

جدول المحتويات

١	دليل تصميم العبارات.....
١	١- الدراسات الهيدرولوجية.....
١	١-١- مقدمة.....
١	١-٢- الدورة الهيدرولوجية.....
٢	١-٣- المطر وعمليات الجريان.....
٣	١-٤- مدخل إلى التصميم الهيدروليكي.....
٤	١-٤-١- جمع البيانات وتقييمها وتوثيقها.....
٥	١-٤-١-١- بيانات فحص الموقع.....
٨	١-٤-١-٢- إجراءات تقييم البيانات.....
٩	١-٤-١-٣- توثيق البيانات.....
١١	٢- التصميم الهيدروليكي لعبارات الطرق السريعة.....
١١	١-٢- مدخل إلى التصميم الهيدروليكي.....
١١	١-٢-١- نظرة عامة عن العبارات.....
١١	١-٢-١-١- أشكال العبارات.....
١٢	١-٢-١-٢- مواد العبارات.....
١٢	١-٢-١-٣- مداخل العبارات.....
١٤	١-٢-٢- هيدروليكي العبارات.....
١٤	١-٢-٢-١- حالات التدفق.....
١٧	٢-٢- إعتبارات التصميم.....
١٧	١-٢-٢- هيدرولوجيا العبارات.....
١٧	١-٢-٢-١- عام.....
١٧	١-٢-٢-٢- التدفق التصميمي الأعلى (تدفق الذروة).....
١٨	٢-٢-٢- بيانات الموقع.....
١٨	١-٢-٢-٢- موقع العبارة.....
١٨	٢-٢-٢-٢- بيانات مجرى الماء.....
٢١	٣-٢-٢-٢- بيانات خط الطريق.....
٢٣	٤-٢-٢-٢- إرتفاع عمود الماء أمام العبارة.....

٢٣.....	٥-٢-٢-٢- خلاصة
٢٤	٣-٢- تصميم العبارات
٢٦.....	١-٣-٢- خطوات التصميم الهيدروليكي للعبارات النموذجية
٣١.....	٢-٣-٢- العمليات الهيدروليكية على العبارات
٣١.....	١-٢-٣-٢- المعاملات
٣١.....	٢-٢-٣-٢- تحديد إرتفاع عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المدخل (HW_{ic})
٣٤.....	٣-٢-٣-٢- تحديد منسوب الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المخرج (HW_{oc})
٣٧.....	٤-٢-٣-٢- ضياعات الطاقة ضمن العبارة
٤٣.....	٥-٢-٣-٢- توازنات الطاقة عند المدخل
٤٦.....	٦-٢-٣-٢- التدفق المتذبذب (SLUG FLOW)
٤٦.....	٧-٢-٣-٢- تحديد سرعة تدفق المخرج
٤٧.....	٨-٢-٣-٢- طرق تقدير العمق
٤٨.....	٩-٢-٣-٢- طريقة الخطوة المباشرة للماء المرتد
٥٠.....	١٠-٢-٣-٢- التدفق تحت الحرج مع الإنحدار الشديد
٥٠.....	١١-٢-٣-٢- التدفق فوق الحرج مع الإنحدار الشديد
٥٠.....	١٢-٢-٣-٢- القفزة الهيدروليكية في العبارات
٥٣.....	٣- التصميم الإنشائي للعبارات
٥٣	١-٣- مقدمة
٥٣	٢-٣- الخلوصات
٥٣.....	١-٢-٣- الخلوصات الرأسية
٥٤.....	٢-٢-٣- الخلوصات الأفقية
٥٥	٣-٣- خطوات تصميم العبارات المصبوبة في المكان ذات المقاطع الصندوقية المغلقة والمفتوحة
٥٥.....	١-٣-٣- المواد
٥٥.....	٢-٣-٣- التركيب
٥٦.....	٣-٣-٣- الإشتراطات البعدية
٥٧.....	٤-٣-٣- الحمولات التصميمية وعواملها
٥٨.....	١-٤-٣-٣- الوزن الميت للخرسانة المسلحة (Concrete Member D.L.)
٥٨.....	٢-٤-٣-٣- طبقات التغطية (Wearing Surface)
٥٨.....	٣-٤-٣-٣- الوزن الميت للردم الترابي (Earth Fill D.L.)
٥٩.....	٤-٤-٣-٣- ضغط التربة الجانبي (Earth Pressure)
٥٩.....	٥-٤-٣-٣- الضغط الجانبي الإضافي للتربة (Earth Surcharge)
٥٩.....	٦-٤-٣-٣- الضغط الجانبي الإضافي الناتج عن الحمولة الحية (Live Load Surcharge)
٦٠.....	٧-٤-٣-٣- الحمولات الحية (Live Loads)

٦٢	..... (Water Pressure) ضغط الماء ٣-٣-٨
٦٤	..... تصميم الكمرة الطرفية ٣-٣-٥
٦٤	..... الحمولات ٣-٣-١-٥
٦٥	..... تصميم الأساسات ٣-٣-٦
٦٥	..... (Wing Wall) تصميم الجدار الجانح ٣-٣-٧
٦٦	..... (Overturning) التصميم ضد الانقلاب ٣-٣-٧-١
٦٦	..... (Sliding) التصميم ضد الانزلاق ٣-٣-٧-٢
٦٦	..... أساسات الجدار الجانح ٣-٣-٧-٣
٦٧	..... ٤- المراجع
٦٩	..... ٥- الملحق (١): الآبكات اللازمة لعمليات التصميم الهيدروليكي للعبارات
٨٥	..... ٦- الملحق (٢): مثال عن التصميم الهيدروليكي للعبارات
٩٧	..... ٧- الملحق (٣): مثال عن التصميم الإنشائي للعبارات

دليل تصميم العبارات

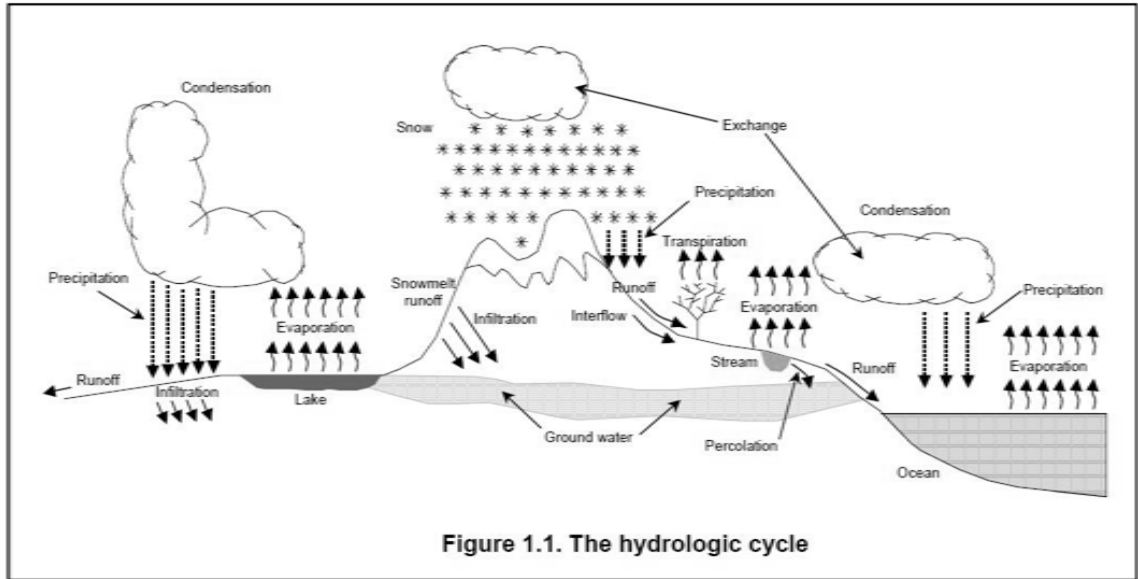
١- الدراسات الهيدرولوجية

١-١- مقدمة

تعرف الهيدرولوجيا بأنها العلم الذي يدرس خصائص المياه ونوعيتها وأماكن تواجدها وحركتها في حيز الكرة الأرضية، على سطح الأرض أو ضمن قشرتها الخارجية. يوصف هذا التعريف للهيدرولوجيا بأنه عام ومثير للجدل وذلك لأنه يتضمن أجزاء تخص علوم أخرى مثل (علم الأرصاد الجوية - علم المحيطات - علوم ميكانيكا الموائع) وعدة علوم أخرى. بالنسبة لمصممي الطرق السريعة فإن ما يهمهم بالدرجة الأولى هو دراسة حركة الماء على سطح الأرض وخصوصاً المياه التي تمر عبر منشآت النقل، وبالدرجة الثانية تأمين تصريف داخلي لهذه المياه من على الطرق والمناطق الواقعة فيما بينها والتقاطعات.

١-٢- الدورة الهيدرولوجية

إن الماء الموجود في كل مكان على الأرض هو أحد وأشهر المواد الأساسية المتواجدة على الأرض، ولكنه الوحيد الموجود بشكل طبيعي وفق أشكال المادة الثلاثة (السائلة والصلبة والغازية). وتختلف كمية الماء المتواجد من مكان لآخر ومن وقت لآخر. وعلى الرغم من أن الانتشار الأوسع للمياه على الدوام هو في المحيطات، إلا أن هناك تبادل ثابت للمياه بين المحيطات واليابسة، وهذا التبادل يدعى بالدورة الهيدرولوجية. يوضح الشكل (١) الدورة الهيدرولوجية ويشرح إنتقال الماء من مرحلة لأخرى أثناء حركته من مكان لآخر.



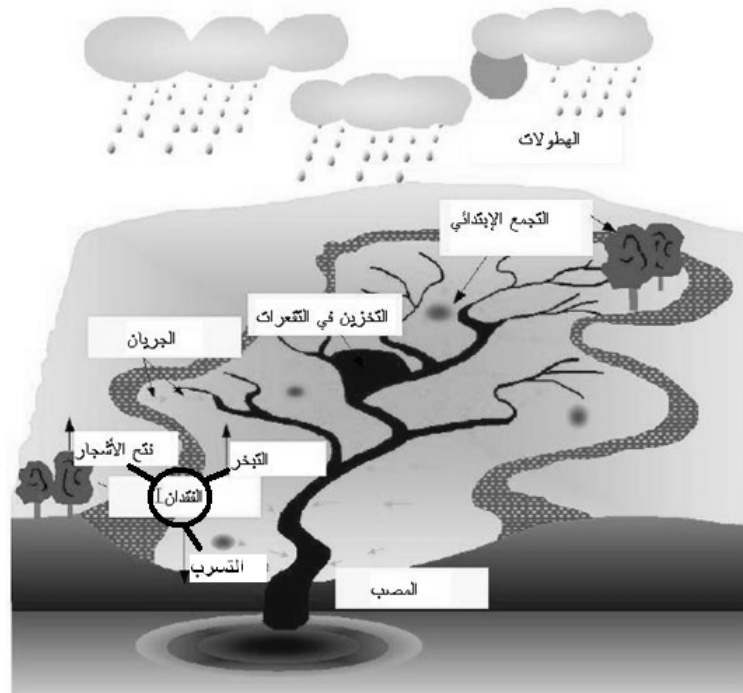
الشكل (١): الدورة الهيدرولوجية

١-٣- الممرات وعمليات الجريان

بناء على الدورة الهيدرولوجية المشروحة في البند ١-٢، يمكن تعريف عمليات الجريان بأنها مجموعة من العمليات الطبيعية المترابطة والتي يتم فيها دخول الماء (مثل ماء المطر) إلى حوض الجريان ومن ثم مغادرته كجريان أو سيل.

وبعبارة أخرى، السيل هو جزء من الهطولات الإجمالية التي لا يتم إزالتها بعمليات الدورة الهيدرولوجية.

يوضح الشكل (٢) عملية الجريان إبتداء بسقوط الأمطار وإنتهاء بحدوث الجريان.



الشكل (٢): عملية الجريان

تدعى كمية الهطولات التي تسيل من حوض الجريان بالزيادة المطرية. ويتم حسابها في حالة تصميم الطرق السريعة ومنشآتها كما يلي:

كمية الزيادة المطرية = كمية الهطول الإجمالية - (كمية الماء المتسرب إلى الأرض + كمية الماء المتجمع في التفرعات السطحية).

إن الفهم الجيد لعملية الجريان مهم جداً، وذلك للتمكن من تطبيقه بشكل مناسب في طرق التصميم الهيدروليكي. ولذلك لابد من التعرف على الميزات الهامة للجريان (السييل) وكيفية تأثره بالصفات المختلفة لأحواض التصريف.

لمزيد من المعلومات حول الهطولات والجريان، أنظر البند ٢-٢ "المطر وعمليات الجريان" في MA- (100-P-VI/1).

١-٤- مدخل إلى التصميم الهيدروليكي

تشمل المرافق الهيدروليكية مايلي:

١. القنوات المفتوحة.
٢. الجسور.
٣. العبارات.
٤. مصارف العاصفة.
٥. محطات الضخ.
٦. أنظمة التحكم بنوعية وكمية مياه العاصفة.

ويشتمل التحليل والتصميم الهيدرولوجي لمرافق تصريف الطرق السريعة عادة على إجراء عام أساسي واحد لجميع حالات التصريف. ومن المكونات الأساسية لعملية تحليل وتصميم مرافق تصريف الطرق السريعة هي:

١. جمع البيانات.
٢. إستطلاع ومسح الخصائص الحالية للمنطقة.
٣. تخمين الخصائص المستقبلية للمنطقة.
٤. معايير التصميم الهندسية.

٥. تقدير التدفق.

٦. إشتراطات ومتطلبات المنشأ وإستلام المرافق.

١-٤-١ - جمع البيانات وتقييمها وتوثيقها

يناقش هذا الموضوع إحتياجات جمع البيانات الهيدرولوجية العامة وموقع هذه البيانات وتحليلها وتقييمها وتوثيقها.

تحدد كمية الجهد اللازم لجمع البيانات وتقييمها حسب أهمية وحجم المشروع.

يتطلب التصميم الهيدرولوجي الشامل والدقيق والإقتصادي بيانات موثوقة لنجاحه. في حين أن فشل التصميم بسبب عدم كفاية البيانات يؤدي إلى خسارات إقتصادية وخروج الطريق عن الخدمة بسبب توقف وظائفه.

إن البرنامج المنظم لجمع البيانات يؤدي إلى تحليل وتصميم فعال وناجح.

توضح الإجراءات التالية مراحل عملية جمع البيانات:

١. تحديد نوع البيانات المطلوبة:

- خصائص منطقة التصريف.

- إستعمال المنطقة الحالي وتطورها المستقبلي.

- بيانات خط المجرى المائي.

- بيانات موقع منشأة التصريف.

- بيانات تدفق المجرى المائي.

- بيانات مناخ المنطقة.

٢. تحديد مصدر البيانات:

- بيانات من فحص الموقع.

- بيانات من الإدارات المختصة مثل (الأرصاد الجوية - هيئة المساحة والجيولوجيا).

٣. تقييم البيانات.

١-٤-١-١ - بيانات فحص الموقع

١- خصائص منطقة التصريف

أ- مساحة منطقة التصريف:

إن معرفة مساحة منطقة التصريف مهم لتقدير كمية الجريان (السيّل)، ويتم تحديد المساحة بإتباع إحدى الطرق التالية:

١. القيام بالمسح المباشر للمنطقة بطرق المساحة التقليدية.
٢. باستعمال الخرائط الطبوغرافية للمنطقة مع التحقق من صحتها حقلياً وذلك لتحديد وجود الحواجز الطبيعية مثل البرك.
٣. باستخدام أي مصادر أخرى متوفرة.

ب- طبوغرافية المنطقة

تقدير خصائص إنحدار منطقة الجريان عن طريق إحدى الطرق المستخدمة في قياس الحجم أعلاه.

ج- نوع التربة

إن نوع أو أنواع تربة منطقة الجريان لها علاقة كبيرة بالتسرب ومنع التسرب والتخزين الداخلي للمياه أو تجميعها على السطح.

د- النباتات

إن الكمية الحالية والمستقبلية للنباتات في منطقة الجريان تؤثر على كمية ومعدل الجريان بالإضافة إلى تأثيرها على نماذج التدفق داخل وحول منشأة التصريف. يتم الحصول على بيانات النباتات بعمل زيارة للموقع.

٢- إستعمال المنطقة الحالي وتطورها المستقبلي

- هناك عدة نماذج لبيانات استعمال المنطقة، ويوجد أيضاً عدة مصادر لهذه البيانات وهي:
- مصدر التنبؤ بالتطورات المستقبلية: يشمل تصميم مرافق التصريف عادة توقعات معقولة لعمر الخدمة. لأن مرافق التصريف يجب أن تلائم التدفق المحتمل خلال عمر الخدمة، آخذة بعين الاعتبار التطور المستقبلي لحوض الجريان. إن توقع التطور المستقبلي لحوض الجريان أمراً صعباً. ولكن يمكن تخمين

التطور المستقبلي للحوض بسؤال ملاك أراضي الحوض ومسؤولوا التطوير والتخطيط ومنظمات التخطيط المحلية والإقليمية والسكان المحليون.

- المصادر المخصصة بحوض الجريان: عن طريق النظر في المخططات الرئيسية في إدارة تخطيط المدن. حيث أن بيانات تطوير المنطقة متوفرة وفق نماذج مختلفة تشمل الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية وخرائط تقسيم المناطق وصور الأقمار الصناعية وأنظمة المعلومات الجغرافية. ولدى البلديات أيضاً خرائط وتسجيلات عن أنظمة تصريف المجاري المائية وتحسينات القنوات.

٣- بيانات خط المجرى

تصنف المجاري المائية كما يلي:

- قروية، حضرية أو مختلطة.
- محسن أو غير محسن.
- كثيف النباتات أو قليلها.
- سريع التدفق أو بطيء التدفق.

أ- المقطع الطولي لخط الجريان

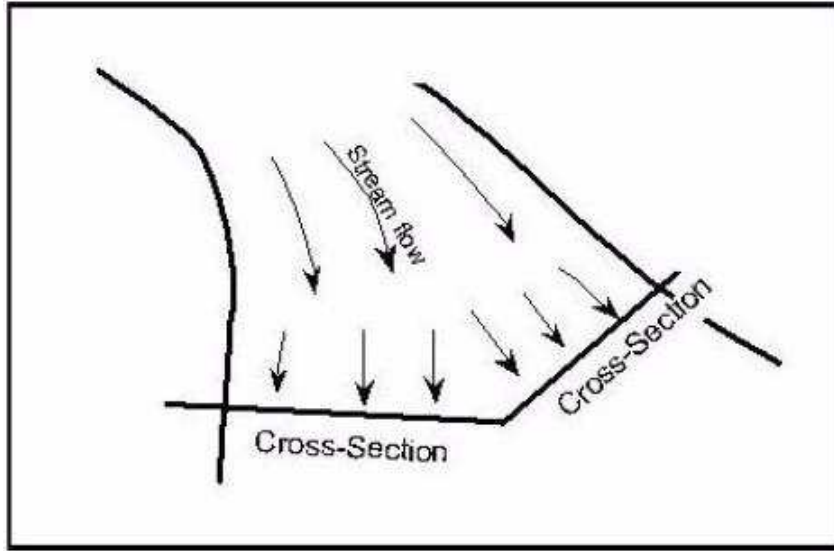
يجب تمديد خط الجريان في المقطع الطولي بشكل كافٍ من جهة مدخل مرفق التصريف ومن جهة مخرجه لتحديد الإنحدار الوسطي والسيطرة على إمكانية حصول أي تغيير أو إنحراف في قناة المجرى. توصي بعض الكودات بأن لا تقل مسافة التمديد هذه عن ١٥٠ متر لكلا الطرفين (طرف المدخل وطرف المخرج) إذا كان إجمالي الطول ٣٠٠ متر.

ب- موقع قناة الجريان

يجب ملاحظة موقع القناة الرئيسية وأي قنوات فرعية أو جداول أو مستنقعات واقعة ضمن منطقة المقطع العرضي لخط الجريان.

ج- المقطع العرضي

يمثل المقطع العرضي أبعاد جدول الماء ويحتوي على المنسوب الأعلى المتوقع للماء في الجدول لأخذه بعين الاعتبار. بالنسبة للحسابات الهيدروليكية يؤخذ المقطع العرضي العمودي على الاتجاه المتوقع لخط الجريان. في بعض الحالات وخصوصاً في حالة مستويات الفيضان العريضة، حيث لا يكفي مقطع عرضي مستقيم واحد، يمكن في هذه الحالة عمل مقطع عرضي من خط منكسر كما هو موضح بالشكل (٣):



الشكل (٣): مقطع عرضي بخط منكسر

ويجب أن لا يقل عدد المقاطع العرضية عن أربعة مقاطع، يتم عملها في الأماكن التالية:

١. عند بداية المقطع الطولي الممدد كما في البند ١-٤-١-١-٣-أ.
٢. عند نهاية منشأ التصريف.
٣. عند بداية منشأ التصريف.
٤. عند نهاية المقطع الطولي الممدد كما في البند ١-٤-١-١-٣-أ.

ويجب عمل مقاطع عرضية عند تغير وعورة أو إنحدار أو شكل خط الجريان أو عند تغير عرض مستوي الفيضان.

د- خصائص الخشونة

إن علاقة مانينغ الرياضية للتدفق المنتظم هي العلاقة الأكثر شيوعاً المستخدمة في تصميم تصريف الطرق السريعة. يجب ملاحظة وتوثيق التفاصيل الطبيعية لسرير النهر أو الجدول ومستوي الفيضان، لأنه سيتم إستخدامها فيما بعد في حساب عامل الخشونة لمانينغ (n)، وتتضمن هذه التفاصيل (نوع وكثافة النباتات المنتشرة - تربة السرير (صخرية، غضارية، حصى) - النفايات - شكل سرير النهر - أبعاد المقطع العرضي) وأي تفاصيل أخرى ممكن أن تؤثر على تدفق الجدول خلال الفيضان.

هـ- ضوابط التدفق

يجب ملاحظة عدة أشياء على كامل طول خط الجريان مثل:

١. أي إلتقاءات لمسيلات أخرى عند نهاية خط الجريان مع خط الجريان المدروس.

٢. المقاطع العرضية المتضيقية الهامة.
 ٣. معابر المياه الضحلة والجسور.
 ٤. التدرجات غير المتوقعة.
 ٥. المناطق الكثيفة بالنباتات.
 ٦. حفر مقالع المواد الموجودة في مستوى الفيضان.
- ويجب ملاحظة أي أشياء تتعلق بالحجم والموقع، وكذلك بيانات حول الجسور كأطوال الفتحات ونوع وأبعاد الركائز الوسطية التي يمر بجانبها المجرى المائي.

و- المعلومات الجيوتكنيكية

و-١- خصائص التربة

تقدم تقارير التربة معلومات عن تربة الموقع والترب المستخدمة في الطرق السريعة، وتشمل مايلي:

١. نوع التربة، كثافة التربة، عمق كل نوع من أنواع التربة المتواجدة في الموقع.
٢. خصائص التربة كالحموضة والشوائب والمقاومة النوعية.
٣. نوع وعمق صخور سرير النهر.
٤. التركيب الحبي للتربة الموجودة في الموقع (قيم المنخل D_{50} و المنخل D_{90}).

ز- الإلتباه إلى الحت

يجب ملاحظة وجود الحت حول الأوتاد والركائز الطرفية للجسر على المعبر المائي، وتسجيل حجم وعمق وموقع كل حفرة ناتجة عن ذلك. وتسجيل موقع وسماكة طبقة المواد المترسبة مثل الصخر والحجارة والحصى والغبار.

١-٤-٢- إجراءات تقييم البيانات

تعتمد عملية تقييم البيانات المجمعة على الخبرة والمعرفة والمحاكمة العقلية الجيدة. وهناك عدة إجراءات للتقييم وهي:

١. حصر وتقييم البيانات في نماذج قابلة للإستخدام. وحصر جميع المعلومات في تمثيل دقيق وشامل للخصائص الطبيعية والهيدرولوجية والهيدروليكية للموقع المحدد.

٢. تحديد فيما إذا كانت البيانات تحتوي على أي معلومات غير منطقية قد تؤدي إلى حسابات خاطئة.

٣. فصل البيانات المنطقية عن البيانات الغير منطقية.

٤. إستخلاص البيانات التاريخية من البيانات التي تم الحصول عليها بطريقة القياس.

٥. معاينة الدراسات السابقة، والمخططات القديمة، أو الملفات السابقة لأنواع ومصادر البيانات ومعلومات عن مكان إستخدام البيانات وتحديد الدقة والموثوقية في هذه البيانات.

يجب معاينة البيانات التاريخية لتحديد فيما إذا كان قد حصل أي تغيير في حوض الجريان ولتحديد إمكانية الإستفادة من هذه البيانات.

١-٤-١-٣- توثيق البيانات

يجب البدء بتوثيق البيانات حالما يتم جمعها. وذلك بملفات تحليل وتصميم تحتوي على أنواع ومصادر البيانات وبنود البيانات الحقيقية والتقييم والفرضيات وأي إستنتاجات تتعلق بالبيانات المجمعة.

٢- التصميم الهيدروليكي لعبارات الطرق السريعة

٢-١- مدخل إلى التصميم الهيدروليكي

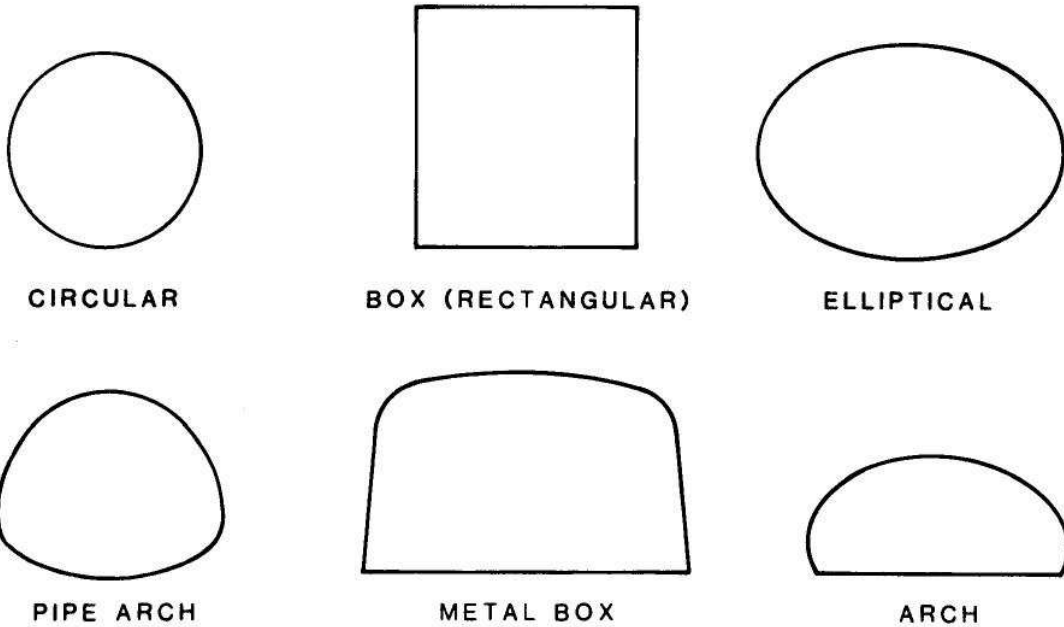
٢-١-١- نظرة عامة عن العبارات

العبارة هي قناة هيدروليكية قصيرة تقوم بنقل تدفق المسيل المائي عبر جسم الطريق أو عبر أي حاجز آخر يعيق مجرى السيل. تنفذ العبارات من مواد متنوعة وبأشكال وترتيبات مختلفة. تتعلق عوامل إختيار العبارة بالمقطع الطولي للطريق وبخصائص القناة وبتقدير حجم الضرر من الفيضان وبكلفة تنفيذ وصيانة العبارة وبعمر الخدمة المفترض.

٢-١-١-١- أشكال العبارات

هناك عدة أشكال للمقاطع العرضية للعبارات، ولكن الأشكال الأكثر شيوعاً موضحة في الشكل (٤) الذي يحتوي على المقاطع الدائرية والصندوقية والإهليلجية والمقاطع الأنبوبية القوسية والعبارات القوسية.

يتعلق إختيار الشكل بكلفة التنفيذ وحدود منسوب سطح الماء الواصل لها وبارتفاع جسم الطريق وبالأداء الهيدروليكي.



الشكل (٤): أشكال مقاطع العبارات الشائعة الإستخدام

٢-١-١-٢ مواد العبارات

يعتمد إختيار مواد العبارة على المقاومة الإنشائية المطلوبة والخشونة الهيدروليكية والديمومة وعلى مقاومة التآكل والاحتكاك.

إن الأنواع الأكثر شيوعاً لمواد العبارات هي:

١. الخرسانة المسلحة والغير مسلحة.

٢. الألمنيوم المموج.

٣. الحديد المموج.

ويمكن أن تكسى العبارات بمواد إكساء أخرى لتقليل التآكل والإحتكاك، على سبيل المثال: تكسى العبارات من الحديد المموج بالخرسانة الإسفلتية.

يوضح الشكل (٥) عبارة من الحديد المموج. كما يوضح الشكل (٦) عبارة صندوقية من الخرسانة مسبقة الصنع.



الشكل (٦): عبارة صندوقية من الخرسانة مسبقة الصنع

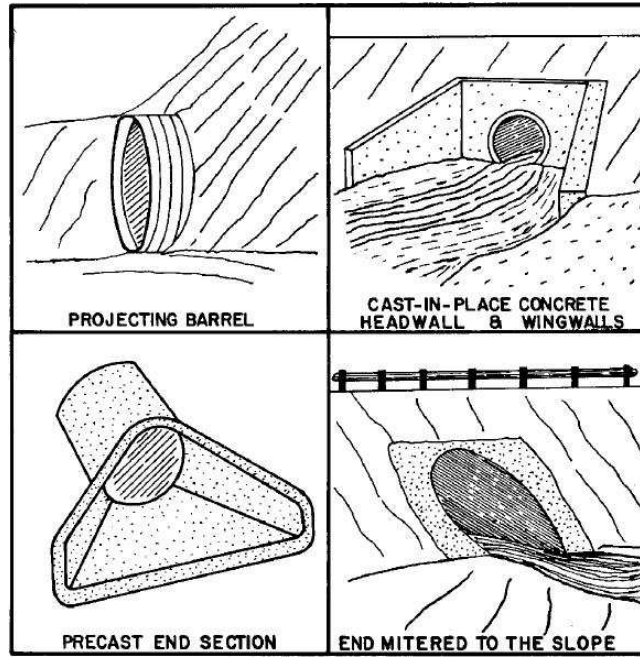


الشكل (٥): عبارة من الحديد المموج

٢-١-١-٣ مداخل العبارات

هناك ترتيبات عديدة ومتنوعة تستعمل في مداخل العبارات وتشمل النوعين المسبق الصنع والمصبوب بالمكان.

وعادة يتم عمل مداخل العبارات إما بإبراز جزء من العبارة خارج الردم أو بتنفيذ جدران رأسية عند فتحة الدخول من الخرسانة المصبوبة بالمكان أو بوضع قطع طرفية للعبارة مسبقة الصنع أو بعمل تغليف طرفي حول مقطع العبارة متناسب مع إنحدار جسم الردم، كما هو موضح في الشكل (٧).



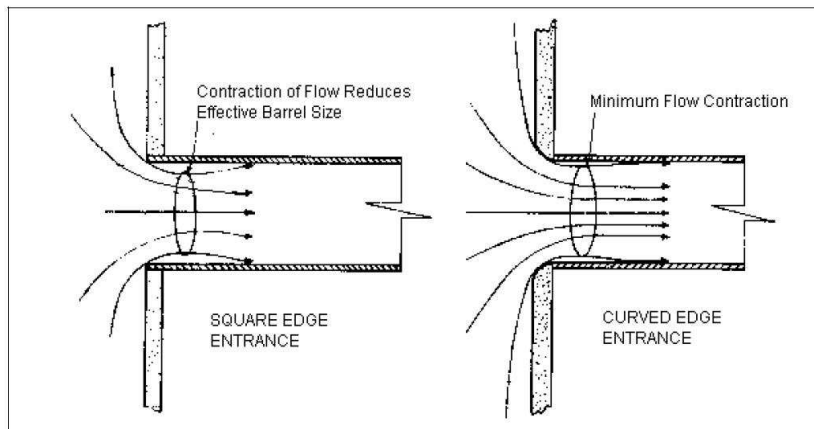
الشكل (٧): الترتيبات المختلفة لمداخل العبارات

كما أن الثبات الإنشائي والشكل المعماري والسيطرة على التآكل والحفاظة على الردم تؤخذ بعين الاعتبار عند إختيار ترتيبات الشكل لمدخل العبرة.

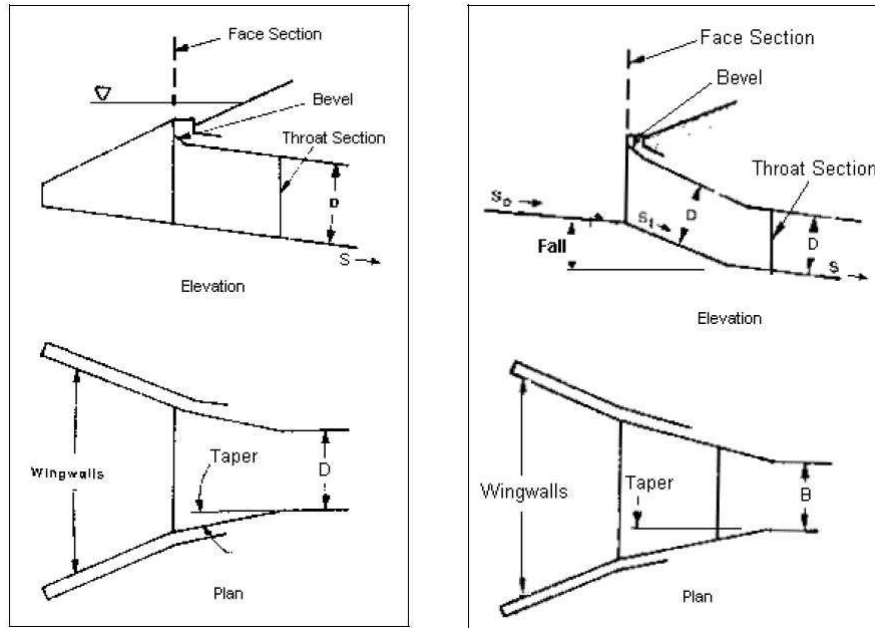
من الممكن زيادة القدرة الهيدروليكية للعبرة بالإختيار المناسب لترتيبات المدخل.

إن الأطراف المشطوفة لمداخل العبارات تعتبر أكثر كفاءة من الأطراف المربعة. وكذلك الجوانب المائلة والإنحدار الزائد لمدخل العبرة يشير إلى جودة المدخل لأنه يزيد من الكفاءة الهيدروليكية للعبرة بإنقاصه لضياعات التدفق.

تمثل الأشكال (٨) و(٩)، الأطراف المشطوفة والجوانب المائلة والإنحدار الزائد لمدخل العبرة وتأثيرها على التدفق.



