار الماء:	١٠١
١-٥-٦	عام:	١٠١
٢-٥-٦	الاختيار:	١٠١
٣-٥-٦	انتشار المياه المسموح به:	١٠١
٦-٦	حسابات تدفق المزrab (قناة الصرف الجانبية):	١٠١
١-٦-٦	مقدمة:	١٠١
٢-٦-٦	علاقة السعة:	١٠٢
٣-٦-٦	إجراءات تصميم قطاع المزrab المركب (المختلط):	١٠٣
٧-٦	أنواع مداخل الصرف:	١٠٤
١-٧-٦	عام:	١٠٤
٢-٧-٦	الأنواع:	١٠٤
٣-٧-٦	مداخل الصرف المنخفضة:	١٠٥
٨-٦	موقع مداخل الصرف، والتباعد، والسعة:	١٠٥
١-٨-٦	الموقع:	١٠٥
٢-٨-٦	إجراءات مياةة مداخل الصرف:	١٠٥
٣-٨-٦	مداخل الصرف الشبكية على المنحدر:	١٠٦

١٠٨.....	المنفذ الشبكي في القاع:	٤-٨-٦
١٠٩.....	مداخل الصرف بفتحة البردورة على المنحدر:	٥-٨-٦
١١٠.....	مداخل الصرف بفتحة البردورة في القاع:	٦-٨-٦
١١٣.....	مدخل الصرف المختلط على المنحدر:	٧-٨-٦
١١٣.....	مدخل الصرف المختلط على القاع:	٨-٨-٦
١١٣.....	مداخل الصرف المحيطية:	٩-٨-٦
١١٤.....	حسابات تباعد مداخل الصرف:	١٠-٨-٦
١١٥	غرف التفطيش:	٩-٦
١١٥.....	الموقع:	١-٩-٦
١١٥.....	تباعد غرف التفطيش:	٢-٩-٦
١١٦.....	تحديد أحجام ومقاسات غرف التفطيش:	٣-٩-٦
١١٦.....	تحديد الحجم الأولي للأنبوب:	١٠-٦
١١٦.....	مقدمة:	١-١٠-٦
١١٦.....	إجراءات التصميم:	٢-١٠-٦
١١٧.....	نقطة القاع:	٣-١٠-٦
١١٧.....	ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (الأنبوب) :	٤-١٠-٦
١١٨.....	ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (التحليل الهيدروليكي):	٥-١٠-٦
١١٨.....	طريقة تصميم (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢):	٦-١٠-٦
١١٩.....	الميل الدنيا:	٧-١٠-٦
١٢٠.....	الميل القصوى:	٨-١٠-٦
١٢٠.....	الخلوص الأدنى:	٩-١٠-٦
١٢٠.....	المحاذاة المنحنية:	١٠-١٠-٦
١٢٠.....	حساب خط الميل الهيدروليكي:	١١-٦
١٢٠.....	مقدمة:	١-١١-٦
١٢١.....	ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (خط الميل الهيدروليكي):	٢-١١-٦
١٢١.....	المياه المرتدة:	٣-١١-٦
١٢٢.....	فقدان الطاقة:	٤-١١-٦
١٢٥.....	إجراءات تصميم خط الميل الهيدروليكي:	٥-١١-٦
١٢٥.....	أنابيب الصرف المقلوبة (السيفون):	١٢-٦
١٢٦.....	المصارف التحتية:	١٣-٦
١٢٨	٧- مرافق التخزين	
١٢٨.....	١-٧ السياسة:	
١٢٨.....	نظرة عامة:	١-١-٧
١٢٨.....	اعتبارات الموقع:	٢-١-٧
١٢٨.....	الاحتجاز والاحتفاظ:	٣-١-٧

٢-٧	الرموز والتعاريف:	١٢٨
٣-٧	إجراءات التصميم:	١٣٠
١-٣-٧	إجراءات توجيه المياه:	١٣١
٢-٣-٧	الإجراءات التفصيلية لتوجيه المياه:	١٣٢
٤-٧	البركة الجافة (حوض الاحتجاز):	١٣٣
١-٤-٧	مقدمة:	١٣٣
٢-٤-٧	الجودة:	١٣٤
٣-٤-٧	الكمية:	١٣٤
٤-٤-٧	الكمية والجودة مجتمعة:	١٣٥
٥-٤-٧	المخارج:	١٣٦
٥-٧	الاحتفاظ بحبس المياه (المياه الحبيسة بدون مخارج):	١٣٧
١-٥-٧	مقدمة:	١٣٧
٢-٥-٧	توجيه المياه الكتلي:	١٣٧
٦-٧	ميزانية تخزين المياه:	١٣٨
٧-٧	اعتبارات الإنشاء والصيانة:	١٣٩
١-٧-٧	اعتبارات الإنشاء:	١٣٩
٢-٧-٧	اعتبارات الصيانة:	١٣٩
٣-٧-٧	أحواض الرواسب:	١٣٩
٨-	الجسور والمعارب المنخفضة المياه:	١٤١
١-٨	مقدمة:	١٤١
١-١-٨	السياسة:	١٤١
٢-١-٨	نظرة عامة:	١٤١
٣-١-٨	تعريف الجسر:	١٤١
٤-١-٨	التصميم الهيدروليكي (عتارة أم جسر):	١٤١
٥-١-٨	أهداف التصميم:	١٤١
٦-١-٨	جمع البيانات:	١٤٢
٢-٨	موقع الجسر:	١٤٢
١-٢-٨	اعتبارات عامة:	١٤٢
٢-٢-٨	اعتبارات الموقع والتصميم:	١٤٢
٣-٢-٨	الفتحات الإضافية/ فتحات الإغاثة :	١٤٢
٣-٨	معايير الأداء الهيدروليكي:	١٤٣
١-٣-٨	الاعتبارات العامة:	١٤٣
٢-٣-٨	تكرارات الفيضانات:	١٤٤
٣-٣-٨	الخلوص:	١٤٥
٤-٣-٨	الخلوص الرأسي لسطح الجسر والطرق:	١٤٥

١٤٥.....	المياه المرتدة:	٥-٣-٨
١٤٦.....	التحليل الهيدروليكي لمعابر قنوات المجاري المائية:	٤-٨
١٤٦.....	توثيق الجسور الجديدة والمستبدلة:	١-٤-٨
١٤٧.....	توثيق الجسور القائمة:	٢-٤-٨
١٤٧.....	الطبيعة الهيدروليكية لتدفق المجرى المائي:	٣-٤-٨
١٤٩.....	تحليل فتحة المجرى المائي تحت الجسر:	٤-٤-٨
١٥٠.....	النمذجة مع الدراسة التفصيلية الحالية:	٥-٤-٨
١٥١.....	النمذجة من دون نموذج الشروط الحالية:	٦-٤-٨
١٥١.....	تحليل التعرية بالانجراف (النحر) للجسور:	٥-٨
١٥١.....	مقدمة:	١-٥-٨
١٥١.....	الاعتبارات العامة:	٢-٥-٨
١٥٢.....	احجام الفيضان:	٣-٥-٨
١٥٢.....	أنواع التعرية بالانجراف (النحر):	٤-٥-٨
١٥٣.....	التدريج الطبيعي:	٥-٥-٨
١٥٤.....	المواد المقاومة للتعرية بالانجراف (النحر):	٦-٥-٨
١٥٤.....	التحليل التراكمي للتعرية بالانجراف (النحر):	٧-٥-٨
١٥٤.....	التعرية بالانجراف (النحر) الناجمة عن تدفق الضغط:	٨-٥-٨
١٥٤.....	التدابير المضادة للتعرية بالانجراف (النحر):	٩-٥-٨
١٥٦.....	صرف مياه سطح الجسر:	٦-٨
١٥٦.....	السياسة:	١-٦-٨
١٥٦.....	أهمية صرف مياه سطح الجسر:	٢-٦-٨
١٥٧.....	مسؤوليات التصميم:	٣-٦-٨
١٥٧.....	اعتبارات التصميم (صرف المياه المفتوح):	٤-٦-٨
١٦٠.....	معابر المياه المنخفضة:	٧-٨
١٦٠.....	عام:	١-٧-٨
١٦٢.....	معايير التصميم:	٢-٧-٨
١٦٣.....	المعايير الأيرلندية:	٣-٧-٨
١٦٣.....	المعايير الأيرلندية ذات فتحات الصرف:	٤-٧-٨
١٦٣.....	الحماية من التعرية بالانجراف (النحر) وصيانة استقرار القناة:	٥-٧-٨
١٦٥.....	٩- تثبيت ضفاف القنوات والمجاري المائية	
١٦٥.....	١-٩ مقدمة:	
١٦٥.....	السياسة:	١-١-٩
١٦٦.....	نظرة عامة:	٢-١-٩
١٦٦.....	الرموز والتعاريف:	٣-١-٩
١٦٦.....	٢-٩ مفاهيم التصميم:	
١٦٦.....	افتراض التدفق الموحد:	١-٢-٩

١٦٦.....	جيومترية القطاع:	٢-٢-٩
١٦٧.....	مقاومة التدفق:	٣-٢-٩
١٦٨.....	إرشادات التصميم لحدود الحماية:	٣-٩
١٦٨.....	الامتداد الطولي:	١-٣-٩
١٦٩.....	الارتفاع التصميمي:	٢-٣-٩
١٦٩.....	الخلوص الرأسي:	٣-٣-٩
١٧٠.....	موجة التشغيل:	٤-٣-٩
١٧٠.....	عمق الطرف السفلي:	٥-٣-٩
١٧٢.....	التعليق الجانبية في منحنيات القناة:	٦-٣-٩
١٧٢.....	إرشادات تصميم حواجز دكة الحجارة الصخرية:	٤-٩
١٧٣.....	حجم دكة الحجارة الصخرية:	١-٤-٩
١٧٤.....	زاوية الضفة:	٢-٤-٩
١٧٤.....	سمك دكة الحجارة الصخرية:	٣-٤-٩
١٧٤.....	تدرج دكة الحجارة الصخرية:	٤-٤-٩
١٧٥.....	شكل دكة الحجارة بالصخور:	٥-٤-٩
١٧٥.....	كثافة طبقة الصخور:	٦-٤-٩
١٧٥.....	وزن دكة الحجارة:	٧-٤-٩
١٧٦.....	متطلبات المرشح:	٨-٤-٩
١٧٦.....	مثال تصميمي:	٩-٤-٩
١٧٧.....	إرشادات تصميم الجدران الحجرية ذات النسيج السلكي:	٥-٩
١٧٨.....	نظرة عامة:	١-٥-٩
١٧٨.....	إجراءات تصميم الثبات الهيدروليكي:	٢-٥-٩
١٧٩.....	اختيار عامل الأمان المستهدف:	٣-٥-٩
١٧٩.....	إجراءات التصميم:	٤-٥-٩
١٨٠.....	الامتداد الطولي لفرشة الجدار الحجري:	٥-٥-٩
١٨١.....	الامتداد الرأسي لفرشة الجدار الحجري:	٦-٥-٩
١٨١.....	مثال تصميمي لفرشة الجدار الحجري:	٧-٥-٩
١٨٤.....	دكة الحجارة المحشوة بالملاط جزئياً:	٦-٩
١٨٥.....	خصائص دكة الحجارة:	١-٦-٩
١٨٦.....	خصائص الملاط:	٢-٦-٩
١٨٦.....	إجراءات تصميم الثبات الهيدروليكي:	٣-٦-٩
١٨٧.....	إرشادات تصميم الهذارات عند انحناءات المجاري المائية:	٧-٩
١٨٧.....	مفهوم التصميم:	١-٧-٩
١٨٧.....	إرشادات التصميم:	٢-٧-٩
١٩١.....	مواصفات المواد:	٣-٧-٩

١٩١.....	مثال تصميمي لهذا عند انحناء مجرى:	٤-٧-٩
١٩٣.....	التحكم في الانجراف والرواسب	١٠-١
١٩٣.....	مقدمة:	١٠-١-١
١٩٣.....	السياسة:	١٠-١-١-١
١٩٣.....	نظرة عامة:	١٠-١-١-٢
١٩٣.....	الإرشادات:	١٠-١-١-٣
١٩٣.....	تدابير التحكم:	١٠-١-١-٤
١٩٤.....	العوامل المؤثرة في الانجراف:	١٠-١-٢
١٩٤.....	العوامل الرئيسية:	١٠-١-٢-١
١٩٤.....	خصائص التربة:	١٠-١-٢-٢
١٩٤.....	الغطاء النباتي:	١٠-١-٢-٣
١٩٤.....	التضاريس:	١٠-١-٢-٤
١٩٤.....	المناخ:	١٠-١-٢-٥
١٩٤.....	المبادئ الفنية:	١٠-١-٣
١٩٤.....	مقدمة:	١٠-١-٣-١
١٩٥.....	المبادئ:	١٠-١-٣-٢
١٩٥.....	خطة التحكم في الانجراف والرواسب:	١٠-١-٤
١٩٥.....	خطة التحكم:	١٠-١-٤-١
١٩٥.....	إجراءات تطوير الخطة:	١٠-١-٤-٢
١٩٦.....	تدابير وممارسات التحكم:	١٠-١-٥
١٩٦.....	مقدمة:	١٠-١-٥-١
١٩٧.....	الغطاء النباتي:	١٠-١-٥-٢
١٩٧.....	حاجز حزم القش (بالات القش):	١٠-١-٥-٣
١٩٨.....	تبطين القناة:	١٠-١-٥-٤
١٩٩.....	قناة التحويل:	١٠-١-٥-٥
٢٠١.....	حاجز الأغصان:	١٠-١-٥-٦
٢٠٣.....	المراجع	
٢١٠.....	أ- الملحق أ - مسرد المصطلحات.....	
٢١٢.....	ب- الملحق ب - الاختصارات والرموز.....	
٢١٤.....	ج- الملحق ج - الوحدات.....	

قائمة الأشكال

- الشكل (١-٢) المناطق الهيدرولوجية في المملكة العربية السعودية (MOMRAH, 2019) ٨
- الشكل (٢-٢) منحنيات الشدة - المدة - التكرار لمحطة الرياض (MOMRAH, 2019) ١١
- الشكل (٣-٢) مخطط توزيع أمطار أنتج باستخدام طريقة الكتلة المتناوبة (QATAR, 2021) ١٢
- الشكل (٤-٢) هطول الأمطار / الجريان السطحي كعملية النظام (FHWA, 2002) ١٩
- الشكل (١-٣) أنواع المصارف المائية المفتوحة (Austraroads, 2013) ٢٧
- الشكل (٢-٣) رسم بياني للطاقة النوعية (AASHTO, 2007) ٣٢
- الشكل (٣-٣) قطاع التحكم (ADOT, 2007) ٣٤
- الشكل (٤-٣) القطاعات الطولية لسطح الماء (ADOT, 2007) ٣٦
- الشكل (٥-٣) منحنيات التحليل والقفزة الهيدروليكية (Chow, 1959) ٣٧
- الشكل (٦-٣) موقع القفزة الهيدروليكية (Chow, 1959) ٣٨
- الشكل (٧-٣) طول القفزة الهيدروليكية من حيث العمق المقترن (y_2) في القنوات الأفقية (Chow, 1959) ٣٩
- الشكل (٨-٣) المحيط المبلل للقناة ٤٠
- الشكل (٩-٣) مصطلحات معادلة الطاقة (USACE, 1986) ٤١
- الشكل (١٠-٣) معدلات الحد الأقصى للتضييق والتوسيع ٤٢
- الشكل (١١-٣) مصطلحات في معادلة الطاقة (Thompson and Kilgore, 2006) ٤٢
- الشكل (١٢-٣) قطاع عرضي افتراضي يوضح الوصول إلى القطاعات والأقسام الفرعية المستخدمة في تعيين معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ (Davidian, 1984) ٤٤
- الشكل (١٣-٣) حساب نمط التقارب في المياه في طريقة الخطوة الخلفية (AASHTO, 2007) ٤٥
- الشكل (١٤-٣) حدود دراسة الملف الشخصي (USACE, 1975) ٤٦
- الشكل (١٥-٣) نموذج بيانات سطح الماء (AASHTO, 2007) ٤٩
- الشكل (١٦-٣) سرعات التدفق للقنوات غير المبطنة (Highway Design Manual, 1992) ٥٣
- الشكل (١٧-٣) مثال لقناة منشأة على جانب الطريق (AASHTO, 2007) ٥٦
- الشكل (١-٤) أنواع التحكم في المدخل (FHWA, 2012) ٦٩
- الشكل (٢-٤) منحنى عملية التحكم في المدخل (Highway Design Manual, 1992; AASHTO, 2014) ٧٠
- الشكل (٣-٤) أنواع التحكم في المخرج (FHWA, 2012) ٧١
- الشكل (٤-٤) طاقة التدفق الكامل وخطوط الصف الهيدروليكي (FHWA, 2012) ٧٤
- الشكل (٥-٤) منحنى الأداء العام (AASHTO, 2014) ٧٦
- الشكل (٦-٤) نموذج تصميم العبارة (AASHTO, 2014) ٧٧
- الشكل (٧-٤) مدخل مستند الجانب (AASHTO, 2014) ٨٤
- الشكل (٨-٤) مدخل مستند الجانب مع انحدار في اتجاه تيار المياه الموجود بين جدران الجناح (AASHTO, 2014) ٨٥
- الشكل (٩-٤) مدخل مستند الانحدار ذو وجه عمودي (AASHTO, 2014) ٨٦
- الشكل (١٠-٤) منحنيات - أداء التحكم في المدخل (تخطيطي) (AASHTO, 2014) ٨٧

الشكل (١١-٤) منحني أداء العبارة (تخطيطي) (AASHTO, 2014).....	٨٨
الشكل (١٢-٤) عبارة من ثلاث وحدات منحنية في الخلف (AASHTO, 2014).....	٨٩
الشكل (١٣-٤) عبارة من وحدتين منحنيتين في الخلف (AASHTO, 2014).....	٨٩
الشكل (١٥-٤) إجراءات تصميم مبدد الطاقة (FHWA, 2006).....	٩٠
الشكل (١٦-٤) متطلبات البيانات (AASHTO, 2007).....	٩٦
الشكل (٢-٦) تحديد زمن التركيز (AASHTO, 2007).....	٩٨
الشكل (٣-٦) قطاعات برودة الرصيف والمزrab النمذجية (AASHTO, 2007).....	١٠٢
الشكل (٤-٦) أنواع مدخل العبارة (AASHTO, 2007).....	١٠٤
الشكل (٥-٦) تشغيل مدخل شبكي كسلك (AASHTO, 2007).....	١٠٨
الشكل (٦-٦) الميل العرضي للمزrab المقاس من الميل العرضي للرصف (AASHTO, 2007).....	١١٠
الشكل (٧-٦) مداخل في فتحة البردورة (AASHTO, 2007).....	١١٢
الشكل (٨-٦) المداخل المحيطية في نقاط صرف القاع (AASHTO, 2007).....	١١٣
الشكل (٩-٦) ورقة حساب تباعد مداخل الصرف (AASHTO, 2007).....	١١٥
الشكل (١٠-٦) الرسم التوضيحي لخط الميل الهيدروليكي والطاقة (AASHTO, 2007).....	١٢١
الشكل (١١-٦) رسم تخطيطي لتعريف طريقة فقدان الطاقة في غرف التفتيش برنامج: (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (FHWA, 2002).....	١٢٥
الشكل (١-٧) مخطط توضيحي هيدروغراف التوجيه.....	١٣١
الشكل (٢-٧) مخطط هيدروغراف التوجيه.....	١٣٢
الشكل (٣-٧) رافع الخرسانة.....	١٣٤
الشكل (٤-٧) اللوحة المضادة للدوامة ورف اصطيد الحطام (بوصة إلى متر) (FHWA, 1979).....	١٣٥
الشكل (٥-٧) بركة جافة (بوصة إلى متر) (Schueler, 1987).....	١٣٦
الشكل (٦-٧) منحني توجيه المياه الكتلي (بالمتر).....	١٣٧
الشكل (٧-٧) بيانات هطول الأمطار التراكمية للعاصفة المطرية التصميمية لمدة ١٠٠ عام و ١٠ أيام (حسب الموقع) (بالمتر).....	١٣٨
الشكل (٨-٧) كفاءة أحواض الرواسب (USBR, 2006).....	١٤٠
الشكل (١-٨) معابر المجري المائي غير المركزي.....	١٤٣
الشكل ٢-٨ قطاع عرضي افتراضي يوضح الوصلات والقطاعات والأقسام الفرعية المستخدمة في التعيين قيمة معامل الخشونة (الأبعاد بالبوصة).....	١٤٨
الشكل (٣-٨) أشكال الركيزة الوسطية المشتركة (FHWA, 2009).....	١٥٣
الشكل (٤-٨) منحنيات الكفاءة لميزاب الصرف الدائري (الأبعاد بالبوصة) (FHWA, 1993).....	١٥٨
الشكل (٥-٨) سعة الاعتراض (مدخل ميزاب صرف ٤ بوصات على الطريق المستمر) (الأبعاد بالقدم) (FHWA, 1993).....	١٥٩
الشكل (٦-٨) سعة الاعتراض (مدخل ميزاب صرف ٤ بوصات في مواقع الحوض) (الأبعاد بالقدم) (FHWA, 1993).....	١٥٩
الشكل (٧-٨) المعبر الأيرلندي (FHWA, 1993).....	١٦١
الشكل (٨-٨) معبر أيرلندي ذو فتحة صرف (FHWA, 1993).....	١٦٢
الشكل (١-٩) سعة القناة غير المبطنة (FHWA, 2009).....	١٦٧
الشكل (٢-٩) الامتداد الطولي لحماية الحواجز، (FHWA, 2009).....	١٦٩

- الشكل (٣-٩) رسم تعريف ارتفاع الموجة، (FHWA, 2009)..... ١٧١
- الشكل (٤-٩) موجة الصعود على الميول الملساء غير المُنفّذه، (FHWA, 2009)..... ١٧١
- الشكل (٥-٩) الخصائص الهندسية لشكل الحجارة (FHWA, 2009)..... ١٧٥
- الشكل (٦-٩) تفاصيل التخطيط الموصى بها للصفاف والقاع المدرع..... ١٨١
- الشكل (٧-٩) تفاصيل تخطيط موصى بها لمراجعة دعائم الجوانب حيث لا يلزم تدريع السطح السفلي..... ١٨٢
- الشكل (٨-٩) إجهاد القص المسموح به كدالة للحجم المتوسط لحجر وحصى الملء (FHWA, 2009)..... ١٨٤
- الشكل (٩-٩) منظر عن قرب للجدار الحجري المحشو بالملاط جزئياً..... ١٨٥
- الشكل (١٠-٩) عرض نموذجي أو قياسي للحواجز والهدارات المنحنية..... ١٨٨
- الشكل (١١-٩) قطاع عرضي نموذجي للحواجز والهدارات المنحنية..... ١٨٨
- الشكل (١٢-٩) طول مفتاح الانحناءات الخفيفة..... ١٩٠
- الشكل (١٠-١) حاجز حزم القش على مسار صرف المياه (Sherwood and Wyant, 1976)..... ١٩٧
- الشكل (١٠-٢) القطاع العرضي لقناة مبطنة بدكة كسر الحجارة الصخرية (NCDENR, 2009)..... ١٩٩
- الشكل (١٠-٣) استخدام التحويلات المؤقتة. (Virginia Erosion and Sediment Control Handbook, 1992)..... ٢٠٠
- الشكل (١٠-٤) حاجز الأغصان مغطى بنسيج المرشح. (Sherwood and Wyant, 1976)..... ٢٠٢

قائمة الجداول

الجدول (١-١) تسميات وعناوين مواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد المطبقة على مجلد كود الطرق السعودي ٣٠٢.	٢
الجدول (١-٢) معاملات انحدار معادلة تالبوت المعدلة بناءً على مساحة تجمع المياه.	٦
الجدول (٢-٢) معاملات الانحدار لمساحات صرف المياه التي لا تزيد عن ٤٠٠ هكتار (MODON, 2011).	٦
الجدول (٣-٢) قيم المعاملات (C1) و (C2) و (C3)، حيث يمثل الرمز (W) عرض مساحة صرف المياه، والرمز (L) طولها، والرمز (S) ميلها (MODON, 2011).	٧
الجدول (٤-٢) المعاملات (F _f) المبنية على فترة العودة المرغوبة لحدث العاصفة المطرية.	٨
الجدول (٥-٢) معادلات الانحدار لكميات الفيضانات بناءً على المنطقة الهيدرولوجية؛ حيث (Q) هو مقدار الفيضان (متر مكعب لكل ثانية)، و (A) هي مساحة صرف المياه (مقيسة بالكيلو متر المربع)، و (E) هو متوسط ارتفاع الحوض فوق مستوى البحر (بالمتر)، و (P) هو متوسط هطول الأمطار.	٩
الجدول (٦-٢) معاملات الجريان السطحي للمناطق المطورة (المناطق الحضرية) للمعادلة المنطقية (FHWA, 2002).	١٤
الجدول (٧-٢) معاملات الجريان السطحي للمناطق الريفية غير المطورة للمعادلة المنطقية (Caltrans, 2021).	١٥
الجدول (٨-٢) أرقام منحنى الجريان السطحي (حالة متوسطة لمستجمعات المياه، $I_a = 0.2S$) من برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ٢ بناءً على طريقة SCS - 55 (SCS, 1986).	٢١
الجدول (١-٣) الرموز والتعريفات.	٣١
الجدول (٢-٣) أنواع القطاعات الطولية للتدفق (ADOT, 2007).	٣٤
الجدول (٣-٣) ملخص تدابير الحماية من إجهاد القص المسموح بها (Henderson, 1966).	٥٨
الجدول (٤-٣) الكثافة ومعامل الصلابة.	٦٠
الجدول (٥-٣) معاملات الخشونة وعناصر الخشونة في معادلة مانينغ.	٦٢
الجدول (٦-٣) معاملات الخشونة النموذجية.	٦٣
الجدول (٧-٣) معامل خشونة الحشائش لفئات المثبطات.	٦٣
الجدول (١-٥) مبددات الطاقة وقبورها (FHWA, 2006).	٩٢
الجدول (١-٦) قيمة معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ n فيما يتعلق بالمزاريب.	١٠٣
الجدول (٢-٦) معادلات سرعة الانتشار.	١٠٧
الجدول (٣-٦) نسبة الفتحة.	١٠٩
الجدول (٤-٦) الحد الأقصى للتباعد بين غرف التفقيش.	١١٥
الجدول (٥-٦) قيم KM بناءً على تكوين الهيكل.	١٢٤
الجدول (٦-٦) حدود الميول الطولية المقبولة (Austraroad, 2021).	١٢٦
الجدول (١-٧) الرموز والتعريفات والتعاريف.	١٢٩
الجدول (٢-٧) نظرة عامة على اعتبارات البركة الجافة.	١٣٣
الجدول (١-٨) التدابير الهيدروليكية المضادة للتعرية بالانجراف (النحر) (FHWA, 2009).	١٥٤
الجدول (٢-٨) بيانات الأنهار المناسبة للتدابير الهيدروليكية المضادة للتعرية بالانجراف (النحر) (FHWA, 2009).	١٥٥
الجدول (١-٩) عوامل التصحيح للموجة تشغيل؛ (FHWA, 2009).	١٧٠
الجدول (٢-٩) ظروف القناة لتطبيق حاجز جدار حجري ذي فرشاة السلك بالصفة.	١٨٢
الجدول (٣-٩) تدرجات مقاس طبقة الصخور المناسبة للحشو الجزئي.	١٨٦
الجدول (٤-٩) مواد لياردة مكعبة واحدة من الملاط*.	١٨٦



١- مقدمة:

١-١ ملخص الأبواب:

ينقسم مجلد كود الطرق السعودي ٣٠٢ - الهيدرولوجيا والتصميم الهيدروليكي هذا إلى عشرة أبواب، ويوفر المتطلبات والاعتبارات المتعلقة بالهيدرولوجيا والهيدروليكا في تصميم وإنشاء وصيانة وتشغيل الطرق.

الباب (١): مقدمة - يقدم هذا الباب نظرة عامة على الأبواب، ونطاق المجلد، وقائمة كاملة بالمواصفات المشار إليها في المجلد

الباب (٢): الهيدرولوجيا - يتضمن هذا الباب دراسات عن المدخلات الهيدرولوجية اللازمة لأي تصميم أو منشأة هيدروليكية.

الباب (٣): القنوات - يصف هذا الباب تصميم القنوات المفتوحة كنوع من المجاري المائية الطبيعية أو الاصطناعية، حيث يكون سطح الماء مفتوحاً للغلاف الجوي، وتكون الحركة مدفوعة بالجاذبية المؤثرة في اتجاه الحركة.

الباب (٤): العبارات - يصف هذا الباب الخطوات اللازمة لتصميم العبارات، والتي تهدف إلى صرف مياه الأمطار من سطح الرصف والمجاري المائية التي تعبر نظام الطرق.

الباب (٥): مبددات الطاقة - يصف هذا الباب اعتراض وتركيز التدفق السطحي وتقلص المجاري المائية الطبيعية الذي يؤدي -حتمًا- إلى زيادة احتمالية النحر، ومن أجل حماية العبارات والمناطق المجاورة، من الضروري استخدام مبدد للطاقة.

الباب (٦): أنظمة صرف مياه الأمطار - يقدم هذا الباب سياسة نظام صرف مياه الأمطار، والارشادات ذات الصلة، والتكرار التصميمي، والهندسة الجيومترية للطرق.

الباب (٦): مرافق التخزين - يقدم هذا الباب سياسة مرافق التخزين، والارشادات ذات الصلة، وتكرار التصميمي، والهندسة الجيومترية للطرق.

الباب (٧): الجسور والمعابر المنخفضة المياه - يقدم هذا الباب إرشادات وتعليمات نهج تصميم الجسور والمعابر ذات المياه المنخفضة، والتكرار التصميمي، وتحليل الهيدروليكي ذي الصلة، والتعرية بالانجراف (النحر) وأنواعها، وصرف مياه سطح الجسر.

الباب (٨): تثبيت ضفاف القنوات والمجاري المائية - يقدم هذا الباب التدابير والاحتياطات اللازمة لضمان أن المنشآت الهيدروليكية المذكورة، يمكنها نقل التدفق المستهدف، وتوفير آليات وطرق مستقرة لمقاومة الانجراف أو النحر الشديد والتحكم في الرواسب.

الباب (٩): التحكم في الانجراف والرواسب - يحل هذا الباب بالتفصيل الانجراف أو التعرية بالانجراف (النحر) والتحكم في الرواسب.

٢-١ النطاق:

أدرج كود الطرق السعودي المواصفات الدولية وممارسات التصميم والأدلة والإجراءات معاً، واختصرها في كود جديد محدث ومكتوب ومُعد لغرض الاستخدام من قبل مهندسي الهيدروليكا. وعند الاقتضاء؛ تُضمّن الإرشادات الحالية ذات الصلة من المراجع المحلية والمراجع الدولية الأخرى.

تتعلق المتطلبات والإرشادات الواردة في هذا الكود بتصميم كافة أنواع الطرق الريفية والحضرية في المملكة العربية السعودية. كما أن هذه المتطلبات والإرشادات تنطبق على تصاميم إنشاء طرق جديدة، ومشاريع تحسين أو ترقيّة، وتحديث الطرق القائمة. طُوّر هذا المجلد من كود الطرق السعودي لتزويد مهندسي الهيدروليكا بالمعرفة العملية الأساسية بالهيدرولوجيا والمكونات الهيدروليكية؛ حيث يمكن للمهندس الهيدروليكي تصميم مصارف المياه المرتبطة بالطرق بأقل قدر من المساعدة.

ومع ذلك، فإن هذا الدليل لا يهدف إلى تقديم إرشادات عن المشكلات الهيدرولوجية أو الهيدروليكية المعقدة، كما أنه لا يُعد بديلاً عن الخبرة أو الحكم الهندسي. تتطور مجالات الهيدرولوجيا والمكونات الهيدروليكية لصرف المياه في الطرق بسرعة، ومن مسؤولية المهندس أن يكون على دراية بممارسات التصميم الحالية، كما أن السياسات والإرشادات لا يقصد بها أن تكون مواصفات دنيا موصى بها، كما أنها لا تعكس إجماعاً دولياً في الآراء. وفي حال ظهر أو نشأ غموض بشأن إمكانية تطبيق هذا الدليل على أي مشروع؛ فينبغي الاستيضاح من الجهة الإشرافية المختصة.

قد تحتوي بعض الطرق المصممة باستخدام الدليل السابق على عناصر أو مواد ذات أبعاد أو مزايا لا تتوافق مع القيم الموصى بها في هذا المجلد من كود الطرق السعودي. وهذا المجلد يحتوي على إرشادات تختلف عن تلك الموجودة في الإصدار الأول من دليل المملكة العربية السعودية للطرق، لكن هذا لا يعني وجوب إعادة إنشاء هذه المرافق لتتوافق مع الإرشادات والتوجيهات الجديدة. وتستند الحاجة إلى إعادة الإنشاء إلى تقييمات موضوعية لأداء الطريق؛ تتمثل في: نظام أو طريقة تشغيله، وسلامته، وحالة البنية التحتية للطريق، فمجرد الارتقاء بالمواصفات الحالية ليس سبباً كافياً لإعادة إنشاء الطريق من جديد.

٣-١ المواصفات والأكواد المرجعية:

يجب أن تكون المواصفات والأكواد لجميع المواد والإجراءات على النحو المحدد في هذه المواصفات العامة، وفي وثائق العقد -إن وجدت- وما يلي، في أحدث إصدار لها:

- الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM).

يعرض الجدول (١-١) مواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد المتعلقة بإجراءات تصميم الرصفيات واختبار المواد، بما في ذلك التسميات والعناوين.

الجدول (١-١) تسميات وعناوين مواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد المطبقة على مجلد كود الطرق السعودي ٣٠٢.

المسمى باللغة الإنجليزية	المسمى مترجم إلى العربية	مواصفة (ASTM)
Standard Practice for Specifying Rock to Fill Gabions, Revet Mattresses, and Gabion Mattresses	الممارسة القياسية لتحديد الصخور المناسبة لملء الجدران الحجرية، وحصائر الاحتجاز الشبكية، وحصائر الجدران الحجرية.	D6711

٢- الهيدرولوجيا:

الهيدرولوجيا (علم المياه) هو علم بيئي واسع يشمل العديد من التخصصات المتعلقة بالمياه. حيث يهتم مهندس النقل بشكل أساسي بالهيدرولوجيا السطحية والتحكم في الجريان السطحي للمياه لتحديد تدفق المياه في الوادي ومعالجة تأثير الطريق في تحويل تدفق المياه. وتتمثل الخطوة الأولى في تحديد الحمل الهيدروليكي أي تدفق الفيضان المراد استيعابه. علاوة على ذلك، يجب أن يتأكد المهندس المُصمم من حجم تدفق الفيضان (ذروة تدفق أو جريان المياه) باستخدام الأساليب والأحكام المناسبة للوضع قيد النظر. وبالنسبة لبعض حالات التصميم، قد تكون هناك حاجة إلى مخطط هيدروغراف كامل (التوزيع الزمني للتصريف أو الهيدروغراف، وهو رسم تخطيطي يمثل معطيات مشاهدة في سياق حدوثها الزمني في نطاق تدفق الماء)، حيث يمكن إما العلم بحجم الجريان، أو الجريان السطحي، أو مدته. يركز هذا الباب بشكل أساسي على التحليلات الهيدرولوجية التي تجرى لمراقب ذروة التدفق لكل من مرفق النقل والقنوات أو المصارف المائية العابرة لها، والذي بدوره يُحدد العمليات والمواصفات المطلوبة لغرض الحصول على معلومات التصميم الهيدرولوجي الأولية اللازمة لتحديد معايير التصميم التفصيلية لهندسة الطرق، كما يوفر نظرة عامة على طرق نمذجة المخططات الهيدروغرافية أو التوزيع الزمني للتصريف.

١-٢ مقدمة:

١-١-٢ السياسة

تُناقش السياسة الهيدرولوجية والاعتبارات العامة وطرق التحليل الهيدرولوجي في هذا الباب من الكود. ينبغي أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) قد اختار إجراء التصميم الهيدرولوجي، وعدد التكرارات المناسبة للتصميم قبل استخدام إجراءات التصميم الواردة في هذا الباب. تتوفر نظرة عامة عن الإجراءات المتاحة المدرجة في هذا الباب في الجزء (٢-٢).

سيجري دعم جميع التحليلات الهيدرولوجية من خلال التوثيق المناسب الذي سيتضمن على الأقل مصادر البيانات والبيانات المرجعية والمراجع من المؤلفات العلمية للطرق المستخدمة والافتراضات والاستنتاجات والتوصيات.

٢-١-٢ الرموز والتعريفات:

تتوفر الرموز والتعريفات المتغيرة عند إدخال معادلة أو إجراء. لم تجر أي محاولة لتوحيد المصطلحات في المعادلات، ولكن يُعبّر عن جميع الوحدات في سياقها حسب النظام الدولي للوحدات.

٣-١-٢ تعريفات مفاهيمية:

يُعرف علم الهيدرولوجيا الخاص بتصميم صرف المياه في الطرق في المقام الأول على أنه تقدير تدفق الفيضان من أماكن تجمع المياه. ويُعبّر عن هذا عادةً على أنه تصريف ذروة تدفق الفيضان، ويُعبّر عنه كحجم لكل وحدة زمنية، عادةً بالمتري المكعب في الثانية (م^٣/ثانية).

ستتابع المناقشات عن المفاهيم التي ستكون مهمة في التحليل الهيدرولوجي؛ حيث ستستخدم هذه المفاهيم خلال عرض هذا الباب لمعالجة الجوانب المختلفة للدراسات الهيدرولوجية.

١- حالة أو ظروف الرطوبة السابقة. تُعرف حالة الرطوبة السابقة على أنها حالة رطوبة التربة في مناطق تساقط المياه في فترة بداية العاصفة المطرية. حيث تؤثر هذه الظروف على حجم الجريان السطحي الناتج عن حدوث عاصفة مطرية معينة. ومن الجدير بالذكر أنها تؤثر في ذروة التصريف فقط في النطاق الأدنى من أحجام الفيضانات، مثل أقل من الحد الأدنى للحدوث والتي تبلغ (١٥) عامًا تقريبًا. عندما تصبح الفيضانات نادرة الحدوث، يكون لحالة الرطوبة السابقة تأثير سريع الانخفاض على الجريان السطحي.

٢- التخزين المنخفض. يُعرف التخزين المنخفض على أنه المنخفضات الطبيعية داخل مستجمعات المياه التي يمكن أن تخزن مياه الجريان السطحي أو بشكل عام، سيبدأ الجريان السطحي بعد الانتهاء من ملء منطقة التخزين المنخفضة.

٣- التكرار. يُعرف التكرار على أنه عدد المرات التي يمكن فيها توقع حدوث فيضان بحجم معين في المتوسط على مدى فترة طويلة من الزمن. وعلاوة على ذلك يُعرف تحليل التكرار على أنه تقدير ذروة التصريف لفرات تكرر مختلفة (فترات العودة). هناك طريقة أخرى للتعبير عن التكرار وهي الاحتمال. يسعى تحليل الاحتمالية إلى تحديد تدفق الفيضان بتكرار يعادله أو يتجاوزه في أي عام. إن احتمالية التجاوز هي "واحد" مقسومًا على فترة العودة، ويُعبّر عنها في صورة نسبة مئوية (%). على سبيل المثال، في حالة حدوث عاصفة مطرية فترة عودتها (٢٥) عامًا سيكون لها احتمال تجاوز (٠,٠٤) أو (٤%) (احتمال حدوثها في أي سنة معينة) والعاصفة المطرية التي تبلغ فترة عودتها (٥٠) عامًا لها احتمال تجاوز (٠,٠٢) أو (٢%)، وما إلى ذلك.

٤- الهيدروغراف. يُعرف الهيدروغراف على أنه رسم بياني لتوزيع زمن الجريان السطحي من مناطق تساقط المياه. ويمكن أن يكون الرسم الهيدروغرافي أو الرسم البياني الذي يوزع زمن الجريان السطحي من مناطق تساقط المياه إما اصطناعياً (على سبيل المثال، يعد ويطور لسلسلة عاصفة مطرية تصميمية محددة)، أو طبيعياً (كما هو مأخوذ من محطة قياس التدفق أو الجريان).

٥- الهيئو غراف (مخطط توزيع الأمطار). يُعرف الهيئو غراف على أنه رسم بياني لتوزيع هطول الأمطار على مناطق تساقطها. ويمكن أن يكون مخطط توزيع الأمطار إما اصطناعياً أو طبيعياً كما هو مأخوذ من محطة قياس هطول الأمطار.

- ٦- التسرب. يُعرف التسرب على أنه عملية معقدة للسماح للجريان السطحي باختراق سطح الأرض والتدفق عبر سطح التربة العلوي، كما يُعرف منحني التسرب على أنه رسم بياني لتوزيع الزمن الذي يحدث فيه هذا التسرب.
- ٧- الاحتجاز. يُعرف الاحتجاز على أنه تخزين مياه الأمطار التي تهطل على أوراق الشجر والأسطح الأخرى التي تعترض تلك الكمية من المياه أثناء هطول الأمطار، ويسمى هذا التخزين بتخزين الاحتجاز.
- ٨- ذروة التصريف. ذروة التصريف، وتُسمى أحياناً ذروة التدفق، وهي تُعرف على أنها أقصى معدل لتدفق المياه التي تمر عند نقطة معينة أثناء أو بعد حدث هطول الأمطار أو ذوبان الجليد.
- ٩- فائض هطول الأمطار. يُعرف فائض هطول الأمطار على أنه الماء المتاح للجريان السطحي بعد أن يكون قد استوفي تخزين الاحتجاز، والتخزين المنخفض، والتسريب.
- ١٠- مدة التركيز. تعرف مدة التركيز على أنها الزمن الذي تستغرقه قطرة الماء المتساقطة على النقطة الأبعد هيدروليكيًا في مناطق تساقط مياه الأمطار للانتقال عبر مناطق هطول الأمطار إلى نقطة المخرج.
- ١١- وحدة الهيدروغراف. تُعرف وحدة الهيدروغراف على أنها هيدروغراف الجريان السطحي المباشر الناتج عن حدث هطول الأمطار الذي له توزيع زمني ومكاني محددان، ويستمر لمدة محددة، وله وحدة حجم (أو ينتج عن وحدة عمق هطول الأمطار). إحدائيات وحدة الهيدروغراف هي حجم الجريان السطحي المباشر الذي تُمثله المساحة الواقعة تحت منحني الهيدروغراف، وتساوي وحدة عمق فائض هطول الأمطار (ذا الشدة الثابتة) الموزعة بشكل منتظم في منطقة الصرف.

٢-٢ اختيار الإجراءات الهيدرولوجية:

١-٢-٢ مقدمة:

تستند الإجراءات الهيدرولوجية الواردة في هذا الباب إلى الإجراءات المتبعة في المملكة العربية السعودية (MODON, 2011) و (MoC, 1989) والإجراءات الشائعة الأخرى التي تستخدم بشكل روتيني في هندسة الطرق من قبل الولايات المتحدة الأمريكية (FHWA, 2002; FHWA, 2002; FHWA, 2008; FAA, 2012) بالإضافة إلى مناطق أخرى تتميز بأنها ذات مناطق هيدرولوجية مماثلة للمملكة العربية السعودية، مثل قطر (٢٠٢١) وأستراليا (٢٠٢١). تؤخذ أيضًا في الاعتبار إجراءات تصميم المصارف المائية الإقليمية من ولايات أريزونا وفلوريدا وكاليفورنيا (Caltrans, 2021; FDOT, 2019; ADOT, 2007).

تحلل وتصمم غالبية منشآت صرف المياه باستخدام ذروة التصريف فقط للتصميم لفيضان معين. وتتمثل المهمة الرئيسة لتحليل الهيدرولوجي لتصميم صرف الطرق في تقدير ذروة التصريف من مستجمعات المياه. يتوافر ملخص لإجراءات تقدير ذروة التصريف لفترات تكرار مختلفة لكل من المواقع المقيسة في (الجزء الفرعي ٢-٢-٢) والمواقع غير المقيسة في (الجزء الفرعي ٢-٢-٣). يمكن أن يستند الحساب إلى تقييم هطول الأمطار أو على بيانات تدفق المجرى المائي المسجل. وبالنسبة لبعض حالات التصميم، قد تكون هناك حاجة إلى مخطط هيدروغراف كامل. قد تكون هناك حاجة إلى مخطط هيدروغراف (التوزيع الزمني للتصريف)؛ حيث يمكن تحديد حجم الجريان السطحي أو مدته، كما يوجد ملخص لإجراءات الهيدروغراف القياسية في الجزء (٢-٦).

قبل الشروع في اختيار الإجراءات الهيدرولوجية المناسبة، من المهم للغاية فهم الظروف الهيدرولوجية لموقع المشروع وجمع المعلومات ذات الصلة. وتتمثل هذه المعلومات المطلوبة فيما يلي:

- البيانات التاريخية لهطول الأمطار في المنطقة المجاورة لموقع المشروع ونوع هطول الأمطار (مطر أو بَرَد أو صقيع أو ثلج).
- البيانات الطبوغرافية، مثل مستجمع المياه وشكلها إضافة إلى أن الخرائط المطلوبة لإظهار كيف أن المحاذاة المقترحة للطريق تعبر مناطق كل منطقة من مناطق هطول الأمطار.
- خصائص التربة والموقع، مثل استخدامات الأراضي ونمو الغطاء النباتي، وقد تكون هذه البيانات والمعلومات متاحة من خلال زيارة الموقع والخرائط الجوية وصور الأقمار الصناعية والتقارير الجيوتقنية.
- مسارات تدفق المياه ومناطق غمر المياه وتخزينها، وقد يُحصل على هذه المعلومات من خلال زيارات ميدانية أو أداة إعداد الخرائط العالمية (صور مأخوذة بواسطة القمر الصناعي Landsat7 global imagery) أو من خلال جوجل إيرث (Google Earth™).
- البيانات التاريخية المباشرة وغير المباشرة للجريان السطحي. تشير بيانات الجريان السطحي المباشر إلى القياسات المتاحة من محطات القياس، في حين أن البيانات غير المباشرة قد تشمل علامات ارتفاع المياه أو أنواعاً أخرى من الأدلة الشفهية والسجلات حسب الاقتضاء بشأن أحداث الفيضانات.

عادة ما يعتمد اختيار الإجراء المناسب على كمية المعلومات المتاحة وتقييم المخاطر. ولاتخاذ قرار مستنير، يجب على مهندس الطرق تحديد الإجابة عما يلي:

- ما مستوى التحليل الهيدرولوجي المبرر.
- ما البيانات المتاحة أو التي يجب جمعها.
- ما طرق التحليل المتاحة مثل نقاط القوة والضعف النسبية من حيث التكلفة والدقة.

وفي بعض الحالات، يمكن أن تكون الجهة المسؤولة أو الحكومة المحلية قد أجرت دراسة توفر ذروة معدلات تصريف الفيضانات. ينبغي النظر في المعلومات المستمدة من الدراسات الهيدرولوجية المتاحة، وإذا كان ذلك مناسباً، فينبغي استخدامها بشكل مفضل في هذا المجلد من كود الطرق السعودي.

٢-٢-٢ المواقع المقيسة:

الموقع المقيس هو موقع في أو بالقرب من محطة قياس. ويعد سجل تدفق المجاري المائية الذي يحتوي على (٣٠) عامًا على الأقل من البيانات المستمرة ذا طول كافٍ لاستخدامه لتوفير تقديرات لتصريفات الذروة. هذه حالة نادرة نسبياً، وقد استُخدمت فترة أقصر تصل إلى ١٠ سنوات.

تتوفر إجراءات التحليل الاحتمالي لبيانات قياس الوديان مع مثال على ذلك في الجزء الفرعي (٢-٥-٧)، حيث يُلاحظ أن (١٠) سنوات على الأقل من بيانات القياس المستمرة أو المركبة ينبغي أن تكون متاحة للتوزيع الإحصائي؛ حتى يكون مناسباً لتحليل الفيضانات.

٣-٢-٢ المواقع غير المقيسة:

الموقع غير المقيس هو موقع ليس بالقرب من محطة قياس، ولا يوجد سجل قياس متاح له؛ نظراً لأن هذا الموقف شائع جداً، فإن طرق تحديد ذروة الجريان السطحي في المواقع غير المقيسة مذكورة أدناه:

١- معادلات الانحدار (الجزء ٢-٣). يمكن حساب تدفق الذروة باستخدام معادلات الانحدار المطورة لمناطق جغرافية محددة. وسيكون المتغير التابع في معادلة الانحدار هذه هو تدفق الذروة لفترة عودة معينة، وقد تكون المتغيرات المستقلة في معادلة الانحدار هذه هي مستجمعات المياه والمتغيرات الإقليمية الأخرى (على سبيل المثال المنطقة، والميل، والهندسة الجيومترية للفتاة أو غيرها من بيانات الأرصاد الجوية أو المادية أو الخاصة بالموقع). يستخدم هذا الإجراء في حالة عدم توفر بيانات كافية لمقياس التدفق.

٢- الطريقة المنطقية (الجزء ٢-٥). باستخدام هطول الأمطار كمدخل ضروري، فإنها توفر معدلات تدفق الذروة للأودية الحضرية والريفية الصغيرة، وعادة ما تكون مساحتها أقل من كيلو متر مربع، ولكنها استُخدمت على نطاق واسع حتى لمناطق هطول الأمطار التي تصل مساحتها إلى ٢٥ كيلو متر مربع، وهي الأنسب لأنظمة صرف مياه العواصف المطرية الحضرية. ولكن ينبغي استخدامها بحذر إذا تجاوز زمن التركيز (٣٠) دقيقة.

٣- نمذجة رسم الهيدروغراف (الجزء ٢-٦). يستخدم نهج محاكاة هطول الأمطار وجريانها نموذجاً عددياً لمحاكاة عملية هطول الأمطار وجريانها وتوليد مخططات هيدروغرافية للتصريف. وتتكون من أربعة مكونات رئيسية: هطول الأمطار، والفقد في الأمطار الهاطلة، وتحويل هطول الأمطار الفعال، وتوجيه التدفق. إنها الطريقة الأكثر تعقيداً، والتي يمكن تطبيقها في حالة الحاجة إلى مخطط هيدروغراف كامل وعدم استيفاء افتراضات الطرق الأخرى.

تعتمد الطريقة رقم (٢) والطريقة رقم (٣)، الموصوفتان بإيجاز في (الجزء ٢-٤)، على تحولات هطول الأمطار وجريانها، وتتطلب معلومات مفصلة عن خصائص هطول الأمطار في مستجمعات المياه.

٣-٢ معادلات الانحدار:

١-٣-٢ مقدمة:

تُستخدم معادلات انحدار ذروة التصريف بشكل شائع لتصميم مجموعة متنوعة من مرافق الطرق، مثل الجسور والعبّارات وفتحات صرف المياه على جوانب الطرق. معادلات الانحدار الإقليمية هي طريقة مقبولة بشكل عام لتقدير تدفقات الذروة في المواقع التي تحتوي على بيانات جريان نادرة أو غير دقيقة. وتُعد معادلات انحدار ذروة التصريف هذه طريقة إحصائية تربط خاصية ذروة التصريف في فترة عودة محددة بالخصائص الفيزيائية البيانية، والهيدرولوجية، والجوية لمناطق هطول الأمطار. وعلى هذا النحو، ينبغي الإشارة إلى أن تحليل الانحدار هو دراسة منفصلة، وليس جزءاً من التحليل الوارد في هذا المجلد من كود الطرق السعودي لاستنباط منحني تكرار الفيضان (أو الهيدروغراف).

لا يُقصد ولا يُستهدف من الإجراء أن يتطلب قياسات دقيقة. إذ أنه يتضمن قدرًا معيناً من الانطباقية، ويجب إجراء فحص ميداني لغرض الحصول على أفضل تقدير.

٢-٣-٢ معادلة تالبوت المعدلة:

طُورت معادلة تالبوت المعدلة -بشكل أساس- لحساب وتقدير ذروة تدفق التصريف للمملكة العربية السعودية (MODON, 2011)، وعدلت من قبل وزارة النقل والخدمات اللوجستية على النحو التالي (Quraishi and Al-Hassoun, 1996):

$$Q_p = K C A^n R_f F_f \quad \text{المعادلة (١-٢)}$$

حيث إن:

Q_p = ذروة التصريف (متر مكعب/ ثانية) المرتبطة بفترة العودة P ، وتقاس بالسنوات.

K = ثابت متغير وفقاً لمساحة صرف المياه، كما في موضح في الجدول (١-٢).

n = أس يختلف وفقاً لمساحة صرف المياه، كما في موضح في الجدول (١-٢).

A = مساحة صرف المياه المساهمة مقيسة بالهكتار.

C = معامل الجريان السطحي المركب، الذي حُصل عليه كـ $(C = C_1 + C_2 + C_3)$ ، حيث (C_1) هو معامل حالة التضاريس، (C_2) هو معامل ميل مساحة صرف المياه و (C_3) هو معامل شكل مساحة صرف المياه، وتختلف هذه المعاملات وفقاً للجدول (٣-٢).

R_f = معامل هطول الأمطار يُقترح أن يكون (١,٥) لمناطق هطول الأمطار المتوسطة (من ٤ إلى ١٣ كيلو متر مربع) و (١,٤) لكل من مناطق هطول الأمطار الكبيرة والإقليمية (الأكثر من ١٣ كيلو متر مربع) كما في الجدول (١-٢).

F_f = عامل تكرار يعتمد على فترة عودة العاصفة المطرية المرغوبة، كما هو مبين في الجدول (٤-٢). وبالنسبة لمستجمعات المياه الصغيرة (مساحة أقل من ٤ كيلو متر مربع):

$$Q_p = SF C A F_f$$

حيث إن:

SF = معامل الميل، كما هو مبين في الجدول (٢-٢).

الجدول (١-٢) معاملات انحدار معادلة تالبوت المعدلة بناءً على مساحة تجميع المياه.

R_f	n	K	مساحة صرف المياه (كيلو متر مربع)
			(مستجمعات المياه الصغيرة) من ٤ كيلو متر مربع
١,٥	٠,٧٥	٠,٥٥٧	(مستجمعات المياه المتوسطة) من ٤ إلى ١٣ كيلو متر مربع
١,٤	٠,٥٠	٣,٥٦١	(مستجمعات المياه الكبيرة) من ١٣ إلى ٣٦٠ كيلو متر مربع
١,٤	٠,٤٠	١٠,١٦٦	(مستجمعات المياه الإقليمية) الأكبر من ٣٦٠ كيلو متر مربع

الجدول (٢-٢) معاملات الانحدار لمساحات صرف المياه التي لا تزيد عن ٤٠٠ هكتار (MODON, 2011).

معامل الميل (SF)	
المناطق المفتوحة (متوسط الانحدار %)	معامل الميل
٠ - ٠,٢	٠,٦
٠,٢ - ٢	١,٢
أكبر من ٢	١,٨
المناطق التي تحتوي على جبال (% من الجبال)	معامل الميل
أقل من ٥	١,٨٠
٥ - ١٥	١,٩٢
١٥ - ٢٥	٢,٠٤
٢٥ - ٣٥	٢,١٦



معامل الميل (SF)	
٢,٢٨	٣٥ – ٤٥
٢,٤٠	٤٥ – ٥٥
٢,٥٢	٥٥ – ٦٥
٢,٦٤	٦٥ – ٧٥
٢,٧٦	٧٥ – ٨٥
٢,٨٨	٨٥ – ٩٥
٣,٠٠	٩٥ – ١٠٠

الجدول (٣-٢) قيم المعاملات (C1) و (C2) و (C3)، حيث يمثل الرمز (W) عرض مساحة صرف المياه، والرمز (L) طولها، والرمز (S) ميلها (MODON, 2011).

المعاملات	
C ₁	
٠,٣	منطقة جبلية
٠,٢	منطقة شبه جبلية
٠,١	أرض منخفضة
C ₂	
٠,٥	S > 15 %
٠,٤	10 % < S < 15 %
٠,٣	5 % < S < 10 %
٠,٢٥	2 % < S < 5 %
٠,٢	1 % < S < 2 %
٠,١٥	0.5 % < S < 1 %
٠,١	S < 0.5 %
C ₃	
٠,٣	W = L
٠,٢	W = 0.4 L
٠,١	W = 0.2 L

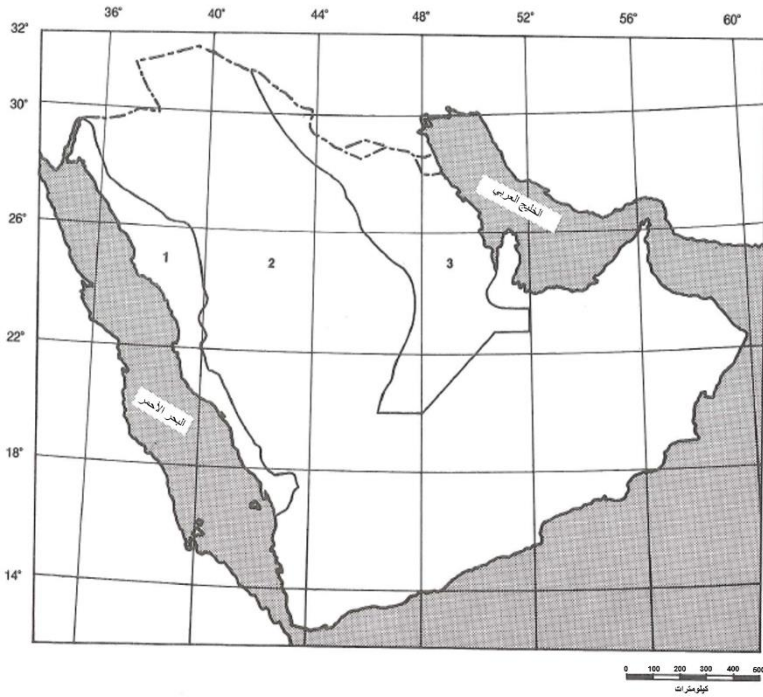
الجدول (٢-٤) المعاملات (F_f) المبينة على فترة العودة المرغوبة لحدث العاصفة المطرية.

فترة العودة مقيسة بالسنوات	F_f معامل التكرار أو التكرار
٥	٠,٦٠
١٠	٠,٨٠
٢٥	١,٠٠
٥٠	١,٢٠
١٠٠	١,٤٠

٣-٣-٢ معادلات الانحدار الإقليمية لوزارة النقل السعودية MOT:

يمكن استخدام معادلات الانحدار الأخرى؛ مثل: المعادلات التي طورتها وزارة النقل والخدمات اللوجستية. وتنقسم المملكة العربية السعودية إلى ثلاث مناطق هيدرولوجية؛ وهي: المنطقة الهيدرولوجية رقم (١)، والمنطقة الهيدرولوجية رقم (٢)، والمنطقة الهيدرولوجية رقم (٣)، ولكل منطقة طبيعتها الخاصة، ونوعها، وخصائصها الهيدرولوجية/الجيوولوجية.

طورت وزارة النقل والخدمات اللوجستية سلسلة من المعادلات/الصيغ لإحصائيات الانحدار المستخدمة لكل منطقة محددة؛ للتنبؤ بتدفق ذروة التصريف في المناطق القاحلة وشبه الصحراوية؛ حيث لا توجد محطات قياس لهطول الأمطار بالقرب من منطقة المشروع قيد الدراسة. ترد المعادلات الخاصة بكل منطقة هيدرولوجية في الجدول (٢-٥).



الشكل (١-٢) المناطق الهيدرولوجية في المملكة العربية السعودية (MOMRAH, 2019).



الجدول (٥-٢) معادلات الانحدار لكميات الفيضانات بناءً على المنطقة الهيدرولوجية؛ حيث (Q) هو مقدار الفيضان (متر مكعب لكل ثانية)، و (A) هي مساحة صرف المياه (مقيسة بالكيلو متر المربع)، و (E) هو متوسط ارتفاع الحوض فوق مستوى البحر (بالمتر)، و (P) هو متوسط هطول الأمطار.

المعادلة	الخطأ القياسي في التقدير (%)
المنطقة الهيدرولوجية رقم (١)	
$Q_2 = 1.63 A^{0.433}$	٧٦
$Q_5 = 3.98 A^{0.462}$	٥٣
$Q_{10} = 6.34 A^{0.475}$	٥٣
$Q_{25} = 10.4 A^{0.487}$	٦٢
$Q_{50} = 14.4 A^{0.494}$	٧٢
$Q_{100} = 199.4 A^{0.499}$	٨٣
$Q_{500} = 34.9 A^{0.509}$	١١١
المنطقة الهيدرولوجية رقم (٢)	
$Q_2 = 0.00147 A^{0.673} (E/1000)^{-0.605} P^{1.03}$	٨١
$Q_5 = 0.00706 A^{0.650} (E/1000)^{-0.868} P^{0.987}$	٦٤
$Q_{10} = 0.00152 A^{0.638} (E/1000)^{-1.00} P^{0.971}$	٥٨
$Q_{25} = 0.0354 A^{0.626} (E/1000)^{-1.14} P^{0.944}$	٥٨
$Q_{50} = 0.0594 A^{0.617} (E/1000)^{-1.22} P^{0.933}$	٦١
$Q_{100} = 0.0969 A^{0.610} (E/1000)^{-1.30} P^{0.915}$	٦٦
$Q_{500} = 0.250 A^{0.595} (E/1000)^{-1.45} P^{0.886}$	٧٨
المنطقة الهيدرولوجية رقم (٣)	
$Q_2 = 0.355 A^{0.491} (E/1000)^{2.25}$	٨٣
$Q_5 = 0.426 A^{0.446} (E/1000)^{3.60}$	٧٤
$Q_{10} = 0.453 A^{0.423} (E/1000)^{4.31}$	٧٥
$Q_{25} = 0.490 A^{0.398} (E/1000)^{5.10}$	٨٠
$Q_{50} = 0.499 A^{0.383} (E/1000)^{5.60}$	٨٥
$Q_{100} = 0.520 A^{0.369} (E/1000)^{6.09}$	٩١
$Q_{500} = 0.544 A^{0.342} (E/1000)^{7.04}$	١٠٧

٤-٣-٢ قيود استخدام معادلات الانحدار:

يُنصح بأن يُنظر إلى النتائج التي حُصل عليها بحذر؛ نظرًا للطابع التجريبي والخاص بالمنطقة لهذه المعادلات. علاوة على ذلك ينبغي توخي الحذر -بشكل خاص- بالنسبة للمعادلات التي يكون فيها الخطأ القياسي للتنبؤ كبيرًا (على سبيل المثال: ١٠٠٪). في هذه الحالات؛ ينبغي التحقق من التقدير مقابل أقرب محطة مقياس. و ينبغي -أيضًا- عدم استخدام المعادلات عند وجود السدود، ومنشآت احتجاز الفيضانات، وغيرها من الأعمال التي أنشئت، التي تؤثر بشكل كبير على التدفقات القصوى السنوية.

٤-٢ توصيف هطول الأمطار:

١-٤-٢ مقدمة:

تعتمد طرق تقدير ذروة التصريف الموضحة في الجزئين التاليين (٢-٥ و ٢-٦) على مناهج مختلفة لتحولات تدفق هطول الأمطار وجريانها. تأخذ هذه الطرق في الاعتبار خصائص هطول الأمطار لمدد، وفترات عودة مختلفة. ولتطبيق هذه الطرق؛ من المهم أن توصف أحداث هطول الأمطار -بدقة- لتحديد سعة صرف المياه المطلوبة للتعويض عن الجريان السطحي الناتج.

٢-٤-٢ منحنيات الشدة-المدة-التكرار (IDF Curves):

الشدة، والتكرار، والمدة؛ هي المعلومات الثلاث المستخدمة لتعريف أحداث هطول الأمطار على النحو التالي:

- الشدة: المعدل الذي يحدث به هطول الأمطار، ويُقاس بالمليمترات في الساعة (مم/س). على سبيل المثال: تكون شدة هطول الأمطار الاستوائية (على سبيل المثال: ١٠٠ مم/ساعة) أكبر بكثير من الهتان (على سبيل المثال > ١ مم/ساعة).
- التكرار: عدد المرات التي يحتمل أن تحدث فيها عاصفة مطرية معينة. عادة ما يُعبر عن التكرار؛ من خلال فترة العودة، وهو مقلوب تكرار الفائض. على سبيل المثال: عاصفة مطرية مدتها (٢٥) عامًا، لها احتمال فائض (٠,٠٤) (احتمال حدوثها في سنة معينة)، أو عاصفة مطرية مدتها (٥٠) عامًا، لها احتمال فائض (٠,٠٢) أو (٢٪)، وما إلى ذلك.
- تشير المدة إلى مدة حدوث حدث هطول الأمطار.

هذه المعلومات الثلاث مترابطة، تجري أحداث هطول الأمطار بشدة بتكرار أقل من أحداث هطول الأمطار الأقل شدة، وبالنسبة لشدة هطول أمطار معينة؛ تكون الأحداث ذات المدة الأطول أقل تكرارًا من الأحداث قصيرة المدة. ومن المهم إنشاء أو إيجاد المعادلة الرياضية التي تصف هذه العلاقة: بين متوسط شدة حدث هطول الأمطار، ومدته، وتكراره؛ لتحديد سعة صرف المياه المطلوبة لكل تصميم، بشكل موثوق به. يُشار إلى هذه العلاقة الرياضية -عادة- باسم منحنيات الشدة - المدة - التكرار (IDF Curves)، ويظهر مثال على منحنيات الشدة - المدة - التكرار لمحطة الرياض في الشكل (٢-٢).

لحساب تقديرات تصميم هطول الأمطار في منحنيات الشدة - المدة - التكرار؛ يكون لدى المهندسين الخيارات التالية:

- ينبغي استخراج قيم تصميم منحنيات الشدة - المدة - التكرار من الأرقام ذات الصلة لموقع المشروع المقترح، وقد طُورت مثل هذه المنحنيات لبعض مناطق المملكة العربية السعودية في الماضي ((Al-Khalaf, 1997)). ومع ذلك؛ ينبغي الإشارة إلى أن الأساليب السابقة القائمة على طريقة جامبل الإحصائية (Gumbel) لا تعد أكثر ملاءمة في التحليل الهيدرولوجي.
- يمكن اشتقاق قيم تصميم منحنيات الشدة - المدة - التكرار؛ من خلال عدة مناهج، تستند إلى تحليل عينات من شدة هطول الأمطار المسجلة على فترات زمنية مختلفة. يتوافر شكل عام وشائع الاستخدام لمنحنيات الشدة - المدة - التكرار، جنبًا إلى جنب مع طريقة لتحديد المنحنى المناسب؛ من خلال طريقة مبنية على الاحتمالات (Koutsoyiannis, et al. 1998).

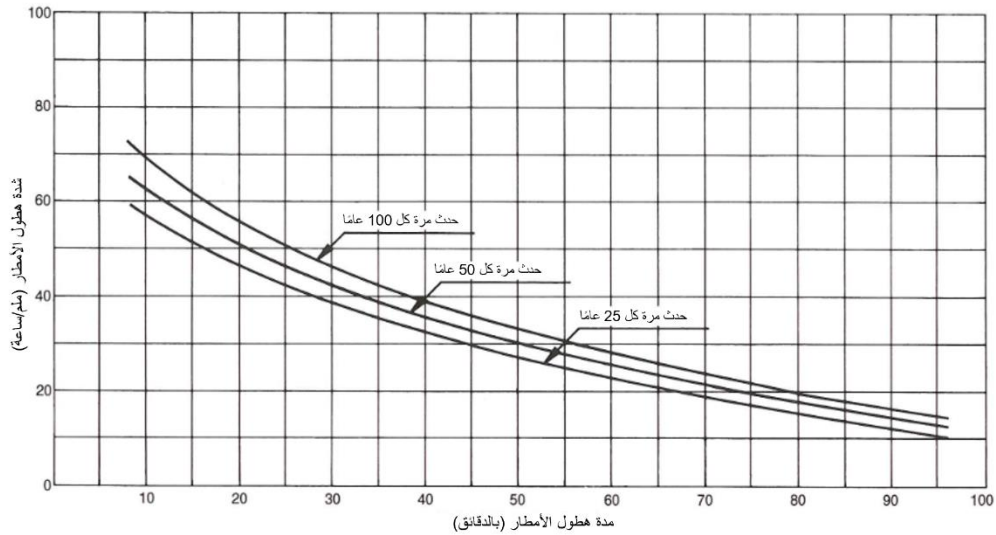
عمومًا، ينبغي تفضيل الخيار الثاني على الأول نظرًا لأن تحليل منحنيات الشدة - المدة - التكرار هو دراسة منفصلة، تتطلب معرفة هيدرولوجية متخصصة؛ ولهذا السبب لا يُعد الدليل التفصيلي لمنحنيات الشدة - المدة - التكرار جزءًا من التحليل الوارد في هذا المجلد من كود الطرق السعودي. ويُفضّل أن يكون لدى المهندسين إمكانية وصول إلى هذه المنحنيات، وبيانات هطول الأمطار من مجموعات البيانات العالمية، أو المنظمات الوطنية؛ مثل: المركز الوطني للأرصاد الجوية، أو الأقمار الصناعية، أو مجموعات بيانات إعادة التحليل في حال سجلات هطول الأمطار المحدودة، وطرق التوليف العشوائي (stochastic synthesis) استنادًا إلى السلوك العالمي للاحتمالية هطول الأمطار، ودوال الارتباط التلقائي (autocorrelation) مع التبعيات طويلة المدى والكسرية (fractal) وعدم الانعكاس، وما إلى ذلك. كما تبين في المؤلفات أن مثل هذه السلوكيات العالمية الشائعة موجودة في عملية هطول الأمطار (كما في بيانات القمر الصناعي وإعادة التحليل في (Koutsoyiannis, 2022)؛ ومن الملاحظات الواردة من المحطات الأرضية في (Dimitriadis et al., 2021))، لذا يمكن محاكاتها في المناطق ذات سجلات هطول الأمطار المحدودة؛ من خلال الطرق التي تحافظ صراحةً على أي عدد من اللحظات الإحصائية لوظيفة الاحتمالية، ووظيفة الارتباط التلقائي؛ (انظر: أحدث الأمثلة لعمليات دورة المياه الرئيسية، بما في ذلك هطول الأمطار، وتدفق المجاري المائية (Dimitriadis and Koutsoyiannis, 2018; and Koutsoyiannis and Dimitriadis, 2022)).

على الرغم من أنه ينبغي تفضيل إنشاء منحنيات الشدة - المدة - التكرار على نطاق إقليمي، فإنه يُقترح في حالة الرصد المحدود (أقل من ٣٠-٦٠ عامًا من التسجيلات اليومية القصوى من أجل الحصول على الاعتماد طويل المدى والذيل المتطرف لنوع الطاقة)؛ يمكن

استخراج منحنيات الشدة - المدة - التكرار من المحطات المجاورة (بالطول الطويل المرغوب)، أو من خلال خريطة منحنيات الشدة - المدة - التكرار على نطاق وطني، التي ستكون مستندة إلى محطات هطول الأمطار المتعددة، والأنظمة المناخية، أو الاتجاهات المحتملة. ينبغي تفضيل هذا الاقتراح؛ تجنباً للتقديرات المنخفضة أو المبالغ فيها لشدة العواصف المطرية، بسبب اختلاف الأطوال، أو بسبب عدم وجود سجلات هطول أمطار في المحطات المحلية، ولضمان الحصول على التبعية الكسرية وطويلة المدى، وكذلك للحفاظ على الارتباطات المتبادلة بين المحطات المجاورة، وأخذها بعين الاعتبار لتقدير فترة عودة الأحداث المتطرفة. وعلى وجه التحديد؛ ينبغي أن تتضمن أحدث الطرق ما يلي:

- الاتساق الرياضي والفيزيائي.
- تغطية جميع النطاقات الزمنية، من الصفر إلى اللانهاية.
- حسن السلوك على مقاييس زمنية دقيقة للغاية؛ من خلال المعامل الكسري.
- حسن السلوك على نطاقات زمنية كبيرة جداً؛ من خلال معلمة هيرست (Hurst) (إرشادية إذا كان الاعتماد طويل المدى).
- الوسط الذي يصبح تأثيره مهماً مع زيادة النطاق الزمني.
- المعالجة المتزامنة، والحفاظ على مخطط المناخ (أي: تباين العملية المتوسطة مقابل المقياس).
- المعالجة المتزامنة والمحافظة على احتمالية الجفاف/الرطوبة من حيث التساقط.

يمكن العثور على مثال لهذه المنهجية التي تسمح بعمليات التكيف المذكورة أعلاه في (Koutsoyiannis 2022)؛ الباب ٨ بعنوان: هطول الأمطار المتطرف ونمذجة أومبريان (ombrian)؛ حيث تعطى تفاصيل عن التطبيق، وأمثلة بشأن كيفية إنشاء منحنيات الشدة - المدة - التكرار، أو (نمذجة أومبريان) مع شبكة محدودة من محطات هطول الأمطار ذات الأطوال الزمنية المختلفة.



منحني الشدة والمدة والتردد
المقياس: R-001 الرياض

الشكل (٢-٢) منحنيات الشدة - المدة - التكرار لمحطة الرياض (MOMRAH, 2019).

٣-٤-٢ عامل التخفيض السطحي:

تقوم عوامل التخفيض السطحي بتحويل الأمطار الموضعية المقيسة - بمقياس أمطار - إلى مستجمعات سطحية لتساقط الأمطار. تُعد عوامل التخفيض السطحي من العوامل المهمة لتحليل هطول الأمطار في مستجمعات المياه الكبيرة نسبياً؛ حيث لن يكون لهطول الأمطار شدة موحدة على المنطقة بأكملها. تطبيق قيم هطول الأمطار الموضعية على مستجمعات المياه الكبيرة غير واقعي؛ حيث من غير المحتمل الحفاظ على هذه الشدة عبر المنطقة بأكملها. يختلف عامل التخفيض السطحي وفقاً لخصائص العاصفة المطرية؛ مثل: المدة، والتكرار، فضلاً عن خصائص مناطق تساقط المياه؛ مثل: الحجم، والشكل، والموقع الجغرافي.

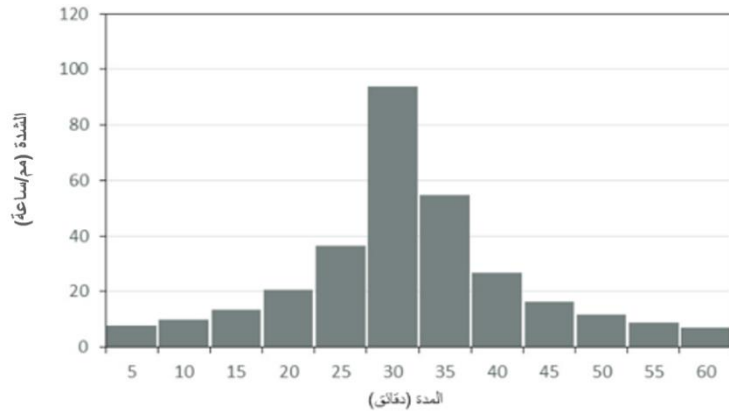
للحصول على عمق هطول أمطار فعال في مستجمع معين؛ يجب ضرب نقطة عمق هطول الأمطار بمدة وتكرار محددين في عامل التخفيض السطحي المقابل (المدى من ٠ إلى ١). لم يُعرض هذا الجانب في هذا المجلد من كود الطرق السعودي؛ لأنه بالنسبة لمستجمعات المياه التي تصل إلى مساحة ٢٥ كيلو متر مربع، فإن عامل التخفيض السطحي يساوي تقريباً (١). ولتركيب المخططات الهيدرولوجية لمستجمعات المياه ذات المساحة الكبيرة - كما هي الحال في الجزء (٢-٦) يمكن تقدير عامل التخفيض السطحي؛ من

خلال الجداول التي قدمها مجلس أبحاث البيئة الطبيعية (NERC, 1975)، التي تغطي مجموعة واسعة من المناطق ذات مساحات تتراوح من (١ كيلو متر مربع إلى ٣٠,٠٠٠ كيلو متر مربع)، والمقاييس الزمنية التي تتراوح (من ١ دقيقة إلى ٢٥ يوماً).

٤-٤-٢ مخطط توزيع الأمطار Hyetograph:

مخطط توزيع الأمطار هو رسم بياني يمثل توزيع هطول الأمطار مع مرور الوقت. يستخدم مخطط توزيع الأمطار الاصطناعي لنمذجة توزيع هطول الأمطار للعواصف المطرية التصميمية. وبالنسبة لمستجمع مياه واحدة تقل مساحتها عن ٠,٥ كيلو متر مربع؛ يمكن تطبيق رسم مخطط توزيع أمطار منتظم. تتحدد شدة مخطط توزيع الأمطار المنتظم؛ من خلال تحديد فترة عودة التصميمية، بينما يجب أن تكون مدة هطول الأمطار -على الأقل- مساوية لزمان تركيز مستجمعات المياه أو أكبر منه. هذا هو مفهوم الطريقة المنطقية الموصوف في الجزء (٢-٥).

وبالنسبة لمستجمعات المياه الكبيرة التي تتطلب نمذجة مخطط توزيع الأمطار (موصوفة في الجزء ٢-٦)، يمكن اتباع طرق مختلفة لتوزيعات مخطط توزيع الأمطار التصميمية. قد يكون لبعض المناطق توزيعات إقليمية محددة. طريقة الكتل المتناوبة هي طريقة مقبولة -عموماً- (Chow, et al., 1988)، التي تطور مخطط توزيع أمطار من قيم الترسيب الترايدي (الكتل). تضع هذه الطريقة كتلة أقصى عمق ترايدي في منتصف المدة المطلوبة. وتترتب الكتل المتبقية بترتيب تنازلي بالتناوب، قبل وبعد الكتلة المركزية. يظهر مثال في الشكل (٢-٣).



الشكل (٢-٣) مخطط توزيع أمطار أنتج باستخدام طريقة الكتل المتناوبة (QATAR, 2021).

لنمذجة الهيدروغراف، يُفصل مخطط توزيع الأمطار إلى دالتين معتمدتين على الزمن: (أ) التجريد الأولي ودالة الفقد، و (ب) فائض هطول الأمطار. بمجرد تحديد التجريد الأولي وقيم الفقد الأخرى؛ يمكن طرحها من مخطط توزيع إجمالي هطول الأمطار؛ لتحديد مخطط توزيع فائض هطول الأمطار. حجم فائض هطول الأمطار سوف يساوي حجم الجريان السطحي المباشر. تُعد مدة زيادة هطول الأمطار مهمة بشكل خاص؛ لأنها تحدد مدة وحدة الهيدروغراف المقابلة؛ (انظر: الجزء الفرعي ٢-٦-٢).

٥-٢ الطريقة المنطقية:

١-٥-٢ مقدمة:

الطريقة المنطقية؛ هي: الطريقة الأكثر شيوعاً في أدبيات الموضوع لإنتاج ذروة التدفق الخارج من مستجمعات المياه، مفترضاً وجود علاقة بين مدة حدث هطول الأمطار بشدة ثابتة، وأطول زمن انتقال أو (زمن التركيز) (t_c) لمستجمع المياه. كدليل عام؛ يمكن استخدام الطريقة المنطقية؛ لتقدير ذروة التصريف لمستجمع مياه ذي مساحة صغيرة وبسيطة تصل إلى (١) كيلو متر مربع. يدعم -أيضاً- استخدام الطريقة المنطقية -بوصفها وسيلة للتحقق من صحة تقدير التدفق- في مستجمعات المياه الريفية التي تصل مساحتها إلى (٢٥) كيلو متر مربع، أو أوقات تركيز أقل من ساعتين (Austroad, 2021). هذه الطريقة -رغم تقديمها لأول مرة في عام ١٨٨٩ م- فإنها لا تزال تستخدم على نطاق واسع في معظم المكاتب الهندسية في جميع أنحاء العالم. وعلى الرغم من تعرضها للنقد -في كثير من الأحيان- بسبب نهجها التبسيطي، فإنه لم تلق أي طريقة أخرى لتصميم صرف المياه مثل هذا الاستخدام واسع النطاق.

٢-٥-٢ التطبيق والخصائص:

يجب مراعاة بعض الاحتياطات عند تطبيق الطريقة المنطقية؛ (FHWA, 2002):

- تتمثل الخطوة الأولى في تطبيق الطريقة المنطقية للحصول على خريطة طبوغرافية جيدة، وتحديد حدود منطقة صرف المياه المعنية. وبالإضافة إلى ذلك؛ يجب إجراء فحص ميداني للمنطقة لتحديد ما إذا كانت تقسيمات صرف المياه الطبيعية قد غُيرت.
- عند تحديد الخصائص السطحية لمنطقة الصرف؛ ضع في اعتبارك أي تغيرات مستقبلية في استخدامات الأراضي قد تحدث خلال فترة خدمة المنشأة المقترحة، التي يمكن أن تؤدي إلى نظام صرف غير ملائم. وعلاوة على ذلك أيضاً؛ يمكن النظر في آثار مرافق احتجاز المياه في اتجاه المنبع.
- يجب فحص القيود المفروضة على التدفق الطبيعي؛ على سبيل المثال: (معابر الطرق والسدود القائمة في منطقة الصرف) لتحديد كيفية تأثيرها على التدفقات التصميمية.
- لا يُقصد من المخططات والرسوم البيانية والجدول المضمنة في هذا الجزء أن تحل محل الحكم الهندسي المعقول والحسب، الذي ينبغي أن يتدخل كل خطوة في عملية التصميم.

وبالإضافة إلى ذلك؛ تعتمد الطريقة المنطقية على الافتراضات التالية، التي يقصر استخدامها على مستجمعات المياه ذات المساحات الصغيرة (FHWA, 2002):

- ١- شدة هطول الأمطار مقابل زمن التركيز. معدل الجريان السطحي الناتج عن أي شدة هطول أمطار؛ هو الحد الأقصى عندما يستمر هطول الأمطار لفترة طويلة أو أطول من زمن التركيز، أي إن منطقة صرف المياه بأكملها لا تسهم في ذروة التصريف حتى انقضاء زمن التركيز.
- ٢- فترة عودة التصريف القصوى؛ هي نفس فترة شدة هطول الأمطار لزمن التركيز المحدد.
- ٣- تدفق المياه؛ الجزء من هطول الأمطار الذي يصبح تدفقاً (C) مستقل عن شدة أو حجم هطول الأمطار.
- ٤- معدل الذروة للجريان السطحي؛ هو بمنزلة معلومات كافية لاتخاذ القرار، ولا يُنتج رسم بياني هيدروغرافي.
- ٥- التوزيع المكاني لهطول الأمطار، تفترض الطريقة أن المطر يسقط بشكل منتظم على مستجمعات المياه.

٣-٥-٢ المعادلة

تقدر المعادلة المنطقية معدل الذروة للجريان السطحي -في أي مكان- في مناطق هطول الأمطار كدالة في منطقة صرف المياه، ومعامل الجريان السطحي، ومتوسط شدة هطول الأمطار، لمدة تساوي زمن التركيز (الزمن اللازم لتدفق المياه من أبعد نقطة في الحوض إلى الموقع الجاري تحليله). يُعبّر عن المعادلة المنطقية على النحو التالي:

$$Q = F C i A \quad \text{المعادلة (٢-٢)}$$

حيث إن:

Q = أقصى معدل للجريان السطحي، متر مكعب/ثانية.

F = عامل تحويل الوحدة يساوي (٠,٢٧٨)؛ عندما تكون المساحة (A) مقيسة بالكيلو متر المربع والشدة (i) بالملليمتر/الساعة.

C = معامل الجريان السطحي؛ يمثل نسبة الجريان السطحي إلى هطول الأمطار.

i = متوسط شدة هطول الأمطار لمدة تساوي زمن التركيز لفترة عودة محددة، مم/ساعة.

A = مساحة منطقة صرف المياه الرافدة لموقع التصميم مقيسة بالكيلو متر المربع.

تعد نتائج الطريقة المنطقية حساسة للغاية للمعاملات المستخدمة، خاصة زمن التركيز ومعامل الجريان السطحي. ينبغي أن يستخدم مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) حكماً هندسياً جيداً في تقدير القيم المستخدمة في الطريقة المنطقية. يناقش الجزء الفرعي التالي المتغيرات المستخدمة في الطريقة المنطقية.

٤-٥-٢ معامل الجريان السطحي:

معامل الجريان السطحي (C)؛ هو متغير الطريقة المنطقية، وهو الأقل قابلية للتحديد الدقيق، ويتطلب حكم وفهم المهندس القائم بالتصميم الهيدروليكي. وعلى الرغم من أن الحكم الهندسي سيكون مطلوباً دائماً في اختيار معاملات الجريان السطحي، فإن المعامل النموذجي يمثل التأثيرات المتكاملة للعديد من معاملات حوض منطقة الصرف. أُعطيت القيم النموذجية لمعامل الجريان السطحي في الجدول (٦-٢) للمناطق الحضرية (FHWA, 2002)، والجدول (٧-٢) للمناطق الريفية.

الجدول (٦-٢) معاملات الجريان السطحي للمناطق المطورة (المناطق الحضرية) للمعادلة المنطقية (FHWA, 2002).

نوع منطقة الصرف	معامل الجريان السطحي (C)
منطقة أعمال تجارية	
مناطق وسط البلد.	٠,٩٥ - ٠,٧٠
مناطق الأحياء.	٠,٧٠ - ٠,٥٠
منطقة سكنية	
مناطق الفلل المستقلة.	٠,٥٠ - ٠,٣٠
مناطق سكن متعددة الوحدات، منفصلة.	٠,٦٠ - ٠,٤٠
مناطق سكن متعددة الوحدات، متلاصقة.	٠,٧٥ - ٠,٦٠
مناطق سكنية في الضواحي.	٠,٤٠ - ٠,٢٥
مناطق سكنية في شكل شقق.	٠,٧٠ - ٠,٥٠
منطقة صناعية	
مناطق الصناعات الخفيفة.	٠,٨٠ - ٠,٥٠
مناطق الصناعات الثقيلة.	٠,٩٠ - ٠,٦٠
مناطق حدائق ومقابر.	٠,٢٥ - ٠,١٠
ملاعب.	٠,٤٠ - ٠,٢٠
مناطق ساحات السكك الحديدية.	٠,٤٠ - ٠,٢٠
مناطق غير مطورة.	٠,٣٠ - ٠,١٠
مناطق عشبية	
تربة رملية مسطحة، بميول (أقل من ٢٪)	٠,١٠ - ٠,٠٥
تربة رملية بميول متوسطة (٢-٧٪)	٠,١٥ - ٠,١٠
تربة رملية شديدة الانحدار، بميول (أكبر من ٧٪)	٠,٢٠ - ٠,١٥
تربة ثقيلة مسطحة، بميول (أقل من ٢٪)	٠,١٧ - ٠,١٣
تربة ثقيلة بميول متوسطة (٢-٧٪)	٠,٢٢ - ٠,١٨
تربة ثقيلة شديدة الانحدار، بميول (أكبر من ٧٪)	٠,٣٥ - ٠,٢٥
الشوارع	
أسفلتية.	٠,٩٥ - ٠,٧٠
خرسانية.	٠,٩٥ - ٠,٨٠
شوارع معبّدة بالطوب.	٠,٨٥ - ٠,٧٠
مداخل جانبية وممرات مشي.	٠,٨٥ - ٠,٧٥
أسطح مبانٍ.	٠,٩٥ - ٠,٧٥

في حال وجود مناطق ذات معاملات جريان مختلفة داخل مستجمع المياه؛ يمكن الحصول على قيمة (C) كمجموع مرجح لمعاملات الجريان السطحي (C) لجميع المناطق الفرعية، مع كون الأوزان هي المساهمة النسبية للمساحات الفرعية في المساحة الإجمالية. على سبيل المثال: بالنسبة لثلاث مساحات فرعية (A₁)، و (A₂)، و (A₃) (MOMRAH, 2019):

$$C = [A1C1 + A2C2 + A3C3] / [A1 + A2 + A3] \quad \text{المعادلة (٣-٢)}$$

الجدول (٧-٢) معاملات الجريان السطحي للمناطق الريفية غير المطورة للمعادلة المنطقية (Caltrans, 2021).

خصائص منطقة الصرف	شديد	مرتفع	طبيعي	منخفض
أ- تضاريس المنطقة.	٠,٣٥ - ٠,٢٨ تضاريس شديدة الانحدار ووعرة بمتوسط ميل أعلى من ٣٠٪	٠,٢٨ - ٠,٢٠ جبلية، بمتوسط ميل يتراوح من ١٠٪ إلى ٣٠٪	٠,٢٠ - ٠,١٤ تلالية، بمعدلات ميل تتراوح من ٥ - ١٠٪	٠,١٤ - ٠,٠٨ أرض مستوية نسبياً بمتوسط ميل من ٥ إلى ٠٪
ب- التسريب في التربة.	٠,١٦ - ٠,١٢ لا يوجد غطاء ترابي فعال، سواء كان صخراً أو غطاء تربة رقيقاً، له قدرة تسريب ضئيلة.	٠,١٢ - ٠,٠٨ تربة بطيئة في امتصاص الماء؛ عبارة عن الطين، والتربة الطينية الضحلة ذات القدرة المنخفضة على التسريب، أو التي تُصنّف بشكل غير كامل أو ضعيف.	٠,٠٨ - ٠,٠٦ طبيعي؛ تربة خفيفة، أو متوسطة القوام ذات تصريف جيد، والتربة الطمية الرملية، وتربة الطمي، والطين.	٠,٠٦ - ٠,٠٤ عالي؛ رمال عميقة، أو أي تربة أخرى تمتص الماء بسهولة، وتربة خفيفة جداً ذات تصريف جيد.
ج- الغطاء النباتي.	٠,١٦ - ٠,١٢ لا يوجد غطاء نباتي فعال، غطاء مكشوف أو متناثر للغاية.	٠,١٢ - ٠,٠٨ يتراوح من ضعيف إلى مقبول؛ محاصيل زراعية نظيفة، أو غطاء طبيعي ضعيف، أقل من ٢٠٪ من مساحة صرف المياه، لها غطاء جيد.	٠,٠٨ - ٠,٠٦ من متوسط إلى جيد؛ حوالي ٥٠٪ من مساحة عبارة عن مروج معشبة أو حرجية، وليس أكثر من ٥٠٪ من المساحة تقع في المحاصيل الزراعية.	٠,٠٦ - ٠,٠٤ من جيد إلى ممتاز؛ حوالي ٩٠٪ من مساحة صرف المياه في مروج معشبة أو حرجية جيدة، أو غطاء مكافئ.
د- التخزين السطحي.	٠,١٢ - ٠,١٠ يوجد انخفاض سطحي ضئيل وضحل؛ مجاري صرف المياه شديدة الانحدار وصغيرة، ولا توجد بها مستنقعات أو مناطق لتجميع مياه.	٠,١٠ - ٠,٠٨ منخفض؛ ويتضمن نظام محدد جيداً لمجاري صرف المياه الصغيرة، ولا توجد بها برك أو مستنقعات أو مناطق لتجميع مياه.	٠,٠٨ - ٠,٠٦ طبيعي؛ تخزين سطحي كبير، وتوجد بحيرات، أو مستنقعات، أو مناطق تجمع مياه.	٠,٠٦ - ٠,٠٤ عالي؛ التخزين السطحي مرتفع، ونظام صرف المياه غير محددة بشكل حاد، كما أنه يوجد تخزين كبير في السهول للمياه الفيضانية، أو عدد كبير من البرك أو المستنقعات.

في حالات الجدول (٧-٢)؛ سيشتق (C) معامل الجريان السطحي لمناطق هطول الأمطار كمجموع المعاملات المقابلة لخصائص كل صف في الجدول. على سبيل المثال: يمكن تقدير قيمة المعامل (C) لمناطق هطول الأمطار غير المطورة، التي تتكون من تضاريس تلالية، بمتوسط ميل قدره ٥٪، وتربة من النوع الطيني، ومروج عشبية جيدة، ومنخفضات سطحية طبيعية؛ على النحو التالي:

$$C \text{ (معامل الجريان السطحي)} = ٠,١٤ \text{ (لتضاريس المنطقة)} + ٠,٠٨ \text{ (للتسريب في التربة)} + ٠,٠٤ \text{ (للغطاء النباتي)} + ٠,٠٦ \text{ (للتخزين السطحي)} = ٠,٣٢$$

٥-٥-٢ زمن التركيز:

١-٥-٥-٢ عام:

زمن التركيز (t_c)؛ هو الزمن اللازم لتدفق المياه من أبعد نقطة هيدروليكية من منطقة صرف المياه إلى النقطة قيد الاستقصاء. العوامل التي تؤثر على زمن التركيز؛ هي طول التدفق، وميل مسار التدفق، وخشونة مسار التدفق. وبالنسبة للتدفق عند الروافد العليا لمستجمع الأمطار؛ فقد تؤثر خصائص هطول الأمطار -خاصة الشدة- في سرعة الجريان السطحي.

يمكن استخدام طرق مختلفة لتقدير زمن التركيز لمستجمع الأمطار. وعند اختيار طريقة لاستخدامها في التصميم، من المهم اختيار طريقة مناسبة لمسار التدفق.

نوع التدفق الذي يحدث؛ هو دالة في نظام نقل المياه، ويتحدد بشكل أفضل عن طريق الفحص الميداني. قد يؤدي التطوير داخل مناطق هطول الأمطار إلى حدوث تغييرات في مسارات التدفق السطحي. لا يكون مسار التدفق السطحي -بالضرورة- عمودياً على الخطوط الكنتورية الموضحة في الخرائط المتاحة. وفي كثير من الأحيان؛ ستمهد الأرض، وسوف تعترض المسطحات المستوية الناتجة الخطوط الكنتورية الطبيعية، وتوصل المياه إلى الطرق والشوارع؛ ما يقلل من زمن التركيز. يجب على مهندسي الهيدروليك تمييز التغييرات الطبوغرافية المنشأة، وإدراج خصائص التدفق الحالية في تصميمهم.

٢-٥-٥-٢ الصيغة التجريبية:

يمكن حساب زمن التركيز (t_c) لمستجمع الأمطار من صيغة جياندوتي (Giandotti, 1934):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{المعادلة (٤-٢)}$$

حيث إن:

t_c = زمن التركيز مقيسًا بالساعة.

A = مستجمع الأمطار مقيسة بالكيلو متر المربع.

L_c = الطول الإجمالي لجدول المياه الرئيس مقيسًا بالكيلو متر.

H = الفرق بين متوسط ارتفاع الحوض وارتفاع المخرج مقيسًا بالمتري.

تأخذ صيغة جياندوتي في الاعتبار خصائص مستجمع الأمطار، وغُيرت على مختلف أحجام مستجمعات المياه (مساحة تتراوح من ١٧٠ إلى ٧٠,٠٠٠ كيلو مترًا مربعًا). وهي تُستخدم على نطاق واسع في أوروبا، ووجد أنها موثوقة بها لمختلف مسائل التصميم (Grimaldi, et al., 2012).

ووفقًا لمواصفات تطوير الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية – مدن (MODON, 2011)، يمكن -أيضًا- تقدير زمن التركيز (t_c) باستخدام معادلة كيربيتش (Kirpich)؛ على النحو التالي:

$$t_c = (0.948 L_c^3 / H)^{0.385} \quad \text{المعادلة (٥-٢)}$$

حيث إن:

t_c = زمن التركيز مقيسًا بالساعة.

L_c = الطول الإجمالي لجدول المياه الرئيس مقيسًا بالكيلو متر.

H = الفرق بين متوسط ارتفاع الحوض وارتفاع المخرج مقيسًا بالمتري.

كانت صيغة كيربيتش مفيدة لمستجمعات المياه الصغيرة إلى المتوسطة (مساحة أقل من ٠,٥ كيلو متر مربع)، وهي أكثر ملاءمة لمستجمعات المياه التي تكون -عادةً- أكثر انحدارًا، ويتدفق الجدول المائي وهو أكثر تركيزًا. يُقترح تطبيق معامل تعديل مضاعف قدره (٢,٠) للتدفق السطحي فوق التربة أو العشب، و (٠,٤) للأسطح الخرسانية أو الإسفلتية (QATAR, 2021). يجب تطبيق معامل قدره (١,٠) للأسطح المدمجة أو أي نوع آخر من الأسطح.

يمكن استخدام كلتا الطريقتين، ثم تطبيق الحكم لاعتماد الطريقة الأكثر ملاءمة.

يجب استخدام الزمن المقدر للتركيز؛ إذا كان هذا الزمن أطول من الحد الأدنى لزمن التركيز (t_c) المدرج أدناه، أما إذا كان أقصر منه؛ فاستخدم الحد الأدنى لزمن التركيز (t_c).

فيما يلي أمثلة للحد الأدنى لأوقات التركيز (FHWA, 2002):

- استخدم حدًا أدنى لزمن التركيز (t_c) = ٥ دقائق للمناطق المُعبّدة بخلاف أسطح الجسور.
- استخدم حدًا أدنى لزمن التركيز (t_c) = ١٠ دقائق لطوابق الجسر.

- استخدم حُدًّا أدنى لزمن التركيز $(t_c) = 10$ دقائق للتدفق السطحي (الطبيقي) والطرق غير المُعبّدة.

٦-٥-٢ شدة هطول الأمطار:

شدة هطول الأمطار (i) المطبقة في الطريقة المنطقية؛ هي متوسط معدل هطول الأمطار (مم/ساعة) لمدة تساوي زمن التركيز (مع مراعاة الحد الأدنى من زمن التركيز) لفترة عودة محددة. وبمجرد تحديد فترة العودة للتصميم، وحساب زمن التركيز لمنطقة الصرف، يمكن تحديد شدة هطول الأمطار من منحنيات الشدة - المدة - التكرار (IDF)؛ (انظر: الجزء الفرعي ٢-٤-٢).

٧-٥-٢ مثال للطريقة المنطقية:

فيما يلي نظرة عامة على الخطوات المطلوبة لتطبيق الطريقة المنطقية:

- ١- تحديد معامل الجريان السطحي.
- ٢- حساب زمن التركيز.
- ٣- تحديد شدة هطول الأمطار لفترة العودة المرغوبة، والمدة التي تساوي زمن التركيز لمستجمع الأمطار.
- ٤- تحديد ذروة الجريان السطحي من المعادلة المنطقية.

مثال: الحد الأقصى لمعدل الجريان السطحي لفترة عودة قدرها (١٠) سنوات عند مدخل عبّارة؛ لما يلي:

- حقل ريقي، مع معامل جريان (C) مُقدّر = ٠,٢٩
- بمساحة ٠,٠٨ كيلومتر مربع.
- تتميز بزمن تركيز يساوي (٣٤) دقيقة .
- وشدة هطول الأمطار، المقدرة من منحنيات الشدة - المدة - التكرار (IDF) في المنطقة (القيمة (d) = ٣٤ دقيقة، وفترة عودة (T) = ١٠ سنوات)، تساوي ٧٠ مم/ساعة،

وسيكون:

$$Q_{10} = 0,278 C i_{10} A = 0,278 \times 0,29 \times 70 \left(\frac{\text{mm}}{\text{hr}} \right) \times 0,08 (\text{km}^2) = 0,45 \text{ m}^3/\text{sec}$$

يُلاحظ أنه يلزم إجراء تحليل حساسية عند استخدام النماذج لتقدير مخاطر الفيضانات؛ من خلال تحديد تأثير تباين معلمات الإدخال الرئيسية؛ مثل: الطبوغرافية (مثل: خريطة الارتفاعات الرقمية، واستخدامات الأراضي)، والهيدرولوجية (مثل: إنشاء منحنيات الشدة - المدة - التكرار، الهيدروغراف)، والهيدروليكية (مثل: الخشونة، هندسة المجرى المائي الجيومترية)، وتلك المتعلقة بهيكل النموذج نفسه (مثل: شروط الحدود، والمخططات العددية)؛ من خلال مقارنة نفس المخارج (مثل: تصريف الذروة، مدى الفيضان) بواسطة نماذج مختلفة، وتجارب معيارية؛ انظر: -على سبيل المثال- مراجعة وأمثلة في (Dimitriadis et al., 2016).

٦-٢ نمذجة الهيدروغراف:

١-٦-٢ مقدمة:

الهيدروغرافات؛ هي أدوات مفيدة خاصة عند مراجعة الحجم الإجمالي للتدفق وزمنه لمستجمعات المياه. يصبح من الضروري تطوير هيدروغراف عندما يكون لمستجمعات المياه خصائص جريان معقدة، كما هو الحال في المناطق الحضرية والصحراوية أو عندما يجب تقييم تخزين الفيضانات أو مدتها. في مثل هذه الحالات؛ قد تكون هناك حاجة إلى هيدروغراف كامل التصميم. كما يمكن استخدام الهيدروغرافات لتحديد زمن الغمر وزمن إغلاق الطرق أو منشآت الطرق.

تحسب طريقة الهيدروغراف الفاقدة (على سبيل المثال: التسرب إلى التربة)، وتحول الأمطار المتبقية (الزائدة) إلى جريان سطحي. لا يوجد حد لمساحة مستجمعات المياه.

يتطلب التطبيق الناجح لمعظم طرق الهيدروغرافات من المصمم:

- تعريف التوزيع الزمني والمكاني للعاصفة المطرية التصميمية المرغوبة.
- تحديد الفواقد المناسبة داخل النموذج؛ لحساب كمية هطول الأمطار المفقودة في العمليات الأخرى، مثل التسرب الذي لا ينساب من مستجمعات المياه.
- تحديد المعلمات المناسبة لحساب هيدروغراف الجريان السطحي الناتج عن هطول الأمطار الزائدة.
- إذا لزم الأمر للتطبيق؛ تُحدد المعلمات المناسبة لحساب الهيدروغراف المتأخر، والمُضخَّم في مواقع باتجاه المصب.

توجد عدة طرق لتطوير الهيدروغرافات؛ انظر: (FHWA, 2002). وحدة الهيدروغراف؛ هي نموذج تجريبي معروف وشائع الاستخدام لعلاقة الجريان السطحي المباشر بالأمطار الزائدة. وحدة الهيدروغراف لمنطقة الصرف؛ عبارة عن منحني يوضح التوزيع الزمني للجريان السطحي، الذي سينتج عند نقطة التركيز من وحدة هطول أمطار فعالة فوق منطقة الصرف عند تلك النقطة. المفهوم

الأساس لوحدة الهيدروغراف؛ هو أن عملية الجريان السطحي تكون خطية، وعليه فإن الجريان السطحي من أكبر أو أقل من وحدة واحدة هو ببساطة مضاعف لوحدة هيدروغراف الجريان السطحي. وبمجرد أن تطوير دالة النقل الخطية؛ يمكن استخدامها مع كل من عواصف التصميم المطرية ومخطط توزيعات هطول الأمطار المقيسة لحساب (تركيبياً) الجريان السطحي المتوقع. يمكن بعد ذلك استخدام هيدروغراف الجريان السطحي الناتج لأغراض التصميم.

يمكن تطوير وحدات الهيدروغراف لمستجمعات مائية معينة أو للاستخدام العام في مستجمعات المياه؛ حيث لا تتوفر البيانات لتطوير وحدة هيدروغراف خصيصاً لمستجمعات المياه هذه، ويشار إلى تلك من النوع الأخير باسم الهيدروغراف للوحدة الاصطناعية (التركيبية). وبالنسبة للأحواض التي تحتوي على بيانات؛ يمكن للمهندس تحديد إحداثيات الوحدة الهيدروغرافية. ومع ذلك نادراً ما تتوفر البيانات اللازمة لاشتقاق وحدة الهيدروغراف لمنطقة معينة (سلاسل زمنية مفصلة لسقوط الأمطار وتدفق الجداول المائية)؛ لذلك لا يمكن العثور على إحداثيات وحدة الهيدروغراف بسهولة. وحتى عندما تكون البيانات متاحة؛ فهي متاحة للعواصف المطرية المعقدة، مع وجود اختلافات كبيرة في أعماق هطول الأمطار داخل العاصفة. وعليه يصعب تطبيق إجراء تحديد وحدة الهيدروغراف. في هذه الحالة؛ يستخدم الهيدروغراف للوحدة الاصطناعية.

يعرض -أدناه- طريقة وحدة الهيدروغراف (SCS) المستخدمة على نطاق واسع، التي يمكن -بالمقارنة مع الطريقة المنطقية الأبسط- تنبئها لتوليد الهيدروغرافات المتدفقة إلى مستجمعات المياه التي تصب في برك (MODON, 2011).

٢-٦-٢ مفاهيم ومعادلات وحدة الهيدروغراف (SCS):

١-٢-٦-٢ الطريقة:

وحدة الهيدروغراف (SCS)؛ هو إجراء هيدروغراف تركيبي استُخدم على نطاق واسع لتطوير هيدروغرافات ريفية وحضرية (NRCS, 1973; NRCS, 1972; NRCS, 1986). وتعتمد وحدة الهيدروغراف -المستخدمة بواسطة طريقة (SCS)- على تحليل عدد كبير من وحدات الهيدروغرافات الطبيعية من قطاع عرضي واسع للمواقع الجغرافية والمناطق الهيدرولوجية. هطول الأمطار مدخل ضروري. توضح المناقشة التالية المعادلات والمفاهيم الأساسية المستخدمة في طريقة (SCS):

١- منطقة الصرف: تتحدد منطقة الصرف لمستجمعات المياه من الخرائط الطبوغرافية والمسوحات الميدانية. وبالنسبة لمناطق الصرف الكبيرة؛ قد يكون من الضروري تقسيم المنطقة إلى مناطق الصرف الفرعي لحساب التغيرات الرئيسية في استخدامات الأراضي، أو الحصول على نتائج التحليل في نقاط مختلفة داخل منطقة الصرف، أو تحديد مواقع مرافق صرف مياه الأمطار، وتقييم أثارها على تدفقات الفيضانات. يجب -أيضاً- إجراء فحص ميداني لأنظمة الصرف الحالية أو المقترحة؛ لتحديد ما إذا كانت تقسيمات الصرف الطبيعية قد غُيّرت. ويمكن أن تُحدث هذه التعديلات تغييرات كبيرة في حجم وميول مناطق الصرف الفرعية.

٢- توزيع هطول الأمطار (هيتوغراف): تعتمد طريقة (NRCS) على حدث عاصفة مطرية مدته ٢٤ ساعة، له توزيع زمني من النوع الثاني. توزيع العاصفة من النوع الثاني؛ هو توزيع زمني (نموذجي)، أعدته (NRCS) من سجلات هطول الأمطار في الولايات المتحدة الأمريكية. يتوافر شكل أكثر عمومية واستخداماً على نطاق واسع للهيتوغراف؛ من خلال طريقة الكتل المتناوبة. عمق المطر يتبع منحنيات الشدة - المدة - التكرار (IDF) الفردية. انظر -أيضاً- الجزء الفرعي (٢-٤-٤).

٣- معادلة هطول الأمطار وجريانها: اشتُقت علاقة بين تراكم هطول الأمطار والجريان السطحي المتراكم؛ بواسطة (SCS) من قطع الأراضي التجريبية للعديد من أنواع التربة وظروف الغطاء النباتي. وقد ضُمّنت البيانات الخاصة بتدابير معالجة الأراضي؛ مثل: (تحديد الخطوط الكنتورية والمصاطب) من مستجمعات المياه التجريبية. طُوّرت المعادلة بشكل أساس من أجل مستجمعات المياه الصغيرة التي لا يتوفر لها -عادةً- إلا بيانات هطولات الأمطار اليومية، وبيانات مستجمعات المياه. وقد طُوّرت من بيانات العواصف المطرية المسجلة، التي تضمنت إجمالي كمية الأمطار في يوم تقويمي، ولكن ليس توزيعها فيما يتعلق بالزمن؛ لذلك فإن معادلة (SCS) للجريان السطحي هي طريقة لتقدير الجريان السطحي المباشر من ٢٤ ساعة (أو يوم واحد) من هطول الأمطار من العاصفة المطرية. المعادلة هي:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a)} + S \quad \text{المعادلة (٦-٢)}$$

حيث إن:

Q = الجريان السطحي المباشر المتراكم (مم).

P = هطول الأمطار المتراكمة (الجريان السطحي الأقصى المحتمل) (مم).

I_a = التجريد الأولي؛ مثل: التخزين السطحي، والاحتجاز، والتسرب قبل الجريان السطحي، (مم).

S = الحد الأقصى المحتمل للاحتفاظ (مم):

$$S = 25.4 (1,000/CN - 10)$$

و CN هو رقم منحنى الجريان السطحي، الموصوف في القسم الفرعي (٢-٦-٢-٢).

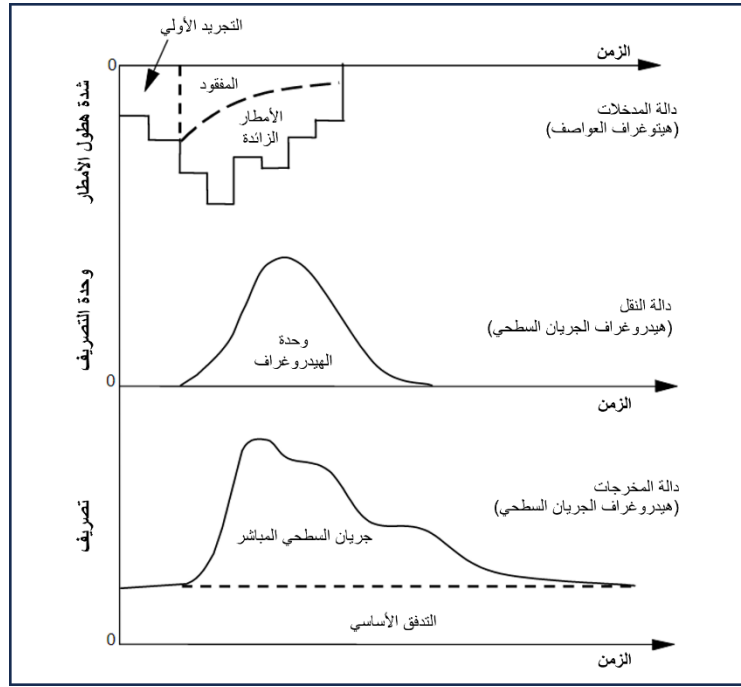
يمكن تطوير العلاقة بين (I_a) و (S) من بيانات مستجمعات المياه التجريبية، ويمكن بعد ذلك إزالة ضرورة تقدير قيمة (I_a) للاستخدام الشائع. العلاقة التجريبية المستخدمة في معادلة (SCS) للجريان السطحي؛ هي:

$$I_a = 0,2 \times S \quad \text{المعادلة (٧-٢)}$$

بالتعويض بالمقدار $(0,2 \times S)$ كقيمة لـ (I_a) ، تصبح معادلة (SCS) لهطول الأمطار وجريانها:

$$Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad \text{المعادلة (٨-٢)}$$

يوضح الشكل (٤-٢) مفهوم طريقة وحدة هيدروغراف (SCS).



الشكل (٤-٢) هطول الأمطار/ الجريان السطحي كعملية النظام (FHWA, 2002).

يناقش القسم الفرعي التالي الإجراءات المستخدمة في طريقة الهيدروغراف، والجداول والأشكال الموصى بها.

٢-٢-٦-٢ رقم منحني الجريان السطحي:

في تطبيقات الهيدروغراف؛ غالبًا ما يُشار إلى الجريان السطحي على أنه هطول الأمطار الزائد، أو هطول الأمطار الفعال، وكلها تُعرف على أنها المقدار الذي يتجاوز به هطول الأمطار قدرة الأرض على تسريب المياه إلى التربة أو الاحتفاظ بمياه الأمطار. الخصائص الفيزيائية الرئيسية لمستجمعات المياه التي تؤثر في العلاقة بين هطول الأمطار و الجريان السطحي هي استخدامات الأراضي، ومعالجة الأرض، وأنواع التربة، وميل الأرض.

