المنشآت المائية

السنة الرابعة–القسم المدني

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

المنشآت المائية

الدكتور
عبد الرزّاق الحسين
أستاذ في قسم الهندسة المائية

الدكتور
يوسف سعيد مرعي
أستاذ مساعد في قسم الهندسة المائية

الدكتور
بسام جورج فركوح
مدرس في قسم الهندسة المائية

المهندسة
سماح حافظ محمد
قائم بالأعمال في قسم الهندسة المائية

جامعة دمشق

1437- 1438 هجـــرية

2016 – 2017 ميلادية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الموضوع	الصفحة
الفهرس	- 5 -
مقدمة	- 13 -
الفصل الأول: القنوات	-15-
1-1 معلومات أساسية.....	-15-
1-1-1 تعريف القناة	-15-
2-1-1 هدف الإنشاء	-15-
3-1-1 تصنيف القنوات	-15-
2-1 العناصر الرئيسية للقناة	- 21-
1-2-1 خط سير القناة (شكل محور القناة في المسقط الأفقي)	-21-
2-2-1 المقطع الطولي	-27-
3-2-1 المقطع العرضي للقناة	-32-
3-1 الحساب الهيدروليكي للقنوات	-37-
1-3-1 مدخل	-37-
2-3-1 الجريان مستقر ومنتظم.....	-39-
4-1 الفواقد المائية من القنوات	-50-
5-1 تكسية مجاري القنوات	-54-
1-5-1 تمهيد	-54-
2-5-1 الغرض من تكسية القنوات	-55-
3-5-1 الشروط التي يجب أن تتوافر في مواد التكسية	-55-

4-5-1 أنواع التكسية ..... -56-
6-1 تحسين الكتامة وزيادة مقاومة الحت للتربة في مجاري القنوات .... -76-
7-1 القنوات المرفوعة ..... -78-
8-1 استثمار القنوات ..... - 84 -
1-8-1 مقدمة ..... - 84 -
9-1 القنوات وحماية البيئية..... - 93 -

الفصل الثاني: المنشآت المائية على قنوات الري

1-2 مقدمة ..... - 99 -
2-2 تصنيف المنشآت المائية ..... - 100 -

الفصل الثالث: المآخذ المائية الرئيسية

1-3 مقدمة ..... - 107 -
2-3 تصنف المآخذ المائية ..... - 108 -
3-3 المآخذ المباشرة ..... - 110 -
1-3-3 تمهيد ..... - 110 -
2-3-3 المآخذ المائة الشاطئية أو المآخذ الجانبية ..... - 111 -
3-3-3 المآخذ المائية المباشرة الجبيهة ..... - 114 -
4-3-3 المآخذ المباشرة القادوسية ..... - 114 -
5-3-3 المآخذ المائية المباشرة الغاطسة ..... - 115 -
4-3 المآخذ المائية غير المباشرة أو السدية ..... - 116 -
1-4-3 مقدمة ..... - 116 -
2-4-3 مأخذ الماء السدي الغاطس ..... - 116 -
3-4-3 المأخذ السدي السطحي ..... - 119 -

5-3 تصنيف المآخذ المائية حسب موقعها في مجرى النهر ..... - 129 -
1-5-3 المآخذ المائية في المناطق الجبلية من مجرى النهر ..... - 129 -
2-5-3 المآخذ المائية في المناطق السفحية من مجرى النهر ..... - 130 -
3-5-3 المآخذ المائية في الأجزاء السهلية من مجرى النهر ..... - 132 -
4-5-3 المآخذ المائية في الأنهار ذات الجريان السيلي ..... - 133 -

الفصل الرابع: السد الهدّار

1-4 الهدّارات ..... - 135 -
1-1-4 تصنيف الهدّارات ..... - 135 -
2-1-4 الدراسة الهيدروليكية للجريان عبر السد–الهدّار ..... - 139 -
3-1-4 حساب التدفق المار عبر الهدّار ..... - 140 -
2-4 السد–الهدّار النظامي ..... - 145 -
1-2-4 شكل قمة السد الهدّار النظامي ..... - 146 -
3-4 أنظمة الاتصال الانتقالي للمياه الفائضة ..... - 153 -
1-3-4 نظام الاتصال القاعي ..... - 153 -
2–3–4 نظام الاتصال السطحي ..... - 153 -
3–3–4 نظام التيار المقذوف ..... - 154 -
4-4 التحام التيار المائي الهابط من أعلى الهدار مع الماء في القناة السفلية - 161 -
5-4 الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة خلف السد–الهدّار ..... - 163 -
1-5-4 أحواض التهدئة البئرية ..... - 164 -
2-5-4 جدار الصدم (الحلبة الجدارية) ..... - 169 -
3-5-4 الحلبة البئرية الجدارية ..... - 172 -
4-5-4 مخمدات الطاقة البيتونية ..... - 173 -
6-4 دراسة التسرب أسفل منشأة السد الهدّار ..... - 176 -

4-6-1 التأسيس على قاعدة صخرية ..... - 176 -
4-6-2 التأسيس على تربة كتيمة ..... - 176 -
4-6-3 التأسيس على تربة نفوذة ..... - 178 -
4-7 الدراسة النظرية للجريان في الأوساط النفوذة ..... - 179 -
4-7-1 شبكة الجريان ..... - 180 -
4-7-2 الشروط الحدودية ..... - 181 -
4-7-3 استنتاج عناصر الجريان من شبكة الجريان المتسرب ..... - 188 -
4-8 الطرائق التقريبية لاستنتاج قوى الرفع المائي ..... - 190 -
4-8-1 قاعدة بلاي ..... - 190 -
4-8-2 قاعدة لين ..... - 192 -
4-8-3 فوران التربة ..... - 194 -
4-9 القوى المطبقة على المنشآت المائية ..... - 197 -
4-9-1 الوزن الذاتي ..... - 198 -
4-9-2 ضغط الماء الساكن ..... - 198 -
4-9-3 الضغط الناجم عن المواد المترسبة ..... - 201 -
4-9-4 ضغط التربة الجانبي من الأمام والخلف تحت منسوب التأسيس ..... - 204 -
4-9-5 ضغوط الرفع المائية الشاقولية المؤثرة في قاعدة المنشأة ..... - 205 -
4-9-6 الحمولات الناجمة عن تأثير الهزات الأرضية (الزلازل) ..... - 209 -
4-10 دراسة توازن السد–الهدّار ..... - 213 -
4-10-1 دراسة التوازن على الانقلاب ..... - 213 -
4-10-2 دراسة التوازن على الانزلاق ..... - 215 -
4-10-3 حساب الإجهادات ..... - 219 -
4-10-4 حساب المنشأة على الطفو ..... - 222 -

الفصل الخامس: العبّـــــــــــــارة

1-5 مقدمة ..... - 223 -

2-5 تصميم العبّارة ..... - 225 -

1-2-5 الدراسة المائية ..... - 225 -

2-2-5 الدراسة الإنشائية ..... - 230 -

3-2-5 الخطوات الأساسية لتصميم عبّارة صندوقية من البيتون المسلح ..... - 252 -

الفصل السادس: السيفون المقلوب

1-6 مقدمـــــة ..... - 253 -

2-6 السيفون المقلوب ..... - 255 -

3-6 تصنيف السيفونات المقلوبة ..... - 257 -

4-6 ميزات استخدام السيفونات المقلوبة ..... - 266 -

5-6 مساوئ استخدام السيفونات المقلوبة ..... - 266 -

6-6 مسار السيفون المقلوب ..... - 267 -

7-6 المقطع الطولي للسيفون المقلوب ..... - 268 -

8-6 المقطع العرضي للسيفون المقلوب ..... - 271 -

9-6 الدراسة المائية للسيفون المقلوب ..... - 272 -

1-9-6 اختيار سرعة الجريان وحساب قطر الناقل ..... - 272 -

2-9-6 تحديد عدد النواقل ..... - 273 -

3-9-6 الحساب الهيدروليكي للسيفون المقلوب ..... - 274 -

4-9-6 حساب معاملات الفواقد الهيدروليكية ..... - 277 -

10-6 ملحقات السيفون المقلوب ..... - 291 -

1-10-6 الملحقات المرفقة بالمدخل ..... - 291 -

2-10-6 الملحقات المرفقة بناقل السيفون المقلوب ..... - 292 -
3-10-6 الملحقات المرفقة بالمخرج ..... - 292 -
11-6 العناصر الإنشائية للسيفون المقلوب ..... - 292 -
12-6 الدراسة الإنشائية للسيفون المقلوب ..... - 300 -
1-12-6 تمهيد ..... - 300 -
2-12-6 الحمولات التي يتعرض لها ناقل السيفون المقلوب ..... - 302 -
3-12-6 حساب القوى والعزوم المؤثرة في السيفون المقلوب ..... - 310 -
4-12-6 رد فعل الأساسات تحت ناقل السيفون المقلوب دائري الشكل ..... - 312 -
13-6 السيفونات المقلوبة القصيرة (البئرية)..... - 313 -

الفصل السابع: الجســـــــر المائـــــي

1-7 مقدمة ..... - 319 -
2-7 المقطع العرضي للجسر المائي ..... - 322 -
3-7 الدراسة المائية ..... - 324 -
4-7 الدراسة الإنشائية ..... - 326 -
1-4-7 حالة الجسر المائي المفتوح من الأعلى ..... - 326 -
2-4-7 حالة الجسر المائي المغلق من الأعلى (المقطع العرضي مستطيل) . - 329 -
3-4-7 العزوم والقوى المؤثرة في الهيكل الحامل للجسر المائي ..... - 338 -
4-4-7 اعتبارات تصميمة في تنفيذ الجسور المائية من البيتون المسلح ..... - 343 -

الفصل الثامن: المنظمات المائية

1-8 مقدمة ..... - 347 -
2-8 المنظمات المكشوفة ..... - 347 -
3-8 الحساب الهيدروليكي للمنظمات المكشوفة ..... - 352 -

1-3-8 تمهيد..... - 352 -
2-3-8 حالة البوابة مرفوعة بشكل كامل ..... - 353 -
3-3-8 حالة استخدام البوابات ..... - 356 -
4-8 المنظمات المغلقة (الأنبوبية) ..... - 360 -
1-4-8 الحساب الهيدروليكي للمنظمات الأنبوبية ..... - 361 -
5-8 المنظمات الحجابية (ذات الحجاب) ..... - 364 -
6-8 تصنيف المنظمات من حيث الوظيفة ..... - 364 -
1-6-8 عقد التوزيع ..... - 364 -
2-6-8 المجزئات ..... - 366 -
3-6-8 المآخذ الرأسية ..... - 370 -
4-6-8 منظمات الحجز ..... - 372 -
5-6-8 منظمات الغسيل ..... - 374 -
6-6-8 منظمات التفريغ ..... - 375 -
7-8 بوابات التحكم في شبكات الري ..... - 377 -
1-7-8 بوابات (AMIL) التي تتحكم بمنسوب الماء أمام البوابة ..... - 377 -
2-7-8 بوابات (AV) التي تتحكم بمنسوب الماء بعد البوابة ..... - 379 -
8-8 المعاملات ..... - 382 -
1-8-8 المعامل وحيد الفتحة ..... - 382 -
2-8-8 المعامل ثنائي الفتحة ..... - 386 -
معجم المصطلحات ..... - 391 -
المراجع العلمية..... - 399 -

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

تُعد المنشآت المائية مكوناً رئيساً من مكونات الهندسة المائية التي تساعد إلى حدٍ كبير في استخدام الموارد المائية المتاحة وتنميتها وإدارتها، ولاسيما في البلدان التي تعاني من ندرة مائية، وتتعاظم فيها الأزمات المائية بسبب تزايد الاحتياجات المائية اللازمة لتحقيق تنمية اقتصادية واجتماعية وبيئية مستدامة.

أُلفَ كتاب المنشآت المائية لطلاب السنة الرابعة–القسم المدني وفق الخطة الدراسية لكلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، وهو يتكون من مقدمة، وثمانية فصول جاءت على النحو الآتي:

1. **الفصل الأول:** القنوات.
2. **الفصل الثاني:** المنشآت المائية على قنوات الري.
3. **الفصل الثالث:** المآخذ المائية الرئيسية.
4. **الفصل الرابع:** السد الهدَّار.
5. **الفصل الخامس:** العبَّارة.
6. **الفصل السادس:** السيفون المقلوب.
7. **الفصل السابع:** الجسر المائي.
8. **الفصل الثامن:** المنظِمات المائية.

يعرض الكتاب في فصوله الثمانية أسس دراسة وتصميم عددٍ من المنشآت المائية ذات الأهمية الخاصة في مشاريع الري والصرف، سواء لجهة تأمين جريان المياه لهذه المشاريع من المصادر المائية بالكميات والمناسيب المطلوبة، أو لجهة توزيع المياه ضمنها، أو لجهة مساعدة قنوات الري والصرف فيها على أداء الوظيفة التي تُنشأ من أجلها.

أعد المقدمة والفصول الأول والخامس والسادس والسابع الدكتور يوسف مرعي، وأعد الأستاذ الدكتور عبد الرزاق الحسين والمهندسة سماح محمد جزءاً من الفصل الرابع، أما الدكتور بسام فركوح فأعد الفصول الثاني والثالث والرابع والثامن، كما قام بجمع أجزاء الكتاب، وتنسيقه بالتعاون مع المهندسة عبير علي مشكورة.

يأمل مؤلفو الكتاب أن يسهم كتابهم هذا في تقديم جزءٍ مهم من المعارف الأساسية في مجال الهندسة المائية لطلاب الهندسة المدنية، وأن يسدوا به جزءاً من حاجة المهندسين العاملين في قطاع المياه لمؤلفاتٍ باللغة العربية.

المؤلفون

الفصل الأول

القنوات

1. 1 معلومات أساسية:

1.1. 1 تعريف القناة:

القناة هي مجرى طويل، وضيق وقليل العمق نسبياً، يُنَفذ اصطناعياً لتجري فيه المياه وسطحها الحر معرضاً للضغط الجوي، وتختلف القناة عن النهر الذي تشكله الطبيعة بأن الإنسان هو الذي يبنيها، ويتحكم بجريان الماء فيها، وبأن عناصرها الأساسية (المقطع العرضي، والمقطع الطولي، والمسار) تكون أكثر انتظاما مما هي عليه في حالة النهر، مع ملاحظة أنه، ولاعتبارات تصميمية، واعتبارات تتعلق بحماية البيئة الطبيعية، فإن مسار القناة يمكن ألا يكون دوماً منتظماً.

1.2. 1 هدف الإنشاء:

تُقام القنوات عادة –فيما عدا الملاحية منها–لنقل المياه من مصدرها باتجاه مناطق العوز إليها، أو لسحب المياه من المواقع التي تزيد فيها عن مقدار الحاجة إليها نحو أماكن صرف مناسبة. أما بالنسبة للقنوات الملاحية فتُنشأ لتكون طرقاً مائية تسير فيها السفن، وهي بذلك تشابه طرق المواصلات العادية، وخطوط السكك الحديدية.

1.3. 1 تصنيف القنوات:

1.3.1. 1 حسب الوظيفة:

تُصنف القنوات حسب الغرض من إنشائها إلى:

أ- **قنوات الري:** هي القنوات التي تعمل على نقل المياه من مصدرها إلى أماكن استهلاكها في مشاريع الري، وتُعد القناة الرئيسية في مشروع ري البليخ أطول قناة ري في سورية، حيث يبلغ طولها نحو 80 كيلومتراً.

ب- **قنوات الصرف:** تعمل هذه القنوات على جر المياه الفائضة من مشاريع الري واستصلاح الأراضي، ثم صرفها إلى الأنهار والأدوية القريبة.

ت- **قنوات تأمين مياه الشرب** للمدن والقرى والتجمعات السكنية، والمياه اللازمة للمصانع والمعامل والورشات الصناعية. إن جر مياه الشرب عبر هذه القنوات يجب ألا يؤثر في نوعية المياه، لذا يُراعى أن تكون أبعد ما يمكن عن المناطق المأهولة، والأماكن التي يمكن أن تكون مصدراً لتلوثها مثل مكبات القمامة، وخطوط الصرف الصحي، والمقابر.

ث- **قنوات المحطات الكهرومائية:** تنقل هذه القنوات المياه من الخزانات المائية الطبيعية أو الاصطناعية إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية، وذلك بغزارات مختلفة، تراوح بين بضع عشرات من الليترات في الثانية، وعدة مئات، أو أكثر من الأمتار المكعبة في الثانية، ويجب عند تصميم هذا النوع من القنوات أن يكون ميلها الطولي صغيراً، بحيث يكون الفارق بين منسوبي المياه أمام محطة التوليد وخلفها أكبر ما يمكن، مما ينتج عنه إنتاج أكبر للطاقة. إن تحقيق شرط الميل الصغير يقتضي أن يكون المقطع العرضي للقناة كبيراً، والخشونة صغيرة، وهنا تبرز ضرورة استخدام تكسية بيتونية ناعمة، أو إسفلتية بيتونية للجوانب والقعر.

ج- **قنوات نقل وصرف المياه من المصانع:** يقوم هذا النوع من القنوات بصرف المياه الناتجة عن العمليات الإنتاجية والاستعمالات المختلفة لها في المصانع إلى الأنهار القريبة، وهي تمتاز بشكلٍ أساسي بقصرها، وبميلها الطولي الكبير، لذلك فهي غالباً ما تكون على شكل مساقط مائية (مدرجات)، أو مسيلات مائية (قنوات ذات ميل كبير).

ح- **قنوات أحواض الأسماك:** يتم بوساطة هذه القنوات جر المياه من المورد المائي إلى أحواض تربية الأسماك، وهي لا تختلف كثيراً عن قنوات الري، إلا أنها تكون غالباً أقصر منها، والغزارات المارة عبرها صغيرة.

خ- **قنوات تعويم الأخشاب:** تُستخدم لنقل الأخشاب من الغابات إلى أماكن التصنيع، وقد صار إنشاء هذا النوع من القنوات نادراً في العالم.

د- **قنوات الملاحة:** تُستعمل هذه القنوات كطرق مائية ذات مقاطع عرضية مناسبة تسمح بمرور السفن عبرها، ويتم اختيار هذه المقاطع وفق مقاييس، ومواصفات خاصة.

ذ- **قنوات متعددة الوظائف:** بما أن إنشاء القنوات، ولاسيما الكبيرة منها، أو التي تمتد لمسافات طويلة يُعد من الأعمال الهندسية ذات الكلفة العالية، لذلك يجب السعي دوماً لأن تقوم القناة الواحدة بتأدية أكثر من وظيفةٍ في وقتٍ واحد، وعليه يمكن أن يُصادف مثلاً قنوات لتأمين مياه الشرب والري، وقنوات للري، ولنقل المياه إلى المحطات الكهرومائية، وقنوات للملاحة، ولنقل المياه إلى محطات توليد الطاقة، و...الخ.

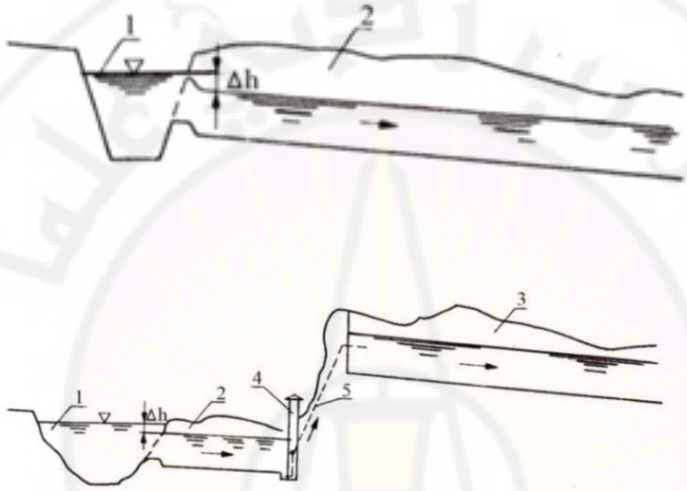
تُعد قنوات الري وقنوات مياه الشرب وقنوات الملاحة من أقدم المنشآت المائية التي أُنشئت عبر التاريخ. ففي سنة 400 قبل الميلاد بُنيت في مصر قناة ربطت بين نهر النيل والبحر الأحمر، وفي سنة 500 قبل الميلاد أُنجزت قنـــاة بطول 600 كيلومتر ما بين مملكة بابل في بلاد ما بين النهرين ومصب نهر دجلة على شط العرب.

2. 3. 1. 1 حسب طريقة التغذية بالمياه:

تُصنَف القنوات حسب هذا المعيار إلى:

- **قنوات تجري إليها المياه بالراحة:** هي القنوات التي تتدفق إليها المياه من المورد المائي (نهر أو بحيرة أو خزان اصطناعي أو.... الخ) نتيجة الفرق الذي يكون صغيراً غالباً فيما بين منسوبي المياه في المورد من جهة، وفي القناة من جهة أخرى، أي أن الجريان يتم من المورد إلى القناة تحت تأثير الثقالة الأرضية (الشكل 1-1-a).
- **قنوات تجري إليها المياه بالضخ:** هي القنوات التي يكون المنسوب المطلوب للمياه فيها أعلى من منسوب المياه في المورد المائي (يكون الفرق كبيراً عادةً)،

مما يستدعي ضخ المياه إلى الارتفاع المطلوب لتتابع جريانها لاحقاً بالراحة على طول القناة، أو يُلجأ إلى ضخها مرة أخرى على الأجزاء التالية الواقعة على مستويات أعلى إن وُجدت (الشكل 1–1–b).



الشكل (1.1). أنواع القنوات حسب طريقة تغذيتها بالمياه.

(a). قناة تجري إليها المياه بالراحة، **(b).** قناة تجري إليها المياه بالضخ.

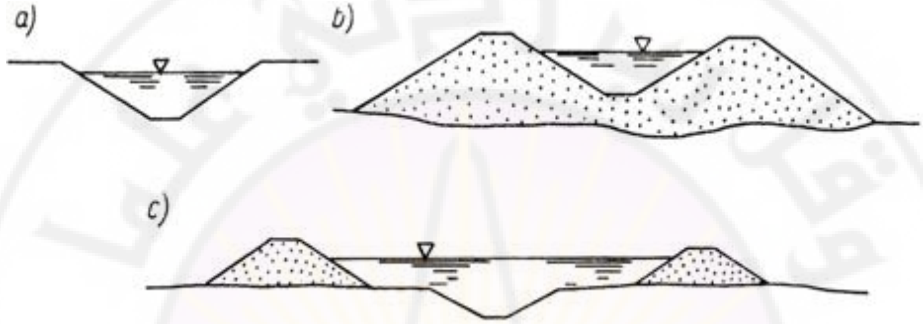
1– مورد مائي، **2**– قناة يجري إليها الماء بالراحة، **3**– قناة يجري إليها الماء بالضخ، **4**– مضخة، **5**– أنبوب ضخ.

3. 3. 1. 1 حسب العلاقة بين منسوب المياه في القناة ومنسوب الأرض الطبيعية:

يُميز حسب هذا التصنيف الأنواع الآتية للقنوات:

- **قنوات تُنفذ في الحفر:** وذلك عندما يكون منسوب المياه في القناة أخفض من منسوب الأرض الطبيعية المجاورة (الشكل 1–2–a).
- **قنوات تُنفذ في الردم:** تُقام هذه القنوات عندما يكون منسوب المياه في القناة أعلى من منسوب الأرض الطبيعية (الشكل 1–2–b).
- قنوات تُنفذ في نصف حفر ونصف ردم: انظر (الشكل 1–2–c).

إن أفضل القنوات وفق التصنيف المذكور أعلاه لجهة الناحية الاقتصادية، وشروط تنفيذ الأعمال المتعلقة بإنشائها هي القنوات ذات المقاطع، التي ينتج عن تنفيذها كميات حفر قليلة، أو تكون طبقات الردم المطلوبة لها بسماكاتٍ صغيرة، إلا أن معظم القنوات، ولاسيما قنوات الري يُنفذ عملياً في نصف حفر ونصف ردم، لتحقيق شرط الإشراف.



الشكل (1-2). أنواع القنوات حسب العلاقة بين منسوب الماء في القناة، والأرض الطبيعية.
a) قناة في الحفر، **b)** قناة في الردم، **c)** قناة في نصف حفر ونصف ردم.

4.3.1.1 حسب شكل المقطع العرضي:

يمكن تصنيف القنوات حسب شكل المقطع العرضي إلى:

- **قنوات ذات مقطع عرضي شبه منحرف:** هي أكثر أنواع القنوات استخداماً لفعاليتها الهيدروليكية من جهة، ولسهولة تنفيذها واستثمارها، ولاسيما في الترب غير الصخرية من جهة أخرى، (الشكل 1-3-a).
- **قنوات ذات مقطع عرضي مستطيل:** تُستخدم هذه القنوات على نطاق أضيق من القنوات شبه المنحرفة، ويُلجأ إلى تنفيذها عادةً عندما تكون التربة صخرية، أو عندما لا يتوافر العرض اللازم لإنشاء قناة شبه منحرفة، ولاسيما في المناطق السكنية (الشكل 1-3-b).
- **قنوات ذات مقطع عرضي مثلثي:** يندر استخدامها، وتُصادف أحياناً كمراوٍ حقلية في شبكات الري (الشكل 1-3-c).

- **قنوات ذات مقطع عرضي نصف دائري، أو بيضوي، أو قطع مكافئ عميق:** يُستخدم النوع الأخير منها (النسبة بين العمق والعرض كبيرة) بشكلٍ واسعٍ على شبكات الري في البلدان ذات المُناخ الحار، وذلك على شكل قنوات بيتونية مرفوعة (الشكل1-3-d،e,f).
- **قنوات ذات مقطع عرضي على شكل قطع مكافئ عريض ومسطح:** تُنشأ كقنوات جانبية على ضفاف الأنهار لتشكل ما يُسمى قنوات المهارب، التي تستوعب كميات المياه الزائدة، التي تتدفق إلى مجرى النهر عند حدوث الفيضانات، وتبقى هذه القنوات جافة طيلة الســنة تقــريباً (الشكل 1-3-g).

إن القنوات ذات المقاطع العرضية من a إلى g المبينة على الشكل (1-3) تُسمى قنوات مكشوفة أو مفتوحة، أما إذا كان مجرى القناة مغطىً من الأعلى فتُسمى قنوات مغطاة أو مغلقة، ولكن بشرط توافر حجمٍ من الهواء فوق سطح المياه الجارية في القناة ارتفاعه يتراوح غالباً بين 20% و30% من ارتفاع المقطع العرضي للقناة.

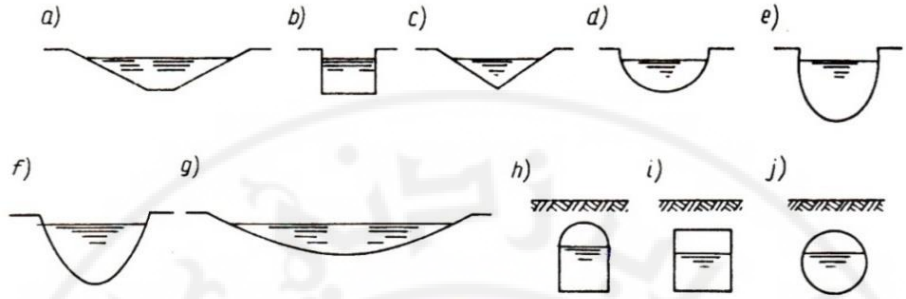
تُستخدم القنوات المغطاة عندما يتقاطع مسارها مع بعض العوائق، بحيث يتوجب تنفيذها تحت سطح الأرض، أو عندما تبرز ضرورة حماية المياه الجارية فيها من بعض التأثيرات الخارجية، كحمايتها من التجمد في المناطق الباردة (الشكل 1-3-h, i, j).

5. 3. 1. 1 حسب غزارة الجريان:

يمكن حسب هذا المعيار مصادفة تصنيفات مختلفة، منها التصنيف الذي قام به Ibad-Zade سنة 1985:

- قنوات كبيرة جداً، تمرر المياه بغزارة: $Q>1000\ m^3/s$
- قنوات كبيرة، تمرر المياه بغزارة: $Q=300\text{-}1000\ m^3/s$
- قنوات متوسطة، تمرر المياه بغزارة: $Q=50\text{-}300\ m^3/s$
- قنوات صغيرة، تمرر المياه بغزارة: $Q<50\ m^3/s$

وفق هذا التصنيف، فإن كل القنوات المنفذة في مشاريع الري السورية هي صغيرة.



الشكل (1-3). أشكال المقطع العرضي للقنوات.

مقطع مكشوف:

a) شبه منحرف، b) مستطيل، c) مثلثي، d) نصف دائري، e) بيضوي، f) قطع مكافئ عميق، g) قطع مكافئ مسطح.

مقطع مغطـــى:

h) قوسي، **i)** مستطيل، **j)** دائري.

2. 1 العناصر الرئيسية للقناة:

2.1. 1 خط سير القناة (شكل محور القناة في المسقط الأفقي):

1. 1. 2. 1 تمهيد:

تُعد مسألة اختيار خط سير القناة من أهم المسائل التي يجب أن تُدرس بعناية عند تصميم القناة، حيث إن الوصول إلى اختيار صحيح لخط السير يؤثر بدرجة كبيرة في حجم الأعمال المرتبطة بإنشاء القناة، وفي كلفتها، وكفاءة عملها، والسهولة والمرونة في تخديمها وصيانتها واستثمارها.

عند اختيار خط سير القناة، ولاسيما إذا كانت كبيرة، وتنقل المياه إلى مسافات طويلة، فإنه تجري المقارنة بين مجموعة من الحلول، التي يتم اقتراحها بعد الوضع في الحسبان الشروط التي سيرد ذكرها لاحقاً، ثم يُختار منها الحل الأفضل وفق أولوية هذه الشروط.

2.1.2.1 العوامل المؤثرة في اختيار خط سير القناة:

أ- **الظروف الطبوغرافية:** يُقصد بالظروف الطبوغرافية كل ما يتعلق بشكل تضاريس المنطقة التي ستجتازها القناة، لذلك لابد من توافر مسح طبوغرافي تفصيلي لهذه المنطقة قبل اختيار خط سيرها.

ب- **الظروف الاقتصادية:** عند اختيار خط سير القناة يجب الوضع في الحسبان القيمة الاقتصادية للمناطق التي سيمر عبرها، ولاسيما ما يتعلق بصلاحية هذه المناطق للزراعة أولاً، وبكونها تحتوي على غابات أم لا ثانياً، ويجب خلال ذلك السعي دوماً إلى عدم المساس بحدود الملكيات.

ت- **الظروف الجيولوجية:** تؤثر هذه الظروف بشكل كبير في اختيار خط سير القناة، وهي تضمن ضرورة التعرف على البنية الجيولوجية للمناطق التي ستجتازها القناة، بحيث يتم تحاشي الأماكن التي يمكن للظروف الجيولوجية السائدة فيها أن تؤثر في شروط، وطريقة إنشاء القناة من جهة، وتجنب الأراضي التي يمكن أن يؤدي اجتياز القناة لها إلى حدوث مشاكل مختلفة عند الاستثمار من جهة أخرى، وبشكلٍ عام يجب الابتعاد عن:

- المناطق ذات الانهيارات، والانزلاقات الأرضية.
- الأماكن ذات الترب الصخرية، لأن إنشاء القناة في هذا النوع من الترب يتطلب زمناً أطول، وقوة عاملة أكبر بنحو من خمسة إلى ستة أضعاف القوة العاملة اللازمة للتنفيذ في الترب العادية (غير الصخرية). كما وأن التنفيذ في ترب صخرية يتطلب آليات، وتقانات خاصة.
- المناطق التي يمكن أن تظهر فيها حركات تكتونية.
- الأماكن ذات الترب الرملية الناعمة، والناعمة جداً، وإذا اقتضت الحاجة ضرورة إقامة القناة فوق هذه الترب، فيجب القيام باختبارات جيوتيكنيكية مسبقة دقيقة، لأن زاوية الاحتكاك الداخلي لهذه الترب تكون صغيرة، مما يتطلب أن تكون الميول الجانبية للقناة منبسطة جداً، لتأمين استقرارها.

- الأراضي ذات الترب عالية النفاذية (حصى أو حجارة أو ... الخ)، لأن ذلك يؤدي إلى خلق صعوبات متعددة في عمليات تكتيم، وتكسية مجاري القنوات، وإلى زيادة الفواقد المائية بالرشح، وتهديد المناطق المجاورة بالغرق.
- الأماكن التي توجد فيها ترب اللوس، أو الترب العضوية والمعدنية، أو الترب التي تحتوي أملاحاً ذوابة في الماء.

ث- **الظروف الهيدرولوجية:** ولاسيما فيما يتعلق بوجود المياه الجوفية في منطقة إنشاء القناة، لذلك يجري عند تصميم خط سير القناة القيام بتحرٍ مسبق عن وجود المياه الجوفية، وتحديد مناسيبها، لما لذلك من تأثير في ظروف الاستثمار. فعند التنفيذ يزيد وجود المياه الجوفية عند بعض أجزاء القناة من صعوبة العمل على هذه الأجزاء، ويطيل زمن الإنجاز، كما وأنه يتطلب اللجوء إلى تكنولوجيا خاصة في التنفيذ، مما ينعكس في كل الأحوال على زيادة كلفة الإنشاء. أما عند الاستثمار، فإن وجود المياه الجوفية على مناسيب قريبة من قعر القناة، ولاسيما عندما تكون الفواقد المائية بالرشح كبيرة يمكن أن يؤثر في استقرار القناة، لذلك يجب دوماً استبعاد المناطق التي توجد فيها مياه جوفية على أعماق قريبة من سطح الأرض.

ج- **ظروف التنفيذ:** تلعب هذه الظروف دوراً أساسياً في اختيار خط سير القناة وتحديده، ولاسيما ما يتعلق بالطرائق اللازمة لنقل مواد البناء، وبظروف التزويد بالماء والطاقة الكهربائية، وبإمكانية استخدام الآليات والمعدات نفسها على كامل طول القناة أثناء الإنشاء، ولتوفير هذه الإمكانية يجب السعي إلى اختيار محور القناة، بحيث يمر في المناطق ذات الظروف الجيولوجية، والهيدرولوجية المتشابهة.

ح- **الظروف البيئية:** يُقصد بالظروف البيئية المحافظة على النباتات الإقليمية، وعدم التعرض للحيوانات البرية المحلية، أو إفساد الظروف التي توجد وتنمو فيها حيوانات أو نباتات نادرة، وذلك في المناطق الواقعة بجوار القنوات، ويترتب على ذلك عملياً عدم تجفيف الأراضي القريبة من القناة، أو إزالة ينابيع المياه فيها، أو الاعتداء على الغابات، وأماكن تواجد أشجار الصنف الواحد الواقعة ضمنها.

وكذلك عدم السماح بغمر الجوار، الذي يمكن أن ينتج عن ارتفاع منسوب المياه في القناة، وجريانها فوق الأكتاف، ويجب أيضاً ألا يؤدي اختيار خط سير القناة إلى تشويه الصورة الطبيعية للأراضي التي تجتازها القناة، بل إن مسارها يجب أن يكون متوافقاً ومنسجماً مع عناصر هذه الصورة.

إن الظروف التي ورد الحديث عنها سابقاً تتعلق بشكل رئيس بالقنوات الكبيرة، وذلك بغض النظر عن الهدف من إنشائها، إلا أن هناك بعض العوامل الأخرى الخاصة التي يجب أن توضع في الحسبان عند اختيار مسار كل نوعٍ من أنواع القنوات، فخط سير قنوات الري مثلاً يجب أن يُختار بحيث تحقق مناسيب المياه فيها شرط الإشراف على كامل مساحة الأراضي الزراعية التي ستُرويها.

إذا كانت القناة في منطقة منبسطة أو ذات ميول صغيرة، فإن اختيار محورها يجب أن يؤمن الميل الضروري لجريان المياه فيها بالراحة، ويمكن أن يأخذ أقصر طولٍ له، بحيث يتألف من أجزاءٍ مستقيمةٍ طويلة مع منحنيات انتقال ذات أنصاف أقطار كبيرة. أما في المناطق ذات التضاريس المتنوعة، فمن الضروري إنشاء المدرجات والمسيلات المائية على القنوات، وذلك للتغلب على الفرق ما بين المناسيب في مناطق الميول الكبيرة، وبشكل عام يمكن القول إنه قبل اختيار، وتصميم خط سير القناة يجب:

- توافر المعطيات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية والاقتصادية والبيئية للمنطقة، التي ستُنشأ عبرها القناة.
- معرفة غزارة الجريان المطلوب تمريرها عبر القناة.
- التعرف بشكلٍ تقريبي على مناسيب سطح المياه التي ستنقلها القناة.

3.1.2.1 الشروط الواجب توافرها في تصميم خط سير القناة:

1) **أن يكون طول القناة أقصر ما يمكن:** إن تخفيض طول القناة يؤثر بشكل أساسي في التقليل من حجوم الأعمال المتعلقة بإنشاء القناة، وبالتالي تخفيض قيمة الأكلاف. كما ويُسمح بزيادة الميل الطولي، مما يمكّن من تصغير المقطع العرضي للقناة، ويمكن اختيار المسار الأقصر للقناة في بعض الحالات

الخاصة، وذلك إذا كانت المنطقة التي ستمر عبرها القناة منبسطة، أو ذات ميول صغيرة، أو عندما تكون الشروط الجيولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة متماثلة، أو عندما لا تبرز ضرورة أن تتقاطع القناة مع المنخفضات والأغوار والأنهار، أو أن تتجاوز المناطق السكنية، والمعامل والمصانع و...الخ.

إن اجتياز خط سير القناة لهذه العوائق مع الاحتفاظ بشرط أن يكون طول القناة قصيراً يتطلب حجوم أعمال كبيرة، وتكاليف مرتفعة، لذلك من غير المستحسن في هذه الحالة اللجوء إلى تقصير طول القناة.

2) **تفادي مرور القناة عبر المدن والتجمعات السكنية والمعامل والورش الصناعية:** وذلك للتقليل من الأعمال الإضافية، التي يمكن أن تزيد من كلفة الإنشاء من جهة، وتسبب الكثير من الإرباكات في تشغيل القناة من جهة أخرى.

3) **التقليل ما أمكن من التقاطعات مع الأنهار والأدوية والمنخفضات والخطوط الحديدية والطرق والقنوات الأخرى:** لأن التقاطع مع هذه العوائق يتطلب إقامة منشآت خاصة غالباً ما تكون معقدة ومكلفة.

4) **تنفيذ القناة في الحفر، وتجنب ما أمكن أن تكون في الردم:** لأن التنفيذ في الردم يمكن أن يهدد أمان القناة والمناطق المجاورة، ولأن كلفته عالية، وتنفيذه صعب، ويستغرق وقتاً طويلاً، كما أن تأمين استقرار الأجزاء المردومة من القناة يقتضي القيام بأعمال إضافية غالباً ما تكون مجهدة ومكلفة. إضافة إلى ما سبق، فإن تنفيذ القناة في الردم يمكن أن يخل بالظروف البيئية السائدة. فهو يمكن أن يؤدي إلى قطع المسالك الخاصة التي تعبرها الحيوانات في مواسم هجرتها، أو إلى الإخلال بالانسجام في الصورة الطبيعية للمناطق المجاورة للقناة.

يمكن أن تُنفذ القنوات في الردم في حالات خاصة جداً، وعلى أجزاء قصيرة منها فقط، وذلك عندما لا تتوافر إمكانية تفاديه، أو عندما لا يكون استخدام حلولٍ أخرى مجدياً أو ممكناً، كما في الحالة التي يطلب فيها أن يكون سطح

المياه في بعض أجزاء القناة واقعاً على مناسيب محددة (مثلاً على قنوات الري، وقنوات الملاحة، وقنوات محطات الطاقة الكهربائية، و..... الخ).

5) **تفادي أن تُنفذ القناة في الحفر العميق**، أو في الأماكن ذات الترب الضعيفة أو الصخرية أو العضوية أو الترب، التي تحتوي على أملاح قابلة للذوبان في المياه بنسبة أكبر من 3%.

6) **تحاشي المناطق التي يكون فيها منسوب المياه الجوفية مرتفعاً**: لأن ذلك يؤدي إلى صعوبة في التنفيذ من جهة، وإلى ضرورة استخدام تكنولوجيا خاصة في إنجاز الأعمال من جهة أخرى، وهو ما ينعكس في الحالتين على زيادة كلفة الإنشاء، وإطالة زمن التنفيذ.

7) **استبعاد إقامة القنوات على المنحدرات:** لأن ذلك يتطلب دراسة دقيقة جداً للأرضية التي ستُنشأ عليها القناة، وبشكل عام لا يُسمح بشق القنوات فوق المنحدرات ذات الفجوات والانهيارات، أو في مناطق الانزلاقات الأرضية.

8) **استخدام ما أمكن تكنولوجيا تنفيذ واحدة على طول القناة**، ويجب أن يكون محورها قريباً من المنطقة التي سيتم إليها نقل التربة الناتجة عن الحفر، ومن منطقة جلب الترب اللازمة للردم، ومن طرق نقل العمال والآليات ومواد البناء، وكذلك من الأماكن المناسبة لإقامة ساحات العمل عليها.

9) **سهولة الاستثمار والصيانة** وقرب مسار القناة من خط الطاقة الكهربائية، وخطوط الاتصالات، وطرق المواصلات.

عندما تغير القناة جهة سيرها، فإن ذلك يجب أن يتم عبر منحنٍ (منحني انتقال)، فإذا كانت مخصصة للري أو الصرف، وكانت غير مكسية، وكان عرض قعرها أكبر من 0.50m، فإن منحني الانتقال يُصـــمم بنصف قطـــر $R \geq 20m$.

ومن العلاقات شائعة الاستخدام لحساب قيمة نصف القطر R لقنوات غير مكسية، ومنفذة في تربة طينية رملية علاقة DAVIS:

$$R = 11 \cdot \nu^2 . \sqrt{A} + 12m \qquad (1\text{-}1)$$

حيث:

R– نصف قطر منحني الانتقال [m].

ν– السرعة الوسطية لجريان المياه في القناة [m/s].

A– مساحة سطح المقطع المائي في القناة [m^2].

أما إذا كانت القناة مكسية، فإن:

$$R \cong 2.3\ b$$

حيث:

R– كما سبق، نصف قطر منحني الانتقال [m].

b– عرض قعر القناة [m] .

وعندما يتغير اتجاه مسار القناة بزاوية أصغر من 90^o، ويكون $b \leq 0.5m$، فإنه يمكن تنفيذ القناة دون منحني انتقال.

2.2. 1 المقطع الطولي:

تتضمن دراسة المقطع الطولي للقناة تحديد ما يأتي:

- مناسيب قعر القناة، وميله الطولي.
- مناسيب السطح الحر للماء الجاري في القناة، وميله الطولي.

وعندما يكون الجريان منتظماً في القناة، وهو السائد غالباً، فإن الميل الطولي للسطح الحر للماء يكون مساوياً الميل الطولي لقعر القناة.

حسب الهدف الذي تُنشأ من أجله القناة، فإن مقطعها الطولي يجب أن يُصمم بحيث:

- يكون منسوب المياه في القناة متوافقاً مع منسوب المياه عند المدخل إليها، وهو ما يتقرر بناءً على مناسيب الماء في المصدر المائي.

- يكون الميل أو الميول على طول القناة، بحيث لا يؤدي إلى حت وجرف قعر وجوانب القناة، أو إلى ترسب الطمي فيها، وألا تقل قيمته عن القيم الدنيا المسموح بها، والتي يمكن تحديدها تبعاً لغزارة الجريان.

فإذا كانت القناة صغيرة، وغزارة المياه التي تجري فيها أقل من $1.00m^3/s$، فإن قيمة الميل تُؤخذ $S_o=0.30‰$، أما للقنوات الأكبر، فإن $S_o=0.20‰$، وعندما تكون القناة عميقة ومبطنة بالبيتون أو بالبيتون والإسفلت، وتمرر مياهاً لا تحمل مواد عالقة بغزارة أكبر من $30.0m^3/s$، فإن قيمة الميل يمكن أن تكون $S_o=0.10‰$ ، وتصل حتى $0.05‰$، وبشكل عام يمكن القول إنه إذا كانت المياه تحمل مواد عالقة بكمياتٍ كبيرة، فإن الميول يجب أن تزداد باتجاه محور الجريان على ألا تؤدي هذه الزيادة إلى تجاوز سرعة الجريان للقيم العظمى المسموح بها، التي يمكن أن تسبب حت وجرف جوانب القناة وقعرها. من جهة أخرى يجب ألا تقل قيم الميول عن القيم الدنيا المسموح بها، والتي ينتج عنها ترسيب للمواد العالقة في مجرى القناة، وتُحدد قيمة السرعة العظمى المسموح بها بدلالة معادلات وصيغ مختلفة. فحسب النتائج والتوصيات التي توصلت إليها البحوث والدراسات التي قام بها مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي USBR (US Bureau of Reclamation) يمكن إيجاد قيمة هذه السرعة في القنوات، التي تُنفذ في ترب غير متماسكة من الجدول (1−1)، الذي يعطي قيم السرعة العظمى المسموح بها عندما يكون عمق المياه في القناة $h=1.0m$، أما إذا كان خلاف ذلك $(h\neq1.0m)$، فإن القيم الواردة فيه تُضرب بمعامل تصحيح (α) تُؤخذ قيمته مباشرةً من الجدول (1−2)، أو تُحسب بدلالة العلاقة:

$$\alpha=\sqrt[5]{h} \qquad (2\text{-}1)$$

الجدول (1-1). السرعة العظمى المسموح لترب غير متماسكة وفق USBR، عندما h=1.0m.