الشكل (٨): الأطراف المشطوفة والأطراف المربعة لمداخل العبارات



الشكل (٩): الجوانب المائلة (Tapered) والإنحدار الزائد في مداخل العبارات

٢-١-٢ هيدروليكي العبارات

إن التحليل النظري الكامل لهيدروليكي العبارات بشكل خاص صعب ويستهلك زمناً طويلاً. فحالات التدفق تختلف من عبارة لأخرى وتتغير بتغير الزمن بالنسبة للعبارة الواحدة. إن مقطع العبارة قد يميل بالتدفق بشكل كامل أو جزئي وهذا يعتمد على حالة التدفق قبل دخول العبارة وحالته بعد مخرج العبارة وعلى خصائص مقطع العبارة وعلى أبعاد مدخل العبارة.

٢-١-٢-١ حالات التدفق

قد يميل مقطع العبارة بالتدفق بشكل كامل أو بشكل جزئي كما سبق ذكره. ولكن التدفق الكامل نادر الحدوث. عموماً، هناك جزء من مقطع العبارة سيملاً بالماء. وإن حسابات المقطع الطولي لسطح الماء هو الطريق الوحيد لتحديد منسوب الماء الذي سيتدفق في العبارة.

١- التدفق الكامل

تدعى الحالة التي يميل بها التدفق مقطع العبارة بالكامل بالجريان المضغوط، وكلما ازدادت مساحة مقطع العبارة المليء بالتدفق كلما زاد مقدار التدفق.

وإن أحد الحالات التي تؤدي إلى الجريان المضغوط في العبارة هي حالة الضغط المرتد بسبب إرتفاع منسوب سطح الماء بعد مخرج العبارة، ويمكن أيضاً أن يحدث الجريان المضغوط بسبب إرتفاع منسوب الماء قبل مدخل العبارة.

بغض النظر عن السبب المؤدي إلى الجريان المضغوط فإن قدرة العبارة التشغيلية تحت ضاغط تشغيل معين تتأثر بحالة التدفق قبل المدخل وحالته بعد المخرج وبالخصائص الهيدروليكية للعبارة.

٢- التدفق الجزئي (التدفق ذوالسطح الحر)

يمكن تصنيف التدفق الحر أو تدفق القناة المفتوحة كتدفق تحت الحرج أو كتدفق حرج أو كتدفق فوق الحرج. إن تحديد نظام التدفق المناسب يتم بتقييم العناصر اللابعدية، أو ما يسمى برقم فرويد F_r :

$$F_r = V/(gy_h)^{0.5}$$

حيث:

V : متوسط سرعة التدفق (م/ثا).

g : تسارع الجاذبية الأرضية (م/ثا^٢).

y_h : العمق الهيدروليكي (م).

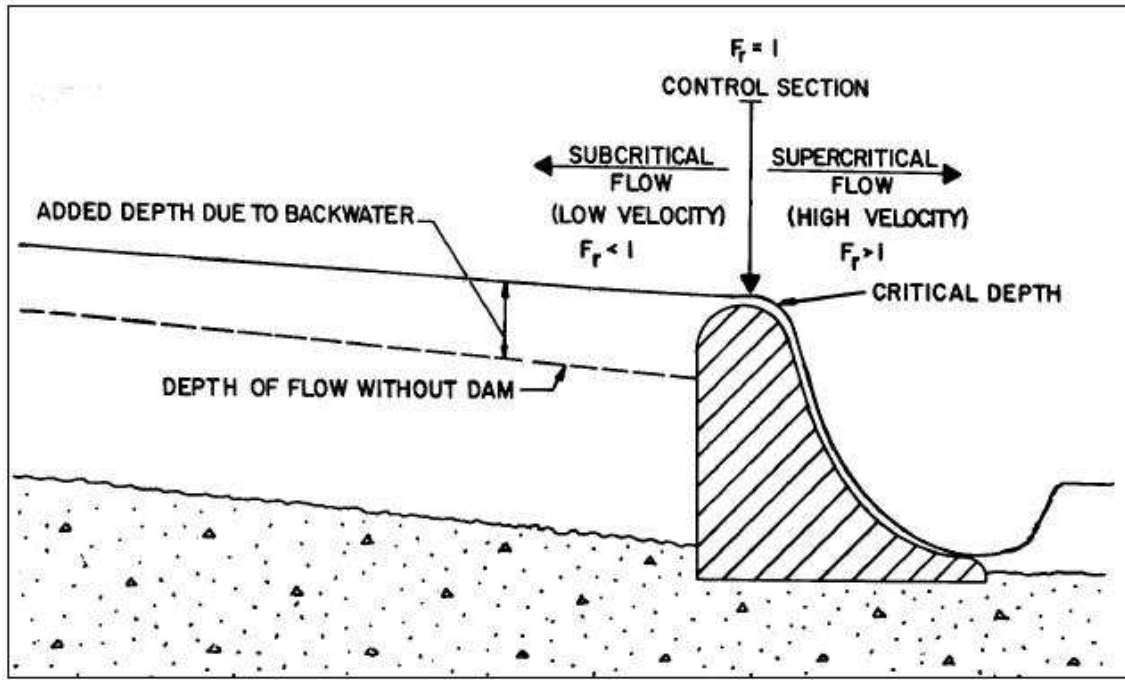
يتم حساب العمق الهيدروليكي بتقسيم مساحة المقطع العرضي للتدفق على عرض السطح الحر للماء.

- عندما يكون رقم فرويد F_r أكبر من الواحد فإن التدفق يكون تدفق فوق حرج ويتميز بأنه تدفق عالي السرعة.

- عندما يكون رقم فرويد F_r أصغر من الواحد فإن التدفق يكون تدفق تحت حرج ويتميز بأنه تدفق لطيف وهادئ.

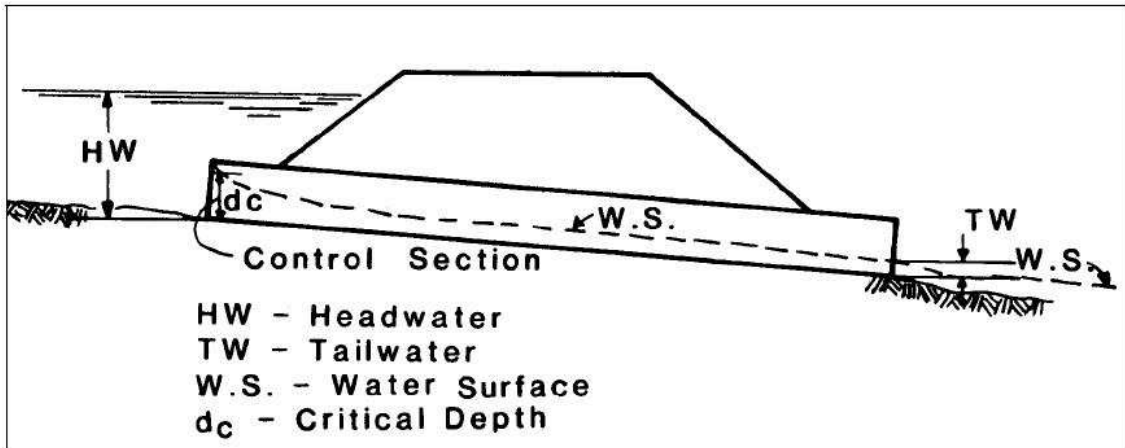
- عندما يكون رقم فرويد F_r يساوي الواحد فإن التدفق يكون تدفق حرج.

يمكن شرح أنظمة التدفق الثلاثة السابقة بتمثيل لسد صغير كما في الشكل (١٠). حيث يحدث التدفق تحت الحرج قبل قمة السد عندما يكون الماء عميق والسرعة قليلة. أما التدفق فوق الحرج فيحدث عند الإنحدار بعد القمة حيث يكون الماء قليل العمق والسرعة عالية. ويحدث التدفق الحرج عند قمة السد تماماً ويمثل نقطة الوسط بين التدفق فوق الحرج والتدفق الحرج.



الشكل (١٠): تمثيل لأصناف التدفق

إن التمثيل السابق للتدفق في السد الصغير يمكن أن يحدث في العبارات شديدة الإنحدار التي يملؤها التدفق جزئياً كما في الشكل (١١). في هذه الحالة سيكون العمق الخارج عند مدخل العبارة. والتدفق تحت الحرج سيكون قبل مدخل العبارة. والتدفق فوق الحرج سيكون داخل العبارة.



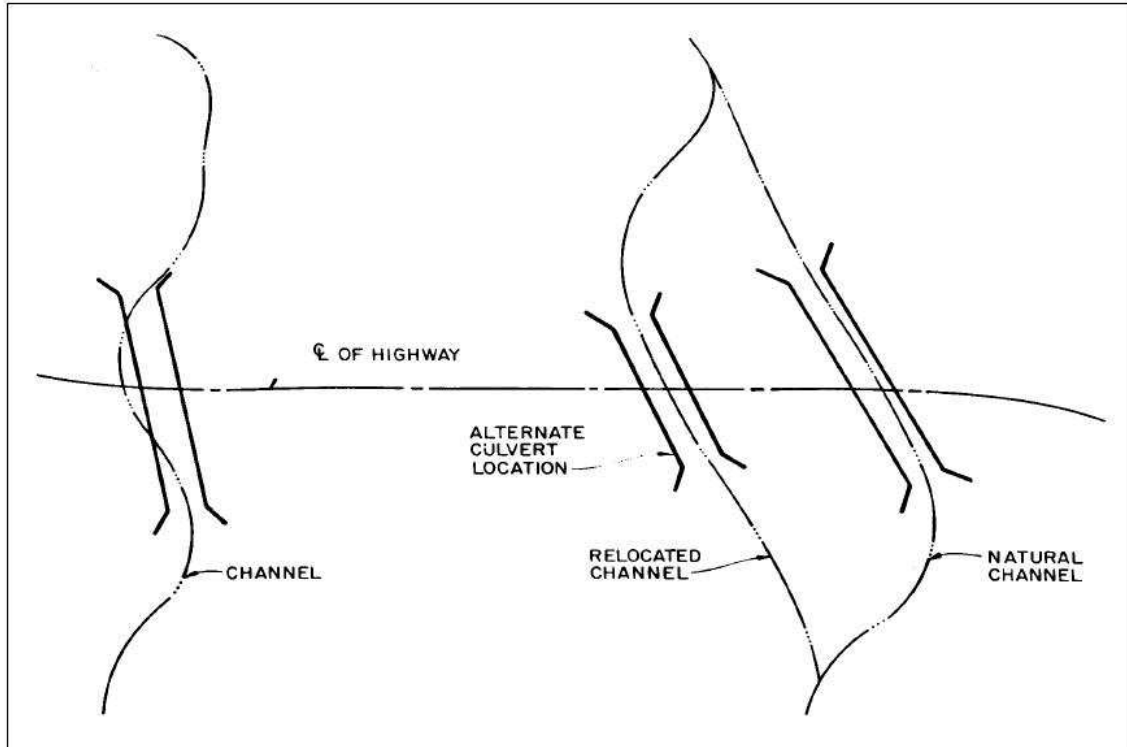
الشكل (١١): تمثيل أصناف التدفق في العبارات

يمكن الرجوع إلى التحليلات الإحصائية وطرق التحليل الهيدرولوجي المشروحة في (MA-100-P-1) (V1/1).

٢-٢-٢-٢ بيانات الموقع

٢-٢-٢-٢-١ موقع العبارة

إنه من المثالي وضع العبارة في قناة المجرى لتخفيض تكلفة أعمال الحفر. ولكن هذا الأمر غير ممكن دائماً فهناك بعض أسرة الجداول تكون ملتوية وغير مناسبة للعبارات المستقيمة. وفي حالات أخرى قد نحتاج إلى حرف قناة المجرى عن مكانها لتفادي الحاجة إلى عبارة طويلة بشكل غير إعتيادي. يوضح الشكل (١٢) مثالين عن إجراءات موقع العبارة، الأول تكون فيه العبارة متوافقة مع إستقامة القناة الطبيعية، والثاني يمثل حرف القناة لتقصير طول العبارة.



الشكل (١٢): حالات تحديد موقع العبارة

٢-٢-٢-٢-٢ بيانات مجرى الماء

إن تركيب العبارة لحمل الماء عبر جسم الطريق يؤدي إلى تقليص في مساحة مستوي الفيضان. وللتنبأ بنتائج هذا التعديل، يتوجب جمع بعض البيانات الدقيقة قبل عملية التنفيذ. تشمل هذه البيانات معلومات عن المقطع العرضي، وإنحدار المجرى، والمقاومة الهيدروليكية لقناة المجرى ومستوي الفيضان، وأي ظروف

يمكن أن تؤثر على منسوب الماء في المنطقة بعد مخرج العبارة، وسعة تجمع الماء قبيل مدخل العبارة. ومن المفيد إلتقاط بعض الصور الفوتوغرافية لظروف وحالة الموقع.

١- المقاطع العرضية

من المفضل أخذ بيانات المقطع العرضي للمجرى عن طريق المساحة الحقلية. ويجب أخذ بيانات ثلاثة مقاطع عرضية على الأقل لتحديد إنحدار المجرى، وهذه المقاطع تكون على الشكل التالي:

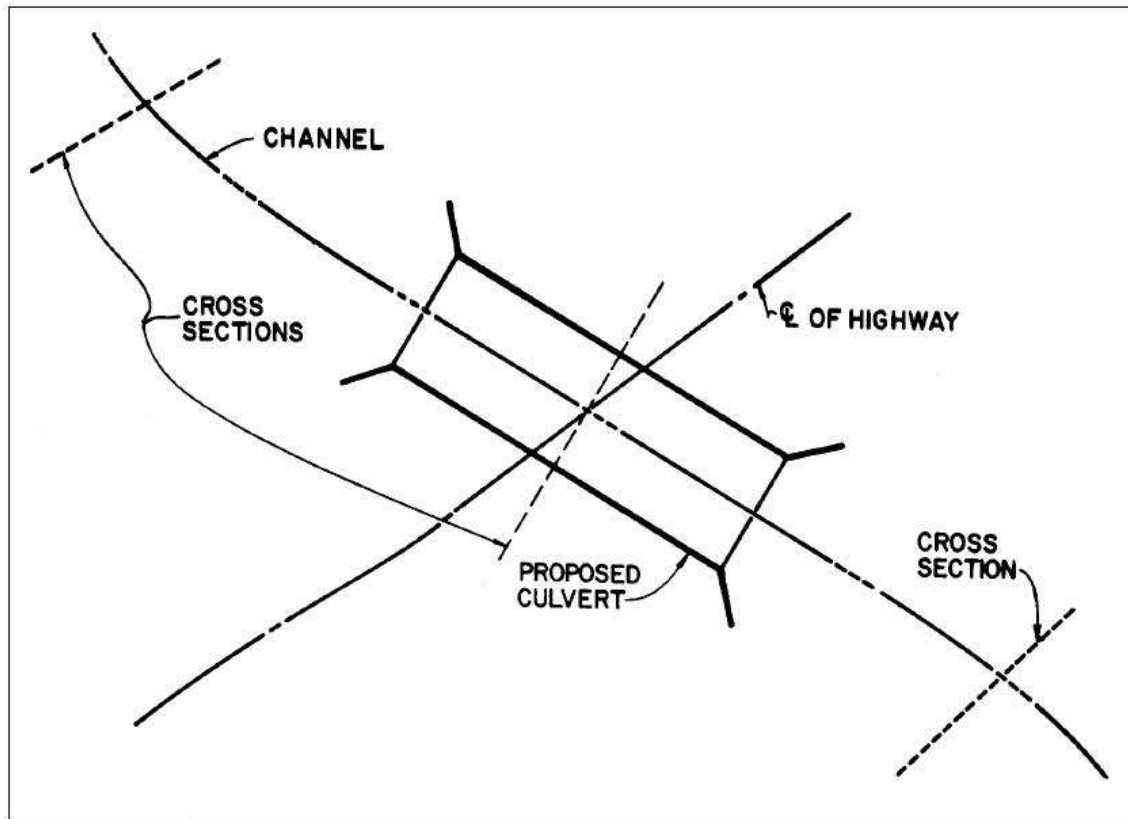
- مقطع قبل التقاطع مع الطريق بـ ٣٠ متر (أي قبل مدخل العبارة المفترض).

- مقطع بعد التقاطع مع الطريق بـ ٣٠ متر (أي بعد مخرج العبارة المفترض).

- مقطع واقع بين المقطعين السابقين عند محور الطريق.

يمكن الحصول على عرض المجرى الطبيعي وإنحدار الجوانب وعرض مستوى الفيضان من المقاطع العرضية السابقة. وتفيد هذه المقاطع أيضاً للتأكد من دقة الخرائط الطبوغرافية المتوفرة.

يوضح الشكل (١٣) أماكن المقاطع العرضية الثلاثة الواجب عملها.



الشكل (١٣): تحديد أماكن المقاطع العرضية

٢- إنحدار المجرى

يجب تحديد الإنحدار أو الميل الطولي للمجرى المجاور للعبارة المفترضة وذلك لملاءمة وضع العبارة في المقطع الرأسي ولتحديد خصائص التدفق في المجرى الطبيعي. غالباً يتم وضع العبارة بنفس الميل الطولي لمجرى السيل. يمكن معرفة عمق نقاط المجرى من المقاطع العرضية وبمعرفة المسافة بين المقاطع العرضية، يتم حساب الميل الطولي للمجرى المائي.

٣- مقاومة الجريان

يجب تقدير عامل المقاومة الهيدروليكي للقناة الطبيعية لحساب حالات التدفق. يسمى هذا العامل عادة بعامل مانينغ (n). يمكن الحصول على قيمة هذا العامل من الجدول (١).

الجدول (١): قيم عامل مانينغ (n) للقناة الطبيعية

١- حالة المقطع العرضي المنتظم	
٠.٠٣٥ - ٠.٠٠٣	وجود بسيط للأعشاب والشجيرات الخفيفة
٠.٠٠٥ - ٠.٠٣٥	وجود كثيف للشجيرات ولكن عمق التدفق أعلى من إرتفاع الشجيرات
٠.٠٠٥ - ٠.٠٣٥	وجود شجيرات خفيفة على الضفاف
٠.٠٠٧ - ٠.٠٠٥	وجود شجيرات كثيفة على الضفاف
٠.٠٠٨ - ٠.٠٠٦	وجود أشجار عالية على الضفاف (أشجار الصفصاف)
٠.٠٠٢ - ٠.٠٠١	في حال وجود أشجار ضمن القناة مع إمكانية غمر بعض فروعها أثناء تدفق الذروة، فيجب زيادة القيم السابقة بمقدار:
٢- في حالة المقطع العرضي غير منتظم ووجود بعض البرك مع تعرج خفيف للقناة. فيجب زيادة القيم السابقة بمقدار: ٠.٠٠١ - ٠.٠٠٢	
٣- حالة التدفقات من أعلى الجبال وعدم تواجد للأعشاب مع ضفاف حادة وإمكانية غمر الأشجار على طول الضفاف عند حصول تدفق الذروة:	
٠.٠٠٥ - ٠.٠٠٤	وجود الحصى وبعض الجلاميد الصخرية
٠.٠٠٧ - ٠.٠٠٥	وجود الحصى مع جلاميد كبيرة

٤- منسوب الماء خلف مخرج العبارة

يتأثر أداء العبارة بمنسوب سطح الماء بالقرب من مخرجها. ولهذا يجب التحقق من عدم حصول إرتفاع كبير في منسوب هذا الماء عند حدوث الفيضان. والتأكد من عدم وجود عوائق أو أي أشياء أخرى تؤدي إلى تخزين كبير للماء خلف مخرج العبارة. كما أن منسوب الماء عند مخرج العبارة يعتمد على منسوب الماء في قناة المجرى، وهذا المنسوب يمكن حسابه بدقة باستخدام طرق حساب منسوب الماء أو يمكن تقديره باستخدام التقريبات المبسطة لعمق الماء.

٥- سعة التخزين أمام مدخل العبارة

إن سعة تخزين الماء أمام مدخل العبارة قد يؤثر على تصميمها. يمكن الحصول على سعة التخزين من الخرائط الكنتورية ذات المقياس الكبير لمنطقة الجريان قبيل العبارة. ومن المفضل أن تكون خطوط الكنتور لهذه الخرائط بتباعدات لا تزيد عن ٠.٥ متر. وإذا لم تتوفر هذه الخرائط فيمكن الحصول على سعة التخزين بعمل مقاطع عرضية للمجرى في هذه المنطقة.

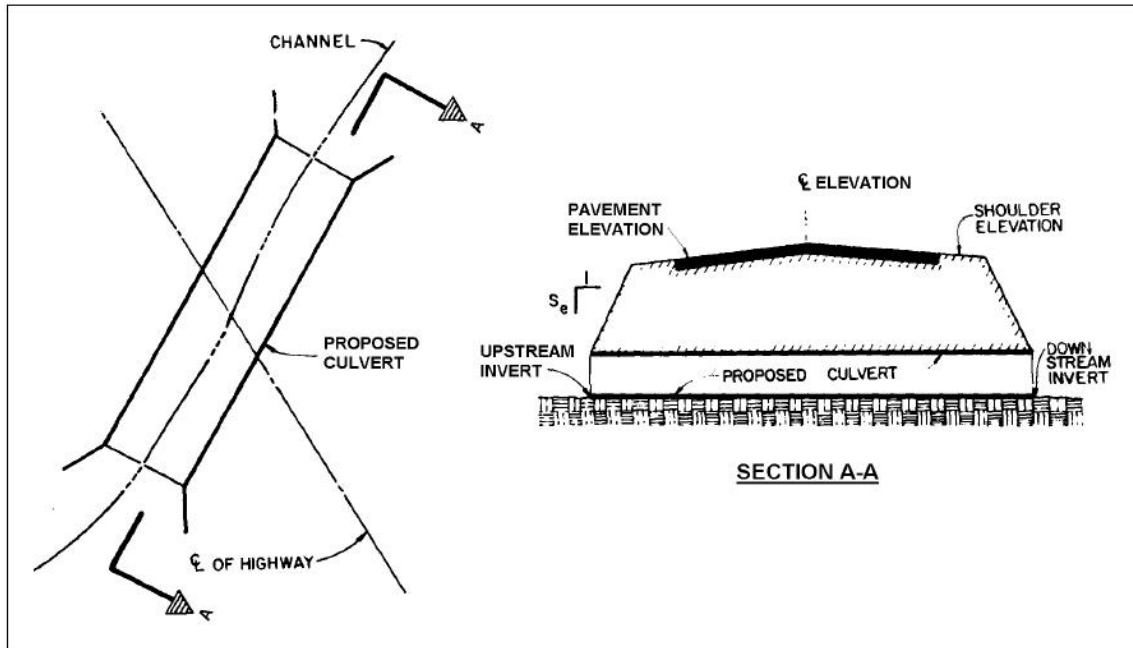
٢-٢-٣- بيانات خط الطريق

إن خط الطريق الموجود أو المفترض أن يكون، يؤثر على تكلفة العبارة وعلى طاقتها الهيدروليكية وعلى إتجاهها. يمكن الحصول على المقطع الطولي لخط الطريق وكذلك على المقاطع العرضية من الرسومات الأولية للطريق أو من التفاصيل النموذجية لمقاطع الطرق.

١- المقطع العرضي للطريق

عادة يتوفر المقطع العرضي العمودي على خط الطريق بشكل نموذجي من مخططات الطريق السريع. على أية حال، إن المقطع العرضي الذي يحتاجه مصمم العبارة هو المقطع الواقع عند منطقة التقاطع مع خط المجرى.

هذا المقطع يمكن أن يكون مائلاً بزاوية على محور الطريق كما يوضح الشكل (١٤).



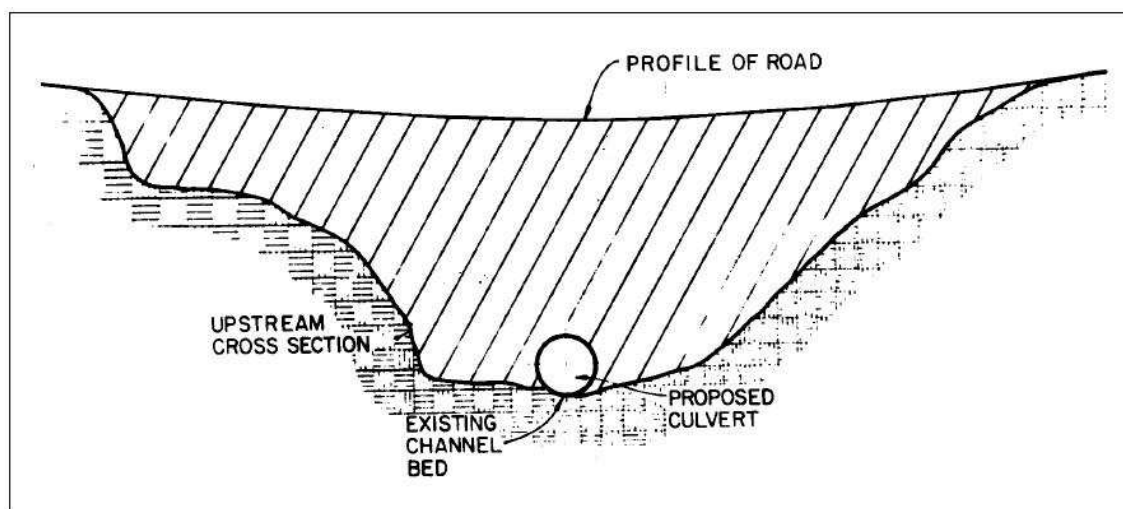
الشكل (١٤): المقطع العرضي للطريق عند تقاطعه مع المجرى المائي

٢- طول العبارة

إن أبعاد وقياسات العبارات ستصبح واضحة عند قياس ومعرفة المقطع العرضي المطلوب للطريق. سيتم معرفة أبعاد العبارة بتطبيق خط العبارة المفترض على المقطع العرضي للطريق وعلى مسقط خط الجريان كما هو موضح في الشكل (١٤). هذا التطبيق سيحدد منسوب قاعدة مدخل ومخرج العبارة. وإن هذا المنسوب وكذلك طول العبارة الناتجين سيكونا تقريبيين حتى يتم تثبيت القياسات النهائية للعبارة.

٣- المقطع الطولي للطريق

يظهر المقطع الطولي للطريق منطقة التقاطع مع خط الجريان. وإن جسم الطريق عند منطقة التقاطع مع المجرى يتصرف كسد. وتمثل العبارة بوابة تحرير طبيعية لمياه هذا السد. وتمثل قمة الطريق فوهة تدفق عند الطوارئ في حال الإرتفاع الزائد في منسوب الماء أمام جسم الطريق. وإن موقع قمة الطريق عند منطقة التقاطع مع خط الجريان تتبع للدراسات البعدية (الجيو مترية) للمقطع الطولي للطريق. أنظر الشكل (١٥).



الشكل (١٥): المقطع الطولي للطريق عند نقطة تقاطعه مع المجرى المائي

إن المقطع الطولي الموجود في مخططات الطريق يمثل مقطع طولي مار بمحور الطريق. ولهذا فإن مناسبة هذا الخط قد لا تمثل النقطة الأعلى في المقطع العرضي للطريق. ولهذا فعلى مصمم العبارة أن ينتقي المقطع الطولي الذي يثبت مناسبة نقاط الفيضان أو الإنسكاب من بين المخططات المتوفرة.

٢-٢-٢-٤ - إرتفاع عمود الماء أمام العبارة

إن العبارة الأكثر إقتصادية هي العبارة التي تستخدم إرتفاع عمودها المائي عند مدخلها لتمرير التدفق التصميمي. ولهذا فإن سعة التصريف للعبارة تزداد بازدياد منسوب عمودها المائي عند مدخلها. ويعتمد تصميم منسوب العمود المائي أمام مدخل العبارة على عدة عوامل أهمها الإعتبارات الإقتصادية والقيود التنظيمية.

٢-٢-٢-٥ - خلاصة

يمثل الجدول (٢) تلخيصاً للبيانات المختلفة المطلوبة لتصميم العبارات.

الجدول رقم (٢): خلاصة البيانات المطلوبة لتصميم العبارات

طبيعة البيانات	مصدرها
البيانات الهيدرولوجية	
● تدفق الذروة	عن طريق القياس أو الحساب بالصيغ الرياضية وفق طريقة SCS* أو أي طريقة حساب أخرى.
● التدفق الذي يجب التحقيق عليه	هو تدفق الذروة ذاته

• المنحنيات البيانية الثلاثية (Hydrographs)	عن طريق القياس أو الحساب بالصيغ الرياضية وفق طريقة SCS أو أي طريقة حساب أخرى.
بيانات الموقع	
• موقع العبارة	إعتماداً على خصائص الموقع بما تتضمنه من معلومات عن المجرى (مقاطع عرضية - إنحدار - إستقامة).
بيانات المجرى المائي	
• المقاطع العرضية	عن طريق المسح الحقلّي أو عن طريق الخرائط الطبوغرافية.
• الميل الطولي	عن طريق المسح الحقلّي أو عن طريق الخرائط الطبوغرافية.
• مقاومة الجريان	عن طريق المعاينة والتصوير والحساب.
• منسوب المياه الفعلي خلف المخرج	عن طريق المسح الحقلّي أو عن طريق الخرائط الطبوغرافية.
• تخزين المياه قبل وصول التدفق إلى العبارة	عن طريق المسح الحقلّي أو عن طريق الخرائط الطبوغرافية.
بيانات خط الطريق	
• المقطع العرضي	عن طريق مخططات الطريق.
• المقطع الطولي	عن طريق مخططات الطريق.
• طول العبارة	عن طريق مخططات الطريق.
منسوب الماء التصميمي أمام مدخل العبارة	
• النقطة الحرجة على الطريق	عن طريق مخططات الطريق.
• الأبنية والمنشآت المحيطة	عن طريق الصور الجوية والمسح والخرائط الطبوغرافية.
• القيود التنظيمية	كتخطيط الفيضان وتنظيمه.
• القيود العامة	أنظمة العبارات المعتمدة في البلد.

* SCS : تعرف بطريقة تدفق الذروة وهي طريقة حسابية لتقدير معدل الجريان المتدفق من حوض الجريان بإفتراض وجود تجانس في تربة الحوض.

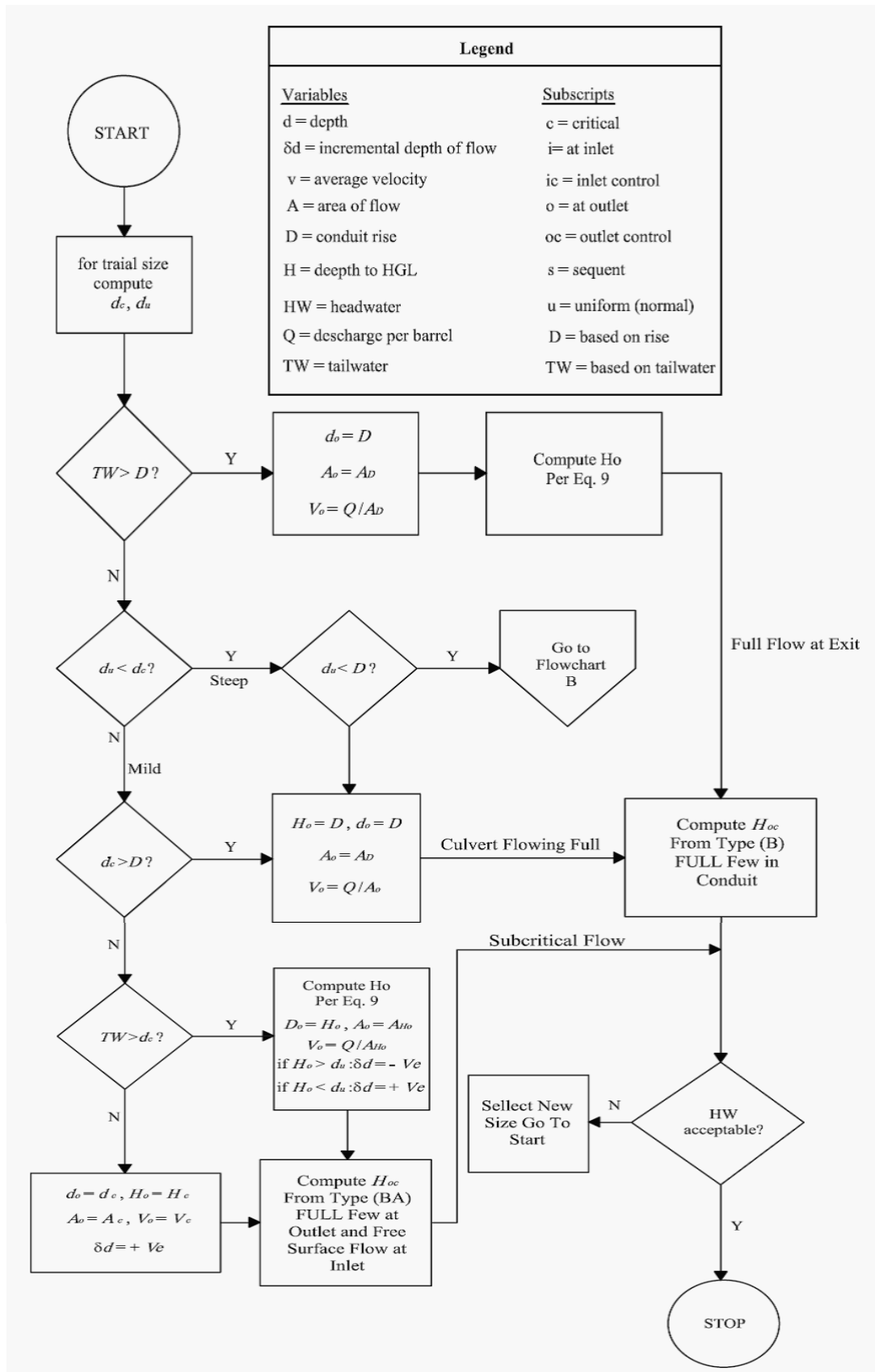
٢-٣- تصميم العبارات

تشمل عملية تصميم العبارة المراحل التالية:

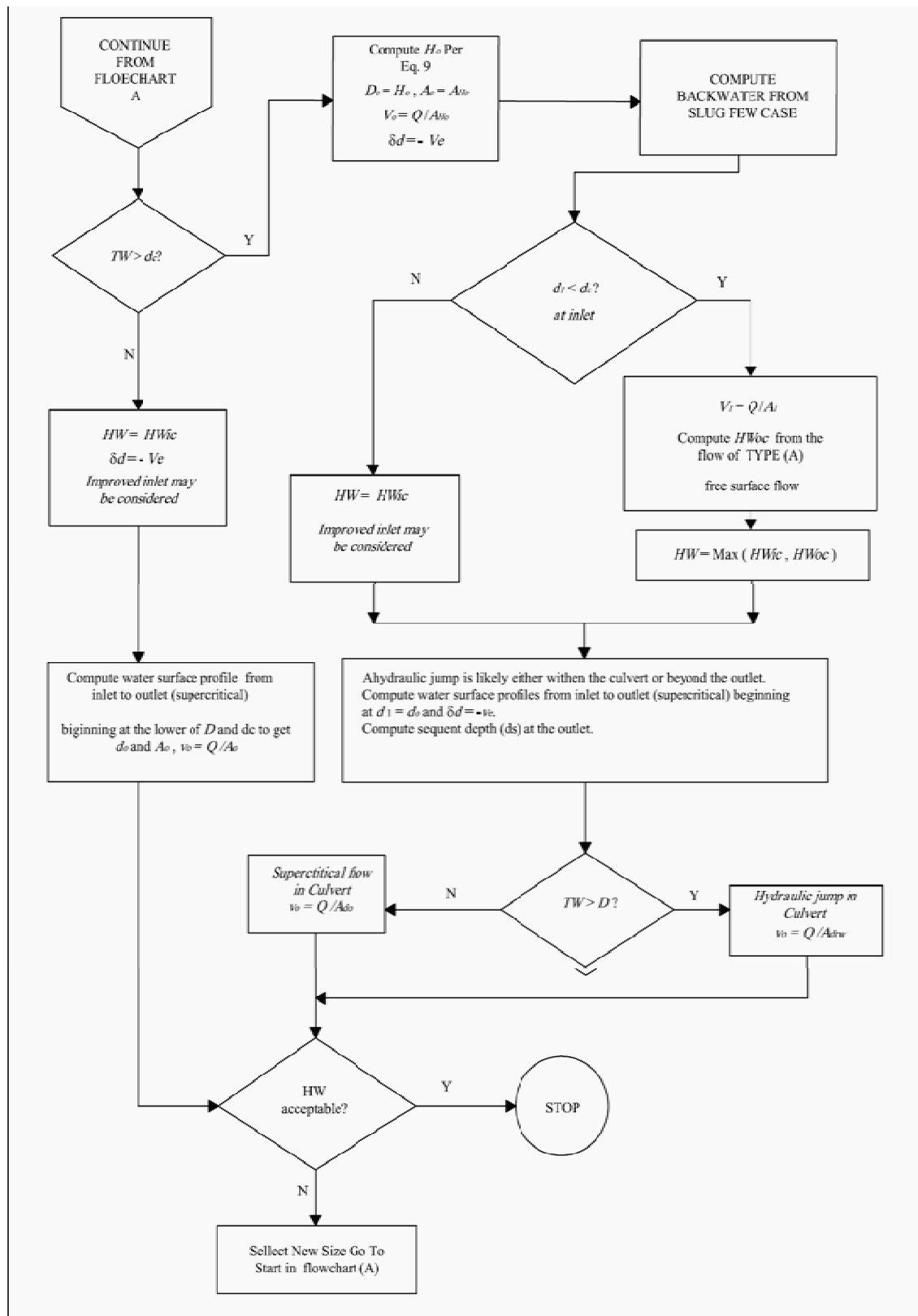
١. تحديد موقع العبارة وإتجاهها وشكلها ومادتها.
٢. بالرجوع إلى البيانات الحقلية، يجب تحديد السرعة التصميمية القصوى للماء المتدفق من العبارة وكذلك العمق الأكبر لمقطع العبارة.