استخدام الأرض؛ هو غطاء مستجمعات المياه، يشمل كلا الاستخدامات الزراعية وغير الزراعية. وتُعد عناصر مثل نوع الغطاء النباتي، وأسطح المياه، والطرق، وأسطح المنشآت جزءًا من استخدام الأرض. تنطبق معالجة الأراضي بشكل أساسي على استخدام الأراضي الزراعية، وتشمل الممارسات الميكانيكية (على سبيل المثال: خراط الكنتور والمصاطب)، وممارسات الإدارة (على سبيل المثال: تناوب المحاصيل).

تستخدم (SCS) مجموعة من ظروف التربة، واستخدام الأرض (الغطاء الأرضي) لتعيين عامل الجريان السطحي للمنطقة. تشير عوامل الجريان السطحي، التي تسمى أرقام منحنيات الجريان السطحي (CN)، إلى إمكانية الجريان السطحي للمنطقة عندما لا تتجمد التربة. كلما ارتفع رقم منحني الجريان السطحي (CN) زادت احتمالية الجريان السطحي.

تؤثر خصائص التربة في العلاقة بين هطول الأمطار والجريان السطحي؛ من خلال التأثير في معدل تسريب المياه في التربة. وقد قسمت (SCS) التربة إلى أربع مجموعات (أ، ب، ج، د) للتربة الهيدرولوجية بناءً على معدلات تسريب المياه في التربة.

- المجموعة (أ): تربة ذات احتمالية جريان منخفضة؛ نتيجة لارتفاع معدلات تسريب المياه في التربة. تتكون هذه التربة في المقام الأول- من الرمال والحصى العميقة ذات صرف جيد.

- المجموعة (ب): تربة ذات احتمالية جريان منخفضة -إلى حد ما- بسبب المعدلات المعتدلة لتسريب المياه في التربة. وتتكون هذه التربة في الأساس من تربة متوسطة العمق إلى عميقة، ومتوسطة التصريف إلى جيدة التصريف مع مكونات ناعمة إلى متوسطة.
- المجموعة (ج): تربة ذات احتمالية جريان عالية -إلى حد ما- بسبب المعدلات البطيئة لتسريب المياه في التربة. تتكون هذه التربة -في المقام الأول- من التربة التي توجد فيها طبقة بالقرب من السطح، وتعوق حركة الهبوط للمياه، أو تربة ذات ملمس الناعم.
- المجموعة (د): تربة ذات قدرة عالية على الجريان السطحي بسبب المعدلات البطيئة -للاغاية- لتسريب المياه في التربة. تتكون هذه التربة بشكل أساس من طين ذي قدرة عالية على الانتفاخ، وتربة ذات منسوب مياه مرتفع بشكل دائم، وتربة ذات طبقة طينية على السطح أو بالقرب منه، وتربة ضحلة فوق مادة غير منفذة تقريباً.

تجب مراعاة تأثيرات التحضر في مجموعة التربة الهيدرولوجية الطبيعية؛ فإذا كان من المتوقع أن تدمك المعدات الثقيلة التربة عند أعمال الإنشاء، أو إذا كانت أعمال تسوية التربة ستخلط التربة السطحية وتحت السطحية، فيجب إجراء التغييرات المناسبة في مجموعة التربة المختارة. تختلف -أيضاً- أرقام منحني الجريان السطحي باختلاف ظروف رطوبة التربة السابقة، التي تُعرّف بأنها كمية الأمطار التي تحدث في فترة محددة تسبق عاصفة مطرية معينة. وبشكل عام؛ كلما زاد هطول الأمطار السابق زاد الجريان السطحي المباشر من عاصفة مطرية معينة. تستخدم فترة خمسة أيام كحد أدنى لتقدير ظروف الرطوبة السابقة. كما تختلف ظروف رطوبة التربة السابقة أثناء العاصفة المطرية. يمكن أن يؤدي سقوط الأمطار الغزيرة على تربة جافة إلى تغيير حالة رطوبة التربة؛ من جاف إلى متوسط إلى رطب أثناء فترة العاصفة المطرية.

يوضح الجدول (٢-٨) قيم أرقام منحني الجريان السطحي (CN) لاستخدامات الأراضي المختلفة والمعالجات والظروف الهيدرولوجية من قبل (SCS)، التي تعطى قيمًا منفصلة لكل مجموعة تربة. على سبيل المثال: قيمة أرقام منحني الجريان السطحي (CN) لمنطقة مشجرة ذات غطاء جيد، وقيمة رقم منحني الجريان السطحي بالنسبة لمجموعة التربة (ب) هو (٥٥) ، أما بالنسبة لمجموعة التربة (ج) فسترتفع قيمة رقم منحني الجريان السطحي (CN) إلى (٧٠). إذا كان الغطاء (في مجموعة التربة ب) ضعيفاً؛ فستكون قيمة رقم منحني الجريان السطحي (CN) هي (٧٠).



الجدول (٢-٨) أرقام منحني الجريان السطحي (حالة متوسطة لمستجمعات المياه، $Ia = 0.2S$) من برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم-٢ بناءً على طريقة SCS - 55 (SCS, 1986).

أرقام المنحني لمجموعة التربة الهيدرولوجية				نوع غطاء التربة	
د	ج	ب	أ		
				مناطق حضرية مطورة بالكامل ^(١) ، (أنشأ فيها الغطاء النباتي).	
				مناطق عشبية خضراء، ومساحات مفتوحة، ومتنزهات، وملاعب جولف، ومقابر، وما إلى ذلك.	
٨٠	٧٤	٦١	٣٩	تربة ذات حالة جيدة؛ وغطاء عشبي على ٧٥٪ أو أكثر من المساحة.	
٨٤	٧٩	٦٩	٤٩	حالة مقبولة؛ غطاء عشبي على مساحة تتراوح من ٥٠٪ إلى ٧٥٪ من المساحة.	
٨٩	٨٦	٧٩	٦٨	حالة سيئة؛ غطاء عشبي على ٥٠٪ أو أقل من المساحة.	
٩٨	٩٨	٩٨	٩٨	مواقف المركبات السطحية المعبدة، وأسطح المنشآت، والممرات (باستثناء حرم الطريق).	
				الشوارع والطرق.	
٩٨	٩٨	٩٨	٩٨	معبدة مع بردورات ومجاري مياه الأمطار (باستثناء حرم الطريق).	
٩١	٨٩	٨٥	٧٦	ركامية (شاملة حرم الطريق).	
٨٩	٨٧	٨٢	٧٢	ترابية (شاملة حرم الطريق).	
٩٣	٩٢	٨٩	٨٣	معبدة مع وجود خنادق جانبية مفتوحة.	
				متوسط منوي غير نفاذ ^(٢)	(١ فدان يعادل ٤٠٠٤٧ متر مربع).
٩٥	٩٤	٩٢	٨٩	٨٥	المناطق التجارية، وأعمال الشركات.
٩٣	٩١	٨٨	٨١	٧٢	المناطق الصناعية.
٩٢	٩٠	٨٥	٧٧	٦٥	منازل متجاورة، ومنازل متلاصقة وسكنية، بمساحات لا تتجاوز ثمن فدان.
					مناطق سكنية: متوسط حجم القطعة السكنية.
٨٧	٨٣	٧٥	٦١	٣٨	رُبع فدان.
٨٦	٨١	٧٢	٥٧	٣٠	ثُلث فدان.
٨٥	٨٠	٧٠	٥٤	٢٥	نصف فدان.
٨٤	٧٩	٦٨	٥١	٢٠	فدان.
٨٢	٧٧	٦٥	٤٦	١٢	فدانان.
					المناطق الحضرية بالصحراء الغربية.
٨٨	٨٥	٧٧	٦٣		مناطق المسطحات الخضراء الطبيعية الصحراوية (المناطق المُنفَّذة فقط).
٩٦	٩٦	٩٦	٩٦		مناطق المسطحات الخضراء الصحراوية الاصطناعية (حاجز الأعشاب الضارة، وشجيرة صحراوية مع ٢-١ في نشارة رملية أو حصوية، وحدود حوض).
٩٤	٩١	٨٦	٧٧		مناطق حضرية تحت التطوير ^(٣) (لم يُنشأ غطاء نباتي)؛ منطقة ممهدة تربتها حديثاً.

الجدول (٨-٢) تابع أرقام منحني الجريان السطحي (يتبع).

أرقام المنحني لمجموعة التربة الهيدرولوجية				الحالة الهيدرولوجية(٥)	نوع غطاء التربة
د	ج	ب	أ		
الأراضي الزراعية المزروعة: البور					
٩٤	٩١	٨٦	٧٧		صفوف أو خطوط مستقيمة، أو التربة العارية.
٩٣	٩٠	٨٥	٧٦	ضعيف.	أرض محروثة للحفاظ على البيئة.
٩٠	٨٨	٨٣	٧٤	جيد.	
٩١	٨٨	٨١	٧٢	ضعيف.	صفوف أو خطوط مستقيمة.
٨٩	٨٥	٧٨	٦٧	جيد.	
٩٠	٨٧	٨٠	٧١	ضعيف.	أرض محروثة للحفاظ على البيئة.
٨٥	٨٢	٧٥	٦٤	جيد.	
٨٨	٨٤	٧٩	٧٠	ضعيف.	أرض محوط عليها.
٨٦	٨٢	٧٥	٦٥	جيد.	
٨٧	٨٣	٧٨	٦٩	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومحروثة؛ للحفاظ على البيئة.
٨٥	٨١	٧٤	٦٤	جيد.	
٨٢	٨٠	٧٤	٦٦	ضعيف.	أرض محوط عليها ومدرجة كمصاطب.
٨١	٧٨	٧١	٦٢	جيد.	
٨١	٧٩	٧٣	٦٥	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومدرجة كمصاطب، ومحروثة؛ للحفاظ على البيئة.
٨٠	٧٧	٧٠	٦١	جيد.	
٨٨	٨٤	٧٦	٦٥	ضعيف.	صفوف أو خطوط مستقيمة.
٨٧	٨٣	٧٥	٦٣	جيد.	
٨٦	٨٣	٧٥	٦٤	ضعيف.	أرض محروثة؛ للحفاظ على البيئة.
٨٤	٨٠	٧٢	٦٠	جيد.	
٨٥	٨٢	٧٤	٦٣	ضعيف.	أرض محوط عليها.
٨٤	٨١	٧٣	٦١	جيد.	
٨٤	٨١	٧٣	٦٢	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومحروثة؛ للحفاظ على البيئة.
٨٣	٨٠	٧٢	٦٠	جيد.	
٨٢	٧٩	٧٢	٦١	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومدرجة كمصاطب.
٨١	٧٨	٧٠	٥٩	جيد.	
٨١	٧٨	٧١	٦٠	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومدرجة كمصاطب، ومحروثة؛ للحفاظ على البيئة.
٨٠	٧٧	٦٩	٥٨	جيد.	
٨٩	٨٥	٧٧	٦٦	ضعيف.	صفوف، أو خطوط مستقيمة.
٨٥	٨١	٧٢	٥٨	جيد.	
٨٥	٨٣	٧٥	٦٤	ضعيف.	أرض محوط عليها.
٨٣	٧٨	٦٩	٥٥	جيد.	
٨٣	٨٠	٧٣	٦٣	ضعيف.	أرض محوط عليها، ومدرجة كمصاطب.
٨٠	٧٦	٦٧	٥٧	جيد.	



الجدول (٨-٢) تابع أرقام منحني الجريان السطحي (يتبع).

أرقام المنحني لمجموعة التربة المائية				الحالة الهيدرولوجية(٥)	نوع غطاء التربة	
د	ج	ب	أ			
أرض زراعية غير مزروعة						
٨٩	٨٦	٧٩	٦٨	ضعيفة.	لا يوجد علاج ميكانيكي(٥).	المراعي أو المدى.
٨٤	٧٩	٦٩	٤٩	مقبولة.		
٨٠	٧٤	٦١	٣٩	جيدة.		
٨٨	٨١	٦٧	٤٧	ضعيفة.	أرض محوط عليها.	
٨٣	٧٥	٥٩	٢٥	مقبولة.		
٧٩	٧٠	٣٥	٦	جيدة.		
٧٨	٧١	٥٨	٣٠	مناطق المروج، عشب مستمر ومحمي من الرعي، ويُقَصَّ بشكل عام للتبن.		
٨٦	٨٢	٧٣	٥٥	ضعيفة.	أرض الغابات، عشب أو بساتين، أرض دائمة الخضرة أو متساقطة الأوراق.	
٨٢	٧٦	٦٥	٤٤	مقبولة.		
٧٩	٧٢	٥٨	٣٢	جيدة.		
٨٣	٧٧	٦٧	٤٨	ضعيفة.	الفرشاة - خليط الفرشاة والأعشاب الضارة؛ باستخدام فرشاة العنصر الرئيس(٥).	
٧٧	٧٠	٥٦	٣٥	مقبولة.		
٧٣	٦٥	٤٨	٣٠	جيدة.		
٨٣	٧٧	٦٦	٤٥	ضعيفة.	الأخشاب.	
٧٩	٧٣	٦٠	٣٦	مقبولة.		
٧٧	٧٠	٥٥	٣٠	جيدة.		
٨٦	٨٢	٧٣	٥٧	ضعيفة.	الغابة - مزيج من العشب (بستان أو مزرعة شجرية)(٥).	
٨٢	٧٦	٦٥	٤٣	مقبولة.		
٧٩	٧٢	٥٨	٣٢	جيدة.		
٨٦	٨٢	٧٤	٥٩	المزارع.		
غابة-مرج						
٩٣	٨٧	٨٠		ضعيفة.	غطاء عشبي - خليط من الحشائش والأعشاب، وطبقة عشب منخفضة النمو مع طبقة من العناصر الصغيرة.	
٨٩	٨١	٧١		مقبولة.		
٨٥	٧٤	٦٢		جيدة.		
٧٩	٧٤	٦٦		ضعيفة.	أوك، أسبن، مزيج فرشاة جبلية من فرشاة البلوط، والحر الرجراج، والماهووني الجيلي، والفرشاة المرة، والقيقب، وفرشاة أخرى.	
٦٣	٥٧	٤٨		مقبولة.		
٤٨	٤١	٣٠		جيدة.		
٨٩	٨٥	٧٥		ضعيفة.	نبات بينيون، أو العرعر، أو كلاهما، أو نبات عشبي.	
٨٠	٧٣	٥٨		مقبولة.		
٧١	٦١	٤١		جيدة.		
٨٥	٨٠	٦٧		ضعيفة.	عشب المريمية.	
٧٠	٦٣	٥١		مقبولة.		

أرقام المنحنى لمجموعة التربة المائنة				الحالة الهيدرولوجية(٥)	نوع غطاء التربة
د	ج	ب	أ		
٥٥	٤٧	٣٥		جيدة.	شجيرات الصحراء؛ تشمل النباتات الرئيسية: شجيرة الملح، وخشب الشحوم، وشجيرة الكري، وزوت، والفرشاء السوداء، والكسور، ونبات باركنسونية فلوريدا، أو باركنسونية زرقاء، والمسكيت، والصابار.
٨٨	٨٥	٧٧	٦٣	ضعيفة.	
٨٦	٨١	٧٢	٥٥	مقبولة.	
٨٤	٧٩	٦٨	٤٩	جيدة.	
ملاحظات:					
أ بالنسبة لاستخدامات الأراضي في المناطق غير المُنفذة؛ تحسب أرقام المنحنى بافتراض أن ١٠٠٪ من الجريان السطحي من المناطق غير المُنفذة مرتبط مباشرة بنظام الصرف. تُعد المناطق المُنفذة (العشب) معادلة للمروج في حالة جيدة، وتحتوي المناطق غير المُنفذة على رقم منحنى الجريان السطحي يُقدر بـ ٩٨.					
ب يشمل الشوارع المُعبّدة.					
ج يُستخدم لتصميم التدابير المؤقتة عند تمهيد التربة والإنشاء، وتختلف نسبة مساحة الأرض غير المُنفذة للمناطق الحضرية قيد التطوير بشكل كبير، سيحدد المستخدم النسبة المئوية لعدم النفاذ، وبعد ذلك باستخدام رقم منحنى الجريان السطحي الخاص بالمنطقة الممهدة حديثاً، يمكن حساب رقم منحنى الجريان السطحي المركب لأي درجة من التطوير.					
د بالنسبة لحرث الأرض للحفاظ على البيئة، للحالة الهيدرولوجية السيئة؛ يغطي ما يمثل ٥٪ إلى ٢٠٪ من السطح بالمخلفات (أقل من ٧٥٠ رطلاً/محاصيل الصف أو ٣٠٠ رطل/متر مكعب من الحبوب الصغيرة). للحفاظ على الحرث في حالة هيدرولوجية جيدة؛ يغطي أكثر من ٢٠٪ من السطح بالمخلفات (أكبر من ٧٥٠ رطلاً/محاصيل الصف أو ٣٠٠ رطل/متر مكعب من الحبوب الصغيرة).					
هـ الحبوب الصغيرة التي تنمو في قرون.					
بالنسبة للأراضي الزراعية غير المزروعة:					
الحالة الهيدرولوجية السيئة لها شدة غطاء أرضي أقل من ٢٥٪.					
الحالة الهيدرولوجية المقبولة لها شدة غطاء أرضي تتراوح من ٢٥٪ إلى ٥٠٪.					
الحالة الهيدرولوجية الجيدة لها شدة غطاء أرضي تزيد على ٥٠٪.					
بالنسبة للغابة والمروج:					
الحالة الهيدرولوجية السيئة لها شدة غطاء أرضي أقل من ٣٠٪.					
الحالة الهيدرولوجية المقبولة لها شدة غطاء أرضي تتراوح من ٣٠٪ إلى ٧٠٪.					
الحالة الهيدرولوجية الجيدة لها شدة غطاء أرضي تزيد على ٧٠٪.					
و ضعيف: > ٥٠٪ غطاء أرضي أو مناطق رعي شديد من دون فرش عشب ممهد.					
مقبول: من ٥٠ إلى ٧٥٪ غطاء أرضي، وليس شديد الرعي.					
جيد: < ٧٠٪ غطاء أرضي، ورعي خفيف، أو رعي في بعض الأحيان فقط.					
ز ضعيف: > ٥٠٪ غطاء أرضي.					
مقبول: من ٥٠ إلى ٧٥٪ غطاء أرضي.					
جيد: < ٧٥٪ غطاء أرضي.					
ح بحسب رقم منحنى الجريان السطحي الموضح للمناطق التي بها ٥٠٪ أخشاب، و ٥٠٪ غطاء عشبي (مراعي). ويمكن حساب توليفات أخرى من الظروف من أرقام منحنى الجريان السطحي للأخشاب والمراعي.					
ط رقم المنحنى الفعلي أقل من ٣٠: استخدم رقم منحنى الجريان السطحي = ٣٠ لحساب الجريان السطحي.					

يتضمن الجدول (٢-٨) قيم أرقام منحنى الجريان السطحي (CN) لعدد من استخدامات الأراضي الحضرية. وتعتمد أرقام منحنى الجريان السطحي على نسبة مئوية محددة من عدم النفاذية. على سبيل المثال: تستند قيم أرقام منحنى الجريان السطحي للاستخدام التجاري للأراضي إلى عدم نفاذية تبلغ ٨٥٪. يمكن حساب أرقام المنحنيات للنسب المئوية الأخرى من عدم النفاذية؛ باستخدام نهج أرقام منحنى الجريان السطحي (CN) الموزون، مع استخدام أرقام منحنى الجريان السطحي بنسبة ٩٨ للمناطق غير المُنفذة، وأرقام منحنى الجريان السطحي للفضاء المفتوح (حالة جيدة)، المستخدمة للجزء المُنفذ من المنطقة. وهكذا؛ تستخدم قيم أرقام منحنى الجريان السطحي البالغة ٣٩، والبالغة ٦١، والبالغة ٧٤، والبالغة ٨٠ لمجموعات التربة الهيدرولوجية (أ)، و (ب)، و (ج)، و (د) على التوالي. هذه هي نفس قيم منحنى الجريان السطحي (CN) لمناطق الرعي ذات الحالة الجيدة. وعليه يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب أرقام منحنى الجريان السطحي الموزون:

$$CN_w = CN_p (1 - f) + f(98) \quad \text{المعادلة (٢-٩)}$$

في هذه المعادلة سيكون المعامل (f) هو كسر (وليس نسبة مئوية) من عدم النفاذية. على سبيل المثال: قيم منحنى الجريان السطحي للاستخدام التجاري مع عدم نفاذية (٨٥٪)؛ هي:



- التربة ذات الحالة الهيدرولوجية (أ): $39 = (0,15) 98 + (0,85) 89$
- التربة ذات الحالة الهيدرولوجية (ب): $61 = (0,15) 98 + (0,85) 92$
- التربة ذات الحالة الهيدرولوجية (ج): $74 = (0,15) 98 + (0,85) 94$
- التربة ذات الحالة الهيدرولوجية (د): $80 = (0,15) 98 + (0,85) 95$

٣- قنوات الصرف:

١-٣ مقدمة:

١-١-٣ نظرة عامة:

القنوات المفتوحة؛ هي نوع من الممرات المائية الطبيعية أو الاصطناعية؛ حيث يكون سطح الماء مفتوحاً للغلاف الجوي، وتكون حركة المياه فيها مدفوعة بفعل الجاذبية الأرضية التي تؤثر في نفس اتجاه الحركة. العبارات ومصارف مياه العواصف المطرية ليست سوى نوعين من مرافق الصرف الإضافية، التي يمكن أن تستفيد من المفاهيم الهيدروليكية لتدفق المياه في القنوات المفتوحة. وتشمل الأنواع العديدة للقنوات المفتوحة التي يتعرض لها المهندسون القائم بتصميم مرافق النقل؛ ما يلي:

- قنوات المجاري المائية.
- قنوات الصرف أو الخنادق على جانب الطريق.
- قنوات مياه الري.
- خنادق صرف المياه.

فيما يتعلق بخنادق الصرف؛ هناك العديد من الأنواع المختلفة من هذه المصارف (مجاري صرف المياه أو القنوات) تُحلل بإيجاز في الجزء الفرعي (٢-١-٣).

قنوات المجاري المائية:

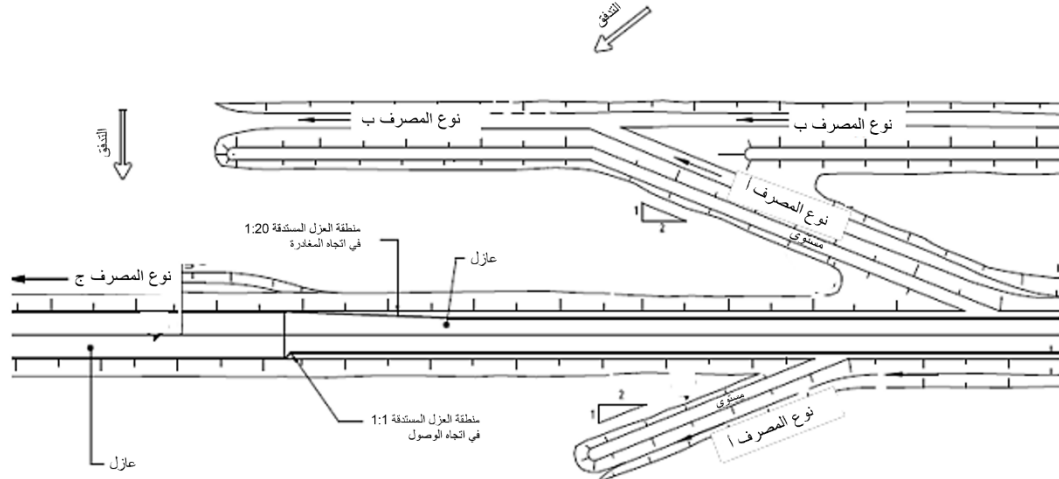
- عادة ما تتشكل هذه القنوات بشكل طبيعي؛ بفعل قوى الطبيعة التي تحدد حجمها وشكلها.
- عادةً ما يكون للقناة قطاع عرضي مركب، يتكون من القناة الرئيسية للتدفقات المنخفضة، والسهول الفيضية المجاورة لحمل تدفقات الفيضانات.
- يتشكل القطاع العرضي والمسقط الأفقي للقناة بسبب الفترة طويلة المدى لحمل الرواسب وتدفقات المياه التي تتعرض لها. تشمل أنواع القنوات المبنية -على تلك القنوات على جانب الطريق، وقنوات مياه الري، وخنادق صرف المياه التي لها شكل قطاع هندسي (جيومترى) منتظم، وتكون إما غير مُبطّنة، أو مبطّنة لتوفير المزيد من الحماية ضد الانجراف (النحر). غالباً ما يكون تحليل القناة ضرورياً عند تصميم أنظمة صرف المياه الخاصة بالطرق:

- من أجل تقييم قدرة القناة على الصرف، وخطر إغراق الطريق بالمياه الفائضة، أو الممتلكات القريبة منه.
 - من أجل تقييم إمكانية تعطل القناة؛ إما في جهة منبع الطريق أو مقصده، أو في كليهما.
 - من أجل تقييم التغيرات التي قد تطرأ على توزيعات التدفق العرضية.
 - من أجل تحديد ما إذا كانت هناك ضرورة لزيادة سعة نقل المياه للتخلص من كمية مياه الجريان السطحي الزائدة.
 - إذا كان تبطين القناة أو أنواع أخرى من حماية قاع وضفة قناة الصرف ضرورية لوقف انجراف التربة.
- وعلى الرغم من أن قنوات الجريان الطبيعية والقنوات المبنية (القنوات على جانب الطريق بشكل أساسي) تُغطى بشكل منفصل في هذا الباب، فإن مبادئ وطبيعة تدفق المياه في القنوات المفتوحة هي نفسها بغض النظر عن نوع القناة.

٢-١-٣ أنواع المصارف المائية المفتوحة:

قبل التركيز وتبسيط الضوء بشكل أساسي على مجاري صرف المياه، والقنوات على جانب الطريق في الأقسام الفرعية التالية؛ من الضروري تقديم أنواع مختلفة من المصارف (مجاري صرف المياه أو القنوات) التي سيستخدمها أو سيتعرض لها المهندسون القائم بتصميم مرافق النقل.

الشكل (١-٣) يوضح شبكة المصارف المائية المفتوحة النموذجية المتصلة بمحاذاة الطريق، ويُصوِّف كل شكل من أشكال مصارف المياه المفتوحة بإيجاز في القسم الفرعي التالي.



الشكل (١-٣) أنواع المصارف المائية المفتوحة (Austraroads, 2013).

١-٢-١-٣ الجداول:

توجد مصارف الجداول الضحلة المرفوعة الجانب قليلاً بجوار الطرق في مقاطع الردم، وعلى طول الحافة الخارجية لأكتاف الطرق في مقاطع الحفر. وتجمع الجداول -هذه- مياه الجريان السطحي من الرصف أو كتفي الطريق أو جانبي ميول الحفر، وتنقل هذه التدفقات المائية إلى المصب المناسب، الذي يمكن أن يكون عبارة أو مصرفاً تحويلياً.

٢-٢-١-٣ مصارف التحويل:

تستخدم مصارف التحويل لنقل المياه المجمعة في الجداول المائية إلى مخرج صرف المياه المحدد. تعد المصارف الجانبية أو المجاري المائية الطبيعية أو حتى المناطق الريفية المفتوحة مخارج مناسبة؛ حيث يتحول جريان المياه إلى تدفق سطحي.

ومن أجل منع التدفق في الجدول المائي من تجاوز قدرة صرفه؛ يجب وضع مصارف التحويل على مسافات متباعدة فيما بينها، وكثيراً ما توضع المصارف على مسافات متباعدة لتسهيل الاستخدام.

يمكن استخدام مصارف التحويل لإعادة توجيه مسارات تدفقات المياه السطحية، التي قد تسبب مشكلات في منطقة معينة. علاوة على ذلك؛ يمكن استخدامها للتأكد من أن أحجام المياه لا تتحرك بسرعة جريان كافية لإحداث أضرار كبيرة.

يمكن وضع كتل صخرية في الجداول المائية، في اتجاه التقائها مع مصرف التحويل؛ لضمان تحويل مياه الأمطار بعيداً عنها بشكل فعال.

٣-٢-١-٣ مصارف تجميع المياه:

من أجل تجنب الحفر؛ وهو تشكّل قنوات عرضية صغيرة جداً في السطح، أو الانجراف، أو تجريف الميول؛ فإن مصارف تجميع المياه، التي يشار إليها -غالباً- باسم المصارف القاطعة، تعترض المياه السطحية في الجزء العلوي من جانبي ميول الحفر. يبلغ العمق النموذجي لهذا النوع من المصارف (٠,٣) مترًا، على الرغم من أنه ينبغي -أيضًا- فحص الطاقة الاستيعابية. وكبديل لذلك، فإن مصارف تجميع المياه التي توجد أسفل ميول الردم تجمع المياه من منازل الأحياء السكنية المجاورة، وتنقلها إلى مخرج محاذي لمصارف مياه الطريق. هذا النوع يكون له عمق مناسب؛ لتحمل التدفق التصميمي، وقاع مسطح بعرض يتراوح من (٢,٠) متر إلى (٢,٥) مترًا.

قد يكون مصرف تجميع المياه؛ عبارة عن حاجز ترابي مائل بارتفاع قليل (سد صغير) في أعلى الميل الجانبي للردم من التربة القابلة للتجريف. في تربة معينة؛ قد يتآكل مصرف مياه تُجَتّ في السطح بسرعة أو يتمدد محلياً؛ ليتسبب في انهيارات انزلاقية في الميول الجانبية للردم. يجب أن يأخذ وضع وتصميم مصارف تجميع المياه هذه النقاط الباعثة على القلق في الاعتبار. أما في التربة القابلة للتجريف؛ فلا يُنصح بإنشاء المصارف المائية على شكل حرف (V)، ولا ينبغي استخدامها.

٤-٢-١-٣ المصارف الجانبية:

الهدف الرئيس للمصارف الجانبية؛ هو منع الجريان السطحي من الوصول للمساحات المجاورة البعيدة عن الطريق. عندما يكون حفر المصرف المائي غير مرغوب فيه؛ تبنى في كثير من الأحيان في شكل سد صغير.

٥-٢-١-٣ مصارف الجزيرة الوسطية:

تجمع المياه السطحية الجارية على رصف الطرق والجزر الوسطية للطرق بمصارف الجزر الوسطية، والتي تقوم بعد ذلك بتوجيه التدفق إلى نظام صرف مياه الرصف. المخاوف بشأن الميول الجانبية الأمانة للمركبات الشاردة (التي تخرج عن الطريق) هي القيد الرئيس على مصارف الجزر الوسطية. إذا لم يكن مصرف الجزيرة الوسطية عريضاً كافياً؛ فإن الميل الجانبي الموصى به من أجل سلامة الطرق، البالغ (١٠ : ١) (الارتفاع إلى المسافة الأفقية) أو أقل، يقلل بشدة من سعة هذه المصارف المائية. ومن أجل تلبية معيار سلامة الطرق؛ يمكن إضافة حفر، مغطاة بأغطية حديدية شبكية وموصولة بأنابيب تحت الأرض، إلى مصارف الجزيرة الوسطية.

٦-٢-١-٣ مصارف المدخل أو المخرج:

تنقل هذه المصارف المياه بعيداً عن مخارج العبّارات والأراضي المحيطة على جانب المجرى المائي باتجاه المصب، وتوجهها نحو مدخل العبّارة من جانب المنبع. وهي تستخدم بشكل متكرر في الحالات التي تكون فيها مناسيب القاع لمدخل أو مخرج العبّارة تحت مستوى سطح الأرض. في هذه الحالات؛ يمكن حساب طول المصرف المائي اللازم من خلال إمالة المصرف المائي لالتقاط مستوى الأرض الطبيعية (daylighting).

٧-٢-١-٣ مصارف الميول الجانبية:

من أجل تقليل تجريف سطح الميل الجانبي؛ فإن مصرف الميل الجانبي؛ هو عبارة عن مصرف مبطّن ومفتوح ويستخدم للتخلص من مياه الأمطار ونقلها من أعلى الميل الجانبي إلى أسفله.

٨-٢-١-٣ المصرف المتدرّج:

التدرّجات (على شكل نتوءات أو حواف) المبنية على الميل الجانبي للحفر، أو الميل الطبيعي؛ مجهزة بمصرف مياه. تستخدم التدرّجات -هذه- لمنع تآكل (انجراف) أوجه الميول الجانبية، وتقليل كمية الماء في مقاطع الحفر، التي تجب إزالتها بواسطة المصارف السطحية، وفي بعض الحالات؛ لزيادة الرؤية على المنحنيات الأفقية. تنقل هذه المصارف المياه من المصبوبة إلى المصارف المناسبة.

٩-٢-١-٣ مصرف الكنتور:

مصرف الكنتور، والذي -غالبًا- ما يشار إليه بالضفة الكنتورية؛ هو نوع من الجداول التي تُستخدم لتقليل الجريان السطحي؛ عن طريق توجيه المياه بعيداً عن الموقع، ونقلها إلى مناطق مستقرة وقريبة، بسرعة تصريف لا تؤدي إلى حدوث أي تجريف.

٣-١-٣ تعريف القناة:

يغطي هذا الباب عمليات تصميم خنادق صرف المياه، وقنوات المياه المرتدة للعبّارات، وقنوات الجزر الوسطية المنخفضة، والقنوات على جانب الطريق؛ التي تحتوي على:

- قطاع عرضي هندسي (جيومتري) عادي.
- ميل منتظم.
- غطاء مصنوع من مواد اصطناعية أو طبيعية من أجل منع التجريف.

يغطي هذا الباب -بإيجاز- قنوات المجاري المائية الطبيعية لفهم منهجية تحليل القناة فهمًا شاملاً؛ (انظر: الجزء ٣-٧).

٢-٣ مواصفات التصميم:

١-٢-٣ قنوات المجاري المائية:

تنطبق المواصفات التالية -نموذجياً- على تصميم وتحليل القنوات الطبيعية.

ينبغي تقييم التأثيرات الهيدروليكية لتعديلات الطرق على مجرى مائي؛ عبر مجموعة من تدفقات الذروة لصرف المياه التي تتوافق مع أهمية الطريق؛ (انظر: الباب الثاني).

ينبغي أن يحاول مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) -أولاً- الحفاظ على شكل القطاع العرضي، ونمط التعرج، والخشونة، وقدرات نقل الرواسب، والميل الطولي للقناة القائمة بقدر ما هو عملي- وذلك إذا كان لا يمكن تجنب نقل قناة الصرف القائمة.

وينبغي -بالإضافة لذلك- ترك الممرات والمجاري المائية المتأثرة بأعمال الانشاء؛ حتى تستمر في العمل هيدروليكيًا وبيئيًا كمجرى مائي طبيعي غير مضطرب. وينبغي دمج السياقات والاعتبارات البيولوجية والجمالية والاجتماعية والمادية المحيطة بالقنوات المفتوحة

الجديدة مع بعضها بشكل فعال. وبالإضافة إلى ذلك، تجب استشارة سلطات البيئة وصرف المياه في وقت مبكر في عملية تخطيط الطريق؛ حيث إنه من الممكن أن يكون لديهم متطلبات خاصة للقنوات القائمة التي قد تتعلق بما يلي:

- برامج الحفاظ على التربة.
- إعادة تأهيل المجرى المائي أو خطط الترميم.
- برامج تحسين التغطية بالحجارة الصخرية.
- برامج تصميم القنوات الطبيعية.
- برامج أخرى تتعلق بالاستدامة البيئية.

يجب -أيضاً- التخفيف من اضطراب الجريان في المجرى المائي الرئيس، عندما يكون ذلك ممكناً؛ من خلال توفير حالة استقرار أو ترميم لضفة المجرى المائي؛ (انظر: الباب التاسع). ويجب تقييم قاع القناة ووضفها. حيثما يكون ذلك ممكناً؛ ضع في اعتبارك استخدام المواد الأصلية والطبيعية أثناء التصميم، وأعمال تثبيت أو ترميم ضفاف المجرى المائي. في الحالات التي تكون فيها حماية البنية التحتية الأساسية، وضمان السلامة العامة من الأولويات القصوى؛ يمكن أن يكون استخدام المزيد من المواد التقليدية؛ مثل: (دكة حجرية أو جدار شبكي حديدي (سلة) مملوء بالحجارة) مبرراً.

٣-٢-٢ السدود والحواجز الترابية الجانبية

يجب اتباع الإرشادات التالية عند تصميم السدود والحواجز الترابية الجانبية عند إجراء تعديلات القناة المائية. قد تصمم هياكل الصرف الأصغر التي يمكن صيانتها من الأسفل أو الجوانب؛ مثل: (السدود الترابية الجانبية القاطعة، الممتدة في السهول الفيضية الجافة، التي -عادةً- ما تكون عند نهاية جسر) عند الحاجة لمتطلبات أقل؛ نظراً لأن وصول المركبة إلى الهيكل قد لا يكون مطلوباً.

- إذا لزم الأمر؛ ينبغي أن يتوافر وصول -بشكل سهل وكاف- لمعدات الصيانة بحد أدنى للعرض العلوي للسد، يبلغ ٣,١ مترًا.
- على طول الجزء العلوي من الردم الجانبي للسد، ينبغي وضع نقاط للدوران يبلغ عرضها ٩,٢ مترًا -كحد أدنى- على فترات إستراتيجية. ينبغي أن تحتوي جميع النقاط الطرفية -أيضاً- على نقاط دوران. وبالنسبة للإنشاءات التي يقل طولها عن ١٥٢,٥ مترًا؛ قد لا تكون هناك حاجة إلى نقاط دوران.
- ينبغي تحديد الخلوص الرأسي عند الحد الأدنى للارتفاع فوق سطح مياه الفيضان بتصميم القناة. يحدد تأثير تدفق المياه فوق سطح المنشأة مدى أهمية هذا العامل. يجب أن يكون الخلوص الرأسي -على الأقل- كافياً للحفاظ على المرفق من أن تغمره الأمواج، أو تغيرات التغطية الجانبية، أو التغيرات في سطح الماء. يمكن أن يكون تطبيق عامل أمان إضافي على تقديرات الخلوص الرأسي ضرورياً؛ إذا كان من المتوقع تصاعد الموجة من الرياح القوية أو من نشاط المركبات المائية.
- يجب اختيار مواد الجسور الترابية للسدود والحواجز الترابية الجانبية المناسبة لاستقرارها الإنشائي، ومقاومتها للتجريف الكبير، والتسرب القليل، في ظل ظروف تحميل الفيضانات، وعدم وجود هبوط كبير. عندما يتجاوز الارتفاع الإنشائي (٣,١) مترًا -كما قيس من قاعدة المنشأة إلى قمته- يمكن أن يكون إجراء تحليل هندسي للاستقرار ضرورياً.
- عندما يكون الميل الجانبي بارتفاع (٣,١) مترًا أو أقل؛ ينبغي أن يكون الميل هو ١: ٢ (الرأسي إلى الأفقي) أو أكثر انبساطاً. ينبغي إجراء تحليل هندسي للردم الجانبي والأساسات؛ لتقدير الميل الجانبي التصميمي للارتفاعات الأكبر من (٣,١) مترًا.

أحد المكونات الأساسية لتصميم القنوات بشكل فعال؛ هو إدارة التجريف، وهو أمر ضروري ليس فقط لتصميم السدود الترابية الجانبية، ولكن لكل قناة مفتوحة تنشأ من صنع الإنسان؛ حيث تكون عرضة للتجريف scour. عندما تتجاوز سرعة الجريان وإجهاد القص القيم التي من المحتمل أن تتسبب في تجريف المادة التي بُنيت منها القناة؛ فقد تحدث التعريف بالتجريف (النحر) ما لم تكن القناة محمية؛ لذا يعد اختيار تبطين القناة المناسبة والميسورة التكلفة، التي ستوفر الحماية المطلوبة مكوّنًا رئيساً لمنع التجريف.

لمزيد من المعلومات عن التحكم في التجريف؛ انظر: الجزء (٣-٦). يجب أن يتمشى نوع التبططين المستخدمة مع مستوى الحماية المطلوبة والتكلفة الكاملة؛ شاملة: الصيانة، وتدابير السلامة اللازمة، بالإضافة إلى المعايير الجمالية. ويعد الجمع بين أنواع مختلفة من التبططين ونمو العشب من أجل التحكم في التجريف أحد الخيارات. على الميول ذات القمة المستوية؛ يمكن أن تكون القناة مبطنة بالعشب، بينما على الميول ذات القمة المائلة؛ يمكن استخدام مادة أكثر مقاومة للتجريف.

٣-٢-٣ قنوات الصرف على جانب الطريق:

ينبغي استيفاء المواصفات التالية عند إنشاء قنوات على جانب الطريق:

- بالنسبة لغالبية التصنيفات الوظيفية للطرق؛ ينبغي إنشاء قنوات على جانب الطريق لجمع ونقل الحد الأقصى من التدفق بما لا يقل عن احتمال ١٠٪ من وقوع فيضانات سنوية. إذا أرادت السلطات المحلية ذلك؛ يمكن أن تنشأ قنوات على جانب الطريق وعلى طول الطرق المحلية وشوارع المدينة بمواصفات أقل؛ وفقاً لما توافق عليه الجهة المسؤولة عن الطرق.
- ينبغي استخدام الذروة التصميمي المستخدم للمصارف العرضية -أيضاً- في تصميم قناة جانب الطريق؛ إذا كان جزء منها يعمل كمخرج واحد. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي إنشاء أي عبارات للمصارف الجانبية (لمداخل المركبات الجانبية) تقع على طول جزء من قناة جانب الطريق؛ لتحمل تدفقات الذروة التصميمية الأعلى. ولمراعاة الظروف المحلية؛ قد يُسمح بغمر مداخل المركبات الجانبية عند تكرار تصميمي أقل.
- ينبغي أن تكون سعة النقل للقنوات على جانب الطريق كافية؛ لمنعها من زيادة العمق أو تكرار الفيضانات إلى المباني القابلة للتأمين، على الممتلكات المجاورة خارج حصى الطريق.

- ينبغي أن تكون الميول الجانبية للقناة الميل هو ١ : ٢ (الراسي إلى الأفقي) أو أكثر انبساطاً، في حالة الدكة الحجرية، في حين ينبغي ألا تكون أكبر من زاوية استقرار التربة أو مادة التطين أو كليهما. يجب أن تلتزم الميول الجانبية بمعايير السلامة المناسبة؛ إذا كانت القنوات على جانب الطريق تقع في المنطقة الخالية (clear zone).
- ينبغي استخدام طريقة قوة الجر المسموح بها عند تصميم تبطينات القناة المرنة.
- ينبغي إنشاء تبطينات خنادق دائمة على جانب الطريق -عند الضرورة- لحماية القناة، والحفاظ على الاستقرار أثناء مرور ذروة تدفق الفيضان الذي يكون احتمال حدوثه سنوياً ١٠٪. يجب التخطيط لوضع تبطينات مؤقتة للقناة لتدفقات ذروة الفيضان التي لا يقل احتمالها السنوي عن ٥٠٪.
- ينبغي التفكير في توفير مقدار أدنى من الخلوص الراسي للقناة. يحدد تأثير تدفق المياه فوق ضفاف القناة مدى أهمية هذا العامل. ينبغي أن يكون الخلوص الراسي -على الأقل- كبيراً بما يكفي لمنع الأمواج أو تغيرات التعلية الجانبية أو تغيرات سطح المياه لمنعها من أن تفيض فوق الجوانب. يُعتقد -عادةً- أن (٠,١٦) مترًا من الخلوص الراسي يكفي في قناة جانب الطريق أو قناة الجزيرة الوسطية الدائمة. يمكن أن لا تكون هناك حاجة إلى توفير خلوص راسي للقنوات المؤقتة. من أجل حساب التغيرات الكبيرة في التدفقات الناتجة عن الرش (الطرشة) والارتفاع المفاجئ في سرعة التدفق؛ قد يجد مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) أنه من المفيد السماح بارتفاع الخلوص الراسي ليكون مساوياً لعمق التدفق في قناة ذات انحدار عالٍ.
- عندما يكون ذلك ممكناً من الناحية العملية؛ ينبغي وضع قنوات على جانب الطريق، باستثناء عند وجود حاجز حماية على جانب الطريق، حيث تكون ذروة مستوى سطح الماء أثناء مرور التدفق التصميمي خارج المنطقة الخالية (clear zone).
- ينبغي أن تكون القنوات على جانب الطريق -كلما أمكن ذلك- ذات سرعات مناسبة لتحقيق التنظيف الذاتي للقناة، ولمنع المياه المرتدة من التجمع في حصى الطريق.

٣-٣ اعتبارات عامة لتصميم القنوات:

- ينبغي تلبية جميع السياسات والإجراءات المعمول بها، ومنها على سبيل المثال لا الحصر تلك المتعلقة بالحفاظ على وحماية الأراضي الرطبة، وإدارة السهول الفيضية والحفاظ على جودة المياه؛ من خلال تصميمات القنوات وتصميم مرافق الطرق التي لها تأثير في القنوات. إضافة إلى ذلك، ينبغي مراعاة العناصر التالية عند التصميم:
- ينبغي أن يكون أحد العوامل المهمة في اختيار شكل القطاع العرضي لقنوات صرف المياه؛ هو سلامة ورفاهية مستخدمي الطرق، وكذلك مالكي وقاطني المنازل المجاورة.
 - ينبغي تصميم قنوات صرف المياه مع مراعاة نوع وتكرار الصيانة التي قد تكون مطلوبة خلال عمرها الافتراضي، وعلاوة على ذلك، ينبغي ترك حيز مكاني مفتوحاً لمعدات الصيانة؛ حتى تتمكن من الوصول إلى المنطقة.
 - من المهم النظر في كيفية تأثير تغيير القناة في البيئة، لا سيما كيف يمكن أن يؤثر في الأراضي الرطبة، واستقرار القناة، وجودة المياه.
 - ينبغي تقييم كل قناة تحلل أو يخطط لها من حيث ميلها إلى أن تصبح غير مستقرة في ظل التدفقات العالية، أو السرعات العالية، أو الظروف الأخرى التي يمكن أن تكون موجودة طوال فترة خدمة القناة (على سبيل المثال: معايير الحيوانات).
 - ينبغي أن يختار مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي)، ويعتمد مدى من قيم صرف المياه التصميمية بناءً على نوع الطريق، وتأثيرات اضطراب حركة المرور، والمخاطر المرتبطة بالفيضانات، والاقتصاد، وخصائص الموقع المحددة.
 - ينبغي اختيار مواد تصميم القناة وبطانتها بحذر، ويجب أن تُصان ويُشرف عليها بشكل منتظم اعتماداً على تصميم المواد، وبالمثل أيضاً الظروف الهيدرولوجية لمستجمعات المياه والظروف الهيدروليكية التي تنطبق على القناة. غالباً ما يوصى بالخرسانة المسلحة كمادة للتصميم، كما ينبغي أيضاً تضمين حساب منفصل للشكل الخشبي في عملية التصميم.

٣-٤ تعريفات ومعادلات تدفق القناة المفتوحة:

٣-٤-١ نظرة عامة:

تُلخص المفردات والمفاهيم والمعادلات المتعلقة بالجوانب الهيدروليكية والضرورية لفهم طبيعة تدفق المياه في القنوات المائية المفتوحة في هذا القسم الفرعي.

٣-٤-٢ الرموز

ستستخدم الرموز المدرجة في الجدول (٣-١) للحفاظ على التوحيد عبر هذا الباب وبقية المجلد. اختيرت هذه الرموز؛ بسبب استخدامها على نطاق واسع في هيدروليكا القنوات.



الجدول (٣-١) الرموز والتعريفات.

الرمز	التعريف	الوحدات
A	مساحة القطاع القناة العرضي.	m^2
b, B	عرض القاع.	متر.
D	عمق التدفق.	متر.
D_c	عمق التدفق الحرج.	متر.
d, D	قطر حجارة الدكة الحجرية، أو حجم الحبيبات.	ملليمتر.
E	الطاقة النوعية.	متر.
Fr	رقم فرود (Froude number).	—
G	التسارع بسبب الجاذبية.	متر لكل ثانية مربعة.
H	المرحلة (ارتفاع سطح الماء).	متر.
H_L	الفقد في الارتفاع الرأسي للقناة أو المجرى المائي.	متر.
K	سعة النقل.	متر مكعب لكل ثانية.
k_m	معامل الفقد للانكماش أو التمدد.	—
L	طول وصول القناة.	متر.
N	معامل خشونة مانينغ (Manning).	—
P	المحيط المبلل.	متر.
q, Q	معدل التدفق.	متر مكعب لكل ثانية.
R	نصف القطر الهيدروليكي.	متر.
S	انحدار خط ميل الطاقة.	متر/متر.
T	عرض القناة العلوي.	متر.
V	سرعة التدفق.	متر لكل ثانية.
v_c	السرعة الحرجة.	متر لكل ثانية.
y, Y	عمق التدفق.	متر.
y_c	العمق الحرج.	متر.
Z	ارتفاع المنسوب.	متر.
Z	المسافة الأفقية.	متر.
γ	وزن وحدة الماء.	نيوتن لكل متر مكعب.
τ	إجهاد القص (قوة الجر).	نيوتن لكل متر مربع.
τ_p	إجهاد القص المسموح به.	نيوتن لكل متر مربع.
α	معامل توزيع السرعة.	—
θ	زاوية ميل القناة.	$^\circ$ (درجة).

٣-٤-٣ الطاقة النوعية:

يشار إلى ارتفاع خط الميل الهيدروليكي الكلي مقاساً من قاع القناة على أنه طاقة نوعية، ويُرمز لها بالرمز (E). يوضح الشكل (٣-٢) رسم بياني لطاقة معينة. الطاقة النوعية (E)؛ هي مجموع ارتفاع خط الميل الهيدروليكي مضافاً إليه طاقة الحركة المناظرة لمتوسط سرعة المياه في هذا المقطع إذا لم تكن القناة شديدة الانحدار (الميل أقل من ١٠٪)، وإذا كانت خطوط الانسياب متوازية ومستقيمة تقريباً (مثل: عند ثبات الافتراض الهيدروستاتيكي).

$$E = y + \alpha \times (V^2/2g) \quad \text{(المعادلة ١-٣)}$$

حيث إن:

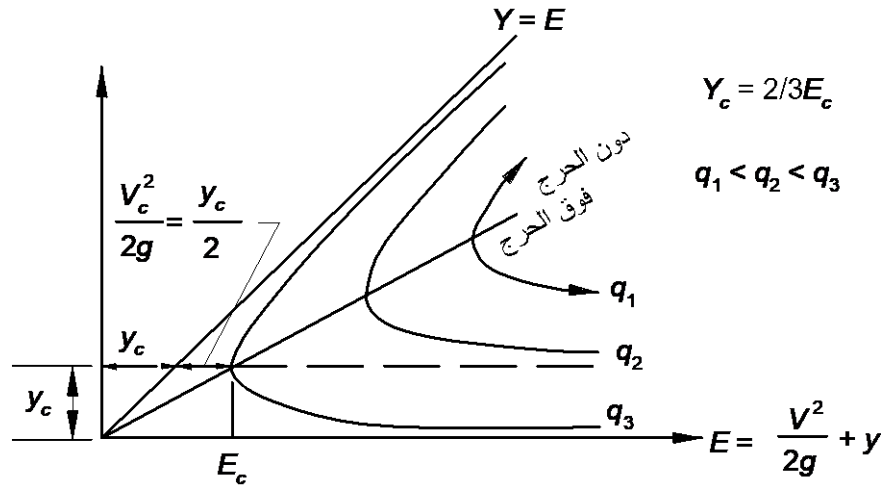
y = العمق، مقيساً بالمتري.

α = معامل توزيع السرعة؛ (وهو يساوي القيمة (١) بالنسبة للقنوات المنتظمة، أو في القنوات ذات الاضطراب عالي الشدة).

V = متوسط السرعة مقيساً بالمتري لكل ثانية.

g = تسارع الجاذبية، ٩,٨١ (متري لكل ثانية مربعة).

بالنسبة للتدفق المضطرب في القنوات ذات القطاع العرضي المنشوري الشكل؛ يمكن أن يكون لمعامل توزيع السرعة قيمة قدرها واحد (AASHTO, 2007)، إلا أنه قد يبتعد بشكل كبير عن الواحد في القنوات الطبيعية.



الشكل (٣-٢) رسم بياني للطاقة النوعية (AASHTO, 2007).

٤-٤-٣ خط ميل الطاقة:

يُشكل ارتفاع خط الميل الهيدروليكي للطاقة النوعية بالإضافة إلى ارتفاع قاع القناة بالنسبة إلى منسوب مرجعي الارتفاع الكلي لخط الميل الهيدروليكي. يرسم خط ميل الطاقة عن طريق توصيل الارتفاع الكلي لخط الميل الهيدروليكي من قطاع عرضي إلى آخر.

٥-٤-٣ التدفق المستقر وغير المستقر:

التدفق المستقر (الدائم)؛ هو التدفق الذي يكون فيه معدل التصريف ثابتاً مع مرور الوقت عند عبوره مقطعاً عرضياً معيناً. ينبغي أن تكون معدلات التدفق الداخلة والخارجة مستمرة ومتساوية؛ من أجل الحفاظ على تدفق مستقر في أي وصول. يكون التدفق غير مستقر عندما يتغير معدل التصريف بمرور الوقت.

٦-٤-٣ التدفق المنتظم والتدفق غير المنتظم:

عند مقارنة التدفق غير المنتظم بالتدفق المنتظم؛ فإن التدفق غير المنتظم له سرعة وعمق يختلفان باختلاف اتجاه الحركة. يمكن أن يحدث التدفق غير المنتظم في كل من القناة المنشورية الشكل والقناة التي تحدث بشكل طبيعي مع سمات مختلفة، ولكن التدفق المنتظم يمكن أن يحدث فقط في قناة منشورية؛ وهي قناة ذات قطاع عرضي، وخشونة، وميل في اتجاه التدفق، ثابتة.

٧-٤-٣ التدفق المتغير تدريجيًا والسريع التغير:

يقال إن التدفق غير المنتظم متغير تدريجيًا إذا تغير العمق، والسرعة، في اتجاه التدفق، للسماح بتجاهل التسارع؛ خلاف ذلك، يشار إليه على أنه تدفق سريع التغير.

٨-٤-٣ تصنيف التدفق:

فيما يلي ملخص موجز لتصنيف التدفق في القنوات المفتوحة:

تدفق مستقر:

- تدفق منتظم.
- تدفق غير منتظم.
 - تدفق متغير تدريجيًا.
 - تدفق سريع التغير.

التدفق غير المستقر:

- تدفق منتظم غير مستقر (نادر الحدوث).
- تدفق غير منتظم غير مستقر.
 - تدفق غير مستقر متغير تدريجيًا.
 - تدفق غير مستقر سريع التغير.

إن أكثر أنواع التدفق الأساسية التي يُعامل معها في هيدروليكا هندسة للطرق؛ هي حالة التدفق المستقر المنتظم، وحالة التدفق المستقر غير المنتظم.

٩-٤-٣ التدفق السلس والتدفق المضطرب:

أما بالنسبة لحالات التدفق؛ فإن الحالة المعروفة باسم التدفق السلس تتميز بظهور جزيئات الماء تتحرك في قنوات ملساء، أو في طبقات رقيقة للغاية (صفائح) فوق بعضها البعض. التدفق السلس؛ هو تدفق سلس للغاية، يحدث بشكل غير منتظم في البيئة الطبيعية. يعد التدفق المضطرب نوعًا من الحركة؛ يظهر عندما تتحرك جزيئات الماء في مسارات غير منتظمة إلى حد بعيد.

١٠-٤-٣ عدد فروود (Froude number):

تمثل نسبة قوة عزم القصور الذاتي إلى قوة الجاذبية بعدد فروود؛ الذي يعرف على النحو التالي:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \quad \text{المعادلة (٢-٣)}$$

حيث إن:

V = متوسط السرعة = (Q/A) (متر لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية، (٩,٨١) متر لكل ثانية مربعة.

D = العمق الهيدروليكي = (A/T) (متر).

A = مساحة قطاع التدفق (متر مربع).

T = عرض القناة العلوي عند سطح الماء (متر).

أي قناة مفتوحة أو أي جزء فرعي منها، لها تدفق ثابت أو متغير تدريجيًا تكون مشمولة بمعادلة رقم فروود (Froude number) هذا. العمق الهيدروليكي وعمق التدفق متساويان للقنوات المستطيلة - عند افتراض أن القناة واسعة وضحلة، وهي حالة شائعة بالملكة العربية السعودية.

١١-٤-٣ التدفق الحرج:

عندما تكون الطاقة النوعية في أدنى مستوياتها لمقدار معين من التصريف في القطاعات العرضية الطبيعية؛ يحدث التدفق الحرج. يشير مصطلح (العمق الحرج) إلى العمق الذي تكون فيه الطاقة النوعية عند أدنى مستوى لها، ويكون رقم فروود مساويًا للقيمة واحد في العمق الحرج. عندما تظل الطاقة النوعية ثابتة؛ فإن العمق الحرج؛ هو -أيضًا- العمق الذي يحدث عنده الحد الأقصى من التصريف. يقدم الشكل (٣-٣) توضيحًا لهذه العلاقات.

١٢-٤-٣ التدفق تحت الحرج:

في التدفق تحت الحرج؛ يكون عمق التدفق أكبر من العمق الحرج، ورقم فروود أقل من واحد. يمكن أن تنتقل الاضطرابات الصغيرة في سطح الماء باتجاه المنبع واتجاه المصب في حالة التدفق هذه، ويوضع التحكم دائمًا في اتجاه المصب.

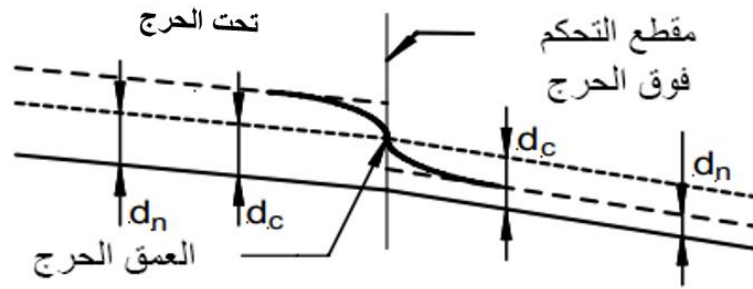
٣-٤-١٣ التدفق فوق الحرج:

في التدفق فوق الحرج؛ يكون عمق التدفق أصغر من العمق الحرج، ورقم فرود أعلى من واحد. في التدفق فوق الحرج، تنتقل اضطرابات سطح الماء الصغيرة -دائمًا- في اتجاه المصب، ويكون التحكم -دائمًا- في اتجاه المنبع.

ستحدث التحولات في سطح الماء بسبب تغيرات الميول. اعتمادًا على حجمها واتجاهها، قد تكون هذه التحولات تدريجية أو مفاجئة. بناءً على اتجاه التغيير في العمق وميل القاع؛ يمكن تصنيف سطح الماء المتغير. يظهر تصنيف القطاع الطولي لسطح الماء في الشكل (٤-٣)، والشكل (٥-٣).

٣-٤-١٤ قطاع التحكم:

القطاع العرضي؛ هو أي قطاع عرضي يمكن من خلاله التنبؤ بعمق التدفق بيقين مطلق لتصريف معين، في أغلب الأحيان يكون عند العمق الحرج.



الشكل (٣-٣) قطاع التحكم (ADOT, 2007).

الجدول (٢-٣) أنواع القطاعات الطولية للتدفق (ADOT, 2007).

النوع	العمق	ميل القاع	الفئة	التصنيف
1	$Y > y_o > y_c$	$S_0 > 0, S_0 < S_c$	معتدل	M1
2	$y_o > y > y_c$	$S_0 > 0, S_0 < S_c$	معتدل	M2
3	$y > y_c > y_o$	$S_0 > 0, S_0 < S_c$	معتدل	M3
1	$y > y_o = y_c$	$S_0 > 0, S_0 = S_c$	حرج	C1
3	$y < y_o = y_c$	$S_0 > 0, S_0 = S_c$	حرج	C3
1	$y > y_c > y_o$	$S_0 > 0, S_0 > S_c$	شديد الانحدار	S1
2	$y_c > y > y_o$	$S_0 > 0, S_0 > S_c$	شديد الانحدار	S2
2	$y_c > y_o > y$	$S_0 > 0, S_0 > S_c$	شديد الانحدار	S3
2	$y = y_o > y_c$	$S_0 = 0$	أفقي	H2

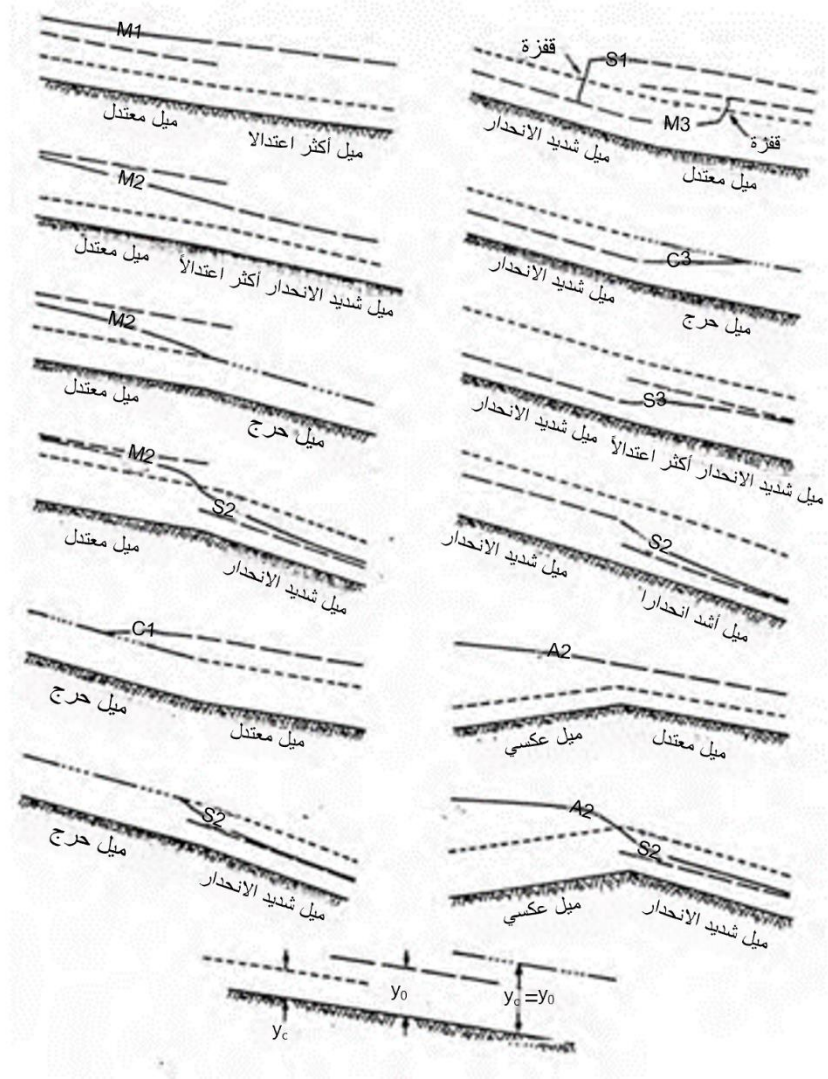


التصنيف	الفئة	ميل القاع	العمق	النوع
H3	أفقي	$S_0=0$	$y_c > y = y_o$	3
A2	عكسي	$S_0 < 0$	$y > y_o > y_c$	2
A3	عكسي	$S_0 < 0$	$y_c > y > y_o$	3

العمق الفعلي للتدفق لمنحنى من النوع ١ (M1, S1, C1) أكبر من العمق الطبيعي (y_o)، والعمق الحرج (y_c)؛ نظرًا لأن التدفق يكون هادئًا فيكون التدفق تحت سيطرة المصب.

يقع العمق الحقيقي (y) لمنحنى من النوع ٢ (M2, S2, A2, H2) بين العمق الطبيعي (y_o)، والعمق الحرج (y_c)؛ نظرًا لأن (M2, H2) لها تدفقات هادئة، يكون التحكم في اتجاه المصب. وبالنسبة إلى (S2)؛ يكون التدفق سريعًا والتحكم في اتجاه المنبع.

العمق الفعلي أقل من العمق الطبيعي (y_o)، والعمق الحرج (y_c) لمنحنى من النوع ٣ (M3, S3, C3, A3, H3). التحكم الهيدروليكي في اتجاه المنبع بسبب التدفق السريع.



الشكل (٣-٤) القطاعات الطولية لسطح الماء (ADOT, 2007).

٣-٤-١٥ القفزة الهيدروليكية:

يُعرف التغيير المفاجئ من التدفق فوق الحرج إلى التدفق تحت الحرج في اتجاه التدفق بالقفزة الهيدروليكية. أثناء القفزة تحدث تغيرات كبيرة في العمق والسرعة، وتُفقد الطاقة. كثيراً ما تُستخدم القفزة الهيدروليكية في أنظمة صرف المياه في الطرق لتوزيع الطاقة وإدارة التجريف بسبب ذلك.

ينبغي أن تصل نسبة عمق التدفق (y_1) في مسار الاقتراب للقناة، إلى عمق التدفق (y_2) في اتجاه مصب القناة -أولاً- إلى قيمة محددة تعتمد على شكل القناة، قبل حدوث قفزة هيدروليكية. يُشار إلى العمق قبل القفزة بالعمق الأولي (y_1)، ويشار إلى العمق الذي يلي القفزة بالعمق التالي (y_2). غالباً ما تكون وسائل التحكم لتوليد عمق كافٍ للمياه المرتدة- مطلوبة عند استخدام القفزة الهيدروليكية كمبدد للطاقة من أجل إدارة موقع القفزة، وضمان حدوثها خلال النطاق المقصود من صرف المياه. في حال أن عمق المياه المرتدة أقل من العمق اللاحق؛ يمكن استخدام العتبات للتحكم في القفزة الهيدروليكية. يمكن توظيف تخفيض أرضية القناة؛ لضمان حدوث القفزة وذلك إذا كان عمق المياه المرتدة أكبر من العمق اللاحق (Chow, 1959).

٣-٤-١٦ القوة النوعية:

كما ذكر سابقاً، لا يمكن لمنحنى الطاقة النوعية في حد ذاته- توفير حل لقضايا القفزة الهيدروليكية؛ حيث تحتوي على فقد في الطاقة الداخلية يصعب تقييمها باستخدام معادلة الطاقة وحدها؛ ما يستلزم تطبيق مبدأ الزخم (كمية الحركة). يمكن استخدام المعادلة (٣-٣)؛ لتحديد القوة النوعية (F) عند تطبيق مبدأ الزخم على مدى أفقي قصير لوصول القناة -منشورية الشكل- تكون القوة النوعية:

$$F = \frac{Q^2}{gA} + yA$$

المعادلة (٣-٣)

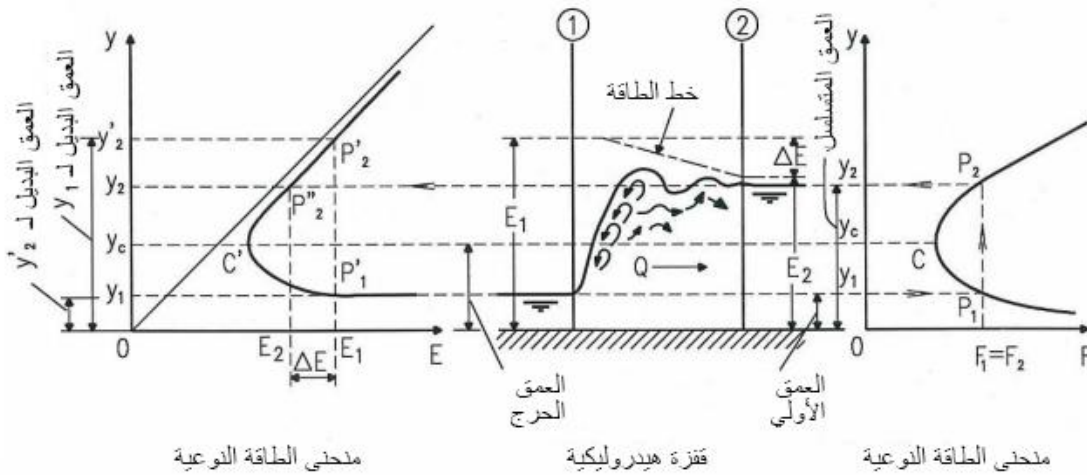
حيث إن:

Q = معدل التصريف (متر مكعب لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية الأرضية (٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة).

A = مساحة القطاع العرضي (متر مربع).

y = العمق إلى مركز الثقل للقطاع العرضي (متر).



الشكل (٣-٥) منحنيات التحليل والقفزة الهيدروليكية (Chow, 1959).

المصطلح الأول هو كمية الحركة أو زخم التدفق الذي يمر عبر مقطع القناة، لكل وحدة زمنية، ولكل وحدة وزن من الماء.

القوة لكل وحدة من وزن الماء؛ هي الثانية. يوضح الشكل (٣-٥) أنه بينما قد يتدفق الماء عند عمق واحد (y_1) لتصريف معين (Q) في أي قناة؛ سيكون هناك -دائمًا- عمق آخر؛ حيث يمكن أن تكون القوة المشتركة بسبب السرعة والضغط الهيدروستاتيكي لكلا العمقين هي نفسها.

ووفقًا لذلك؛ إذا كان من الممكن تجاهل القوى الخارجية وتأثير وزن الماء، فإن القوى المحددة للقسمين (١) و (٢) تكون متساوية. نموذجيًا، يمكن تطبيق ذلك على القنوات الأفقية ذات ميل قاعها البالغة ١٠٪ أو أقل.

وعند العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية (النقطتان C' و C)؛ حيث تكون الطاقة عند الحد الأدنى، ولا يوجد سوى عمق واحد للتدفق، وهذا استثناء من الوضع الطبيعي الذي يتطلب وجود عمقين دائمًا.

يلاحظ أن القفزة الهيدروليكية قد تحدث؛ عندما يكون تدفق المنبع فوق الحرج (أي رقم فرود أكبر من ١)، ثم يحول إلى تدفق تحت حرج (أي رقم فرود أقل من ١)؛ كلما كان رقم فرود أكبر زادت قوة القفزة الهيدروليكية.

٣-٤-١٧ العمق المقترن في القنوات الأفقية ($So \geq 10\%$):

معلومات التدفق فوق الحرج في اتجاه المنبع، تكون معلومة قبل القفزة الهيدروليكية أو يمكن اكتشافها.

هذه المتغيرات؛ هي رقم فرود، وعمق التدفق، وسرعة التدفق.

يمكن حساب العمق البديل أو اللاحق (y_2)؛ باستخدام هذه القيم، مع مراعاة ما يلي:

- مبادئ الطاقة والزخم.
- باستخدام سرعة التدفق الأولية V_1 .
- باستخدام عمق التدفق الأولي y_1 .

• تجارب باستخدام قناة مستطيلة.

٣-٤-١٨ القنوات المستطيلة:

لغرض الحصول على العمق التالي (y_2) في قناة مستطيلة، أنشئت المعادلة ٣-٤:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) \quad \text{المعادلة (٣-٤)}$$

يمكن التعبير عن هذا على النحو التالي:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1)$$

ويُحسب رقم فرود من (المعادلة ٣-٢):

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \text{ (rectangular section)}$$

٣-٤-١٩ القنوات المائلة ذات العمق المقترن ($So < 10\%$):

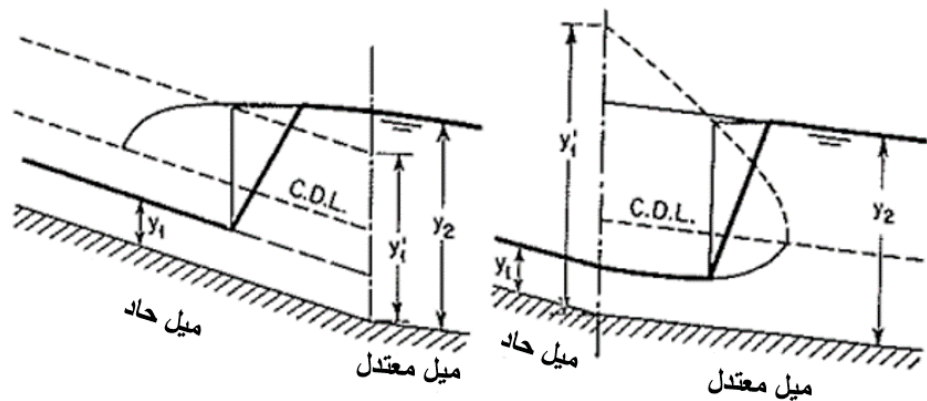
في تحليل القفزات الهيدروليكية في القنوات المائلة ($So < 10\%$)؛ ينبغي أن يؤخذ تأثير وزن الماء في القفزة في الاعتبار، على الرغم من أنه ضئيل التأثير بالنسبة للقنوات الأفقية ($So > 10\%$). ينبغي طلب المشورة من مهندسي الهيدروليك المؤهلين للعمل على القفزات التي تزيد على ١٠٪.

٣-٤-٢٠ موقع القفزة الهيدروليكية:

يمكن أن تحدث القفزة قبل أو بعد الحالة (المُحفزة) التي تتسبب في (إبطاء) التدفق الأولي فوق الحرج إلى التدفق تحت الحرج، مع اعتماد موقع القفزة -في الغالب- على زخم أو كمية حركة التدفق قبل القفزة وبعدها.

الشكل (٦-٣) يبين قناة بها نقطتا قفز محتملتان، و (انكسار) في ميل القاع (من الميل الحاد إلى الميل المعتدل). ستحدث القفزة في المنطقة حادة الميل؛ إذا كان العمق التالي (y_2) أكبر من العمق البديل (y'_1). ستبدأ القفزة بالانتقال إلى القناة المعتدلة الميل إذا قُلَّ العمق التالي (y_2) إلى أقل -تقريبًا- من العمق البديل (y'_1).

في معظم الحالات، حيث يكون ميل قاع القنوات أقل من ١٠٪، وإذا كانت القفزات ضعيفة ومنتجة؛ فإن القفزة تحدث بالقرب من النقطة (المُحفزة) لها.



الشكل (٦-٣) موقع القفزة الهيدروليكية (Chow, 1959).

٣-٤-٢١ طول القفزة الهيدروليكية:

من الصعب وضع نموذج لطول القفزة الهيدروليكية وتوقعه؛ حيث يُقاس من الوجه الأمامي للقفزة إلى موقع على السطح، مباشرةً بعد منطقة تدوير المياه في اتجاه المقصد. هنا، تعرض طريقتان لحساب طول القفزة.

٣-٤-٢١-١ الطريقة رقم (١):

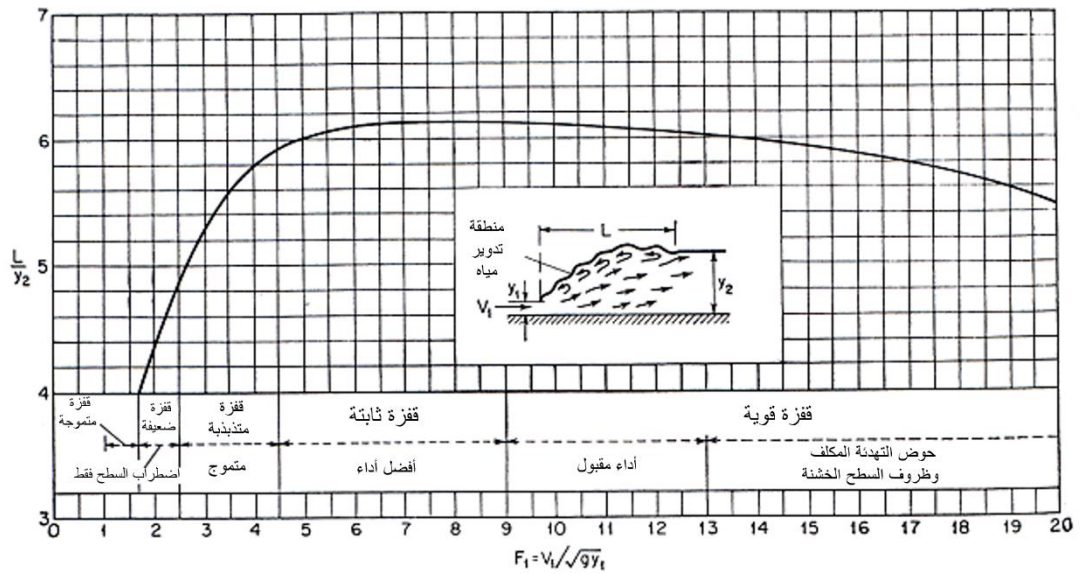
تقدير جيد لطول القفزة وفقاً للمشاهدة والبيانات هو خمسة أضعاف العمق اللاحق (y_2). يبلغ طول القفزة -عادةً- من أربعة إلى ستة أضعاف (y_2) في معظم الظروف.

٣-٤-٢١-٢ الطريقة رقم (٢):

كما هو مبين في الشكل (٣-٧)؛ يمكن استخدام العلاقة القائمة على البيانات التجريبية التي أنتجها وفقاً لدراسة أجراها (Peterka 1964) لمكتب استصلاح الأراضي الأمريكي (US Bureau of Reclamation) لتقدير طول القفزة. أنشئ هذا المنحنى -بشكل أساسي- للقفزات التي تحدث في القنوات مستطيلة الشكل، ولكن يمكن استخدامه -أيضاً- لوصف القفزات المتموجة والضعيفة، التي تحدث في القنوات شبه المنحرفة.

ينبغي تقريب نتيجة أي من الطريقتين لأقرب متر.

يحدد الحد الأدنى لطول القناة؛ حيث ينبغي أن تكون مصفحة ضد النحت، أو التجريف، بطول القفزة؛ ما يكشف عن شدة الاضطراب. يُنصح باستخدام الطريقة الأولى؛ لأنها توفر نتيجة أكثر حذراً عند تحديد أطوال القفزات في القنوات المفتوحة لاعتبارات التصفيح والحماية.



الشكل (٣-٧) طول القفزة الهيدروليكية من حيث العمق المقترن (y_2) في القنوات الأفقية (Chow, 1959).

٣-٤-٢٢ معادلة الاستمرارية:

في ميكانيكا الموائع؛ تُعرف عبارة (حفظ الكتلة) بمعادلة الاستمرارية. إنها تفترض الشكل البسيط للحالة الخاصة للتدفق الثابت -أحادي البعد- لوسائل غير قابل للضغط.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{المعادلة (٥-٣)}$$

حيث إن:

Q = معدل التصريف، (متر مكعب لكل ثانية).

A = مساحة القطاع العرضي للتدفق، (متر مربع).

V = متوسط السرعة في القطاع العرضي، متر لكل ثانية، (وهي عمودية على القطاع العرضي).

يشير رقم ١ ورقم ٢ إلى مقاطع عرضية متتالية، على طول مسار التدفق.

٢٣-٤-٣ معادلة مانينغ (Manning):

يمكن حساب متوسط السرعة في قناة مفتوحة ذات تدفق ثابت ومنتظم؛ باستخدام معادلة مانينغ.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

المعادلة (٦-٣)

حيث إن:

V = السرعة، (متر لكل ثانية).

n = معامل خشونة مانينغ.

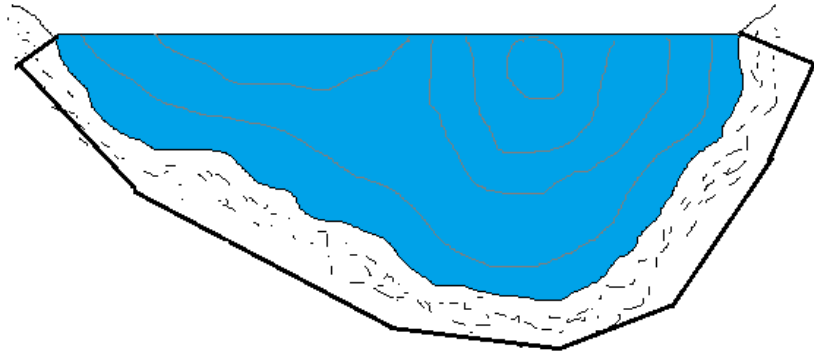
R = نصف القطر الهيدروليكي (A/P) (م)؛ حيث:

A = مساحة القطاع العرضي للتدفق، (متر مربع).

P = المحيط المبلل (م).

S = انحدار ميل خط الطاقة م/م (ملاحظة: للتدفق المنتظم الثابت، S = ميل القناة، م/م).

يُعرف طول الخط (العمودي على التدفق)؛ حيث يلمس الماء سطح الأرض بالمحيط المبلل (الشكل ٣-٨)، الذي يُستخدم لحساب نصف القطر الهيدروليكي.



الشكل (٨-٣) المحيط المبلل للقناة.

عادةً ما تُختار قيمة (n) في معادلة مانينغ؛ بناءً على الملاحظة، على الرغم من أن اختيار قيم (n) الصحيحة يتطلب خبرة كبيرة. في الجزء الفرعي (٣-٥-٣)، نوقشت كيفية اختيار قيمة (n) في معادلة مانينغ.

يمكن دمج معادلة الاستمرارية مع معادلة مانينغ لغرض الحصول على تصنيف بتدفق ثابت ومنتظم، على النحو التالي:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

المعادلة (٧-٣)

قيمة العمق لقناة ذات جيومترية معينة، وميل، وخشونة، وتصريف محددة؛ هي فريدة في تدفقها الثابت والمنتظم. وبعد تحديد المساحة ونصف القطر الهيدروليكي، من حيث العمق -تستخدم المعادلة (٨-٣) لحساب هذا العمق المحدد- الذي يشار إليه بالعمق الطبيعي. قد يتطلب حل المعادلة الناتجة تكرار التجريب (التجربة والخطأ). الميل المعتدل؛ هو الميل الذي يكون فيه العمق الطبيعي أعلى من العمق الحرج. يقال إن الميل يكون حادًا إذا كان العمق الطبيعي أقل من العمق الحرج؛ لذلك على ميل معتدل يكون التدفق المنتظم تحت الحرج، بينما على ميل حاد يكون فوق الحرج.

٢٤-٤-٣ النقل:

من المفيد -في كثير من الأحيان- في تحليل القناة دمج خصائص القطاع العرضي للقناة في المعادلة (٦-٣) في مصطلح واحد يُعرف؛ باسم نقل القناة، ويُرمز له بالرمز (K) :

$$K = \frac{A}{n} R^{2/3}$$

المعادلة (٨-٣)

ثم يمكن كتابة المعادلة (٧-٣) على النحو التالي:

$$Q = KS^{1/2}$$

المعادلة (٩-٣)

٣-٤-٢٥ معادلة الطاقة:

الطاقة لكل وحدة وزن من المائع أو ارتفاع خط ميل الطاقة، وله وحدة الطول؛ هي الطريقة التي تصف بها معادلة الطاقة حفظ الطاقة في القناة المفتوحة. يتكون ارتفاع خط ميل الطاقة من: الطاقة الحركية (طاقة السرعة)، وطاقة الضغط، والطاقة الكامنة (المعروفة - أيضاً - باسم طاقة الوضع)، عندما تدمج مصادر الطاقة العديدة هذه معاً؛ يكون ارتفاع خط ميل الطاقة الكلية في نتائج أي قطاع عرضي؛ كما يلي:

$$h_1 + \alpha_1(V_1^2/2g) = h_2 + \alpha_2(V_2^2/2g) + h_L \quad \text{المعادلة (١٠-٣)}$$

حيث إن:

h_1, h_2 = مراحل اتجاه المنبع واتجاه المصب على التوالي (متر).

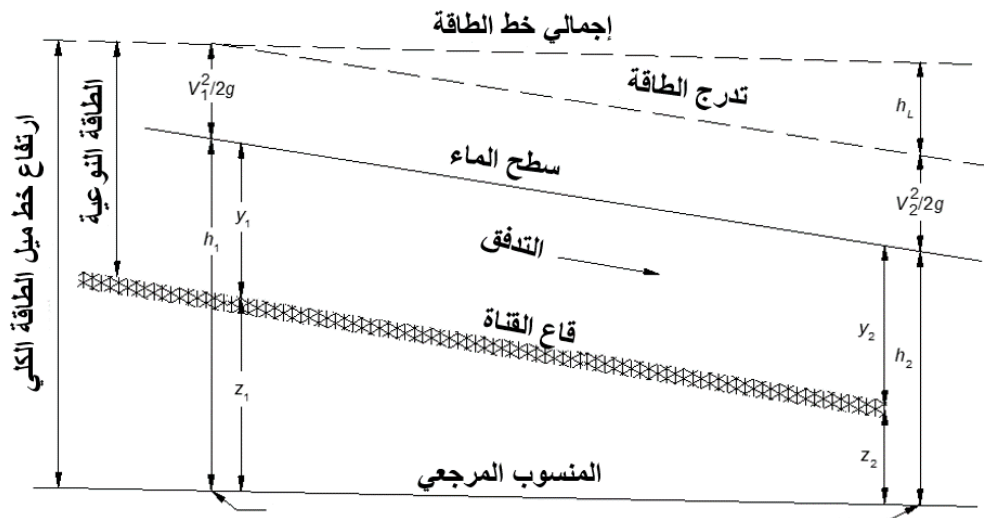
α = معامل توزيع السرعة.

V = متوسط السرعة ، (متر لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية، (متر لكل ثانية مربعة).

h_L = فاقد ارتفاع خط ميل الطاقة؛ بسبب التغيرات المحلية في قطاع القناة العرضي (فاقد طفيف)، ومقاومة الحدود (متر).

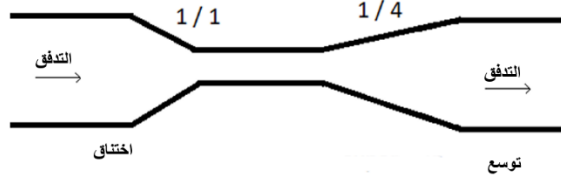
المرحلة (h) تساوي مجموع ارتفاع خط ميل الضغط أو عمق التدفق (y)، وارتفاع خط ميل المنسوب (z) في أسفل القناة. بمعنى آخر: (المرحلة $y + z = h$). يقدم الشكل (٩-٣) توضيحاً بيانياً للمصطلحات المستخدمة في معادلة الطاقة. ووفقاً لمعادلة الطاقة؛ فإن ارتفاع خط ميل الطاقة الكلية في قطاع عرضي في اتجاه المنبع يساوي ارتفاع خط ميل الطاقة في قطاع عرضي في اتجاه المصب، بالإضافة إلى ارتفاع خط ميل الطاقة المفقودة أثناء الانتقال. من أجل تجاهل التسارع الرأسي للتدفق؛ لا يمكن استخدام معادلة الطاقة إلا بين قطاعين عرضيين، عندما تكون الخطوط الانسيابية للجريان مستقيمة ومتوازية تقريباً.



الشكل (٩-٣) مصطلحات معادلة الطاقة (USACE, 1986).

٣-٤-٢٦ فواقد الطاقة خلال الانتقال في القناة:

نظرًا لوجود فواقد في الطاقة عند التبديل من قطاع عرضي لقناة إلى آخر؛ ينبغي أن يكون الانتقال سلسًا. كما هو مبين في الشكل (٣-١٠)، يُنصح باستخدام معدلات تضيق قصوى تبلغ حوالي واحدًا إلى واحد، ومعدلات توسيع قصوى تبلغ -تقريبًا- واحدًا إلى أربعة.



الشكل (٣-١٠) معدلات الحد الأقصى للتضيق والتوسع.

يمكن حساب ارتفاع خط ميل الطاقة المفقودة عند الانتقال؛ باستخدام المعادلة (٣-١١):

$$ht = Cu \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad \text{المعادلة (٣-١١)}$$

حيث إن:

ht = ارتفاع خط ميل الطاقة المفقودة عند الانتقال، (م).

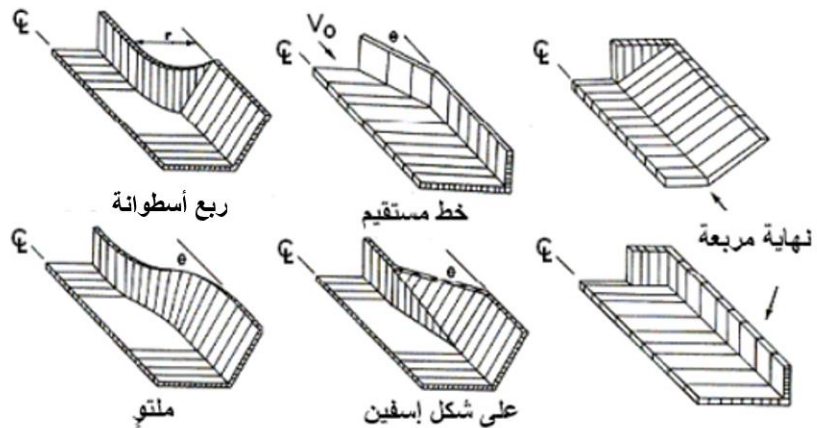
Cu = معامل فقدان الطاقة الانتقالي، (بلا أبعاد).

v_1 = متوسط سرعة التدفق في اتجاه المنبع قبل الانتقال، (متر لكل ثانية).

v_2 = متوسط سرعة التدفق في اتجاه المصب بعد الانتقال، (متر لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية، (٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة).

يقدم الجدول (٣-٥) معاملات فقد الطاقة الانتقالية (التضيق والتوسع) (Cu) اللازمة لهذه المعادلة. في الشكل (٣-١١)؛ وُصفت أنواع انتقال مختلفة. ينبغي التأكيد على أن فقدان الطاقة يزداد مع مدى فجائية الانتقال. وعلى الرغم من أن الفرق في ارتفاع خط ميل السرعة -نظرًا- بالسالب؛ فإنه ينبغي أن يُفسر -دائمًا- على أنه موجب. بمعنى آخر؛ سيؤدي تغيير المقطع -دائمًا- إلى فقدان في ارتفاع خط الميل.



الشكل (٣-١١) مصطلحات في معادلة الطاقة (Thompson and Kilgore, 2006).

٣-٤-٢٧ فقدان الطاقة في منحنيات القناة:

استنادًا إلى البحث الذي أجراه (Mockmore)؛ تقدم إدارة الموارد الطبيعية والمياه، كوينزلاند، استراليا (DNRW, 2007) معادلة، لتحديد الفاقد عند منحنى في قناة مفتوحة. المعادلة التالية هي المعادلة (٣-١٢)، وتمثل الفاقد في ارتفاع خط ميل الطاقة للقناة؛ نتيجة انحناءات القناة مع تغيرات الاتجاه بين زاوية ٩٠ و ١٨٠ درجة:

$$h_b = \left(\frac{2b}{Rc}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad \text{المعادلة (٣-١٢)}$$

حيث إن:

h_b = الفاقد في ارتفاع خط ميل الطاقة في منحنى القناة، (م).

b = عرض القناة، (م).

V = متوسط سرعة التدفق، (متر لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية، (٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة).

Rc = نصف قطر الخط المركزي للمنحنى، (م).

يجب اعتبار أن ناتج هذه المعادلة يعطي تقديرًا متحفظًا للفاقد في ارتفاع خط ميل الطاقة. يُنصح باستخدام الاستيفاء الخطي (linear interpolation) للمنحنيات بين (٠ درجة و ٩٠ درجة).

٣-٤-٢٨ التعلية الجانبية في منحنيات القناة:

مع زيادة مستوى الماء على الجزء الخارجي من المنحنى، والانخفاض المقابل في مستويات الماء في الجزء الداخلي للمنحنى؛ قد يُظهر الماء المتحرك حول منحنى في قناة مفتوحة تعلية جانبية. تشير كلمة (التعلية الجانبية) إلى أكبر فرق بين مستويي المياه هذين (يجب عدم الخلط بينها وبين النسبة المئوية للتعلية الجانبية في التصميم الهندسي للطرق).

عندما يكون للمنحنى مستوى فيضان مُبلغ عنه (يجب تحديد موقعه الدقيق)، أو عندما يكون من الضروري ألا يخرج التدفق التصميمي، من قناة تُنشأ بصنع الإنسان، عند الحافة الخارجية لمنحنى؛ فيجب أخذ التعلية الجانبية ضمن الحساب. يمكن استخدام المعادلة (٣-١٣) لتقدير التعلية الجانبية:

$$hsup = 2 \ln \left(\frac{Ro}{Rc}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad \text{المعادلة (٣-١٣)}$$

حيث إن:

$hsup$ = التعلية الجانبية لسطح الماء عبر القناة (فرق المستوى)، (م).

V = متوسط سرعة التدفق، (متر لكل ثانية).

g = تسارع الجاذبية، (٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة).

Ro = نصف القطر الخارجي للمنحنى، (م).

Rc = نصف القطر الداخلي للمنحنى.

٣-٥ التحليل الهيدروليكي للقناة المفتوحة:

٣-٥-١ عام:

يحدد العمق وسرعة الجريان التي يتدفق بها تصريف معين في قناة ذات جيومترية وخشونة وانحدار معروفة؛ من خلال التحليل الهيدروليكي للقناة. لتصميم أو تحليل تبطينات القنوات وأنظمة صرف المياه التي قد تكون موجودة أو تنشأ على الطرق؛ فإن عمق وسرعة التدفق ضروريان.

قبل تطبيق إجراءات التصميم الواردة في هذا الباب؛ يجب أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) قد اختار معدل التكرار التصميمي، وأجرى تحليلًا هيدرولوجيًا باستخدام طرق الباب الثاني، وأن تكون لديه هندسة الطرق الأساسية.

يُعد التحليل أحادي القطاع، وطريقة الخطوة الخلفية؛ الطريقتين الأكثر استخدامًا لفحص أنظمة التدفق أو الجريان في المجرى المائي أو القناة المفتوحة. تعد تقنية القطاع الواحد طريقة سهلة؛ لاستخدام معادلة مانينغ لفحص الحالات المختلفة، التي تتضمن ظروف تدفق موحدة أو شبه موحدة، أو لحساب منحنيات تصنيف المياه المرتدة (مياه الذيل للقنوات)؛ نظرًا لأن طريقة القطاع الأحادي تحتاج إلى مزيد من الحكم والافتراضات أكثر من طرق قطاع سطح الماء؛ فإنها تنتج -عادةً- نتائج أقل موثوقية. ومع ذلك؛ غالبًا ما تكون طريقة

القطاع الأحادي النهج الوحيد الذي يمكن تبريره (على سبيل المثال: خندق طريق قياسي، العبّارات، ومصارف مياه الأمطار، والمصبّات).

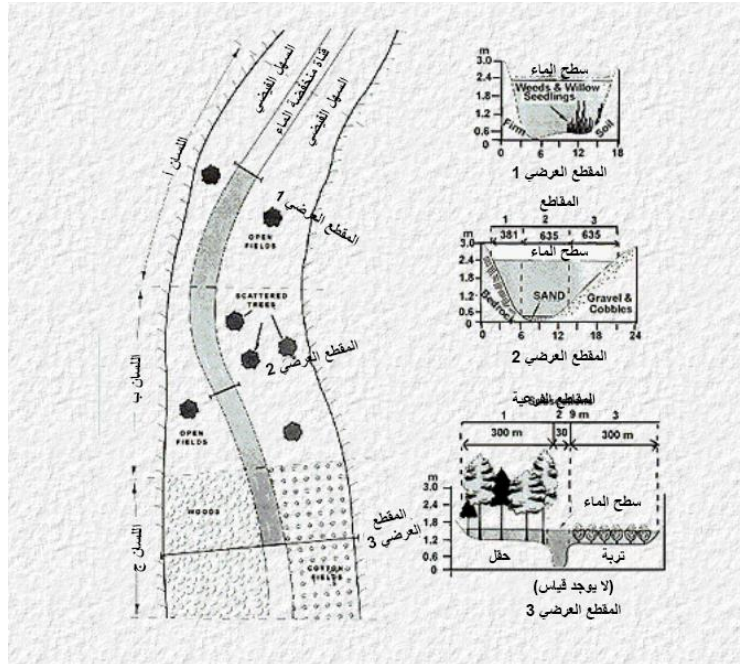
في بعض الأحيان؛ لا تكون طريقة القطاع الأحادي أو حساب قطاع سطح الماء باستخدام طريقة خطوة-المياه المرتدة كافية، لاحتياجات تحليل مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي). يعد التحليل ثنائي الأبعاد وتوجيه المياه والرواسب وتحليل التدفق غير المستقر أمثلة على الأساليب التحليلية الخاصة (انظر الجزء الفرعي ٣-٥-٥).

٣-٥-٣ المقاطع العرضية:

تحدد بيانات المسافة الجانبية وارتفاع الأرض -مواقع أرضية معينة- قطاع القناة أو المجرى المائي للتدفقات. في السهول الفيضية أو المنحنيات أو المناطق المنحنية الشاسعة، قد يكون من الضروري استخدام قطاع على طول الخطوط المتداخلة. يؤخذ قطاع القناة أو المجرى المائي بشكل طبيعي في اتجاه التدفق، على طول خط مستقيم واحد حيثما كان ذلك ممكناً. من الأهمية بمكان رسم قطاع القناة أو المجرى المائي؛ لتحديد أي تناقضات أو أخطاء قد توجد في التصميم.

من المهم تحديد قطاعات القناة أو المجرى المائي التي تعد نموذجية أو قياسية للتواصل الفرعي بينها. تعد قطاعات القناة أو المجرى المائي -المأخوذة على فترات أقصر- ضرورية لنمذجة التغيير في معدل النقل، أو التصريف في مواقع التدفق -بدقة أكبر- مع وجود فواصل كبيرة في القطاع السفلي للقناة، أو تغييرات مفاجئة في الخشونة أو الشكل أو أقسام التحكم؛ مثل: (الانكسارات أو الانحناءات أو التقلصات)، أو غير ذلك من المفاجآت والتغييرات في ميل القناة أو النقل.

عندما تكون هناك تغييرات جانبية مفاجئة في هندسة القناة أو الخشونة أو كليهما؛ ينبغي تقسيم قطاعات القناة أو المجرى المائي بحدود عمودية، كما هي الحال مع التدفقات التي ترتفع فوق ضفاف أو جوانب القناة أو المجرى المائي. يحسب معدل النقل أو التصريف لكل القطاع الفرعي من هذا القناة أو المجرى المائي بشكل مستقل؛ لتوفير توزيع التدفق، ثم يجمع لتحديد نقل التدفق الكلي. للتأكد من أن توزيع التدفق أو معدل النقل أو التصريف موحد -تقريباً- في كل القطاع الفرعي من هذه القناة أو المجرى المائي، ينبغي اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب للأقسام الفرعية بعناية؛ (انظر: Davidian, 1984). يوضح الشكل (٣-١٢) اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب لقطاعات القناة أو المجرى المائي والتقسيم الرأسي للقطاع العرضي.



الشكل (٣-١٢) قطاع عرضي افتراضي يوضح الوصول إلى القطاعات والأقسام الفرعية المستخدمة في تعيين معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ (Davidian, 1984).

٣-٥-٣ اختيار قيمة معامل مانينغ:

يتأثر اختيار معامل مانينغ (n) لقناة أو مجرى مائي طبيعي -بشكل كبير- بالخبرة الهندسية، ويخضع لمجموعة متنوعة من العوامل. من المفيد -أيضاً- الحصول على صور للممرات المائية والسهول الفيضية، حيث قيس التصريف، وحسبت قيم معامل الخشونة هذا

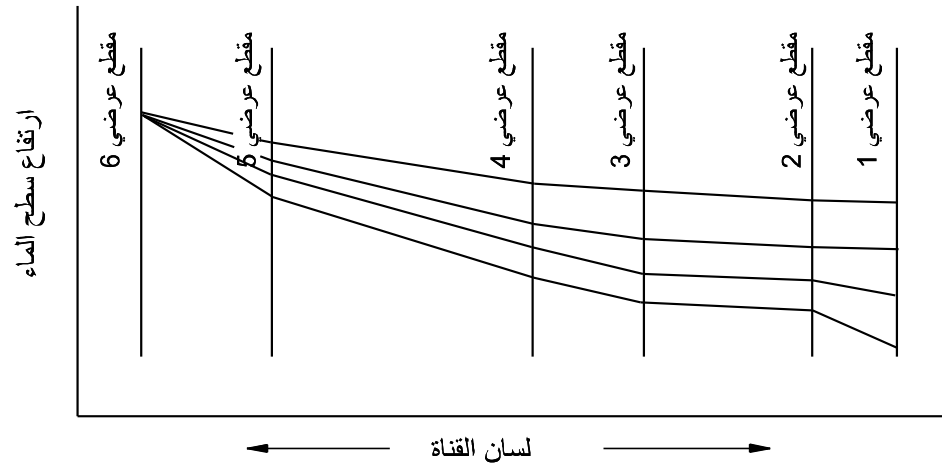
(QATAR, 2021). في الحالات التي يكون فيها مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) غير جاهز؛ يقدم نهجا أكثر تنظيماً وفق إرشادات الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية – ((MODON (2011)). يُنصح بشدة بالتحقق من صحة معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ أو معاييرها؛ باستخدام علامات المياه المرتفعة التاريخية، أو بيانات تدفق مجاري صرف المياه المقيسة، أو كليهما.

وبالمقارنة مع قنوات التدفق الطبيعي؛ فإن تحديد معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ للقنوات الاصطناعية أسهل في التحديد. لغرض الحصول على نظرة عامة على معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ النموذجية للقنوات المدمجة؛ راجع: الجدول (٥-٣).

٤-٥-٣ القطاعات السطحية للمياه (طريقة خطوة-المياه المرتدة):

تُستخدم معادلة الطاقة في طريقة خطوة-المياه المرتدة والمعروفة -أيضاً- باسم طريقة خطوة-المياه المرتدة القياسية (لتخطي) سطح جريان مائي على طول قطاع القناة أو المجرى المائي. وبشكل عام؛ تعد هذه الطريقة أكثر دقة من طريقة منطقة-المُنحدر. يمكن استخدام هذه الأسلوب لتحديد القطاع السطحي لجريان مائي؛ من أجل تدفق ثابت ومتنوع تدريجياً في قناة إما طبيعية أو من صنع الإنسان. يمكن إجراء الحسابات لكل من قطاعات تعريف التدفق دون الحرجة وفوق الحرجة. يُنصح باستخدام برامج الكمبيوتر؛ مثل: برنامج كمبيوتر بصمم نماذج هيدروليكية تدفق المياه عبر الأنهار الطبيعية والقنوات الأخرى؛ لأن الحسابات المطلوبة لهذه الدراسة تستغرق وقتاً طويلاً ومتكررة.

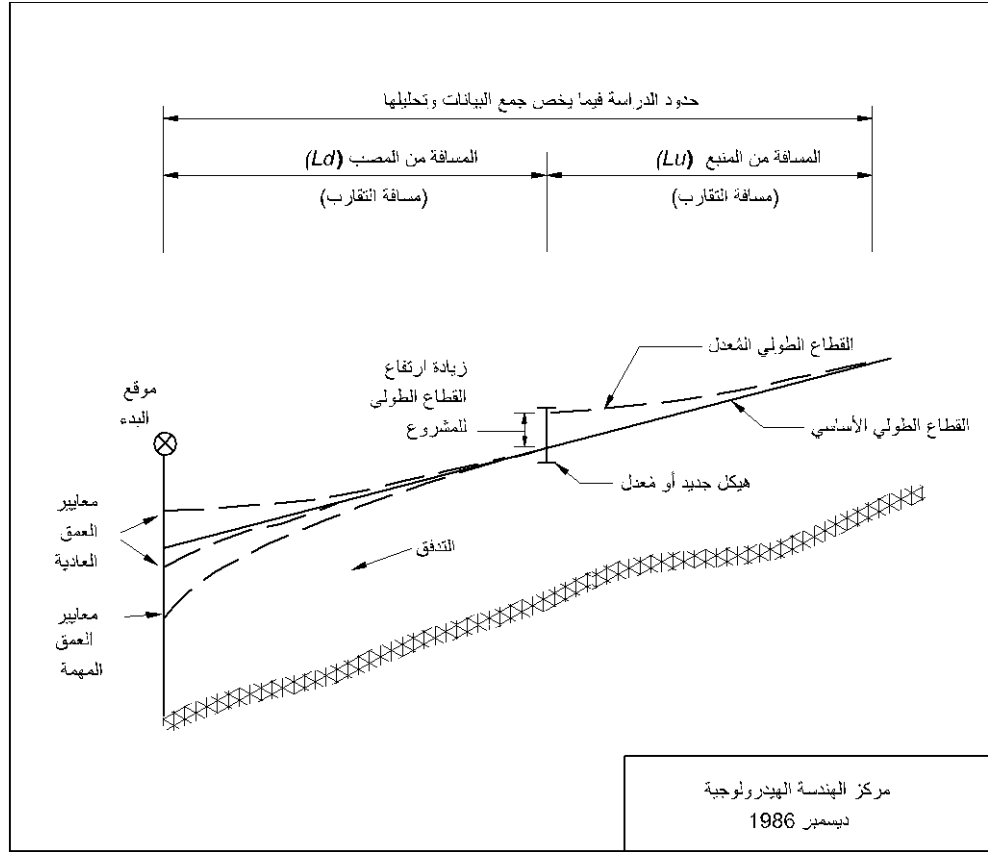
يبدأ حساب القطاع السطحي لجريان مائي بقيمة الارتفاع أو العمق (حالة الحدود)، ويتحرك؛ إما في اتجاه المنبع للتدفق دون الحرج، وإما في اتجاه المجرى المائي للتدفق فوق الحرج. في حين أن التدفق المنتظم والعمق الطبيعي قد يكونان الشروط الحدودية للتدفق دون الحرج، فإن العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية -ويكون في كثير من الأحيان الشرط الحدودي للتدفق فوق الحرج- في قطاع التحكم في التدفق. يمكن استخدام نهج أو طريقة القطاع الأحادي (طريقة منطقة-المُنحدر)، أو حساب القطاع الطولي لسطح الماء إلى أعلى النقطة المرغوبة لأعماق بداية مختلفة ونفس التصريف؛ لتحديد عمق البداية في هذه الحالة. لإنشاء نقطة واحدة على علاقة تصريف المرحلة؛ ينبغي أن تتقارب هذه القطاعات نحو العمق الطبيعي المناسب في قطاع التحكم في التدفق. قد يلزم تمديد وصول الجريان المائي (التيار إلى المصب)، أو يمكن استخدام فاصل قطاع عرضي أقصر، أو ينبغي تعديل نطاق ارتفاعات سطح الماء في البداية؛ إذا لم تتقارب القطاعات المختلفة. في أي حال؛ يمكن أن تستفيد مثل هذه الدراسة -بشكل كبير- من خلال مُخطط لمحات التقارب في الشكل (٣-١٣).



الشكل (٣-١٣) حساب نمط التقارب في المياه في طريقة الخطوة الخلفية (AASHTO, 2007).

٥-٥-٣ حدود دراسة القطاع الطولي:

سيُتقارب القطاع الطولي لسطح الماء المحسوب؛ بواسطة خطوة المياه المرتدة المائلة في النهاية إلى العمق الطبيعي، في اتجاه المنبع للتدفق دون الحرج؛ إذا كان زمن التدفق أو الجريان في القناة أو المجرى المائي طويلاً بدرجة كافية. لتحديد حدود جمع البيانات والتحليل اللاحق؛ ينبغي إنشاء حدود المنبع والمصب للقناة. ينبغي أن تبدأ الحسابات بعيداً -بما يكفي- عن المنبع؛ لضمان الدقة في مرفق التصريف، وبعيداً -بما يكفي- في اتجاه المجرى المائي؛ لتقييم كيفية تأثير الهيكل على قطاعات سطح الماء، في اتجاه المجرى المائي بدقة في الشكل (٣-٤).



الشكل (٣-١) حدود دراسة الملف الشخصي (USACE, 1975).

أنشئت المعادلات التالية بواسطة دراسات أجراها (USACE, 1975)؛ لحساب أطوال الروافد (المنبع والمصب):

$$Ldn = 2,438 \left(\frac{HD^{0.8}}{S} \right) \quad \text{المعادلة (٣-١٤)}$$

$$Lu = 3,048 \left(\frac{(HD^{0.6})(HL^{0.5})}{S} \right) \quad \text{المعادلة (٣-١٥)}$$

حيث إن:

Ldn = طول دراسة المصب (على طول القناة الرئيسية)، (لظروف بدء العمق الطبيعي)، مقاسة بالمتراً.

Lu = طول دراسة المنبع المقدر (على طول القناة الرئيسية)، (مطلوب لتقارب المظهر الجانبي المعدل إلى ٠.٠٣ متر من المظهر الجانبي الأساسي)، مقاسة بالمتراً.

HD = متوسط العمق الهيدروليكي للقناة أو المجرى المائي، (فرصة بنسبة ١ في المائة لمنطقة تدفق الحدث مقسومة على العرض العلوي).

S = متوسط ميل الوصول، (٠.١٨٩ م/كم).

HL = خسارة الرأس تتراوح بين ٠.١٥ م و ١.٥٣ م، عند هيكل عبور القناة للفيضان المحتمل، بنسبة ١ في المائة، (م).

يمكن الاطلاع على إرشادات إضافية عن التطبيق الفعلي لطريقة خطوة المياه المرتدة لمشكلات صرف المياه التي قد تكون موجودة على الطرق التي تنطوي على قنوات مفتوحة في دراسة (Davidian, 1984)؛ وفقاً لدراسات أجراها (USA, 1975). تبحث هذه الدراسات في دقة وموثوقية ملامح سطح الماء؛ فيما يتعلق بتحديد معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ، وبطريقة المسح، أو برسم الخرائط المستخدمة؛ لتحديد هندسة إحداثيات القطاع العرضي.

٦-٥-٣ إجراء حساب القطاع الطولي:

وفق طرق الهندسة الهيدرولوجية (USACE)، في دراسة أجراها فيلق القوات البرية الأمريكية الهندسية لتنمية الموارد المائية (١٩٧٥) وفُر إجراء نموذجي أو قياسي. يعرض (الشكل ٣-١٥) نموذجاً مفيداً لتقدير قطاع سطح الماء يدوياً:

- العمود رقم (٢) إلى العمود رقم (١٢)؛ مخصصة لحل معادلة مانينغ، لغرض الحصول على فقد الطاقة بسبب الاحتكاك.
- يحتوي العمودان رقم (١٣) ورقم (١٤)؛ على حسابات لتوزيع سرعة الجريان عبر القطاع.
- تحتوي الأعمدة من العمود رقم (١٥) إلى العمود رقم (١٧)؛ على متوسط الطاقة الحركية.
- يحتوي العمود رقم (١٨)؛ على حسابات (الفقد في الطاقة الأخرى)، (الفقد في طاقة التمدد والانكماش؛ بسبب التبادلات بين الطاقات الكامنة الحركية أثناء تدفق المياه).
- يحتوي العمود رقم (١٩)؛ على التغيير المحسوب في ارتفاع سطح الماء. يحسب الحفاظ على الطاقة؛ من خلال الانتقال من قطاع إلى قطاع أسفل، ومن خلال الصيغة الحسابية، $\Delta WS = (Q/K)^2$ لتر.