القطر الوسطي للحبيبات [mm]	السرعة الوسطية المسموح بها [m/s]	القطر الوسطي للحبيبات [mm]	السرعة الوسطية المسموح بها [m/s]
0.005	0.149	15.0	1.201
0.05	0.201	25.0	1.399
0.25	0.299	40.0	1.801
1.0	0.549	75.0	2.399
2.5	0.649	100.0	2.701
5.0	0.799	150.0	3.301
10.0	1.00	200.0	3.901

الجدول (1-2). قيم معامل التصحيح α.

العمق الوسطي [m]	0.30	0.60	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
قيمـــــة المعامل α	0.80	0.90	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25

أما قيمة السرعة الدنيا الحدية التي لا تسبب الترسيب، فيمكن حسابها بدلالة علاقاتٍ متعددة، منها علاقة Samo (1959):

$$v = 3.83 . d^{1/3} . h^{1/6} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث:

d- القطر الوسطي لحبيبات المواد المحمولة[m].

h- عمق الماء في القناة[m].

ويمكن أيضاً إيجاد قيم هذه السرعة عن طريق الاستعانة بالجدول (1-3).

الجدول (1–3). قيم السرعة الدنيا المسموحة حسب Gonczarov.

التركيب الحبي للمواد المحمولة	العمق الوسطي [m]	قيم السرعة الدنيا التي لا تسبب الترسيب عندما تكون نسبة المواد المحمولة ذات الحبيبات التي قطرها الوسطي أكبر من 0.005mm						
		0.1%	0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	7.5%	10%
25% من الحبيبات ذات قطر وسطي: 0.05-0.25mm و75% من الحبيبات ذات قطر وسطي: 0.005-0.05mm	0.30	0.22	0.28	0.32	0.39	0.45	0.49	0.52
	0.60	0.28	0.37	0.43	0.52	0.60	0.66	0.70
	1.00	0.34	0.45	0.52	0.64	0.75	0.82	0.87
	1.50	0.39	0.54	0.62	0.76	0.89	0.97	1.04
	2.00	0.44	0.60	0.70	0.86	1.01	1.10	1.18
	2.50	0.48	0.66	0.77	0.99	1.11	1.22	1.30
	3.00	0.51	0.71	0.83	1.02	1.20	1.32	1.41
75% من الحبيبات ذات قطر وسطي: 0.05-0.25mm و25% من الحبيبات ذات قطر وسطي: 0.005-0.05mm	0.30	0.28	0.37	0.42	0.50	0.58	0.64	0.68
	0.60	0.36	0.48	0.55	0.67	0.78	0.85	0.91
	1.00	0.43	0.59	0.68	0.83	0.97	1.06	1.12
	1.50	0.51	0.69	0.80	0.98	1.15	1.26	1.35
	2.00	0.57	0.78	0.91	1.11	1.31	1.43	1.53
	2.50	0.61	0.86	0.99	1.22	1.44	1.57	1.69
	3.00	0.66	0.92	1.07	1.32	1.55	1.70	1.82

إن الميول الطولية تتناقص مع ازدياد مساحة المقاطع العرضية للقنوات، وبصورةٍ عامة يمكن لقنوات الري اعتماد القيم المبينة في الجـــدول (1–4).

تُعد السرعة الوسطية للجريان في القنوات المكشوفة العامل الأساسي في تحديد الميل الطولي، وتُؤخذ عادة (1.0-2.0m/s). ويُفضل في قنوات الري، ولاسيما عندما تكون

المياه محملة بالمواد الرملية أن تبقى قيمة هذه السرعة بحدود (0.80 -1.50m/s). وعموماً يجب أن:

يتم إيصال المياه للمستهلك سواء في نهاية القناة، أو قبلها وفق المناسيب المطلوبة.

يجري تصميم المقاطع الطولية للقنوات، بحيث لا يرتفع منسوب المياه في القناة إلى المستوى الذي يبدأ الماء عنده بالجريان فوق الأكتاف الجانبية، وذلك لمنع انجرافها. ولتحقيق ذلك يجب رفع منسوب الأكتاف فوق المنسوب الأعظمي، الذي يمكن أن يصله السطح إلى المياه في القناة.

الجدول (1–4). قيم الميول الطولية لقناة ري مكسية بالإسمنت، تبعاً لغزارة الجريان فيها.

الغزارة المارة في قناة مكسية بالإسمنت $[m^3/s]$	**الميل الطولي لقعر القناة** [cm/km]
$Q > 50$	5 ÷ 10
$50 > Q > 30$	10 ÷ 15
$30 > Q > 10$	15 ÷ 25
$10 > Q$	25 ÷ 30

يُسمى الفرق بين المنسوب الأعظمي المحسوب، وبين منسوب الأكتاف الجانبية بالارتفاع الاحتياطي، أو الارتفاع الحر، ويمكن أن تُؤخذ قيمه من الجدول (1–5).

وعندما تكون القناة في الردم، فإن قيم الارتفاع الإضافي الواردة في الجدول (1–5) يمكن ألا تكون كافيةً لتحقيق الأمان اللازم لمنع انجراف الأكتاف على جانبي القناة، لذلك يُستحسن رفع منسوب الأكتاف فوق المنسوب الأعظمي للسطح الحر للمياه، بحيث يأخذ القيم الواردة في الجدول (1–6)، التي يوصي بها مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي USBR.

الجدول (1–5). قيم الارتفاع الإضافي فوق المنسوب الأعظمي للمياه في قنوات الري.

غزارة الجريان في القنـــــاة $[m^3/s]$	الارتفاع الإضافي [m]	
	قناة ترابية (غير مكسية)	قناة مكسية بطبقة بيتونية أو بيتونية مسلحة أو إسفلتية
> 1.0	0.20	0.10 ÷ 0.15
1.0 ÷ 10	0.30	0.20
10 ÷ 30	0.40	0.30
30 ÷ 50	0.50	0.35
50 ÷ 100	0.60	0.40

الجدول (1– 6). قيم الارتفاع الإضافي فوق المنسوب الأعظمي للمياه في قنوات ري منفذة في الردم.

غزارة الجريان في القناة $[m^3/s]$	الارتفـــاع الإضافي [m]
1.0	0.50
10.0	0.85
30.0	1.10
100.0	1.40

2.3. 1 المقطع العرضي للقناة:

1. 3. 2. 1 أسس اختيار شكل المقطع العرضي:

إن مسألة اختيار شكل المقطع العرضي، وأبعاده لقناة يجب أن توضع في الحسبان عند دراسة الاحتمالات المختلفة لخط سير القناة، ومقطعها الطولي بحيث:

- يكون المقطع العرضي فعالاً هيدروليكياً، ويؤمن جريان المياه عبره بالغزارة المطلوبة.
- لا يسمح بجرف جوانب القناة وقعرها، أو ترسيب الطمي، أو زحف الجوانب وانهيارها (تأمين استقرار المقطع العرضي).
- يكون الجوار محمياً من خطر جريان المياه فوق الأكتاف، أو من إمكانية تسربها عبر القعر والجوانب.
- يمكن التقليل من الفواقد المائية الناتجة عن الرشح، والاهتمام بمسألة التبخر، ولاسيما في البلدان الحارة والجافة.
- تتم حماية المياه من التلوث.
- تتوافر إمكانية مكننة جميع أعمال التنفيذ، وأن تكون كلفة الإنشاء والاستثمار أقل ما يمكن.
- تكون ظروف استثمار القناة، وصيانتها وإصلاحها وتخديمها سهلة.

إضافة للأسس العامة المذكورة آنفاً، فإن هناك أسساً خاصة يجب مراعاتها عند اختيار المقطع العرضي، وهي الأسس التي تتعلق بالظروف المحلية السائدة على بعض أجزاء القناة (كمرور القناة بمنحدر، أو اجتيازها لمستنقع، أو غابة مثلاً)، أو بالوظيفة التي ستقوم بها القناة، فمثلاً عند تصميم المقطع العرضي لقناة ملاحة يجب الوضع في الحسبان شكل وأبعاد القوارب والسفن، التي ستُستخدم للنقل المائي عبر القناة.

بملاحظة الأسس السابقة سواء العامة منها أو الخاصة يمكن الاستنتاج بأن هناك بعض العوامل، التي تؤثر في مسألة اختيار شكل المقطع العرضي وأبعاده، ولاسيما ما يتعلق بظروف عمل القناة والظروف الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية والاقتصادية، وكذلك الظروف التنفيذية والظروف الطبيعية غير القابلة للضبط، كالنباتات المائية والحيوانات الحافرة والإنسان.

2. 3. 2. 1 شكل المقطع العرضي:

يمكن للمقطع العرضي للقناة أن يأخذ أشكالاً هندسية مختلفة، فهو إما أن يكون على شكل شبه منحرف أو مستطيل أو مثلث أو نصف دائرة أو قطع مكافئ أو .....الخ، إلا أن المقطع شبه المنحرف هو أكثر المقاطع استخداماً في مشاريع الري، وذلك لفعاليته الهيدروليكية، وسهولة تنفيذه من حيث تسوية السفوح ورصها وتكسيتها وصيانتها واستقرارها الجيد. إن المسألة الأساسية في تصميم المقطع شبه المنحرف هي تحديد قيمة العلاقة:

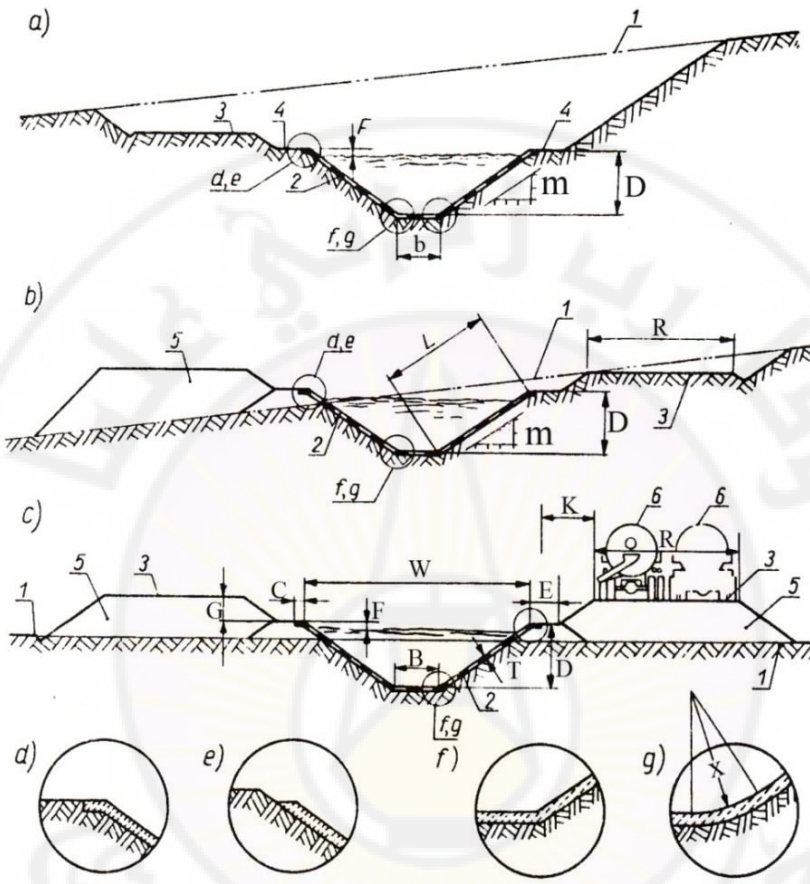
$$\beta = \frac{b}{h}$$

حيث:

b– عرض قعر القناة [m].

h– عمق الماء في القناة [m].

التي يمكن أن تأخذ مقادير مختلفة، وبالتالي يمكن الحصول على أبعاد متعددة للمقطع العرضي يُختار منها الأبعاد المقابلة للمقطع الأفضل هيدروليكياً، ولكن نظراً لارتفاع كلفة الحفر مع ازدياد العمق، وبإمكانية وجود مياه جوفية، وبعوامل أخرى متعددة لا يكون المقطع العرضي الأفضل هيدروليكياً هو الأفضل اقتصادياً، لذلك لا بد من إجراء دراسات فنية واقتصادية يتم على أساسها إجراء بعض التعديلات، وذلك تبعاً للظروف السائدة بهدف الحصول على قيم b وh المقابلة للمقطع الأفضل من الناحية الهيدروليكية والفنية والاقتصادية، ويمكن عملياً الاستعانة ببعض القيم النموذجية لأبعاد المقطع العرضي شبه المنحرف لقنوات الري التي تقترحها الهيئة الدولية للري والصرف **ICID** (**I**nternational **C**ommission of **I**rrigation and **D**rainage)، وذلك بناءً على نتائج بعض الدراسات التي قامت بها بهدف توحيد مقاسات الآليات والمعدات المستخدمة في عمليات إنشاء قنوات الري (انظر الشكل 1–4) والجداول من (1–7 وحتى 1–10).



الشكل (4.1). مقاطع عرضية نموذجية لقناة ري مكسية بالبيتون حسب ICID.

a) مقطع في الحفر، b و c) مقطعان في نصف حفر ونصف ردم، g,f,e,d) تفصيلات.

b– عرض قعر القناة، C– الطول الإضافي للتكسية فوق الكتف الجانبي للقناة،

D– عمق القناة، E– عرض الكتف الجانبي، F– الارتفاع الإضافي (الارتفاع الحر)،

G– ارتفاع الردم فوق منسوب الكتف الجانبي، K– البعد عن الجبالة، L– طول السفح، R– عرض الطريق الزراعي، m– الميل الجانبي لسفح القناة، T– سماكة التكسية، X– نصف قطر استدارة طبقة التكسية عند التقاء الجوانب مع القعر، W– عرض القناة من الأعلى.

1- الجوار، 2– طبقة التكسية، 3– طريق زراعي،

4– كتف جانبي، 5– ردم ترابي، 6– جبَّالة بيتون.

الجدول (1-7). قيم نموذجية لأبعاد المقطع العرضي لقناة ري مكسية ببلاطات بيتونية مصبوبة في المكان حسب ICID.

عمق القناة (D) [m]	**عرض قعر القناة** (b) [m]	**ميل الجوانب** (m) [-]
0.0 ÷ 0.5	0.4; 0.6; 0.8	1:1
0.5 ÷ 1.5	0.6; 0.8; 1.0; 1.5	1:1.5
1.5 ÷ 3.0	0.8; 1.0; 1.5; 2.0; 3.0	1:1.5
3.0 ÷ 5.0	3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 8.0	1:1.5 ; 1:20
5.0 ÷ 7.0	5.0; 6.0; 8.0; 10.0÷20.0	1:1.5; 1:20

الجدول (1-8). قيم نموذجية لأبعاد المقطع العرضي لقناة ري مكسية ببلاطات بيتونية مسبقة الصنع حسب ICID.

عمق القناة (D) [m]	**عرض قعر القناة** (b) [m]	**ميل الجوانب** (m) [-]
1.5 ÷ 2.0	1.0; 1.5; 2.0	1:1 1:1.5
2.0 ÷ 3.0	1.5; 2.0; 2.5; 3.0	1:1.5 1:2.0
> 3.0	2.0; 3.0; 4.0; 6.0; 8.0	1:1.50 1:2.0

الجدول (1-9). قيم نموذجية لعرض الأكتاف الجانبية والطريق الزراعي حسب ICID.

عمق القناة (D) [m]	**العرض الأصغري للأكتاف الجانبية** (E) [m]	**العرض الأصغري للطريق الزراعي** (R) [m]
0.5 ÷ 1.0	0.5 ÷ 1.0	4.0
1.0 ÷ 1.5	1.0	4.0
1.5 ÷ 2.0	1.0	4.0
2.0 ÷ 3.0	1.5	4.0
> 3.0	1.5	4.0

الجدول (1–10). قيم نموذجية لسماكة طبقة التكسية وللطول الإضافي [mm] لها ضمن الكتف الجانبي للقناة حسب ICID.

سماكة طبقة التكسية البيتونية (T)	الطول الإضافي للتكسية (C)
50 ÷ 75	100 ÷ 200
75 ÷ 100	100 ÷ 200
100 ÷ 125	100 ÷ 200
125 ÷ 150	150 ÷ 300

3. 1 الحساب الهيدروليكي للقنوات:

3.1. 1 مدخل:

عند جريان المياه في المجاري المائية المكشوفة الطبيعية أو الاصطناعية، فإن قيم عناصر الجريان يمكن أن تتغير مع الزمن أو المسافة، وبشكل عام يمكن كتابة العلاقة: $v = f(x,t)$، حيث:

v– سرعة الجريان.

x – موقع المقطع العرضي المدروس في المجرى المائي.

t– الزمن.

باشتقاق العلاقة السابقة بالنسبة للزمن ينتج:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \upsilon \frac{\partial v}{\partial x} \qquad (4\text{-}1)$$

واعتماداً على قيم حدود العلاقة (4-1) يمكن تصنيف الجريانات وفق ما يأتي:

أ- عندما يكون الحد: $\frac{dv}{dt} = 0$ يكون الجريان مستقراً ومنتظماً.

ب- عندما يكون: يكون الجريان مستقراً غير منتظم.

ت- عندما الحد يكون: يكون الجريان غير مستقر.

يُصادف الجريان المستقر المنتظم عملياً في القنوات ذات المقاطع العرضية المنتظمة،

أما في المجاري المائية الطبيعية ذات المقاطع العرضية غير المنتظمة، فإن هذا النوع من الجريان لا يحدث، رغم أن استخدام أسس ومبادئ حساب الجريان المستقر المنتظم لهذه المجاري يعطي عملياً نتائج ذات دقة كافية.

يكون الجريان المستقر منتظماً إذا تحققت الشروط الآتية:

- غزارة الجريان ثابتة.
- شكل ومساحة المقطع العرضي للمجرى ثابتان.
- سرعة الجريان في المجرى المائي غير متغيرة مع الزمن أو المسافة.

أما الجريان المستقر غير المنتظم، فيتميز بتغير:

- المقطع العرضي للتيار المائي.
- سرعة الجريان وعمق الماء في المجرى.
- ميول قعر المجرى والسطح المائي فيه.

وذلك بالنسبة للمسافة، مع المحافظة على شرط.

إذا كان تغير العناصر السابقة يتم تدريجياً، فإن الجريان يُسمى بالجريان المستقر غير المنتظم المتغير تدريجياً. أما إذا طرأ التغير على مسافة قصيرة من طريق الجريان لانتقال من جريان جائش إلى جريان هادئ مثلاً (قفزة مائية)، فإن الجريان يكون عندها جرياناً مستقراً غير منتظم سريع التغير.

يحدث الجريان المستقر المنتظم أو غير المنتظم عندما تكون غزارة الجريان ثابتة، أما إذا تغيرت قيمتها عبر المقطع الواحد مع الزمن، فإن الجريان يصبح غير مستقر، ومثال ذلك جريان المياه في نهر خلال عبور موجة فيضانية.

وفيما يأتي مناقشة موجزة لحالة الجريان المستقر المنتظم وحالة الجريان المستقر غير المنتظم، أما بالنسبة للجريانات غير المستقرة، فلن تُناقش لعدم مصادفتها في القنوات الاصطناعية.

1. 1. 3. 1 الجريان مستقر ومنتظم:

إذا لم يُصادف على طول مجرى القناة المكشوفة وجود أي منشآت أخرى كحاجز أو منظم أو مدرج مائي مثلاً، فإن تصميم مقطعها العرضي يتم باعتبار أن الجريان فيها هو جريان مستقر ومنتظم، وتجري الحسابات بتطبيق العلاقات الآتية:

$$Q = \nu.A \qquad (5\text{-}1)$$

علاقة Chezy:

$$\nu = C.\sqrt{R.S_0} \qquad (6\text{-}1)$$

علاقة Manning:

$$C = \frac{1}{n}.R^{1/6} \qquad (7\text{-}1)$$

بتعويض قيمة C من العلاقة (1−7) في العلاقة (1−6) يكون:

$$\nu = \frac{1}{n}.R^{2/3}.S_0^{\,1/2} \qquad (8\text{-}1)$$

حيث:

Q− غزارة الجريان [m^3/s] ، مضافاً إليها كمية الفواقد المائية على طول القناة.

ν− السرعة الوسطية للجريان [m/s] .

A− سطح المقطع المائي [m^2].

C− ثابت Chezy [$m^{1/2}.s$]

R− نصف القطر الهيدروليكي [m].

S_0− الميل الطولي لقعر القناة.

n − ثابت الخشونة [$m^{-1/3}.s$]، ويمكن الحصول على قيمته من الجدول (1−11)، وذلك وفق ما جاء في Ven Te Chow (1959).

الجدول (1-11). قيم معامل الخشونة (n) للمجاري المائية حسب Ven Te Chow (1959).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
A- نواقل مائية مغلقة مملوءة جزئياً بالمياه			
A-1- نواقل معدنية			
a- من النحاس الأملس	0.009	0.010	0.013
b- من الفولاذ			
1- متصلة باللحام	0.010	0.012	0.014
2- متصلة بالبراشيم	0.013	0.016	0.017
c- من الحديد الصب:			
1- المطلي بطبقة سطحية (أملس).	0.010	0.013	0.014
2- غير المطلي بطبقة سطحية (خشن).	0.011	0.014	0.016
d- من الحديد المطاوع:			
1- الأسود	0.012	0.014	0.015
2- المغلفن (مطلي بالزنك لمنع الصدأ)	0.013	0.016	0.017
e- من معدن ذي سطح مموج:			
1- مصرف فرعي	0.017	0.019	0.021
2- مصرف تدفق مفاجئ	0.021	0.024	0.030
A-2- نواقل غير معدنية			
a- من اللوسيت:	0.008	0.009	0.010
b- من الزجاج:	0.009	0.010	0.013
c - من الأسمنت:			
1- ذي السطح النظيف والمصقول جيداً	0.010	0.011	0.013
2- مونة إسمنتية	0.011	0.013	0.015
d- من البيتون:			
1- نواقل مطمورة مستقيمة غير خاضعة للحت	0.010	0.011	0.013
2- نواقل مطمورة منحنية خاضعة لبعض الحت	0.011	0.013	0.014
3- بيتون مصقول	0.011	0.012	0.014
4- أنابيب صرف صحي	0.013	0.015	0.017
5- بيتون غير مصقول (القالب فولاذي)	0.012	0.013	0.014
6- بيتون غير مصقول (القالب خشبي ناعم)	0.012	0.014	0.016
7- بيتون غير مصقول (القالب خشبي خشن)	0.015	0.017	0.020

تابع الجدول (1-11).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
e- من الخشب:			
1- عوارض خشبية	0.010	0.012	0.014
2- رقائق خشبية معالجة	0.015	0.017	0.020
f- من الغضار:			
1- أنابيب صرف جوفي من الآجر	0.011	0.013	0.017
2- أنابيب صرف صحي مزججة (سيراميكية)	0.011	0.014	0.017
3- أنابيب صرف صحي سيراميكية مع فتحة دخول ومدخل	0.013	0.015	0.017
4- مصرف فرعي من السيراميك مع اتصال مفتوح	0.014	0.016	0.018
g- من الآجر:			
1- المطلي بطبقة زجاجية	0.011	0.013	0.015
2- المبطن بمونة إسمنتية	0.012	0.015	0.017
h- أنابيب صرف صحي ذات أكواع ووصلات تجري فيها مياه مجاري غروية:	0.012	0.013	0.016
i- مجاري مرصوفة ذات قعر أملس:	0.016	0.019	0.020
j- من حجارة مكسرة (دبش) مع روبة إسمنتية:	0.018	0.025	0.030
B- قنوات مفتوحة مكسية			
B-1- معدنية			
a- من فولاذ ذي سطح ناعم:			
1- مدهون	0.011	0.012	0.014
2- غير مدهون	0.012	0.013	0.017
3- مموج	0.021	0.025	0.030
B-2-غير معدنية			
a- من أسمنت:			
1- ذي سطح نظيف ومصقول جيداً	0.010	0.011	0.013
2- مونة إسمنتية	0.011	0.013	0.015
b- من خشب:			
1- ذي سطح مسوى وغير معالج	0.010	0.012	0.014
2- ذي سطح مسوى ومعالج بالكريوزوت	0.011	0.012	0.015
3- ذي سطح غير مسوى	0.011	0.013	0.015
4- على شكل ألواح مع عوارض	0.012	0.015	0.018
5- مبطن بعجينة ورقية سطحية	0.010	0.014	0.017

تابع الجدول (1-11).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
c- من بيتون:			
1- مصقول بالمسطرين (يدوياً)	0.011	0.013	0.015
2- مصقول آلياً	0.013	0.015	0.016
3- مصقول مع بحص في القعر	0.015	0.017	0.020
4- غير مصقول	0.014	0.017	0.020
5- الغونيت والمقطع جيد	0.016	0.019	0.023
6- الغونيت والمقطع متموج	0.018	0.022	0.025
7- على صخر محفور بشكل منتظم	0.017	0.020	-
8- على صخر بشكل غير منتظم	0.022	0.027	-
d- قعر بيتوني مصقول آلياً والجوانب منفذة من:			
1- حجارة مرصوفة على مونة إسمنتية	0.015	0.017	0.020
2- حجارة غير مرصوفة على مونة إسمنتية	0.017	0.020	0.024
3- حجارة مكسرة (دبش) على روبة إسمنتية	0.016	0.020	0.024
4- حجارة مكسرة (دبش)	0.020	0.025	0.030
5- دكة حجرية	0.020	0.030	0.035
e- قعر منفذ من البحص والجوانب من:			
1- البيتون	0.017	0.020	0.025
2- حجارة غير مرصوفة على مونة إسمنتية	0.020	0.023	0.026
3- دكة حجرية	0.023	0.033	0.036
f- من الآجر:			
1- السيراميكي	0.011	0.013	0.015
2- مع مونة إسمنتية	0.012	0.015	0.018
g- من الحجارة:			
1- دبش مع مونة إسمنتية	0.017	0.025	0.030
2- دبش فقط.	0.023	0.032	0.035
h- مغطاة بحجارة منحوتة	0.013	0.015	0.017
i- مبطنة بالإسفلت:			
1- ذي السطح الناعم	0.013	0.013	-
2- ذي السطح الخشن	0.016	0.016	-
j- مكسية ببطانة نباتية	0.030	-	0.500

تابع الجدول (1-11).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
C- قنوات ترابية			
a- قناة ترابية مستقيمة ذات مقطع ثابت:			
1- نظيفة وبعد الإنشاء مباشرة	0.016	0.018	0.020
2- نظيفة وبعد التعرض لفعل العوامل الجوية	0.018	0.022	0.025
3- نظيفة وذات مجرى حصوي	0.022	0.025	0.030
4- ذات مجرى ينمو عليه قليل من الأعشاب والنباتات	0.022	0.027	0.033
b- قناة ترابية متعرجة ذات مقطع متغير:			
1- ذات مجرى خالي من الأعشاب	0.023	0.025	0.030
2- ذات مجرى مغطى بقليل من الأعشاب	0.025	0.030	0.033
3- ذات مجرى مغطى بطبقة كثيفة من الأعشاب أو النباتات المائية.	0.030	0.035	0.040
4- ذات قعر ترابي وجوانب من الحجارة المكسرة	0.028	0.030	0.035
5- ذات قعر حجري وجوانب مغطاة بالأعشاب	0.025	0.035	0.040
6- ذات قعر من الحصى المستدير والجوانب نظيفة	0.030	0.040	0.050
c- قناة ترابية محفورة بوساطة جرافة أو حفارة:			
1- ذات مجرى خالي من الأعشاب	0.025	0.028	0.033
2- ذات مجرى مغطى بقليل من الأعشاب عند الجوانب	0.035	0.050	0.060
d - قناة منفذة في الصخر:			
1- ذات مقطع ثابت مع قعر وجوانب ملساء	0.025	0.035	0.040
2- ذات مقطع متغير مع قعر وجوانب غير مسواة	0.035	0.040	0.050
e - قنوات بدون صيانة (لا يُنظف مجرى القناة من الأعشاب والنباتات بشكل دوري):			
1- ذات مجرى مغطى بطبقة كثيفة من الأعشاب والنباتات المائية بارتفاع يساوي عمق المياه في القناة	0.050	0.080	0.120
2- ذات قعر نظيف مع أعشاب ونباتات على الجوانب	0.040	0.050	0.080
3- كما في **2** ، مع ارتفاع سطح المياه إلى المنسوب الأعظمي في القناة	0.045	0.070	0.110
4- ذات مجرى مغطى بطبقة كثيفة من النباتات مع ارتفاع سطح المياه إلى المنسوب الأعظمي في القناة	0.080	0.100	0.140

تابع الجدول (1-11).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
D- مجاري مائية طبيعية			
D-1- مجاري سيلية صغيرة (عندما يكون عرض مجرى السيل أثناء الفيضان أقل من **30m**)			
a- سهلية:			
1- نظيفة ومستقيمة والمجرى خالٍ من الحفر والشقوق ومنسوب المياه أعظمي	0.025	0.030	0.033
2- كما في 1 بوجود حجارة كبيرة ونباتات وأعشاب	0.030	0.035	0.040
3- نظيفة ومتعرجة بوجود بعض البرك والمخاضات على مسارها	0.033	0.040	0.045
4 - كما في 3 بوجود حجارة كبيرة وأعشاب ونباتات.	0.035	0.045	0.050
5- كما في 4 مع ميول جانبية خفيفة ومقاطع عرضية صغيرة والجريان أصغري.	0.040	0.048	0.055
6- كما في 4 مع كمية أكبر من الحجارة.	0.045	0.050	0.060
7- عندما تكون السرعة صغيرة على بعض أجزاء المجرى مع وجود حفر عميقة تنمو فيها الأعشاب والنباتات	0.050	0.070	0.080
8- عندما تكون بعض أجزاء المجرى مغطاة تماماً بالنباتات والأعشاب مع وجود حفر عميقة أو جذوع أشجار مقطوعة	0.075	0.100	0.150
b- جبلية غير مغطاة بالأعشاب، والجوانب عادة شديدة الانحدار، أما الأشجار فتكون مغمورة عندما يكون الجريان أعظمياً			
1- القعر بحصي مع حجارة صغيرة ملساء ومستديرة مع حجارة بقطر أكبر من 0.10m	0.030	0.040	0.050
2- القعر يتألف من حجارة صغيرة ملساء ومستديرة مع حجارة كبيرة	0.040	0.050	0.070
D-2- سهول فيضانية			
a- مع وجود مروج:			
1- الحشائش قصيرة	0.025	0.030	0.035
2- الحشائش طويلة.	0.030	0.035	0.050
b- مع وجود أراضي زراعية:			
1- بدون محاصيل	0.020	0.030	0.040
2- بوجود محاصيل مزروعة على شكل خطوط	0.025	0.035	0.045
3- بوجود محاصيل مزروعة على كامل الحقل	0.030	0.040	0.050

تابع الجدول (1-11).

نوع المجرى المائي ووصفه	قيمة معامل الخشونة (n)		
	الأصغرية	الوسطية	الأعظمية
c- سطح المجرى مغطى بالأحراج:			
1- أشجار حراجية مبعثرة مع أعشاب كثيفة	0.035	0.050	0.070
2- قليل من الأحراج والأشجار في ظروف الشتاء	0.035	0.050	0.060
3- كما في 2 ولكن صيفاً	0.040	0.060	0.080
4- وجود أحراج بكثافة متوسطة إلى كبيرة شتاءً	0.045	0.070	0.110
5- كما في 4 ولكن صيفاً	0.070	0.100	0.160
d- سطح المجرى مغطى بالأشجار:			
1- أشجار كثيفة من الصفصاف صيفاً	0.110	0.150	0.200
2- أرض خالية مع وجود جذوع شجر غير نامية	0.030	0.040	0.050
3- كما في 2 مع وجود جذوع شجر نامية	0.050	0.060	0.080
4- الجذوع كبيرة والأشجار المقطوعة قليلة ومنسوب المياه أخفض من الأغصان	0.080	0.100	0.120
5- كما في **4** لكن منسوب المياه أثناء الفيضان يغمر الأغصان	0.100	0.120	0.160
D-3- مجاري سيلية كبيرة (عندما يكون عرض مجرى السيل أثناء الفيضان أكبر من 30m)			
a- ذات مقاطع عرضية منتظمة، وخالية من الأحراج أو الحجارة الكبيرة	0.025	-	0.060
b- ذات مقاطع عرضية غير منتظمة، وسطح المجرى خشن.	0.035	-	0.100

أما قيم $1/n$ في مشاريع الري والصرف في سورية فتأخذ القيم الآتية:

$\frac{1}{n} = 60 - 70$ للقنوات المكسية بالإسمنت.

$\frac{1}{n} = 30 - 40$ للقنوات، والمصارف الترابية.

وباعتبار أن سطح المقطع العرضي A، والمحيط المبلول P، ونصف القطر

الهيدروليكيR ، وبافتراض $\beta = \frac{b}{h}$ يمكن لمقطع شبه منحرف كتابة الصيغ:

$$A = (\beta + m).h^2 \qquad (9\text{-}1)$$

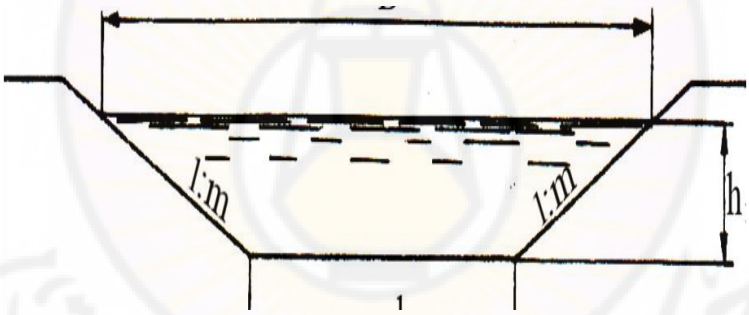
$$P = (\beta + 2\sqrt{1+m^2}).h \qquad (10\text{-}1)$$

$$\mathrm{R} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{P}} = \frac{(\beta + \mathrm{m}).\mathrm{h}}{\beta + 2\sqrt{1+\mathrm{m}^2}} \qquad (11\text{-}1)$$

$$B = (\beta + 2m).h \qquad (12\text{-}1)$$

حيث:

B و b و h – كما في الشكل (1–5).



الشكل (1-5)

بتعويض قيم F و R في العلاقتين (1-5) و (1-6) ينتج:

$$\nu = \frac{1}{n}.\frac{(\beta + m)^{0.67}}{(\beta + 2\sqrt{1+m^2})^{0.67}}.h^{0.67}.S_0^{\,0.50} \qquad (13\text{-}1)$$

$$Q = \frac{1}{n}.\frac{(\beta + m)^{1.67}}{(\beta + 2\sqrt{1+m^2})^{0.67}}.h^{2.67}.S_0^{\,0.50} \qquad (14\text{-}1)$$

تُحدد قيم ميل جانبي المقطع العرضي للقناة m تبعاً للظروف الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية السائدة، ولطريقة إنشاء القناة أيضاً، أما قيمة ثابت الخشونة، فتُؤخذ حسب نوع التكسية.

وبافتراض أن:

$$K_v = \frac{1}{n}.\frac{(\beta+m)^{0.67}}{(\beta+2\sqrt{1+m^2})^{0.67}}.h^{0.67} \qquad (15\text{-}1)$$

و:

$$K_Q = \frac{1}{n}.\frac{(\beta+m)^{1.67}}{(\beta+2\sqrt{1+m^2})^{0.67}}.h^{2.67} \qquad (16\text{-}1)$$

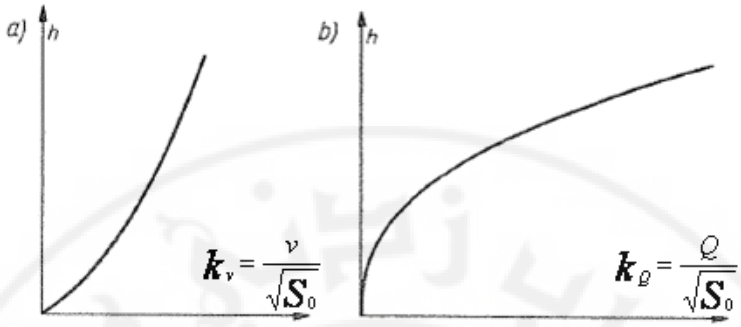
يكون:

$$v = K_v.\sqrt{S_0} \Rightarrow K_v = \frac{v}{\sqrt{S_0}} \qquad (17\text{-}1)$$

ومنه:

$$Q = K_Q.\sqrt{S_0} \Rightarrow K_Q = \frac{Q}{\sqrt{S_0}} \qquad (18\text{-}1)$$

تُسمى القيمة K_v بخاصية السرعة، والقيمة K_Q بخاصية التصريف، وهما تتعلقان بالأبعاد الهندسية للمقطع العرضي، لأن حسابهما يتطلب فقط معرفة قيم A و R و n، ويُستفاد منهما في تسهيل الحسابات الهيدروليكية للقنوات. فمن أجل تحديد قيم أبعاد المقطع العرضي لقناة ميلها الطولي S_o، وثابت خشونتها n، وميل جوانبها m، وتمرر غزارة جريان معلومة مقدارها Q تُفترض أولاً قيمة العلاقة $\beta = \frac{b}{h}$، ثم تؤخذ سلسلة من قيم العمـــقين h_1 وh_2، وتُحسب مقادير Kv و KQ المقابلة، وذلك وفق العلاقتين (1−15)، و(1-16)، وبعد ذلك يُرسم المنحنيان Kv=f(h) و KQ=f(h) المبينين على الشكل (1−6). بمعرفة قيمة غزارة الجريان Q، وقيمة الميل الطولي للقناة S_o، يمكن إيجاد $K_Q = \frac{Q}{\sqrt{S_0}}$، ثم تُقرأ قيمة h المطلوبة (المقابلة لقيمة b أو المعلومة) على المنحني $K_Q=f(h)$، وبطريقة مماثلة يمكن إيجاد القيمة المطلوبة للعمق h المقابلة لسرعة جريان معلومة v، ولميل طولي S_o، ولعرض b، أو لقيمة محددة β.



الشكل (1-6). منحنيات مساعدة في الحسابات الهيدروليكية للقنوات.

a- منحني خاصية السرعة **b-** منحني خاصية التصريف.

أما إذا كان المطلوب معرفة أعماق المياه المقابلة لميول طولية مختلفة**،S_{01}, S_{02}, S_{03}**

فإن الحل يتم بحساب $(K_Q)_1 = \frac{Q}{\sqrt{S_{01}}}$ و $(K_Q)_2 = \frac{Q}{\sqrt{S_{02}}}$ و $(K_Q)_3 = \frac{Q}{\sqrt{S_{03}}}$،

ثم بقراءة قيم h_1 و2h و3h المقابلة للميول الطولية S_{01} وS_{02} و S_{03} على المنحني

.KQ = f(h)

وعندما يكون المطلوب تحديد قيمة السرعة المقابلة لقيمة ما للعمق h، فإن قيمة تُقرأ من المنحني Kv = f(h)، ثم تُحسب قيمة v المطلوبة.

يمكن أيضاً إجراء الحسابات الهيدروليكية للقنوات بدلالة المعادلة (1-5)، ومعادلة Darcy-Weisbach:

$$S_0 = \frac{\lambda}{D_R} \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (19\text{-}1)$$

أو:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{2g.D_R.S_0} \qquad (20\text{-}1)$$

حيث:

V و S_E– كما في المعادلات (1-5) و (1-6) و (1-7).

$D_R = 4R$– القطر الهيدروليكي [m].

R– نصف القطر الهيدروليكي [m].

λ– معامل الفواقد الطولية، وتُحسب قيمته بدلالة علاقة Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{2.51}{R_e.\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.71}\right) \qquad (21\text{-}1)$$

التي فيها:

$R_e = \frac{v.4R}{\nu}$ – عدد رينولدز Reynolds.

v– سرعة الجريان [m/s].

υ– معامل اللزوجة الحركية [m^2/s].

ε– الخشونة النسبية المكافئة [mm] .

تُستخدم المعادلات (1-19) و (1-20) و (1-21) بشكل عام للقنوات التي تعمل تحت الضغط، أما استخدامها في الجريانات الحرة، فلا زال على نطاقٍ ضيق.

إن اختيار سرعة الجريان يجب أن يكون بحيث لا يحدث حت وتآكل لجوانب القناة وقعرها، أو ترسيب للطمي فيها، أي أن يتحقق الشرط الآتي:

$$v_{\min} < v < v_{\max}$$

حيث:

v– السرعة الوسطية للجريان في القناة [m/s].

v_{max}– السرعة العظمى المسموح بها للجريان في القناة [m/s].

v_{min}– السرعة الدنيا المسموح بها للجريان في القناة [m/s].

يمكن تحديد قيم v_{min} و v_{max} وفق ما ورد في الفقرة (1-2-2).

4. 1 الفواقد المائية من القنوات:

تتألف بشكلٍ رئيس من:

أولاً- فواقد بالرشح عبر المحيط المبلول للقناة: هي فواقد تتعلق بما يأتي:

- **نفاذية** طبقات التربة التي تجتازها القناة.
- **منسوب المياه الجوفية**، وشروط الصرف المحلية.
- **حالة القناة:** فالفواقد من قناة مضى على إنشائها فترة زمنية معينة، ويترسب فيها الطمي تكون أقل من الفواقد من قناة أُنشئت حديثاً، كما أن الفواقد من قناة منفذة في الحفر تكون أيضاً أقل من قناة منفذة في الردم.
- **كمية المواد المحمولة مع المياه الجارية في القناة:** فكلما زادت هذه الكمية، كلما نقصت الفواقد المائية من القناة.
- **سرعة جريان المياه في القناة:** حيث إن زيادة السرعة تقلل من النسبة المئوية للفواقد بالرشح عبر جوانب وقعر القناة.
- **نظام عمل القناة:** تكون الفواقد من القنوات التي تعمل بشكل دوري أقل من الفواقد من القنوات التي تعمل بشكلٍ دائم.
- **غزارة الجريان:** حيث إن الفواقد من القنوات التي تمرر غزارات كبيرة تكون أكبر من الفواقد من القنوات التي تمرر غزارات صغيرة.
- **طول القناة وطبيعة سطح قعرها وجوانبها:** يُلاحظ أن زيادة كتامة مجرى القناة يقلل من الفواقد، أما زيادة طولها فتزيد منها.

تُشكل الفواقد المائية بالرشح عبر قنوات الري 58-65% من مجموع الفواقد المائية الكلية، ويمكن عملياً تقدير كمياتها اعتماداً على معادلات تجريبية متعددة تم التوصل إليها بناءً على تحليلٍ ودراسةٍ لنتائج قياساتٍ حقلية أُجريت على قنوات موضوعة في طور الاستثمار، ومن هذه المعادلات التي تُحسب بدلالتها كميات المياه الراشحة من قنوات الري المعادلات الآتية:

1- بعض المعادلات المستخدمة على مشاريع الري في الهند:

- **المعادلة المستخدمة في إقليمي** Punjal و Haryana:

$$Q_F = 1.9.Q^{\frac{1}{16}} \qquad (22\text{-}1)$$

حيث:

Q_F- كمية المياه الراشحة، من كل مليون متر مربع من السطح المبلول لمجرى القناة $[m^3/s]$

Q- غزارة الجريان في القناة $[m^3/s]$.

- **المعادلة المستخدمة في** Uttar Pradesh:

$$Q_F = \frac{1}{200}(b+h)^{2.3} \qquad (23\text{-}1)$$

حيث:

Q_F- غزارة المياه الراشحة على واحد كيلومتر من طول القناة $[m^3/s.km]$.

b- عرض قعر القناة [m].

h- عمق المياه في القناة [m].

وبشكل عام تُؤخذ قيمة الفواقد المائية $4.80m^3/s$ من كل مليون متر مربع عن السطح المبلول لمجرى القناة في الترب الغضارية، و $9.60m^3/s$ من كل مليون متر مربع من السطح المبلول لمجرى القناة في الترب الرملية.

2- المعادلة المستخدمة من قبل مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي USBR:

$$Q_F = 0.0115.C_o\sqrt{\frac{Q}{v}} \qquad (24\text{-}1)$$

التي فيها:

Q_F- كما سبق.

Q- غزارة الجريان في القناة$[m^3/s]$.

v– سرعة الجريان في القناة[m/s].

Co– معامل يتعلق بنوع التربة، وتؤخذ قيمته من الجدول(1–12).

الجدول (1–12)

نوع التربة	قيمة المعامل Co
طينية	0.41
طينية رملية	0.66
رملية	1.20
حصوية	2.20

3– المعادلات المستخدمة لتصميم قنوات الري في بولندا:

عندما: $B/h < 4$

$$Q_F = 0.0116\alpha.K.\mu.(B+2h) \qquad (25\text{-}1)$$

وعندما: $B/h > 4$ فإن:

$$Q_F = 0.0116.\alpha.K.(B+A.h) \qquad (26\text{-}1)$$

حيث:

Q_F– كما سبق.

K– معامل الرشح[m/d].

α– ثابت، تُعطى قيمه في الجدول (1–13).

μ و A – معاملان، تؤخذ قيمهما من الجدول (1–14).

B– عرض سطح الماء في القناة[m].

h– كما سبق.

m– الميل الجانبي لسفوح القناة.

الجدول (1–13). قيم الثابت α الوارد في العلاقتين (1-25) و (1-26).

غزارة الجريان في القنـــاة $[m^3/s]$	عمق منسوب سطح المياه الجوفية تحت قعر القناة [m]							
	< 3	3	5	7.5	10	15	20	25
1.0	0.63	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	0.50	0.63	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10.0	0.41	0.5	0.65	0.79	0.91	1.00	1.00	1.00
20.0	0.36	0.45	0.57	0.71	0.82	1.00	1.00	1.00
30.0	0.35	0.42	0.54	0.66	0.77	0.94	1.00	1.00
50.0	0.32	0.37	0.49	0.60	0.69	0.84	0.97	1.00
100.0	0.28	0.33	0.42	0.52	0.58	0.73	0.84	0.94

الجدول (1–14). قيم المعاملين μ و A الواردين في العلاقتين (1–25) و (1–26).