٣. بالإعتماد على بيانات التدفق (Q) ومنسوب الماء الموافق خلف مخرج العبارة ومنسوب الماء المسموح أمام مدخل العبارة، يتم تحديد ترتيبات العبارة النهائية ليتم تحليلها كالتطول الهيدروليكي للعبارة وحالة مدخل العبارة وإنتقاء الشكل والمادة.
٤. تحديد نوع التدفق (حرج أو تحت الحرج أو فوق الحرج) لتحديد إرتفاع عمود الماء أمام العبارة وسعة تدفق الماء عند مخرج العبارة.
٥. إجراء تحسينات على العبارة.
٦. معالجة أي زيادة في سرعة التدفق الخارج من العبارة بشكل مستقل عن إرتفاع عمود الماء أمام العبارة.

٢-٣-١ - خطوات التصميم الهيدروليكي للعبارات النموذجية



الشكل (١٦): إجراءات تصميم العبارات (المخطط A)



الشكل (١٧): المخطط (B) مكمل للمخطط النهجي (A)

وفيما يلي شرح خطوة بخطوة لإجراءات تصميم العبارات النموذجية المستقيمة في مقطعها الطولي والعبارات ذات المقاطع المتعددة المتوازية والمتساوية، وهذه الخطوات هي:

- وضع حجم تجريبي أولي للعبارة: يمكن إختيار حجم العبارة بشكل تجريبي أو بشكل عقلائي يعتمد على الخبرة. وأحد الوسائل هي إفتراض نظام مدخل العبارة كما يلي: تحديد الإرتفاع العملي الأعلى للعبارة (D_{max}) والعمق الأعلى المسموح لعمود الماء أمام العبارة (HW_{max}) - يمكن إستعمال الآباقات الخاصة بتحديد منسوب الماء التجريبي (HW_{max}) أمام العبارة والمتوفرة في الملحق (١) وتحديد العمق التجريبي لعمود الماء فوق فوهة العبارة باستخدام العلاقة (Eq.1). وباستخدام العلاقة (٢) يتم تحديد مساحة مقطع العبارة (A) اللازم لتمرير التدفق التصميمي (Q) بافتراض قيمة لمعامل الفوهة تساوي ٠.٥ وهي القيمة التي تتناسب مع الحل التجريبي والإفتراضات التجريبية.

$$h = HW_{max} - \frac{D_{max}}{2} \quad (Eq.1)$$

حيث:

h = إرتفاع الماء الفعال والمسموح فوق فوهة العبارة (م).

HW_{max} = إرتفاع عمود الماء المسموح أمام العبارة (م).

D_{max} = الإرتفاع العملي الأعلى المسموح لمقطع العبارة (م).

$$A = 0.45 \frac{Q}{h^{0.5}} \quad (Eq.2)$$

حيث:

A = مساحة المقطع العرضي التقريبية المطلوبة (م^٢).

Q = التدفق التصميمي (م^٣/ثا).

- تحديد شكل العبارة:

- بالنسبة للعبارات الصندوقية، يجب تحديد العرض W من العلاقة (Eq.3) كما يلي:

$$W = A/D_{max} \quad (Eq.3)$$

ويجب تدوير قيمة العرض المحسوب إلى أقرب قيمة مكافئة لما هو متوفر عادة من هذه المقاطع النموذجية. ممكن إختيار عدة مقاطع بتقسيم فتحة العبارة S على العرض المحسوب W .

- بالنسبة للعبارات الأنبوبية الدائرية: يجب تحديد نسبة المساحة المطلوبة إلى أكبر مساحة لمقطع

العبارة وفق العلاقة (Eq.4). ومن ثم تدوير الرقم إلى أقرب أكبر رقم صحيح ليمثل عدد العبارات

أو المقاطع المطلوبة (N). وعند هذه الخطوة يكون قد تم تحديد القياسات التجريبية الأولية للعبارة وهي N و D و L .

حيث:

L : طول العبارة (الفقرة ٢-٢-٢-٣-٢).

$$\frac{4A}{\pi D \max^2} \leq N \quad (\text{Eq.4})$$

- بالنسبة للأشكال الأخرى: تأمين مقاس مناسب بحيث تكون مساحة المقطع العرضي مساوية تقريباً للمساحة المطلوبة (A).

- تحديد التدفق الواصل لكل عبارة أو لكل فتحة جريان بتقسيم Q على N (Q/N). وذلك بافتراض أن جميع المقاطع متساوية في الحجم ومتوازية وقواعدها ذات منسوب واحد. وتتم متابعة الحسابات بمعالجة فتحة واحدة مع التدفق الخاص بها.
- حساب العمق الحرج d_c حسب التدفق الإسمي وشكل وقياس العبارة من الآبكات في الملحق رقم (١) من هذا الدليل.

- حساب العمق الإسمي للجريان النظامي d_u من العلاقة (Eq.5):

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{Eq.5})$$

حيث:

$$A = w \times d_u$$

w : عرض قناة المجرى المائي.

R : نصف القطر الهيدروليكي للقناة، $R = A / (2d_u + w)$.

S : إنحدار القناة.

n : عامل مانينغ (عامل الخشونة لقناة المجرى). من الجدول (١).

- إجراء التحليل الهيدروليكي للترتيب التجريبي المقترح للعبارة. وبشكل عام، يتم استخدام البرامج الحاسوبية والجدول. وهناك توصيات بعدم استعمال الرسوم البيانية ثلاثية الخطوط (النوموغراف) أو الطرق اليدوية المبسطة إلا من أجل التقديرات الإبتدائية. من أجل الترتيبات التجريبية التي تحدد إرتفاع عمود الماء أمام العبارة عند ضبط مدخلها (HW_{ic})، وإرتفاع عمود الماء أمام العبارة عند ضبط مخرجها (HW_{oc})، وسرعة الماء المتدفق من العبارة (v_o)، يتم استعمال المخطط النهجي A الموضح في الشكل (١٦)، وتكملته في المخطط النهجي B الموضح في الشكل (١٧).

• تقييم التصميم التجريبي: عند هذه المرحلة من عمليات التصميم نكون قد حسبنا إرتفاع عمود الماء عند مدخل العبارة وكذلك سرعة تدفق الماء من مخرج العبارة بالنسبة للتدفق التصميمي المار من العبارة.

- إذا كان إرتفاع عمود الماء المحسوب مساوياً للإرتفاع المسموح أو لا يقل عنه، فإن التصميم يكون قد إكتمل. وإن التقدير الجيد لكفاءة العبارة يتم بمقارنة إرتفاع عمود الماء المحسوب مع عمق العبارة. فإذا كان إرتفاع الماء أقل من عمق مقطع العبارة، فإن هذا الإختيار للمقطع هو إختيار غير مناسب.

- إذا كان إرتفاع عمود الماء المحسوب أقل من الإرتفاع المسموح أو أقل من عمق مقطع العبارة، فيجب البحث عن مقاطع أكثر إقتصادية. ويتم ذلك بتخفيض عدد فتحات العبارة، أو بتخفيض عروض المقاطع، أو بتخفيض الأقطار أو بعمل تغييرات بعدية أو تغييرات بمواد العبارة. ومن أجل ذلك يجب إعادة الحساب بالعودة إلى الخطوة رقم (٢) من المخطط النهجي (A) الموضح في الشكل (١٦).

- إذا كان إرتفاع عمود الماء المحسوب أقل من الإرتفاع المسموح أو أقل من منسوب الماء الفعلي، وكانت العبارة تعمل بضبط مدخلها، فيجب عندها إجراء تحسينات على مدخل العبارة.

- إذا كان إرتفاع عمود الماء المحسوب أكبر من منسوب الماء الفعلي، فيجب عندها تغيير ترتيبات العبارة التجريبية بإضافة فتحات جديدة أو توسيع عرض أوقطر فتحاتها، وذلك لزيادة طاقتها الهيدروليكية. وبغض النظر عن التغيير الحاصل، فيجب العودة إلى الخطوة (٢) في المخطط النهجي (A) الموضح في الشكل (١٦).

- إذا لم تكن هناك حاجة لضبط مدخل العبارة، فإن التصميم البعدي للعبارة يكون قد إكتمل.

- إذا كانت هناك حاجة لضبط المدخل، فيجب مناسبة عملية تحسين المدخل مع عدم رفع كلفة تنفيذ المنشأ. والتحقق من ملائمة المدخل الموسع (Flared or Tapered) مع مقطع العبارة. ونظراً لإرتفاع كلفة تحسين المدخل، فإنه من الواجب المقارنة بين الكلفة الإقتصادية لخيار معالجة المقطع العادي بدون تحسين المدخل مع كلفة تحسين المدخل.

- قد تكون العبارات التي تحقق منسوب ماء مرضي قبيل مدخلها، ذات سرعة تدفق زائدة عند المخرج. وإن تعريف مصطلح الزيادة في سرعة الماء الخارج من العبارة، يكون بالمحاكمة الهندسية حسب الظروف المحلية.
- وبمقارنة التعديلات التي تحصل على ترتيب العبارة، فقد وجد أنه من الإقتصادي عمل نظام رصف حجري أو عتبات أو حوض تهدئة عند طرف المخرج لضبط السرعات الزائدة.
- إن أي متطلبات لضبط مخرج العبارة أو أي أجهزة حماية، يجب إعتبارها جزء من التصميم الهيدروليكي للعبارة.
- إن التصميم الصحيح للعبارة يحتوي عادة على سرعة تدفق عند المخرج أكبر من سرعة جريان السيل.

- تطوير منحنى أداء هيدروليكي باستخدام ملخص إجراءات العملية الهيدروليكية لمقطع العبارة: يشير منحنى الأداء الهيدروليكي للعبارة المصممة إلى خصائص إرتفاع عمود الماء أمام العبارة وسرعة التدفق الخارج من العبارة، لمجال واسع من التدفقات. يستعمل منحنى الأداء للتحقق من التدفقات لفترة تكرار مائة سنة.

٢-٣-٢- العمليات الهيدروليكية على العبارات

٢-٣-٢-١- المعاملات

لكل شكل عبارة خصائصه الهيدروليكية الخاصة، ولكل مادة يتم استخدامها في تنفيذ العبارات خشونة خاصة بها. هذان العاملان يؤثران على العملية الهيدروليكية. فيجب أخذ هذه العوامل بعين الإعتبار للوصول إلى حسابات صحيحة. إن أداء العبارة والعملية الهيدروليكية للعبارة تشتمل على عدة عوامل. ولذلك يتوجب تحديد أو تقدير أو حساب كل عامل من العوامل كجزء من عملية التحليل والتصميم الهيدروليكي.

إن الإجراءات التي سيتم شرحها أدناه تفترض تدفق ثابت، ولكنها تتضمن حسابات شاملة تتطلب استخدام الحاسب الآلي.

٢-٣-٢-٢- تحديد إرتفاع عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المدخل (HW_{ic})

يحتاج مدخل العبارة إلى ضبط عندما يكون أنبوب العبارة قادراً على تمرير تدفق أكبر من التدفق المسموح دخوله عبر المدخل. وأيضاً قد نحتاج إلى ضبط المدخل عندما يكون إنحدار العبارة شديد من

الناحية الهيدروليكية ($d_c > d_u$). إن مقطع العبارة المراد ضبطه بهدف ضبط مدخلها، يقع عند المدخل تماماً. فعندما يحدث تدفق حر داخل جسم العبارة، فإن العمق الحرج يحدث قرب هذا الموقع، ونظام التدفق الخارج من العبارة يكون نظام فوق حرج. وقد تحدث قفزة هيدروليكية داخل أنبوب العبارة بحسب حالات الجريان وذلك بعد مدخل العبارة. وإن الخصائص الهيدروليكية للجريان بعد مدخل العبارة المضبوط، لا تؤثر على القدرة الهيدروليكية للعبارة.

إن منسوب سطح الماء القادم إلى العبارة وأبعاد مدخل العبارة هما العاملان الرئيسيان اللذان يتحكمان بالتدفق. وإن أبعاد المدخل تشمل شكل مقطع أنبوب العبارة، ومساحة المقطع العرضي، وحواف المدخل.

يحسب منسوب الماء HW_{ic} قبيل مدخل العبارة عند ضبط المدخل من العلاقة التالية رقم (Eq.6):

$$0.5 \leq HW_{ic}/D \leq 3.0 \quad \text{من أجل:} \quad HW_{ic} = [a + bF + cF^2 + dF^3 + eF^4 + fF^5]D - 0.5DS_o \quad \text{(Eq.6)}$$

حيث:

HW_{ic} : إرتفاع عمود الماء أمام العبارة في حالة ضبط المدخل (م).

D : العمق الداخلي لجسم العبارة (م).

العوامل من a إلى f : عوامل الإنحدار لكل شكل من أشكال العبارة. من الجدول (٣)

S_o : إنحدار العبارة (م/م).

F : يحسب من العلاقة رقم (Eq.7):

$$F = 1.8113 \frac{Q}{WD^{3/2}} \quad \text{(Eq.7)}$$

حيث:

W : عرض فتحة العبارة.

الجدول (٣): معاملات الإنحدار

f	e	d	c	b	a	نوع المدخل	الشكل ومادة الصنع
0.000251	-0.00662	0.0667	-0.2533	0.706578	0.087483	Square edge w/headwall	RCP أنبوبية خرسانية مسلحة
0.000243	-0.00616	0.059772	-0.2336	0.653562	0.114099	Groove end w/headwall	
0.000205	-0.00558	0.057959	-0.2338	0.662381	0.108786	Groove end projecting	
0.000417	-0.00984	0.08767	-0.316097	0.766512	0.063343	Beveled ring	
-0.00003	-0.0003	0.0042	-0.0414	0.3927	0.2115	Improved (flared) inlet	
0.000116	-0.00344	0.039154	-0.14937	0.53859	0.167433	Headwall	CMP أنبوب من المعدن المتنوع
0.000767	-0.01606	0.123393	-0.3615	0.757789	0.107137	Mitered	
0.00009	-0.00344	0.044505	-0.15654	0.567719	0.187321	Projecting	
-0.00003	-0.0005	0.0011	-0.0252	0.3471	0.2252	Improved (flared) inlet	
0.000038	-0.00149	0.02217	-0.11747	0.507087	0.072493	30-70° flared wingwall	Box صندوقية
0.0000346	-0.00137	0.020781	-0.10856	0.505435	0.122117	Parallel to 15° wingwall	
0.000036	-0.00136	0.020003	-0.09215	0.461363	0.144138	Straight wingwall	
0.000015	-0.00064	0.011201	-0.06404	0.398935	0.156609	45° wingwall w/top bevel	
0.000015	-0.00064	0.011201	-0.06404	0.398935	0.156609	Parallel headwall w/ bevel	
0.000034	-0.00137	0.020781	-0.10856	0.505435	0.122117	30° skew w/chamfer edges	
0.000018	-0.00076	0.012732	-0.07435	0.441247	0.089963	10-45° skew w/bevel edges	
0.00011	-0.0034	0.03967	-0.1578	0.55951	0.13432	Square edge w/headwall	Oval B>D إهليلجية
0.00005	-0.00189	0.02566	-0.12068	0.50311	0.15067	Groove end w/headwall	
0.00027	-0.00729	0.0755	-0.32139	0.84684	-0.03817	Groove end projecting	
0.00011	-0.0034	0.03967	-0.1578	0.55951	0.13432	Square edge w/headwall	Oval D>B إهليلجية
0.00005	-0.00189	0.02566	-0.12068	0.50311	0.15067	Groove end w/headwall	
0.00027	-0.00729	0.0755	-0.32139	0.84684	-0.03817	Groove end projecting	

الشكل ومادة الصنع	نوع المدخل	a	b	c	d	e	f
CM Pipe arch	Headwall	0.111261	0.610579	-0.194937	0.051289	-0.00481	0.000169
قوس أنبوبي من المعدن	Mitered	0.083301	0.795145	-0.43408	0.163774	-0.02491	0.001411
المتموج	Projecting	0.089053	0.712545	-0.27092	0.792502	-0.00798	0.000293
Struct plate Pipe arch	Projecting— corner plate (17.7 in. or 450 mm)	0.089053	0.712545	-0.27092	0.792502	-0.00798	0.000293
قوس أنبوبي من صفائح إنشائية	Projecting— corner plate (30.7 in. or 780 mm)	0.12263	0.4825	-0.00002	-0.04287	0.01454	-0.00117
CM arch (flat bottom)	Parallel headwall	0.111281	0.610579	-0.1949	0.051289	-0.00481	0.000169
قوس من معدن	Mitered	0.083301	0.795145	-0.43408	0.163774	-0.02491	0.001411
متموج ذو قاعدة مفتوحة	Thin wall projecting	0.089053	0.712545	-0.27092	0.792502	-0.00798	0.000293

من أجل: $HW_{ic}/D > 3.0$:

$$HW_i = \left[\frac{Q}{k} \right]^2 + \frac{D}{2} \quad (\text{Eq.8})$$

حيث:

HW_i : إرتفاع عمود الماء أمام العبارة في حالة ضبط المدخل (م).

Q : التدفق التصميمي.

k : ثابت يحسب من العلاقة:

$$k = 0.6325 \frac{Q_{3.0}}{D^{1/2}} \quad (\text{Eq.9})$$

حيث:

$Q_{3.0}$: التدفق (م³/ثا) الذي من أجله يكون $HW/D = 3$.

٢-٣-٢-٣ تحديد منسوب الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المخرج (HW_{oc})

نحتاج إلى ضبط مخرج العبارة عندما يكون أنبوب العبارة غير قادراً على نقل التدفق الذي تمرره فتحة المدخل، أي عندما يزيد عمق الماء داخل العبارة عند المدخل عن العمق الحرج. أي عندما يكون إنحدار

العبارة إنحداراً معتدلاً ($d_u > d_c$). ومن الممكن أيضاً تجربة ضبط المخرج مع العبارات شديدة الإنحدار ($d_u < d_c$) وذات منسوب ماء مرتفع عند المخرج بحيث يصبح التدفق داخل العبارة تدفق تحت حرج أو كامل. يتبع إرتفاع عمود الماء أمام العبارة في حالة ضبط المخرج إلى التدفق الواصل إلى العبارة، وإلى أبعاد المقطع العرضي، وإلى أبعاد المدخل، ومن المحتمل أن يتبع أيضاً إلى منسوب الماء عند المخرج. وللأغراض العملية، عندما يتم ضبط مخرج العبارة، فمن الممكن ضبط منسوب الماء قبيل العبارة بتعديل حجم العبارة، وشكل مقطعها، وخشونتها. يعتبر هدف ضبط المدخل وضبط المخرج هو تحديد إرتفاع عمود الماء أمام العبارة. يوضح الجدول (٤) الحالات الممكنة لضبط إرتفاع عمود الماء أمام العبارة.

الجدول (٤): الحالات الممكنة لضبط إرتفاع عمود الماء أمام العبارة

الحالة المحتملة	الوصف
ضبط المدخل	إنحدار شديد والماء المرتد لا يتجاوز العمق الحرج عند المدخل من جهة الداخل
ضبط المخرج	إنحدار شديد والماء المرتد يتجاوز العمق الحرج عند المدخل من جهة الداخل
متذبذب بين ضبط المدخل وضبط المخرج	إنحدار شديد والماء المرتد يوافق العمق الحرج عند المدخل من جهة الداخل
ضبط المخرج	إنحدار معتدل هيدروليكياً

يتم تحديد منسوب عمود الماء أمام العبارة في حالة ضبط المخرج عن طريق حساب الضياعات التي تحدث من مخرج العبارة إلى مدخلها. ويستعمل المخطط النهجي A في الشكل (١٦) وتكملته B في الشكل (١٧) وإجراء اتحما لتحليل وتصميم العبارة.

يحسب عمق عمود الماء أمام العبارة في حالة ضبط المخرج HW_{oc} عن طريق إجراء موازنة في الطاقة بين مدخل العبارة ومخرجها. أنظر الشكل (٢٠).

وتجرى هذه الموازنة حسب العلاقة التالية رقم (Eq.10):

$$HW_{oc} + h_{va} = h_{vi} + \sum h_f - S_o L + H_o \quad (\text{Eq.10})$$

حيث:

HW_{oc} : إرتفاع عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط مخرج العبارة (م).

h_{va} : مقدار هبوط سطح التدفق نتيجة السرعة بالقرب من مدخل العبارة (م).

h_{vi} : مقدار هبوط منسوب التدفق نتيجة السرعة في المدخل وبحسب من العلاقة (Eq.11).

h_e : الفقدان في المنسوب عند المدخل (م)، وبحسب من العلاقة (Eq.14).

h_f : الفقدان في المنسوب نتيجة الاحتكاك (م). وبحسب من العلاقة (Eq.15).

S_o : إنحدار العبارة (م/م).

L : طول العبارة (م).

H_o : عمق خط الميل الهيدروليكي داخل العبارة عند المخرج تماماً.

$$h_v = \left[\frac{v^2}{2g} \right] \quad (11)$$

v : سرعة التدفق في العبارة. (م/ثا).

g : تسارع الجاذبية الأرضية. (م/ثا²).

وهكذا، فعند تحديد منسوب عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المخرج، فيجب الأخذ بعين الاعتبار توازن الطاقة عند المخرج، وضياعات الطاقة خلال جسم العبارة، وتوازن الطاقة عند المدخل. وعندما يتحكم منسوب عمود الماء خلف العبارة بالتدفق الخارج، يجب إستعمال العلاقة (Eq.10) لتمثيل توازنات الطاقة عند مخرج العبارة.

إن عمق الماء عند المخرج H_o ، هو عمق خط الجريان الهيدروليكي داخل العبارة وعند مخرجها تماماً.

يتم حساب عمق المخرج H_o وفق الحالات الموضحة في الجدول (٥) ومن العلاقة رقم (Eq.12).

$$H_o = TW + h_{TW} + h_o - h_{vo} \quad (Eq.12)$$

حيث:

h_{vo} : مقدار هبوط منسوب التدفق نتيجة السرعة داخل العبارة عند مخرجها (م).

h_{TW} : مقدار هبوط سطح التدفق نتيجة السرعة خلف العبارة (م).

h_o : الفقدان في المنسوب عند المخرج (م).

H_o الجدول (٥): حالات حساب عمق الماء عند المخرج،

الشرط الأساسي	الشرط المرافق	الحساب
عمق الماء خلف المخرج (TW) يتجاوز العمق الحرج (d_c) داخل العبارة عند نقطة المخرج.	الإنحدار معتدل هيدروليكيًا	حساب H_o باستخدام العلاقة (Eq.10)، وإعتبار منسوب الماء خلف المخرج هو العمق الابتدائي.
عمق الماء خلف المخرج (TW) أقل من العمق الحرج (d_c) داخل العبارة عند نقطة المخرج.	الإنحدار معتدل هيدروليكيًا	إعتبار H_o مساوياً للعمق الحرج.
العمق الثابت المفروض أعلى من سقف العبارة.	الإنحدار شديد هيدروليكيًا	إعتبار H_o أعلى من عمق القناة وحساب العمق من العلاقة (Eq.10).
العمق الثابت المفروض أدنى من سقف العبارة ومنسوب الماء خلف المخرج (TW) يتجاوز العمق الحرج.	الإنحدار شديد هيدروليكيًا	حساب H_o من العلاقة (Eq.10).
العمق الثابت المفروض أدنى من سقف العبارة ومنسوب الماء خلف المخرج (TW) أدنى من العمق الحرج.	الإنحدار شديد هيدروليكيًا	تجاهل حساب العمق عند المخرج لعدم إمكانية ضبط المخرج.

ملاحظة: بالنسبة للحسابات اليدوية وبعض البرامج الحاسوبية، يتم افتراض أن $H_o = TW$. في هذه الحالة لن يكون هناك معنى لحساب ضياع المنسوب عند المخرج (h_o). طالما أن منسوب خط الطاقة عند المخرج سيمثل دائماً مجموع عمق الماء خلف العبارة (TW) ومقدار هبوط مستوى الماء نتيجة السرعة عند مخرج العبارة (h_{vo}).

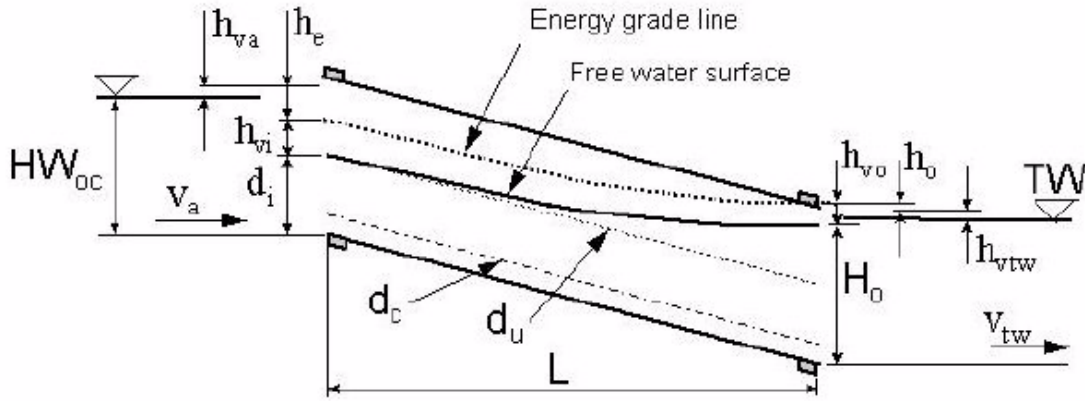
٢-٣-٢-٤ - ضياعات الطاقة ضمن العبارة

يحدث التدفق ضمن العبارة وفق أحد التركيبات التالية:

- (النوع A) تدفق ذو سطح حر على طول قناة العبارة.
- (النوع B) التدفق الكامل في القناة.
- (النوع BA) تدفق كامل عند المخرج وتدفق ذو سطح حر عند المدخل.
- (النوع AB) تدفق ذو سطح حر عند المخرج وتدفق كامل عند المدخل.

١- التدفق ذو السطح الحر (النوع A)

إذا حدث تدفق السطح الحر في العبارة، فإن المعاملات الهيدروليكية تتغير بتغير عمق التدفق على طول قناة العبارة. أنظر الشكل (١٨).



الشكل (١٨): عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المخرج في حالة التدفق ذو السطح الحر

إنه من الضروري حساب شكل الماء العائد على أساس عمق الماء عند المخرج H_0 .

إن الماء ذو السطح الحر المرتد من طرف المخرج قد يؤثر فقط على عمود الماء أمام المدخل. وذلك عندما تكون حالة التدفق في العبارة تدفق تحت الحرج.

تحدث حالة التدفق ذو السطح الحر تحت الحرج عند مخرج العبارة، عندما يكون إنحدار العبارة إنحداراً معتدلاً وعمق الماء H_0 عند المخرج أقل من عمق المخرج. أو إذا كان إنحدار العبارة إنحداراً شديداً مع منسوب الماء بعد المخرج أعلى من العمق الحرج عند المخرج وأدنى من عمق مخرج العبارة.

تستعمل طريقة تعقب الماء المرتد بالخطوة المباشرة لتحديد شكل سطح الماء وضيعات الطاقة ضمن قناة العبارة. من أجل التدفق تحت الحرج يتم البدء بالحسابات عند مخرج العبارة والإتجاه باتجاه المدخل. يتم استخدام عمق الماء عند المخرج H_0 كعمق ابتدائي d_1 في حسابات الخطوة المباشرة.

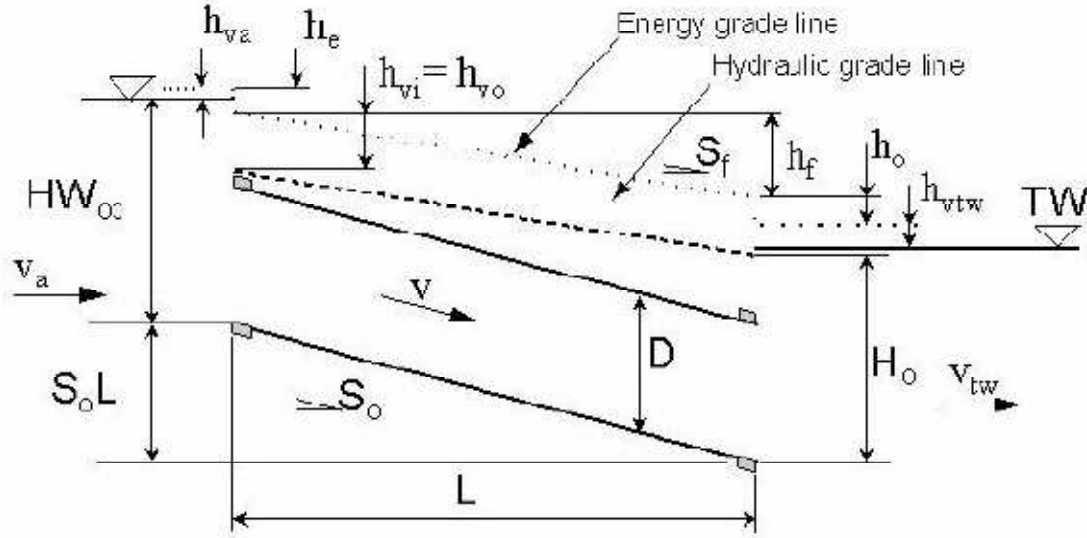
عند استعمال طريقة الخطوة المباشرة وعند الوصول إلى مدخل القناة بدون أن يتجاوز العمق المحسوب في أي نقطة لعمق القناة D ، فهذا يعني أن التدفق ذو سطح حر على كامل طول القناة.

يتم تسمية العمق المحسوب عند مدخل العبارة d_2 على أنه H_i ، وبالرجوع إلى توازنات الطاقة عند المدخل يتم تحديد عمق عمود الماء أمام العبارة HW .

عند استعمال طريقة الخطوة المباشرة، إذا وصل العمق المحسوب عند مدخل العبارة d_2 إلى عمق القناة أو تجاوزه، فهذا يعني أن المقطع الداخلي لمدخل العبارة مغمور بالماء. يتم الرجوع عندها إلى نوع التدفق AB لتوصيف الحالة.

٢- التدفق الكامل في القناة (النوع B)

إذا حصل تدفق كامل في القناة، فإن معدل ضياعات الطاقة ضمن القناة ثابت (لتدفق ثابت) كما هو موضح في الشكل (١٩). يتم حساب خط الميل الهيدروليكي عند المخرج بالإعتماد على عمق الماء عند المخرج H_o .



الشكل (١٩): حالة التدفق الكامل عند ضبط المخرج

يحدث هذا النوع من التدفق عندما يساوي العمق H_o عمق القناة D أو يزيد عنه. وتستمر حالة التدفق هذه ضمن القناة طالما أن ميل الإحتكاك أشد من ميل القناة أو إنحدارها، أو إذا كان ميل الإحتكاك أخف من ميل القناة ولكن القناة ليست طويلة كفاية بحيث يستطيع خط الميل الهيدروليكي الانخفاض تحت الحافة العليا للقناة.

يتم تحديد ضياع الإحتكاك ضمن القناة باستخدام العلاقة (Eq.13):

$$h_f = S_f L \quad (\text{Eq.13})$$

حيث:

h_f : مقدار الضياع في عمق الماء نتيجة الإحتكاك ضمن القناة (م).

S_f : ميل الإحتكاك (م/م)، أنظر العلاقة (Eq.15).

L : طول العبارة الحاوي على التدفق الكامل (م).

يتم حساب عمق خط الميل الهيدروليكي عند طرف المدخل من الداخل باستخدام العلاقة (Eq.14). وبالرجوع إلى علاقة توازن الطاقة يتم تحديد عمق عمود الماء أمام العبارة.

$$H_i = H_o + h_f - S_o L \quad (\text{Eq.14})$$

حيث:

H_i : عمق خط الميل الهيدروليكي عند المدخل (م).

h_f : مقدار الضياع في عمق الماء نتيجة الاحتكاك ضمن القناة المحسوب من العلاقة (Eq.13)، (م).

S_o : إنحدار أو ميل القناة (م/م).

L : طول العبارة (م).

H_o : عمق المخرج (م).