العمود رقم (١) رقم قطاع القناة أو المجرى المائي؛ هو رقم تعريف القطاع العرضي. يوصى باستخدام كيلومترات من المصب.

العمود رقم (٢) مفروض: لتقييم ما إذا كانت التجربة مقبولة من عدمه، يتناقض مستوى سطح الماء المفترض مع ارتفاع سطح الماء المحسوب. هذا العمود رقم فارغ لقطاع القناة أو المجرى المائي الأولي. بالتعويض في المعادلة $WS = (Q/K)^2 L$ في الارتفاع المحسوب لسطح الماء لقطاع القناة أو المجرى المائي السابق. من الممكن التنبؤ بارتفاع سطح الماء المفترض للمقاطع العرضية التالية. (L) مأخوذ من العمود رقم (١١) من قطاع القناة أو المجرى المائي الحالي، و (K) المأخوذ من العمود رقم (٨) من قطاع القناة أو المجرى المائي السابق. بعد ملء العمود رقم (٣)، تقارن القيم المفترضة والمحسوبة؛ لكي تنجح الحسابات التجريبية، ينبغي أن تتوافق ارتفاعات سطح الماء الناتجة في حدود ٠,١٥٣ متر، أو أي تفاوت مسموح به. إذا تجاوز الاختلاف التفاوت المسموح به؛ فينبغي إجراء تجربة ثانية مع ضبط الافتراض وتكرار الإجراء.

العمود رقم (٣) محسوب: إذا تجاوز الاختلاف التفاوت المسموح به؛ فينبغي إجراء تجربة ثانية مع ضبط الافتراض وتكرار الإجراء. يُشتق هذا الرقم من منحني تصنيف القطاع الأول لقطاع القناة أو المجرى المائي الأول. تُحدد القيمة عن طريق إضافة ارتفاع سطح الماء (العمود رقم ١٩) لقطاع القناة أو المجرى المائي الحالي إلى ارتفاع سطح الماء المحسوب (العمود رقم ٣) لقطاع القناة أو المجرى المائي السابق بعد ملء السطر المتبقي للقطاع العرضي.

العمود رقم (٤) منطقة قطاع القناة أو المجرى المائي: هي أ. استخدم سطرًا واحدًا من النموذج لكل القطاع الفرعي من هذه القناة أو المجرى المائي، والمجموع لغرض الحصول على إجمالي مساحة قطاع القناة أو المجرى المائي في A_t إذا كان القطاع معقدًا، وفصله إلى أجزاء متعددة؛ مثل: (الضفة اليسرى والقناة وحدود التدفق الصحيحة).

العمود رقم (٥) نصف القطر الهيدروليكي: إذا كان القطاع معقدًا؛ فاتبع الخطوات المتبعة نفسها في العمود رقم (٤)، لكن لا تضيف قيم الأقسام الفرعية.

العمود رقم (٦) $R^{2/3}$ is $\times$ نصف القطر الهيدروليكي: هو $3/2$ قوة نصف القطر الهيدروليكي R في (العمود رقم ٥). إذا كان القطاع معقدًا؛ فاحسب $(R^{2/3} \times$ نصف القطر الهيدروليكي $R^{2/3})$ لكل القطاع الفرعي من هذا القناة أو المجرى المائي، ولا تجمع القيم.

العمود رقم (٧) معامل الخشونة لمعادلة مانينغ: هو الرقم (n). وإذا كان القطاع يحتوي على عدة قطاعات فرعية؛ أدخل قيمة معامل الخشونة لكل قطاع.

العمود رقم (٨) K وسيلة معدل النقل أو التصريف: ويعرف على أنه $(AR^{2/3}/n)$. احسب وسيلة معدل النقل أو التصريف لكل القطاع الفرعي من هذه القناة أو المجرى المائي، واجمع قيم وسيلة معدل النقل أو التصريف للقطاع الفرعي؛ لغرض الحصول على القيمة الإجمالية إذا كان قطاع القناة أو المجرى المائي معقدًا.

العمود رقم (٩) $\bar{K}_t$: هو متوسط معدل النقل أو التصريف للمدى، ويحسب بمقدار $0.5 (K_{td} + K_{tu})$ متوسط قطاع القناة أو المجرى المائي عند المصب + متوسط قطاع القناة أو المجرى المائي عند المنبع؛ حيث يشير الحرف (دي) D، والحرف (يو) U إلى نهائي المجرى المائي والمصب، على التوالي. لتحديد متوسط القطاع العرضي K_t ، احسب متوسط قطاع القناة أو المجرى المائي للقطاع العرضي الحالي K_t ومتوسط قطاع القناة أو المجرى المائي K_t للقطاع العرضي أعلاه مباشرة.

العمود رقم (١٠) $\bar{S}_f$ - هو متوسط الميل عبر مدى الوصول المحدد؛ بواسطة $(Q/\bar{K}_t)^2$.

العمود رقم (١١) L - هو طول التصريف المرجح، أو طول معدل النقل، أو التصريف المرجح.

العمود رقم (١٢) h_f - فقد الطاقة؛ بسبب الاحتكاك من خلال الوصول، ويحسب بالعلاقة الخاصة به $h_f = (Q/\bar{K}_t)^2 L = \bar{S}_f L$.

العمود رقم (١٣) $K^2/A^2 -$ هو جزء من الإيضاح يربط متوسط القيمة بسرعة التدفق الموزعة. احسب إحدى هذه القيم لكل قسم فرعي في قسم معقد ، ثم أضف قيم كل قسم فرعي؛ لغرض الحصول على الإجمالي (K^2/A^2) . إذا استُخدم قسم فرعي واحد؛ فلن تكون هناك حاجة للعمود (١٣) والعمود (١٤) يساوي واحدًا.

العمود رقم (١٤) α هو معامل توزيع سرعة الجريان، ويُحسب بواسطة العلاقة $\Sigma(K^2/A^2)/(K^2/A^2)$ ؛ حيث يكون البسط هو مجموع القيم في العمود رقم (١٣)، وبحسب المقام من متوسط قطاع القناة أو المجرى المائي K_f ، والزمن، و A_f مساحة القطاع.

العمود رقم (١٥) V متوسط سرعة الجريان، وبحسب بواسطة كمية التدفق أو التصريف مقسومة على Q/A_f الزمن ..

العمود رقم (١٦) $V^2/2g\alpha$ هو متوسط سرعة الجريان المصححة لتوزيع التدفق.

العمود رقم (١٧) $(V^2/2g\alpha)\Delta$ هو الفرق بين سرعة الجريان في القطاع عند المصب والمنبع. لتحديد القيمة الخاصة بالعمود رقم $(V^2/2g\alpha)\Delta$ هذا؛ ا طرح قيمة $V^2/2g\alpha$ لقطاع القناة أو المجرى المائي الحالي من قيمة $V^2/2g\alpha$ لقطاع القناة أو المجرى المائي أعلاه مباشرة.

العمود رقم (١٨) h_o ، هو (الفقد في الطاقة الأخرى في الطاقة) ويُشتق بضرب القيمة المطلقة للعمود رقم (١٧) في معامل التمدد أو الانكماش. عندما تتجاوز سرعة الجريان في اتجاه المجرى المائي سرعة الجريان في الاتجاه المعاكس؛ يحدث الانكماش، وعندما تكون سرعة الجريان أعلى من سرعة الجريان في اتجاه القناة أو المجرى المائي؛ يحدث التمدد أيضًا.

العمود رقم (١٩) ارتفاع سطح الماء هو التغير في ارتفاع سطح الماء $(WS\Delta)$ عن القطاع العرضي السابق. إنه النصف الثاني من معادلة الطاقة، ويُحسب بواسطة $h_f + \Delta(\alpha V^2/2g) + h_o$ (مجموع جبري للأعمدة رقم ١٢ ورقم ١٧ ورقم ١٨).

[illegible]

الشكل (٣-١٥) نموذج بيانات سطح الماء (AASHTO, 2007).

٣-٥-٧ أساليب التحليل الخاصة:

لا يكفي -دائمًا- تحليل قطاع واحد أو حساب قطاع سطح الماء باستخدام طريقة الخطوة القياسية أو طريقة الخطوة المباشرة لحل مشكلات التدفق أو الجريان في المجرى المائي أو القناة المفتوحة. يعد التحليل ثنائي الأبعاد وتوجيه المياه والرواسب وتحليل التدفق غير المستقر طرق تحليل أكثر عمقًا.

٣-٥-٨ التحليل ثنائي الأبعاد:

تحاكي النماذج ثنائية الأبعاد التدفق من المواقع المحددة من قبل المستخدم في كلا الاتجاهين الطولي والعرضي على التوالي. من المفترض أن يكون هناك تدفق ضئيل للغاية في الاتجاه العمودي أو الرأسي. يمكن حساب التدفق العرضي الناجم عن السرعات الجانبية وميلات سطح الماء، التي لا يمكن حسابها بواسطة النماذج أحادية البعد؛ بواسطة هذه النماذج. مثال الجسور المنحرفة وعبور السهول الفيضية مع العديد من الفتحات وتشعب القنوات والتدفق حول منحنيات القناة والتدفق حول الجزر؛ هي أمثلة قليلة على هذه الظروف. وبالنسبة للمشروعات الكبيرة ذات أنماط التدفق المعقدة التي لا تستطيع النماذج أحادية البعد تقييمها بالكامل؛ ينبغي أخذ تصميم نموذج ثنائي الأبعاد في الاعتبار. فيما يلي أمثلة للحالات أو الظروف التي ينبغي فيها النظر في النماذج ثنائية الأبعاد:

- خاصة على السدود المنحرفة والسهول الفيضية العريضة ذات الفتحات العديدة.
- السهول الفيضية ذات التقلبات الكبيرة في الخشونة أو الهندسة المعقدة؛ (على سبيل المثال: مناطق التدفق غير الفعالة، والتدفق حول الجزر، والقنوات المتعددة).
- الأماكن التي تتطلب تدابير مضادة أفضل وأكثر فاعلية من حيث التكلفة؛ (على سبيل المثال: مناطق دكة الحجارة على طول السدود، أو الدعامات، أو كليهما) أنماط تدفق وسرعات أكثر دقة.
- معابر مداخل المد والجزر، والخلجان، ومصبات الأنهار، وكذلك الأنهار المتأثرة بالمد والجزر.
- المناطق شديدة الخطورة أو الحساسة؛ عندما يكون هناك احتمال كبير لفقد في الطاقة والممتلكات الخاصة وتكاليف الالتزامات المرتبطة بها.

٣-٥-٩ تحليل التدفق غير المستقر:

تحلل شبكة من التدفقات المنقسمة أو المتفرعة والتدفقات المجمعة في عدة مجاري مائية؛ باستخدام تدفق أحادي البعد، وغير مستقر؛ للتأكد من تأثيرات مناطق التخزين الداخلية والممتدة -على حد سواء- على ذروة التدفقات، أو ارتفاعات سطح الماء على طول مجرى مائي. يكون هذا التحليل مفيدًا عندما يمكن أن يؤدي تأثير منطقة تخزين كبيرة -سواء في المنبع، أو في اتجاه المجرى المائي من المنطقة المحددة- إلى انخفاض كبير في معدلات تدفق الذروة التي تقترب من هيكل صرف أو مجموعة من الهياكل. يمكن أن يوفر استخدام تحليل التدفق غير المستقر تقديرات أكثر واقعية للمياه أمام مدخل العبارة الناتجة عن سلسلة من مرافق الصرف على الطرق المتقاربة. يمكن استخدام السدود الصغيرة (الهذارات) والقنوات وأنظمة التحويل بالضح؛ لتحليل التدفق الجانبي إلى أحواض التخزين. تتوفر العديد من شروط الحدود الداخلية والخارجية؛ مثل: مخططات التدفق، والمراحل والممرات المائية المحكومة، والبوابات، والجسور، والقنوات، وأنظمة السدود للتطبيق من قبل المستخدم.

٣-٦ تبطينات القناة:

ينبغي أن تؤخذ تبطينات القنوات في الاعتبار عند التخطيط للقنوات المفتوحة، وتستخدم أساسًا لمقاومة قوى التآكل للمياه المتدفقة، مع المساعدة على تحسين الكفاءة الهيدروليكية للقناة وتقليل الصيانة. وتتنوع تبطينات القنوات من حيث المتانة والصلابة الهيدروليكية والتكلفة والمظهر، ويمكن تصنيفها على أنها صلبة (مثل: الخرسانة) أو مرنة (مثل: التغطية بالحصى والركام). تحدث معظم مشكلات صيانة القناة بسبب التآكل والتقسير. عادة ما تحل هذه المشكلات بتبطينات القناة. يمكن تقسيم تبطينات القنوات المائية المفتوحة إلى فئتين: مرنة وصلبة. تعد التبطينات ذات الأساس النباتي؛ مثل: الحشائش، والشقوق، والركام، والتكسيات والتبطينات الأرضية (مرنة وشبه صلبة)؛ مثل: (الحصير المركبة الأسمنتية الأرضية)، والشبكات الجيولوجية والخرسانية المتشابكة، أمثلة على تبطينات القنوات المرنة. بعض الأمثلة على التبطينات الصلبة؛ هي الأسفلت، والخرسانة، وأسمنت التربة، والألياف الزجاجية. تختلف تبطينات القناة الصلبة والمرنة بشكل أساسي في كيفية تفاعلها مع الاختلافات في هندسة القناة من منظور إدارة التآكل (أي: العرض، والعمق، والمحاذاة). التبطين المثالي لغالبية القنوات التي تنشأ أو تنشأ من صنع الإنسان، يتمثل في تطوير وزراعة نباتات طبيعية جديدة، مع استخدام العشب؛ لتوفير مقاومة أولية، وزيادة مدة التعرض للتآكل أو التجريف.

فيما يلي أمثلة على مواد التبطين في كل تصنيف.

١- تبطينات مرنة:

- أ- الأعشاب أو النباتات الطبيعية.
- ب- التبطين بالأنقاض.



- ج- شبكات الأسلاك، (أقفاص).
- د- تعزيز زراعة العشب، (غير قابلة للتحلل).
- ٢- تبطينات صلبة:
 - أ- الخرسانة المصبوبة في الموقع، أو الخرسانة الأسفلتية.
 - ب- تربة أسمنتية، والخرسانة المضغوطة.
 - ج- حشوات مملوءة بالملاط.
 - د- شبكات محشوة جزئياً.
 - هـ- كتل خرسانية مفصلية.

١-٦-٣ التبتينات المرنة:

عند مقارنتها بالتبتينات الثابتة أو الصلبة، نجد أن تبطينات القنوات المرنة تتمتع بعدد من الفوائد. يمكن زراعتها لتبدو طبيعية، وعادة ما تكون أقل تكلفة وتسمح بالتسريب. القنوات ذات التبتينات المرنة لها تدفق يشبه تدفق القنوات الصغيرة التي تحدث بشكل طبيعي. تتمتع النباتات والحيوانات المحلية بفرص موائل فائقة في ظل الظروف الطبيعية. وفي كثير من الحالات؛ تصمم تبطينات القنوات المرنة لتوفير حماية انتقالية فقط- ضد التآكل عند استقرار الغطاء النباتي، وتصبح تبطينات القنوات الدائمة للقناة، وتعد تبطينات القنوات المرنة؛ هي الأنسب لظروف ضغوط القص المعتدلة. قد لا تكون تبطينات القناة المرنة مناسبة للوصول إلى القناة مع تدفق متسارع أو متباطئ؛ (تمديدات، وتقلصات، وانحدار، والمياه العكسية). ستحتاج القنوات هذه إلى دراسة محددة.

١-٦-٣-١ الغطاء النباتي:

تشكل النباتات الطبيعية وكذلك الأعشاب التي بُذرت أو زُرعت على طول القناة تبطين نباتي. الغطاء النباتي؛ هو أحد أكثر تبطينات القناة شيوعاً، ومرغوباً في قناة اصطناعية. يمنع التآكل على سطح القناة، ويثبت جسم القناة، ويحدد كتلة التربة في الطبقة، وينظم تدفق جزيئات التربة على طول قاع القناة. من أفضل الممارسات الإدارية المعترف بها لتصميم جودة مياه الأمطار في أنظمة صرف الطرق تبطين القنوات النباتي. يشجع التدفق الأبطأ للقناة النباتية على امتصاص الملوثات من جريان الطريق، وخاصة الرواسب المعلقة قبل أن تخرج من حرم الطريق وتتضمن إلى الجداول.

عندما يخصص الغطاء النباتي للمساعدة في دعم بنية التربة لقنوات الصرف؛ يلزم التفكير بعناية. من الممكن أن يكون الغطاء النباتي الموصى به في مناطق أخرى من العالم غير مناسب لمناخ المملكة العربية السعودية وخصائص التربة. وفي الحالات التي يُتوقع فيها أن تكون هناك حاجة إلى الغطاء النباتي؛ ينبغي الاتصال بمهندس مسطحات خضراء ومناظر طبيعية، أو شخص مختص لتقييم الخيارات القابلة للتطبيق في مرحلة مبكرة.

٢-١-٦-٣ التكبسية بكسر الحجارة الصخرية (دكة الحجارة الصخرية):

النوع الأكثر شيوعاً من تبطينات القنوات المرنة بعد العشب؛ هو التبتين بدكة الحجارة؛ حيث يوفر هذا النوع من التبتين سطحاً غير مستوي، يمكنه تشتيت الطاقة، وتقليل زيادات السرعة. يأتي التبتين بدكة الحجارة في نوعين قياسيين مختلفين. استخدم مصدات الحصى المبطنة للخنادق في الخنادق أو القنوات القياسية أو النموذجية. وهو يتألف من أحجام حجرية أصغر؛ ما يقلل من تكاليف الإنشاء على الضفة والشاطئ. قد يكون استخدام هذا النوع من تبطينات القنوات المرنة مقيداً بنقص المواد المتاحة ومحدودية حرم الطريق. يجب وضع مصيدة الانقراض على حصيرة مرشح، وميل مُجهز؛ لتكوين كتلة مميلة جيداً مع أقل عدد ممكن من الفراغات. تُفضل الأحجار الزاوية التي يمكن أن تتشابك مع بعضها البعض للاستخدام في التبتين بدكة الحجارة. لوقف انجراف التربة وانتقال التربة دقيقة الحبيبات؛ تتطلب هذه التبتينات -عادة- مادة ترشيح بين الحجر والتربة الأساسية. لحماية نسيج المرشح من الأحجار الكبيرة؛ قد تحتاج -أحياناً- إلى طبقة من حجر القاع.

٣-١-٦-٣ فرشاة الحجارة الصخرية المطوقة بالأسلاك:

تستخدم كتل الحجارة المعبأة داخل أقفاص (أو سلال، أو صناديق) في شكل وحدات حجرية مرتبطة ببعضها البعض بهيكل أو نسيج سلبي مطوق. عادةً ما يكون النسيج السلبي؛ عبارة عن حاوية مستطيلة مكونة من أسلاك فولاذية تُسجّت بشكل موحد، وتقوى عند الزوايا والحواف بسلك أثقل. يُوضع الحجر داخل الحاويات التي تُربط -بعد ذلك- ببعضها البعض، وتُثبت على ميل القناة الجانبي. فرشاة الحجارة الصخرية المغلفة بالسلك أو البلوكات المكسدة على شكل صندوق؛ هما مثالان على دكة الحجارة الصخرية المطوقة بالأسلاك. يجب -عادة- استخدام هذا النوع من التبتين عندما تكون التكسية بكسر الحجارة (دكة الحجارة) إما غير متوفرة أو غير كبيرة بما يكفي لتكون مستقرة. على الرغم من المرونة في هذا النوع من التبتين، إلا أن شبكة الأسلاك تحد من حركة الكتل المكسدة. يجب توفير عمر خدمة كافٍ بواسطة شبكة السلك الفولاذي. سوف تهجر الأحجار الفردية إذا تعطلت الشبكة السلبيّة.

٤-١-٦-٣ أنظمة عزل الكتل الخرسانية المفصلية:

الكتل الخرسانية المفصلية؛ هي مصفوفة كتل -مسيقة الصنع- وهي أنظمة مرتبطة بالأسلاك أساساً. النظام قادر على التكيف مع التغيرات في سطح الأرض، التي يمكن أن تحدث نتيجة الاستقرار بفضل الصفات والخصائص المفصلية للمصفوفة. كل مصنع لديه تكوين كتلة مختلف. عادة ما تُنتج الأنظمة في مجموعات من عدة كتل مسبقة الصب؛ وهي خفيفة، وسهلة الرفع والتركيب في مكانها باستخدام أدوات الانشاء.

٥-١-٦-٣ حصيرة تقوية العشب:

قد يكون لتقوية العشب غرض قصير الأجل أو طويل الأجل؛ اعتماداً على التطبيق، والمواد، وتقنية التثبيت. تكمن الفكرة وراء تعزيز العشب في إعطاء مصفوفة التربة/الغطاء النباتي هيكلًا يساعد على إنشاء الغطاء النباتي، ويعطي استقرارًا للنباتات الناضجة. يوجد - عادةً- خياران لتقوية العشب: طرق التربة/الحصى، وحصيرة تقوية العشب (TRMs).

سيؤدي خلط ركام الحصى في التربة الموجودة في الموقع، وزرع طبقة التربة والحصى إلى تحسين التربة/الحصى. تقدّم مجموعة من الحصى جيدة التدرج -بشكل موحد- من قبل صناعة المنتجات الصخرية؛ لاستخدامها كطبقة تمهيدية وتثبيت للتربة. بعد البذر يخلق خليط الحصى/التربة تبطينات غير قابلة للتآكل كجزء من عملية تحضير التربة.

حصيرة تقوية العشب؛ عبارة: عن منتجات مدموكة للتحكم في التآكل، مصنوعة من ألياف مركبة، ومثبتة بالأشعة فوق البنفسجية، وخيوط وشبكة سلكية عولجت في مصفوفة ثلاثية الأبعاد، وليست قابلة للتآكل. توفر حصيرة تقوية العشب مساحة فارغة، وسمكاً وقوة كافية لدعم نمو القواعد العشبية داخل المصفوفة. في الأماكن التي يمثل فيها الطمي مشكلة؛ يُفقد استخدام حصيرة تقوية العشب. ومن المحتمل أن يتعطل النسيج الجيوفيزيائي، وتسحب الألات عند إجراء صيانة الخندق.

٢-٦-٣ التبطينات الصلبة:

عادة ما تكون التبطينات الصلبة مصنوعة من الخرسانة أو الأسفلت أو رصف التربة الأسمنتية، وتكون أكثر سلاسة، ويمكن أن تحمل وزناً أكبر لكل وحدة من مساحة القطاع العرضي. ومع ذلك فإن السرعات العالية تزيد من احتمالية التآكل؛ حيث تتغير تبطينات القنوات الصلبة للقناة إلى تبطينات العشب. يمكن أن يحدث تدمير تبطينات القنوات الصلبة؛ بسبب الضغط الهيدروستاتيكي المترامخ خلف الأسطح الصلبة، أو قطع رأس القناة، أو تقويض التدفق للتبطين. قد تكون التبطينات الصلبة مناسبة إذا كان عرض القناة مقيّداً وعندما تصمم بشكل مناسب. تعد التبطينات الصلبة مفيدة في مناطق التدفق، ذات إجهاد القص العالي، وظروف التدفق المتغيرة بسرعة أو المضطربة؛ مثل: عند انتقالات شكل القناة أو هياكل تبديد الطاقة.

يعد الارتفاع الموسمي في منسوب المياه الجوفية، الذي قد يؤدي إلى ضغط رفع ثابت على تبطين القنوات أمراً خطيراً -بشكل خاص- بالنسبة للتبطينات الصلبة. فإذا كانت هذه الظروف تتطلب تبطيناً صلباً؛ فينبغي أن يشمل تصميم القناة على نظام يمكن الاعتماد عليه تحت المصارف (مجري صرف المياه أو القنوات) وتيوب الصرف الجدارية. للتأكد من أن المياه الجوفية تُطلق دون انسداد المرشح أو انهيار التربة الأساسية؛ ينبغي تقييم انتقال التربة دقيقة الحبيبات إلى طبقات المرشح. عندما ينخفض عمق التدفق في القناة بسرعة؛ فإن الوضع المماثل؛ هو تطور ضغط مسام التربة خلف التبطين. قلل من تراكم المياه خلف تبطين القنوات؛ باستخدام موانع التدفق العكسي على تيوب الصرف الجدارية، والفواصل المقاومة للماء.

عند استخدام التبطينات الخرسانية في المناطق التي قد تنتشر فيها التربة؛ من الضروري أن تأخذ في الاعتبار إمكانية الطفو الناجم عن ارتفاع ضغط الماء. إجمالي قوة الطفو في الاتجاه الصاعد لأعلى يساوي حجم الماء الذي يتحرك في القناة. يساعد الوزن الإجمالي للتبطين على تحمل ضغط الرفع أو قوة الطفو في الاتجاه الصاعد لأعلى، وتصبح القناة غير مستقرة عندما يكون وزن تبطين القنوات أقل من ضغط الرفع أو قوة الطفو في الاتجاه الصاعد لأعلى.

على وجه العموم؛ تتميز تبطينات القنوات الصلبة بقدرة عالية لمناطق القطاع العرضي الصغيرة نظراً لأنها ملساء للغاية لذا فهي تتمتع بمقاومة هيدروليكية منخفضة. مع ذلك؛ عادةً ما تسبب هذه التبطينات الملساء سرعات تدفق أعلى مع حدوث جرف في نهاية التبطين؛ (انظر: الشكل ١٦-٣ مقابل نصف القطر الهيدروليكي للقنوات غير المبطن، مع أن القنوات المبطن ذات حجم مضاعف)، كما أنها تمنع التسرب الطبيعي؛ مما يتسبب في زيادة تكلفة الإنشاء الأولية إضافةً إلى تكلفة الصيانة، حيث أن التبطينات الصلبة يمكن أن تكون عرضة للتلف بسبب الرفع الهيدروستاتيكي، والتقويض، والتآكل على طول حواف التبطين (على سبيل المثال: تعتبر التربة الرملية تربة غير متماسكة، تميل إلى أن تكون شديدة التآكل، بينما تعتبر المخاليط الكبيرة؛ من الحصى، والطين، والطمي مقاومة للتآكل).

قد لا تكون التبطينات الصلبة مستحسنة في المناطق التي تشكل فيها اعتبارات جودة المياه مصدر قلق كبير. كذلك فالتبطين المرن أقل تكلفة في الانشاء، وتتمتع بخصائص الإصلاح الذاتي التي تقلل من تكاليف الصيانة، وتسمح بالتسرب، وتوفر مظهرًا طبيعيًا أكثر وأقوى أمناً على جانب الطريق. على صعيد آخر؛ تكون التبطينات المرنة محدودة في عمق التدفق الذي يمكنها استيعابه دون حدوث تآكل، وبالتالي فهي محدودة السعة. مع ذلك؛ يمكن الحصول على السعة المطلوبة -عموماً- عن طريق إجراء تعديل طفيف في هندسة القناة. كما يمكن استخدام أنواع مختلفة من الحشائش كتبطين مرّن دائم للقنوات؛ وذلك إذا كانت أعماق التدفق وأنواع التربة ضمن الحدود المقبولة للغطاء النباتي.

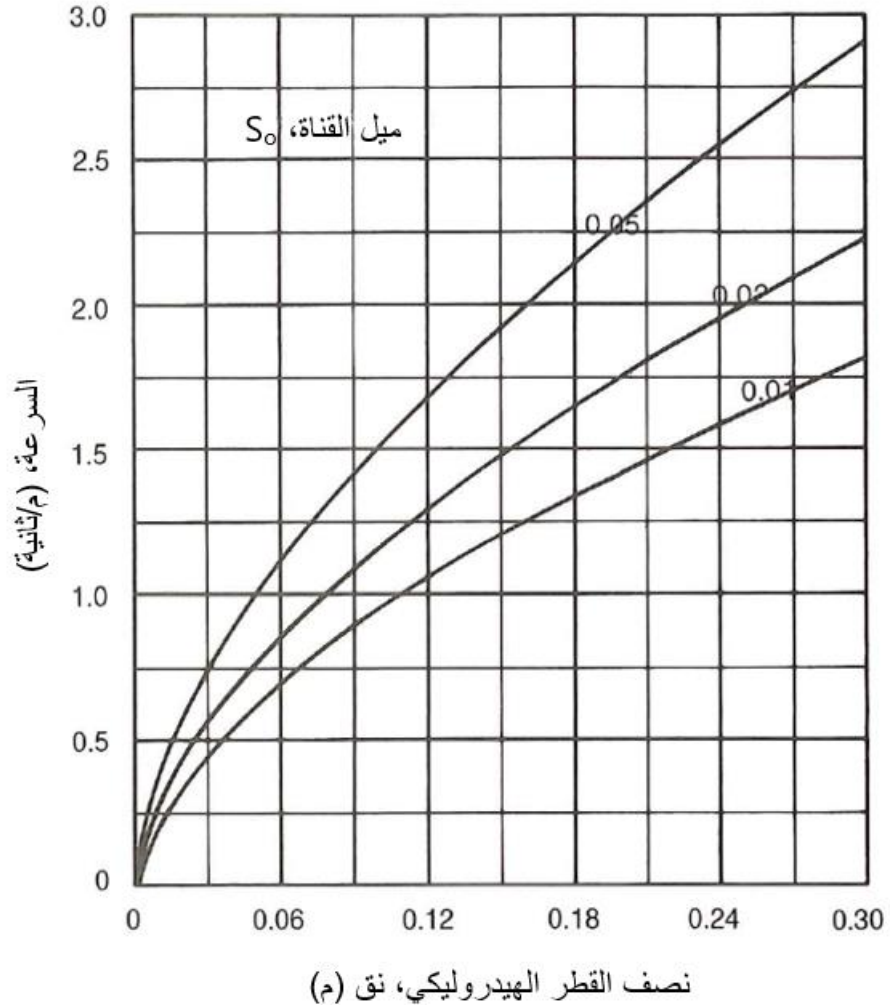
١-٢-٦-٣ الخرسانة المصبوبة في الموقع:

تُعد التبتطينات الخرسانية غير قابلة للتآكل على الرغم من أنها عرضة للانهار؛ بسبب الأساسات غير المستقرة. التقويض الذي يمكن أن يحدث بعدة طرق؛ هو السبب الرئيس للفشل، من خلال السماح للماء بحمل مادة الأساس، وترك القناة في حالة تدهور، ويمكن أن تبدأ الحماية غير الكافية من التآكل عند المصب، وعند حواف القناة، وعند الانحناءات في مناطق التقويض. قد تتشقق التبتطينات الخرسانية، وتتحلل نتيجة عوامل؛ مثل: ارتفاع منسوب المياه الجوفية، أو انتفاخ التربة التي تضغط على تبطين القنوات من الأعلى. يتسبب الرفع الديناميكي، وقوى السحب في كسر التبتطينات الصلبة، وتحريكها لأعلى؛ ما يؤدي إلى استمرار حركة البطانة. كثيرًا ما تنشأ ألواح مسطحة كبيرة من تبطين القنوات مكسورة الظهر، التي يمكن أن تكون معرضة بشكل خاص لهذه القوى.

٢-٢-٦-٣ فرشاة الحجارة المحشوة بالملاط:

يؤدي ضخ خليط الخرسانة في أغلفة القماش أو الأطراف إلى تكوين طبقات سفلية مملوءة بالملاط. وبالإضافة إلى عدم الحاجة إلى معدات الرفع باهظة الثمن والأشكال الخشبية تتمتع الحشوات المليئة بالملاط بميزة تسريع الانشاء، كما أنها تتيح ضخ الخرسانة ومعالجتها أسفل خط المياه.

الفرشاة ذات الملاط المرشح بالداخل مصنوعة من قماش مزدوج الجدار حُقنت الخرسانة فيه. سطح هذا النوع من الفرشاة المليئة بالحصي معبّد بالحصي بشدة. يمكن أن تنتسرب المياه الجوفية من خلال نقاط الترشيح المنسوجة في القماش، ويمكن إطلاق الضغط الهيدروستاتيكي. تتوفر معاملات احتكاك أعلى بواسطة منسوجات نقطة الترشيح؛ لتعزيز تبديد الطاقة.



الشكل (١٦-٣) سرعات التدفق للقنوات غير المبطنة. (Highway Design Manual, 1992).

٣-٦-٣ حدود إجهاد القص:

لا تستطيع غالبية صرف المياه -التي قد تكون موجودة، أو تنشأ على الطرق- تحمل التحركات الجانبية، وعدم الاستقرار في التصريف. لقد حققت الاستقرار عندما تقاوم المادة التي تشكل حدود القناة بنجاح قوى التآكل للتدفق. لتقييم هذا النوع من النظام؛ يمكن استخدام مفاهيم الهيدروليكية الحدودية الصلبة.

يمكن استخدام تقنيات قوة الجر أو السحب لتقييم استقرار القناة؛ نظرًا لأن عمليات سرعة الجريان المسموح بها تجريبية بطبيعتها، فقد صُمم العديد من القنوات في فلوريدا وحول العالم باستخدامها. ومن ناحية أخرى؛ تأخذ طرق قوة الجر أو السحب في الاعتبار العمليات الفيزيائية الفعلية التي تحدث عند حاجز القناة، وتعطي تمثيلًا أكثر دقة لعمليات الانفصال والتآكل.

ينتج إجهاد القص على قاع القناة بواسطة القوة الهيدروديناميكية التي ينتجها الماء الذي يتحرك عبر القناة؛ من خلال تكوين قوة جر تستجيب مادة السطح أو القاعدة الترابية بمقاومة إجهاد القص هذا. وفقًا لنظرية قوة الجر؛ لا ينبغي أن ينتج عن إجهاد القص الناجم عن التدفق قوة أكبر من قوة مقاومة الجر لمادة الطبقة. إنتاج إجهاد القص المسموح به أو الحرج لمادة السطح أو القاعدة الترابية بواسطة قوة مقاومة الجر لمادة السطح أو الطبقة السفلية. المكون الفعال للقوة المؤثرة في جسم الماء الموازي لقاع القناة يساوي إجهاد القص في تدفق منتظم.

٧-٣ إجراءات تصميم قناة مجرى مائي:

في أغلب الأحيان؛ يُصمم المنشأ الهيدروليكي للطريق؛ مثل: العبارة أو الجسر جنبًا إلى جنب مع فحص قناة المجرى المائي. بشكل عام؛ الهدف هو تحريك المياه على طول الطريق أو تحته بطريقة تمنع إلحاق الضرر بالطريق أو المجرى المائي أو الممتلكات القريبة. لتقييم احتمالية حدوث المشكلات الناشئة عن التدخل المخطط له؛ يلزم -عادةً- إجراء تقييم للقناة الحالية. يجب أن يتمشى مستوى معلومات الدراسة المطلوبة مع المخاطر التي ينطوي عليها مسار العمل المقترح، وكذلك مع الحساسية البيئية للمجرى المائي والسهول الفيضية القريبة.

يوضح الأسلوب التالي خطوة بخطوة العملية التي ستطبق عادةً، على الرغم من أنها قد لا تكون مناسبة لجميع الاستخدامات المحتملة. الخطوة رقم ١: قم بتجميع ملف المشروع وبيانات الموقع.

جمع البيانات:

- الخرائط الطبوغرافية، ومخططات الموقع، وخرائط الموقع العام.
- القطاع الطولي للطريق.
- الصور.
- المراجعات الميدانية.
- بيانات التصميم في الهياكل المجاورة.
- قياس السجلات.
- بيانات الفيضانات التاريخية، والمعرفة المحلية.

دراسات من قبل وكالات أخرى:

- دراسات التأمين ضد الفيضانات.
- دراسات السهول الفيضية.
- دراسات مستجمعات المياه.

القيود البيئية:

- زحف السهول الفيضية.
- تعيين مجرى الفيضان.
- الالتزامات بمراجعة الوثائق.

معايير التصميم:

- الحصول على الاستشارة من الدليل والسياسة.

الخطوة رقم ٢: الاطلاع على نطاق المشروع..

- ١- تحديد مستوى التقييم:
- أ- استقرار القناة الحالية.
- ب- احتمال الضرر.



- ج- حساسية المجرى المائي.
٢- تحديد نوع التحليل الهيدروليكي:
أ- التقييم النوعي.
ب- تحليل القطاع الواحد.
ج- تحليل خطوة-المياه المرتدة.
د- تقنيات التحليل الخاصة.
٣- تحديد متطلبات معلومات المسح الإضافية:
أ- امتداد الطولية والجانبية لقاع المجرى المائي.
ب- مواقع المقاطع العرضية.
ج- ارتفاع الممتلكات المعرضة للفيضانات.
د- تفاصيل الهياكل القائمة.
هـ- خصائص مواد القاعدة الترابية والصفاف.
الخطوة رقم ٣: تقييم المتغيرات الهيدرولوجية، وحساب التصريفات لتكرارات مختارة؛ (انظر: الباب رقم ٢ (الهيدرولوجيا)).
الخطوة رقم ٤: إجراء التحليل الهيدروليكي.
١- إما تحليل القطاع الواحد؛ (انظر: القسم ٥-٥-٣):
أ- حدد قطاع المجرى المائي التمثيلي؛ (انظر: القسم ٢-٥-٣).
ب- حدد قيم معامل الخشونة n المناسبة؛ (انظر: القسم ٣-٥-٣).
ج- حساب علاقة مرحلة التصريف؛ (انظر: القسم ٥-٥-٣).
٢- أو إعداد القطاع الطولي لسطح الماء؛ (انظر: القسم ٦-٥-٣):
أ- قم بتضمين تقنيات التحليل الخاصة؛ (انظر: القسم ٧-٥-٣).
ب- المعايرة بعمق المياه عند المدخل المعروفة؛ (انظر: القسم ٤-٥-٣).
الخطوة رقم ٥: إجراء تحليل الاستقرار:
١- العوامل الجيومورفولوجية.
٢- العوامل الهيدروليكية.
٣- الاستجابة المجرى المائي للتغيير.
الخطوة رقم ٦: القيام بإنشاء إجراءات مضادة، (انظر: الباب رقم ٩ (تثبيت القناة، والجوانب، أو الصفاف)).
الخطوة رقم ٧: اجمع كل الوثائق المناسبة، وأنشئ تقريراً، وقم بتضمين معلومات أساسية في ملف.

٨-٣ إجراءات تصميم قناة على جانب الطريق:

توصف القناة على جانب الطريق بأنها قناة مفتوحة، غالباً ما تسير بالتوازي مع الطريق، وتحتوي ضمن حرم الطريق. غالباً ما يحتوي على قطاع عرضي شبه منحرف، أو على شكل حرف (V)، ومغطى بالعشب، أو نوع من التبتطينات الواقية للقنوات. عادةً ما تضع المواصفات الهندسية ومعايير السلامة الخاصة بالمشروع قيوداً كبيرة على المحاذاة، وقطاع القناة وعلى جانب الطريق وانحدارها.
الغرض الرئيس من القنوات المائية التي توجد على جانب الطريق؛ هو نقل الجريان السطحي المجمع إلى مواقع مصبات تفريغ مناسبة عن طريق جمعها من المناطق التي تستنزف إلى حرم الطريق والطريق نفسه. الغرض الثانوي للقناة على جانب الطريق؛ هو إما توفير مصب تفريغ إيجابي لأنظمة صرف المياه تحت سطح الأرض؛ (على سبيل المثال: الأنابيب السفلية)، أو لصرف المياه الجوفية من قاعدة الطريق؛ لمنع التشبع، وفقدان دعم الرصف.

١-٨-٣ الأهداف المرجوة من التصميم الهيدروليكي للقنوات:

يُعد نقل التدفقات المركزة بطريقة مُتحكَّم بها وفق تأثيرات بيئية مقبولة أحد أهداف التصميم الهيدروليكي للقناة. يهدف التصميم أو التحليل الهيدروليكي للقناة إلى تحديد:

- القوى الهيدروليكية، والتنبؤ بالسلوك المستقبلي للتيارات المائية والقنوات.
- الآثار الناجمة عن التغيرات في ملامح سطح الماء.
- التأثيرات الناتجة عن التغيرات في توزيعات التدفق الجانبي.
- التأثيرات الناجمة عن التغيرات في سرعة أو اتجاه التدفق.
- الحاجة إلى/أو القيمة لتبتطين القناة للتحكم في التآكل.

٢-٨-٣ منهجية التصميم:

يمكن أن تؤدي الظروف الهيدروليكية في القناة أو مجرى الصرف المائي إلى التآكل، حتى في حال الميول الطولية المنخفضة نسبياً للطرق. نتيجة لذلك، كثيراً ما تكون هناك حاجة إلى التحصين ضد التآكل لهذه القنوات. المصدر الأساسي لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب، وإنشاء تبطينا القنوات على جانب الطريق؛ هو إصدار ٢٠٠٥ من برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ١٥. وبالنسبة للقنوات المنشأة ذات قطاع القناة المتسق؛ فإن عمليات تصميم التبطين بدكة الحجارة بواسطة برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ١٥ مناسبة. إن إجهاد القص على تبطين القنوات، وإجهاد القص على التربة التي تحتها يظهر -أيضاً- في حسابات برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ١٥.

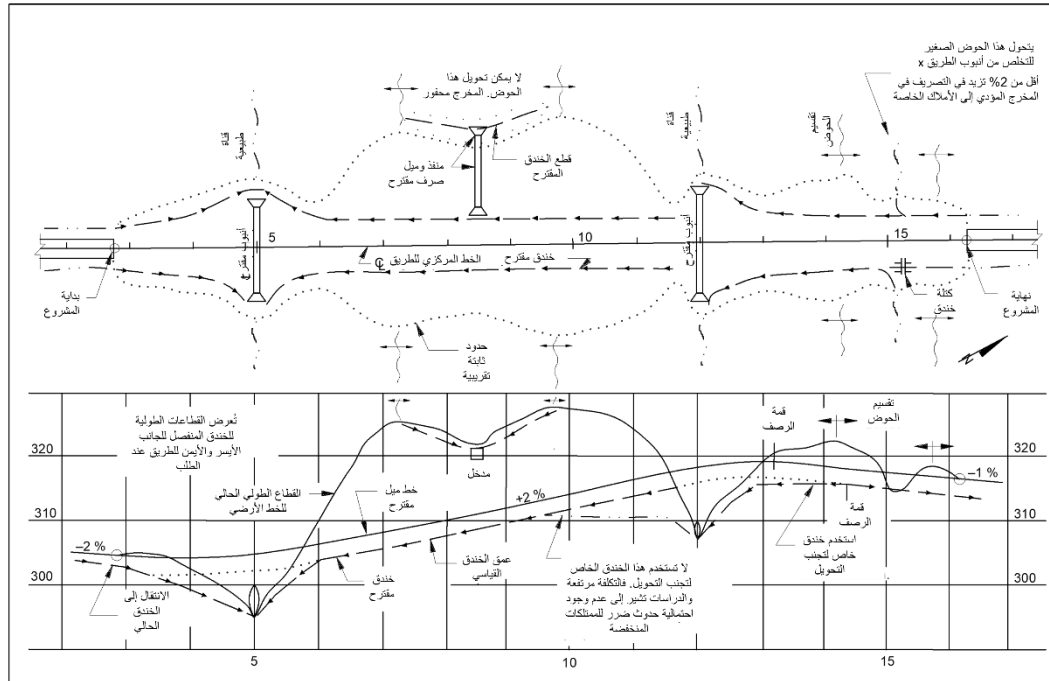
إجهاد القص؛ هو أساس أسلوب التصميم في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ١٥ لتقييم تبطينات القناة. تُعرف قوة الجر أو السحب الناتجة عن حركة الماء عبر القناة؛ باسم إجهاد القص. غالباً ما يحلّ إجهاد القص لأحداث الفيضانات التي استمرت ١٠ سنوات. عندما يكون إجهاد القص الناجم عن التدفق أكثر مما يمكن أن تحمله مادة تبطين القناة؛ تصبح القناة غير مستقرة.

٣-٨-٣ الإجراءات التفصيلية:

على الرغم من حقيقة أن كل مشروع مختلف؛ فإن التصميم الهيدروليكي للقنوات على جانب الطريق يلتزم -عادةً- بعمليات التصميم الأساسية الست التالية. قبل الوصول إلى التصميم النهائي؛ يمكن أن يكون من الضروري إجراء العديد من التجارب على تبطينات مختلفة؛ لإنشاء تصميم مثالي لنظام قناة جانب الطريق.

الخطوة رقم ١: وضع خطة لجانب الطريق.

- ١- اجمع بيانات الموقع المتوفرة.
- ٢- احصل على مخططات التخطيط الأفقي-الرأسي، أو أنشئه؛ مثل: شبكة الطرق، العبارات، والجسور.
- ٣- تحديد مواقع تقسيمات الأحواض الطبيعية، والتدفقات الخارجة للقنوات على جانب الطريق، ورسمها على المخطط. يوضح الشكل (٣-١٧) صورة لتخطيط قناة على جانب الطريق أو القطاع.
- ٤- تخطيط القنوات المقترحة على جانب الطريق؛ لتقليل أطوال تدفق التحويل.



الشكل (٣-١٧) مثال لقناة منشأة على جانب الطريق (AASHTO, 2007).

الخطوة رقم ٢: جمع بيانات القطاعات.

- ١- توفير عمق قناة كافٍ؛ لتصريف طبقة ما تحت الأساس، وتقليل آثار تجميد الذوبان.
- ٢- حدد ميول القناة العرضية؛ وفقاً لمواصفات التصميم الهندسي، للوصول، والسلامة، والاقتصاد، والجماليات.
- ٣- حدد عرض قاع القناة شبه المنحرفة.



٤- الإشارة إلى الخصائص التي قد تحد من تصميم القطاع العرضي:

- أ- قيود حرم الطريق.
- ب- الأشجار أو المناطق الحساسة بيئياً.
- ج- المنافع.
- د- أنظمة الصرف الحالية.

الخطوة رقم ٣: حدد ميل القناة.

- ١- في مخططات التخطيط الأفقي-الرأسي؛ قم برسم الميول الطولية الأولية، مع مراعاة عوامل المدخل والمخرج. (عادة ما تتحكم ميول الطرق في انحدارات الخندق على جانب الطريق في القطع).
- ٢- توفر ميل ٠,٣٪ كحد أدنى؛ لتقليل تراكم الرواسب والأحواض.
- ٣- ضع في اعتبارك كيف يمكن أن يؤثر نوع تبطين القنوات على الميل.
- ٤- تجنب المزايا التي يمكن أن تؤثر، أو تحد من الميل كلما أمكن ذلك؛ (على سبيل المثال: مواقع المرافق).

الخطوة رقم ٤: فحص إمكانيات التدفق، عند إجراء تعديلات المناسبة.

- ١- حدد تصريف التصميم عند نهاية المصب لجزء من القناة؛ (انظر: الباب رقم ٢-).
- ٢- تحديد القيم الأولية لمعامل الخشونة، والانحدار، وحجم القناة.
- ٣- تحديد العمق الأقصى المسموح به للقناة، مع مراعاة حد الحرية.
- ٤- قم بإجراء تحليل من قطاع واحد ومعادلة مانينغ؛ لغرض الحصول على سعة التدفق. إذا كانت السعة غير كافية؛ فيمكن إجراء التعديلات التالية:
- أ- زيادة عرض القاع.
- ب- جعل ميول القناة الجانبية أكثر انبساطاً.
- ج- جعل ميل القناة أكثر حدة.
- د- توفير تبطين قناة أكثر سلاسة.
- هـ- قم بتركيب مداخل منخفضة، وأنبوب صرف موازٍ تحت القناة؛ لتكملة سعة القناة.
- و- تقديم انتقالات سلسلة؛ كلما تغير قطاع القناة.
- ٦- عند الضرورة؛ قم بإضافة المزيد من قنوات التخزين لتحل محل تخزين السهول الفيضية، أو انخفاض تصريف الذروة، أو كليهما.

الخطوة رقم ٥: حدد ضرورة تبطين القناة أو حمايتها؛ (انظر: الجزء ٣-٦). اعتماداً على أدائها؛ تقسم أنواع النباتات المختلفة إلى ٤ فئات.

لدى مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) خياران؛ لتقييم مادة التبطين:

- الخيار رقم ١: يركز فقط- على إجهاد القص، وعلى حماية القناة أو التبطين. هذه التقنية التي استُخدمت لأول مرة في منتصف السبعينيات، لها اختبارات تبطين واسعة ومميزة؛ كونها سهلة التطبيق.
- الخيار رقم ٢: يأخذ في الاعتبار كلاً من إجهاد القص على تبطين القنوات، والمجاري المائية، وضغط الجز على التربة المحمية، ويتطلب إجراءات تجريبية ونجاحاً.

٣-٨-٤ الخيار رقم ١:

يعتمد الإجراء التالي على إجراء التصميم؛ بواسطة برنامج HEC-15 (1988)، الذي يأخذ في الاعتبار إجهاد القص على التبطين. كما يمكن -أيضاً- استخدام صندوق الأدوات الهيدروليكي؛ (انظر: الجزء الفرعي ٣-٦-٣).

- ١- حدد تبطينات مرشحة، وحدد قيمة إجهاد القص المسموح بها، وعامل أمان مناسب؛ (الجدول ٣-٦).
- ٢- استخدم المعادلة (٣-١٦) لحساب أقصى عمق، وتأكد من أن هذا العمق لا يتجاوز العمق (مثل: الخلوص الرأسي) المقدم في قطاع الطريق النموذجي أو القياسي:

$$d = \frac{tp}{(SF) \gamma So} \quad \text{المعادلة (٣-١٦)}$$

حيث إن:

Tp = إجهاد القص المسموح به، (نيوتن لكل متر مربع).

معامل الأمان = ١,٠٠، (في معظم الحالات).

γ = وزن وحدة الماء، (٩,٨٠٧ نيوتن لكل متر مكعب).

S_0 = لذلك = قناة الميل السفلي، (م/م).

حدد المساحة ونصف القطر الهيدروليكي المقابل للعمق المسموح به بناءً على هندسة القناة

٣- الجدول (٧-٣).

٤- حل معادلة مانينغ؛ لتحديد الحد الأقصى لتصريف القناة. ينبغي أن يقتصر طول الطريق أو صرف المياه على منطقة تولد أقل من أو تساوي هذه الكمية.

الجدول (٣-٣) ملخص تدابير الحماية من إجهاد القص المسموح بها (Henderson, 1966).

τ_p (نيوتن لكل متر مربع)	نوع التبطين (صندوق الأدوات الهيدروليكي، تحليل القناة)
١٧٧,٢	فئة نباتية (أ).
١٠٠,٦	فئة نباتية (ب).
٤٧,٩	فئة نباتية (ج).
٢٨,٧	فئة نباتية (د).
١٦,٨	فئة نباتية (د).
٧,٢	شبكة الورق المنسوجة.
٢١,٥	الشبكة اللبغية القماشية المنسوجة.
٢٨,٧	الألياف الزجاجية الفردية.
٤٠,٧	الألياف الزجاجية الفردية.
٦٩,٤	الألياف الزجاجية الفردية.
٧٤,٢	حصيرة خشبية منحنية.
٩٥,٨	الحصيرة الاصطناعية.
	تبطين بالحصي والركام.
٩٥,٨	$D_{50} = 150$ مم.
١٩١,٥	$D_{50} = 300$ مم.
التبطينات الخاصة:	
	الحصي.
١٥,٨	$D_{50} = 25$ مم.
٣١,٦	$D_{50} = 50$ مم.
١٨٨,٩٨	حصيرة تقوية العشب.
١٨٨,٩٨	سم ١٥,٣ - إلى ٤٥,٧ من صماد.
٤٧٢,٤٦	الشبكة الجيولوجية ١٠ سم.



نوع التثبيت (صندوق الأدوات الهيدروليكي، تحليل القناة)	τ_p (نيوتن لكل متر مربع)
كتل الإنشاء الخرسانية (القاعدة الترابية للفلتر الحبيبي).	$944,92 <$
كتل أسغينية (مع فتحة صرف).	$1181,15 <$
التربة الأسمنتية (٨٪ أسمنت).	$2126 <$

٥-٨-٣ الخيار رقم ٢

يعتمد الإجراء التالي على تقنية (٨)، الخاصة بـ HEC-15 (2005)، التي تأخذ في الاعتبار كلاً من إجهاد القص على طبقة التثبيت وضغط القص على التربة المحمية.

- ١ - تحديد كمية التصريف التصميمي.
 - ٢ - اختيار نوع التثبيت للتشغيل التجريبي. يُنصح بتحديد ما إذا كانت طبقة التثبيت المؤقتة مطلوبة منشائاً أم للشكل الخصري.
 - ٣ - حدد أقصى عمق. يتطلب التثبيت بالعشب على عدة خطوات:
- أ - باستخدام المعادلة (١٧-٣) حدد أقصى إجهاد -مسموح به- لجز التربة .

$$tp_{soil} = 0.75aD$$

(المعادلة (١٧-٣))

حيث إن:

τ_p ، تربة = إجهاد القص المسموح به في القناة؛ (نيوتن لكل متر مربع).
 $D_{(٧٥)}$ = حجم التربة حيث تكون ٧٥٪ من المادة أدق؛ (مم).

ب- تقدير إجهاد القص باستخدام المعادلة (١٨-٣).

$$Cn = 0.35Cs^{0.10}h^{0.528}$$

(المعادلة (١٨-٣))

حيث إن:

Cn = معامل خشونة العشب؛ من الجدول (٧-٣).
 Cs = معامل صلابة الشدة؛ من الجدول (٤-٣):
 h = ارتفاع الجذع؛ (م).

$$td = \left[\frac{1.26\tau_e}{(1-Cf)} \left(\frac{Cn}{ns} \right)^2 \right]^{5/9}$$

(المعادلة (١٩-٣))

حيث إن:

τ_d = إجهاد القص عند أقصى عمق نيوتن لكل متر مربع.

τ_e ، التربة = τ_p

$ns = 0.015(D_{٧٥})^{1/6}$

Cf = عامل غطاء العشب.

الجدول (٣-٤) الكثافة ومعامل الصلابة.

الحالة	ممتازة	جيدة جدًا	جيدة	مقبولة	ضعيفة
C_s	٥٨٠	٢٩٠	١٠٦	٢٤	٨,٦

ج- يقدر أقصى عمق باستخدام المعادلة (٣-٢٠).

$$d = \frac{\tau_d}{(SF) \gamma S_0} \quad \text{المعادلة (٣-٢٠)}$$

حيث إن:

T_d = إجهاد القص عند أقصى عمق؛ (نيوتن لكل متر مربع).

معامل الأمان = ١,٠.

γ = وزن وحدة الماء؛ (٩,٨٠٧ نيوتن لكل متر مكعب).

S_0 = قناة الميل السفلي؛ (م/م).

حدد المساحة، ونصف القطر الهيدروليكي المقابل للعمق، من الخطوة رقم ٥ ج.

احسب متوسط القص الحد باستخدام المعادلة (٣-٢١).

$$\tau_o = \gamma R S_0 \quad \text{المعادلة (٣-٢١)}$$

حيث إن:

T_o = متوسط إجهاد القص الحدودي؛ (نيوتن لكل متر مربع).

γ = وزن وحدة الماء؛ (٦٢,٤ نيوتن لكل متر مربع).

R = نصف القطر الهيدروليكي للتدفق؛ (م).

S_0 = قناة الميل السفلي؛ (م/م).

تقدير قيمة n معامل الخشونة في معادلة مانينغ، المناسبة لنوع تبطين القنوات والمجاري المائية، التبطين من المعادلة (٣-٢٢).

$$n = C n \tau_o^{-0.4} \quad \text{المعادلة (٣-٢٢)}$$

حيث إن:

T_o = إجهاد القص عند أقصى عمق؛ (نيوتن لكل متر مربع).

ينبغي حل المعادلة ٣,٧؛ وهي معادلة مانينغ لتحديد الحد الأقصى لتصريف القناة.

بالنظر إلى أن المعادلة ٣-٢١ كانت تقريبية، ثم حدد إجهاد القص الفعال باستخدام المعادلة (٣-٢٣).

$$\tau_e = \tau_d (1 - C_f) \left(\frac{n_s}{n} \right)^2 \quad \text{المعادلة (٣-٢٣)}$$

حيث إن:



T_e = إجهاد القص عند أقصى عمق؛ (نيوتن لكل متر مربع).

الخطوة رقم ٦: افحص تأثيرات المصب، ونقاط المخرج.

١- حدد أي آثار سلبية يمكن أن تنشأ عن أي مما يلي عند مخرج القناة؛ مثل: الفيضانات الغزيرة، أو تآكل الخصائص في اتجاه المصب:

- أ- الارتفاع أو الانخفاض في التصريف.
- ب- الارتفاع في سرعة التدفق.
- ج- تركيز التدفق.
- د- تغيير في جودة المياه الخارجة.
- هـ- تدفق مستجمعات المياه يجري تحويله.

٢- من أجل أن تقلل أي آثار سلبية حددت في الخطوة رقم ٦؛ أوجد هناك عدة خيارات ممكنة:

- أ- تعزيز تبطين قناة اتجاه المصب، أو السعة، أو كليتهما.
- ب- إنشاء مخارج أو هياكل أخرى، مع التحكم في سرعة الجريان؛ لنشر التدفق المركز للقناة؛ (انظر: الباب الخامس).
- ج- إقامة هياكل أو أحواض تحكم للتسرب أو الترسيب؛ لمنع زيادة الجريان السطحي، أو الرواسب، أو كليتهما (الباب السابع).
- د- توقف عن القيام بعمليات تحويل؛ تتسبب في حدوث أضرار، في اتجاه المصب، ولا يمكن إصلاحها، مقابل أموال أقل.

الجدول (٣-٥) معاملات الخشونة وعناصر الخشونة في معادلة مانينغ.

فئة التبطین	نوع التبطین	K_s (بالمم)	قیم معامل الخشونة				
			نطاق أعماق القناة				
			$0 - 150$ مم	$150 - 600$ مم	< 600 مم		
تبطینات صلبة:	خرسانة دكة حجارة محشوة بملاط حجر البناء تربة أسمنتية أسفلت		0.15 0.40 0.42 0.25 0.18	0.13 0.30 0.32 0.22 0.16	0.13 0.28 0.30 0.20 0.16		
	تربة عارية قطع الصخور		0.23 0.45	0.20 0.35	0.20 0.25		
	مؤقتة*:	شبكة ورقية منسوجة شبكة الجوت المرنة شبكة من الألياف الزجاجية قش مع شبكة حصيرة خشبية مجمدة حصيرة اصطناعية	1.2 11.6 10.7 36.6 33.5 19.8	0.16 0.28 0.28 0.65 0.66 0.36	0.15 0.22 0.22 0.33 0.35 0.25	0.15 0.19 0.19 0.25 0.28 0.21	
		تکسية بالحصى:	25 سم D . 25 بوصة D .	25 50	0.44 0.66	0.33 0.41	0.30 0.34
		تکسية بكسر الحجارة الصخرية:	150 بوصة D . 300 بوصة D .	150 300	0.104 —	0.69 0.78	0.35 0.40

ملاحظة:
القيم المدرجة؛ هي قيمة تمثيلية لنطاقات العمق ذات الصلة، ومعاملات خشونة مانينغ تختلف باختلاف عمق التدفق. وبالنسبة لفئة التبطین بالتکسية الحجرية (دكة الحجارة) بشبكة بمتوسط قطر $D = K_s$. قدره 50 بوصة لبعض التبطینات (المؤقتة) تصبح دائمة عند دفنها.

الجدول (٦-٣) معاملات خشونة النمذجية.

فئة تبطين القناة	نوع تبطين القناة	قيمة معامل الخشونة في معادلة مانينغ n^a		
		الحد الأدنى	الحد النموذجي أو القياسي	الحد الأقصى
تبطينات ثابتة:	خرسانة	٠,٠١١	٠,٠١٣	٠,٠١٥
	دكة حجارة محشوة بملاط	٠,٠٢٨	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠
	حجر البناء	٠,٠٣٠	٠,٠٣٢	٠,٠٤٢
	تربة أسمنتية	٠,٠٢٠	٠,٠٢٢	٠,٠٢٥
	أسفلت	٠,٠١٦	٠,٠١٦	٠,٠١٨
قناة غير مبطنة:	تربة عارية	٠,٠١٦	٠,٠٢٠	٠,٠٢٥
	قطع الصخور؛ (ناعم، ومنظم)	٠,٠٢٥	٠,٠٣٥	٠,٠٤٥
آر إي سي بي:	نسيج نسج مفتوح	٠,٠٢٢	٠,٠٢٥	٠,٠٢٨
	حصيرة التحكم في الانجراف	٠,٠٢٨	٠,٠٣٥	٠,٠٤٥
	فرشة تقوية العشب	٠,٠٢٤	٠,٠٣٠	٠,٠٣٦

ملاحظات:

أ بناءً على بيانات من (1968), McWhorter, et al. (1970), Cox, et al. (1980), Kouwen, et al. (1968) و Thibodeaux (1968).

ب يمثل الحد الأدنى لقيمة خشونة الجيوب؛ وتتضمن: (القيم النمذجية، أو القياسية، والقيم القصوى) بدرجات متفاوتة من خشونة الشكل.

الجدول (٧-٣) معامل خشونة الحشائش لفئات المبطات.

هـ	د	جـ	ب	أ	فئة المبطات
٤٠	١٠٠	٢٠٠	٦١٠	٩١٠	ارتفاع الجذع بالبوصة
٤٤	٣٣	٤٧	٨١	٣٩٠	C_s
٠,٠٩٣	٠,١٤٧	٠,٢٢٠	٠,٤١٨	٠,٦٠٥	C_n

٦-٨-٣ أمثلة على القطاع الأحادي:

١-٦-٨-٣ الخيار رقم ١ - مثال:

حدد الحد الأقصى للتصريف، لخندق متوسط، مبطّن بدكة الحجارة (متوسط القطر $D_{50} = ٠,١٥٠$ م). يبلغ عمق الخندق ٠,٩ متر من كتف الطريق.

المعطيات:

$$S_o = ٠,٠١٥ \text{ م/م}$$

$$B = ١,٠ \text{ م}$$

$$Z = ٤$$

$$SF = ١,٠$$

- ١- التبتين بدكة الحجاره والحصى (القطر المتوسط = ٠,١٥٠ م) له إجهاد قص مسموح به $T_p = ١١٣$ نيوتن لكل متر مربع.
- ٢- حدد العمق المسموح به من المعادلة (١٦-٣):

$$d = \frac{\tau_p}{(SF)\gamma_{So}} = \frac{113}{1,0(9810)(0,015)} = 0,768 \text{ m}$$

العمق المسموح به أقل من عمق الخندق (٠,٩ م).

- ٣- تحديد منطقة التدفق ونصف القطر الهيدروليكي من الخصائص الهندسية لقناة شبه منحرف للعمق المسموح به:

$$\begin{aligned} A &= Bd + Zd^2 = 1(0,768) + 4(0,768)^2 = 3,13 \text{ m}^2 \\ P &= B + 2d(Z^2 + 1)^{0,5} = 1 + 2(0,768)(4^2 + 1)^{0,5} = 7,33 \text{ m} \\ R &= A/P = 3,13/7,33 = 0,427 \text{ m} \end{aligned}$$

- ٤- من الجدول (٦-٣) نأخذ قيمة معامل الخشونة = ٠,٣٥.
- ٥- حل معادلة مانينغ (المعادلة ٦-٣):

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} J^{1/2} = \frac{1}{0,035} (3,13)(0,427)^{2/3} (0,015)^{1/2} = 6,21 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

ينبغي أن يقتصر التدفق في هذه القناة على التدفق المحسوب؛ من خلال توفير مدخل تنفيس أو عبارة، أو عن طريق توفير تبطينات ذات مقاومة أكبر للقص.

٢-٦-٨-٣ الخيار رقم ٢ - مثال:

حدد الحد الأقصى للتصريف، لقناة مبطنة بالعشب؛ بالنظر إلى الشكل، وظروف التربة، والميل التالية.
المعطيات:

الشكل: شبه منحرف ب = ٣ م، $Z = ٣$

التربة: الرمل الطري (تصنيف رملي طيني) $D_{v0} = ٢$ ، $PI = ٥$ مم.
الدرجة: ٥,٠ بالمائة.

يُنَجَز الحل؛ باستخدام الإجراء الوارد في الجزء (٦-٣) لنهج التصريف الأقصى.

- ١- التبتين المرشح؛ هي عبارة عن عشب، يتكون في حالة جيدة، ويبلغ ارتفاع ساقه ٠,١٥٠ متر.
- ٢- حدد أقصى عمق للتبتين بالعشب، وهذا يتطلب عدة خطوات. أولاً: تحديد إجهاد القص المسموح به للتربة. من المعادلة ٣-١٧:

$$T_p = \alpha D_{v0} = ٠,٧٥(٢) = ١,٥ \text{ N / m}^2$$

لتقدير القص؛ سنحتاج -أو- إلى استخدام المعادلة (١٨-٣) لتقدير رقم المنحنى المأخوذ من الجدول (٧-٣):

$$td = \left[\frac{1,26\tau_e}{(1-Cf)} \left(\frac{Cn}{ns} \right)^2 \right]^{5/9} = 0,35(106)0,1(0,150)0,528 = 0,205$$

بعد ذلك نقوم بتقدير الحد الأقصى لإجهاد القص المطبق؛ باستخدام المعادلة (١٩-٣).

$$td = \left[\frac{1,26\tau_e}{(1-Cf)} \left(\frac{Cn}{ns} \right)^2 \right]^{5/9} = \left[\frac{1,26(1,5)}{(1-0,9)} \left(\frac{0,205}{0,016} \right)^2 \right]^{5/9} = 87 \text{ N/m}^2$$

الحد الأقصى للعمق من المعادلة (٢٠-٣) مع عامل أمان ١,٠ هو:



$$d = \frac{\tau d}{(SF)\gamma So} = \frac{87}{(1,0)9800(0,05)} = 0,18 \text{ m}$$

٣- حدد المنطقة، ونصف القطر الهيدروليكي المقابل للعمق المسموح به؛ بناءً على هندسة القناة.

$$\begin{aligned} A &= Bd + Zd^2 = 0,90(0,18) + 2(0,18)^2 = 0,259 \text{ m}^2 \\ P &= B + 2d(Z^2 + 1)^{0,5} = 0,9 + 2(0,18)(3^2 + 1)^{0,5} = 2,04 \text{ m} \\ R &= A/P = (0,259)/(2,04) = 0,127 \text{ m} \end{aligned}$$

٤- تقدير قيمة معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ، المناسبة لنوع طبقة التبطين من المعادلة (٣-٢١)، ولكن احسب -أولاً- متوسط إجهاد القص.

$$\begin{aligned} \tau_o &= \gamma RS_o = 9810(0,127)(0,05) = 62,3 \text{ N/m}^2 \\ n &= Cn\tau_o^{-0,4} = 1,0(0,205)(62,3)^{-0,4} = 0,039 \end{aligned}$$

٥- حل معادلة مانينغ لتحديد الحد الأقصى لتصريف القناة.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} J^{1/2} = \frac{1}{0,039} (0,259)(0,127)^{2/3} (0,05)^{1/2} = 0,38 \text{ m}^3/\text{sec}$$

نظرًا لأن المعادلة (٣-١٩) المستخدمة في الخطوة رقم ٢ هي معادلة تقريبية؛ تحقق من إجهاد القص الفعال باستخدام المعادلة (٣-٢٣):

$$te = td(1 - Cf) \left(\frac{ns}{n} \right)^2 = 87(1 - 0,9) \left(\frac{0,016}{0,039} \right)^2 = 1,46 \text{ N/m}^2$$

نظرًا لأن هذه القيمة أقل من..... ولكنها قريبة من قيمة τ_p للتربة، التي تساوي ١,٥ نيوتن لكل متر مربع؛ فإن الحد الأقصى للتصريف هو ٠,٣٨ متر مكعب لكل ثانية.

٤- العبارات:

٤-١ مقدمة:

٤-١-١ نظرة عامة:

يرتبط التصميم الهيدروليكي الموصوف هنا بالطرق والشوارع، ويهدف إلى صرف مياه الأمطار من الطرق الأسفلتية عن طريق العبارات المائية التي تعبر نظام الطرق. يركز هذا الباب بشكل خاص على تصميم العبارات، ويقدم الأقسام التالية:

- ممارسات وأساليب التصميم الهيدروليكي، الجزء (٤-٢).
- إجراءات التصميم، الجزء (٤-٣).
- التوثيق، الجزء (٤-٤).
- نظرة عامة على توجيه التخزين، الجزء (٤-٥).
- نظرة عامة على المدخل المستدق، الجزء (٤-٦).
- نظرة عامة على العبارات مكسورة الظهر، الجزء (٤-٧).

٤-١-٢ تعريف عبارة:

تتمثل وظيفة العبارات في نقل المياه السطحية عبر أو من حرم الطريق. بالإضافة إلى هذه الوظيفة الهيدروليكية؛ ينبغي أن تحمل - أيضاً- حركة المرور على الطرق وأحمال التربة؛ ولذلك فإن تصميم العبارات يتضمن كلاً من التصميم الهيدروليكي والإنشائية (MoTLS, 1992).

تتوفر العبارات في مجموعة متنوعة من الأحجام والأشكال والمواد. تؤثر هذه العوامل -إلى جانب العديد من العوامل الأخرى- في قدرة العبارة وأدائها العام. قد تختلف أحجام العبارات من ٠,٤ متر من الأنابيب الدائرية إلى الأقسام المقوسة الكبيرة للغاية، التي تستخدم -أحياناً- بدلاً من الجسور.

الشكل الأكثر شيوعاً للعبارة؛ هو الشكل الدائري، ولكن تستخدم -أيضاً- الأشكال المقوسة والصندوقية والبيضاوية. تُستخدم أشكال قوس الأنبوب، والأشكال البيضاوية -عموماً- في الأنابيب البديلة أو الدائرية؛ حيث يوجد غطاء محدود أو ملء مفرط. تستخدم العبارات المقوسة في المواقع التي يكون فيها انسداد مجرى مائي أقل ميزة مرغوبة، وحيث تكون الأساسات مناسبة للدعم الإنشائي. يمكن تصميم العبارات الصندوقية؛ لتمرير التدفقات الكبيرة، وتناسب أي حالة موقع تقريباً. يفسح الصندوق أو العبارة المستطيلة نفسها بسهولة أكبر من الأشكال الأخرى لحالات ارتفاع عمود المياه عند المدخل المسموح بها؛ حيث قد يقلل الارتفاع، وزيادة الفتحة الكلية للعبارة، ويكون قادراً على تلبية متطلبات الموقع.

تعتمد المادة المختارة للعبارة على عدة عوامل؛ مثل: المتانة، والقوة الإنشائية، والخشونة، وظروف القاع، ومقاومة التآكل، وضيق المياه. المواد الأكثر شيوعاً المستخدمة في العبارات؛ هي الخرسانة، والحديد؛ (ألمس، ومموج).

هناك عامل آخر يؤثر -بشكل كبير- في أداء العبارات؛ وهو تكوين مدخل العبارات. قد يتكون مدخل العبارات من جزء بارز (أنبوب) من جسم الطريق أو منحدر إلى ميل الجسر الترابي. تحتوي المداخل الأخرى على جدران احتجاز رأسية، وجدران الاجنحة، وبلاطات سفلية أو أقسام نهائية قياسية من الخرسانة أو المعدن.

تُعرّف العبارات على النحو التالي:

- هيكل يمكن تصميمه هيدروليكيًا؛ للاستفادة من الغمر، ولزيادة السعة الهيدروليكية.
- هيكل يُستخدم لنقل الجريان السطحي عبر الجسور الترابية.
- هيكل يختلف عن هياكل الجسور، عادة ما يكون مغطى بجسر ترابي، ويتكون من مادة انشائية حول المحيط بأكمله، رغم أن بعضها مدعوم بقواعد منتشرة حيث يكون قاع المجاري المائي بمثابة الجزء السفلي للعبارة.
- يُطلق على الهيكل الذي يبلغ طول فتحته ٦ أمتار أو أقل، عند الخط المركزي، بين الأطراف القصوى لفتحة واحدة أو فتحات متعددة؛ عبارة الطريق. إذا كان هذا العرض أكثر من ٦ أمتار؛ فإن الهيكل يسمى الجسر. ومع ذلك فإن الهيكل (الطريق أو الجسر) تم تناوله في هذا الباب، بغض النظر عن طول الفتحة (البحر).

٢-٤ التصميم الهيدروليكي:

١-٢-٤ عام:

يتكون التصميم الهيدروليكي للعبارة؛ من تحليل لأداء العبارة، في نقل التدفق من أحد جانبي الطريق إلى الجانب الآخر. يجب على المهندس القائم على التصميم تحديد معدل تكرار الفيضان أو تكرار الفيضان التصميمي، وتقدير التصريف التصميمي لهذا التكرار، وتحديد المنسوب المسموح به للمياه عند المدخل؛ بناءً على اعتبارات الفيضان التصميمي المختار وعمود المياه أمام العبارة. يمكن تحديد حجم ونوع العبارة وفق معدل التصريف التصميمي، منسوب المياه الحاكم عند المدخل أمام العبارة، وعند المخرج (ماء عقب العبارة)، وتحديد سرعة المخرج المسموح بها؛ (MoTLS, 1992). ويُلاحظ في حالة السرعات العالية؛ تفضيل استخدام مبدد للطاقة؛ (انظر: التفاصيل الواردة في الباب ٥).

يُعد التحليل النظري الدقيق للتدفق للعبارة معقداً للغاية؛ لأن ما يلي مطلوب (ASSHTO, 2014):

- تحليل التدفق غير المنتظم، مع مناطق ذات تدفق متغير تدريجياً، وسريع التغير.
- تحديد كيفية تغير نوع التدفق، مع تغير معدل التدفق وارتفاعات المياه.
- تطبيق حسابات الماء الراجع، والتراجع، والطاقة، وتوازن الزخم، أو كمية الحركة.
- تطبيق نتائج دراسات النماذج الهيدروليكية.
- تحديد ما إذا كانت القفزات الهيدروليكية تحدث، وما إذا كانت داخل أو أسفل العبارة.

٢-٢-٤ الممارسة القياسية:

يعد استخدام برنامج HDS-5 (FHWA, 2012) هو الممارسة القياسية للتصميم الهيدروليكي للعبارات. يمتلك مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) خيار إجراء تحليل؛ باستخدام المعادلات الموضحة في هذا القطاع، أو استخدام برنامج يتوافق مع هذه المعادلات. ويعد الشكل الأكثر فاعلية للقناة؛ هو الأنبوب (الذي يُفضل -عادةً- مع التصريفات الصغيرة) متبوعاً بشكل الصندوق، ثم القوس، والشكل الدائري، الذي يمكن اختياره في المواقع ذات الخصائص الجيولوجية السيئة.

تتطلب الممارسات القياسية التالية على العبارة؛ (AASHTO, 2014):

- ينبغي أن يشتمل التصميم المكتمل للعبارة على الجوانب: الإنشائية، والبيئية، والهيدروليكية.
- ينبغي أن يأخذ اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب مواد العبارة في الاعتبار، والعمر التشغيلي المرغوب للعبارة، وظروف الموقع التي تؤثر في عمر الخدمة هذا. وتشمل هذه العوامل: التآكل، والعوامل الإنشائية أو الإنشائية (ارتفاع التربة)، وتكاليف الاستبدال بما يتناسب مع المخاطر في الموقع.
- ينبغي فحص العبارة وصيانتها بانتظام؛ للتأكد من أنها تعمل على النحو المصمم.
- ينبغي أن يكون الفيضان الزائد المختار متسقاً مع فئة الطريق، ومناسباً للمخاطر في الموقع.
- ينبغي أن يكون معدل تكرار الفيضان أو تكرار الفيضان -التصميمي والمختار- متسقاً مع تصنيف الطريق. ينبغي النظر في معدل تكرار أو تكرارات الفيضانات -الأكثر من معدل تكرار الفيضان أو تكرار الفيضان التصميمي- إذا كانت هناك تأثيرات ضارة محتملة في جانبي الطريق أو في الاستقرار الإنشائي/سلامة جسر الطرق.
- ينبغي أن تتضمن معلومات المسح السمات الطبوغرافية، وخصائص العبارة، والحياة المائية، ومعلومات المياه العالية، والهياكل القائمة، وغيرها من المعلومات الخاصة بالموقع ذات الصلة.
- يجب التحقق من موقع العبارة في كل من المخطط والقطاع الطولي؛ لتقليل احتمالية تراكم الرواسب في قناة أو أنبوب العبارة.
- تجنب الموازنة بين المدخرات في تكلفة الاستخدامات المتعددة (المنافع، وممر المخزون، والحياة البرية، والوصول إلى الأرض) مقابل مزايا المرافق المنفصلة.
- ينبغي تصميم العبارة لاستيعاب الحطام، أو ينبغي وضع الترتيبات المناسبة للصيانة الخاصة بالتخلص من الحطام.
- ينبغي أن يأخذ الاختيار المناسب للمواد في الاعتبار عمر الخدمة الذي يشمل التآكل.
- ينبغي تحديد موقع العبارة وتصميمها؛ حيث تمثل الحد الأدنى من المخاطر على حركة المرور والأشخاص. ينبغي أن يتضمن التصميم -أيضاً- اعتبارات بيئية، أو جمالية، أو سياسية، أو مزعجة، ومتطلبات استخدام الأراضي.
- ينبغي أن تتناسب تفاصيل الوثائق الخاصة بكل موقع عبارة مع المخاطر وأهمية العبارة. علاوة على ذلك، ينبغي تجميع بيانات وحسابات التصميم بطريقة منظمة، والاحتفاظ بها للرجوع إليها في المستقبل.
- حيثما كان ذلك عملياً؛ ينبغي توفير بعض الوسائل لوصول الأفراد والمعدات، ولتسهيل الصيانة.

١-٢-٤ التصريف التصميمي:

عادةً ما يقدر تصميم نموذج التصريف المستخدم في تصميم العبارات على أساس فترة تكرار محددة سلفاً، ويُصمَّم العَبارة ليعمل بطريقة تكون في حدود المخاطر المقبولة عند معدل التدفق هذا. يجب أن يُصمَّم العَبارة لاستيعاب الحد الأدنى لفترات التكرار التالية؛ (MoTLS, 1992)، مع إجراء تعديل يجعل الحد الأدنى لفترة العائد هو المقياس المناخي لمدة ٣٠ عامًا:

فئة التصميم	الفصل الزمني
طرق شبه سريعة:	١٠٠ عام.
طرق شريانية:	٥٠ عام.
طرق مجمعة:	٥٠ عام.
طرق محلية:	٢٥ عام.
مصارف مياه السيول الحضرية:	٥ سنوات.

يجب أن تكون العبارات مصممة لتمرير فيضانات أكبر من تلك المذكورة أعلاه؛ حيث يمكن تبرير ذلك الضرر المحتمل للممتلكات المجاورة، أو الأرواح البشرية، أو الفقد في الطاقة المالية الفادحة بسبب الفيضانات؛ (MoTLS, 1992).

سُيُصمَّم العبارات من أجل التصريف المستمر، الذي -عادة- ما يكون ذروة التصريف. سيؤدي ذلك إلى بنية ذات حجم متحفظ، حيث يتوفر التخزين المؤقت ولكن غير مستخدم؛ (ASSHTO, 2014).

٢-٢-٤ قطاع التحكم:

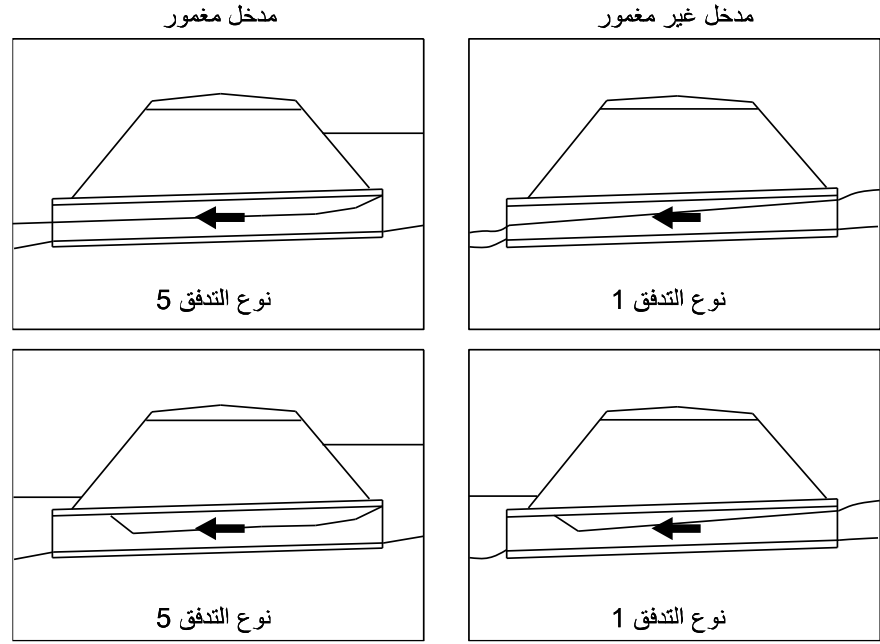
قطاع التحكم بالتدفق؛ هو المكان الذي توجد فيه علاقة فريدة بين معدل التدفق وارتفاع سطح الماء في منبع التحكم في المدخل، وتحكمه هندسة المدخل. التحكم في المخرج؛ محكوم بمجموعة من مواصفات هندسة مدخل العبارات، وخصائص العبارات والمياه، أو العمق الحرج للتدفق، أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية.

٣-٢-٤ الحد الأدنى من الأداء:

يُفترض الحد الأدنى من الأداء؛ من خلال تحليل كل من التحكم في كل من المدخل، والمخرج، واستخدام أعلى مستوى لعمود المياه أمام العبارة. قد تعمل العبارة بشكل أكثر كفاءة في بعض الأحيان (تدفق أكثر لمنسوب معين للمياه عند المدخل) لكنه لن يعمل بمستوى أداء أقل من المحسوب.

٣-٢-٤ التحكم في المدخل:

يوضح الشكل (١-٤) أنواع التحكم في التدفق في المدخل، ويعتمد نوع تدفق (USGS, 1982) على غمر نهايات مدخل ومخرج العبارة. في كل هذه الأمثلة؛ يكون قطاع التحكم في نهاية مدخل العبارة. واعتمادًا على المياه؛ يمكن أن تحدث قفزة هيدروليكية في اتجاه القناة أو المجرى المائي.



الشكل (١-٤) أنواع التحكم في المدخل (FHWA, 2012).

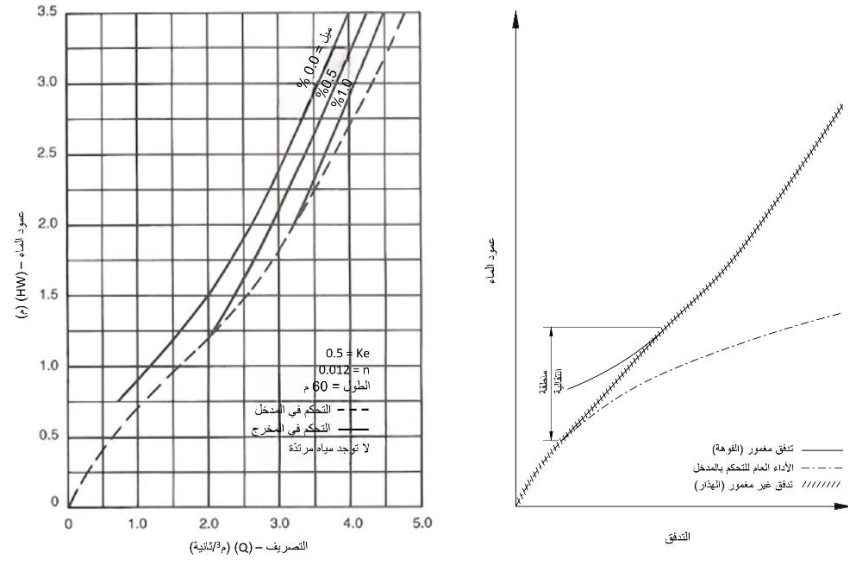
١-٣-٢-٤ العوامل المؤثرة في التحكم في المدخل:

نظرًا لأن عنصر التحكم يقع في نهاية المنبع؛ فإن ارتفاع عمود المياه أمام العبارة وعوامل المدخل -فقط- هي التي تؤثر في أداء العبارة:

- يقاس عمق عمود المياه أمام العبارة من خط قاع قطاع التحكم في المدخل إلى سطح حوض المنبع.
- منطقة المدخل هي منطقة قطاع القناة أو المجرى المائي لوجه العبارة. تكون -بشكل عام- منطقة وجه المدخل، وهي نفسها منطقة أنبوب العبارة، ولكن بالنسبة للمداخل المستدقة؛ تكبر منطقة المدخل، ويكون قطاع التحكم في المخرج.
- يصف تكوين المدخل نوع المدخل، وبعض تكوينات المداخل النموذجية؛ وهي إسقاط حافة رفيعة ومترى وحواف مربعة في جدار رأسي وحافة مشطوفة.
- عادة ما يكون شكل المدخل هو نفسه شكل العبارة. ومع ذلك يمكن تكبيره كما في حالة المدخل المستدق. الأشكال النموذجية: مستطيلة، ودائرية، وبضاوية. عندما يكون وجه المدخل بحجم أو شكل مختلف عن العبارة؛ فإن إمكانية وجود قطاع تحكم إضافي داخل أنبوب العبارة موجود.
- يؤثر ميل مستوى أنبوب العبارة في عملية التحكم في مدخل العبارة، لكن هذا التأثير ضئيل وبسيط. تفترض الرسوم البيانية لعملية التحكم في مداخل العبارة انحدارًا بنسبة ٢٪ لمصطلح تصحيح الميل (S ٠.٥ لمعظم أنواع مدخل العبارة). ينتج عن هذا خفض ارتفاع عمود المياه عند المدخل المطلوب بمقدار ٠.٠١D.

٢-٣-٢-٤ الهيدروليكية:

تحدد عملية التحكم في مدخل العبارة؛ من خلال مناطق التدفق الثلاث الموضحة في الشكل (٢-٤) (الجهة اليسرى: مياه الذيل، الجهة اليمنى: غير مغمورة، وانتقالية، ومغمورة). بالنسبة لظروف عمود المياه عند المدخل المنخفض -كما هو موضح في الشكل ١-٤-أ والشكل ١-٤-ج- يعمل مدخل العبارة كهذار. الهذار هو قطاع للتحكم بالتدفق غير مغمور؛ حيث يمكن التنبؤ بارتفاع سطح الماء في المنبع لمعدل تدفق معين. يجب تحديد العلاقة بين التدفق وارتفاع سطح الماء عن طريق اختبارات نموذجية أو قياسية لهندسة الهذار، أو عن طريق قياس معدلات تصريف الأولي. ثم تُستخدم هذه الاختبارات أو التسجيلات لتطوير معادلات للتحكم في تدفق المدخل غير المغمور.



الشكل (٢-٤) منحنى عملية التحكم في المدخل (Highway Design Manual, 1992; AASHTO, 2014).

بالنسبة لأعمدة المياه أمام العبارة التي تغمر مدخلها - كما هو موضح في الشكل (١-٤ ب)، والشكل (١-٤ د) يعمل مدخل العبارة كفوهة. الفوهة عبارة عن فتحة، مغمورة من جانب منطقة المنبع، وتتدفق بحرية في جانب المصب، وتعمل كقطاع تحكم. يمكن تحديد العلاقة بين التدفق وعمود المياه عند المدخل بناءً على نتائج اختبارات النموذج؛ (انظر: على سبيل المثال، استخدام برنامج HDS-5 (FHWA, 2012)).

منطقة انتقال التدفق بين عمود المياه المنخفض (التحكم بالهدار)، وعمود المياه المرتفع (التحكم بالفوهة) أمام العبارة، غير محددة بشكل جيد. تقرب هذه المنطقة؛ من خلال رسم معادلات التدفق غير المغمورة والمغمورة، وربطها بخط مماس لكلا المنحنيين، كما هو موضح في الشكل (٢-٤).

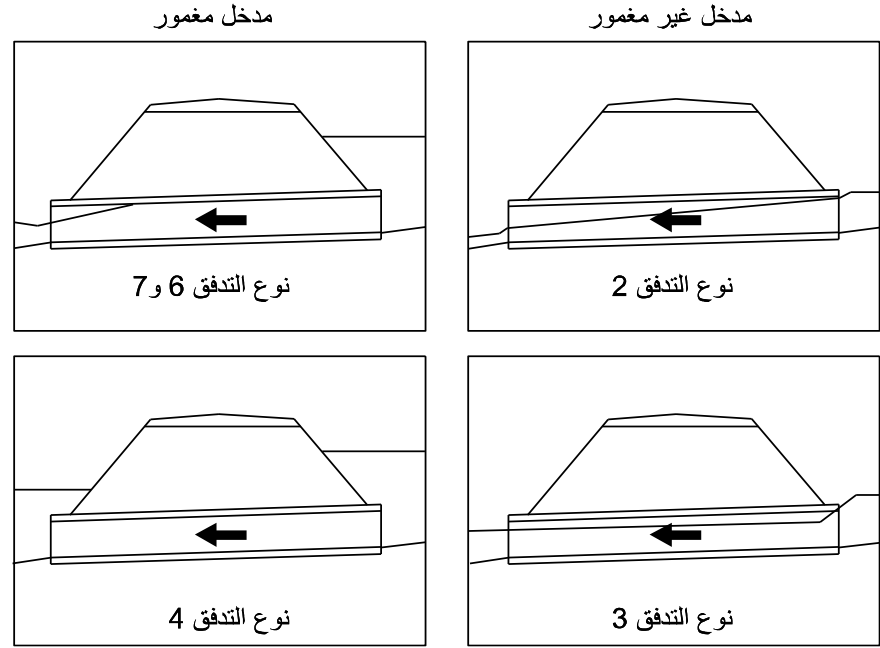
إن التحكم في التدفق في المدخل مقابل منحنيات عمود المياه عند المدخل التي أنشئت باستخدام الإجراء أعلاه؛ هي الأساس لإنشاء رسومات تخطيطية لتصميم عملية التحكم في المدخل، ولتطوير المعادلات المستخدمة في البرامج.

٣-٣-٢-٤ تخفيض المدخل:

ينشأ مدخل القناة أو العبارة المنخفض؛ من إنشاء فتحة المدخل تحت منسوب قاع القناة أو المجرى المائي. يعرف مقدار انخفاض المدخل بأنه العمق من سطح قاع مجرى الجريان المائي الطبيعي عند الوجه إلى خط قاع فتحة المدخل. توفر معادلات التحكم في المدخل أو الرسوم البيانية عمق عمود المياه فوق خط قاع المدخل المطلوب؛ لنقل تصريف معين عبر المدخل. تظل هذه العلاقة ثابتة بغض النظر عن منسوب قاع المدخل. إذا أنشئت نهاية مدخل العبارة أسفل قاع القناة أو المجرى المائي؛ فيمكن بذل المزيد من الطاقة على المدخل لنفس منسوب عمود الماء عند المدخل.

٤-٢-٤ التحكم في المخرج:

يوضح الشكل (٣-٤) أنواع التحكم في التدفق في المخرج. يعتمد نوع تدفق (USGS, 1982) على غمر نهايات مدخل ومخرج العبارة. في جميع الحالات؛ يكون قطاع التحكم في نهاية مخرج العبارة أو المصب. وبالنسبة لحالات التدفق الكامل جزئياً؛ يكون التدفق في أنبوب العبارة دون التدفق الحرج. في كل هذه الأمثلة؛ يكون قطاع التحكم في نهاية مدخل العبارة.



الشكل (٣-٤) أنواع التحكم في المخرج (FHWA, 2012).

١-٤-٢-٤ العوامل المؤثرة في التحكم في المخرج:

- نظرًا لأن عنصر التحكم في نهاية العبارة؛ فإن عمق عمود المياه عند المدخل تتأثر بجميع عوامل العبارة. تؤثر عوامل المدخل - التي تؤثر في أداء العبارة - في التحكم في المدخل أيضًا، وعلى العبارة في التحكم في المخرج. وبالإضافة إلى ذلك، تؤثر خصائص أنبوب العبارة: (الخشونة، والمساحة، والشكل، والطول، والميل)، وارتفاع المياه المرتدة في أداء العبارة في التحكم في المخرج:
- خشونة أنبوب العبارة؛ هي إحدى وظائف المادة المستخدمة في تصنيع أنبوب العبارة. تشمل المواد النموذجية: الخرسانة، والمعدن المموج، والبلاستيك. تمثل الخشونة بواسطة معامل مقاومة هيدروليكي -مثل قيمة معامل الخشونة في معادلة مانينغ n - ترد مناقشة إضافية عن مصادر ومشتقات قيم معامل الخشونة في معادلة مانينغ n في (FHWA, 2012) قيم معامل الخشونة في معادلة مانينغ n النموذجية، المستخدمة في تصميم العبارة هي معامل الخشونة $n = 0.012$ للعبارة ذات الجدران الناعمة، ومعامل الخشونة $n = 0.024$ للعبارة الخشنة (المموجة).
- منطقة أنبوب العبارة؛ هي دالة لأبعاد العبارة أو العبارة. سوف تنقل مساحة أنبوب العبارة الأكبر تدفقًا أكبر.
- شكل أنبوب العبارة؛ هو دال لنوع ومادة أنبوب العبارة. بناءً على موقع مركز الثقل لمنطقة معينة؛ يكون المربع هو الشكل الأكثر فاعلية، ثم شكل القوس، يليه الشكل الدائري.
- طول أنبوب العبارة؛ هو إجمالي طول العبارة الممتد من المدخل إلى مخرج العبارة؛ نظرًا لأن ارتفاع تصميم أنبوب العبارة والميل يؤثران في الطول الفعلي، فإن تقريب طول أنبوب العبارة -عادة- ما يكون ضروريًا لبدء عملية التصميم.
- ميل مستوى أنبوب العبارة؛ هو الميل الفعلي للعبارة. غالبًا ما يكون ميل مستوى أنبوب العبارة هو نفسه ميل المجرى المائي الطبيعي. ومع ذلك عندما يرفع أو يخفض مدخل العبارة؛ فإن ميل مستوى أنبوب العبارة يختلف عن ميل التيار. لا يُعد الميل عاملاً في حساب فقد طاقة أنبوب العبارة لأنواع التدفق رقم ٤ ورقم ٦ ورقم ٧، ولكنه عامل في حساب أنواع التدفق رقم ٢ ورقم ٣ عند حساب قطاع سطح الماء.
- يعتمد ارتفاع المياه المرتدة على ارتفاع سطح الماء في اتجاه القناة أو المجرى المائي. تُستخدم حسابات المياه المرتدة من عنصر تحكم في اتجاه المجرى المائي، أو تقريب طبيعي للعمق، أو ملاحظات ميدانية لتحديد ارتفاع مياه الذيل.

٢-٤-٢-٤ هيدروليكا التدفق الكامل للعبارة:

التدفق الكامل في العبارة -كما هو موضح في الشكل رقم ٤-٣-د- هو أفضل نوع تدفق لوصف الحسابات اليدوية للمكونات الهيدروليكية للتحكم في المخرج. يمكن حساب التحكم في التدفق في المخرج؛ بناءً على توازن الطاقة، من بركة المياه عند مخرج العبارة إلى بركة المياه عند المدخل. تتكون الطاقة الإجمالية (H_L) اللازمة لتمرير التدفق عبر العبارة من خسارة المدخل (H_e)، والفقد في الطاقة عند الاحتكاك عبر أنبوب العبارة (H_f)، والفقد في الطاقة عند الخروج (H_v). يجب تضمين الفقد في الطاقة الأخرى؛ مثل: الفقد في طاقة الانحناء (H_b)، والفقد في الطاقة عند التقاطعات (H_j)، والفقد في الطاقة عند الشبكات (H_g) حسب الاقتضاء.

$$H_L = H_e + H_f + H_o + H_b + H_j + H_g \quad \text{المعادلة (١-٤)}$$

حيث إن:

H_L = إجمالي الفقد في الطاقة، م.

H_e = الفقد في الطاقة عند المدخل، م.

H_f = الفقد في الطاقة نتيجة احتكاك، م.

H_o = الفقد في الطاقة عند الخروج، م.

H_b = الفقد في الطاقة عند انحناء، م.

H_j = الفقد في الطاقة عند التقاطع، م.

H_g = الفقد في الطاقة عند الشبكة، م.

يحسب سرعة الجريان في أنبوب العبارة على النحو التالي:

$$V = Q/A \quad \text{المعادلة (٢-٤)}$$

حيث إن:

V = متوسط سرعة الجريان في أنبوب العبارة، متر لكل ثانية.

Q = معدل التدفق في أنبوب العبارة، متر مكعب لكل ثانية.

A = مساحة قطاع القناة أو المجرى المائي للتدفق مع امتلاء أنبوب العبارة بالمتر المربع.

وتُحسب سرعة الجريان من العلاقة التالية:

$$H_v = \frac{v^2}{2g} \quad \text{المعادلة (٣-٤)}$$

حيث إن:

g = تسارع الجاذبية، ٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة.

الفقد في الطاقة عند المدخل؛ هي دالة في سرعة الجريان في أنبوب العبارة، ويمكن التعبير عنها كمعامل مضروب في السرعة:

$$H_e = k_e \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{المعادلة (١٤-٤)}$$

حيث إن:

k_e = معامل الفقد في الطاقة عند المدخل.

إن الفقد في الطاقة عند الاحتكاك في أنبوب العبارة؛ هو أيضاً دالة في السرعة. بناءً على معادلة مانينغ، فإن الفقد في الطاقة عند الاحتكاك هو:

$$H_f = \left[\frac{(2gn^2L)}{A^2R^{1.33}} \right] \left[\frac{v^2}{2g} \right] \quad \text{المعادلة (٤-٤ب)}$$

حيث إن:

n = معامل خشونة مانينغ لعبارة ذي مادة موحدة على المحيط الكامل (للخشونة المركبة) $((n_c))$.



L = طول أنبوب العبارة، م.

A = مساحة قطاع القناة أو المجرى المائي للعبارة، م²

R = نصف القطر الهيدروليكي للعبارة الكامل $m, P/A$

P = محيط أنبوب العبارة المبلى، م.

V = سرعة الجريان في أنبوب العبارة، متر لكل ثانية.

الفقد في الطاقة عند المخرج؛ هو دالة للتغير في سرعة الجريان، عند مخرج أنبوب العبارة. وبالنسبة للتوسع المفاجئ مثل جدار داخلي؛ فإن الفقد في الطاقة عند المخرج هي:

$$H_o = 1.0 \left[\left(\frac{V^2}{2g} \right) - \left(\frac{V_d^2}{2g} \right) \right] \quad \text{المعادلة (٤-٤ج)}$$

حيث إن:

V_d = سرعة الجريان في اتجاه مجرى العبارة، متر لكل ثانية.

قد تبلغ المعادلة ٤-٤ ج في تقدير الفقد في الطاقة عند المخرج، ويمكن استخدام مُضاعف أقل من ١.٠؛ (انظر: HEC-14, FHWA, 2006) فقد الطاقة عند الانتقال. عادة ما تهمل سرعة المصب، وفي هذه الحالة يكون الفقد في الطاقة عند المخرج مساوياً لسرعة التدفق الكامل في أنبوب العبارة؛ كما هو موضح في المعادلة (٤-٤د).

$$H_o = H_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{المعادلة (٤-٤د)}$$

المعادلة ٤-٤د هي الخيار القياسي. إذا اختار مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) طريقة جامعة ولاية يوتا (وهي البديل)؛ فسيستخدم المعادلة التالية:

$$H_o = \frac{(V - V_d)^2}{2g} \quad \text{المعادلة (٤-٤هـ)}$$

بإدخال العلاقات المذكورة أعلاه للفقد في الطاقة عند المدخل، والفقد في الطاقة عند الاحتكاك، والفقد في الطاقة عند الخروج (المعادلة ٤-٤د) في المعادلة (٤-٤)؛ يحصل على المعادلة التالية والفقد في الطاقة في أنبوب العبارة (H):

$$H = \left[1 + k_e + \left(\frac{19.62n^2L}{R^{1.33}} \right) \right] \left[\frac{V^2}{2g} \right] \quad \text{المعادلة (٥-٤)}$$

٣-٤-٢-٤ خط ميل الطاقة:

يوضح الشكل (٤-٤) خط ميل الطاقة وخط الميل الهيدروليكي للتدفق الكامل في أنابيب أو قنوات العبارات. يمثل خط ميل الطاقة إجمالي الطاقة في أي نقطة على طول أنابيب أو قنوات العبارات. عمق عمود الماء أمام العبارة HW_o هو العمق من خط قاع المدخل إلى خط انحدار الطاقة. خط الميل الهيدروليكي؛ هو العمق الذي سيرتفع إليه الماء في الأنابيب الرأسية الممتدة - بشكل مستمر - بجوانب أنابيب أو قنوات العبارات. في حالة التدفق الكامل؛ يكون خط ميل الطاقة وخط الميل الهيدروليكي عبارة عن: خطوط مستقيمة متوازية مفصولة بسرعة الجريان باستثناء المنطقة المجاورة للمدخل حيث يمر التدفق عبر الانكماش. تُوضَّح حالات عمق عمود المياه عند مدخل العبارة ومخرجها، بالإضافة إلى الفقد في طاقة المدخل والاحتكاك والخروج في الشكل (٤-٤). معادلة إجمالي الطاقة في القطاعين رقم ١ ورقم ٢، أعلى وأسفل العبارة في الشكل (٤-٤) نتائج العلاقة التالية:

$$HW_o + LS + \frac{V_u^2}{2g} = TW + \frac{V_d^2}{2g} + H_L \quad \text{المعادلة (٦-٤)}$$

حيث إن:

HW_0 = عمق عمود المياه فوق خط قاع المخرج، متر.

LS = انخفاض خلال العبارة، متر.

V_u = سرعة الاقتراب، متر لكل ثانية.

TW = عمق عمود المياه فوق خط قاع المخرج، متر.

V_d = سرعة المصب، متر لكل ثانية.

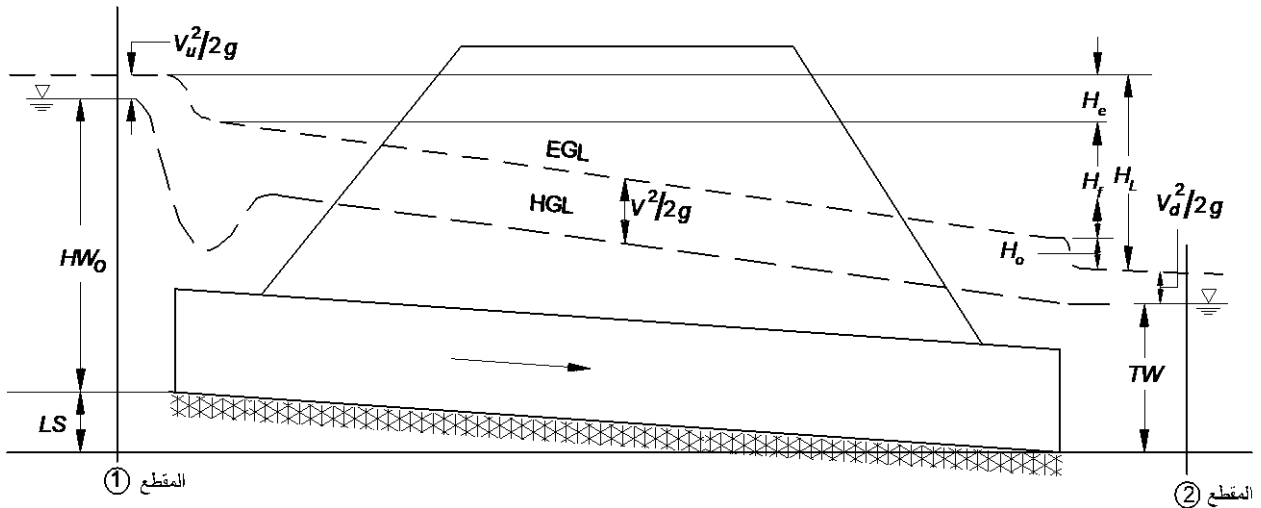
H_L = مجموع كل الفقد في الطاقة، (المعادلة ٤-١).

ملاحظة: إجمالي عمق عمود المياه المتاح عند المصب (HW_0) يشمل: عمق مياه المنبع فوق خط قاع المدخل وسرعة الدخول في العبارة. في معظم الحالات، تكون سرعة دخول المياه في العبارة منخفضة، وتهمل طاقة سرعة الاقتراب. ومع ذلك، يمكن اعتباره جزءاً من عمق المياه المتاح عند المدخل، ويستخدم لنقل التدفق عبر العبارة.

وبالمثل، عادة ما تهمل سرعة تدفق المياه داخل القناة أو المجرى المائي (V_d)، عندما يهمل كل من سرعات دخول المياه في العبارة وعند المصب، تصبح المعادلة (٤-١٦):

$$HW_0 = TW + H_L - LS$$

(المعادلة ٤-١٦ ب)



الشكل (٤-٤) طاقة التدفق الكامل وخطوط الصف الهيدروليكي (FHWA, 2012).

٤-٤-٢-٤ مثال لطريقة HDS-5 (تدفق كامل):

طوّرت المخططات البيانية بافتراض أن أنابيب العبارة في حالة تدفق بالكامل و $D \geq TW$ ؛ (انظر: الشكل ٤-٤) أو $D \geq d_c$ نوع التدفق ٦؛ (انظر: الشكل ٤-٣). (في يو) V_u صغير، ويمكن اعتبار سرعة الجريان جزءاً من عمق عمود المياه المتاح عند مدخل العبارة (HW_0) والمستخدم لنقل التدفق عبر أنبوب العبارة. قيمة (في دي) V_d صغيرة، ويمكن إهمال السرعة. تُستخدم المعادلة (٤-٦ ب) مع مخططات التحكم في المخرج؛ لتحديد مياه رأس التحكم في المخرج (عمود المياه المتاح).

٥-٤-٢-٤ مثال لطريقة HDS-5 (تدفق كامل جزئي):

استناداً إلى العديد من حسابات المياه المرتدة التي قام بها طاقم إدارة الطرق الاتحادية، فقد وجد أن خط الميل الهيدروليكي يخترق مستوى مخرج العبارة عند نقطة تقارب $v/$ المسافة بين العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية وأعلى أنبوب العبارة، أو $(d_c + D)/2$ فوق قاع المخرج. يجب استخدام التقريب -فقط- إذا كانت أنبوب العبارة تتدفق ممثلنة الجزء من طوله، أو إذا كان عمق عمود المياه عند مدخل العبارة لا يقل عن $D \cdot 0.75$ من القطر. إذا لم تُستوف أي من هذه الشروط؛ فينبغي استخدام قطاع

سطح الماء لإنشاء خط الميل الهيدروليكي. ينبغي استخدام تي دبليو (TW) إذا كانت أعلى من $(d_c + D)/2$. ينبغي استخدام المعادلة التالية:

$$HW = h_o + H - S_o L \quad \text{المعادلة (٦-٤ ج)}$$

حيث إن:

h_o = أكبر (تي دبليو) أو $2/(D + d_c)$ ، يقاس بالمتري.

٥-٢-٤ سرعة المخرج:

ينبغي حساب سرعات مخرج العبارات لتحديد الحاجة إلى الحماية من التآكل عند هذه المنطقة. ينتج عن العبارات -عادة- سرعات أعلى من سرعات الجريان المائي للتيار الطبيعي. قد تتطلب سرعات المخرج -هذه- إعادة ضبط التدفق أو تبديد الطاقة؛ لمنع تآكل المصب. إذا كانت الحماية من تآكل المخرج ضرورية؛ يمكن أن تكون هناك حاجة -أيضاً- إلى أعماق التدفق ورقم أو ثابت فرود.

١-٥-٢-٤ التحكم في المدخل:

- تُحسب سرعة الجريان من المعادلة (٢-٤) بعد تحديد عمق المخرج. يمكن استخدام أي من الطريقتين التاليتين؛ لتحديد عمق المخرج:
- احسب قطاع سطح الماء من خلال العبارة. ابدأ الحساب عند d_c المدخل وانتقل إلى المخرج. تحديد العمق ومنطقة التدفق عند الخروج.
- افتراض العمق وسرعة الجريان الطبيعيين. يمكن استخدام هذا التقريب؛ لأن المظهر الجانبي لسطح الماء يتقارب نحو العمق الطبيعي إذا كان العبارة بطول مناسب. يمكن أن تكون سرعة المخرج أعلى قليلاً من سرعة الجريان الفعلية عند المخرج. يمكن الحصول على العمق الطبيعي عن طريق الحساب اليدوي أو عن طريق البرنامج (على سبيل المثال: صندوق الأدوات الهيدروليكي الخاص بإدارة الطرق الاتحادية).

٢-٥-٢-٤ التحكم في المخرج:

- تحدد مساحة قطاع القناة أو المجرى المائي للتدفق من خلال هندسة المخرج، وإما العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية أو عمق المياه المرتدة أو ارتفاع العبارة:
- يستخدم العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية عندما تكون المياه المرتدة أقل من العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية.
- يستخدم عمق المياه المرتدة عندما تكون المياه المرتدة أكبر من العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية ولكن تحت قمة أنبوب العبارة. يستخدم العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية عندما تكون المياه المرتدة أقل من العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية.
- يستخدم إجمالي مساحة أنبوب العبارة، حيث تتجاوز المياه المرتدة الجزء العلوي من أنبوب العبارة.

٦-٢-٤ ارتفاع المياه فوق جسم الطريق (غمر الطريق):

سيبدأ ارتفاع المياه فوق جسم الطريق عندما يزيد منسوب المياه عند مدخل العبارة عن منسوب الطريق. يحدث (غمر الطريق) هذا -عادةً- عند النقطة المنخفضة لمنحنى قاع رأسي على الطريق. سيكون التدفق مشابهاً للتدفق فوق هذاز ذو قمة عريضة:

$$Q_o = C_d L HW_r^{1.5} \quad \text{المعادلة (٧-٤)}$$

حيث إن:

Q_o = الزيادة في معدل التدفق، متر مكعب لكل ثانية.

C_d = معامل التصريف الزائد (معامل السد) = $k_t C_r$ in which

k_t = معامل الغمر.

C_r = معامل التصريف.

L = طول قمة الطريق، م.

HW_r = عمق المنبع مقيساً فوق قمة الطريق، م.

١-٦-٢-٤ طول منطقة قمة الطريق:

من الصعب تحديد الطول؛ حيث تحدد القمة من خلال منحني قاع رأسي للطريق:

- ١- يوصى بالتقسيم إلى سلسلة من المقاطع. يحسب التدفق فوق كل عمود مياه معين عند المدخل. تضاف التدفقات لكل قطاع - معاً- لتحديد التدفق الإجمالي.
- ٢- يمكن تمثيل الطول بخط أفقي واحد (مقطع واحد). طول السد؛ هو الطول الأفقي لهذا المقطع. العمق؛ هو متوسط العمق (المساحة/الطول) لحوض المنبع فوق الطريق.