$\frac{B}{h}$	قيم المعاملين μ , A					
	m = 1.0		m = 1.5		m = 2.0	
	A	μ	A	μ	A	μ
2.0	-	0.98	-	0.78	-	0.62
3.0	-	1.00	-	0.96	-	0.82
4.0	-	1.14	-	1.04	-	0.94
5.0	3.0	-	2.5	-	2.1	-
6.0	3.2	-	2.7	-	2.3	-
7.0	3.4	-	3.0	-	2.7	-
10.0	3.7	-	3.2	-	2.9	-
15.0	4.0	-	3.6	-	3.3	-
20.0	4.2	-	3.9	-	3.9	-

وغالباً ما تكون الفواقد المائية بالرشح كبيرةً، وتصل نسبتها أحياناً حتى 50% من قيمة الغزارة المارة في القناة، لذلك يجب أن تكون هذه المسألة موضع الدراسة الدقيقة، والمتأنية عند تصميم القنوات.

تُقدر قيمة الفواقد بالرشح من القنوات الترابية في سورية بنسبة 20 - 50% من غزارة الجريان في القناة، أما من القنوات المكسية بالبيتون فتُقدر بنسبة 5 - 20% من غزارة الجريان في القناة.

ثانياً– فواقد مائية لعدم كفاءة القناة، والأجهزة والمنشآت المقاومة عليها: تُقدر قيمة هذه الفواقد على قنوات الري بحـــدود 32 - 38% من مجموع الفواقد الكلية، وبنحو 20% من غزارة القناة.

ثالثاً– فواقد مائية ناتجة عن التبخر من سطح الماء: تمثل قيمتها 2.0 - 4.0% من مجموع الفواقد الكلية، وتتعلق كمياتها بالعوامل المناخية السائدة، ولاسيما الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح، وهي تتناسب طرداً مع عمق المياه في القناة، ومع سطح الماء فيها، ويمكن تقدير كمياتها باستخدام الكثير من المعادلات التي يمكن التعرف عليها في المراجع الهيدرولوجية.

رابعاً –الفواقد بسبب النتح من النباتات الطفيلية التي تنمو في مجاري قنوات النقل والتوزيع، وعلى جوانبها.

خامساً – الفواقد نتيجة التعديات على قنوات النقل والتوزيع، مع الإشارة هنا إلى أنه من الصعب تقدير قيمة هذا النوع من الفواقد.

5. 1 تكسية مجاري القنوات:

5.1. 1 تمهيد:

تُعرف عملية التكسية بأنها مجموعة الأعمال التي يُقام بها لتقوية جوانب وقعر القناة، بحيث يُمنع من جهة حدوث أي تغير في مقطعها العرضي يمكن أن يحصل بمسببات مختلفة مثل السرعة العالية للجريان، أو العوامل الجوية، أو الأجسام الطافية، أو الإنسان

والحيوان، والعمل من جهة أخرى على التقليل ما أمكن من الفواقد المائية بالرشح عبر المحيط المبلول، وذلك بزيادة كتامته.

تُعد التكسية عنصراً هاماً لابد من دراسته بعناية عند تصميم القنوات، حيث إن طبيعتها وديمومتها تؤثران بشكل مباشر في كفاءة عمل القناة، وأمان المناطق المحاذية لها، وكلفة إنشائها، وقد تشكل كلفة التكسية أحياناً ما يعادل 70% من كلفة إنشاء القناة.

5.2. 1 الغرض من تكسية القنوات:

- **حماية** جوانب وقعر القناة من الحت والتآكل والانجراف.
- **الحد** من ترسيب المواد الناتجة عن عملية الحت، التي تقوم بها المياه في القناة.
- **التقليل** من الفواقد المائية بالرشح، مما يؤدي إلى رفع عامل مردود القناة، وخفض تغذية المياه الجوفية، بحيث تُحمى التربة من التملح والغرق.
- **إمكانية زيادة** السرعة، وتصغير قيمة معامل الخشونة، مما يساعد على تصغير أبعاد المقطع العرضي للقناة. إن زيادة السرعة تمكّن أيضاً من زيادة الميل الطولي، بحيث يتم التقليل أو الاستغناء أحياناً عن عددٍ من المنشآت الخاصة، التي يجب أن تُقام على مجاري القنوات (كالمساقط المائية مثلاً).
- **عدم السماح** بنمو الأعشاب في القنوات، مما يقلل من فواقد المياه بالنتح عبر سطوح أوراق هذه الأعشاب.
- **تسهيل** أعمال تشغيل وصيانة القنوات، والتوفير في النفقات الناتجة عنها، وبالتالي التقليل من حجوم الأعمال الترابية، والأكلاف المرتبطة بها.

5.3. 1 الشروط التي يجب أن تتوافر في مواد التكسية:

(أ) الكتامة الكافية، وانخفاض قيمة معامل الخشونة.

(ب) المقاومة لإنبات الأعشاب، ولتأثير التغير في درجات الحرارة.

(ت) إمكانية زيادة سرعة الجريان، وتصغير أبعاد المقطع العرضي للقناة، وبالتالي زيادة الغزارة التي يمكن أن تمررها القناة.

(ث) ملاءمة الظروف البيئية السائدة، وعدم الإخلال بها، أو إفساد الصورة الطبيعية لمنطقة إنشاء القناة.

(ج) المرونة والمتانة والمقاومة لتأثيرات الأجسام الطافية، التي يمكن أن تجري مع المياه في القناة.

(ح) إمكانية المكننة أثناء التنفيذ.

(خ) انخفاض أكلاف التنفيذ والصيانة والاستثمار.

إن اختيار نوع التكسية يتعلق بشكلٍ أساسي بأولوية الشروط، التي يجب أن تتوافر فيها من جهة، وبالظروف السائدة من جهة أخرى.

5.4.1 أنواع التكسية:

1.4.5.1 التكسية البيتونية:

تُعد التكسية البيتونية والبيتونية المسلحة المصبوبة في المكان من أكثر أنواع التكسية استخداماً وأوسعها انتشاراً، ولاسيما في مشاريع الري في البلدان ذات المناخ الحار والجاف كسورية مثلاً، حيث تحتل مسألة الحد من الفواقد المائية بالرشح أهمية خاصة في تصميم القنوات، ويمكن باستخدام هذا النوع من التكسية تأمين الكتامة المطلوبة، وخفض قيمة معامل الخشونة، وتحقيق استقرار المقطع العرضي، والتقليل من نفقات الاستثمار والصيانة.

تُنفذ التكسية البيتونية آلياً على شكل بلاطات بسماكات مختلفة (الجدول 1-15).

إن القيم الواردة في الجدول (1-15) تتعلق ببيتون مقاومته $211kg/cm^2$، وذلك بعد 28 يوماً من صبه، وتقابل ميولاً جانبية مقدارها:

1:1 إذا كان عمق الماء في القناة $h < 0.50m$.

و 1:1.5 إذا كان عمق الماء في القناة $h > 0.50m$.

الجدول (1–15). سماكات بلاطات التكسية البيتونية حسب ICID.

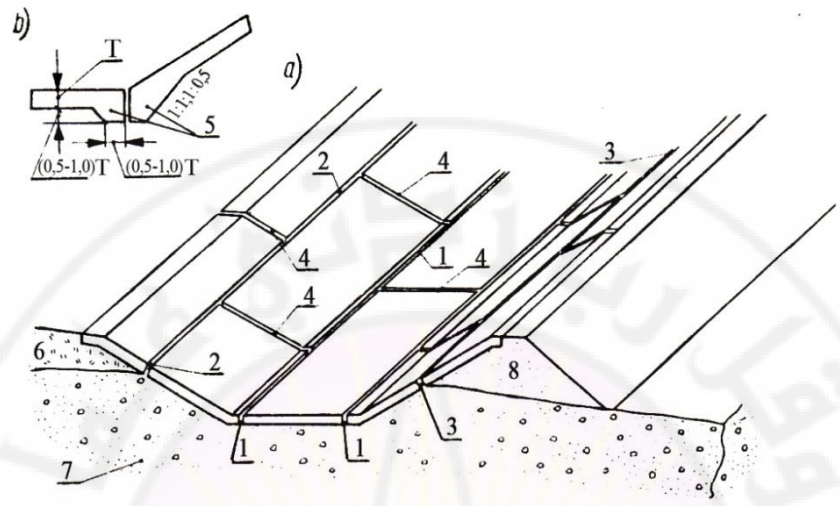
غزارة الجريان في القناة $[m^3/s]$	سماكة بلاطة التكسية [mm]	
	غير مسلحة	مسلحة
0-10.0	50 – 60	-
10 – 50.0	60 – 80	80 – 100
50 – 100	80 – 120	100 – 120
> 100	100 - 120	100 – 120

عند استخدام تكسية على شكل بلاطات رقيقة يجب الانتباه إلى الانحراف المسموح به في قيم سماكتها. فبالنسبة لطبقات التكسية الواردة في الجدول (1–15)، فإن الانحراف السلبي (سماكة أقل) المسموح به يساوي 10% شريطة ألا تكون السماكة الوسطية للبلاطة أقل من السماكة التصميمية، أما قيمة الانحراف الموجب (سماكة أكبر) فتبلغ 20%.

يمكن عملياً مصادفة تكسية من بلاطات بيتونية مسلحة بتسليح بسيط (0.20% من مقطع البيتون)، وبسماكة أكبر من السماكات الواردة في الجدول (1–15)، تُؤخذ عادة 0.20m - 0.15m - 0.12m.

من مساوئ التكسية البيتونية تشكل الشقوق، التي يمكن أن تنتج عن تأثير التغير في درجات الحرارة من جهة، وعن تغير ظروف هبوط التربة تحت طبقة التكسية من جهة أخرى، ولتفادي هذه المشكلة يُلجأ عادة إلى تشكيل فواصل تمدد وفواصل هبوط، وهي على أنواع:

1. **فواصل طـــــولية:** تُنشأ عند التقاء جوانب القناة مع القعر، أو عند تغير ظروف الهبوط أي على الحدود الفاصلة بين الترب ذات قابلية الانضغاط المختلفة، أو عند الانتقال من الحفر إلى الردم، (الشكل 1–7).



الشكل (1-7). الفواصل الطولية والعرضية لتكسية بيتونية منفذة من بلاطات مصبوبة في المكان.

a) توضع الفواصل، b) تنفيذ منطقة التقاء جوانب القناة مع القعر عندما $T \leq 0.1m$.

1- فواصل طولية عند التقاء السفوح مع القعر، 2- فاصل طولي عند وجود ترب ذات قابلية انضغاط مختلفة، 3- فاصل طولي عند الحدود بين الحفر والردم، 4- فواصل عرضية، 5- زيادة سماكة التكسية لتأمين الارتكاز الجيد، 6- تربة ناعمة، 7- رمل، 8- ردم.

2. **فواصل عرضية:** تُنفذ على الجوانب والقعر، وعلى مسافات منتظمة فيما بينها تُؤخذ عادةً 12.00m، أما إذا كانت الترب تحت طبقة التكسية مختلفةً في قابلية انضغاطها، فإن المسافة بين الفواصل يمكن أن تُؤخذ كل 6.0m، وأحياناً كل 3.00m، وذلك عندما تكون التربة سيئة، وتكون هذه الفواصل عادة متناوبةً ما بين الجوانب والقعر، مع الإشارة هنا إلى وجوب تفريغ القناة من المياه بشكلٍ متكرر.

يبلغ عرض الفاصل سواء أكان طولياً أم عرضياً cm (5.0- 1.0)، ويُملأ بمادة كتيمة ولدنة تكون عادةً من الإسفلت، أو من رقائق البولي كلور الفينول P.V.C، ويجب السعي دوماً إلى أن تكون بلاطات التكسية بأكبر أبعادٍ ممكنة لها، وذلك للتقليل من عدد الفواصل،

التي تُعد مصدراً لتسرب المياه عبرها من جهة، ولأنها بحاجة للمراقبة والصيانة دورياً من جهة أخرى.

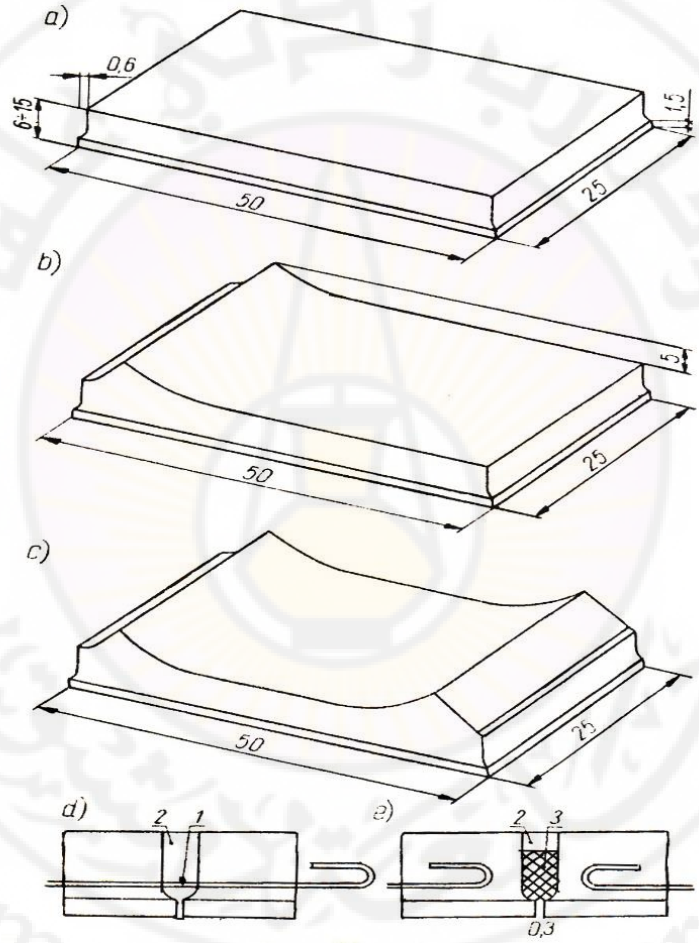
يُفضل في مناطق التقاء جوانب القناة مع القعر زيادة سماكة التكسية، وذلك لتشكيل منطقة ارتكاز تمنع من الانزلاق، فإذا كانت سماكة التكسية أكبر من 0.10m، فإن منطقة الارتكاز تُنفذ كما في الشكل (1-7-a)، أما عندما تكون أقل من 0.10m فإنها تُنفذ كما في الشكل (1-7-b).

يجري تنفيذ التكسية دوماً بعد أن تتخامد كل الهبوطات الممكنة، ولهذا الغرض تُملأ القناة أولاً بالمياه، ثم تُفرغ بعد فترة زمنية معينة. بعد ذلك يُفرش مجرى القناة بطبقة من الرمل، أو البحص بسماكة 0.10-0.15m، لتشكل فيما بعد طبقة صرف تحت التكسية، وبالنسبة لقنوات الري، فإن طبقة التكسية يجب أن تستمر بطول يُعادل 0.15-0.30 m فوق أعلى منسوب تصله المياه في القناة، وأن تنتهي في الطبقة العلوية لكتفٍ يراوح عرضه في المجال 0.15-0.25m، وظيفته منع تسرب المياه تحت التكسية. يمكن أن تكون التكسية البيتونية المسلحة مسبقة الصنع أيضاً، ويُلجأ إليها في الحالات الآتية:

- عندما يكون استعمال البيتون المسلح المسبق الصنع مبرراً اقتصادياً وفنياً.
- عندما تتطلب ظروف الاستثمار تكسية ذات ديمومة طويلة.
- إذا كان إنشاء القناة في مناطق ذات مُناخٍ حارٍ وجاف.
- عند وجود قاعدة صناعية تسمح باستبعاد العمل العضلي.
- عندما يكون التنفيذ في مناطق بعيدة وغير مأهولة.
- عند استخدام رقائق بلاستيكية للتقليل من الفواقد المائية بالرشح من القنوات، حيث يمكن استعمال البلاطات البيتونية مسبقة في هذه الحالة لحماية هذه الرقائق.

يُعد الحصول على بيتون بنوعية جيدة ذي ديمومة طويلة، وعلى تكسية بخشونة صغيرة، وذات كلفة منخفضة نسبياً مع إمكانية مكننتها، والقيام بتنفيذها على مدار السنة من أهم إيجابيات استخدام البيتون المسلح مسبق الصنع في تكسية القنوات.

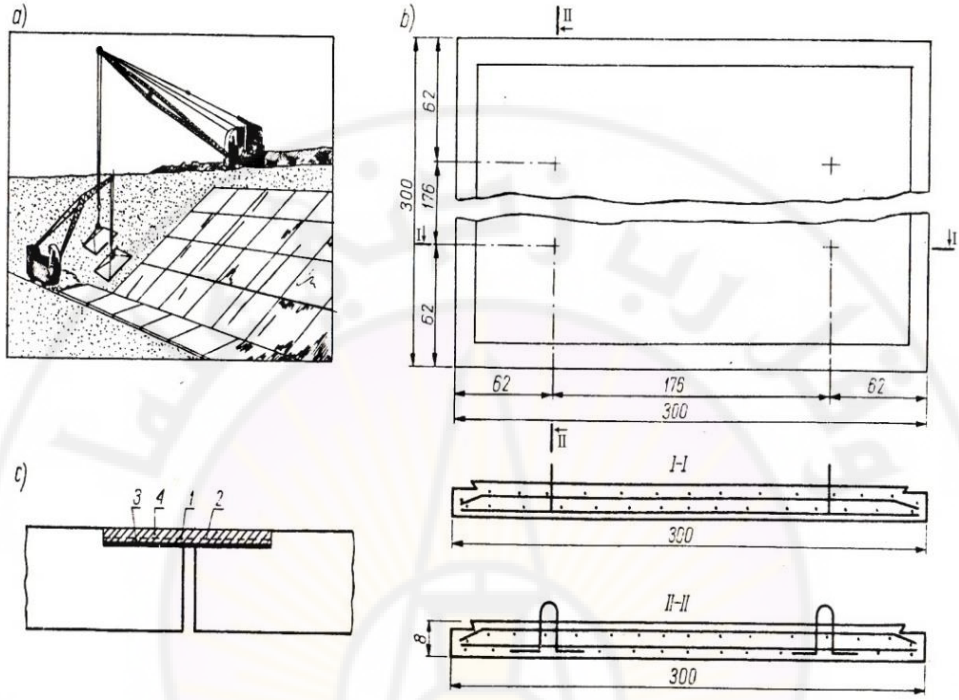
أما سلبيات اللجوء إلى استخدام هذا النوع من التكسية، فإنها تنحصر بشكل رئيس في صعوبة تكتيم الفواصل ما بين البلاطات مسبقة الصنع، ويُبين الشكل (1–8) طريقة التكتيم لقناة صغيرة، أما الشكل (1–9) فيُوضح كيفية التكتيم لقناة كبيرة.



الشكل (1-8). بلاطات تكسية من البيتون مسبق الصنع لقناة صغيرة.

a) بلاطات للجوانب والقعر، b و c) بلاطات للقعر، d) اتصال صلد للبلاطات، e) تكتيم الفواصل.

1– قضيب ϕ3.4mm، 2– مونة إسمنتية، 3– بيتومين.



الشكل (1-9). بلاطات تكسية بيتونية مسبقة الصنع لقناة كبيرة.

a) تركيب البلاطات، b) بلاطة مسبقة الصنع، c) تكتيم الفواصل بين البلاطات.

1- شريحة مطاطية بسماكة 2.0mm، 2- شبك معدني، 3- مونة إسمنتية بسماكة 5.0mm، 4- مونة إسمنتية بسماكة 13.0mm.

2. 4. 5. 1 التكسية برقائق بلاستيكية:

تُصنع هذه الرقائق من البولي كلور الفينول P.V.C، أو من البولي ايتلين PE، أو من البولي بروبلين PP، أو من البولي ايستير بولي تيريفلا نوايتيلين PETP، وتُعد عالية الكتامة، لأنها لا تسمح بتسرب الماء عبرها، إلا أن الرشح يمكن أن يحصل في مناطق اتصال هذه الرقائق فيما بينها، أو في مناطق تمزقها. من هنا فإن الوصول إلى كتامةٍ مطلقة ليس ممكناً كما هو الحال بالنسبة للأنواع الأخرى من التكسية.

ومن إيجابياتها:

- الكتامة العالية.
- إمكانية استخدامها لكل أنواع الترب، إذ إنها تقاوم التأثيرات الضارة للمواد والأملاح، التي يمكن أن توجد في التربة، أو التي تنتج عن عمليات تخمر مختلفة تجري فيها.
- مقاومتها لمعظم مبيدات الأعشاب الضارة، التي تُرش تحت طبقة التكسية لمنع نمو هذه الأعشاب.

أما سلبياتها فهي:

- تأثر الرقائق بالأشعة فوق البنفسجية، لذا تجب حمايتها من أشعة الشمس عن طريق طبقة حماية تُنفذ فوقها.
- تمزق وانثقاب الرقائق عند وجود كتل حجرية أو حبات من البحص ذات حواف حادة فوقها أو تحتها.
- عدم مقاومة الرقائق لتأثير القوارض التي يمكن أن تخربها، وتقلل من كتامتها.

يمكن حسب الهيئة الدولية للري والصرف ICID استخدام الرقائق البلاستيكية بالسماكات الآتية:

- السماكة الدنيا 0.25mm عندما تكون التربة تحت الرقائق رملية.
- السماكة الدنيا 0.50mm عندما تكون التربة تحت الرقائق حصوية.

وقد شاع استعمالها ضمن آلاف المنشآت المائية ومشاريع الري في العالم خلال الأربعين سنة الأخيرة، إلا أن المعطيات حول الفترة، التي يمكن أن تبقى خلالها هذه الرقائق فعالة (عمر الاستثمار) ما تزال غير واضحة، كما أن الحذر من اللجوء إلى هذا النوع من التكسية قد جعل استخدامه يتم ضمن ظروف محددة، فمثلاً في ألمانيا تُستعمل الرقائق البلاستيكية للتكسية في الحالات الآتية:

- في المنشآت الحاجزة للمياه بارتفاع حتى 15.0m.
- ألا تكون سماكة الرقائق أقل من 1.0mm.
- في تكسية السفوح ذات الميول الجانبية التي لا تزيد على 1:2.5.
- ألا تزيد قيمة إجهادات الشد طويلة الأمد على 0.50Mpa، وقصيرة الأمد على 2.50Mpa.

تتطلب الأعمال المرتبطة بتنفيذ التكسية بالرقائق البلاستيكية الالتزام بمجموعة من القواعد الأساسية المتعلقة بتأمين ديمومة وفعالية التكتيم من جهة، ومن جهة أخرى مراعاة الشروط، التي يجب أن تتوافر في طبقة التربة تحت الرقائق، وتنفيذ طبقة التغطية فوقها، لذلك فإن سطح التربة تحت الرقائق يجب أن يُسوى بعناية بحيث لا يحتوي على مناطق ذات تربة مفككة، أو تموجات تؤدي لهبوطات، وظهور شد للرقائق، ويجب التأكد أيضاً من عدم وجود كتل حجرية، أو حصويات من البحص ذات حواف حادة يمكن أن تؤدي إلى ثقب، أو تمزيق الرقائق.

تُمد الرقائق البلاستيكية، بحيث تكون ملاصقة تماماً للقاعدة تحتها، على ألا يحصل لها شد، أو تجعد وتموج، ويجب مباشرةً فرش طبقة الحماية فوقها (تربة أو بلاطات بيتونية أو رمل أو ...الخ) لحمايتها من أشعة الشمس.

كذلك من الضروري التقيد بالقواعد المتعلقة بوصل الرقائق فيما بينها بالشكل المناسب، الذي يمنع حصول أي تسرب للمياه عبر مناطق الوصل.

إن التوصل إلى نتائج مرضية باستخدام رقائق البلاستيك يتعلق نسبياً بالعناية، التي تُولى لعملية تنفيذها وتأمين الكتامة التامة عبرها، ولا يُلجأ عادةً إلى استخدام الرقائق البلاستيكية لتكتيم مجاري القنوات دون طبقة حماية إلا نادراً، وعندما يكون اللجوء إلى ذلك ضرورياً فللمنشآت المؤقتة فقط، وعندها يجب الوضع في الحسبان أن هذه الرقائق ستتخرب بعد فترة تراوح بين سنتين وثلاث سنوات، وستقل فعاليتها كوسط كتيم، أما مسببات التخريب فهي متعددة، ومنها:

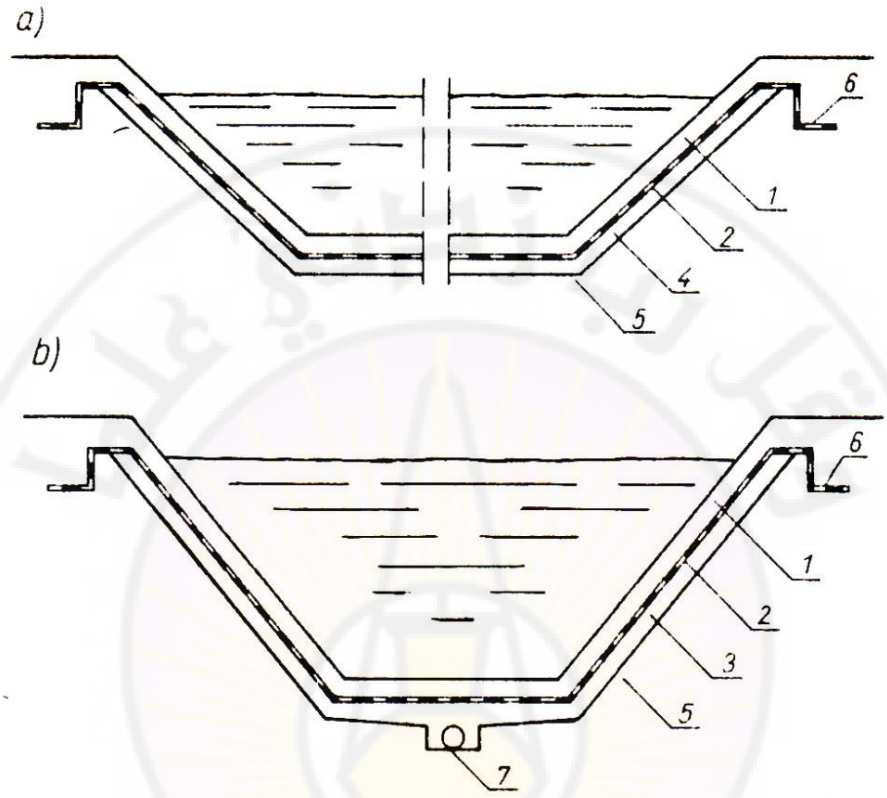
- تأثير الأشعة فوق البنفسجية.
- آليات تنظيف القنوات أثناء أعمال الصيانة.
- المياه الجارية في القناة، التي تعمل على فصل الرقائق عن الجوانب والقعر، وكذلك الرياح التي يمكن أن تقوم بنفس التأثير في أجزاء السفوح الواقعة فوق منسوب المياه في القناة.
- الإنسان والحيوان.

عندما تكون عملية تسوية سطح التربة تحت الرقائق غير ممكنة، أو مكلفة وتحتاج لوقتٍ طـــويل وجهدٍ كبير (وجود قطع كبيرة من البحص والحجارة ذات حواف حادة، أو أن القاعدة صخرية متشققة ومتفتتة، وما شابه ذلك)، فإنه يُفرش بطبقة من الخيش أو الستريو بور بسماكة 0.15m -0.10، (الشكل 1–10–a)، وإذا كان متوقعاً أن يكون ضغط المياه الجوفية (في حال وجودها) كبيراً فيكون تنفيذ التكسية بالرقائق البلاستيكية كما في الشكل (1–10–b).

يجب مد الرقائق بحيث لا تكون مشدودة، وألا تظهر فيها أي تموجات وتجعدات. ويتم تجنب حدوث الشد فيها عن طريق إعطائها طولاً إضافياً في الاتجاهين مقداره 5.0%.

يجري تثبيت الرقائق البلاستيكية في أعلى جوانب القناة، وذلك بجعلها تستمر ضمن خندق يُحفر على الكتفين الجانبين للقناة بعمق 0.15m، وعرض 0.25m، وعلى مسافة 0.15m من الحافة العلوية للقناة، ثم يُردم هذا الخندق بالتربة التي يجري رصها لاحقاً بعناية (الشكل 1–10)، أما طبقة الحماية الحصوية أو الرملية فوق الرقائق، فيجري تنفيذها بدءاً من الأسفل ونحو الأعلى.

يُفضل مد الرقائق في درجة حرارة لا تقل عن الصفر مئوية إلا إذا كانت جافة تماماً، ومن المستحسن أيضاً ألا تزيد درجة الحرارة عند المد على ثلاثين درجة مئوية، لأن إمكانية تمزقها أثناء ذلك تكون كبيرة، ويُراعى كذلك العمل عندما لا تهب الرياح.



الشكل (1-10). التكتيم برقائق بلاستيكية (بوليميرية).

a) بدون مصرف b) مع مصرف

1- طبقة حماية علوية، 2- رقائق بوليميرية، 3- طبقة صرف، 4- طبقة حماية سفلية، 5- أرضية القناة، 6- تثبيت الرقائق ضمن الكتف الجانبي للقناة، 7- مصرف.

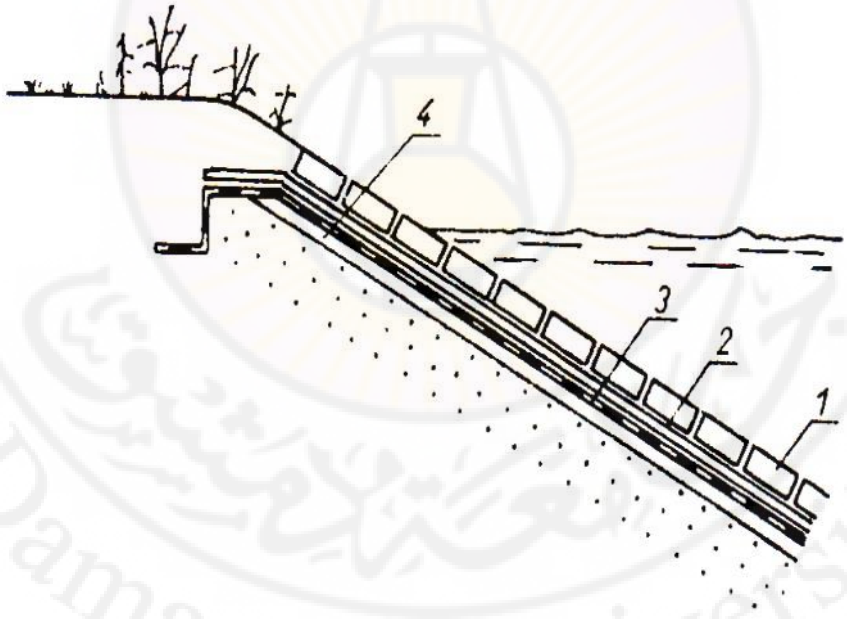
3. 4. 5. 1 التكتيم بالبيتون والرقائق البلاستيكية:

تقوم الرقائق البلاستيكية في هذا النوع من التكسية بدور التكتيم، أما البيتون الذي يمكن أن يكون مصبوباً في المكان، أو على شكل غونيت، أو على شكل قطع جاهزة مسبقة الصنع فيلعب دور طبقة الحماية، ونادراً ما تُستخدم هذه التكسية، بحيث يلعب البيتون والرقائق دور عنصرٍ واحد يعمل من جهة على تقوية جوانب وقعر القناة، ومن جهة أخرى على تأمين كتامة محيطها المبلول.

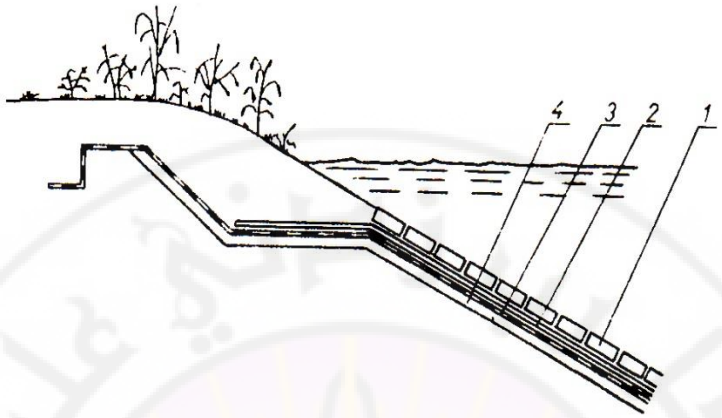
بُدئ استعمال التكتيم بالبيتون والرقائق البلاستيكية منذ أواخر الخمسينيات، ويُلجأ إليه عند توافر ظرف أو أكثر من الظروف الآتية:

- النفاذية العالية للتربة.
- تشبع أو غرق التربة بالمياه.
- إمكانية انهيار وانجراف التربة.
- الخشية من تملح التربة.

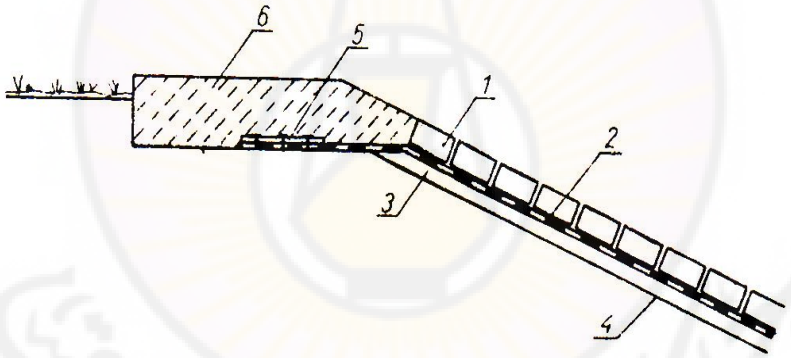
إن بنية الرقائق وأبعادها مع طبقات الحماية وطريقة تنفيذها وإعداد القاعدة تحتها وتفاصيل أخرى وردت في الفقرة السابقة (1-5-4-2)، أما نماذج هذا النوع من التكسية فتبينها الأشكال الآتية:



الشكل (1-11). تكتيم القنوات بالبيتون والرقائق البلاستيكية مع تثبيت الرقائق قريباً من سطح الأرض.



الشكل (1-12). تكتيم القنوات بالبيتون والرقائق البلاستيكية مع تثبيت الرقائق عميقاً عن سطح الأرض.



الشكل (1-13). تكتيم القنوات بالبيتون والرقائق البلاستيكية مع تثبيت الرقائق ضمن كتلة بيتونية.

1- عناصر بيتونية، 2- طبقة من الخيش، 3- رقائق بلاستيكية، 4- طبقة حماية سفلية.
5- تثبيت الرقائق، 6- كتلة بيتونية.

يمكن لطبقة الحماية فوق الرقائق أن تكون كما ذُكر سابقاً من الغونيت شريطة ألا يؤدي الضغط، وطول المسافة بين خرطوم الضخ والرقائق إلى تمزقها.

4. 4. 5. 1 التكسية الإسمنتية الغضارية:

لا زال استخدام هذا النوع من التكسية حتى الآن يتم على نطاقٍ ضيق، وهو يُنفذ من التربة المحلية الناتجة عن حفر تربة القناة عندما تكون غير متماسكة، ثم يُضاف إليها الإسمنت بنسبة (5- 10)% من الخلطة.

يعتمد تكتيم القنوات في هذه الحالة على عزق طبقة سميكة من تربة الجوانب والقعر ثم إضافة الإسمنت إليها، وبعد الانتهاء من خلط التربة مع الإسمنت، والذي يمكن أن يتم آلياً (بوساطة جبالات) يجري ترطيب الخلطة بالماء ثم رصها جيداً.

للتفريق بين استعمال الإسمنت والغضار في تكسية القنوات، واستعمالها في السدود، فإنها في الأعمال المتعلقة بالسدود تكون على شكل كتل كبيرة، أما للقنوات، فتُنفذ كبلاطات بسماكةٍ تراوح في المجال 0.075-0.15m (نادراً ما تكون أقل من 0.10m)، وتكون مقاومتها على الضغط (10÷25Mpa)، ومعامل التسرب نحو 0.01m/d والفواقد المائية $0.03\div0.06 m^3/(m^2.d)$، ومعامل الخشونة (0.016 ÷ 0.013)، وقد لُوحظ عملياً أن تنفيذ التكسية الإسمنتية الغضارية يكون صعباً على جوانب القنوات ذات الميول الحادة، لذلك يُنصح بأن يكون الميل أصغر أو يساوي 1:3.

5. 4. 5. 1 التكتيم بالغضار:

تقلص استخدام التكتيم بالستائر الغضارية في القنوات كثيراً، وذلك بسبب الصعوبة في تنفيذ الأعمال الترابية، وأعمال التقوية التي تتطلبها السماكة الكبيرة لهذه الستائر، وكذلك ضرورة تأمين الحماية لها من تأثير التآكل والانجراف، وكذلك من تأثير الصقيع في البلدان المعتدلة والباردة.

استُخدم التكتيم بالغضار في القنوات الكبيرة، ولاسيما قنوات الملاحة بسماكة (0.50−1.0)m، وتمت حمايتها في الجزء العلوي من المحيط المبلول بالحجارة، أما في الجزء السفلي، فتمت الحماية بطبقة من التربة بسماكة (0.50÷0.80)m، وقد كانت طبقة التكتيم قليلة الحساسية بالنسبة للهبوط، وذات ديمومة ونفاذية منخفضة، حيث بلغت الفواقد بالرشح ($0.06 m^3/(m^2.d)$).

لا يُستخدم هذا النوع من التكسية في القنوات الصغيرة، إذ إن حجم الحفر تحت الستارة الغضارية وتقويتها يشكل نسبياً جزءاً كبيراً من الحفر اللازم لمقطع القناة الفعال، كما أن استخدامها بسماكاتٍ صغيرة m(0.25− 0.10) يُعد نادراً أيضاً إلا في بعض الحالات الخاصة (لقناة ري مثلاً) كتوافر المواد اللازمة لتنفيذ الستائر بالنوعية والكمية المناسبتين قريباً من القناة.

6. 4. 5. 1 التكتيم بالغضار والرقائق البلاستيكية:

يمكن تكتيم القنوات بطبقات من التربة التي تنتج عن حفر القناة مع رقائق بلاستيكية بسماكة mm (0.5 -1.0)، وذلك عندما تكون التربة في الحالة الطبيعية ذات نفوذية صغيرة للماء، وعندما يُقدر أن فرش هذه التربة، ثم رصها سيزيد من كتامتها.

إن تنفيذ هذا النوع من التكسية بسماكاتٍ كبيرة ينتج عن ضرورة حماية الرقائق البلاستيكية من الأضرار، التي يمكن أن تلحق بها نتيجة مرور الآليات في القناة خلال فترات الصيانة، أو من الثقب الذي يُتوقع أن يحصل فيها بسبب نمو الأعشاب، والعمل أيضاً على حمايتها من تأثير بعض مبيدات الأعشاب التي تُضاف للتربة مسبقاً.

يجب أن تُسوى القاعدة تحت الرقائق بعناية، وأن تكون خالية من الحجارة والبحص، وعندما يكون ذلك متعذراً يجري فرشها بطبقة حماية من تربة غير متماسكة $d_{\max} \le 0.6mm$، بسماكة تساوي m (0.15− 0.10).

7. 4. 5. 1 التكتيم بالبينتونيت:

البينتونيت هو معدن مكون من خليطة من الرماد البركاني القديم، وسيليكات الألمنيوم، ومن مركبات أخرى، ويشمل تركيبه 90% من جزيئات شبه غروية، لذلك فهو يمتاز بقدرة امتصاص عالية، وانتفاخ كبير في الماء يسمحان باستخدامه كمادة للتكتيم.

تُنفذ طبقة البينتونيت بفرشها أولاً بسماكة mm(5.0− 2.5)، ثم تغطيتها بطبقة من التربة تحميها من تأثير الآليات أثناء الصيانة، ومن المياه الجارية في القناة، ومن...الخ. ولكن رغم هذه الاحتياطات، فإن عمر هذا النوع من التكتيم يُعد قصيراً، فهو لا يتجاوز سبع سنوات، لذلك فإن استخدامه يجري على نطاق ضيق جداً.

8. 4. 5. 1 التكسية بالبيتومين:

تُستخدم هذه التكسية على شكل ستائر من البيتون الأسفلتي، وهي مستعملة بكثرة في كلٍ من الولايات المتحدة وفرنسا وألمانيا وهولندا وإيطاليا واليابان، حيث توجد في هذه الدول كبرى الشركات المتخصصة في هذا المجال.

من الميزات الأساسية للتكسية بالبيتون الأسفلتي الكتامة العالية، حيث لا تتجاوز قيمة الفواقد المائية بالرشح عبرها $0.03m^3/(m^2.d)$. بالإضافة إلى مرونتها ومقاومتها النسبية للتأثير الكيميائي، وبعدم الحاجة إلى إنشاء فواصل تمدد وهبوط عند استخدامها، وبأنها تأخذ شكل القاعدة التي تُنشأ عليها، وأن إصلاحها يتم بسهولة.

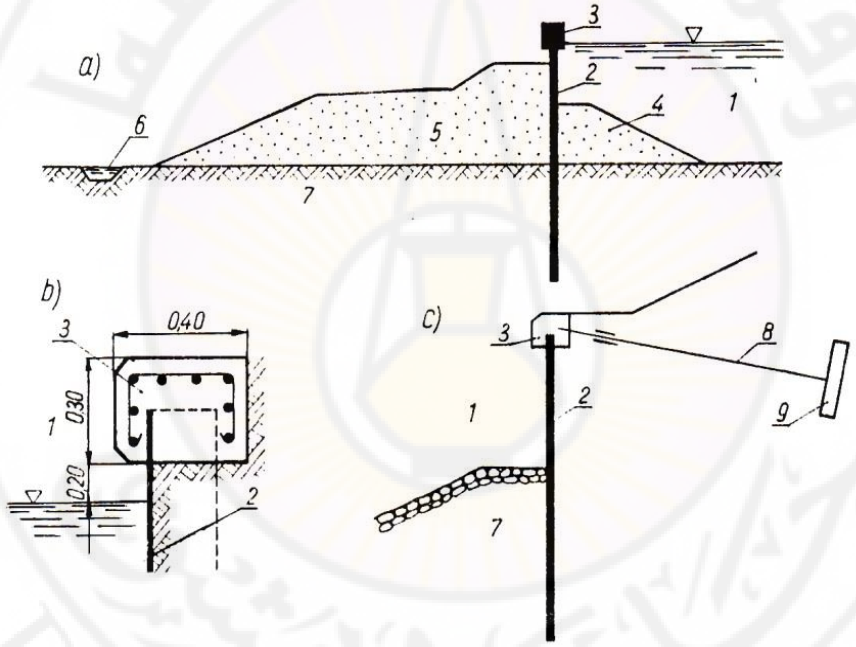
أما سلبياتها فتنحصر بشكل رئيس بما يأتي:

- قصر عمر الاستثمار نسبياً، فهو يراوح بين 15 و20 سنة.
- إمكانية تآكلها بفعل المياه الجارية في القناة، لذلك يُوصى ألا تتجاوز سرعة الجريان المسموح بها 1.50m/s.
- تأثرها بدرجات الحرارة العالية، لذا لا تُستخدم في المناطق الحارة إلا عند الضرورة، وحينها يجب اختيار تركيبها الحبي، بحيث يكون مستقراً في هذه الظروف.
- عدم مقاومتها لنمو الأعشاب، ومن هنا ضرورة إضافة المبيدات إلى طبقة التربة التي ستُنفذ فوقها التكسية.

تبلغ سماكة التكسية الإسفلتية (0.06-0.05)m للقنوات التي تجري فيها المياه بعمق يصل حتى 5.0m، أما للقنوات الأعمق فتُؤخذ سماكة التكسية 0.10m، ونادراً ما تُنفذ بسماكاتٍ أكبر، ويمكن عملياً مصادفة أنواع أخرى من التكسية البيتومينية، فمثلاً يمكن فرش قعر وجوانب القناة بحجارة (مرصوفة أو غير مرصوفة)، ثم ملئ الجزء السفلي فقط من الفراغات الواقعة فيما بينها بالإسفلت، ويتم بهذه الطريقة الحصول على تقوية وتكتيم للقناة في آنٍ معاً، لذلك يُفضل هذا النوع من التكسية على التقوية بالحجارة فقط.

9. 4. 5. 1 ستائر التكتيم:

يُلجأ إلى إنشاء هذه الستائر عندما تبرز ضرورة زيادة عرض القناة مع عدم توافر المساحة اللازمة لذلك، فتُجعل الجوانب عندها شاقولية عن طريق ستائر معدنية كتيمة (نادراً ما تكون بيتونية مسلحة) تقوم من جهة بتقوية جزءٍ من المحيط المبلول للقناة، وبالتكتيم أحياناً من جهةٍ أخرى. وتكون هذه الستائر مثبتة إلى الجوار أو غير مثبتة كما في الشكل (1-14).



الشكل (1-14). تقوية وتكتيم القنوات بستائر معدنية.

a) ستائر غير مثبتة إلى الجوار، ولكن تستند إلى طبقات الردم، b) ستائر غير مثبتة منفذة في الحفر، c) ستائر مثبتة إلى الجوار.

1- مجرى القناة، 2- ستارة معدنية كتيمة، 3- كتلة التثبيت إلى الجوار، 4 و5- ردم، 6- خندق، 7- قاعدة القناة، 8 - سلك التثبيت، 9- بلاطة مثبتة في الجوار.

10. 4. 5. 1 التقوية بالحجارة:

تُستخدم هذه التقوية حالياً على شكل حجارة غير مرصوفة، أما رصفها الذي لا يمكن أن يكون ممكناً فيُلجأ إليه عملياً في حالة إصلاح الطبقة الحجرية المرصوفة للقنوات القديمة وتبديلها، أو في مناطق محددة من القناة.