إذا كان ميل الاحتكاك المحسوب من العلاقة (Eq.15) أخف من ميل القناة أو إنحدارها، فمن المحتمل عندها أن ينخفض خط الميل الهيدروليكي تحت منسوب قمة القناة. في هذه الحالة، يتم الرجوع إلى نوع التدفق BA.

$$S_f = \left(\frac{Q n}{z R^{2/3} A} \right)^2 \quad (\text{Eq.15})$$

حيث:

S_f : ميل الاحتكاك (م/م).

z : هو عامل قيمته (١) من أجل الواحدات الدولية المستخدمة هنا.

R : نصف القطر الهيدروليكي: $R=A/WP$.

WP : المحيط المبلول (الرطب).

n : عامل مانينغ للعبارة ويؤخذ من الجدول (١١) في الملحق (١).

٣- حالة التدفق الكامل عند المخرج والتدفق ذو السطح الحر عند المدخل (النوع BA)

إذا كان ميل الاحتكاك (المخرج) أخف من ميل القناة، فمن المحتمل أن لا يحدث التدفق الكامل على كامل طول العبارة (أنظر الجدول (٧) الذي يوضح معاملات ضياعات المدخل) ويجب في هذه الحالة إتباع الخطوات التالية:

- تحديد الطول (L_f) الذي يحدث ضمنه التدفق الكامل بإستخدام العلاقة البعدية (Eq.16):

$$L_f = \frac{H_o - D}{S_o - S_f} \quad (\text{Eq.16})$$

حيث:

L_f : الطول الذي يحدث ضمنه التدفق الكامل (م).

S_o : ميل العبارة (إنحدارها) (م/م).

S_f : ميل الاحتكاك (م/م).

H_o : عمق المخرج (م).

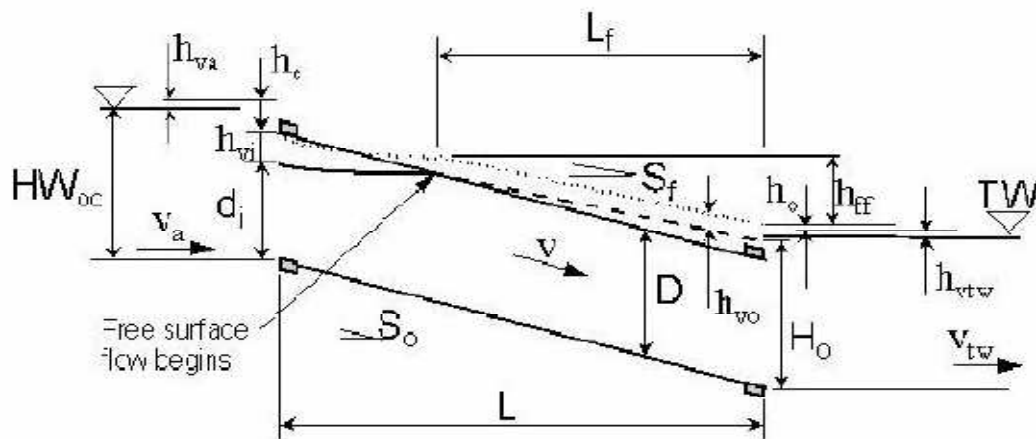
D : إرتفاع قناة العبارة (م).

وفيما يلي جدول لكيفية تحديد طول القناة L :

جدول (٦): إجراءات حساب طول القناة

الشرط	إجراء التصميم المطلوب	التعليق
$S_f \geq S_o$	حساب ضياعات الطاقة للتدفق من النوع (B)	العبارة ممتلئة بالماء على كامل طولها.
$L_f \geq L$	حساب ضياعات الطاقة للتدفق من النوع (B)	العبارة ممتلئة بالماء على كامل طولها.
$L_f < L$	الذهاب لخطوة التصميم رقم (٣)	مخرج العبارة مليء بالماء لكن التدفق في المدخل ذو سطح حر.

- تحديد ضياعات السطح الحر لنوع التدفق BA إذا أمكن ذلك، يبدأ التدفق ذو السطح الحر عند نقطة تقاطع خط الميل الهيدروليكي مع سقف قناة العبارة كما هو موضح في الشكل (٢٠). إذا حدثت هذه الحالة، يتم تحديد عمق التدفق عند المدخل باستخدام طريقة الخطوة المباشرة، على أن نبدأ بعمق ابتدائي (d_1) مساوية لعمق القناة (D) وعند الموقع الذي يبدأ عنده التدفق ذو السطح الحر.
- تحديد خط الميل الهيدروليكي عند المدخل لنوع التدفق BA إذا أمكن ذلك. عند إستخدام طريقة الخطوة المباشرة والوصول إلى طرف مدخل القناة، عندها يتم تثبيت العمق المحسوب على أنه العمق H_i ويتم بعدها الرجوع إلى علاقة توازن الطاقة عند المدخل لحساب إرتفاع عمود الماء أمام العبارة.

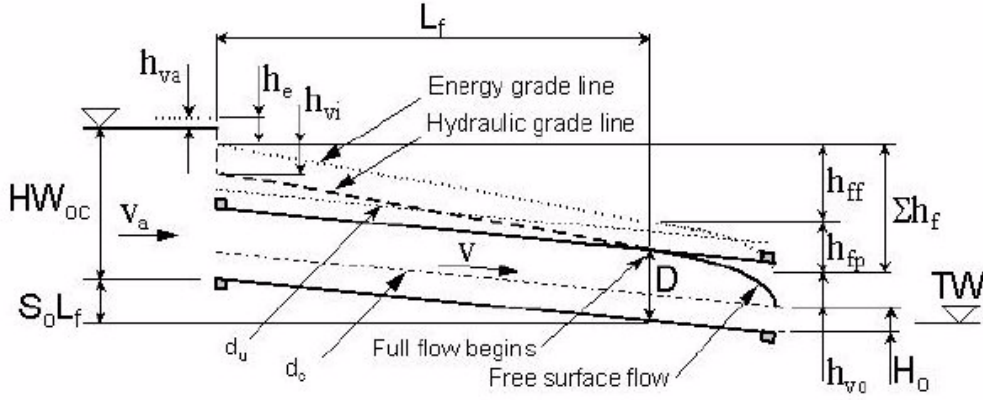


الشكل (٢٠): النقطة التي يبدأ عندها التدفق ذو السطح الحر

٤- حالة التدفق ذو السطح الحر عند المخرج والتدفق الكامل عند المدخل (النوع AB)

إذا كان مخرج العبارة غير مغمور بالماء، فسيبدأ التدفق الكامل ضمن قناة العبارة بشرط أن تكون العبارة بطول كاف ويكون التدفق ذو عمق مرتفع كفاية. والشكل (٢١) يوضح هذه الحالة. تكون هذه الحالة ممكنة الحدوث إذا كانت القيمة المحسوبة للعمق الإسمي أكبر من عمق العبارة. عندها يجب إتباع الخطوات التالية:

- التأكد من العمق الإسمي لحالة التدفق AB. ومقارنة العمق الإسمي المحسوب مع عمق القناة D. إذا كانت القيمة المحسوبة للعمق الإسمي مساوية أو أكبر من عمق القناة، فهذا يؤدي إلى ضياعات السطح الحر. وبعبارة أخرى على المصمم الرجوع إلى حالة التدفق ذو السطح الحر A.
- تحديد ضياعات السطح الحر لنوع التدفق AB إذا أمكن ذلك. والرجوع إلى حسابات شكل سطح الماء وحالة التدفق ذو السطح الحر لتحديد شكل سطح الماء في القناة. إذا وصل العمق المحسوب إلى قيمة مساوية أو أكبر من عمق قناة العبارة قبل بلوغ طرف القناة، فيجب عندها تحديد النقطة من القناة التي حصل عندها هذا الأمر ومن ثم الذهاب إلى حساب ضياعات التدفق الكامل في الخطوات أدناه.
- حساب ضياعات التدفق الكامل للنوع AB إذا أمكن ذلك. والبدء بحسابات التدفق الكامل عند النقطة من القناة التي يتقاطع فيها الماء مع سقف القناة كما سبق شرحه في الخطوات أعلاه. ومن ثم حساب ضياعات الطاقة لما تبقى من القناة بإستخدام العلاقة (Eq.13) مع إستبدال الحد L بالطول المتبقي من القناة L_f .
- تحديد خط الميل الهيدروليكي لنوع التدفق AB عند المدخل، إذا أمكن ذلك. حساب عمق خط الميل الهيدروليكي، H_i ، عند الطرف الداخلي لمدخل القناة بإستخدام العلاقة (Eq.14). ويتم إستخدام عمق القناة D كعمق ابتدائي لخط الميل الهيدروليكي بدلاً من H_o ، ويستخدم الطول المتبقي L_f بدلاً من طول القناة L . ومن ثم الرجوع إلى توازن الطاقة عند المدخل لحساب إرتفاع عمود الماء أمام العبارة.



الشكل (٢١): عمود الماء أمام العبارة الناتج عن حالة التدفق الكامل عند المدخل والتدفق ذو السطح الحر عند المخرج

٢-٣-٢-٥ - توازنات الطاقة عند المدخل

يتم حساب إرتفاع عمود الماء أمام العبارة الناتج عن ضبط المخرج، HW_{oc} ، عن طريق موازنة علاقة الطاقة، الممثلة بالعلاقة (Eq.17). وهذا يتطلب معرفة التدرج الهيدروليكي عند الوجه الداخلي للعبارة في منطقة المدخل.

تستعمل السرعة عند المدخل (V_i) لحساب الإنخفاض في العمق نتيجة السرعة h_{vi} .

$$HW_{oc} = H_i + h_{vi} + h_e - h_{va} \quad (\text{Eq.17})$$

حيث:

HW_{oc} : عمق عمود الماء أمام العبارة نتيجة ضبط المخرج (م).

h_{va} : مقدار الإنخفاض في منسوب التدفق قرب مدخل العبارة نتيجة السرعة (م).

h_{vi} : مقدار الإنخفاض في منسوب التدفق عند مدخل العبارة تماماً نتيجة السرعة (م). ويحسب من العلاقة (Eq.11).

h_e : الفقدان في المنسوب عند المدخل (م)، ويحسب من العلاقة (Eq.18).

H_i : عمق خط التدرج الهيدروليكي داخل العبارة عند المدخل تماماً (م).

بشكل عام، وعند استعمال العلاقة (Eq.18)، قد نفترض بأن السرعة بالقرب من المدخل مهملة، بحيث يكون منسوب الماء أمام العبارة وخط تدرج الطاقة متطابقان تماماً عند وجه العبارة.

يجب أن يكون للعبارة مساحة تدفق فعال مشابه لمقطع قناة الجرى القريبة، بحيث تصبح سرعة الإقتراب والسرعة داخل العبارة متشابهتين تقريباً.

الضياع عند المدخل، h_e ، يعتمد على سرعة التدفق عند المدخل، v_i ، وعلى ترتيبات المدخل، لذلك يوصى باستخدام معامل ضياع للمدخل، C_e .

$$h_e = C_e \left[\frac{v_i^2}{2g} \right] \quad (١٨)$$

حيث:

C_e : معامل الضياع عند المدخل.

V_i : سرعة التدفق داخل مدخل العبارة (م/ثا).

يتم إختيار قيمة C_e عن طريق الجدول (٧) وبالاغتماد على شكل العبارة وحالة المدخل.

الجدول (٧): معامل ضياع المدخل

Concrete Pipe	C_e
Projecting from fill, socket end (groove end)	0.2
Projecting from fill, square cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls:	
• Socket end of pipe (groove end)	0.2
• Square-edge	0.5
• Rounded (radius 1/12 D)	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
End section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
Corrugated Metal Pipe or Pipe Arch	
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls square-edge	0.5
Mitered to conform to fill slope, paved or unpaved slope	0.7
End section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
Reinforced Concrete Box	
Headwall parallel to embankment (no wingwalls):	
• Square-edged on 3 edges	0.5
• Rounded on 3 edges to radius of 1/12 barrel dimension, or beveled edges on 3 sides	0.2
Wingwalls at 30° to 75° to barrel:	
• Square-edged at crown	0.4
• Crown edge rounded to radius of 1/12 barrel dimension, or beveled top edge	0.2
Wingwall at 10° to 25° to barrel: square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides): square-edged at crown	0.7
Side- or slope-tapered inlet	0.2

٢-٣-٢-٦- التدفق المتذبذب (SLUG FLOW)

قد تحدث ظاهرة التذبذب، عندما يصبح التدفق غير مستقر. في هذه الحالة يتذبذب التدفق بين التأثير بضبط المدخل من جهة وضبط المخرج من جهة أخرى، ويحدث ذلك بشكل دوري. وينتج ذلك عن الحالات التالية:

- عندما يكون التدفق فوق حرج، ولكن منسوب الماء خلف المخرج مرتفع نسبياً.
- عندما يكون العمق الإسمي والعمق الحرج مرتفعان نسبياً ضمن قناة العبارة.
- عندما يكون الفرق بين العمق الإسمي والعمق الحرج بنسبة ٥٪.

وإن الطريقة الموصى بها في هذه الحالة هي حساب منسوب الماء أمام العبارة على أنه ناتج عن ضبط المدخل وكذلك حسابه على أنه ناتج عن ضبط المخرج وإعتماد القيمة الأعلى بينهما على أنهما الحالة الحاكمة أو المسيطرة.

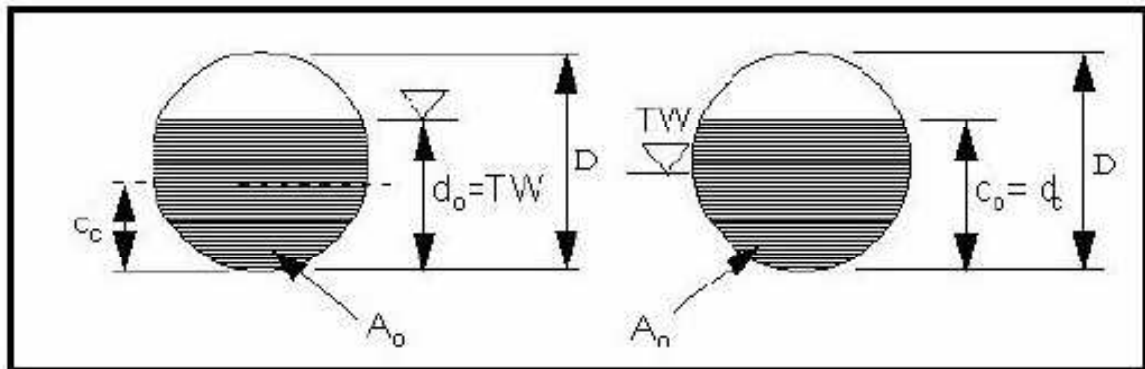
٢-٣-٢-٧- تحديد سرعة تدفق المخرج

تعتمد سرعة تدفق الماء من المخرج، v_o ، على التدفق (Q)، وعلى مساحة المقطع العرضي للتدفق عند المخرج (A_o)، وتحسب من العلاقة (Eq.19):

$$v_o = \frac{Q}{A_o} \quad (\text{Eq.19})$$

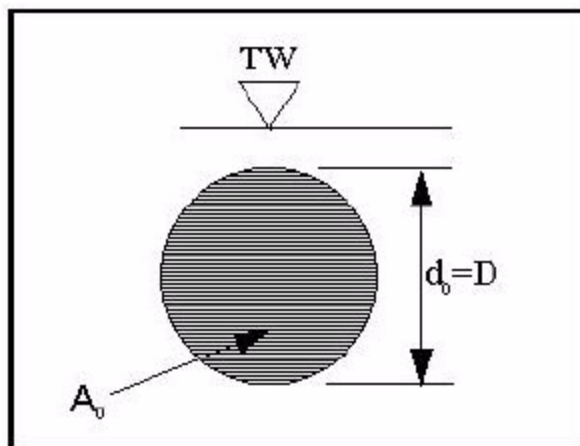
تعيين المتغير d_o وذلك لتحديد مساحة المقطع العرضي للتدفق عند المخرج.

في حالة ضبط المخرج، يتم تعيين العمق d_o على أنه يساوي القيمة الأكبر بين العمق الحرج d_c وعمق الماء خلف العبارة TW ، وبحيث لا تتجاوز قيمته لعمق العبارة D كما هو مبين في الشكل (٢٢).



الشكل (٢٢): مساحة المقطع العرضي للتدفق

إذا كانت الحالة هي حالة تدفق كامل عند المخرج، وعادة يحدث هذا بسبب إرتفاع منسوب الماء خلف المخرج أو عندما تكون قدرة تصريف العبارة أقل من التدفق القادم إليها، في هذه الحالة يؤخذ العمق d_o مساوياً لعمق العبارة D بحيث يتم إستعمال مساحة المقطع العرضي لقناة العبارة بأكملها.



شكل (٢٣): مساحة المقطع العرضي للتدفق في حالة التدفق الكامل

٢-٣-٢-٨- طرق تقدير العمق

في حالة ضبط المدخل وعندما تكون العبارة شديدة الإنحدار، يتم تقدير عمق الماء عند المخرج بإستخدام الطرق التالية:

- بإستعمال طريقة خطوة الماء المرتد، بالبداية بالعمق الحرج d_c عند المدخل ثم التقدم بإتجاه الجريان نحو المخرج: إذا كان منسوب الماء خلف المخرج أقل من العمق الحرج عند المدخل، يتم حساب السرعة الناتجة عن العمق المحسوب عند المخرج. وإذا كان منسوب الماء خلف المخرج أعلى من العمق الحرج، فمن المحتمل أن تحدث قفزة هيدروليكية ضمن العبارة. في الفقرات أدناه ستتم مناقشة أساليب التأكد من حدوث القفزة الهيدروليكية ضمن العبارة. إذا حدثت القفزة الهيدروليكية ضمن العبارة، سيتم تحديد السرعة عند المخرج بالإعتماد على العمق عند المخرج أي: $d_o = H_o$.
- إفتراض عمق منتظم عند المخرج: إذا كانت العبارة طويلة كفاية ومنسوب الماء خلف المخرج أقل من العمق الإسمي المفروض، فإن هذا العمق المفترض سيتم الوصول إليه عند مخرج العبارة شديدة الإنحدار. وبالنسبة للعبارة القصيرة شديدة الإنحدار وفي حال كان منسوب الماء خلف المخرج أقل من العمق الإسمي المفروض، فإن العمق الحقيقي سيكون أعلى من العمق المفروض. ولهذا الإفتراض تحفظ وهو أن السرعة المقدرة ستكون أعلى قليلاً من السرعة الحقيقية. إذا كان منسوب الماء خلف المخرج أعلى من العمق الحرج، فمن المحتمل حدوث قفزة هيدروليكية ومن المحتمل أن تكون السرعة الحقيقية أقل بكثير من السرعة المحسوبة على أساس العمق الإسمي الإفتراضي.

٢-٣-٢-٩ - طريقة الخطوة المباشرة للماء المرتد

إن طريقة الخطوة المباشرة للماء المرتد تستخدم نفس العلاقات الأساسية لطريقة الخطوة القياسية للماء المرتد ولكنها أبسط للإستخدام لأنها لا تحتاج للتكرار.

في هذه الطريقة يتم إختيار زيادة في عمق الماء (δd) ومن ثم يتم حساب المسافة التي يحدث بعدها التغير في العمق. وتعتمد الدقة على حجم الزيادة المختارة (δd). وهذه الطريقة تتوافق مع القنوات ذات المقاطع الموشورية كما هو الحال في معظم القنوات.

وفيما يلي خطوات هذه الطريقة وعددها تسع خطوات:

- (١) - إختيار نقطة البداية وعمق الماء فيها d_1 : إن العمق الابتدائي هذا يعتمد على طبيعة المسار هل هو حرج أم فوق حرج. بشكل عام وبالنسبة للعبارات يتم إعتبار العمق الابتدائي هو عمق الماء عند المخرج H_o . وبعبارة أخرى يمكن تحديد قيمة d_1 كما يلي:

- إذا كان الإنحدار معتدلاً أي ($d_c < d_u$) وإذا كان التدفق عند المخرج تدفق ذو سطح حر، عندها يتم الإنطلاق من طرف المخرج ويتم إختيار العمق الأكبر بين h_c و TW . قد يحدث التدفق فوق الحرج في العبارات معتدلة الإنحدار. ولكن وفي أغلب الأحيان يكون التدفق تدفق تحت حرج في حالة العبارات معتدلة الإنحدار.
- في حالة الإنحدار الشديد ($d_u < d_c$)، بحيث أن منسوب الماء خلف المخرج يتجاوز العمق الحرج ولكنه لا يغمر مخرج العبارة. عندئذ يتم الإنطلاق من المخرج وبعمرق ابتدائي يساوي TW .
- في حالة الإنحدار الشديد ومنسوب الماء خلف المخرج أدنى من العمق الحرج، يتم عندها البدء بحسابات مسار سطح الماء عند المدخل ويؤخذ العمق الابتدائي مساوياً للعمق الحرج d_c ويتم التقدم بخطوات نحو مخرج العبارة.
- في حالة المخرج المغمور بالماء حيث يكون التدفق على طول القناة هو تدفق ذو سطح حر، في هذه الحالة يتم إستخدام عمق القناة D كعمق ابتدائي. ويتم البدء بحسابات الماء المرتد عند الموقع الذي يكون فيه خط الميل الهيدروليكي منطبقاً على سقف القناة.

- (٢) - الخطوات التالية تفترض حالة تدفق تحت حرج على عبارة معتدلة الإنحدار وذلك من أجل تدفق معطى، Q ، على طول عبارة، L ، وإنحدار، S_o . يتم حساب الأمور التالية عند طرف المخرج بالاعتماد على عمق ابتدائي d_1 :

- مساحة المقطع العرضي للتدفق، A .

- المحيط الرطب، WP .
- السرعة، v ، من العلاقة (Eq.19).
- مقدار الانخفاض في العمق نتيجة السرعة، h_v ، باستخدام العلاقة (Eq.11).
- الطاقة المحددة، E ، باستخدام العلاقة (Eq.20).
- ميل الاحتكاك، S_f ، باستخدام العلاقة (Eq.15).

$$E = d + \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Eq.20})$$

حيث:

E : الطاقة المحددة (م).

d : عمق التدفق (م).

v : السرعة الوسطية للتدفق (م/ثا).

g : تسارع الجاذبية الأرضية ٩.٨١ م/ثا^٢.

(٣) - إختيار الزيادة أو النقصان في العمق، δd : إذا كان $d_1 > d_u$ ، يستخدم النقصان وفيما عدا

ذلك تستخدم الزيادة، ويجب أن لا تزيد الزيادة عن ١٠٪.

(٤) - حساب المعاملات التالية A, WP, v, E و S_f عند العمق الجديد ($d_2 = d_1 + \delta d$). ونضيف

حرف ثانوي (2) لرموز هذه المعاملات كما يلي على سبيل المثال (A_2, WP_2).

(٥) - تحديد التغير في الطاقة δE باستخدام العلاقة (Eq.21).

(٦) - حساب المتوسط الحسابي لميل الاحتكاك باستخدام العلاقة (Eq.22).

(٧) - استخدام العلاقة (Eq.23) لتحديد المسافة δL التي بعدها يحدث التغير في العمق.

(٨) - إعتبار العمق والموقع الجديدان ليكونا نقطة البداية الجديدة. ومن ثم إعادة الخطوات من ٣ إلى

٧، وجمع تغيرات المسافة δL للحصول على الإجمالي ΣL ، ويكون مساوي أو يزيد عن طول

العبرة. يمكن إفتراض الزيادة ذاتها لجميع النقاط أو تعديلها بحيث نصل إلى القرار النهائي. تكون

هذه التعديلات مفيدة في حال زاد الطول الإجمالي المحسوب عن طول العبرة بشكل كبير وعند

عدم الحصول على ميول إحتكاك عالية. إذا وصل العمق المحسوب إلى قيمة تساوي عمق العبرة

D قبل الوصول إلى مدخل العبرة، فسيتم إلغاء الخطوة التاسعة والرجوع إلى حالة التدفق AB

لإستكمال التحليل.

(٩) إن العمق النهائي المحسوب d_2 يمثل عمق الماء عند المدخل H_i والسرعة الموافقة له هي v_i سرعة التدفق عند المدخل، يتم بعدها حساب منسوب الماء أمام العبارة باستخدام العلاقة (Eq.17).

$$\delta E = E_2 - E_1 \quad (\text{Eq.21})$$

$$S_f = \frac{(S_{f2} - S_{f1})}{2} \quad (\text{Eq.22})$$

$$\delta L = \frac{\delta E}{S_o - S_f} \quad (\text{Eq.23})$$

٢-٣-٢-١٠ - التدفق تحت الحرج مع الإنحدار الشديد

إن الإجراءات المتبعة في حالة التدفق تحت الحرج ($d > d_c$) ولكن الإنحدار شديد ($d_c > d_u$) مشابهة تماماً لإجراءات الحالات الأخرى مع الاستثناءات التالية:

- اختيار δd كنقص في العمق وليس كزيادة.
- إذا وصل العمق المحسوب إلى العمق الحرج قبل الوصول إلى المدخل، فإن منسوب الماء أمام العبارة متوقف على ضبط المدخل، وبالإضافة لذلك قد تحدث قفزة هيدروليكية ضمن العبارة.
- إذا كان العمق عند المدخل أعلى من العمق الحرج، عندئذ يتم تحديد منسوب الماء أمام العبارة من العلاقة (Eq.17). وفي هذه الحالة أيضاً قد تحدث قفزة هيدروليكية.

٢-٣-٢-١١ - التدفق الفوق الحرج مع الإنحدار الشديد

إن الإجراءات المتبعة في حالة التدفق تحت الحرج ($d < d_c$) ولكن الإنحدار شديد ($d_c > d_u$) مشابهة تماماً لإجراءات الحالات الأخرى مع الاستثناءات التالية:

- نبدأ بالحسابات عند المدخل وبعمرق ابتدائي هو العمق الحرج، ثم نتقدم باتجاه مخرج العبارة.
- اختيار النقص في العمق، δd .
- إذا كان منسوب الماء خلف المخرج أعلى من العمق الحرج، عندئذ قد تحدث قفزة هيدروليكية ضمن العبارة.

٢-٣-٢-١٢ - القفزة الهيدروليكية في العبارات

من أجل أي تدفق معطى للقناة، وعندما يكون تدفق الماء بعمق أقل من العمق الحرج (تدفق فوق الحرج)، فإن عمقاً إنتقالياً تسلسلياً في التدفق تحت الحرج يقوم بموازنة القوى الناتجة عن تغير كمية الماء والضغط الهيدروليكي بين الأعماق الرئيسية.

وبعبارة أصح، إن الماء الذي يتدفق بعمق أدنى في حالة التدفق الحرج قد يقفز وفق أعماق إنتقالية وصولاً إلى التدفق تحت الحرج. وهذا يدعى بمصطلح "القفزة الهيدروليكية". وإن هذا التغير الحاد في عمق التدفق يترافق بتغير في مساحة المقطع العرضي للتدفق وينتج عن ذلك انخفاض في السرعة الوسطية للتدفق. ويمكن تمثيل توازن القوى في العلاقة التالية:

$$M = \frac{Q^2}{gA} + A\bar{d} \quad (\text{Eq.24})$$

حيث:

M : تابع الزخم (كمية الماء المتجمع) (م^٣).

Q : التدفق (م^٣/ثا).

A : مساحة المقطع العرضي للتدفق (م^٢).

\bar{d} : المسافة بين سطح الماء ومركز المقطع العرضي للتدفق (م).

وبافتراض عدم وجود أي قوى إعاقة أو احتكاك عند منطقة القفزة، فإن تابع الزخم أو تكاثف التدفق، M_1 ، عند عمق الإقتراب إلى منطقة القفزة، يساوي إلى تابع الزخم، M_s ، عند العمق الإنتقالي.

العمق الإنتقالي

إن العمق الإنتقالي هو عبارة عن عمق الماء الذي ينتقل من خلاله التدفق من حالة تدفق حرج بعمق صغير إلى حالة تدفق تحت حرج بعمق أكبر.

إن الحساب المباشر للعمق الإنتقالي، d_s ، يكون ممكناً للتدفق ذو السطح الحر في القنوات المستطيلة ذات الإنحدار الخفيف، بإستخدام العلاقة (Eq.25). وإذا كان الإنحدار أكبر من ١٠٪، فإن الحسابات تصبح أكثر تعقيداً.

$$d_s = 0.5d_1 \left(\sqrt{1 + \frac{8v_1^2}{gd_1}} - 1 \right) \quad (\text{Eq.25})$$

ds : العمق الإنتقالي (م).

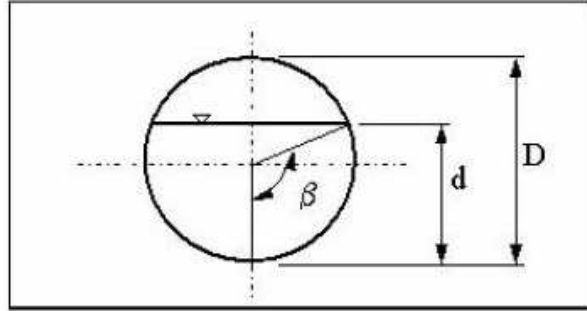
d_1 : عمق التدفق (الفوق الحرج) (م).

v_1 : سرعة التدفق عند العمق d ، (م/ثا).

إن الحساب المباشر للعمق الإنتقالي في القنوات الدائرية غير عملي، ولكن هناك إمكانية لحلول تكرارية بإتباع الإجراءات والعلاقات التالية:

- إختيار عمق إنتقالي تجريبي ومن ثم تطبيق العلاقة (Eq.26) حتى يصبح التدفق المحسوب من هذه العلاقة مساوياً للتدفق التصميمي. وهذه العلاقة مناسبة للإنحدارات التي لا تزيد عن ١٠٪.

- حساب العزوم الستاتيكية للمساحة من أجل العمق فوق الحرج للتدفق، d_1 ، ومن أجل العمق الإنتقالي، d_s ، من العلاقة (Eq.27). وهذه العلاقة تستخدم الزاوية β الموضحة في الشكل (٢٤)، والتي تحسب من العلاقة (Eq.28).
- استخدام العلاقة (Eq.29) لحساب مساحات التدفق من أجل العمق فوق الحرج ومن أجل العمق الإنتقالي.

الشكل (٢٤): الزاوية β

$$Q^2 = \frac{g(A_s d_s - A_1 \bar{d}_1)}{1/A_1 - 1/A_s} \quad (٢٦)$$

حيث:

Q: التدفق (م^٣/ثا). A_s : مساحة التدفق عند العمق الإنتقالي (م^٢). $A_s d_s$: العزم الستاتيكي للمساحة حول سطح الماء عند العمق الإنتقالي (م^٣). $A_1 \bar{d}_1$: العزم الستاتيكي للمساحة حول سطح الماء عند العمق الحرج (م^٣).

$$A \bar{d} = \frac{D^3}{24} (3 \sin \beta - \sin^3 \beta - 3 \beta \cos \beta) \quad (٢٧)$$

حيث:

D: قطر القناة (م).

 β : الزاوية الموضحة في الشكل (٢٤) والمحسوبة من العلاقة (Eq.28).

$$\beta = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2d}{D} \right) \quad (٢٨)$$

$$A = \frac{D^2}{8} \left[2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2d}{D} \right) - \sin \left(2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2d}{D} \right) \right) \right] \quad (٢٩)$$

٣- التصميم الإنشائي للعبارات

٣-١- مقدمة

يقدم هذا الدليل إجراءات التصميم الإنشائي للعبارات بما يتوافق مع طريقة LRFD (طريقة التصميم بعامل الحمولة والمقاومة) وبما ينسجم مع (MA-100-D-V1/2 & V2/2).

٣-٢- الخلوصات

يتم تحديد الخلوصات بشكل عام بنوعيتها الرأسي والأفقي للمنشآت الكبيرة على المعابر المائية والملاحية، مثل الجسور والعبارات الجسرية بالتشاور مع الجهات الحكومية المعنية (خفر السواحل أو أي جهات أخرى ذات الصلة بهذا الأمر). راجع الفقرة ٣-٢-٣ من (MA-100-D-V1/2). أما بالنسبة للعبارات العادية (الأنبوبية - الصندوقية - القوسية - الإهليلجية... إلخ)، فهناك حدود دنيا لهذه الخلوصات على المصمم الإلتزام بها وأخذها بعين الاعتبار عند التصميم.

٣-٢-١- الخلوصات الرأسية

يوجد حالتان وهما:

- الخلوصات الرأسية للعبارات على الممرات المائية عدا القنوات:
يمكن توضيح الخلوصات الرأسية في الجدول التالي:

الجدول (٨): الخلوّصات الرأسيّة للمنشآت على المعابر المائيّة

نوع العبارة	طول الفتحة	الخلوص الرأسي	تحقيق الشرط الإضافي التالي
العبّارات الأنبوبيّة	أصغر من ٣.٦٥ م.	نسبة عمق الماء المتدفق إلى العبارة إلى قطر العبارة أصغر أو يساوي ١.٢٥ من أجل تدفق محسوب لفترة رجوع ١٠٠ سنة دون غمر الطريق.	أن يمرر التدفق المحسوب لفترة
العبّارات الصندوقيّة المغلقة	أصغر من ٣.٦٥ م.	نسبة عمق الماء المتدفق إلى العبارة إلى إرتفاع العبارة أصغر أو يساوي ١.٢٥ من أجل تدفق محسوب لفترة رجوع ١٠٠ سنة دون غمر الطريق.	أن يمرر التدفق المحسوب لفترة
جميع الأنواع الأخرى من منشآت الجسور والعبّارات	أكبر أو يساوي ٣.٦٥ و أصغر من ٦ م.	لا يقل عن ٠.٣ م من اجل تدفق محسوب على فترة رجوع ٥٠ سنة	أن يمرر التدفق المحسوب لفترة رجوع ١٠٠ سنة دون غمر الطريق.
جميع الأنواع الأخرى من منشآت الجسور والعبّارات	أكبر أو يساوي ٦ م.	لا يقل عن ٠.٦ م من اجل تدفق محسوب على فترة رجوع ٥٠ سنة	أن يمرر التدفق المحسوب لفترة رجوع ١٠٠ سنة دون غمر الطريق.

• الخلوّصات الرأسيّة للعبّارات على القنوات المائيّة:

يجب أن لا يقلّ الخلوص الرأسي لجميع العبّارات والجسور على القنوات المائيّة، عن ٠.٣ متر وبشرط إضافي هو أن يمرر أعلى تدفق من تحت أخفض عنصر في المنشأة.

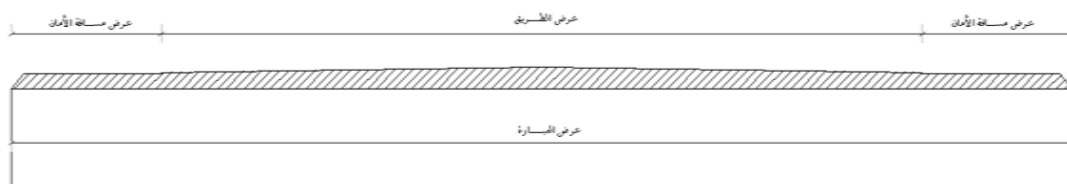
٣-٢-٢- الخلوّصات الأفقيّة

تمثل الخلوّصات الأفقيّة للعبّارات عرض العبارة الذي قد يساوي عرض الطريق أو يزيد عنه، وهنا لدينا حالتان:

• حالة وجود مناطق أمان على جانبي الطريق كما هو موضح بالشكل رقم (٢٥):

تتميز هذه الحالة بعدم وجود حواجز حماية ويكون هنا:

عرض العبارة = عرض الطريق + عرض مناطق الأمان.