٢-٦-٢-٤ إجمالي التدفق:

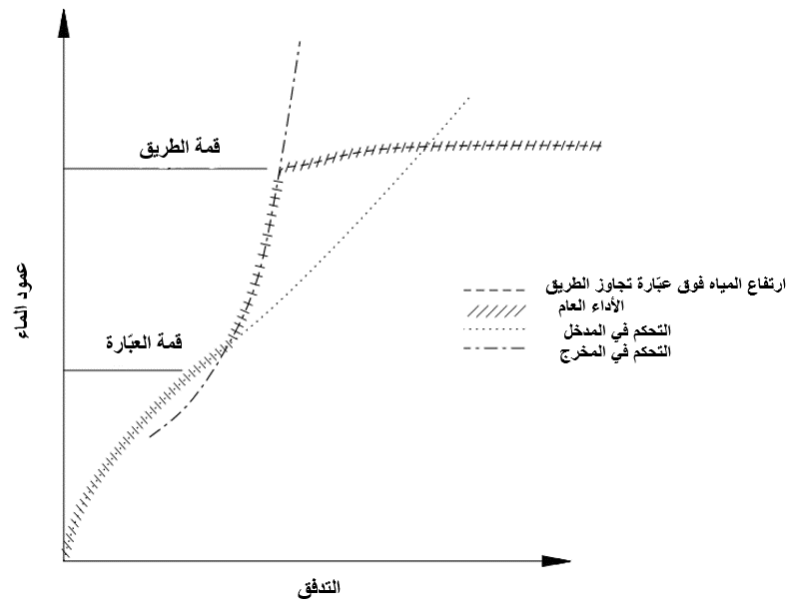
يُحسب التدفق الإجمالي لارتفاع سطح الماء عند المنبع؛ باستخدام المعادلة (٩-٤):

- ينبغي أن يتساوى فيضان الطريق بالإضافة إلى تدفق العبّارات مع إجمالي تدفق التصميم.
- عملية التجربة والخطأ ضرورية؛ لتحديد التدفق الذي يمر عبر العبّارة، والكمية المتدفقة عبر الطريق.
- يمكن تلخيص منحنيات الأداء للعبّارة وعبور الطريق؛ لغرض الحصول على أداء إجمالي.

٧-٢-٤ منحنيات الأداء:

منحنيات الأداء؛ عبارة عن: مخططات لمعدل التدفق مقابل عمق عمود المياه عند مدخل العبّارة أو المنسوب أو سرعة الجريان أو تجريف (نحر) المخرج. يتكون منحنى أداء العبّارات من أجزاء التحكم في منحنيات الأداء الفردية لكل قطاع من أقسام التحكم التالية؛ (انظر: الشكل ٥-٤):

- تطوير منحنى أداء المدخل؛ باستخدام الرسوم البيانية لعملية التحكم في مداخل العبّارات.
- تطوير منحنى أداء المخرج؛ باستخدام المعادلات من (١-٤) إلى (٧-٤)، أو المخططات البيانية لعملية التحكم في مخارج العبّارات، أو حسابات المياه المرتدة.
- تطوير منحنى أداء الطريق؛ باستخدام المعادلة (٩-٤).



الشكل (٥-٤) منحنى الأداء العام (AASHTO, 2014).

منحنى الأداء الإجمالي؛ هو مجموع التدفق عبر العبّارات والتدفق عبر الطريق. يمكن تحديد المنحنى باتّباع الخطوات التالية:

الخطوة ١: حدد مجموعة من معدلات التدفق، وحدد مناسيب عمود المياه عند المدخل المقابل لتدفق العيارات وحدها. ينبغي أن تكون معدلات التدفق -هذه- أعلى وأسفل التصريف التصميمي، وتغطي نطاق التدفق الكامل للفائدة. يجب حساب عمق عمود المياه الحاكم عند كل من مدخل العبارة ومخرجها.

الخطوة ٢: اجمع بين منحنيات عملية التحكم في مدخل العبارة والمخرج؛ لتحديد منحني أداء واحد للعبارات.

الخطوة ٣: عندما تتجاوز مناسيب المياه عند مدخل العبارة منسوب قمة الطريق؛ سيبدأ (غمر الطريق). احسب عمق سطح الماء أعلى الطريق لكل معدل تدفق محدد. استخدم أعماق سطح الماء والمعادلة (٤-٧)؛ لحساب معدلات التدفق عبر الطريق.

الخطوة ٤: أضف تدفق العبارة وتدفق (غمر الطريق) عند مناسيب المياه عند المدخل المقابلة؛ لغرض الحصول على منحنى أداء العبارة الكلي، كما هو موضح في الشكل (٤-٥).

٨-٢-٤ نموذج تصميم العبارة:

صاغ نموذج تصميم العبارة -الموضح في الشكل (٤-٦)- لتوجيه المستخدم خلال عملية التصميم. تتوفر مجموعات الملخص في الجزء العلوي من النموذج لوصف المشروع وتحديد المصمم. كما ضُمّت ملخصات للبيانات الهيدرولوجية. في أعلى اليمين يوجد رسم تخطيطي صغير لعبارات بها فراغات لإدخال الأبعاد والارتفاعات المهمة.

PROJECT: _____ STATION: _____ SHEET _____ OF _____	CULVERT DESIGN FORM DESIGNER / DATE: _____ / _____ REVIEWER / DATE: _____ / _____
--	---

HYDROLOGICAL DATA

☐ METHOD: _____
☐ DRAINAGE AREA: _____ ☐ STREAM SLOPE: _____
☐ CHANNEL SHAPE: _____
☐ ROUTING: _____ ☐ OTHER: _____

DESIGN FLOWS/TAILWATER

R.I. (YEARS) _____ FLOW (cfs) _____ TW (ft) _____

$EL_1: \quad ()$ Roadway Elevation: $\quad ()$
 HW_1 $EL_2: \quad ()$, $S_o: \quad$ H
 Original Stream Bed
 $EL_3: \quad ()$ T $S = S_o - T/L_o$
 $S =$
 $L_o =$ $EL_4: \quad ()$ $EL_5: \quad ()$ $EL_6: \quad ()$ $EL_7: \quad ()$ $EL_8: \quad ()$ $EL_9: \quad ()$ $EL_{10}: \quad ()$

CULVERT DESCRIPTION:	Total Flow Q (cfs)	Flow Per Barrel Q/N (1)	HEADWATER CALCULATIONS										Control Headwater Elevation	Outlet Velocity	Comments	
			INLET CONTROL					OUTLET CONTROL								
			HW/D (2)	HW (3)	T (4)	EL ₁ (5)	TW (6)	d (7)	$\frac{d + D}{2}$ (8)	h_v (9)	k_e (10)	H (11)				EL ₁₀ (12)
MATERIAL - SHAPE - SIZE - ENTRANCE																

TECHNICAL FOOTNOTES:

(1) USE OHS FOR BOX CULVERTS
 (2) $HW_1 / D = HW / D$ OR HW_1 / D FROM DESIGN CHARTS
 (3) $T = HW - (EL_{10} - EL_3)$
 T IS ZERO FOR CULVERTS ON GRADE

(4) $EL_1 = HW + EL$ (INVERT OF INLET CONTROL SECTION)
 (5) TW BASED ON DOWN STREAM CONTROL OR FLOW DEPTH IN CHANNEL
 (6) $EL_{10} = EL_1 + H + h_v$

(7) $h_v = TW$ OR $(d + D) / 2$ (WHICHEVER IS GREATER)
 (8) $H = [1 + k_e + (K_v n^2 L) / R^{1.49}] v^2 / 2g$ WHERE $K_u = 19.63$ (29 IN ENGLISH UNITS)
 (9) $EL_{10} = EL_1 + H + h_v$

SUBSCRIPT DEFINITIONS:	COMMENTS / DISCUSSION:	CULVERT BARREL SELECTED:
a. APPROXIMATE f. CULVERT FACE ha. ALLOWABLE HEADWATER hi. HEADWATER IN INLET CONTROL ho. HEADWATER IN OUTLET CONTROL i. INLET CONTROL SECTION o. OUTLET sf. STREAMBED AT CULVERT FACE tw. TAILWATER		SIZE: _____ SHAPE: _____ MATERIAL: _____ n _____ ENTRANCE: _____

الشكل (٤-٦) نموذج تصميم العبارة (AASHTO, 2014).

٣-٤ إجراءات التصميم:

يوفر إجراءات التصميم التالية طريقة مريحة ومنظمة لتصميم العبارات؛ من أجل تصريف مستمر، مع مراعاة التحكم في المخل والمخرج. لا يعالج الإجراء تأثير التخزين الذي نوقش في الجزء (٤-٦). ينبغي أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) على دراية بجميع المعادلات الواردة في الجزء (٤-٢) قبل استخدام هذه الإجراءات. يمكن أن يؤدي اتباع طريقة التصميم دون هيدروليكية العبارات إلى هيكلي غير ملائم أو غير آمن أو مكلف.

يُتوفر نموذج تصميم العَبارة؛ (انظر: الشكل ٤-٦) لتوجيه المستخدم. يحتوي على حقول؛ لوصف المشروع، وتحديد المهندس القائم بالتصميم، والبيانات الهيدرولوجية، وأبعاد العَبارات والارتفاعات، ووصف العَبارات التجريبية، وعمق المياه للتحكم في المدخل والمخرج، أنبوب العَبارة المختارة، والتعليقات.

الخطوة ١: قم بتجميع بيانات الموقع وملف المشروع.

- الحد الأدنى من البيانات المطلوبة:
- خرائط الموقع والمكان.
- قطاع القناة أو المجرى المائي لهذا الطريق.
- الظروف المناخية.
- الملف الشخصي للطريق.
- الصور.
- زيارة ميدانية (الرواسب والحطام).
- بيانات التصميم في الهياكل المجاورة.
- دراسات من قبل وكالات أخرى؛ مثل:
- السدود الصغيرة - العبارات - الجسور.
- السهول الفيضية.
- صرف مياه العواصف المطرية؛ محلي، أو خاص.
- القيود البيئية؛ مثل:
- الالتزامات الواردة في وثائق المراجعة.
- مرور الحياة البرية.
- معايير التصميم:
- إعداد تقييم أو تحليل للمخاطر.

الخطوة ٢: حدد الهيدرولوجيا.

- انظر: الباب ٢ (الهيدرولوجيا).
- البيانات الدنيا؛ هي خريطة منطقة صرف المياه، ومخطط تكرار التصريف.

الخطوة ٣: صمّم قناة المصب.

- راجع: الباب ٣ (العبارات).
- البيانات الدنيا؛ هي القطاع العرضي للقناة أو المجرى المائي، ومنحنى التصنيف للقناة.

الخطوة ٤: لخص البيانات في نموذج تصميم العبارة.

- انظر: الشكل (٦-٤).
- بيانات من الخطوات ١-٣.

الخطوة ٥: حدّد التصميم البديل.

- اختر مادة العبارات، والشكل، والحجم، ونوع المدخل.

الخطوة ٦: حدّد تصريف التصميم (Q_d).

- تحديد وتيرة الفيضان من معايير التصميم.
- تحديد معدل أو كمية التدفق Q من مخطط تكرار التصريف (الخطوة رقم ٢).
- قطاع معدل أو كمية التدفق Q على عدد العبارات.

الخطوة ٧: حدّد عمق عمود المياه للتحكم في مدخل العبارة (HW_i).

استخدم الرسم البياني للتحكم في مدخل العبارة. ملحوظة: يمكن استخدام ورقة بلاستيكية ذات تشطيب غير لامع لوضع علامات عليها، حيث يمكن الحفاظ على المخططات. نظرًا لأن عمق عمود المياه أعلى من خط القاع؛ يجب مراعاة إذا كان هناك انخفاض في المدخل.

- أ- حدد الحجم أو الارتفاع على المقياس.
- ب- حدد مكان التصريف.



- لغرض الحصول على شكل دائري؛ استخدم التصريف.
- لغرض الحصول على شكل مربع؛ استخدم معدل أو كمية التدفق Q لكل متر من العرض.
- ج- حدد موقع HW/D نسبة إتش دبليو/دي.
- استخدم أداة تقويم.
- مد خطاً مستقيماً من حجم العبارة المائي عبر معدل التدفق.
- ضع علامة على أول مقياس HW/D إتش (دبليو/دي). قم بتمديد خط أفقي للمقياس المطلوب، واقرأ (إتش دبليو/دي) HW/D والملاحظة على نموذج تصميم العبارة.
- د- أحسب عمق عمود المياه عند المدخل (HW_i)
- اضرب (دبليو/دي) في (دي) HW/D by D لغرض الحصول على HW (إتش دبليو) لخط ميل الطاقة.
- إهمال سرعة دخول المياه في العبارة HW_i = HW.
- مثل جميع أنواع سرعة الاقتراب. HW_i = HW -

الخطوة ٨: حدّد عمق عمود المياه عند المدخل للتحكم في مخرج العبارة (HW_o).

- أ- احسب عمق المياه عند مخرج العبارة (TW) ؛ باستخدام معدل الكمية أو شدة التدفق الذي صُممت القناة أو المجرى المائي بناءً عليه، والعمق الطبيعي (قطاع واحد)، أو باستخدام قطاع سطح الماء.
- ب- حساب العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية (d_c):
- حدد موقع معدل التدفق، واقرأ d_c مع الأخذ في الاعتبار أن العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية d_c لا يمكن أن يتجاوز القطر D.
- وإذا كان الجريان المائي المستمر < ٠,٩ من قطر ٠,٩D > d_c؛ فارجع إلى دليل المكونات الهيدروليكية (Brater & King, 1976) لغرض الحصول على وحدة تحكم أكثر دقة d_c - إذا لزم الأمر - لأن المنحنيات تقتطع حيث تتقارب.

- ج- احسب النسبة (d_c + D)/2.
- د- حدد قيمة h_o: (h_o) = أكبر ارتفاع المياه المرتدة أو (d_c + D)/2 أو TW.
- هـ- تحديد قيمة (k_e).

معامل الفقد في الطاقة عند المدخل.

- و- تحديد الفقد في الطاقة خلال أنبوب العبارة (H):
- استخدم الرسم البياني أو المعادلة (٥-٤) أو (٦-٤) إذا كان خارج النطاق.
- حدد مقياس k_e المناسب.
- حدد موقع طول العبارة (L) أو (L₁):
- استخدم (L) إذا كانت قيمة معامل الخشونة في معادلة مانينغ n يطابق القيمة n ذاتها للعبارة.
- استخدم (L₁) لضبط قيمة عبارة n مختلف:

$$L_1 = L(n_1/n)^2$$

المعادلة (٨-٤)

حيث إن:

- L₁ = طول القناة المعدلة، م.
- L = طول العبارة الفعلي، م.
- n₁ = القيمة المطلوبة للعدد لمعامل الخشونة n.
- n = مانينغ n تؤخذ كقيمة من الرسم البياني.
- ضع علامة عند نقطة تحول الخط:
- استخدام المسطرة.
- اربط الحجم مع الطول.
- عين قيمة (إتش) (H):
- استخدم حافة مستقيمة.
- ربط كمية التدفق Q ونقطة تحول.
- اقرأ (H) على مقياس فقدان الارتفاع.
- ز- احسب عمق عمود المياه للتحكم في المخرج (HW_{oi}):

- استخدم المعادلة (٦-٤)؛ إذا أهملت القيم الصغيرة V_u و V_d ، على سبيل المثال: $HW_{oi} = H + h_o - S_o L$.
- استخدم المعادلات رقم (١-٤) و (٤-٤) و (٦-٤) لكي تتضمن على V_u و V_d .
- إذا كان كمية المياه HW_o عند المخرج أقل من $1.2D$ من القطر، وكان التحكم في التدفق في العبارة من نوع التحكم في المخرج؛ فقد يتدفق العبارة بالكامل:
 - إذا انخفض عمق المياه إلى أقل من $D + 0.75$ من القطر؛ فلا ينبغي استخدام طريقة مونوجراف التقريبية، وقد لا تكون الطريقة التقريبية لاستخدام أكبر من المياه المرتدة أو $(d_c + D)/2$ قابلة للتطبيق.
 - ينبغي استخدام حسابات المياه المرتدة؛ لتحديد عمود المياه عند المدخل.

الخطوة ٩: حدّد عمق عمود المياه الحاكم (HW_c):

- قارن بين كمية المياه عند المدخل HW_i وعند المخرج HW_o ؛ استخدام الأعلى.
- كمية المياه عند الدخل $HW_c =$ كمية المياه الحرجة HW_i إذا كانت كمية المياه عند الدخل HW_i أكبر من كمية المياه عند المخرج HW_o .
- حيثما كان ذلك ممكناً، يجب توفير بعض الوسائل لوصول الأفراد والمعدات لتسهيل الصيانة.
- يجب فحص العبّارات وصيانتها بانتظام.

الخطوة ١٠: حساب التصريف على الطريق (Q_o).

- أ- احسب العمق فوق الطريق (HW_r):
 - كمية التصريف على الطريق $HW_r =$ كمية المياه الحرجة - ارتفاع الطريق فوق قاع المدخل $HW_{ov} - HW_c$.
 - $HW_{ov} =$ ارتفاع الطريق فوق قاع المدخل.

ب- إذا كانت كمية التصريف على الطريق $HW_r \leq 0$ ، فإن قيمة $Q_o = 0$.

إذا كانت كمية التصريف على الطريق HW_r أكبر من الصفر؛ فإنه ينبغي تحديد قيمة $C_d \cdot Q_o$.

ج- تحديد طول قمة الطريق (L).

د- احسب قيمة كمية التصريف Q_o باستخدام المعادلة ٧-٤:

$$Q_o = C_d L H W_r^{1.5}$$

الخطوة ١١: حساب التصريف الكلي (Q_t).

$$Q_t = Q_d + Q_o \quad \text{المعادلة (٩-٤)}$$

الخطوة ١٢: أحسب سرعة المخرج (V_o) والعمق (d_n).

إذا كان التحكم في المدخل هو عمق المياه الحاكم

- أ- حساب عمق التدفق عند خروج العبّارات:
 - استخدم العمق العادي للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية (d_n).
 - استخدام قطاع سطح الماء.
- ب- حساب مساحة التدفق (أ).
- ج- احسب سرعة الخروج $(V_o) = Q/A$.

إذا كان التحكم في المخرج هو عمق المياه الحاكم

- أ- حساب عمق التدفق عند خروج العبّارات:
 - استخدم (العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية) (d_c) إذا كان العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية $d_c <$ كمية المياه المرتدة TW .
 - استخدم (كمية المياه المرتدة) (TW) إذا كان العمق الحرج للتدفق أو الجريان في القنوات أو المجاري المائية $d_c >$ كمية المياه المرتدة $TW > D$ القطر.



- استخدم (القطر) (D) إذا كان القطر $D >$ كمية المياه المرتدة.
- ب- حساب مساحة التدفق (أ).
- ج- احسب سرعة الخروج $(V_o) = Q/A$.

الخطوة ١٣: مراجعة النتائج.

قارن التصميم البديل بالقيود والافتراضات وفي حالة تجاوز أي مما يلي؛ كرر الخطوات من ٥ إلى ١٢:

- ينبغي أن يكون للعبارة غطاء مناسب.
- يجب أن يكون الطول قريباً من الطول التقريبي.
- يجب أن تتناسب الجدران الأمامية والجدران الجانبية مع الموقع.
- لا يجوز تجاوز عمود المياه المسموح به.
- يجب عدم تجاوز تكرار الفيضان الزائد المسموح به.

الخطوة ١٤ منحنى الأداء.

- أ- كرر الخطوات من ٦ إلى ١٢ مع مجموعة من التصريف.
- ب- استخدم الحد الأعلى التالي للتصريف (معدل التدفق أو التصريف $(Q_o = \text{التدفق الزائد})$):
 - إذا $Q_{100} \leq Q_o$.
 - إذا $Q_o > Q_{100}$.
 - أقصى كمية تصريف أو تدفق $Q_{max} =$ أكبر فيضان يمكن تقديره، إذا لم يكن من الممكن حدوث غمر مياه.

الخطوة رقم ١٥: ضع في اعتبارك الخيارات التالية:

- مداخل مستدقة إذا كان العبارة في نظام التحكم في المدخل وعمق المياه المتاح محدود؛ (انظر: الجزء ٤-٧).
- توجيه التدفق في حالة وجود تجمع كبير لعمود المياه عند المدخل؛ (انظر: الجزء ٤-٦).
- مبددات الطاقة إذا كانت السرعة الحرجة لتدفق المياه V_o في القناة أو المجرى المائي أكبر من سرعة الجريان V الطبيعية في قناة المصب؛ (انظر: الباب رقم ٥ (مبددات الطاقة)).
- تخزين الحطام في المواقع التي بها مخاوف من الرواسب (على سبيل المثال: مراوح الطمي)، أو مع مخاوف أخرى من الحطام – (FHWA, 2005)، والباب ١١ (التحكم في الانجراف والرواسب).
- العبّارات مكسورة الظهر؛ (انظر: الجزء ٤-٨).

الخطوة رقم ١٦: التوثيق:

- انظر: الجزء (٤-٤) (التوثيق).
- انظر: الجزء (٤-٥).
- إعداد التقرير والملف مع المعلومات الأساسية.

يعد الإلمام بالمكونات الهيدروليكية للقناة والطرق التقليدية للحل أمراً ضرورياً؛ لتوفير أساس متين للمصممين للاستفادة من السرعة والدقة والقدرات المتزايدة لبرامج الكمبيوتر ذات التصميم الهيدروليكي.

يمكن تطبيق الخطوات المذكورة أعلاه بسهولة من خلال برنامج؛ مثل: (OpenFlows Culvert Master) (<https://www.bentley.com/software/openflows-culvertmaster>) العبارة الهيدروليكي، أو برنامج (HY8) (<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/software/hy8/>).

تتمثل بعض مزايا (Culvert Master) -المعتمد من الوكالة الاتحادية لإدارة الطوارئ- في أنه يمكن الإنشاء على بيانات الإدخال؛ من خلال توفير أي متغير تصميم غير معروف؛ مثل: (عمق عمود المياه عند المدخل، أو التصريف، أو حجم المجرى)، حل لتصميم المجاري متعدد البراميل مع تجاوز الطريق، تمكين ظروف التدفق من التغيير التدريجي، والمقارنة بالعديد من الأمثلة التي حُلّت. يوفر إتش واي ٨ تحليلاً تفاعلياً للقناة؛ عن طريق حساب المكونات الهيدروليكية للقنوات: الدائرية، والمستطيلة، والإهليلجية، والقوس، وأي قنوات يحددها المستخدم، من خلال تضمين حسابات مناسبة لعمود المياه أمام العبارة للتحكم في المدخل والمخرج للتدفق المحدد، وأيضاً عن طريق إجراء الحسابات في الحالات التي لا تكون القناة فيها ممثلة ولا لأي جزء من طولها.

٤-٤ التوثيق:

ينبغي إعداد تقرير التصميم الهيدروليكي للعبّارات الرئيسة وغير العادية.

١-٤-٤ تقرير مشروع التصميم الهيدروليكي:

ينبغي أن يتضمن التقرير ما يلي، حسب الاقتضاء:

- أ- معايير الأداء الهيدروليكي الخاصة بالموقع.
- ب- تقييم المخاطر.
 - استخدام الأراضي في السهول الفيضية.
- ج- تقييم استقرار التدفق.
 - المستوى الأول؛ التحليل النوعي.
 - العوامل الجيومورفية والعوامل الهيدروليكية التي تؤثر في استقرار جريان المياه.
 - تحديد أسفل القناة الحالي أو عدم الاستقرار في التصريف.
- د- الحسابات الهيدرولوجية.
 - التصريف لتكرارات محددة.
 - التصريف والتكرار للفيضانات التاريخية التي تكمل علامات ارتفاع المياه المستخدمة في المعايير.
- هـ- الحسابات الهيدروليكية.
 - الطريقة الحسابية.
 - اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب (طراز الكمبيوتر).
 - الأداء الهيدروليكي للظروف الحالية.
 - الأداء الهيدروليكي للتصميمات المقترحة.
 - تجريف الحسابات، إذا كان ذلك مناسباً.

٢-٤-٤ تقرير التصميم الهيدروليكي النهائي:

بالإضافة إلى العناصر المدرجة بالفعل في مسودة تقرير التصميم الهيدروليكي؛ ينبغي أن يتضمن تقرير التصميم الهيدروليكي النهائي ما يلي، حسب الاقتضاء:

- توثيق تحليل المخاطر، إن أمكن.
- تفاصيل تصميم الإجراء المضاد.
- تجريف الحسابات أو التدابير المضادة أو خطة المراقبة أو الأجهزة، إن أمكن

٥-٤ توجيه التخزين:

١-٥-٤ مقدمة:

يمكن أن تؤدي سعة التخزين الكبيرة خلف جسر الطريق إلى إضعاف الرسم البياني للفيضان. نظراً لتقليل ذروة التصريف المرتبطة بهذا التخفيف؛ يمكن تقليل السعة المطلوبة للقناة وحجمها. يوضح هذا القطاع كيفية إكمال التوجيه الهيدرولوجي. تتوفر معلومات مفصلة عن التوجيه في برنامج HEC-22 (FHWA, 2001) وفي برنامج HDS-5 (FHWA, 2012). في حين أن الحساب ليس صعباً، ويكتمل بسهولة باستخدام صندوق الأدوات الهيدروليكي (إدارة الطرق الاتحادية)، فإن معظم تصميمات العبّارات لا تكون في بداية الجسر، بل تكون جزءاً من عامل الأمان في التصميم.

٢-٥-٤ إجراءات التصميم:

ينفذ توجيه الفيضان من خلال العبّارات بسهولة؛ باستخدام صندوق الأدوات الهيدروليكية الخاص بإدارة الطرق الاتحادية أو أي برنامج آخر. إجراء التصميم هو نفسه بالنسبة لتوجيه التخزين:

- يحصل على بيانات الموقع؛ مثل: بيانات التخزين، وهندسة الطرق.



- ينبغي أن يشمل تحليل الهيدرولوجيا تقدير الهيدروغراف؛ (انظر: الباب الثاني (الهيدرولوجيا)).
- تقدير حجم العبارة التجريبي، وتوجيه الهيدروغراف.

قبل محاولة تصميم عبارة للاستفادة من التخزين؛ يجب على المهندس القائم بالتصميم مراجعة عملية تصميم توجيه التخزين من خلال العبارة المضمن في برنامج HDS-5 (FHWA, 2012). وبشكل أكثر تحديداً، ينبغي أن يتضمن التصميم مسحا طوبوغرافيا (بما في ذلك وصف الغطاء الأرضي والقطاع الطولي للطريق المقترح والقطاع العرضي)، وجميع المدخلات الضرورية للتحليل الهيدرولوجي (انظر الباب ٢) وعلاقة الارتفاع/التخزين مقابل التصريف، والتي يمكن إنشاؤها من خلال نمذجة توجيه التدفق الهيدروليكي. تشمل الخطوات الرئيسية للتصميم ما يلي:

- ١- التحليل الطوبوغرافي والتحقيق الميداني.
- ٢- التحليل الهيدرولوجي لتوليد هيدروغراف التدفق.
- ٣- تقدير العلاقة بين الارتفاع والتخزين (من التحليل الطوبوغرافي للخطوة ١) وعلاقة الارتفاع مقابل التصريف (من النموذج الهيدرولوجي للخطوة ٢).
- ٤- نمذجة توجيه التدفق لتحديد قيمة ذروة التدفق للموقع المحدد، بعد توهين التدفق.
- ٥- حدد حجم المجاري وارتفاعها بناءً على مخرجات الخطوة ٤ (بالنسبة للحجم الأولي للمجاري، يمكن تحديد المجاري المستطيلة النموذجية بارتفاع ٣ أمتار وعرض يساوي عرض القناة).

٦-٤ المداخل المستدقة:

١-٦-٤ عام:

المدخل المستدق؛ هو مدخل قناة أو عبارة متسع مع قطاع -واجهة أمامية- متضخم وفعال هيدروليكيًا. يمكن أن يكون لمدخل القناة أو العبارة المستدق انخفاض في واجهة العبارة الأمامية مدمج في هيكل المدخل أو يقع في أعلى المدخل. يستخدم التخزين المنخفض لبذل مزيد الطاقة في قطاع الواجهة (الحلق) وفق منسوب معين لعمود المياه عند المدخل؛ لذلك تعمل المداخل المستدقة على تحسين أداء القناة من خلال توفير قطاع تحكم أكثر كفاءة (واجهة العبارة الأمامية). لا ينصح باستخدام المداخل المستدقة على العبارات المتدفقة للتحكم في المخرج؛ لأن الحافة البسيطة لها نفس الفائدة.

طُورت معايير وطرق التصميم لاثنتين من التصاميم الأساسية لمدخل العبارات المستدقة:

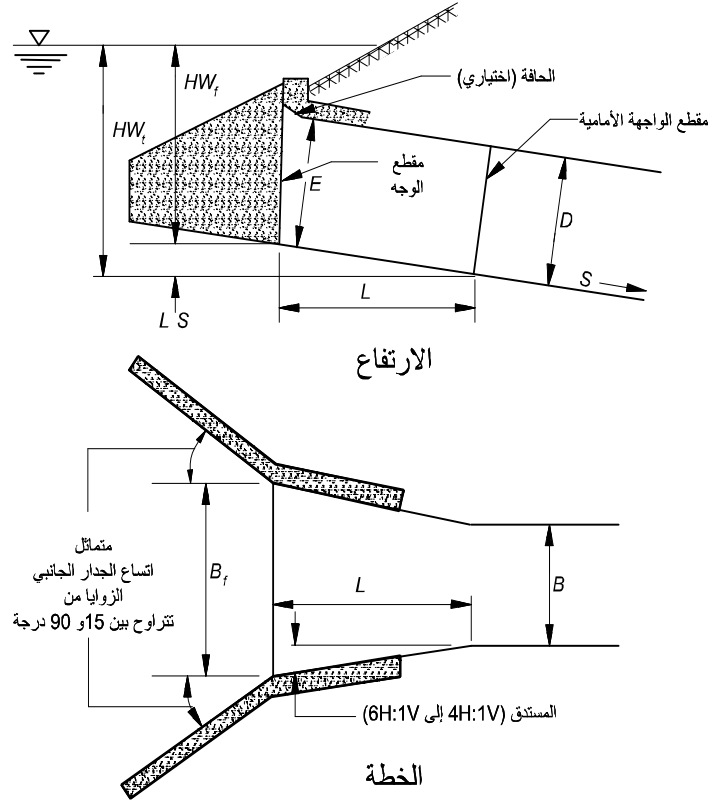
- مدخل مستدق الجانب.
- مدخل مستدق الانحدار.

تتوفر مخططات تصميم مدخل مستدق للعبارات الصندوقية المستطيلة، والعبارات الأنبوبية الدائرية.

٢-٦-٤ مداخل مستدقة الجانب:

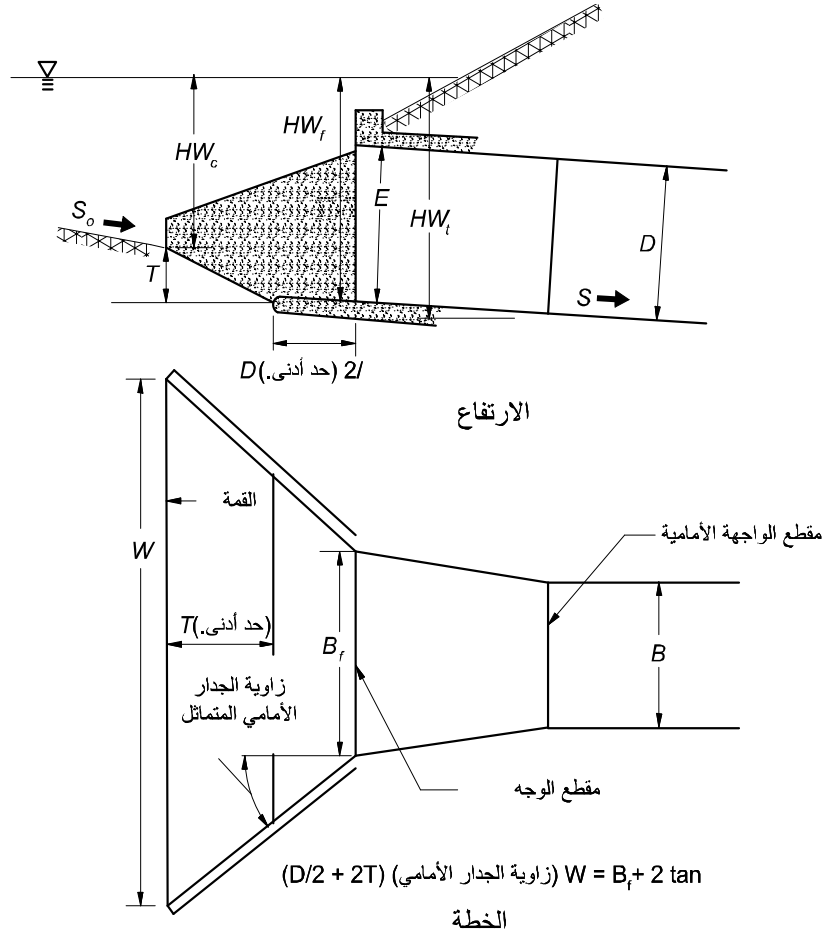
يحتوي المدخل المستدق الجانب على قطاع -واجهة أمامية- موسع، مع الانتقال إلى العبارة المنجز؛ عن طريق تقليص الجدران الجانبية (الشكل ٧-٤). ارتفاع قطاع الواجهة هو ارتفاع العبارة نفسه تقريباً، وأرضية المدخل؛ هي امتداد لأرضية العبارة. قد ينحدر سقف المدخل لأعلى قليلاً، بشرط ألا يتجاوز ارتفاع الوجه ارتفاع العبارة بأكثر من ١٠ بالمائة (١،١ دي). يعرف تقاطع الجدران الجانبية المخروطية مع العبارة على أنه قطاع واجهة العبارة الأمامية.

هناك قطاعان محتملان للتحكم؛ الوجه، والفتحة الأمامية (الحلق). HW_F الموضح في الشكل (٧-٤) هو عمق عمود المياه الموضح في الشكل (٧-٤)، هو عمق عمود المياه المقيسة من قاع قطاع الواجهة، وهو عمق عمود المياه المقيسة HW_i من خط قاع قطاع واجهة العبارة الأمامية. حلق المدخل الجانبي؛ هو قطاع تحكم فعال للغاية. يتخلص من تقلص التدفق -تقريباً- في حلق العبارة الأمامية. وبالإضافة إلى ذلك، تكون واجهة العبارة الأمامية دائماً أقل قليلاً من الوجه؛ حيث يبذل مزيد من الطاقة على واجهة العبارة الأمامية لمنسوب عمود مياه معين.



الشكل (٧-٤) مدخل مستدق الجانب (AASHTO, 2014).

يمكن زيادة التأثير المفيد للضغط في قطاع الواجهة أسفل المجرى المائي؛ عن طريق تركيب انخفاض في اتجاه المنبع من مدخل القناة أو العبارة الجانبية المستدق. بصور الشكل (٨-٤) مدخلاً مستدقاً جانبياً مع انخفاض موجود بين جدران الجناح. وبالنسبة لهذا النوع من التخزين المنخفض؛ يجب أن تمتد أرضية العبارة باتجاه المنبع من الوجه بمسافة لا تقل عن القطر/٢ قبل أن ترتفع لأعلى بشكل حاد. يجب فحص طول قمة المنبع الناتجة، حيث يلتقي ميل المنخفض مع قاع المجرى المائي؛ للتأكد من أن القمة لن تتحكم في التدفق عند كمية أو شدة التدفق الذي صُممت القناة أو المجرى المائي بناءً عليه وعلى عمود المياه عند المدخل. إذا كان طول القمة قصيراً جداً؛ فقد تعمل القمة كقطاع للتحكم في الهدار؛ يعرف العبارة على أنه القطاع الضيق.

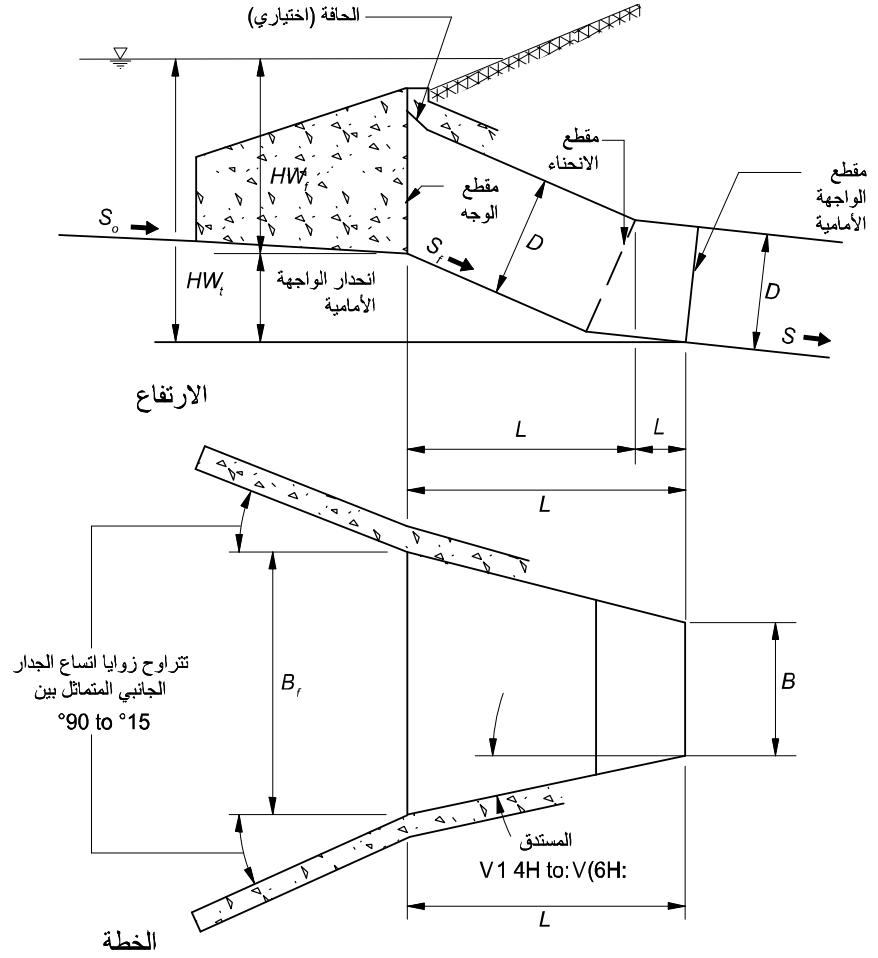


الشكل (٨-٤) مدخل مستدق الجانب مع انحدار في اتجاه تيار المياه الموجود بين جدران الجناح (AASHTO, 2014).

٣-٦-٤ مداخل مستدقة الانحدار :

يحتوي المدخل المستدق الانحدار-مثل المدخل المستدق الجانب - على قطاع واجهة أمامية موسع، بجدران جانبية مستدقة، تلتقي بجدران العبارة في قطاع الواجهة (الشكل ٩-٤). وبالإضافة إلى ذلك، يدمج انخفاض رأسي في المدخل بين أقسام الوجه والخلق. يركز هذا التخزين المنخفض -بشكل أكبر- على منطقة واجهة العبارة الأمامية. في الموقع الذي يتقاطع فيه الميل الأكثر انحدارًا للمدخل مع الميل المسطح للعبارة، يشكل قطاع ثالث يسمى قطاع الانحناء.

يحتوي المدخل مستدق الانحدار على ثلاثة أقسام تحكم محتملة؛ الوجه، والانحناء، وواجهة العبارة الأمامية. من بين هذه المناطق الثلاثة، تتحدد أبعاد الوجه وقطاع الواجهة فقط من خلال إجراءات تصميم HDS-٥ (FHWA, 2012). يتحدد حجم قطاع الانحناء من خلال تحديد موقعه على مسافة دنيا من المنبع من واجهة العبارة الأمامية، حيث لا يتحكم في التدفق.



الشكل (٩-٤) مدخل مستدق الانحدار ذو وجه عمودي (AASHTO, 2014).

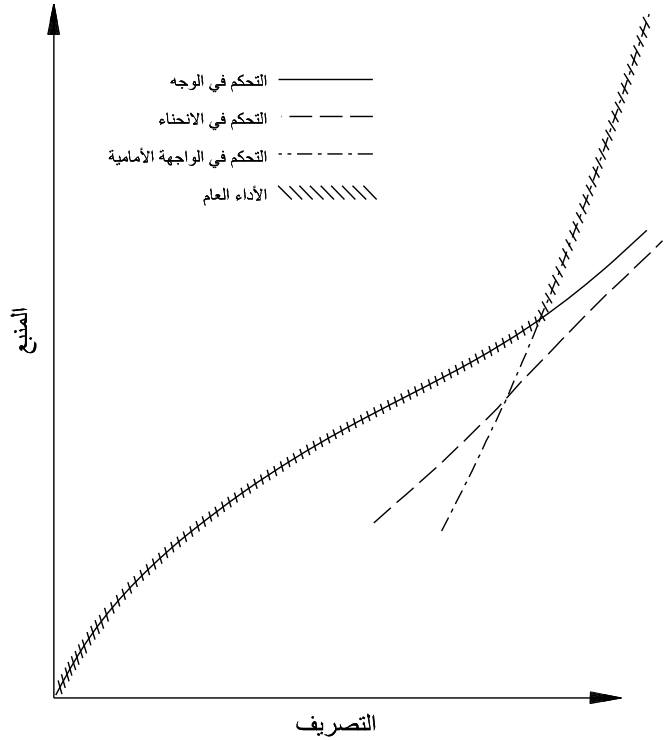
يجمع المدخل المستدق الانحدار بين قطاع الواجهة الفعال مع رأس إضافي على واجهة العبارة الأمامية. لا يستفيد قطاع الواجهة من الانخفاض ما بين الوجه وواجهة العبارة الأمامية؛ لذلك تكون أقسام الوجه في هذه المداخل أكبر من أقسام الوجه في المداخل الجانبية المنخفضة المستدقة المكافئة. يمكن تقليل حجم الوجه المطلوب عن طريق استخدام الحواف أو غيرها من تكوينات الحواف الملائمة. يظهر تصميم مدخل مستدق الانحدار ذي الوجه العمودي في الشكل (٩-٤). يظهر تصميم مدخل مستدق الانحدار ذي الوجه العمودي في الشكل (٩-٤).

يعد المدخل المستدق الانحدار أكثر تحسينات المدخل تعقيداً، والموصى بها في هذا الباب. صعوبات الإنشاء متأصلة، لكن الفوائد في زيادة الأداء يمكن أن تكون كبيرة. مع التصميم المناسب؛ يمر المدخل المستدق الانحدار بمزيد من التدفق عند منسوب معين لعمود المياه، أكثر من أي تجهيز آخر. يمكن تطبيق المداخل المستدقة الانحدار على كل من العبّارات الصندوقية، والعبّارات الأنبوبية، أو الأنابيب الدائرية. وبالنسبة للتطبيق الأخير -عادةً- ما يستخدم الانتقال من مربع إلى دائري؛ لتوصيل المدخل المستدق والانحدار بالأنبوب الدائري.

٤-٦-٤ التصميم الهيدروليكي:

١-٤-٦-٤ التحكم في المدخل:

تحتوي المداخل المستدقة على العديد من أقسام التحكم المحتملة؛ مثل: الوجه، والانحناء (للمداخل المستدقة)، وواجهة العبارة الأمامية. وبالإضافة إلى ذلك، يحتوي المدخل المنخفض المستدق الجانبى على قطاع تحكم محتمل في قمة المنبع من التخزين المنخفض. كل قطاع من أقسام التحكم في المدخل له منحنى أداء فردي. يشار إلى عمق عمود المياه لكل قطاع تحكم إلى خط قاع القطاع. تتمثل إحدى طرق تحديد منحنى الأداء الكلي لعملية التحكم في مداخل العبّارات في حساب منحنيات الأداء لكل قطاع تحكم محتمل، ثم تحديد قطاع كل منحنى، الذي يحدد الحد الأدنى من الأداء العام للفتحة (الشكل ١٠-٤).



الشكل (١٠-٤) منحنيات - أداء التحكم في المدخل (تخطيطي) (AASHTO, 2014).

٢-٤-٦-٤ مدخل مستدق الجانب:

ينبغي تصميم مدخل واجهة العبارة الأمامية المستدقة الجانب؛ حيث تكون قطاع التحكم الأساسي في نطاق تصميم التدفقات ومنابعها؛ نظراً لأن واجهة العبارة الأمامية أقل قليلاً - فقط من الوجه، فمن المحتمل أن يعمل قطاع الواجهة كهذار أو فوهة مع غمر المصب في نطاق التصميم. في معدلات التدفق وعمود المياه عند المدخل الأقل، يتحكم الوجه - عادةً - في التدفق.

٣-٤-٦-٤ مدخل مستدق الانحدار:

يمكن أن يكون مدخل واجهة العبارة الأمامية المستدقة الانحدار؛ هو قطاع التحكم الأساسي، حيث يكون قطاع الواجهة مغموراً أو غير مغمور. إذا كان الوجه مغموراً؛ يعمل الوجه كفوهة مع غمر في اتجاه مجاري صرف المياه. إذا كان الوجه غير مغمور؛ يعمل الوجه كهذار، مع تدفق المجاري المائية في البركة المتكونة بين الوجه وواجهة العبارة الأمامية. كما لوحظ - سلفاً - فلن يعمل قطاع الانحناء كقطاع تحكم إذا أثبتت معايير الأبعاد؛ ومع ذلك فإن الانحناء سوف يسهم في فقد الطاقة المدخلة التي تتضمن معامل خسارة المدخل k_e .

٤-٤-٦-٤ التحكم في المخرج:

عندما يعمل مجرى ذو مدخل مستدق في التحكم في المخرج؛ فإن المكونات الهيدروليكية هي نفسها - كما هو موضح في الجزء (٤-٢) لجميع العبارات. معامل فقدان مدخل المدخل المستدق (k_e) هو ٠,٢ لكل من المداخل المستدقة الجانبية، والمداخل المستدقة الانحدار. يشمل معامل الخسارة هذا الانكماش، والتوسع في الوجه، وزيادة فقدان الطاقة في الاحتكاك بين الوجه وواجهة العبارة الأمامية، وفقدان الطاقة نتيجة التمدد والانكماش الطفيفين في واجهة العبارة الأمامية.

٥-٦-٤ طرق التصميم:

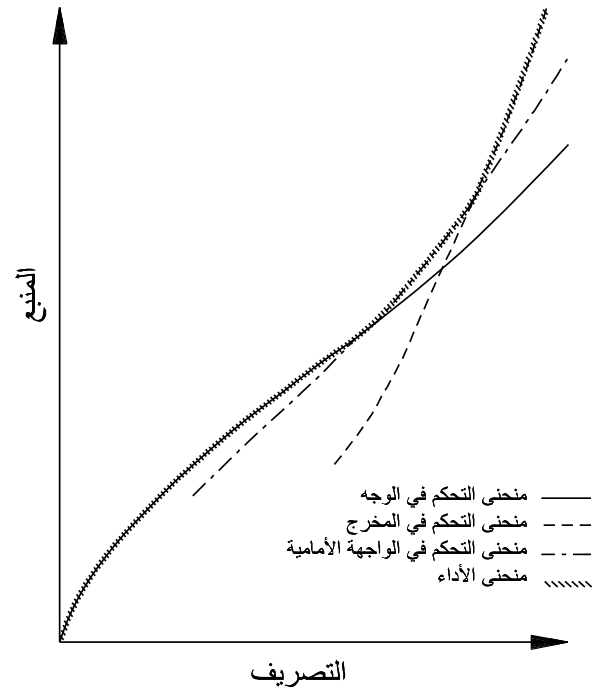
يبدأ تصميم المدخل المستدق باختيار حجم أنبوب العبارة، وشكلها، ومادتها. يشبه إجراء التصميم تصميم قناة مع أقسام تحكم أخرى (الوجه، واجهة العبارة الأمامية). ستكون النتيجة تصميمًا واحدًا أو أكثر من تصميمات العبارات، مع أو دون مداخل مستدقة، وكلها تفي بمعايير تصميم الموقع. ينبغي أن يختار مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) أفضل تصميم للموقع قيد الدراسة.

في تصميم المداخل المستدقة؛ يتمثل الهدف في الحفاظ على التحكم في قطاع الواجهة الفعال في نطاق التصريف التصميمي وعمق المياه عند المدخل؛ هذا لأن قطاع الواجهة له نفس هندسة أنبوب العبارة، وهو جزء في العبارة الأعلى تكلفةً. يحدث بعد ذلك أن يكون

حجم واجهة المدخل كبيراً بما يكفي لتمرير التدفق التصميمي دون العمل كقطاع تحكم في نطاق تصريف التصميم. بعض الحجم الطفيف للوجه مفيد؛ لأن تكلفة إنشاء المدخل المستدق -عادة- ما تكون بسيطة مقارنة بتكلفة القناة أو أنبوب العبارة.

٦-٦-٤ منحنيات الأداء:

توضح منحنيات الأداء طريقة عمل قناة أو عبارة ذي مدخل مستدق. يحتوي كل قطاع تحكم محتمل (الوجه، واجهة العبارة الأمامية، والمخرج) على منحنى أداء؛ بناءً على افتراض أن القطاع المحدد يتحكم في التدفق. ينتج عن حساب ورسم منحنيات الأداء المختلفة رسم بياني مشابه للشكل (١١-٤)، يحتوي على منحنيات التحكم في الوجه، والتحكم في واجهة العبارة الأمامية، والتحكم في المخرج. يتمثل منحنى أداء العبارة الكلي بالخط المفرغ، في نطاق التصريفات المنخفضة، تحكم التحكم في الوجه، في المدى المتوسط، تحكم السيطرة على واجهة العبارة الأمامية وفي نطاق التصريف الأعلى، يتحكم التحكم في المخرج. لم تُحسب منحنيات أداء القمة والانحناء؛ لأنها لا تتحكم في نطاق التصميم.



الشكل (١١-٤) منحنى أداء العبارة (تخطيطي) (AASHTO, 2014).

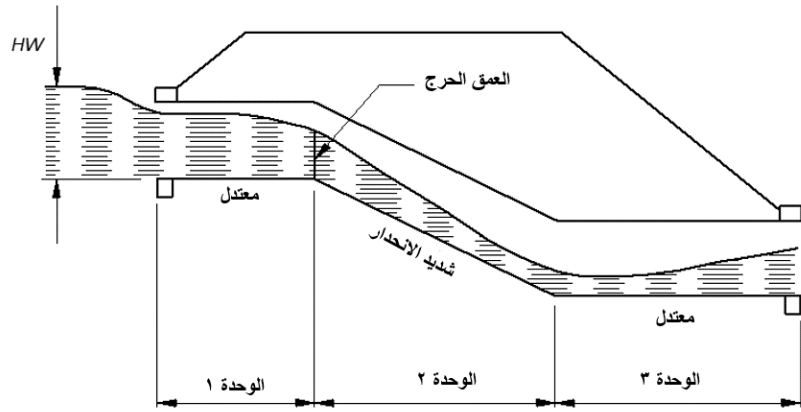
٧-٤ العبّارات مكسورة الظهر:

١-٧-٤ مقدمة:

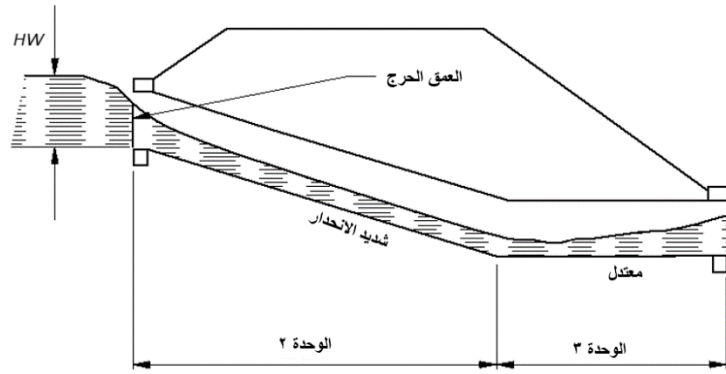
إن أحد البدائل لتركيب عبارة مائلة شديدة الانحدار؛ كسر الميل إلى جزء أكثر انحداراً، بالقرب من المدخل، متبوعاً بقطاع نفاذ أفقي. يشار إلى هذا التكوين على أنه عبارة مكسورة الظهر. يمكن اعتبار العبّارات مكسورة الظهر؛ عبارة عن مشئت داخلية (متكامل) للطاقة إذا صُممت حيث تُحدث قفزة هيدروليكية في قطاع الجريان لتبديد الطاقة؛ (انظر: HEC-14; FHWA, 2006).

٢-٧-٤ القواعد الإرشادية:

التكوين الخلفي المنحني أو المائل (بشكل الظهر المكسور)؛ هو إحدى الآليات المحتملة لإنشاء قفزة هيدروليكية. يوضح نوعان من هذه العبّارات في الشكل (١٢-٤)، والشكل (١٣-٤). عند استخدامها بشكل مناسب، يمكن أن يؤثر تكوين العبّارات مكسورة الظهر على قفزة هيدروليكية واحتوائها. ومع ذلك ينبغي أن يكون هناك ما يكفي من المياه المرتدة، ويجب أن يكون هناك احتكاك وطول كافيان في الوحدة ٣؛ (انظر: الشكل ١٢-٤، والشكل ١٣-٤) من العبارة. في الظروف العادية العبّارات ذات الميل أو الانحدار، ينبغي على المهندس القائم بالتصميم استخدام جهاز واحد أو أكثر -مثل حواجز الخشونة- لتكوين كمية مياه خلفية عالية بما يكفي لفرض حدوث قفزة هيدروليكية.



الشكل (٤-١٢) عبارة من ثلاث وحدات منحنية في الخلف (AASHTO, 2014).



الشكل (٤-١٣) عبارة من وحدتين منحنيتين في الخلف (AASHTO, 2014).

٣-٧-٤ إجراءات التصميم:

تصميم العبارة مكسورة الظهر ليس بالأمر الصعب، ولكن ينبغي وضع الافتراضات المناسبة، التي تحقق الهدف الأساس المتمثل في تقليل سرعة الجريان عند المخرج. يمكن تحديد المكونات الهيدروليكية للقنوات أو العبارات الدائرية والمستطيلة باستخدام برنامج تصميم العبارات المنحنية أو المائلة (HY-8) الخاص بإدارة الطرق الاتحادية، أو برنامج إدارة الطرق في نبراسكا. ضُمّن تصميم مبددات الطاقة المرتبطة في برنامج HEC-14 (FHWA, 2006)، وأيضًا في (FHWA (2012) قُدمت العديد من الجداول والأشكال والنماذج المطلوبة للتصميم الهيدروليكي للعبارات.

٥- مبددات الطاقة:

١-٥ مقدمة:

١-١-٥ نظرة عامة:

يمكن إرجاع فشل أو تلف العديد من المجاري ومرافق أو منشآت مخارج أحواض الاحتجاز أو تخزين المياه إلى حدوث تآكل غير محكوم وغير مراقب. غالبًا ما تزداد قوى التآكل، التي تؤثر في شبكة صرف المياه الطبيعية، عن طريق إنشاء طريق أو بسبب التنمية الحضرية. يؤدي اعتراض وتركيز التدفق البري، وتقلص المجاري المائية الطبيعية -حتمًا- إلى زيادة احتمالية تآكل وتجريف قاع وجوانب أو ضفاف القنوات والمجاري المائية. ومن أجل حماية القناة والمناطق المجاورة؛ من الضروري -أحيانًا- استخدام مبدد للطاقة أو اتباع تدابير مضادة أخرى، أو الاعتماد على كلتا الطريقتين. بالنسبة إلى مصارف المياه على جانب الطريق؛ انظر: الباب ٦، وللتعريف بالقنوات؛ انظر: الباب ٩.

٢-١-٥ تعريف:

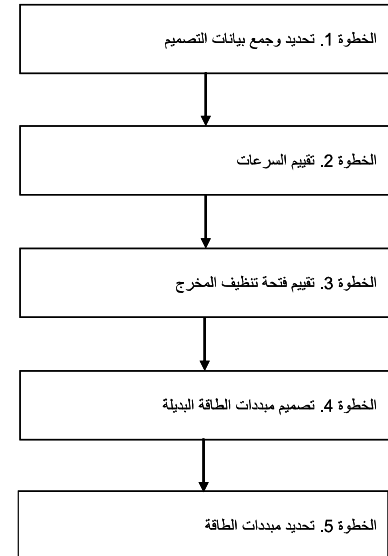
مبددات الطاقة؛ هي أجهزة مصممة لحماية مناطق المصب من التآكل، عن طريق تقليل سرعة التدفق إلى حدود مقبولة.

٣-١-٥ نظام تصميم القنوات والعبّارات - ١٤:

يوفر نظام تصميم القنوات والعبّارات -التصميم الهيدروليكي لمبددات الطاقة (FHWA, 2008)- معلومات تصميم متعمقة لتحليل مشكلات تبديد الطاقة في مخارج المجاري وفي القنوات المفتوحة. يتضمن نظام تصميم القنوات والعبّارات - ١٤ (HEC-14) إجراءات لتصميم مبددات أو مشتتات الطاقة التي تكون داخلية وخارجية -على حد سواء- للقناة التي تقع أعلى أو أسفل قاع المجرى.

٥-٢ إجراءات التصميم:

يقدم إجراء تصميم مبدد الطاقة -الموضح في الشكل (١-٥)- خطوات التصميم الموصى بها. ينبغي أن يتعامل مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) مع القناة، ومبدد الطاقة، وتصميمات حماية القناة كنظام متكامل. ينبغي أن يطبق مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) إجراء التصميم -التالي- على مجموعة واحدة من المجاري، ومشتت الطاقة، وحماية القناة في وقت واحد. الرموز المستخدمة في إجراءات التصميم مأخوذة من نظام تصميم القنوات والعبّارات - (FHWA, 2006).



الشكل (١-٥) إجراءات تصميم مبدد الطاقة (FHWA, 2006).



الخطوة رقم ١: تحديد وجمع بيانات التصميم.

ينبغي اعتبار مبددات الطاقة جزءًا من نظام تصميم أكبر؛ يتضمن مجرى هواء، أو مجرى ماء، ومتطلبات حماية القناة (في المنبع والمصب)، وقد يشتمل على هيكل للتحكم في الحطام. سيكون الكثير من بيانات الإدخال متاحًا لمرحلة تصميم مبدد الطاقة من جهود التصميم السابقة.

- بيانات العبارة. يجب أن يوفر تصميم العبّارات والقنوات:
 - النوع (نوع العبارة أو القناة).
 - الارتفاع D .
 - العرض B ;
 - الطول L ;
 - خشونة n ;
 - الميل S_o ;
 - تصريف التصميم Q_d ;
 - المياه المرتدة TW ;
 - نوع التحكم (مدخل أو مخرج).
 - عمق المخرج y_o
 - سرعة المخرج V_o
 - مخرج رقم أو ثابت فرود Fr_o .
- نوّشت سرعة مخرج المجاري (V_o) في الباب الخامس.
- بيانات الانتقال بالنسبة لمعظم تصميمات المجاري أو العبّارات، ينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تحديد عمق (y) التدفق وسرعة الجريان (V) أو التدفق عند الخروج من تركيبات جدار الجناح/الحيز القياسية.
- بيانات القناة. تُستخدم بيانات القناة -التالية- لتحديد كمية المياه المرتدة TW لتصميم القناة:
 - تصريف التصميم Q_d ;
 - الميل S_o ;
 - هندسة القطاع العرضي.
 - خشونة الجوانب والقاعدة الترابية n .
 - العمق الطبيعي، عمق التدفق $y_n =$ كمية المياه المرتدة TW .
 - سرعة الجريان الطبيعية V_n .

إذا كان القطاع العرضي على شكل شبه منحرف؛ يحدد من خلال العرض السفلي (B) والميل الجانبي (Z) الذي يعبر عنه بـ ($1V:ZH$). يوفر نظام تصميم القنوات والعبّارات -٤- (FHWA, 2008) أمثلة على كيفية حساب العمق الطبيعي في القنوات. يمكن -أيضًا- استخدام صندوق الأدوات الهيدروليكي -إدارة الطرق الاتحادية- لتحديد كمية المياه المرتدة للمقاطع العرضية المنتظمة. ينبغي تقدير حجم وكمية الحطام باستخدام نظام تصميم القنوات والعبّارات -٩- (FHWA, 2005)، ينبغي تقدير حجم وكمية الحمل.

- تقدير التنظيف المسموح به. في الميدان؛ ينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) أن يحدد ما إذا كانت مادة الطبقة عند المخرج المخطط للقناة قابلة للتآكل. إذا كانت الإجابة (نعم)؛ ينبغي تقدير المدى المحتمل للنظافة (أي العمق h_s والعرض W_s والطول L_s) باستخدام المعادلات الواردة في الباب الخامس. يجب أن تستند هذه التقديرات إلى الحدود المادية للتنظيف في الموقع. على سبيل المثال: يمكن تحديد الطول (L_s) بحافة صخرية أو غطاء نباتي. ينبغي توفير معلومات التربة التالية بالقرب من مخارج المجاري أو العبّارات المخططة. بالنسبة للتربة غير المتماسكة؛ يلزم توزيع حجم الحبوب مثل دي (D_{10}) و (D_{85}). بالنسبة للتربة المتماسكة؛ فإن القيم المطلوبة هي قوة القص المشبعة (S_v) ومؤشر أو معامل اللدونة (PI).

- تقييم الاستقرار. - ينبغي تقييم القناة والعبّارات والهياكل ذات الصلة؛ من أجل الاستقرار، مع الأخذ في الاعتبار التآكل المحتمل، بالإضافة إلى الطفو والقص والقوى الأخرى على الهيكل؛ (انظر: الباب التاسع). إذا قُيّمت على أنها غير مستقرة؛ فقم بتقدير عمق التدهور أو ارتفاع التراكم الذي سيحدث خلال العمر الافتراضي لتصميم الهيكل.

الخطوة رقم ٢: تقييم السرعات.

حساب سرعة الخروج من العبارة (V_o) ومقارنتها بسرعة قناة المصب (V_n)، إذا كانت سرعة الخروج وعمق التدفق يقاربان حالة التدفق الطبيعي في قناة المصب؛ فإن تصميم المجرى يكون مقبولاً. إذا كانت سرعة الجريان أعلى بشكل معتدل؛ يمكن لمهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تقييم سرعة الجريان المنخفضة داخل أنبوب العبارة أو المزلق؛ (انظر: الباب ٥)، أو تقليل سرعة الجريان بفتحة التنظيف (الخطوة ٣). هناك خيار آخر وهو تعديل تصميم المجرى أو القناة حيث تتخفف ظروف المخرج. إذا كانت سرعة الجريان أعلى بشكل كبير، أو كانت فتحة المسح من الخطوة ٣ غير مقبولة، أو كلاهما؛ ينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تقييم استخدام مبددات الطاقة (الخطوة ٤). إن تعريف المصطلحات (متساوٍ تقريباً) و (أعلى بشكل معتدل) و (أعلى بكثير) يتعلق بالمخاوف الخاصة بالموقع؛ مثل: حساسية الموقع، وعواقب الفشل. ومع ذلك كإرشادات تقريبية التي ينبغي إعادة تقييمها على أساس موقع محدد؛ يمكن استخدام نطاقات أقل من ١٠ في المائة، وبين ١٠ في المائة و ٣٠ في المائة، وأكثر من ٣٠ في المائة.

الخطوة رقم ٣: تقييم فتحة تجريف (نحر) المخرج.

قم بحساب أبعاد فتحة التجريف بالمخرج باستخدام الإجراءات الواردة في الباب ١٠. إذا كان حجم ثقب المسحوق مقبولاً؛ ينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) أن يوثق حجم الثقب المتوقع للصيانة، ويلاحظ متطلبات المراقبة. إذا كان حجم حفرة التنظيف مفرطاً؛ فينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تقييم مبددات الطاقة (الخطوة رقم ٤).

الخطوة رقم ٤: تصميم مبددات الطاقة البديلة.

قارن بيانات التصميم المحددة في الخطوة رقم ١ بمواصفات مبددات أو مشتتات الطاقة المختلفة في الجدول رقم ٤-١. تصميم واحد أو أكثر من مبددات الطاقة التي تلبي معايير التصميم إلى حد كبير. تنقسم مبددات أو مشتتات الطاقة إلى مجموعتين عامتين بناءً على رقم أو ثابت فرود Fr :

- إذا كان رقم أو ثابت فرود أقل من أو يساوي $Fr \leq 3$: تكون معظم التصميمات موجودة في هذه المجموعة.
- إذا كان رقم أو ثابت فرود أكبر من $Fr > 3$: يشمل ذلك التدفق الهابط، وحوض مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح من النوع رقم ٣، وحوض الراحة من النوع مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح من النوع رقم ٤ وحوض (إس إيه إف) الثابت، وحوض تأثير من نوع مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح من النوع رقم ٤.

ينبغي -أيضاً- مراعاة الحطام، وظروف قناة المياه المرتدة، وظروف الموقع، والتكلفة عند اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب للتصميمات البديلة.

الخطوة رقم ٥: تحديد مبدد الطاقة.

قارن بين بدائل التصميم، وحدد المبدد الذي يحتوي على أفضل مزيج من تقليل التكلفة والسرعة. كل موقف فريد، وسيكون الحكم الهندسي ضرورياً دائماً. ينبغي أن يوثق مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) البدائل التي تُظر فيها.

الجدول (١-٥) مبددات الطاقة وقيدوها (FHWA, 2006).

كمية المياه المرتدة (TW)	الحطام المسموح به (b) (b)			ثابت أو رقم فرد ثابت أو رقم فرد (a) (Fr)	نوع المبدد
	مواد طافية	صخور	طين/رمل		
مرغوب فيه.	عالي.	عالي.	عالي.	غير معروف	انتقالات التدفق.
مرغوب فيه.	عالي.	عالي.	عالي.	غير معروف	حفرة تنظيف.
مطلوب.	عالي.	عالي.	عالي.	أكبر من ١	قفزة هيدروليكية.
لا حاجة له.	منخفض.	منخفض.	متوسط.	أكبر من ١	تدفق هابط (c).
لا حاجة له.	منخفض.	منخفض.	متوسط.	غير معروف	زيادة المقاومة (d).
لا حاجة له.	منخفض.	منخفض.	متوسط.	أقل من ١	حوض مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح، من النوع رقم ٩.



كمية المياه المرتدة (TW)	الحطام المسموح به (b)			ثابت أو رقم فرد ثابت أو رقم فرد (a) (Fr)	نوع المبدد
	مواد طافية	صخور	طين/رمل		
مرغوب فيه.	منخفض.	منخفض.	متوسط.	أكبر من ١	عبارة مكسورة الظهر (d)
لا حاجة له.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	٧ - ٢	مخرج هذار.
لا حاجة له.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	٦ - ٣,٥	انخفاض المخرج/هذار.
مطلوب.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	١٧ - ٤,٥	حوض مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح، من النوع رقم ٣.
مطلوب.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	٤,٥ - ٢,٥	حوض مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح، من النوع رقم ٤.
مطلوب.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	١٧ - ١,٧	حوض طمي.
لا حاجة له.	متوسط.	منخفض.	متوسط.	أقل من ٣	حوض الحدود الصلب.
D٠,٥>	متوسط.	متوسط.	عالي.	أقل من ٣	حوض كونترا كوستا.
لا حاجة له.	متوسط.	متوسط.	عالي.	٣ - ١,٨	حوض هوكي.
مرغوب فيه.	منخفض.	منخفض.	متوسط.	غير معروف.	حوض مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح، من النوع رقم ٤ (e)
لا حاجة له.	عالي.	عالي.	عالي.	أقل من ٣	حوض مبطن بدكة الحجارة.
لا حاجة له.	عالي.	عالي.	عالي.	غير معروف	بلاطة سفلية مبطنة بدكة الحجارة.
مطلوب.	متوسط.	منخفض.	عالي.	أقل من ١	هيكل تخفيض مستقيم (f).
مطلوب.	متوسط.	منخفض.	عالي.	أقل من ١	هيكل تخفيض مدخل صندوق (g)
مرغوب فيه.	طبيعي أو عادي.	منخفض.	متوسط.	غير معروف.	حوض تهدة USACE

ملاحظات:

أ- عند نقطة الإطلاق من المجاري أو القناة.

ب- ملاحظات الحطام: N = لا شيء، L = منخفض، M = متوسط، H = عالي.

ج- داخليًا: داخليًا: يجب أن يكون ميل أسفل القناة في حدود ٤٪ > ٢٥٪.

د- داخليًا: افحص عمود المياه عند المدخل للتحكم في المخرج.

هـ- كمية التدفق > ١٠-١١ م^٣/ث وسرعة الجريان، سرعة الجريان > ١٥ متر لكل ثانية.

و- قطرة > ٥ م/ثانية.

ز- قطرة > ٤ م.

غير متاح = لا ينطبق.

٦- أنظمة صرف مياه الأمطار:

١-٦ مقدمة:

١-١-٦ السياسة:

تُناقش في هذا الباب سياسة إجراءات تصميم نظام صرف مياه الأمطار والإرشادات ومعدل التكرار التصميمي وهندسة (جيومترية) الطريق. يجب أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) قد حدد معدل التكرار التصميمي المناسب ومعايير الانتشار قبل استخدام إجراءات التصميم الواردة في هذا الباب. يجب تحديد هندسة الطريق الأولية للإجراءات الواردة في هذا الباب.

٢-١-٦ نظرة عامة:

يقدم هذا الباب إرشادات عن جميع عناصر تصميم نظام صرف مياه الأمطار:

- نهج التصميم العام (الجزء ٢-٦)
- الهيدرولوجيا (الجزء ٣-٦)
- هندسة (جيومترية) الطرق (الجزء ٤-٦)
- انتشار المياه (الجزء ٥-٦)
- حسابات تدفق المزراب (الجزء ٦-٦)
- أنواع المدخل (الجزء ٧-٦)
- موقع المداخل والتباعد والسعة (الجزء ٨-٦)
- غرف التفتيش (الجزء ٩-٦)
- تحديد الحجم الأولي للأنبوب (الجزء ١٠-٦)
- حسابات خط الميل الهيدروليكي (الجزء ١١-٦).

تعكس جودة النظام النهائي عادة الاهتمام المقدم لكل جانب من جوانب التصميم وإنشاء وصيانة المرفق. ستناقش المواضيع التالية بإيجاز:

- الشفافات المقلوبة (الجزء ١٢-٦).
- المصارف التحتية (الجزء ١٣-٦).

يجب أن يلبي تصميم نظام صرف المياه احتياجات الجمهور الذي يستخدمه واحتياجات المجتمع المحلي لتشجيع استخدام تصميم الصرف المستدام (أي SUDS)، مثل اعتماد تدابير للحد من الجريان السطحي، واستخدام المستنقعات، والغطاء النباتي، وما إلى ذلك. يعد نظام صرف المياه لطريق يمر عبر منطقة حضرية مليئة بالمساكن أكثر تعقيداً من الطرق التي تمر عبر مناطق ريفية قليلة الكثافة السكانية. هذا يرجع إلى:

- أقسام الطريق العريضة والميول المسطحة (في كلا الاتجاهين الطولي والعرضي) ومجري المياه ذات مستوى المياه المحدود وغياب القنوات الجانبية.
- كلما زادت تكلفة الأضرار التي يمكن أن تحدث في الممتلكات نتيجة لحوض المياه أو من تدفق المياه عبر المناطق التي توجد بها مساكن وهياكل؛ و
- ينبغي أن يحمل قطاع الطريق أحمالاً مرورية، ولكن أيضاً يعمل كقناة لنقل المياه نحو المستلم الطبيعي إلى نقطة التخلص (على سبيل المثال، الوديان). يمكن اتخاذ الاحتياطات المناسبة لتجنب أي مشكلات محتملة؛ لأن تدفق المياه على طول الطريق قد يتداخل مع مرور حركة المرور على الطريق أو قد يوقفه.

يلاحظ أن الحالات الخاصة لأنظمة الصرف (مثل، تصريف السدود مرتفعة التربة، حيث ينبغي تضمين معايير تصميم المزالق ومواقع التطبيق بناءً على ارتفاعات التربة) لم تسرد كلها في هذا الباب، إلا المبادئ الهيدرولوجية والهيدروليكية العامة والقياسية، والتي يمكن تطبيقها في تصميم أي نظام صرف.

٣-١-٦ صرف المياه غير الكافي:

تشمل أخطر الآثار المترتبة على عدم كفاية نظام صرف مياه الأمطار ما يلي:

- الأضرار التي لحقت بالممتلكات المجاورة (المساكن والمحلات التجارية والهياكل)، الناتجة عن تدفق المياه على حواجز الطرق ودخولها للممتلكات.
- خطر وتأخير حركة المرور بسبب التراكم المفرط للمياه في التدهور أو الانتشار المفرط على طول الطريق؛ و
- إضعاف القاعدة والطبقة التحتية نتيجة التشبع من التراكم المتكرر للمياه لفترات طويلة.

٤-١-٦ إرشادات التصميم العامة:

يُعرف صرف مياه الأمطار بأنه ذلك الجزء من نظام صرف مياه العواصف المطرية الذي يتلقى الجريان السطحي من المداخل، وينقل الجريان السطحي إلى نقطة ما حيث يصرف بعد ذلك في قناة أو جسم مائي أو نظام أنابيب:

- يمكن أن يكون استنزاف العاصفة قناة مغلقة أو قناة مفتوحة أو مزيجًا من الاثنين، اعتمادًا على حجم المشروع
- يمكن أن يصمم النظام مع مراعاة التطوير والإرشاد المستقبلي، إذا كان ذلك مناسبًا.
- ينبغي استخدام تكرار تصميم أعلى (أو فترة عودة) لأنظمة صرف مياه العواصف المطرية الموجودة في منحنيات القاع الرأسية الرئيسية لتقليل عمق البرك على الطريق والجسور والفيضانات المحتملة للممتلكات المجاورة، حيث يعتمد الفاصل الزمني للعودة على مقياس مشروع.
- حيثما كان ذلك ممكنًا، يجب تصميم مصارف مياه الأمطار لتجنب المرافق الحالية للحد من العواقب السلبية عند الانشاء. إذا لم يكن هذا أمرًا حتميًا، ينبغي إعادة إنشاء المرافق الحالية في مرحلتها السابقة.
- ينبغي الانتباه إلى مصارف صرف مياه العواصف المطرية لضمان تجنب احتمال التآكل أو التقليل منه بأية حال من الأحوال.
- ينبغي تنسيق تصميم نظام صرف المياه مع التنفيذ المرحلي المقترح للمشاريع الإنشائية واسعة النطاق للحفاظ على مصب تفريغ للمياه في جميع أنحاء مشروع الانشاء.

يناقش هذا الباب إجراءات التصميم الخاصة بتصميم وتحليل صرف مياه الأمطار والتي تستند إلى "برنامج" مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢ (٢٩).

٥-١-٦ تخزين الاحتجاز:

يمكن تحقيق الحد من التدفقات القصوى من خلال تخزين مياه الجريان السطحي في أحواض الاحتجاز من خلال استخدام أنابيب أو أنابيب صرف مياه الأمطار والأحواض والقنوات وغيرها من مرافق التخزين. ينبغي أخذ ذلك في الاعتبار عندما تكون مرافق معدل النقل أو التصريف الحالية غير كافية لاستيعاب معدلات تدفق الذروة من مرافق صرف مياه العواصف المطرية على الطرق. وفي العديد من المواقع، لا يُسمح للمنطقة أو وكالات الطرق المحلية أو المطورين أو جميعهم بزيادة معدل الجريان السطحي مقارنة بالظروف الحالية، وبالتالي يستلزم الأمر وجود مرافق للتخزين. قد تشمل الفوائد الإضافية تقليل أحجام أنابيب المصب، وتحسين جودة المياه عن طريق إزالة الرواسب أو الملوثات أو كليهما.

٢-٦ نهج التصميم العام:

١-٢-٦ عملية التصميم:

يجب أن يكون لدى المهندس المختص بأعمال التصميم فهم شامل لمتطلبات صرف المياه. لتحقيق ذلك، من المهم جمع بيانات عالية الجودة يمكن الاعتماد عليها لتمثيل خصائص المشروع المحدد. يلخص الشكل (١-٦) متطلبات البيانات.



الشكل (٦-١) متطلبات البيانات (AASHTO, 2007).

ينبغي أن تتجمع المياه السطحية للطرق الحضرية وشوارع المدينة، وتنقل إلى المصب المتاح. تصميم نظام صرف مياه الأمطار هو عملية تتطور مع تطور المشروع. العناصر الأساسية لهذه العملية مذكورة أدناه في تسلسل عام يمكن من خلاله تنفيذها:

- التنسيق مع الجهات الأخرى
- جمع بيانات
- إعداد التخطيط الأولي
- تحديد موقع المدخل والتباعد والسعة؛ (انظر: الجزء ٦-١٠)
- تخطيط خطة نظام صرف مياه الأمطار
 - تحديد موقع المصب الرئيسي
 - تحديد اتجاه التدفق
 - تحديد موقع المرافق الموجودة
 - تحديد مواقع التوصيل و
 - تحديد موقع غرف التفتيش
- التحديد الأولي لحجم الأنابيب (قطرها)؛ (انظر: الجزء ٦-١٢)، وغرف التفتيش؛ (انظر: الجزء ٦-١١).
- مراجعة خط الميل الهيدروليكي؛ (انظر: الجزء ٦-١٣).
- تحضير الخطط.
- تقديم الوثائق.

٦-٣ الهيدرولوجيا:

٦-٣-١ مقدمة:

في هذا القطاع، تناقش الممارسات المتعلقة بالهيدرولوجيا بمزيد من التفصيل جنباً إلى جنب مع تطبيق الممارسات الهيدرولوجية على وجه التحديد لأنظمة صرف مياه الأمطار.

٢-٣-٦ التكرار التصميمي:

يجب على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تحديد التكرار التصميمي المناسب لاستخدامه في المشروع. ينبغي مراعاة ما يلي في أنظمة صرف مياه الأمطار:

- التكرار التصميمي النموذجي يساوي ١٠ سنوات (أو يمكن استخدام مقياس مناخي أكثر تحفظاً لمدة ٣٠ سنة).
- إذا كان مصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة) يوفر مخرجاً لتصريف متقاطع، فينبغي استخدام تكرار تصميم صرف المياه المتقاطع لنظام تصريف العاصفة في اتجاه المجرى المائي من مدخل صرف المياه المتقاطع.
- إذا كانت مرافق وممارسات صرف المياه المحلية قد وفرت مصارف للعواصف بمواصفات أقل والتي ينبغي أن يتصل بها نظام الطرق، فينبغي إيلاء اعتبار خاص لما إذا كان من الواقعي تصميم نظام الطرق وفقاً لمواصفات أعلى من المداخل المتاحة.
- بالنسبة للمعابر السفلية ونقاط القاع الرأسية الرئيسية على الطرق بالمنطقة، ينبغي أن يكون التكرار التصميمي ٥٠ عامًا حيث يمكن للمياه أن تتجمع بعمق ٠,٥٠ متر أو أكثر على مسار التنقل وحيث تكون قيمة AADT المتوقعة في الاتجاهين أكبر من ٥٠٠٠.

لوحظت إمكانية اعتماد نظام صرف الأنفاق على نفس المبادئ الهيدروليكية لهياكل صرف مياه الأمطار. مع ذلك يوصى باعتماد تكرار تصميمي أعلى لهياكل الأنفاق نظراً لارتفاع مخاطر الفيضانات عليها.

٣-٣-٦ مراجعة التكرار:

ينبغي تقييم جميع مرافق الصرف المقترحة من أجل تكرار المراجعة لتحديد المخاطر على الطريق والممتلكات المحيطة. التكرار الأقصى / تكرار المراجعة المعقول هو ١٠٠ سنة، مع أنه يوصى بحد أدنى أكثر تحفظاً مدته ٣٠ سنة، يتوافق مع النطاق المناخي. ينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تحديد تكرار المراجعة المناسب لاستخدامه في المشروع.

٤-٣-٦ الطريقة المنطقية:

الطريقة المنطقية هي الطريقة الأكثر شيوعاً المستخدمة لتصميم مصارف العواصف المطرية عندما يكون معدل ذروة التدفق مطلوباً. ينبغي أن يقتصر استخدامه على الأنظمة ذات مناطق صرف المياه بمساحة ٠,٨ كيلو متر مربع أو أقل. تتطلب أنظمة صرف المياه التي تشتمل على محطات تخزين ومحطات ضخ تطوير مخطط هيدروغراف للجريان السطحي.

في فصل "الهيدرولوجيا" نوقش تطبيق الطريقة المنطقية والتي تتضمن:

- اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب معامل الجريان السطحي
- زمن التركيز و
- شدة هطول الأمطار.

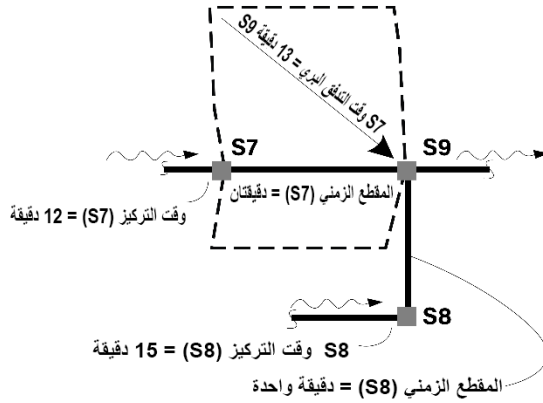
من بين المتغيرات في الطريقة المنطقية، فقط زمن التركيز يتطلب تفصيلاً خاصاً لتطبيقه على أنظمة صرف مياه الأمطار.

٥-٣-٦ مدة التركيز:

١-٥-٣-٦ مقدمة:

يُعرف زمن التركيز بأنه الزمن اللازم لانتقال الجريان السطحي من أبعد نقطة هيدروليكية لمستجمع المياه إلى نقطة نظام صرف مياه الأمطار قيد الدراسة. عادة ما يهتم مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) بزمني تركيز مختلفين - أحدهما لتباعد المدخل والآخر لحجم الأنابيب. هناك فرق كبير بين المرتين، كما نوقش في الأقسام التالية.

سيكون هذا هو أطول من: (أ) زمن التدفق البري إلى المدخل، أو (ب) مجموع زمن التركيز إلى المدخل مباشرة في المنبع في نظام الأنابيب أو الأنابيب بالإضافة إلى زمن التدفق عبر قطاع أنبوب المنبع. بالنسبة للمداخل التي تحتوي على أكثر من أنبوب منبع واحد، ستحتاج إلى مقارنة زمن التركيز t_c زمن التدفق عبر قطاع جميع مداخل وأنابيب المنبع مع زمن السفر البري إلى المدخل الموضوع. استخدم أطولها مثل زمن التركيز t_c (الشكل ٢-٦). بالنسبة لأجزاء الأنابيب التي لا تحتوي على أنابيب المنبع، فإن زمن التركيز سيكون ببساطة هو زمن التدفق البري أو على السطح.



بالنظر إلى المعلومات الموضحة:

وقت التركيز (S9) أكبر من:

(أ) وقت التدفق البري = 13 دقيقة

(ب) وقت التركيز (S7) + وقت التدفق في المقطع (S7)

12 دقيقة + 2 دقيقة = 14 دقيقة

(ج) وقت التركيز (S8) + وقت التدفق في المقطع (S8)

15 دقيقة + دقيقة واحدة = 16 دقيقة

إذاً وقت التركيز (S9) = 16 دقيقة

الشكل (٦-٢) تحديد زمن التركيز (AASHTO, 2007).

٢-٥-٣-٦ تباعد المدخل:

زمن التركيز (t_c) لتباعد المدخل هو الزمن الذي يتدفق فيه الماء من النقطة الأبعد هيدروليكيًا لمنطقة صرف المياه إلى مدخل المنبع الأول والذي يُعرف باسم زمن الدخول. عادةً ما يكون هذا هو مجموع الزمن اللازم لتحرك المياه عبر الرصف أو البر خلف برودة الرصيف إلى قناة الصرف الجانبية، بالإضافة إلى الزمن اللازم للتدفق للتحرك عبر طول قناة الصرف الجانبية إلى المدخل. بالنسبة لصرف الرصف، عندما يكون الزمن الإجمالي للتركيز في مدخل المنبع أقل من خمس دقائق، ينبغي استخدام حد أدنى t_c من زمن التركيز لا يقل عن خمس دقائق لتقدير شدة هطول الأمطار. ينبغي تحديد زمن التركيز لمدخل المصب الثاني وكل مدخل لاحق بشكل مستقل، مثل المدخل الأول. لغرض الحصول على ميل ثابت للطريق ومنطقة صرف موحدة نسبيًا، ينبغي أن يكون زمن التركيز لكل مدخل لاحق ثابتًا أيضًا. يعتبر الحد الأدنى t_c من زمن التركيز مواصفة إقليمية تُنشأ بناءً على خصائص هطول الأمطار وهندسة الطرق (القسم ٦-٦). يمكن افتراض أن الحد الأدنى لزمن التركيز لتصميم الطريق يساوي ١٠ دقائق.

٣-٥-٣-٦ تحديد أحجام الأنابيب:

يُعرف زمن تركيز تحديد حجم الأنابيب بأنه الزمن اللازم لانتقال المياه من أبعد نقطة هيدروليكية لمستجمع المياه إلى نقطة نظام صرف مياه الأمطار قيد الدراسة. وفي هذه التطبيقات، يتكون زمن التركيز بشكل عام من مكونين:

- الزمن الذي يدخل فيه المدخل والذي يمكن أن يتكون من التدفق الرقيق والتدفق الضحل المركز وقناة أو مقاطع تدفق الأسفل
- الزمن اللازم للتدفق عبر مصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة) إلى النقطة قيد الدراسة.

ومع ذلك، فإن بعض طرق أرقام منحنى دائرة الحفاظ على الموارد الطبيعية تدمج المقاطع في زمن تأخير واحد يرتبط بعد ذلك تجريبيًا بزمن التركيز البري.

عادة ما يتطور زمن التدفق الرقيق لجزء التركيز باستخدام نهج الموجة الحركية. توفر معادلة سرعة دائرة الحفاظ على الموارد الطبيعية وسيلة لحساب التدفق الرقيق ومقاطع زمن انتقال التدفق المركز الضحل. يمكن تطوير زمن التركيز في القناة والعاصفة باستخدام معادلة مانينغ أو نهج الميزاب الثلاثي "برنامج" مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢

٤-٥-٣-٦ الملخص:

من أجل اختصار زمن التركيز لأية نقطة على مصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة) هو زمن الدخول للمدخل في الطرف العلوي من الخط بالإضافة إلى زمن التدفق عبر مصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة) من الطرف العلوي لمصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة) إلى النقطة المعنية. بشكل عام عندما يكون هناك أكثر من مصدر واحد للجريان السطحي إلى نقطة معينة في نظام صرف مياه الأمطار والعواصف المطرية، يستخدم أطول زمن أو زمن تركيز t_c لتقدير الشدة (i). ويُلاحظ أنه يمكن اعتماد قيمة نموذجية تبلغ ١٠ دقائق في حالة البيانات المحدودة لتقدير تركيز الزمن؛ (راجع -أيضًا-: التفاصيل في الجزء الفرعي ٥-٥-٢).

٤-٦ هندسة (جيومترية) الطرق:

١-٤-٦ مقدمة:

يناقش هذا القسم دور هندسة الطرق في صرف مياه الأمطار التي طُبِّقَت على التصميم الهيدروليكي لأنظمة الصرف. لا يناقش هذا القسم اعتبارات صرف مياه الأمطار التالية:

- ١- قُدمت معلومات أسطح الجسر - في باب "الجسور" التي تعرض الممارسات الإقليمية لصرف الجسور.
- ٢- سطح الجسر. القنوات المائية التي توجد على جانب الطريق - بالنسبة لأقسام الطريق ذات صرف المياه المفتوحة والقنوات أو المجاري المائية التي توجد، أو تنشأ على جانب الطريق؛ راجع: باب (القنوات).
- ٣- ميول الردم - يجب تصميم ميول الردم حيث تمنع التآكل. في بعض الحالات، قد يكون مزارب الكتف أو الحواجز أو كليهما ضروريًا لتوجيه صرف المياه بعيدًا عن ميول الردم المعرضة بشكل خاص للتآكل.

تشمل الخصائص الهندسية للطريق التي تؤثر على المزارب والمداخل وأنظمة صرف مياه الأمطار، ما يلي:

- عرض الطريق والميل.
- المحاذاة الرأسية.
- قطاعات البردورة والمزارب.
- وجود حواجز وسيطة.

يعتمد تصميم صرف المياه على نوع الطريق وتصنيفه. عند التصميم الأساسي للمشروع، ينبغي مراعاة هندسة الطريق ونوع الطريق حتى يمكن تطوير إجراءات صرف المياه المناسبة. فيما يلي اعتبارات رئيسية:

- بشكل عام، ينبغي أن يكون المنسوب النهائي للطريق ٠,٣ متر فوق الأرض المحيطة كحد أدنى لتجنب دخول المياه.
- يصرف في مواقع النقاط المنخفضة.
- ينبغي تجنب النقاط المنخفضة في حالات أعمال القطع.
- المناطق المسطحة من الطريق الناتجة عن انتقالات المحاذاة الأفقية أو الرأسية.
- الدورات.
- الأنفاق أو المعابر السفلية.

التصميم هو في الواقع عملية تكرارية حيث يعمل مهندسو الطرق وصرف المياه معًا لتطوير حل قوي يحقق فترة عودة الفيضان الصحيحة ومواصفات العمق من خلال تنفيذ تدابير مناسبة للتحكم في التلوث.

يتحكم عرض الرصف والميل العرضي والقطاع الطولي في الوقت الذي تستغرقه مياه العواصف المطرية في التصريف إلى قطاع المزارب. يتحكم قطاع القناة الصرف الجانبية والميل الطولي في كمية التدفق التي يمكن حملها في قطاع الميزاب. تناقش كل من هذه في الأجزاء الفرعية التالية.

٢-٤-٦ مصبات تفريغ المياه:

من المهم وضع استراتيجية لوضع مصبات لتفريغ مياه الأمطار؛ حيث إنها ستحدد من الآثار السلبية على المجتمع المحلي أو الطريق أو البيئة. بسبب مجموعة الأطراف التي يمكن أن تتأثر بالمصبات، ينبغي أن يتفق جميع أصحاب المصلحة على موقع المصبات، حيث تُتجنب الآثار السلبية المحتملة. عند تحديد مواقع المصب المؤقت، ينبغي مراعاة مجموعة العوامل التالية:

- طريقة تفريغ المصبات إلى المجاري المائية أو المجاري أو المياه البحرية، عن طريق الترشيح أو الحقن العميق.
- النقاط العالية والمنخفضة من التضاريس وهندسة الطريق.
- الوصول للصيانة.
- تجهيزات السلامة المطلوبة، إذا كان هناك خطر من وصول الأطفال أو الحيوانات إلى الأنابيب ذات القطر الكبير.
- ينبغي التحكم في سرعة الماء لمنع التآكل أو تلف النظام.
- مخاطر التلوث وتراكم الجسيمات في الظروف الجافة التي يمكن غسلها من خلال النظام عن طريق الجريان السطحي.

٣-٤-٦ القطاع العرضي للطريق:

١-٣-٤-٦ العرض:

بشكل عام، كلما اتسع عرض الطريق (أي مسار المرور بالإضافة إلى عرض الكتف/الرصيف الجانبي) زادت كمية المياه التي يمكن استيعابها بواسطة نظام صرف مياه الأمطار والمزارب.

٢-٣-٤-٦ الميل العرضي:

يمثل الميل العرضي للرصف حلاً وسطاً بين الحاجة إلى ميل عرضية شديدة الانحدار للصرف والميل العرضية المسطحة نسبياً لراحة السائق. يشير كتاب آشتو الأخضر (٢٧-٢٩) إلى أن الميل العرضية بنسبة ٢٪ لها تأثير ضئيل على جهد السائق في التوجيه، خاصة مع التوجيه المعزز، أو على طلب الاحتكاك لاستقرار المركبة.

تم اعتماد الميل العرضية النموذجية التالية على المقاطع المناسبة للطرق في معظم المناطق:

- الخرسانة الأسمنتية البورتلاندي: ٢٪
- الخرسانة الأسفلتية: ٢٪
- طبقة السطح الأسفلتي الأخرى: ٢٪
- الحصى: ٣٪

٤-٤-٦ المحاذاة الرأسية:

١-٤-٤-٦ الميل الطولي:

يعد الحد الأدنى من الميل الطولي أكثر أهمية بالنسبة للطريق المعبّد من الطريق غير المعبّد بسبب التأثير على انتشار مياه العواصف المطرية.

يجب ألا تقل الميل الطولية عن ٠,٥٪ للطرق المعبّدة مع حد أدنى مطلق قدره ٠,٣٪ مسموح به على الطرق عالية من النوع المناسب. يمكن الحفاظ على الحد الأدنى من الميل الطولية للتضاريس المسطحة جداً باستخدام قطاع طولي تلالى للطريق.

٢-٤-٤-٦ المنحنيات الرأسية:

على الطرق المعبّدة، تصبح اعتبارات صرف المياه مهمة. سيُعرض فيما يلي الممارسات الإقليمية النموذجية:

- ١- منحنيات القاع الرأسية. في المرافق ذات الأرصفة الجانبية، يجب أن تكون منحنيات القاع الرأسية "حادة" بدرجة كافية لمنع حالات صرف المياه غير الكافي أسفل المنحنى الرأسى. يمكن تحقيق ذلك من خلال تصميم منحنى القاع الرأسى لتوفير حد أدنى من الميل الطولي بنسبة ٠,٣٪ عند نقطتين على بعد ١٥ متراً من القاع. ينتج عن هذا الحد الأقصى لقيمة $K = 167$ للمنحنى الرأسى والذي يسمى عادةً الحد الأقصى للصرف.
انظر: الجزء الفرعي (٦-١٠-٩) للممارسات الإقليمية عن استخدام المداخل المحيطة عند منحنيات القاع الرأسية.
- ٢- منحنيات القمة الرأسية. اعتبارات صرف المياه ليست حاسمة في منحنيات القمة الرأسية مثل منحنيات القاع الرأسية. ومع ذلك، فإن ممارسة التصميم الجيدة هي تصميم منحنيات قمة رأسية بناءً على $K = 167$ كحد أقصى.

٥-٤-٦ برودة الرصيف والمزrab:

تستخدم برودة الحافة الخارجية للرصيف الجانبي على نطاق واسع في الطرق الحضرية والشوارع. تخدم البردورات عدة أغراض، مثل احتواء الجريان السطحي داخل الطريق وبعيداً عن الخصائص المجاورة ومنع التآكل وتوفير ترسيم الرصف وتمكين التطوير المنظم للممتلكات المجاورة للطريق. تحتوي معظم المناطق على لوحات قياسية لقطع برودة الرصيف والمزrab.

يشكل برودة الرصيف والمزrab قناة مثلية يمكن أن تكون وسيلة نقل هيدروليكي فعالة لنقل الجريان السطحي بحجم أقل من كمية أو شدة التدفق التصميمي دون انقطاع حركة المرور. عندما يحدث تدفق العاصفة المطرية التصميمية، يكون هناك "انتشار" أو اتساع لسطح الماء المنقول. لا يشمل انتشار المياه عرض الأسفل فحسب، بل يشمل أيضاً ممرات وقوف المركبات أو الأكتاف وأجزاء من الطريق المنقول. هذا هو العرض الذي يهتم به مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) أكثر في تدفق برودة الرصيف والمزrab ويصبح الحد من هذا العرض مواصفة حاسمة للتصميم.

٦-٤-٦ الجزر الوسطية:

تُستخدم الجزر الوسطية بشكل شائع لفصل مسارات المرور المتعاكسة على الطرق المقسومة. يفضل انحدار مناطق الجزيرة الوسطية والكثفين الداخليين إلى منخفض مركزي لمنع جريان مياه الصرف من المنطقة الوسطى عبر مسار السير. تنطبق الأقسام التالية على اعتبارات صرف المياه السطحي للمنشآت ذات الجزر الوسطية غير المنخفضة.

١-٦-٤-٦ جزر وسطية سطحية:

تتكون الجزر الوسطية السطحية من منطقة معبّدة مسطحة نسبياً تفصل مسارات المرور بخطوط مطلية فقط على الرصف. يجب أن تكون الجزر الوسطية المسطحة منحدره قليلاً (بميل عرضي على شكل تاج) لتجنب تجمع المياه في المنطقة المتوسطة أو منخفضة قليلاً (مع مصارف بالجزيرة الوسطية) لتجنب حمل كل صرف المياه السطحي عبر مسارات السير.

٢-٦-٤-٦ الجزر الوسطية المرصوفة:

تستخدم الجزر الوسطية المرصوفة والمرفعة ذات البردورات بشكل كبير في الطرق الحضرية الشريانية ذات السرعة المنخفضة. يطبق ميل عرضي على الطريق على شكل تاج عادة، لنقل جزء من صرف مياه الأمطار إلى الخارج وجزء إلى الجزيرة الوسطية، والذي يتطلب بعد ذلك نظام تجميع ونقل للصرف.

٣-٦-٤-٦ حواجز الجزيرة الوسطية:

مع وجود جزر وسطية ضيقة على المنشآت ذات سرعة عالية (على سبيل المثال، بين المناطق)، يمكن استخدام حاجز الجزيرة الوسطية لمنع المركبات الخارجة عن السيطرة من العبور إلى مسارات المرور المعاكس. عند استخدام حواجز الجزيرة الوسطية، من الضروري توفير مداخل، خاصة على المنحنيات الأفقية ذات التعليق الجانبية، وربط مصارف الأمطار لتجميع المياه المتراكمة مقابل الحاجز.

٥-٦ انتشار الماء:

١-٥-٦ عام:

يعد العرض العلوي لتدفق القنوات المفتوحة في المزراب، هو انتشار الماء. وبشكل عام، ينبغي أن يقتصر انتشار الماء على عرض محدد وفق التكرار التصميمي المختار. بالنسبة للعواصف ذات الحجم الأكبر، يمكن السماح لانتشار المياه باستخدام معظم الرصف كقناة مفتوحة. بالنسبة للطرق متعددة المسارات مع برودة الرصيف والمزراب، أو مع المزراب ولا تتوفر بها موقف سيارات، لا يكون عملياً تجنب غمر مسار السير عندما يكون الميل الطولي للطريق منبسطة (٠,٢ - ١٪).

٢-٥-٦ الاختيار:

الاختيار الرئيسي لاختيار العرض التصميمي لانتشار المياه هو تصنيف الطريق، لأن هذا يعكس توقعات الجمهور لمواجهة المياه على سطح الرصف. على سبيل المثال، يجب تقليل البرك إلى الحد الأدنى في مسارات المرور للطرق عالية السرعة والحجم المروري؛ حيث لا يُتوقع حدوث ذلك. تعد سرعة الطريق أحد الاعتبارات الرئيسية لأنه عند السرعات التي تزيد على ٧٠ كم/ساعة، يمكن أن يتسبب انتشار المياه على الرصف، حتى بعمق ضحل، في الانزلاق المائي. تشمل الاعتبارات الأخرى الإزعاج والمخاطر، ومضايقة مرور المشاة، والمباني المجاورة للطرق التي تقع داخل منطقة تناثر المياه. في بعض المواقع (على سبيل المثال، المناطق التجارية)، قد تكتسب هذه الاعتبارات أهمية كبيرة.

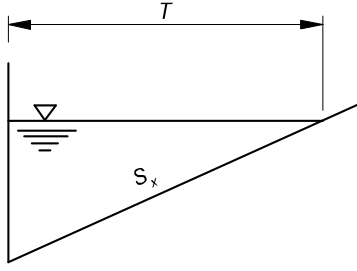
٣-٥-٦ انتشار المياه المسموح به:

يمكن تعديل عرض انتشار المياه إذا كان هناك ما يبرر ذلك من خلال تقييم التكاليف مقابل المخاطر. إذا أدى شرط الانتشار أعلاه إلى مدخل صرف بمسافة تباعد قريبة جداً (أي ٣٠ متراً أو أقل)، فيمكن عندئذٍ النظر في اعتراض جانبي بديل لتدفق المياه. قد يشمل ذلك السماح بانتشار المياه ليغطي المسارات الخارجية لطريق ذي أربعة مسارات أو أكثر، حسب ظروف المشروع.

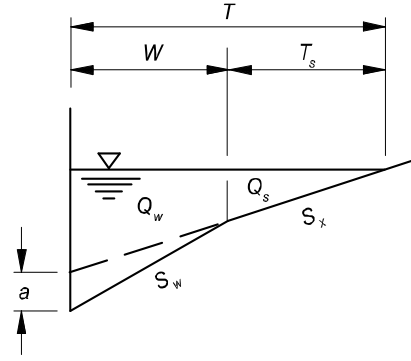
٦-٦ حسابات تدفق المزراب (قناة الصرف الجانبية):

١-٦-٦ مقدمة:

تعد حسابات تدفق المزراب ضرورية لربط كمية التدفق (Q) بانتشار المياه على كتف الطريق، مسار الانتظار، أو مسارات المرور بقطاع الطريق. يناقش هذا الجزء الفرعي تدفق المزارب بقطاعات الطرق ذات الميول العرضية المنتظمة والمركبة (المختلطة). تتميز قطاعات المزراب المركبة بقدرة هيدروليكية أكبر، وبالتالي فهي المفضلة. الشكل (٦-٣) يعرض مخططات لقطاعات المزراب النموذجية. تتوفر حسابات المزراب الموحدة في الجزء الفرعي (٦-٨-٣). إذا اقترح أحد القطاعات البديلة الموضحة في الشكل (٦-٤) انظر: (برنامج) مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢ (FHWA, 2009) للتعرف على إجراءات حساب انتشار المياه.

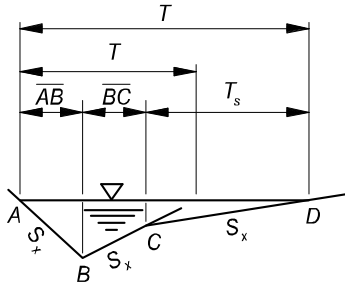


(1) مقطع منتظم

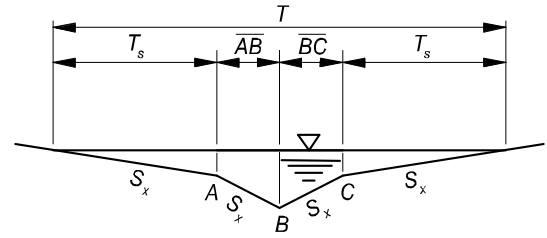


(2) مقطع مركب

أ. مقاطع الرصيف والمزrab التقليدية



(1) مزrab على شكل حرف V



(2) وسيط على شكل حرف V

ب- مقاطع منخفضة

الشكل (٦-٣) قطاعات بر دورة الرصيف والمزrab النموذجية (AASHTO, 2007).

٢-٦-٦ علاقة السعة:

يمكن استخدام تعديل معادلة مانينغ لحساب التدفق في القنوات المثثة:

$$Q = \frac{K_u}{n} S_x^{1.67} S_L^{0.5} T^{2.67}$$

المعادلة (١-٦)

أو يمكن الحساب بدلالة "تي" هكذا: T:

$$T = \left(\frac{Qn}{K_u S_x^{1.67} S_L^{0.5}} \right)^{0.375}$$

المعادلة (٢-٦)

حيث إن:

Q = معدل التدفق (متر مكعب لكل ثانية)

$K_u = 0.49$

n = معامل مانينغ؛ (انظر: الجدول ١-٦).

S_x = الميل العرضي (م/م).



S_L = الميل الطولي (م/م).

T = عرض التدفق (الانتشار)، م.

الجدول (٦-١) قيمة معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ n فيما يتعلق بالمزاريب.

قيمة معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ n	نوع المزراب أو الرصف
٠,٠١٢	مزراب خرساني وحالة التشطيب النهائي
رصف أسفلتي	
٠,٠١٣	نسيج ناعم
٠,٠١٦	نسيج خشن
مزراب خرساني ورصف أسفلتي	
٠,٠١٣	تشطيب نهائي ناعم
٠,٠١٥	تشطيب نهائي خشن
رصف خرساني	
٠,٠١٤	تشطيب نهائي عائم
٠,٠١٦	تشطيب نهائي أملس
ملاحظة: بالنسبة للمزاريب ذات الانحدار الطولي الصغير، حيث قد تتراكم الرواسب، تُراد قيم معامل الخشونة n بمقدار ٠,٠٢. (٢٨)	

٣-٦-٦ إجراءات تصميم قطاع المزراب المركب (المختلط)

يتطلب تصميم قطاع المزراب المركب مراعاة التدفق في الجزء المنخفض منه، Q_w يمكن استخدام المعادلات الواردة أدناه لتحديد التدفق في عرض مزراب بقطاع عرضي مركب؛ تكون قيمة العرض (W) أقل من عرض انتشار المياه الكلي (T).

$$E_o = 1 / \left\{ 1 + \frac{S_w / S_x}{\left[1 + \frac{S_w / S_x}{\frac{T}{W} - 1} \right]^{2.67}} - 1 \right\} \quad \text{المعادلة (٣-٦)}$$

$$Q_w = Q - Q_s \quad \text{المعادلة (٤-٦)}$$

$$Q = \frac{Q_s}{(1 - E_o)} \quad \text{المعادلة (٥-٦)}$$

حيث إن:

E_o = نسبة التدفق بالعرض المختار (عادةً عرض شبكة فتحة الصرف) إلى إجمالي تدفق المزراب (Q/Q_w)

$$S_w = a/W + S_x$$

حيث إن:

$$S_x = \text{الميل العرضي للرصف}$$

$$T = \text{العرض العلوي لسطح الماء}$$

$$W = \text{عرض المزراب}$$

$$Q_w = \text{معدل التدفق في القطاع المنخفض من المزراب، متر}^3 \text{ لكل ثانية}$$

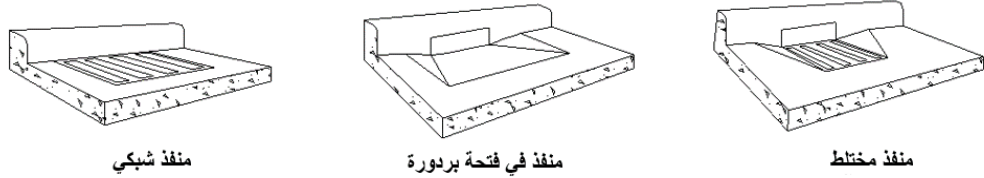
$$Q = \text{معدل تدفق المزراب، متر مكعب لكل ثانية}$$

$$Q_s = \text{سعة تدفق قطاع المزراب أعلى القطاع المنخفض، متر مكعب لكل ثانية}$$

٧-٦ أنواع مداخل الصرف:

١-٧-٦ عام:

مداخل الصرف عبارة عن هياكل صرف تُستخدم لتجميع المياه السطحية من خلال فتحة صرف شبكية (سطحية) أو فتحة في بردورة الرصيف (جانبية) أو مزيج من الاثنين معاً؛ (انظر: الشكل ٦-٤) ونقلها إلى مصارف مياه الأمطار أو العيَّارات. يناقش هذا القسم الأنواع المختلفة من مداخل الصرف المستخدمة حسب المناطق ويوصي بالإرشادات ذات الصلة عن استخدام كل نوع.



الشكل (٦-٤) أنواع مدخل العيّارة (AASHTO, 2007).

يحدد حجم مداخل صرف المياه وتحديد موقعها للحد من انتشار المياه على الطريق إلى العرض المسموح به حسب العاصفة المطرية التصميمية. يجب وضع المداخل الشبكية السطحية وفتحات بردورة الرصيف الجانبية خارج مسارات المرور المستمر لتقليل انحراف المركبات التي تحاول تجنبها. يجب أن تكون جميع المداخل الشبكية آمنة للدراجات (مثل الموضح أعلاه) عند استخدامها على الطرق التي تسمح بسير الدراجات.

٢-٧-٦ الأنواع:

يمكن تقسيم المداخل المستخدمة لصرف المياه السطحية من رصف الطريق إلى أربع فئات رئيسية.

١-٢-٧-٦ مداخل صرف شبكية:

تتكون هذه المداخل من فتحة مغطاة بشبكة أو أكثر في المزراب؛ وتعتبر الأنسب للاستخدام في الميول المستمرة. نظرًا لأنها عرضة للانسداد بالحطام، ينبغي أن يقتصر استخدام المداخل الشبكية القياسية في نقاط قاع الرصف الرأسية على المواقع الثانوية دون احتمال وجود حطام. كما يمكن استخدام مداخل شبكية ذات تصميم خاص (كبيرة الحجم) في نقاط القاع الرئيسية إذا وفرت سعة كافية لمقابلة الانسداد. خلاف ذلك، تكون هناك حاجة إلى توفير مداخل صرف اعراضية.

٢-٢-٧-٦ مداخل صرف بفتحة البردورة:

توفر هذه المداخل فتحات في بردورة الأرصفة الجانبية المغطاة ببلاطة علوية. تُفضل مداخل فتحة صرف مياه الأمطار في نقاط قاع الرصف الرأسية؛ لأنها يمكن أن تنقل كميات كبيرة من الماء والحطام. قد تكون أيضًا بديلًا قابلاً للتطبيق للمداخل الشبكية في العديد

من المواقع، حيث قد تكون الأخيرة خطرة على المشاة أو راكبي الدراجات. لا تُعد عمومًا الخيار الأول للاستخدام في الميول المستمرة بسبب قدرتها الهيدروليكية الضعيفة.

٣-٧-٦ مداخل صرف مُختلطة:

تُستخدم أنواع مختلفة من مداخل الصرف المُختلطة. تعد مجموعات مداخل فتحة برودة الرصيف الجانبية مع الفتحات الشبكية شائعة، بعضها مع فتحة الرصيف الجانبية أعلى المداخل الشبكية، والبعض الآخر مجاور لها. يعد الميل الطولي للمزrab والميل العرضي وقرب المداخل من بعضها البعض عوامل مهمة عند اختيار هذا النوع من المداخل. قد تكون مداخل الصرف المُختلطة مرغوبة في نقاط القاع الرأسية، لأنها يمكن أن توفر سعة إضافية في حالة الانسداد.

٤-٧-٦ مداخل صرف مشقوقة:

تتكون هذه المداخل من فتحة مشقوقة مع قضبان متعامدة مع الفتحة. تعمل مداخل الصرف المشقوقة كسدود صغيرة (هذارات)؛ لأن التدفق يدخل عادة بشكل عمودي على الفتحة. يمكن استخدامها لاعتراض التدفق الرقيق وتجميع تدفق المزrab، مع برودة أو من دونها، وتعديل الأنظمة القائمة لاستيعاب توسيع الطريق أو زيادة الجريان السطحي، وتقليل عمق البرك وانتشار المياه عند مداخل الصرف الشبكية.

يمكن استخدام الأنابيب المعدنية المموجة المشقوقة عند انتقالات الجزر الوسطية، وفي بعض الأحيان، في القطاعات المركبة (المختلطة) المكونة من برودة ومزrab، حيث يلزم تجميع كميات كبيرة من المياه. يمكن استخدام الأنابيب الخرسانية المسلحة المشقوقة كمصرف جزيرة وسطية. يحتوي برنامج "مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٠٠٩" (FHWA, 2009) على إرشادات التصميم.

٣-٧-٦ مداخل الصرف المنخفضة:

يوفر مدخل الصرف المنخفضة قاعدة لمداخل الصرف الشبكية. في الأساس، يمثل المدخل المنخفض هيكل أسفل الرصف (أو حوض) لتجميع مياه المياه من المداخل ونقلها إلى نظام الأنابيب تحت الأرض.