من ميزات التقوية غير المرصوفة:

- إمكانية مكننة الأعمال المتعلقة بها.
- استخدام الحجارة من منطقة إنشاء القناة.
- المرونة وإمكانية أن تأخذ طبقة التقوية شكل القاعدة تحتها، لذلك فإن هذه التقوية قليلة الحساسية للهبوط، والتغيرات الأخرى التي تطرأ أثناء الاستثمار.

أما سلبياتها فهي الخشونة العالية والسماكة الكبيرة، التي يمكن أن تبلغ مع طبقة الفلتر العكسي حتى 1.0m.

بوضع هذه السلبيات في الحسبان، فإن التقوية بالحجارة غير المرصوفة لا تُستخدم في القنوات التي يكون المطلوب فيها التقليل من مقاومات الجريان، وتخفيض خشونة القعر والجوانب، كذلك لا يُلجأ إلى استعمالها للقنوات الصغيرة، التي تكون فيها مساحة المقطع العرضي للحفر تحت طبقة التقوية غير المرصوفة كبيرةً بالنسبة للسطح اللازم لتمرير الغزارة المطلوبة.

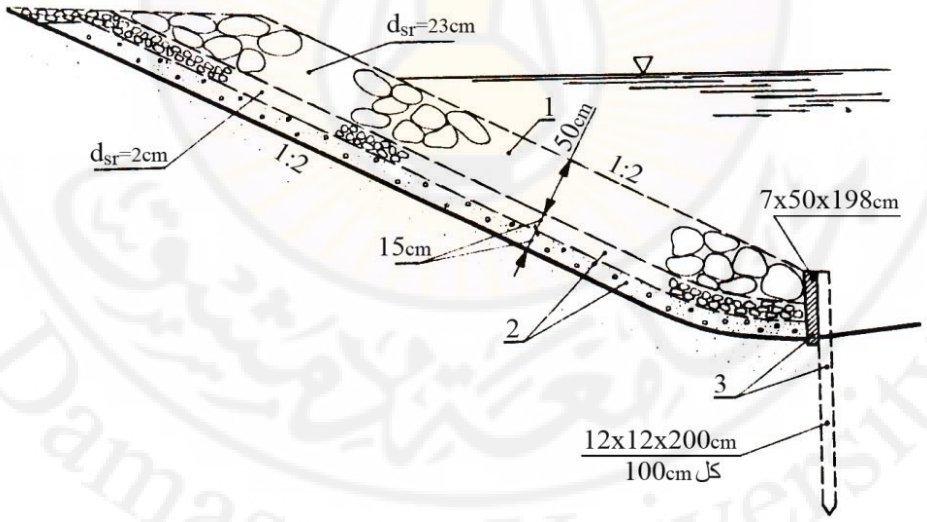
تُستخدم التقوية بحجارة غير مرصوفة بشكلٍ واسع في قنوات الملاحة، حيث تكون زيادة الخشونة مفيدةً للتقليل من التأثير السيئ الناتج عن الأمواج، التي تسببها حركة السفن في القناة. تُنفذ طبقة التقوية غير المرصوفة من حجارة متينة ذات تدرجٍ حبيٍ مناسب، وبأقطار مختلفة تراوح عادة بين عدة سنتيمترات و m (0.30−0.40)، بحيث تصل كثافتها إلى أكثر من $2.40t/m^3$، وللحد من الأضرار التي يمكن أن تلحق بها نتيجة الحركة الملاحية المستمر يُستحسن أن تُنفذ القنوات بميلٍ جانبي يساوي 1/3 أو 1/2، وذلك بشكل استثنائي.

تُؤخذ سماكة طبقة التقوية عادة في المجال m (0.50– 0.30)، أما بالنسبة للفلاتـــر العكسية فتُنفذ بسماكة m(0.30-0.1)، وأحياناً بسماكة 0.50m، وذلك حسب عدد الطبقات اللازمة، وقد بدء حديثاً الاستعاضة عنها كلياً أو جزئياً بطبقات من القنب.

تُنفذ طبقة التقوية باستخدام رافعات، أو بإلقاء الحجارة مباشرةً من السيارات القلابة التي تنقلها إلى موقع الإنشاء فوق جوانب القناة، ثم تتم تسويتها ببلدوزرات تتحرك من الأسفل نحو الأعلى، وذلك للتقليل من خطر انزياح طبقات الفلتر العكسي.

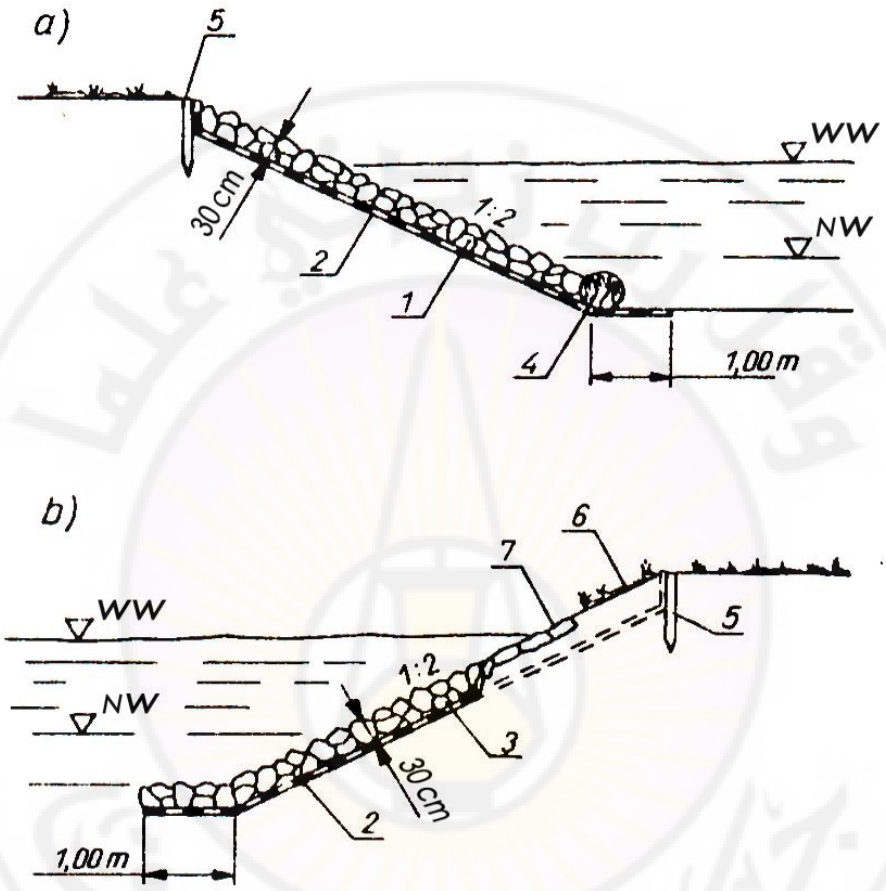
يُبين الشكل (1-15) التقوية بالحجارة غير المرصوفة لقناة ميلها الجانبي 1/2، وذلك فوق فلتر عكسي مؤلف من طبقتين وبوجود حركة قليلة للسفن.

أما الشكل (1–16) فيوضح طبقة التقوية ضمن ظروف مشابهة، ولكن فوق طبقة من القنب.



الشكل (1-15). تقوية مجرى قناة بالحجارة.

1– حجارة، 2– طبقة حماية، 3– دعامة (ألواح خشبية وأوتاد بيتونية).



الشكل (1-16). تقوية مجرى قناة بالحجارة مع طبقة من الخيش.

a) التدعيم، b) تدعيم أسفل السفح بالحجارة.

1 و3– حجارة، 2– طبقة من القنب، 4– حزمة قضبان، 5– وتد $\phi 8 \div 10cm$،

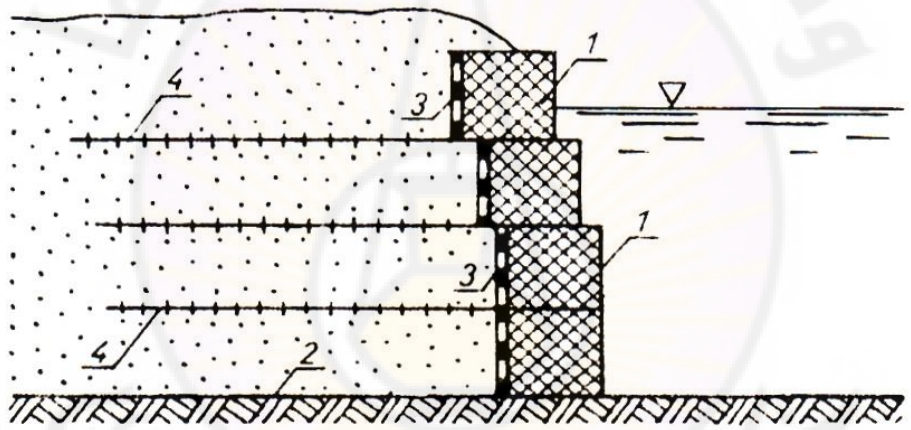
6– كتل ترابية مقتلعة مع العشب وجذوره، 7– عشب.

إن الأسس والقواعد والأشكال المتعلقة بطبقة التقوية الحجرية غير المرصوفة التي تم إيرادها سابقاً تشمل بالإضافة لقنوات الملاحة الأنواع الأخرى للقنوات.

11. 4. 5. 1 التقوية بأقفاص مملوءة بالحجارة:

تُنفذ هذه التقوية من أقفاص معدنية متوازية المستطيلات مصنعةً من أسلاك بقطر mm (2.0 –4.0) ذات مقاومة N/mm^2 (390 –490) تُملأ بحجارةٍ ذات قطر مكافئ m (0.15 –0.2)، وهي تُستخدم لتقوية مجاري القنوات، أو لبناء قنواتٍ ذات سفوحٍ جانبية شاقولية (الشكل 1-17).

تُثبت الأقفاص في التربة الجانبية بوساطة شبكات من المواد الاصطناعية، وتُحمى من جهة التربة بطبقة من القنب تقوم بدور الفلتر العكسي.



الشكل (1-17). جدار قناة من الأقفاص المملوءة بالحجارة.

1– قفص مملوء بالحجارة، 2– قعر القناة، 3– طبقة من القنب،
4– شبك تثبيت من مواد اصطناعية.

لتقوية السفوح ذات الميول الطبيعية (مثل 1/2 و1/1.5) يمكن عملياً استخدام حصائر حجرية من نوع الأقفاص، ولكن بارتفاعاتٍ قليلة m (0.30-0.50). ونظراً لارتفاع كلفة الأقفاص والحصائر، فإن اللجوء إلى استعمالها يكون محلياً فقط، وذلك على الأجزاء القصيرة التي يتعذر عندها أن تكون القناة بالعرض اللازم، أو عندما يكون التأثير المخرب للمياه الجارية كبيراً.

6. 1 تحسين الكتامة وزيادة مقاومة الحت للتربة في مجاري القنوات:

إن ارتفاع أكلاف التكسية، والكميات الكبيرة من المواد اللازمة لإنشائها، وحجم العمالة الضرورية للتنفيذ دفع منذ وقتٍ طويل إلى البحث عن طريقة أكثر جدوى للتقليل من الفواقد بالرشح من القنوات، وتقوية مجاريها.

وفي سبيل هذا الهدف تم التوجه بشكل أساسي نحو محاولة تغيير بنية وخواص التربة المتجاورة مع المحيط المبلول للقناة، بحيث تصبح أقل نفاذية، وأكثر مقاومة للحت والتآكل والانجراف، ولهذا الغرض يُعمل على تغيير تركيب التربة، وذلك بخلطها أو إشباعها أو حقنها بكميات من مواد مختلفة كالزجاج المائي مع كلوريد الكلس، أو الفوسفور الصودي، أو ملح الطعام، أو الكلس، أو النفط ومشتقاته، أو الراتنج، أو ... ...الخ، إل أن استخدام هذه الإجراءات لم يتوسع بعد، وذلك لأن فعاليتها تستمر لفترة قصيرة فقط بسبب غسل (جرف) المياه لها مع مرور الزمن، فيتضاءل تأثيرها شيئاً فشيئاً.

يمكن عملياً تحسين كتامة التربة (زيادتها) بشكل أفضل عن طريق ملء الفراغات الموجودة بين حبيباتها، حيث تقلل هذه الطريقة الفواقد المائية بالرشح بحدود من خمس إلى عشر مرات، وذلك عبر:

1. السماح لمياه محملة بمواد رملية وطينية بالجريان في القناة، حيث تتسرب هذه المياه إلى طبقة التربة، التي يترسب ما بين حبيباتها الرمل والطين والتراب المحمول مع المياه، مما يقلل حجم المسامات في التربة، ويخفض من نفاذيتها، وتُسمى هذه الطريقة في تحسين كتامة التربة بطريقة ملء الفراغات داخلياً.
2. السماح للمواد الطينية والترابية والرملية بالترسب فوق سطح سفوح القناة وقعرها مباشرة، بحيث تتشكل طبقة من هذه المواد تعمل على التقليل من نفاذية القناة عبر محيطها المبلول، ويُسمى هذا التكتيم بسد الفراغات خارجياً، ولا يُعد سد الفراغات خارجياً ذا ديمومة، لأن زيادة سرعة الجريان في القناة بعد دخولها الاستثمار تؤدي إلى تآكل وجرف طبقة الطمي المترسبة.

لتكون عملية ملء الفراغات داخلياً فعالة يجب المحافظة على نسبةٍ محددة بين التدرج الحبي للمواد المستخدمة في عملية الترسيب، والتدرج الحبي لتربة القناة، وأن تُضاف هذه المواد إلى مياهٍ ساكنة في مجرى القناة، أو ذات سرعة جريان صغيرة جداً.

إذا رُمز بالحرف d لقطر حبيبات المواد التي سيتم ترسيبها، وبالحرف D لقطر حبيبات تربة القناة، فإنه لكي تتم لاحقاً عملية ملء الفراغات يجب أن يكون:

$$\frac{d}{D} < 0.15 - 0.20$$

أما بالنسبة لسرعة الجريان، فإنها يجب ألا تتجاوز القيم الآتية:

$v = 0.20$ m/s	إذا كان:	$d = 0.05$mm
$v = (0.10 - 0.15)$ m/s	إذا كان:	$d = 0.01$mm
$v = 0.05$m/s	إذا كان:	$d = 0.005$ mm

وبالنسبة لسرعة الجريان في حالة سد الفراغات خارجياً، فيجب أن تبقى في المجال $(0.6\text{-}0.7)$ m/s.

يمكن أيضاً زيادة كتامة التربة في مجاري القنوات برص التربة على طول المحيط المبلول، وقد خفضت هذه الطريقة الفواقد المائية بالرشح من أربع إلى ثماني مرات، وهي تُستخدم بشكل رئيس للترب الرملية.

إذا كانت القناة تعمل بشكلٍ دوري، فإنه تظهر على سطح سفوحها وقعرها تشققات تنتج عن تأثير الصقيع، أو درجات الحرارة المرتفعة، كما ويمكن أيضاً أن تنمو بعض الأعشاب، لذلك من الضروري قبل رص التربة القيام بعزقها، وتسويتها والتخلص تماماً من الأعشاب وجذورها.

7. 1 القنوات المرفوعة:

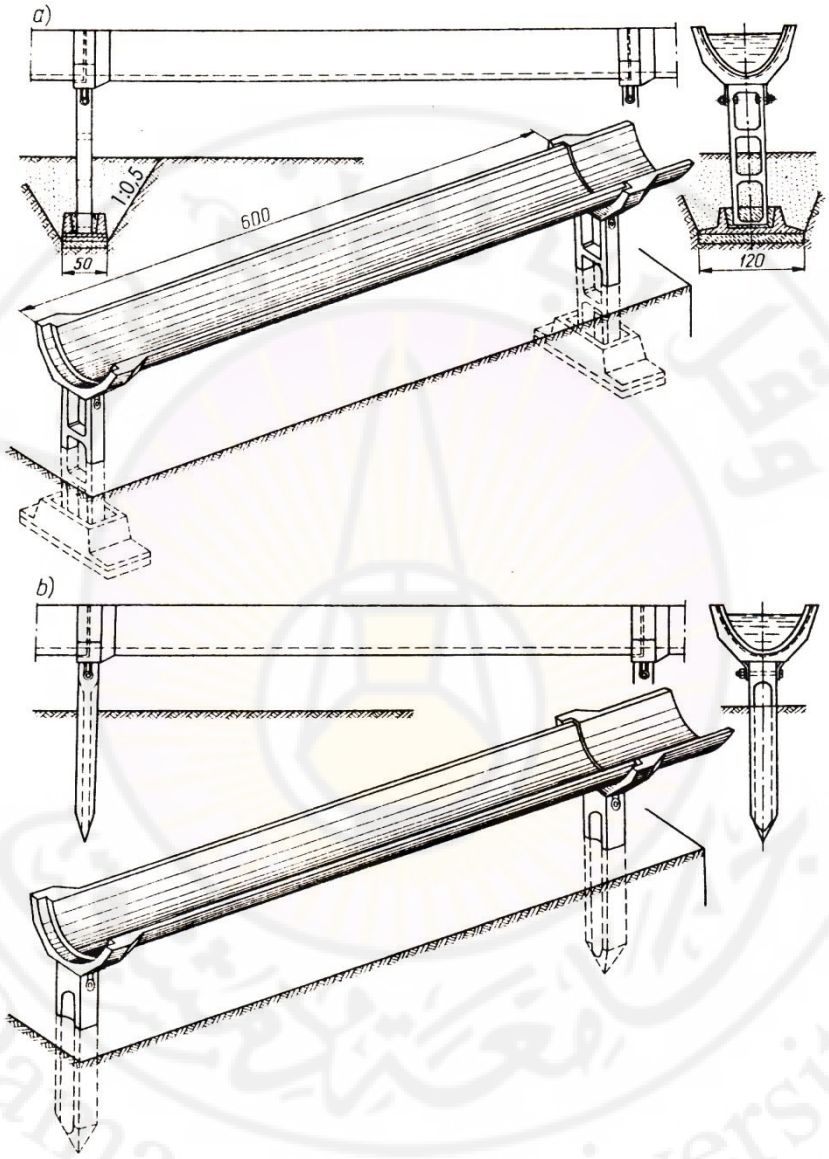
تُستعمل هذه القنوات ضمن مشاريع الري في البلدان ذات المناخ الحار والجاف، وتُنشأ عادةً من البيتون المسلح مسبق الصنع بمقطع عرضي غالباً ما يكون على شكل قطع مكافئ عميق، وهي تشكل ما يشبه الجوائز التي ترتكز من الطرفين على مساند طرفية، ونظراً للوزن الذاتي والحمولة العظمى المسموح بها للروافع المستخدمة في التنفيذ، فإن المجازات من مناطق الارتكاز يجب ألا تتجاوز 6.0 m.

تمتاز القنوات المرفوعة بالمقارنة مع القنوات ذات التكسية البيتونية بالإيجابيات الآتية:

- انخفاض قيمة الفواقد المائية بالرشح بمقدار % (5.0-15.0) بفضل إمكانية زيادة المسافة ما بين الفواصل.
- زيادة المساحة التي يمكن استغلالها زراعياً عن طريق الاستفادة من المساحات تحت القنوات المرفوعة.
- التقليل من أطوال المجاري بنحو m(4-15) لكل هكتار من المساحة المروية، إذ إن خط سير القناة المرفوعة لا يتعلق بشكل أساسي بالظروف الطبوغرافية، وحدود الملكيات، وما شابه ذلك.
- خفض أكلاف الصيانة بنحو % (30- 40).
- إمكانية استخدامها في المناطق ذات التضاريس المعقدة، والمناطق ذات الترب الصخرية، والترب عالية النفاذية، والترب ذات الظروف الهيدروجيولوجية السيئة.

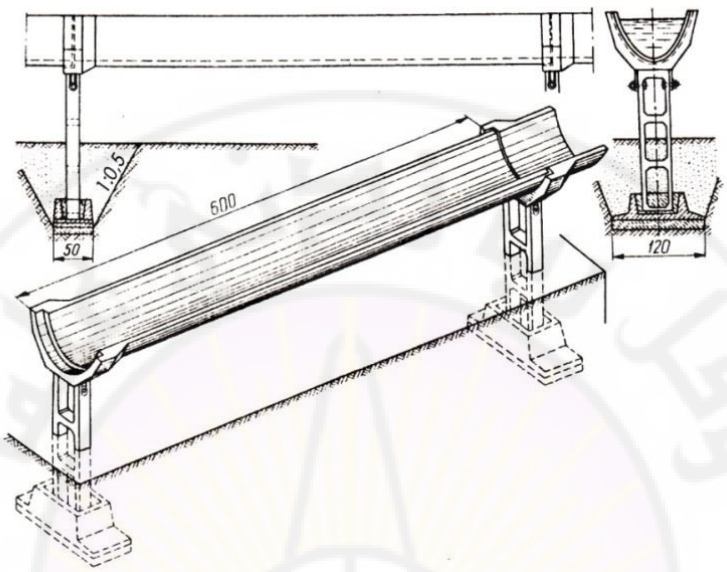
أما سلبياتها فتنحصر بشكل رئيسي بعرقلتها لحركة الآليات، التي يمكن استخدامها سواء في فترة التنفيذ، أو أثناء الاستثمار.

تكون هذه القنوات مرفوعة فوق الأرض ومحمولة على ركائز ذات أشكال دعامية أو وتدية (الشكل 1–18)، كما ويمكن أن تتوضع قريباً من سطح التربة، (الشكل 1–19).



الشكل (1-18). قنوات مرفوعة.

a) محمولة على ركائز، b) محمولة على أوتاد.



الشكل (1-19). قنوات مرفوعة متوضعة قريباً من سطح التربة،

a) مسقط جانبي ومقطع عرضي، **b)** منظور،

1– مجرى، **2**– طبقة من البحص أو من البحص والرمل.

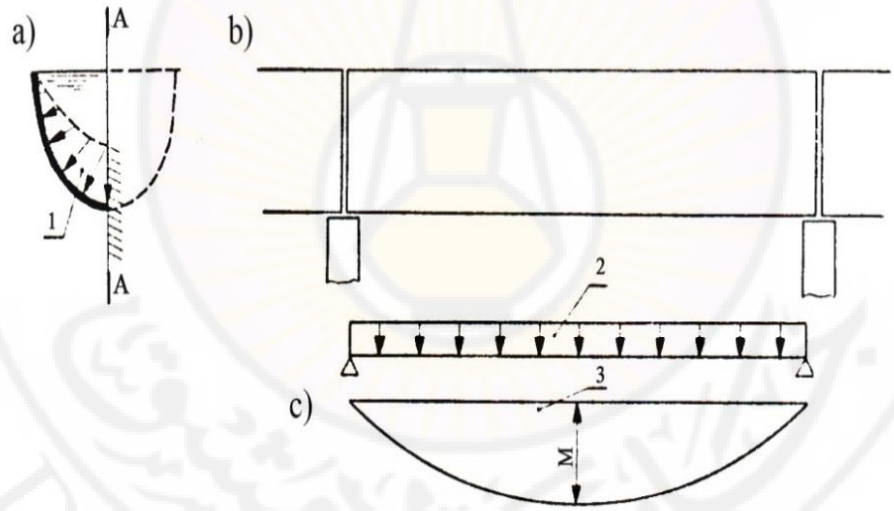
يجري حساب القنوات المرفوعة إنشائياً تحت تأثير القوى الآتية:

أولاً– ضغط **المياه والوزن الذاتي**، اللذان يؤثران بالاتجاه العمودي في محور الجريان (الشكل 1–20–a)، ويتم على أساسها تحديد التسليح العرضي، مع مراعاة ما يأتي:

- إذا كان عمق المياه في القناة المرفوعة $h \leq 0.70m$ ، فإن التسليح العرضي يؤخذ إنشائياً.
- إذا كان عمق المياه في القناة المرفوعة $h > 0.70m$ ، فإن التسليح العرضي يجب حسابه.
- عندما يكون العمق $h=(1.40 - 1.60)m$ يصبح العزم الجانبي كبيراً، لذلك من الضروري استعمال شدادات معدنية، أو بيتونية مسلحة تعمل على خفض قيم هذه العزوم.

ثانياً – وزن المياه ووزنها الذاتي، اللذان يؤثران بالاتجاه الطولي. حيث يُعد مجرى القناة هنا كجائز طولي يرتكز ارتكازاً حراً على مسندين (الشكل 1–20– b وc).

يجب عند إنشاء القنوات المرفوعة ألا تزيد قيمة الإجهاد الناتج عن الحمولات المطبقة في مناطق الارتكاز على قيم الإجهادات المسموح بها، والمتعلقة بشكل أساسي بنوع التربة. فإذا كانت التربة ضعيفة، فإن الإجهاد يجب ألا يزيد على $1.0kg/cm^2$. أما اتصال أجزاء القناة المرفوعة فيما بينها فيتم بأساليب مختلفة يوضحه الشكل (1–21)، وبالنسبة للحساب الهيدروليكي للمجاري المرفوعة، فإنه يتم باعتبار أن الجريان فيها هو جريان منتظم.



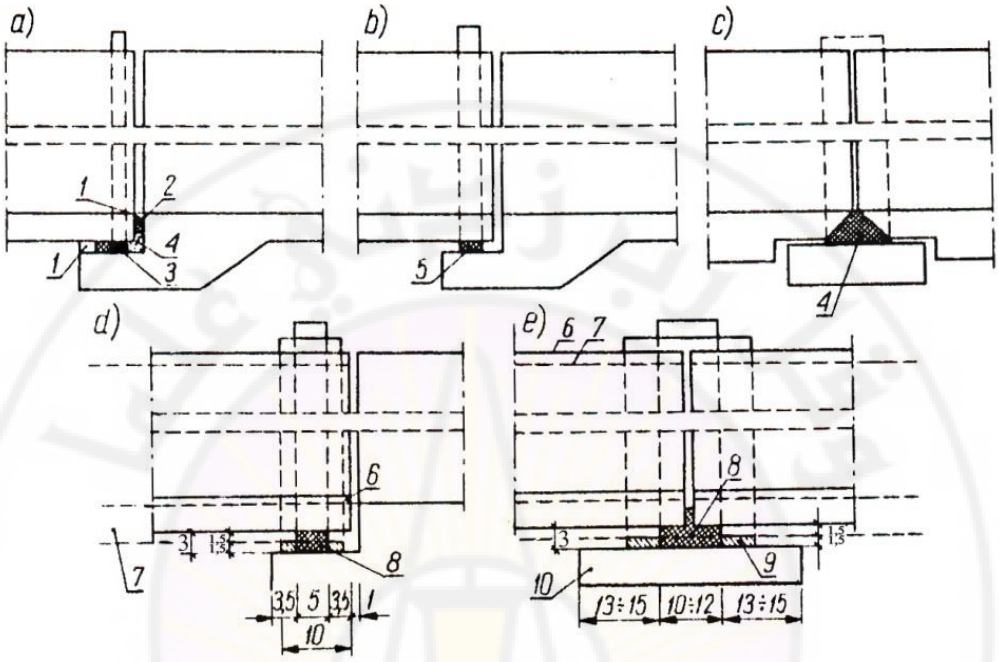
الشكل (1-20). الحساب الإنشائي لقناة مرفوعة.

a) الحمولات المؤثرة في الاتجاه العرضي،

b) شكل مجرى القناة بين ركيزتين كجائز يستند استناداً حراً من الطرفين،

c) الحمولات المؤثرة في الاتجاه الطولي.

1– مخطط ضغط المياه على جوانب المجرى، **2**– الحمولات الناتجة عن الوزن الذاتي ووزن المياه، **3**– مخطط العزم الناتج عن الحمولات بالاتجاه الطولي.



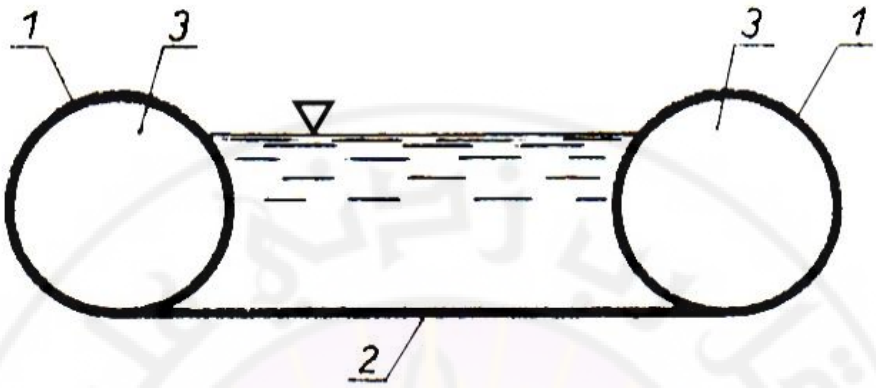
الشكل (1-21). مناطق الالتحام في فقرات القنوات المرفوعة.

a) تأمين الالتحام بالقنب المشبع بالإسفلت، b) تأمين الالتحام بالمطاط، c) تأمين الالتحام بالإسفلت، d) تأمين الالتحام بشبك من ليف الخبث المعدني عندما يكون الاتصال على شكل كأس مقلوب، e) تأمين الالتحام بشبك من ليف الخبث المعدني عندما يكون الاتصال على شكل سرج.

1- مونة إسمنتية، 2- ليف من الخبث المعدني، 3- قنب مشبع بالإسفلت، 4- بيتومين، 5- وسادة مطاطية، 6- المجرى قبل تقلص الشبك،7- المجرى بعد تقلص الشبك، 8- الشبك قبل التقلص، 9- الشبك بعد التقلص، 10- سرج.

يجري في السنوات الأخيرة البحث عن حلول أخرى تكون فيها مجاري القنوات المرفوعة بسيطة من الناحية الإنشائية، وكمثال على هذه الحلول النوعان الآتيان من القنوات:

- **النوع الأول:** تكون فيه جوانب القناة عبارة عن أنابيب مطاطية مملوءة بالهواء، ويُصادف استخدامه في بلدان الاتحاد السوفيتي سابقاً، (الشكل 1-22).

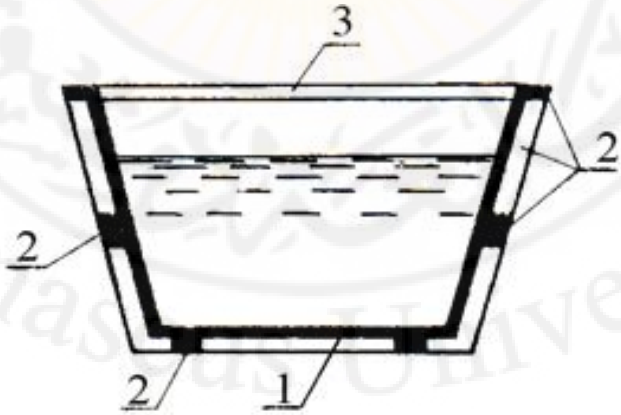


الشكل (1-22). قناة جوانبها من أنابيب مطاطية مملوءة بالهواء أو الماء.

1- جدار الأنبوب المطاطي، 2- قعر مطاطي، 3- هواء أو ماء.

- **النوع الثاني:** يتكون من العناصر الإنشائية المبينة على الشكل (1-23)، ويجري استخدامه حالياً في ماليزيا على مشروع ري مساحته 50000 هكتار، وقد نُفذت منه خمسة نماذج راوحت ارتفاعاتها بين 0.25m و0.80m.

لقد خفض استعمال هذا النوع من القنوات مساحات الأراضي، التي يمكن أن تخرج من الاستثمار الزراعي نتيجة وقوعها تحت مجاري القنوات من 8.0% إلى 15%.



الشكل (1-23). قناة من لدائن رقائقية.

1- لدائن رقائقية، 2- دعامات من خشب قاسٍ، 3- شدادات.

8. 1 استثمار القنوات:

8.1. 1 مقدمة:

تُعد القنوات، ولاسيما الكبيرة منها، بما تشمله من عناصر مختلفة كالأكتاف والتكسية والمصارف والطرق و....الخ، إضافة إلى المنشآت المتعددة التي يمكن أن تُقام عليها أو في جوارها (محطات ضخ ومحطات توليد ومفيضات ومساقط مائية ومنشآت أخرى) من المشاريع الهندسية المعقدة والمكلفة التي يتطلب حسن استثمارها القيام بالكثير من الإجراءات، التي تمكن من تأدية الوظيفة التي تُنشأ من أجلها، ولكي لا تترتب على هذه الإجراءات عمالة ووقتاً وأكلافاً إضافية كبيرة يجب مسبقاً تحديد مجالاتها والحاجة إليها، وإعداد البرامج اللازمة للقيام بها، ويتوجب عليها تأمين ما يأتي:

1. تخديم القناة والأجهزة والمنشآت المقامة عليها، بحيث يتم استخدامها وفق الغاية الأساسية من الإنشاء، أي أن توصل القناة المياه بالكمية والنوعية المناسبتين في الأوقات المحددة إلى المناطق السكنية والورشات الصناعية والمعامل، أو أن تُحافظ على الشروط الملائمة لعمل المحطات الكهرومائية (الميل وغزارة الجريان)، أو أن تتم حركة السفن والقوارب فيها دون عوائق أو ...الخ.
2. الاستخدام المقنن سواء للمياه الجارية إلى القناة أو المأخوذة منها عبر مأخذ ما.
3. توفير الأمان والديمومة وشروط الاستثمار المناسبة للقناة والمنشآت المرتبطة بها.

إن تحقيق الهدف الأخير يتطلب تنفيذ سلسلة من الأعمال التي يمكن تقسيمها إلى أعمال الصيانة وأعمال الاستثمار.

1.1.8.1 أعمال الصيانة والإصلاح:

تُنفذ أعمال **الصيانة** بشكل دوري أو مستمر، والغاية منها تجنب الآثار السيئة التي يمكن أن تنتج عن تقادم القناة، وعن العمليات التي تحدث في مجراها كالحت والترسيب والرشح....الخ، ويُعد المجال الذي تشمله هذه الأعمال كبيراً، ويتعلق بها نظام عمل مشروع القناة ككل والنظافة عليه، وفي الجوار وعلى الطرق والساحات والأبنية المرافقة، ومعالجة الانهيارات الصغيرة التي تحدث في طبقات التقوية أو التكسية أو في تربة السفوح والأكتاف والحواجز الترابية، والقيام في الأوقات المناسبة بجرف الطمي المترسب في مجاري القنوات، وتنظيفها من الأعشاب التي يمكن أن تنمو فيها.

أما أعمال الإصلاح فتُقسم إلى أعمال ترميم مؤقتة، وأعمال ترميم شاملة، وأعمال ترميم طارئة، حيث تضم أعمال **الترميم المؤقتة** الإصلاحات الصغيرة، أو تبديل بعض العناصر الإنشائية المعدنية أو الخشبية أو البيتونية، وكذلك الأجهزة الميكانيكية والكهربائية، كما وتشمل أيضاً الإصلاحات المحلية المتعلقة بتبديل بعض أجزاء التقوية أو التكتيم أو المصارف أو ...الخ.

أما أعمال **الترميم الشاملة** فتضم أشغالاً أكبر غالباً ما تتطلب تفريغ جزءٍ من القناة من المياه، مثل إصلاح المنشآت البيتونية والبيتونية المسلحة، وتبديل البوابات، أو طبقات التكسية والمصارف، وبالنسبة لأعمال **الترميم الطارئة** فهي تتعلق بإصلاح ما يتم تخريبه نتيجة الحوادث الطارئة.

إن المجالات التي يضمها كل نوع من الأعمال المذكورة سابقاً يمكن أن يطرأ عليها الكثير من التعديلات، وذلك حسب العديد من العوامل، التي منها الإمكانات التنفيذية لصاحب المشروع، فمثلاً إذا لم يتوافر الطاقم اللازم للقيام بالأعمال الضرورية، فإن أعمال الصيانة يمكن أن تتقلص، مما ينتج عنه بروز إمكانية تسريع وزيادة مجالها، أو تبرز ضرورة القيام بالإصلاحات والترميمات بعد الحوادث الطارئة فقط.

يُحدد مجال أعمال الصيانة والإصلاح على قاعدة اختبار المعطيات التي يتم الحصول عليها أثناء مراقبة الحالة الفنية للقناة، والتي تعتمد على قاعدة القيام بالكثير من المراقبات

والقياسات والاختبارات للمنشآت القائمة، وعلى قاعدة النتائج التي يتم الحصول عليها لتقدير حالة القناة من حيث الأمان والكفاءة، وضرورات الإصلاح.

تضم المراقبات والقياسات والاختبارات الحالة العامة للقناة، وذلك فيما يتعلق بالتشوهات التي يمكن أن تحصل في الأكتاف والحواجز الترابية، أو ضمن المنشآت المقامة عليها، وكذلك الآثار الناتجة عن الرشح (تسرب المياه وقياس كمياتها، وتحديد مناسيب المياه في التربة تحت المنشآت وفي الجوار)، ودراسة الترسيب (تحديد كميات الطمي المترسب)، والآثار الناتجة عن حت طبقات التكسية وتآكلها.

تجري القياسات بمساعدة أجهزة مراقبة وقياس تُركب على مجرى القناة بشكلٍ دائم، أو بوساطة أدوات قياس متنقلة، ويتم تحليل نتائجها مع نتائج المراقبات والاختبارات لتقدير حالة القناة، ومجال وزمان الأعمال الضرورية من خلال الكشف العام المؤقت والدوري والطارئ، وما بعد الطارئ للقناة الذي يشمل تفقد مجرى القناة، ومعاينة عناصرها، والأجهزة المقامة عليها.

يمكن نتيجة الكشف الشامل للقناة تقدير الحالة العامة لها، وتحديد أسلوب وزمان إجراء الأعمال الضرورية اللازمة لاستمرار كفاءتها، وتعيين موعد الكشف اللاحق.

تجري الكشوف العامة للقنوات بشكل دائم في نفس الموعد من كل عام باستثناء الكشف الطارئ وما بعد الطارئ. فمثلاً تتم الكشوف الدورية عادة قبل وبعد فترة الاستخدام المكثف للقناة. فإذا كانت مخصصةً لنقل المياه إلى محطة كهرومائية، فإن الكشف يتم قبل الشتاء وبعده، وإذا كانت للري، فإن الكشف يتم قبل فترة نمو المحاصيل وبعدها، وإذا كانت للملاحة، فإن الكشف يجري قبل موسم الملاحة وبعده.

لا يتم أحياناً، ولاسيما على القنوات الصغيرة القيام بمراقبات أو قياسات منتظمة، ويتم تقدير حالة القناة وضرورة القيام ببعض الأعمال، وتحديد مجالها بعد معاينة ميدانية بالعين المجردة فقط. إلا أن ذلك لا يعطي عملياً نتائج جيدة، وسيتم فيما يأتي تناول طرائق تنفيذ بعض الأعمال الهامة المتكررة الواجب القيام بها للمحافظة على كفاءة عمل القنوات، سواء الترابية منها أم المكسية:

أ- القنوات الترابية:

إن المحافظة على استقرار القنوات الترابية المنفذة دون طبقة تكسية تتطلب بشكل أساسي تجنب الآثار السالبة للعمليات الآتية:

أولاً- <u>ترسب المواد المحمولة</u>: بالنسبة لعملية الترسيب فهي غير منتظمة على كامل طول القناة، حيث يُلاحظ أن كمية المواد المترسبة على 1.0m من طول القناة يمكن أن تختلف بشكل واضح من جزءٍ إلى آخر على مسار القناة، ولتحديد كمياتها بدقة في القنوات الكبيرة تُؤخذ مقاطع عرضية على امتداد محور القناة بمسافات تراوح وسطياً بين 100m و 200m (يمكن أن تكون أحياناً أقل من ذلك)، ثم تُحسب الكميات الجزئية المحصورة بين هذه المقاطع، ومنها يتم تقدير الكمية الإجمالية للمواد المترسبة التي يجب جرفها خارج القناة.

تجري عملية الجرف الطمي غالباً بشكل آلي، وذلك بوساطة حفارات ذات نماذج مختلفة، وذلك انطلاقاً من الضفاف، أو من طوافات، أو بوساطة جرافات بالنسبة للقنوات الكبيرة جداً. أما اللجوء إلى جرف الطمي يدوياً فهو نادر، ويمكن أن يتم فقط عندما تتوافر الأيدي العاملة الفائضة، وتبرر الظروف الاقتصادية ذلك.

إذا كان عرض قعر القناة يراوح في المجال (4.0-20.0)m، وتجري فيها مياه محملة بكميات كبيرة من الطمي بعمق أكبر من 1.80m، فإن عملية تنظيف المجرى من المواد المترسبة يجب أن تتم كل **ثلاث** سنوات، أما إذا كانت كميات الطمي قليلة، فيمكن أن يتم التنظيف كل **أربع** أو **ثماني** سنوات، وبالنسبة للقنوات ذات الأبعاد الأصغر، فإن زمن تكرار عملية جرف الطمي ينخفض إلى **سنتين** فقط إذا كانت كميات المواد المترسبة كبيرة، وإلى ما بين **ثلاث وأربع سنوات** إذا كانت هذه الكميات قليلة.

يجب بشكل عام القيام بتنظيف مجرى القناة، وتشكيل وتسوية السفوح والأكتاف وسطياً كل **ثلاث** سنوات، وعندما تكون كميات الطمي الواجب جرفها من مجرى القناة كبيراً، ولا يتوافر المكان الملائم لرميها قريباً من مجرى القناة، فإنه يجب إيجاد المكان المناسب بعيداً عنها، والبحث عن الطرق اللازمة لعملية النقل والمؤدية إليه.

لا تقل أهمية عن عملية جرف الرسوبيات من مجاري القنوات العمليات اللازمة للتقليل من تدفق المواد المحمولة العمليات اللازمة للتقليل من تدفق المواد المحمولة إلى القناة والترسب فيها، ويمكن عملياً تخفيض كمية هذه المواد بواحدٍ من الأساليب الآتية:

- التحكم بشكل مأخذ المياه إلى القناة، بحيث تكون كمية الطمي أقل ما يمكن.
- جعل المأخذ في الجزء السفلي للخزان المائي، وتوجيه المياه إليه من الطبقات العلوية.
- سحب المياه من الخزان المائي في الفترات التي يكون فيها تدفق المواد المحمولة إليه أقل ما يمكن.
- التقليل من قدرة حت الرياح، ومياه الأمطار للتربة الناتجة عن حفر القناة المتوضعة في المناطق المحاذية، وذلك بزراعتها بالأعشاب.

أما بالنسبة للتخفيض من كمية المواد المحمولة الناتجة عن عمليات الحت التي تقوم بها المياه أثناء جريانها للجوانب والقعر، والتي يمكن أن يترسب جزءٌ كبيرٌ منها في مجرى القناة، فيمكن بزيادة قدرة المياه على حمل هذه المواد، وعدم السماح لسرعة جريانها أن تقل عن 75% من القيمة العظمى لها في الفترات التي يكون تركيز المواد المحمولة أعظمياً، والعمل على تنظيف مجرى القناة من الأعشاب بشكل دوري، وعدم السماح بحجز المياه على بعض أجزاء القناة بأعماق مرتفعة.

ثانياً- <u>نمو الأعشاب</u>: إن نمو الأعشاب في مجاري القنوات الترابية يؤدي إلى التقليل بشكل واضح من الغزارة التي تمررها القناة ، وذلك بتصغير مساحة مقطعها العرضي، كما ويمكن أن يشكل في المناطق الاستوائية تهديداً كبيراً للصحة العامة أيضاً، لأن الأعشاب النامية على المحيط المبلول للقناة تشكل مكاناً لتجمع، وتفريخ الحشرات الناقلة للميكروبات الممرضة (البعوض) والطفيليات التي تسبب أمراضاً تكون قاتلة أحياناً، ويمكن أيضاً لبعض أنواع الأعشاب أن تنتقل مع المياه الجارية إلى الأراضي التي يجري ريُّها، حيث تنمو وتمتد بسرعة على مساحات واسعة يكون من الصعب فيما بعد اجتثاثها، والتخلص من جذورها.

من هنا فإن عملية إزالة الأعشاب من مجاري القنوات غير المكسية يجب أن تُولى العناية والاهتمام، بحيث تتم خلال فترات زمنية منتظمة تتعلق بالظروف البيئية وأصناف الأعشاب، وبشكل عام يجب ألا تتجاوز الشهر في المناطق ذات المناخ المعتدل، أما طرائق التخلص من الأعشاب فهي:

- **الطريقة اليدوية:** يُلجأ للتخلص من الأعشاب يدوياً في القنوات الصغيرة التي تصل أعماق المياه فيها حتى 0.80m وأحياناً 1.25m، ويُحذر من استخدام هذه الطريقة في المناطق الاستوائية، إذ إن اللجوء إليها يهدد بالإصابة بأمراض مختلفة عبر ملامسة المياه في القناة.
- **الطريقة الآلية:** تتم إزالة الأعشاب هنا آلياً عن طريق اجتثاثها، أو اقتلاعها نهائياً مع الطمي المترسب في القناة.
- **الطريقة الكيميائية:** تتلخص هذه الطريقة بإضافة مبيدات مختلفة إلى تربة الطبقة السطحية لقعر وجوانب القناة، بحيث تمنع نمو الأعشاب فوقها، وهي من الطرائق الفعالة، إلا أن استخدامها لا يزال على نطاقٍ ضيق، وذلك لأن بعض أنواع المبيدات يمكن أن يهدد حياة الإنسان والحيوان، وأن يخل ببعض الظروف البيئية السائدة، وإذا كان اللجوء إليها ضرورياً، فيجب اختيار العناصر الكيميائية بالنوعية والجرعات المناسبة.
- **الطريقة البيولوجية:** تعتمد هذه الطريقة على استقدام بعض الكائنات الحية كالأسماك، وبعض أنواع الحشرات إلى القنوات لتتغذى بالأعشاب التي تنمو في ها. إلا أن استخدام هذه الطريقة لا يزال على نطاقٍ ضيق جداً، ويُتوقع أن تكون مستقبلاً الطريقة الرئيسية للتخلص من الأعشاب والمشاكل التي تسببها في مجاري القنوات الترابية. يمكن أحياناً تأخير نمو الأعشاب في القنوات عن طريق إيقاف تدفق المياه إليها في أوقات محددة ولفترات معينة، فمثلاً يمكن إيقاف نمو بعض أنواع الأشنيات والطحالب عبر منع جريان المياه إلى القناة لمدة ثلاثة أيام، ففي

أحد مشاريع الري الهندية تم توقف نمو الأعشاب في قناة لمدة ستة شهور بعد أن جرى تفريغها نهائياً من الماء خلال فـــترة استمرت من خمسة إلى ستة أيام.