الشكل (٢٥): الخلوصات الأفقية للعبارة حالة وجود مناطق أمان على جانبي الطريق

- حالة عدم وجود مناطق أمان على جانبي الطريق:

تتميز هذه الحالة بوجود حواجز حماية، ويكون عرض العبارة تبعاً لنوع الحاجز كما هو موضح في الجدول (٩):

الجدول (٩): عرض العبارة حسب نوع حاجز الحماية

نوع الحاجز	عرض العبارة
حاجز معدني بمقطع W أو مقطع Thrie	عرض الطريق + ٣ م
حاجز خرساني من نوع PORTA	عرض الطريق + ٣.٢ م
حاجز خرساني مصمت (Parapet)	عرض الطريق + ١ م

٣-٣-٣ خطوات تصميم العبارات المصبوبة في المكان ذات المقاطع الصندوقية المغلقة والمفتوحة

يجب أن يتطابق تصميم العبارات الخرسانية المصبوبة في المكان مع (MA-100-D-V1/2&V2/2) "القسم ٥" و "القسم ١٠".

٣-٣-٣-١ المواد

سيتم إستعمال الخرسانة من الصنف (Class 40) وحديد التسليح من الصنف (Grade 60) في هذا التصميم.

من الممكن إستعمال الخرسانة من الصنف (Class 40B) للأساسات وأرضية العبارة وجدرانها.

يتم إستعمال خرسانة من الصنف (Class 40A) من أجل بلاطات السطح التي لا يزيد إرتفاع الردم فوقها عن ٠.٦ م، أما في حالة زاد إرتفاع الردم عن هذا الحد فيجب إستعمال خرسانة من الصنف (Class 40B).

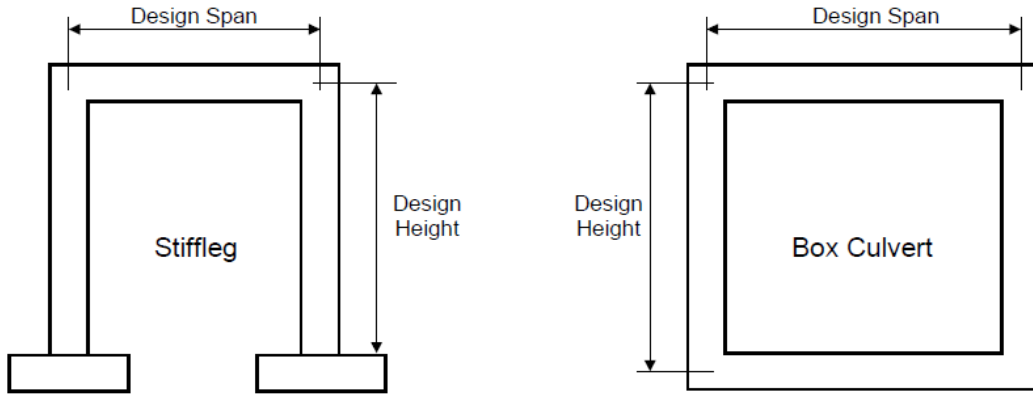
٣-٣-٣-٢ التركيب

يتم وضع حديد التسليح الرئيسي في حالة العبارات المائلة بزاوية تزيد عن ٢٥° عن محور الطريق، بحيث يكون متعامداً مع المحور الطولي للعبارة. أما في حالة العبارات المائلة بزاوية أقل أو تساوي ٢٥° عن

محور الطريق، فيتم وضع التسليح الرئيسي بشكل مائل عن محور الطريق بنفس ميل العبارة وبحسب طول فتحة العبارة على أساس الميل الموجود. ولمزيد من المعلومات أنظر الفقرة ٧-٧-١-٣ من (MA-100-D-2/2).

٣-٣-٣- الإشتراطات البعدية

- يجب أن لا يتجاوز طول فتحة العبارات الخرسانية المصبوبة في المكان ذات المقاطع الصندوقية المغلقة في أي حال من الأحوال عن ٤.٥ م.
- ويجب أن لا يتجاوز طول الفتحة في حالة المقاطع ذات الأرجل (الصندوقية المفتوحة) في أي حال من الأحوال عن ٧.٦ م.



الشكل (٢٦): المقاطع الصندوقية والمقاطع المفتوحة

وعندما يتجاوز طول الفتحة الحدود السابقة، فيجب إختيار مقاطع أخرى كالمقاطع المتعددة الفتحات.

- إذا كانت المسافة بين سطح الرصف المنتهي و سطح بلاطة العبارة أقل من ١٠٠مم، فيجب أن تقل سماكة التغطية الخرسانية للطبقة العليا من الحديد عن ٦٥ مم. ويجب أن يكون جميع الحديد الواقع على عمق أقل من ١٠٠مم من سطح البلاطة، مطلي بالإيبوكسي.
- أما إذا كانت المسافة بين سطح الرصف المنتهي و سطح بلاطة العبارة أكبر من ١٠٠مم وأقل من ٦٠٠مم، فيجب أن لا تقل سماكة التغطية الخرسانية للطبقة العليا من الحديد عن ٦٥ مم. ولا يشترط أن يكون الحديد مطلي بالإيبوكسي.

- وإذا كانت المسافة بين سطح الرصف المنتهي و سطح بلاطة العبارة أكبر من ٦٠٠ مم، فيجب أن لا تقل سماكة التغطية الخرسانية للطبقة العليا من الحديد عن ٦٠ مم، ولا يشترط أن يكون الحديد مطلي بالإيبوكسي.
- يجب أن لا تقل سماكة جدران العبارة عن ٢٥٤ مم ويجب تسليحها بشبكتي تسليح.
- يجب أن لا تقل سماكة البلاطة عن ٢٠٥ مم أو $(S + 3000)/30$ أيهما أكبر. وذلك حسب الجدول ١-٢ من (MA-100-D-V1/2)، حيث أن طول الفتحة S (مم) يمثل المسافة الصافية بين أوجه الجدران ومن خلاله يتم تحديد السماكة الدنيا.
- يتم وضع وصلات التنفيذ (بمفاتيح قص) بين قطع العبارة بشكل عرضي على محور قناة العبارة في الجدران وفي البلاطات العلوية والسفلية. ويجب أن لا تزيد المسافة بين الوصلات عن ١٢ م. ويمكن السماح للمقاوول بإستبدال وصلات التنفيذ بوصلات تقلص يوافق عليها من قبل المهندس.
- يجب أن لا يقل عرض أساس العبارات الصندوقية المفتوحة (stifflegs) عن ٠.٦ م على الأرض الصخرية وعن ٠.٩ م على ترب التأسيس الأخرى.

٣-٣-٤ - الحمولات التصميمية وعواملها

- يجب أن يكون التصميم الإنشائي للعبارات متوافقاً مع حالة حدود الخدمة (1 - Service) وحالة حد المقاومة (Strength-I).
- وحسب الجداول ١-٣ و ٢-٣ في (MA-100-D-V1/2)، التي تعطي معاملات الحمولة، نشكل الجدول التالي:

الجدول (١٠): عوامل الحمولات التصميمية في حالتها I- وحالة حد المقاومة-I.

Design Loads and Factors			
	Strength – 1		Service – 1
	Max. Factor	Min. Factor	Factor
Concrete Member D.L.	1.25	0.9	1.0
Wearing Surface	1.50	0.0	1.0
Earth Fill D.L.	1.30	0.9	1.0
Earth Pressure (at rest, for barrel)	1.35	0.5 (Art. 3.11.7)	1.0
Earth Pressure (active, for wings)	1.50	0.9	1.0
Earth Surcharge (at rest, for barrel)	1.50	0.5 (Art. 3.11.7)	1.0
Earth Surcharge (active, for wings)	1.50	0.75	1.0
Live Load Surcharge	1.75	0.0	1.0
Live Loads	1.75	0.0	1.0
Water Pressure	1.00	0.0	1.0

وفيما يلي شرح لجميع أنواع الحمولات في الجدول السابق وكيفية حسابها.

٣-٣-٤-١- الوزن الميت للخرسانة المسلحة (Concrete Member D.L.)

يتم افتراض وزن الخرسانة المسلحة ٢.٤ طن/م^٣. (حسب الجداول ٣-٤ من (MA-100-D-V1/2)).

٣-٣-٤-٢- طبقات التغطية (Wearing Surface)

يتم افتراض طبقة تغطية مستقبلية بسماكة ١٥٠ مم بوزن ٢.٢٥ طن/م^٣. (حسب الجداول ٣-٤ من (MA-100-D-V1/2)).

٣-٣-٤-٣- الوزن الميت للردم الترابي (Earth Fill D.L.)

يؤخذ الوزن الذاتي للردم الترابي بقيمة ٢.٢٥ طن/م^٣. (حسب الجداول ٣-٤ من (MA-100-D-V1/2)).

يجب تعديل الوزن الذاتي للردم بضربه بعامل يأخذ بعين الاعتبار التداخل بين المنشأ و الردم. يعطى عامل التداخل هذا كمايلي:

- من أجل حالة جسم الردم (الحالة النموذجية):

$$F_e = 1 + 0.2 (H/B_c) \quad (٣٠)$$

بحيث لا تزيد قيمة F_e عن ١.١٥ عند التركيب مع وجود ردم مرصوص على جانبي المقطع الصندوقي. وأن لا تزيد قيمته عن ١.٤ للحالات الأخرى.

حيث:

H : إرتفاع الردم فوق سطح البلاطة (م).

B_c : قياس فتحة العبارة بين الأوجه الخارجية للجدران (م).

• من أجل حالة التركيب في خندق:

$$F_t = C_d B_d^2 / H B_c \leq F_e \quad (31)$$

حيث:

C_d : عامل يؤخذ من الشكل ١٠-١٧ في (MA-100-D-V2/2).

B_d : العرض الأفقي للخندق.

(لمزيد من المعلومات أنظر أيضاً الجدول ١٠-١٨ من (MA-100-D-V2/2)).

٣-٣-٤-٤ - ضغط التربة الجانبي (Earth Pressure)

يجب الافتراض بأن ضغط التربة متناسباً خطياً مع عمقها بالإعتماد على معامل ضغط الراحة المعطى بالعلاقة التالية رقم (Eq.32):

$$k_o = 1 - \sin \phi_f \quad (Eq.32)$$

حيث:

ϕ_f : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. (لمزيد من المعلومات أنظر الفقرة ٣-١٠-٥-٢ من (MA-100-D-V1/2)).

٣-٣-٤-٥ - الضغط الجانبي الإضافي للتربة (Earth Surcharge)

عندما يكون المنشأ مدفوناً فإن الردم فوق البلاطة يشكل ضغطاً إضافياً وعندئذٍ يجب إضافة ضغط تربة أفقي موزع بانتظام بالإضافة لضغط التربة الأساسي. ويعتمد هذا الضغط الجانبي الإضافي على معامل ضغط الراحة k_o . (لمزيد من المعلومات أنظر الفقرة ٣-١٠-٦-١).

٣-٣-٤-٦ - الضغط الجانبي الإضافي الناتج عن الحمولة الحية (Live Load Surcharge)

يتم تعويض الضغط الجانبي الإضافي على جدار العبارة الناتج عن الحمولة الحية، بإفتراض وجود إرتفاع ردم إضافي مكافئ كما هو موضح في الجدول (١٠). وذلك إعتماداً على الجدول ٣-٢٦ من (MA-100-D-V1/2).

جدول (١٠): إرتفاع التربة الإضافي المكافئ للضغط الجانبي الناتج عن الحمولة الحية

إرتفاع المنشأ من السطح إلى أسفل الأساس H	إرتفاع التربة الإضافي المكافئ h_{eq}
حتى إرتفاع ١.٥ م	١.٢ م
من ١.٥ م وحتى ٣ م	$1.2-0.2 (H-1.5)$
من ٣ م وحتى ٦ م	$0.9-0.1(H-3)$
أكبر من ٦ م	٠.٦ م

٣-٣-٤-٧- الحمولات الحية (Live Loads)

عندما تزيد فتحة العبارة عن ٤.٥ م، فإن الحمولات الحية التصميمية ستكون إما شاحنة مع حمولة حارثية أو حمولة عجلة ثنائية (TANDEM) مع حمولة حارثية. (لمزيد من المعلومات أنظر الفقرات ٣-٦-١-٣، ٣-٣-١-٦ من (MA-100-D-V1/2)).

وعندما لا تتجاوز فتحة العبارة ٤.٥ م فسيتم تطبيق فقط الحمولة المحورية للشاحنة أو الحمولة المحورية للعجلة الثنائية.

وإن الحمولة الحية المطبقة ستكون من أجل حارة ممرية واحدة مع الأخذ بعين الاعتبار لمعامل احتمال التواجد المتعدد وتطبيقه على الحمولة الحية (حسب الفقرة ١٠-١٢-٢ من (MA-100-D-V2/2)).

معامل الصدم

يؤخذ معامل الصدم (Impact Factor) كما يلي في العلاقة (Eq.33):

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\% \quad (\text{Eq.33})$$

حيث:

D_E : العمق الأدنى لغطاء التربة فوق المنشأ. (مم).

(لمزيد من المعلومات أنظر الفقرة ٣-٦-٢-٢ من (MA-100-D-V1/2)).

يطبق معامل الصدم فقط لحمولة الشاحنة (Truck) أو حمولة العجلة الثنائية (Tandem). كما في الفقرة ٣-٦-٢-١ من (MA-100-D-V1/2).

١- التحليل الإنشائي

هناك حالتان وهما:

أ- حالة إرتفاع الردم أقل من ٠.٦ م

وهنا أيضاً حالتان: (حسب الفقرة ٤-٦-٢-١٠ من (MA-100-D-V1/2)).

أ-١- حركة السير موازية لفتحة العبارة (الحالة العادية)

سيتم التحليل بتحميل حارة مرورية واحدة ثم إدخال عامل احتمالية التواجد المتعدد (التواجد في أكثر من حارة مرورية في آن واحد).

سيتم توزيع الحمولة المحورية على قمة البلاطة من أجل حساب العزم وقوى الدفع وقوى القص كما يلي:

$$E = 2440 + 0.12 (S) \quad (\text{Eq.34})$$

$$E_{span} = L_T + LLDF(H) \quad (\text{Eq.35})$$

حيث:

E : عرض التوزيع الجانبي العمودي على فتحة المنشأ (مم).

E_{span} : طول مسافة التوزيع الطولية الموازي لفتحة العبارة (مم).

S : طول الفتحة الصافية (مم).

L_T : طول مساحة تماس إطار العربة مع الإسفلت وهذا الطول موازي لفتحة العبارة (م). (أنظر الفقرة ٣-٦-١-٢-٥ من (MA-100-D-V1/2)).

H : عمق الردم من قمة العبارة إلى قمة الرصف (م).

$LLDF$: عامل توزيع الردم ويؤخذ ١.١٥ أو ١ (حسب الفقرة ٣-٦-١-٢-٦ من (MA-100-D-V1/2)).

إن عرض الشريحة المكافئة المستخدم من أجل البلاطة العلوية، يستعمل أيضاً من أجل الجدران والبلاطة السفلية. (لمزيد من المعلومات أنظر الفقرة ١٠-١٢-٢-٣ من (MA-100-D-V2/2)).

أ-٢- حركة السير عمودية على فتحة العبارة

سيتم هنا توزيع الحمولة الحية وفقاً للفقرة ٤-٦-٢-١ من (MA-100-D-V1/2).

تصميم القص

يتم تصميم القص في حال كان إرتفاع الردم أقل من ٠.٦ م، (حسب الفقرة ٥-٨ و ٥-١٧-٣-٦ من (MA-100-D-V1/2)).

ب- حالة إرتفاع الردم أكبر أو يساوي ٠.٦ م

في هذه الحالة يمكن إعتبار حمولة الإطارات حمولة موزعة بانتظام على مساحة مستطيلة بأبعاد مساوية لأبعاد منطقة التماس بين الإطار والرصف مع زيادة بمقدار ١.١٥ مرة من عمق الردم الحصمي أو بمقدار عمق الردم في حالات الردم من مواد أخرى غير الحصمة.

أما الحمولة الحرارية فيتم توزيعها على عرض ٣.٦٥ م لجميع الحالات.

أبعاد منطقة تماس الإطار مع الرصف هي ٥.٠٨ م بالإتجاه العرضي و ٢.٥٤ م بالإتجاه الطولي.

وعندما تتداخل المساحات فيما بينها، فإن الحمولة الإجمالية سيتم توزيعها ضمن المحيط الناتج عن هذا التداخل.

يمكن أن يتم تجاهل الحمولة الحية في حال كان عمق الردم أكبر من ٢.٤ م ويتجاوز الطول الإجمالي للمنشأ.

وإذا كانت قيمة عزم الإنعطاف الناتج عن الحمولة الحية المحسوب إعتماًداً على توزيعها ضمن عمق الردم الأكبر من ٠.٦ م ، أكبر من عزم الإنعطاف المحسوب من أجل عمق ردم أقل من ٠.٦ م (الحالة الأولى) عندئذ يتم إعتماًد قيمة عزم الإنعطاف الناتج عن حالة عمق الردم الأقل من ٠.٦ م. (كما في الفقرة ٣-٦-١-٢-٦ من (MA-100-D-V1/2)).

تصميم القص

يتم تصميم القص في حالة كان عمق الردم أكبر أو يساوي ٠.٦ م. (حسب الفقرة ٥-١٨-٥-٣ من (MA-100-D-V1/2)).

٣-٣-٤-٨- ضغط الماء (Water Pressure)

يتم تصميم العبارات بإفتراض ضغط مياه ساكن على الجدران من جهة الداخل وبإفتراض أن المقطع مليء بأكمله بالماء.

١- التحليل الإنشائي

يقوم التحليل الإنشائي لضغط الماء على جدران العبارة على أساس طريقة الشريحة المكافئة، بإفتراض أن الجدران تشكل هيكل صلب موثوق عند القاعدة وحر عند القمة.

تؤخذ أطوال الفتحات (Spans) وإرتفاعات الجدران بقياسها كأبعاد محورية كما في الشكل (٢٦).

وللتبسيط يمكن إعتبار ضغط تربة التأسيس على العبارات الصندوقية موزع بانتظام على قاعدة العبارة.

٢- إشتراطات التسليح

أ- المساحة الدنيا للتسليح الطولي

(أنظر الفقرة ٥-٧-٣-٣ من (MA-100-D-V1/2).

وعلى جميع الأحوال فعلى مساحة التسليح الدنيا أن تقاوم وبشكل كافي القيمة $1.2M_{cr}$ أو القيمة $1.33M_u$ أيهما أقل.

حيث:

M_{cr} : العزم الذي يؤدي إلى حدوث التشقق.

M_u : العزم الناتج عن الحمولات المطبقة.

ب- مساحة التسليح العرضي

كما في العلاقة (Eq.36):

$$A_{dist} = 1750 A_s / (L)^{0.5} \geq 0.5 A_s \quad (\text{Eq.36})$$

حيث:

A_{dist} : مساحة التسليح العرضي (مم^٢).

A_s : مساحة التسليح الطولي (مم^٢).

L : طول فتحة العبارة (مم).

(لمزيد من المعلومات الفقرة ٥-١٨-٤ من (MA-100-D-V1/2).

ج- ضبط التشقق

من أجل ضبط التشقق تؤخذ القيمة $\gamma_e = 0.75$ لتعويضها في العلاقة ٥-٣٦ من (MA-100-D-V1/2).

● ملاحظة:

عند حساب الإجهادات في التسليح الناتجة عن التحميل بحمولات حالة حد الخدمة - I من أجل تحديد إجراءات ومتطلبات ضبط التشقق، فإن قوى الدفع الضاغطة في عناصر العبارة يجب أخذها بعين الاعتبار لتخفيض إجهادات الشد.

تستخدم العلاقة ١٠-٦٨ من (MA-100-D-V2/2) لهذا الغرض.

٣-٣-٥- تصميم الكمرات الطرفية

الكمرات الطرفية هي الكمرات التي توضع على طرف بلاطة العبارة، لمقاومة الإلتواء الطرقي للبلاطة ودعم شريحة البلاطة الطرفية، وخصوصاً عندما يكون مدخل العبارة مائلاً بزاوية على محور الطريق.

٣-٣-٥-١- الحمولات

١- الحمولة الحية على الكمرات الطرفية

تؤخذ الحمولة الحية على الكمرات الطرفية بتطبيق حمولة صف واحد من الإطارات (إطارات الشاحنة (Truck) أو العجلة الثنائية (Tandem)) بالإضافة إلى جزء من الحمولة الحارثية (Lane Load) كما هو موضح في الفقرة ٤-٦-٢-١-٤ ب من (MA-100-D-V1/2).

يمكن اعتبار قيمة الحمولة الحارثية المضافة كحمولة منتظمة هي ٠.٠٠٣ ميغاباسكال، على العرض الفعال للكمرات الطرفية.

يؤخذ العرض الفعال للكمرات الطرفية من أجل العبارات التي يكون فيها التسليح الرئيسي موازياً للكمرات الطرفية، بأنه المسافة بين حافة البلاطة والوجه الداخلي للرصيف أو حاجز الحماية مضافاً لها ٣٠٠ مم ومضافاً له أيضاً ربع عرض الشريحة E الذي سبق تحديده أعلاه.

يجب أن لا يزيد العرض الفعال بأي حال من الأحوال عن نصف عرض الشريحة E أو القيمة ١٨٠٠ مم (أنظر الفقرة ٤-٦-٢-١-٤ ب من (MA-100-D-V1/2)).

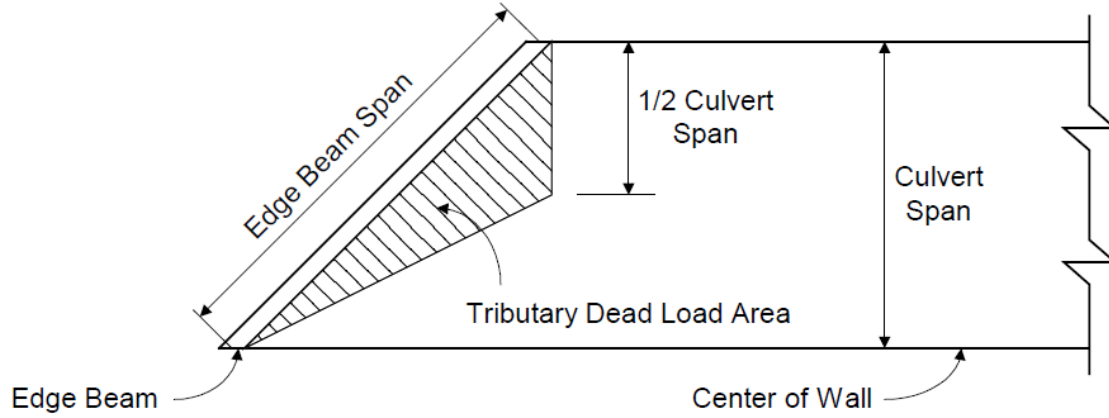
٢- الحمولة الميتة

تمثل الحمولة الميتة للكمرات الطرفية أوزان كل مكونات المنشأ وأوزان الردم الواقعة ضمن العرض الفعال للكمرات الطرفية.

إذا كان طرف العبارة مائل بزاوية نسبة حديد التسليح الرئيسي، فإن الحمولات الميتة على الكمرات الطرفية ستضم أيضاً كل الأوزان الواقعة ضمن المساحة الإضافية عند طرف العبارة كما هو موضح في الشكل (٢٧).

تلك الحمولات يمكن تطبيقها على الكمرات الطرفية كحمولة موزعة بانتظام.

سيتم تصميم الكمرات الطرفية ككمرات ذات فتحة بسيطة طولها هو البعد بين مراكز الجدران مقاساً تبعاً للميل الموجود، كما هو موضح في الشكل (٢٧).



الشكل (٢٧): مسقط أفقي يوضح حصة الكمرة الطرفية من الحمولة الميتة

٣-٦-٣ - تصميم الأساسات

قد تكون ضغوط الأساسات الناتجة عن الحمولات الميتة، على أساسات العبارات الصندوقية المفتوحة وعلى البلاطة السفلية للعبارات الصندوقية المغلقة، موزعة بانتظام على كامل مساحة الأساس. أما الضغوط على الأساسات الناتجة عن الحمولة الحية فيمكن إعتبارها أنها تطبق على شريحة من القاعدة طولها يساوي عرض حارة المرور التصميمية مضافاً له ١.١٥ مرة من المسافة المقاسة من السطح إلى أسفل القاعدة.

إن منطقة تداخل المساحات من جراء تطبيق الحمولات على أكثر من حارة مرورية سوف يتم توزيعها بانتظام على طول المناطق المتداخلة. ويجب الأخذ بعين الإعتبار لعوامل احتمالية التواجد في أكثر من حارة مرورية قدر الإمكان (Multiple Presence Factors).

يجب أن لايزيد طول التحميل التصميمي الإجمالي عن الطول الحقيقي للأساس. ويمكن إعتبار الضغط موزع بانتظام على كامل عرض الأساس.

تصمم الأساسات بالتوافق مع القسم (٨) "الأساسات" من (MA-100-D-V2/2).

٣-٧-٣ - تصميم الجدار الجانح (Wing Wall)

يجب إفتراض وجود إرتفاع ردم إضافي يعادل الحمل الناتج عن الحمولة الحية، إذا كان من المتوقع أن تسير العربات على سطح الردم خلف الجدار على مسافة من الجدار لا تزيد عن نصف إرتفاع الجدار.

إن الإرتفاع المكافئ الواجب إضافته، H_e ، معطى في الجدول ٣-٢٧ من (MA-100-D-V1/2).

إن الجدار الجانح النموذجي على أساسات مفردة يكون حر الحركة من الأعلى ومعرض بنفس الوقت لضغط التربة. وبذلك فيمكن تصميمه على هذا الأساس.

يتم تحديد معامل ضغط التربة، k_a ، من العلاقة ٣-٢٠ من (MA-100-D-V1/2) حسب طريقة كولومب. أنظر أيضاً الفقرة ٣-١٧-٧ من (MA-100-D-V1/2).

٣-٣-٧-١ - التصميم ضد الانقلاب (Overturning)

من أجل طبقات التأسيس الترابية، تكون محصلة القوى الناتجة عن تراكيب حمولات حد المقاومة I وحمولات الحوادث الشاذة - II، في منتصف نصف عرض أساس الجدار. أما بالنسبة للترب الصخرية فيكون موقع محصلة القوى في منتصف المسافة الممثلة لثلاثة أرباع عرض الأساس، أنظر الفقرة ٩-٦-٣-٣ من (MA-100-D-V2/2).

٣-٣-٧-٢ - التصميم ضد الإنزلاق (Sliding)

في حالة التأسيس على الترب المتفككة فإن عامل المقاومة ضد الإنزلاق يعطى كما يلي في العلاقة رقم (Eq.37):

$$R_R = \phi_T (V \tan \phi_f) \quad (\text{Eq.37})$$

حيث:

R_R : المقاومة ضد الإنزلاق مضروبة بعامل المقاومة.

ϕ_T : يؤخذ ٠.٨ من أجل حالة حد المقاومة I (أنظر الجدول ٨-١٤ من (MA-100-D-V2/2).

ϕ_T : يؤخذ ١,٠٠ من أجل حالة الحوادث الشاذة I- (أنظر الجدول ٨-١٤ من (MA-100-D-V2/2).

V : إجمالي الحمولات الرأسية مضروبة بعواملها (العوامل الدنيا) في الجدول (١٠).

ϕ_f : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

للتحقق من صحة التصميم، يجب أن لا تزيد الحمولات الجانبية المصعدة الناتجة عن (حالي حد المقاومة I - والحوادث الشاذة - I) عن قيمة R_R .

٣-٣-٧-٣ - أساسات الجدار الجانح

يتم تصميم أساسات الجدار الجانح بما يتوافق مع القسم ٨ "الأساسات" من (MA-100-D-V2/2).

٤- المراجع

KSA- MOMRA Bridge, Tunnel, Culvert and Pedasterian Design Specifications.

"*Hydraulic Design Manual*", Texas Department of Transportation, Revised Marsh 2009.

Hydraulic Design Series No. 2, Second Edition, Federal Highway Administration,
"Highway Hydrology", Publication No. FHWA-NHI-02-001, October 2002.

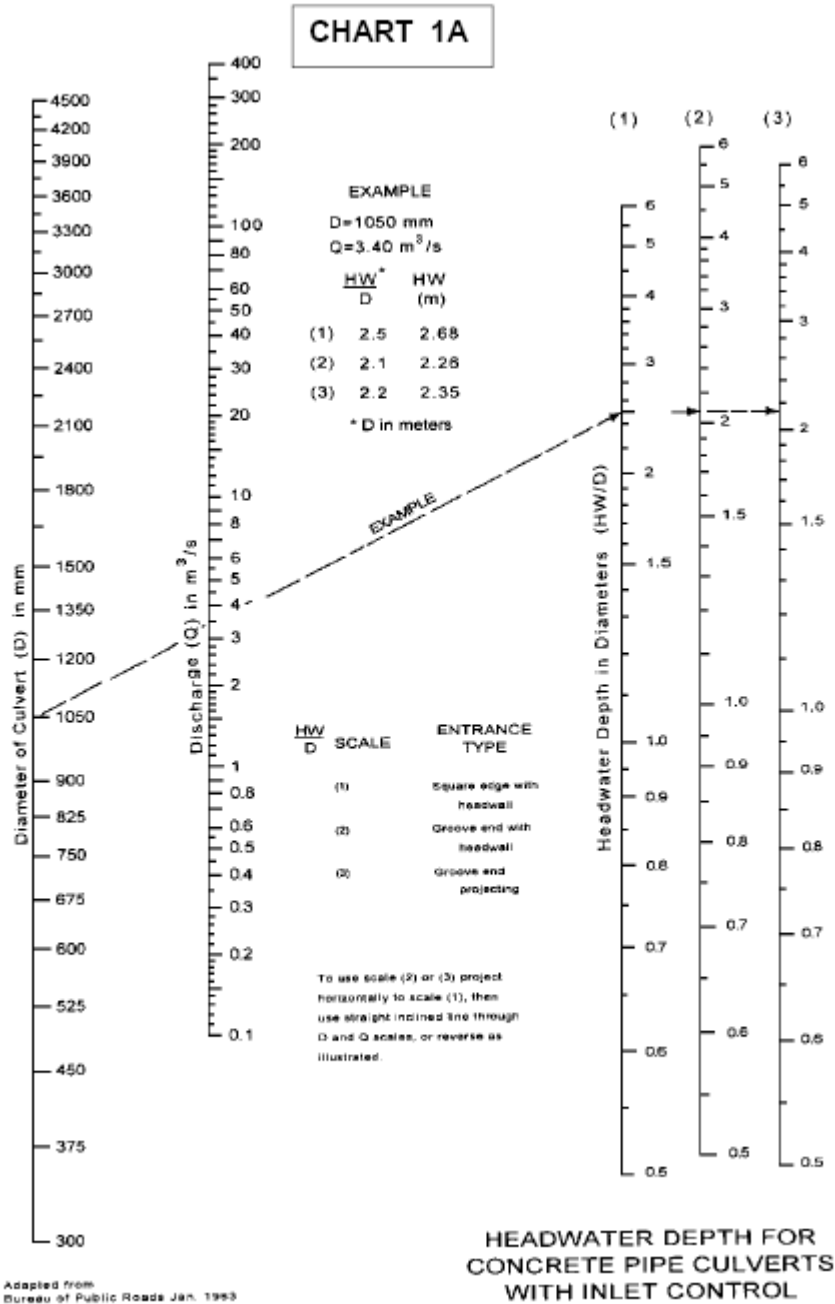
"*Hydraulic Design Of Highway Culverts*", Publication No. FHWA-NHI-01-020
September 2001-(Revised May 2005)

IDAHO TRANSPORTATION DEPARTMENT, "*Bridge Design Lrfd Manual*", JULY
2009.

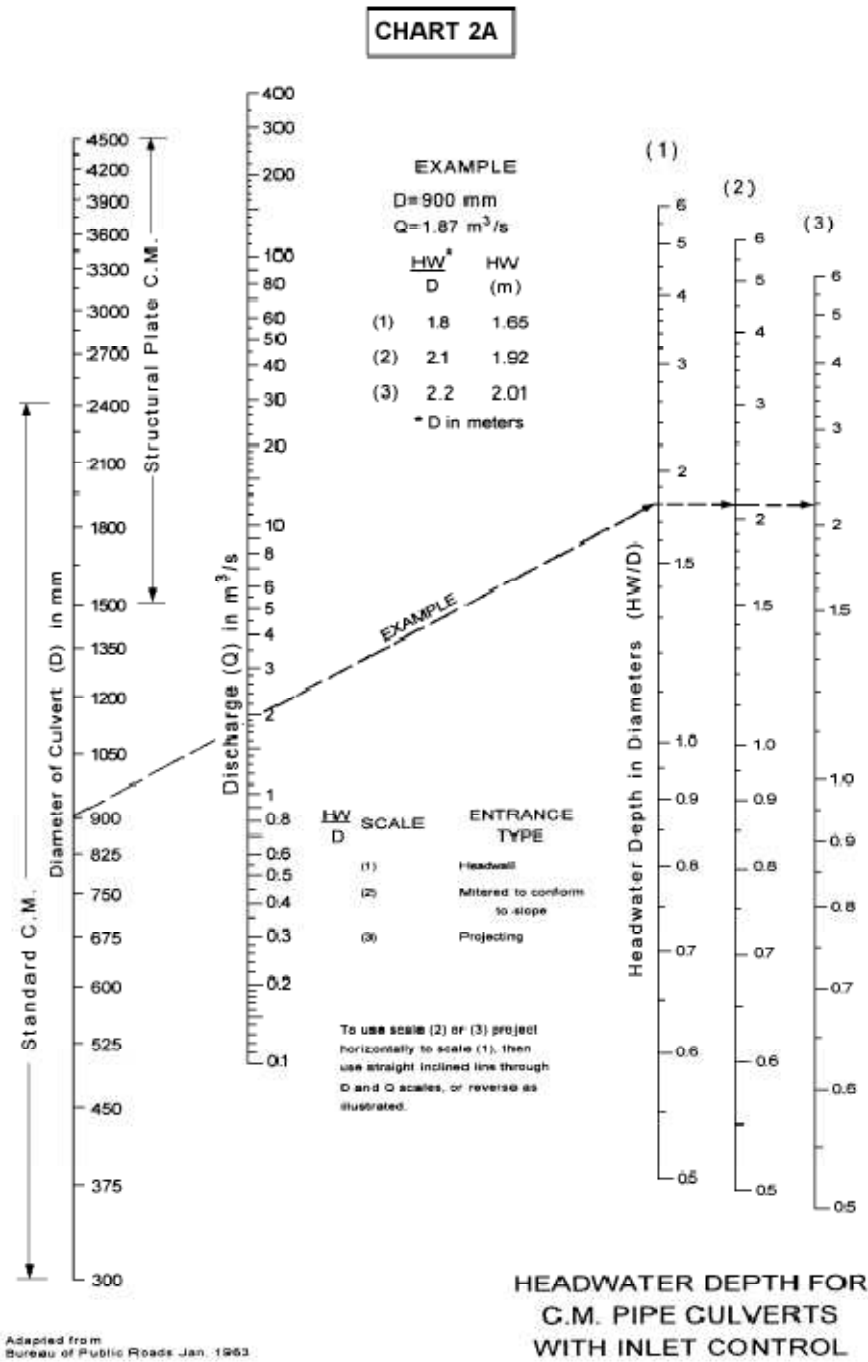
MOMRA DESIGN SPECIFICATIONS (MA-100-D-V1/2 & V2/2).