٨-٦ موقع مداخل الصرف، والتباعد، والسعة:

١-٨-٦ الموقع:

هناك العديد من المواقع التي قد تكون فيها مداخل الصرف ضرورية بغض النظر عن مناطق صرف المياه المساهمة. ينبغي وضع علامة على هذه المواقع على المخططات قبل إجراء أي حسابات هيدروليكية فيما يتعلق بالتصريف، أو انتشار المياه، أو سعة المدخل، أو التدفق المنقول لمدخل الصرف التالي. يجب تحديد مواقع وأقصى عدد لوصلات مدخل الصرف وفقًا لعرض التدفق ومعايير الرصف، وعند النقاط المنخفضة، وانقلاب التعلية الجانبية، والمساحات المسطحة، وأعلى التقاطعات والممرات الجانبية والطرق الخاصة. أمثلة على هذه المواقع:

- بغض النظر عن نتائج التحليل الهيدروليكي، ينبغي تباعد مداخل الصرف على الميول بحد أقصى ٩٠ مترًا للأنابيب بحجم ١,٢ متر أو أصغر.
- ينبغي أن تباعد مداخل الصرف على الميول بحد أقصى ١٨٠ مترًا للأنابيب التي يزيد حجمها على ١,٢ متر.
- ينبغي وضع مداخل صرف على الجانب العلوي من مدخل الجسر.
- ينبغي وضع مداخل صرف على جميع النقاط المنخفضة بميل المزrab.
- ينبغي وضع مداخل صرف على الجانب العلوي من الشوارع المتقاطعة.
- ينبغي وضع مداخل صرف على الجانب العلوي من مداخل الممرات الجانبية والطرق الخاصة، منحدرات البردورات، أو معبر المشاة حتى إذا أدى التحليل الهيدروليكي إلى وضع مداخل الصرف في مستوى أدنى أو داخل المرفق المعني.
- ينبغي وضع مداخل صرف على الجانب العلوي من فواصل الجزر الوسطية.
- ينبغي وضع مداخل صرف لالتقاط التدفق من الشوارع المتقاطعة قبل وصوله إلى الطريق الرئيسي.
- مداخل صرف الاعتراضية في منحنيات القاع الرأسية هي ممارسة قياسية. (انظر: الجزء الفرعي ٦-١٠-٩).
- ينبغي وضع مداخل صرف لمنع الماء من التكتل والسيلان عبر الطريق (أي ضع المدخل قبل بدء انتقال التعلية الجانبية).
- ينبغي ألا توضع مداخل صرف في مسارات المشاة.

٢-٨-٦ إجراءات مبادعة مداخل الصرف:

تحديد موقع مداخل الصرف من القمة والعمل نزولاً باتجاه الميل الهابط إلى نقاط القاع. يمكن العثور على موقع المدخل الأول من القمة بتحديد طول الرصف والمنطقة الواقعة خلف برودة الرصيف والمنحدرة نحو الطريق

والمولدة للجريان السطحي التصميمي. يمكن حساب الجريان السطحي التصميمي على أنه الحد الأقصى المسموح به للتدفق في للقناة المقيدة بالبردورة التي ستبلي التكرار التصميمي وانتشار المياه المسموح به. حيث تتكون منطقة صرف المياه المساهمة من شريط من الأرض موازي للطريق، وتتضمن جزءاً منه. يمكن حساب موقع المدخل الأول على النحو التالي:

$$L = \frac{43,560 Q_t}{CiW} \quad \text{المعادلة (٦-٦)}$$

حيث إن:

L = المسافة من القمة، م .

Q_t = الحد الأقصى للتدفق المسموح به، متر مكعب لكل ثانية.

C = معامل الجريان السطحي المركب لإسهام منطقة الصرف.

I = شدة هطول الأمطار للتكرار التصميمي، مم/ساعة.

W = عرض منطقة صرف المياه المساهمة، م .

المعادلة (٦-٦) هي صيغة بديلة من معادلة الطريقة المنطقية. إذا كانت منطقة صرف المياه المساهمة في مدخل الصرف الأول من القمة غير منتظمة الشكل؛ فقد تكون التجربة والخطأ ضروريين لمطابقة كمية التدفق التصميمي، مع أقصى تدفق مسموح به.

لتحقيق التباعد المثالي بين مداخل الصرف المتتالية؛ فمن الضروري حساب مقدار التدفق الذي سيُعتراض بواسطة مدخل الصرف (Q_i) وطرحه من إجمالي تدفق المزراب لحساب التدفق المنقول (إلى المخرج التالي). يضاف التدفق المنقول من المدخل الأول إلى التدفق المحسوب إلى المدخل الثاني، الذي يجب أن يكون إجماليه أقل من الحد الأقصى للتدفق المسموح به، الذي يمليه انتشار الماء المسموح به. الشكل (٦-٦)؛ (انظر: الجزء الفرعي ٦-١٠-١٠) عبارة عن ورقة حساب لتباعد المدخل يمكن استخدامها لتسجيل حسابات التباعد. ومع ذلك فعادةً ما تنجز حسابات مدخل الصرف باستخدام البرنامج.

على سبيل المثال؛ قامت إدارة الطرق الاتحادية بالتحقيق في قدرة اعتراض المدخل لجميع أنواع مداخل الصرف الشبكية، ومداخل الصرف المشقوق، ومداخل فتحة صرف مياه الأمطار، والمداخل المركبة. يمكن تحليل كل من الميول العرضية الموحدة والمركبة.

٣-٨-٦ مداخل الصرف الشبكية على المنحدر:

تعتمد سعة مدخل الصرف الشبكي على هندسته، والميل العرضي، والميل الطولي، والتدفق الكلي للمزراب، وعمق التدفق، وخشونة الرصف. يُعد عمق المياه بجوار البردورة العامل الرئيس في قدرة الاعتراض مداخل كل من المزراب وفتحات الرصيف الجانبي. عند السرعات المنخفضة؛ تُعتراض كل المياه المتدفقة في قطاع المزراب (التدفق الأمامي) بمداخل الصرف الشبكية، ويُعتراض جزء صغير من التدفق (التدفق الجانبي). على الميول الطولية شديدة الانحدار؛ قد يميل جزء من التدفق الأمامي إلى التناثر عند نهاية الفحة الشبكية لبعض مداخل الصرف.

تُعطى نسبة التدفق الأمامي إلى التدفق الكلي للمزراب E_o لميل عرضي مستقيم؛ بالمعادلة التالية:

$$E_o = Q_w/Q = 1 - (1 - W/T)^{2.67} \quad \text{المعادلة (٧-٦)}$$

حيث إن:

Q_w = التدفق في عرض القطاع W ، متر مكعب لكل ثانية.

Q = إجمالي التدفق للمزراب، متر مكعب لكل ثانية.

W = عرض المزراب المنخفض أو فتحة الصرف الشبكية، م.

T = الانتشار الكلي للمياه في المزراب، م.

نسبة التدفق الجانبي، Q_s إلى إجمالي تدفق المزراب؛ هي:

$$Q_s/Q = 1 - Q_w/Q = 1 - E_o$$

المعادلة (٨-٦)

يعبر عن نسبة التدفق الأمامي المعترض إلى إجمالي التدفق الأمامي R_f بالمعادلة التالية:

$$R_f = 1 - 0.09 \times (V - V_o)$$

المعادلة (٩-٦)

حيث إن:

V = سرعة التدفق في المزراب، متر لكل ثانية.

V_o = سرعة المزراب، حيث يحدث التناثر أولاً، متر لكل ثانية.

هذه النسبة تعادل كفاءة اعتراض التدفق الأمامي.

يمكن استخدام المعادلات الواردة في الجدول رقم ٦-٢ (من دليل وزارة النقل في تكساس عبر الإنترنت) لتحديد سرعات الانتشار (V_o) لمختلف التكوينات الشبكية. يمكن بعد ذلك استخدام المعادلة ١٠-٦ لحساب التدفق الأمامي الذي اعترض بواسطة المداخل الشبكية.

الجدول (٦-٢) معادلات سرعة الانتشار.

تكوين مدخل صرف شبكي	تباعد شريطي نموذجي (مم)	معادلة سرعة التدفق
قضبان متوازية ($P-1^{1/8}$).	٥٠	$V_o = 2,218 + 4,031L - 0,649L^2 + 0,056L^3$
قضبان متوازية ($P-1^{1/8}$).	٣٠	$V_o = 1,762 + 3,117L - 0,451L^2 + 0,033L^3$
ريشة منحنية.	١١٥	$V_o = 1,381 + 2,78L - 0,300L^2 + 0,020L^3$
٥٤٥ قضبان مائلة.	١٠٠	$V_o = 0,988 + 2,625L - 0,359L^2 + 0,029L^3$
قضبان متوازية مع قضبان متعارضة ($P-1^{1/8}-4$).	٥٠ متوازية ١٠٠ عمودية	$V_o = 0,735 + 2,437L - 0,265L^2 + 0,018L^3$
٣٠ قضبان مائلة.	١٠٠	$V_o = 0,505 + 2,344L - 0,200L^2 + 0,014L^3$
شبكي.	غير متاح.	$V_o = 0,030 + 2,278L - 0,179L^2 + 0,010L^3$

يعبر عن نسبة التدفق الجانبي المعترض إلى إجمالي التدفق الجانبي R_s أو كفاءة اعتراض التدفق الجانبي؛ من خلال:

$$R_s = 1 / [1 + (0.15 \times V^{1.8} / S_x \times L^{2.3})]$$

المعادلة (١٠-٦)

حيث إن:

V = سرعة التدفق في المزراب، متر لكل ثانية.

S_x = الميل العرضي، م/م.

L = طول الشبكة، م.

يُعبّر عن كفاءة E مخرج شبكي على النحو التالي:

$$E = R_f \times E_o + R_s(1 - E_o) \quad \text{المعادلة (١١-٦)}$$

تساوي قدرة اعتراض مدخل الصرف الشبكي على المنحدر كفاءة المدخل الصرف الشبكي مضروبة في إجمالي التدفق للمزrab:

$$Q_i = E \times Q = Q \times [R_f \times E_o + R_s \times (1 - E_o)] \quad \text{المعادلة (١٢-٦)}$$

٤-٨-٦ المنفذ الشبكي في القاع:

رغم أن مداخل فتحة صرف مياه الأمطار مفضلة -عمومًا- على مداخل الصرف الشبكية، فإنه يمكن استخدام مداخل الصرف الشبكية بنجاح. وبالنسبة لنقاط القاع الرأسية الصغيرة -حيث تكون احتمالية وجود الحطام محدودة- فيمكن استخدام مداخل شبكية دون مداخل فتحة البردورة. قد يكون أحد الأمثلة على نقطة قاع صغيرة على منحدر عند انضمامه إلى خط رئيس. يُفضل توفير مداخل فتحة الرصيف الجانبية والمداخل الشبكية معاً في نقاط القاع أو الرأسية؛ لأن من المحتمل وجود حطام، كما هو الحال في الشوارع المدينية؛ (انظر: الجزء الفرعي ٦-١٠-٦). وبالنسبة إلى نقاط القاع الرئيسية -مثل: الطرق عالية السرعة- فيفضل توفير مداخل فتحة الرصيف عن المداخل الشبكية؛ نظراً لكفاءتها الهيدروليكية وقدراتها على معالجة وجود الحطام. عند استخدام المداخل الشبكية؛ فمن الممارسات الجيدة افتراض أن نصفها مسدود بالحطام.

حيث يمكن أن تحدث البرك -بشكل كبير- في مواقع؛ مثل: الممرات السفلية، ومنحنيات القاع الرأسية في الأجزاء المنخفضة؛ فمن الممارسات الهندسية الجيدة وضع مدخل واحد -على الأقل- على كل جانب من مدخلي فتحة الصرف في الرصيف. يجب وضع المداخل المحيطة التي تحد من الانتشار على المنحدرات ذات الميل الطولية المنخفضة، وتعمل على تخفيف المدخل عند النقطة المنخفضة إذا أصبح مسدوداً، أو إذا تجاوز الانتشار المسموح به. يقدم الجزء الفرعي (٦-١٠-١٠) مزيداً من المناقشة والمنهجية.

يعمل المخرج الشبكي في القاع كسد صغير (هذار) يصل إلى عمق يعتمد على حجم المدخل الشبكي، وكفوهة على عمق أكبر. ستعمل المداخل الشبكية ذات الأبعاد الأكبر كسدود صغيرة (هذارات) بأعماق أكبر من المداخل الأصغر.

قدرة المدخل الشبكي التي تعمل كسد صغير (هذار) ؛ هي:

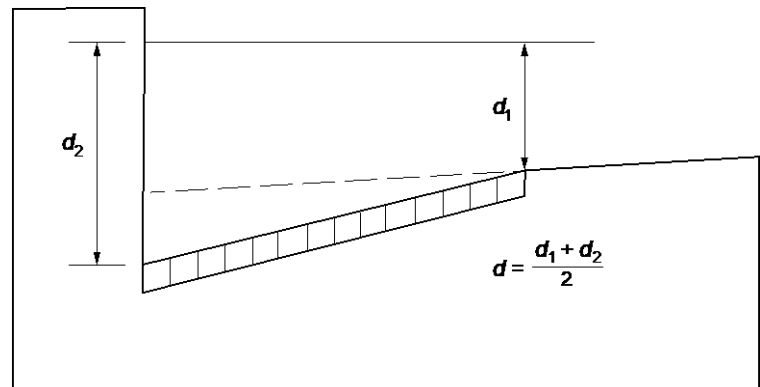
$$Q_i = C_w \times P \times d^{1.5} \quad \text{المعادلة (١٣-٦)}$$

حيث إن:

P = محيط الصرف باستثناء عرض القضبان والجانب المقابل للصرف، م.

C_w = ٣,٠ معامل الهذار.

d = متوسط العمق عبر الشبكة (٥,٠ + ٢d) ، متر؛ (انظر: الرسم أدناه).



الشكل (٦-٥) تشغيل مدخل شبكي كسلك (AASHTO, 2007)

سعة مخرج شبكي الذي يعمل كفوهة؛ هي:

$$Q_i = C_o \times A_g \times (2 \times g \times d)^{0.5}$$

المعادلة (١٤-٦)

حيث إن:

$C_o = ٠,٦٧$ ، معامل الفوهة.

A_g = مساحة الفتحة الواضحة للشبكة (م^٢).

عجلة الجاذبية = ٩,٨١ متر/ثانية مربعة.

يتطلب استخدام المعادلة (١٤-٦) مساحة واضحة للمدخل الشبكي، و يحصل عليها بضرب المساحة الإجمالية بنسبة الفتحة الواردة في الجدول التالي (بحثية (من برنامج "مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢") (FHWA, 2009):

الجدول (٣-٦) نسبة الفتحة.

نسبة الفتحة	مدخل شبكي
٠,٨	P-١ ^٧ / _٨ -٤
٠,٩	P-١ ^٧ / _٨
٠,٦	P-١ ^١ / _٨
٠,٨	مدخل شبكي
٠,٣٥	مدخل بشكل منحنى.
٠,٣٤	قضبان مائلة
	نسبة الفتحات
	منفذ شبكي
	P-١ ^٧ / _٨ -٤
	P-١ ^٧ / _٨
	P-١ ^١ / _٨
	منفذ شبكي
	مدخل صرف بشكل منحنى.
	قضبان مائلة

٥-٨-٦ مداخل الصرف بفتحة البردورة على المنحدر:

تعد مداخل فتحة البردورة فعالة في صرف رصف الطريق؛ حيث يكون عمق التدفق عند الرصف كافيًا لعمل المدخل بكفاءة. وتكون فتحات البردورة خالية -نسبيًا- من ميل تؤدي للانسداد، وتقلل من حجم التدخل في حركة المرور. إنها بديل قابل للتطبيق للمداخل الشبكية في العديد من المواقع حيث ستكون في مسارات المرور، أو قد تكون خطرة على المشاة أو على راكبي الدراجات.

يُعبّر عن طول مدخل فتحة البردورة المطلوب للاعتراض الكلي لتدفق المزراب على قطاع الرصف ذي الميل العرضي المستقيم؛ من خلال:

$$L_T = K \times Q^{0.42} \times (S_L)^{0.3} \times [1/(n \times S_x)]^{0.6} \quad \text{المعادلة (١٥-٦)}$$

حيث إن:

L_T = طول فتحة البردورة المطلوبة للاعتراض ١٠٠٪ من تدفق المزراب (م).

$$K = ٠,٦$$

يُعبّر عن كفاءة المداخل في فتحة البردورة الأقصر من الطول المطلوب للاعتراض الكلي؛ من خلال:

$$E = 1 - (1 - L/L_T)^{1.8} \quad \text{المعادلة (١٦-٦)}$$

حيث إن:

L = طول فتحة البردورة (م).

يمكن إيجاد طول مدخل الصرف المطلوب للاعتراض الكلي؛ عن طريق مداخل فتحة البردورة المنخفضة، أو فتحات البردورة في أقسام المزراب المنخفضة، أو مزراب المنخفض باستمرار (المزراب المركب)؛ باستخدام ميل عرضي مكافئ S_e في المعادلة ١٧-٦:

$$S_e = S_x + S'_w \times E_o \quad \text{المعادلة (١٧-٦)}$$

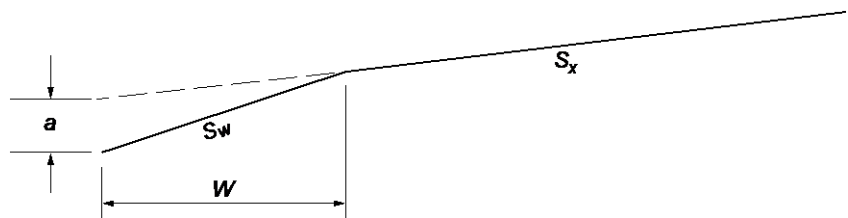
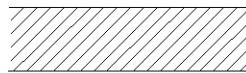
حيث إن:

$S_x - S_w = (a/12W) = S'_w$ = الميل العرضي للمزراب المُقاس من الميل العرضي للرصف، م/م، حيث:

a = انخفاض المزراب، مم.

E_o = نسبة التدفق في القطاع المنخفض إلى إجمالي تدفق المزراب. يتحدد من خلال تكوين المزراب للمنبع المدخل.

ملاحظة: S_e يمكن استخدام طول مدخل الصرف المطلوب لحساب طول فتحة الرصيف؛ باستبدال S_e بـ S_x في المعادلة (١٥-٦).



الشكل (٦-٦) الميل العرضي للمزراب المُقاس من الميل العرضي للرصف (AASHTO, 2007)

٦-٨-٦ مداخل الصرف بفتحة البردورة في القاع:

تعتمد سعة مدخل الصرف -الذي يوجد في القاع- على: عمق المياه عند البردورة، وطول فتحة البردورة، وارتفاعها. يعمل المدخل كسد صغير لأعماق مساوية لارتفاع فتحة البردورة، وكفوهة على أعماق تزيد على ١,٤ ضعف ارتفاع الفتحة. في الأعماق من ١,٠ - ١,٤ مرة من ارتفاع الفتحة، يكون التدفق في مرحلة انتقالية. انظر: الشكل (٦-٤) لرسم تخطيطي.



معادلة سعة اعتراض مدخل فتحة البردورة المنخفض الذي يعمل كسد صغير (هذّار)؛ هي:

$$Q_i = C_W \times (L + 1.8 \times W) \times d^{1.5} \quad \text{المعادلة (١٨-٦)}$$

حيث إن:

$C_W = ٢,٣$ (مع التخزين المنخفض).

L = طول فتحة البردورة، م.

W = عرض الانخفاض، م.

d = عمق المياه عند الرصيف مقاساً من الميل العرضي العادي بالمتر ($d = a$) for a uniform gutter and $d = TS_x$ for a composite section + i.e., $d = TS_x$ for a composite section.

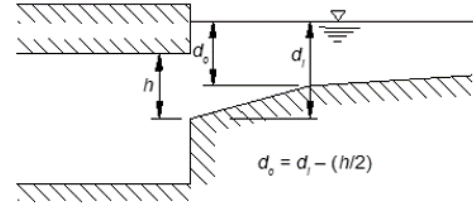
تنطبق معادلة الهذّار على الأعماق عند البردورة-التي تقل عن أو تساوي ارتفاع الفتحة- بالإضافة إلى عمق التخفيض ($h + a \leq D$).
تصبح معادلة الهذّار لمداخل فتحة صرف مياه الأمطار دون انخفاض:

$$Q_i = C_W \times L \times d^{1.5} \quad \text{المعادلة (١٩-٦)}$$

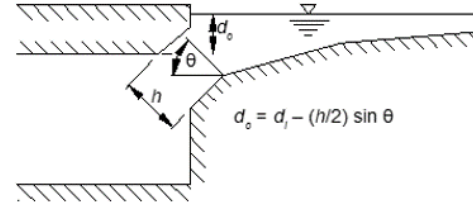
حيث إن:

$C_W = ٣,٠$ (دون التخزين المنخفض).

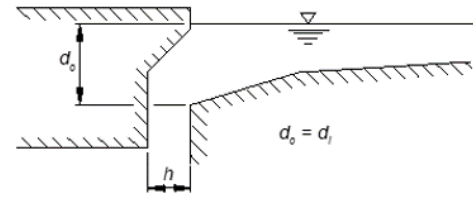
يصبح حد العمق للعملية كسد؛ عندما يكون الارتفاع أقل من أو يساوي القطر $h \leq d$.



أ - حقل أفقي



ب - حقل مائل



ج - حقل رأسي

الشكل (٦-٧) مداخل في فتحة البردورة (AASHTO, 2007).

تعمل مداخل الصرف بالبردورة كفوهة على أعماق تزيد على ١,٤ مرة، وارتفاع فتحة البردورة (١,٤ ساعة). يمكن حساب سعة الاعتراض بواسطة المعادلة ٢٠-٦. يشمل العمق عند المدخل أي انخفاض في المزراب:

$$Q_i = C_o \times h \times L \times [2 \times g \times (d_o)]^{0.5} \quad \text{المعادلة (٢٠-٦)}$$

حيث إن:

C_o = معامل الفوهة (٠,٦٧).

h = ارتفاع فوهة فتحة البردورة، م.

L = طول فتحة الفوهة، م.

d_o = مسافة فعالة على مركز حلق الفوهة ؛ م (انظر: الشكل ٦-٧).

d_i = العمق عند حافة فتحة البردورة (a) = $TS_x + a/12$ (a = المنخفض المحلي).

ينطبق ما يلي على التخفيض المحلي:

١ - تدفق الهذار. أ = مدخل انخفاض المزراب المحلي، يُستخدم هذا النوع لتحديد ما إذا كان المدخل في تدفق الهذار فقط. يُستخدم

التخزين المنخفض المحلي - فقط - للتحقق مما إذا كانت الفتحة مغمورة.

٢ - تدفق الفوهة. أ = انخفاض موضعي عند فتحة البردورة، يُستخدم هذا المنخفض في حسابات سعة مخرج التدفق في الفوهة.

٧-٨-٦ مدخل الصرف المختلط على المنحدر:

لا تزيد سعة اعتراض مدخل الصرف المختلط -الذي يتكون من فتحة رصيف، ومدخل شبكي موضوعة جنباً إلى جنب- عن قدرة المدخل الشبكي وحدها. تُحسب السعة؛ عن طريق إهمال فتح الرصيف. يُستخدم المدخل المركب -أحياناً- مع وضع جزء من فتحة الرصيف أعلى المدخل الشبكي. فتحة الرصيف في مثل هذا التركيب- تعترض الحطام الذي قد يسد المدخل الشبكي، ويسمى مدخل (الكناس). يحتوي مدخل تركيبة الكناس على سعة اعتراض تساوي مجموع فتحة الرصيف، في اتجاه مجرى المدخل الشبكي، بالإضافة إلى سعة المدخل الشبكي، باستثناء أن التدفق الأمامي -وبالتالي سعة اعتراض المدخل الشبكي- يقل؛ عن طريق اعتراض فتحة الرصيف.

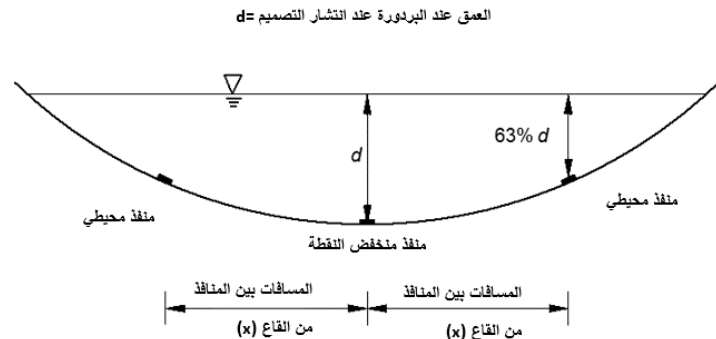
٨-٨-٦ مدخل الصرف المختلط على القاع:

تعد المداخل المختلطة -التي تتكون من مدخل شبكي وفتحة رصيف- مستحسنة للاستخدام في نقاط القاع التي يمكن أن تتكون فيها برك خطيرة. تشير المداخل -متساوية الطول- إلى مدخل شبكي، يوضع جانب مدخل فتحة الرصيف، وكلاهما له الطول نفسه. إن سعة اعتراض المدخل المختلط المتساوي الطول تساوي بشكل أساس قدرة المدخل الشبكي وحدها في تدفق الهذّار. وعن تدفق الفوهة؛ تكون سعة المدخل -متساوي الطول- تساوي سعة المدخل الشبكي، بالإضافة إلى سعة فتحة الرصيف. إذا أضيفت شبكتان إلى فتحة الرصيف (بطول ٣ أمتار، في الجزء الفرعي ٦-١٠-٦)، وجرى التعامل مع المدخل على أنه مدخل كنس؛ (صندوق الأدوات الهيدروليكي لإدارة الطرق الاتحادية)، على سبيل المثال؛ يتضح أن المجموعة سوف تستوعب ١,٢٥ متر لكل ثانية، قبل الدخول في تدفق الفوهة. الاستخدام الأفضل لشبكتي قضيب الإمالة؛ هو استخدامها في اتجاه مجرى الحوض كمدخل اعتراضية؛ (انظر: الجزء الفرعي ٦-١٠-٩).

٩-٨-٦ مداخل الصرف المحيطية:

في النقاط القاع الرئيسية -حيث قد يحدث تكوير كبير- مثل: الممرات السفلية أو منحنيات القاع الرأسية في الاجزاء المنخفضة؛ يوصى، حسب الممارسة العملية، بوضع مدخل اعتراض واحد -على الأقل- على كل جانب، من مدخل الصرف عند نقطة القاع. يمكن تحديد موقع المداخل المحيطية؛ حيث تعمل قبل أن يتجاوز انتشار الماء الحد المسموح به في موقع الحوض. يجب تحديد موقع المداخل المحيطية؛ حيث تتلقى كل التدفق عند انسداد المدخل الأساسي الموجود في الجزء السفلي للقاع. يجب القيام بذلك دون تجاوز الانتشار المسموح به في أسفل القاع.

إذا كانت المداخل المحيطية بنفس أبعاد المدخل الأساس؛ فسيقوم كل منها باعترض نصف كمية التدفق التصميمي، وذلك عند تحديد موقعها؛ حيث يكون عمق البرك عند المداخل المحيطية ٦٣٪ من عمق البركة عند النقطة المنخفضة. انظر: الشكل ٦-٦. إذا لم تكن المداخل المحيطية بنفس حجم المدخل الأساس؛ فسيكون من الضروري إما تطوير عامل جديد، أو إجراء حل للتجربة والخطأ؛ باستخدام الأعماق المقترضة مع معادلة الهذّار لتحديد سعة المدخل الجانبي عند المدخل. أعماق معينة؛ (انظر: برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢)، FHWA, 2009). يحدد كتاب أشتو الأخضر (AASHTO, 2007) في الهندسة- قيم K القصوى لسرعات تصميم مختلفة، والثابت أو المعامل K بحد أقصى ١٦٧، مع أخذ حالة صرف المياه في الاعتبار.



الشكل (٨-٦) المداخل المحيطية في نقاط صرف القاع (AASHTO, 2007).

في نقاط التدرج؛ حيث (أ) لا يمكن للمياه الحصول على عمق كبير للحوض، (ب) هناك حد أدنى من تأثيرات الغمر، (ج) يستخدم مدخل فتحة الرصيف، ثم مداخل محيطية مائلة أصغر، أو لا يمكن اعتبار أي شيء. وذلك لأن مداخل فتحة البردورة لديها احتمالية أقل للانسداد من المداخل الشبكية.

بالنسبة لمنحنى عمودي متناظر، تتحدد المسافة "X" إلى المدخل المجاور على النحو التالي:

$$X = (200 \times d_1 \times K)^{0.5} \quad \text{المعادلة (٢١-٦)}$$

حيث إن:

X = المسافة إلى المداخل المحيطية من نقطة التصريف، م.

d = العمق عند البردورة، عند نقطة القاع، عند الانتشار التصميمي، م.

d₁ = العمق من أسفل قاع إلى المدخل المجاور = (d - d_f) م.

d_f = العمق فوق المداخل المحيطية؛ لنقل كل التدفق التصميمي إلى كلا المداخل المجاورة، م.

K = معدل المنحنى العمودي؛ وهو طول المنحنى لكل فروق النسبة المئوية في الميول الطولية (G₂ - G₁) K = L/(G₂ - G₁).

لاحظ أن المداخل المحيطية لها نفس حجم المدخل الأساس، $X = (74dK)^{0.5}$ and Equation ٦-٢١ reduces to $d_f = 0.63d$.

١٠-٨-٦ حسابات تباعد مداخل الصرف:

لتصميم موقع مداخل الصرف لمشروع معين؛ يجب إعداد معلومات؛ مثل: مخطط، لتحديد مناطق صرف المياه، وقطاعات الطريق الطولية، والقطاعات العرضية، وقطاعات التسوية السطحية، ومخططات التعلية الجانبية، والخرائط الكنتورية، مع إظهار أطوال الأنابيب، ومصنفة في أرقام الفروع. ينبغي استخدام ورقة حساب مدخل فتحة الصرف (الشكل ٦-٩)، لتوثيق الحسابات. الإجراء خطوة بخطوة؛ كما يلي:

١- يجب إعداد رسم يصور الميل الطولي المبدئي من مستوى خط قاع غرفة النفقش الأولى إلى المصب. يتحدد الميل الطولي لمجاري المياه، مع الأخذ في الاعتبار شكل قطاعات الطريق الطولية؛ لتحقيق الحد الأدنى من أعماق الحفر.

يجب تحديد منطقة الصرف بالكامل. ينبغي إضافة مساهمات الفروع عند التقاطعات الملائمة، بحيث يتوافق تدفق كل طول من الأنبوب مع مساحة السطح الإجمالية.

٢- يقدر معامل الجريان السطحي المرجح؛ حيث يُحسب من العلاقة $A/(... + A1Ca + A2C2)$ ، مع الأخذ في الاعتبار أنواع التضاريس المختلفة التي تؤثر في الجريان السطحي.

٣- يُفرض -أولاً- حجم الأنبوب، ويحسب التدفق الكامل للسرعة بناءً على الميل الطولي.

٤- يُعين زمن التركيز؛ وهو إجمالي زمن التدفق حتى الطول قيد الدراسة، بالإضافة إلى زمن الدخول. والحد الأدنى لزمن التركيز ينبغي أن يكون ١٠ دقائق.

٥- يُحسب معدل هطول الأمطار لفترة العودة التصميمية، مع الأخذ في الاعتبار زمن التركيز المحدد.

٦- يُحسب معدل الذروة المتوقع للتدفق في الأنبوب؛ من خلال الصيغة المنطقية الواردة في القسم ٦-٥-٤.

٧- يتحقق مما إذا كان حجم الأنبوب المفترض يمكنه حمل ذروة التدفق المتوقع، وإذا لم يكن الأمر كذلك؛ يُعيّن أنبوب أكبر، وتكرر الخطوات من ٥ إلى ٨ حتى يصل إلى أنبوب بحجم كافٍ.

٨- بمجرد العثور على حجم الأنبوب المناسب؛ تُحسب السرعة. عندما تخرج قيمة سرعة الجريان المحسوبة عن الحدود المسموح بها؛ ينبغي تغيير ميل أو حجم الأنبوب، مع تكرار الحساب والخطوات المذكورة أعلاه.

[illegible]

الشكل (٦-٩) ورقة حساب تباعد مداخل الصرف (AASHTO, 2007).

٩-٦ غرف التفتيش:

١-٩-٦ الموقع:

تستخدم غرف التفتيش؛ لتسهيل الدخول إلى مصارف مياه الأمطار المستمرة تحت الأرض، بغرض الفحص والتنظيف. ويمكن استخدام مداخل الصرف الشبكية بدلاً من غرف التفتيش؛ عند استطاعة الدخول إلى النظام عبرها؛ حيث يمكن تحقيق الاستفادة من اعتراض مياه الأمطار الزائدة بأقل تكلفة إضافية. المواقع النموذجية التي ينبغي أن توجد فيها غرف التفتيش؛ هي:

- حيثما كان ذلك ضروريًا؛ للحفاظ على أقصى طول للأنبوب.
- حيث يتلاقى اثنان أو أكثر من مصارف مياه الأمطار، وبشكل عام في جميع زوايا المجاري.
- عند الحاجة لعمليات التنظيف، أو التفتيش، أو كليهما.
- عند تغيير حجم المجاري.
- حيث تتغير محاذاة صرف مياه الأمطار أو درجاتها.

قد توجد غرف التفتيش في مواقع أخرى؛ حيث يمكن استخدام مداخل هابطة أو هياكل أخرى. ينبغي ألا تكون غرف التفتيش في المسارات المرورية؛ لكن عندما يكون من المستحيل تجنب وضع فتحة في مسار مرور، فتأكد من أنها ليست في مسار عجلة المركبة. لتسهيل الإصلاح في المستقبل؛ يُقترح وضع مجاري الشاحنات خارج منطقة الرصف، أو تحت ممر المشاة كلما أمكن ذلك. إذا تعذر استخدام الارصفة الجانبية؛ فيمكن استخدام مسار وقوف المركبات، وكإمكانية أخيرة أسفل مسارات المرور.

٢-٩-٦ تباعد غرف التفتيش:

الحد الأقصى للتباعد بين غرف التفتيش؛ كما يلي:

الجدول (٦-٤) الحد الأقصى للتباعد بين غرف النفثيش.

المسافة القصوى (م)	حجم الأنبوب (مم)
٩٠	أصغر من أو يساوي ٢٢٠

أكبر من ٢٢٠	١٨٠
-------------	-----

٣-٩-٦ تحديد أحجام ومقاسات غرف التفريش:

يجب أن يتناسب القطر الخارجي لجميع الأنابيب التي تدخل صندوق التوصيل والوجه الداخلية للجدران.

١٠-٦ تحديد الحجم الأولي للأنبوب:

١-١٠-٦ مقدمة:

بعد تحديد المواقع الأولية للمداخل وأنابيب التوصيل ومصببات التفريغ حسب المياه المرتدة؛ فإن الخطوة التالية هي حساب معدل التصريف الذي ينبغي أن يُنقل من خلال كل مخرج لصرف مياه العواصف المطرية، وتحديد حجم وميل الأنبوب المطلوب لنقل هذا التصريف. يحدث ذلك من بداية المنبع وحساب التصريف وتحديد حجم الأنبوب، ثم المضي قدماً في اتجاه المجرى المائي، والوصول إلى النقطة التي يتصل فيها نظام صرف مياه العواصف المطرية بمصارف العواصف المطرية الأخرى أو المصب.

معدل التصريف في أي نقطة في نظام صرف الأمطار ليس بالضرورة مجموع معدلات التدفق الداخل لجميع المداخل فوق ذلك القطاع من مصرف الأمطار. هو بشكل عام أقل من هذا المجموع. يكون زمن التركيز هو الأكثر تأثيراً، ومع زيادة زمن التركيز؛ تقل شدة هطول الأمطار لاستخدامها في التصميم. في بعض الحالات -تضاف منطقة صرف كبيرة نسبياً مع زمن قصير من التركيز إلى النظام- فقد يكون تدفق الذروة أكبر باستخدام الزمن الأقصر، رغم أن منطقة صرف المياه بأكملها لا تسهم في ذلك. سيكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) المتخصص في حالة تأهب للظروف غير العادية، ويحدد زمن التحكم في التركيز لكل قطاع من قطاعات الأنابيب. انظر: الجزء الفرعي (٥-٥-٦) لمناقشة زمن التركيز.

وبالنسبة للظروف العادية؛ ينبغي تحديد حجم أنظمة صرف مياه العواصف المطرية -على افتراض أنها ستتدفق بالكامل أو شبه الكامل تحت التصريف التصميمي- ولكنها لن تتدفق تحت الضغط. يوصى باستخدام صيغة مانينغ لحسابات السعة. ينبغي تصميم نظام صرف مياه العواصف المطرية الرئيس؛ عن طريق حساب خط الميل الهيدروليكي، والحفاظ على ارتفاعات سطح الماء أسفل المداخل الشبكية، أو إنشاء ارتفاعات حرجة، أو كليهما، للعاصفة المطرية التصميمية.

٢-١٠-٦ إجراءات التصميم:

تُستخدم الإجراءات التالية؛ لتصميم أنظمة صرف مياه الأمطار:

الخطوة رقم ١: تحديد موقع المدخل، والتباعد، والسعة؛ كما هو موضح في الجزء (١٠-٦).

الخطوة رقم ٢: القيام بإعداد مخطط لنظام صرف الأمطار، مع إنشاء بيانات التصميم التالية:

- موقع مصارف مياه الأمطار.
- اتجاه التدفق.

• مواقع غرف التفريش/صناديق التوصيل؛ (انظر: الجزء ١١-٦).

• موقع المرافق القائمة؛ مثل: (المياه، والغاز، والكابلات الأرضية، والأساسات القائمة والمقترحة).

الخطوة رقم ٣: تحديد مناطق صرف المياه، ومعاملات الجريان السطحي زمن التركيز للمدخل الأول؛ باستخدام منحني (الشدة-المدة- التكرار)، حدد شدة هطول الأمطار. احسب التصريف؛ باستخدام الطريقة المنطقية. (انظر أيضاً: (QATAR, 2021).

الخطوة رقم ٤: حجم الأنبوب لنقل التصريف؛ عن طريق تغيير الميل وحجم الأنبوب حسب الضرورة. عادة ما تُصمم أنظمة صرف مياه العواصف المطرية لظروف تدفق الجاذبية الكاملة؛ باستخدام تصريفات التكرار التصميمي. يمكن تقدير حجم الأنبوب الأولي والانحدار؛ باستخدام صندوق الأدوات الهيدروليكية الخاص بإدارة الطرق الاتحادية، وتحليل القناة، الذي يحتوي على أقسام دائرية ومستطيلة.

الخطوة رقم ٥: احسب زمن الانتقال في الأنبوب إلى المدخل التالي أو غرفة التفريش بقسمة طول الأنبوب على السرعة. يُضاف زمن الانتقال هذا إلى زمن التركيز لفترة جديدة من التركيز، وإلى شدة هطول أمطار جديدة عند نقطة الدخول التالية.

الخطوة رقم ٦: احسب مساحة المنطقة الجديدة (A)، واضربها في معامل الجريان السطحي (C)، وأضفها إلى (CA) السابقة، واضربها في شدة هطول الأمطار (١)؛ لتحديد التصريف في هذا المدخل. وتحديد حجم الأنبوب والميل اللازمين لنقل التصريف.

الخطوة رقم ٧: إيصال هذه العملية إلى مخرج صرف مياه الأمطار والعواصف المطرية.

الخطوة رقم ٨: أكمل التصميم بحساب خط الميل الهيدروليكي؛ كما هو موضح في الجزء (١٣-٦).

تُستخدم البرامج -عادةً- لتصميم وتحليل مصارف مياه الأمطار. إذا قام مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) بتصميم مصرف (مجرى صرف للمياه أو قناة) للعواصف مع روابط قليلة فقط -أو أراد تأكيد نتائج حسابات البرامج؛ فعليه مراجعة إجراءات التصميم التفصيلية؛ ومثال التصميم في (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (FHWA, 2009).

٦-١٠-٣ نقطة القاع:

كما نوقش في الجزء الفرعي (٦-٥-٢)؛ ينبغي أن يكون حجم مصرف مياه الأمطار الذي يخدم نقطة قاع رئيسة، كافياً لاستيعاب الجريان السطحي من هطول الأمطار بمعدل تكرر ٥٠ عامًا. يمكن تحقيق ذلك؛ عن طريق حساب التدفق المنقول الذي يحدث عند المدخل الأخير خلال هطول الأمطار لمدة ٥٠ عامًا. يجب تصميم المدخل عند نقطة القاع؛ لاستيعاب هذا الممر الجانبي، وينبغي التدفق المنقول، ويجب أن يكون حجم أنبوب صرف مياه الأمطار المؤدي إلى نقطة القاع مناسباً للتدفق الإضافي، وضمن المعايير الموضوعية. لتصميم الأنابيب المؤدي إلى نقطة القاع؛ قد يكون من المفيد تحويل التدفق المنقول الإضافي الذي أنشأ بواسطة هطول الأمطار ولمدة ٥٠ عامًا إلى مكافئ CA، ويمكن إضافته إلى التصميم CA.

قد يرغب بعض مهندسي الهيدروليك في تصميم أنظمة منفصلة؛ لمنع النظام الموجود فوق سطح الأرض من التصريف في المنطقة المنخفضة. قد يكون هذا المفهوم أكثر تكلفة، ولكن في بعض الحالات -قد يكون له ما يبرره. هناك طريقة أخرى تتمثل في تصميم نظام المنبع؛ لتصميم مدته ٥٠ عامًا، ولتقليل التدفق المنقول إلى نقطة القاع. ينبغي تقييم كل حالة على حدة؛ لتقييم آثار ومخاطر إغراق موقع نقطة الانحدار.

٦-١٠-٤ ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (الأنبوب) :

توثق الارشادات التالية الممارسات الحالية (غير المتعلقة بالتحليل الهيدروليكي) للجزء الموجود تحت الأرض من نظام صرف مياه الأمطار.

٦-١٠-٤-١ الحد الأدنى لحجم الأنبوب:

الحجم الأدنى النموذجي لأنابيب صرف المياه بين غرف التفتيش هو ٤٥٠ ملم. في حالات خاصة؛ يمكن استخدام أنبوب ٣٠٠ مم عندما يكون من غير الممكن/العملي توفير أنبوب ٤٥٠ مم. ينبغي توثيق المبررات لأنبوب ٣٠٠ مم. تزداد أحجام الأنابيب بزيادة ٧٥ مم. بين المدخل وأنبوب صرف المياه الرئيس يمكن استخدام أنبوب بحجم ١٥٠ مم على الأقل.

٦-١٠-٤-٢ مادة الأنابيب:

تتمتع عملية توثيق الأنابيب (DOT) بالاستقلالية في تحديد أنواع مواد العبارات ومجاري المياه التي ستُضمّن في إنشاء المشروع.

٦-١٠-٤-٣ الحد الأدنى من غطاء الأنبوب وخصائصه:

ينبغي توفير غطاء لا يقل عن ٠,٣ متر بين قمة الأنبوب وأعلى القاعدة الترابية مع تغليف خرساني، ينبغي توفير خلوص لا يقل عن ٠,٣ متر بين أنابيب مجاري المياه والمرافق الأخرى الموجودة تحت الأرض؛ مثل: (مجري الصرف الصحي). يُلاحظ أنه يمكن إعادة تقدير هذه الأرقام إلى أقل القيم التي تصل إلى ١ متر؛ إذا لم ينفذ التغليف الخرساني.

٦-١٠-٤-٤ عوازل الفواصل:

ينبغي أن تحتوي الفواصل على عوازل؛ حيث تستدعي الشروط التالية:

- تدفق الضغط.
- مناطق الصخور أو منسوب المياه الجوفية.
- كما هو مطلوب بموجب المراسيم المحلية.

الوصلات المانعة للماء مطلوبة لأنابيب صرف مياه الأمطار، ومداخل غرف التفتيش؛ حيث تعمل أنظمة صرف مياه العواصف المطرية بالتوازي ضمن ٣ أمتار أفقياً من أنابيب المياه الحالية أو المقترحة، وحيث تعبر أنظمة صرف مياه العواصف المطرية أنابيب المياه وتفصل بمقدار ٤٥٠ مم أو أقل، فوق أو تحت الماء الرئيس.

إذا كانت هناك حاجة إلى وصلات مانعة لتسرب الماء؛ فينبغي أن تمتد الوصلات لمسافة ٣ أمتار وراء مصدر الماء. ينبغي أن يكون هذا القياس من الفاصل الخرساني المعزول إلى السطح الخارجي لخط صرف المياه الرئيس.

٥-٤-١٠-٦ وصلات الأنابيب إلى مداخل الصرف:

ينبغي أن تتصل الأنابيب بمداخل على الجانب المسطح من الجدران، وليس عند الزوايا. قد تكون هناك حاجة إلى انحناءات الأنابيب، أو مخرج هابط أكبر، أو كليهما؛ لكي يتلاءم الأنبوب مع أحد جانبي المدخل، ولتوفير اتصالٍ بعيدٍ عن زوايا المدخل. هذا يمنع المساس بالسلامة الإنشائية للمدخل المنخفض؛ إذا كان الأنبوب متصلًا، أو بالقرب من زاوية جدار.

٦-٤-١٠-٦ ميول الأنابيب:

ينبغي أن تكون ميول الأنابيب مساوية -تقريبًا- لميل الطريق. سيشغل نفس حجم الأنبوب حتى يصل التصريف التراكمي إلى سعة الأنبوب. عند مواجهة انخفاض مفاجئ في الميل الطولي؛ قد يلزم زيادة حجم الأنبوب بأكثر من واحد.

عند زيادة حجم الأنبوب؛ يتوافر بديلان للتصميم عند التقاطع:

- محاذاة قاع الأنبوب (أسفل الأنبوب)؛ وينتج عنه خط تدفق مستمر.
- محاذاة الجزء العلوي الداخلي من الأنبوب (باطن الأنبوب)؛ يؤدي إلى انخفاض مفاجئ في خط التدفق.

كل بديل له مزايا وعيوب. تكون الخصائص الهيدروليكية -بشكل عام- أفضل عندما تُحاذى قمم الأنابيب. يُعد هذا النهج أفضل؛ عندما تكون هناك مشكلة في الحد الأدنى من الغطاء المسموح به فوق الأنابيب. في المقابل؛ قد تكون هناك حالات في التضاريس المسطحة -نسبيًا- حيث يكون من الضروري الحفاظ على منسوب خط التدفق. في ظل هذه الظروف؛ قد يكون من الأفضل تجنب السقوط المفاجئ؛ عن طريق محاذاة قاع الأنبوب عند التقاطع.

عندما يجب تقليل الميول إلى الحد الأدنى؛ يمكن محاذاة خطوط التدفق لأنبوب القوس الخرساني بشكل أكثر فاعلية من الأنابيب المستديرة، وذلك عندما يزيد الحجم على التوالي. يُفضل -إذا أمكن- حدوث انخفاض طفيف في خط التدفق.

٥-١٠-٦ ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (التحليل الهيدروليكي):

تتوفر الممارسات التالية -التي تحكم التحليل الهيدروليكي لأنظمة صرف مياه الأمطار- كإرشادات لتأسيس إجراءات تحديد الأنابيب المناسبة.

١-٥-١٠-٦ التدفق بالأنبوب:

يجب أن يكون النظام مصممًا لتدفق السطح الحر. في الظروف الصعبة؛ من المقبول التصميم للتدفق الكامل، إما تحت ضغط، أو من دون ضغط. يمكن أن يتدفق الأنبوب بالكامل عند تدفق الفحص.

٢-٥-١٠-٦ السرعة الدنيا:

سرعة الجريان الدنيا المسموح بها هي ٠,٦ متر لكل ثانية. قد تتسبب سرعة الجريان الأقل في حدوث الطمي.

٣-٥-١٠-٦ السرعة القصوى :

يجب أن تكون سرعة الجريان القصوى ٣ أمتار لكل ثانية. عندما تتجاوز السرعة ٣ أمتار لكل ثانية؛ ضع في اعتبارك إضافة مخرج هابط يشمل بعض التغير في الارتفاع عند المدخل، أو ضع في اعتبارك مبددات الطاقة.

٤-٥-١٠-٦ الميول:

من المستحسن استخدام الحد الأدنى من الميل الطولي (٠,٥٪) كلما أمكن ذلك. انظر: الجزء الفرعي (٦-١٢-٧)؛ لمزيد من المعلومات عن الميول الدنيا. سيحدد خط الميل الهيدروليكي الحد الأقصى للميل.

٦-١٠-٦ طريقة تصميم (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢):

اعتمدت المنهجية أو الطريقة الهيدروليكية في (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (FHWA, 2009) للتحليل الهيدروليكي، وتصميم نظام صرف مياه الأمطار. يحتوي (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) على مثال يوضح العمليات الحسابية لنظام بسيط. بالنسبة للأنظمة المعقدة؛ ينبغي استخدام البرامج للتحليل.

إن منهجية كل من الجاذبية وتدفق الضغط؛ هي صيغة مانينغ، ويُعبّر عنها بالمعادلة التالية:



$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

المعادلة (٢٢-٦)

حيث إن:

V = متوسط سرعة التدفق، متر لكل ثانية.

n = معامل خشونة مانينغ.

R = نصف القطر الهيدروليكي، متر = مساحة التدفق (A) مقسومة على المحيط المبلل (WP).

S = انحدار خط الميل الهيدروليكي، م/م.

من حيث التصريف ؛ تصبح الصيغة أعلاه:

$$Q = V \times A = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

المعادلة (٢٣-٦)

حيث إن:

Q = معدل التدفق، متر مكعب لكل ثانية.

A = مساحة القطاع العرضي للتدفق، م^٢.

بالنسبة لمصارف الأمطار الدائرية المتدفقة بالكامل؛ $R = D/4$ تصبح المعادلتان (٢٢-٦) و (٢٣-٦):

$$V = \frac{0.4}{n} \times D^{2/3} \times S^{1/2}$$

أو:

$$Q = \frac{0.3}{n} \times D^{8/3} \times S^{1/2}$$

المعادلة (٢٤-٦)

حيث إن:

D = قطر الأنبوب (م).

لمزيد من التفاصيل عن تصميم صرف مياه الأمطار باستخدام أسلوب مركز الدراسات الهيدرولوجية – ٢٢ (FHWA, 2009)؛ يمكن الرجوع إلى دليل البرنامج، وتقدم تفاصيل تصميم وتحليل مجاري الطرق في الباب ٤.

٧-١٠-٦ الميول الدنيا:

يجب تحقيق الحد الأدنى من الميول؛ حيث تنتج سرعة التنظيف الذاتي (ترسيب المواد الملوثة للمياه ذاتيًا) للحد من الطمي، والحفاظ على داخل الأنابيب خاليًا من الرواسب.

إن الحد الأدنى من الميول للعبارات -المستخدمة كمصارف متقاطعة لحمل مياه الخنادق المتقطعة على جانب الطريق- يساوي ٠,٥٪. يجب أن تكون الميول القصوى أعلى من ١٠٪ للأنابيب الخرسانية، أو ٢٥٪ للأنابيب المعدنية، دون استخدام مثبتات الأنابيب. المراسي الأنبوبية مطلوبة لأي أنبوب مكشوف (على سبيل المثال: يوضع على رصف أو أرض طبيعية). ونظرًا لأن القنوات الموضوعة على ميول شديدة الانحدار يمكن أن تتعرض لفصل مشترك؛ فينبغي وضع مراسي الأنابيب للأنابيب الخرسانية على ميل ١٠٪ أو أكثر، وللأنابيب المعدنية المموجة على ميل ٢٥٪ أو أكثر.

ينبغي تصميم جميع أنظمة صرف مياه العواصف المطرية؛ حيث لا تقل سرعات التدفق عن ١ متر لكل ثانية عند التدفق التصميمي. ينتج عن هذا المواصفة سرعة ٠,٦ متر لكل ثانية؛ عندما يكون عمق التدفق ٢٥٪ من قطر الأنبوب. وبالنسبة الميول المنبسطة جداً؛ تتمثل الممارسة العامة في تصميم المكونات؛ حيث تزداد سرعات التدفق تدريجياً عبر طول نظام الأنابيب. ينبغي فحص نظام صرف مياه العواصف المطرية؛ للتأكد من وجود سرعة كافية -في جميع المصارف لردع ترسب الجزيئات. يمكن حساب الميول الدنيا المطلوبة لسرعة ١,٠ م/ث؛ بواسطة معادلة مانينغ (المعادلة ٢٥-٦)، التي استخدمت لإنتاج القيم الواردة في الجدول (٢٥-٦):

$$S = \left[\frac{n \times V}{R^{2/3}} \right]^2 \quad \text{المعادلة (٢٥-٦)}$$

يمكن -أيضاً- استخدام حاسبة القنوات في صندوق الأدوات الهيدروليكي لإدارة الطرق الاتحادية.

٨-١٠-٦ الميول القصوى:

تُضبط الميول القصوى على ٣ أمتار لكل ثانية، وفي حالات استثنائية تصل إلى ٥ أمتار لكل ثانية؛ لحماية داخل الأنبوب من التآكل والكسر.

٩-١٠-٦ الخلوص الأدنى:

يجب ألا تقل المسافة بين قمة الأنبوب وقاع طبقة أساس الطريق عن ١٥٠ مم. ينبغي التأكد من اختيار فئة الأنبوب المستخدم؛ وفقاً للحد الأدنى لعمق الأنبوب، والتحميل الخارجي للأنابيب المدفونة؛ وذلك لتجنب الشقوق. يجب إجراء فحص لقوة التواء الأنبوب.

١٠-١٠-٦ المحاذاة المنحنية:

يُسمح بصرف مياه الأمطار المنحنية -عند الضرورة- لأنبوب ١,٢ متر أو أكبر؛ باستخدام أجزاء منحنية. لا ينبغي تصميم الأنابيب الصغيرة بمنحنيات. تتوفر مقاطع الانحناء ذات نصف القطر الكبير من العديد من الموردين، وهي الوسيلة المفضلة لتغيير الاتجاه في الأنابيب ١,٢ متر وأكبر. تتوافر -أيضاً- أقسام الانحناء ذات نصف القطر الصغير، ويمكن استخدامها إذا لم يكن هناك مجال للانحناءات ذات نصف القطر الكبير. إن ثني الفواصل لغرض الحصول على الانحناء اللازم غير مرغوب فيه، باستثناء الانحناءات البسيطة جداً. قد لا يكون استخدام غرف التفريش الكبيرة لتغيير الاتجاه فعالاً -من حيث التكلفة- في أنظمة صرف الأمطار كبيرة الحجم.

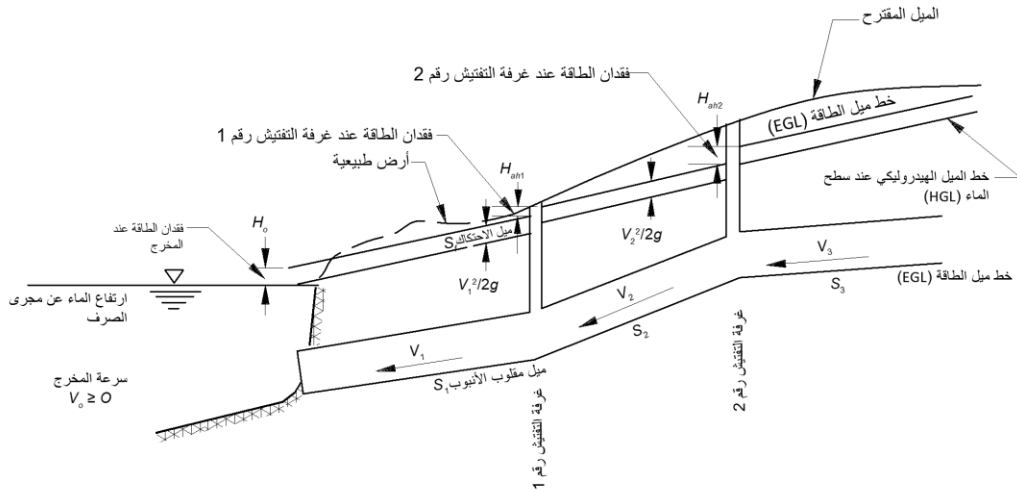
١١-٦ حساب خط الميل الهيدروليكي:

١-١١-٦ مقدمة:

يُعد خط الميل الهيدروليكي آخر سمة مهمة تنشأ في التصميم الهيدروليكي لأنظمة صرف مياه الأمطار. يساعد خط الميل هذا مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) على تحديد مدى قبول النظام المقترح؛ من خلال تحديد الارتفاعات على طول النظام الذي سيرتفع إليه الماء؛ عندما يعمل النظام بمعدل تكرار الفيضان التصميمي؛ (انظر: الشكل ٨-٦).

وبشكل عام؛ إذا كان خط الميل الهيدروليكي أعلى من تاج الأنبوب، فإن الأنبوب في حالة تدفق الضغط. إذا كان خط الميل الهيدروليكي أسفل تاج الأنبوب، فإن الأنبوب في تدفق قناة مفتوحة. من الاهتمامات الخاصة بأنظمة تصريف الأمطار -المصممة للعمل في ظل ظروف تدفق الضغط- أن الشحن الإضافي لمدخل الصرف، وإزاحة غطاء فتحة التفريش المحتملة يمكن أن تحدث إذا ارتفع خط الميل الهيدروليكي فوق سطح الأرض. يجب -أيضاً- التخطيط بعناية للتصميم الذي يعتمد على ظروف القناة المفتوحة؛ مثل: تقييم احتمالية حدوث فيضانات مفرطة وغير مقصودة؛ تنشأ عندما تضغط عاصفة مطرية أكبر من العاصفة المطرية التصميمية على النظام. عند إجراء الحسابات الهيدروليكية؛ يجب إجراء تحقق متكرر يؤكد وجود حالة التدفق المطلوبة. غالباً ما تتناوب أنظمة صرف مياه العواصف المطرية بين الضغط وظروف طبيعة تدفق المياه في القنوات المائية المفتوحة، من قطاع إلى آخر.

تبدأ المنهجية التفصيلية المستخدمة في حساب خط الميل الهيدروليكي من خلال النظام، وذلك عند المخرج، مع ارتفاع المياه المرتدة. إذا كان المخرج عبارة عن نظام حالي لصرف مياه الأمطار فينبغي أن يبدأ حساب خط الميل الهيدروليكي عند نهاية مخرج النظام الحالي، والمضي قدماً من خلال هذا النظام الموضعي، ثم المنبع من خلال النظام المقترح، إلى مدخل المنبع. تنطبق نفس الاعتبارات على مخرج مصرف العاصفة (قناة أو مجرى صرف لمياه العاصفة)؛ كما هي الحال بالنسبة لمخرج المجرى. من المفيد -عادة- حساب خط ميل الطاقة، ثم طرح سرعة الجريان؛ (مربع سرعة تدفق المياه السرعة $2g/2$ عجلة الجاذبية الأرضية) لغرض الحصول على خط الميل الهيدروليكي. تتبع طرق البرامج -التي تعتمد على فقدان الطاقة- عند هذه الممارسة.



الشكل (٦-١٠) الرسم التوضيحي لخط الميل الهيدروليكي والطاقة (AASHTO, 2007).

٦-١١-٢ ممارسة وزارة النقل الأمريكية DOT (خط الميل الهيدروليكي):

يوفر الجزء الفرعي التالي إرشادات لإنشاء ممارسة خط الميل الهيدروليكي.

لن يكون حساب خط الميل الهيدروليكي لمجرى صرف مياه العواصف المطرية ضرورياً؛ حيث:

- يختار ميل وأحجام الأنابيب بحيث يكون الميل مساوياً لميل الاحتكاك أو أكبر منه.
- تحاذي الأسطح العلوية للأنابيب المتعاقبة عند تغيرات الحجم (بدلاً من محاذاة خطوط التدفق).
- لا يرتفع سطح الماء عند نقطة الصرف فوق قمة المخرج.

لن يعمل الأنبوب تحت الضغط في هذه الحالات، وميل سطح الماء تحت تصريف السعة سوف يوازي تقريباً ميل قاع الأنبوب.

ومع ذلك عند وضع قاع أنابيب -مختلفة الأحجام- على نفس الانحدار، ما يتسبب في تصريف الأنبوب الأصغر مقابل الرأس، أو عندما يكون مطلوب فحص نظام صرف مياه العواصف المطرية ضد الفيضانات الأكبر من التصميم؛ سيكون من الضروري حساب خط الميل الهيدروليكي لنظام صرف العاصفة بأكمله. ابدأ بارتفاع المياه المرتدة عند مصب صرف العاصفة، وتقدم للأعلى عبر كامل طول صرف العاصفة. لكل شوط؛ احسب خسارة الاحتكاك، وارسم الارتفاع الكلي عند كل فتحة ومدخل.

ينبغي استخدام المنهجية أو الطريقة الواردة في (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (FHWA, 2009)؛ لحساب الفقد في الطاقة، ولنظام صرف مياه الأمطار. يلخص باقي القسم ٦,١٣ المعادلات الضرورية لحساب خط الميل الهيدروليكي. راجع: برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢)، (الباب ٧)؛ للتعرف على تعريفات الرموز، وإجراءات التصميم، وأوراق الحساب، ومثال على الحساب.

إذا لم يرتفع خط الميل الهيدروليكي فوق أي غرفة تفتيش أو فوق مدخل فتحة الصرف؛ فإن نظام صرف مياه العواصف المطرية يكون مرضياً. إذا ارتفع خط الميل الهيدروليكي فوق هذه النقاط؛ فستحدث الانفجارات من خلال غرف التفتيش والمداخل. يمكن زيادة أحجام الأنابيب أو الميول -حسب الضرورة- للقضاء على مثل هذه الانفجارات. الممارسة القياسية؛ هي التأكد من أن خط الميل الهيدروليكي أسفل الجزء العلوي من المدخل للتصريف التصميمي. (تضيف بعض المناطق عامل أمان إضافي يمكن أن يصل إلى ٣٠٠ مم).

٦-١١-٣ المياه المرتدة:

بالنسبة لمعظم تطبيقات التصميم حيث يكون التدفق دون الحرج؛ ستكون المياه المرتدة إما فوق تاج المخرج، أو يمكن أن يكون بين التاج والعمق الحرج للتدفق. لتحديد خط ميل الطاقة؛ ابدأ إما بارتفاع المياه المرتدة -أيهما أعلى- $(d_c + D)/2$ ، أضف سرعة الجريان للتدفق الكامل، وامض قدماً في اتجاه المنبع، وأضف الفقد في الطاقة المناسب (على سبيل المثال: المخرج، أو الاحتكاك، أو المناطق النطاق، أو الانحناء، أو المدخل).

والاستثناء من الإجراء أعلاه سيكون في مصب المياه المرتدة المنخفضة. وفي هذه الحالة؛ سيكون حساب قطاع سطح الماء مناسباً لتحديد الموقع الذي سيتقاطع فيه سطح الماء مع قمة أو نهاية الأنبوب، ويمكن أن تبدأ حسابات التدفق الكامل. وفي هذه الحالة؛ سيعتمد

ارتفاع سطح الماء في اتجاه المجرى المائي على العمق الحرج للتدفق، أو المياه المرتدة، أيهما أعلى.

٤-١١-٦ فقدان الطاقة:

قبل حساب خط الميل الهيدروليكي؛ ينبغي تقدير الفقد في الطاقة في مسارات الأنابيب وتقاطعاتها. بالإضافة إلى الطاقة الأساس التي ينطوي عليها التغلب على الاحتكاك في كل مسار للقناة؛ فإن الطاقة (أو الارتفاع) المطلوبة للتغلب على التغيرات في الزخم، أو الاضطراب في المصببات، والمداخل، والانحناءات، والانتقالات، والتقاطعات، وفتحات التفريش. تعرض الأجزاء الفرعية التالية علاقات لتقدير الفقد في الطاقة النموذجية في أنظمة صرف مياه الأمطار. ضُمّن تطبيق بعض هذه العلاقات في مثال التصميم، في برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢)؛ (راجع الباب ٧).

١-٤-١١-٦ فقدان الطاقة عند المخرج:

فقدان الطاقة عند مخرج الأنبوب؛ هي دالة للتغير في سرعة الجريان عند مخرجه. وبالنسبة للتوسع المفاجئ -مثل الجدار الطرقي- فإن الفقد في الطاقة عند مخرج الأنبوب؛ هو:

$$H_o = C_o \times \left[\frac{v^2}{2g} - \frac{v_d^2}{2g} \right] \quad \text{المعادلة (٢٦-٦)}$$

حيث إن:

C_o = معامل فقدان الطاقة عند المخرج = ١,٠.

V = متوسط سرعة المخرج، متر لكل ثانية.

V_d = سرعة جريان القناة في اتجاه المصب لكل ثانية.

لاحظ أنه عندما تكون سرعة جريان القناة في اتجاه المصب تساوي صفرًا ($V_d = 0$) كما هو الحال في الخزان؛ فإن فقدان الطاقة عند المخرج هي طاقة سرعة واحد. وبالنسبة للتدفق الكامل الجزئي -حيث تكون مخارج الأنابيب في قناة بها ماء متحرك- يمكن تقليل فقدان الطاقة عند المخرج إلى الصفر تقريبًا.

٢-٤-١١-٦ فقدان الطاقة نتيجة الاحتكاك في الأنبوب:

ميل الاحتكاك؛ هو ميل الطاقة بوحدات م/م لهذا المدى. فقدان الطاقة نتيجة الاحتكاك؛ هي ببساطة ميل الطاقة مضروبًا في طول المدى بالأمطار. يمكن تحديد الفقد في الطاقة الناتجة عن احتكاك الأنابيب؛ عن طريق إعادة كتابة معادلة مانينغ بالمصطلحات المحددة سلفًا:

$$S_f = \left[\frac{Qn}{AR^{\frac{2}{3}}} \right]^2 \quad \text{المعادلة (٢٧-٦)}$$

يمكن تحديد الفقدان في الطاقة نتيجة الاحتكاك من خلال الصيغة:

$$H_f = S_f \times L \quad \text{المعادلة (٢٨-٦)}$$

يمكن -أيضًا- كتابة معادلة مانينغ لتحديد الفقدان في الطاقة نتيجة الاحتكاك لمصارف الأمطار؛ على النحو التالي:

$$H_f = L \times \left(\frac{Qn}{0.3D^{2.67}} \right)^2 \quad \text{(للأشكال الدائرية) \quad \text{المعادلة (٢٩-٦)}}$$



$$H_f = \frac{19.6 \times n^2 \times L}{R^{4/3}} \times \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right) \quad \text{المعادلة (٣٠-٦)}$$

حيث إن:

H_f = الفقد الكلي في الطاقة بسبب الاحتكاك (م).

S_f = انحدار خط الميل الهيدروليكي (م/م).

L = طول الأنبوب (م).

Q = معدل التدفق الحجمي (متر مكعب لكل ثانية).

n = معامل خشونة مانينغ.

D = قطر الأنبوب (م).

V = متوسط سرعة الجريان (متر لكل ثانية).

R = نصف القطر الهيدروليكي (م).

عجلة الجاذبية الأرضية = ٩,٨١ متر لكل ثانية^٢

٣-٤-١١-٦ فقدان الطاقة نتيجة الانحناء:

معامل فقدان الطاقة؛ نتيجة الانحناء لتصميم نظام صرف مياه العواصف المطرية ضئيل، ولكن يمكن تقييمه؛ باستخدام الصيغة:

$$h_b = 0.0033 \times (\Delta) \times \left(\frac{V_o^2}{2 \times g} \right) \quad \text{المعادلة (٣١-٦)}$$

حيث إن:

Δ = زاوية الانحناء مقيسة بالدرجات.

٤-٤-١١-٦ فقدان الطاقة عند غرفة التفتيش/المدخل:

عادة ما يمثل فقدان الطاقة - عند غرفة التفتيش/مدخل الأنابيب- من أنبوب إلى آخر، من خلال فتحة غرفة التفتيش؛ على أنها متناسبة مع سرعة الجريان عند مخرج الأنبوب. باستخدام هذه العلاقة يمكن الدلالة على ثابت التناسب هذا، فإن فقدان الطاقة؛ هو:

$$H_M = K_M \times \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right) \quad \text{المعادلة (٣٢-٦)}$$

وبالنسبة للأنظمة البسيطة، يمكن استخدام تقدير أو تقريب K_M لهذه القيمة. وبالنسبة للأنظمة ذات الوصلات المعقدة، يجب تحديدها باستخدام طريقة K_M (برنامج) مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢ .

٥-٤-١١-٦ تقدير فقدان الطاقة في غرف التفتيش:

تُطبق الطريقة التقريبية لحساب الفقد في الطاقة في غرف التفتيش؛ من خلال ضرب سرعة الجريان لأنبوب التدفق بمعامل، كما هو موضح في المعادلة (٣٢-٦). يعرض الجدول (٥-٦) معاملات، قابلة للتطبيق لهذه القيمة K_M . يمكن استخدام هذه الطريقة لتقدير هبوط تاج الأنبوب الأولي عبر فتحة أو مدخل هابط؛ لتعويض فقد الطاقة في الهيكل.

الجدول (٦-٥) قيم K_M بناءً على تكوين الهيكل.

K_M	الإعدادات الإنشائي
٠,٥٠	مدخل فتحة صرف - تشغيل مستقيم.
	مدخل فتحة صرف- تشغيل من خلال زاوية
١,٥٠	٠ ٩٠
١,٢٥	٠ ٦٠
١,١٠	٠ ٤٥
٠,٧٠	٠ ٢٢,٥
٠,١٥	فتحة أو غرفة تفتيش - تشغيل مستقيم
	فتحة أو غرفة تفتيش - تشغيل من خلال زاوية
١,٠٠	٠ ٩٠
٠,٨٥	٠ ٦٠
٠,٧٥	٠ ٤٥
٠,٤٥	٠ ٢٢,٥

٦-١١-٤-٦ فقدان الطاقة في غرف التفتيش طريقة برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢):

يحتوي برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (إصدار ٢٠٠١) على طريقة مفصلة لحساب الفقد في الطاقة، التي ضُمّنت كخيار في بعض برامج تصميم صرف مياه الأمطار:

$$K_M = K_o \times C_D \times C_d \times C_Q \times C_p \times C_B \quad \text{المعادلة (٦-٣٣)}$$

حيث إن:

K_M = معامل الفقد في الطاقة المعدل.

K_o = معامل فقدان الطاقة الأولي؛ بناءً على حجم غرفة التفتيش النسبي.

C_D = عامل التصحيح لقطر الأنبوب (تدفق الضغط فقط).

C_d = عامل تصحيح لعمق التدفق (تدفق بدون ضغط فقط).

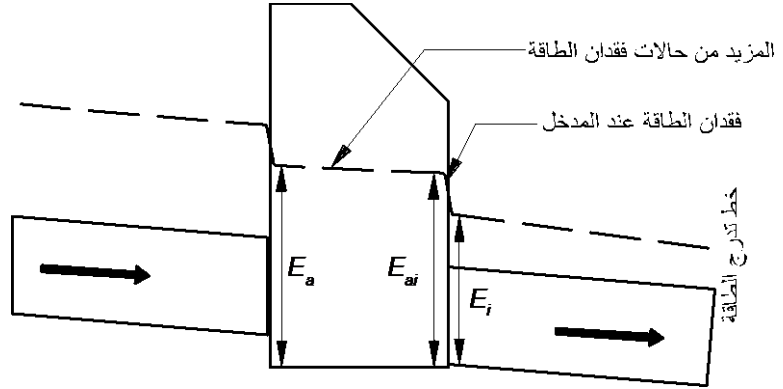
C_Q = عامل التصحيح للتدفق النسبي.

C_p = عامل التصحيح لتدفق المجاري المائية.

C_B = عامل التصحيح للتدرج.

تم الاطلاع على معادلات حساب عوامل التصحيح -أعلاه- في برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٢) (٢٠٠١). قامت إدارة الطرق الاتحادية (٢٠٠٩) بتحسين الطريقة -المذكورة أعلاه- ونشر الطريقة التالية في برنامج: (مركز الدراسات الهيدرولوجية-٢٢) (٢٠٠٩). تتضمن الطريقة ثلاث خطوات أساسية (بالمصطلحات المحددة في الشكل ٦-٨):

- الخطوة رقم ١: تحديد مستوى طاقة غرفة التفتيش الأولية (E_{ai})؛ بناءً على معادلات التحكم في المدخل (الهذّار والفوهة)، أو التحكم في المخرج (التدفق الجزئي والكامل).
- الخطوة رقم ٢: اضبط مستوى طاقة غرفة التفتيش الأولية؛ بناءً على الجلوس، وزاوية (زوايا) التدفق، وتدفقات الغمر؛ لحساب مستوى الطاقة المحسوب النهائي (E_a).
- الخطوة رقم ٣: احسب الفقد في الطاقة عند المخرج من كل أنبوب تدفق، وقم بتقدير خط ميل الطاقة، الذي سيستخدم بعد ذلك لمواصلة العمليات الحسابية قبل المنبع.



الشكل (١١-٦) رسم تخطيطي لتعريف طريقة فقدان الطاقة في غرف التفتيش برنامج: (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢) (FHWA, 2002).

١١-٦-٥ إجراءات تصميم خط الميل الهيدروليكي:

ضُمّنت المعادلات والرسوم البيانية اللازمة؛ لحساب موقع خط الميل الهيدروليكي يدوياً في برنامج: (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢) (FHWA, 2002)، وستنضح بمثال. يحتوي برنامج: (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢) على نموذج حساب يسمح باستخدام هذه القيمة التقريبية K_M ، ونموذج إضافي لتوثيق طريقة حساب الفقد في الطاقة؛ وفقاً لبرنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢) FHWA, 2002.

١٢-٦ أنابيب الصرف المقلوبة (السيفون):

ينقل السيفون أو الأنبوب المقلوب التدفق تحت عائق؛ مثل: المجاري الصحية، أو المياه الرئيسية، أو أي هيكل أو خط مرافق آخر يقع في مسار خط صرف مياه الأمطار. ينخفض المنسوب السفلي لمصرف مياه الأمطار عند العائق، ويرتفع مرة أخرى بعد التقاطع. يُنصح بتوفير أنبوبين -كحد أدنى- بسرعة ٠,٩ متر لكل ثانية. ينبغي تصميم هياكل المدخل والمخرج؛ بالحفاظ على التدفق الطبيعي في أنبوب واحد؛ لتوفير الحد الأدنى من سرعة الجريان، المطلوبة للتنظيف الذاتي والخدمة.

الاعتبارات التالية من برنامج (مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٢)، في الباب السادس، (FHWA, 2009) مهمة للتصميم الفعال للسيفونات:

- ينبغي توفير سرعات التنظيف الذاتي (ترسيب المواد الملوثة للمياه ذاتياً) تحت نطاق واسع من التدفقات.
- ينبغي تقليل الفقد في الطاقة الهيدروليكية.
- ينبغي توفير اشتراطات للتنظيف.
- ينبغي تجنب الانحناءات الحادة.
- لا ينبغي أن يكون الجزء المرتفع من السيفون شديد الانحدار؛ حيث يصعب التخلص من الرواسب (تحد بعض الجهات ذات الصلة من ارتفاع الميل إلى ١٥٪).
- ينبغي ألا يكون هناك تغيير في قطر الأنبوب على طول السيفون.
- ينبغي مراعاة اشتراطات الصرف.

تتوفر معلومات إضافية تتعلق بتصميم الشفاطات وهياكل القناة الصغيرة في (USB, 1978)، الذي يتضمن مثلاً للتصميم.

إذا اقترح استخدام هذا النوع من القنوات؛ فتجب مراجعة التصميم من قبل مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي)، واعتماده من قبل مالك المرفق الذي سيتم تجاوزه.

٦-١٣ المصارف التحتية:

في مناطق معينة، يمكن أن تكون المياه الجوفية مشكلة كبيرة؛ لأنها تُسبب ضغطاً على الأساسات والبنى التحتية والمنشآت السفلية والجوانب الأخرى لمكونات الطرق. وفي معظم أنواع التربة التي تمثل فيها المياه الجوفية مشكلة؛ يمكن أن يكون لنظام المصارف التحتية- الذي يُركب للتحلل من المياه الزائدة- ميزة مفيدة للغاية في تصميم الطريق العام. يمكن أن يتخذ نظام المصارف التحتية شكل شبكات أنابيب مثقبة (أو منفذة بطريقة أخرى)، أو مصارف فرنسية، أو حقول تجميع. عندما تكون هناك حاجة لمثل هذه الملحقات؛ عادة ما تكون النفقات الإضافية لتزويدها مبررة بالكامل من حيث الوفورات المستقبلية في تكاليف صيانة الطرق والمنشآت.

يمكن الحصول على معدلات ترشيح المياه الجوفية من مكاتب دائرة الحفاظ على الموارد الطبيعية أو قياسها أو تقديرها ببساطة. يمكن بعد ذلك إنشاء شبكات أنابيب التجميع لإزالة تلك المياه. يمكن أن يكون نظام المصارف التحتية مفيداً للغاية؛ حيث تكون معدلات ترشيح المياه الجوفية غير المرغوب فيها مرتفعة نسبياً. قد تكون حقول التجميع مفيدة في حال عدم توفر مصبات معقولة للمياه الجوفية. يمكن تحسين جميع الملحقات المذكورة أعلاه؛ من خلال استخدام نوع من مواد التصفية الأرضية. يمكن أن تُصمم القواعد السفلية من قبل موظفين إقليميين آخرين. قد يضطر مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) إلى التوفيق بين تصريفات المصارف التحتية ومصارف الأمطار.

يتكون النوع الأكثر شيوعاً من شبكات المصارف التحتية من مداخل الصرف التي تُستخدم لجمع الجريان السطحي، ونقله إلى شبكة تحت الأرض للتحلل النهائي منه في حفر الصرف؛ من خلال قنوات ربط، التي تتكون من (Austraroad, 2021):

- مداخل الصرف، ونقاط الصرف.
- حفر الصرف، بما في ذلك حجرات الوصول (أي غرف التفريغ)، وحفر المدخل.
- المجاري أو الأنابيب المدفونة تحت الأرض.

عند تصميم شبكة أنابيب المصارف التحتية؛ ينبغي مراعاة الظروف الهيدروليكية والظروف الفنية؛ مثل: (الموقع، والتباعد بين غرف الوصول، وحدود قطر الأنبوب، وحدود السرعة القصوى والدنيا)، وكذلك وجود البنى التحتية المجاورة الأخرى؛ مثل: (خدمات المرافق).

على وجه الخصوص، لا بد من وضع حجرات الوصول أو الحفر أو غرف التفريغ في خطوط الصرف؛ لإتاحة الوصول للصيانة عند تغيير الاتجاه؛ مثل: (الميل أو المنسوب)، وعند التقاطعات، على أن يكون التباعد الأقصى من ١٠٠-١٢٠ متر، و ١٥٠ متر، و ٢٠٠ متر للأنابيب التي يقل قطرها عن ١,٢ متر، و ١,٨ - ١,٢ متر، وقطرها أكبر من ١,٨ متر على التوالي. وعلاوة على ذلك، ينبغي ألا تبعد حجرات الوصول أكثر من ١٠٠ متر كحد أقصى من مخرج جميع أنابيب التفريغ، وعند تغيير الاتجاه أو الميل أو المنسوب، وعند التقاطعات، بينما ينبغي أن تكون مناسيب أسطح حجرات الوصول في الطرق أو الأسطح المعبّدة متساوية مع السطح النهائي، أو على ارتفاع ٢٥ مم -على الأقل- فوق السطح الطبيعي، وأن تكون مائلة نحو المناطق المحيطة. (يلاحظ أنه في الحالات التي تستخدم فيها غرف سابقة الصب؛ ينبغي ألا تبرز الأنابيب الموصلة داخل الغرفة ولكن لا بد أن تكون محكمة الغلق). أخيراً - وفيما يتعلق بالحجم- ينبغي أن تكون حجرات الوصول كبيرة بدرجة تكفي لتمكين الوصول للصيانة ودخول المعدات، وكذلك للحفاظ على سلامتها الإنشائية، وعليه ينبغي أن يكون الحد الأقصى للقطر الخارجي الاسمي لأي أنبوب توصيل أقل من ٦٠٪ من القطر الداخلي للأنبوب، بينما لا بد من وجود مسافة فاصلة -لا تقل عن ٢٠٠ مم- بين كل أنبوبين متجاورين، و يبقى ٤٠٪ -على الأقل- من جدار الحجرة في أي مستوى. ويلاحظ أنه عندما يكون عمق غرفة الوصول أكثر من ٦٠٠ مم؛ لا بد من وجود السلاسل والميول المثبتة على الجدار لتسهيل الوصول، ولكن بطريقة ومواقع تجعلها لا تتداخل مع التدفق.

أما فيما يتعلق بقنوات الاتصال والأنابيب؛ فالحجم الأدنى الموصى به هو ٣٧٥ إلى ٤٥٠ مم، للحد من احتمالية الانسداد (إذا لم تتركب أنابيب مدخل يمكن استخدام حجم أصغر للأنبوب في حدود ٢٢٥ مم إلى ٣٠٠ مم). يُلاحظ أنه لا يُسمح بوجود انحناءات في الانشاء، إلا في حالة استخدام أقطار كبيرة (فوق ١,٢ متر)، وزوايا انحناء أصغر من ٢٢,٥ درجة من انحراف الأنبوب في المستوى الأفقي، وعندما لا يوجد إلا انحناء واحد فقط- بين حفرتين متجاورتين. أخيراً، تعين حدود السرعة المرغوبة والمقبولة؛ لضمان إجراء التنظيف الذاتي، وتجنب آثار الجرف والتآكل، بين ١,٠ و ٦,٠ م/ث (يمكن أن تكون القيم المطلقة بين ٠,٦ و ٨,٠ م/ث)، بينما يمكن أن تكون حدود الميول المقابلة على النحو الموضح في الجدول (٥-٦).

الجدول (٦-٦) حدود الميول الطولية المقبولة (Austraroad, 2021).

قطر الأنبوب (مم)	أقصى ميل (%)	أدنى ميل (%)
300	20.0	0.50
375	15.0	0.40



0.30	11.0	450
0.25	9.0	525
0.20	7.5	600
0.18	6.5	675
0.15	5.5	750
0.12	4.5	900
0.10	3.5	1050
0.10	3.0	1200
0.10	2.5	1350
0.10	2.2	1500
0.10	2.0	1650
0.10	1.7	1800
0.10	1.5	1950
0.10	1.4	2100
0.10	1.3	2250
0.10	1.2	2400

٧- مرافق التخزين:

١-٧ السياسة:

تتناقش سياسة تصميم مرافق التخزين والتكرار أو معدل التكرار التصميمي، والارشادات بشأن التحليل الهيدروليكي في هذا الباب. ينبغي أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) قد حدد معدل التكرار التصميمي، وأجرى التحليل الهيدرولوجي وفق إجراءات الباب ٢، وأن يكون لديه الفهم لأساسيات التصميم الجيومتري للطرق قبل استخدام إجراءات التصميم في هذا الباب.

١-١-٧ نظرة عامة:

يقدم هذا الباب إجراءات تحديد حجم وتوجيه مرافق التخزين المرتبطة بصرف الطرق. ولمزيد من المعلومات التفصيلية؛ راجع مركز الدراسات الهيدرولوجية ٢٢ (FHWA, 2009)، وبرنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم ٢- (FHWA, 2002). توفر وكالة حماية البيئة الأمريكية إرشادات لهذه المرافق على موقع النظام الوطني؛ للقضاء على تصريف التلوث، الذي يوفر قائمة وطنية بأفضل ممارسات إدارة مياه الأمطار. تم تناول التخزين وتوجيه الفيضان المرتبط بالعبارات في الباب ٤ من هذا الكود. يقدم هذا الباب ما يلي:

- الرموز والتعاريف (الجزء ٧-٢).
- إجراءات التصميم (الجزء ٧-٣).
- البركة الجافة (الجزء ٧-٤).
- الاحتفاظ بالأرض المغلقة (الجزء ٧-٥).
- ميزانية تخزين المياه (الجزء ٧-٦).
- اعتبارات الإنشاء والصيانة (الجزء ٧-٧).

٢-١-٧ اعتبارات الموقع:

تجب مراجعة موقع مرافق التخزين بعناية وهو أمر مهم للغاية؛ لأنه يتعلق بفعالية هذه المرافق للسيطرة على الفيضانات اتجاه المصب. لن يكون للمرافق الصغيرة سوى الحد الأدنى من فوائد التحكم في الفيضانات، وستتضاءل هذه الفوائد بسرعة مع انتقال موجة الفيضانات اتجاه المصب. ستؤثر مرافق التخزين المتعددة - الموجودة في نفس حوض صرف المياه - في توقيت الجريان السطحي عبر نظام النقل، الذي يمكن أن يقلل أو يزيد من ذروات الفيضان في مواقع مختلفة اتجاه المصب. وعليه فمن المهم لمهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تصميم مرافق التخزين كمرفق صرف يتحكم في كل من الجريان السطحي من منطقة محددة، ويتفاعل مع مرافق الصرف الأخرى داخل حوض الصرف. وينبغي تنسيق الإدارة الفعالة لمياه الأمطار مع خطة إقليمية على نطاق الحوض. وينبغي للدولة أن تشجع هذا التخطيط وتشارك فيه.

٣-١-٧ الاحتجاز والاحتفاظ:

غالبًا ما يشار إلى مرافق تخزين مياه الأمطار إما على أنها مرافق لاحتجاز المياه وللاحتفاظ بها. في هذا الباب، مرافق هي تلك المصممة للحد من ذروة الفيضان واحتجاز الجريان فقط - لفترة قصيرة من الوقت. صُممت هذه المرافق لصرف مياهها بالكامل بعد مرور العاصفة المطرية التصميمية. تعد أحواض إعادة الشحن أو التسرب نوعًا خاصًا من أحواض الاحتجاز مصممة للصرف في المياه الجوفية. صُممت مرافق الاحتجاز لتكون بركة دائمة من المياه؛ نظرًا لأن معظم إجراءات التصميم هي نفسها بالنسبة لمنشآت التخزين واحتجاز المياه، فسيستخدم مصطلح مرافق التخزين في هذا الباب ليشمل مرافق التخزين واحتجاز المياه. يمكن أن تكون مرافق التخزين صغيرة من حيث سعة التخزين وارتفاع الهذاز الحاجز للمياه، حيث تخدم مصبًا منفردًا من مستجمعات المياه التي تبلغ مساحتها بضعة كيلو مترات مربعة، أو يمكن أن تكون منشآت أكبر تعمل كمراقبة إقليمية لإدارة مياه الأمطار.

٢-٧ الرموز والتعاريف:

لتوفير الاتساق في هذا الباب وطوال هذا المجلد من كود الطرق السعودي، سٌستخدم الرموز الواردة في الجدول (٧-١)، وقد اختيرت هذه الرموز بسبب استخدامها على نطاق واسع في المنشورات التقنية. وفي بعض الحالات يستخدم الرمز نفسه في المنشورات القائمة لأكثر من تعريف واحد. وفي حال حدوثه هنا، سيعرف الرمز في النص أو المعادلات.



الجدول (٧-١) الرموز والتعريفات والتعاريف.

الرمز	التعريف	الوحدات
A	مساحة مستعرضة أو سطحية.	م ^٢
C	معامل الهذّار.	—
d	التغير في الارتفاع.	m
D	عمق الحوض أو قطر الأنبوب.	m
f	معدل التسرب.	مم / ساعة.
g	تسارع الجاذبية.	m/sec ^٢
H	رأس على الهيكل.	m
H_c	ارتفاع قمة الهذّار فوق قاع القناة.	m
I	معدل التدفق إلى الداخل.	متر مكعب لكل ثانية.
L	الطول.	m
O	معدل التدفق إلى الخارج.	متر مكعب لكل ثانية.
r	نسبة العرض إلى طول الحوض في القاعدة.	
Q_i	معدل التدفق إلى الداخل.	متر مكعب لكل ثانية.
Q_o	معدل التدفق إلى الخارج.	متر مكعب لكل ثانية.
S_a	مساحة السطح.	هكتار.
t	الفترة الزمنية للتوجيه.	
t_i	القاعدة الزمنية على الهيدروغرافيا.	ثانية.
T_i	مدة تدفق الحوض إلى الداخل.	ساعة.
t_p	وقت الذروة.	ساعة.
V	حجم التخزين.	متر مكعب/هكتار-متر.
W	عرض الحوض.	m
z	عامل الانحدار.	m

٣-٧ إجراءات التصميم:

تتمثل الخطوة المبدئية في تحديد الحمل الهيدروليكي؛ (أي: تدفق الفيضان المراد التعامل معه). ينبغي على المهندس القائم بالتصميم التأكد من حجم تدفق الفيضان باستخدام الطرق المناسبة لكل مشروع.

تتضمن الخطوة التالية في عملية التصميم؛ الفصل الأولي للتصاميم البديلة، التي تُطابق ظروف الموقع، وتستوعب تدفقات الفيضانات المختارة للتحليل. يجرى التحليل الهيدروليكي باستخدام الصيغ المناسبة، أو النماذج الفيزيائية، أو برامج الكمبيوتر؛ لأغراض تحديد ومعايرة وفحص أداء التصميمات الأولية لنطاق التدفقات المراد مراعاتها.

وتشمل الخطوة النهائية في إجراء التصميم: التقييم الهندسي للسياريوهات البديلة الأولية، واختيار التصميم النهائي. التقييم الهندسي هو النهج المتبع في تحديد وتقييم واختيار التصميم النهائي. وتتطوي هذه العملية على النظر في عدد من العوامل وموازنتها. وفي جملة هذه العوامل ما يلي:

- الفاعلية في تحقيق النتائج المرجوة.
- التكاليف؛ مثل: الإنشاء والصيانة.
- الاعتبارات القانونية.
- مخاطر الفيضانات على مستخدمي الطرق، وأصحاب الملكيات المجاورة.
- النقاط المهمة البيئية والاجتماعية.
- دواعي أخرى خاصة بالموقع.

إلى جانب إجراء التصميم؛ يُعد التنسيق مع الوكالات والسلطات المحلية المسؤولة أمرًا ضروريًا لضمان توافق المرافق المقترحة مع الخطط طويلة الأجل للمنطقة. سيساعد التنسيق بين الوكالات المعنية خلال مرحلة تخطيط المشروع على إنتاج تصميم أكثر إرضاءً لجميع أصحاب المصلحة. ويشمل ذلك المناقشات مع مسؤول الفيضانات المحلي وتحديد الدراسات المحلية والمخاوف وقبول الجمهور وأي فرص للشراكة.

بالإضافة إلى ذلك؛ من المهم توثيق اعتبارات صرف المياه التي تؤثر في البيئة للمشروع المقترح؛ مثل: جميع السيناريوهات البديلة التي ستحظى بالاهتمام. يمكن أن يؤدي تحديد آثار صرف المياه في الاعتبارات البيئية -في وقت مبكر من عملية التخطيط- إلى منع مشكلات التنفيذ الرئيسة مع تقدم تطوير المشروع.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك العديد من سمات التصميم؛ (العمق، والحجم، والشكل، وطريقة المعالجة، والمساحات الخضراء، وما إلى ذلك) التي يمكن تعديلها في الحلول البديلة. عادةً ما تؤدي المواقع البديلة وسمات التصميم المختلفة الخاصة بها إلى تكاليف وتأثيرات مختلفة. ونتيجة لذلك؛ ينبغي إجراء تقييم للبدائل المناسب. ينبغي أن يزن التقييم ويوازن بين العديد من العوامل؛ مثل: التكلفة، قابلية الصيانة، قابلية الإنشاء، الرأي العام، الجماليات، والتأثيرات البيئية والاجتماعية والثقافية. عادةً ما تكون التكاليف المرتبطة بحرم الطريق، والتأثيرات البيئية، والإنشاء، والصيانة طويلة الأجل أسهل العوامل للتقدير والمقارنة. وهناك عوامل أخرى أكثر موضوعية ونوعية.

نظرًا لأن التقييم يتضمن مجموعة واسعة من الموضوعات؛ ينبغي عليك تشكيل فريق متعدد الوظائف المناسب وموقع البركة الأنسب. ينبغي أن يكون للفرق ممثلون لهم صلة بحرم الطريق والتصميم وصرف المياه والهندسة المعمارية للمساحات الخضراء والإدارة البيئية والصيانة والإنشاء والمجالات ذات الصلة. وفي بعض الأحيان؛ قد تقدم وحدات أخرى معلومات بالغة الأهمية لعملية التقييم. على الرغم من أن جميع أعضاء الفريق يمكن أن لا يشاركون في العملية بأكملها، فإنه من المرجح أن يقدموا معلومات مهمة في مرحلة ما. وسيكون مدير المشروع -بدعم من مكتبي صرف المياه، وحرم الطريق- مسؤولاً عن تنسيق جهود الفريق، وكفالة مشاركة الموظفين المناسبين.

ويمكن تعريف مرفق التخزين بأنه مرفق يستوفي السياسات التالية:

- تصميم الهيكل يلبي أو يتجاوز الممارسة الهندسية القياسية.
- التصميم يتوافق مع ما يقوم به المهندس القائم بالتصميم ذي الكفاءة، والحكمة المعقولة في ظل ظروف مماثلة.

عند تحديد هيكل صرف مناسب، تقدم النقاط التالية فيما يتعلق بعملية التصميم:

- تقع على عاتق المهندس القائم بالتصميم مسؤولية توفير هيكل صرف مناسب لظروف التصميم المحددة. لا يُطلب من المهندس القائم بالتصميم توفير هيكل يتعامل مع جميع تدفقات الفيضانات المتصورة في ظل جميع ظروف الموقع المحتملة.
- ينبغي أن تكون تفاصيل دراسات التصميم متناسبة مع المخاطر المرتبطة بالتعدي، ومع المخاوف الاقتصادية، أو الهندسية، أو الاجتماعية، أو البيئية الأخرى.
- يعمل حدث الفيضان التصميمي كمعيار لتقييم مدى كفاية التصميم المقترح. الفيضان التصميمي هو الفاصل الزمني لتكرار الفيضان الذي حُدّد حجم هيكل الصرف له؛ لتلبية المواصفات المتنوعة، والمحددة، والقابلة للتطبيق.
- تعمل القيمة المتوقعة للفيضان الأساسي (١٠٠ عام) كمعيار هندسي حالي؛ لتقييم مخاطر الفيضانات، وكأساس لتنظيم السهول الفيضية في إطار برنامج الجهة المسؤولة.

- من الممارسات الهندسية القياسية استخدام القيمة المتوقعة لفيضان ١٠٠ عام كأساس لتقييم مخاطر الفيضانات؛ ومع ذلك يمكن أن تكون التدفقات الأكبر من هذه القيمة مأخوذة في الاعتبار في الحالات المعقدة، أو عالية المخاطر، أو غير العادية التي تتطلب دراسات خاصة أو تحليلات المخاطر.
- يصور الأداء الهيدروليكي المطور لبنية صرف المياه العلاقة بين مرحلة الفيضان والماء (أو الارتفاع) ومعدلات تدفق الفيضان. وبالنسبة لمرافق صرف المياه التي تؤثر في الملكيات المطورة؛ ينبغي أن تتضمن بيانات الأداء فيضان ١٠٠ عام. مع بيانات الأداء؛ يمكن للمهندس القائم بأعمال التصميم تقييم كفاية التصميم.

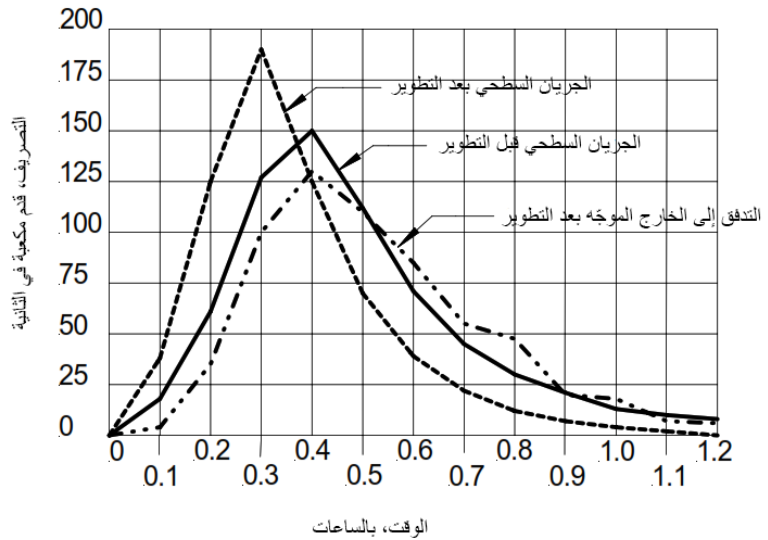
عادة ما تحتوي عملية التصميم على عدة مراحل: التطوير المفاهيمي، والتصميم الأولي، والتصميم النهائي. لتصميم العديد من هياكل صرف المياه؛ تُخطى هذه المراحل بسرعة، خاصة بالنسبة للمصممين ذوي الخبرة. عند العمل بشكل شامل في المراحل؛ تُجرى الدراسات المذكورة أدناه -عادة- كجزء من تصميم هياكل صرف الطرق، وتعمل كوسيلة لتحقيق تصميم صرف مياه مناسب:

- التحليل الهيدرولوجي.
- التحليل الهيدروليكي.
- التقييم الهندسي للبدائل المطورة.

١-٣-٧ إجراءات توجيه المياه:

في حالات حيث توجد إنشاءات هيدروليكية قريبة من الطريق؛ يمكن أن يلزم إجراء تحليل للتوجيه. المفهوم الأساسي المرتبط بأحواض الاحتجاز؛ هو التدفق من خلال تطبيق تحليل التوجيه لبركة معينة، وتهيئة المخرج ورسم هيدروغراف التدفق الداخل. في أي وقت؛ يحدث أحد الاحتمالات التالية:

- إذا كان متوسط معدل التدفق الداخل أكبر من متوسط معدل التدفق الخارج للفاصل الزمني المحدد؛ فسيزداد حجم المياه المخزنة، وسيرتفع سطح الماء، وسيزداد متوسط معدل التدفق الخارج للفاصل الزمني التالي.
- إذا كان متوسط معدل التدفق الداخل مساوياً لمتوسط معدل التدفق الخارج للفاصل الزمني المحدد؛ فإن حجم التخزين وسطح الماء سيظل ثابتاً.
- إذا كان متوسط معدل التدفق الداخل أقل من متوسط معدل التدفق الخارج للفاصل الزمني المحدد؛ فسينخفض حجم المياه المخزنة، وسينخفض سطح المياه، وسينخفض متوسط معدل التدفق الخارج للفاصل الزمني التالي.

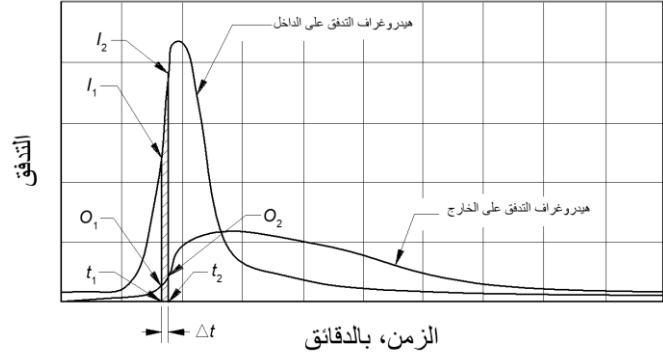


الشكل (٧-١) مخطط توضيحي هيدروغراف التوجيه.

الحجم تحت هيدروغراف التدفق الداخل؛ هو الحجم الإجمالي للجريان السطحي الذي يدخل الحوض. الحجم تحت هيدروغراف التدفق الخارج؛ هو الحجم الإجمالي للجريان السطحي الذي يغادر الحوض. يتحقق التغير في قيمة ذروة التصريف ووقت ذروة التدفق؛ من خلال تقليل التدفق عبر الحوض. الحجم فوق هيدروغراف التدفق الخارج وتحت هيدروغراف التدفق الداخل؛ هو مقدار التخزين المطلوب. يحدث الحد الأقصى للحجم عند تقاطع الرسمين التخطيطيين للهيدروغراف، وهو ما يحدث -أيضاً- عند حدوث أقصى معدل تدفق للخارج.

بالنسبة لمعظم أحواض الاحتجاز؛ يكون مخرج التدفق الخارج عبارة عن: عبارة أو هدار لا يمكن التحكم فيه. وبالنسبة لحوض بمخرج غير متحكم فيه إلى مصب حر؛ سيحدث تخزين الذروة وتدفق الذروة عند النقطة التي يتقاطع فيها هيدروغراف التدفق الخارج مع هيدروغراف التدفق الداخل.

طريقة شائعة الاستخدام- لتوجيه هيدروغراف التدفق الداخل عبر بركة احتجاز المياه؛ هي مؤشر التخزين أو طريقة النبضات المعدلة. تبدأ هذه الطريقة بمعادلة الاستمرارية، التي تنص على أن التدفق الداخل ناقص التدفق الخارج يساوي التغير في التخزين (I = O - S). من خلال أخذ متوسط اثنين من التدفقات الداخلية المتباعدة عن بعضها البعض، واثنين من التدفقات الخارجية المتباعدة عن بعضها البعض؛ يعبر عن الطريقة بواسطة المعادلة ٧-٥، وتتضح هذه العلاقة بشكل بياني في الشكل ٧-٦:



الشكل (٧-٢) مخطط هيدروغراف التوجيه.

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \quad \text{المعادلة (٧-١)}$$

حيث إن:

ΔS = التغير في التخزين؛ م^٣.

Δt = الفاصل الزمني؛ دقيقة.

I = التدفق؛ م^٣.

O = التدفق؛ م^٣.

في المعادلة (٧-١)؛ يشير الرمز السفلي ١ إلى البداية، ويشير الرمز السفلي ٢ إلى نهاية الفاصل الزمني.

يمكن إعادة ترتيب المعادلة (٧-١) حيث توجد جميع القيم المعروفة على الجانب الأيسر من المعادلة، وتوضع جميع القيم غير المعروفة على الجانب الأيمن من المعادلة، مثلما هو موضح في المعادلة (٧-٢). الآن يمكن حل المعادلة ذات المجهولين (O_2 و S_2) بمعادلة واحدة:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \left(\frac{S_1}{\Delta t} + \frac{O_1}{2} \right) - O_1 = \left(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2} \right) \quad \text{المعادلة (٧-٢)}$$

٢-٣-٧ الإجراءات التفصيلية لتوجيه المياه:

ويرد أدناه إجراء عام لاستخدام البيانات المذكورة أعلاه في تصميم مرافق التخزين:

الخطوة ١: احسب هيدروغراف التدفق الداخل للجريان السطحي من العواصف المطرية التصميمية، لمدة ١٠٠ عام؛ باستخدام الإجراءات الموضحة في الباب ٢. كل من هيدروغراف قبل التطوير وبعده مطلوبة لعواصف التصميم. فقط هيدروغراف ما بعد التطوير مطلوب للجريان السطحي من العاصفة التي استمرت ١٠٠ عام.

الخطوة ٢: قم بإجراء حسابات أولية لتقييم متطلبات التخزين للمخططات الهيدروغرافية من الخطوة ١؛ (انظر: الجزء ٧-٤). إذا استوفيت متطلبات التخزين للجريان السطحي من العاصفة المطرية التصميمية؛ فمن المفترض أن يتحكم في الجريان السطحي من العواصف المطرية الوسيطة.



الخطوة ٣: حدّد الأبعاد اللازمة للاحتفاظ بالحجم المقدر من الخطوة ٢؛ مثل: الخلوّص الرأسي. استخدم الحد الأقصى لمتطلبات التخزين المحسوبة من الخطوة ٢.

الخطوة ٤: حدّد حجم هيكل المخرج؛ ستحدث مرحلة الذروة المقدرة للحجم المقدر من الخطوة ٢. حجم هيكل المخرج لنقل معدل ذروة التدفق الخارج من مخطط هيدروغراف التدفق الخارج المطلوب.

الخطوة ٥: قم بإجراء حسابات التوجيه باستخدام مخطط هيدروغراف التدفق من الخطوة ١ والمعادلة (٦-٧) للتحقق من التصميم الأولي. إذا تجاوزت تصريفات التوجيه عند الذروة بعد التطوير من العاصفة المطرية التصميمية ذروة التصريف قبل التطوير، أو إذا كانت مرحلة الذروة تختلف اختلافاً كبيراً عن مرحلة الذروة المقدرة من الخطوة ٤؛ فراجع الحجم المقدر والعودة إلى الخطوة ٣.

الخطوة ٦: ضع في اعتبارك ظروف الفيضان غير العادي من الجريان السطحي بسبب العاصفة التي تبلغ ١٠٠ عام أو أكبر، ومتطلبات الخلوّص الرأسي.

الخطوة ٧: تقييم آثار تدفق الاحتجاز الخارجي عند المصب؛ للتأكد من أن هيدروغراف التوجيه لا يسبب مشكلات في الفيضان. في حال وجود منطقة حساسة؛ قم بتوجيه هيدروغراف الخروج من مرفق التخزين عبر نظام القناة اتجاه المصب إلى المنطقة المطلوبة أو حتى الوصول إلى نقطة التقاء؛ حيث تمثل منطقة الصرف قيد التحليل ما يعادل ١٠٪ من إجمالي منطقة الصرف.

الخطوة ٨: تقييم سرعة مخرج هيكل التحكم، وتوفير ثبات للقناة والضفة؛ وذلك إذا سببت سرعة الجريان مشكلات انجراف في اتجاه المصب.

يمكن أن يتضمن هذا الإجراء عددًا كبيراً من عمليات حساب توجيه الخزان؛ لغرض الحصول على النتائج المطلوبة.

٧-٤ البركة الجافة (حوض الاحتجاز):

٧-٤-١ مقدمة:

أحواض الاحتجاز؛ هي مناطق منخفضة، تخزن مياه الجريان السطحي أثناء الطقس الرطب، وتجف في الأوقات الأخرى. تحتوي البركة الجافة على مخرج موضوع عند أو تحت أدنى ارتفاع في البركة، حيث تصرف مياه البركة -تماماً- بين أحداث العواصف المطرية.

وأحواض الاحتجاز شائعة؛ بسبب تكلفتها المنخفضة نسبياً، وقلة قيود التصميم، والقدرة على خدمة مستجمعات المياه الكبيرة والصغيرة، وإمكانية إدماجها في استخدامات أخرى؛ مثل: (المناطق الترفيهية). يقدم الجدول ٧-٢ نظرة عامة على اعتبارات البركة الجافة التي تناقش في الأقسام التالية. ستختلف هذه الاعتبارات من منطقة إلى أخرى، وينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) استخدام المعايير التي وضعتها السلطة التنظيمية.

الجدول (٧-٢) نظرة عامة على اعتبارات البركة الجافة.

الجودة	(جودة المياه - قدرة احتجاز أو تخزين للمياه تصل لمدة ٣٠ ساعة (فوهة ٣ بوصات على الأقل).
الكمية	التحكم في كمية أو شدة التدفق الذي صُممت القناة أو المجرى المائي بناءً عليه، والحفاظ على سرعة الجريان غير المتأكلة.
الشكل	نسبة الطول إلى العرض < ٣، على شكل إسفين (أوسع عند المخرج).
الصيانة	افحص مرة واحدة في السنة، ويفضل أن يكون ذلك أثناء الطقس الرطب، واقطع حسب الحاجة (على الأقل مرتين في السنة)، وقم بإزالة الرواسب (كل ٥ سنوات إلى ١٠ سنوات).
اعتبارات أخرى	الميل الجانبي لتوفير سهولة الوصول إلى الصيانة (الارتفاع الرأسي = ٣ أضعاف البعد الأفقي)، ٢٪ من الميل السفلية لمنع التجمع، الرواسب الأمامية للحد من الصيانة، متطلبات السلامة (حواف العمق والمحيط).
إزالة الملوثات	معتدل.

٢-٤-٧ الجودة:

لتصميم الحوض لضبط جودة مياه الأمطار؛ ينبغي توجيه حجم المياه الجيدة (WQV) عبر الحوض. ينبغي أن يكون حجم هذه المياه = ٠,١٥ م مضروباً في مساحة المشروع. ينبغي احتجاز حجم المياه، وتحريره على مدار ٣٠ ساعة. يمكن استخدام المعادلة التالية لغرض الحصول على متوسط التدفق الخارج من البركة:

$$Q_{avg} = (WQV)/T$$

المعادلة (٣-٧)

حيث إن:

Q_{avg} = متوسط التدفق من الحوض؛ متر مكعب لكل ثانية.

WQV = حجم المياه ذات الجودة المضبوطة؛ م^٣.

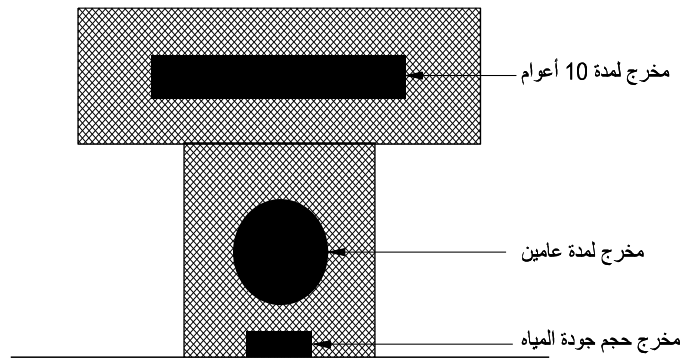
T = زمن الاحتجاز؛ ثانية.

بمعرفة متوسط التدفق الخارج؛ يمكن استخدام معادلة تحديد الفوهة المناسبة لتحديد حجم المخرج. ومع ذلك ينبغي أن يكون الحد الأدنى لحجم المخرج ٧,٥ سم؛ وذلك لمنع انسداد المخرج، وقد يؤدي ذلك إلى زمن احتجاز أقل من ٣٠ ساعة.

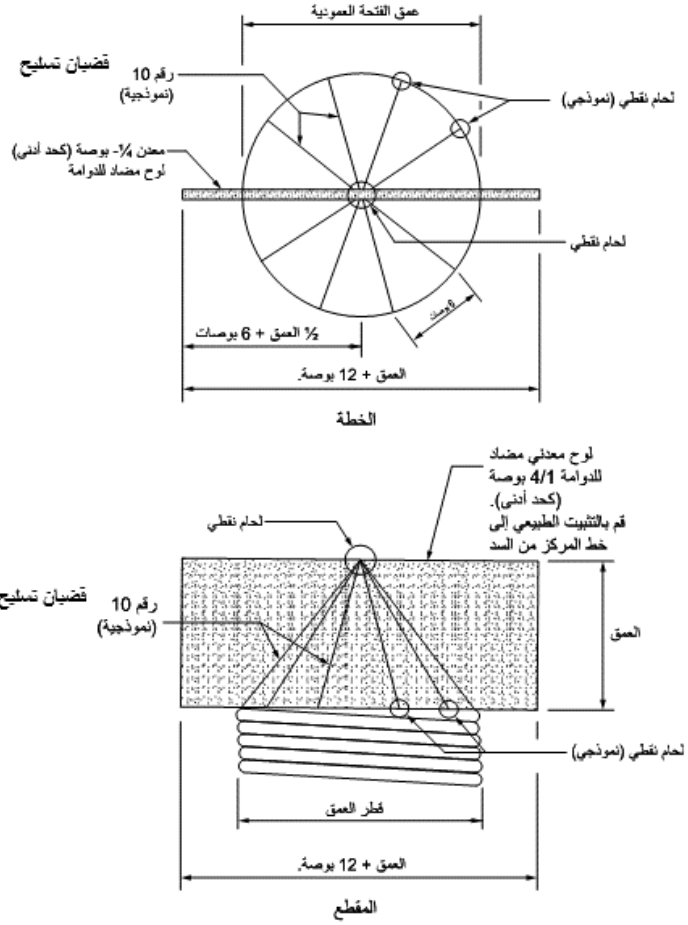
٣-٤-٧ الكمية:

لأغراض الكمية؛ صُممت البركة لتقليل تدفق ذروة ما بعد الإنشاء من العاصفة المطرية التصميمية إلى مستوى ما قبل الإنشاء. إذا لم يستخدم العاصفة لمدة ١٠٠ عام في التصميم؛ فينبغي أن يكون الحوض قادراً على اجتياز عاصفة مطرية لمدة ١٠٠ عام بأمان. وللسيطرة على هذه العواصف المطرية؛ ينبغي أن يكون تخزين الحوض مساوياً للمنطقة بين مخططات الهيدروغراف قبل وبعد الإنشاء.