ثالثاً- <u>حت قعر القناة وجوانبها</u>: يُقصد بعملية الحت التغير الذي يطرأ على جوانب القناة وقعرها نتيجة تآكل التربة الذي تسببه المياه أثناء جريانها، أو الذي يتم بفعل عوامل أخرى. فإذا كان الحت ناتجاً عن سرعة الجريان الكبيرة، فإنه يجب القيام بتقوية مجرى القناة، أو تخفيض ميلها الطولي عن طريق إقامة المساقط المائية أو المسيلات المائية، أو ما شابه ذلك. أما إذا كان ناتجاً عن عوامل أخرى، فيتم الحد منه حسب العامل المسبب، وذلك وفق ما يأتي:

- إذا كان الحت نتيجة التغيرات الكبيرة والمفاجئة في منسوب الماء الجاري في القناة، التي تحدث بعد الفتح أو الإغلاق السريع للسدات أو البوابات أو المنظمات القائمة على القناة، فإن الإصلاحات تجري محلياً، مع الوضع بالحسبان مستقبلاً استبعاد حصول مثل هذه الأخطاء في تشغيل الأجهزة، والمنشآت على القناة.
- إذا كان الحت بفعل الرياح ومياه الأمطار الغزيرة، فإنه تجري حماية الجوانب الواقعة فوق منسوب المياه الجارية في القناة عن طريق منع انجراف تربتها، وذلك بزراعتها ببعض أنواع الأعشاب، كما يمكن التحكم بالجريان السطحي فوق المناطق المجاورة للقناة، بحيث لا يُسمح بجريان مركز لمياه الأمطار نحو مجرى القناة، وذلك عن طريق إنشاء خنادق تصريف خاصة.
- إذا كان الحت بتأثير المياه الجوفية، فإن جوانب القنوات تُحمى من الحت الذي يمكن أن ينشأ عن رشح المياه الجوفية عبرها عن طريق إقامة مصارف.

رابعاً- <u>الرشح الفائض</u>: يحصل الرشح الفائض عادة بسبب اعتماد قيمةٍ لمعامل التسرب عند التصميم تكون أقل من القيمة الحقيقة، وذلك في بعض أجزاء أرضية القناة، أو في مناطق الردم، ويحدث التقدير الخاطئ لنفوذية أرضية القناة باستمرار، ولا يمكن مطلقاً استبعاده، وذلك لاعتبارات اقتصادية تتعلق باختيار ثقوب الاختبار على مسافات متباعدة فيما بينها. أما في المناطق المردومة، فإن الخطأ في تقدير قمة معامل الرشح الصحيح يمكن أن ينتج عن استخدام تربة مختلفة عن التربة التي من المفترض الردم بها، أو من أخطاء تُرتكب أثناء التنفيذ، أو من عدم رص التربة بالشكل اللازم للوصول إلى الكثافة المطلوبة.

بالنسبة لنتائج الرشح الفائض، فهي بشكل رئيسي:

- الفواقد المائية الكبيرة.
- غمر المناطق المجاورة.
- التشوهات في التربة تحت قاعدة القناة.

وتتم معالجتها غالباً بتكتيم قعر القناة وجوانبها باستخدام أحد أنواع التكتيم المذكورة سابقاً (الفقرة 1-5-4)، وإذا كان ممكناً السماح بفواقد مائية كبيرة، فيمكن العدول عن التكتيم مع العمل على صرف المياه الراشحة من المناطق المجاورة للقناة لئلا تسبب غمرها، وذلك بإنشاء مصارف خاصة، وتزويد مناطق الرشح بفلاتر عكسية.

ب- القنوات المكسية:

في القنوات ذات التكسية البيتونية أو الإسفلتية غالباً ما تكون كميات الطي المترسبة أقل منها في القنوات الترابية، إذ إن سرعة الجريان، وقدرة التيار المائي على حمل، وجرف حبيبات الطي تكون كبيرة نسبياً، ويلجأ أحياناً على مجاري القنوات المكسية إلى تكبير سطح المقطع العرضي للقناة في بعض أجزائها عن طريق زيادة العرض والعمق، بحيث تتشكل مرسبات بسيطة تتجمع فيها المواد المحمولة، وتكون عملية الجرف من هذه المرسبات أسهل من عملية إزالتها على كامل طول القناة.

يُعد جرف الطمي المترسب في مجاري القنوات المكسية من الناحية الاقتصادية عملية مكلفة لأنها تتم غالباً بشكل يدوي، أما اللجوء إلى الجرف آلياً، فيتم باستخدام آليات معدة خصيصاً لهذا الغرض، بحيث لا تسبب أي تشوهات أو تخريب لطبقات التكسية، ويتم أحياناً جرف المواد المترسبة من مجاري القنوات المكسية عن طريق إمرار المياه فيها بالغزارات، والسرعات العظمى الممكنة، بحيث يتم جرف الطمي المترسب، ونقله من أقسام القناة المختلفة إلى المرسبات المذكورة سابقاً، ثم يتم جرفه وترحيله. أما النسبة لنمو الأعشاب في القنوات المكسية، فإنه يُصادف على درجة أقل بكثير مما عليه في القنوات الترابية، ويمكن للأعشاب أن تنمو فقط في بعض الفراغات التي تصادف أحياناً في الفواصل الطولية والعرضية، أو في بعض المناطق غير المكسية لسبب ما كسوء التنفيذ مثلاً. ومع ذلك، فإن تنظيف القنوات المكسية من الأعشاب يُعد ضرورياً، ويجب أن يتم بشكلٍ دوري، لأن نمو الأعشاب يؤدي مع مرور الزمن إلى زيادة الخشونة، والتقليل من الغزارة التي يمكن أن يمررها المقطع العرضي للقناة، وتتم عملية التنظيف هنا يدوياً، ولا تحتاج لجهود كبيرة.

تنحصر مشكلة استثمار القنوات المكسية ببلاطات بيتونية أو بيتونية مسلحة بالتصدعات والتشوهات التي يمكن أن تصيبها نتيجة واحدٍ أو أكثر من الأسباب الآتية:

- ضغط المياه تحت بلاطات التكسية.
- انتفاخ التربة إذا كانت قابلةً للانتفاخ (غضار).
- تجمد المياه في التربة تحت طبقات التكسية.
- الهبوطات غير المتساوية للتربة تحت التكسية.

يتم تجنب الأضرار التي يمكن أن تلحق بطبقات التكسية عن طريق معالجة أسبابها المذكورة أعلاه، فتقليل ضغط المياه يتم بإنشاء مصارف خاصة، وانتفاخ التربة وتجمد المياه يعالجان بفرش طبقات سميكة من البالاست تحت قاعدة القناة (فوق التربة القابلة للانتفاخ، وفي المناطق التي يمكن أن تتجمد فيها المياه)، أما الهبوطات غير المتساوية، فيمكن تفاديها برص التربة، أو بتغييرها تحت مجرى القناة.

أخيراً تجدر الإشارة إلى أنه بعد استبعاد مسببات الأضرار، أو إيقاف تأثيرها السالب، يتم ترميم البلاطات البيتونية المتصدعة.

9. 1 القنوات وحماية البيئة:

يمكن للقنوات، ولاسيما الكبيرة منها أن تؤدي لتغيراتٍ هامةٍ في بيئة المناطق التي تُقام فيها، فتفسد صورتها الطبيعية حيناً، وتخلخل عناصرها حيناً آخر، وتقضي على مكوناتها في كثيرٍ من الأحيان، كما ويمكنها في بعض الحالات أن تسهم بشكل غير مباشر في تهديد حياة الناس وممتلكاتهم. ولعل التغيير الأكبر الناتج عن بناء القنوات هو ارتفاع أو انخفاض مستوى سطح الماء في القنوات المقامة بالنسبة لمناسيب المياه ضمن المجاري الطبيعية الواقعة في مناطق عبورها.

إن ارتفاع مستوى سطح الماء في القناة يمكن أن يزيد من كمية المياه الراشحة عبر القعر والجوانب باتجاه المناطق المجاورة لها، وهو ما يزيد من رطوبة التربة في هذه المناطق، ويعمل على رفع مناسيب المياه الجوفية المتوافرة في باطنها.

يمكن تفادي غرق الأراضي القريبة من القنوات نتيجة تسرب المياه منها عن طريق التكتيم، إلا أن ذلك لا يمنع التسرب تماماً من القناة المكتمة، لأن المياه يمكن أن ترشح منها بسبب عدم كفاءة التكتيم، أو بسبب سوء تنفيذه، أو بسبب أي تخريب يمكن أن يلحق به أثناء التشغيل، وعندما لا يكون تكتيم القنوات ممكناً، وهو نادراً ما يُصادف، فإن التخلص من المياه المتسربة يمكن أن يجري بمساعدة أجهزة صرف خاصة غالباً ما تكون مكلفة، وتحتاج لعمليات ضخ مرافقة، كما ولا يمكن تصميم هذه الأجهزة، وتنفيذها واستثمارها بحيث تخلق ظروفاً مطابقةً للظروف التي تكون سائدة قبل إنشاء القناة، ولتجنب اعتماد مثل هذا الحل المكلف عموماً يمكن أحياناً القيام بحفر المناطق التي تغرق بسبب التسرب، وتشكيل مستنقعات بيئية فيها.

إضافة لما يلحق البيئة من آثار سالبة نتيجة التسرب من القنوات، فإن آثاراً سالبة أخرى يمكن أن تنال منها بانهيار القنوات سواء في مقطعها الأساسي أو في أكتافها، وذلك بسبب إمكانية حدوث أخطاء تصميمية أو تنفيذية أو استثمارية. من هنا يجب العمل بحزمٍ

على التقيد بالقواعد الناظمة لاختيار مسار القناة، ومنها تجنب اختراقه للتجمعات السكنية والصناعية، وإذا لم يكن ذلك ممكناً، فإنه يتوجب دوماً الوضع بالحسبان إمكانية حدوث كوارث ونكبات لا تُحمد عقباها، وكما في حالة السدود فإن أكتاف القنوات، ولاسيما الكبيرة منها يجب أن ترتبط ببرنامج قياس ومراقبة يمكن من التحكم بها بشكلٍ متواصل لحماتيها من ارتفاع مناسيب المياه فيها، ومن أي مخاطر أخرى يمكن أن تلحق بها. كما ويجب الالتزام بتوفير برنامج إنذار مبكر لحالات الطوارئ، وتحديد طرائق الإنقاذ اللازمة ووسائطها.

إن انخفاض منسوب المياه في القنوات كثيراً عما هو عليه في المناطق المجاورة يمكن أن يسبب جفاف التربة فيها، وكذلك هروب الماء أحياناً من المسيلات والأنهار والبحيرات والعيون والمستنقعات إن وجدت في تلك المناطق، وإذا كانت كميات الموجودة فيها قليلة، فإن ما سبق يمكن أن يؤدي لنضوبها نهائياً.

إن جفاف التربة يتبعه انخفاض في الإنتاج يترتب عليه خسارة في الاقتصاد المحلي تستدعي إجراءات علاجية سريعة في معظم الأوقات، ومنها تأمين ري المناطق التي يصيبها الجفاف، والعمل على تكتيم المجاري المائية التي يمكن أن ترشح منها المياه بسبب وجود القنوات على مستويات أدنى إن أمكن ذلك.

يجب الإشارة هنا إلى أنه من الضروري الاهتمام أيضاً برشح المياه الساكنة، التي يمكن أن توجد في المستنقعات والعيون ومجاري الأنهار القديمة، والتي لا تكون في بعض الأوقات لازمة للزراعة، أو لأي مستهلك آخر في المنطقة، بل يمكن أن تكون عقبة للاستثمار ضمنها. إن هذه المياه لها أهميتها بالنسبة للحياتين النباتية والحيوانية السائدتين في المنطقة، والقضاء عليهما يعني خللاً بيئياً يقلل من أصناف الحيوانات والنباتات الموجودة عليها وتنوعها، كما ويفسد الصورة الطبيعية لها.

إن إقامة قناة يعني تقسيم المنطقة التي تعبرها إلى مساحاتٍ منفصلة تصبح القناة فيها عائقاً يُصَعِبُ من هجرة وتنقل الحيوانات فيما بينها، كما ويمكن أن يعزل هذه الحيوانات عن الأماكن التي تتغذى منها، أو المواقع التي تحتمي بها، أو المواضع التي تضع

البيوض فيها للتفقيس، وبناءً عليه يجب دوماً التحقق من بروز مثل هذه المصاعب، والقيام بما يلزم لتفاديها، مثل إنشاء معابر خاصة للحيوانات تقع على خطوط هجرتها، وتوصلها إلى أماكن تغذيتها وحمايتها ووضع بيوضها، وذلك على مسافاتٍ بعيدة إن أمكن من الجسور وممرات المشاة المنشأة فوق القناة.

الجدير بالعناية أيضاً عند إنشاء القنوات هو التأكد من أن الإنشاء لا يؤدي عند مناطق تقاطعها مع الأنهار إلى قطع الطريق أمام الأسماك المتجهة نحو مناطق تغذيتها، وأماكن وضع بيوضها وتفقيسها. فإذا كان الحال كذلك، فيجب العمل على توفير الوسائط المناسبة لتجنب، أو للتقليل إلى أقصى حد ممكن من سوء تأثيره.

إن القناة في الواقع هي عبارة عن حفرة عميقة يمكن أن تشكل مصيدة للأشخاص، بحيث يسقطون إليها دون قصد، إما بالوقوع فيها مباشرة أثناء محاولة اجتيازها بالقفز فوقها، أو بالانزلاق إليها لسبب ما، ولتفادي ذلك يجري على السفوح تنفيذ أدراجٍ خاصة قريبةٍ من المنشآت الموجودة على القناة، وعند المواقع التي يمكن عبرها اجتياز القناة بسهولة، وفي أماكن ازدحام الشريط المحاذي لمجرى القناة بالأبنية والطرق والساحات والمسالك السياحية، وذلك ضمن مسافاتٍ لا تزيد على 200m.

يمكن في بعض الحالات اللجوء إلى تسوير مجرى القناة بسياج حماية، وذلك في الحالات الآتية:

(أ) عندما تعبر القناة مناطق سكنية قرب المدارس ورياض الأطفال وساحات الترفية واللهو.

(ب) عندما يكون تخريب سفوح القناة من قبل الأشخاص محتملاً، سواء أكان ذلك مقصوداً أم مصادفة، أو من قبل المواشي الأليفة عند رعيها على هذه السفوح.

(ت) عندما يكون من المستحسن عدم اقتراب الأشخاص من القناة لإمكانية إفساد النظام البيئي السائد فيها.

(ث) عندما يُتوقع سقوط حيوانات في القناة.

إلى جانب ما ذكر آنفاً، فإن القناة تُعد بناءً غريباً بالنسبة لبنية البيئة الطبيعية القائمة قبل التنفيذ، ويمكن أن يؤثر هذا البناء سلباً في عناصرها، فنوعية المياه الجارية في القناة مثلاً يمكن أن تؤثر في نوعية المياه السطحية والجوفية، وفي نوعية التربة أيضاً، كما أن الحفر والردم المصاحبين لعملية إنشاء القناة يؤثران بلا شك في شكل التضاريس المحيطة، وفي صورتها الطبيعة.

إن الصورة السائدة للطبيعة تفسدها القنوات ذات الأجزاء المستقيمة الطويلة، والردم العالي، وكمية الأشجار التي تُقطع ضمن المناطق الخضراء التي يجتازها مسار القناة، والتي تُعد من العناصر القيمة للبيئة الطبيعة.

تجدر الإشارة أخيراً إلى أن الآثار البيئية السالبة السابقة المرتبطة بإقامة القنوات لا يمكن استبعادها تماماً، وذلك للأسباب الآتية:

1. لا يمكن دوماً اختيار مسار القناة ضمن منحنيات سلسلة تماثل نظيراتها في المجاري المائية الطبيعية، وذلك لأسباب تتعلق بوظيفة القناة كما في حالة القنوات الملاحة، أو لأسباب استثمارية، أو لأسباب تتعلق بمنطقة عبور القناة ذاتها، أو لأسباب تتعلق بالكلفة المقدرة للإنشاء.
2. لا يمكن تجنب الردم في الأجزاء التي يكون فيها منسوب سطح الماء ضمن القناة أعلى من منسوب الأرض الطبيعية، وعليه يجب تشكيله بحيث يكون إفساده للصورة الأولية للبيئة في أقل درجاته، ولهذه الغاية يمكن مثلاً تنفيذ أكتاف القنوات بحيث تكون ميولها الخارجية في المجال (1/10-1/8)، لكن هذا الحل يزيد من حجم الأعمال الترابية، ويوسع سطح الأرض المشغولة بالأكتاف، لذلك لا يُلجأ إليه إلا في الحالة التي يكون فيها حجم التربة الناتجة عن حفر القناة كبيراً، وعدم استخدامه محلياً لتكوين الأكتاف يقتضي النقل إلى أماكن بعيدة، وهو ما يرتب تكاليف مالية إضافية.

3. يمكن أن يكون زرع الأشجار على جوانب القناة مستحسناً للمحافظة على الصورة الطبيعية للجوار، لكنه حل مكلف جداً، وإذا ما لُجأ إليه يُفضل أن يكون الزرع على شكل شريطٍ أخضر بعرض m(5.0-10.0) على كل جانب من جانبي القناة مكونٍ من خمسة صفوف من الأشجار لكل جانب، وهو ما يؤثر إيجاباً في إمكانية أن يكون الشريط محطة على طريق هجرة الحيوانات، أو مكاناً لتعشيش الطيور، أو موقعاً لاستراحة العاملين في الحقول المحاذية للقناة، ويمكن أن تُزرع الأشجار على شكل شريط مستمرٍ أو متقطع، ولكلٍ منهما ميزاته وسلبياته، وللحصول على الفوائد المذكورة أعلاه من الزرع يُفضل استعمال النوع الأول، أما النوع الثاني ولاسيما المنفذ على مسافاتٍ غير منتظمة، فيُفضل استخدامه لخلق تنوعٍ في العناصر الطبيعية للتضاريس القائمة، ولتشكيل مناظر بيئية مفتوحة على جانبي القناة، ويتعلق اختيار أحد النوعين السابقين من الزرع بالظروف المحلية المسيطرة.

الجدير بالذكر ختاماً أن اللجوء للزرع ليس مستحباً دائماً، فرغم إيجابياته التي ذكرت أعلاه، فإنه إلى جانب كلفته العالية، فهو يشغل مساحاتٍ واسعةً من الأراضي، ويعرقل في بعض الأحيان عمليات صيانة القنوات وإصلاحها.

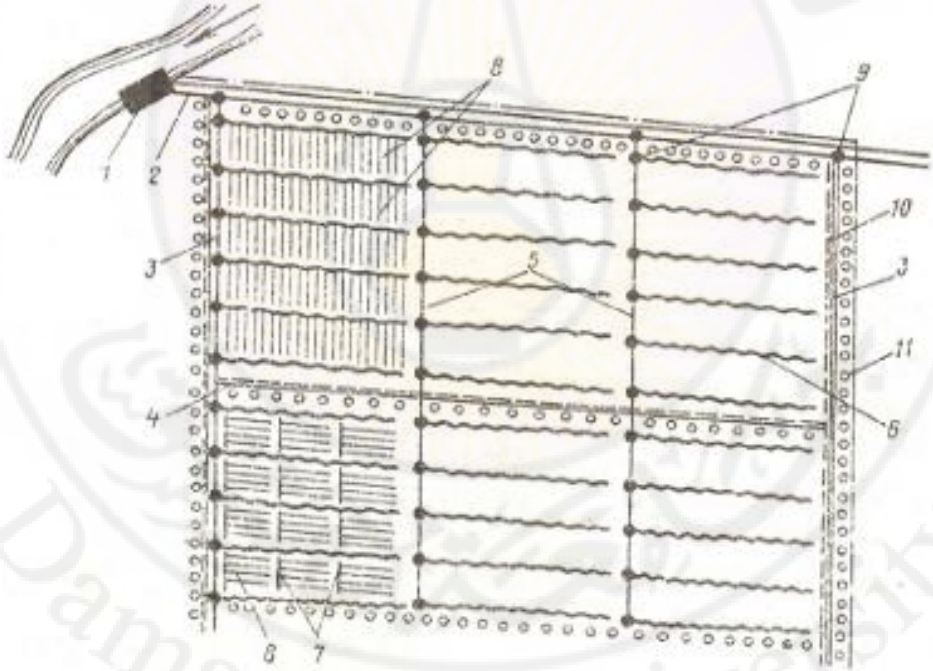
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

المنشآت المائية على قنوات الري

1. 2 مقدمة:

تُجهز شبكات الري عادةً بأعدادٍ كبيرة من المنشآت والتجهيزات الهندسية المختلفة بغية تأمين دخول المياه، وتوزيعها ضمن أجزاء الشبكة بشكلٍ فعال، وذلك بما يتوافق مع مخطط الاحتياجات المائية (الشكل 2-1).



الشكل (2-1). نموذج لمشروع ري، والمنشآت المائية فيه.

1- مأخذ مائي، 2- قناة رئيسية، 3- قناة توزيع، 4- قناة مزرعة،
5- قناة قطاعية، 6- سواقي توزيع، 7- مروى توزيع، 8- مروى سقاية،
9- منشآت تنظيمية، 10- طريق زراعي، 11- مصدات رياح (أشجار حراجية).

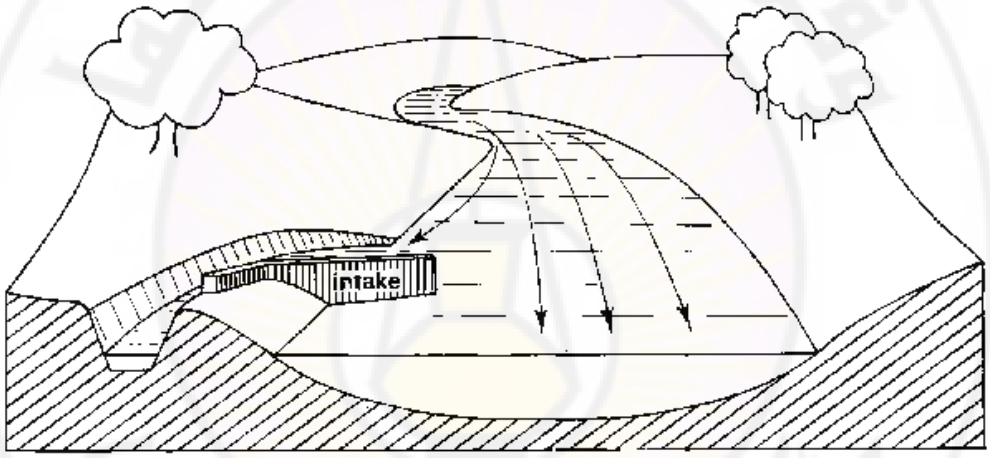
2. 2 تصنيف المنشآت المائية

تُصنف المنشآت المائية ضمن المجموعات الآتية:

المنشأة الرأسية أو المأخذ الرئيسي:

تقوم هذه المنشأة، بأخذ المياه من المصدر المائي (نهر، بحيرة .... الخ)، وتوجيهها إلى قناة الجر الرئيسية وفق التدفقات المطلوبة لمشروع الري، (الشكل 2–2).

سوف تناول هذه دراسة هذه المنشأة بالتفصيل ضمن الفصل الثالث

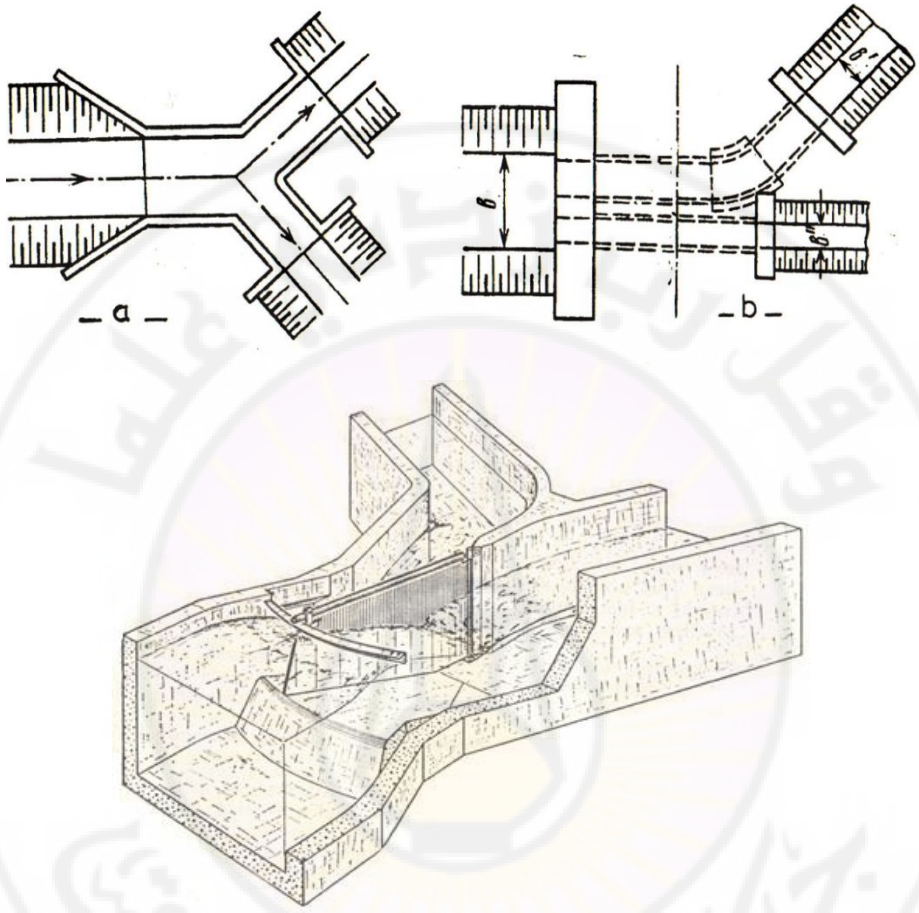


الشكل (2-2). نموذج لمأخذ مائي رأسي.

منشآت التنظيم والتحكم:

تقوم هذه المنشآت بتنظيم التدفقات، والتحكم بمنسوب الماء في قنوات الري وتصريف الفائض منه في حالة الفيضان، أو عند تعرض القنوات لأعطالٍ مفاجئة في الشبكة، كما يمكن أن تُستخدم منشآت التنظيم للتخلص من الطمي والمواد المحمولة مع مياه الري، وتشمل منظمات الحجز، ومنظمات الغسيل، ومنظمات التفريغ، والمجزئات المائية، (الشكل 2–3)، و الخ.

سوف نقوم بدارسة هذه المنشآت بالتفصيل في الفصل الثامن.

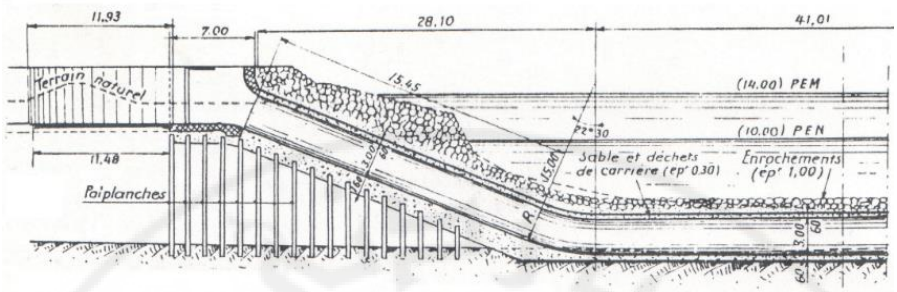


الشكل (2-3). منظم مائي (مجزئات).

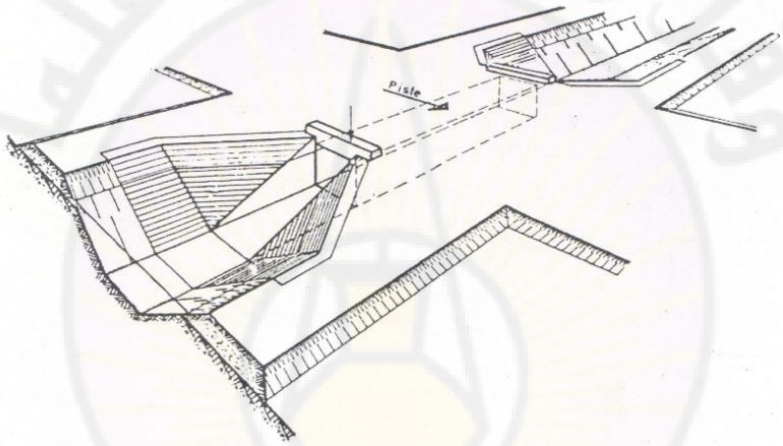
a– مجزئ مائي مكشوف، b– مجزئ مائي مطمور، c– مجزئ مائي بنسبة متغيرة.

منشآت التجاوز والعبور:

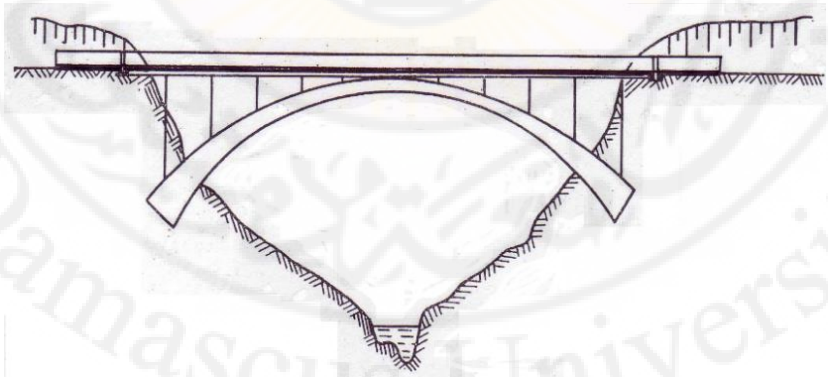
تُقام عند تقاطع مسار القناة مع العوائق الطبيعية أو الاصطناعية، كتقاطع قناة الري مع المجاري المائية (أنهار، مجاري سيول، قنوات ري أخرى أو قنوات صرف)، والطرق والأماكن المنخفضة كالوديان، وتشمل الجسور المائية، والسيفونات المقلوبة، والأنفاق والعبَّارات، الشكل (2–4).



– **a** –



– **b** –



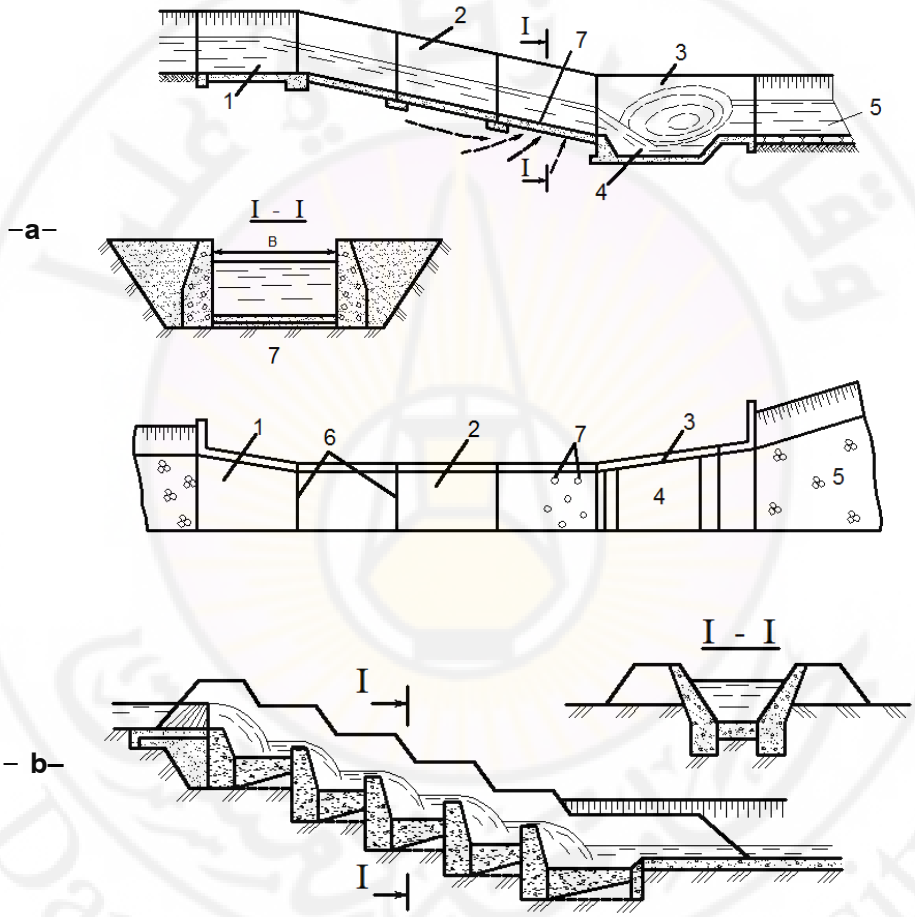
– **c** –

الشكل (2-4). بعض منشآت التجاوز والعبور.

a- سيفون مقلوب، b– عبَّارة مائية، c– جسر مائي.

منشآت الالتحام والوصل:

مهمتها تنظيم سرعة الجريان في القنوات مثل المجاري السريعة، الشكل (2–5–a). والمدارج المائية ، الشكل (2–5–b).



الشكل (2-5). منشآت الالتحام والوصل.

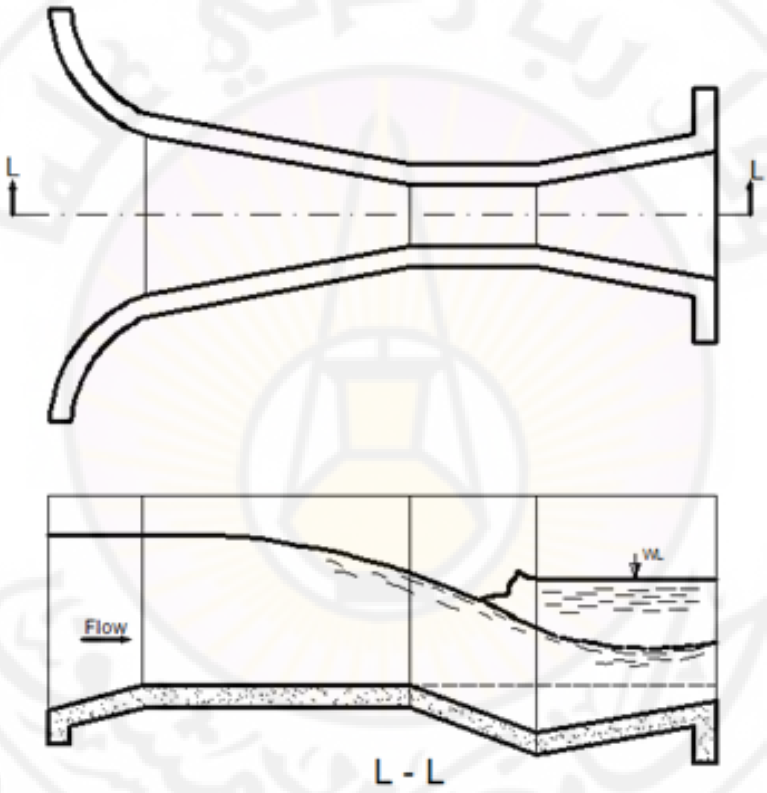
a – مجرى سريع، b – مدرج مائي.

1– مدخل المنشأة، 2– مجرى سريع، 3– جدران جانبية، 4– حوض تهدئة،

5 – قناة سفلية، 6– فواصل مرنة، 7– ثقوب تنفيس الضغط المسامي.

منشآت القياس:

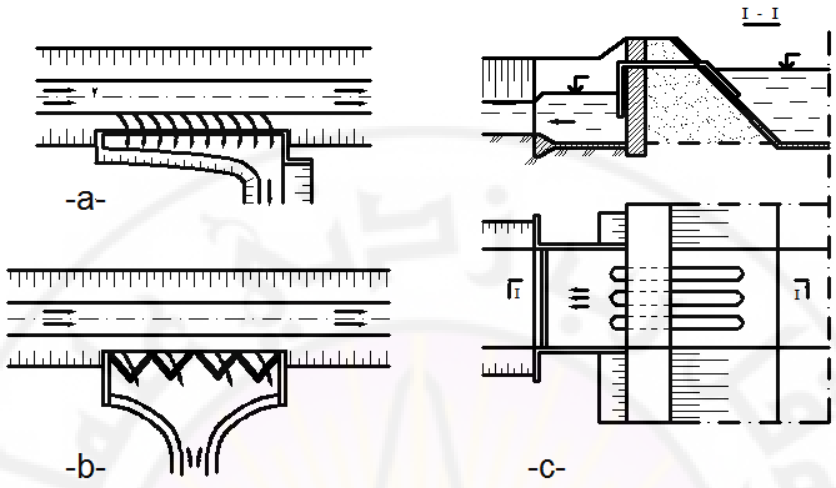
إن إدارة نظام الري، وتشغيله بفعالية يتطلب قياس التدفقات، والمناسيب في مختلف أجزاء النظام، ويتم ذلك باستخدام منشآت خاصة منها الهدّارات، أو قناة بارشال، (الشكل 2–6)، أو مقاييس التدفقات المفتوحة.



الشكل (2-6). قناة بارشال.

منشآت الحماية:

تشمل الحماية الخارجية لأكتاف القنوات من أضرار الجريانات السطحية الناتجة عن العواصف المطرية، مثل قنوات صرف التدفقات الزائدة كالمفيض الحر، والمفيض المزود بسيفون، والمفيض المزود ببوابات قوسية، الشكل (2–7).

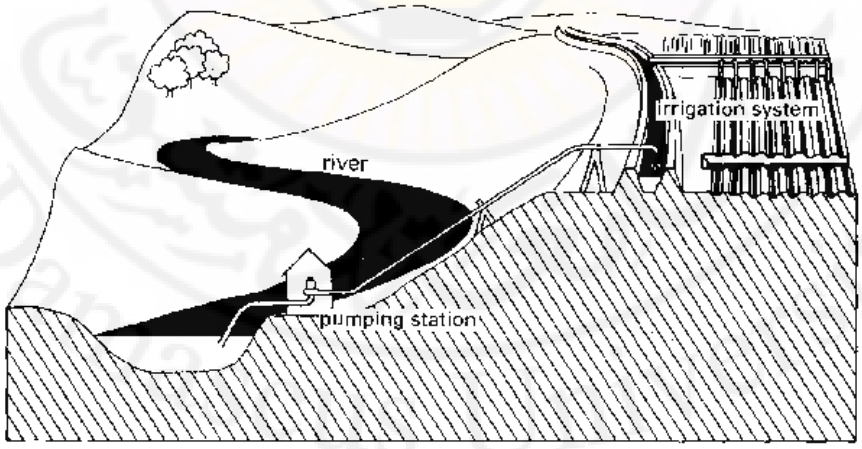


الشكل (2-7). بعض منشآت الحماية.

a– مفيض حر جانبي، b– مفيض حر جانبي على شكل متاهة، c– مفيض سيفوني.

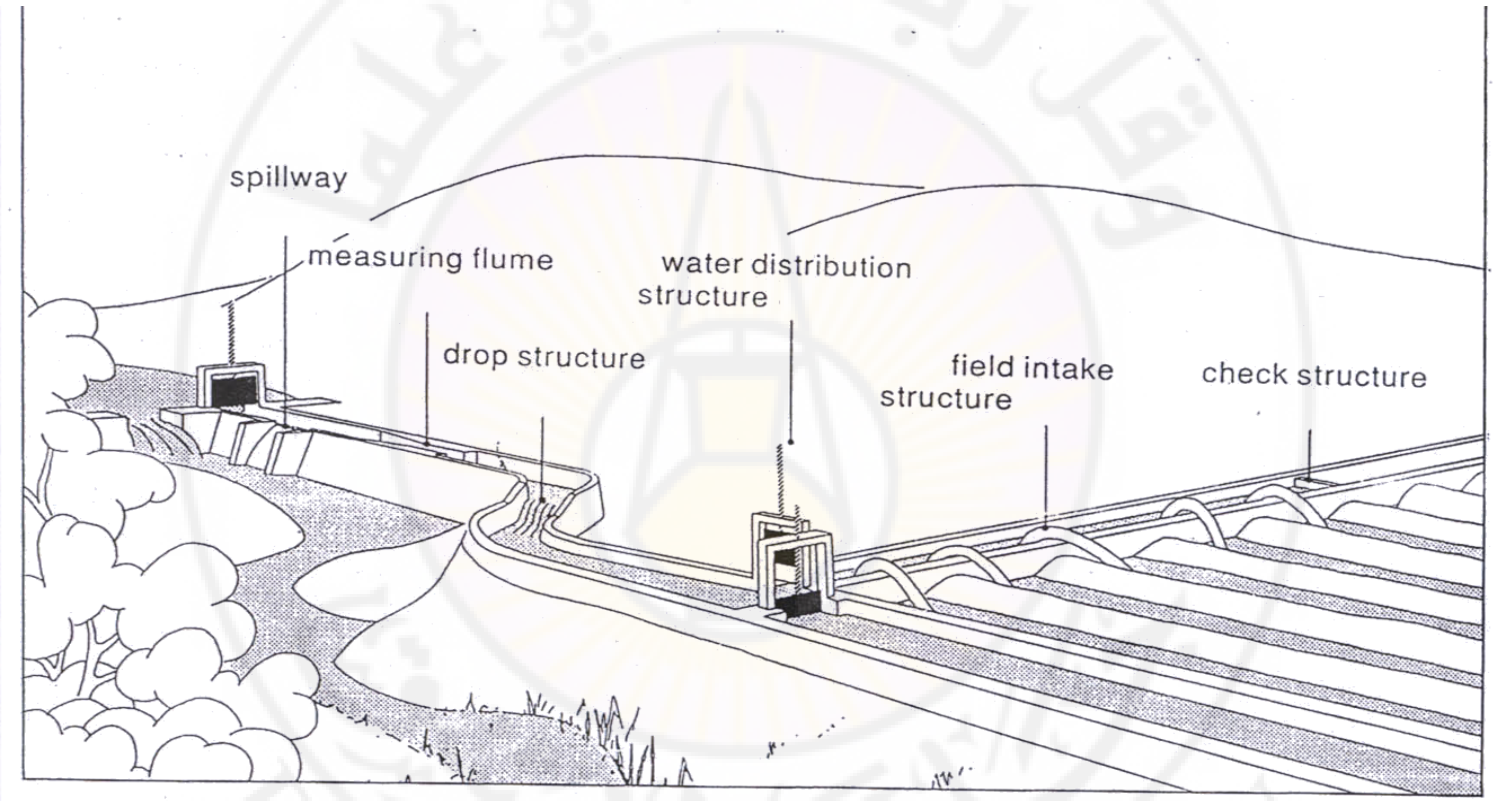
محطات الضخ:

هي المنشآت المخصصة لرفع المياه إلى المناطق المرتفعة، أو ضخها في أنابيب شبكة الري بالرش، الشكل (2–8) .



الشكل (2-8). مخطط تمثلي لاستخدام محطة ضخ في مشاريع الري

و يُبين الشكل (2–9) بعض أنواع المنشآت التي يمكن ان تتواجد في مشاريع الري.



الشكل (2-9).: بعض أنواع المنشآت المائية التي يمكن استخدامها في شبكات الري

الفصل الثالث

المآخذ المائية الرئيسية

1. 3 مقدمة

المآخذ المائية هي منشآت هيدروليكية تُخصص لأخذ الماء من الأحواض السطحية والمجاري المائية لأغراض اقتصادية أو استثمارية، مثل توليد الطاقة الكهربائية، وري الأراضي الزراعية، وإمداد المناطق السكنية، والمشاريع الصناعية وغيرها بالمياه، وستقتصر الفقرات الآتية على دراسة المآخذ المائية الخاصة بمشاريع الري.

على منشأة المأخذ المائي أن تؤمن تغذية دائمة بالمياه لقناة الجر وفق مخطط التدفقات المطلوبة، بغض النظر عن التغيرات الحاصلة في منسوب الماء في النهر، أو كافة التشوهات المتوقعة في مجرى النهر، أو حجز المياه في حال عدم الضرورة لها، أو صرفها في حال حدوث بعض الأضرار في أحد أجزاء القناة، وعلى منشأة المأخذ المائي منع دخول المواد المنقولة، والنفايات العائمة، وغيرها في المجرى المائي إلى قناة الجر. من جهةٍ أخرى يجب أن تكون منشأة المأخذ بسيطة، وسهلة الصيانة، ومنخفضة الكلفة، ويجب العمل في إنشائها على استخدام مواد البناء المتوافرة محلياً.

تكون هذه المنشأة على أشكال مختلفة متعددة، وذلك حسب نوع المشروع، وأهميته، وكذلك حسب نوع المصدر المائي، والظروف الطبوغرافية، والشروط الجيوتكنيكية والإنشائية السائدة في موقع المأخذ.