هذه الصفحة تركت فارغة بشكل مقصود

٥- الملحق (١): الآبكات اللازمة لعمليات التصميم الهيدروليكي للعبارات

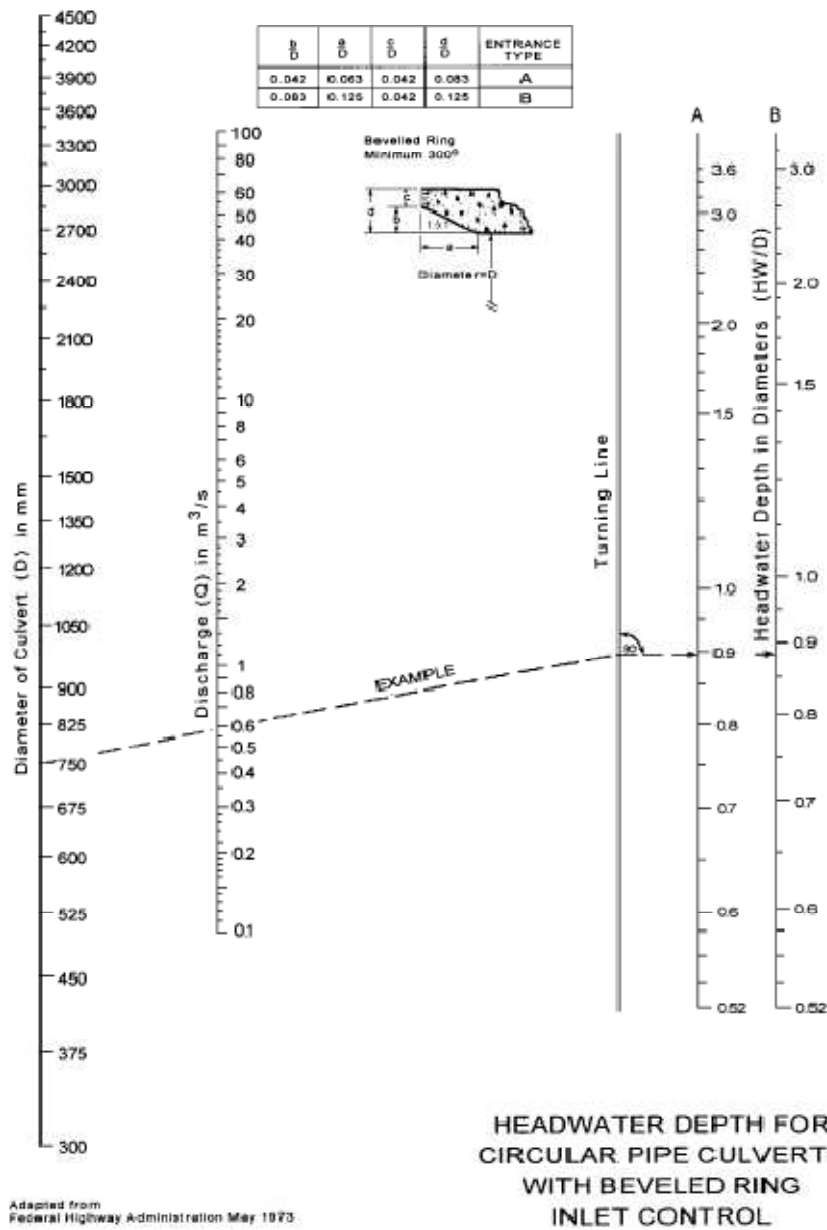


الشكل (٢٨): عمق الماء أمام مدخل العبارة للعبارات الأنبوبية الخرسانية لحالة ضبط المدخل

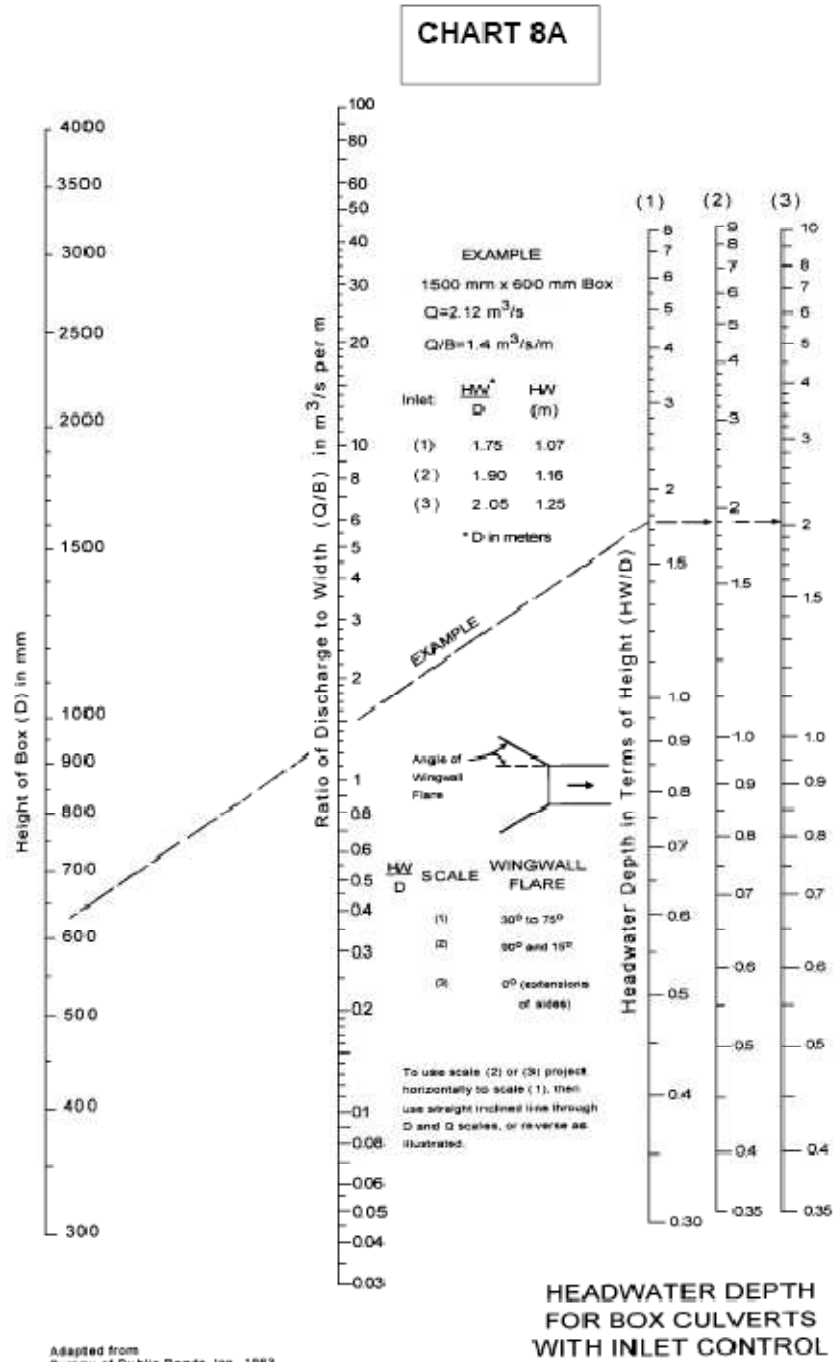


الشكل (٢٩): عمق الماء أمام مدخل العبارة للعبارات الأنبوبية النموذجية لحالة ضبط المدخل

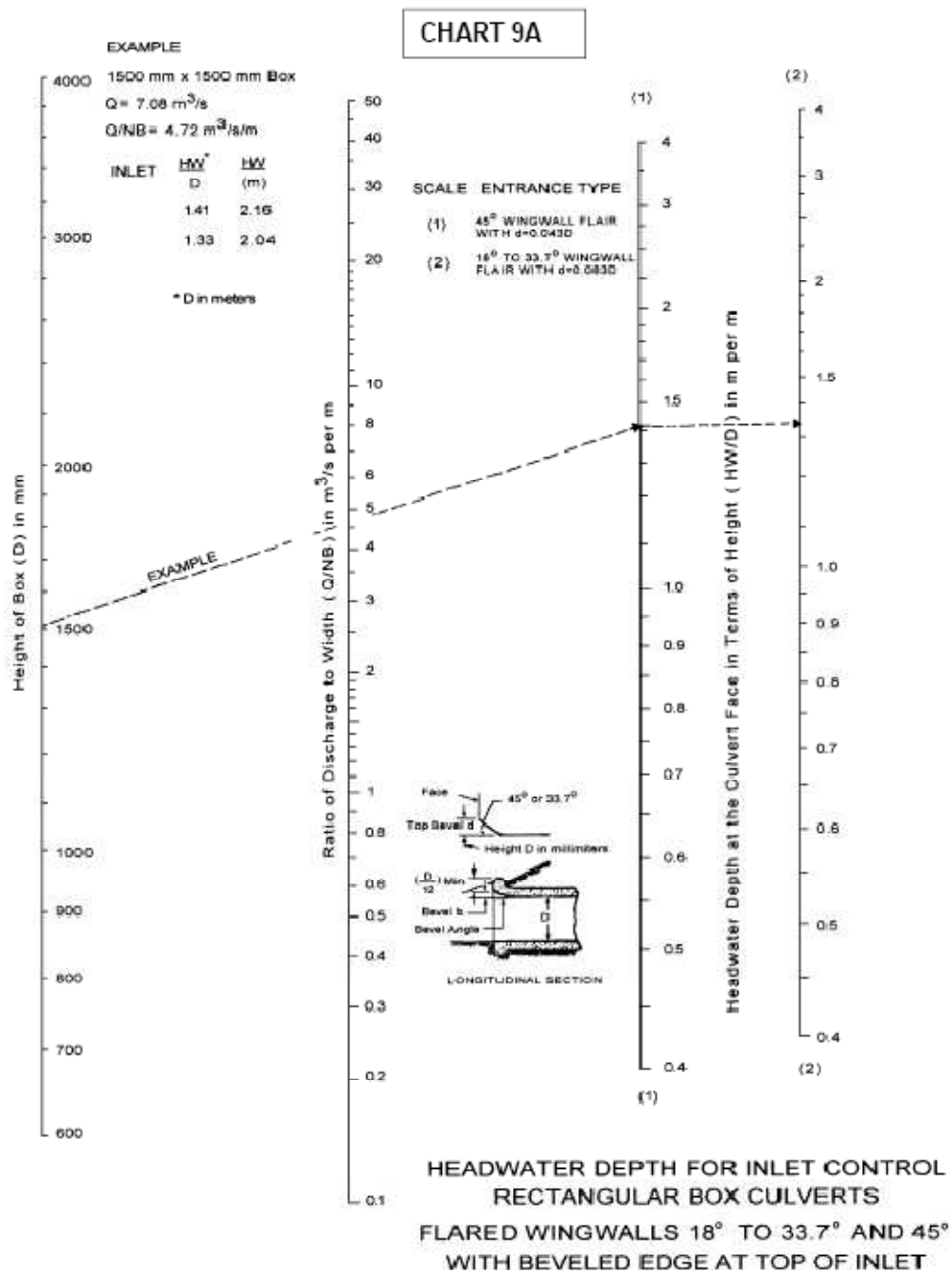
CHART 3A



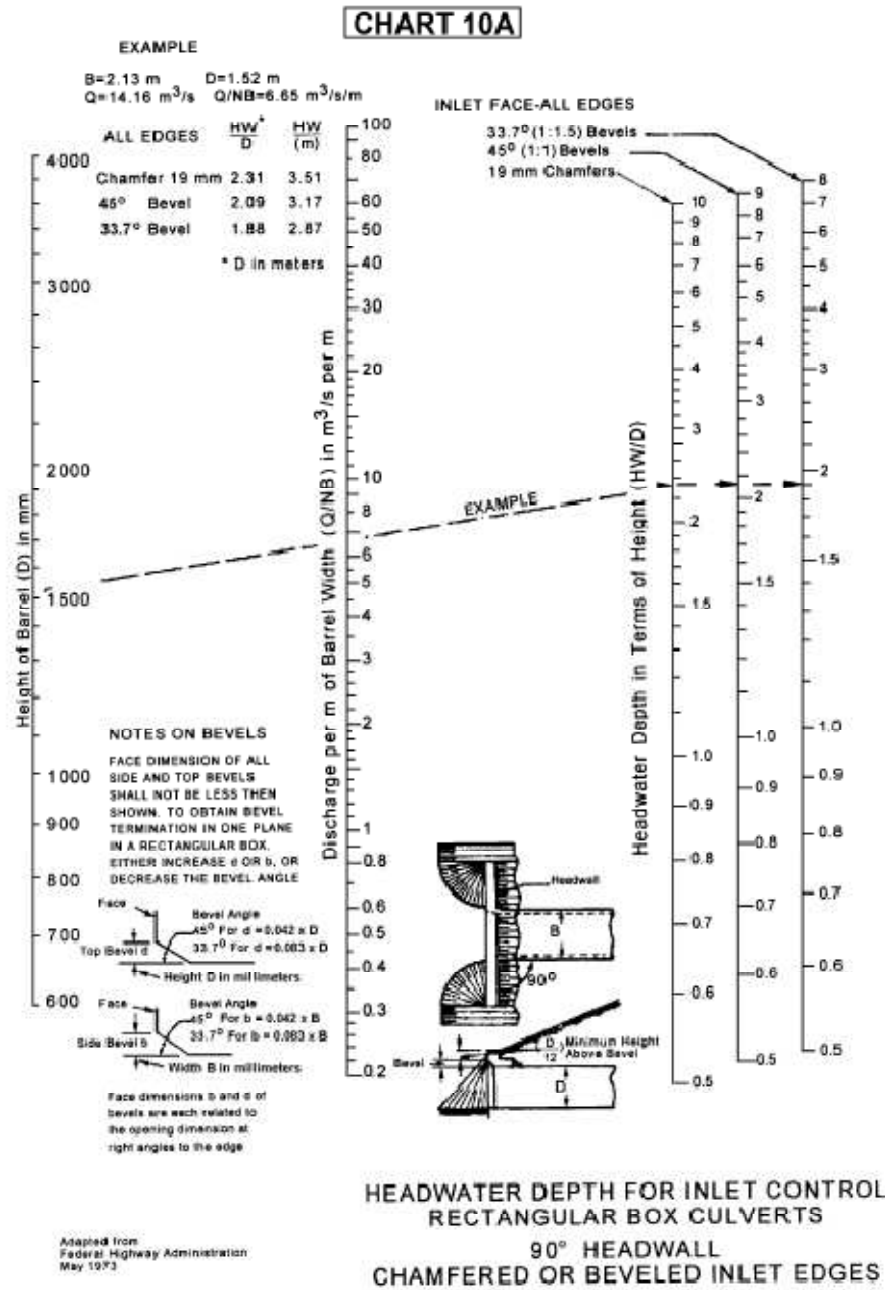
الشكل (٣٠): عمق الماء أمام مدخل العبارة للعبارات الأنبوبية لحالة ضبط المدخل المحسن



الشكل (٣١): عمق الماء أمام مدخل العبارة للصندوقية لحالة ضبط المدخل

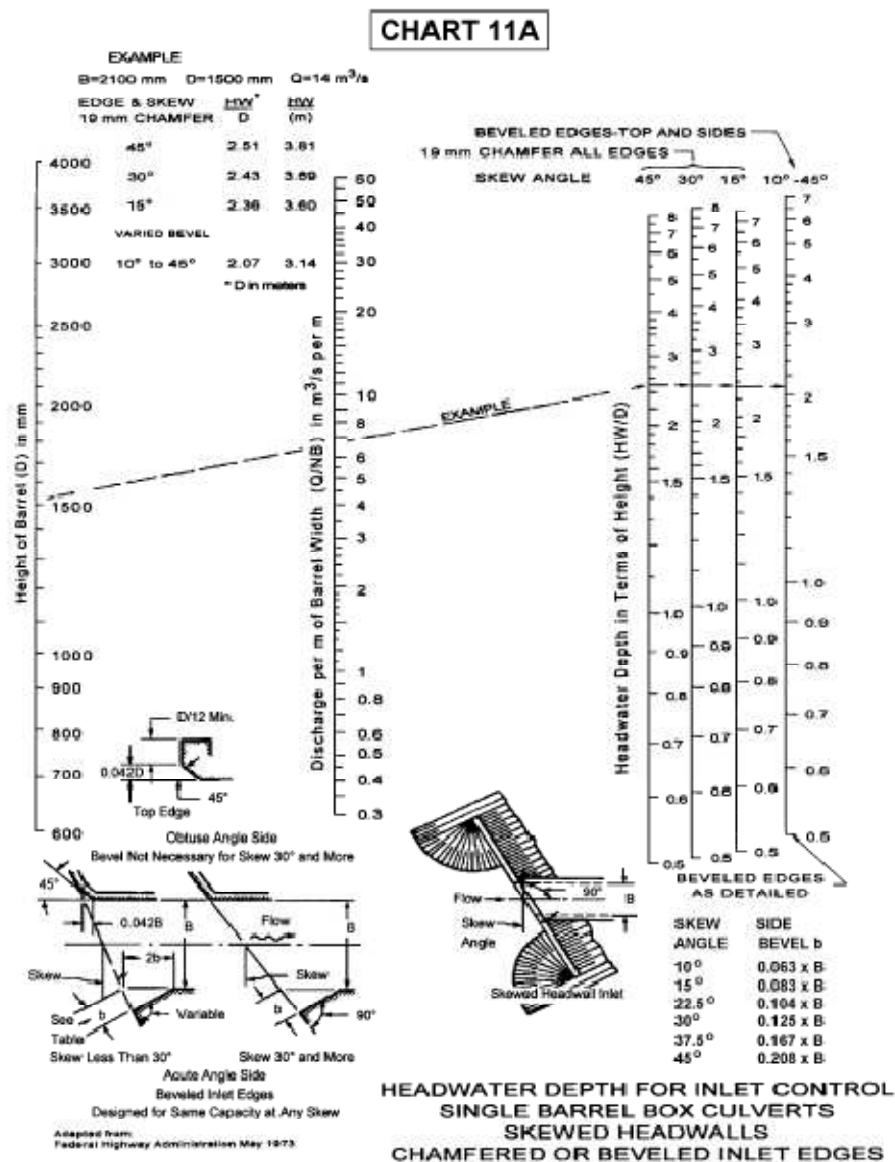


الشكل (٣٢): عمق الماء أمام مدخل العبارة للصندوقية المستطيلة لحالة ضبط المدخل مع تحسين المدخل بجدران جانحة مفتوحة بزوايا من ١٨° - ٣٦° وكذلك ٤٥°

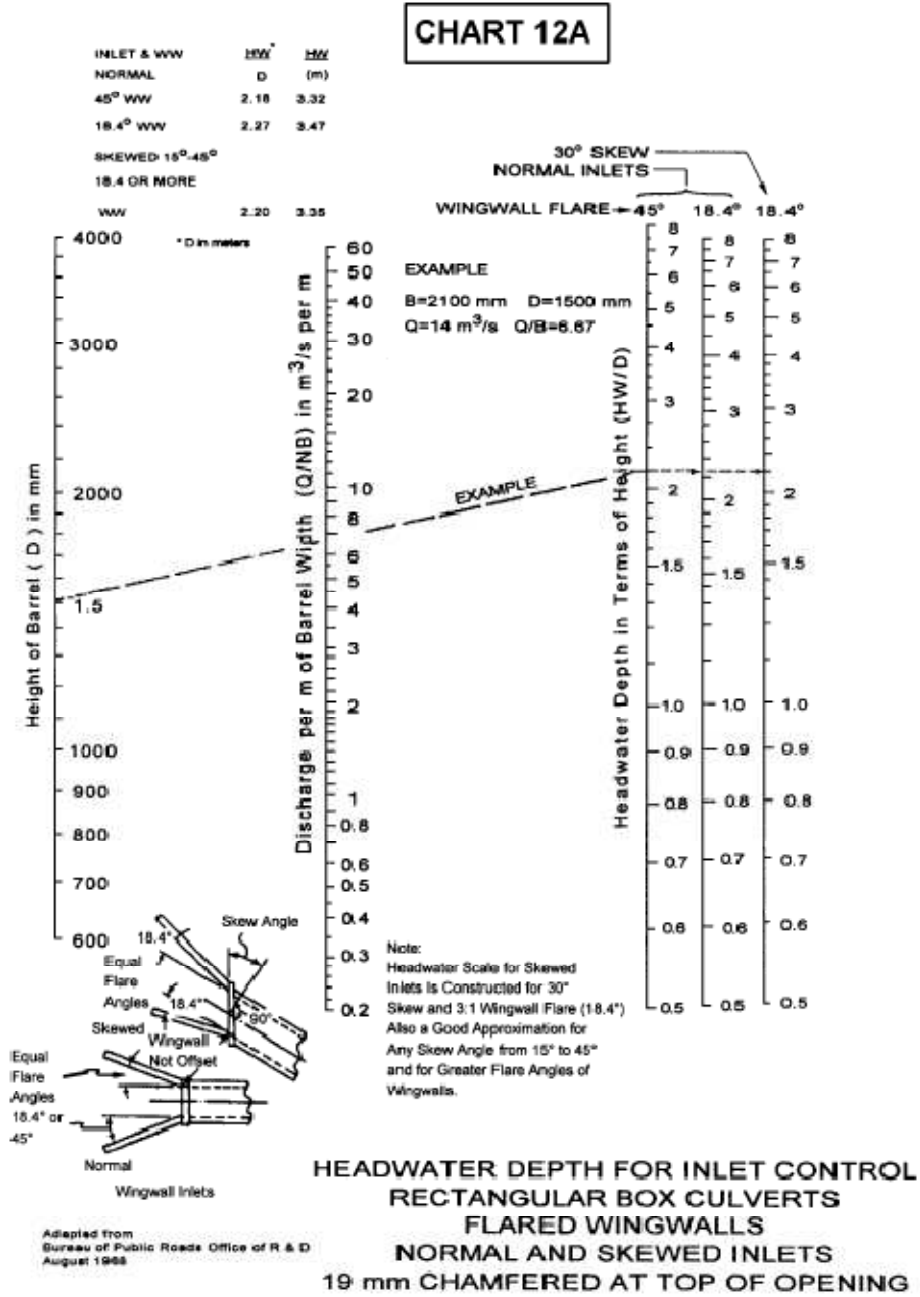


الشكل (٣٣): عمق الماء أمام مدخل العبارة للعبارات الصندوقية المستطيلة لحالة ضبط المدخل مع تحسين المدخل

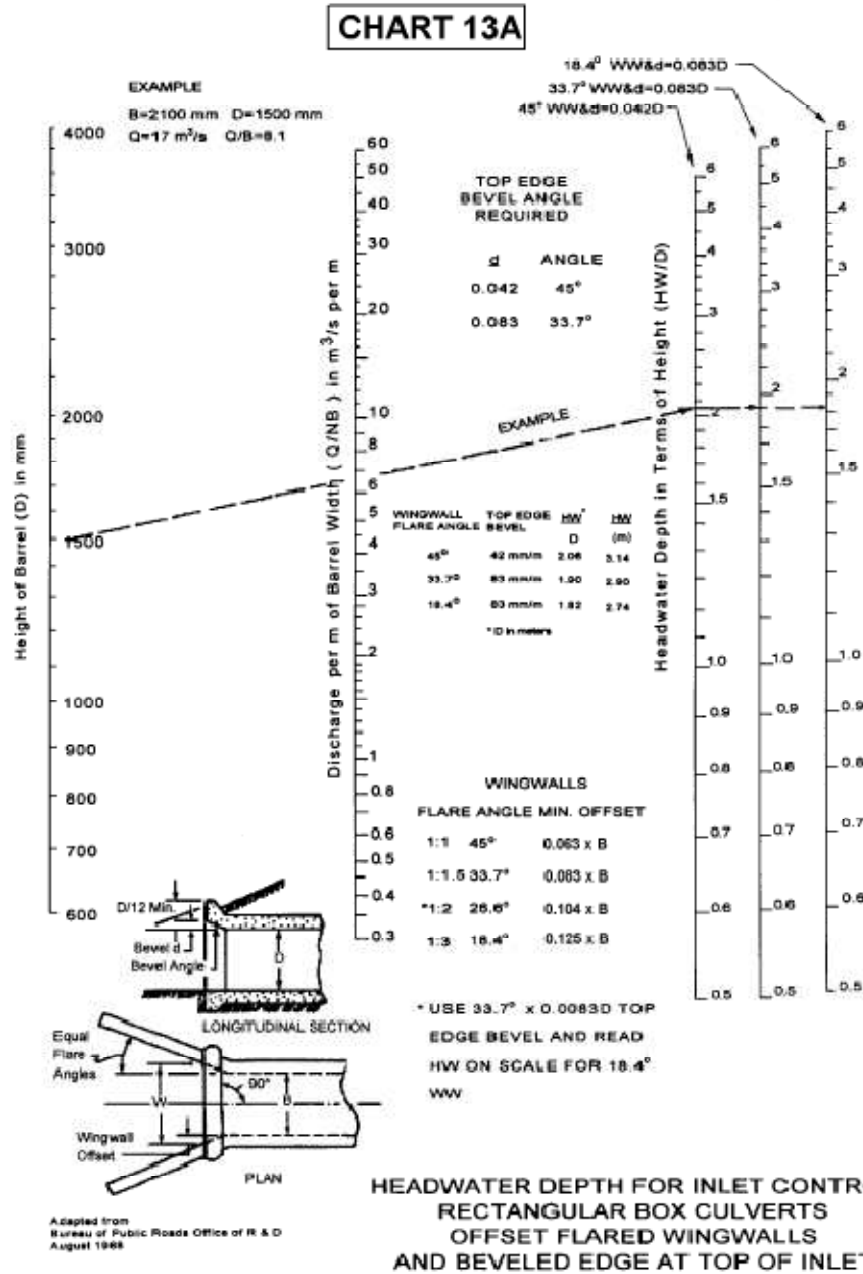
بجدران رأسية قائمة مع تمثيل حواف المدخل أو شطفها



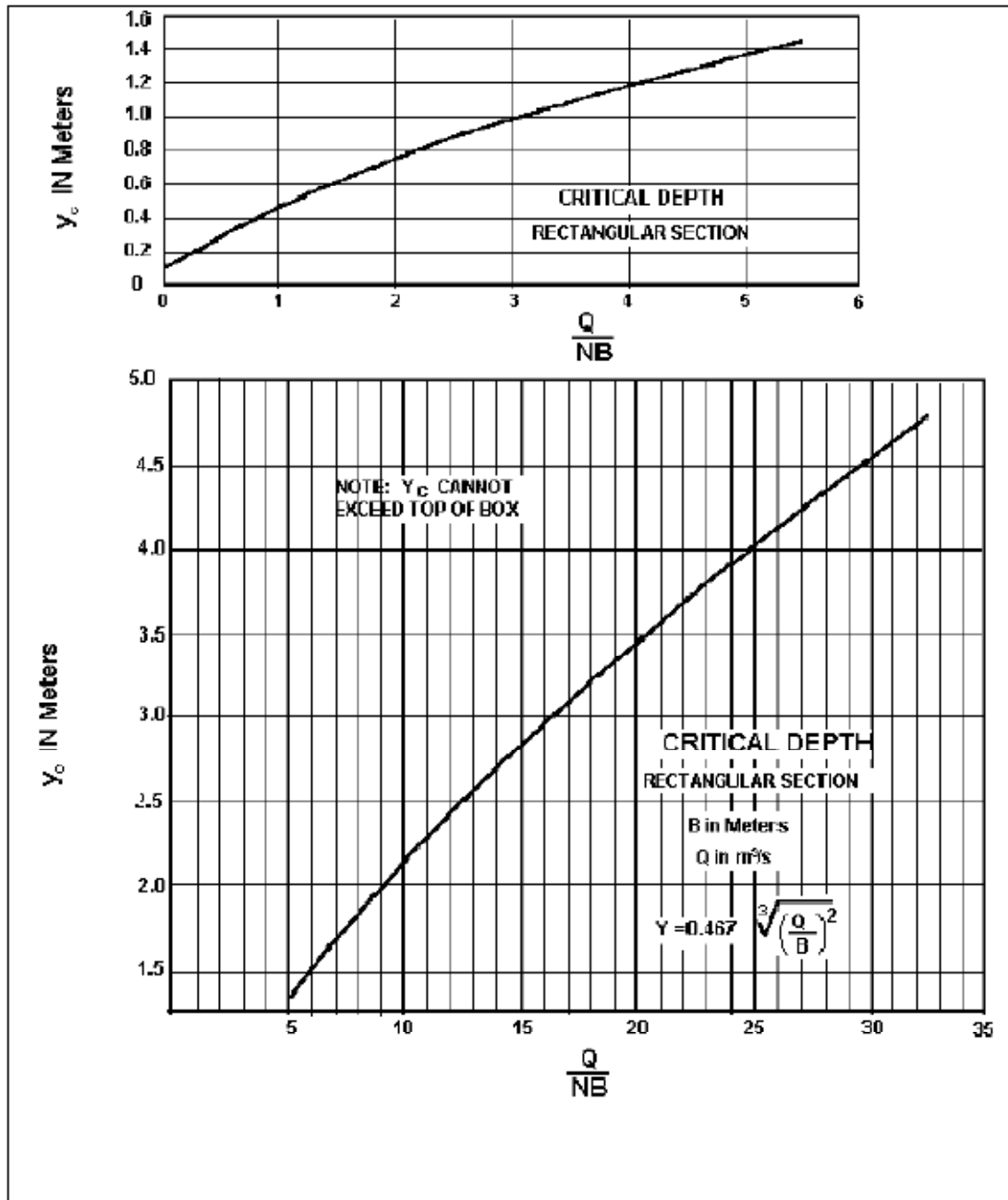
الشكل (٣٤): عمق الماء أمام مدخل العبارة للصندوقية ذات الخلية الواحدة لحالة ضبط المدخل مع تحسين المدخل بجدران رأسية مائلة بزاوية عن المحور الطولي للعبارة مع تمثيل حواف المدخل أو شطفها



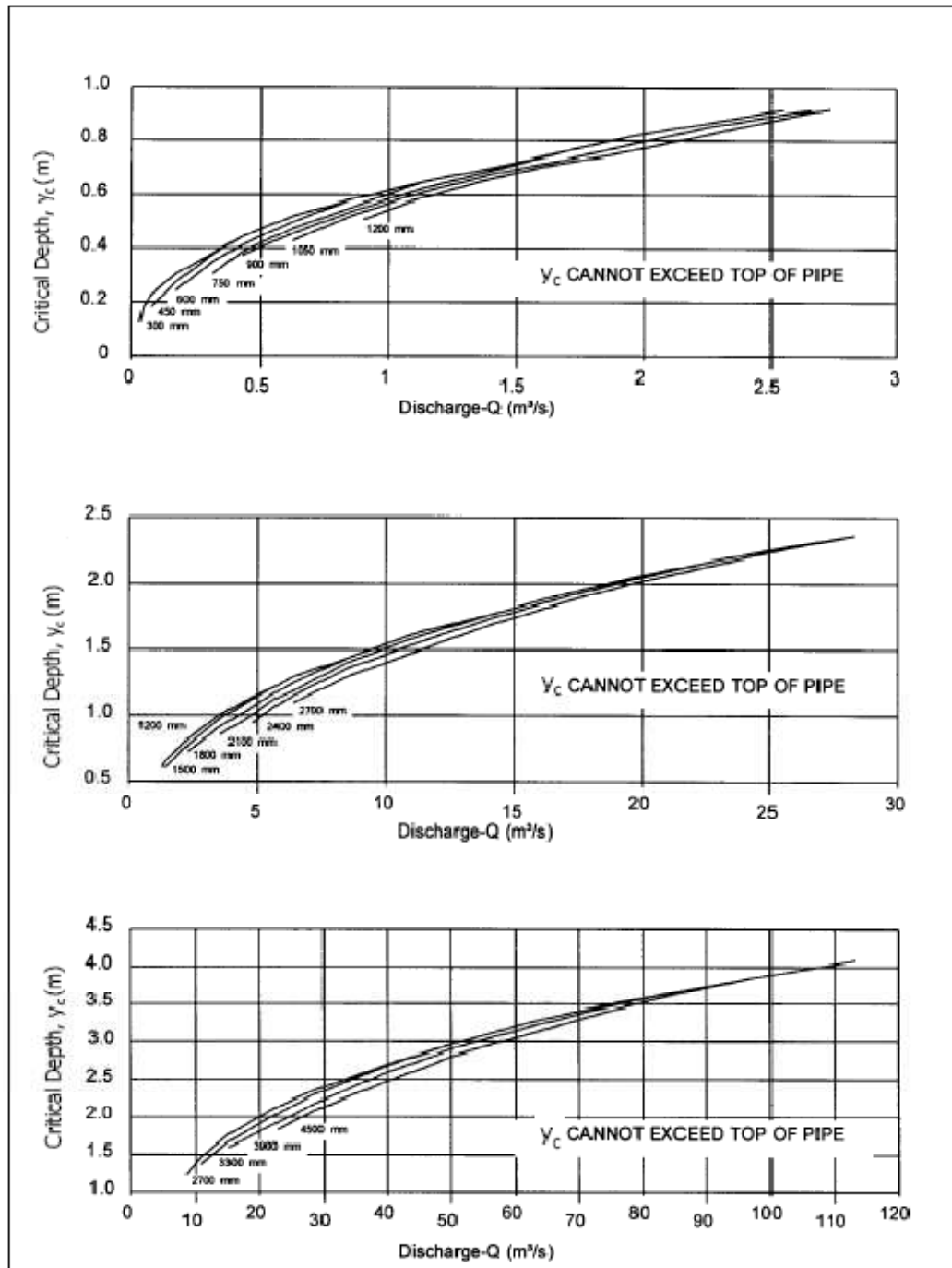
الشكل (٣٥): عمق الماء أمام مدخل العبارة للصندوقية المستطيلة لحالة ضبط المدخل مع تحسين المدخل بجدران جانحة مفتوحة بمدخل عمودي أو مائل بزاوية على محور العبارة الطولي.