بعد تحديد حجم التخزين لفيضان مدته سنتان و ١٠ سنوات؛ ينبغي توجيه العاصفة المطرية التصميمية عبر المنشأة؛ للتأكد من أن تدفقات الذروة من مستجمعات المياه بعد الإنشاء ليست أكبر من تدفقات ذروة ما قبل الإنشاء المقابلة. أخيراً ينبغي توجيه عاصفة مدتها ١٠٠ عام عبر المنشأة؛ لضمان عدم تلف الجسر الترابي أو فشله عند مرور تلك العاصفة. يمكن استخدام العديد من المخارج للسيطرة على العواصف المطرية المختلفة واحدة لمدة عامين، وواحدة لمدة ١٠ سنوات، وممر طوارئ للسيطرة على أي شيء أكبر، مثل العاصفة ١٠٠ سنة؛ (انظر: الشكل ٣-٧). لتحسين كفاءة المخرج؛ قد يكون من الضروري تضمين جهاز مضاد للدوامة؛ (انظر: الشكل ٤-٧).



الشكل (٣-٧) رافع الخرسانة.



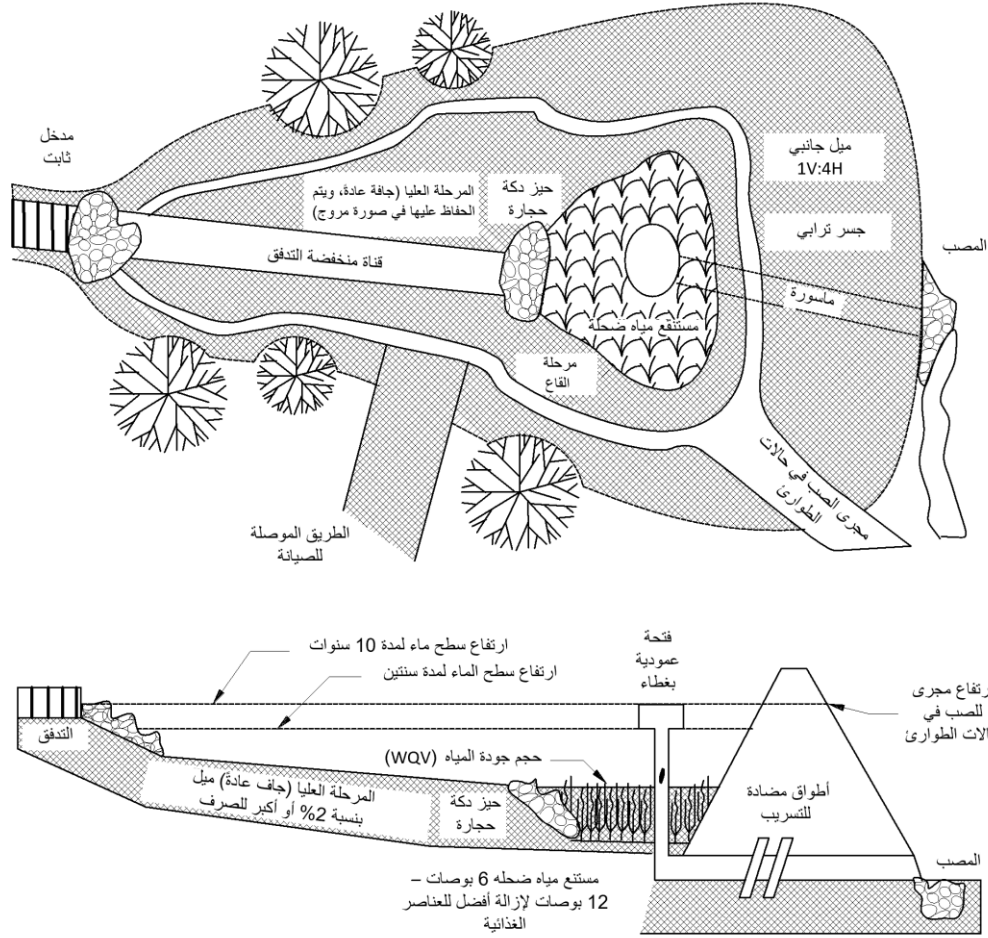
الشكل (٧-٤) اللوحة المضادة للدوامة ورف اصطيد الحطام (بوصة إلى متر) (FHWA, 1979).

٤-٤-٧ الكمية والجودة مجتمعة:

يمكن النظر في العديد من أنواع التصميم لتعزيز قدرات المنشأة. ويتمثل أحد الاعتبارات في تشكيل الحوض: تحسين قدراته على إزالة الملوثات. ينبغي أن تكون نسبة الطول إلى العرض ثلاثة على الأقل، ويمكن أن يحسن الحوض على شكل إسفين (أوسع عند المخرج) أيضًا من إزالة الملوثات.

ينبغي تثبيت المدخل والمخرج والميول الجانبية؛ باستخدام دكة الحجارة، أو الغطاء النباتي، أو كليهما؛ لمنع الانجراف. يجب قطع الميول الأكثر انحدارًا من ١:٣ بمعدلات خاصة. هذا بشكل عام أكثر تكلفة من استخدام الجزارة العادية. حيثما أمكن، يوصى بالحفاظ على النباتات الموجودة على الميول؛ لزيادة الاستقرار، وإضافة سمة جمالية إلى البركة.

كما ينبغي أن تكون أرضية الحوض مغطاة بالنباتات؛ لتثبيت التربة، وزيادة الامتصاص البيولوجي. ينبغي أن تنحدر أرضية البركة بما لا يقل عن ٢٪ لمنع تجمع مياه الأمطار. ينبغي أن تسمح الميول الجانبية بسهولة الوصول إلى الصيانة. يمكن إنشاء المستنقعات أو الأراضي الرطبة على أرضية البركة؛ لزيادة الامتصاص البيولوجي. الرواسب الأمامية (يمكن استخدام مصيدة صغيرة للرواسب عند مدخل الحوض؛ إما منطقة منخفضة، أو منطقة ضحلة ذات ميل مستوٍ للغاية حيث تترسب الرواسب بسهولة) لصيد الرواسب قبل أن تملأ الحوض؛ (انظر: الشكل ٧-٥).



الشكل (٧-٥) بركة جافة (بوصة إلى متر) (Schueler, 1987).

يمكن أن يشتمل الحوض -أيضاً- من مرحلتين؛ إحداهما: بحجم لاحتواء العواصف المطرية الأصغر، والثانية: -التي نادراً ما تغمرها المياه ويمكن استخدامه لأغراض أخرى- بحجم للمساعدة في تخزين العواصف المطرية الأكبر. تشمل اعتبارات السلامة تقليل فرصة الغرق؛ باستخدام علامات التحذير، أو تقليل العمق الأقصى، أو مثل مدرجات والميول المنبسطة، أو أي مزيج منها؛ لمنع الناس من السقوط فيه، وتسهيل هروبهم من الحوض.

٥-٤-٧ المخرج:

يمكن تصميم مخرج الأحواض الجافة في مجموعة واسعة من التكوينات. تستخدم معظم المخرج صناديق مدخل معدلة أو ماسكات صاعدة من الخرسانة أو المعادن المموجة. يمكن تصميم هذه الهياكل للتحكم في العواصف المطرية المختلفة؛ من خلال استخدام العديد من الفتحات أو الأنابيب؛ على سبيل المثال: مدخل صغير للتحكم في حجم المياه ذات الجودة المضبوطة، فتحة للتحكم في عاصفة مطرية لمدة عامين، وفتحة أكبر للسيطرة على عاصفة مطرية لمدة ١٠ سنوات. عادة ما يتحكم في هذا التدفق الأكبر؛ من خلال تدفق مياه العواصف المطرية عبر الجزء العلوي من الهيكل. إذا استخدمت أنبوب صاعدة؛ يمكن أن يكون من الضروري تصميم مانع لدوام التدفق الداخل إلى الجزء العلوي من الأنبوب. عادة ما يتعامل مع التدفقات الأكبر؛ من خلال ممرات الطوارئ في حالات الطوارئ؛ نظراً لأن مخرج حجم المياه ذات الجودة المضبوطة يجب أن يكون صغيراً لاحتجازه لفترة كافية، ويمكن سده بسهولة؛ لذا ينبغي استخدام حجم لا يقل عن ٧٥ مم. لمنع الانسداد، قد يُضمّن رف اصطياح الحطام في التصميم لتغطية الفوهات.

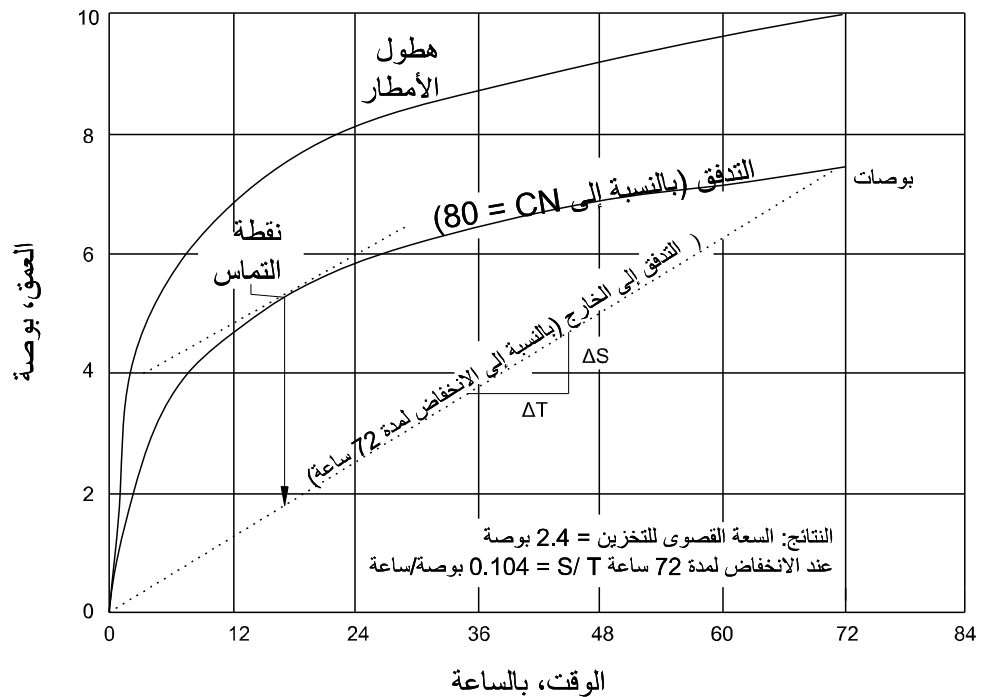
٧-٥ الاحتفاظ بحبس المياه (المياه الحبيسة بدون مخارج):

١-٥-٧ مقدمة:

تعتبر مناطق مستجمعات المياه التي تصب في منخفض مركزي مع عدم وجود مخرج صرف إيجابي (على سبيل المثال: بحيرات بلاليا) نموذجية، وذلك للعديد من المناطق الطبوغرافية ذات التكهفات الكارستية، ويمكن تقييمها باستخدام إجراءات توجيه التدفق الكتلي؛ لتقدير ارتفاع الفيضانات. على الرغم من أن هذا الإجراء مباشر إلى حد ما، فإن تقييم تدفق الحوض إلى الخارج هو ظاهرة هيدروجيولوجية معقدة تتطلب قياسات ميدانية جيدة وفهماً شاملاً للظروف المحلية. نظرًا لصعوبة حساب معدلات التدفق الخارج، لظروف الفيضان؛ يفضل إجراء قياسات ميدانية.

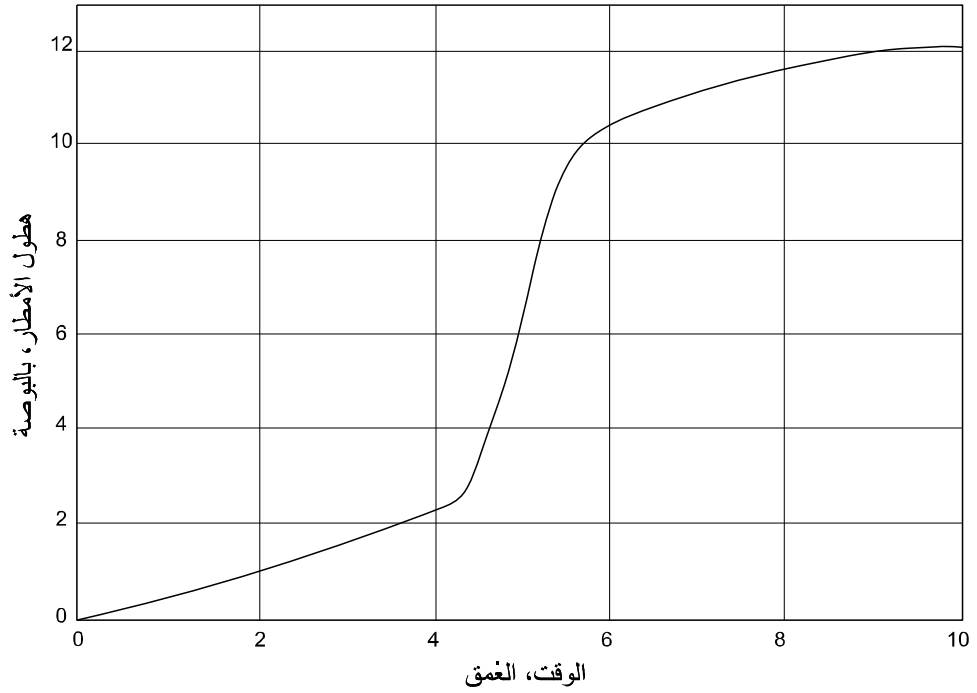
٢-٥-٧ توجيه المياه الكتلي

تتضح الخطوات المعروضة أدناه لإجراء التوجيه الكتلي؛ بواسطة المثال الوارد في الشكل ٦-٧.



الشكل (٦-٧) منحني توجيه المياه الكتلي (بالمتر).

الخطوة ١: احصل على بيانات هطول الأمطار التراكمية للتكرار ١٠٠ سنة، ١٠ أيام من حدث التصميم من الشكل (٧-٧).



الشكل (٧-٧) بيانات هطول الأمطار التراكمية للعاصفة المطرية التصميمية لمدة ١٠٠ عام و ١٠ أيام (حسب الموقع) (بالمتر).

- الخطوة ٢: احسب التدفق التراكمي الداخل إلى حوض احتجاز المياه الحبيسة بدون مخارج، باستخدام بيانات هطول الأمطار من الخطوة ١، وإجراءات الجريان السطحي من الباب ٢ (الهيدرولوجيا). ارسم تدفق المياه الكتلّي إلى حوض الاحتجاز.
- الخطوة ٣: طور التدفق الخارج من الحوض من القياسات الهيدروليكية الميدانية، مع الأخذ في الاعتبار أسوأ حالة لظروف منسوب المياه الجوفية. يجب تحديد الموصلية الهيدروليكية؛ باستخدام طرق الاختبار في الموقع، ثم مقارنة النتائج بخصائص الأداء المرصودة. قم بتخطيط التدفق الكتلّي الخارج كخط مستقيم مع ميل مناظر لأسوأ حالة تدفق خارج بمعدل بوصة/ ساعة.
- الخطوة ٤: ارسم خطاً مماساً لمنحنى التدفق الكتلّي من الخطوة ٢، الذي له ميل موازٍ لخط التدفق الكتلّي من الخطوة ٣.
- الخطوة ٥: حدد نقطة المماس بين منحنى التدفق الكتلّي الوارد في الخطوة ٢ وخط المماس المرسوم للخطوة ٤. تمثل المسافة من نقطة التماس هذه وخط التدفق الكتلّي الحد الأقصى للتخزين المطلوب للجريان السطحي التصميمي.
- الخطوة ٦: حدد ارتفاع الفيضان المرتبط بأقصى حجم تخزين محدد في الخطوة ٥. استخدم ارتفاع الفيضان هذا لتقييم متطلبات الحماية من الفيضان للمشروع. ينبغي تحديد ارتفاع الحجم الصفري؛ باعتباره سطح مياه الموسم الرطب العادي، أو ارتفاع منسوب المياه الجوفية أو قاع الحفرة أيهما أعلى.
- الخطوة ٧: إذا صُرف الجريان السطحي من منطقة المشروع إلى نظام صرف مياه رافد لمنخفض مياه حبيسة؛ فيجب أن تمتثل مرافق التخزين لمتطلبات تصريف ما قبل تطوير المشروع.
- ما لم يصمم مرفق التخزين كمرفق احتجاز؛ يجب توفير حسابات ميزانية المياه، والاحتياجات البيئية، وأحكام منع الظروف اللاهوائية، وهياكل الإغاثة، وذلك لمنع حالات المياه الراكدة.

٦-٧ ميزانية تخزين المياه:

حسابات ميزانية المياه مطلوبة لجميع مرافق تخزين المياه الدائمة، وينبغي أن تؤخذ في الاعتبار الأداء وفق الظروف السنوية المتوسطة. يجب أن تأخذ ميزانية المياه في الاعتبار جميع التدفقات الداخلة والخارجة المهمة - ومنها على سبيل المثال لا الحصر - هطول الأمطار، والجريان السطحي، والتسرب، والترشيح، والتبخّر، والتدفق الخارج.

يمكن حساب متوسط الجريان السطحي السنوي؛ باستخدام معامل الجريان السطحي المرجح لمنطقة صرف المياه الرافدة مضروباً في متوسط حجم هطول الأمطار السنوي. ينبغي أن يعتمد الرشح، والرشح العكسي للمياه، على بيانات اختبار التربة الخاصة بالموقع. ويمكن تقريب التبخر؛ باستخدام متوسط التبخر الشهري في حوض التبخر، أو بيانات التبخر السطحي للمياه الحرة، من التقرير التقني ٣٣ للإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA، ١٩٨٢).

٧-٧ اعتبارات الإنشاء والصيانة:

١-٧-٧ اعتبارات الإنشاء:

ومن الخطوات المهمة في عملية التصميم؛ تحديد ما يُبرر وضع أحكام خاصة لإنشاء مرافق التخزين المقترحة أو صيانتها على نحو سليم. لضمان الأداء والوظيفة المقبولين، لا يُنصح باستخدام مرافق التخزين التي تتطلب صيانة مكثفة. تنشأ العديد من مشكلات الإنشاء الخطيرة؛ بسبب تجاهل أو إهمال العوامل المهمة المتعلقة بصرف المياه، في مراحل تخطيط وتطوير المشروع. يجب تصميم المرافق لتقليل مشكلات الصيانة -التالية- التي تعتبر معهودة في مرافق الحضرية لاحتجاز المياه:

- نمو الأعشاب الضارة.
- صيانة الحشائش والنباتات.
- مراقبة الترسيب (تراكم المواد الرسوبية).
- تدهور ضفاف المصرف.
- المياه الراكدة أو الأسطح المبللة.
- السيطرة على البعوض.
- انسداد هياكل المخرج.
- تراكم النفايات.
- صيانة الأسوار والمزارع المحيطة.
- تلوث المجاري المائية والبحيرات والأنهار.
- تدمير موائل الحياة البرية.
- تدمير الأراضي الرطبة.
- ضعف أنظمة المنافع.

يجب أن يركز التصميم المناسب على إلغاء أو تقليل متطلبات الصيانة من خلال معالجة احتمالية ظهور المشكلات؛ على سبيل المثال:

- معالجة نمو الأعشاب الضارة، وصيانة الأعشاب؛ بإنشاء الميول الجانبية، التي يمكن الحفاظ عليها باستخدام المعدات المتاحة التي تعمل بالطاقة (على سبيل المثال: جزازات العشب والجرارات).
- التحكم في الترسيب؛ بإنشاء مصائد لاحتواء الرواسب وتسهيل إزالتها، أو إنشاء قنوات ذات تدفق منخفض للحد من التآكل وانتقال الرواسب.
- التحكم في تدهور ضفاف المصارف؛ بالتبطينات الواقية، أو بالحد من ميول المصارف.
- التخلص من المياه الراكدة أو الأسطح الرطبة؛ عن طريق انحدار قيعان الأحواض نحو المخرج، أو إنشاء قنوات تجريبية ذات تدفقات منخفضة عبر قيعان الأحواض من المدخل إلى المخرج، أو إنشاء مرافق الصرف التحتية لخفض منسوب المياه الجوفية. إذا عولجت المياه الراكدة؛ فلن تكون مكافحة البعوض مشكلة كبيرة.
- حدد هياكل المخرج لتقليل إمكانية الانسداد؛ (أي: تميل الأنابيب الصغيرة جدًا إلى الانسداد بسهولة كبيرة، وينبغي تجنبها). وينبغي -أيضا- النظر في تراكم الجليد.
- حدد موقع المنشأة لتسهيل الوصول إليها؛ حيث يمكن إجراء الصيانة على أساس منتظم، لمعالجة القمامة والأضرار التي تلحق بالأسوار والمزارع المحيطة.

ومن خلال التخطيط السليم؛ يمكن تجنب العديد من المشكلات، أو وضع حلول فعالة -من حيث التكلفة- للتقليل من الأضرار. ينبغي النظر في هذه المشكلات المحتملة عند تطوير التصميم شديدة التأثير بالسياق.

٢-٧-٧ اعتبارات الصيانة:

وينبغي أن تعترف خطة إدارة مياه العواصف المطرية بالحاجة إلى ضوابط مكافحة الانجراف والرواسب، وأن توفر نهجاً مفاهيمياً لإدارة تأثيراتها. يجب تقييم متطلبات الصيانة للبدائل المحتملة. الخبرة في هذا المجال هي أفضل مؤشر على مشكلات الصيانة، ويمكن أن تكون المقابلات مع موظفي الصيانة مفيدة -للاغاية- في تحديد مخاوف الصيانة مع التصميمات المحتملة. الإشارة إلى تقارير صيانة الطريق والفيضانات، واستطلاعات الأضرار، والمقابلات مع السكان المحليين يمكن أن تكون مفيدة في تقييم مشكلات الصيانة المحتملة.

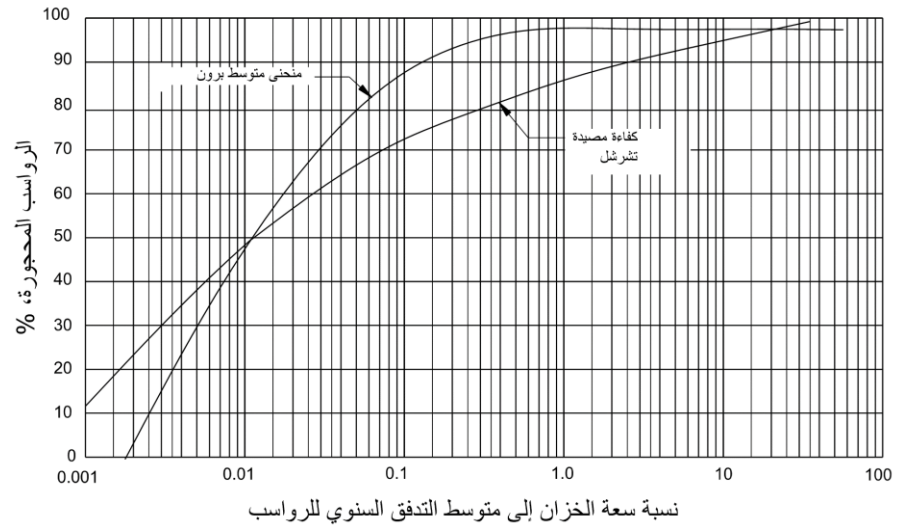
ينبغي أن تكون الصيانة مستمرة طوال عملية تصميم منشأة صرف مياه الأمطار. تكاليف الصيانة طويلة الأجل أمر لا مفر منه، ولكن يمكن تقليلها إلى الحد الأدنى؛ من خلال اعتبارها الاعتبار المناسب عند تصميم المنشأة. غالبًا ما يكون الفرق بين التصميم القابل للصيانة والتصميم الصعب والمكلف هو الفرق بين مرفق تشغيل جذاب ومرفق مهمل وغير فعال يولد شكاوى عامة متكررة.

٣-٧-٧ أحواض الرواسب:

كثيرًا ما تستخدم مرافق الاحتجاز كأحواض مؤقتة للرواسب. ولضبط صيانة هذه المرافق؛ توضع معايير لتحديد متى ينبغي تنظيف هذه المرافق، ومقدار التخزين المتاح الذي يمكن استخدامه لتخزين الرواسب.

وفيما يلي مثال لمنهجية يمكن استخدامها لوضع جدول زمني لصيانة أحواض الرواسب. يمكن استخدام الشكل (٧-٨) لتقدير كفاءة مصائد المواد الرسوبية لأحواض الرواسب. وفيما يلي الإجراءات المتبعة في استخدام هذا الرقم:

- ١- وضع معايير لتولّد الرواسب. تقدر كمية الرواسب في منطقة معينة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة.
- ٢- تقدير الحجم الإجمالي المتاح لتخزين الرواسب من الشكل الهندسي للحوض.
- ٣- حساب الحد الأدنى من تخزين الطمي المطلوب وفق معايير تولّد الطمي.
- ٤- يمكن تقدير كفاءة المصيدة من الشكل (٧-٨).
- ٥- حدد عدد المرات التي ينبغي فيها تنظيف حوض الرواسب؛ نظرًا لأن الحوض سيحاصر معظم الرواسب، وستُملأ معظم السعة سنويًا، فينبغي تنظيف الحوض سنويًا.



ملاحظات: السعة؛ هي إجمالي حجم حوض الرواسب حتى قمة مصرف الطوارئ في الحالات الطارئة. المبدأ التوجيهي العام؛ هو استخدام طريقة برون للتخزين الكبير أو الخزانات التجميع العادية، ومنحنى تشرشل لأحواض الترسيب، الخزانات الصغيرة، هياكل مقاومة الفيضانات، الخزانات شبه الجافة، أو الخزانات التي تزال باستمرار.

الشكل (٧-٨) كفاءة أحواض الرواسب (USBR, 2006).



٨- الجسور والمعايير المنخفضة المياه:

٨-١ مقدمة:

٨-١-١ السياسة:

يقدم هذا الباب إرشادات وتعليمات لنهج تصميم الجسر، والتكرار التصميمي، والتحليل الهيدروليكي، وتعرية الجسر بالجرف (النحر)، وصرف السطح (مياه الأمطار). يجب أن يكون مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) قد قدر معدل التكرار التصميمي، وأجرى التحليل الهيدرولوجي باستخدام الاساليب الموضحة في الباب ٢-، ولديه دراية أولية بهندسة الطريق من أجل اتباع تعليمات التصميم.

٨-١-٢ نظرة عامة:

حتى بالنسبة لمهندس هيدروليكي متمرس، يمكن أن يكون تدفق المجرى المائي نظامًا طبيعيًا ديناميكيًا صعبًا للغاية؛ بسبب التعدي الناجم عن نظام عبور المجرى المائي. يجب إشراك الخبراء المعنيين بالهيدروليكا على الفور في اتخاذ القرار بشأن مكان الإنشاء والمكونات التي يجب استخدامها بسبب تعقيد رد فعل المجرى المائي على التوغل. ينبغي على المهندسين المعنيين بالهيدروليكا - أيضًا - معالجة مسألة استقرار المجرى المائي في الهياكل الحالية. (الباب ٩ يحتوي على المزيد من التعليمات). يوفر هذا الباب إرشادات تصميم الجسر لمعايير التدفق لما يلي:

- موقع الجسر (الجزء ٨-٢).
- تثبيت ضفاف قناة المجرى المائي (الباب ٩).
- التحليل الهيدروليكي (الجزء ٨-٣).
- تحليل التعرية بالانجراف (الجزء ٨-٤).
- صرف مياه الأمطار من السطح (الجزء ٨-٥).
- التكرار التصميمي للمرافق المؤقتة.
- التكرارية بدكة كسر الصخور عند دعامات الجسر.
- تقييم المخاطر.

٨-١-٣ تعريف الجسر:

يمكن تعريف الجسر من منظور هيدروليكي:

- هيكل مبني فوق منخفض أو عقبة (عائق) أمام ممر.
- جزء من نظام عبور المجاري المائية.

٨-١-٤ التصميم الهيدروليكي (عبارة أم جسر):

الجسر؛ عبارة عن: أي شكل من أشكال الهيكل، بغض النظر عن الطول، يتفاعل هيدروليكيًا مع تدفق السطح الحر عند حدث التصميم. بغض النظر عن طول مدته؛ يغطي الهيكل الذي بُني هيدروليكيًا في شكل عبارة، في الباب ٤. على سبيل المثال: إذا غُمر السطح عند تصريف التصميم؛ فيجب فحص عبارة صندوقية بحجم الجسر باستخدام الطرق الواردة في الباب ٤-.

٨-١-٥ أهداف التصميم:

ليس فقط- التصميم الإنشائي ذا أهمية عالية، ولكن -أيضًا- التحليل الهيدروليكي الصحيح، وتصميم الجسر. يجب تصميم بنية معبر مجرى مائي مناسب.

- الحد الأدنى للتكلفة خاضع لمعايير التصميم.
- المستوى المطلوب للأداء الهيدروليكي.
- التخفيف من الآثار على بيئة المجرى المائي.
- الحركة الآمنة لحجم حركة المرور المطلوب لغرض الحصول على مستوى مقبول من الخدمة.
- تحقيق الأهداف الاجتماعية والاقتصادية والبيئية.

٦-١-٨ جمع البيانات:

يُعد جمع البيانات أمرًا ضروريًا، ويتطلب تجميع جميع المعلومات ذات الصلة بالتحليل الهيدروليكي. وينبغي تضمين التضاريس والسمات الفيزيائية الأخرى، واستخدام الأراضي والثقافة، وأي دراسة لفيضانات أجريت على المجرى المائي، وبيانات الفيضانات التاريخية، وخصائص الأحواض، وبيانات هطول الأمطار، والبيانات الجيوتقنية، وعلامات المياه المرتفعة التاريخية، والهيكل الحالية، وخصائص القنوات، والبيانات البيئية. تجب الإشارة إلى موقع الجسر في مخطط الموقع، الذي يمكن استخدامه -أيضًا- لعرض الكثير من البيانات.

٢-٨ موقع الجسر:

١-٢-٨ اعتبارات عامة:

يجب إيلاء اهتمام كبير بالهيدروليكا في موقع الجسر المقترح، على الرغم من أن العديد من العوامل -مثل العوامل غير الفنية- تؤثر في الموقع النهائي لنظام عبور المجرى المائي؛ بما يشمل:

- الاعتبارات الهيدروليكية في اختيار المجرى المائي المناسب: الموقع، عرض السهول الفيضية والخشونة، وتوزيع التدفق واتجاهه، ونوع المجرى المائي (مُجدّل، مستقيم، أو مُتعرّج)، ونظام الجريان المائي (مترقى، أو متدهور، أو متوازن)، وعناصر التحكم في التيار؛ انظر: (إتش دي إس-٦) (FHWA, 1993).
- يجب تقييم الجريان المائي على أنه مستقر خلال فترة تصميم الهيكل المقترح باستخدام إجراءات الباب ٩.
- تحدد الخصائص الهيدروليكية (الهيدروليكية) لموقع معين ما إذا كان من الممكن تحقيق بعض الأهداف الوطنية (على سبيل المثال: يمكن تلبية الاستخدام الحكيم للسهول الفيضية، والحد من فقد في طاقة الفيضانات).

٢-٢-٨ اعتبارات الموقع والتصميم:

يمكن أن يتأثر أداء المعبر وعمره الخدمي بشكل كبير؛ من خلال وضع الجسر في سهل الفيضان في المكان الصحيح. يجب أن تكون محاذة العبور:

- للتقليل من الانحراف.
- واقعة في أضيق جزء من السهل الفيضي.
- موجودة على مدى ثابت من التيار.
- للتقليل إلى أدنى حد من آثار الهجرة المتعرجة.
- لها فتحات إضافية/فتحات تنفيس مناسبة، إذا لزم الأمر.

يجب أخذ التأثيرات المحتملة في الاعتبار عند اختيار معايير التصميم الهيدروليكي لتحديد فتحة المجرى المائي، وميل الطريق، وارتفاع الشعاع المنخفض، وإمكانية التعرية بالانجراف (النحر)، وأنماط تدفق المرور الأخرى. وهذه الآثار هي:

- الملكيات المجاورة.
- البيئة.
- البنية التحتية للطريق.
- معايير الأداء الهيدروليكية؛ (انظر: الجزء ٨-٣).
- السهول الفيضية والطرق الفيضية التنظيمية وفق اشتراطات الجهة المختصة.

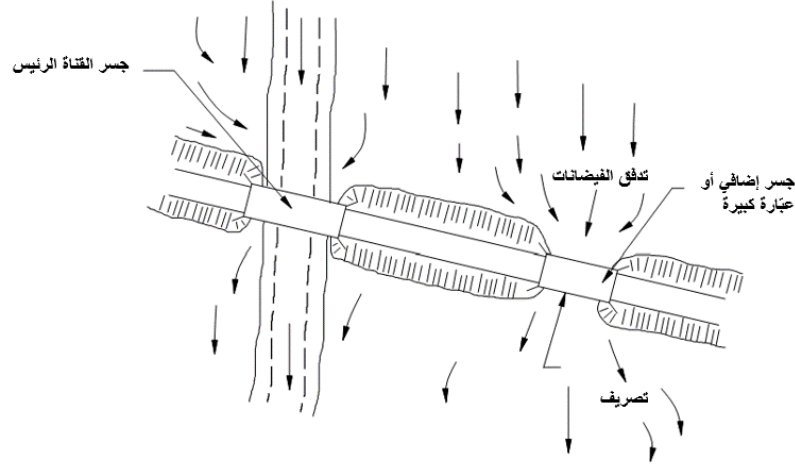
٣-٢-٨ الفتحات الإضافية/فتحات الإغاثة :

على المجاري المائية ذات السهول الفيضية الكبيرة، تظهر الحاجة إلى فتحات إضافية، أو فتحات الإغاثة كما هي معروفة بشكل أكثر تكرارًا. تتمثل وظيفة الفتحات في السماح بمرور جزء من تدفق الفيضان، الذي يتحرك عبر سهل الفيضان عندما يصل الجريان المائي إلى مرحلة معينة. تتمتع الفتحات بسعة متوقعة في حالات الفيضان، ولكنها لا تقدم الإغاثة لفتح النهر الرئيسي (كما يفعل مفيض الطوارئ في السد). ومع ذلك، يمكن ألا يقلل وجود فتحات سطحية أو فتحات صرف بشكل كبير من التدفق عبر فتحة الجسر الرئيسية، وقد يتركز التدفق في المناطق غير المفضلة، وينبغي أن يكون المهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) على دراية بذلك.

تشمل الأهداف الأساسية في اختيار موقع الفتحات الإضافية ما يلي:

- الحفاظ على توزيع التدفق وأنماط التدفق،
- استيعاب تركيزات تدفق كبيرة نسبيًا على السهل الفيضي،
- تجنب تدفق سهول الفيضانات على طول الجسر الترابي للطريق لمسافات طويلة،
- عبور قنوات الروافد الهامة.

- استيعاب معابر المجرى المائي اللامركزية لتوفير التصريف؛ (انظر: الشكل ٨-١).
- النظر في التأثيرات المرتبطة بتركيزات التدفق في هذه المواقع.



الشكل (٨-١) معابر المجرى المائي غير المركزي.

إن استخدام بعض النماذج أحادية البعد لفحص التدفق ثنائي الأبعاد هو قصور تكنولوجي في نمذجة الفتحات الإضافية. يجب أن تكون أنظمة عبور المجرى المائي المعقدة أسهل في التحليل باستخدام نماذج ثنائية الأبعاد.

إن تقسيم التدفق بين هيكليين أو أكثر هو الجانب الأكثر صعوبة لإنشاء الفتحات الإضافية. قد يتم إرهاب واحد أو أكثر من الهياكل أثناء حدث فيضان إذا كانت أبعاده غير مناسبة، ما قد يؤدي إلى تلف ذلك الهيكل والملكيات الواقعة أسفل المجرى في اتجاه مصبه. ولتجنب هذا الخطر، ينبغي في كثير من الأحيان تصميم الفتحات الإضافية بأبعاد كبيرة بشكل متحفظ.

٨-٣ معايير الأداء الهيدروليكي:

تعرض عوامل التصميم التي تحدد الأداء الهيدروليكي الأساسي للجسر في هذا الجزء. تُغطى فتحات المجاري المائية التي قد تكون موجودة أو تنشأ على الطرق الإقليمية بالأجزاء الفرعية (٨-٣-١) إلى (٨-٣-٤)، بينما تُغطى تلك الموجودة على الطرق غير الإقليمية بالجزء الفرعي (٨-٣-٢). يمكن العثور على التكرارات التصميمية المناسبة للمخاطر في الموقع في الجزء الفرعي (٨-٣-٢).

يجب أن يكون التركيز على معايير الأداء الهيدروليكي التي يغطيها هذا الجزء عند اختيار معايير التصميم الهيدروليكي لإنشاء فتحة المجرى المائي تحت الجسر، وميل الطريق، وارتفاع العارضة المنخفض، وإمكانية النحر، وتصميم التغطية بدكة الحجارة، وغيرها من الخصائص. ينبغي أن تأخذ معايير التصميم الهيدروليكي المختارة في الاعتبار أيضاً التأثيرات المحتملة على:

- أنماط تدفق المرور.
- خصائص مجاورة.
- البيئة.
- البنية التحتية للطريق.

٨-٣-١ الاعتبارات العامة:

ينبغي أن يأخذ التحليل الهيدروليكي في الاعتبار العديد من تصميمات نظام عبور المجرى المائي لإيجاد الحل الأقل تكلفة الذي يتوافق مع قيود التصميم.

لتحديد توزيع التدفق وضع فتحة (فتحات) الجسر، يجب تقدير نقل موقع تقاطع المجرى المائي المقترح. يجب ألا يتغير توزيع التدفق الحالي بشكل كبير من خلال البنية التحتية المقترحة. إذا كان هناك أكثر من ١٠٪ إعادة توزيع للتدفق ولن يكون هناك أي آثار سلبية من تركيز هذا التدفق، يجب اتخاذ فتحات الاغاثة في الجسر الترابي لطريق الوصول أو غيرها من الإجراءات المناسبة.

يجب تحديد أفضل الأماكن للركائز الوسطية والطرفية باستخدام توزيع التدفق (أو النقل) وقيود ضفاف أو جوانب مجرى التدفق المائي القناة والعوامل المادية الرئيسة الأخرى. لتلبية قيود التصميم المالية وغير الهيدروليكية، يمكن تعديل المواضع المثلى إلى حد ما بطريقة العطاء والأخذ مع المهندسين الإنشائيين والجيو تقيين. وتشمل هذه الأخيرة علاجات التعرية/الأساس والقيود المفروضة على طول المدى. لاستيعاب بعض فتحات القناة المقترحة بشكل أفضل وتمكين الوضع الأمثل لوحداث البنية التحتية، قد يكون من الفعال من حيث التكلفة، أو الميزة الهيدروليكية، أو كليهما، توجيه أو إعادة محاذاة قناة المجرى المائي.

٢-٣-٨ تكرارات الفيضانات:

١-٢-٣-٨ الفيضان التصميمي (الطرق بين المناطق):

عند وضع تصميم للفيضانات، ينبغي أن تستند اعتبارات مثل المياه المرتدة والخلوص والغمر بالمياه (ارتفاع مستوى المياه فوق مستوى سطح الجسر) إلى تحليل قائم على المخاطر لظروف الموقع المخطط له. ينبغي مراعاة إدارة السهول الفيضية والتأثير البيئي والأضرار التي تلحق بالملكيات والمخاطر التي تهدد حياة الإنسان في تقييم المخاطر؛ (انظر: في الباب ٢- عن الحد الأدنى من الفيضان التصميمي).

٢-٢-٣-٨ الفيضان التصميمي (الطرق غير الإقليمية):

في مشاريع استبدال جسور الطرق الريفية المحلية، عادة ما يتسبب التصميم الهيدروليكي في فيضان لمدة ١٠ سنوات على الأقل مع قطاع فائض في منحدر الاقتراب. وفي معظم الحالات، سثنى مشاريع استبدال الجسور على الطرق الريفية التجميعية والشوارع الحضرية التجميعية لتحمل فيضان لا يقل عن ٢٥ عامًا. يُنصح بالفيضان بعد ١٠ سنوات إذا كان متوسط المرور اليومي أقل من ١٠٠. وتقدم مزيد من الإرشادات بشأن تصميم معابر المياه المنخفضة بالباب ٨. يفضل تقديم نقطة تنفيس بعيداً عن الجسر عند السماح بغمر الطريق في حدث يحدث بشكل أقل تكراراً من مرة واحدة كل ١٠٠ عام.

٣-٢-٣-٨ مراجعة الفيضانات:

يجب أن يكون التصميم النهائي مستقراً تحت القطاع السطحي لقاع النحت، ويفحص وفق مدة ٥٠٠ سنة، أو حدوث غمر بالمياه، أيهما أصغر، كفيضان تحقق لتحديد أي عواقب وخيمة على مرفق الطريق والملكيات القريبة.

٤-٢-٣-٨ تقييم/تحليل المخاطر:

يمكن استخدام تحليل أو تقييم المخاطر لاتخاذ إجراءات عن معلومات دراسات التصميم. ينبغي أن يفي التحليل الهيدروليكي النموذجي جنباً إلى جنب مع تقييم المخاطر بمواصفات التصميم حيث تقيد ظروف الموقع أو المتطلبات الإنشائية بشكل كبير بدائل التصميم القابلة للتطبيق. يمكن أن يكون تحليل المخاطر المختصر أو الجزئي مناسباً عندما تسمح خصائص الموقع بمجموعة متنوعة من خيارات التصميم ويتوقع حدوث فقد في الطاقة في الفيضانات. نتوقع أن معابر المجرى المائي المنتظمة لن تتطلب استخدام التحليل الاقتصادي الشامل (المخاطر) الموضح في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -١٧ (FHWA, 1993)، لكنه سيكون ضرورياً للتعديات غير الشائعة أو المعقدة أو المكلفة مثل فقد في الطاقة الفيضانات.

ينبغي على وكالات الطرق تطبيق تقييم المخاطر إذا لزم الأمر. إذا أشار تقييم المخاطر الخاص بالموقع إلى أن تحليل المخاطر يمكن أن يكون مفيداً، فسينظر فيه.

٥-٢-٣-٨ لا حاجة إلى تقييم المخاطر:

لا توجد حاجة إلى وثائق تقييم المخاطر للتجاوزات التالية، والتي تعد ذات مخاطر ضئيلة أو مقبولة:

- إذا استُخدمت معايير تصميم المنطقة وإذا لم تكن هناك مبانٍ قابلة للتأمين في السهل الفيضي الذي يبلغ طوله ١٠٠ عام.
- إذا صُمم التعدي بما يتفق مع معايير الجهة المختصة ضد الفيضانات.

٦-٢-٣-٨ النظر في تقييم المخاطر:

ينشأ تقييم للمخاطر للموقع المحدد من خلال أخذ الآثار المحتملة في الاعتبار. تقييم المخاطر هو عملية من خطوتين. توثيق أنه تُحقّق من وجود إقحام لمخاطر غير عادية هو الخطوة الأولى. المخاطر المحتملة على حياة الإنسان، وموجة فيضان تكسير السد، والأضرار التي لحقت بالملكيات القريبة من التغيرات في الخصائص الهيدروليكية، والأضرار التي لحقت بمرفق الطريق، وتعطيل خدمات المرور (مثل متوسط المرور السنوي اليومي وتوافر التحويلة)، والتأثيرات على السهول الفيضية ومواصفات إدارتها هي عوامل

نموذجية أو قياسية تؤخذ في الاعتبار. لا يلزم إجراء تقييم شامل عندما تكون المخاطر منخفضة، أو يمكن تحقيق قيم التصميم الحدية، أو يمكن تحقيق كليهما. تتضمن المرحلة الثانية من العملية إجراء تقييم أكثر شمولاً باستخدام نموذج تقييم المخاطر الذي يوثق القيم الحدية التي ينبغي أن يستوفيهما التصميم الهيدروليكي في الحالات التي يفترض فيها أن المخاطر مرتفعة أو لا يمكن استيفاء قيم التصميم الحدية، أو كليهما. ينبغي أن يؤخذ تحليل المخاطر في الاعتبار إذا كانت مواصفات التصميم جامدة أو إذا كان هناك خطر كبير.

٧-٢-٣-٨ النظر في تحليل المخاطر:

باستخدام الأساليب التحليلية الموضحة في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية -١٧، تحدد عملية تحليل المخاطر البديل الأقل تكلفة المتوقعة (FHWA, 1993). يقارن هذا الفحص بين العديد من الحلول التي أنشئت استجابة لعوامل متنوعة (على سبيل المثال، القيود البيئية والتنظيمية والسياسية). تتمثل إحدى طرق تطوير معايير التصميم الخاصة بالموقع في تقييم المخاطر المرتبطة باحتمال حدوث فيضانات ناتجة عن نظام عبور المجري. وتؤخذ في الاعتبار في هذا الفحص التكلفة الرأسمالية، وخدمة المرور، والعواقب البيئية والمتعلقة بالملكات، والمخاطر التي تهدد حياة الإنسان. ينبغي تسجيل التهديد الذي يتعرض له الهيكل.

٣-٣-٨ الخلو:

بناءً على التدفقات المتوقعة عادةً خلال موسم الملاحه، يجب تحديد خلوص رأسي وأقفي يتوافق مع متطلبات منطقة المملكة العربية السعودية، أو كليهما، للقنوات الملاحية.

حيثما أمكن، ينبغي أن يكون هناك حد أدنى قدره ٠.٦٠ متر بين ارتفاع سطح الماء لنهج التصميم والوتر المنخفض للجسر للسماح بمرور الجليد والحطام. إذا لم يكن ذلك عملياً، فينبغي على مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) تحديد الخلوص اعتماداً على نوع المجري المائي ومستوى الحماية المطلوب.

٤-٣-٨ الخلوص الرأسي لسطح الجسر والطرق:

عند العديد من المعابر، يمكن أن يكون خلوص الطريق وغرمه بالمياه مكونان أساسيان في التصميم الهيدروليكي للجسر. ينبغي أن تكون متطلبات الخلوص وعدم الغمر متناسبة مع مستوى المخاطر التي ينطوي عليها المعبر. يجب أن يكون الجزء المعرض للغمر بالمياه بعيداً عن هيكل الجسر بقدر ما هو عملي.

٥-٣-٨ المياه المرتدة:

فيما يلي مخطط تفصيلي موجز خطوة بخطوة لتحديد المياه المرتدة الناتجة عن التضيق بمنطقة الجسر:

- تحديد حجم ومعدل تكرار التصريف التصميمي.
- تحديد مرحلة الجريان المائي في موقع الجسر للتصريف التصميمي.
- رسم قطاع عرضي تمثيلي للجريان مائي للتصريف التصميمي. إذا كانت قناة المجري المائي مستقيمة بشكل أساسي، وكان القطاع العرضي منتظماً إلى حد كبير بالقرب من الجسر، فيمكن استخدام القطاع العرضي الطبيعي للجريان مائي عند موقع الجسر لهذا الغرض.
- تقسيم القطاع العرضي المخطط أعلاه وفقاً للتغيرات الملحوظة في عمق التدفق والتغيرات في خشونة القناة. تعيين قيم خشونة مانينغ بكفاءة، لكل القطاع الفرعي من هذا المجري المائي.
- احسب معدل النقل أو التصريف ثم الصرف في كل القطاع الفرعي من هذا المجري المائي.
- باستخدام معدل النقل والتصريف التراكمي، احسب ميل المجري. إذا تفاوت الميل المحسوب أكثر من ٢٥ % عن الميل الفعلي، يجب إعادة تعيين قيم الخشونة، وإعادة حساب وسيلة النقل.
- ضع قطاع المجري المائي الطبيعي تحت الجسر المقترح، بناءً على سطح الماء العادي، للتصريف التصميمي. احسب إجمالي مساحة المياه مثل المنطقة التي تشغلها الركائز الوسطية.
- احسب الماء عند مستوى خط القاع قبل الجسر الذي يضيق التدفق باستخدام الصيغة:

$$h_1^* = K^* a_2 \frac{V_{n2}^2}{2g} + a_1 \left[\left(\frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left(\frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \frac{V_{n2}^2}{2g} \quad \text{المعادلة (٨-١)}$$

حيث إن:

h_1 = إجمالي المياه المرتدة بالمتري

K = إجمالي معامل المياه المرتدة

a_1 & a_2 = معاملات الطاقة الحركية في القطاع ١ والقطاع ٢

A_{n2} = إجمالي مساحة الماء في الانضغاط المقيسة تحت المرحلة العادية بالمتري المربع

V_{n2} = متوسط سرعة الجريان في الانضغاط بالمتري في الثانية

A_4 = مساحة المياه في القطاع ٤ حيث تعاد الحالة الطبيعية بالمتري المربع

A_1 = إجمالي مساحة المياه في القطاع ١، مثل تلك التي تنتجها المياه المرتدة بالمتري المربع

لا ينبغي أن تشهد الممتلكات الواقعة أعلى مجرى المعبر أضرار فيضانات أكثر بشكل ملحوظ بسبب المياه المرتدة التي تبلغ ١٠٠ عام.

يجب ألا تتضرر منشأة الطريق بسبب سرعة ١٠٠ عام من خلال الهيكل (الهيكل)، وينبغي ألا يتفاقم الضرر الذي يلحق بالممتلكات القريبة أيضاً.

٨-٤ التحليل الهيدروليكي لمعابر قنوات المجاري المائية:

٨-٤-١ توثيق الجسور الجديدة والمستبدلة:

وترد أدناه معلومات موجزة عن كل من الجسور الجديدة والجسور البديلة.

١- مسودة تقرير التصميم الهيدروليكي. وينبغي أن يتضمن التقرير، حسب الاقتضاء، ما يلي:

أ- معايير الأداء الهيدروليكي الخاصة بالموقع.

ب- تقييم المخاطر

١- استخدام الأراضي في سهول الفيضانات.

٢- المناطق الحساسة بيئياً.

ج- تقييم استقرار الدفق؛ (انظر -أيضاً-: الباب ٩).

١- تحليل نوعي من المستوى الأول.

٢- العوامل الجيومورفية والعوامل الهيدروليكية التي تؤثر على استقرار التيار.

٣- تحديد عدم استقرار الطبقة أو المصرف (مجرى صرف للمياه أو قناة) الحالي (FHWA, 2012).

د- حسابات هيدرولوجية.

١- تصريفات لتكرارات محددة؛ (انظر -أيضاً-: الباب ٢).

٢- التصريف والتكرار للفيضانات التاريخية التي تكمل علامات المياه العالية المستخدمة للمعايرة.

هـ- الحسابات الهيدروليكية.

١- فتحة المجرى المائي للجسر؛ (انظر: الجزء الفرعي ٨-٣-٤).

٢- اختيار المجرى المائي المناسب طراز الكمبيوتر.

٣- الأداء الهيدروليكي للظروف الحالية.

٤- الأداء الهيدروليكي للتصميمات المقترحة.

٥- تحليل التعرية بالانجراف، إذا كان ذلك مناسباً؛ (انظر: الجزء ٨-٤).

٢- تقرير التصميم الهيدروليكي النهائي. ينبغي أن يتضمن تقرير التصميم الهيدروليكي النهائي ما يلي، حسب الاقتضاء:

أ- وثائق تحليل المخاطر، إن وجدت.

ب- تفاصيل الحماية من التآكل.

ج- حسابات التعرية بالانجراف؛ (انظر: الجزء ٨-٤).

د- صرف مياه سطح الجسر، إذا لزم الأمر؛ (انظر: الجزء ٨-٥).

هـ- تصميم التدابير المضادة للتعرية بالانجراف؛ (انظر: الجزء الفرعي ٨-٤-٩، والباب ٩).

و- خطة أو أداة مراقبة التعرية بالانجراف، إن وجدت؛ (انظر: الجزء الفرعي ٨-٤-٩).

٣- السجلات والملفات.

٨-٤-٢ توثيق الجسور القائمة:

عندما يكون من الضروري إنشاء تقرير تصميم هيدروليكي لجسر موجود داخل حدود المشروع؛ سيحدد مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) المناسب لكل حالة على حدة. تتضمن القائمة التالية عناصر يجب مراعاتها:

- ١- طبيعة العمل. هل يؤثر العمل المقترح على هيدروليكا الجسر الحالي؟ على سبيل المثال: إذا كان المشروع يتألف فقط من إعادة تأهيل سطح الجسر؛ فمن المحتمل أن يكون الجواب (لا) وليست هناك حاجة إلى تقرير تصميم هيدروليكي. إذا كان العمل المقترح سيغير الفتحة الهيدروليكية -على سبيل المثال- من خلال توسيع الركائز الوسطية من أجل إجراء مضاد للتجريف؛ فمن المحتمل أن تكون هناك حاجة إلى تقرير تصميم هيدروليكي.
- ٢- تاريخ الموقع. هل لموقع الجسر تاريخ معروف من المشكلات الهيدروليكية؛ مثل: (التجاوز، أو العبور المتكرر، أو ثقب التنظيف الكبيرة)؟ إذا كان الأمر كذلك؛ فقد يكون من الضروري تقديم تقرير تصميم هيدروليكي.
- ٣- نوع المنشأة. هل يمكن للمنشأة الوصول إلى الطرق في المنطقة؟ إذا كان الأمر كذلك؛ فمن المحتمل أن تكون دراسة التصميم الهيدروليكي أكثر ملاءمة لمصنع خارج الشبكة.
- ٤- التعرية بالانجراف. تتطلب المناطق تقرير تصميم هيدروليكي يوضح بالتفصيل تقييم جميع الجسور داخل حدود المشروع للتنظيف الهيدروليكي.
- ٥- تكلفة العمل. يمكن أن يكون تقرير التصميم الهيدروليكي ضروريًا؛ إذا كانت تكلفة ترميم الجسر كبيرة بالنسبة لتكلفة استبدال الجسر. يمكن أن يحدد هذا التقرير المشكلات الهيدروليكية، التي تقود المهندس القائم بتصميم الجسر إلى اتخاذ قرار بإنشاء جسر جديد بدلاً من إصلاح الجسر الحالي.

٨-٤-٣ الطبيعة الهيدروليكية لتدفق المجرى المائي:

٨-٤-٣-١ الافتراضات النموذجية لقنوات المجاري الطبيعية:

هناك نوعان من تدفقات القنوات المفتوحة: مستقرة، وغير مستقرة. يمكن -أيضًا- تغيير التدفق غير المستقر بسرعة أو تدريجيًا. يخضع تدفق نظام عبور المجرى المائي -أيضًا- إلى تدفق السطح أو الضغط الحر عبر واحد أو أكثر من الجسور مع إمكانية غمر الطريق. (مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٠) الذي يقدم نظرة عامة على المعلمات الهيدروليكية التي تؤثر في معابر التيار، (برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية رقم-٦) الذي يوفر معالجة شاملة؛ (FHWA, 2001).

معظم تدفقات القنوات المفتوحة في الطبيعة غير منتظمة بطريقة ما؛ على سبيل المثال: (العمق أو سرعة الجريان تتغير مع مرور الوقت). خلّت هذه المشكلات -بوجه عام- من خلال افتراض حالة تدفق ثابتة؛ نظرًا لأن حلول التدفق غير المستقر يمكن أن تكون صعبة للغاية ومستهلكة للوقت. تتمثل النتيجة النهائية في تقريب يعمل جيدًا لحل معظم مشكلات التخطيط أو التصميم الهيدروليكي، ولكن يمكن أن لا يعمل جيدًا لأنواع أخرى من المشكلات؛ على سبيل المثال: (معابر المجاري المائية التي بها سهول فيضان عريضة، أو معابر مائلة بشكل كبير).

تنتج موجة جانبية لسطح الماء ذات انحناء متواضع وإزاحة بطيئة في العمق؛ بواسطة تدفق غير مستقر ومتنوع تدريجيًا. يكون التغير في العمق كبيرًا، ويكون منحنى القطاع الطولي حادًا للغاية في التدفق غير المستقر، وسريع التنوع. عادةً ما يكون للجسر تدفق متفاوت ومتغير بسرعة.

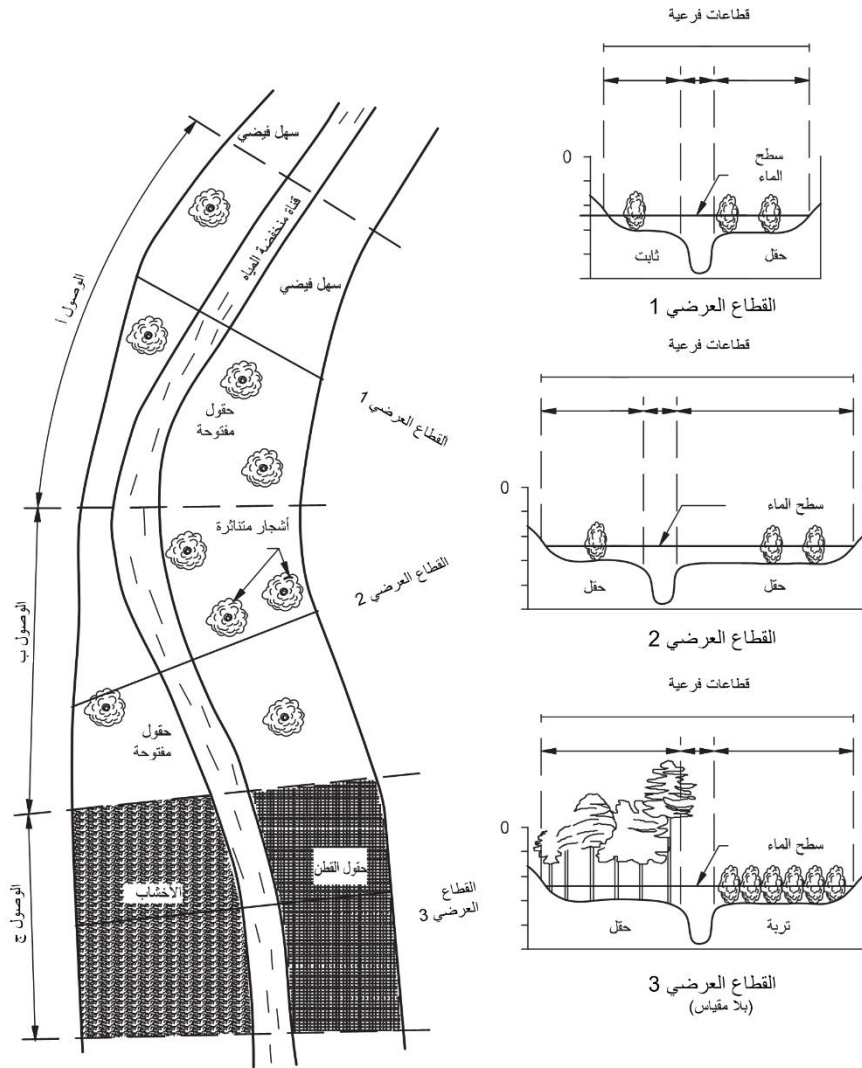
٨-٤-٣-٢ القطاعات العرضية:

تحدد إحداثيات قطاع المجرى المائي العرضي المسافة الجانبية ومنسوب الأرض، والتي تبيّن مواقع أرضية محددة الشكل الهندسي للمجاري المائية. في السهول الفيضية الشاسعة أو الانحناءات؛ يمكن أن يلزم استخدام قطاع على طول خطوط مستقيمة متداخلة، أو ما يعرف بالقطاع على شكل (ساق الكلب). يؤخذ قطاع المجرى المائي بشكل طبيعي إلى اتجاه التدفق على طول خط مستقيم واحد كلما كان ذلك ممكنًا. لتحديد أي اختلافات أو أخطاء؛ من الضروري رسم مخطط لكل قطاع عرضي.

أوجد قطاعات المجرى المائي التي تصور المسافات الفرعية بينهما. لمحاكاة التغير في وسيلة معدل النقل أو التصريف بشكل أكثر دقة؛ ينبغي الحصول على قطاعات المجرى المائي لأماكن الجريان المائي التالية على فترات أقرب:

- انقطاعات كبيرة في قاع القطاع الطولي.
- التغيرات المفاجئة في الخشونة أو الشكل.
- أقسام التحكم؛ مثل: التجاوز الحر، والانحناءات، والتقلصات.
- تغييرات مفاجئة أخرى في ميل القناة أو وسيلة النقل.

في قطاعات المجرى المائي العرضية حيث توجد تغييرات جانبية مفاجئة في الشكل الهندسي، الخشونة، أو كليهما؛ مثل: التدفقات فوق الضفة، وعند الحدود الرأسية. يحسب وسائل معدل النقل أو التصريف الخاصة بكل القطاع الفرعي من هذا المجرى المائي بشكل مستقل لتوفير توزيع التدفق، ويجري بعد ذلك جمعها لإنشاء وسيلة معدل النقل أو التصريف العامة للتدفق. للتأكد من أن توزيع التدفق أو معدل النقل أو التصريف موحد -تقريبًا- في كل القطاع الفرعي من هذا المجرى المائي؛ ينبغي اختيار المجرى المائي المناسب لأقسام القطاع الفرعي من هذا المجرى المائي بعناية؛ (انظر: USGS TWRI, USGS, 1984). يوضح الشكل (٨-٢) كيفية اختيار المجرى المائي المناسب لقطاعات المجرى المائي وقطاعة قطاع المجرى المائي رأسياً.



المصدر: (USGS TWRI (13)

الشكل ٨-٢ قطاع عرضي افتراضي يوضح الوصولات والقطاعات والأقسام الفرعية المستخدمة في التعيين قيمة معامل الخشونة (الأبعاد بالبوصة).

٨-٤-٣ اختيار معامل الخشونة المناسب الخاص بمعادلة مانينغ:

يتأثر اختيار المجرى المائي المناسب (مانينغ) في القنوات الطبيعية -إلى حد كبير- بالخبرة الهندسية من بين أمور أخرى. تحتوي ورقتنا إمدادات المياه ٢٣٣٩ (USGS, 1984) و (USGS, 1978) على صور للمجري المائية والسهول الفيضية، التي قيس التصريف لها وجرى حساب معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ. تقدم ورقتنا إمدادات المياه ٢٣٣٩ طريقة أكثر تنظيمًا لحالات خارجة عن خبرة المهندس. بعد اختيار المجرى المائي المناسب معامل الخشونة (n) المناسب الخاص بمعادلة مانينغ؛ ينبغي فحصها أو معايرتها مقابل استخدام علامات المياه المرتفعة التاريخية، وبيانات تدفق المجرى المائي المقيسة.

٤-٣-٤-٨ المعايير:

للتأكد من أن نموذج سمة سطح الماء يلتقط بشكل مناسب ظروف القناة المحلية؛ قم بمعايرته؛ إما باستخدام بيانات تدفق المجرى المائي المقيسة، أو علامات (الماء المرتفع) التاريخية، أو كليهما. استخدم المتغيرات التالية للمعايرة، بالترتيب المفضل لديك:

- معامل الخشونة الخاص بمعادلة مانينغ.
- الانحدار.
- التصريف.
- القطاع العرضي.

للعثور على بيانات تاريخية يمكن استخدامها للتحقق من حسابات النموذج؛ ينبغي النظر في مصادر البيانات الرسمية وغير الرسمية. بالإضافة إلى بيانات جهاز القياس العامة وتقارير (FIS)، ينبغي استخدام المصادر غير الرسمية؛ مثل: (تقارير التفتيش على الجسور، وملاحظات الصيانة أو العمليات). لغرض الحصول على نتائج موثوق بها؛ يلزم إجراء المعايرة المناسبة، أو التحقق من النموذج.

يعتمد التذبذب العرضي للسرعة في كل قطاع عرضي لقناة جريان مائي على: الشكل الهندسي، وخشونة القطاع الفرعي من هذه المجرى المائي، وقد يختلف بشكل كبير من مرحلة إلى أخرى. يعتمد موقع فتحات الإغاثة في تعبئة الطرق وتصميم تدابير التحكم في التآكل على فهم هذا التباين. أفضل طريقة لقياس تقلبات سرعة الجريان العرضي؛ هي باستخدام مقياس التيار. إذا لم يكن ذلك عملياً؛ فيمكن تقسيم قطاع المجرى المائي إلى أقسام فرعية ذات شكل وخشونة متسفين -إلى حد ما- باستخدام طريقة القطاع الواحد. بافتراض أن انحدار خط ميل الطاقة ثابت عبر القطاع العرضي؛ فإن إجمالي وسيلة معدل النقل أو التصريف (K_t) لمساحة المقطع يساوي مجموع وسائل معدل النقل أو التصريف لكل القطاع الفرعي من هذه المجرى المائي. يكون التصريف في كل القطاع الفرعي من هذه المجرى المائي متناسباً مع نقله، ويكون التصريف الكلي بعد ذلك $K_t S^{1/2}$. تُستخدم معادلة الاستمرارية، (السرعة = الكمية المتدفقة / مساحة المقطع)، لحساب سرعة الجريان في كل فصل فرعي.

٤-٤-٨ تحليل فتحة المجرى المائي تحت الجسر:

من الضروري اتباع نهج هندسي شامل للتصميم الهيدروليكي لفتح الممر المائي تحت الجسر، الذي يتضمن وزن إيجابيات وسلبيات الخيارات المختلفة، وجمع البيانات وتحليلها، واختيار المجرى المائي المناسب للخيار الأكثر فاعلية من حيث التكلفة، وبالنظر إلى الخيارات المتاحة، وتوثيق التصميم النهائي.

بسبب العمليات الحسابية التفاعلية المتطورة المطلوبة، وتعقيدات محاكاة التدفق؛ لا يمكن إجراء عمليات حسابية يدوية للتحليل الهيدروليكي لفتحة مجرى مائي للجسر. يجب استخدام البرامج الهيدروليكية التي وُفِّقَ عليها لهذه التقييمات.

من الممكن حساب التدفق عبر الجسور باستخدام نموذج أحادي أو ثنائي الأبعاد. بناءً على ارتفاعات الماء عند الجوانب القبلية والبعديّة للنبية، وبافتراض ظروف تدفق ثابتة ومتفاوتة تدريجياً؛ تحسب تقنية أحادية البعد معدل التدفق عبر الجسر. في الواقع، تُستخدم النهج أحادية البعد لمعظم التحليلات. وعلى الرغم من أن الطرق أحادية البعد كافية لمعظم التطبيقات، فإنها ليست -دائماً- قادرة على توفير القياس الأكثر دقة لارتفاعات سطح الماء، سرعات التدفق، أو توزيع التدفق عبر سهل الفيضان.

ينبغي أخذ النموذج ثنائي الأبعاد في الاعتبار؛ عندما تنحرف ظروف الموقع بشكل كبير عن ظروف التدفق الثابتة والمتغيرة تدريجياً. المواقع التي قد تكون مرشحة لدراسة ثنائية الأبعاد؛ هي:

- السهول الفيضية الواسعة، ذات الفتحات المتعددة، لا سيما على الجسور الترابية المنحرفة.
- السهول الفيضية ذات الاختلافات الكبيرة؛ في الخشونة، أو الشكل الهندسي المعقد؛ على سبيل المثال: (مناطق التدفق غير الفعالة، قنوات متعددة).
- المواقع التي تحتاج إلى أنماط تدفق وسرعات أكثر دقة لتصميم تدابير مضادة أكثر فاعلية من حيث التكلفة؛ على سبيل المثال: التغطية بدكة الحجارة على طول السدود، الدعامات).
- المواقع عالية المخاطر أو الحساسة؛ حيث يكون الفقد في الطاقة وتكاليف المسؤولية مرتفعة.

وفي الوقت الراهن، لا يمكن لأي نهج أن يكون ملائماً -تماماً- لكل الظروف. ينبغي تجربة طريقة مختلفة إذا كانت الطريقة المقترحة غير قادرة على إنتاج حساب موثوق به. ومع ذلك، يمكن -عادة- الحصول على نتائج متطابقة بشكل أساس؛ من خلال إلقاء اهتمام وثيق لمطالبات إعداد كل طريقة. للتحليل الهيدروليكي لفتحة مجرى مائي جسر؛ يمكن استخدام كلا من البرنامج أحادي الأبعاد، وثنائي الأبعاد؛ اعتماداً على الظروف الهيدروليكية للمصب.

١-٤-٤-٨ نمذجة أحادية البعد:

يستخدم النموذج أحادي البعد قطاعات عرضية لسهول الفيضان؛ لتعكس التضاريس، والعوائق الموضوعة في الممر المائي، وكيف تؤثر هذه على التدفق. في هذه النماذج يتمثل أحد الافتراضات الأساسية في أن التدفق عمودي على القطاع العرضي. اعتماداً على التضاريس والعوائق، يمكن أن تكون هذه قطاعات المجرى المائي مستقيمة أو متوازية أو عمودية على التيار. ينبغي رسم قطاعات

المجرى المائي لتعكس ما (سيراه) الماء عند انتقاله في اتجاه المجرى المائي. وينبغي الحرص على أن تعكس مناطق التدفق الفعالة وغير الفعالة. تُحسب قطاعات سطح الماء باستخدام طرق معادلة الطاقة التقليدية، مع اختيار المجرى المائي المناسب لمهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) لإجراء حساب الفقد المناسب.

٢-٤-٨-٨ نمذجة ثنائية الأبعاد:

النموذج ثنائي الأبعاد أكثر تعقيداً، وهو أكثر تكلفة بوجه عام، ويتطلب مزيداً من تجميع البيانات والوقت لإعداده ومعايرته. على الرغم من أنها تتطلب بشكل أساسي نفس البيانات الأساسية كنموذج أحادي البعد، فإن النماذج ثنائية الأبعاد تتطلب أكثر من بضعة مقاطع عرضية متباعدة على نطاق واسع. ينبغي تجميع بيانات كافية لتوليد سطح ثلاثي الأبعاد للمنطقة؛ لتعكس بدقة جميع السمات المحتملة التي قد تؤثر في التدفق.

٣-٤-٨-٨ النمذجة الفيزيائية:

يمكن أن تتحدى أنماط التدفق المعقدة النمذجة الرياضية الدقيقة أو العملية. ينبغي مراعاة النماذج الفيزيائية عند الحاجة إلى بيانات هيدروليكية لا يمكن الحصول عليها بشكل موثوق به من النمذجة الرياضية. خطر القشل أو الإفراط في التصميم غير مقبول، أو هناك حاجة إلى بحث إضافي.

والقيود المفروضة على النمذجة المادية كبيرة. هناك عدد محدود من المرافق المتاحة لبناء وتقييم النماذج واسعة النطاق اللازمة، و يمكن أن تكون التكاليف الإضافية لبناء النموذج وتقييمه بالإضافة إلى الوقت اللازم باهظة.

٤-٤-٨-٨ توسيع المجرى المائي:

يمكن أن يكون حفر المواد فوق الضفة أو السهول الفيضية تحت سطح الجسر لتوسيع فتحة الممر المائي فعالاً في حال تطبيقه بالمكان الصحيح. هناك حالات تفرض فيها قيود الطرق والقيود الإنشائية تحديد الموقع الراسي للجسر، وتؤدي إلى خلوص رأسي صغير بين الوتر المنخفض والأرض. في هذه الحالات، توفر الزيادات الكبيرة في طول الفتحة (البحر) زيادات صغيرة -فقط- في فتحة المجرى المائي الفعال.

رغم أنه من الممكن زيادة المساحة الفعالة عن طريق حفر قناة فيضان من خلال الوصول الذي يؤثر في الأداء الهيدروليكي للجسر، فإنه يجب استخدام هذا النهج بحذر. لا ينصح بحفر أو توسيع القناة بما يتجاوز شكلها الطبيعي أو قالبها الموجود تحت الجسر. من المرجح -مع مرور الوقت- أن تضيق فتحة المجرى المائي الإضافية، التي أنشئت من خلال توسيع القناة للترسيب، حيث تعود القناة إلى شكلها وتخطيطها الطبيعي. يؤثر التقليل الحتمي لتوسيع المجرى المائي سلباً على ظروف التدفق، وقد يتطلب التنظيف. يمكن أن تُسهل القناة الموسعة من الانزلاق الذي يمكن أن يحدث على زعزعة استقرار الجوانب ويؤثر بالسلب في ظروف كمية أو شدة التدفق التصميمي؛ على سبيل المثال: العمق، السرعة، زاوية الهجوم عند الركائز الوسطية والدعامات الطرفية). ويلزم اتخاذ تدابير مناسبة؛ لضمان ثبات الفتحة المعدلة، وعدم تعرضها لتراكم الرواسب الذي من شأنه أن يقلل من فاعليتها.

وينبغي النظر في العوامل التالية قبل اتخاذ هذا الإجراء:

- ينبغي أن تكون طاقة الجريان المائي (كجم/م/ثانية) في القناة الجديدة، نفسها -تقريباً- كما في القناة القديمة.
- ينبغي أن تمتد تعديلات السهول الفيضية والقنوات المعدلة -بشكل كافٍ- في اتجاه المنبع والمصب للجسر، ويكون لها انتقالات مناسبة إلى الأرض الطبيعية؛ لإنشاء نظام التدفق المفضل عبر الوصول المتأثر.
- وينبغي النظر في تكلفة التخفيف من أي آثار بيئية محتملة.
- هناك حاجة إلى مراقبة دائمة؛ لتوسيع المجرى المائي وتنظيفه أو صيانته طوال عمر الجسر؛ لتقليل فتحة المجرى المائي.
- لا يوصى بحفر أو توسيع القناة بما يتجاوز شكلها الطبيعي، أما قالبها تحت الجسر. القاعدة الأساسية؛ هي الحد من الحفر فوق الضفة بنسبة ٥٠٪ أو أقل من ارتفاع ضفاف أو جوانب المجرى المائي.

٥-٤-٨-٨ النمذجة مع الدراسة التفصيلية الحالية:

في حالة إنشاء سهل فيضان محدد نظاماً، وتوفر نموذج ماء عكسي (يعكس هذا التحديد)؛ ينبغي اتباع الخطوات التالية:

الخطوة ١: إعادة إنتاج النموذج الهيدروليكي باستخدام نفس نموذج الكمبيوتر خطوة-المياه المرتدة الذي استند إليه سهل الفيضان الأصلي. إذا لم يعد نموذج الكمبيوتر المستخدم لإجراء التحليل الهيدروليكي الأصلي متاحاً، أو لم يكن متاحاً بسهولة؛ فيمكن استخدام أحد نماذج الكمبيوتر طالما ضُبط ليتطابق مع النموذج الرسمي الأقرب من الناحية العملية. وينبغي تسوية أي اختلافات كبيرة في الوثائق. سيُنشر إلى هذا النموذج الهيدروليكي باسم نموذج: (الظروف الحالية).

الخطوة ٢: ضبط نموذج (الظروف الحالية)؛ عن طريق إضافة وحذف وضبط أي قطاعات عرضية أرضية طبيعية إلى المواقع اللازمة لنمذجة أي إنشاء مقترح لاحقاً. وينبغي التشديد على أن أي تغييرات تُدخل على نموذج (الشروط القائمة) ينبغي أن تقتصر على غرض واحد؛ هو تفسير نمذجة الشروط المقترحة. لا ينبغي أن يؤخذ ذلك على أنه خط العرض لتغيير النموذج الرسمي لأشياء مثل n -القيم، أو هندسة قطاع المجرى المائي الجديدة، أو تصريفات الذروة. ثم يصبح هذا النموذج أساساً لقياس أي تغييرات قد تحدث نتيجة للتشديد المقترح. يشار إلى هذا النموذج الهيدروليكي الثاني بنموذج: (الظروف الحالية المعدلة).

الخطوة ٣: إنشاء نموذج (الشروط المقترحة)؛ من خلال تضمين جميع الإنشاءات المقترحة، المترابطة على نموذج (الظروف الحالية المعدلة). إذا أظهر نموذج (الشروط المقترحة) أي اختلاف عن نموذج (الظروف الحالية المعدلة) في ارتفاعات سطح الماء، أو سرعة التدفق، أو توزيع التدفق؛ فيجب عدم قبول الإنشاء المقترح، وتعديله؛ حتى لا تحدث أي تغييرات غير مهمة.

٨-٤-٦ النمذجة من دون نموذج الشروط الحالية:

في الحالات التي لا يوجد فيها نموذج (الظروف الحالية) أو نموذج (سهل الفيضان) الآخر المحدد نظاماً؛ سيكون من الضروري إنشاء الظروف الهيدروليكية الحالية من خلال عملية سبشار إليها بالمعايير؛ (انظر: القسم الفرعي ٨-٣-٤). ينبغي إجراء هذه المعايير؛ من خلال محاولة التوفيق بين الارتفاع التاريخي للماء المرتفع أو المعلومات التاريخية الأخرى التي أُمنّت عند مرحلة المسح. يتكون هذا الإجراء من الخطوات التالية:

الخطوة ١: إعداد نموذج هيدروليكي يعكس الظروف الحالية؛ باستخدام أي بيانات طبوغرافية وتضاريسية (أي: مسح حالة الجسر) متاحة. قم بتشغيل النموذج؛ لتحديد التصريف المطلوب، وتوليد ارتفاع المياه المرتفعة المسجل.

الخطوة ٢: باستخدام بيانات قياس الجريان المائي أو التحليل الهيدروغرافي؛ باستخدام بيانات هطول الأمطار الفعلية، حدد التصريف الذروي الذي حدث في التاريخ المسجل لارتفاع المياه التاريخي المرتفع.

الخطوة ٣: إذا كان التصريفان متطابقين أو قريبين؛ فيمكن اعتبار النموذج الهيدروليكي للظروف الحالية معياراً. إذا لم يتطابق التصريفان (أو لم يكونا قريبين جداً)؛ فسيكون من الضروري إما مراجعة النموذج الهيدروليكي، أو الحسابات الهيدرولوجية، أو كليهما، حتى يتطابق التصريفان أو يكونا قريبين جداً. عند القيام بذلك، ينبغي توخي الحذر الشديد؛ لتكون القيم المفترضة في الحسابات الهيدروليكية أو الهيدرولوجية واقعية. من الممكن -دائماً- أن يكون الارتفاع أو التاريخ المرتفع المسجل للمياه، أو كليهما، عن طريق الخطأ. إذا لم يكن من الممكن تحقيق معايير مشروعة؛ فيجب أن تصف الوثائق -بشكل كامل- العملية التي أدت إلى المحاولة الفاشلة، وأن تشرح شرحاً مقدماً بشأن عدم القدرة على تحقيق المعايير.

قد يكون النموذج الهيدروليكي المستخدم لأغراض المعايير؛ إما نموذجاً منفصلاً، أو يمكن أن يكون جزءاً من نموذج (الظروف الحالية). يجب أن يعكس النموذج المقترح كل الإنشاءات المقترحة. في هذه الحال تتمثل الممارسة العامة في السماح بزيادة الارتفاع بما لا يزيد على ٠,٦٠ متر لحدث الفيضان البالغ ١٠٠ عام؛ بشرط ألا تؤثر الزيادة في المباني الحالية القابلة للتأمين.

٨-٥ تحليل التعرية بالانجراف (النحر) للجسور:

٨-٥-١ مقدمة:

ينبغي أن يقدر مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) النحر المتوقع حدوثه في كل عنصر من عناصر الجسر بعد فتح الممر المائي للجسر. يتناول هذا الجزء تفاصيل كثيرة عن هذا التقييم. وبالنسبة لغالبية الجسور الجديدة؛ يُقلّل نحر الركيزة الطرفية من خلال التدابير المضادة، ويستوعب نحر الركيزة الوسطية من خلال تعديل تصميمها بالتعاون مع المهندسين الجيوتقنيين والإنشائيين. وقد يكون تعديل الفتحة -لتقليل النحر أو تكلفة التدابير المضادة- هو التصميم الأكثر اقتصاداً. وسيتضمن اتخاذ هذا القرار استخدام الكثير من الأحكام. تُستخدم التدابير المضادة أو المراقبة الهيدروليكية أو الإنشائية، لتقليل نحر الركيزة الوسطية والطرفية على الجسور القائمة بالفعل.

بدءاً من الفحص النوعي لاستقرار المجرى المائي؛ يجب إجراء تقييم، وتصميم لتقاطع الطريق مع المجرى المائي.

لا تشكل المشكلات المتعلقة بالتفاقم تهديداً أقل للسلامة الإنشائية للجسر، ولكنها مع ذلك تستحق أن تؤخذ في الاعتبار. وسيكون تقييم الآثار مطلوباً؛ إذا كان من المتوقع تفاقمها. وعندما يكون هناك نقص في الخلوص الرأسي؛ فقد تكون هناك مشكلات تتعلق بتهديدات الفيضانات المتزايدة للممتلكات في أعلى المنبع أو لعامة السكان بسبب زيادة تكرار الغمر بالمياه.

يمكن استخدام التقارير الخاصة بعمليات تفتيش الجسور، أو التحليل الجيوتقني الذي يمكن أن يميز بين المواد المحلية والمواد التي أُلقيت في حفرة النحر بعد حدث الفيضان؛ لتحديد النحر التاريخي في الإنشاءات القائمة.

٨-٥-٢ الاعتبارات العامة:

ينبغي مراعاة ما يلي في دراسة النحر لأي جسور جديدة أو بديلة مقترحة:

- ينبغي تقدير كل من تدهور الوادي أو تفاقمه، وتقلصه، والنحر الموضعي، وينبغي وضع الأساس بشكل صحيح، ومن الناحية المثالية تحت عمق النحر الكلي.
- ينبغي التخطيط للمسافات بين الركيزة الوسطية والتوجيه ومحاذاة وشكل الركيزة الطرفية؛ لتقليل النحر المحتمل واضطراب التدفق.
- يجب إنشاء أساسات الركيزة الوسطية دون استخدام تدابير منع النحر -مثل تلك الموضحة في الجدول (٨-١)- من أجل منع الانهيار بسبب النحر.
- يجب إنشاء أسس الركيزة الطرفية لمقاومة الانهيار من النحر، ولكنها يمكن أن تستخدم -أيضاً- إجراءات مضادة مثل تلك الموجودة في الجزء الفرعي (٨-٤-٩)، HEC-23؛ (FHWA, 2009) حيث يكون توسيع الأساسات غير عملي أو مكلف للغاية.

٣-٥-٨ احجام الفيضان:

أولاً: حدد مقاومة النحر للجسر المخطط وتصميم الطريق باستخدام الفيضان الذي دام ١٠٠ عام أو الفيضان الذي يصرف معظم المياه من خلال فتحة الجسر قبل الغمر بالمياه. سيُبنى الأساس باستخدام عوامل أمان أساسية قياسية، مع عدم الاهتمام بأي مادة بقاع المجرى أو ضفافه ربما نُقلت عن طريق النحر.

أختبر هندسة الجسر والطريق المخطط لهما في ظل الفيضان البالغ ٥٠٠ عام. ويجب تقييم الفتحة المتوقعة للجسر في ضوء هذا الحادث؛ للتأكد من أن الجسر المحتمل الذي قد يسببه لن يمثل أي مشكلات غير متوقعة. سيقوم المهندسون الجيوتقنيون والإنشائيون -بعد ذلك- بفحص تصميم الأساس بناءً على الفيضان الأساسي، أو الفيضان الذي من شأنه أن ينتج أقصى عمق للنحر؛ باستخدام عامل أمان ١,٠، مع الأخذ في الاعتبار أي مجرى جريان مائي ومواد في القاع أو الضفة نُقلت عن طريق النحر من فيضان ٥٠٠ عام.

٤-٥-٨ أنواع التعرية بالانجراف (النحر):

توصي HEC-18 بتقييم النحر في الجسر كمكونات مترابطة:

- تغيرات القطاع الطولي على المدى الطويل (التفاقم/التدهور).
- النحر نتيجة التقلص.
- النحر الموضعي (للركائز الوسطي أو الطرفية).

١-٤-٥-٨ تغيرات القطاع الطولي على المدى الطويل (النحر الطبيعي):

قد يؤدي التفاقم، أو التدهور، أو كليهما إلى تغيرات طويلة المدى في المظهر الجانبي. عندما يقل ميل الطاقة أو يزيد حمل الرواسب؛ تقل قدرة المجرى المائي على نقل المواد، ما يؤدي إلى ترسب الحمولة. في ظروف الخزان، يحدث التدهور -أيضاً- بشكل متكرر. عندما يزداد ميل الطاقة أو ينقص حمل الرواسب؛ تزداد قدرة نقل الرواسب في التيار، ما يؤدي إلى نحر مواد القاع. ويجب أن يؤخذ التدهور أو التفاقم في الاعتبار؛ على أنه يفرض تغييراً مستقبلياً طويل المدى لارتفاع قاع التدفق في موقع الجسر، متى وأين يمكن اكتشافها؛ (انظر: HEC-20). سيُجرى هذا الاختيار لغالبية الجسور كجزء من تقييم استقرار قناة المجرى المائي.

٢-٤-٥-٨ النحر نتيجة التقلص:

يتشكل نحر التقلص؛ لاقتراب السهول الفيضية من حالة الملاء، أو بدرجة أقل، تضيق ركائز الجسر الوسطية المجرى المائي في منطقة التدفق. الأسباب الأكثر شيوعاً لهذا النوع من النحر، هي الطرق، والجسور، وتحريفات القنوات الطبيعية.

٣-٤-٥-٨ النحر الموضعي:

يزداد خطر النحر المحتمل في موقع الجسر؛ من خلال وجود الركائز الطرفية والوسطية داخل منشور تدفق الفيضان. يشير النحر الموضعي إلى التعرية بالانجراف المحتملة التي يمكن أن تُحدثها سمات معينة. يُحدد شكل هذه الخصائص النحر الموضعي، فيما يتعلق بجيومترية التدفق. ومع ذلك فإن أهمية هذه العوامل الجيومترية ستختلف؛ على سبيل المثال: قد يؤدي تمديد عرض الركيزة الوسطية أو السد من خلال التصميم أو تراكم الحطام إلى مزيد من هذا النحر، ولكن فقط -إلى نقطة معينة في تيارات التدفق دون الحرج. ولا ينبغي توقع أن ينمو ويزداد بشكل كبير مع زيادة سرعة التدفق أو العمق بعد هذه المرحلة. في الوضع الأكثر شيوعاً للمجاري ذات التدفق فوق الحرج، لم يتم تحديد هذه الحدود.

يجب عمل تقديرات لعمق النحر عند الركائز الوسطية. ويجب مراعاة شكل الركيزة الوسطية واتجاهها عند حساب النحر. ويوضح الشكل (٨-٣) أشكال الركائز الوسطية الأكثر شيوعاً.

المعادلة المستخدمة لتقدير النحر على الركائز الوسطية؛ هي:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2.2 \left(\frac{a}{Y_1} \right)^{0.65} F_{r1}^{0.43}$$

المعادلة (٨-٢)

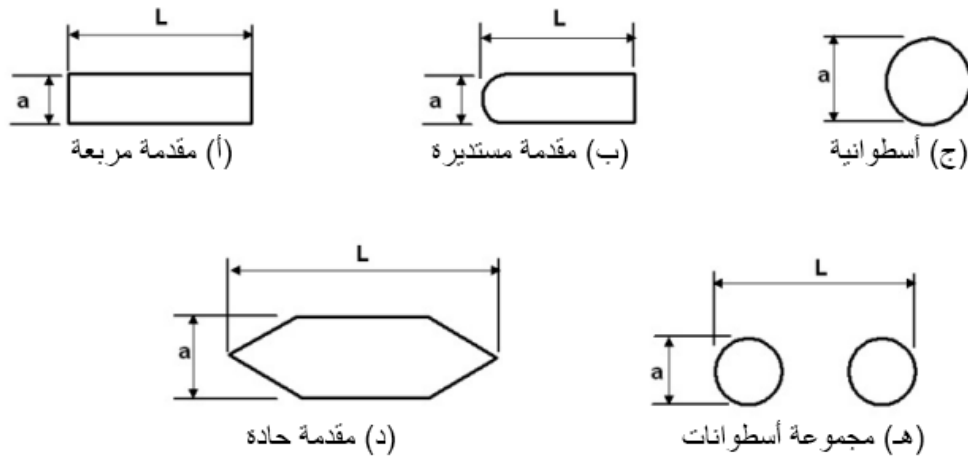
حيث إن:

Y_s = عمق النحر المقدر؛ (م).

Y_1 = عمق تدفق المنبع؛ (م).

F_{r1} = رقم فرود للمنبع.

a = عرض الركيزة الوسطية؛ (م).



الشكل (٨-٣) أشكال الركيزة الوسطية المشتركة (FHWA, 2009).

يبلغ الحد الأقصى لعمق النحر عند الركائز الوسطية ١,٣ ضعف عمق النحر المقدر بمجرد تطبيق جميع العوامل الأخرى/أو (Y_s) كحد أقصى = ١,٣ [Y_s * تصغير الشكل * معامل الضرب للانحراف].

٥-٥-٨ التدرج الطبيعي:

يحدث التدرج عندما لا يتمكن مجرى أو نهر من تحريك المواد الخشنة التي تشكل القاع، أو في بعض حالات نحر القاع -المادة الأساسية- أثناء فيضان معين. قبل الوصول إلى احتمالية النحر الكامل لحجم فيضان معين؛ قد يحدث النحر -أولاً- ولكن يتوقف بعد ذلك عن طريق التدرج. عند حدوث التدرج؛ تميل مادة الطبقة الخشنة؛ إما إلى البقاء في مكانها، أو الترسب بسرعة؛ لتشكيل طبقة من الدروع الشبيهة بدكة الحجارة على قاع المجرى المائي، أو في الثقوب المنجرفة؛ ما يحد من حدوث المزيد من النحر لتصريف معين. وفقاً للمعادلات التي أنشئت للرمال أو قنوات المواد الدفينة الأخرى لحجم الفيضان المحدد؛ يمكن أن يقلل تأثير التدرج هذا من أعماق حفرة النحر. ومن المحتمل أن يتغلغل النحر بشكل أكبر؛ عندما يحدث فيضان أكبر من ذلك المستخدم لتحديد أعماق ثقوب النحر المحتملة، حتى يحدث التدرج مرة أخرى عند حدود أقل.

قد يميل المجرى المائي إلى توسيع ضفافه؛ من أجل الحفاظ على استمرارية نقل الرواسب في حال حدوث تدرج للقاع، ومن هنا يمكن أن ينشأ نظام غير مستقر ومعقد. ونظراً للميل إلى تحفيز المزيد من تعديلات شكل الخطة التي يصعب تقييمها؛ فإن عدم الاستقرار هذا يمكن أن يضر الجسور بشكل خطير. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي تشتت توزيع التدفق القادم، الناجم عن توسع المصرف، إلى تقلص أكثر حدة في فتحة الجسر.

عادة ما يُتجاهل التدرج الطبيعي. احصل على عينات من مواد القاع لجميع قطاعات المجرى المائي عند المعبر لتفحص -على الرغم من ذلك- إذا كان سيؤخذ التدرج في الاعتبار وفي تقييم النحر.

٦-٥-٨ المواد المقاومة للتعرية بالانجراف (النحر):

يجب توخي الحذر عند تقييم مقاومة مواد القاع والطبقات الأساسية للقناة للنحر. بالنسبة لمواد، بحجم الرمل؛ يمكن الوصول إلى أعماق النحر المتوقع بفيضان واحد. في المقابل، قد لا يتحقق الحد الأقصى للعمق المتوقع للنحر في مادة مقاومة للتآكل -مثل طبقة القاع الصخرية- عند مرور فيضان معين، على الرغم من احتمال فقدان بعض هذه المواد. غالبًا ما تستبدل المواد المقاومة للنحر بمواد يمكن تجريفها بسهولة أكبر. نتيجة لذلك؛ قد يصل فيضان آخر في النهاية إلى عمق النحر المتوقع. في المواد التي يُعتقد -عادةً- أنها مقاومة للنحر؛ (مثل: التربة المتماسكة والحراثة الجليدية، أو ما يسمى بتيارات الصخور الأساسية، والمجاري المائية التي تحتوي على طبقات من الحصى والصخور) فقد لوحظ حدوث نحر خطير. ويجب أن يحدد المهندسون الجيوتقنيون والهيدروليكيون ما إذا كانت مادة القاع ستعرض للنحر خلال عمر الإنشاء أم أنها ستكون مقاومة له (أي تشبه الصخور). (FHWA (1991)؛ يُقدم خطاب معلومات عن قدرة التكوينات الصخرية على التعرية بالانجراف. يمكن العثور على نصائح إضافية في تقرير البرنامج الوطني لأبحاث الطرق التعاونية ٧١٧: التعرية بالانجراف أساسات الجسر على الصخرة (Keaton, 2012).

٧-٥-٨ التحليل التراكمي للتعرية بالانجراف (النحر):

قبل أن تُطبق طرق التنبؤ الدقيق المختلفة للنحر نتيجة التقلص والنحر الموضعي، ينبغي اتباع الخطوات التالية:

- أولاً: حدد المكونات الهيدروليكية للقناة ذات طبقة القاع الثابتة.
- ثانيًا: قم بتقدير التخطيط الرأسي والافقي الطولي لشكل النحر، أو التفاف، أو التدهور.
- ثالثًا: قم بضبط المكونات الهيدروليكية -ذات القاعدة الثابتة- لتعكس هذه التغييرات.
- رابعًا: قم بحسابات هيدروليكية الجسر.

من دون الأخذ في الاعتبار آثار النحر نتيجة التقلص على القناة وهيدروليكا الجسر، يُضاف النحر الموضعي المحتمل إلى التعرية إلى النحر نتيجة التقلص؛ للحصول على النحر الكلي. ونظرًا لأنها تستند إلى افتراض أن مكونات النحر تتطور بشكل مستقل؛ فإن هذه الطريقة تعتبر محافظة.

٨-٥-٨ التعرية بالانجراف (النحر) الناجمة عن تدفق الضغط:

عندما يكون ارتفاع سطح الماء اتجاه المنبع للجسر أكثر من أو يساوي الجانب المنخفض للبنية الفوقية؛ يحدث تدفق الضغط، الذي يُشار إليه -غالبًا- باسم تدفق الفوهة. يؤدي تراكم المياه على وجه الجسر اتجاه المنبع وانخفاض تدفقها أسفل إلى حدوث تدفق الضغط. في مستويات تدفق الاقتراب الأعظم؛ يمكن أن يُدفن الجسر بالكامل، ما يخلق مزيجًا معقدًا من التدفق فوق الجسر وتحت.

تكون أعماق النحر الموضعي عند الركيزة الوسطية أو الركيزة الطرفية أكبر لتدفق الضغط مقارنة بالجريان السطحي الحر في الأعماق وسرعات الاقتراب المماثلة. يدفع التدفق إلى أسفل -باتجاه القاع- بواسطة البنية الفوقية؛ ما يؤدي -أيضًا- إلى زيادة شدة دوامة حدوة الحصان، ما يتسبب في النحر الموضعي عند ركيزة وسطية تخضع لتدفق الضغط. ويُعد التقلص الرأسي للتدفق عاملاً أكثر أهمية في ارتفاع عمق النحر. ومع ذلك -وفي كثير من الحالات- يؤدي تدفق الهذاز فوق الجسر وجسور الاقتراب الترابية للطريق إلى انخفاض في التصريف الذي يجب أن يمر تحت الجسر؛ ما يقلل من متوسط سرعة الجريان تحت الجسر عند غمره. ونتيجة لذلك قد يتم التصدي جزئيًا لزيادة النحر الموضعي في موقع معين؛ الناتج عن النحر بتدفق الضغط. ويجب أن تأخذ عملية التصميم الآثار المترتبة على هذا النوع من الحالات في الاعتبار. ولمزيد من المعلومات عن النحر بتدفق الضغط؛ راجع: إدارة الطرق الاتحادية ١٨ (FHWA, 2012).

٩-٥-٨ التدابير المضادة للتعرية بالانجراف (النحر):

يمكن العثور على وثائق عن التدابير المضادة التي طُبقت في تطبيقات الطرق في (إدارة الطرق الاتحادية ٢٣، التدابير المضادة للنحر في الجسر وعدم استقرار التدفق). تُسرد هذه التدابير المضادة المحتملة للنحر في الجدول (٨-١). ويرد في الجدول (٨-٢) تقييم (إدارة الطرق الاتحادية ٢٣) لإمكانية تطبيق هذه الأساليب في إعدادات الأنهار المتنوعة.

الجدول (٨-١) التدابير الهيدروليكية المضادة للتعرية بالانجراف (النحر) (FHWA, 2009).

الإجراء المضاد للنحر	دليل تصميم (DG) حسب إدارة الطرق الاتحادية ٢٣
أنظمة عزل الكتل الخرسانية المفصلية عند ركائز الجسر الوسطية	DG 8

DG 9	فرشة الحجارة المحشوة بالملاط عند ركائز الجسر الوسطية
DG 10	فرشة الحجارة الصخرية المطوقة بالسلك عند ركائز الجسر الوسطية
DG 11	دكة كسر الحجارة الصخرية عند ركائز الجسر الوسطية
DG 12	دكة الحجارة المحشوة بالملاط جزئياً عند ركائز الجسر الوسطية
DG 13	الأكياس المليئة بالملاط/الأسمنت (ركائز الجسر الطرفية بصفة أولية)
DG 14	دكة كسر الحجارة الصخرية عند ركائز الجسر الطرفية
DG 15	توجيه الضفاف (ركائز الجسر الطرفية /الجسور الترابية).

الجدول (٨-٢) بيانات الأنهار المناسبة للتدابير الهيدروليكية المضادة للتعرية بالانجراف (النحر) (FHWA, 2009).

بيئة الأنهار المناسبة							الإجراء المضاد للنحر
سهل الفيضان	ميل المصرف	تحميل الحطام/الجليد	مادة طبقة القاع	نصف قطر الانحناء	حجم التدفق	نوع النهر	
و = واسع م = متوسط ض = ضيق	ع = عمودي ح = حاد م = منبسط	ف = مرتفع ع = معتدل خ = منخفض	خ = خشن ر = رملي ن = ناعم	ط = طويل م = متوسط ق = قصير	و = واسع م = متوسط ص = صغير	ض = مجدل ع = متعرج ق = مستقيم	
✓	ح، م	✓	✓	✓	✓	✓	أنظمة عزل الكتل الخرسانية المفصلية
✓	م	ع، خ	✓	✓	✓	✓	فرشة الحجارة المحشوة بالملاط
✓	ر، ن	ع، خ	ر، ن	✓	✓	✓	فرشة الحجارة الصخرية المطوقة بالسلك
✓	ر، ن	✓	✓	✓	✓	✓	دكة كسر الحجارة الصخرية عند ركائز الجسر الوسطية
✓	ر، ن	✓	✓	✓	✓	✓	دكة الحجارة المحشوة بالملاط جزئياً
✓	م	ع، خ	✓	✓	✓	✓	الأكياس المليئة بالملاط/الأسمنت
✓	ح، م	✓	✓	✓	✓	✓	دكة كسر الحجارة الصخرية عند ركائز الجسر الطرفية
و، م	✓	✓	✓	✓	و، م	✓	توجيه الضفاف
✓ مناسب لمجموعة كاملة من الخصائص							

يمكن للمهندس الإنشائي أن يضمن مكونات التصميم التي تمنع أو تحد من تلف الركائز الوسطية بناءً على تقييم مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) للنحر المحتمل. وبشكل عام، تساعد الركائز الوسطية المستديرة أو الطويلة الممدودة ذات النهايات الدائرية، والمحاذاة المتعامدة مع اتجاه تدفق الفيضان، وعلى تقليل النحر. ثبت -أيضاً- أن التثبيت بالأسمنت والبوليمر يعمل كإجراء مضاد للنحر -خاصة- عند مراعاة استعادة أو الحفاظ على المجاري المائية الطبيعية. ويجب استخدام أساس الحصى فقط في الحالات أو الظروف التي يكون فيها مجرى التدفق مستقرًا -بشكل كبير- أسفل القاعدة، وتُنشأ أساسات الحصى على عمق أقل من الحد الأقصى للنحر المحسوب. إذا لم يمكن تطبيق الأساسات الوتدية بالدفع؛ فهناك خيار آخر؛ وهو استخدام الأعمدة المحفورة. ويمكن أن توفر الهياكل المنخفضة أو هياكل التحكم في الانحدار -الموجودة في فتحة الجسر أو بالقرب منها- الحماية من التدهور العام لقاع المجرى المائي.

للتخفيف من أثر النحر بتدفق الضغط عند الجسر؛ قد يضمن غمر الطريق بالمياه في التصميم. ومن أجل منع الفيضانات المستقبلية من زيادة تدفقات الفيضانات على الأراضي الخاصة غير المتأثرة؛ يجب أن يكون جزء الغمر بعيداً عن الجسر. ولأنه من غير المرجح إعادة توجيه التدفق إلى قناة صرف أخرى؛ فإن المجاري المائية ذات السهول الفيضية الواسعة -غالبًا- ما تكون مرشحة ومناسبة لتضمين تعديلات غمر الطريق بالمياه في التصميم.

يُصبح بمحاذاة تدفق الاقتراب مع فتحة الجسر، والوقاية من النحر حول الركائز الوسطية، للتصريفات الكبيرة بزوايا انحراف القناة غير المواتية أو التعديلات، أو كليهما، في السهول الفيضية الشاسعة. نسبة المحور الرئيس إلى الثانوي لمصارف التوجيه التي تكون في العادة ببيضاوية الشكل؛ هي ٢,٥ إلى ١. إن الطول التقليدي الذي يبلغ نحو ١٥٠ قدمًا يقدم حلاً جيدًا. كما يمكن استخدام المعلومات الواردة في (إدارة الطرق الاتحادية ٢٣) لتحديد طولها؛ (FHWA, 2009). ويجب استخدام حصى المرشح والتكسية بدكة كسر الحجارة الصخرية؛ لحماية مصارف التوجيه، والجسور الترابية، والركائز الطرفية.

عندما تتوفر أحجار -كبيرة بما يكفي- تستخدم دكة الحجارة بشكل متكرر؛ لحماية الميول والمنطقة على طول قاعدة الركائز الوسطية الموجودة. ترد معلومات عن تصميم التكسية بدكة الحجارة في إدارة الطرق الاتحادية ٢٣، ويقدم توجيه التصميم ٨ إرشادات محددة. يغطي الباب ٩، إرشادات إضافية لتطبيقات دكة الحجارة والجدران الصخرية ذات النسيج السلكي للقنوات. يمكن الاطلاع على تفاصيل أخرى ذات صلة، في إدارة الطرق الاتحادية ٢٣ (دكة الحجارة في ركائز الجسر الطرفية). ومع ذلك لا يُنظر إلى التبتطين على أنه حل دائم؛ إذ يمكن أن يتفكك بمرور الوقت. ويجب إجراء فحص دقيق لأداء وصحة التبتطين -خاصة- في المواقع التي لها تاريخ من الحوادث المتعلقة بأثر النحر.

يجب تجنب إزالة الغطاء النباتي أعلى وأسفل مقدمة ميل الجسر الترابي كلما أمكن ذلك. يمكن أن تتضمن ملاحظات خطة الإنشاء معلومات عن طرق دك الحجارة؛ لتقليل تعطل الغطاء النباتي المحيط، ولتقديم مواد إنشاء جيدة متدرجة.

قد تكون مراقبة وإغلاق الجسر أثناء التدفقات العالية، وعمليات الفحص اللاحقة -بعد الفيضان- بمثابة إجراء مضادًا وفعالاً لتقليل الخطر على مستخدمي الجسور من الجمهور، بسبب حالات النحر الحرجة للجسور القائمة. ومع ذلك فإن هذا لا يقلل من احتمالية انهيار الجسر نتيجة النحر. بناءً على حجم المرور، والطرق التي تستخدمها مركبات الطوارئ، ووجود طرق بديلة؛ يجب دراسة إستراتيجية المراقبة بعناية. يجب إنشاء خطة عمل خاصة بالموقع؛ إذا اختبرت المراقبة كخيار الإجراء المضاد؛ للتأكد من اتخاذ الخطوات المناسبة عند تحقيق ارتفاعات الفيضان المستهدفة.

٨-٦ صرف مياه سطح الجسر:

٨-٦-١ السياسة:

تتوفر إرشادات لتطوير أنظمة صرف المياه لأسطح الجسور في هذا الجزء. وتشرح منهجيات تصميم مكونات النظام. كما أشير إلى العوامل الحاكمة التي تحدد التصميم الهيدروليكي للنظام؛ على سبيل المثال: (تكرار الفيضان التصميمي، وانتشار المياه المسموح به).

٨-٦-٢ أهمية صرف مياه سطح الجسر:

تعتبر سطح الجسر، وممرات المشاة، والحواجز، ومداخل الصرف، أجزاء من نظام صرف المياه لسطح الجسر (نظام ميزاب الصرف). الهدف الرئيس لنظام صرف المياه؛ هو إزالة الجريان السطحي من سطح الجسر قبل أن يتراكم في الميزاب إلى مقدار أكبر من انتشار المياه التصميمي المسموح به. هناك العديد من المزايا الأخرى لصرف سطح الجسر؛ مثل:

- إزالة المياه بكفاءة من سطح الجسر؛ يعزز السلامة العامة من خلال تقليل مخاطر الانزلاق المائي.
- تحسين صيانة الجسر على المدى الطويل.
- الحفاظ على السلامة الإنشائية للجسر.
- تحسين الجماليات؛ على سبيل المثال: (تجنب تلطيخ البنية التحتية ومكونات البنية فوقية).
- تقليل التآكل على ميول نهاية الجسر.
- تحديد مصبات التوزيع للنظام.



٣-٦-٨ مسؤوليات التصميم:

فيما يلي مسؤوليات مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) فيما يتعلق بصرف سطح الجسر:

- يحسب تدفق المياه على سطح الجسر بناءً على التكرار التصميمي.
- يحدد نوع صرف سطح الجسر.
- يحدد تباعد المدخل الهيدروليكي على سطح الجسر؛ لاعتراض التدفق المحسوب ولتلبية معايير انتشار المياه المسموح بها.

٤-٦-٨ اعتبارات التصميم (صرف المياه المفتوح):

١-٤-٦-٨ نوع نظام الصرف:

إذا كان ذلك ممكناً؛ فاستخدم نظام صرف مفتوح لأسطح الجسر. استخدم الميازيب التي لا يقل قطرها عن ١٠٠ ملم. إذا لزم الأمر؛ فإنه يمكن تركيب مصارف أكبر.

٢-٤-٦-٨ ميل السطح:

الحد الأدنى من الميل الطولي المطلوب لصرف مياه سطح الجسر الجيد؛ هو ٠,٢ بالمائة. من الناحية المثالية، لن يكون الميل الطولي أقل من ٠,٥ بالمائة. من أجل التعامل مع صرف المياه العرضي لسطح الجسر؛ يجب توفير ميل عرضي مناسب للطريق، عادة ٢٪.

٣-٤-٦-٨ منحنيات القاع الرأسية:

لا ينبغي -إن أمكن- أن يقع أي جزء من الجسر في منحنى قاع رأسي. إذا كان الجسر يقع في منحنى قاع؛ فلا ينبغي أن يكون بلاطة الاقتراب أو الجسر في المكان الذي تكون فيه النقطة المنخفضة للمنحنى. يجب أن تكون النقطة المنخفضة على بعد ٣ أمتار -على الأقل- من نهاية بلاطة الاقتراب، أو ٣ أمتار من نهاية الجسر؛ إذا لم تستخدم بلاطة الاقتراب.

٤-٤-٦-٨ أنبوب الصرف:

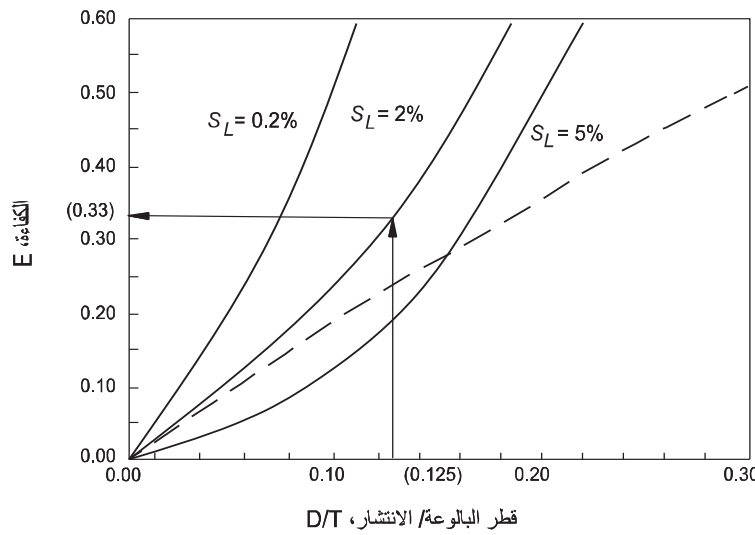
عند استخدامها؛ ينبغي أن تكون أنابيب الصرف مصنوعة من مادة صلبة مقاومة للتآكل، وبقطر داخلي لا يقل عن ١٠٠ ملم. عند وضع أنبوب الصرف؛ يجب على المهندس القائم بتصميم الجسر مراعاة العوامل التالية:

- الموقع بالنسبة للمكونات الإنشائية. عادة يمتد أنبوب الصرف أسفل المكونات الإنشائية. إذا كان من الممكن أن تنفجر المياه بسهولة فوق بنية الجسر السفلية أو تحته؛ فيجب عدم وضع أنابيب الصرف على مسافة ١,٥٠ متر من نهايات أي وحدة من وحدات البنية السفلية. من غير المناسب وضع أنبوب الصرف حيث تتناثر مياه الصرف في مخروط بزاوية ٤٥ درجة تحت أنبوب الصرف في أي جزء هيكلي. يجب أن يحافظ أنبوب الصرف على الخلو الرأسي والأفقي الضروريين.
- الموضع بالنسبة إلى الأرض. تتوزع المياه المتساقطة بشكل مناسب في حالة السقوط الحر من ارتفاع يزيد عن ٧ أمتار؛ لإحداث أقل قدر من أضرار الانجراف تحت الجسر. قد يكون من الضروري توفير الحماية من الانجراف على التضاريس الطبيعية أسفل المخرج، وذلك عندما يكون ارتفاع السقوط الحر المتاح أقل من ٧ أمتار. يُسمح بالسقوط الحر لارتفاع أقل من ٧ أمتار، حيث يسقط الماء الحر على دكة الحجارة أو الماء المتحرك.
- السكك الحديدية. باستثناء الحالات التي تسمح بها السكك الحديدية صراحةً، لا يُسمح باستخدام أنابيب الصرف عبر حرم الطريق للسكك الحديدية.
- استثناءات إضافية. تجنب وضع أنبوب الصرف فوق منطقة الطريق، أو رصيف مشاة، أو الجسر الترابي غير الممهّد، أو القناة.