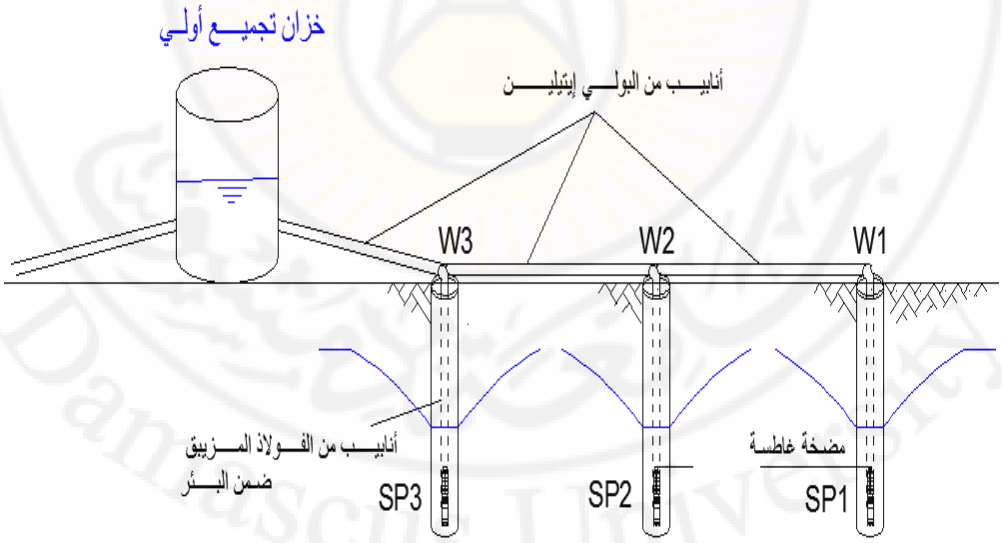
وبناءً عليه يمكن أن يكون المأخذ على شكل محطة ضخ بسيطة، تقوم بتأمين الاحتياجات المائية لمشروع ري مساحة صغيرة، أو لإرواء تجمع سكاني محدود، كما يمكن أن يأخذ أبعاد منشأة مائية ضخمة تحتوي على مجموعة من المنشآت المساعدة، كما هو الحال في منشآت المأخذ المشيدة على الأنهار، لتأمين التغذية بالراحة لشبكات الري في مشاريع الري الهامة.

2. 3 تصنيف المآخذ المائية:

يمكن تصنيف المآخذ المائية وفق عدة معايير ومن أهمها نوع المصدر المائي حيث تختلف نوعية منشأة المأخذ المائي باختلاف نوعية المصدر المائي، الذي يمكن أن يكون طبقات مائية جوفية، أو بحيرات طبيعية، أو بحيرات اصطناعية تُشكل خلف السدود، أو مجرى مائي ذو جريان دائم (نهر)، وعليه فإن المأخذ المائي يمكن أن يكون:

مأخذاً مائياً جوفياً:

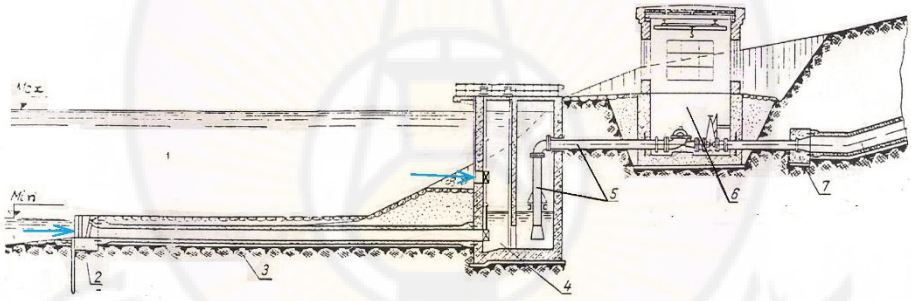
يتألف المأخذ في هذه الحالة من محطة ضخ تتضمن مجموعة من المضخات الغاطسة يتم إنزالها في بئر ارتوازي يخترق الطبقة المائية الجوفية، التي غالباً ما تكون من النوع المضغوط، وتقوم المضخة بسحب الماء من الطبقة الجوفية إلى السطح (غالباً إلى خزان تجميع)، ومنه إلى المشروع الذي يتغذى من المأخذ، (الشكل 3-1).



الشكل (3-1). نموذج مأخذ مائي جوفي.

مآخذ على البحيرات:

إن نوعية المأخذ في هذه الحالة تتعلق بالشروط الطبوغرافية بين منسوب الماء في البحيرة، ومنسوب المنطقة التي يُراد إيصال الماء إليها، ففي حال كان منسوب الماء في البحيرة أعلى من منسوب نهاية قناة الجر، وكان المقطع الطولي لهذه القناة ذا مناسيب منخفضة باتجاه نهاية القناة، فإن منشأة المأخذ تكون بسيطة، إذ إنها تتألف من جدران موجهة تقوم بتوجيه المياه نحو مدخل القناة من خلال سكرٍ معدني يوضع عند المدخل للتحكم بتدفق المياه نحو المشروع. أما في حالة كان منسوب بداية قناة الجر أعلى من منسوب الماء في البحيرة، فإن منشأة المأخذ تتضمن محطة ضخ تحتوي مجموعة أو أكثر من مجموعات الضخ، (الشكل 3-2) .



الشكل (3-2). مقطع في مأخذ مائي مع محطة ضخ لجر المياه من بحيرة.

1- البحيرة، 2 رأس المستقبل 3- أنبوب الإسالة الذاتية 4- البئر الضفافي

5- أنبوب الامتصاص 6- مبنى محطة الضخ 7- دعامة تثبيت 8- أنبوب الدفع ،.

مآخذ على الأنهار:

تختلف نوعية المنشأة في هذه الحالة باختلاف نوعية الجريان في المجرى المائي، وباختلاف نسبة التدفق المراد سحبه من المجرى بالنسبة إلى التدفق المار في المجرى، كما تختلف باختلاف الشروط الطبوغرافية السائدة بين المجرى والمشروع، كما يختلف تصميم المأخذ باختلاف أهمية الجريان الصلب في المجرى.

وسوف نتناول لاحقاً مآخذ المياه النهرية فقط.

كما يمكن تصنيف المآخذ المائية **حسب طبيعة الجريان في المصدر المائي** ونميز:

- المآخذ التي تُقام على أقسام الأنهار الجبلية،
- المآخذ التي تُقام على أقسام الأنهار الهضبية،
- المآخذ المياه التي تُقام على مجاري الأنهار السهلية.

أو حسب **الظروف الهيدروليكية لنقل الماء من المأخذ** يمكن، وفق هذا المعيار، تمييز

- الجريان بالجاذبية،
- باستخدام الضخ لرفع الماء، وإيصاله إلى الموقع المطلوب، (الشكل 3-2).

وأخيراً **حسب وجود سد، أو عدم وجود سد ضمن المنشأة:** وتقسم إلى

- مآخذ مباشرة لا سدية،
- مآخذ غير مباشرة سدية.

3. 3 المآخذ المباشرة:

3.1. 3 تمهيد:

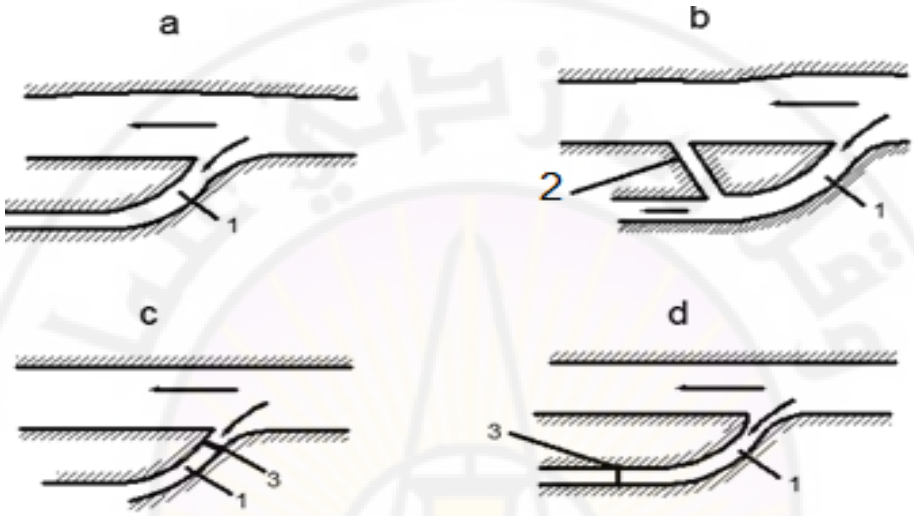
تُسمى أيضاً المآخذ اللاسدية كونها لا تتضمن منشأة سد، وتتميز المآخذ المائية المباشرة بوصول الماء إليها في حالة المناسيب العادية للماء في النهر، وهي على نوعين، مآخذ سطحية، ومآخذ غاطسة. حيث تُستخدم الأولى لأخذ الماء من الطبقات العليا للنهر بوساطة مجارٍ مفتوحة، أما الثانية فتُستخدم لأخذ الماء من أعماق معينة للنهر باستخدام مجارٍ مغلقة، وتتميز المآخذ المباشرة بأنها أقل كلفة بكثير من المآخذ المائية السدية، وتُستخدم بشكل أساسي على الأنهار ذات الميل الشديد، حيث يكون التصريف منتظماً نوعاً ما، وكذلك على الأنهار الشلالية ذات المجرى العريض.

تُقسم مآخذ الماء السطحية إلى ثلاثة أنواع، شاطئية وجبهية واغترافية (قادوسية).

3.2. 3 المآخذ المائية الشاطئية أو المآخذ الجانبية:

تُستخدم هذه المآخذ عندما لا تزيد نسبة الماء المأخوذة على 20% من حجم الماء في النهر، وعندما تتوافر الظروف الطبوغرافية والهيدرولوجية والجيولوجية المناسبة،

حيث يتوجب اختيار موقع المأخذ ويكون فيه سرير النهر مستقراً، ولا يحتوي على أماكن ضحلة أو جزرٍ واضحة، ويوضح الشكل (3–3) أنماطاً مختلفة للمآخذ المباشرة الجانبية.



الشكل (3-3). المآخذ المائية السطحية اللاسدية.

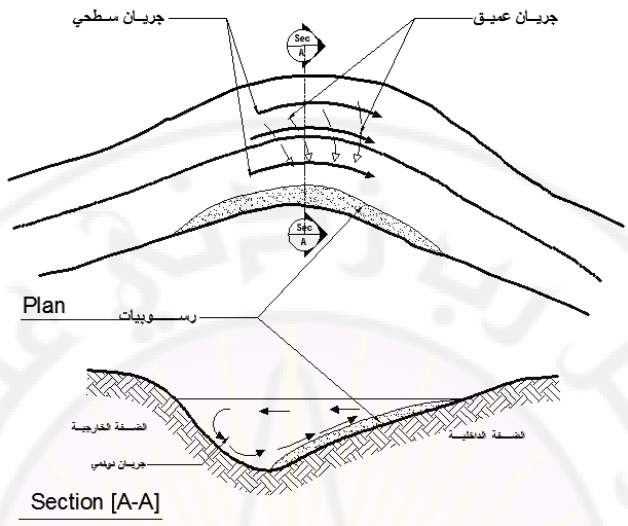
a، b– بدون بوابة تحكم رئيسية، c، d– مع بوابة تحكم رئيسية،

1– قناة فرعية، 2– قناة راجعة، 3– بوابة تحكم.

ُفضل بشكلٍ عام اختيار موقع المأخذ في مناطق انعطاف مجرى النهر، بحيث يوضع المأخذ على الضفة المحدبة (الضفة الخارجية) من النهر، وذلك للأسباب الآتية:

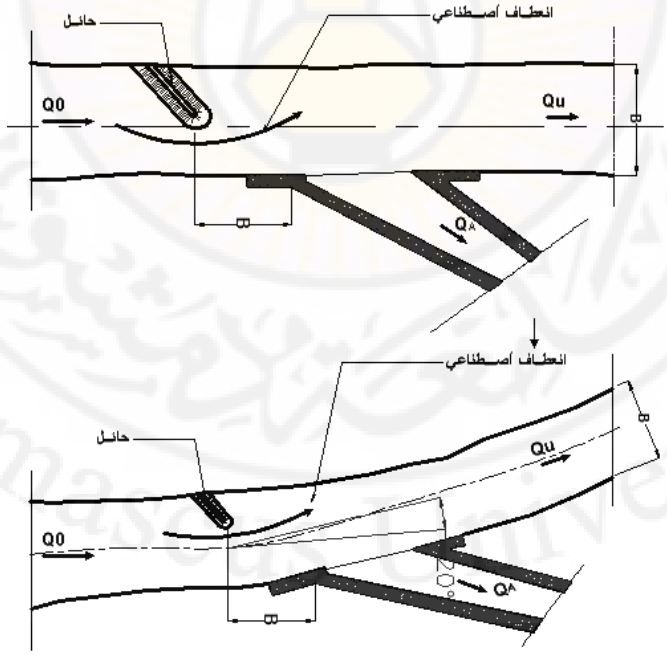
- الاستفادة من القوى الطاردة لدخول الماء.
- تجنب الرواسب التي تتجمع على الضفة الداخلية، تحت تأثير التيارات الحلزونية للجريان التي تنشأ عند الانعطاف، كما هو موضح في الشكل (3–4).

في حال توضع المأخذ على جزءٍ مستقيم من النهر، يتم خلق انعطاف اصطناعي بالجريان، وذلك بوضع جدران حائلة ضمن المجرى، كما في الشكل (3–5).



-

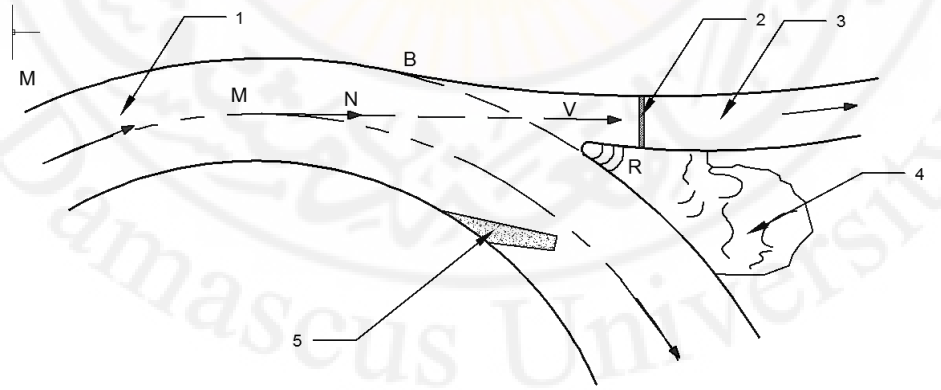
الشكل (3-4). تيارات المياه المتشكلة عند الانعطاف.



الشكل (3-5). مأخذ مباشر شاطئي على نهر.

يُبين الشكل (3-6)، مخططاً نموذجياً لمأخذ مباشر، حيث يُلاحظ إنشاء تفريعة المأخذ على الضفة المحدبة AB من النهر(1)، عندها يكون الجريان مدفوعاً نحو الضفة بفعل القوى الطاردة المركزية، وبالقرب من نقطة التقاء هذه الضفة مع امتداد الخط MN في وسط الجريان، وقبل أن تزداد حدة الانحناء الأمر الذي يؤمن دخول الماء إلى قناة فرعية (3) بسهولة، ويُلاحظ أن وجود الكتلة الصخرية (4) على الضفة المحدبة ضمن سرير النهر يضمن ثباته، كما يعمل اللسان (5) حجرياً كان أم بيتونياً على توجيه الجريان نحو القناة، ويساعد على تخفيف اضطراب الجريان في النهر.

بعد بضعة أمتار من التفريعة تُركب بوابة (2) لتنظيم كمية الماء المراد تمريرها عبر القناة، فإذا كان المطلوب تخديم أكبر مساحة ممكنة يتوجب ألا تسبب البوابة فواقد في الضاغط، أي أن يكون منسوب الماء نفسه أمام البوابة وخلفها، وبالتالي تكون البوابة مرفوعة بشكلٍ كامل، وفي حال ارتفاع منسوب الماء في المصدر المائي نتيجة فيضان يرتفع منسوب الماء في القناة، وكذلك التدفق بشكل ضار أحياناً عندئذ تُخفض البوابة بحيث لا تمرر إلا التدفق المطلوب في القناة، لذا يتوجب أن تكون البوابة قادرة على عزل القناة عن المجرى المائي بشكلٍ كاملٍ عند الضرورة، ويتم رصف مدخل المأخذ بطبقة حجرية لحمايته من الحت تحت تأثير تيارات الماء الجاري.

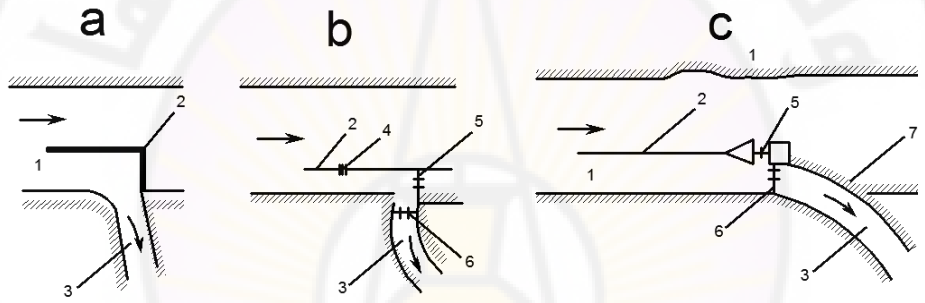


الشكل (3-6). مأخذ مباشر شاطئي على نهر.

1- المجرى الرئيسي، 2- بوابة، 3- قناة جر، 4- كتلة صخرية، 5 – لسان بيتوني أو حجري.

3.3.3 المآخذ المائية المباشرة الجبهية:

تتميز هذه المآخذ بوجود حاجز مرتفع يمتد داخل المجرى كما في الشكل (3-7)، وهي تُستخدم في حالة الأنهار ذات المجرى غير المستقر، حيث يعمل الحاجز على خلق نظام جريان معين ضمن المجرى المائي، مما يساعد على زيادة كمية الماء المتجهة نحو قناة الجر، والتقليل من كمية أحمال القعر الرسوبية الواصلة إلى القناة، ويكون اتجاه دخول الماء موازياً لاتجاه الجريان في المجرى المائي، أي أن محور المأخذ يكون متعامداً مع اتجاه الجريان في المجرى المائي.



الشكل (3-7). مأخذ مائي جبهي (حائلي).

a- بدون بوابة تحكم رئيسية، b- مع بوابة رئيسية، وفتحات لطرد الرواسب بالدفق،
c- مع بوابة رئيسية جبهيه، وطارد للرواسب،

1- قناة، 2- حائل، 3- قناة الدخول، 4- هدار جانبي، 5- فتحة لطرد الرواسب،
6- بوابة تحكم رئيسية، 7- سد ترابي صغير.

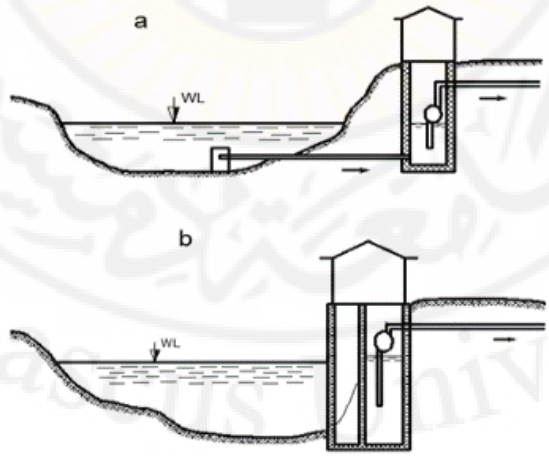
3.4.3 المآخذ المباشرة القادوسية:

يتميز هذا النوع من المآخذ بأنها تحتوي على حوض عريض، وظيفته ترسيب الذرات العالقة من المواد المحمولة بعد تخفيض سرعة التيار المائي، ومن ثم إيصال الماء إلى الأماكن المطلوبة باستخدام مجموعات ضخ، كما تتميز بعملها المتواصل على مدار السنة، وتُستخدم بشكل أساسي لأغراض الإمداد بمياه الشرب.

3.5.3 المآخذ المائية المباشرة الغاطسة:

خلافاً لمآخذ المائية السطحية نجد أن المآخذ الغاطسة تعمل بالنظام الهيدروليكي المضغوط وتُستخدم هذه المآخذ بشكلٍ رئيس لغرض الإمدادات المائية في حالة التدفقات المستجرة المنخفضة، والمأخوذة من الأنهار ذات الشواطئ المرتفعة، حيث يصعب أو يستحيل إنشاء قناة مكشوفة. وخلافاً لمآخذ المياه السطحية، فإن المآخذ الغاطسة تعمل هيدروليكياً بنظام الجريان المضغوط. يُوضح الشكل (3-8-a) مخططاً لمأخذ أنبوبي، تُوضع فتحة أخذ الماء ضمن مجرى النهر على عمق $2 \div 2.5m$ من المنسوب الأدنى للماء، وعلى ارتفاع $0.5 \div 1.5m$ من منسوب قعر النهر لتجنب دخول الأحمال القعرية إليها. أما إذا كانت الأعماق كافيةً بالقرب من شواطئ النهر، فإنه يتم إنشاء مآخذ شاطئية للماء بدلاً من المآخذ المقامة في مجرى النهر، حيث يدخل الماء إليها عن طريق فتحات غاطسة، الشكل (3-8-b).

في حال وجود تذبذبات كبيرة في منسوب الماء من النهر، وشواطئ ضعيفة الاستقرار، يُلجأ إلى تصميم مآخذ عائمة على هيئة محطة ضخ تُقام على زورق عائم مسطح القعر، يتراوح في عومه تبعاً لتراوح مستوى الماء في النهر.



الشكل (3-8). المآخذ المائية المباشرة الغاطسة.

a- مأخذ مائي شاطئي، b- مأخذ مائي شاطئي حالة ضفة شديدة الانحدار،

4. 3 المآخذ المائية غير المباشرة أو السدية:

4.1. 3 مقدمة:

يتضمن المأخذ المائي غير المباشر سداً أو سداً–هداراً، وهو الأكثر استخداماً كونه يتمتع بالكثير من المزايا، منها:

- رفع منسوب الماء في المجرى، مما يسمح بري مساحات أكبر من الأراضي الزراعية.
- منسوب الماء في المأخذ قليل التغير.
- تغذية القناة الفرعية بالماء مؤمنة حتى عندما يكون التدفق في المجرى أقل من التدفق المطلوب للقناة، حيث يتجمع الماء خلف السد.
- تقليل كمية الرواسب المنقولة إلى المأخذ، حيث يترسب قسم كبير منها في البحيرة المتشكلة بسبب انخفاض سرعة الجريان.

يُميز ثلاثة أنواع من السدود:

1. السدود الثابتة التي توقف جريان الماء بصورة دائمة.
2. السدود المتحركة التي تُزال في فترات الفيضانات لترك الماء يمر بحرية.
3. السدود نصف المتحركة أو المختلطة، وهي تتألف من عتبة مرتفعة بالنسبة لسرير النهر، وجزءٍ متحرك يمكن رفعه عند مرور الفيضانات.

أما المأخذ بحد ذاته فيمكن أن يكون غاطساً أو سطحياً، وتُستخدم المآخذ السطحية في السدود المنخفضة، ذات التغيرات المحدودة في المنسوب، وتُقام على الشاطئ بالقرب من السد، أما عناصر طرد الرواسب فتُنشأ إما على الشاطئ، أو ضمن جسم السد.

4.2. 3 مأخذ الماء السدي الغاطس:

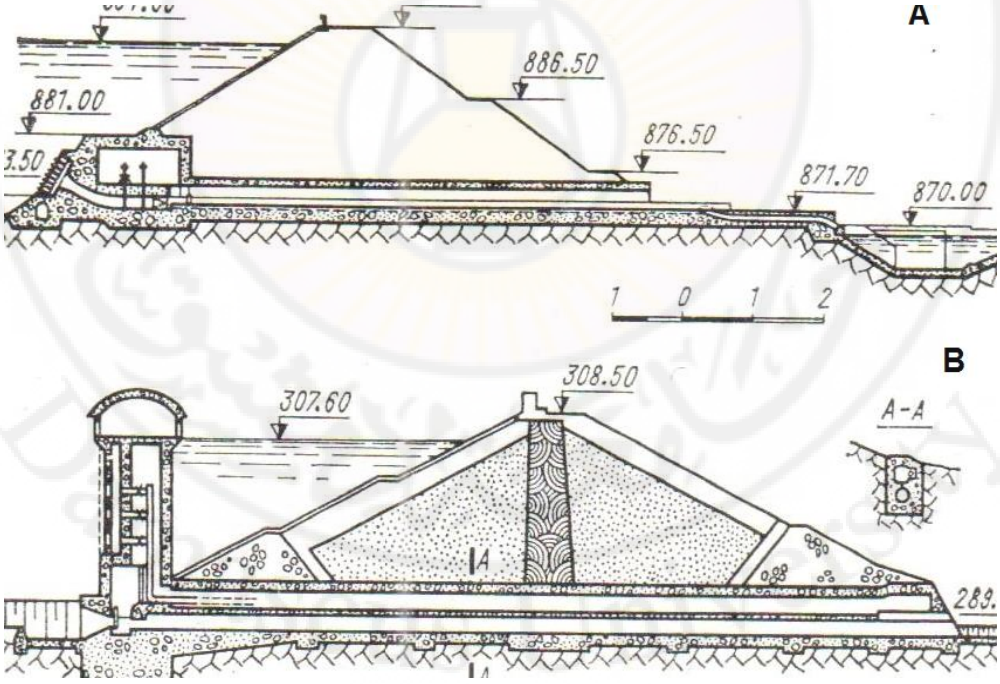
تُنشأ المآخذ الغاطسة عادةً في المجمعات الهيدروليكية المتوسطة أو المرتفعة، وكذلك عند وجود تذبذبات كبيرة في منسوب الماء في الحوز العلوي، وفي هذه الحالة لا أهمية لمشكلة الرواسب، وذلك لأن خزان الماء العميق يعمل كحوض ترسيب ممتاز.

ويُحدد موقع المأخذ المائي إما ضمن جسم السد أو على الشاطئ.

مأخذ الماء المقام في جسم السد:

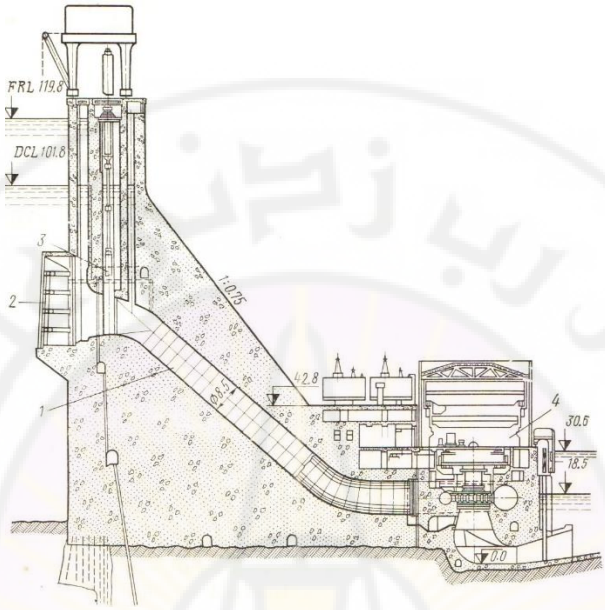
يُنفذ هذا المأخذ على شكل أنابيب تخترق جسم السد الترابي أو الركامي، الشكل (3–9)، أو على شكل فتحات أنبوبية في جسم السد البيتوني ، الشكل (3–10)، وتحتوي من الناحية الأمامية على فوهة تتوسع تدريجياً على شكل قمعٍ لتحسين الظروف الهيدروليكية لدخول الماء، ويُزود هذا القمع بشبكةٍ واقية من الأجسام الطافية.

إن تصميم المآخذ المائية في جسم السد يشبه تصميم المآخذ المائية الغاطسة، والفرق الوحيد بينها هو أن فتحة المأخذ من النوع الأول لا تقع بالقرب من القعر، بل عند منسوب أخفض بقليل من المنسوب الأدنى للماء في بحيرة السد، ويُبين الشكل (3–11) تفاصيل مأخذ مائي في جسم سد بيتوني.



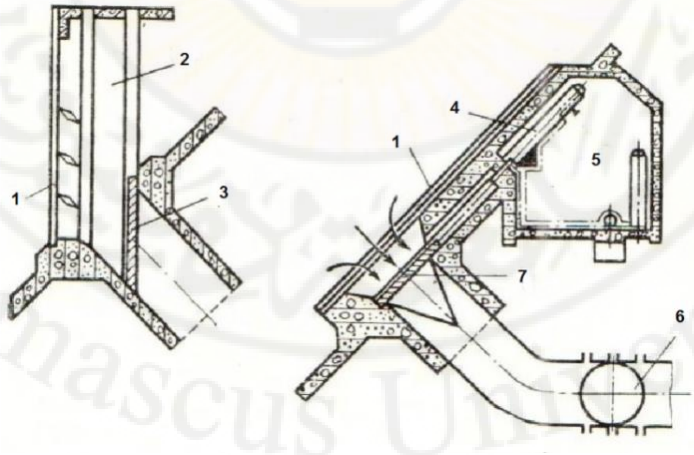
الشكل (3-9). المآخذ المائية غير المباشرة الغاطسة الملحقة بالسدود الترابية أو الركامية.

A- مأخذ أنبوبي لا برجي، B– مأخذ مائي خاص بمياه الشرب (برج مدمج مع مصرف).



الشكل (3-10). مأخذ مائي غاطس في سد بيتوني ثقلي.

1- أنبوب فولاذي، 2- شبكة، 3- بوابات، 4- مبنى المحطة الكهرومائية.



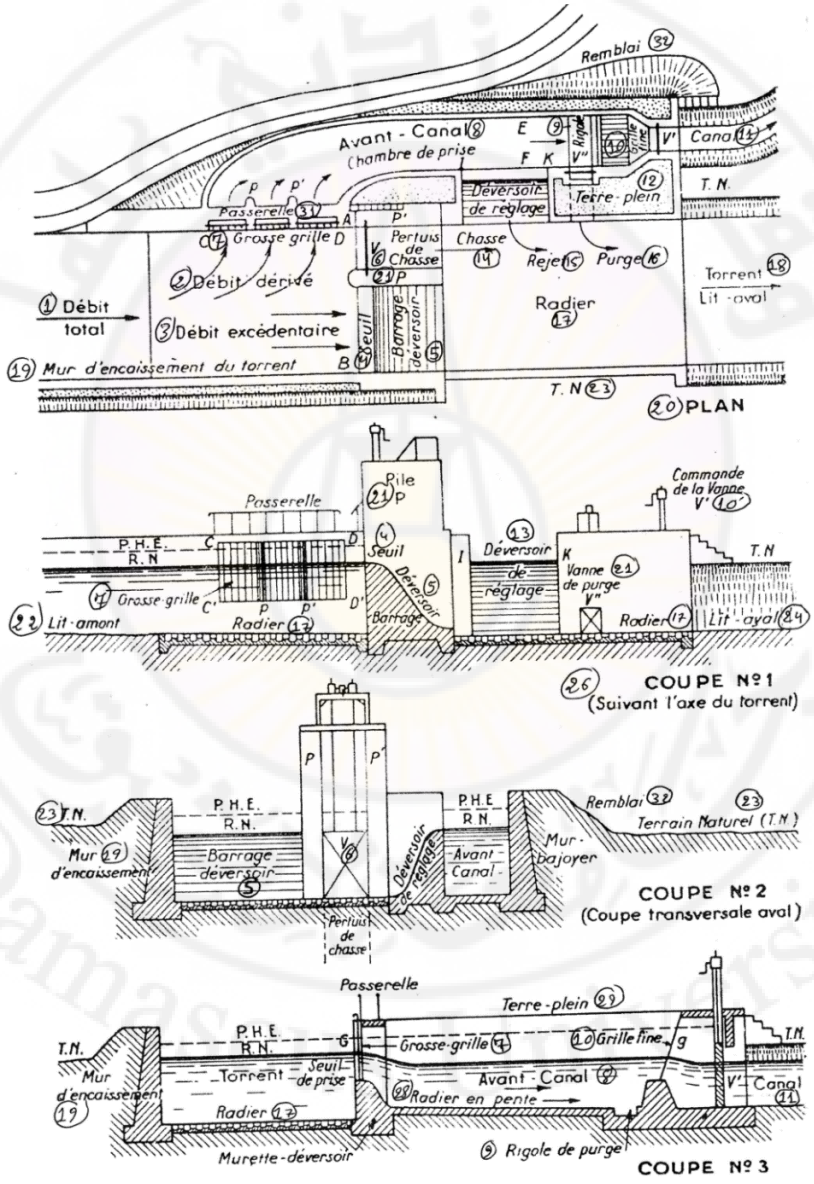
الشكل (3-11). تفاصيل مدخل مأخذ مائي غاطس في سد بيتوني ثقلي.

1- شبكة، 2- أخدود، 3- بوابة، 4- مكبس هيدروليكي،

5- مضخات زيت، 6- تضيق، 7- قمع دخول.

4.3.3 المأخذ السدي السطحي:

يُوضح الشكل (3-12) مسقطاً أفقياً، ومقاطع مختلفة لمأخذ مائي سدي سطحي منفذ على مجرى مائي غير ملاحي بتصريف صلب معتدل.



الشكل (3-12). نموذج لمأخذ مائي غير مباشر.

الرقم	تسمية ـفرنسي	تسمية عربي
1	Débit total	التصريف الكلي
2	Débit dérive	التصريف المحول
3	Débit excédentaire	التصريف الفائض
4	Seuil	عتبة
5	Barrage déversoir	سد-هدار
5	Déversoir	هدار
6	Pertuis de chasse	بوابة طرد الرواسب
7	Grosse grille	شبك خشن
8	Avant canal	حوض الاستقبال والترسيب
9	Rigole de purge	خندق التفيس
10	Commande de la Vanne	وحدة التحكم بالسكر
10	Grille fine	شبك ناعم
12	Terre - plein	تربة الأملاء
13	Déversoir de réglage	هدار الحماية
14	Chasse	طرد
15	Rejet	المستبعد
16	Purge	تفيسة
17	Radier	بلاطة

الرقم	تسمية ـفرنسي	تسمية عربي
18	Torrent	المجرى المائي
19	Mur encaissement	جدار الحماية
20	Plan	مسقط أفقي
21	Pile	ركيزة
21	Vanne de purge	سكر التنفيس
22	Lit-amant	السرير الأمامي للمجرى
23	Terrain Naturel	الأرض الطبيعية
24	Lit-aval	السرير الخلفي للمجرى
25	Mur Bajoyer	جدار تحديد
26	Coupe suivant l'axe de torrent	مقطع فق محور المجرى
27	Coupe transversale aval	مقطع عرضي خلفي
28	Radier en pente	بلاطة ميول
29	Terre – plein	تربة الأملاء
30	Seuil de prise	عتبة المأخذ
31	Passerelle	معبر
32	Remblai	ردمية
33	Vanne de prise	سكر المأخذ

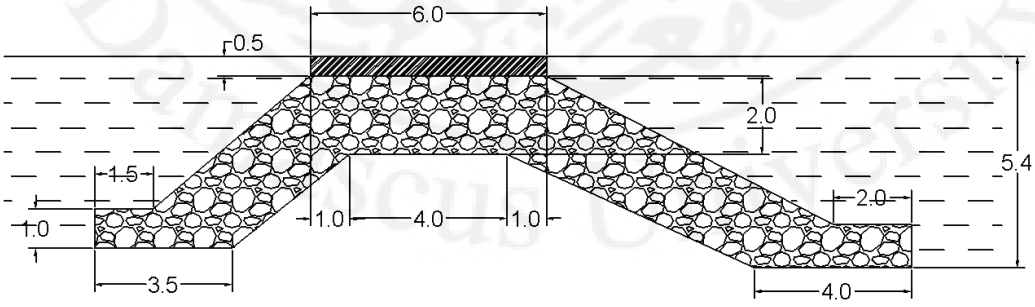
تتألف منشأة المأخذ السطحي بشكلٍ عام من العناصر الآتية:

1- منشأة السد:

تقوم باعتراض الجريان في المجرى الرئيسي، والعمل على رفع سطح الماء أمام المأخذ حتى منسوب معين والذي يعرف بمنسوب تغذية المأخذ، ثم يُحافظ على هذا المنسوب، مهما كانت التغيرات التي تطرأ على التدفقات في المجرى المائي، وهو المنسوب الذي يسمح بتمرير التدفق الأعظمي في قناة الجر. تختلف أهمية هذه المنشأة باختلاف المأخذ المائي، وهي ترتبط بأهمية مشروع الري الذي يقوم المأخذ بتغذيته، فيمكن أن يكون سد– عتبة، أو سداً–هداراً.

السد – العتبة:

يُستخدم عندما لا يكون من الضروري رفع منسوب الماء كثيراً أمام المأخذ، حيث يُكتفى برفعٍ بسيط لمنسوب الماء أمام المأخذ. تتألف العتبة من كتلة من البيتون الثقلي تُغطى بحصيرة بيتونية بسماكة 10cm تقريباً، وتمتد العتبة بين جانبي المجرى بشكل متعامد على اتجاه الجريان، ويُبين الشكل (3–13) تفصيلة لعتبة مطمورة. في حال الجريان الطبيعي يحدث انخفاض بسيط في منسوب الماء نتيجة تجاوز العتبة، ولكن في فترة الفيضانات يكون التدفق الصلب مهماً، ويمكن حدوث نحر لتربة المجرى خلف العتبة، وبالتالي تعرض استقرار المنشأة للخطر، ولمجابهة هذا الخطر يتم زيادة عمق العتبة، ويتعلق هذا العمق بكمية التدفق الصلب، وبسرعة الجريان، وبطبيعة أرضية المجرى.



الشكل (3-13). نموذج للسد مع عتبة مغمورة.

السد الهدّار

يلجأ إلى هذه المنشأة في الحالات التي يتطلب فيها رفع هام للماء في النهر عند موقع المأخذ لمائي لتأمين منسوب تغذية المأخذ المطلوب. كما يسمح السد الهدّار بمرور الماء الفائض عن قناة الجر إلى المجرى المائي يُميز هنا المنسوب الفيضاني الأعظمي (High Water Level - HWL)، الذي يُحدد بالاعتماد على التدفق الفيضاني التصميمي، وعليه يتم تحديد ارتفاع وطول جدران المأخذ.

(سيتم دراسة السد–الهدّار بالتفصيل في الفصل الرابع)،

منشأة طرد الرواسب:

في الحالات التي يكون فيها التدفق الصلب في المجرى المائي كبيراً، والتي يمكن أن تؤدي على المدى الطويل إلى إطماء حوض التخزين أمام الهدّار، يكون من الضروري تزويد المأخذ المائي بفتحات لطرد المواد التي تترسب أمام الهدار

منشأة طرد الرواسب هي عبارة عن فتحة مستطيلة الشكل تُنفذ ضمن كتلة السد الهدّار، بحيث تصل إلى قعر المجرى المائي، وتُغلق الفتحة بسكر، وتُسمى فتحة طرد الرواسب. تتوضع منشأة طرد الرواسب بجانب ضفة المأخذ، وتؤخذ أبعاد فتحتها كنسبةٍ من مساحة السطح الشاقولي للسد الهدّار وتتراوح ضمن المجال (1/6-1/10)، وبحيث لا يقل عرضها عن 4m كي تسمح للمواد الطافية بالعبور (جذع الأشجار إلخ).

2- <u>الهدّار الجانبي</u>:

تتألف عتبة الهدّار الجانبي أو عتبة المأخذ من فتحة، أو مجموعة فتحات مزودة بسكورة معدنية، وذلك لتنظيم دخول الماء، كما وتُجهز بشبكٍ معدني، ويُعطى لعتبة المأخذ طولاً كبيراً نسبياً من أجل:

- أن يكون ارتفاع اللسان الساكب فوق العتبة صغيراً.
- أن تكون سرعة دخول الماء إلى المأخذ صغيرة.

يؤدي هذان الشرطان إلى زيادة استقرار عتبة المأخذ نتيجة تخفيف الأثر الديناميكي لسرعة الماء، كما يؤدي إلى تخفيض أمكانية دخول المواد الصلبة التي تحملها مياه النهر

إلى المأخذ، وتوضع عتبة المأخذ أقرب ما يمكن من فتحات طرد الرواسب، مع تحديد منسوب عتبة المأخذ بحيث يكون فرق المنسوب بينها وبين منسوب أرضية فتحات طرد الرواسب كبيراً، ولا يقل عن 1.20m.

تقُسم العتبة إلى مجموعة من الفتحات، وذلك بوساطة ركائز، بحيث يتراوح عرض الفتحة ضمن المجال m(2-2.5)، مما يقلل من وزن البوابات، مما يسمح بتشغيلها بسهولة.

تُحسب العتبات تماماً كالهدّارات، ويجب عند تصميمها الوضع بالحسبان النقاط الآتية:

- منسوب الركيزة أعلى بنحو m(0.6-1.0) من المنسوب الفيضاني التصميمي.
- أن يكون رأس الركيزة بشكل شبه منحرف أو نصف دائرة، لتخفيف أثر الانضغاط الجانبي.
- يُستفاد من الركائز بحيث تكون مساند لجسر مشاة، أو لتحميل عارضة تثبيت التجهيزات الميكانيكية اللازمة لتحريك البوابات، وبالتالي يكون طول الركائز مساوياً عرض جسر المرور، أو m (1.2-1.8) في الحالة الثانية.

في الحالة التي تكون فيها الركائز من النوع الحجري، أو من البيتون العادي تكون سماكة الركيزة الوسيطة بحدود 1m، ويُعطي الجدول (3–1) طول الفتحة بدلالة ارتفاع الماء أمام المنشأة، وعرض الفتحة، وفي الحالة التي تكون فيها الركائز من البيتون المسلح، فإن سماكتها لا تتجاوز 0.40m.

الجدول (3-1). نسبة سماكة الركيزة (δ) إلى طول الفتحة (b).

طول الفتحة (m)	**ارتفاع الماء أمام المنشأة** (m)			
	4.5	6.0	7.5	9.0
3.0	0.25	0.27	0.29	0.31
4.5	0.24	0.26	0.28	0.3
6.0	0.23	0.25	0.27	0.29
7.5	0.21	0.24	0.26	0.28

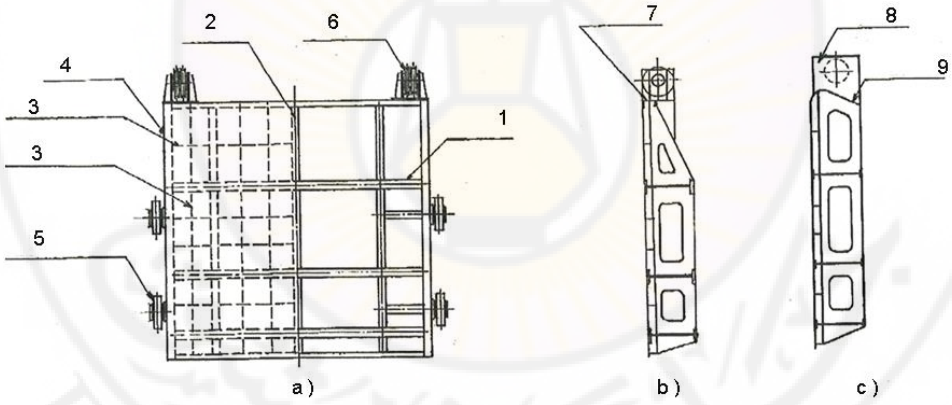
تجهيزات العتبة:

تكون الفتحات مجهزةً ببوابات متحركة، الغاية منها تنظيم الجريان عبر الفتحات، وتختلف نوعية هذه التجهيزات حسب أهمية التدفق المطلوب الحصول عليه من المجرى المائي، وأهمية قناة جلب الماء، وطريقة تنظيم الجريان فيها.

- **حالة القنوات الصغيرة والمتوسطة:**

يُكتفى باستخدام بوابات مستوية ذات جريانٍ سفلي، أو ذات جريان علوي، وتُحرك يدوياً أو كهربائياً، وهي من أبسط أنواع السكورة، وأكثرها أماناً في العمل، وأقلها عرضة للأعطال، لكن من مساوئها سماحها بدخول المواد الصلبة المحمولة مع مياه النهر.

في الحالة التي تتطلب ببوابات كبيرة يكون تأثير الاحتكاك كبيراً، وبناءً عليه يُجهز جسم البوابة بدواليب معدنية صغيرة تؤمن سهولة تحريكها، الشكل (3-14).



الشكل (3-14). مخطط لهيكل بوابة مستوية مجهزة بعجلات

a- منظر جبهي b- مقطع طولي لبوابة بدون مفيض c- مقطع طولي مع مفيض

1-عوراض رئيسية 2- عوارض شاقولية 3- عوارض ثانوية

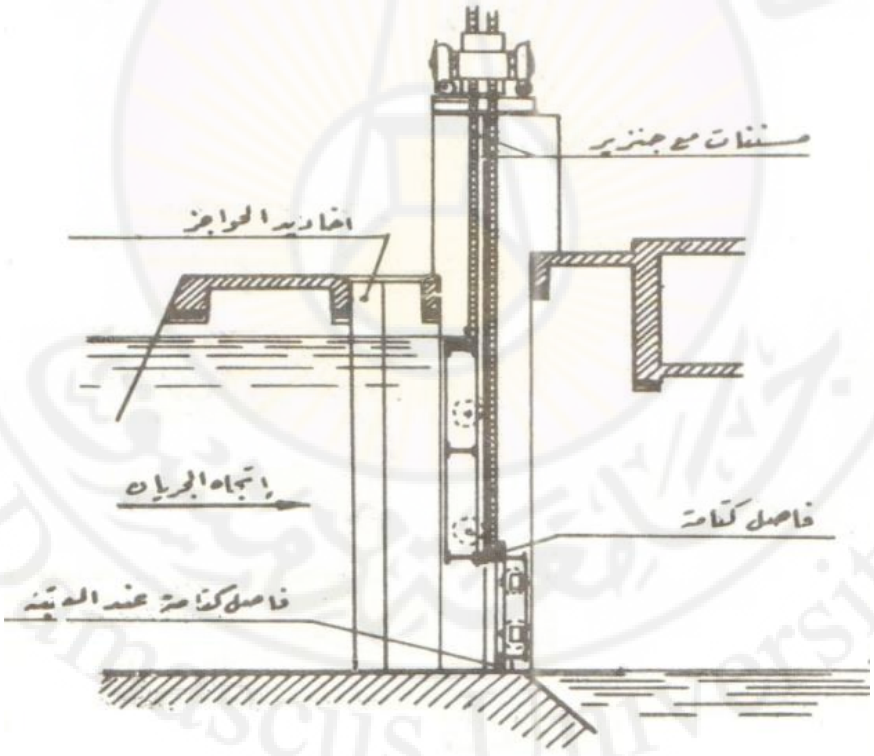
4- عوارض جانبية 5- العجلات رئيسية 6- حلقة تعليق 7- جائز علوي

8- عارضة منحرفة9 – عارضة بشكل مفيض .