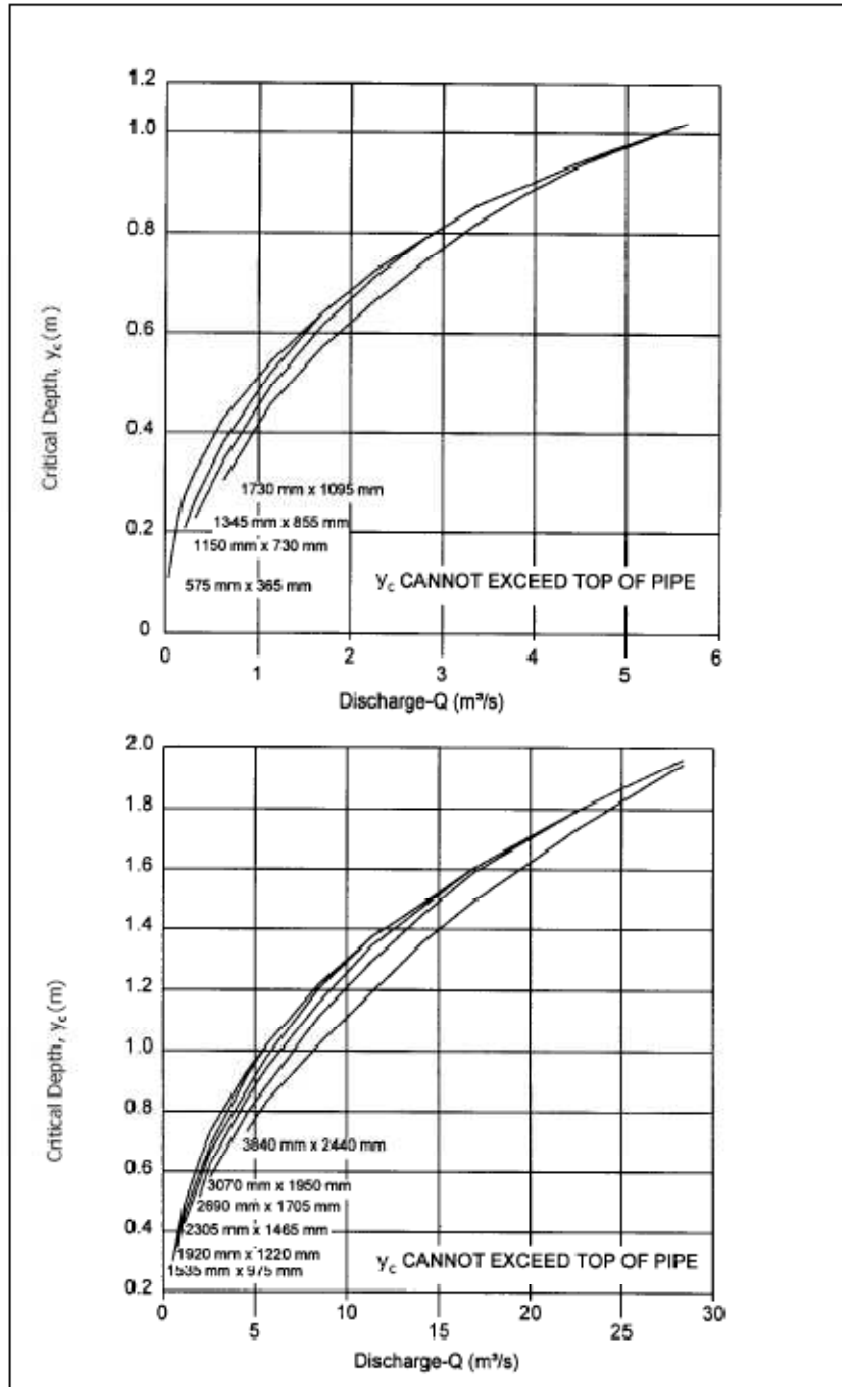
الشكل (٣٦): عمق الماء أمام مدخل العبارة للعبارات الصندوقية المستطيلة لحالة ضبط المدخل مع تحسين المدخل بجدران جانحة مزاحة ومفتوحة مع شطف قمة المدخل نحو الأعلى.



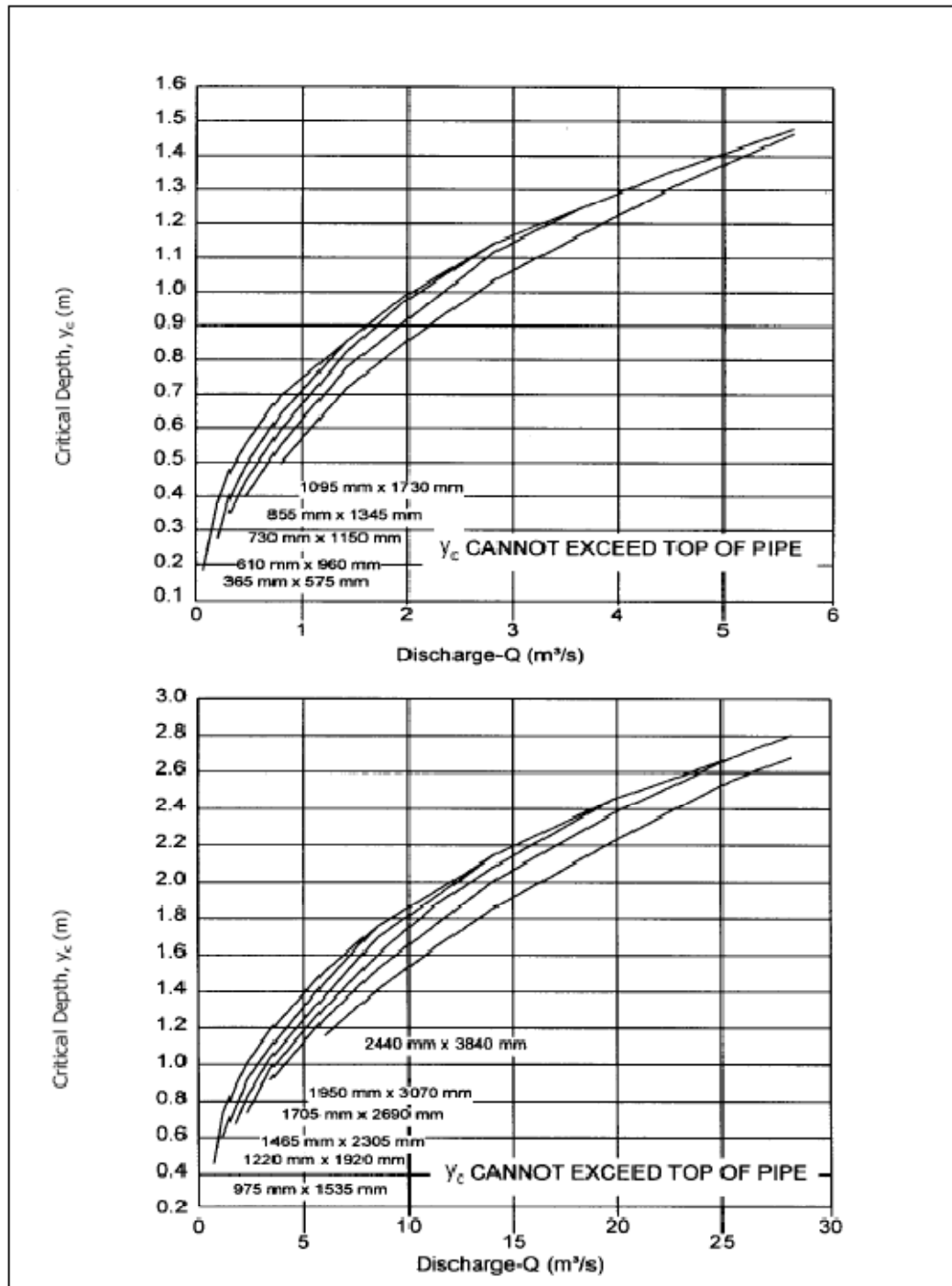
الشكل (٣٧) العمق الحرج للمقاطع المستطيلة



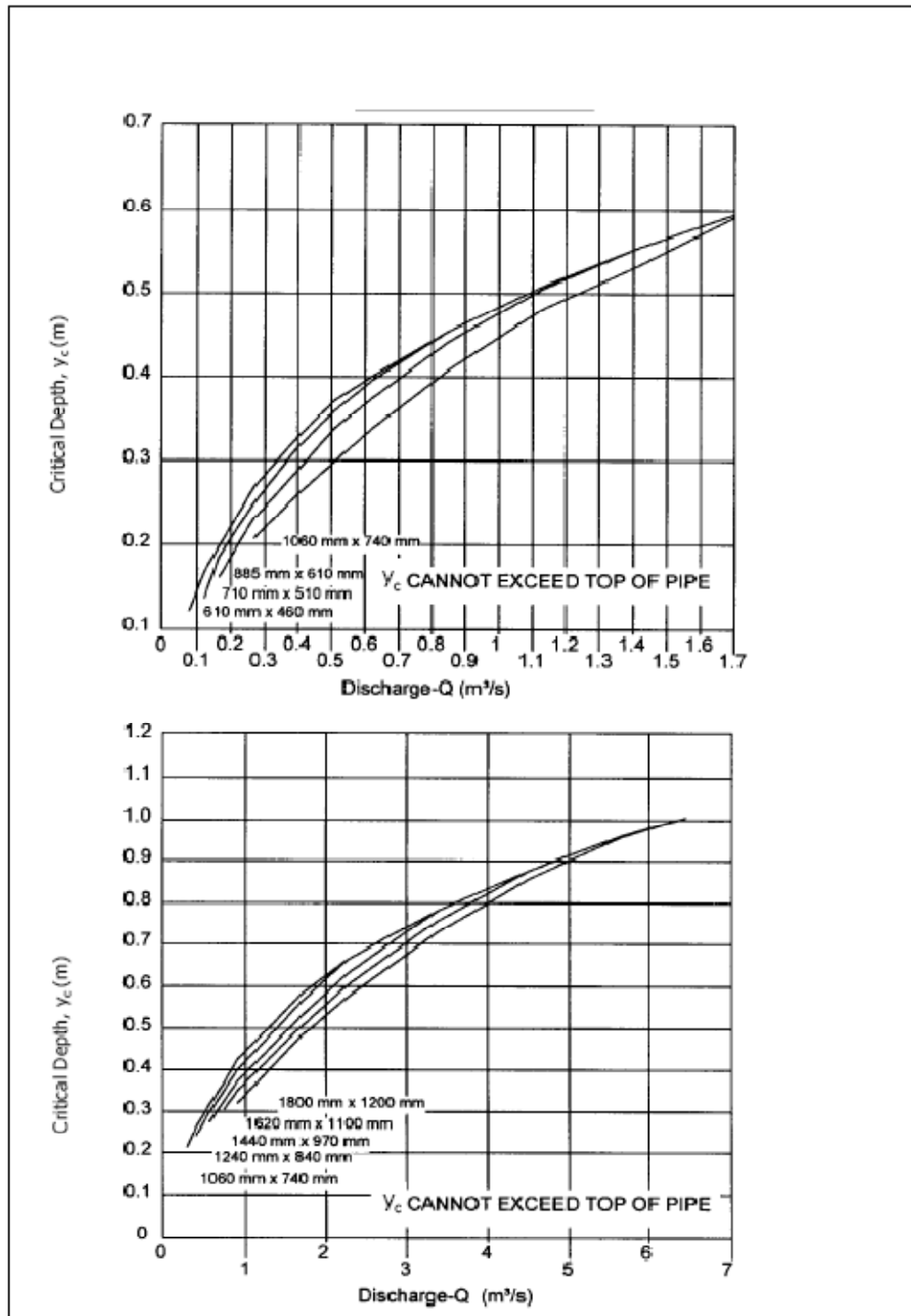
الشكل (٣٨): العمق الحرج للأنايب الدائرية



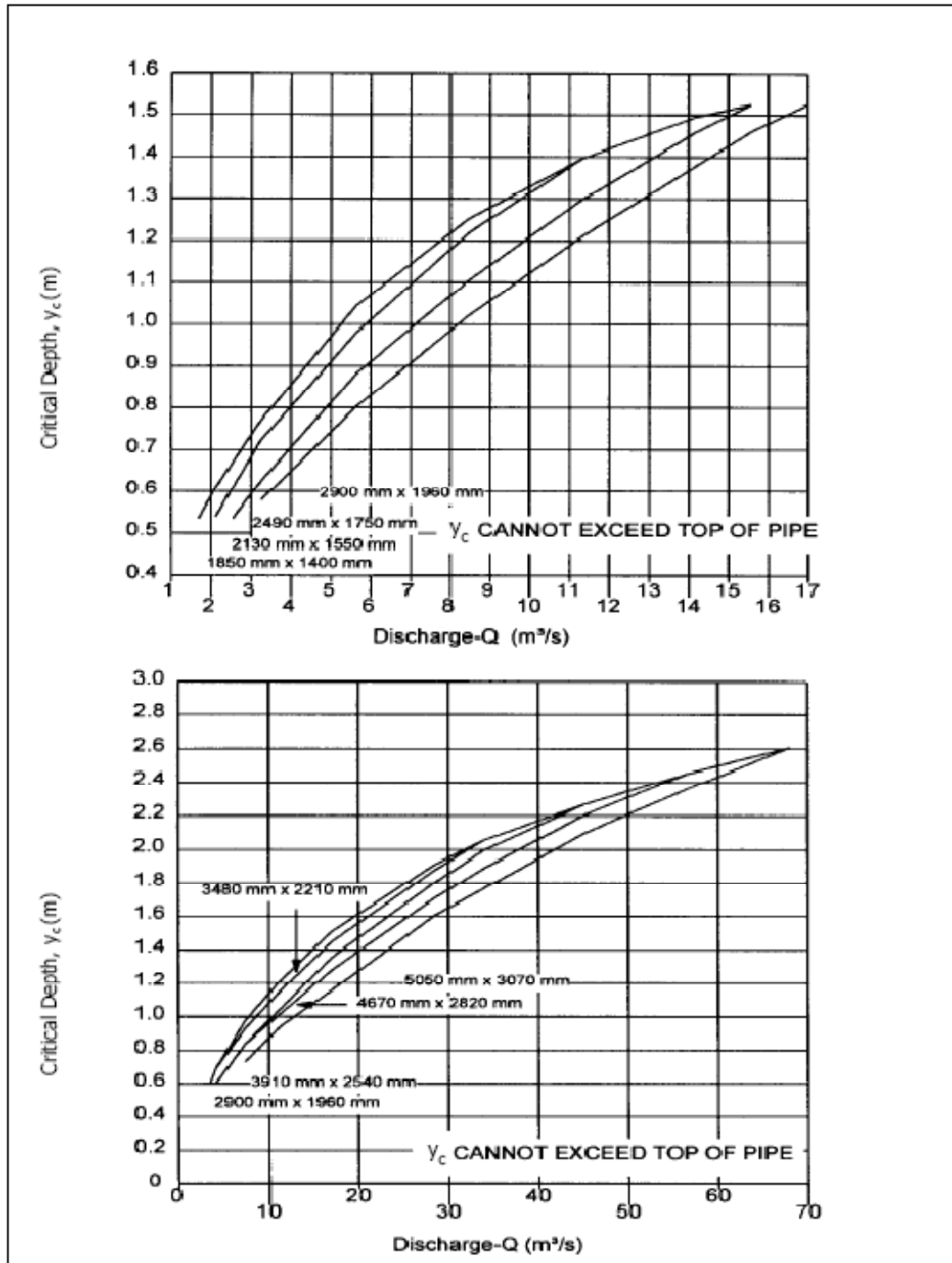
الشكل (٣٩): العمق الحرج للأبواب الإهليلجية الخرسانية (محورها الكبير أفقي)



الشكل (٤٠): العمق الحرج للأنابيب الإهليلجية الخرسانية (محورها الكبير رأسي)



الشكل (٤١): العمق الحرج للأنابيب النموذجية الدائرية والقوسية



الشكل (٤٢): العمق الحرج للأقواس والأنابيب المصنوعة من الصفائح الإنشائية

الجدول (١١): معامل مانينغ للعبارات

Type of Culvert	Roughness or Corrugation	Manning's n
Concrete Pipe	Smooth	0.010-0.011
Concrete Boxes	Smooth	0.012-0.015
Spiral Rib Metal Pipe	Smooth	0.012-0.013
Corrugated Metal Pipe, Pipe-Arch and Box (Annular and Helical corrugations -- see Figure B-3, Manning's n varies with barrel size)	68 by 13 mm 2-2/3 by 1/2 in Annular	0.022-0.027
	68 by 13 mm 2-2/3 by 1/2 in Helical	0.011-0.023
	150 by 25 mm 6 by 1 in Helical	0.022-0.025
	125 by 25 mm 5 by 1 in	0.025-0.026
	75 by 25 mm 3 by 1 in	0.027-0.028
	150 by 50 mm 6 by 2 in Structural Plate	0.033-0.035
	230 by 64 mm 9 by 2-1/2 in Structural Plate	0.033-0.037
Corrugated Polyethylene	Smooth	0.009-0.015
Corrugated Polyethylene	Corrugated	0.018-0.025
Polyvinyl chloride (PVC)	Smooth	0.009-0.011

٦- الملحق (٢): مثال عن التصميم الهيدروليكي للعبارات

الفرضيات:

١. بيانات التدفق:

- نفترض تدفق الذروة هو $Q = 4 \text{ m}^3/\text{sec}$

٢. بيانات المجرى المائي:

- نوع قناة المجرى: رباعية الشكل
- عرض قاعدة القناة: ٣.٠٥ م.
- ميل جوانب القناة: ٢ أفقي إلى ١ رأسي.
- إنحدار القناة في المقطع الطولي: ٠.١٥ أو ٠.١٥٪.
- عامل مانينغ للقناة هو: ٠.٠٣ من الجدول (١) بإعتبارها تحوي بعض الأعشاب الخفيفة.
- منسوب أسفل المجرى: ١٢.١٦ م.

٣. بيانات الطريق:

- منسوب قمة الطريق في منطقة التقاطع مع العبارة: ٣٦.٥٨ م.
- سطح الطريق: رصف إسفلتي.
- عرض قمة الطريق: ١٥.٢٤ م.

٤. بيانات العبارة:

- شكل العبارة: صندوقية فتحة وحيدة.
- مادة العبارة: خرسانية.
- عامل مانينغ: ٠.٠١٢.

٥. بيانات موقع العبارة:

- إحداثيات نقطة المدخل: ٠.٠٠٠ م.

- منسوب قاعدة المدخل: ٣٠.٤٨ م.
- إحداثيات نقطة المخرج: ١٢١.٩٢ م.
- منسوب قاعدة المخرج: ١٢.١٦ م.

٦. الحل:

- نفترض إرتفاع مقطع العبارة هو ١.٢ م وعرضها ١.٥ م.
 - نفترض منسوب الماء المسموح أمام مدخل العبارة هو ١.٨ م.
 - حساب الأبعاد التجريبية للعبارة الصندوقية:
 - من العلاقة رقم (Eq.1):

$$h = 1.8 - 1.2/2 = 1.2 \text{ m}$$
 - نعوض في العلاقة (Eq.2):

$$A = 0.45 \times 4/\sqrt{1.2} = 1.643 \text{ m}^2$$
 - نحسب عرض العبارة:

$$W = A/D = 1.643 / 1.2 = 1.369 \text{ m}$$
 - نعتبر أبعاد العبارة التجريبية هي:

$$D = 1.2 \text{ m}, W = 1.5 \text{ m}$$
 - وبافتراض أن منسوب الماء خلف مخرج العبارة أقل من إرتفاع مقطع العبارة: $T_W < D$. نحسب العمق الحرج d_c من الآباقات في الشكل (٣٧) من الملحق (١).

$$d_c = 0.85 \text{ m}$$
 - نحسب d_u من العلاقة:

$$Q = 1/n A R^{2/3} S^{1/2}$$
- فنجد:
- $$d_u = 0.48 \text{ m}$$
- بما أن $d_u < d_c$ فالإنحدار شديد.
 - وبما أن $d_u < D$ علينا الانتقال إلى المخطط النهجي B لمتابعة خطوات الحل كما يلي:
- بما أن $TW < d_c$ فمنسوب الماء أمام العبارة مرتبط بضبط المدخل أي أن: $HW = HW_{ic}$.
- ننتقل إلى الحساب بطريقة الماء المرتد بأن نطلق من مدخل العبارة بإتجاه المخرج وبعمق ابتدائي هو $d_1 = d_c$ ويكون تغير العمق حسب الخطوة بإشارة سالبة أي أن الأعماق تتناقص من المدخل بإتجاه المخرج، حتى نصل إلى حساب d_o, A_o, v_o . وبعدها نحسب HW فإذا كان مقبولاً أي ضمن

الحدود المسموحة يكون التصميم قد إنتهى وإلا فسنعود إلى تغيير حجم العبارة ونبدأ الحل من جديد. أنظر الفقرة ٢-٣-٢-١١ " التدفق فوق الحرج مع الإنحدار الشديد".

ولإكمال التحيلات وفق طريقة الماء المرتد، سيتم الإستعانة بالحاسب الآلي، فهناك برنامج التصميم الهيدروليكي للعبارات HY-8 الصادر عن إدارة الطرق السريعة، سيتم من خلاله إجراء التحليل الهيدروليكي لهذه العبارة كما يلي:

أولاً:

لوحة المدخلات:

Crossing Data - EXAMPLE

Crossing Properties

Name: EXAMPLE

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Minimum Flow	0.00	cms
Design Flow	4.00	cms
Maximum Flow	4.00	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	3.05	m
Side Slope (H:V)	2.00	:1
Channel Slope	0.1500	m/m
Manning's n (channel)	0.0300	
Channel Invert Elevation	12.16	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.00	m
Crest Length	30.48	m
Crest Elevation	36.58	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	15.24	m

Culvert Properties

EXAMPLE1

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	EXAMPLE1	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	1500.00	mm
Rise	1200.00	mm
Embedment Depth	0.00	mm
Manning's n	0.0120	
Inlet Type	Conventional	
Inlet Edge Condition	1:1 Bevel Headwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.00	m
Inlet Elevation	30.48	m
Outlet Station	121.92	m

Help Click on any icon for help on a specific topic

Energy Dissipation Analyze Crossing OK Cancel

نتائج حسابات خط الطاقة:

Energy Dissipation

Estimate Scour Hole Geometry

Parameter	Value	Units
Select Culvert and Flow		
Crossing	EXAMPLE	
Culvert	EXAMPLE1	
Flow	4.00	cms
Culvert Data		
Culvert Width (including multiple barrels)	1.5	m
Culvert Height	1.2	m
Outlet Depth	0.25	m
Outlet Velocity	10.64	m/s
Froude Number	6.79	
Tailwater Depth	0.25	m
Tailwater Velocity	4.57	m/s
Tailwater Slope (50)	0.1502	
Scour Data		
Time to Peak		
Note: if Time to Peak is unknown, enter 30 min		
Time to Peak	30.00	min
Cohesion	Noncohesive	
D16 Value	0.00	mm
D84 Value	0.00	mm
Tailwater Flow Depth after Culvert Outlet	Normal Depth	
Enter all required input before computati...		

Edit Input Data...

Export Report Adobe PDF (*.pdf)

Help OK Cancel

نتائج تبيين مناسيب الماء بالنسبة لجسم الطريق

Summary of Flows at Crossing - EXAMPLE

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	EXAMPLE1 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
30.48	0.00	0.00	0.00	1
30.74	0.40	0.40	0.00	1
30.90	0.80	0.80	0.00	1
31.03	1.20	1.20	0.00	1
31.15	1.60	1.60	0.00	1
31.27	2.00	2.00	0.00	1
31.39	2.40	2.40	0.00	1
31.50	2.80	2.80	0.00	1
31.61	3.20	3.20	0.00	1
31.72	3.60	3.60	0.00	1
31.84	4.00	4.00	0.00	1
36.58	12.51	12.51	0.00	Overtopping

Display

☒ Crossing Summary Table
☐ Culvert Summary Table
☐ Water Surface Profiles
☐ Improved Inlet Table
☐ Customized Table

Geometry

Inlet Elevation: 30.48 m
 Outlet Elevation: 12.16 m
 Culvert Length: 123.29 m
 Culvert Slope: 0.1502
 Inlet Crest: 0.00 m
 Inlet Throat: 0.00 m

Plot

Outlet Control: Profiles

ملخص يبين أعماق الماء أمام وخلف العبارة والعمق الحرج والعمق الإسمي ونوع التدفق

Culvert Summary Table - EXAMPLE1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	30.48	0.00	0.0*	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.40	30.74	0.26	0.0*	0-S2n	0.04	0.19	0.04	0.06	6.93	1.99
0.80	0.80	30.90	0.42	0.0*	0-S2n	0.07	0.31	0.09	0.10	5.83	2.58
1.20	1.20	31.03	0.55	0.0*	0-S2n	0.11	0.40	0.11	0.12	7.05	3.00
1.60	1.60	31.15	0.67	0.0*	0-S2n	0.14	0.49	0.14	0.14	7.74	3.32
2.00	2.00	31.27	0.79	0.0*	0-S2n	0.15	0.57	0.16	0.16	8.57	3.60
2.40	2.40	31.39	0.91	0.0*	0-S2n	0.17	0.64	0.18	0.18	8.89	3.83
2.80	2.80	31.50	1.02	0.0*	0-S2n	0.19	0.71	0.19	0.20	9.60	4.04
3.20	3.20	31.61	1.13	0.0*	0-S2n	0.21	0.78	0.21	0.22	9.93	4.24
3.60	3.60	31.72	1.24	0.0*	1-S2n	0.23	0.84	0.24	0.23	10.20	4.41
4.00	4.00	31.84	1.36	0.0*	1-S2n	0.25	0.90	0.25	0.25	10.64	4.57

Display

☐ Crossing Summary Table
☒ Culvert Summary Table
☐ Water Surface Profiles
☐ Improved Inlet Table
☐ Customized Table

Geometry

Inlet Elevation: 30.48 m
 Outlet Elevation: 12.16 m
 Culvert Length: 123.29 m
 Culvert Slope: 0.1502
 Inlet Crest: 0.00 m
 Inlet Throat: 0.00 m

Plot

* theoretical depth is impractical. Depth reported is corrected.

Outlet Control: Profiles

معلومات سطح الماء داخل العبارة ونوع التدفق (هنا التدفق ذو سطح حر)

Water Surface Profile Table - EXAMPLE1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Length Full (m)	Length Free (m)	Last Step (m)	Mean Slope (%)	First Depth (m)	Last Depth (m)
0.00	0.00	30.48	0.00	0.0*	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.40	30.74	0.26	0.0*	0-52n	0.00	123.29	119.31	59.56	0.19	0.04
0.80	0.80	30.90	0.42	0.0*	0-52n	0.00	123.29	118.54	18.17	0.31	0.09
1.20	1.20	31.03	0.55	0.0*	0-52n	0.00	123.29	130.91	15.99	0.40	0.11
1.60	1.60	31.15	0.67	0.0*	0-52n	0.00	123.29	133.16	15.57	0.49	0.14
2.00	2.00	31.27	0.79	0.0*	0-52n	0.00	123.29	106.28	15.76	0.57	0.16
2.40	2.40	31.39	0.91	0.0*	0-52n	0.00	123.29	102.79	15.60	0.64	0.18
2.80	2.80	31.50	1.02	0.0*	0-52n	0.00	123.29	15.98	15.61	0.71	0.19
3.20	3.20	31.61	1.13	0.0*	0-52n	0.00	123.29	161.59	15.09	0.78	0.21
3.60	3.60	31.72	1.24	0.0*	1-52n	0.00	123.29	110.40	15.04	0.84	0.24
4.00	4.00	31.84	1.36	0.0*	1-52n	0.00	123.29	143.11	15.19	0.90	0.25

Display: ☐ Crossing Summary Table ☐ Culvert Summary Table ☒ Water Surface Profiles ☐ Improved Inlet Table ☐ Customized Table Options...

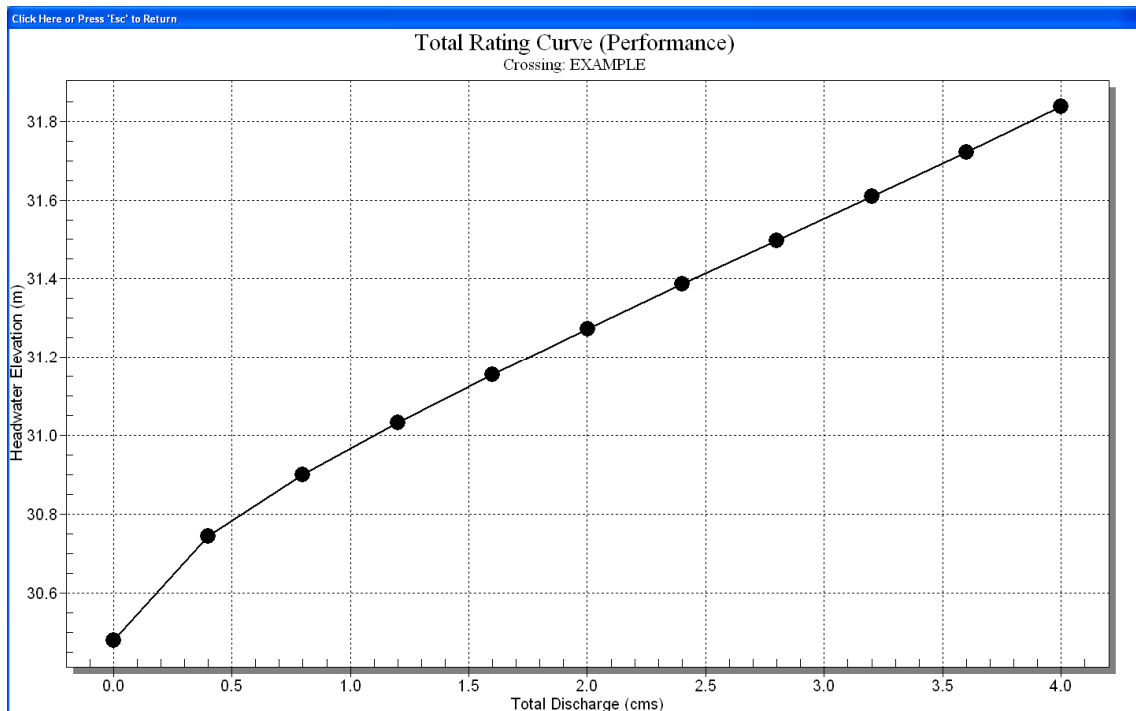
Geometry: Inlet Elevation: 30.48 m Outlet Elevation: 12.16 m Culvert Length: 123.29 m Culvert Slope: 0.1502 Inlet Crest: 0.00 m Inlet Throat: 0.00 m

Plot:

* theoretical depth is impractical. Depth reported is corrected. Outlet Control: Profiles

Help Flow Types... Edit Input Data... Energy Dissipation... Export Report Adobe PDF (*.pdf) Close

منحني الأداء للعبارة



وفيما يلي التقرير النهائي الذي يقوم البرنامج بإعداده (مدخلات - نتائج - رسومات)

HY-8 Culvert Analysis Report

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: EXAMPLE

Iterations	Roadway Discharge (cms)	EXAMPLE1 Discharge (cms)	Total Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)
1	0.00	0.00	0.00	30.48
1	0.00	0.40	0.40	30.74
1	0.00	0.80	0.80	30.90
1	0.00	1.20	1.20	31.03
1	0.00	1.60	1.60	31.15
1	0.00	2.00	2.00	31.27
1	0.00	2.40	2.40	31.39
1	0.00	2.80	2.80	31.50
1	0.00	3.20	3.20	31.61
1	0.00	3.60	3.60	31.72
1	0.00	4.00	4.00	31.84
Overtopping	0.00	12.51	12.51	36.58

Rating Curve Plot for Crossing: EXAMPLE

Total Rating Curve

Crossing: EXAMPLE

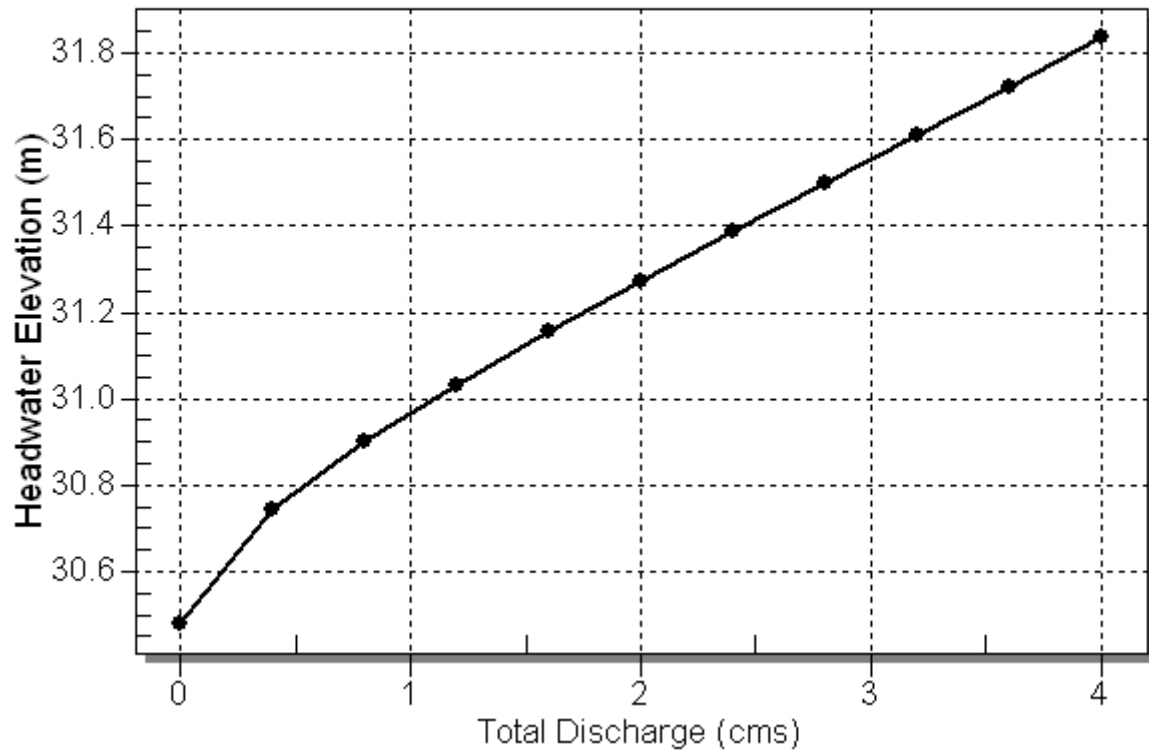


Table 2 - Culvert Summary Table: EXAMPLE1

Tailwater Velocity (m/s)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Depth (m)	Outlet Depth (m)	Critical Depth (m)	Normal Depth (m)	Flow Type	Outlet Control Depth (m)	Inlet Control Depth (m)	Headwater Elevation (m)	Culvert Discharge (cms)	Total Discharge (cms)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0-NF	0.0*	0.000	30.48	0.00	0.00
1.988	6.932	0.063	0.038	0.194	0.037	1-S2n	0.0*	0.264	30.74	0.40	0.40
2.577	5.834	0.096	0.091	0.308	0.075	1-S2n	0.0*	0.421	30.90	0.80	0.80
2.995	7.048	0.122	0.114	0.403	0.112	1-S2n	0.0*	0.551	31.03	1.20	1.20
3.319	7.740	0.144	0.138	0.489	0.135	1-S2n	0.0*	0.675	31.15	1.60	1.60
3.599	8.572	0.165	0.156	0.567	0.155	1-S2n	0.0*	0.793	31.27	2.00	2.00
3.834	8.886	0.183	0.180	0.640	0.175	1-S2n	0.0*	0.906	31.39	2.40	2.40
4.043	9.598	0.201	0.194	0.710	0.194	1-S2n	0.0*	1.018	31.50	2.80	2.80
4.237	9.930	0.217	0.215	0.776	0.214	1-S2n	0.0*	1.128	31.61	3.20	3.20
4.407	10.203	0.233	0.235	0.839	0.233	5-S2n	0.0*	1.241	31.72	3.60	3.60
4.568	10.643	0.247	0.251	0.900	0.250	5-S2n	0.0*	1.357	31.84	4.00	4.00