٥-٤-٦-٨ موقع مداخل الصرف:

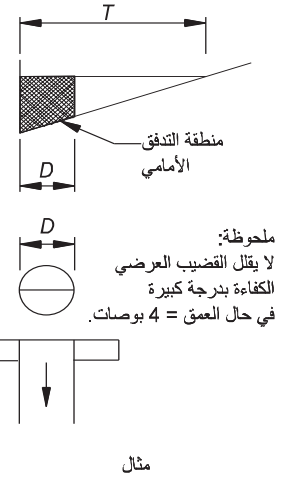
عادةً ما يجري التحليل الهيدروليكي لتقدير تباعد المداخل الهيدروليكية على سطح الجسر؛ بواسطة مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي). تُستخدم قوة عاصفة مطرية ذات فترة عودة مدتها ١٠ سنوات، وطولها ١٠ دقائق -لتقدير الجريان السطحي؛ باستخدام الطريقة المنطقية، كما هو مذكور في الباب ٢. ثم يأخذ مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) في الاعتبار ما يلي؛ عند تحديد المداخل:

- بالنسبة للجسور التي تكون فيها السرعة التصميمية للطريق أقل من أو تساوي ٧٠ كم/ساعة، يجب ألا يتعدى انتشار المياه على أي مسار مرور محدد أكثر من نصف عرضه. ويجب ألا يتقطع الانتشار أي مسارات مرور محددة على الجسور؛ إذا كانت سرعة تصميم الطريق أكبر من ٧٠ كم/ساعة. ولتجنب التدفق على سطح الجسر؛ يجب إيقاف تدفق المزاب (قناة الصرف الجانبية) عند انتقالات الميول العرضية.
- يوضح الشكل (٣-٨) كفاءة أنابيب الصرف الدائرية. ولا يحتوي صندوق الأدوات الهيدروليكي على شكل المدخل هذا. يوفر الشكل (٤-٨) سعة اعتراض أنبوب الصرف وتبلغ ١٠٠ ملم على الطريق المستمر. ينطبق الشكل (٥-٨) على موقع الحوض.



Key

المنحنيات التجريبية على أساس البيانات المختبرية من قبل أندرسون، 1973
من التدفق الأمي 100% مساحه العرض القطر (قطر البالوعة)



مثال

المعطيات:
D = 6 in. T = 4 ft
S_L = 2%

النتائج:
D/T = 0.125
E = 0.33

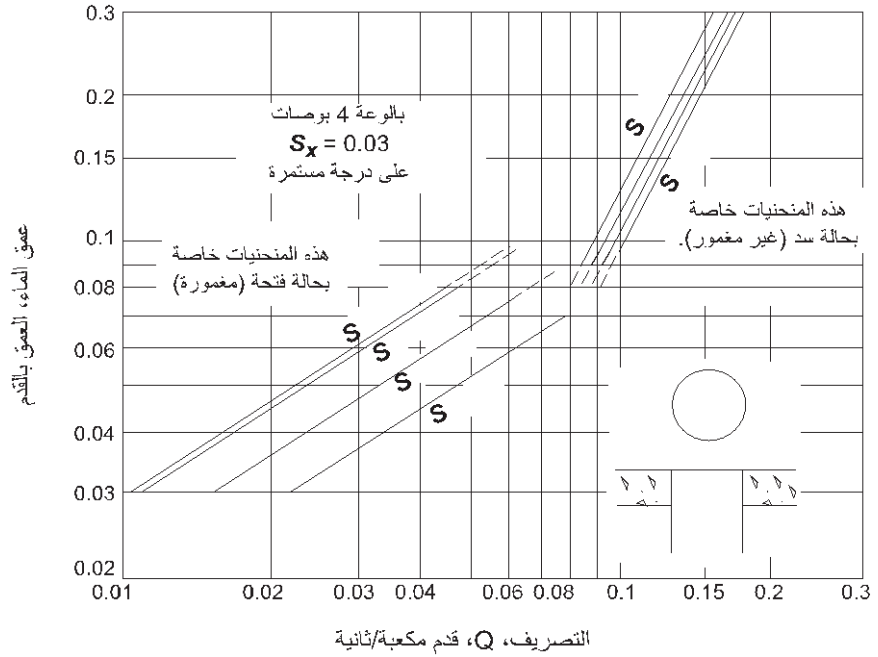
ملحظة: الكفاءة (E) = إجمالي تدفق المزاب (Q) مقسوماً على التدفق المعترض (Q_i).

الشكل (٤-٨) منحنيات الكفاءة لميزاب الصرف الدائري (الأبعاد بالبوصة) (FHWA, 1993).

تجب -أيضاً- مراعاة العوامل التالية عند اختيار الموقع الفعلي للمدخل:

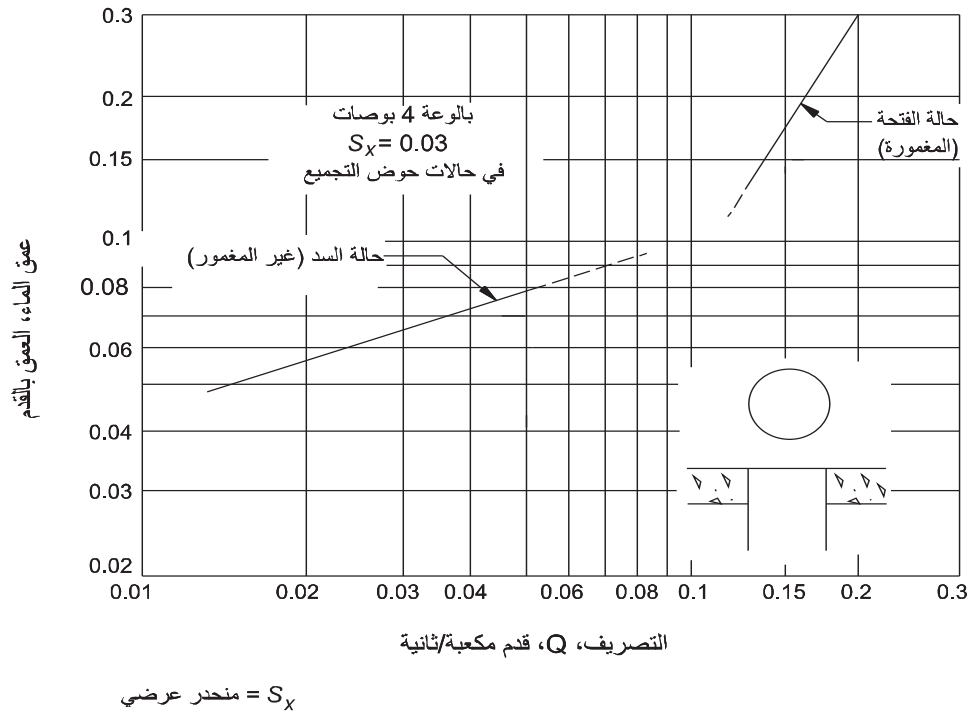
- من المرغوب فيه جمع ١٠٠٪ من ترقية الجريان السطحي من وصلات التمدد، خاصةً عندما يكون الطريق المقترح عبارة عن قطاع مكون من برودة ومزاب.
- تنسيق تباعد المدخل مع التصميم الإنشائي لسطح الجسر، الذي قد يتطلب تعديلات على مواقع المدخل.
- ستؤثر مواقع مصبات أنبوب الصرف المقبولة في موقع مداخل الصرف على سطح الجسر.
- بشكل عام، سيستخدم مدخل منخفض في بلاطة الجسر اتجاه المصب؛ لالنقاط المياه التي تتجاوز أنابيب الصرف.

في كثير من الحالات، ستثبت هذه الاعتبارات الإضافية أنها عامل محدد في موقع المدخل أكثر من تباعد المدخل المحسوب بواسطة التحليل الهيدروليكي. ومع ذلك، ينبغي ألا يتجاوز التباعد بين المداخل الحد الأقصى المسموح به للمسافة التي يحددها التحليل الهيدروليكي.



$S = \text{منحدر طولي}$
 $S_x = \text{منحدر عرضي}$

الشكل (٨-٥) سعة الاعتراض (مدخل ميزاب صرف ٤ بوصات على الطريق المستمر) (الأبعاد بالقدم) (FHWA, 1993).



$S_x = \text{منحدر عرضي}$

الشكل (٨-٦) سعة الاعتراض (مدخل ميزاب صرف ٤ بوصات في مواقع الحوض) (الأبعاد بالقدم) (FHWA, 1993).

٦-٤-٦-٨ الاعتبارات الإنشائية:

الاعتبارات الإنشائية الأساسية في تصميم نظام صرف المياه هي:

- التنسيق مع أعمال التسليح. يجب أن يكون حجم المدخل وموضعه متوافقين مع التسليح الإنشائي والمكونات الأخرى للجسر.
- التآكل والانجراف. من أجل تقليل مخاطر انجراف الجسور الترابية ومنع الجريان السطحي (وما يرتبط به من مواد المسببة للتآكل) من ملامسة الأجزاء الإنشائية الضعيفة، يجب إنشاء نظام صرف المياه للقيام بذلك. ويجب أن يشمل التصميم على الموضع الصحيح للمصببات؛ لمنع التآكل والانجراف. وبالإضافة إلى ذلك، من المهم منع الماء من دخول الفجوة بين طريق الوصول والجسر، وإضعاف الركيزة الطرفية أو جدران الاجنحة.

٧-٤-٦-٨ اعتبارات الصيانة:

لن يعمل نظام صرف المياه بشكل صحيح إذا كان مسدودًا بالحطام؛ لذلك ينبغي مراعاة متطلبات الصيانة في التصميم. ينبغي على المهندس القائم بتصميم الجسر تجنب تصميمات صرف المياه التي لا توفر مساحة كافية لموظفي الصيانة على سطح الجسر، أو الوصول أسفل الجسر، أو التي لا توفر مناطق عمل آمنة لموظفي الصيانة.

٨-٤-٦-٨ صرف نهاية الجسر:

من أجل صرف المياه الفعال؛ يجب أن يكون لنهايات الجسر تصميمات صرف جيدة. الإجراء القياسي؛ هو استخدام مجرى عند نهايات الجسر حيث يفتقر مسار الاقتراب إلى وجود برودة ومزrab. ويجب استخدام تصميم مختلف لاستيعاب الجريان السطحي إذا كان المجرى غير مناسب. قد يخطط لصرف نهاية الجسر؛ باستخدام مداخل صرف شبكية، أو مداخل صرف بفتحات ببرودة الرصيف الجانبي، أو مداخل صرف من النوع المختلط، بالإضافة إلى المجرى.

عند اختيار النوع، يجب مراعاة الخصائص الهيدروليكية لمداخل الصرف. ولتقليل الجريان السطحي الذي يدخل ويخرج من الجسر؛ يجب توضع المداخل على الجسر بابتعاد كافٍ. كما يجب أن يجمع كل التدفق -الذي لم يُوقف بواسطة مداخل سطح الجسر- بواسطة مجتمعات عند نهاية ميل الجسر. وإذا لم تكن هناك مداخل على سطح الجسر؛ فيجب أن تكون هناك فتحات صرف في اتجاه الميل الهابط؛ لالتقاط كل صرف المياه من الجسر. ويجب -أيضا- نقل المياه إلى أسفل سطح الجسر باستخدام الأنبوب.

ينبغي أن تتطابق أحواض التجميع مع بلاطات الاقتراب بأكبر قدر ممكن -تقريبًا- عند نهايات الجسر؛ وذلك عندما يكون طريق الوصول به برودة ومزrab.

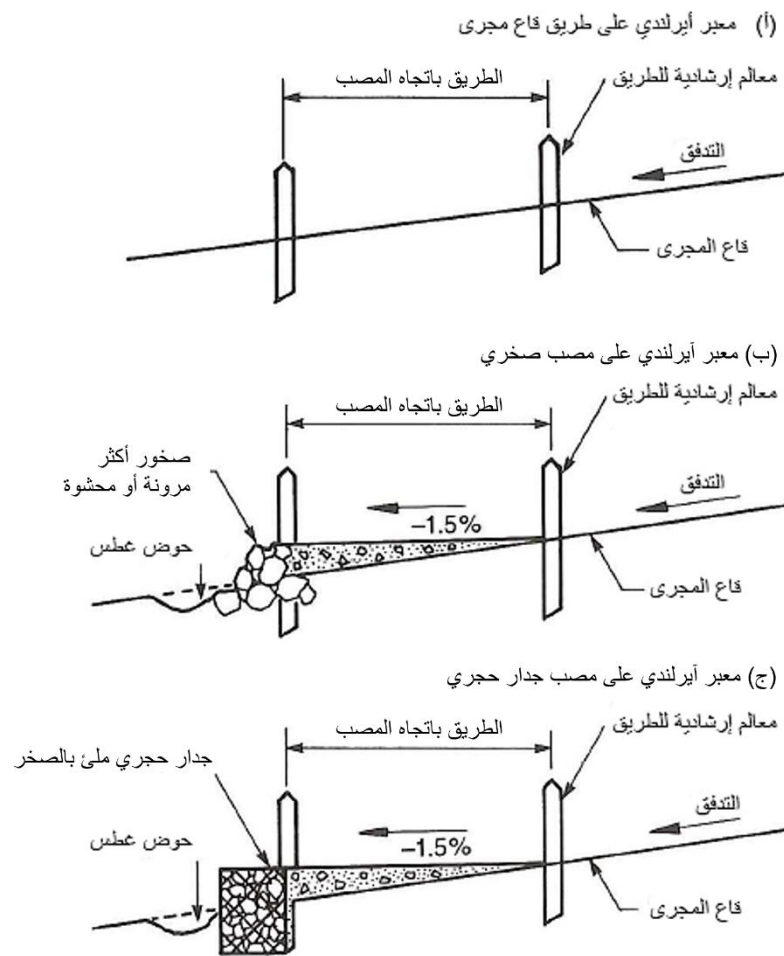
٧-٨ معابر المياه المنخفضة:

١-٧-٨ عام:

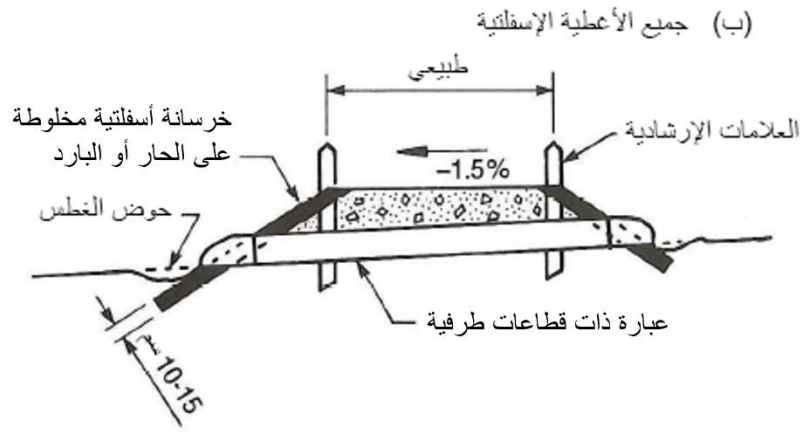
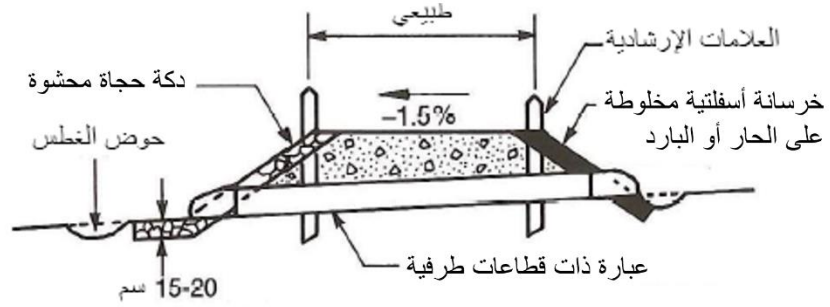
صُممت هياكل معابر المياه، المعروفة باسم معابر المياه المنخفضة؛ لتحتمل التدفقات الثقيلة، وكذلك التدفقات المختلطة بالحطام أو الجليد. يمكن أن توفر فوائد ببنية كبيرة في بعض موائل المجاري المائية، وأن تكون بدائل مرغوبة للعبارات والجسور على الطرق والمسارات ذات المرور المنخفض للغاية. إنها مفيدة؛ على سبيل المثال: إذا كان هناك خطر من عبور كميات هائلة من الحطام الخشبي بهيكل المعبر، وكان تدفق المياه غير متوقع إلى حد كبير.

معابر المياه المنخفضة؛ هي معابر لمياه الطريق، مُصممة للسماح بالفيضانات مرة واحدة -تقريبًا- في السنة؛ لهذا السبب يجب استخدام معابر المياه المنخفضة -فقط- على الطرق المحلية، حيث يكون متوسط حركة المرور اليومية المتوقعة -لمدة ٢٠ عامًا- أقل من ١٠٠. في هذه الأنواع من المواقع؛ يمكن أن يوفر معبر المياه المنخفض بديلاً اقتصادياً للجسور. في بعض المناطق، تحمل مجاري المياه القليل من الماء، أو لا تحمل المياه إلا خلال العواصف المطرية الشديدة المفاجئة. قد تكون الهياكل المناسبة لتحتمل الفيضانات الغزيرة غير المتكررة مكلفة. قد تتسبب ميول الطرق والممرات المائية الضيقة في حدوث فيضانات في الوديان المسطحة الواسعة. يمكن أن تكون معابر المياه المبنية للتعامل مع تدفقات الذروة كبيرة. يسمح معبر المياه المنخفض بممر مائي طبيعي كبير؛ يقلل من فيضان الأراضي المجاورة. تشمل معابر المياه المنخفضة ما يلي:

- يشكل المعبر الأيرلندي (أو المزلقان)؛ بخفض ميل الطريق إلى مستوى المجرى المائي من الجانبين. يشيع استخدامها عبر مصارف المياه الجافة، أو حيث يكون التدفق اليومي منخفضاً (الشكل ٧-٨).
- يتشكل المعبر الأيرلندي ذو فتحة الصرف (أو المزلقان مع العبارة) بخفض ميل الطريق جزئياً للفيضانات وتوفير عبارة لمعالجة التدفق اليومي. يشيع استخدامها عندما يتجاوز التدفق اليومي عمقاً يمكن خوضه (الشكل ٨-٨).



الشكل (٨-٧) المعبر الأيرلندي (FHWA, 1993).



الشكل (٨-٨) معبر أيرلندي ذو فتحة صرف (FHWA, 1993).

٢-٧-٨ معايير التصميم:

ينبغي تحديد سرعة الماء (V)، وسعة التدفق (Q) للقناة، أو كامل المخاضة، أو من خلال الفتحات؛ باستخدام اثنين أو ثلاثة حسابات مميزة للتصميم الهيدروليكي لمعبر مياه منخفض.

لحساب سعة التدفق من خلال المخاضات المباشرة غير المحتوية على فتحات صرف، والجسور منخفضة المياه حيث يكون معظم القطاع العرضي للقناة أو المجرى المائي الطبيعي مفتوحاً؛ استخدم معادلة مانينغ. من أجل حساب التدفق على المخاضة المرتفعة؛ استخدم صيغة الهذّار العريض.

يجب على المصمم استخدام المعايير التالية؛ لفحص، وتصميم معابر المياه المنخفضة:

- تصميم معابر منخفضة المياه لمتوسط الأمطار السنوية.
- هيكل تصميمي لمنع الفشل لأمطار ٢٥ عاماً.

يمكن أن تُسد الفتحات -في بعض الأحيان- إذا كان هناك حطام كبير في القناة. نتيجة لذلك؛ قم بتخطيط الهيكل للتعامل مع التدفق الكامل. بالتناوب، قم بتوسيع الفتحات أو استخدام رفوف اصطيد الحطام. لتقليل انسداد الأنابيب؛ إذا استُخدمت رفوف اصطيد الحطام، فقم بتضمينها في الهيكل نفسه عند مدخل فتحة الصرف المائلة.

في تصميم معابر المياه المنخفضة؛ من الضروري تقدير السرعات المتوسطة أو المحلية للأسباب التالية:

- لتحديد النحر المحتمل وعمقه أجزاء من القناة.
- لتحديد حجم مادة طبقة القاع التي ستتحرك في القناة.
- لاختيار الغطاء النباتي، والتدابير التقنية الحيوية، ودكة الحجارة، أو غيرها من التدريع المناسب لمنع تآكل الضفاف.
- لتحديد حجم صخور دكة الحجارة بشكل صحيح.

٨-٧-٣ المعابر الأيرلندية:

يمكن أن تتكون المعابر الأيرلندية غير معبدة على القاعدة الطبيعية للجدول، أو قد تُغطى بأسفلت خرساني أو جدار حجري. عادة ما تسوى المعابر الأيرلندية الموضوعة على قاع المجرى المائي الطبيعي لعرض الطريق؛ يتحقق ذلك بوضع صف من الصخور على طول حافة طريق باتجاه المصب، وملء ما خلف الصخور بالحصى. وقد يكون بطريقة أخرى؛ وهي استخدام السلال على طول الحافة باتجاه المصب.

بعد تغيير الميل المجرى المائي باستخدام كتل الصخور؛ تزداد معدلات الانجراف باتجاه المصب عادةً. وعادة ما يكون التضمين الكافي لكتل الصخور والجدران الصخرية -لتبديد طاقة الجريان المائي- مطلوبًا.

٨-٧-٤ المعابر الأيرلندية ذات فتحات الصرف:

تُنشئ المعابر الأيرلندية ذات فتحات الصرف حاجز سرعة كبير للغاية مع إمكانية انجراف شديدة. يجمع مدخل العبارة والجسر الترابي المائلان حطامًا أقل من الجسر الترابي العمودي، مع القدرة على النظافة الذاتية عند ارتفاع المياه. سيعمل حيز الرش على طول الحافة باتجاه المصب من المعبّر، على تحريك حفرة النحر لمسافة أبعد في اتجاه مصب المجرى المائي؛ ما يمنع تقويض الطريق والعبارة. تُنشأ المعابر الأيرلندية ذات فتحات الصرف الأكثر ثباتًا من خرسانة مصبوبة بالموقع، وكذلك عبّاراتها. يتسبب التجريف في اتجاه مصب المجرى المائي وحول نهايات الهيكل في حدوث مشكلات صيانة كبيرة وحتى الفشل. يفاقم الحطام الذي يحمله التيار مشكلات الانجراف. يجب وضع الجدران القاطعة ودكة الحجارة على بعد كافٍ بطول الطريق؛ للحماية من المياه المرتفعة.

٨-٧-٥ الحماية من التعرية بالانجراف (النحر) وصيانة استقرار القناة:

سيحدث الانجراف والنحر؛ إذا كانت السرعات الموضعية أو المتوسطة أعلى من سرعات الحركة المسموح بها للمواد؛ لذلك إما أن تتخذ إجراءً لإبطاء التدفق، أو إعادة توجيهه، أو تبديد طاقته، أو توفير الاستقرار تحت عمق النحر المتوقع، أو تسليح المناطق المتضررة بمواد متنوعة يمكنها تحمل قوى النهر.

تتطلب المعابر منخفضة المياه اهتمامًا خاصًا؛ بالحماية من التلوث، والحفاظ على استقرار القناة، وهما مكونان أساسيان في تصميم الهيكل الهيدروليكي. يجب إنشاء المعابر حيث تصمد أمام الغمر بالمياه. إضافة بعض الارتفاع للخلوص الكافي، أو حماية أو تدريع الهيكل (المحيط الملل) أو أعلى مستوى مرتفع للمياه المتوقعة. قد يكون الخلوص مقبولًا في صرف كميات المياه الصغيرة. يُفضل أن يكون لديك ٠,٦ إلى ١,٢ متر إضافي من الخلوص الرأسي في مصارف واسعة أو أخاديد شديدة الانحدار. على سبيل المثال: تعمل بعض المخاضات (المعابر الضحلة) على تسريع التدفقات عبر الأنابيب أو الفتحات، والبعض الآخر يقيّد تدفق القناة، والبعض الآخر يسرع التدفق عبر سطح القناة، والبعض الآخر يتسبب في نزول المياه من حافة اتجاه المصب. تتسبب تصاميم المخاضة المتنوعة - أيضًا - في إثارة مخاوف مختلفة. في كثير من الأحيان، تتطلب هذه المواقع الحماية.

اعتمادًا على سرعة التدفق؛ تأتي الحماية من الانجراف والنحر، وحماية الضفاف، واستقرارها، في العديد من الأشكال التالية:

- الغطاء النباتي، أو حصائر التحكم في الانجراف، أو دكة الحجارة، للسرعات المنخفضة.
- أنظمة التدريع اللينة؛ مثل: المعالجات التقنية الحيوية، وحصيرة تقوية العشب النباتي، وحشوات الجذر، والحطب، والصخور، للسرعات المعتدلة.
- أنظمة التدريع الصلبة؛ مثل: الكتل الخرسانية المفصلية، أو جدران السلال، أو دكة الحجارة الصخرية، أو المملوءة بالملاط، أو الخرسانة، لسرعات القناة العالية، أو مناطق إجهاد القص العالية حيث تكون التدفقات مضطربة أو تصطدم بالضفة.

تتمثل الإستراتيجية المثالية للحماية من النحر في تحديد موقع مرفق في مادة صلبة ومتينة ومقاومة للنحر؛ مثل: طبقة القاعدة، أو مادة صخرية خشنة، أو تربة كثيفة متماسكة جيدًا؛ لأن النحر الموضعي، أو تقويض الهيكل من المشكلات الشائعة للهيكل الهيدروليكي. يمكن حماية مساحة السطح من النحر؛ عن طريق: وضع أساسات إنشائية، أو حوائط قاطعة، أو مفاتيح منع النحر لعمق أكبر من العمق المتوقع في العديد من المواقع الأخرى حيث تكون هذه المواقع غير مجدية. كبديل، يمكن تصور إنشاء معابر مباشرة رخيصة، ويمكن التخلص منها؛ إذ تتطلب الصيانة أو الاستبدال بعد الأحداث الهامة.

تعد الحماية من النحر أكثر أهمية عندما تكون الرواسب الغرينية سائبة، وذات حبيبات دقيقة؛ مثل: (الطمي والرمال)، ويمكن أن يكون عمق النحر كبيرًا (٦ إلى ٣٠ م). يمكن أن يتراوح عمق النحر في القنوات المعبّدة بالحصى من ١,٢ إلى ٦ أمتار. في القنوات الخشنة والصخرية والمبطن بالصخور -غالبًا- ما يكون عمق النحر بضع سنتيمترات. سيتأثر عمق النحر بمجموعة متنوعة من العوامل المعقدة؛ مثل: تكوين طبقة القاعدة، وخصائص القناة، وطبيعة وموقع عوائق القناة، وعمق التدفق.

قد يتأثر هيكل معبر المياه المنخفضة بواحد من ثلاثة أنواع من النحر: نحر موضعي، ونحر نتيجة تقلص القناة، ونحر عام للقناة. يمكن أن يؤدي التغيير في حجم الجريان السطحي ومعدله، أو ترحيل الرأس اتجاه المنبع، أو تغيير حمل الرواسب، أو الهياكل اتجاه المنبع، إلى النحر العام في القناة، أو تلفها. هذا النوع من أضرار النحر يثر سلبًا على أي هياكل جديدة في القناة، بالإضافة إلى الطول الكامل للمجرى المائي. تتمثل إحدى أساليب منع النحر العام للقناة من إتلاف امتداد القناة اتجاه المنبع باستخدام المخاضة كهيكول للتحكم في الميل.



يحدث النحر بسبب تقلب قنات المجري المائي، والزيادة المقابلة في سرعة الجريان، التي تحدث عندما يمر التدفق عبر فتحة صغيرة نسبياً. استخدم هياكل محاكاة التدفق التي تحافظ على عرض القناة الطبيعي؛ لمنع هذا النوع من النحر.

ينتج النحر الموضعي عن اضطراب التدفق، والدوامات حول الركائز الطرفية، أو الركائز الوسطية منتصف القناة، من بين أشياء أخرى. من خلال تجنب العوائق أو الحواجز -وسط القناة- يمكن منع النحر الموضعي أو الحد منه. إذا كانت هناك حاجة إلى ركائز وسطية أو جدران؛ فقم بتقليل عمق النحر بتقليل عرض الجدران، أو اعتماد حواف مستديرة أو مستدقة.

فيما يلي أمثلة لطرق التخفيف النموذجية لحماية الهياكل من النحر:

- اختيار أماكن ذات القاعدة الصخرية أو الصخر الخشن المقاوم للنحر حسب المواد المحلية.
- إنشاء الهياكل دون تقييد مسار التدفق لمنع تسارعه.
- تغطية القناة بأكملها بالمواد؛ مثل: (الخرسانة، أو جدران السلال، أو حصيرة الحجارة المملوءة بالملاط) لدرء النحر.
- باستخدام دوارات متقاطعة، هذارات، سدود صغيرة، مسننات حديدية، وما إلى ذلك؛ لإعادة توجيه تدفق قناة المجري المائي.
- باستخدام أساسات عميقة وموضوعة تحت مستوى النحر المتوقع؛ مثل الركائز الوتدية المدفوعة أو المحفورة في الأساس الصخري، أو أساسات الحصيرة العميقة بشكل معقول.
- استخدام أحواض الغطس، أو الجدران القاطعة الضحلة، أو الجدران الصخرية ذات النسيج السلبي، أو دكة الحجارة، عند حافة الهيكل اتجاه المصب.
- استخدام مواد مقاومة للنحر؛ مثل الجدران القاطعة العميقة، أو الصفائح الوتدية العميقة الموضوعة على عمق أكبر من عمق النحر.

٩- تثبيت ضفاف القنوات والمجاري المائية:

٩-١ مقدمة:

تلعب قنوات الصرف والخنادق الصغيرة -على جانب الطريق- دورًا مهمًا في نظام الصرف. من المهم اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتأكد من أن هذه القنوات يمكنها نقل التدفق المقصود، ويمكنها الثبات بدرجة كافية لتحمل تآكل وتجريف قاع وجوانب أو ضفاف القنوات والمجاري المائية الشديدة أو الندوب. في حال حدوث تآكل، فقد يؤدي إلى ظروف قبيحة وخطيرة. هناك بنية تحتية دائمة يجب حمايتها من التلف الناتج عن حدث الفيضان التصميمي. يُعهد إلى المهندس القائم بتصميم معدل النقل أو الصرف بتوفير استقرار للجوانب المتدفقة؛ من أجل تجنب خسارة الاستثمار العام، ولضمان السلامة العامة. ينبغي اختيار تقنية حماية القناة أو المجرى المائي المناسب، الذي يلبي متطلبات التثبيت الإنشائي، مع مراعاة الوظائف البيئية والترفيهية والبيئية للإعداد من قبل مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي).

أفضل طريقة لتحديد احتمالية تآكل ضفاف أو جوانب قنوات الصرف والمتطلبات اللاحقة لتحقيق الاستقرار؛ هي المراقبة. قد تستند مقارنة الملاحظات على ظروف الموقع الأخيرة أو البيانات التاريخية. يمكن استخدام الصور الجوية، والخرائط القديمة، وملاحظات المسح، وقطاعات تصميم الجسور، وبيانات مسح الأنهار، وسجلات محطة القياس، والمقاربات مع السكان القدامى؛ لتوثيق أي حركة لقناة حديثة، وربما حالية، أو عدم استقرار بنكي. ويمكن -أيضا- تقييم الاستقرار باستخدام ظروف الموقع الحالية. حتى إذا أظهرت البيانات التاريخية أن الجوانب كانت تاريخياً مستقرة للغاية؛ فقد تشير المتغيرات المحلية إلى حالات عدم استقرار أحدث. تشمل ظروف الموقع المحلي التي تشير إلى عدم الاستقرار: انقلاب الغطاء النباتي، والسقوط على طول الضفة، والشقوق في سطح الضفة، ووجود كتل من الركود، ووضع نباتات جديدة في القناة بالقرب من الضفة، وانحراف تدفقات القناة في اتجاه الجوانب بسبب عائق أودع مؤخراً أو تغيير مسار القناة، وقطع رأسية جديدة على طول الجوانب، وسرعات عالية محلياً على طول الجوانب، وتشكيل عمود جديد. من المهم -أيضاً- فهم أن وجود أي من هذه الظروف لا يعني بالضرورة وجود مشكلة في التآكل؛ إذ يحدث بعض تآكل الضفاف حتى عندما تكون القناة مستقرة.

تجب حماية القناة بتبطين ثابت لمنع التآكل. لتثبيت القناة؛ يمكن استخدام مجموعة متنوعة من تبطينات القناة. تتحقق الحماية الدائمة والاستقرار -في كثير من الأحيان- من خلال استخدام الغطاء النباتي، وصخور دكة الحجارة، والقنوات المبطنة بالخرسانة.

يعتمد اختيار تقنية الحماية المحددة على عدد من المتغيرات. يجب مراعاة العناصر التالية:

- قابلية للإنشاء.
- خطر الانهيار.
- عواقب الانهيار.
- أعمال صيانة.
- تأثيرات بيئية.
- التكلفة.
- التكرار التصميمي.

علاوة على ذلك، ينبغي تحديد التكرار التصميمي لتبطين القناة. يختلف التكرار حسب فئة الطريق ونوع القناة (خندق على جانب الطريق، قناة صرف صغيرة... إلخ). بالإضافة إلى ذلك، يُعد الميل ومحاذة القناة وشكل القناة والخلوص الرأسي اعتبارات مهمة -ستُحلل أدناه-. تستخدم طرق استقرار ضفاف أو جوانب مجرى التدفق المائي التدفق الذي تم تناوله في هذا الباب (في الغالب تقنيات الدروع الصلبة التقليدية). وللوفاء بالمعايير التنظيمية، والتصاريح، والتخفيف المتعلق بالموائل، وجودة المياه، ومعدل النقل أو الصرف الموثوق به؛ يمكن تحسين كل طريقة من هذه الطرق، أو استخدامها مع النباتات الحية أو جذوع الأشجار أو حشوات الجذور أو غيرها من العناصر الطبيعية أو التسليح الصناعي الأرضي.

٩-١-١ السياسة:

ينبغي توفير نوع الإجراء المضاد المناسب ومقداره في المواقع المناسبة؛ إذا كان ينبغي منع تآكل جسر الطريق من أجل التصريف التصميمي. يمكن لمهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) استخدام التقنيات العامة -المذكورة أدناه- لمنع تآكل جسر الطريق:

- نقل الطريق بعيداً عن الجريان المائي أو الجسم المائي.
- تحريك الجسم المائي بعيداً عن الطريق (تغيير القناة).
- تغيير اتجاه التيار المائي مع أعمال التدريب.
- حماية الجسر من التآكل.

٢-١-٩ نظرة عامة:

تم تناول مبادئ التصميم المطبقة على جميع الأساليب ومبادئ التصميم لحدود الحماية في الأجزاء التالية من هذا الباب. هناك -أيضاً- إرشادات التصميم التالية من مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (FHWA, 2009):

- دكة الحجارة الصخرية؛ (الجزء ٩-٤).
- سلال أو صناديق السلك الفولاذي؛ (الجزء ٩-٥).
- صخور محشوة جزئياً وبالكامل؛ (الجزء ٩-٦).
- الهذارات المنحنية؛ (الجزء ٩-٧).

٣-١-٩ الرموز والتعاريف:

تتوفر الرموز والتعريفات المتغيرة عند إدخال معادلة أو إجراء.

٢-٩ مفاهيم التصميم:

يناقش هذا الجزء مفاهيم التصميم المتعلقة بتصميم حماية الضفاف؛ مثل: افتراض التدفق الموحد، وهندسية القطاع، ومقاومة التدفق.

١-٢-٩ افتراض التدفق الموحد:

تستند علاقات التصميم -المعروضة في هذا الباب- إلى افتراض التدفق المنتظم، والثابت، ودون الحرج. هذه العلاقات صالحة -أيضاً- لظروف التدفق المتغيرة تدريجياً. على الرغم من أن العلاقات الهيدروليكية الفردية المقدمة لا تنطبق -في حد ذاتها- على ظروف التدفق المتغيرة بسرعة، أو غير المستقرة، أو فوق الحرجة، فإنها تقدم إجراءات لتوسيع نطاق استخدامها؛ ليشمل ظروف التدفق هذه. وغالباً ما تواجه مناطق توسيع التدفق، وانكماش التدفق، والتدفق العكسي ظروف تدفق سريعة التحول، وغير مستقرة. هذه الظروف متكررة عند الجسور، وفي اتجاه المجرى المائي مباشرة. عند تضيق الجسور وعلى الميول الشديدة؛ تكون ظروف التدفق فوق الحرجة أو القريبة من الحرجة متكررة.

تختلف الاجهادات على حدود القناة -بشكل ملحوظ- عند وجود ظروف تدفق غير منتظمة، وغير مستقرة، وشبه فوق الحرجة، مقارنةً عند وجود تدفق موحد، وثابت، ودون حرج. هذه الاجهادات صعبة التحديد الكمي. توفر طريقة تصميم دكة الحجارة -الموصوفة في الجزء (٩-٤)- طريقة لحساب حالات عدم اليقين؛ الناتجة عن ظروف التدفق الأخرى في تصميم دكة الحجارة النهائي، وتستند إلى العلاقات المحسوبة للتدفق الثابت، والموحد، ودون الحرج. من خلال تخصيص عامل أمان؛ يُجرى التعديل. تحدد درجة عدم اليقين -المضمنة في ظروف كمية أو شدة التدفق التصميمي- حدود عامل الأمان.

٢-٢-٩ جيومترية القطاع:

إن تطوير قطاع قناة مناسب للتحليل أمر هامٌ للغاية. القصد من ذلك هو تطوير قطاع يحاكي -بشكل معقول- أسوأ حالة فيما يتعلق باستقرار حماية الجوانب.

يحتاج استدعاء منهجيات تصميم الباب إلى فهم هندسة قطاع القناة. لإنشاء معالم التصميم الهيدروليكي؛ مثل: (عمق التدفق، والعرض العلوي، والسرعة، ونصف القطر الهيدروليكي) التي تتطلبها أساليب تصميم دكة الحجارة الصخرية، وإنشاء قطاع عرضي للإنشاء لوضع مادة إعادة التركيب؛ فإن هندسة قطاع القناة أو المجرى المائي مطلوبة.

تحدد أشكال القناة -بشكل عام- لموقع معين؛ من خلال مراعاة الحق المتاح لطريق الطريق، وكمية التدفق المراد نقله. عادة ما تكون القنوات والمجاري المائية التي لا تتطلب تبطينات صلبة في وقت الإنشاء على شكل شبه منحرف. هذا الشكل يعتمد على أبعاد الميول الجانبية وعرض القاع.

القنوات على شكل (حرف V) معرضة للتآكل، ولها قدرات هيدروليكية منخفضة. عادة ما تشكل العملية الطبيعية للتآكل قناة بشكل شبه منحرف، غير مبطنة، إلى شكل مكافئ تقريبي.

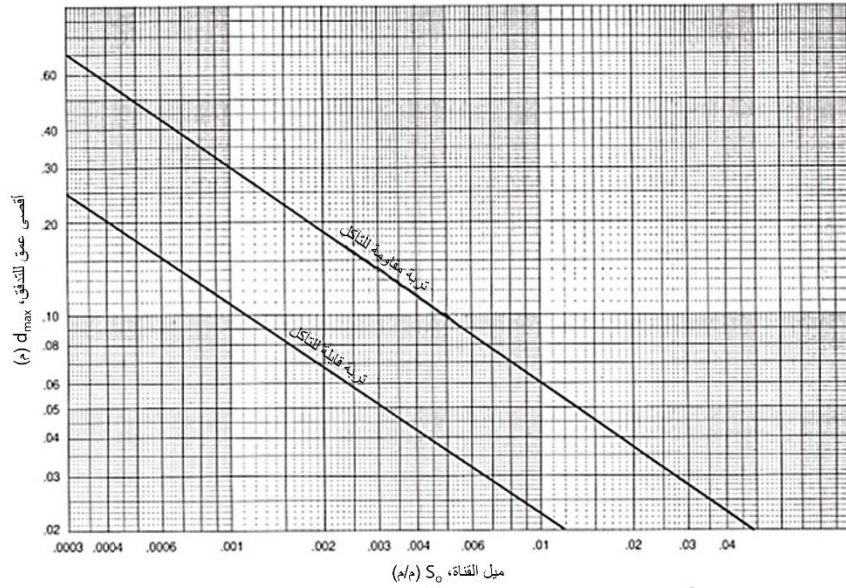
عادة ما تكون ظروف التربة المحلية، والميول، وأعماق التدفق؛ هي الاعتبار الأساس في تصميم القناة. نادراً ما تنشأ القنوات غير المبطنة -بميول جانبية أكثر انحداراً- من خطين أفقيين إلى رأسي واحد. الشكل المستطيل؛ هو الأكثر اقتصاداً في الإنشاء، ولكن استخدام هذا الشكل يقتصر -عادة- على المناطق ذات حرم الطريق المحدود، أو في مناطق خارج منطقة الاسترداد الواضحة؛ حيث يمكن تقليل مخاطر السلامة إلى الحد الأدنى.

٣-٢-٩ مقاومة التدفق:

الغرض الرئيس من تبطينات القناة؛ هو حماية القناة من ضغوط المياه المتدفقة المسببة للتآكل. يمكنهم -أيضاً- زيادة الكفاءة الهيدروليكية للقناة وتقليل متطلبات الصيانة. يمكن تصنيف التبطينات؛ على أنها: إما صلبة مثل: الخرسانة، أو مرنة: مثل طبقة من الحجارة؛ نظراً لأن تبطينات القنوات الصلبة -غالباً- ما تكون سلسلة نسبياً، ولها مقاومة هيدروليكية منخفضة، فهي تتمتع بقدرة عالية على مناطق مقطعية صغيرة. ومع ذلك، يتطور الفرك في نهاية هذه التبطينات الناعمة؛ ما يؤدي -عادةً- إلى سرعات تدفق أعلى. بالإضافة إلى أنها تمنع التسرب الطبيعي. عادةً ما يكون للتبطين الصلب تكاليف إنشاء أولية أعلى من تبطين القنوات والمجاري المائية المرن؛ نظراً لأن التبطينات الثابتة أو الصلبة معرضة للتآكل على طول حواف التبطين، والتلف الناتج عن القطع الهيدروديناميكي، فقد تكون تكاليف الصيانة كبيرة أيضاً. في المواقع التي تكون فيها المخاوف بشأن جودة المياه ذات أهمية قصوى؛ قد لا تكون التبطينات الصلبة مناسبة. يمكن نقل الملوثات من الجريان السطحي إلى المياه المترجعة، ولكن يمكن -أيضاً- إزالتها عن طريق التبطين المرن أو الخصري.

تعد تبطينات القنوات والمجاري المائية المرنة أقل تكلفة في الإنشاء، وتوفر خصائص علاج ذاتي تقلل من تكاليف الصيانة، وتسهل التسلسل والتسرب، وتوفر مظهرًا طبيعيًا أكثر أمانًا على جانب الطريق، وتكون أقل تكلفة في التركيب. تبطينات القنوات والمجاري المائية المرنة لها سعة محدودة؛ بسبب أقصى عمق للتدفق يمكن أن تحمله قبل التآكل. ومع ذلك، فإن التعديل الطفيف في تصميم القناة ينتج عنه القدرة المطلوبة عادةً. إذا كانت أعماق التدفق وأنواع التربة ضمن النطاقات المقبولة للنباتات؛ فيمكن استخدام العديد من أنواع الحشائش كتبطين قنوات مرنة دائم. لإنشاء العشب؛ يعد كل من التبخير أو البذر خيارين. على الرغم من أن الحصر النباتي يكلف -عادةً- أكثر من البذر، فإنه يتمتع بميزة توفير الحماية الفورية. غالباً ما تكون هناك حاجة إلى نوع من التبطين المؤقت؛ لمنع البذور والقناة من التآكل حتى ينشأ الغطاء النباتي.

أولاً: من أجل تحديد ما إذا كان تبطين القناة ضرورياً؛ يجب تحديد سعة القناة غير المبطنة. يسمح الشكل التالي للمهندس القائم بأعمال التصميم بحساب السعة.



الشكل (٩-١) سعة القناة غير المبطنة (FHWA, 2009).

- تميل التربة الرملية غير المتماسكة إلى أن تكون شديدة التآكل.
- يعد خليط الطمي الكبير من الحصى والحصى المقاوم للتآكل.
- مخالب من الطين الرملية والغرويات قابلة للتآكل بشكل معتدل.

هناك حاجة إلى تقدير معامل الخشونة (n) في مانينغ للتحليل الهيدروليكي الذي يجري كجزء من إجراء تصميم التعديل؛ من أجل حساب سعة القناة. تعد المواد الأساسية للقناة، وعدم انتظام السطح، والاختلافات في هندسة القطاع، وشكل القاع، والعوائق، والغطاء النباتي، وتعرج القناة، وعمق التدفق، وانحدار القناة من الخصائص الفيزيائية التي تستند إليها معادلات المقاومة. ينبغي -أيضاً- مراعاة الاختلافات الموسمية في هذه المعلمات.

ينبغي -أيضاً- تقدير معامل خشونة طبقة من الصخور؛ باستخدام حجم جسيم تمثيلي.

- يوصي (1994) USACE باستخدام معادلة ستريكلر $n = K(D_{90})^{1/6}$ حيث $K = 0.34$ لحسابات سرعة الجريان وحجم الحجر، و $K = 0.38$ لحسابات اللوحة الحرة.
- تتضمن إدارة الطرق الاتحادية مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٠ (٢٠١٢) معادلة ستريكلر من حيث D_{90} ومعادلة ليمور بدلالة D_{84} .
- تتضمن إدارة الطرق الاتحادية مركز الدراسات الهيدرولوجية - ١٥ (٢٠٠٤) معادلات بلودجيت، المستمدة من ملاحظات القناة الطبيعية.

٣-٩ إرشادات التصميم لحدود الحماية:

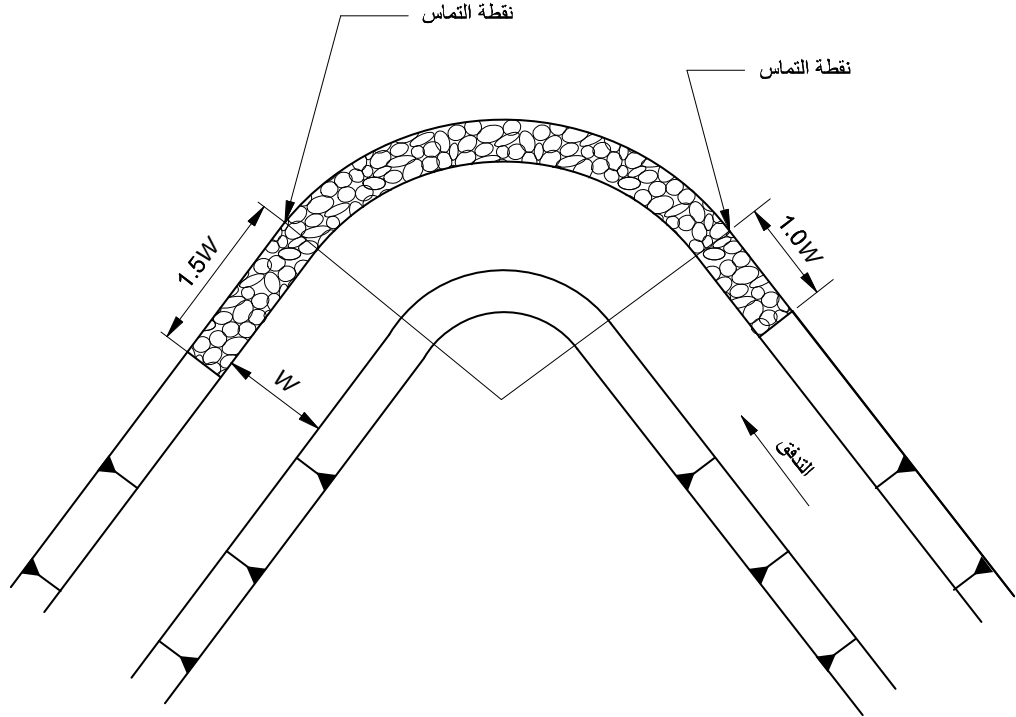
تشير عبارة (مدى الحماية) إلى مقدار الحماية المطلوبة رأسياً وطولياً (الجزء الفرعي ٩-٣-١)؛ لحماية ضفاف أو جوانب مجرى التدفق المائي للقناة بشكل كافٍ. يضمن كل من الارتفاع التصميمي (الجزء الفرعي ٩-٣-٢)، والخلوص الرأسي (الجزء الفرعي ٩-٣-٣)، وموجة الصعود (الجزء الفرعي ٩-٣-٤)، وعمق الطرف السفلي (الجزء الفرعي ٩-٣-٥)، والتعليق الجانبية اللازم للتدفق في الانحناءات، في الجزء الخاص بالامتداد الرأسي (الجزء الفرعي ٩-٣-٦).

٩-٣-١ الامتداد الطولي:

عرض قناة واحدة في اتجاه المنبع، و ١,٥ عرض قناة في اتجاه المجرى المائي من الخطوط المرجعية المقابلة؛ هي المسافات الدنيا الموصى بها لحماية الجوانب؛ (انظر: الشكل ٩-١). عند مدخل المنحنى أو مخرجه؛ تنتقل جميع الخطوط المرجعية عبر المماسات إلى المنحنى. تعتمد هذه المواصفة على تحليل ظروف التدفق في انحناءات القناة المتماثلة في ظل ظروف المختبر المثالية. نادراً ما تكون الظروف في الحياة الواقعية بهذه البساطة. يمكن تحديد مدى القيود الطولية؛ من خلال الملاحظات الميدانية.

يمكن أن يكون لبعض عناصر التحكم في القناة؛ مثل: دعائم الجسر، تأثير مثبت بالفعل في المنحنى، ما يتطلب تثبيتاً جزئياً فقط. بالإضافة إلى ذلك، قد يؤدي حجم أو طبيعة حدث التدفق - فقط - إلى حدوث مشكلات تآكل في منطقة صغيرة جداً من المنحنى، ما يستلزم تثبيت طول القناة قصير نسبياً. نتيجة لذلك، ينبغي أن تكون المتطلبات المذكورة أعلاه بمنزلة نقطة انطلاق فقط. لتحديد المستوى الدقيق للحماية المطلوبة؛ من الضروري إجراء مزيد من التحقيق في العناصر الخاصة بالموقع.

يمكن استخدام الندوب الموجودة على ضفاف أو جوانب القناة أو المجرى المائي؛ لتحديد حد المنبع للتآكل في أجزاء القناة المنحنية. لتحديد حد الحماية؛ ينبغي ضرب مدى التآكل في المنبع المقيس بعرض قناة واحد على الأقل. من الصعب تحديد حد حماية المصب المطلوب في زمن التدفق أو الجريان في القناة أو المجرى المائي المنحني. يمكن أن لا يشير الحد المرئي الحالي للتآكل إلى الحد النهائي؛ لأن تآكل ضفاف أو جوانب قنوات الصرف يتقدم بشكل طبيعي في اتجاه القناة أو المجرى المائي. قد يكون من الضروري إجراء بحث إضافي بناءً على أنماط التدفق في منحنى القناة.



الشكل (٢-٩) الامتداد الطولي لحماية الحواجز، (FHWA, 2009).

٢-٣-٩ الارتفاع التصميمي:

يجب أن يكون الارتفاع التصميمي للحاجز مساوياً لمنسوب ارتفاع المياه التصميمي مضافاً إليه ٣٠ سم كخلوص رأسي؛ (انظر: الجزء الفرعي ٣-٣-٩). تُقدم الخلوص الرأسي؛ لضمان ألا يؤدي أي مما يلي إلى تقويض مستوى الحماية المناسب:

- صعود الموجة؛ (انظر: القسم ٤-٣-٩).
- التعلية الجانبية في انحناءات القناة؛ (انظر: القسم ٦-٣-٩).
- القفزات الهيدروليكية في القنوات شديدة الانحدار؛ (انظر: مركز الدراسات الهيدرولوجية - ١٤، إدارة الطرق الاتحادية، ٢٠٠٦).
- عدم انتظام التدفق؛ بسبب الركائز، والانتقالات، وتقاطعات التدفق.

بالإضافة إلى ذلك، عند تحديد ارتفاعات الخلوص الرأسي؛ يجب مراعاة الأحداث غير المتوقعة؛ مثل: التسوية غير المتوقعة للجسر، وتراكم الطمي، والقمامة، والحطام في القناة، والنباتات المائية، أو غيرها من النباتات في القنوات، وتدفقات الجليد.

٣-٣-٩ الخلوص الرأسي:

الخلوص الرأسي؛ هو المسافة العمودية أو الرأسية بين مستوى سطح الماء عند كمية أو شدة التدفق التصميمي وأعلى القناة. يجب توفير ٠,٢ متر من الخلوص الرأسي للخنادق على جانب الطريق. وبالنسبة للقنوات الصغيرة؛ يجب توفير ٠,٣ متر من الخلوص الرأسي.

ينبغي أن يأخذ اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب ارتفاع الخلوص الرأسي المناسب في الاعتبار، ومجموعة متنوعة من المعايير؛ مثل: (عمق المياه في المنبع والمصب، وهندسة القطاع العرضي للقناة). في المناطق غير المقيدة؛ يُنصح باستخدام ارتفاع الخلوص الرأسي من ٣٠٠ - ٦٠٠ ملم، و ٣٠٠ - ٩٠٠ ملم بدلاً من ذلك.

ينبغي استخدام الارتفاع الأعلى عندما تشير العمليات الحسابية إلى أن الخلوص الرأسي الإضافي يمكن أن يكون ضرورياً. علاوة على ذلك، يُنصح مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) بفحص ظروف الموجة والتدفق على مدار العام - إذا كان ذلك ممكناً، والرجوع إلى السجلات التاريخية، والتحدث مع الأشخاص الذين لديهم معرفة مباشرة بالظروف السابقة.

٤-٣-٩ موجة التشغيل:

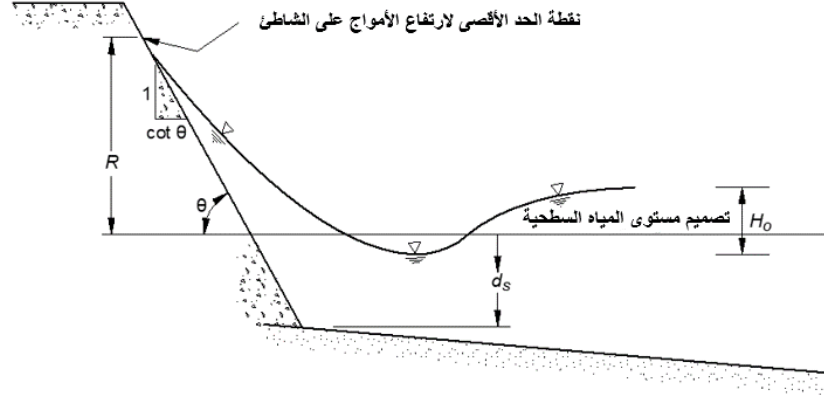
من الصعب تقدير ارتفاعات الأمواج الناتجة عن الرياح والقوارب أكثر من مصادر الأمواج الأخرى. يوضح الشكل (٣-٩) مخططاً محدداً لمناقشة ارتفاع الموجة. يفضل تقدير ارتفاع الموجة الناتجة عن القوارب من الملاحظات. يؤثر ارتفاع الموجة، وفترة الموجة، وزاوية الجوانب، ومزايا سطح الجوانب في كيفية ارتفاع الموجات؛ (كما هو موضح بمواد إعادة الحواجز المختلفة). باستخدام الشكل (٣-٩)، والجدول (١-٩)؛ يمكن حساب ارتفاع الموجة لارتفاعات الموجة الأقل من ٦٠٠ مم. ارتفاع تشغيل الموجة (R) المعطى في الشكل (٣-٩)، و(٤-٩) مخصص للرصف الخرساني. وترد عوامل التصحيح في الجدول (١-٩)؛ لتقليل حجم التراكم لمواد التصحيح الأخرى. يضرب عامل التصحيح في ارتفاع الموجة؛ لغرض الحصول على الارتفاع الناتج عن تشغيل الموجة .

٥-٣-٩ عمق الطرف السفلي:

إحدى العمليات الرئيسية لفشل حاجز الحماية؛ هي تقويض الطرف السفلي. مطلوب تقديرات لعمق النحت عند تصميم حماية الجوانب؛ حيث يمكن وضع الطبقة الواقية منخفضة بما يكفي في المجرى المائي لمنع التقويض. ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار؛ تدهور القناة، وعمليات التنظيف، والتعبئة الطبيعية، والعمق النهائي للنظافة. ينبغي استخدام عمق التضمين -بحد أدنى ١,٥ متر- في القنوات الطبيعية.

الجدول (١-٩) عوامل التصحيح للموجة تشغيل؛ (FHWA, 2009).

عامل التصحيح	طريقة التنسيب	سطح الميل (نوع المادة)
١,٠٠	—	الرصف الخرساني
٠,٩٠	رُكبت	الكتل الخرسانية (الفراغات أقل من ٢٠٪)
٠,٧٠	رُكبت	الكتل الخرسانية (الفراغات أقل من ٤٠٪ وأكثر من ٢٠٪)
٠,٥٠	رُكبت	الكتل الخرسانية (الفراغات أقل من ٦٠٪ وأكثر من ٤٠٪)
٠,٩٠ - ٠,٨٥	—	العشب
٠,٦٠ - ٠,٥٠	عشوائية	دكة الحجارة بالصخور (الزاوي).
٠,٦٥ - ٠,٦٠	عشوائية	دكة الحجارة بالصخور (دائري).
٠,٩٠ - ٠,٨٥	وضع يدوي	دكة الحجارة بالصخور
٠,٩٠	—	دكة الحجارة المحشوة بالملاط
٠,٨٠	—	جدران حجرية مغلقة بالأسلاك/ صخور معبأة في سلال فولاذية



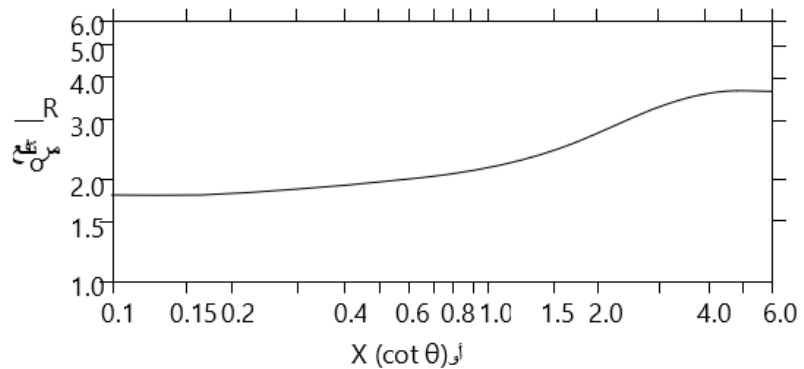
الشكل (٩-٣) رسم تعريف ارتفاع الموجة، (FHWA, 2009).

حيث إن:

R	=	موجة الصعود؛ م.
d_s	=	عمق الماء عند طرف الميل السفلي؛ م.
H_o	=	ارتفاع الموجة؛ م.
SWL	=	مستوى المياه السطحية.
θ	=	زاوية الضفة مع الأفقي، بالدرجات.



متوسط ارتفاع تشغيل) $R = W$
متوسط الارتفاع) $H_o = W$
زاوية مع الأفقي θ = الضفة



ملحوظة: يُشير مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (إرشادات التصميم ١٧، (FHWA, 2009)) إلى أنه يمكن حساب الحد الأعلى من $R = (rH_o)^{3,2}$

الشكل (٩-٤) موجة الصعود على الميول الملساء غير المنفذه، (FHWA, 2009).

يمكن استخدام العلاقات المعروضة في المعادلتين (١-٩) و (٢-٩)، المأخوذة من (USGS, 1986) WRIR 86-4127 ؛ لأغراض التخطيط، ولتقدير أقصى عمق محتمل للتجريف؛ بسبب ظاهرة النحت الطبيعي، والملاء في قنوات مستقيمة، وفي القنوات ذات الانحناءات الخفيفة في غياب تحليل هيدروليكي أكثر تعمقاً. عند التقديم؛ يجب حساب عمق الفرق (ds) بدءاً من أدنى ارتفاع للقطاع العرضي. هذا يبرره افتراض أن النقطة المنخفضة في قطاع القناة أو المجرى المائي ستنتقل في النهاية بالقرب من الحماية:

$$d_s = 3.66 \text{ m for } D_{50} < 1.5 \text{ mm} \quad \text{المعادلة (١-٩)}$$

$$d_s = 6.5 D_{50}^{-0.11} \text{ for } D_{50} \geq 1.5 \text{ mm} \quad \text{المعادلة (٢-٩)}$$

حيث إن:

d_s = أقصى عمق محتمل للتجريف؛ (م).

D_{50} = القطر المتوسط لمادة السطح السفلي؛ (م).

٦-٣-٩ التعلية الجانبية في منحنيات القناة:

يؤدي تشويه أنماط التدفق بالقرب من انحناءات القناة إلى جعل ظروف التدفق أكثر تعقيداً. عندما تنحني القناة؛ تخلق قوى الطرد المركزي تيارات ثانوية تؤدي إلى ظروف تدفق غير منتظمة وغير متماثلة. هذا مخالف للقنوات الطويلة والمستقيمة -نسبياً- حيث تكون ظروف التدفق موحدة ومتماثلة في الخط المركزي للقناة.

عامل حاسم آخر في تصميم الإضافات؛ هو رفع مستوى التدفق عند انحناءات القناة. يمكن استخدام المعادلة (٣-٩) للتنبؤ بمقدار التعلية الجانبية عند انحناء القناة للتدفق دون الحرج وذلك عند تحديد قيود الخلوص الرأسي لخطط حماية ضفاف أو جوانب قنوات الصرف في الانحناءات الحادة -على الرغم من أن حجم التعلية الجانبية صغير جداً مقارنة بعمق التدفق الكامل في المنحنى (عادةً أقل من ٣٠٠ ملم) لذا ينبغي أن يؤخذ ذلك في الاعتبار.

$$Z = C [(V_a^2 T)/(g R_o)] \quad \text{المعادلة (٣-٩)}$$

حيث إن:

Z = ارتفاع التعلية الجانبية لسطح الماء؛ م.

C = المعامل الذي يربط حركة الدوامة الحرة بسرعة الجريان، أو التدفق يبسط لنصف قطر غير متساو للانحناء. يتراوح C من ٠,٥ إلى ٣,٠، بمتوسط قيمة ١,٥ (FHWA, 2009).

V_a = متوسط سرعة القناة؛ م/ث.

T = عرض سطح الماء في القطاع؛ م.

g = تسارع الجاذبية؛ ٩,٨١ م/ث^٢.

R_o = متوسط نصف قطر الخط المركزي للقناة عند المنحنى؛ م.

٤-٩ إرشادات تصميم حواجز دكة الحجارة الصخرية:

تتوفر إرشادات تصميم دكة الحجارة بكسر الصخر في هذا الجزء. تقدم إرشادات لمعالجة الحواف، ومخاوف الإنشاء، وتصميم المرشح، وحجم الصخور، وتدرج الصخور، وسلك طبقة دكة الحجارة، وميل الضفة. بالإضافة إلى ذلك، تتوفر الرسوم التوضيحية لميزات الإنشاء المشتركة. عادة ما تنطبق التوصيات المذكورة على كل من الصخور وركام دكة الحجارة.

١-٤-٩ حجم دكة الحجارة الصخرية:

دكة الحجارة؛ عبارة عن: كسر حجر متشابك، يوضع على قناة معدة بطريقة لا يحدث الفصل. دكة الحجارة؛ هي تبطين مرن، يمكن استخدامه في كل من المجاري المائية الكبيرة، وقنوات صرف المياه الصغيرة. نظرًا لمرونته؛ فقد يتكيف دكة الحجارة بالصخور مع تآكل المواد المتواضع أو الترسيب غير المستوي لقناة بمظهر طبيعي، و يمكن أن ينمو الغطاء النباتي عبر الصخور؛ ما يمنحها بعض الاستقرار الإنشائي.

يمكن استخدام معادلة EM ١١١٠-٢-١٦٠١ بتدفق منتظم أو متغير تدريجيًا. تضمن المعاملات لحساب عامل الأمان المطلوب للتصميم، والثقل النوعي لدكة الحجارة، وميل الجوانب، وخصائص الانحناء. معادلة (EM ١١١٠-٢-١٦٠١)، التي يمكن حلها باستخدام صندوق الأدوات الهيدروليكي (إدارة الطرق الاتحادية)؛ هي:

$$D_{30} = y(S_f C_s C_v C_T) \left[\frac{(V_{des})}{\sqrt{K_1 (S_g - 1) g y}} \right]^{2.5} \quad \text{(المعادلة ٤-٩)}$$

حيث إن:

D_r = حجم الجسيمات التي تكون ٣٠٪ أدق من حيث الوزن؛ م.

y = العمق المحلي للتدفق فوق الجسيم؛ م.

S_f = عامل الأمان (يجب أن يكون $< ١,٠$).

C_s = معامل الاستقرار (لسمك الغطاء = $١,٥ D_{٥٠}$ or $D_{١٠٠}$ ، أيهما أكبر، ونسبة الانتظام $D_{٨٥}/D_{١٥} = ١,٧$ إلى $٥,٢$)

$= ٠,٣٠$ للصخور الزاوية.

$= ٠,٣٧٥$ للصخور المستديرة.

C_v = معامل توزيع السرعة.

$= ١,٠$ للقنوات المستقيمة أو داخل الانحناءات.

$= ١,٢٨٣ - ٠,٢$ سجل (R_c/W) للخارج من الانحناءات $(١,٠ \leq R_c/W < ٢٦)$.

$= ١,٢٥$ المصب من القنوات الخرسانية.

$= ١,٢٥$ في نهاية السدود.

C_T = معامل سمك الحصى المعطى كدالة لنسبة الانتظام $D_{٨٥}/D_{١٥}$. يوصى باستخدام $١,٠$ ؛ C_T ؛ لأنه يعتمد على بيانات محدودة للغاية.

V_{des} = سرعة الجريان المميز للتصميم، المعرفة على أنها: سرعة الجريان المتوسط للعمق عند نقطة ٢٠٪ صعودًا من العمق السفلي للحاجز؛ متر لكل ثانية:

$$V_{des} = V_{avg} (١,٧٤ - ٠,٥٢ \log(R_c/W)) \quad \text{للقنوات الطبيعية:}$$

$$V_{des} = ٠,٩٠ V_{avg} \quad \text{for } R_c/W > ٤٢$$

$$V_{des} = V_{avg} (١,٧١ - ٠,٧٨ \log(R_c/W)) \quad \text{للقنوات شبه المنحرفة:}$$

$$V_{des} = ٠,٨٢ V_{avg} \quad \text{for } R_c/W > ١٤$$

V_{avg} = متوسط سرعة قطاع القناة أو المجرى المائي للقناة؛ متر لكل

ثانية.

K_1 = عامل تصحيح الميل الجانبي.

$$= \sqrt{1 - \left(\frac{\sin(\theta - 14^\circ)}{\sin(32^\circ)} \right)^{1.6}}$$

حيث إن θ هي زاوية الضفة بالدرجات.

R_c = نصف قطر الخط المركزي لانحناء قناة الانحناء؛ م.

W = عرض سطح الماء عند نهاية المنبع لانحناء القناة؛ م.

S_g = الثقل النوعي لطبقة الصخور.

g = تسارع الجاذبية، ٩,٨١ متر لكل ثانية مربعة.

باستخدام تدرجات طبقة الصخور الموصى بها من مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (FHWA, 2009)؛ يرتبط حجم D_{٣٠} من طبقة الصخور - المحدد بواسطة المعادلة ٩-٥ - بالحجم المتوسط الموصى به (D_{٥٠})؛ من خلال:

$$D_{50} = 1.20D_{30} \quad \text{المعادلة (٩-٥)}$$

عمق التدفق المحلي فوق الجسم؛ هو عمق التدفق (y) المستخدم في المعادلة (٩-٥). وبالنسبة لتطبيقات إعادة الإيداع الجانبية؛ عادةً ما يستخدم عمق التدفق عند أسفل الميل، بدلاً من ذلك يمكن استخدام متوسط عمق القناة؛ نظراً لأن حجم طبقة الصخور يتناسب عكسياً مع $y^{٠.٢٥}$ ، فإن أصغر هذه القيم سينتج حجم D_{٣٠} تقديرياً أعلى قليلاً. صُممت طبقة الصخور؛ عن طريق تحديد متوسط حجم الحجر D_{٥٠} للميل، حيث يكون D_{٥٠} هو قطر الجسم الذي يكون ٥٠٪ من الخليط (رواسب صلبة مع المياه في شكل عجينة) أدق من حيث الوزن، ويعطى بالأمتار.

وبالنسبة لتطبيقات طبقة الصخور النموذجية، حيث يكون السُمْك مساوياً لـ ١,٥ D_{٥٠} أو D_{١٠٠}، أيهما أكبر؛ يكون معامل سمك الحصى ١,٠ (C_T). نظراً لعدم توافر الكثير من المعلومات لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب؛ قيم التصوير القطاعي المحسوب المنخفض C_T عند استخدام طبقة الصخور الأكثر سمكاً، يُعد الإصدار ١,٠ خياراً معقولاً لجميع التطبيقات. وبالنسبة لإعادة سداد الجوانب؛ يُنصح باستخدام عامل أمان (Sf) قدره ١,١. ينبغي أن تؤخذ القيم الأكبر في الاعتبار؛ عندما يكون هناك احتمال كبير لتكوين الجليد، أو تأثير كبير للحطام، أو عندما يقل حجم الجسيمات - بشكل كبير - عن طريق تدهور ذوبان الجليد، أو عندما يكون هناك الكثير من عدم اليقين في متغيرات التصميم - خاصة السرعة.

تحتوي المعادلة ٩-٤ على قيود تتمثل في أن الميل الطولي للقناة ينبغي ألا يكون أكثر انحداراً من (٠,٠٢ م/م). ينبغي أن يؤخذ نهج حجم دكة الحجارة للتدفقات الفوقية في الاعتبار للقنوات الأكثر حدة، وينبغي التحقق من النتائج باستخدام المعادلة ٩-٤؛ (انظر: HEC-23، إرشادات التصميم ٥). إذا سمحت معايير التصميم والاعتبارات المالية؛ يمكن اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب لفئة الحجم القياسي - وذلك بمجرد تحديد حجم التصميم. من خلال اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب لفئة الحجم الأكبر التالية عند استخدام الأحجام القياسية؛ يمكن الحصول على الميل المناسب، ما يؤدي إلى بنية مفرطة التصميم قليلاً. يستخدم مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ لتحديد فئات الحجم الموصى بها، وخصائص الميل (FHWA, 2009).

٩-٤-٢ زاوية الضفة:

لا ينبغي أن تنحدر مصارف طبقة الصخور عادة أكثر من ١:١,٥ (رأسي: أفقي). على الرغم من أنها يمكن أن تحتاج إلى تخطيط محدد، فإنه يمكن إنشاء ميول أكثر حدة.

٩-٤-٣ سمك دكة الحجارة الصخرية:

يجب أن تبرز أحجار كبيرة (قليلة أو معدومة) فوق سطح مصفوفة طبقة الصخور، ويجب احتواء جميع الأحجار داخل سُمْك طبقة الصخور. في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (FHWA, 2009)؛ يُنصح بالمواصفات التالية لحاجز دكة الحجارة:

- ١- يجب ألا تقل سماكة الطبقة عن القطر الكروي للحجر D_{١٠٠}، أو أقل من ١,٥ مرة من القطر الكروي لحجر D_{٥٠}، أيهما ينتج عنه سُمْك أكبر.
- ٢- للتركيب العملي؛ ينبغي ألا يقل سُمْك الطبقة عن ٣٠٠ مم.
- ٣- لحساب حالات عدم اليقين المتعلقة بالتنسيب؛ تجب زيادة سماكة الطبقة المقدرة، إما بالمواصفة ١ أو ٢ أعلاه بنسبة ٥٠٪ عند وضع دكة الحجارة بالصخور تحت الماء.

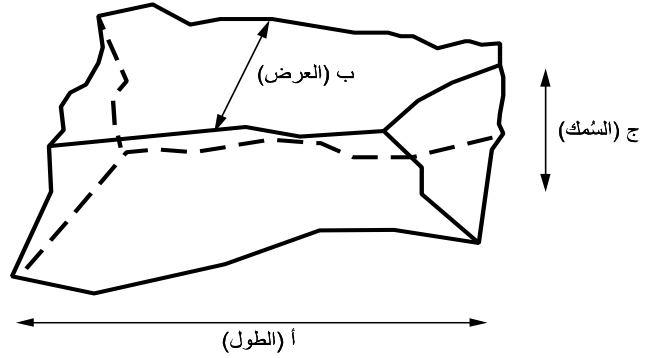
٩-٤-٤ تدرُّج دكة الحجارة الصخرية:

غالبًا ما ينتج الحجم المطلوب للحجر لتحقيق أداء مستقر تحت أحمال التصميم؛ من خلال أساليب تصميم طبقة الصخور. يتحدد الحجم المطلوب للحجر -في بعض الأحيان- من حيث الحد الأدنى المسموح به للحجم التمثيلي؛ لأن الحجر يصنع ويسلم في مجموعة متنوعة من الأحجام والأشكال. الحد الأدنى من D_{٥٠} أو D_{٣٠} للصخور التي تتكون منها طبقة الصخور -على سبيل المثال- يمكن تحديده بواسطة مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي). يحدد هذا الحجم الذي يكون فيه ٥٠٪ أو ٣٠٪ (بالوزن) من الجسيمات أصغر. يمكن استخدام الشدة المعروفة (أو المفترضة) للجسيم، والاتصال الثابت بين الحجم والحجم؛ لتحديد أحجام الحجر من حيث الوزن (على سبيل المثال، W_{٥٠} أو W_{٣٠}). عادةً ما تُستخدم مجموعة من التدرجات المنتظمة، المعروفة باسم تدرجات طبقة الصخور. ينبغي أن تتراوح نسبة التوحيد D_{٨٥}/D_{١٥} لكل ميل قياسي (فئة) من ١,٥ إلى ٢,٥. استناداً إلى نسبة التوحيد ٢؛ تضمن الفئات والدرجات

المقترحة في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (وفقاً لدراسة أجريت من قبل إدارة الطرق الاتحادية، ٢٠٠٩).

٥-٤-٩ شكل دكة الحجارة بالصخور:

يمكن استخدام ثلاثة محاور قياس: رئيسية، ومتوسطة، وثانوية، يشار إليها -عادةً- بالمحاور A و B و C؛ لتحديد شكل الحجر بشكل عام.



الشكل (٥-٩) الخصائص الهندسية لشكل الحجارة (FHWA, 2009).

يجب ألا تكون الحجارة أو الأنقاض المستخدمة في دكة الحجارة بالصخور طويلة وشبيهة بالإبرة، ولا ينبغي أن تكون رفيعة وذات رقائق؛ نظراً لأن المحور B يقع في منتصف الطريق بين طرفي الطول (A) والسُمك (C)؛ فإن تحديد القيمة القصوى المسموح بها للنسبة A/C -والمعروفة -أيضاً- باسم عامل الشكل- يعطي قياساً معقولاً لشكل الجسيمات. ٣,٠ هو الحد الأقصى المسموح به للقيمة:

$$A/C \leq 3.0 \quad \text{المعادلة (٦-٩)}$$

يوصى باستخدام أحجار زاوية غير مصقولة لتطبيقات دكة الحجارة بالصخور؛ لأنها تتشابه بإحكام أكثر، وتنتج ثباتاً أفضل من الجسيمات المستديرة التي لها الوزن نفسه.

٦-٤-٩ كثافة طبقة الصخور:

الجاذبية النوعية (S_g)، هي مقياس كثافة الصخور الطبيعية؛ وهي نسبة كثافة جسيم صخري واحد (γ_s صلب) إلى كثافة الماء γ_w

$$S_g = \gamma_s / \gamma_w \quad \text{المعادلة (٧-٩)}$$

الحد الأدنى من الثقل النوعي ٢,٥ مطلوب حسب المواصفات لتطبيقات دكة الحجارة. عندما ينتج مَحْجَرٌ ما باستمرار صخوراً ذات جاذبية نوعية أعلى -بشكل ملحوظ- من ٢,٥ (على سبيل المثال: الدولوميت، حيث $S_g = ٢,٧$ إلى ٢,٨)؛ فمن الممكن تقليل حجم الحجر المكافئ بشكل كبير مع الحفاظ على نفس ميل وزن الجسيمات.

٧-٤-٩ وزن دكة الحجارة:

بناءً على الدراسات الميدانية؛ تعطى العلاقة الموصى بها بين الحجم والوزن من خلال:

$$W = 0.85(\gamma_s d^3) \quad \text{المعادلة (٨-٩)}$$

حيث إن:

W = وزن الحجر؛ (كـلـغ).

$\gamma =$ شدة الحجر؛ (كجم/م^٣).

$d =$ حجم المحور المتوسط (ب)؛ (م).

٨-٤-٩ متطلبات المرشح:

من الضروري توفير مرشح بين مادة طبقة الصخور والمواد الأساسية. المرشح؛ عبارة عن: طبقة منفصلة من القماش أو الحصى أو الأحجار الصغيرة الموضوعة بين تربة الأساس والهيكل. يسمح المرشح بإطلاق الضغوط الهيدروستاتيكية داخل التربة، ويمنع هجرة جزيئات التربة الصغيرة عبر الفجوات الإنشائية، كما أنها توزع وزن الوحدات المدرعة بالتساوي؛ من أجل تسوية أكثر اتساقاً. استُبدلت المرشحات الحبيبية -في الغالب- بمرشحات التغطية الأرضية في معظم التطبيقات.

من المهم التعرف على الدور الذي يلعبه المرشح في تثبيت طبقة الصخور. يمكن دمج حماية طبقة الصخور مع مرشحات التغطية الأرضية والمرشحات الحبيبية. وعند استخدام مرشح الحجر الحبيبي؛ ينبغي أن تكون الطبقة -على الأقل- أربعة أضعاف سمك D_{50} لحجر المرشح، أو ١٥،٠ متر، أيهما أكبر. ينبغي مضاعفة سمك المرشح الحبيبي عند غمره في الماء.

ينبغي أن يلتقط المرشح جزيئات القاعدة الترابية الأكبر، مع استمرار نفاذه بحرية -وبدرجة كافية- للسماح بالتسرب. ومن المفيد في الواقع -السماح للجسيمات الأصغر بالتدفق عبر المرشح، تاركة وراءها ركيكة أكثر خشونة، بدلاً من الاحتفاظ بجميع أحجام الجسيمات في الطبقة السفلية. تقدم الجوانب التفصيلية لتصميم المرشح، في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ ؛ (FHWA, 2009) إرشادات التصميم ١٦، و FHWA، وإرشادات التصميم وإنشاء التسليح الصناعي الأرضي (١٠).

إجراءات تركيب المموه الأرضي من أجل أداء أعمال التغطية الأرضية بشكل فعال؛ ينبغي تثبيتها، مع مراعاة تدابير السلامة التالية:

- منطقة الانحدار وإزالة الحطام؛ لتوفير سطح أملس ومتساوي إلى حد ما.
- ضع مادة التغطية الأرضية بشكل غير محكم، وضعها مع اتجاه الماكينة (لفة بشكل عام) في اتجاه تدفق أو حركة المياه المتوقعة.
- التماس أو تداخل التغطية الأرضية حسب الحاجة.

٩-٤-٩ مثال تصميمي:

معطى: ستُصمم طبقة الصخور لقناة طبيعية، بعرض ٣٠،٥ مترًا، على منحني يبلغ نصف القطر (R_c) عند الخط المركزي ١٥٣ مترًا. نصف قطر الانحناء مقسومًا على العرض (R_c/W) هو ٥،٠. سيكون للغطاء ميل جانبي ١:٢ (رأسي: أفقي، أي، ٢٦،٦ درجة)، وسيكون لطبقة الصخور الزاوية ثقل نوعي ٢،٥٤. مطلوب عامل أمان (S_f) يساوي ١،٢. حُدِّد التجريف السفلي على الجزء الخارجي من المنحني؛ ليكون ٧٦ سم خلال حدث التصميم. $C_T = ١،٠$.

تم الحصول على البيانات التالية من النمذجة الهيدروليكية لحدث التصميم:

- متوسط سرعة القناة = ٢،١٩ متر؛ لكل ثانية.
- عمق التدفق السفلي في الضفة = ٣،٥ متر.

الحل:

الخطوة ١: احسب عامل تصحيح الميل الجانبي.

$$K_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin(\theta - 14^\circ)}{\sin(32^\circ)} \right)^{1.6}} = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin(26.6^\circ - 14^\circ)}{\sin(32^\circ)} \right)^{1.6}} = 0.87$$

الخطوة ٢: حدد معامل الثبات المناسب لطبقة الصخور الزاوية: $C_s = ٠،٣٠$.

الخطوة ٣: احسب عامل سرعة الجريان العمودي أو الرأسى (C_v) لـ $R_c/W = ٥،٠$:

$$C_v = 1.283 - 0.2 \log(R_c/W) = 1.283 - 0.2 \log(5.0) = 1.14$$

الخطوة ٤: احسب سرعة الجريان المحلي على الميل الجانبي (V_{des}) لقناة طبيعية مع $R_c/W = ٥،٠$:

$$V_{des} = V_{avg}[1.74 - 0.52 \log(R_c/W)] = 2.19[1.74 - 0.52 \log(5.0)] = 3 \text{ m/s}$$

$$V_{des} = V_{avg}[1.74 - 0.52 \log(R_c/W)] = 2.19[1.74 - 0.52 \log(5.0)] = 9.9 \text{ ft/s}$$

الخطوة ٥: احسب حجم D_{30} باستخدام المعادلة ١٨،٤:

$$D_{30} = y(S_f C_s C_v C_T) \left[\frac{(V_{des})}{\sqrt{K_1 (S_g - 1) g y}} \right]^{2.5}$$

$$= 3.5(1.2)(0.30)(1.14)(1.0) \left[\frac{3}{\sqrt{(0.87)(2.54 - 1)(32.2)(3.5)}} \right]^{2.5}$$

$$= 0.19 \text{ m}$$

الخطوة ٦: احسب حجم D_{50} لميل مستهدف $D_{50} = 2.0$:

$$D_{50} = 1.2 D_{30} = 1.2(0.19) = 0.23 \text{ m}$$

الخطوة ٧: حدد فئة دكة الحجارة التي توفر $D_{50} = 0.23 \text{ m}$.

الخطوة ٨: حدد عمق طبقة الصخور -أسفل المجرى المائي- عند أسفل ميل الضفة.

نظرًا لأنه من المتوقع أن يبلغ طول التجريف السفلي ٠.٧٦ م؛ ينبغي تمديد ميل 1V:2H أسفل مستوى الطبقة الطبيعية ١.٥ م -أفقياً- من الأسفل؛ لاستيعاب هذا التجريف. يمكن -بالتناوب- إنشاء دكة حجارة سفلية متعرجة بارتفاع ٠.٧٦ م، عند قاعدة الميل، والسماح له بالانطلاق الذاتي.

٩-٥ إرشادات تصميم الجدران الحجرية ذات النسيج السلكي:

الإرشادات التالية مأخوذة من مركز الدراسات الهيدرولوجية -٢٣ (إرشادات التصميم ١٠). يمكن استخدام صندوق الأدوات الهيدروليكي إدارة الطرق الاتحادية (٢٠٠٩)؛ وفقاً لدراسات أجراها فيلق القوات البرية الأمريكي الهندسي لتصميم هذا النوع من الجدران الحجرية. تعتبر الأقفاص (أو السلال، أو الصناديق) الشبكية السلكية المستطيلة المليئة بالصخور، وفرشة السلك والحصى والحبيبات (الكتل الصخرية المطوّقة بالأسلاك) أحد الأنواع المستخدمة في جدران الاحتجاز الحجرية ذات النسيج السلكي. فرشة السلك الفولاذي والكتل الصخرية المكسدة في السلال؛ هما: النوعان الأكثر شيوعاً. تنتج الشركات التجارية النسيج السلكي المستخدم في إنشاء فرشة و سلال الجدار الحجري. يمكن -أيضاً- تصنيع السلال السلكية من مواد سياج سلكية؛ يسهل الوصول إليها، في حال الرغبة في ذلك. ترتب سلال أو وحدات من الأسلاك المسطحة المملوءة بالصخور من طرف إلى طرف ومن جانب إلى آخر، على قاعدة قناة، أو على ضفاف أو جوانب مجرى التدفق المائي مهتأة، لتشكيل قاعدة فرشة الصخور والأسلاك. يُنشأ النسيج السلكي المستمر بتوصيل أجزاء الفرشة المختلفة معاً. غالباً ما تُستخدم كبلات أرضية أو على ميول أقل من ٢:١. الأحجام التجارية -عادة- ما يكون سمكها ١٥، ٢٣، أو ٣٠ م. وتُستخدم -أيضاً- بشكل متكرر كجدران في أسفل ميول الجسر الترابي لدعم حواجز الضفة العليا الأخرى وتجنب التقويض. بشكل عام، فإن السلة المستطيلة أو الوحدات المستخدمة في الإعدادات المكسدة، لها أبعاد أكثر اتساقاً، بالمقارنة مع تلك المستخدمة لتصميمات الفرشة؛ وغالباً ما يكون ذات قطاع عرضي مربع. تأتي الجدران الحجرية المستخدمة في التكوينات المكسدة، والتي يمكن الوصول إليها تجارياً، في مجموعة متنوعة من الأحجام، ولكن الأكثر شيوعاً يبلغ عرضها وسمكها ٠.٩ متر.

١-٥-٩ نظرة عامة:

يتكون هذا النوع من الجدران الحجرية من عناصر شبكة سلكية (نسيج سلكي) مملوءة بالصخور. عادة ما تكون الجدران الصخرية المغلفة بالأسلاك من نوعين يتميزان بشكل فرشاة سلكية، أو سلال. في تصميمات الفرشة المطوقة بالأسلاك، توضع وحدات الشبكات السلكية الفردية من طرف إلى طرف ومن جانب إلى جانب؛ لتشكيل طبقة (فرشة) على قاع أو جوانب القناة. السلال التي تتكون منها الفرشة تُقسم إلى أجزاء، ولها أبعاد عمق أصغر بكثير من عرضها أو طولها. من ناحية أخرى؛ عادة ما تكون الكتل المكسدة على شكل مستطيل أو شبه منحرف، وهي أكثر تساويًا في الأبعاد، ولها أعماق تساوي عرضها تقريبًا، ولها نفس ترتيب أطوالها؛ يمكن تكديسها رأسياً لزيادة الارتفاع المحمي.

الجدران الصخرية ذات السلال وذو فرشاة السلك؛ هما: الشكلان الرئيسان. يستخدم كلا الإصدارين نسيجاً شبيكياً مغفلاً من السلك الفولاذي، لتثبيت الصخور الصغيرة أو الأحجار المدكوكة بالحصى. يُستخدم النسيج السلكي للحفاظ على الاستقرار، وحماية قنوات المجاري المائية. ارتفاع وسُمك النسيج؛ هما ما يميز نوعي الجدار الصخري. تتمثل ميزة السلال في أنها يمكن ملؤها بالصخور التي لا تكون مجتمعة وقوية بما يكفي- لتحمل ضغوط تآكل التيارات. عيب السلال؛ هو أنها عرضة للتخريب، الفشل بسبب تآكل الأسلاك، أو البري، أو مزيج من الاثنين بمرور الوقت. قد يحدث هذا الفشل في وقت أقرب بكثير من عمر الخدمة المخطط له؛ اعتماداً على عوامل خاصة بالموقع.

تُصمم فرشاة الحصى والحبيبات المطوقة بالأسلاك؛ لمنع انجراف (تجريف) المجرى المائي أو الضفاف. وهي أقل عمقاً (٠,١٥) إلى (٠,٤٥ متر) من سلة الكتل الصخرية. تغطي سلال الكتل الصخرية -عادةً- مساحة أصغر بكثير، وتكون أكثر سمكاً (بين ٠,٩ و ٠,٤٥ متر). عندما تكون الفرشة السلك غير كافية لحماية الضفاف؛ تُستخدم بدلاً من ذلك؛ لتثبيت الميول، أو إنشاء هياكل هبوط، أو هياكل مخرج الأنابيب، أو في أي حالة أخرى -تقريباً- حيث تحتاج التربة إلى الحماية من ضغوط تآكل المياه.

يمكن نمو العديد من الكائنات المائية الدقيقة على الصخور التي تشكل السلال. ومع ذلك، قد يكون نمو الغطاء النباتي صعباً؛ حتى تمتلئ الفراغات بين الصخور الموجودة في السلال بالتربة. الكائنات الحية التي تكيفت مع العيش على الصخور وداخلها لديها منزل رائع.

تتعرض الجدران الحجرية ذات النسيج السلكي لخطر الانكسار؛ عند إزالة الغطاء النباتي الخشبي الضخم، أو عندما تتوسع أنظمة الجذر والذئع، وإذا سُحح للنباتات الخشبية الضخمة بالنمو داخلها؛ لذلك فإن السماح للنباتات الخشبية الضخمة بالنمو في السلال -عادة- ما يكون غير مناسب. يجب موازنة احتمالية الضرر مع استقرار الغطاء النباتي الخشبي الضخم، والرغبة في الغطاء النباتي بالمنطقة المحمية بهذه الجدران الصخرية.

يمكن إنشاء مشروع أكثر إرضاءً من الناحية الجمالية، ومرغوباً بيئياً أكثر من مجرد استخدام الجدران الحجرية؛ إذا أُبعدت النباتات الخشبية الضخمة عن السلال.

٢-٥-٩ إجراءات تصميم الثبات الهيدروليكي:

غالباً ما ينتج حجم الحجر المطلوب ذو قطر متوسط D_{50} ، الذي سينتج أداءً مستقرًا في ظل التحميل الهيدروليكي للتصميم؛ من خلال إجراءات تصميم فرشاة الحصى والحبيبات؛ نظراً لأن الحجر ينشأ ويُسلم بأحجام وأشكال متنوعة؛ يتحدد الحجم المطلوب للحجر - أحياناً- من حيث الحد الأدنى والحد الأقصى للحجم المسموح به. على سبيل المثال: تنصح ASTM D6711 بما يلي (الممارسة القياسية لتحديد الصخور المناسبة لملء قوالب الأسلاك، وحسابات الاحتجاز الشبكية، وحسابات قوالب الأسلاك) (ASTM, 2008).

وفقاً لـ ASTM D6711؛ ينبغي تصنيف التعبئة بشكل صحيح، وأن يكون لها نطاق واسع من الأحجام بين الحدود (الأعلى والأدنى). يجب أن تُملأ فرشاة الحصى والحبيبات فقط- بحصى صلبة ومتينة. بشكل عام، يجب أن تكون الصخور المستخدمة لملء فرشاة الحصى والحبيبات من نفس جودة المواد؛ مثل: الجدار الحجريّات.

نطاق مقاسات الحجر	سمك الفرشة
٧,٦ سم إلى ١٢,٧ سم	١٥ سم
٧,٦ سم إلى ١٢,٧ سم	٢٣ سم
١٠ سم إلى ٢٠ سم	٣٠ سم
١٠ سم إلى ٢٠ سم	٤٦ سم

٣-٥-٩ اختيار عامل الأمان المستهدف:

ينبغي أن يختار مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) عامل الأمان المناسب لتطبيق معين. عندما تكون الظروف الهيدروليكية للمشروع راسخة، ويمكن إجراء التثبيت في بيئة خاضعة للرقابة؛ يستخدم عامل الأمان الحد الأدنى المسموح به -وهو ١,٢ عادةً- لإعادة التثبيت (حماية الضفاف أو الجوانب). نظرًا لصعوبة حساب الظروف الهيدروليكية في هذه الأماكن؛ يستخدم عوامل أمان أعلى للحماية عند أرصفة الجسور، والدعامات، وانحناءات القنوات.

٤-٥-٩ إجراءات التصميم:

بالنسبة لفرشة الحصى والحبيبات الصخرية الموضوعة على السطح السفلي للقناة أو الضفاف أو الجوانب؛ يُحسب ضغط القص على الفرشة على النحو التالي:

$$\tau_{des} = k_b(\gamma_w)(y)(S_f) \quad \text{المعادلة (٩-٩)}$$

حيث إن:

τ_{des} = تصميم إجهاد القص؛ (كجم/م^٢).

k_b = معامل بند؛ (بلا أبعاد).

γ_w = وزن وحدة الماء؛ (٩٩٩,٦٥ كجم/م^٣).

y = أقصى عمق للتدفق عند إعادة الإغلاق؛ (م).

S_f = انحدار خط ميل الطاقة؛ (م/م).

يُستخدم معامل الانحناء k_b لحساب إجهاد القص المتزايد على السطح الخارجي للانحناء، ويتراوح من ١,٠٥ إلى ٢,٠؛ اعتمادًا على شدة الانحناء. معامل الانحناء؛ هو دالة لنصف قطر الانحناء، R_c مقسومًا على العرض العلوي للقناة، T ، على النحو التالي:

$$k_b = 2.0 \text{ for } \gamma \geq R_c/T$$

$$k_b = 2.38 - 2.06 \left(\frac{R_c}{T} \right) + 0.0073 \left(\frac{R_c}{T} \right)^2 \text{ for } 10 > R_c/T > 2 \quad \text{المعادلة (١٠-٩)}$$

$$k_b = 1.05 \text{ for } R_c/T \geq 10$$

يحدد الإجراء الموصى به لتحديد إجهاد القص المسموح به لفرشة الحصى والحبيبات الحجرية؛ باستخدام العلاقة المنصوص عليها في الإصدار الثالث، مركز الدراسات الهيدرولوجية-١٥؛ (FHWA, 2005). المعادلة صالحة لمدى القطر المتوسط D_{50} من ٠,٠٧٦ إلى ٠,٤٥ (م):

$$\tau_p = C_s(\gamma_s - \gamma_w) D_{50} \quad \text{المعادلة (١١-٩)}$$

حيث إن:

τ_p = إجهاد القص التصميم؛ كجم/م^٢.

D_{50} = القطر المتوسط لحبيبات الصخور في الفرشة؛ م.

C_s = معامل الاستقرار لفرشة الحصى والحبيبات الحجرية المملوءة بالصخور؛ يساوي ٠,١٠.

γ_w = وزن وحدة الماء؛ ٩٩٩,٦٥ كجم/م^٣.

γ_s = وزن وحدة الحجر؛ كجم / م^٣.

معامل الاستقرار C_s ، هو معامل تجريبي، طُوِّر بواسطة (Maynord 1995)، من بيانات الاختبار المقدمة (Simons et al. 1984). يقتصر استخدام معامل الاستقرار $C_s = 0.10$ على شروط برنامج الاختبار، الذي يستخدم الصخور الزاوية ونسبة الحد الأقصى إلى الحد الأدنى لحجم الحجر من ١,٥ إلى ٢,٥.

يتضمن إجراء مركز الدراسات الهيدرولوجية-١٥ (FHWA, 2005) معادلة ثانية؛ لحساب إجهاد القص:

$$(\tau_p) = 0.009(\gamma_s - \gamma_w)(MT + 4.07)$$

هذه المعادلة تشبه المعادلة (٩-١١)، ولكنها تستخدم سماكة الفرشة (MT) كمتغير بدلاً من قطر الحشو. سمك الفرشة محدود بحد أقصى ٠,٤٥ م. يحسب إجراء التصميم مركز الدراسات الهيدرولوجية - ١٥ وفقاً لدراسة أجريت من قبل إدارة الطرق الاتحادية، (٢٠٠٥) كلتا المعادلتين ويستخدم إجهاد القص الأعلى باعتباره القص الحاكم المسموح به. هذا مهم - بشكل خاص - لأحجام صخور الحشو الأصغر. يُستخدم هذا الإجراء بواسطة صندوق الأدوات الهيدروليكي (إدارة الطرق الاتحادية لحساب إجهاد القص المسموح به). يستخدم مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣ (FHWA, 2009) إرشادات التصميم ١٠، المعادلة (٩-١١) فقط.

يمكن حساب عامل الأمان كنسبة إجهاد القص المسموح به مقسوماً على إجهاد القص المطبق:

$$S_f = \frac{\tau_p}{\tau_{des}} \quad \text{المعادلة (٩-١٢)}$$

ينبغي أن يكون الحد الأدنى لحجم الصخور أكبر بمقدار ١,٢٥ مرة -على الأقل- من حجم فتحة الشبكة السلكية، التي تشتمل على الفرشة (Parker et al., 1998). ينبغي تصنيف الصخور -جيداً- بين الحد الأدنى والحد الأقصى للأحجام؛ لتقليل حجم الفراغات في المصفوفة. إذا سمحت مواصفات التصميم والمواصفات الاقتصادية؛ يمكن اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب للميل ات القياسية.

ينبغي أن يكون سُمْكُ فرشاة الحصى والحبيبات الحجرية ضعف متوسط قطر حشوة الصخور -على الأقل- $T \geq 2D_{50}$. إذا كانت السماكة المحسوبة لا تتطابق مع سمك الحصى والحبيبات الحجرية القياسي؛ فينبغي استخدام السماكة الأكبر التالية للفرشة (Maynord, 1995). كحد أدنى؛ ينبغي أن يكون السُمْكُ ٦ بوصات (Parker et al., 1998).

تنص متطلبات حجم الصخور على أنه ينبغي أن يكون حجمها أكبر بمقدار ١,٢٥ مرة -على الأقل- من حجم فتحة الشبكة السلكية المستخدمة في صنع الفرشة. من أجل تقليل مقدار الفراغات في القالب؛ ينبغي أن تكون الصخور متدرجة جيداً بين الحد الأدنى والحد الأقصى للحجم. يمكن اختيار القناة أو المجرى المائي المناسب للتدرجات القياسية؛ إذا سمحت بذلك أسباب اقتصادية وتصميمية (Parker et al., 1998).

ينبغي أن تكون فرشاة الحصى والحبيبات الحجرية أكثر سُمْكاً بنسبة ٥٠٪ -على الأقل- من متوسط قطر الحشوة الصخرية، أو $T \geq 2D_{50}$. استخدم فرشاة ذات سُمْك أعلى؛ إذا كانت السماكة المحسوبة لا تتوافق مع سمك الحصى والحبيبات الحجرية الطبيعي (Maynord, 1995). ينبغي ألا يقل السُمْك عن ١٥ سم (Parker et al., 1998).

٩-٥-٥ الامتداد الطولي لفرشة الجدار الحجري:

ينبغي أن يكون حاجز الدرع مستمراً في اتجاه المنبع والمصب، في المنطقة التي تخضع لقوى هيدروليكية قوية -بما يكفي- لتتسبب في طرد أو نقل مادة الضفة أو القاع، أو كليهما. المسافة النهائية بعرض قناة ١,٥ ومسافة المنبع بعرض قناة ١,٥؛ هما: الحد الأدنى للمسافات المقترحة. عادةً ما يُستخدم فحص الموقع، أو تحليل الصور الجوية، أو النمذجة الهيدروليكية، أو مجموعة من هذه الأساليب؛ لتحديد مدى زمن التدفق أو الجريان في القناة أو المجرى المائي الذي يخضع لضغوط هيدروليكية قوية.

يعتمد الطول الدقيق للقناة التي تحتاج إلى الحماية على عدد من العناصر الخاصة بالموقع. بسبب ضيق القناة؛ يمكن أن توفر العوامل التي تؤثر في عرض القناة المحلية؛ مثل: (دعامات الجسر) مناطق موضعية، ذات سرعة عالية -نسبياً- وإجهاد قص، ولكنها قد تنتج -أيضاً- أماكن يكون فيها التدفق غير فعال؛ في المنبع والمصب، وفي مناطق (منطقة الظل)، وفي المياه المرتدة. عند تقدير طول الحماية الضروري في الامتدادات المستقيمة؛ يمكن أن يكشف الاستطلاع الميداني عن ندوب تآكل على ضفاف القناة.

يمكن ألا يتوافق -دائماً- الحد الحالي للتآكل مع الحد النهائي في مجرى التعرج؛ نظراً لأن التآكل يتقدم بشكل طبيعي في اتجاه القناة أو المجرى المائي. يقدم مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٠ (FHWA, 2012) توصيات؛ لتقييم الهجرة الجانبية. يُنصح مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) بفحص هذا المصدر؛ لضمان التطبيق المناسب.

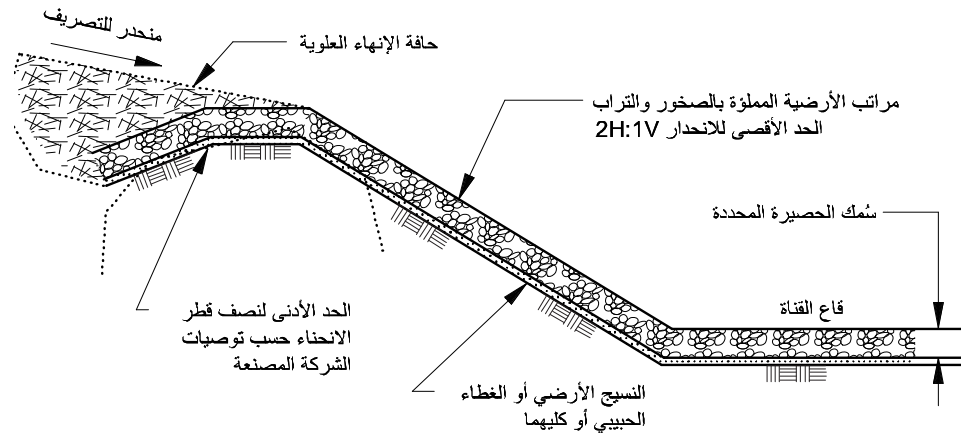
٦-٥-٩ الامتداد الرأسي لفرشة الجدار الحجري:

ينبغي أن يوفر الامتداد الرأسي خلوصاً فوق سطح الماء التصميمي. يجب استخدام حد أدنى من ٠,٣٠ م إلى ٠,٦٠ م للروافد غير المبنية، و ٠,٦٠ م إلى ٠,٩٠ م للروافد الضيقة. إذا كان التدفق فوق الحرج؛ فينبغي أن يعتمد الخلوص الرأسي على الارتفاع فوق خط ميل الطاقة بدلاً من سطح الماء. ينبغي أن يغطي نظام حواجز قاع القناة بالكامل، أو في حال طبقات القناة غير المبطنّة يمتد أسفل القناة، بعيداً بدرجة كافية؛ حيث لا تتقوض إعادة التجديد بواسطة النحت الأقصى؛ على سبيل المثال: (تجريف سفلي، تجريف الانكماش، التدهور طويل الأجل)؛ انظر: الشكل ٦-٩.

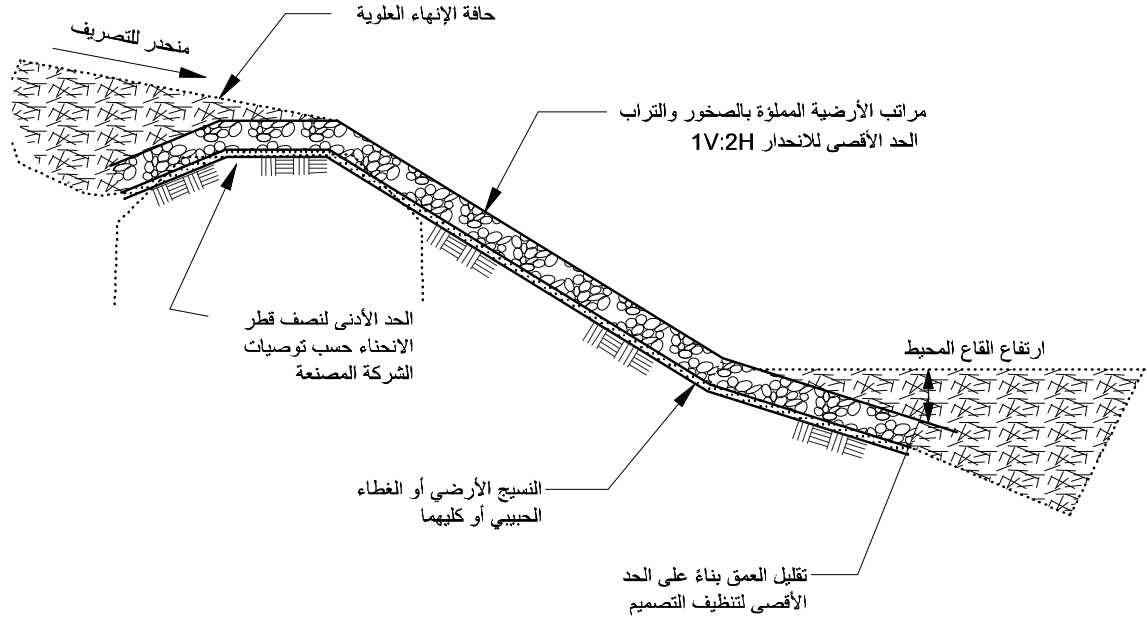
يتوفر إنهاء إعادة التثبيت الموصى به في أعلى وأسفل ميل الجوانب، في الأشكال (٥-٩) و (٦-٩) لتطبيقات القاعدة المدرعة، وتطبيقات القناة اللينة -على التوالي-. يوصى باستخدام خنادق إنهاء مماثلة لحدود فرشاة الجدار الحجري، عند المنبع والمصب.

٧-٥-٩ مثال تصميمي لفرشة الجدار الحجري:

يوضح المثال التالي إجراء تصميم فرشاة الجدار الحجري؛ باستخدام الطريقة الموضحة في الجزء الفرعي (٤-٥-٩). يُقدم المثال في سلسلة من الخطوات التي يمكن لمهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) اتباعها؛ لتحديد السمك المناسب للفرشة بناءً على عامل أمان مستهدف ومحدد سلفاً. المواصفة الأساس لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب للمنتج؛ هو ما إذا كان عامل الأمان المحسوب للدرع يفي أو يتجاوز القيمة المستهدفة المحددة سلفاً.



الشكل (٦-٩) تفاصيل التخطيط الموصى بها للصفاف والقاع المدرع.



الشكل (٧-٩) تفاصيل تخطيط موصى بها لمراجعة دعائم الجوانب حيث لا يلزم تدريع السطح السفلي.

معطى: يُقترح نظام فرشاة الجدار الحجري؛ لمنع الحركة الجانبية خارج المنحنى. ترد أبعاد القناة والظروف الهيدروليكية للتصميم في الجدول رقم (٢-٩).

الجدول (٢-٩) ظروف القناة لتطبيق حاجز جدار حجري ذي فرشاة السلك بالضفة.

ظروف القناة لتطبيق جدار حجري بفرشاة سلك كحاجز حماية بالضفة	
Q	$= ٠,١٣$ متر ^٣ /ثانية، معدل تصريف القناة.
V_{avg}	$= ٢,٦٥$ متر/ثانية، متوسط سرعة القطاع العرضي.
y	$= ١,٥$ متر، أقصى عمق.
$1V:3H$	$=$ الميل الجانبي.
S_o	$= ٠,٠٠٥$ متر/متر، ميل الطبقة السفلية.
S	$= ٠,٠٠٥$ متر/متر، ميل خط الطاقة.
T	$= ٣٦,٥$ العرض العلوي للقناة.
R_c	$= ٢٢٨,٥$ متر، نصف قطر الانحناء.

الحل:

الحل ١: تحديد عامل الأمان المستهدف لهذا المشروع.

استخدم الشكل ٩-٤ لحساب عامل الأمان المستهدف. في هذا المثال يتحدد عامل أمان مستهدف ١,٧ ؛ على النحو التالي:

- تختار القناة أو المجرى المائي المناسب عامل الأمان الأساس SF_B البالغ ١,٣ ؛ لأن النهر متعرج، ويمكن توقع سرعات عالية على المنحنيات أو المناطق المنحنية الخارجية.
- يُضرب عامل الأمان الأساس في عامل نتيجة الفشل، X_c ، باستخدام القيمة ١,٣ ؛ لأنه في هذا الموقع يصنف نتيجة الفشل على أنها: (منخفضة إلى متوسطة).
- يُعد عدم اليقين المرتبط بالتحليل الهيدرولوجي والهيدروليكي (منخفضاً) لهذا الموقع؛ بناءً على البيانات الهيدرولوجية والهيدروليكية المتاحة؛ لذلك يُعطى هذا العامل (X_M) لعدم اليقين الهيدرولوجي والهيدروليكي بقيمة ١,٠.

يحسب عامل الأمان المستهدف لموقع المشروع هذا على النحو التالي:

$$SF_T = (SF_B)(X_C)(X_M) = 1.7$$

الخطوة رقم ٢: حساب إجهاد قص التصميم.

يحسب الحد الأقصى من إجهاد القص في قطاع القناة أو المجرى المائي؛ باستخدام المعادلة ٩-٩:

$$\tau_{des} = k_b (\gamma_w)(y)(S_f)$$

أولاً: حساب k_b باستخدام المعادلة ١٨-١٠. لأن $R_c/T = 750/120 = 6.25$.

$$k_b = 2.38 - 0.206(6.25) + 0.0073(6.25)^2 = 1.38$$

$$\tau_{dBS} = 1.38(999.65)(1.0)(0.005) = 10.35 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_{des} = 1.38 (62.4 \text{ lb/ft}^2)(5.0 \text{ ft})(0.005 \text{ ft/ft}) = 2.13 \text{ lb/ft}^2$$

الخطوة رقم ٣: حساب إجهاد القص المسموح به.

من المعادلة ١٨-١١:

$$\tau_p = C_s (\gamma_s - \gamma_w) D_{50}$$

بافتراض الثقل النوعي للحشوة الحجرية البالغة ٢,٦٥؛ فإن وزن الوحدة للأحجار الفردية هو ٢,٦٥ × ٩٩٩,٦٥ = ٢٦٤٩ كجم/م^٣. باستخدام القيمة الموصى بها ٠,١٠ للعمق الحرج C_s ، يرسم إجهاد القص المسموح به كدالة لحجم الحبيبات D_{50} لملء الحجر في الشكل ٩-٧، باستخدام حجم حجر D_{50} ذو قطر متوسط يبلغ ٤,٥ بوصة، يحسب إجهاد القص المسموح به باستخدام المعادلة ٩-١١:

$$\tau_p = 0.10 (165 \text{ lb/ft}^3 - 62.4 \text{ lb/ft}^3) \frac{4.5 \text{ in.}}{12 \text{ in./ft}} = 3.85 \text{ lb/ft}^2$$

$$\tau_p = 0.10 (2649 - 999.65) \frac{0.11}{0.30} = 18.79 \text{ kg/m}^2$$

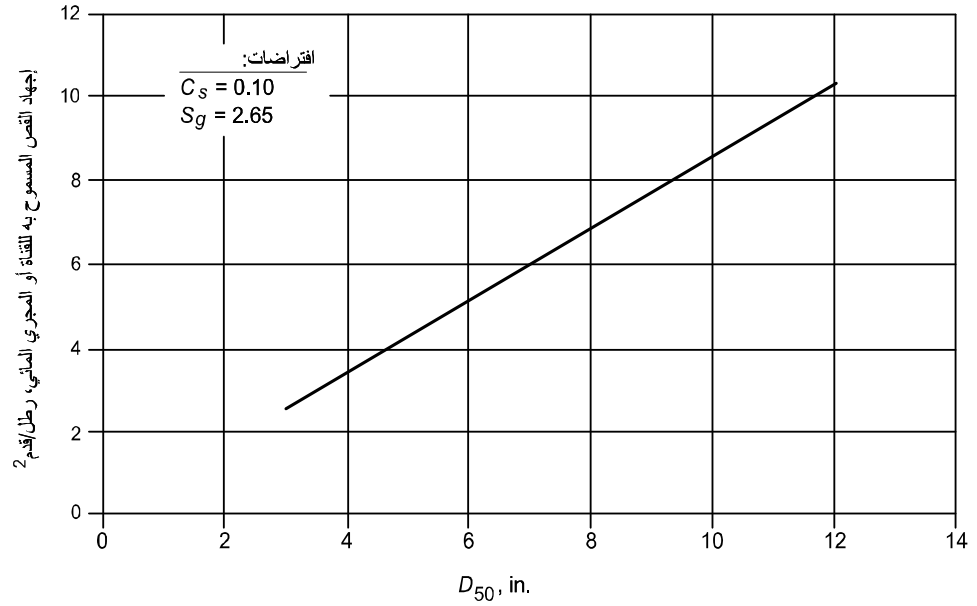
الخطوة رقم ٤: احسب معامل الأمان.