كما يمكن استخدام البوابات متعددة الأجسام، الشكل (3-15) ، ويُلجأ إلى هذا النوع من البوابات في الحالة التي يتجاوز فيها الارتفاع الحر للفتحات 2.0m.

في حال استخدام البوابات ذات الجريان السفلي، تكون سرعة جريان الماء كبيرة، وتراوح في المجال (10-15m/s)، مما يؤدي إلى حت الأرضية التي تلي العتبة.

أما عند استخدام البوابات ذات الجريان العلوي، فمن السهل التحكم بمنسوب الماء أمام العتبة، وبالتالي يكون التحكم بالتدفق عبر العتبة أسهل وأدق، كما تسمح هذه البوابات بجرف المواد الطافية التي تتجمع أمام العتبة.



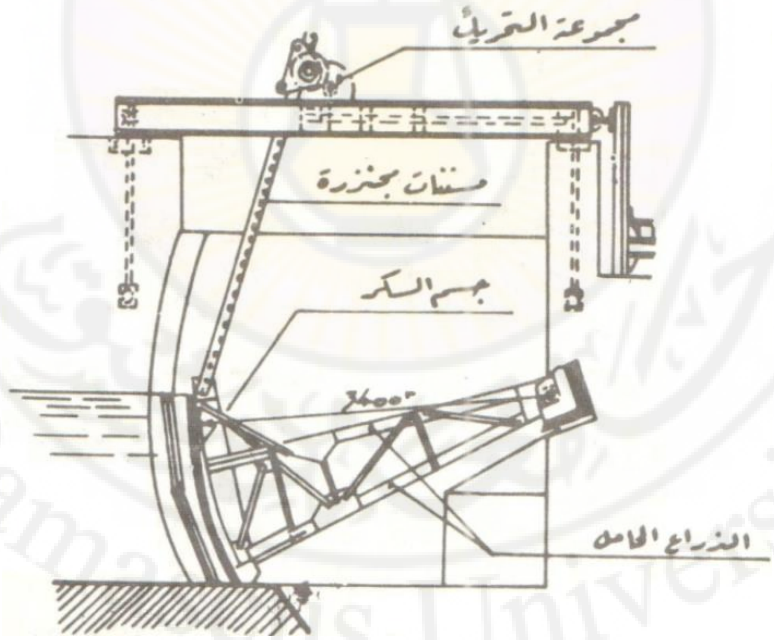
الشكل (3-15). بوابة معدنية مستوية ذات جسمين.

1- حالة القنوات الكبيرة:

تكون السكورة بأبعاد كبيرة، ويُصبح من الصعب تحريك السكورة المستوية، ويفضل استخدام البوابات القوسية، الشكل (3-16). تتألف هذه البوابات من ترسٍ معدني يشكل جزءاً من أسطوانة دائرية بمحورٍ أفقي، ويُحمل الترس بوساطة أذرع معدنية تتمركز عند محور الأسطوانة، وتتحرك البوابة حول هذا المحور.

تتميز البوابات القوسية بأن شكلها يسمح بانتقال قوى الضغط المائي إلى محورها، وبالتالي لا تتعرض البوابة إلى مزدوجة مقاومة، فيكون من السهل تحريكها، حيث يكفي التغلب على الوزن الذاتي للبوابة، والقوى الناتجة عن الاحتكاك.

تُشكل في الركائز أخاديد، أمام البوابة وخلفها على مسافة m(0.8-1.2)، للتمكن من وضع حواجز معدنية، لعزل البوابة عند إجراء أعمال الصيانة.



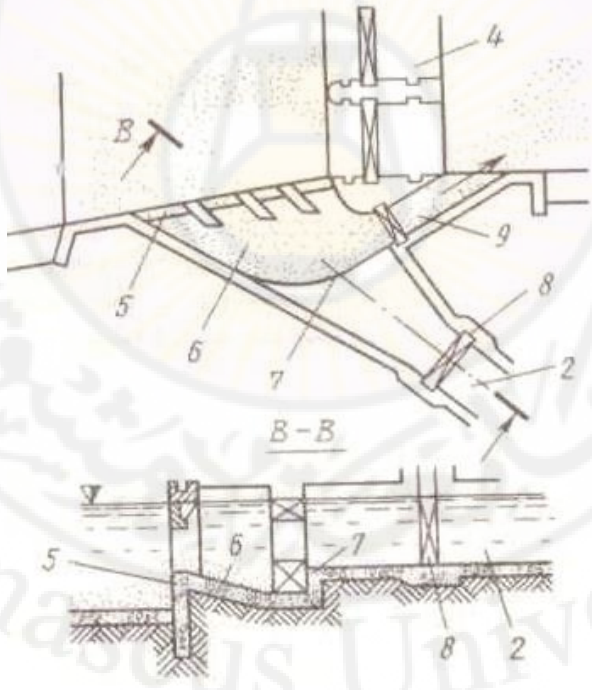
الشكل (3-16). نموذج لبوابة قوسية.

3- حوض الاستقبال الملحق بالهدّار الجانبي:

يُحفر الحوض على ضفة المأخذ، ويبدأ بعد الهدّار الجانبي مباشرة، ويتصل في نهايته بمدخل قناة الجر عبر منشأة سكر المدخل، ويكون لمقطع حوض الاستقبال شكلاً متضيقً تدريجياً، وذلك لكون عرض القناة أضيق من عرض العتبة، الشكل (3-12).

يعمل حوض الاستقبال كحوض ترسيب للمواد الصلبة الكبيرة كالبحص والرمل، وتُعطى لأرضية الحوض ميولاً طولية وعرضية تساعد على حركة المواد الصلبة المترسبة نحو قناة صرف الرواسب الموجود في نهاية الحوص، والتي بدورها تُجهز بسكر يسمح عند فتحه بصرف الرواسب إلى المجرى المائي.

كما يوضح (3-17) نموذج لمأخذ مائي جانبي يتضمن مسارب

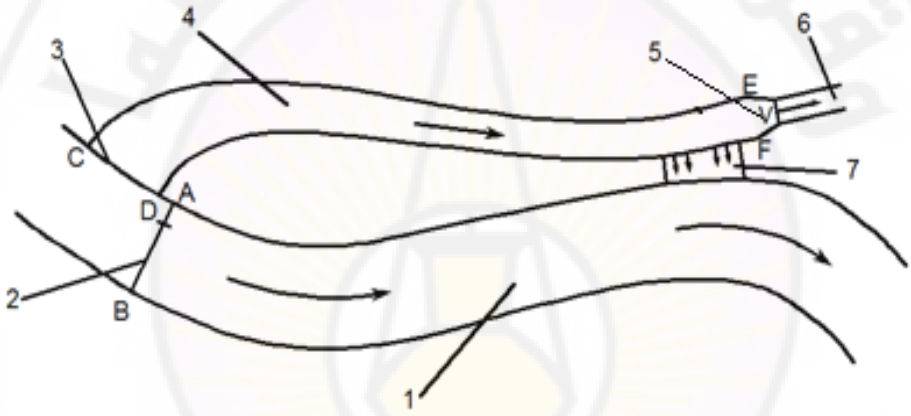


الشكل (3-17). تخطيط نموذجي لمأخذ جانبي يحتوي حوض استقبال وترسيب.

1- المأخذ، 2- قناة جر المياه، 3- فتحات لطرد الرواسب، 4- السد، 5- عتبة الدخول، 6- خزان أمامي، 7- عتبة الحوض الأمامي، 8- بوابة المأخذ، 9- قناة لطرد الرواسب.

4- مفيض جانبي سطحي:

يُسمى مفيض التنظيم، أو مفيض الحماية، ويتوضع على جانب حوض الاستقبال بجهة المجرى المائي قبل سكر المدخل، وذلك لتصريف الماء المحول بشكل زائد إلى القناة، ويُحاول قدر الإمكان اختصار مسار القناة الراجعة للمجرى، ولكن قد لا يسمح الوضع الطبوغرافي بذلك دائماً، وقد يُضطر إلى وضع المفيض وسكر المدخل في مكان بعيد حيث تقترب قناة الجر من المجرى المائي، الشكل (3-18).



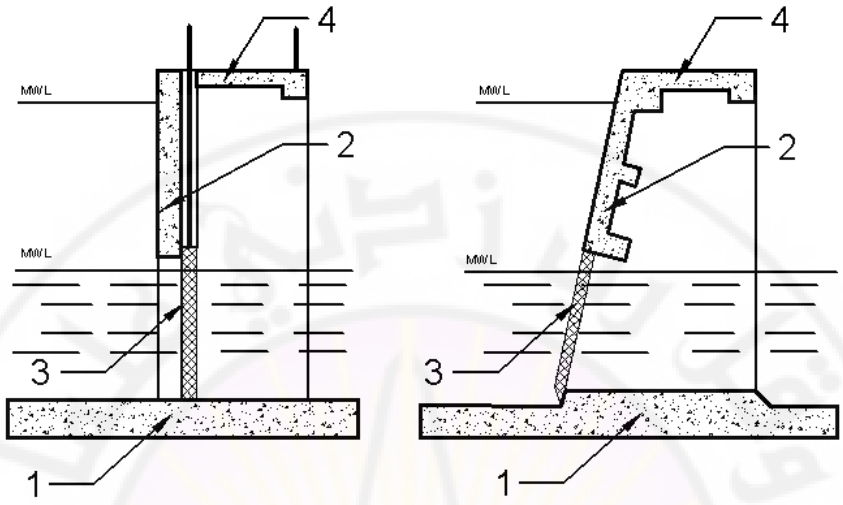
الشكل (3-18). توضع مفيض الحماية ضمن منشأة المأخذ.

1- القناة الرئيسية، 2- سد، 3- مدخل المأخذ، 4- حوض الاستقبال والترسيب،
5- بوابة المأخذ، 6- قناة الجر، 7- مفيض جانبي.

5- سكر المدخل:

يتألف من بوابة أو مجموعة بوابات، وهي في الغالب بوابات مستوية معدنية تُنفذ في نهاية حوض الاستقبال وبداية قناة الجر، وذلك للتحكم بغزارة الجريان. يجب أن يكون ارتفاع السكر كافياً بحيث لا يُغمر بالماء عند ورود الفيضان.

عندما يكون منسوب الفيضان مرتفعاً يمكن تخفيض ارتفاع سكر المدخل بوضع حجاب من البيتون المسلح كما في الشكل (3-19) ، حيث ينخفض الحجاب حتى منسوب التخزين النظامي، ويرتفع فوق منسوب الفيضاني.



الشكل (3-19). سكر مأخذ مزود بحجاب.

1- قاعدة بيتونية، 2- ركيزة (حجاب)، 3- بوابة تحكم معدنية، 4- معبر.

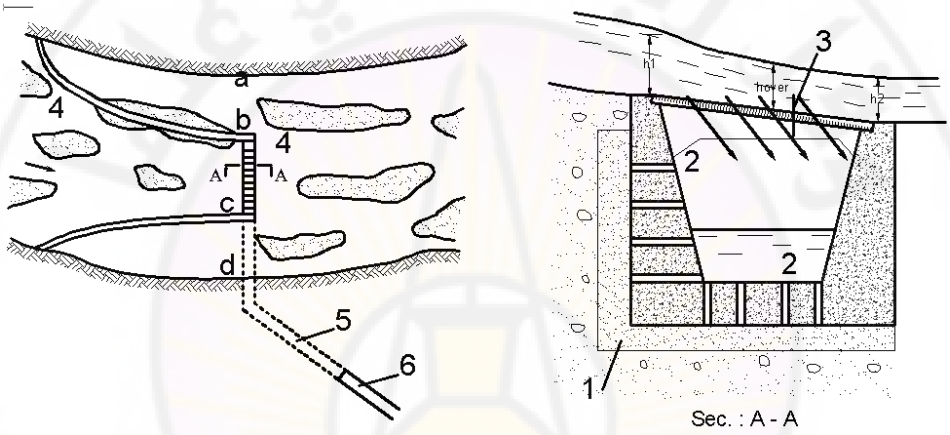
5. 3 تصنيف المآخذ المائية حسب موقعها في مجرى النهر:

5.1. 3 المآخذ المائية في المناطق الجبلية من مجرى النهر:

تتميز المناطق الجبلية عادة بهطولات مطرية غزيرة تتساقط خلال فترة زمنية قصيرة، أي أن الشدة المطرية تكون مرتفعة، كما تتميز بتغيرات يومية كبيرة بالجريانات السطحية، وبارتفاع كمية أحمال القعر الرسوبية، وبانخفاض الرسوبيات الناعمة المنقولة، ويتوجب على المأخذ في هذه الحالة تحقيق مجموعة من الشروط:

1. تحضير مجرى النهر في موقع المأخذ.
2. ضمان وصول الماء للمآخذ المائي
3. عدم السماح بوصول الرواسب الخشنة إلى المأخذ المائي
4. احتواء السد على فتحة خاصة واسعة تبقى مفتوحة دائماً لإمرار مياه الفيضان، والأحجار والأشجار المجروفة.

يُوضح الشكل (3–20) مأخذاً سفلياً، وهو عبارة عن خندق يمتد على عرض النهر، أو على جزء منه، مع جدران أمامية وسفلية نفوذة (جدران مثقبة مع مرشح واق). ويكون الخندق مغطى ببلاطة مثقبة، يتراوح قطر الثقب فيها بحدود $5 \div 15mm$ بحيث تسمح بمرور الماء والرمل والحصويات الناعمة جداً وأما الرواسب الخشنة فتمر فوقها. ومن مساوئ هذا النوع من المآخذ احتمال انسداد شبكة الثقوب.



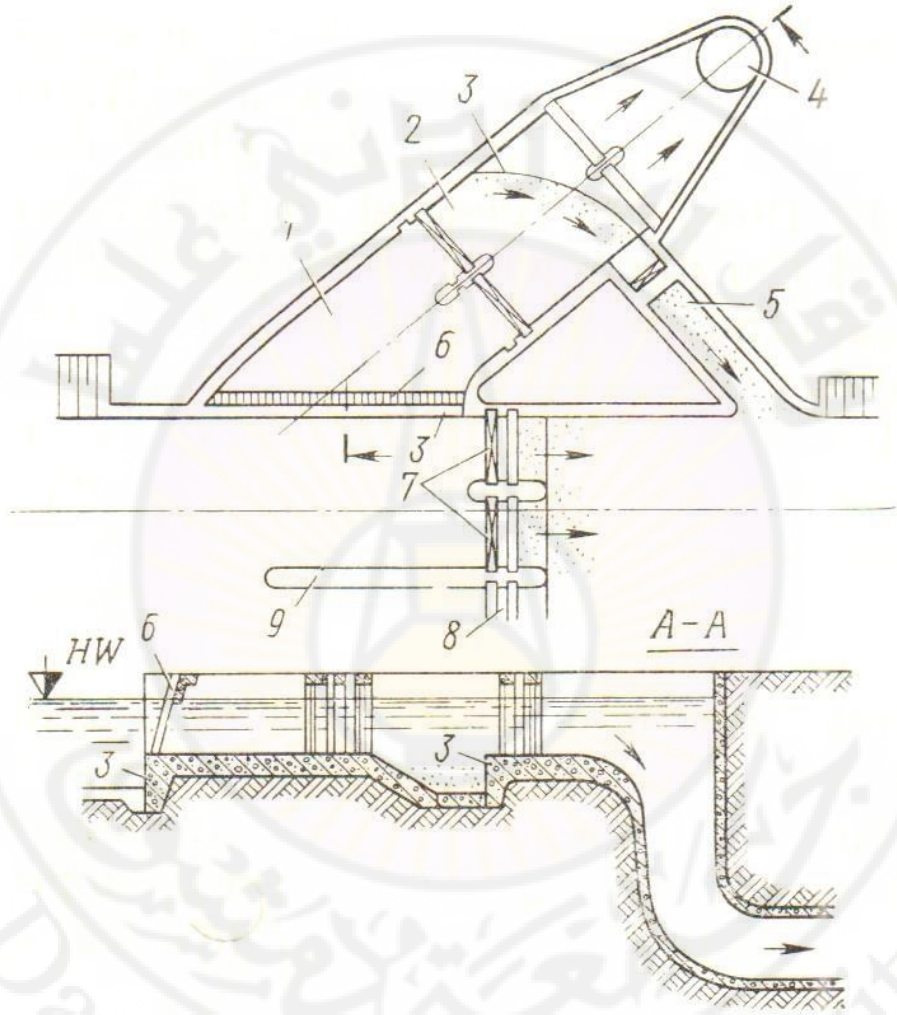
الشكل (3-20). نموذج لمأخذ مائي جبلي.

1- مرشح، 2– فتحات، 3– شبكة سفلية، 4– سد ترابي صغير، 5– أنبوب، 6– قناة جر.

5.2.3 المآخذ المائية في المناطق السفحية من مجرى النهر:

تتميز الأقسام السفحية للأنهار بأن معدلات تدفق الماء منخفض المنسوب تُعد ثابتة خلافاً لما عليه في الأقسام الجبلية منها، كما أن معدلات تدفقات الفيضانات أقل بكثير من الأقسام الجبلية.

تتوضع منشأة المأخذ المائي في هذه الحالة إما على الشاطئ، أو ضمن جسم السد. ويُبين الشكل (3–21) نموذجاً لمأخذ بسيط مكون من سد عتبة يصنع زاوية قائمة مع اتجاه الجريان، والغرض من هذه العتبة هو احتجاز أحمال القعر الرسوبية لتجنب دخولها إلى قناة الجر، ويتم طرد الرواسب المتجمعة أمام العتبة عند الحوض السفلي عن طريق فتحات طرد.



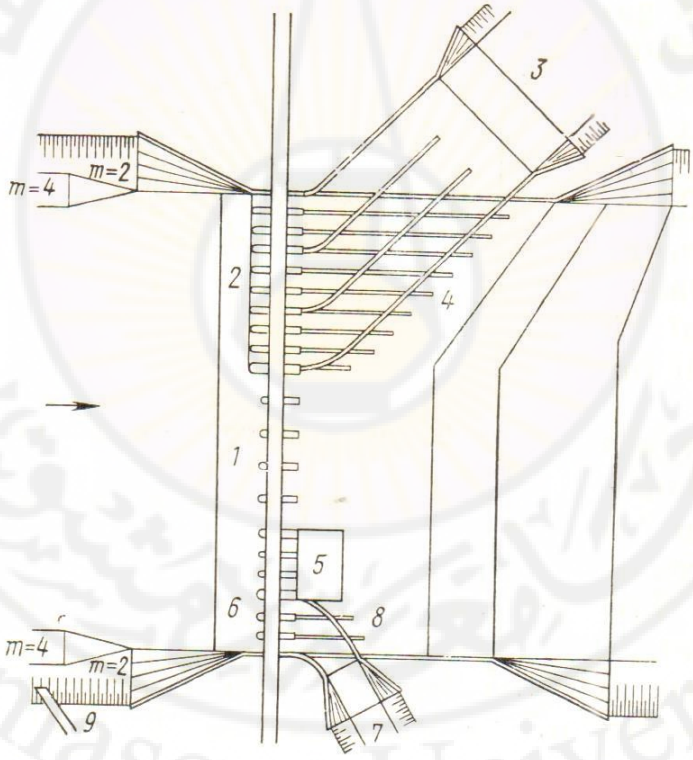
الشكل (3-21). مأخذ مائي في الأجزاء السفحية من الأنهار (مأخذ ماء ذو جيب لطرد الرواسب)

1- المأخذ، 2- مصيدة حصى، 3- عتبة، 4- ممر توصيل الماء، 5-7 - فتحة طرد الرواسب، 6- شبكة احتجاز الحصى، 8- بوابات صرف الماء الفائض، 9- جيب.

5.3.3 المآخذ المائية في الأجزاء السهلية من مجرى النهر:

تقع الأقسام السهلية للأنهار عادة، عند مجاريها الوسطية والسفلية، وهي تتميز بأن التدفق الصلب مكون بشكل أساسي من المواد الناعمة الموجودة بشكل معلقات، بينما يكون الحمل القاعي منخفضاً.

غالباً ما يكون للمجمعات الهيدروليكية المشيدة عند هذه الأجزاء وظيفة مركبة كالري وتوليد الطاقة الكهربائية على سبيل المثال، وكثيراً ما تدعو الضرورة إلى توصيل الماء إلى كلا الشاطئين كما هو مبين في الشكل (3–22).



الشكل (3-22). نموذج لمأخذ مائي على الأجزاء السهلية لنهر.

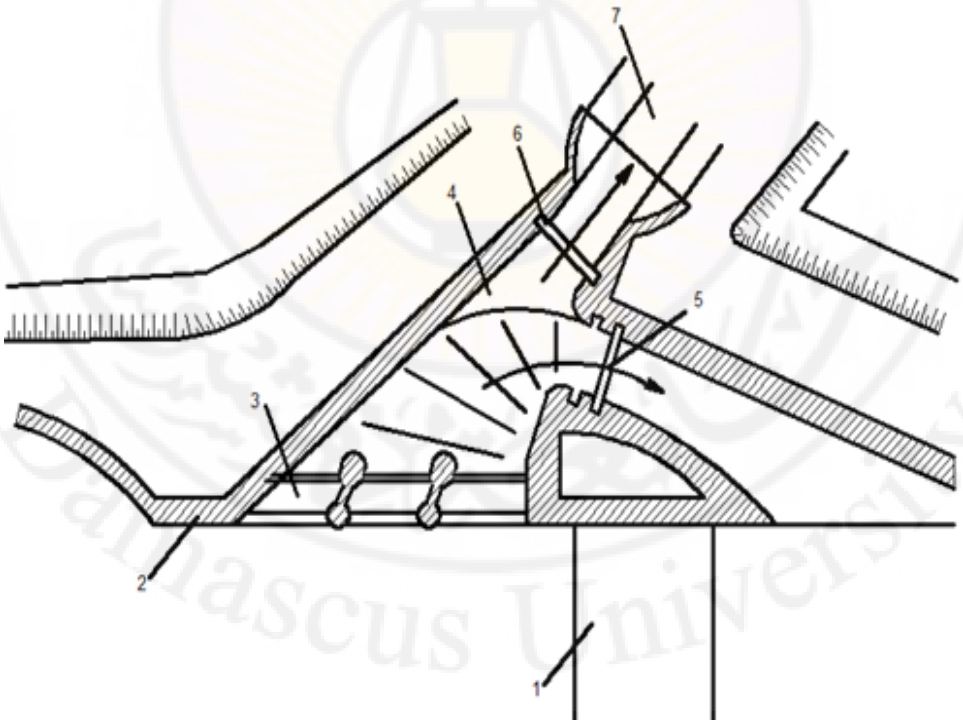
1– سد هدار للماء الفائض، 2 و6 – منظمان تحكميان يحتويان على بفتحات قاعية لطرد الرواسب، 3،7 قنوات رئيسية، 4، 8 – فتحات قاعية لطرد الرواسب 5 – محطة كهرومائية، 9 – ممر أسماك.

5.4.3 المآخذ المائية في الأنهار ذات الجريان السيلي:

تتصف المجاري المائية ذات الجريان السيلي بالتغير المستمر لمنسوب الماء على مدار العام الواحد، ومن عام لآخر، نتيجة التفاوت الكبيرة في التدفقات المائية، كما أنها تتميز بارتفاع قيم الأحمال الصلبة، ولاسيما في فترة الفيضان.

نتيجة الصفات السابق ذكرها، يتوجب على منشأة المأخذ المائي تأمين منسوب تغذية ثابت أمام المأخذ، مما يجعل هذه المنشأة أكبر وأكثر أهمية مما هو عليه في حالة المجاري المائية ذات الجريان النهري، كما يجب العناية أكثر بمنشآت استبعاد المواد الصلبة.

تحتوي منشأة المأخذ في هذه الحالة على العناصر الآتية، الشكل (3-23):



الشكل (3-23). المكونات الأساسية للمآخذ المائية على المجري السيلي.

1. سد على المجرى المائي: الغاية منه رفع منسوب الماء إلى منسوب التغذية المطلوب، ويمكن أن يكون في الحالات البسيطة سد–عتبة، أو سد–هدار.
2. مأخذ جانبي لسحب الماء وتوجيهه نحو قناة جر الماء، ويمكن أن يكون هداراً جانبياً أو عتبة من دون هدار.
3. حوض لاستقبال الماء ملحق بالهدّار: يسمح هذا الحوض بعملية ترسيب أولية للمواد العالقة في الماء قبل دخول الماء إلى قناة جر الماء.
4. مجموعة من البوابات تُجهز بها منشأة المأخذ الجانبي ومدخل قناة الجر.
5. منشأة لطرد المواد الصلبة المترسبة أمام السد.
6. منشآت حماية جوانب المجرى بجوار المأخذ.

الفصل الرابع

السد الهدّار

1. 4 الهدّارات:

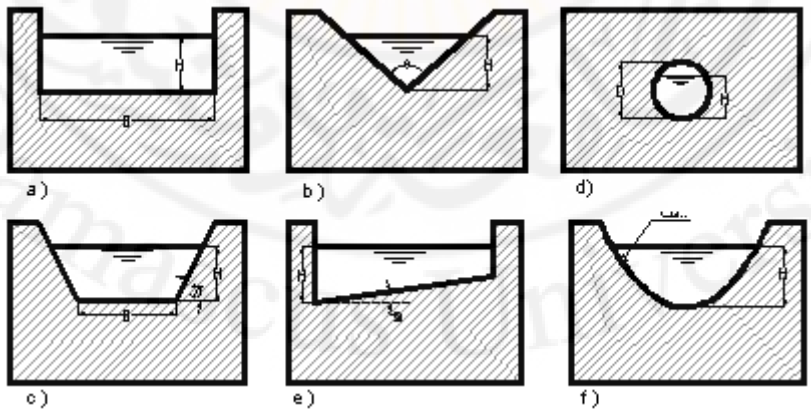
الهدّار عبارة عن حاجز يعترض المجرى المائي، بحيث ينساب الماء من أعلاه عبر فتحة معينة تُسمى فتحة الهدّار، وتُستخدم الهدّارات كمنشآت تحكم ومعايرة في المآخذ المائية ضمن المجمعات الهيدروليكية، حيث تُسند إليها الوظائف الآتية:

- توجيه المياه نحو المأخذ.
- رفع منسوب الماء وتنظيمه.
- تخفيض سرعة الجريان.
- منشآت قياس للتدفق، سواء في المخابر أو في القنوات.

1.1. 4 تصنيف الهدّارات:

تُصنف الهدّارات حسب المعايير الآتية:

أ – حسب الشكل الهندسي لفتحة الهدّار، الشكل (4–1):



الشكل (4-1). الأشكال الهندسية لفتحة الهدّار.

a) هدارات مستطيلة: واسعة الاستخدام في المنشآت المائية.

b) هدارات مثلثية: تُستخدم بشكل واسع لقياس التصريف، حيث تعطي دقة جيدة للتصاريف الصغيرة.

c) هدارات شبه منحرفة: تُستخدم بكثرة في المنشآت المائية.

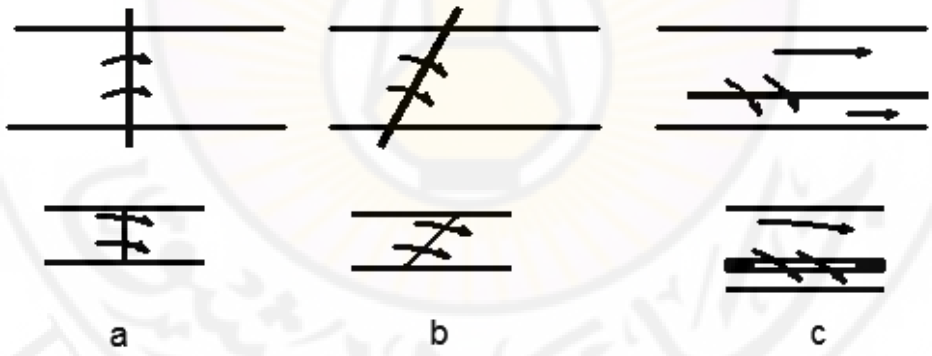
d) هدارات دائرية: نادرة الاستخدام.

e) هدارات بقاعدة مائلة: تُستخدم في الهدّارات الجانبية.

f) هدارات بفتحة على شكل قطع مكافئ: تتميز بأن العلاقة بين تصريف الهدّار والضاغط أمام الهدّار هي علاقة خطية.

ب – حسب توضع وشكل الهدّار في المسقط الأفقي:

1- الهدّارات ذات العتبة المستقيمة، الشكل (4–2):



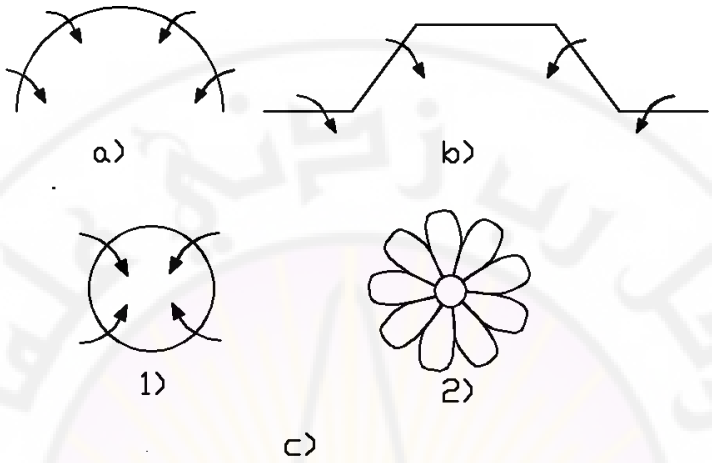
الشكل (4-2). الهدّارات ذات العتبة المستقيمة.

a) هدارات جبهية: تكون عتبة الهدّار عمودية على المجرى المائي.

b) هدارات مائلة: تصنع عتبة الهدّار زاوية مع محور الجريان.

c) هدارات جانبية: يتوضع الهدّار على ضفة المجرى وتكون عتبته موازية للمجرى.

2- الهدّارات ذات العتبة غير المستقيمة، الشكل (4-3):



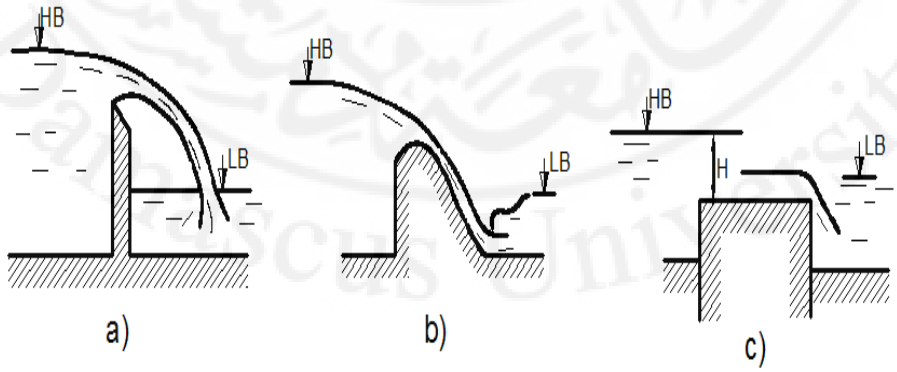
الشكل (4-3). الهدّارات ذات العتبة غير المستقيمة.

a) الهدّارات المنحنية.

b) الهدّارات المتاهة.

c) الهدّارات البئرية: تكون دائرية، أو على شكل زهرة عباد الشمس، وتُستخدم عادة كمفيض بئري ملحق بالسدود.

ج- حسب شكل وأبعاد المقطع العرضي لجدار الهدّار، الشكل (4-4):



الشكل (4-4). أنواع الهدّارات تبعاً لشكل وأبعاد المقطع العرضي لجدار الهدّار.

a) إذا كان $c < 2/3H$ يكون الهدّار رقيق الحافة.

b) $0.5H < c < (1.5-2)H$ يكون الهدّار ذا مقطع عملي.

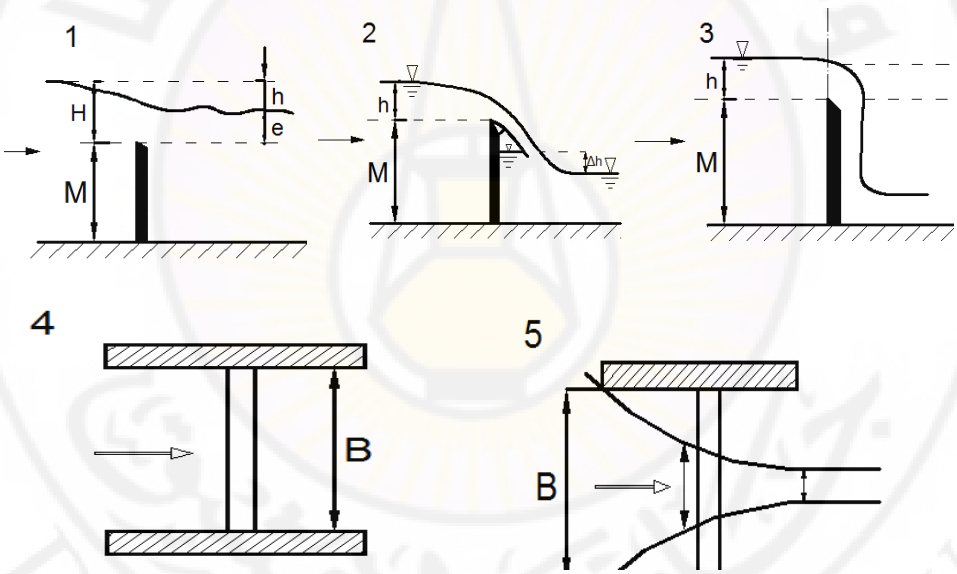
c) $(1.5-2)H < c < (10-12)H$ يكون الهدّار عريض الحافة.

d) $c > (10-12)H$ الهدّار عبارة عن قناة ذات ميل $S_0 = 0$.

حيث:

H– الضاغط المائي فوق الهدّار.C – سماكة جدار الهدّار عند القعر.

د – حسب طبيعة الجريان عبر الهدّار الشكل (4–5):



الشكل (4-5). أنواع الهدّارات حسب طبيعة الجريان عبرها.

1) مغمور،

2) غير مغمور

3) ملاصق،

4) بدون انضغاط جانبي (B=b)، عرض جبهة الهدّار يساوي عرض المجرى،

5) مع انضغاط جانبيB>b.

1.2. 4 الدراسة الهيدروليكية للجريان عبر السد–الهدّار

عند دراسة جريان الماء عبر الهدّارات تُستخدم الرموز الآتية، الشكل (4–6) :

UWL – منسوب الماء أمام السد – الهدّار.

DWL – منسوب الماء خلف السد الهدّار.

B – عرض القناة أعلى الهدّار.

b – عرض فتحة الهدّار.

P', P – ارتفاع جسم الهدّار من الأمام والخلف.

H_1 – عمق الماء الكلي أمام السد.

H – الضاغط المائي فوق عتبة الهدّار.

v_0 – سرعة الاقتراب فوق السد الهدّار.

H_0 – الضاغط الكلي فوق عتبة الهدّار.

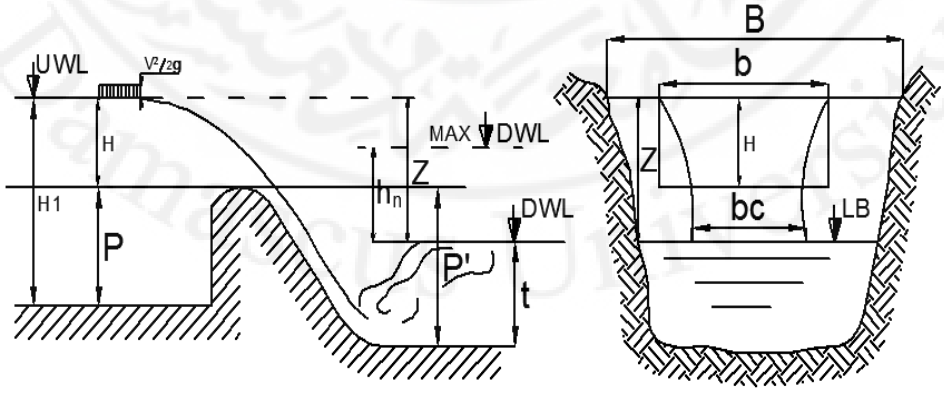
h_{co} – العمق المضغوط أسفل السد – الهدّار.

t – عمق الماء في المجرى المائي، أسفل السد–الهدّار.

h_n – ارتفاع الغمر.

Z – الفرق بين منسوبي الماء بين أعلى السد وأسفله.

Q – التدفق المار عبر الهدّار.



الشكل (4-6). الرموز والمصطلحات المستخدمة في الدراسة الهيدروليكية للهدارات

1.3.4 حساب التدفق المار عبر الهدّار:

تُعطى العلاقة الأساسية للجريان عبر الهدّارات بالصيغة الآتية:

$$Q = m \cdot B_c \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2} \qquad (1\text{-}4)$$

حيث:

m – معامل التصريف، وتختلف قيمته حسب نوع الهدّار، وطبيعة عمله، ويمكن إعطاءه القيم التقريبية الآتية:

- هدار رقيق الحافة: $m = 0.42 \div 0.45$
- هدار ذو مقطع عملي من دون تهوية: $m = 0.45 \div 0.48$
- هدار ذو مقطع عملي مع تهوية: $m = 0.5$
- هدار عريض الحافة: $m = 0.35 \div 0.38$

وتوجد علاقات تجريبية أخرى، منها:

- هدار رقيق الحافة مع إهمال سرعة الاقتراب:

$$m = \frac{2}{3} \cdot \left(0.605 + \frac{1}{1.050 \cdot (H - 3)} + 0.08 \cdot \left(\frac{H}{P} \right) \right) \qquad (2\text{-}4)$$

- هدار نظامي: يتعلق معامل التصريف في الهدّار النظامي بالنسبة H/H_d، حيث:

H_d - الضاغط التصميمي للهدار، وتُعطى قيمته بالعلاقة:

$$m = 0.5 \cdot \left(0.805 + 0.24 \cdot \left(\frac{H}{H_d} \right) - 0.05 \cdot \left(\frac{H}{H_d} \right)^2 \right) \qquad (3\text{-}4)$$

B_c – العرض الكلي الصافي المضغوط لتيار الماء المنسكب، ويُحسب بالعلاقة:

$$B_c = \sum_{i=1}^{i=n} b_i - 0.1 \cdot \left(\xi_1 \cdot N_1 + \xi_2 \cdot N_2 + \xi_3 \cdot N_3 \right) \cdot H_0 \qquad (4\text{-}4)$$

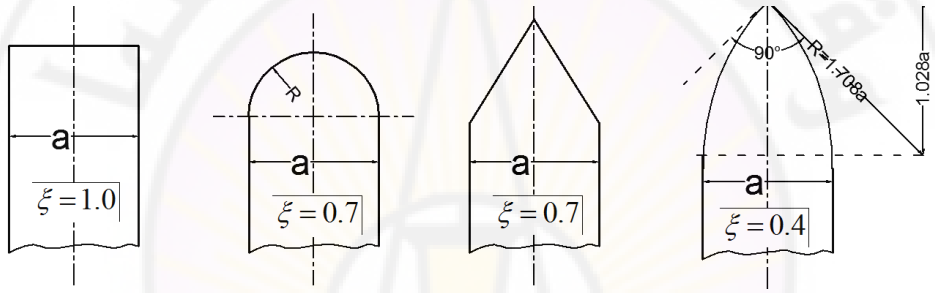
حيث:

n – عدد فتحات الهدّار (عرض الفتحات متساوٍ).

b_i – عرض الفتحة الواحدة.

N_i – عدد الانضغاطات الجانبية التي يعاني منها التيار المائي.

ξ_i – معامل تصحيح يتعلق بشكل رأس الركيزة التي تفصل بين بوابات الهدّار، وتؤخذ قيمته من الشكل (4–7).



الشكل (4-7). تأثير الانضغاط الجانبي للركائز.

H_0 – الضاغط الكلي:

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \qquad (5\text{-}4)$$

v_0 – سرعة الاقتراب وتُعطى بالعلاقة:

$$v_0 = \frac{Q}{B \cdot (P + H)} \qquad (6\text{-}4)$$

ويمكن إهمال الطاقة الحركية ($\frac{v_0^2}{2 \cdot g}$) إذا كانت قيمتها صغيرة بالنسبة لقيمة H، أو إذا تحققت المتراجحة:

$$B \cdot (P + H) \geq 4 \cdot b \cdot H \qquad (7\text{-}4)$$

σ_n – معامل الغمر.

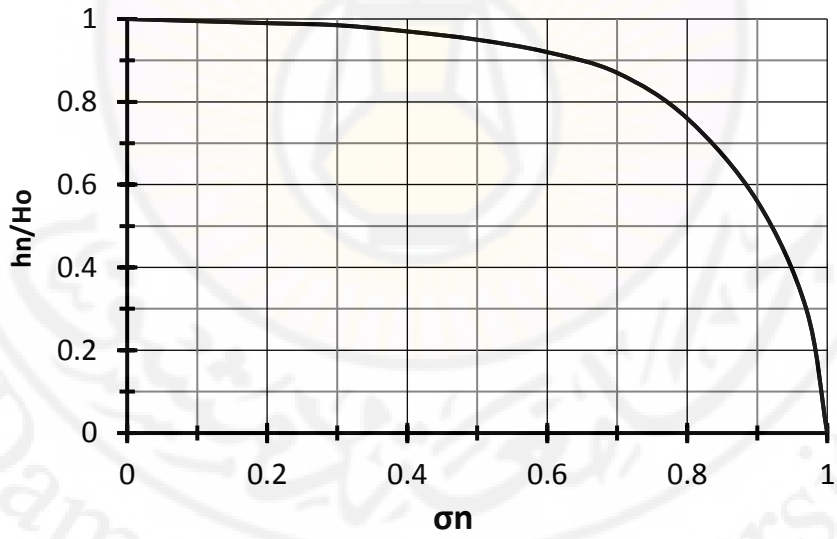
يُعد الهدّار مغموراً إذا كان منسوب الماء خلف السد الهدّار أعلى من منسوب قمة السد أي $h_n > 0$ ، ويمكن حساب قيمة معامل الغمر من العلاقة:

$$\sigma_n = 1.05 \cdot \left\{1 + 0.2 \cdot \frac{h_n}{P'}\right\} \cdot \sqrt[3]{\frac{Z}{P'}} \qquad (8\text{-}4)$$

أو من العلاقة:

$$\sigma_n = \sqrt{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{h_n}{H_0}\right) \cdot \frac{1}{1 - (1 - m/0.59)^{5/2}}\right]^2} \qquad (9\text{-}4)$$

كما يمكن تحديد قيمة المعامل σ_n بيانياً من المنحني الوارد على الشكل (4–8).



الشكل (4-8). قيم المعامل σ_n بدلالة $(\frac{h_n}{H_0})$.

أو يمكن اعتماد القيم المبينة في الجدول (4-1).

الجدول (4-1). قيم معامل الغمر لهدار نظامي.

$\left(\frac{h_n}{H_0}\right)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
σ_n	1	0.99	0.98	0.97	0.956	0.937	0.907	0.856	0.778	0.621	0

يُلاحظ أن معامل الغمر يأخذ قيمة 1.0 عندما يكون الهدّار غير مغمور.

العمق الحرج:

العمق الحرج (h_c) هو العمق الفاصل بين الجريان السريع والجريان الهادئ، ويُحسب بالعلاقة:

$$\frac{A_c^3}{B_c} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g} \qquad (10\text{-}4)4$$

حيث:

A_c – مساحة المقطع الحرج،

B_c – عرض سطح الماء للقطع الحرج.

في الحالة التي يكون مقطع الجريان مستطيلاً، تأخذ العلاقة السابقة الصيغة:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} \qquad (11\text{-}4)$$

العمق المضغوط (h_{co}):

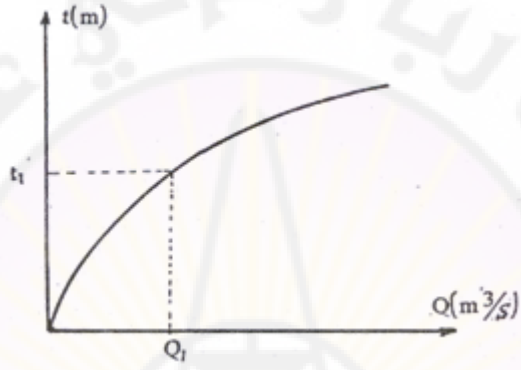
هو العمق الأصغري لتيار الماء خلف السد الهدّار، ويحدد بالعلاقة:

$$h_{co} = \frac{q}{\varphi * \sqrt{2g * (P + H_0 - h_{co})}} \qquad (12\text{-}4)$$

يُلاحظ وجود h_{co} في طرفي المعادلة، لذا يتم حل المعادلة السابقة بالتقريب المتتالي.