*.theoretical depth is impractical. Depth reported is corrected *

Inlet Elevation (invert): 30.48 m, Outlet Elevation (invert): 12.16 m

Culvert Length: 123.29 m, Culvert Slope: 0.1502

Culvert Performance Curve Plot: EXAMPLE1

Performance Curve

Culvert: EXAMPLE1



Water Surface Profile Plot for Culvert: EXAMPLE1
Crossing - EXAMPLE, Design Discharge - 4.00 cms
Culvert - EXAMPLE1, Culvert Discharge - 4.00 cms

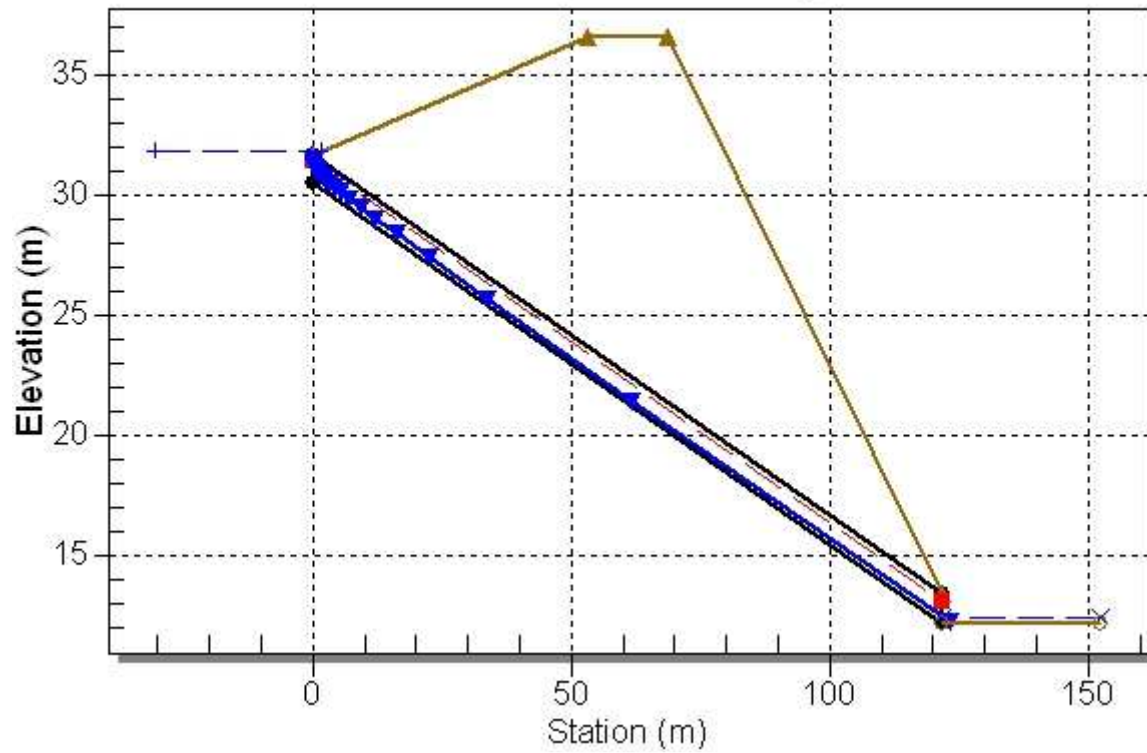


Table 3 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: EXAMPLE)

Froude Number	Shear (Pa)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Water Surface Elev (m)	Flow (cms)
0.00	0.00	0.00	0.00	12.16	0.00
2.57	93.18	1.99	0.06	12.22	0.40
2.74	140.88	2.58	0.10	12.26	0.80
2.84	178.96	3.00	0.12	12.28	1.20
2.91	212.44	3.32	0.14	12.31	1.60
2.97	241.98	3.60	0.16	12.33	2.00
3.01	269.55	3.83	0.18	12.34	2.40
3.04	295.21	4.04	0.20	12.36	2.80
3.08	318.91	4.24	0.22	12.38	3.20
3.10	341.90	4.41	0.23	12.39	3.60
3.13	363.46	4.57	0.25	12.41	4.00

Tailwater Channel Data - EXAMPLE

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 3.05 m

Side Slope (H:V): 2.00 (1:1)

Channel Slope: 0.1500

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 12.16 m

Roadway Data for Crossing: EXAMPLE

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 30.48 m

Crest Elevation: 36.58 m

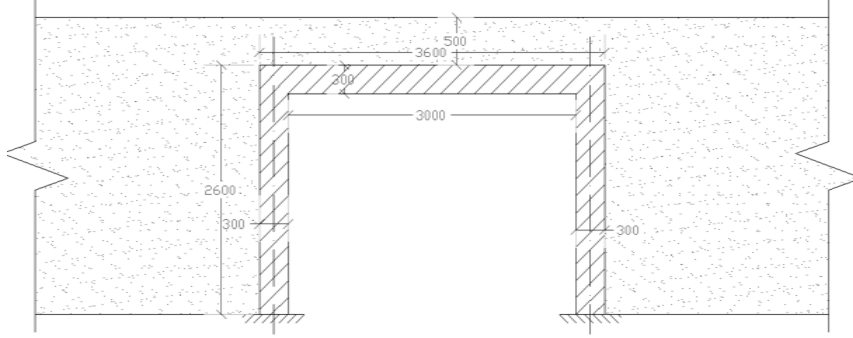
Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 15.24 m

هذه الصفحة تركت فارغة بشكل مقصود

٧- الملحق (٣): مثال عن التصميم الإنشائي للعبارات

ليكن لدينا العبارة الصندوقية المفتوحة المبينة في الشكل (أ)



الشكل (أ): مقطع العبارة

والمطلوب تصميم هذه العبارة من الناحية الإنشائية باعتبارها من الخرسانة المسلحة المصبوبة في المكان، وبما يتوافق مع (MA-100-D) وإشتراطاتها.

الحل:

الحمولات المؤثرة:

١- الوزن الذاتي:

حساب الوزن الذاتي للبلاطة:

$$0.3 \times 24 = 7.2 \text{ kN/m}$$

حساب الوزن الذاتي للجدران:

$$0.3 \times 2.3 \times 24 = 16.56 \text{ kN/m}$$

٢- الوزن الميت للردم الترابي

$$W = 0.5 \times 22.5 = 11.25 \text{ kN/m}$$

$$F_e = 1 + 0.2 (H/B_c) = 1 + 0.2 (0.5/3.6) = 1.027$$

$$W_f = W \times F_e = 11.25 \times 1.027 = 11.553 \text{ kN/m}$$

٣- ضغط التربة الجانبي

بفرض أن زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة هي 27° وكثافتها هي $16 \text{ كيلونيوتن / م}^3$.

$$P_s = k_o \times W_s$$

$$k_o = 1 - \sin \phi_f = 1 - \sin 27 = 0.546$$

فيكون الضغط على عمق 0.5 م هو

$$P_{s50} = 0.546 \times 0.5 \times 16 = 4.368 \text{ kN}$$

ويكون الضغط على عمق ٣.١ م هو

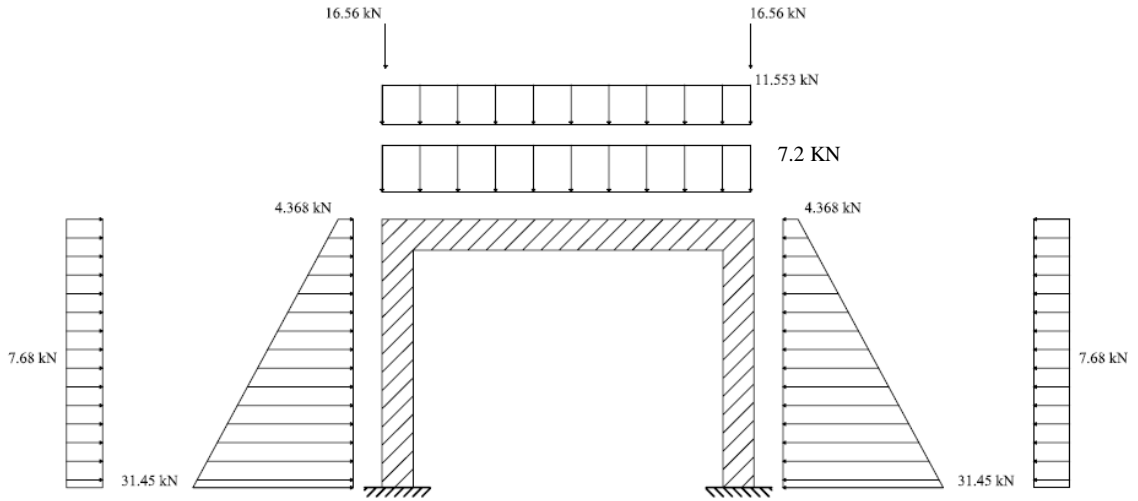
$$P_{s310} = 0.546 \times 3.6 \times 16 = 31.45 \text{ kN}$$

٤- الضغط الجانبي الإضافي الناتج عن الحمولات الحية:

نضيف ردم بإرتفاع مكافئ لتأثير الحمولة الحية:

$$h_{eq} = 1.2 - 0.2(H - 1.5) = 1.2 - 0.2(3.1 - 1.5) = 0.88 \text{ m}$$

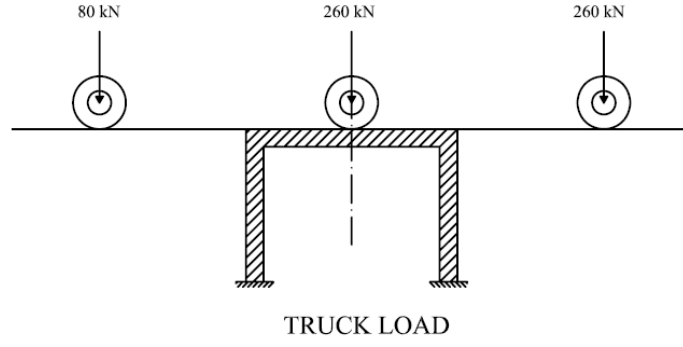
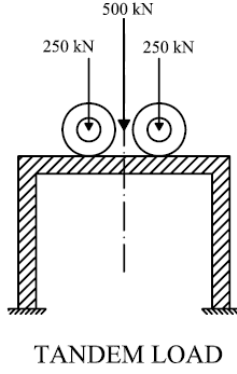
$$h_{eq} \times \gamma \times k_o = 0.88 \times 16 \times 0.546 = 7.68 \text{ kN /m}$$



٥- الحمولات الحية:

بما أن إرتفاع الردم فوق العبارة أقل من ٠.٦ م فالحمولات الحية التي يجب التصميم عليها هي الحمولات المحورية (شاحنة أو عجلة ثنائية) أيهما تعطي جهود أكبر.

وبافتراض أن حركة السير موازية لفتحة العبارة وحسب حمولات وزارة النقل MOT يكون:



بمقارنة بسيطة نجد أن الحمولة ذات العجلة الثنائية (Tandem) هي الحمولة الحاكمة ولذلك نقوم بالتحليل الإنشائي بناء عليها.

• توزيع حمولة العجلة الثنائية (Tandem):

نحسب عرض الشريحة:

$$E = 2440 + 0.12 (S) = 2440 + 0.12 (3000) = 2.8 \text{ m}$$

نحسب طول الشريحة:

$$E_{span} = L_T + LLDF(H)$$

وبما أن السير موازي لفتحة العبارة فإن: $L_T = 254 \text{ mm}$.

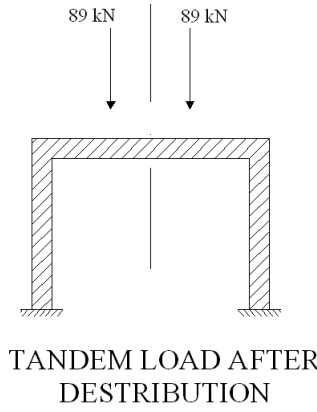
$$E_{span} = 254 + 1 \times 500 = 754 \text{ mm} = 0.75 \text{ m}$$

وبما أننا ندرس شريحة بعرض ١ م بالإتجاه العمودي على حركة السير، فإن حمولة كل إطار من إطارات العجلة الثنائية تصبح:

$$250 / (2.8 \times 0.75) = 119 \text{ kN/m}^2$$

ولتوزيع هذه الحمولة بالإتجاه العرضي فقط وإعتبارها مركزة بإتجاه فتحة العبارة:

$$119 \times 0.75 = 89 \text{ kN}$$



٦- تركيب الحمولات

نقوم بإختيار تركيب الحمولة التصميمي وهو حد المقاومة - I.

(١.٢٥ × الوزن الذاتي للخرسانة + ١.٥ × وزن طبقات التغطية + ١.٣ × وزن الردم فوق العبارة + ١.٣٥ × ضغط التربة الجانبي + ١.٧٥ × الضغط الجانبي الناتج عن الحمولة الحية + ١.٧٥ × الحمولة الحية × العامل الديناميكي + ١.٠٠ × ضغط الماء).

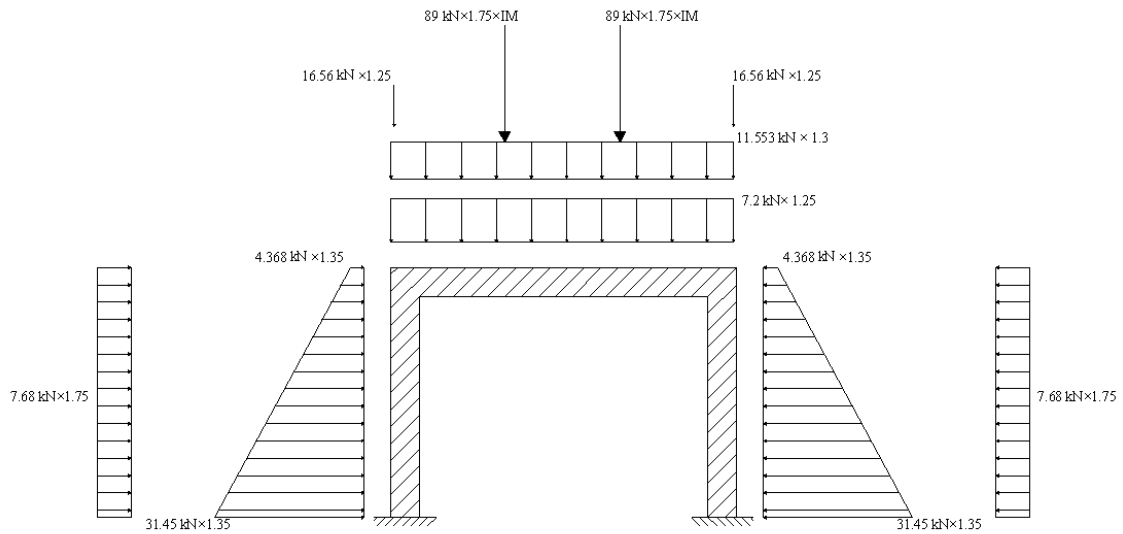
ملاحظة: سيتم هنا إهمال ضغط الماء الداخلي لصالح الأمان.

نحسب العامل الديناميكي من العلاقة:

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\%$$

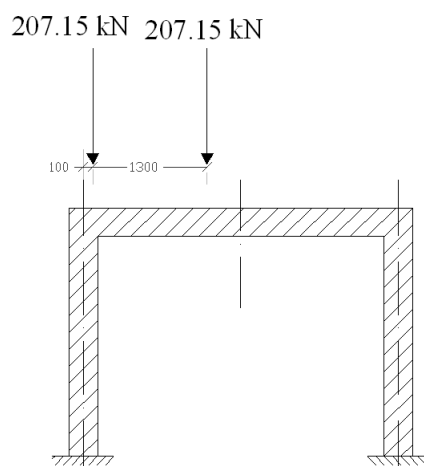
$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times 0.5) = 33\%$$

نقوم بتوزيع الأحمال بعد ضربها بعواملها على المنشأ كما يلي:

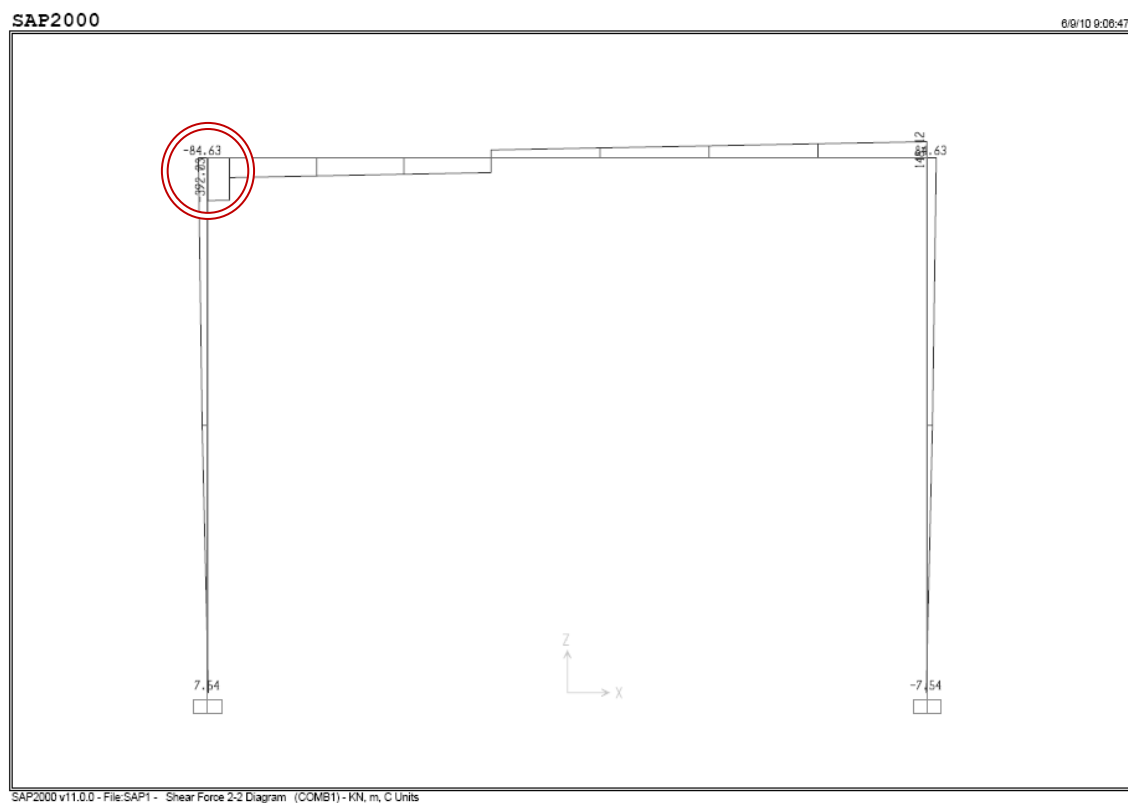


نقوم بالتحليل الإنشائي لحساب عزوم الإنحناء بمساعدة برنامج SAP2000.

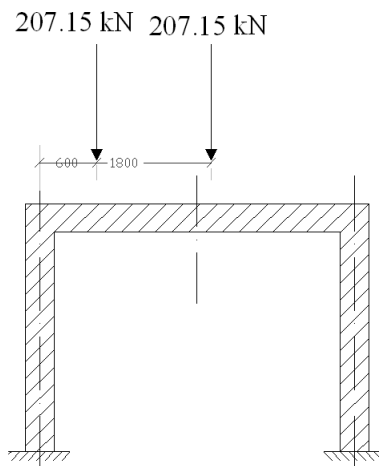
موقع حمولة العجلة الثنائية الذي يعطي أكبر قوة قص:



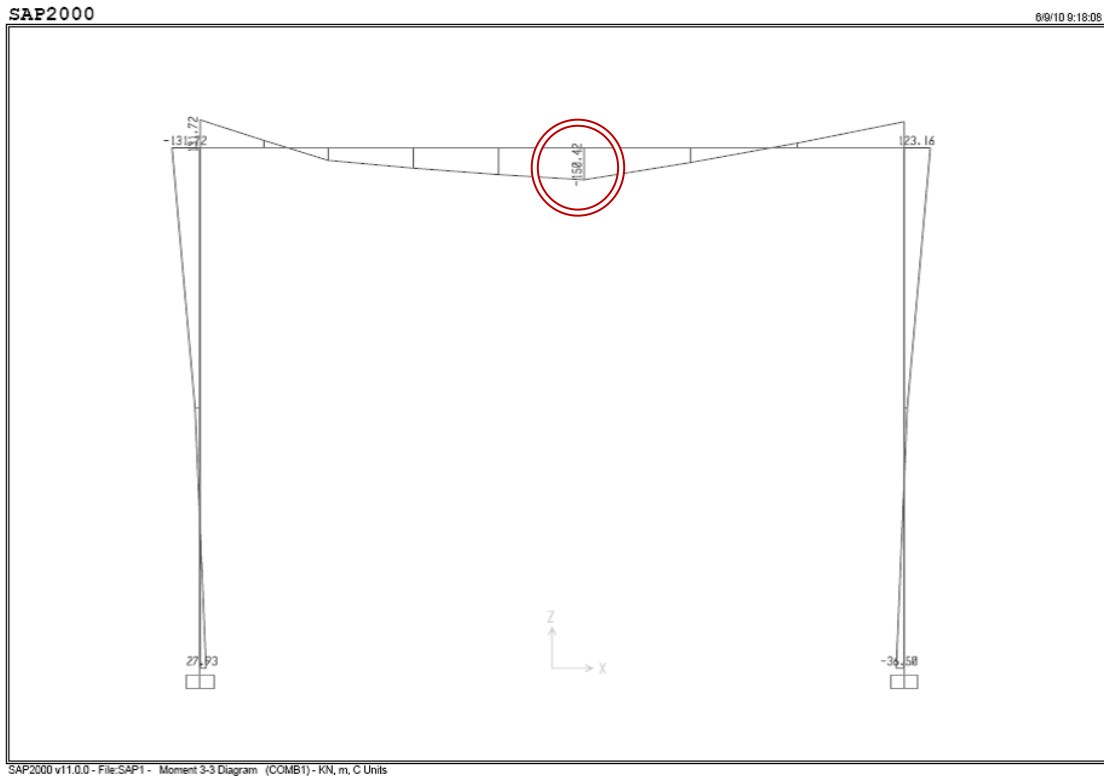
مخطط قوى القص الناتجة عن تركيب الأحمال STRENGTH-I : $Q^+ = 392.03 \text{ kN}$



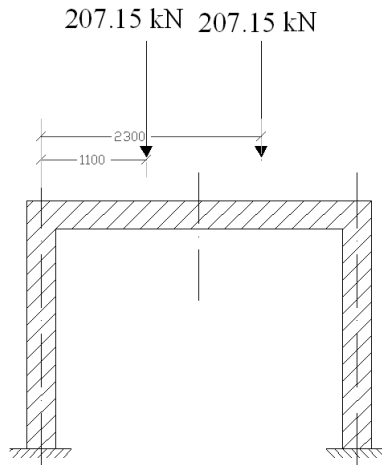
موقع العجلة الشائبة الذي يعطي أكبر عزم إنحناء موجب:



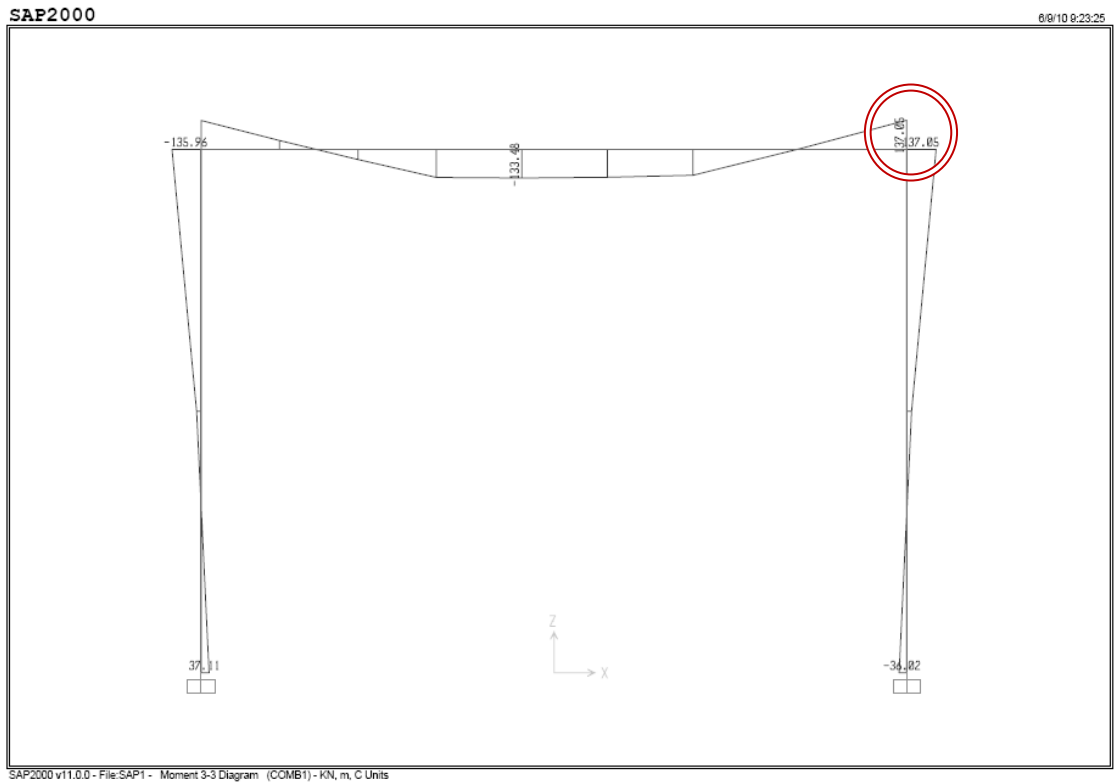
أكبر عزم إنحناء موجب ناتج عن تركيب الأحمال :STRENGTH-I : $M_{max}^+ = 150.42 \text{ Kn.m}$



موقع العجلة الذي يعطي أكبر عزم إنحناء سالب:



أكبر عزم إنحناء سالب ناتج عن تركيب الأحمال :STRENGTH-I : $M_u^- = 137.05 \text{ Kn.m}$



تصميم مقاطع الخرسانة والحديد:

سيتم إستعمال حديد من الصنف GRADE60 وخرسانة مقاومتها الإسطوانية على الضغط ٤٠ ميغاباسكال.

- نفرض مقطع بلاطة العبارة ١٠٠٠ مم (عرض الشريحة المدروسة) × ٣٠٠ مم (سمائة المقطع الخرساني)
- نفرض حديد تسليح رئيسي بشبكتين كما يلي:

الشبكة العلوية: ١٤ ϕ 12/m فتكون مساحة التسليح $As' = 1582 \text{ mm}^2/\text{m}$

الشبكة السفلية: ١٤ ϕ 18/m فتكون مساحة التسليح $As = 3556 \text{ mm}^2/\text{m}$

تحديد عوامل المقاومة:

- وفقاً لطريقة LRFD فإن عامل المقاومة في حالة عزوم الإنحناء الشادة: $\phi = 0.9$ (الفقرة ٥-٥-٤-٢-١ من (MA-100-D-V1/2).

- وفقاً لطريقة LRFD فإن عامل المقاومة في حالة القص: $\phi = 0.75$ (الفقرة ٥-٥-٤-٢-١ من (MA-100-D-V1/2).

التصميم ضد العزوم الشادة الموجبة:

من العلاقة ٥-٢٥ من (MA-100-D-V1/2):

$$M_r = \phi M_n$$

ومن العلاقة ٥-٢٧ من (MA-100-D-V1/2):

$$M_n = A_s f_s \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A_s' f_s' \left(d_s' - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = c \beta_1$$

ومن العلاقة ٥-١٩ من (MA-100-D-V1/2):

$$c = \frac{A_s f_s - A_s' f_s'}{0.85 f_c' \beta_1 b}$$

نحسب β_1 حسب الفقرة ٥-٢-٢-٧ من (MA-100-D-V1/2)، وباعتبار مقاومة الخرسانة ٤٠ ميغاباسكال.

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) = 0.85 - 0.05 \left(\frac{40 - 28}{7} \right) = 0.764$$

ومنه:

$$c = \frac{A_s f_s - A_s' f_s'}{0.85 f_c' \beta_1 b} = \frac{3556 \times 420 \times 0.9 - 1582 \times 220 \times 0.9}{0.85 \times 40 \times 0.746 \times 1000} = 40.645$$

وهكذا نحسب العزم المقاوم بإعتبار التغطية الخرسانية ٦٥ مم:

$$M_n = A_s f_s \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s f'_s \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) =$$

$$3556 \times 420 \times 0.9 \left(244 - \frac{40.645 \times 0.764}{2} \right) - 1582 \times 220 \times 0.9 \left(244 - \frac{40.645 \times 0.764}{2} \right) = 235.54 \text{ kN.m}$$

وبالتالي يكون عزم المقاومة لمقطع البلاطة المفروض هو:

$$M_r = \phi M_n = 0.9 \times 235.54 = 212 \text{ kN.m} > M_u^+ = 1.33 \times M_u = 1.33 \times 150 = 199.5 \text{ kN.m} \dots \dots \text{ok}$$

وهكذا نتابع التصميم لبقية المقاطع من أجل القيم العليا للعزوم.

حساب مساحة التسليح العرضي

$$A_{dist} = 1750 A_s / (L)^{0.5} \geq 0.5 A_s = 1750 \times 3556 / (3300)^{0.5} = 0.3 A_s < 0.5 A_s$$

ولذلك نأخذ مساحة التسليح العرضي مساوية $0.5 A_s$:

$$0.5 A_s = 0.5 \times 3556 = 1778 \text{ mm}^2/\text{m}$$

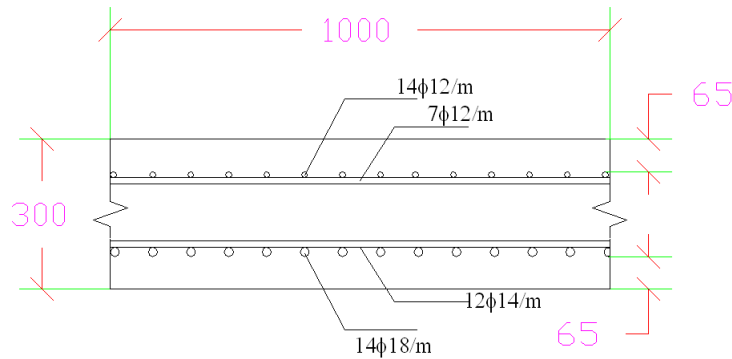
نختار تسليح عرضي سفلي $12 \phi 14/\text{m}$.

نوزع تسليح عرضي علوي يساوي $0.5 A'_s$:

$$0.5 \times 1558 = 779 \text{ mm}^2$$

نختار تسليح عرضي علوي $7 \phi 12/\text{m}$.

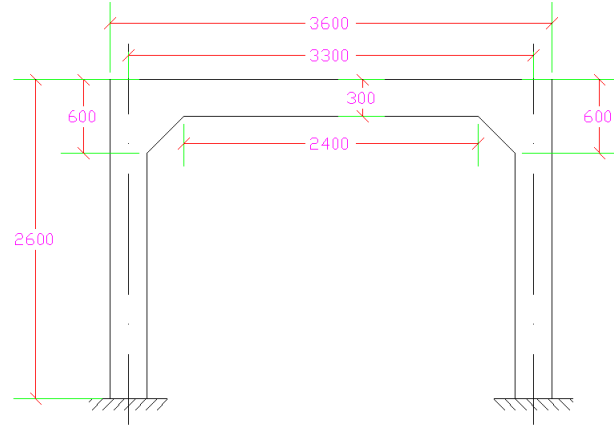
يصبح مقطع البلاطة مسلح على العزم الموجب الأعلى بالشكل التالي:



التسليح على العزوم السالبة عند طرفي البلاطة

من نتائج التحليل الإنشائي: $M_u^- = 137.05 \text{ kN.m}$

نزيد إرتفاع المقطع بعمل شطفة بزاوية 45° عند الأطراف بحيث تصبح سماكة مقطع البلاطة عند وجه الجدار 60 سم.



نتحقق من كفاية التسليح العلوي الحالي ليعمل كتسليح رئيسي عند الأطراف كما يلي:

$$M_n = A_s f_s \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s f'_s \left(d'_s - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = c \beta_1$$

$$c = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s}{0.85 f'_c \beta_1 b}$$

سنعتبر هنا أن المقطع مسلح على الشد فقط ونهمل حد تسليح الضغط.

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) = 0.85 - 0.05 \left(\frac{40 - 28}{7} \right) = 0.764$$

ومنه:

$$c = \frac{A_s f_s}{0.85 f'_c \beta_1 b} = \frac{1582 \times 420 \times 0.9}{0.85 \times 40 \times 0.764 \times 1000} = 23.576$$

وهكذا نحسب العزم المقاوم بإعتبار التغطية الخرسانية ٦٥ مم:

$$M_n = A_s f_s \left(d_s - \frac{a}{2} \right) = 1582 \times 420 \times 0.9 \left(535 - \frac{23.576 \times 0.764}{2} \right) = 314.54 \text{ kN.m}$$

وبالتالي يكون عزم المقاومة لمقطع البلاطة المفروض هو:

$$M_r = \phi M_n = 0.9 \times 314.54 = 283.086 \text{ Kn.m} > M_u^+ = 1.33 \times M_u = 1.33 \times 137.05 = 182.27$$

Kn.m.....ok

إذاً التسليح العلوي الحالي قادر على مقاومة العزم السالب عند الأطراف بسبب زيادة إرتفاع المقطع، ولا حاجة لإضافة أي تسليح جديد.

نتحقق من كفاية المقطع المصمم لمقاومة العزم السالب عند نقطة نهاية الشطفة أي على بعد ٤٥ سم من محور الجدار:

$$M_{u45} = 21.7 \text{ kN.m}$$

وهو عزم صغير يستطيع المقطع الحالي مقاومته بسهولة دون أي إضافة في التسليح.

ضبط التشقق

يتم ضبط التشقق بأخذ العزوم الناتجة عن حالة حد الخدمة – I.
وتطبيق العلاقة الواردة في الفقرة ١٠-١٢-٣ من (MA-100-D-V2/2)

.....إنتهى.....