باستخدام المعادلة ١٨,١٢؛ يحسب عامل الأمان على النحو التالي:

$$S_f = \frac{\tau_p}{\tau_{des}} = \frac{3.85}{2.15} = 1.8$$

$$S_f = \frac{\tau_p}{\tau_{dBS}} = \frac{18.79}{10.35} = 1.8$$

نظرًا لأن عامل الأمان المحسوب أكبر من عامل الأمان المستهدف الخاص بالموقع، والبالغ ١,٧ لهذا المشروع؛ فإن تحديد حجم الحجر مناسب.



الشكل (٨-٩) إجهاد القص المسموح به كدالة للحجم المتوسط لحجر وحصى الملاء (FHWA, 2009).

الخطوة رقم ٥: حدد فرشاة الجدار الحجري.

يجب أن يكون سمك الفرشة مرتين -على الأقل- من حجم متوسط D₅₀ من حشوة الحجر. وبالنسبة لهذا المشروع؛ حدد فرشاة بسمك لا يقل عن ٢ × ٠,١١ م = ٠,٢٢ م. ينبغي توفير مرشح أسفل فرشاة الجدار الحجري المصممة؛ وفقًا للإجراءات الموضحة في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية-٢٣، و(FHWA, 2009)، وتوجيه التصميم ١٦.

٩-٦ دكة الحجارة المحشوة بالملاط جزئيًا:

عندما يبني -بشكل صحيح- ويُستخدم لمنع التآكل؛ فإن دكة الحجارة المحشوة بالملاط جزئيًا لها العديد من المزايا على الإنشاءات الصلبة. يمكن أن تستمر في العمل حتى إذا فقدت بعض الأحجار الفردية، ومن السهل -نسبيًا- إصلاحها. إذا بُنيت بشكل صحيح؛ يفحص ويصان دكة الحجارة أو الدكة المعيّدة جزئيًا وبشكل منتظم، وكذلك بعد حدوث الفيضانات؛ يمكن أن توفر حماية طويلة الأجل. يمكن للتبطين الصخري أو الدكة التي حُشيت جزئيًا حماية والعمل كحماية من التآكل في الأرصفة والدعامات.

ترتب الصخور ذات الأحجام المحددة وحشوتها -معًا- لتشكيل دكة الحجارة المحشو بالملاط جزئيًا -فقط- من ثلث إلى نصف المساحة الإجمالية؛ (انظر: الشكل ٨-٩). يحسن الحشو الجزئي للرباط من الثبات العام لوحدة تركيب دكة الحجارة دون التضحية بالمرونة أو النفاذية، على عكس مصيدة الحشو بالكامل. عن طريق الخرطوم أو تريمي أو بوسائل ميكانيكية آلية؛ يُحقن الملاط المصنوع من الأسمنت البورتلاندي جزئيًا في الفجوات في مصفوفة دكة الحجارة. نظرًا للحجم الأكبر والتشابك الواسع لجزيئات التكتل الناتجة عن عملية الحشو؛ فإن الدرع يتمتع باستقرار هيدروليكي أكبر بكثير من دكة الحجارة الرخوة.



الشكل (٩-٩) منظر عن قرب للجدار الحجري المحشو بالملاط جزئياً.

هناك عدة مستويات من الحشو يمكن استخدامها. ولكن لغرض الحصول على أفضل النتائج؛ ينبغي أن يكون الملاط فعالاً في لصق الأحجار الفردية بالأحجار القريبة في مواقع التلامس الخاصة بهم، مع ترك مساحات كبيرة -نسبياً- بين الأحجار. استُخدم دكة الحجارة ذات الحشو الجزئي على نطاق واسع في مشاريع التحكم في تآكل وتجريف قاع وجوانب أو ضفاف القنوات والمجاري المائية؛ نظراً لأنها مورد طبيعي، ويمكن الوصول إليها على نطاق واسع في العديد من المواقع.

إن معرفة ما يلي ضروري لتصميم تركيبات دكة الحجارة ذات الحشو الجزئي:

- قاع النهر ومواد الضفة أو الجوانب.
- ظروف التدفق؛ مثل: سرعة الجريان، أو التدفق، والعمق، والاتجاه.
- حجم الرصف وشكله وانحرافه فيما يتعلق باتجاه التدفق.
- خصائص دكة الحجارة؛ من حيث الحجم، والشدة، والمتانة، والتوافر.
- نوع مادة الواجهة بين دكة الحجارة المحشوة جزئياً والأساس.

يشتمل النظام -عادةً- على طبقة مرشح، التي يمكن أن تكون مصنوعة من نسيج جيولوجي، أو مرشح رمل، أو حصي، أو حتى كليهما. تختار القناة أو المجرى المائي المناسب هذه المواد لتوافقها مع التربة التحتية. يوفر المرشح احتباساً للجسيمات مع السماح بالتسريب.

٩-٦-١ خصائص دكة الحجارة:

غالباً ما يُنتج الحجم المطلوب للحجر؛ لتحقيق أداء مستقر تحت أحمال التصميم؛ من خلال أساليب تصميم طبقة الصخور. يتحدد الحجم المطلوب للحجر -في بعض الأحيان- من حيث الحد الأدنى المسموح به للحجم التمثيلي؛ لأن الحجر يصنع ويسلم في مجموعة متنوعة من الأحجام والأشكال. وبالنسبة للصخور التي يتكون منها دكة الحجارة؛ يحدد مهندس المياه (المهندس الهيدروليكي) -عادةً- حداً أدنى مقبولاً من مواد حشوة ذات قطر متوسط أو حجم متوسط D_{50} ، ويُشير إلى الحجم الذي تكون فيه ٥٠٪ من الجسيمات (بالوزن) أصغر. باستخدام علاقة معترف بها بين المقاس والحجم بالإضافة إلى الشدة المعروفة (أو المتوقعة) للجسيم؛ يمكن -أيضاً- تحديد أحجام الأحجار من حيث الوزن (على سبيل المثال: الوزن المتوسط ٥٠).

- الشكل؛ راجع: الجزء الفرعي (٩-٤-٥).
- الكثافة؛ انظر: الجزء الفرعي (٩-٤-٦).
- الوزن؛ انظر: الجزء الفرعي (٩-٤-٧).

يوفر الجدول (٩-٣) التدرجات الموصى بها لثلاث فئات قياسية من دكة الحجارة؛ بناءً على متوسط قطر الجسيم D_{50} ، وكما حُدد بواسطة أبعاد المحور الوسيط (ب). طُوِّرت هذه التدرجات وفقاً لتقرير للبرنامج الوطني لأبحاث الطرق التعاونية (رقم ٥٦٨)، ومواصفات تصميم دكة الحجارة، والمواصفات، ومراقبة الجودة (Lagasse et al., 2006). تعتمد مواصفات الميل المقترحة على الحبيبات ذات الحجم المتوسط أو (مستهدف) D_{50} ، ونسبة انتظام (قطر D_{80} /قطر D_{10}) ينتج عنها دكة الحجارة مميل جيداً. نسبة التوحيد المستهدفة؛ هي ٢٠، والنطاق المسموح به من ١٠,٥ إلى ٢٠,٥. القصد من الحشو الجزئي؛ هو لصق الحجارة -معاً- لإنشاء كتل من الجزيئات. وعليه فإن كل كتلة أكبر بكثير من حجم حجر متوسط D_{50} ، وعادة ما يكون أكبر من حجم حجر كبير جداً من الحجارة الفردية في D_{100} مصفوفة دكة الحجارة. يمكن استخدام ثلاث فئات قياسية -فقط- مع تقنية الحشو الجزئي: الفئات الثانية، والثالثة، والرابعة. يعرض دكة الحجارة -الأصغر من الفئة الثانية- فراغات صغيرة جداً؛ حيث لا يمكن للجص اختراقها -بشكل فعال- إلى العمق المطلوب، داخل مصفوفة الصخور، بينما يحتوي دكة الحجارة -الأكبر من الفئة الرابعة- على فراغات كبيرة جداً للاحتفاظ بالملاط، ولا تحتوي على منطقة تلامس كافية بين الحجارة؛ للصقها -معاً- بشكل فعال.

الجدول (٩-٣) تدرجات مقاس طبقة الصخور المناسبة للحشو الجزئي.

١٠٠D	٨٥D		٥٠D		١٥D		فئة دكة الحجارة (الفئة الاسمية) حسب قطر الجسيم المتوسط.	
	الحد الأدنى	الأقصى	الحد الأدنى	الأقصى	الحد الأدنى	الأقصى	الحجم	الفئة
١٨,٠	١٤,٠	١١,٥	١٠,٥	٨,٥	٧,٨	٥,٥	٩ بوصة.	الثانية:
٢٤,٠	١٨,٥	١٥,٥	١٤,٠	١١,٥	١٠,٥	٧,٣	١٢ بوصة.	الثالثة:
٣٠,٠	٢٣,٠	١٩,٥	١٧,٥	١٤,٥	١٣,٠	٩,٢	١٥ بوصة.	الرابعة:

٢-٦-٩ خصائص الملاط:

لتطبيقات دكة الحجارة ذات الحشو الجزئي؛ يكون الملاط القائم على الأسمنت البورتلاندي مناسباً فقط. تعتمد المتطلبات العامة لمواد الحشو على الإرشادات التي وضعها المعهد الفيدرالي لهندسة وأبحاث الممرات المائية في ألمانيا (BAW, 1990)، يوفر الجدول (٩-٤) إرشادات عن مزيج الملاط الأساس لساحة مكعبة واحدة من الملاط:

الجدول (٩-٤) مواد لياردة مكعبة واحدة من الملاط*

الكمية بالوزن (رطل)	المواد
من ٧٤٠ إلى ٧٦٠	الأسمنت البورتلاندي العادي.
١,٢٠٠ إلى ١,١٨٠	ركام خرساني ناعم (رمل) جاف.
من ١,٢٠٠ إلى ١,١٨٠	١-٤ بوصة. كسارة شطايا (حصى ناعم جداً)، جافة.
من ٤٢٠ إلى ٤٥٠	الماء.
من ٦ إلى ٨	مادة مضافة مانعة للغسيل (Sicotan®) (تستخدم فقط للوضع تحت الماء).

* الهواء الداخل ٥-٧٪ من حيث الحجم.

يجب أن ينتج عن المزيج كثافة ملاط رطبة، تتراوح من ١٢٠ إلى ١٤٠ رطلاً/قدمًا مكعبًا. يجب رفض الكثافات الرطبة خارج هذا النطاق، وإعادة تقييم المزيج لخصائص المواد للمكونات الفردية.

٣-٦-٩ إجراءات تصميم الثبات الهيدروليكي:

بخلاف الاهتمامات العملية لحجم الفراغ الصحيح، ومنطقة التلامس الكافية من الحجر إلى الحجر، لا توجد علاقات في حد ذاتها- لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب، ولا لحجم الصخر في دكة الحجارة المحشو جزئياً.

في جامعة براونشفيج في ألمانيا؛ أظهرت الاختبارات التي أجريت على دكة الحجارة المحشو جزئياً: أنه يمكن أن يحافظ على الاستقرار، وأن يتجنب الضرر في التدفقات العالية في سرعة الجريان أو في التدفق الذي يصل إلى ٧,٩ متر/ثانية.

٧-٩ إرشادات تصميم الهذارات عند انحناءات المجاري المائية:

يقدم هذا القطاع إرشادات التصميم؛ لتصميم الهذارات عند الانحناءات. إرشادات التصميم مأخوذة من مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣؛ (FHWA, 2009)، وإرشادات التصميم ١. توجد الخلفية، والمراجع، والأمثلة التوضيحية، ودراسة الحالة لهذا المبدأ التوجيهي في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣.

الهذارات عند انحناءات القنوات؛ عبارة عن: عتبات حجرية منخفضة الارتفاع؛ تُستخدم لحل مشكلات استقرار المجرى المائي الجانبي، ومحاذاة التدفق حول منحنيات النهر وتقاطعات الطرق. تُعرف -أيضاً- باسم جريان مائي، والضفاف، والعتبات العكسية.

١-٧-٩ مفهوم التصميم:

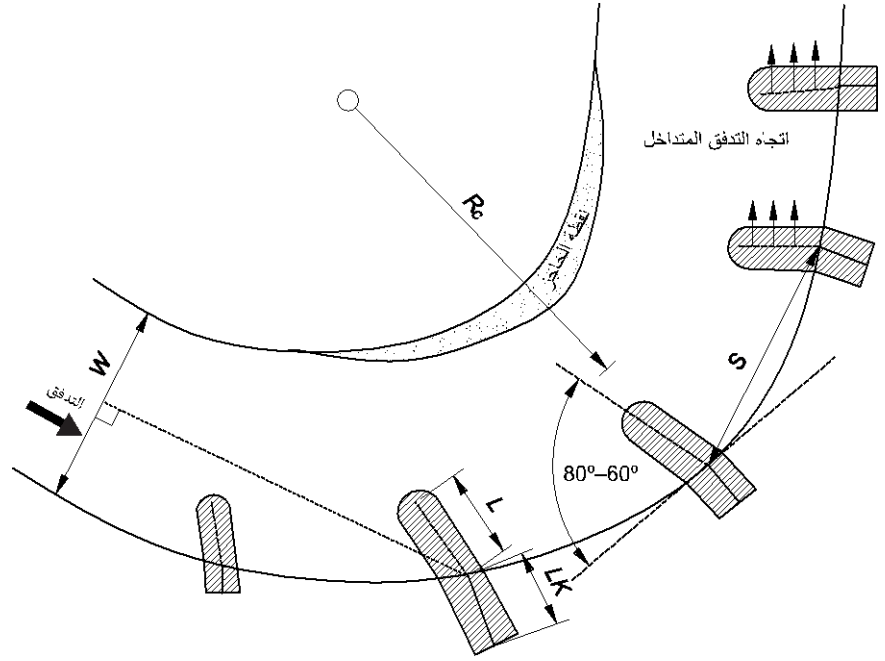
على الرغم من أنها تشبه النتوءات الحجرية؛ فإن الهذارات عند انحناءات القنوات تخدم غرضاً مختلفاً تماماً. هي الهياكل التي -عادة- ما تكون مرئية فوق خط التدفق، وتهدف إما إلى إعادة توجيه التدفق حولها، أو إلى تقليلها أثناء مرورها عبر خط الضفة. صُممت الهذارات عند انحناءات القنوات؛ لإعادة توجيه التدفق باستخدام هيدروليكا الهذار عبر الهيكل، ولكنها -عادة- تكون غير مرئية، خاصة في المراحل فوق مستوى الماء المنخفض. يُعيد الهذار المنحني توجيه التدفق؛ حيث ينتقل بشكل عمودي على محور الهذار، وفي اتجاه الخط المركزي للقناة. الهذارات عند انحناءات القنوات، التي تشبه النتوءات الحجرية، والسرعات المنخفضة بالقرب من الضفة، وتشتت التيارات على الضفة الخارجية، ويمكن أن تحسن محاذاة التدفق عبر المنحنى وعبور المصب. وفقاً للتجربة؛ فإن أداء الهذارات عند انحناءات القنوات ضعيف في المناطق المتدهورة أو ذات الرواسب المنخفضة. تعكس إرشادات التصميم الهندسي للهذار التالية الإرشادات المقدمة من دائرة الحفاظ على الموارد الطبيعية (٢٠٠٧)، وغيرها من الإرشادات المُشار إليها في برنامج مركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣؛ (وفقاً لدراسة أجريت من قبل إدارة الطرق الاتحادية، ٢٠٠٩). طُوِّرت الصيغ؛ لتوحيد العديد من القواعد الأساسية الموجودة -حالياً- في هذا المجال. لا تستند الصيغ إلى بحث شامل، ولكن يبدو أنها تتطابق جيداً مع الممارسات الحالية. قُدِّمَت أمثلة التثبيت من قبل وزارة معدل النقل أو الصرف في (كولورادو)، ووزارة معدل النقل أو الصرف بولاية (واشنطن)، ووزارة معدل النقل أو الصرف بولاية (تينيسي).

٢-٧-٩ إرشادات التصميم:

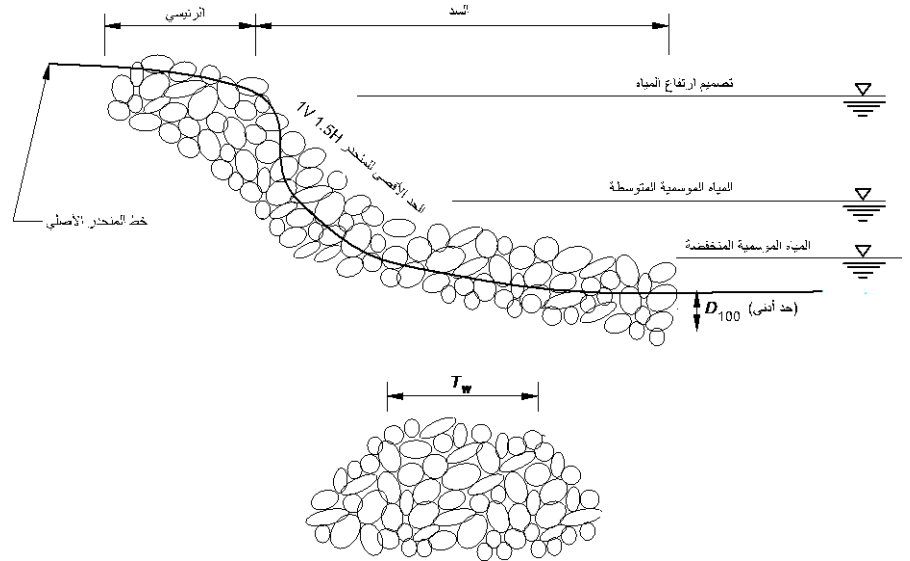
الارتفاع: من أجل حساب ارتفاع الهذارات؛ تُفحص أعماق التدفق المتنوعة لموقع المشروع؛ (انظر: الأشكال (٩-٩) و(٩-١٠)). يجب أن يتراوح ارتفاع الهذار من ٣٠ إلى ٥٠٪ من العمق، بمتوسط ارتفاع سنوي للمياه. يجب أن يكون ارتفاع الهيكل -أيضاً- أكبر من أو يساوي متوسط مستوى الماء المنخفض، وأقل من المتوسط أو المتوسط الموسمي لمستوى المياه. لغرض الحصول على النتائج المرجوة؛ يجب أن يكون الهذار طويلاً -بما يكفي- لاعتراض جزء كبير من التدفق. يجب أن يكون الهذار على ارتفاع منخفض -بدرجة كافية- للسماح لحركة مرور النهر العادية بالتدفق فوقه ودون إعاقة؛ من أجل استخدامه للتطبيقات المتعلقة بتحسين عرض الملاحه.

الزاوية: عادة ما يبرز محور الانحناء ومماس المنبع بزاوية ٦٠ إلى ٨٠ درجة، أو أظهرت التجربة أن استخدام الوتر بين هذارين -لقياس هذه الزاوية في الحقل- أبسط من استخدام مماس الخط. تُستخدم البقع التي يتصل بها خط الجوانب والهذارات؛ لإنشاء الوتر (الشكل ٩-٩). يؤثر موضع الهذار داخل المنحنى والزاوية التي تقترب فيها خطوط التدفق من الهيكل في زاوية الإسقاط. الزاوية المثالية؛ هي الزاوية التي لا تقل فيها زاوية الانسياب المنخفض للتدفق عن ١٥ درجة، وزاوية الانسياب العالي للتدفق لا تزيد على ٣٠ درجة بالنسبة للخط المركزي الطبيعي للهذارات العديدة الأولى. إذا كان التدفق يصل إلى الهذارات في المنبع بزاوية كبيرة تقريباً؛ فإن الهذار سيكون غير فعال، ويعمل كمقطع للتدفق؛ ما قد يؤدي إلى التقوقع التصريفي. لن يكون الهذار قادراً على تحويل التدفق بنجاح إلى مسار التدفق المناسب؛ إذا كانت زاوية التدفق التي تقترب من الهذارات في المنبع كبيرة جداً. في سيناريو مثالي؛ ستشير الزاوية من نقطة المنتصف للهذار المنبع إلى نقطة المنتصف لهد المصب الذي يأتي بعده. من أجل تلبية هذا المطلب؛ تتطلب الانحناءات -ذات نصف قطر الانحناء الأصغر- تطبيق زوايا إسقاط أصغر، والعكس صحيح، مع تساوي جميع الأشياء الأخرى.

القطاع العرضي: من المفترض أن يكون الميل العرضي للهذار مسطحاً أو شبه مسطح، ولا ينبغي أن يكون أكثر من الارتفاع الرأسي = ٥ أضعاف عمق التدفق، يكون الانتقال الطبيعي من قطاع الهذار المسطح إلى الجوانب على ميل الارتفاع الرأسي = ١,٥ ضعف عمق التدفق إلى الارتفاع الرأسي = ٢ ضعف عمق التدفق. يجب أن يتطابق ارتفاع الهيكل عند خط الضفة مع أعلى مستوى للمياه في التصميم. أنشئ هذا المستوى بحس هندسي جيد. يجب أن يكون المفتاح مرتفعاً بما يكفي -لحفاظ على الهيكل من أن يحيط به التدفق. بالإضافة إلى ذلك، يجب تثبيت حاجز أو هذار الانحناء في مجرى صرف المياه على عمق أدنى، يكافئ الحجم الكامل D_{100} تقريباً، ولكنه أقل من العمق المتوقع للنظافة والتدهور على المدى الطويل.



الشكل (٩-١٠) عرض نموذجي أو قياسي للحواجز والهدارات المنحنية.



الشكل (٩-١١) قطاع عرضي نموذجي للحواجز والهدارات المنحنية.

الطول: يجب أن يكون طول حد الانحناء كافياً لعبور جريان مائي متدفق، ولكن لا ينبغي أن يكون أطول من ثلث متوسط عرض القناة. يجب ألا تكون الهدارات التي تهدف إلى حماية الضفاف أو جوانب الهدارات أكبر من ربع عرض القناة. في بعض مشاريع تدعيم الضفاف أو الجوانب؛ وجد أن طولاً يتراوح بين ١,٥ إلى ضعفين المسافة من الضفة إلى خط يربط أدنى نقاط القطاعات العرضية المتعاقبة على طول مجرى الوادي أو النهر، يعتبر طولاً كافياً. تعتمد المسافة بين الهدارات وبعضها البعض على طول الهدار.

$$\text{Maximum Length } L = W/3 \text{ (typically: } W/10 < L < W/4 \text{)}$$

المعادلة (٩-١٣)

الموقع: من الناحية المثالية؛ يجب وضع الهذار القصير على مسافة، (S)، في اتجاه المنبع، من النقطة التي يتصل فيها خط المصرف (مجرى صرف للمياه أو قناة) وخط التدفق المماس الوسطي (خط التدفق الوسطي الواقع في بداية المنحنى). على أساس خصائص الموقع والحكم الهندسي القوي؛ يُحدد بعد ذلك المزيد من الهذارات المنحنية. عادة ما تكون الهذارات متباعدة بشكل متساوٍ، (S)، متباعدة؛ (انظر: الشكل ٩-٩).

التباعد: تؤثر العديد من عوامل الموقع في التباعد بين الهذارات المنحنية. تعتمد الحسابات التالية على التجارب التي أجريت على الهذارات المنحنية، وعلى عتبات تحت الماء. يجب أن تكون الهذارات المنحنية متباعدة بشكل مشابه للنقاط الصلبة والتوتنهام؛ وفقاً للتقييم. يحدد تدفق المجرى -الذي يخرج من الهذار، ويتقاطع مع هيكل أو مع ضفاف أو جوانب مجرى التدفق المائي في المصب- مدى تباعد الهذارات. (طول الهذار، ونسبة طول الهذار إلى عرض القناة، ونصف قطر القناة للانحناء، إلى عرض القناة) تؤثر كلها في تباعد الهذار. الصيغ الإرشادية التالية - (USACE (1988) and LaGrone (1996) - يمكن استخدامها؛ لحساب التباعد، والمسافات فيما بينها:

$$S = 1,5L(R/W)^{0,8}(L/W)^{0,3} \quad \text{المعادلة (٩-١٤)}$$

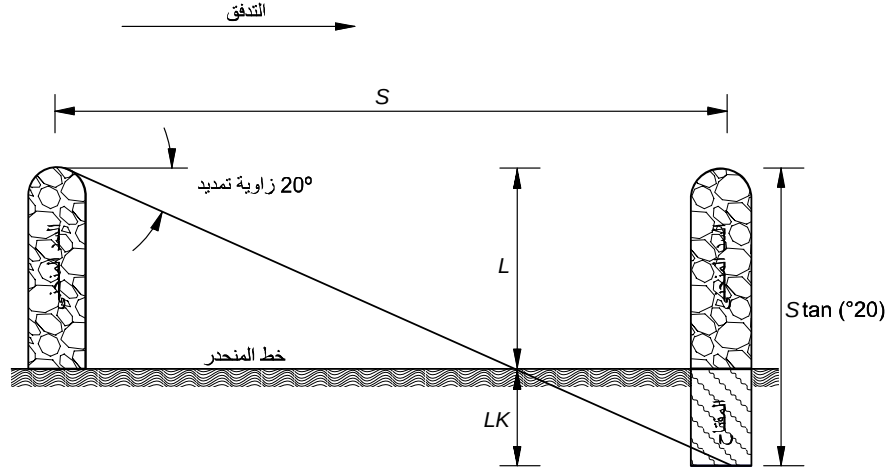
$$S = (4 \text{ to } 5)L \quad \text{المعادلة (٩-١٥)}$$

اعتماداً على شكل الانحناء ومحاذاة التدفق؛ يجب أن يحدد التباعد بين النطاق المحدد بواسطة المعادلتين (٩-١٣، و ٩-١٤). يجب ألا يكون التباعد أكبر من الحد الأعلى الذي تحدده المعادلة ٩-١٥. يوفر تقاطع خط التدفق المماس وخط الجوانب -بافتراض منحنى بسيط- الأساس هو الحد الأقصى للتباعد. على الرغم من عدم النصح بذلك، فإن الحد الأقصى للتباعد يعمل كدليل لمهندسي الهيدروليك. يمكن ضبط التباعد بين الحد الأقصى المقترح والحد الأقصى في الظروف التي يمكن فيها تحمل بعض التآكل بين الهذارات.

$$S_{max} = R \left(1 - \left(1 - \frac{L}{R} \right)^2 \right)^{0,5} \quad \text{المعادلة (٩-١٦)}$$

لتحديد ما إذا كان تباعد الهذار، والطول، والزاوية سيوجهون التدفق إلى الموقع المقصود؛ ينبغي النظر في النتائج من صيغ التباعد. من المهم تقييم ورسم خريطة التيارات التي تدخل وتخرج من الهذارات.

طول المفتاح: ينبغي ربط جميع هياكل حماية الضفاف أو الجوانب؛ مثل: (الهذارات المنحنية) في خط؛ لتجنب أن يحيط بها التدفق. طول المفتاح، أو LK، يكون -عادةً- خمس طول الهذارات الطويلة، وحوالي نصف طول الهذارات القصيرة. كشفت الاختبارات أنه باستخدام زاوية تمدد تبلغ ٢٠ درجة؛ يمكن توقع حدوث تآكل جانبي بين توتنهام على الروافد المستقيمة تقريباً؛ (انظر: الشكل ٩-١١). نتيجة لذلك؛ أنشئت الصيغ الإرشادية التالية. تحدد هذه الحسابات الحد الأدنى الذي ينبغي زيادته في المناطق الإستراتيجية. من المهم -أيضاً- تحديد ما إذا كان المرشح مطلوباً للمرور بين مادة الجوانب ومفتاح الهذار. (Holtz et al. (1995، ومركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣؛ (FHWA, 2009) يقدمون إرشادات التصميم رقم ١٦، وتوصيات لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب، وتصميم ومواصفات مواد المرشح.



$$LK = S \tan (^\circ 20) - L$$

الشكل (٩-١٢) طول مفتاح الانحناءات الخفيفة.

عندما يكون نصف قطر القناة للانحناء كبيراً أكبر من $(R > 5W)$ و $S > L/\tan(20^\circ)$

$$LK = Stan(20^\circ) - L \quad \text{المعادلة (٩-١٧)}$$

عندما يكون نصف قطر قناة الانحناء صغير أقل من $R < 5W$ و $S < L/\tan(20^\circ)$

$$LK = \frac{L}{2} \left(\frac{W}{L} \right)^{0.3} \left(\frac{S}{R} \right)^{0.5} \quad \text{المعادلة (٩-١٨)}$$

ملحوظة: لا ينبغي أن تكون قيمة (طول المفتاح) أقل من ١,٥ مرة من إجمالي ارتفاع الضفاف أو الجوانب.

المبدأ التوجيهي الخاص بدائرة الحفاظ على الموارد الطبيعية لطول المفتاح للهذارات القصيرة أو الانتقادات اللاذعة (SCS, 2007) and Saele (1994) ؛ هو إدخال الشوكة في الجانب أو الضفة، بمسافة لا تقل عن ٨ أقدام، أو لا تقل عن ١,٥ ضعف في ارتفاع الجوانب، أيهما أعظم.

العرض العلوي: قد يتراوح عرض الهذار العلوي من ٠,٩ إلى ٣,٦ م، ولكن ينبغي أن يكون -على الأقل- (٢ إلى ٣) D_{100} . وبالنسبة للهذارات التي يزيد طولها على ٩ أمتار؛ ينبغي أن يجري الإنشاء من بارجة، أو عن طريق نقل الآلات إلى الهيكل أثناء التدفقات المنخفضة. يجب أن يتراوح عرض أي هيكل، أنشئت بواسطة آلات القيادة -عبر الهذار- بين ٣ و ٤,٥ متر. يمكن ضبط الميول الجانبية للهذارات بزاوية استرخاء طبيعية لمواد الإنشاء (الارتفاع الراسي = ١,٥ ضعف عمق التدفق) أو أقل.

عدد الهذارات: يجب إنشاء أقل عدد من الهذارات المطلوبة؛ لتحقيق أهداف المشروع. لتلبية هذه الحاجة؛ يمكن تغيير طول الهذارات والتباعد. في ضفاف أو جوانب قنوات الصرف غير المختبرة -غالبًا- ما تُستخدم ثلاثة هذارات -على الأقل- جنبًا إلى جنب.

الإنشاء: غالبًا ما يُنشأ هذار منحني؛ عندما يكون للنهر المتأثر تدفقات منخفضة. اعتمادًا على حجم النهر؛ ستُستخدم تقنيات إنشاء مختلفة. يمكن استخدام البارجة للإنشاء على أنهار أكبر؛ مما يسمح بوضع الحجارة دون الإخلال بخط الضفة. ينبغي توفير الوصول من الضفة، وقد تحتاج الآلات إلى الخروج من الهذار عند بنائه، بالنسبة للأنهار حيث لا يمكن الوصول إلى البارجة، وحيث يكون حاجز الانحناء أطول من ٩ أمتار. يمكن العثور على معلومات تكميلية عن استخدام الهذارات المنحنية على الانحناءات الضيقة (نصف قطر الانحناء الصغير) والتعرجات المعقدة في (LaGrone 1996).

٣-٧-٩ مواصفات المواد:

- ١- ينبغي أن يكون الحجر زاوياً، وبحد أقصى ٣٠٪ من الحجر يزيد طوله على ٢,٥ ضعف سمكه.
- ٢- لا ينبغي أن يزيد طول الحجر على سمكه ٣,٥ مرة.
- ٣- ينبغي أن يكون الحجر ممياً جيداً، لكن لا ينبغي أن يكون هناك الكثير من المواد التي يقل حجمها عن نصف متوسط حجم الحجر. سيكون الحجر الأصغر عرضة للإزاحة عن طريق التدفق عند التثبيت؛ لأنه -غالباً- ما يوضع في المياه المتدفقة.
- ٤- ينبغي استخدام أحجار المحاجر أو الخرسانة مكسورة الظهر -بشكل نظيف- في مشاريع الانشاء. يُنصح باستخدام مواد عالية الجودة؛ لأداء طويل الأمد.
- ٥- ينبغي استخدام الصيغ القياسية لحجم دكة الحجارة للتدفق المضطرب كأساس لتحديد حجم المواد. ينبغي أن يكون الحجم -عادة- حوالي ٢٠٪ أكبر مما تحسبه طرق دكة الحجارة غير المضطربة. ينبغي أن يتراوح وزن دكة الحجارة بين D_{٥٠} و ١٠٠,٤٥ و ١٠٠,٠ رطل ٤٥٣,٦ كجم، ويتراوح -عادةً- بين ١ و ٣ أقدام ٠,٩ م. ينبغي أن يكون حجم D_{٥٠} المحسوب ثلاثة أضعاف حجم صخرة D_{١٠٠} على الأقل. لا ينبغي أن يكون D_{١٠٠} للمادة المتدفقة أصغر حجم صخري ممكن.
- ٦- Holtz et al. (1995)، ومركز الدراسات الهيدرولوجية - ٢٣؛ (FHWA, 2009) يوفرون كلا من إرشادات التصميم رقم ١٦، وإرشادات لاختيار القناة أو المجرى المائي المناسب، وتصميم ومواصفات مواد الترشيح.

٤-٧-٩ مثال تصميمي لهذار عند انحناء مجرى:

يوضح المثال التالي التخطيط الأولي لهذارات الانحناء؛ للاستخدام في حماية الجوانب عند منحنى التدفق. يستخدم التصميم الإرشادات الواردة في الأجزاء السابقة.

معطى: عرض الدفق ٣٠,٥ م. نصف قطر المنحنى ١٥٢,٤ م. يبلغ ارتفاع الضفة ٣ أمتار؛ وهو متوسط منسوب المياه السنوي المرتفع.

قم بتطوير مخطط أولي لوضع الهذار لحماية الجوانب عند منحنى التدفق. ينبغي أن يتضمن التخطيط الأولي: ارتفاع الهذار، وطول الهذار، وطول المفتاح، وتباعد الهذارات. افترض أنه سيتحدد حجم الحجر في التصميم النهائي للنظام.

الخطوة رقم ١: تحديد ارتفاع الهذار.

الارتفاع = ٠,٣ إلى ٠,٥ من متوسط عمق المياه السنوي العالي؛ (استخدم ٠,٣ لهذه المشكلة).

الارتفاع = ٠,٣ (٣ م) = ٠,٩ م.

الخطوة رقم ٢: حدد طول الهذار.

الطول = العرض/٣ ؛ لإعادة توجيه التدفق.

الطول = العرض/٤ ؛ لحماية الجوانب.

الطول = ٣٠,٥ قدم/٤ = ٧,٦ م.

الخطوة رقم ٣: تحديد التباعد بين الهذارات .

$$S = 1.5L \left[\frac{R}{W} \right]^{0.8} \left[\frac{L}{W} \right]^{0.3}$$

$$S = 1.5(7.6) \left[\frac{152.4}{30.5} \right]^{0.8} \left[\frac{7.6}{30.5} \right]^{0.3} = 27.4 \text{ m}$$

تحقق من المسافة بين الهذارات = S (الطول) = ٤ (٧,٦ م) = ٣٠,٥ م. بناءً على ظروف الموقع؛ استخدم ٣٠,٥ م.

تحقق من الحد الأقصى للتباعد؛ المعطى بواسطة:

$$S_{max} = R \left[1 - \left[1 - \frac{L}{R} \right]^2 \right]^{0.5}$$

$$S_{max} = R \left[1 - \left[1 - \frac{7.6}{152.4} \right]^2 \right]^{0.5} = 47.5 \text{ m}$$

$S_{max} > S$, تابع:



الخطوة رقم ٤: تحديد طول المفتاح.

تحقق من نصف قطر الانحناء $R < 5$ العرض والمسافة بين الهذارات الطول/تان (٢٠ درجة).
نصف قطر الانحناء = ١٥٢,٤ م ، والعرض = ٣٠,٥ م؛ لذلك نصف قطر الانحناء $5 < (العرض) = ١٥٢,٤$ م.

المسافة بين الهذارات = ٣٠,٥ م ، والطول = ٧,٦ م؛ لذلك $S < L$ تان (٢٠ درجة) = ٢٠,٩ م .

طول المفتاح = المسافة بين الهذارات تان (٢٠ درجة) - الطول.

طول المفتاح = ٣٠,٥ - (٢٠ درجة) - ٧,٦٢ = ٣,٥ م.

تحقق من طول المفتاح $< 1,5$ (ارتفاع الضفاف أو الجوانب) = ١,٥ (٣,٠٤) = ٤,٦ م.

ينبغي تعيين طول المفتاح على ٤,٦ م ؛ لأن هذه القيمة أكبر من القيمة المحسوبة أولاً.

الخطوة ٥: تحديد التخطيط الأولي.

التخطيط الأولي لهذا التدفق؛ هو كما يلي:

الارتفاع (العلو) = ٠,٩ م .

الطول (الطول) = ٧,٦ م.

التباعد (المسافة بين الهذارات) = ٣٠,٥ م.

طول المفتاح (طول المفتاح) = ٤,٦ م.

١٠- التحكم في الانجراف والرواسب:

١-١٠ مقدمة:

١-١-١٠ السياسة:

الانجراف والرواسب؛ هما عمليتان جيوفيزيائيتان، تؤديان إلى فصل مواد التربة، وترسيب المواد المنقولة، في المقام الأول، بسبب هطول الأمطار والجريان السطحي (AASHTO, 2007، الباب ٣). يمكن أن يحدث الانجراف والترسيب المتسارعان في بعض الأحيان- بالتزامن مع إنشاء الطرق، ومرافق النقل. يمكن أن تؤدي هذه العملية المتسارعة إلى تأثيرات كبيرة؛ على سبيل المثال: (مخاطر السلامة، مشكلات الصيانة الباهظة، الظروف القبيحة، عدم استقرار الميول، وتعطيل النظم البيئية، العقوبات المكلفة، أوامر الإيقاف والكف)؛ ما يؤدي إلى تأخير المشروع. لذلك ينبغي بذل الجهود؛ للسيطرة على التآكل، وتقليله، وإدارة الترسيب في وقت مبكر في الموقع، ومراحل التصميم لإنشاء وصيانة الطرق؛ كما هو موضح في إرشادات سياسة الانجراف والرواسب العامة للتصميم الهندسي للطرق والشوارع (AASHTO, 2011). يجب أن يكون لبرنامج مكافحة الانجراف والرواسب خطة عمل، وأن يشمل على وثائق العقد؛ على سبيل المثال: (المواصفات والمقاييس)؛ لتحقيق مستوى مقبول من التحكم، ضمن المواصفات المحددة وحدود الرقابة. تشبه خطة العمل -هذه- عملية تطوير الطرق في المنطقة، التي تؤدي إلى خطط ووثائق تعاقدية؛ لتوفير وصيانة مرافق النقل، بناءً على مواصفات وضوابط معينة.

على الرغم من إمكانية توحيد بعض الأساليب لتقليل انجراف التربة في إنشاء الطرق، فإن الإرشادات الوطنية للتحكم في التعرية ذات طبيعة عامة؛ بسبب التباين الواسع في المناخ، والتضاريس، والجيولوجيا، والتربة، والغطاء النباتي، وموارد المياه، واستخدام الأراضي في مختلف أجزاء المملكة. يجب أن تحصل منظمات الطرق -الإقليمية- على موظفين مؤهلين؛ لإعداد المواصفات اللازمة للزراعة، وإنشاء الغطاء الأرضي، والأشجار، والشجيرات، والكروم، ومختلف إجراءات التحكم في الانجراف والرواسب. وبالنسبة لمناطق المملكة العربية السعودية التي لا يوجد بها لوائح للتحكم في الانجراف والرواسب؛ ينبغي أن يكون مستوى التحكم في الانجراف والرواسب متناسبًا مع احتمالية الانجراف والآثار الناتجة عنها عند أنشطة الإنشاء.

١-١-١٠ نظرة عامة:

ينبغي أن يستخدم مهندس الهيدروليكا الإجراءات الواردة في هذا الباب؛ لإعداد خطة التحكم في الانجراف والرواسب الخاصة بالمشروع؛ بمراعاة جميع العوامل المؤثرة في التعرية (الجزء ١-١٠)، واتباع المبادئ الفنية التي نوقشت في الجزء (١-١٠)، ومن خلال تنفيذ الخطة، والتحكم في التدابير والممارسات الخاصة بإدارة الترسيب التي نوقشت في الأجزاء (١-١٠) و(١-١٠).

١-١-١٠ الإرشادات:

يتضمن تطوير خطة التحكم في الانجراف والرواسب تخطيطًا منطقيًا، ويجب أن يؤخذ في الاعتبار الجدول الزمني لأنشطة الإنشاء، وتوقيتها، وتطبيق تدابير التحكم التي ستقلل من الآثار السلبية لانجراف التربة، ونقلها، وترسيبها. تتكفل الإرشادات الأساسية التالية وضع وتنفيذ خطة سليمة؛ للتحكم في الانجراف والرواسب:

- يجب تخطيط تصميم المشروع؛ للاستفادة من التضاريس، والتربة، والمجاري المائية، والنباتات الطبيعية في الموقع.
- ينبغي تعريض أصغر منطقة عملية لعناصر انجراف، لأقصر وقت ممكن.
- ينبغي تطبيق تدابير التحكم في التعرية في الموقع؛ لتقليل الانجراف المحتمل للموقع.
- ينبغي تطبيق تدابير التحكم في الرواسب؛ لتجنب التأثيرات الخارجية المحتملة.
- ينبغي وضع تدابير للتحكم في الرواسب لعمليات نزع المياه عن العمل تحت منسوب المياه الجوفية.
- ينبغي استخدام التحكم في الرواسب؛ لحماية المداخل المعرضة لأحمال الرواسب الحيوية ولمنع الانزلاق المائي.
- ينبغي أن تحتفظ أجهزة محاصرة الرواسب بتلك الرواسب الكبيرة؛ حتى لا تشطف من المداخل والأنابيب أثناء التدفقات اليومية المتوقعة.
- ينبغي تنفيذ برنامج فحص وصيانة شامل.

في الممارسة العملية؛ تجب مراعاة هذه الإرشادات الخاصة بالتحكم في الانجراف والرواسب في عملية التخطيط؛ من أجل تحديد قضايا الانجراف المحتملة، والتحكم في الرواسب قبل بدء الإنشاء.

١-١-١٠ تدابير التحكم:

تدابير التحكم (المزيد من التفاصيل في الجزء ١-١٠)؛ مثل تثبيت المستحلبات والغطاء النباتي، مطلوبة لجميع المناطق المضطربة. تشمل تدابير الغطاء النباتي -عمومًا- الاحتفاظ، أو توفير شرائح من الغطاء النباتي؛ لتوفير حاجز ترشيح، وبذر مؤقت، وبذر دائم، ونقع، ونشارة. تكون تدابير التحكم الإنشائية مطلوبة؛ عندما يترك الجريان السطحي المحمل بالرواسب، الذي يحتمل أن يكون ضارًا ومضطربًا، ويتضمن -عمومًا- مصائد الرواسب، والتحويلات، وأحواض الرواسب، ومرافق الصرف الدائم.

ينبغي أن تكون خطة التحكم في الانجراف والرواسب -التي نوقشت في الجزء (١-١٠)- جزءًا من خطة الإنشاء الشاملة للمشروع؛ مثل مواصفات الإنشاء المناسبة لتدابير التحكم. ينبغي تطوير هذه المواصفات بالتشاور مع مصمم

خطة التحكم في الانجراف والرواسب؛ من أجل معالجة الظروف الخاصة بالموقع (Virginia Erosion and Sediment Control Handbook, Third Edition, 1992).

١٠-٢ العوامل المؤثرة في الانجراف:

١٠-٢-١ العوامل الرئيسية:

تحدد إمكانية حدوث الانجراف الكامنة في أي منطقة؛ من خلال أربعة عوامل رئيسية، نوقشت بالتفصيل في الأقسام المذكورة:

- خصائص التربة؛ (الجزء الفرعي ١٠-٢-٢).
- الغطاء النباتي؛ (الجزء الفرعي ١٠-٢-٣).
- التضاريس؛ (الجزء الفرعي ١٠-٢-٤).
- المناخ؛ (الجزء الفرعي ١٠-٢-٥).

١٠-٢-٢ خصائص التربة:

إن خصائص التربة التي تؤثر في الانجراف بسبب هطول الأمطار والجريان السطحي؛ هي تلك التي تؤثر في قدرة التربة على التسرب، ومقاومتها للانفصال، وجرفها بعيداً نتيجة تساقط المياه أو تدفقها. عادةً ما تكون التربة التي تحتوي على نسب عالية من الرمال الناعمة والطيني؛ هي الأكثر قابلية للانجراف. مع زيادة محتوى الطين والمواد العضوية في التربة؛ تقل قابلية الانجراف. يعمل الطين كرابط لجزيئات التربة؛ لذا يقلل قابلية الانجراف. وعلى الرغم من أن الطين يميل إلى مقاومة الانجراف، فإنه بمجرد انجرافه يمكن نقله بسهولة بالماء. تتمتع التربة -التي تحتوي على نسبة عالية من المواد العضوية- بهيكل أكثر استقراراً، مما يعمل على تحسين نفاذيتها. تقاوم مثل هذه التربة انفصال قطرات المطر، وتسرب المزيد من مياه الأمطار. عادةً ما تكون الحصى جيدة التصريف، والتربة ذات التصنيف الجيد، ومخاليط الرمل والحصى؛ هي أقل أنواع التربة قابلية للانجراف. التربة ذات معدلات التسرب والنفاذية العالية؛ تقلل من كمية الجريان السطحي.

١٠-٢-٣ الغطاء النباتي:

يلعب الغطاء النباتي دوراً مهماً في الحد من الانجراف؛ بالطرق التالية:

- تحمي سطح التربة من تأثير قطرات المطر.
- يبقى على جزيئات التربة في مكانها.
- يحافظ على قدرة التربة على امتصاص الماء.
- يبطئ من سرعة الجريان السطحي.
- يزيل المياه الجوفية بين فترات هطول الأمطار؛ من خلال عملية التبخر.

من خلال الحد من إزالة الغطاء النباتي الموجود، وتقليل أو تنظيم مساحة ومدة التعرض؛ يمكن تقليل انجراف التربة بشكل كبير. ينبغي إيلاء اعتبار خاص لصيانة الغطاء النباتي الموجود في المناطق ذات القدرة العالية على الانجراف؛ مثل: (التربة القابلة للانجراف، والميول الشديدة، وممرات الصرف).

١٠-٢-٤ التضاريس:

تؤثر خصائص حجم، وشكل، وانحدار مستجمعات المياه في كمية ومعدل الجريان السطحي. مع زيادة طول الميل ومستوى الانحدار؛ يزداد معدل الجريان السطحي، وتتفاقم احتمالية الانجراف. يمكن أن يكون اتجاه الميل -أيضاً- عاملاً إضافياً في تحديد إمكانية الانجراف.

١٠-٢-٥ المناخ:

يعد تكرار، وشدة، ومدة هطول الأمطار عوامل أساسية في تحديد كميات الجريان السطحي المنتجة في منطقة معينة (تناقش منحنيات هطول الأمطار بمزيد من التفصيل في الباب الثاني). مع زيادة حجم وسرعة الجريان السطحي؛ تزداد -أيضاً- قدرة الجريان السطحي على فصل ونقل جزيئات التربة. عندما تكون العواصف المطرية متكررة، أو شديدة، أو طويلة الأمد؛ تكون مخاطر الانجراف عالية. تساعد التغيرات الموسمية في درجة الحرارة، وهطول الأمطار على تحديد فترة مخاطر الانجراف العالية خلال العام.

١٠-٣ المبادئ الفنية:

١٠-٣-١ مقدمة:

لكي تكون خطة التحكم في الانجراف والرواسب فعالة على مستوى البرامج؛ يجب تطويرها في مرحلة تخطيط المشروع. ستؤدي تدابير التحكم في الانجراف والرواسب المخطط لها -عند تطبيقها بإخلاص وسرعة عند الإنشاء- إلى تطوير منظم، دون حدوث تدهور بيئي كبير. من المناقشة السابقة لعمليات الانجراف والترسيب، والعوامل التي تؤثر في الانجراف؛ يمكن صياغة مبادئ فنية أساسية

لمساعدة مهندس الهيدروليكا على تطوير خطة فعالة للتحكم في الانجراف والرواسب. ينبغي استخدام هذه المبادئ إلى أقصى حد ممكن في جميع المشاريع.

١٠-٣-٢ المبادئ:

ينبغي دمج المبادئ في نظام التدابير النباتية، والتدابير الإنشائية، وتقنيات الإدارة؛ لتطوير خطة تقلل من انجراف الموقع وتتحكم في الرواسب. في معظم الحالات؛ سيثبت الجمع بين وقت التعرض المحدود والاختيار الحكيم لممارسات مكافحة الانجراف ومرافق مصائد الرواسب أنها الطريقة الأكثر عملية للتحكم في الانجراف، وما يرتبط بها من إنتاج ونقل للرواسب. يحتوي الجزء (١٠-٥) على تدابير تحكم محددة؛ لاستخدامها في وضع خطة للتدابير النباتية، والتدابير الإنشائية، وتقنيات الإدارة لمنع الانجراف، والتحكم في الرواسب في موقع الإنشاء.

١٠-٤ خطة التحكم في الانجراف والرواسب:

١٠-٤-١ خطة التحكم:

خطة التحكم في الانجراف والرواسب؛ هي خريطة ذات مواصفات ومقاييس تحدد احتمالية حدوث مشكلات الانجراف، وقرار التحكم في الترسيب، وتدابير التخفيف منه في مشروع الإنشاء.

١٠-٤-٢ إجراءات تطوير الخطة:

ينبغي أن يتناسب طول الخطة وتعقيدها مع حجم المشروع، وشدة ظروف الموقع، واحتمالية حدوث تأثيرات خارج الموقع، وينبغي أن يتضمن الخطوات التالية (AASHTO, 2007، الباب ٣).

الخطوة ١: جمع البيانات والتحليل الأولي.

يمكن أن تكون خطط إنشاء الطرق بمنزلة خريطة أساس لخطة التحكم في الانجراف. يتعين أن يقوم مهندس الهيدروليكا -المسؤول عن تطوير الخطة- بفحص الموقع؛ للتحقق من مسارات الصرف، وخصائص التربة العامة، والعوامل خارج الموقع.

يتعين أن تعكس البيانات الأساسية المعلومات؛ مثل: ميول الأرض، وأنماط الصرف الطبيعي، ومناطق مستجمعات المياه، والنباتات الموجودة (مع ملاحظة الارتباطات النباتية الخاصة)، والمناطق الحساسة؛ مثل: (الميول الشديدة، ومناطق الانجراف، والتنوءات الصخرية)، وقيم المناظر الطبيعية الفريدة أو الجديرة بالملاحظة للحماية، والمجاورة لاستخدامات الأراضي، وخاصة المناطق الحساسة للترسيبات أو الفيضانات، والتربة الحرجة أو شديدة الانجراف التي ينبغي تركها دون عائق. من هذه البيانات؛ ينبغي على مهندس الهيدروليكا أن يحدد ويصنف المناطق العازلة للميول شديدة الانحدار والطبيعية ومن صنع الإنسان، ومناطق عبور التدفق، وطرق الوصول لإنشاء وصيانة أجهزة التحكم في الترسيب، ومناطق الاستعارة والتخلص من النفايات، ومعظم المواقع العملية لممارسات التحكم. ينبغي أن يساعد هذا على جمع البيانات وتحليلها، وعلى إنشاء إمكانات الموقع والقيود، ومناطق الانجراف الحرجة.

الخطوة ٢: التخطيط للتحكم في الانجراف والرواسب.

يوصى بالإجراء العام -التالي- لتخطيط الانجراف، والتحكم في الرواسب:

- ١- تحديد حدود النظافة والتسوية السطحية؛ لتحديد المناطق التي ينبغي تدخلها بدقة، ولاستيعاب الإنشاء المقترح للتحكم في الانجراف وإدارة الترسيب.
- ٢- تقدير كمية الجريان السطحي التي يمكن أن تنتقل فوق الموقع، والنظر في كيفية التحكم في الانجراف والترسيب في كل منطقة.
- ٣- تحديد ممارسات التحكم في الانجراف، والرواسب التي يمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات عريضة: الضوابط الخضرية، والضوابط الإنشائية، وتدابير التخفيف الإدارية التي تشمل تقنيات إدارة الإنشاء؛ لغرض تقليل الحاجة إلى الضوابط المادية وخفض التكاليف.

الضوابط النباتية:

لتقليل أو محاولة منع الانجراف؛ يجب حماية سطح التربة من تأثير قطرات المطر، وتدفق الجريان السطحي البري؛ عن طريق الحفاظ قدر الإمكان على الغطاء الأرضي الحالي للطريق. عندما يكون تداخل الأرض ضرورياً؛ ينبغي استخدام البذر والتغطية المؤقتة - حسب الحاجة- في المناطق التي ستعرض لفترات طويلة من الزمن. يتعين أن تتضمن خطط التحكم في الانجراف والرواسب أحكاماً؛ لتحقيق الاستقرار الدائم في المناطق المتخللة. ينبغي أن يتضمن اختيار الغطاء النباتي الدائم متطلبات الإنشاء، والقدرة على التكيف مع ظروف الموقع، ومتطلبات الصيانة.

الضوابط الإنشائية:

غالباً ما تُستخدم الممارسات الإنشائية كخط دفاع ثانٍ أو ثالث؛ لاحتجاز الرواسب قبل مغادرتها الموقع، وهي -عموماً- أكثر تكلفة، وتتطلب صيانة أكبر، وأقل كفاءة من الضوابط النباتية. تشمل الضوابط الإنشائية -أيضاً- مرافق معالجة مياه الأمطار والصرف الدائمة، وينبغي بناؤها وتشغيلها في أقرب وقت ممكن في عملية الإنشاء.

التدابير الإدارية:

الإدارة الجيدة للانشاء لا تقل أهمية عن الممارسات الفيزيائية للتحكم في الانجراف والرواسب. فيما يلي بعض الاعتبارات الإدارية التي يمكن توظيفها في المملكة العربية السعودية:

- تنفيذ التسلسل؛ حيث لا تبقى أي منطقة مكشوفة لفترات طويلة من الزمن دون داع.
- ينبغي البدء بالبذر المؤقت مباشرة بعد توقف التسوية السطحية لأي فترة زمنية طويلة.
- في المشاريع الكبيرة؛ يُرتب الإنشاء -إن أمكن- حيث يمكن تثبيت منطقة قبل تداخل منطقة أخرى.
- وضع وتنفيذ جدول زمني منتظم؛ للمعاينة، والصيانة لممارسات مكافحة الانجراف، ومراقبة الرواسب.
- التأكد من أن جميع العاملين على فهم ودراية بالأحكام الرئيسية لخطة التحكم في الانجراف والرواسب.
- مسؤولية تنفيذ خطة التحكم في الانجراف والرواسب؛ ينبغي إسنادها لمسؤول واحد.

الخطوة ٣: تحضير الخطة.

تتمثل الخطوة الأخيرة في دمج المعلومات -ذات الصلة- وتطويرها في خطة محددة للتحكم في الانجراف والرواسب للمشروع؛ من خلال شرح الإجراءات والحلول -المذكورة أعلاه- بوضوح لجميع المشاركين.

١٠-٥ تدابير وممارسات التحكم:

١٠-٥-١ مقدمة:

فيما يلي مناقشة لممارسات التحكم في انجراف الطرق الرواسب شائعة الاستخدام، التي يجب أخذها في الاعتبار لتنفيذ خطة التحكم في الانجراف الخاصة بالموقع؛ كما نوقش في الجزء (١٠-٤). يُلاحظ أنه يمكن استخدام التدابير التي نوقشت؛ للسيطرة على الرواسب والانجراف بوصفها حلاً مؤقتاً، يسبق الحلول الدائمة للانشاء، أو التربة المضطربة التي تؤثر في الطرق والمنطقة المحيطة؛ ويمكن أن تشمل: الحواجز ذات الأكياس الرملية، وأسوار الطمي، ولفات الألياف، وما إلى ذلك.

يجب على مناطق المملكة العربية السعودية تطوير تفاصيل ومواصفات التصميم لهذه الممارسات، التي تعالج المشكلات والظروف المحلية (AASHTO, 2007، الباب ٣):

- ١- خطط لمشروع الطريق؛ ليتلاءم مع التضاريس، والتربة، وأنماط الصرف، والنباتات الطبيعية الخاصة -قدر الإمكان-. ينبغي تجنب المناطق ذات الميول الشديدة، والتربة القابلة للانجراف، والتربة ذات القيود الشديدة -حيثما أمكن ذلك-. إذا كان لا يمكن تجنب هذه المناطق؛ فإن مراحل الإنشاء ينبغي أن تقلل من التأثيرات في هذه المناطق إلى أقصى حد عملي.
- ٢- التقليل من مدى ومدة تعرض التربة المتخلخلة. خطط مراحل الإنشاء؛ لتقليل تعرض التربة المتخلخلة للعناصر المسببة للانجراف. يجب إكمال عمليات التسوية السطحية -في أقرب وقت ممكن- بعد بدئها. يتعين أن تحصل جميع المناطق المتخلخلة -التي ليست في مستويات الانحدار النهائية، ولا يُتوقع حدوث أنشطة تسوية إضافية عليها لمدة ١٥ يوماً أو أكثر- على غطاء جيد من الغطاء النباتي المؤقت، أو مهد التثبيت الواسع. في غضون ٧ أيام بعد تحقيق مستوى الانحدار النهائي؛ يتعين إنشاء غطاء نباتي دائم في جميع المناطق المتخلخلة.
- ٣- تطبيق ممارسات ملائمة للتحكم في الانجراف؛ لمنع التأثيرات المفرطة في الموقع. يتعلق هذا المبدأ باستخدام الممارسات التي تتحكم في انجراف الموقع؛ لتقليل نقل الرواسب. مع الحفاظ على التربة مغطاة -قدر الإمكان- بنباتات مؤقتة، أو دائمة، أو بمواد مهد مختلفة. يمكن استخدام طرق خاصة للتسوية؛ مثل: تخشين الميل، أو التتبع باستخدام جرافة مسننة. يجب منع الانجرافات الكبيرة؛ مثل: (الأخاديد)؛ عن طريق تنفيذ هذه الأجهزة للتحكم في المياه.
- ٤- تطبيق ممارسات التحكم في المحيط؛ لحماية المنطقة المتخلخلة من الجريان السطحي خارج الموقع، ولمنع آثار الترسيب على المناطق الواقعة أسفل موقع الإنشاء. يتعلق هذا المبدأ باستخدام الممارسات التي تعزل موقع الإنشاء -بشكل فعال- عن السمات المحيطة، وللتحكم في الرواسب بمجرد فصلها، ولمنع نقل الرواسب من الموقع. يمكن تصنيف عمليات التحويل، والسدود، ومصدات الرواسب، والممارسات الخضرية، والضوابط الإنشائية على أنها: إما مؤقتة، أو دائمة؛ اعتماداً على ما إذا كانت ستظل قيد الاستخدام بعد اكتمال الإنشاء أم لا.
- ٥- بشكل عام، يمكن التحكم في فقدان الرواسب بطريقتين: (أ) ترشيح الجريان السطحي أثناء تدفقه عبر منطقة، و (ب) حجز الجريان السطحي المحمل بالرواسب لفترة من الوقت؛ حتى تستقر جزيئات التربة. ومع ذلك فإن أفضل طريقة للتحكم في الرواسب؛ هي منع الانجراف.
- ٦- الحفاظ على سرعات منخفضة للجريان السطحي، مع الاحتفاظ بالجريان السطحي المحمل بالرواسب في الموقع. ستؤدي إزالة الغطاء النباتي الموجود، والزيادة الناتجة في مساحة السطح غير النفاذة عند الإنشاء إلى زيادة حجم وسرعة الجريان السطحي. تجب مراعاة هذه الزيادات عند وضع خطة التحكم في الانجراف والرواسب. يمكن أن يؤدي الحفاظ على أطوال منحدرات قصيرة ومنبسطة، والحفاظ على الغطاء النباتي الطبيعي إلى إبقاء سرعات الجريان السطحي منخفضة، والحد من مخاطر الانجراف. يجب نقل الجريان السطحي الناجم عن مشاريع التطوير بأمان إلى مخرج ثابت؛ باستخدام مصارف الأمطار، أو التحويل، أو الممرات المائية المستقرة، أو تدابير مماثلة؛

- (انظر: التفاصيل في الباب ٦ و ٧). يجب تصميم أنظمة النقل؛ لتحمل سرعات ذروة التصريف المتوقعة. يتعين أن تكون هذه المرافق جاهزة للعمل قبل إزالة الغطاء النباتي الحالي.
- ٧- تثبيت المناطق المتخلخلة فور الوصول إلى مستوى الانحدار النهائي. ينبغي استخدام الهياكل الدائمة، أو الغطاء النباتي المؤقت أو الدائم، أو التغطية، أو الطبقة الحساسة للتثبيت، أو مزيج من هذه التدابير -بأسرع ما يمكن- بعد اكتمال نشاط تخلخل الأرض. يمكن أن يكون الغطاء النباتي، والغطاء المؤقت، ومواد التحكم الأخرى أكثر فاعلية، أو عندما يكون من غير العملي إنشاء نباتات دائمة، أو حتى يُنشأ الغطاء النباتي الدائم. ينبغي استخدام هذه التدابير المؤقتة فور اكتمال التصنيف التقريبي؛ إذا كان من المتوقع حدوث تأخير في الحصول على مستوى الانحدار النهائي. يتعين أن يأخذ تصميم ميول القطع أو الردم، في الاعتبار الثبات وسهولة الصيانة. ينبغي تثبيت الطرق المقترحة، ومناطق وقوف المركبات، وغيرها من المناطق المعيّدة بمواد طبقة ما تحت الأساس الحصوية؛ حتى يوضع الهيكل الانشائي للرصف.
- ٨- تنفيذ فحص شامل، وبرنامج صيانة؛ لضمان استمرار عمل تدابير التحكم في الانجراف والرواسب. هذا أمر حيوي لنجاح المبادئ التي نوقشت سلفاً. لا يمكن السيطرة على الانجراف وتراكم الطمي في الموقع -بشكل فعال- دون عمليات معاينة شاملة ودورية لممارسات التحكم في الانجراف والرواسب. ينبغي أن تشمل عمليات الفحص مراجعة ميدانية لجميع تدابير الانجراف والتحكم، ومرافق إدارة مياه الأمطار، وأنظمة الصرف؛ (انظر: التفاصيل في الباب ٦ و ٧)؛ لضمان السيطرة على جميع المناطق المتخلخلة بشكل كاف. ينبغي الحفاظ على تدابير التحكم في الانجراف والرواسب حتى تستمر في العمل بطريقة فعالة.

١٠-٥-٢ الغطاء النباتي:

يمكن استخدام شرائح الترشيع الخصري؛ لإزالة المواد الصلبة العالقة من جريان تدفق الطبقات الرقيقة، ولكنها غير مقبولة للتحكم في الانجراف والترسيب من التدفقات المركزة. يمكن استخدام شرائح الترشيع؛ للتحكم في المواد الصلبة العالقة في مناطق ذات ميول تصل إلى ١٢٪، وبأطوال منحدرات تصل إلى ٥٠ متراً.

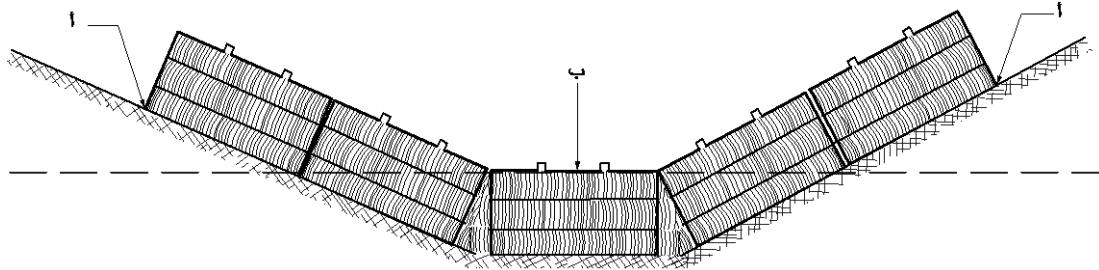
ينبغي أن يأخذ مهندس الهيدروليكا في الاعتبار قيود الاستخدام التالية:

- بذر مؤقت لنباتات مناسبة، وسريعة النمو، ومناسبة للاستخدام في المملكة العربية السعودية.
- بذر دائم لغطاء دائم، مناسب للحالات التي يكون فيها العمر المتوقع للزراعة المؤقتة غير كافٍ لحماية الموقع خلال الفترات الطويلة بين أنشطة التخلخل.

يُعد إعداد حوض البذور أحد الاعتبارات المهمة لجميع تدابير التحكم الخصري. ينبغي تقييم خصائص التربة؛ على سبيل المثال: (عمق الصخور، ودرجة الحموضة، والخصوبة، والرطوبة) عند اختيار النبات. يمكن أن تكون هناك حاجة لاتخاذ تدابير إقليمية لإنشاء غطاء نباتي في المملكة العربية السعودية. يتعين أن تحدد خطة التحكم في الانجراف والرواسب -بوضوح- متطلبات تحضير التربة لموقع المشروع. يمكن ألا تعتبر مرافق التحكم في الانجراف والرواسب كاملة؛ حتى يُنشأ غطاء نباتي مناسب.

١٠-٥-٣ حاجز حزم القش (بالات القش):

حاجز حزمة القش (البالات)؛ هو أكثر حاجز مؤقت للرواسب شيوعاً؛ يتكون من صف من بالات القش المحصنة والمثبتة (الشكل ١٠-١).



يجب أن تكون النقاط أ أعلى من النقطة ب

الشكل (١٠-١) حاجز حزم القش على مسار صرف المياه (Sherwood and Wyant, 1976).

١٠-٥-٣-١ قيود الاستخدام:

يتعين أن يأخذ مهندس الهيدروليكا قيود الاستخدام التالية في الاعتبار (AASHTO, 2007، الباب ٣):

- حجم منطقة الصرف لا يزيد على ٠,١ هكتومتر^٢ لكل ٣٠ متراً من طول الحاجز.
- أقصى طول للانحدار خلف الحاجز هو ٣٠ متراً.

- الحد الأقصى لميل الانحدار خلف الحاجز هو ٥٠٪.
- تستخدم في المستنقعات الصغيرة أو الخنادق؛ حيث لا تزيد مساحة الصرف المشاركة على ٠,٤ هيكتومتر^٢.
- تستخدم عندما تكون الفعالية مطلوبة لمدة تقل عن ثلاثة أشهر.
- ينبغي أن تستخدم فقط- في مناطق ذات التدفق الرقيق، أو المناطق منخفضة التدفق للغاية.
- لا تستخدم في الأماكن التي يكون فيها التحكم في الرواسب أمراً بالغ الأهمية، أو في المناطق عالية الخطورة.
- لا تستخدم في الأماكن التي لا يمكن ترسيخها كما هو مطلوب وتثبيتها بإحكام. العمر المفيد لحاجز القش المبطن قصير نسبياً، وقد يتعين استبدال الحاجز مرة واحدة أو أكثر عند الإنشاء.
- في كثير من الأحيان، سوف تحتاج إلى إصلاح أو استبدال بعد حدوث جريان كبير واحد.

١٠-٥-٣ إرشادات إنشائية لتطبيقات التدفق الرقيق:

يتعين أن يأخذ مهندس الهيدروليك في الاعتبار إرشادات الإنشاء التالية (AASHTO, 2007، الباب ٣):

- ينبغي وضع الباللات في صف واحد -بالطول على الكفاف- حيث تكون أطراف الباللات المتجاورة مثبتة بإحكام.
- ينبغي أن تكون جميع الباللات؛ إما مرتبطة بسلك، أو بخيوط. ينبغي تركيب باللات القش؛ حيث تكون الروابط موجهة حول الجوانب، وليس على طول قمم وقيعان الباللات؛ (لمنع تلف الروابط).
- ينبغي ترسيخ الحاجز وردمه. ينبغي حفر الخندق بعرض الباللة وطول الحاجز المقترح إلى عمق ١٠ سم على الأقل. بعد أن ترص الباللات وتكسر؛ ينبغي ردم التربة المحفورة مقابل الحاجز. ينبغي أن تتوافق تربة الردم مع مستوى الأرض على جانب الميل، ينبغي أن تصل إلى ١٠ سم. مقابل الجانب الصاعد من الحاجز.
- ينبغي تثبيت كل حزمة بشكل آمن؛ بواسطة وتدين -على الأقل- أو قضبان إعادة توجيه، باتجاه الحزمة الموضوعية -سلفاً- لشد الباللات معاً. ينبغي وضع أوتاد أو حديد التسليح إلى الأرض؛ لتثبيت الباللات بشكل آمن.
- يجب سد وتضييق الفجوات بين الباللات (ملؤها بواسطة الاسفين)؛ لمنع تسرب الماء بين الباللات. يميل القش السائب المنتشر فوق المنطقة -صعوداً- ومباشرةً من حاجز القش إلى زيادة كفاءة الحاجز.
- ينبغي أن يجري فحص بشكل متكرر، ويتعين إجراء الإصلاح أو الاستبدال على وجه السرعة حسب الحاجة.
- ينبغي إزالة حواجز حزمة القش؛ عندما يُستفاد منها، ولكن ليس قبل أن تثبت مناطق الميل بشكل دائم.

١٠-٥-٤ تبطين القناة:

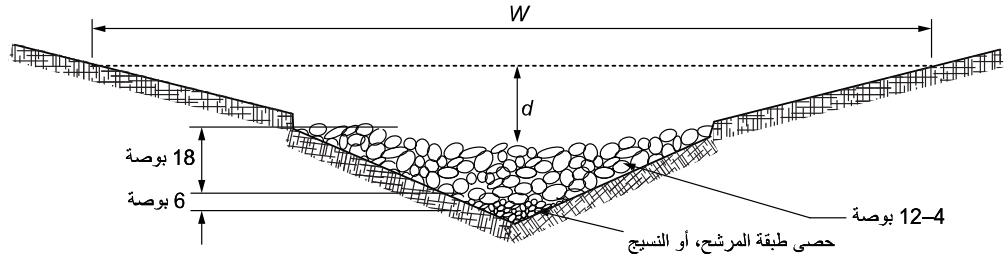
تتمثل إحدى وسائل تقليل الانجراف عند إنشاء وتشغيل الطرق في استخدام تبطينات مصممة بشكل صحيح- في قنوات الصرف. قد تكون التبطينات صلبة (على سبيل المثال، أسمنت بورتلاند، خرسانة أسفلتية، مرنة (مثل، الغطاء النباتي)، أو تكسية بكسر الحجارة الصخرية (دكة الحجارة). يجب استخدام التبطينات المرنة للنباتات المقاومة للانجراف والتكسية بكسر الحجارة الصخرية حيثما أمكن ذلك. عندما يُختار الغطاء النباتي كتبطين دائم للقناة؛ فقد ينشأ عن طريق البذر أو الغمر. عادةً ما يتطلب التثبيت بالبذر الحماية بواسطة مجموعة متنوعة من مواد التبططين المؤقتة؛ حتى ينشأ الغطاء النباتي (AASHTO, 2007، الباب ٣).

١٠-٥-٤-١ قيود الاستخدام:

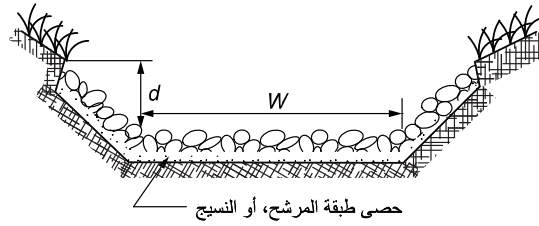
التبطينات المرنة؛ (راجع: الباب ٣) عادة ما تكون أقل تكلفة في التركيب من التبطينات الصلبة، وتوفر جانباً أكثر أماناً للطريق، ولها خصائص ذاتية الإصلاح تقلل من تكاليف الصيانة. كما أنها تسمح بالتسرب، ولها مظهر طبيعي، خاصة بعد إنشاء الغطاء النباتي، وتوفر وسط ترشيح لمخلفات الجريان السطحي. توفر التبطينات النباتية ودكة الحجارة (الشكل ١٠-٢) تحسناً أقل في النقل مقارنة بالظروف الطبيعية، ويكون التسارع الناتج في حجم التدفق والذروة أقل من التبطينات الصلبة.

يعيب التبطينات المرنة كونها محدودة في سرعات التدفق التي يمكنها استيعابها دون حدوث انجراف. نتيجة لذلك، قد توفر القناة سعة منخفضة لقطاع عرضي معين عند مقارنتها بتبطينات صلبة. قد يؤدي -أيضاً- حرم الطريق المحدود، أو عدم توافر الصخور، أو عدم القدرة على إنشاء غطاء نباتي إلى منع استخدام التبطينات المرنة؛ حيث تكون التبطينات الصلبة -في هذه الحالات- بديلاً وحيداً. وتكون التبطينات الصلبة -بشكل عام- ناعمة تماماً؛ حيث تتمتع بسعة عالية لقطاع عرضي معين بسبب المقاومة الهيدروليكية المنخفضة، وعليه تُنتج سرعة تدفق عالية. عندما تصمم وتُركب بشكل صحيح؛ فإن التبطينات الصلبة ستمنع الانجراف في القنوات شديدة الانحدار أو الصعبة؛ حيث لا يمكن استخدام التبطينات الأخرى. يمكن استخدامها -أيضاً- في المناطق التي يكون فيها عرض القناة مقيداً؛ لأنه قد يُنشئ ميل جانبي شديدة الانحدار. طالما أن التبطينات الصلبة سليمة؛ فإن التربة الأساسية محمية عند إنشاء البطانة.

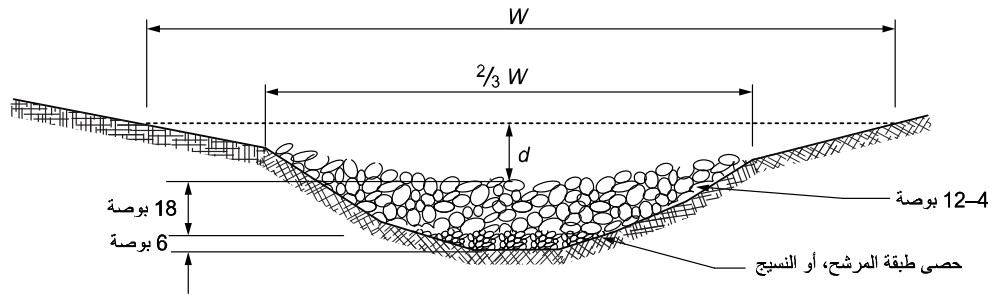
ومع ذلك، فإن التبطينات الصلبة لها -أيضاً- عدد من العيوب المتأصلة؛ إذ إنها مكلفة في الإنشاء والصيانة، ولها مظهر غير طبيعي، وتمنع أو تقلل التسرب الطبيعي، وتسهم في سرعات عالية، وتتجرف باتجاه المصب؛ ما لم تُضف عناصر خشنة لإبطاء التدفق. تفشل العديد من التبطينات الصلبة؛ بسبب تقويض التبططين ببطء، أو تقطيع رأس القناة، أو الضغط الهيدروستاتيكي خلف جدران القناة أو الأرضية.



ممر مائي نباتي على شكل V مع مصرف مركزي للحصى



قناة الفرش الواقي شبه المنحرف



ممر مائي نباتي على شكل قطعي مكافئ

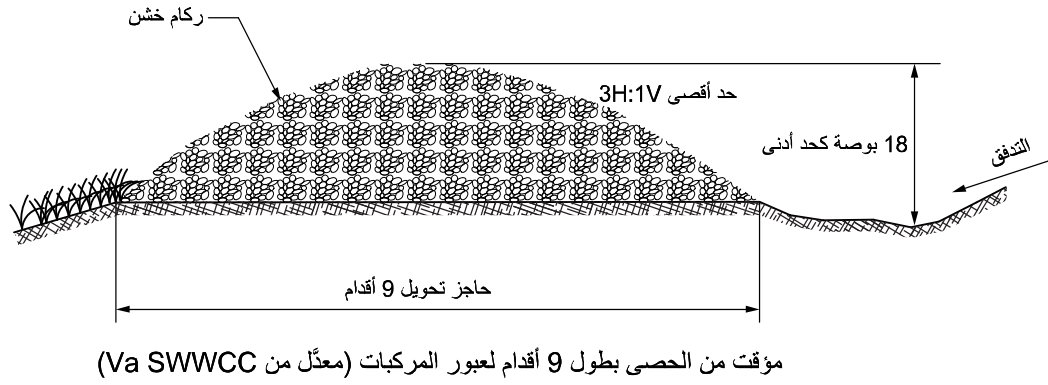
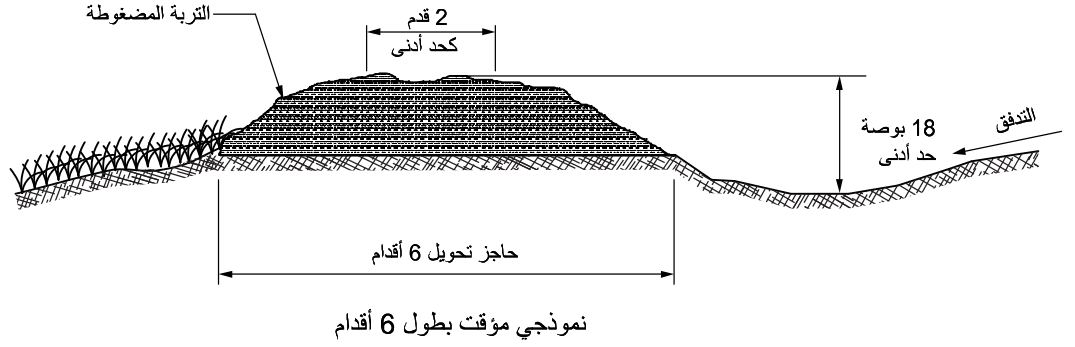
الشكل (٢-١٠) القطاع العرضي لقناة مبطنة بدكة كسر الحجارة الصخرية (NCDENR, 2009).

٢-٤-٥-١٠ تفاصيل التصميم:

ينبغي أن يأخذ مهندس الهيدروليكا في الاعتبار أنه بالنسبة لتبطينات القنوات الصلبة؛ مثل: الخرسانة أو أسمنت التربة، لا توجد سرعات تدفق قصوى مسموح بها - عادة - في أعمال الصرف على الطرق؛ لأنه لا يمكن أن يحدث انجراف من الناحية الاسمية. لذا فإن الحد الأقصى لعمق التدفق يعتمد فقط على متطلبات الخلوص الرأسى للقناة.

٥-٥-١٠ قناة التحويل:

قناة التحويل؛ عبارة عن قناة تُنشأ بميل، مع حافة داعمة على الجانب السفلي؛ لتقليل طول الميل، واعتراض وتحويل جريان مياه الأمطار إلى المخارج المستقرة، بسرعات غير مسببة للانجراف (الشكل ٣-١٠). تستخدم عمليات التحويل؛ حيث قد يؤدي الجريان السطحي من مناطق أعلى إلى إتلاف الممتلكات، أو يسبب الانجراف أو إعاقة إنشاء الغطاء النباتي في المناطق المنخفضة، يؤدي الجريان السطحي، أو تحت السطحي الضحل، أو كليهما إلى إتلاف الميول المرتفعة، أو يحتاج طول الميل إلى خفض؛ لتقليل فقد التربة.



الشكل (١٠-٣) استخدام التحويلات المؤقتة. (Virginia Erosion and Sediment Control Handbook, 1992).

١٠-٥-٥-١٠ تفاصيل التصميم:

في معظم الحالات تُنشأ عمليات التحويل باستخدام تصميم قياسي أو بالحجم المناسب لظروف تدفق الموقع؛ لتلبية الإرشادات التالية (AASHTO, 2007، الباب ٣):

- ينبغي تحديد موقع التحويل؛ بالنظر في ظروف المخرج، والتضاريس، واستخدام الأراضي، ونوع التربة، وطول الميل، ومستويات التسرب (حيث يمثل التسرب مشكلة)، وتخطيط مشروع التطوير.
- يتعين أن يكون لقناة التحويل قدرة دنيا على حمل الجريان السطحي المتوقع من عاصفة مطرية تكرارية مدتها ١٠ سنوات مع حد طفو لا يقل عن ١٠ سم.
- يتعين أن تكون التحويلات المصممة لحماية المباني والمنشآت على طول الطريق سعة كافية؛ لتحمل ذروة الجريان المتوقعة من تكرار العواصف المطرية، بما يتفق مع المخاطر التي تنطوي عليها.
- يمكن أن تكون قناة التحويل على شكل قطع مكافئ، أو شبه منحرف، أو على شكل حرف (V).
- يتعين أن يفي القطاع العرضي للحافة الداعمة بالمواصفات التالية:
 - لا يجوز أن تكون الميول الجانبية أكثر حدة من ٢:١ (رأسي: أفقي).
 - لا يجوز أن يقل العرض عند ارتفاع المياه التصميمي عن ١ متر.
 - يتعين أن يكون الحد الأدنى للخلوص الرأسي ١٠ سم.
 - يتضمن معامل هبوط بنسبة ١٠٪.

٢-٥-٥-١٠ إرشادات الإنشاء:

يتعين أن تحتوي التحويلات على مخارج مناسبة؛ تنقل الجريان السطحي المركز دون انجراف (AASHTO, 2007، الباب ٣).

١. الاستقرار:
 - أ- ما لم يحدث الاستقرار بطريقة أخرى؛ ينبغي أن تبذر التلال والقناة في غضون ١٥ يوماً من التثبيت.
 - ب- المناطق المتخلخلة التي تصرف في التحويل؛ يتعين أن تبذر وتغطى قبل أو في الوقت نفسه الذي ينشأ فيه التحويل.

٢. اعتبارات عامة:



- أ- تجنب إزالة جميع الأشجار، والأغصان، والجذوع، والعوائق، والمواد الأخرى غير المقبولة، والتخلص منها؛ حتى لا تتعارض مع الأداء السليم للتحويل.
- ب- ينبغي حفر التحويل أو تشكيله؛ على شكل خط، بمستوى انحدار، ومقطع عرضي؛ كما هو مطلوب لتلبية المواصفات المحددة، وأن يكون خاليًا من العوائق التي من شأنها إعاقة التدفق.
- ج- يجب دمج مواد الردم -حسب الحاجة- لمنع الهبوط غير المنتظم الذي قد يتسبب في تلف التحويل المكتمل.
- د- يجب التخلص من جميع الأتربة التي أزيلت، وغير الضرورية في الإنشاء؛ حتى لا تتداخل مع عمل التحويل.
- هـ- يتعين أن يجرى تثبيت الدائم للمناطق المتخلخلة؛ وفقًا للمواصفات والمقاييس المعمول بها.

٦-٥-١٠ حاجز الأغصان:

حاجز الأغصان؛ هو حاجز مؤقت للرواسب، يُستخدم للاعتراض والاحتفاظ بالرواسب من المناطق المتخلخلة ذات المدى المحدود؛ ما يمنع الرواسب من مغادرة الموقع. تنشأ حواجز الأغصان في وقت أعمال التنظيف وتجهيز الموقع، وتتكون من الأغصان، والأطراف، وحصائر الجذور، والأعشاب، والكروم، والتربة، والصخور، والأخشاب غير الصالحة للتسويق. عند الاقتضاء؛ يتعين إنشاء حاجز الأغصان في محيط المنطقة المتخلخلة، باستخدام المواد المتبقية المتاحة من تطهير الموقع.

١-٦-٥-١٠ قيود الاستخدام:

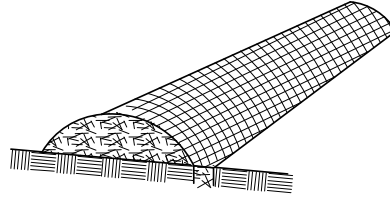
يتعين أن يأخذ مهندس الهيدروليكا في الاعتبار قيود الاستخدام التالية:

- ينبغي أن يقع على بعد ١٥٠ مترًا من مصدر المواد.
- ينبغي أن تستخدم فقط- في مناطق التدفق الرقيق، أو المنخفض للغاية.
- لا ينبغي أن تستخدم في منطقة مطورة؛ حيث يمكن أن تكون هناك مشكلة بصرية أو أي مشكلة إزعاج أخرى.

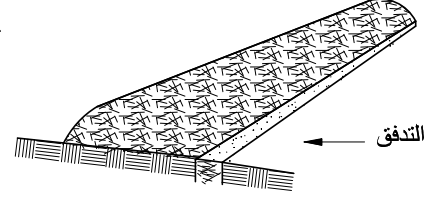
٢-٦-٥-١٠ إرشادات الإنشاء (الشكل ١٠-٤):

يتعين أن يأخذ مهندس الهيدروليكا في الاعتبار إرشادات الإنشاء التالية:

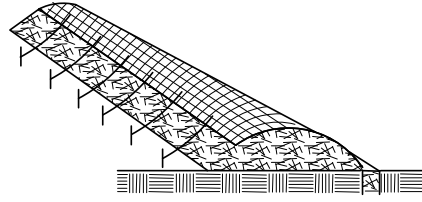
- لا ينبغي أن يقل ارتفاع حاجز الأغصان عن متر واحد.
- لا ينبغي أن يقل عرض حاجز الأغصان عن ١,٥ متر عند قاعدته. يمكن أن تختلف أحجام حواجز الأغصان بشكل كبير؛ بناءً على كمية المواد المتاحة، وحكم مهندس الهيدروليكا.
- ينبغي إنشاء الحاجز بواسطة أغصان مستديرة (وتدية)، حجر، حصيرة جذور، و مواد أخرى من عملية التنظيف، في صف مترابط في محيطه.
- يجب قطع نسيج المرشح إلى أطوال كافية؛ لوضعه عبر الحاجز، من قاعدته العلوية إلى ما بعد قمته مباشرة. عندما تكون الوصلات ضرورية؛ يجب ربط النسيج -معًا- بحد أدنى ٣٠ سم. لقطع متداخلة ومسدودة بإحكام.
- حفر خندق ١٠ سم. عرض ١٠ سم. على طول الحاجز صعودًا من الحاجز مباشرة.
- ينبغي لف أطوال نسيج المرشح؛ عبر عرض الحاجز، مع وضع الحافة المرتفعة في الخندق، وحواف القطع المجاورة المتداخلة مع بعضها البعض.
- ينبغي تثبيت نسيج المرشح في الخندق، مع تثبيت أوتاد تبلغ حوالي ١ متر في المنتصف.
- ينبغي ردم الخندق، ودمك التربة فوق نسيج المرشح.
- وضع الأوتاد في الأرض على طول حافة الميول لحاجز الأغصان، مع تثبيت النسيج بربط النسيج بالأوتاد.



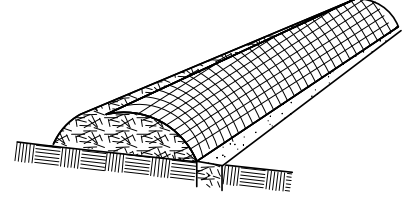
وضع نسيج المرشح فوق حاجز الأغصان وفي الخندق، ويجب تثبيت نسيج المرشح في الخندق مع وضع أوتاد على بعد ٣ أقدام تقريباً من المركز



حفر خندق ٤ بوصات x ٤ بوصات على طول الحافة الشاهقة لحاجز الأغصان



وضع الأوتاد على طول حافة المنحدرات لحاجز الأغصان، مع التثبيت بربط فتيلة من النسيج بالأوتاد



ردم التربة المحفورة وضغطها

الشكل (١٠-٤) حاجز الأغصان مغطى بنسيج المرشح. (Sherwood and Wyant, 1976).



المراجع

AASHTO (2007) *Chapter 3. Erosion and Sediment Control in Highway Construction. Highway Drainage Guidelines*, 4th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2007) *Chapter 4. in Highway Drainage Guidelines*, Fourth Edition. In: Hydraulic Design of Highway Culverts. Washington, DC: Technical Committee on Hydrology and Hydraulics, American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO (2007) *Highway Drainage Guidelines*, Fourth Edition. Chapter 9, Storm Drain Systems, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2007) *Hydrology. Chapter 2 in Highway Drainage Guidelines*, 4th Edition. Technical Committee on Hydrology and Hydraulics, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2011) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Sixth Edition. Task Force on Geometric Design, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2011) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO (2010) *LRFD Bridge Design Specifications*, 5th Edition, Section 2. General Design and Location Features. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

ADOT (2007) *Highway Drainage Design Manual*, Hydraulics, Arizona Department of Transportation, Arizona.

Al-Khalaf (1997) *Predicting short-duration, high-intensity rainfall in Saudi Arabia*. Diss. King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.

AASHTO (2014) *Drainage Manual*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Austraroad (2021) Part 5: Drainage – General and Hydrology Considerations.

BAW (1990) Code of Practice—Use of Cement Bonded and Bituminous Materials for Grouting of Armor Stones on Waterways. Federal Waterway Engineering and Research Institute MAV, BAW, Karlsruhe, Germany.

Brater, E. F. & King, H. W. (1976) *Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydraulic Engineering Problems*. Sixth Edition ed. Boston, MA: McGraw-Hill Co.

- Caltrans (2021) *Highway Design Manual*, California.
- Chow, et al., (1988) *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Chow, V. T. (1959) *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Davidian, J. (1984) Computation of Water Surface Profiles in Open Channels, Techniques of Water Resources Investigation. Book 3, Chapter A15. U.S. Geological Survey, Washington, DC.
- Derrick, D.L. (1994) Design and Development of Bendway Weirs for the Dogtooth Bend Reach, Mississippi River, Hydraulic Model Investigation. Technical Report HL-94-10, USACE, WES, Vicksburg, MS.
- Dimitriadis, P., Tegos A., Oikonomou A., Pagana V., Koukouvinos A., Mamassis N., Koutsoyiannis D., and Efstratiadis A. (2016) Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping, *Journal of Hydrology*, 534, 478–492, doi:10.1016/j.jhydrol.2016.01.020.
- Dimitriadis, P., and Koutsoyiannis D. (2018) *Stochastic synthesis approximating any process dependence and distribution*, *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 32 (6), 1493–1515, doi:10.1007/s00477-018-1540-2.
- Dimitriadis, P., Koutsoyiannis D., Iliopoulou T., and Papanicolaou P. (2021) A global-scale investigation of stochastic similarities in marginal distribution and dependence structure of key hydrological-cycle processes, *Hydrology*, 8 (2), 59, doi:10.3390/hydrology8020059.
- State of Florida Department of Transportation (2019) *Drainage Design Guide*, Office of Design, Drainage Section.
- State of Florida Department of Transportation (2022) *Drainage Design Guide*, Office of Design, Drainage Section.
- FAA (2012) The Federal Lands Highway Project Development Design Manual, Chapter 7–Hydrology and Hydraulics. FL Highway - Department of Transportation, Washington, DC.
- FDOT (2019) *Office of Design*, Drainage Section, Tallahassee, Florida
- FHWA (1961) *Design Charts for Open Channel Flow*. Hydraulic Design Series No. 3, FHWA-EPD-86-102. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- FHWA (2002) *Highway Hydrology*. Hydraulic Design Series No. 2, FHWA-NHI-02-001. Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, DC.
- FHWA (2008) *Introduction to Highway Hydrology*. Hydraulic Design Series No. 4, FHWA-NHI-08-090. Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, DC.



FHWA (2009) *Urban Drainage Design Manual*, 3rd Edition. Hydraulic Engineering Circular No. 22, FHWA-NHI-10-009. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (1993) *Bridge Deck Drainage System*. Hydraulic Engineering Circular No. 21, FHWA-SA-92-010. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (2005) *Design of Roadside Channels with Flexible Lining*. Hydraulic Engineering Circular No. 15, Third Edition, FHWA-NHI-05-114. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (1998) *Design of Roadside Channels with Flexible Linings*. Hydraulic Engineering Circular No. 15, FHWA-IP-87-7. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (2006) *Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels*, 3rd Edition. Hydraulic Engineering Circular No. 14, FHWA-NHI-06-086. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (1989) *Hydraulic Stability of Articulated Concrete Block Revetment Systems During Overtopping Flow*. FHWA-RD-89-199. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (2001) *River Engineering for Highway Encroachments—Highways in the River Environment*. Hydraulic Design Series No. 6. FHWA-NHI-01-004. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FHWA (1991) *Scourability of Rock Formations*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

FHWA (2012) *Stream Stability at Highway Structures*, 4th Edition. Hydraulic Engineering Circular No. 20, FHWA-HIF-12-004, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

FISRWG (1998) *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. Federal Stream Corridor Restoration Handbook (NEH-653) by the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (15 Federal agencies of the United States government).

Giandotti (1934) *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*. Istituto Poligrafico dello Stato, 8, 107–117.

Grimaldi, et al., (2012) *Time of concentration: a paradox in modern hydrology*. Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp.217-228.

Harris County Flood Control District (2001) *Design Manual for Articulating Concrete Block Systems*. Project No. 32-0366.00. Ayres Associates, Fort Collins, CO.

HEC-HMS, (2016) *User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2022. HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, CPD-74B. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

Hemond, H. F., and Benoit J. (1988) *Cumulative Impacts on Water Quality Functions of Wetlands*. Environmental Management, Vol. 12 (5), Springer-Verlag, New York, NY, pp. 639–653.

Henderson, F. M. (1966) *Open Channel Flow*. Macmillan, New York, NY.

Ministry of Communications (now MoTLS) (1992) *Highway Design Manual*. Volume 2 – Book 1 of 2 – Design of Roadways: Section 1.10 Hydraulic Design.

Arizona Department of Transportation (2007) *Highway Drainage Design Manual*.

Holtz, D. H., Christopher B. R., and Berg R. R. (1995) *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*. FHWA HI-95-038. National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Hosking (1990) *L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics*. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 52(1), pp.105-124.

Keaton, J.R., Mishra S. K., and Clopper P. E. (2012) *NCHRP Report 717: Scour at Bridge Foundations on Rock*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.

Koutsoyiannis, D. (2022) *Stochastics of Hydroclimatic Extremes - A Cool Look at Risk*, Edition 2, ISBN: 978-618-85370-0-2, 346 pages, doi:10.57713/kallipos-1, Kallipos Open Academic Editions, Athens.

Koutsoyiannis, D., and Dimitriadis P. (2021) *Towards generic simulation for demanding stochastic processes*, Sci, 3, 34, doi:10.3390/sci3030034.

Koutsoyiannis, et al., (1998) A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. Journal of hydrology, 206(1-2), pp.118-135.

Lagasse, P. F., Clopper, P. E., Zevenbergen L. W., and Ruff J. F. (2006) *National Cooperative Design Criteria, Specifications, and Quality Control* Highway Research Program Report 568: *البحارة*. NCHRP, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

Lagasse, P. F., Clopper P. E., Zevenbergen L. W., and Girard L. G. (2007) *National Cooperative Highway Research Program Report 593: Countermeasures to Protect Bridge Piers from Scour*. NCHRP, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

LaGrone, D. L. (1996) *Bendway Weir General Guidance Memorandum*. U.S. Army Corps of Engineers, Omaha District, Omaha, NE.



- Marble, A. D. (1990) *A Guide to Functional Wetland Design*. FHWA-IP-90-010. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Martin, E. H., and Smoot J. L. (1986) *Constituent-Load Changes in Urban Stormwater Runoff Routed Through a Detention Pond-Wetlands System in Central Florida*. USGS WRI Report 85-4310. U.S. Geological Survey, Reston, VA.
- Maynard, S. T. (1995) *Gabion-Mattress Channel-Protection Design*. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 121, No.7. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, pp. 519–522.
- McBride, M. C., and Sternberg Y. M. (1983) *Storm Water Management Infiltration Structures*. FHWA-MD-83-04. University of Maryland, Maryland State Highway Administration, Federal Highway Administration, College Park, MD. Available from National Technical Information Service, Alexandria, VA.
- MoC (1989). *Highway Design Manual*, Ministry of Communications, Kingdom of Saudi Arabia.
- MODON (2016) *Development Standards*, Saudi Industrial Property Authority.
- MODON (2011), *Development Standards*. Chapter 11: Flood and Storm Water: 11.4 Flood Assessment - 11.5 Flood Analysis. Kingdom of Saudi Arabia.
- MOMRAH (2019) *Road Engineering Design Manual*. Ministry of Municipal & Rural Affairs Deputy Ministry for Technical Affairs. Section 15, 2.07, Hydrology. Kingdom of Saudi Arabia.
- NCDENR (2009) *North Carolina Erosion and Sediment Control Planning and Design Manual*. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Raleigh, NC. Available at <http://portal.ncdenr.org/web/lr/publications>
- NERC (1975) *Natural Environment Research Council, Flood Studies Report*, Institute of Hydrology, Wallingford.
- NOAA (1982) *Evaporation Atlas for the Contiguous 48 United States*. Technical Report 33. U.S. Department of Commerce, Washington, DC.
- NRCS (1972) *National Engineering Handbook*. Section 4, Hydrology. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- NRCS (1973) *A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds*. Technical Publication 149. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, Revised.
- NRCS (1986) *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release No. 55. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- NRCS (2007) *National Engineering Handbook*. Part 654—Stream Restoration Design 210-VI-NEH. National Resources Conservation Service, Washington, DC.

Parker, G., Toro-Escobar C., and Voight R. L. Jr (1998) *Countermeasures to Protect Bridge Piers from Scour*, Final Report, Vol. 2. Prepared for National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Project 24-07, St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, MN.

QATAR (2021) *Part 10: Drainage*, 3. Preliminary Design Work.

Quraishi and Al-Hassoun, (1996) *Use of Talbot formula for estimating peak discharge in Saudi Arabia*. Journal of King Abdulaziz University: Eng. Science, 8, pp.73-85.

Saele, L. M. (1994) *Guidelines for the Design of Stream Barbs*. Stream Bank Protection & Restoration Conference, 9/22/1994–24/1994, SCS-WNTC, Portland, OR.

Schueler, T. R. (1987) *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.

Sherwood, W. C. and Wyant D. C. (1976) *Installation of Straw and Fabric Filter Barriers for Sediment Control*. Virginia Highway and Transportation Research Council, Report No. VHTRC 77-R18.

Simons, D. B., Chen Y. H, and Swenson L. J. (1984) *Hydraulic Test to Develop Design Criteria for the Use of Reno Mattresses*. Report prepared for Maccaferri Steel Wire Products, LTD. Ontario, Canada, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO.

U.S. EPA (1999) *Storm Water Technology Fact Sheet Wet Detention Ponds*. EPA 832-F-99-048. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USACE (1986) *Accuracy of Computed Water Surface Profiles*. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

USACE (1988) *Bendway Weir Theory, Development, and Design*, Waterways Experiment Station Fact Sheet. U.S. Army Corps Engineers, Vicksburg, MS.

USACE (1994) *Hydraulic Design of Flood Control Channels* EM 1110-2-1601. U.S. Army Corps Engineers, Washington, DC.

USACE (1975) *Water Surface Profiles. Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development*. Volume 6, HEC-IHD-0600. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

USBR (1978) *Design of Small Canal Structures*. U.S. Bureau of Reclamation, Denver, CO.

USBR (2006) *Erosion and Sedimentation Manual*. U.S. Bureau of Reclamation, Washington, DC.

USGS (1982) *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*. Bulletin 17B. Interagency Advisory Committee on Water Data, U.S. Geological Survey, Reston, VA.



USGS (1984) *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2339 (also published as FHWA-TS-84-204). U.S. Geological Survey, Washington DC.

Design for Protection of Stream Channels near Highway الحجارة USGS (1986) Rock Structures. WRIR 86-4127. U.S. Geological Survey, Reston, VA.

USGS (1978) *Roughness Characteristics of Natural Channels*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1849. U.S. Geological Survey, Washington, DC.

USGS (1967) *Roughness Characteristics of Natural Channels*. Water Supply Paper 1849. U.S. Geological Survey, Washington, DC.

Virginia Department of Environmental Quality (1992) *Virginia Erosion and Sediment Control Handbook*, 3rd Edition.

Wanielista, M. P., and Yousef Y. A. (1990) *Swale Designs*. Florida Engineering Society Short Course on Stormwater Quality. The Florida Engineering Society and State Department of Environmental Regulation, Orlando, FL.

Wong, S. L., and McCuen R. H. (1982) The Design of Vegetative Buffer Strips for Runoff and Sediment Control in Stormwater Management in Coastal Areas. Maryland Department of Natural Resources, Annapolis, MD.

Yousef, Y. A., Wanielista M. P., and Harper H. H. (1985) *Removal of Highway Contaminants by Roadside Swales*. In Transportation Research Record 1017, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, pp. 62–68.

Yu, S.L., Norris W.K., and Wyant D.C. (1987) *Urban BMP Demonstration Project of the Albemarle/Charlottesville Area*. Report No. UDA/530358/CZ88/102. University of Virginia, Charlottesville, VA.

الملحق أ - مسرد المصطلحات:

تجاوز / تدفق عابر (منقول) - يحدث عند منفذ في مستوى الميل. إنه التدفق الذي لا يُحتَجَز في منفذ في مستوى الميل، ويتجاوزهُ، ويُنْقَل إلى المنفذ التالي في اتجاه المصب. عادةً ما تصمَّم المنافذ الموجودة على المنحدرات للسماح بقدر معين من التدفق، ما لم تكن موجودة في أعلى المجرى في منطقة يُتَوَقَّع استخدام الشارع فيها من قبل المشاة.

منفذ مختلط - منفذ تصريف يتكون عادة من منفذ فتحة في بردورة الرصيف ومنفذ شبكي.

التاج - ١. يُعرف التاج أحياناً باسم السقف، وهو الجزء العلوي من الأنبوب الداخلي. ٢. جزء من الشجرة أو الشجيرة يتكون من أغصان.

عبارة - هيكل إنشائي يُشَيِّد أسفل الطرق أو السكك الحديدية، ويُحاط بالتربة أو الأرض لنقل المياه، عادةً من أحد جانبي الطريق إلى الجانب الآخر، وتحريك جريان مياه الأمطار على طول الطرق أو تحتها أو بعيداً عنها.

فتحة البردورة - منفذ تصريف يتكون من فتحة في بردورة الطريق.

مدخل الصرف - حفرة تصريف جانبية تجمع المياه من الطرق ومواقف السيارات وتنقلها إلى نظام تصريف مياه السيول تحت الأرض.

منفذ هابط - صندوق بحجم يتناسب مع أنبوب تصريف السيول، ويوفر قاعدة لإطار الفتحة الشبكية.

ميل عرضي مكافئ - ميل عرضي مستقيم تخيلي له قدرة نقل تساوي قدرة الميل العرضي المركب المعطى.

منافذ محيطية - توضع المنافذ في اتجاه المنبع وعلى أي من جانبي المنفذ عند النقطة المنخفضة لمنحنى قاع رأسي. تعترض هذه المنافذ الحطام مع انخفاض الميل وتعمل على التخفيف على المنفذ عند النقطة المنخفضة.

معدل التدفق - ١. يشير التدفق إلى كمية المياه المتدفقة. ٢. معدل الساعة المكافئ الذي تمر به المركبات أو مستخدمي الطرق الآخرون عبر نقطة أو جزء محدد من مسار أو طريق خلال فترة زمنية معينة تقل مدتها عن ساعة واحدة، وعادةً ما تكون ١٥ دقيقة.

التدفق الأمامي - جزء التدفق الذي يمر فوق الفتحة من جانب اتجاه المنبع.

منفذ شبكي - منفذ تصريف يتكون من فتحة شبكية في مقطع جادة الطريق، أو على جانب الطريق في نقطة منخفضة أو منطقة منخفضة أو قناة.

محيط فتحة الصرف - مجموع أطوال جميع جوانب الفتحة، باستثناء أن أي جانب مجاور لرصيف لا يعتبر جزءاً من المحيط في حسابات تدفق الهدار.

مزارب - منخفض على جانب الطريق، بجوار الرصيف، يستخدم لتجميع مياه الأمطار وحملها بعيداً عن الطريق.

خط الميل الهيدروليكي - هو: موضع المناسيب التي سيرتفع الماء إليها في أنابيب مقياس الضغط المتتالية، إذا رُكِّبَت الأنابيب على طول مسار الأنابيب (طاقة الضغط بالإضافة إلى طاقة الارتفاع).

مقلوب الأنبوب - هو الجزء السفلي الداخلي للأنبوب.

الخط العرضي - الخط العرضي، الذي يشار إليه أحياناً باسم الموصل، له مداخل متصلة به ولكن لا توجد مصارف أمطار أخرى متصلة به. وعادة ما يكون رافداً لخط الصرف الرئيس.

طاقة الضغط - طاقة الضغط هي ارتفاع عمود الماء الذي يبذل وحدة ضغط تساوي ضغط الماء.

نقطة قاع/نقطة قاع رئيسة - نقطة منخفضة في منحنى رأسي. تشير نقطة القاع الرئيسة إلى نقطة منخفضة قد لا تفيض إلا إذا كان بإمكان الماء أن يتجمع بعمق ٠,٦ متر أو أكثر.



اعتراض التدفق الجانبي - التدفق الذي يتم اعتراضه على طول جانب منفذ الشبكة، بدلاً من الاحتجاز الأمامي.

منفذ صرف مشقوق - منفذ تصريف يتكون من فتحة مستمرة مدمجة في الجزء العلوي من الأنبوب والتي تعمل على اعتراض التدفق وتجميعه ونقله.

رذاذ عابر - هذا الجزء من التدفق الأمامي في فتحة صرف يتخطى أو يعبر فوق الفتحة، ولا يعترضها شيء.

انتشار - ١. يُقاس عرض تدفق مياه الأمطار بشكل جانبي من حافة الطريق. ٢. متوسط قطر أعلى نمو.

مصرف أمطار - إن مصرف الأمطار عبارة عن قناة مغلقة أو مفتوحة تنقل مياه الأمطار التي جُمعت عن طريق المنافذ إلى المصب. يتكون بشكل عام من خطوط عرضية وموصلات وخطوط صرف رئيسة أو أنابيب رئيسة. تعد العبّارات المتصلة بنظام تصريف مياه الأمطار جزءاً من النظام.

خط الصرف الرئيس - هو خط تصريف الأمطار الرئيس. قد تُوصَّل خطوط عرضية في منشآت المدخل أو حفر الوصول. يشار أحياناً إلى الخط الرئيس بـ (الرئيس).

طاقة السرعة - طاقة السرعة هي كمية تتناسب مع الطاقة الحركية للمياه المتدفقة معبراً عنها بارتفاع أو طاقة الماء، ($V^2/2g$).



الملحق ب - الاختصارات والرموز:

A	منطقة المقطع العرضي.
A	مساحة مستجمعات المياه.
A _g	مساحة فتحة واضحة من الشبكة.
A	عمق الانخفاض.
C	معامل الجريان السطحي أو المعامل.
C _o	معامل الفوهة.
C _w	معامل السد.
D	قطر الأنبوب.
d	عمق تدفق المزراب عند خط الرصف.
E	كفاءة المخرج.
E _o	نسبة التدفق الأمامي إلى إجمالي تدفق المزراب (سعة المزراب في المقطع المنخفض / معدل التصريف في المزراب).
g	التسارع الناتج عن الجاذبية.
H	فقدان الطاقة.
h	ارتفاع مخرج فتحة الرصف.
i	شدة هطول الأمطار.
K	معامل.
K _M	معامل الفقد المعدل.
L	طول مخرج فتحة الرصف، أو مخرج الشبكة.
L	طول الأنابيب.
L	طول الجريان السطحي المتنقل.
n	معامل الاضطراب في صيغة مانينغ.
P	محيط فتحة الشبكة، وترك القضبان، والجانب مقابل الرصف.
Q	معدل التصريف في المزراب.



Q_b	التدفق الالتفافي.
Q_i	التدفق المعترض.
Q_s	سعة المزارب فوق المقطع المنخفض.
Q_T	إجمالي نسبة التدفق.
Q_w	سعة المزارب في المقطع المنخفض.
R	نصف القطر الهيدروليكي.
R_f	نسبة التدفق الأمامي المعترض إلى إجمالي التدفق الأمامي.
R_s	نسبة التدفق الجانبي المعترض إلى إجمالي التدفق الجانبي.
S أو S_x	ميل عرضي مع الرصف.
S أو S_L	الميل الطولي للرصف.
S_e	ميل عرضي مكافئ.
S_w	ميل المقطع المنخفض.
T	العرض العلوي لسطح الماء (منتشر على الرصف).
t_c	زمن التجمع.
T_s	ينتشر فوق المقطع المنخفض.
V	سرعة المركبة.
V	سرعة التدفق.
V_o	سرعة المزارب حيث يحدث التناثر أولاً.
W	عرض المزارب.
x	المسافة إلى المخارج المحيطة من النقطة المنخفضة.
y	عمق التدفق في المزارب القريب.



الملحق ج - 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	°F·BTU/h·ft	واط لكل متر كلفن	W/m·K
السعة الحرارية			
وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة رطل - فهرنهايت	°F·BTU/lb	جول لكل كيلو جرام كلفن	J/kg·K
غير ذلك			

ميل في الساعة	(mi/h) mph	كيلومترات لكل ساعة	km/h
		متر في الثانية	m/s
		متر في الثانية المربعة	m^2/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	$\Omega \cdot \text{m}$
		درجة لكل ساعة	$^\circ/\text{h}$
		لومن	lm
		لوكس	lx
		كانديلا	cd
		كانديلا لكل متر مربع	cd/m^2
		مللي كانديلا لكل متر مربع لكل لكس	$\text{lx}/\text{mcd}/\text{m}$
		نيت (كانديلا لكل متر مربع)	nit



		لتر لكل متر مربع	$^2l/m$
		كيلو جرام لكل متر مربع	$^2kg/m$
		جرام لكل متر مربع	$^2gr/m$
		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	$^3kg/m$
رطل لكل قدم مكعب	pcf		
		طن لكل متر مكعب	$^3t/m$
		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 قدم مكعب	$^3ft-lbf/ft$	كيلو نيوتن متر لكل متر مكعب	$^3kN-m/m$
قدم لكل ميل	ft/mi	متر /كيلومتر	m/km
بوصة لكل ميل	in/mi		
		مليمتري / كيلومتر	mm/km

		ميلليمتر / متر	mm/m
		راديان في الثانية	rad/s
		كيلو جرام لكل سنتيمتر مربع	³ kg/cm
		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			km -veh
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



كود الطرق السعودي
SAUDI HIGHWAY CODE

كود الطرق السعودي

تصميم الطرق والجسور والأنفاق
كود الطرق السعودي ٣٠٢ - تصميم مرافق الطرق ومنافعها
الهيدرولوجيا والتصميم الهيدروليكي | ٢٠٢٣
الإصدار الأول