العمق النظامي (t):

هو عمق الماء في القناة عندما يكون الجريان منتظماً، ويتم حساب قيمته، إما بتطبيق علاقات الجريان في القنوات المكشوفة أو من المنحني (Q،t)، والمستنتج من القياسات الهيدرومترية في القناة في حال توافرها، الشكل (4–9).



الشكل(4-9). المنحني الهيدرومتري لقناة.

علاقات القفزة المائية:

باعتبار مقطع المجرى المائي في موقع القفزة مستطيل الشكل، وميل المجرى معدوماً، أو صغيراً، تُعطى العلاقة بين العمق الأول (h_1) والثاني (h_2) للقفزة بعلاقتي الأعماق المترافقة:

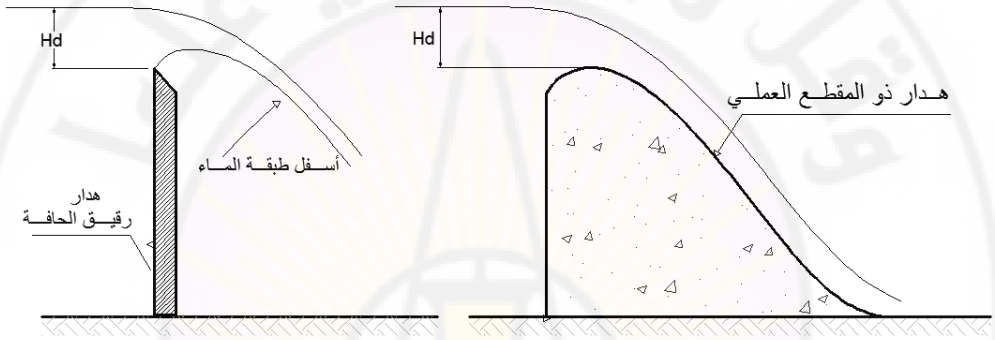
$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1+8\cdot(\frac{h_c}{h_1})^3}-1\right]$$
$$h_1 = \frac{h_2}{2}\left[\sqrt{1+8\cdot(\frac{h_c}{h_2})^3}-1\right] \qquad (13\text{-}4)$$

ويُعطى الفاقد في الطاقة ضمن القفزة المائية بالعلاقة:

$$\Delta H = \frac{(h_2-h_1)^3}{4h_1\cdot h_2} \qquad (14\text{-}4)$$

2. 4 السد–الهدّار النظامي

في الهدّار النظامي يكون شكل عتبة السد والسفح الخلفي مطابقاً للسطح السفلي لتيار الماء المنسكب فوق هدار رقيق الحافة برأس مشطوف، كما في الشكل (4–10)، وذلك للحصول على أفضل كفاءة للتصريف، ولتجنب حصول ضغط في الفراغ الواقع بين اللسان الساكب وجسم الهدّار.



الشكل (4-10). لسان الماء فوق هدار رقيق الحافة والهدّار النظامي.

في حال كان التصريف المار أكبر من التصريف التصميمي، فإن تيار الماء المنسكب يسعى لينفصل عن السطح الخلفي للسد–الهدّار ويشكل منطقة يكون فيها الضغط سالباً، وهذا يسبب حدوث اهتزازات ونخر على سطح الهدّار ومشاكل أخرى، وبالمقابل تزداد قيمة معامل التصريف، وإذا كان التصريف المار أقل من التصريف التصميمي، فإن لسان الماء يلتصق بسطح الهدّار ويضغط عليه، مما يؤدي إلى انخفاض معامل التصريف. يكون الوضع مثالياً عندما يكون التصريف مساوياً للتصريف التصميمي والسطح السفل للسان الماء مطابق لشكل سطح السد–الهدّار، حيث يكون معامل التصريف قريباً من القيمة الأعظمية، من دون حدوث آثار جانبية ضارة، بحيث يصبح الجريان انسيابياً يحول دون حدوث دوامات مائية عند ملامسة لسان الماء المنسكب لأرضية الهدّار، والتي من شأنها أن تسبب تآكل هذه الأرضية، كما يجب أن يحقق شروط الاستقرار، والتصميم الاقتصادي.

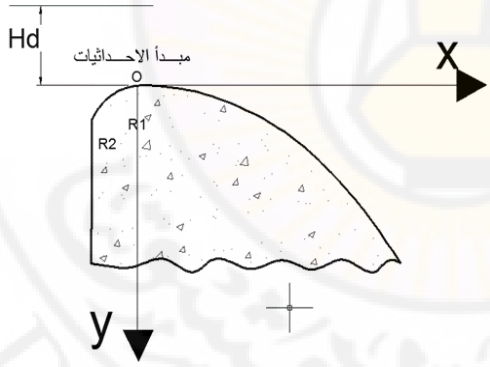
2.1.4 شكل قمة السد–الهدّار النظامي

يتعلق شكل قمة السد الهدّار بعوامل متعددة منها: الضاغط فوق قمة السد–الهدّار، وارتفاع السد–الهدّار عن المجرى، وميل السفح الأمامي. وقد قام مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي (U.S.B.R) باختبار عددٍ كبيرٍ من النماذج المخبرية بأشكال كثيرة في مختبر (Waterways Experiment Station)، ولهذا تدعى أشكال W.E.S، لاختيار الشكل الأمثل لقمة السد–الهدار.

1. سطح السفح الخلفي للسد الهدّار النظامي

يمكن تمثيل السطح الخلفي حسب جملة الإحداثيات المبينة في الشكل (4–11) بالمعادلة العامة التالية:

$$Y = K \frac{X^{n}}{H_{d}^{(1-n)}} \qquad (15\text{-}4)$$



ox– محور أفقي يمس أعلى عتبة الهدّار، وتأخذ x قيماً موجبة باتجاه السفح الخلفي.

oy– محور شاقولي، وتأخذ y قيماً موجبة نحو الأسفل،

الشكل (4-11). جملة الإحداثيات المعتمدة.

حيث:

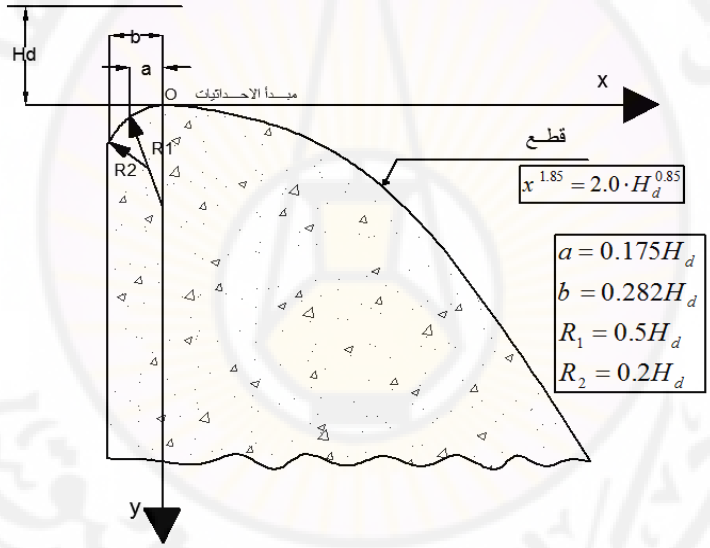
H_d – الضاغط التصميمي، ويهمل الضاغط الناتج عن سرعة الاقتراب.

K, n – ثابتان يتعلقان بميل السفح الأمامي للهدّار، ويأخذان في الحالة العامة القيم في الجدول (4–2).

الجدول(4-2). قيم الثابتين k، و n بدلالة ميل السفح الأمامي (H:V) للسد- الهدّار.

ميل السفح الأمامي (H:V)	k	n
شاقولي	2.000	1.850
1:3	1.936	1.836
2:3	1.939	1.810
3:3	1.873	1.776

يُبين الشكل (4-12) سطح الهدّار عندما يكون السفح الأمامي قائماً.



الشكل (4-12). سطح الهدّار عندما يكون السفح الأمامي قائماً.

المعادلة (4-15) صالحة فقط لقيم موجبة لكلٍ من x و y، ويُحدد السطح اعتباراً من القمة وحتى يلتقي منحني السفح الخلفي بمستقيمٍ مماس له عند نقطة ميل يقع ضمن المجال (0.7:1-0.8:1) ، كما هو موضح في الشكل (4-13).

ومن ثم يلتقي السطح المائل بقوس من دائرة يدعى "الدلو" (bucket) لتأمين اتصال انسيابي مع الأرضية الأفقية، كما يُفيد بتبديد الطاقة وتجنب حصول اضطرابات بالجريان ويعطى بالعلاقة:

$$R = (10)^a$$
$$a = (v + 6.4H_d + 4.88) \cdot (3.6H_d + 9.52) \qquad (16\text{-}4)$$

حيث:

v– سرعة الجريان أسفل السد الهدّار (m/s) وتحسب بالعلاقة (17-4) التي تهمل الفواقد بالاحتكاك فوق السد–الهدّار

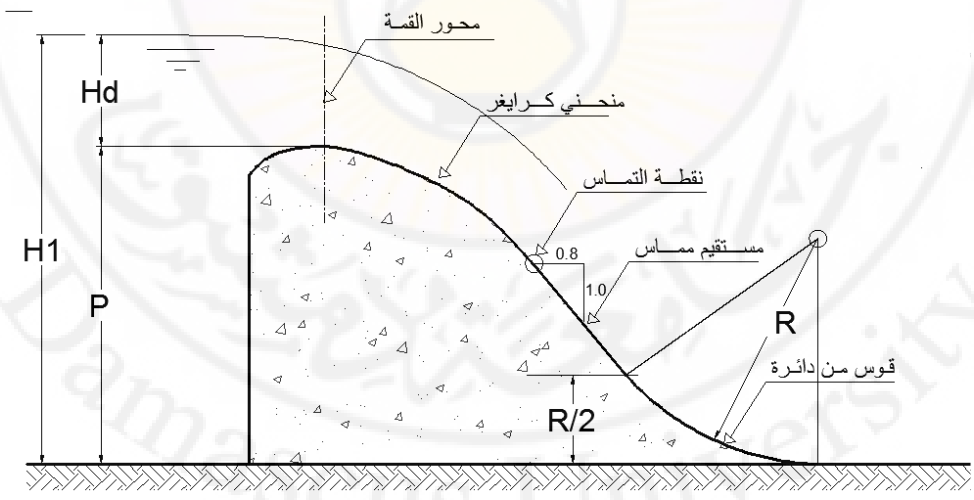
$$v = \sqrt{2.g.(Z + H_a - h)} \qquad (17\text{–}4)$$

حيث:

Z– ارتفاع الماء الكلي أمام السد الهدّار فوق قعر المجرى المائي.

h– عمق الماء أسفل السد الهدّار مباشرة.

وبشكلٍ عام يمكن اعتماد $R = P/4$، وبعد القوس الدائري تُؤخذ مسافة $R/2$ قبل اتصال جسم السد– الهدّار مع حوض التهدئة.



الشكل (4-13). تلاقي مقطع غرايغر مع مستقيم مماس.

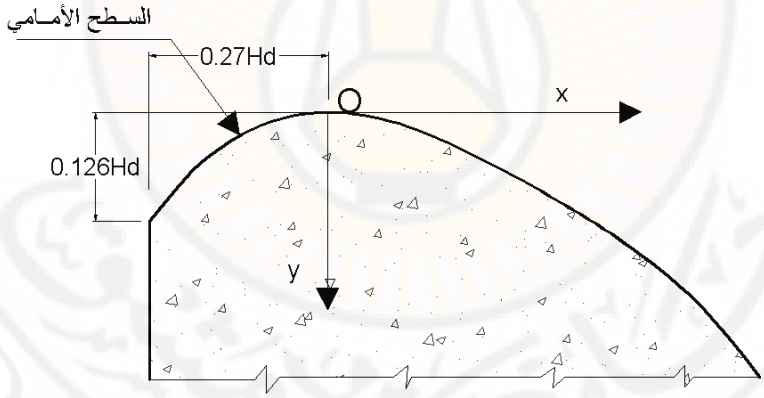
2. السطح الأمامي عند قمة السد:

<u>حالة السفح الأمامي قائم:</u>

يكون السطح الأمامي مماساً للوجه القائم، ويؤخذ الميل مساوياً الصفر عند القمة (لتأمين الاستمرار مع السفح الخلفي)، وتكون معادلة السطح وفق الصيغة:

$$y = \frac{0.724.(x + 0.27 \cdot H_d)^{1.85}}{(H_d)^{0.85}} + 0.126 \cdot H_d - 0.4315.(H_d)^{0.375} + (x + 0.27H_d)^{0.625} \qquad (18\text{-}4)$$

يُبين الشكل (4–14) تفاصيل السفح الأمامي لسطح الهدّار، حيث يُلاحظ أن x تأخذ قيم سالبة في جملة الإحداثيات السابقة، وتأخذ قيمة أعظمية $x = 0.27 \cdot H_d$، ويكون $y = 0.126 \cdot H_d$ عندما يكون الوجه الأمامي للهدار قائماً.



الشكل (4-14). تفاصيل السفح الأمامي لسطح الهدّار.

<u>السفح الأمامي مائل:</u>

يمكن تحديد إحداثيات سطح الأمامي في حال السفح الأمامي المائل من الجدول (4-4) من أجل الميول (1:3) و(2:3) و(3:3)، وتُحدد الإحداثيات الموافقة لميول أخرى بالتوسيط الحسابي.

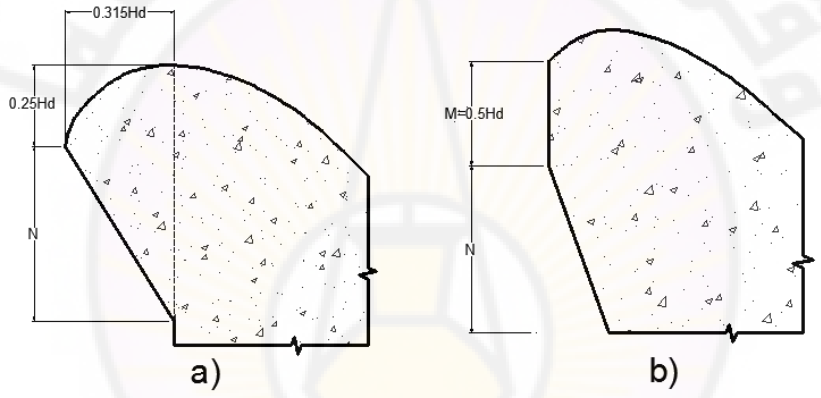
الجدول (4-3). قيم y/H_d من أجل السفح الأمامي لسطح السد الهدّار.

x/H_d	الميل 1:3	الميل 2:3	الميل 3:3	قائم
0	0	0	0	0
-0.02	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
-0.04	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
-0.06	0.0037	0.0036	0.0036	0.0038
-0.08	0.0067	0.0066	0.0065	0.0068
-0.1	0.0106	0.0104	0.0103	0.0108
-0.12	0.0156	0.0153	0.015	0.0158
-0.16	0.0291	0.0283	0.0273	0.0296
-0.17	0.033	0.0365	0.0313	0.0339
-0.18	0.0376	0.037	0.0354	0.0386
-0.19	0.0425	0.0412	0.0399	0.0437
-0.2	0.048	0.0554	0.045	0.0494
-0.21	0.055	0	0	0.0556
-0.22	0.065	0	0	0.0624
-0.23	0.08	0	0	0.0701
-0.24	0	0	0	0.0787
-0.25	0	0	0	0.0889
-0.26	0	0	0	0.1016
-0.27				0.126

3. رفع السفح الأمامي وسحبه

يمكن في بعض الحالات سحب السفح الأمامي ورفعه، وذلك بإزالة جزء من البيتون، مما يخفض من كلفة المنشأة.

القيم الأعظمية المسموحة: أفقياً $0.315 \cdot H_d$، وشاقولياً $0.25 \cdot H_d$، كما هو موضح في الشكل (4-15-a)، وفي حال الوجه الأمامي قائم تُحدد قيم النسبة M / N ضمن المجال $0 \le M / N \le 0.5$، الشكل (4-15-b).



الشكل (4-15). سحب ورفع الوجه الأمامي للهدار النظامي.

4. الضاغط فوق سطح الهدّار

شكل السطح المحدد أعلاه هو من أجل القيمة للضاغط التصميمي تساوي الواحد، ويُختار الضاغط التصميمي بحيث تكون الكفاءة الهيدروليكية أعظمية، مع المحافظة على متطلبات الاستثمار والاستقرار والاقتصادية.

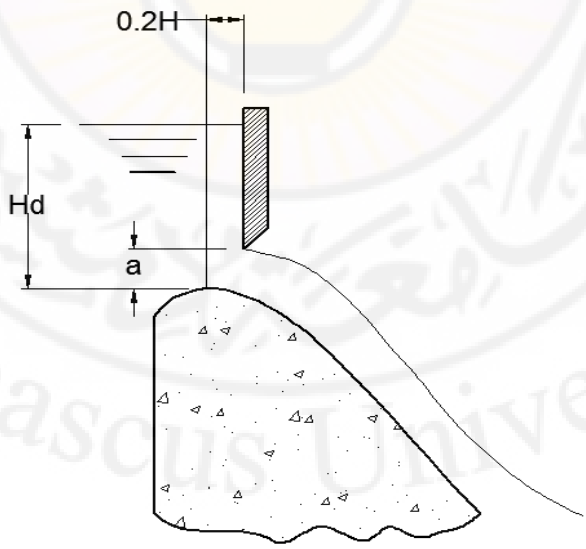
إذا كان الضاغط الفعلي أخفض من الضاغط التصميمي، يكون الضغط على القمة موجباً (أعلى من الضغط الجوي)، ومن أجل الضواغط الأعلى من الضاغط التصميمي يكون الضغط على القمة سالباً (أخفض من الضغط الجوي)، ومن الممكن أن يؤدي ذلك إلى حدوث تكهف، وقد أظهرت الدراسات على نماذج هيدروليكية بأنه يمكن خفض الضاغط بنسبة تصل حتى 25% دون حدوث أضرار من التكهف.

5. حالة تزويد قمة السد – الهدار ببوابة

في حال تزويد الهدّار ببوابة. يكون الجريان مماثلاً للجريان من فتحة. حيث يتشكل ضغط سالب على القمة مباشرة أسفل البوابة في حال كون السطح أشد ميلاً من مسار صفيحة الماء أسفل بوابة. وفي حال كان السطح موافقاً لمقطع الهدّار العملي يمكن تخفيض الضغط السالب تحت البوابة بوضع البوابة إلى الأمام من القمة، وفي هذه الحالة يكون السطح قريباً من السطح الحر لتيار الماء الخارج من فتحة.

وقد بينت الدراسات المنفذة على نماذج مخبرية، أن وضع بوابة على مسافة $0.2 \cdot H$ خلف القمة، كما في الشكل (4–16) يجعل شكل تيار الماء الساكب من تحت السكر مطابقاً للمقطع المثالي، ولا يتشكل ضغط سالب مما يُجنب ما يلي:

- زيادة العزم لزوم فتح البوابات.
- زيادة القوة اللازمة لرفع البوابات وارتفاع كلفة تجهيزات التحكم.
- تشكل اهتزازات يمكن أن تنتقل إلى كامل المنشأة، وتسبب تصدع المونة الرابطة لحجارة قمة السد، مما يستلزم استخدام براغي تثبيت خاصة.



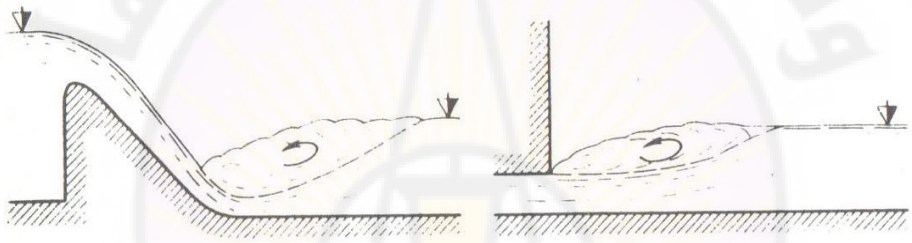
الشكل (4-16). توضع البوابة بالنسبة لقمة السد الهدّار.

3. 4 أنظمة الاتصال الانتقالي للمياه الفائضة:

إن شروط استخدام الإنشاءات الواقية وأعماق انجراف القعر في الحوض السفلي، يعتمد على النظام الانتقالي لتيار الماء الفائض في الماء الموجود في الحوز السفلي.

3.1. 4 أنظمة الاتصال القاعي:

فيها يتحرك تيار الماء الخارج من مصرف الماء الطافح أو من فتحة، بصورة مستوية على القاع الذي يلي المصرف أو الفتحة، وهنا تتشكل قفزة مائية حرة أو قفزة مغمورة، الشكل (4–17).



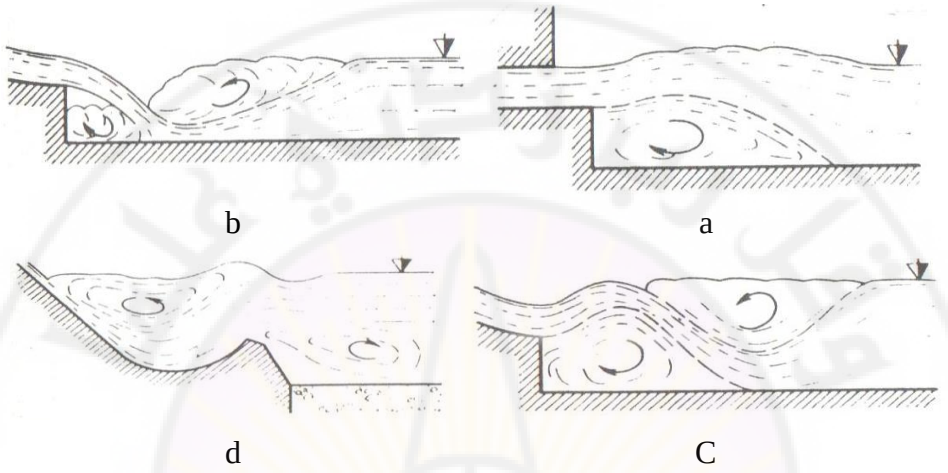
الشكل(4-17). نظام الاتصال القاعي.

3.2. 4 أنظمة الاتصال السطحي:

هي الأنظمة التي يتحرك فيها تيار الماء حركة سطحية عند عبوره الحافة الناتئة، ولا يصل إلى قعر المجرى إلا بعد أن يتوسع وينتشر تماماً. وهنا تتكون تحت تيار الماء المتدفق، موجة ملتفة قاعية، وقد لا تظهر أي موجة ملتفة عالية فوق التيار، أو قد تكون هناك موجة ملتفة عالية (نظام اتصال سطحي مع تيار غير غاطس، أي قفزة هيدروليكية سطحية ، الشكل (4–18–a). أو قد تكون هناك موجة ملتفة عالية (نظام اتصال سطحي مع تيار غاطس أي قفزة هيدروليكية سطحية، الشكل (4–18–b).

وفي ظروف معينة، يتحول النظام السطحي إلى نظام قاعي سطحي، ويتميز بكون التيار المتدفق في البداية هو غير غاطس، يرتفع عن سطح الماء، ثم ينخفض ليصل إلى القاع مع نشوء موجة ملتفة سطحية فوق التيار المتدفق، الشكل (4–18–c).

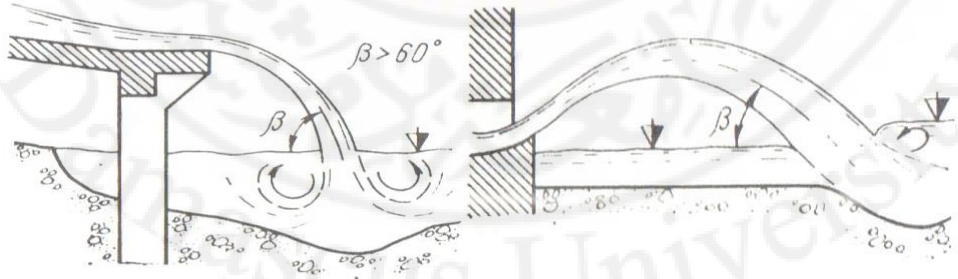
يمكن تكوين نظام سطحي مع قفزة هيدروليكية غاطسة، وذلك بوساطة شفة مغرفية، وهنا تتكون موجة ملتفة عالية سطحية ، الشكل (4–18–d).



الشكل (4-18). أنظم الاتصال السطحي لتيار الماء مع الحوز السفلي.

3.3. 4 نظام التيار المقذوف:

هو النظام الذي يقذف فيه تيار الماء الساقط إلى الحوز السفلي من شفة مصرف الماء الطافح من الممر الهابط إلى مسافة بعيدة عند الشفة، الشكل (4–19).

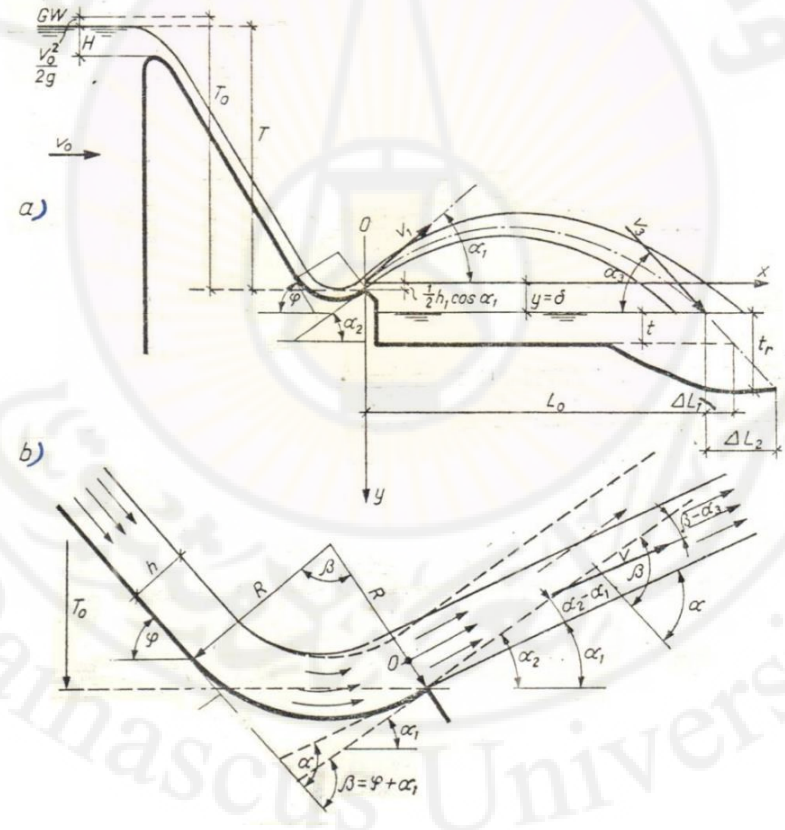


الشكل (4-19). نظام الاتصال المقذوف مع الحوز السلفي.

يُلجأ إلى هذا النظام عندما تُبين الشروط الطبوغرافية والجيولوجية ضرورة توجيه التيار إلى مكان يتوقع فيه عدم حدوث جرف، وتآكل للمجرى خلف الهدار (تربة صخرية)، أو أن الجرف والتآكل سيحدثان بعيداً عن أساسات المنشأة المائية (تربة غير صخرية).

لتصميم المقذوف من الضروري معرفة طول الطريق الذي سيسلكه التيار عند قذفه حتى يبلغ منسوب المياه السفلية منسوب القاع في المجرى خلف المشآة.

إن العامل الأساسي في تحديد طول هذا الطريق هو سرعة الجريان للتيار المقذوف، وبالزاوية (α_1)، كما هو مبين على الشكل (4–20).



الشكل (4-20). المقذوف المائي.

a– الحالة العامة لحساب طول المقذوف المائي، b – تفصيلة للمقذوف.

يحدد طول قذف التيار من عتبة المقذوف، النقطة O على الشكل (4–20) حتى نقطة تقاطع محوره مع سطح المياه السفلية من المعدلة:

$$L_0 = \frac{v_1^2 . \cos\alpha_1}{g}\left(\sin\alpha_1 + \sqrt{\sin^2\alpha_1 + \frac{2.g.y}{v_1^2}}\right) \qquad (19\text{-}4)$$

حيث:

L_0 – طول المقذوف.

α_1 – الزاوية الكائنة بين محور التيار المائي والأفق.

L – إحداثية النقطة التي نحسب عندها الطول L_0 مقاس من محور التيار المائي فوق عتبة المقذوف.

g – التسارع الأرضي.

v_1 – سرعة الجريان فوق حافة المقذوف، وتُحسب من المعادلة:

$$v_1 = \varphi.\sqrt{2.g.(T_0 - 0.5h_1.\cos\alpha_1)} \qquad (20\text{-}4)$$

حيث:

φ – عامل السرعة، ويُحدد من العلاقة:

$$\varphi = 1 - 0.0155\frac{T-H}{H} \qquad (21\text{-}4)$$

H – ارتفاع منسوب الماء.

T_0 – ارتفاع منسوب خط الطاقة في المنطقة العليا من الهدار فوق عتبة المقذف.

$$T_0 = T + \frac{v_0^2}{2.g} \qquad (22\text{-}4)$$

حيث:

T – ارتفاع منسوب المياه في المطقة العليا من الهدار – فوق عتبة المقذوف.

V_0 – سرعة الاقتراب في الجزء العلوي من الهدار.

h_1 – عمق التيار فوق عتبة المقذوف.

باقي الرموز كما سبق.

ترتبط الزاوية α_1 بشكل المقذف المائي وذلك بالعلاقة، انظر الشكل (20–4):

$$\alpha_1 = \alpha_2 - (\beta - \alpha) \qquad (23\text{-}4)$$

حيث:

α_2 – الزاوية الكائية بين المماس لقاع المقذف عند العتبة والأفق.

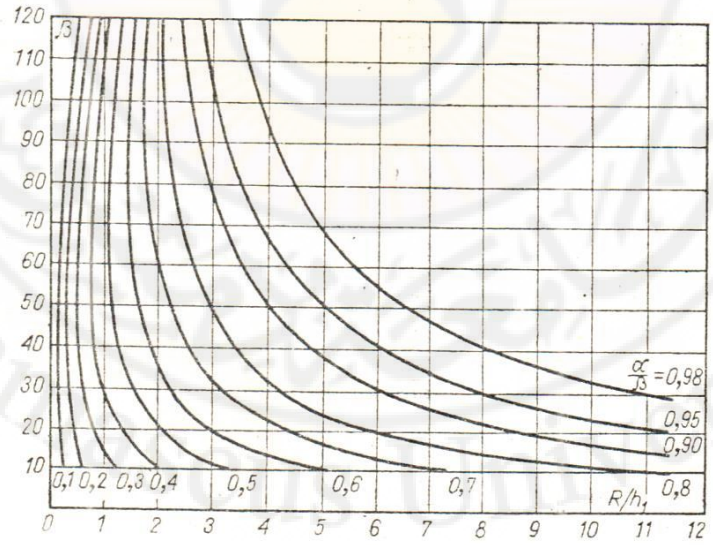
β – الزاوية بين المماس للسطح الخلفية للهدار والمماس لقاع المقذوف عند العتبة.

α – الزاوية بين محور التيار المائي والمماس للصفيحة الحلفية للهدار ويمكن تحديدها من المنحني على الشكل (4–21) ، وذلك بدلالة الزاوية β والقيمة $\frac{R}{h}$.

حيث:

R – نصف قطر تقعر المقذف، أنظر الشكل (4-20).

$h = h_1$ عمق التيار فوق المقذف، مقيساً بشكل عمودي على سطح قاعه.



الشكل (4-21). منحني العلاقة $\frac{\alpha}{\beta}$ بلالة β و $\frac{R}{h_1}$.

من المعادلة (19-4) يمكن أيضاً حساب طول قذف التيار $L_0+\Delta L$ مقيساً حتى نقطة تقاطع محور التيار مع قاع المجرى خلف المنشأة، وذلك إذا كان ($t \prec \delta$)، حيث:

$t-$ عمق الماء في المجرى المائي،

$\delta-$ ارتفاع منسوب عتبة المقذف فوق سطح الماء السفلي

- إذا كان $t \prec \delta$ فإن تأثير ميل التيار في الماء يمكن ألا يؤخذ بعين الاعتبار، ويفترض أن التيار يسقط كما لو كان في الهواء، عندها نعوض في المعادلة (19-4) عند L_0 بالقيمة $L_0+\Delta L$ و y ، بالقيمة $y=\delta+t$.
- إذا كان $t \succ \delta$ فإن محور التيار الساقط تحت الماء سيكون على استقامة المماس للمحور نفسه في الهواء (المنحني)، ويصنع مع الأفق الزاوية α_3. يمكن إيجاد قيمة α_3 من العلاقة:

$$tg\alpha_3=\sqrt{tg^2\alpha_1+\frac{2g\delta}{V_1^2\cos^2\alpha_1}} \qquad (24\text{-}4)$$

حيث الرموز كما سبق.

عند ذلك تصبح الأطوال الإضافية للقذف تحت الماء كما يأتي:

$$\Delta L_1=\frac{t}{tg\alpha_3}$$
$$\Delta L_2=\frac{t_r}{tg\alpha_3} \qquad (25\text{-}4)$$

حيث:

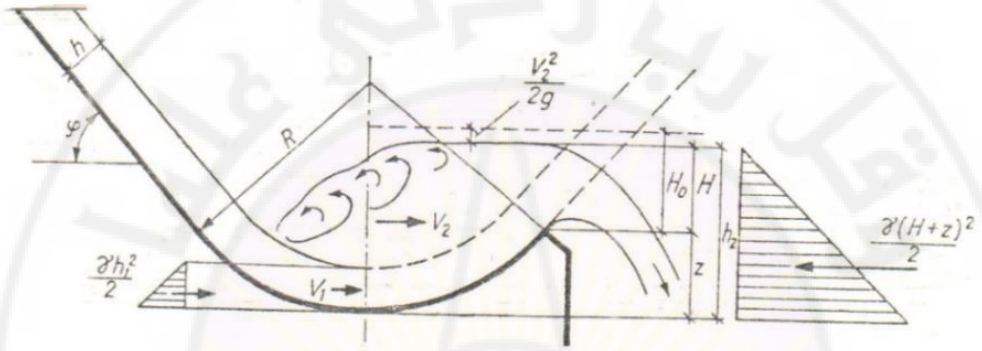
$t-$ عمق الماء محسوباً للقاع الطبيعي.

t_r- عمق الماء محسوباً للقاع المتآكل.

من الواضح أن طول قذف التيار يتعلق بالتصريف الواحدي، وبما أن الغزارات أثناء الاستثمار ستكون مختلفة لذا يتوجب حساب أطوال القذف المقابلة لعدد من الغزارات.

في الحالات التي تكون فيها الغزارة صغيرة والزاوية α_1 كبيرة يمكن ألا يحصل قذف

للتيار المائي، ولكن يتم انتقاله فوق المقذف من جريان تحت الحرج إلى جريان فوق الحرج أي تحت قفزة مائية الشكل (4–22)، وعندها تتناقص السرعة فوق المقذوف والتي تُحسب من العلاقة (4–20)، ونتيجة لذلك يجب التحقق من عدم حدوث قفزة مائية فوق المقذف.



الشكل (4-22). القفزة المائية فوق المقذف.

للتحقق تُستخدم معادلة القفزة المائية:

$$\frac{\gamma.h_1^2}{2}+\frac{\gamma}{g}.q.V_1=\frac{\gamma.h_2^2}{2}+\frac{\gamma}{g}.q.V_2 \qquad (26\text{-}4)$$

ويمكن للتحقق التقريبي الاكتفاء بالصيغة التقريبية التي نحصل عليها باعتبار الحدود و $\frac{\gamma}{g}.q.V_2$ صغيرة يمكن إهمالها بالنسبة لبقية الحدود:

$$\frac{qV_1}{g}=\frac{h_2^2}{2} \qquad (27\text{-}4)$$

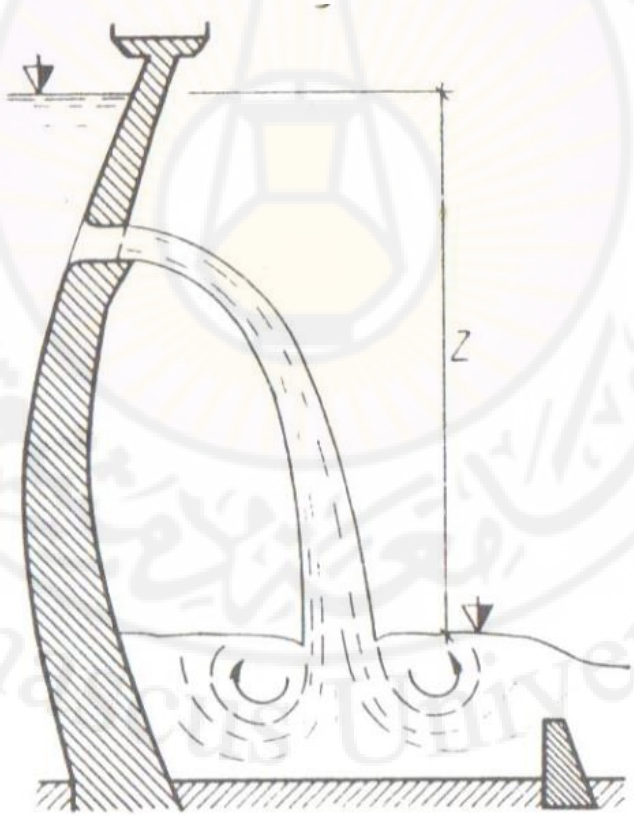
بما أن $V_1=\frac{q}{h_1}$ و $\frac{q^2}{g.h_1^3}=Fr_1$ نجد:

$$h_2=\sqrt{2\frac{q^2}{g.h_1}}=h_1.\sqrt{2Fr_1} \qquad (28\text{-}4)$$

إذا كان $H+Z \succ h_2$ فستحصل قفزة فوق المقذف المائي، مما يؤدي إلى عدم إمكانية إبعاد (قذف) التيار المائي عن المنشأة بالشكل المطلوب، لذلك يجب عندها تغير شكل وأبعاد المقذف، أو تكسية وتقوية القاع خلف المنشأة.

نظام السقوط الحر للتيار المائي:

يكون ذلك عندما يسقط تيار الماء المندفع إلى الحوز السفلي، من مصرف عالٍ أو فتحة مرتفعة، ويلتقي مع سطح الماء الطليق بزاوية قريبة من 90^o وفي الوسادة المائية الحوض السفلي يتفرق التيار الساقط في كل الاتجاهات، مكوناً موجات ملتفة سطحية كما في الشكل (4-23).



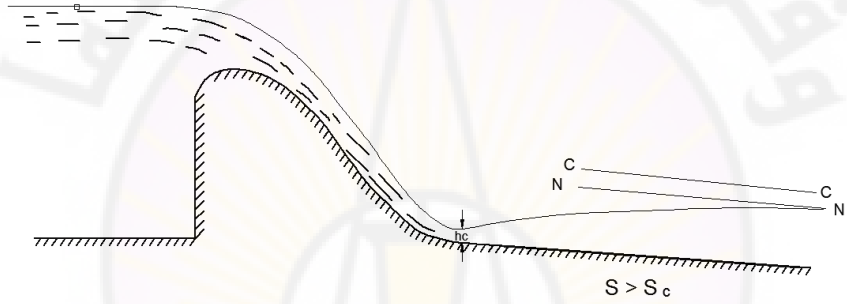
الشكل (4-23). نظام السقوط الحر للتيار المائي.

4.4 التحام التيار المائي الهابط من أعلى السد الهدار مع الماء في القناة السفلية خلفه.

يُميز هنا الحالتان الآتيتان:

1. <u>ميل قعر القناة السفلية S أكبر من الميل الحرج Sc:</u>

في هذه الحالة لا تحصل قفزة مائية، حيث يتم الانتقال من نظام جريان سريع إلى نظام جريان سريع آخر، كما في الشكل (4-24).



الشكل (4-24). التحام المستويات المائية في حالة S > Sc.

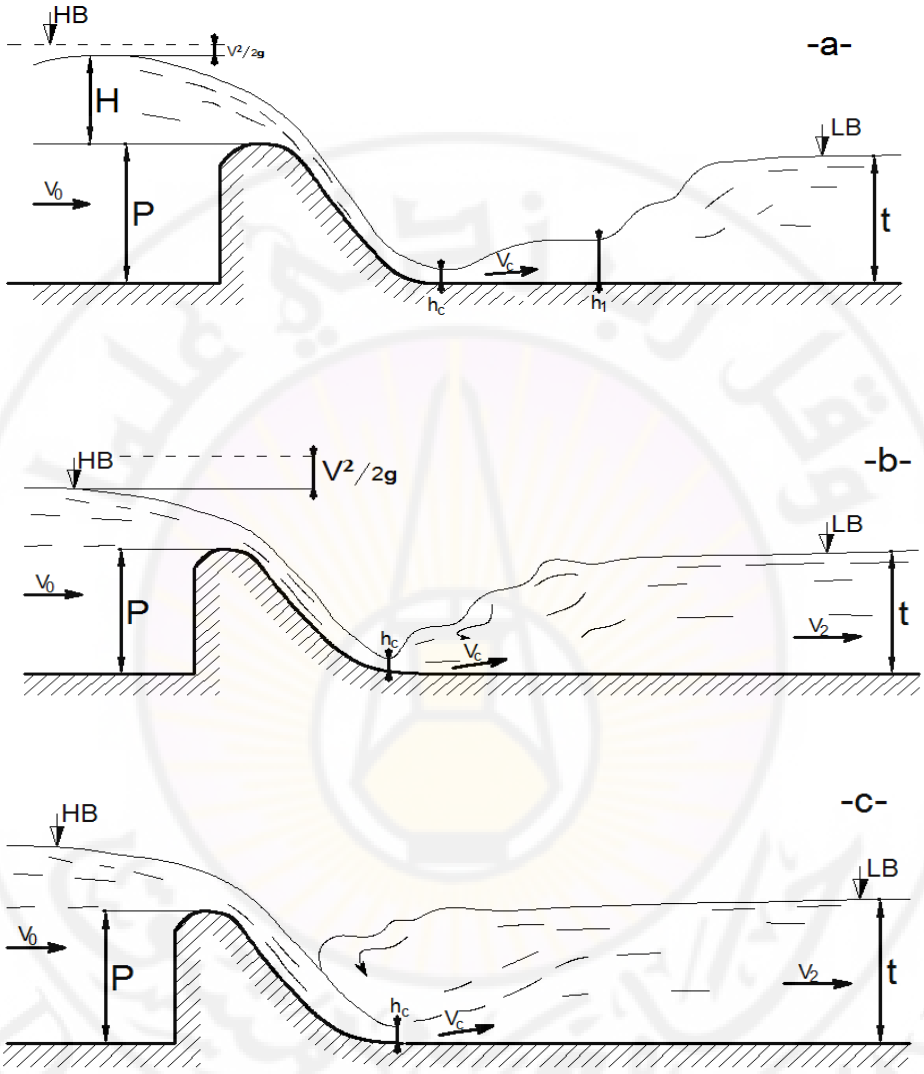
2. <u>ميل القناة السفلية أصغر من الميل الحرج</u> $S \le S_c$:

تتشكل في هذه الحالة قفزة مائية، حيث يتم الانتقال من نظام الجريان السريع إلى نظام الجريان الهادئ، يمكن تمييز ثلاثة أشكال من نماذج الالتحام الشكل (4-25):

a) قفزة مائية مدفوعة: حيث يكون $t = h_2$ و $h_1 > h_{co}$ وبالتالي تندفع القفزة مسافة l (طول دفع القفزة) وفق منحنٍ راجع من النموذج M_3 أو H_3 في حالة $S_0 = 0$ للانتقال من h_{co} إلى h_1.

b) قفزة مائية حدية: حيث يكون $h_1 = h_{co}$ و $t = h_2$، أي أن القفزة تتشكل تماماً عند العمق المضغوط.

c) قفزة مائية مغمورة: حيث يكون $t > h_2$، أي أن الماء في القناة يغمر القفزة.



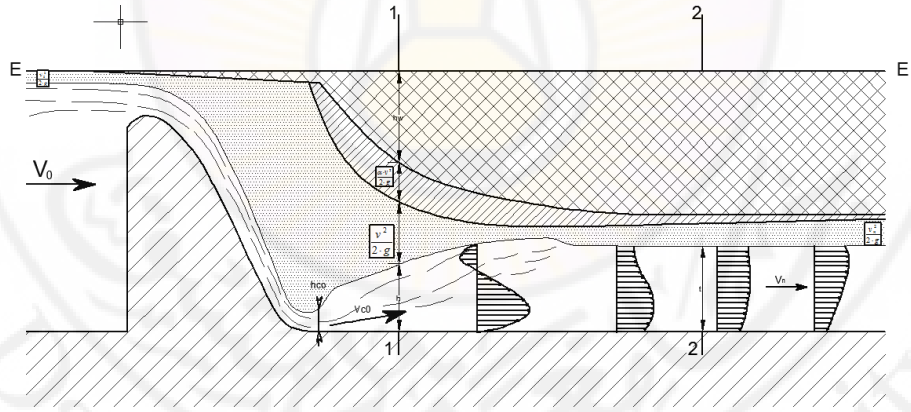
الشكل (4-25). نماذج التحام المستويات خلف السد–الهدّار.

a – قفزة مدفوعة، b– قفزة حرجة، c– قفزة مغمورة.

إن التبديد الأكثر فعالية للطاقة، يوافق الحالة c، أي حالة تشكل قفزة غاطسة، ويُبين الشكل (4–26) تغير الطاقة النوعية لتيار الماء بمحاذاة الحوز السفلي في حالة النظام القاعي، ممثلة بارتفاع عمود ماء.

إن الطاقة الحركية لتيار الماء $k_{kinet} = \frac{\alpha v^2}{2g}$ ، تنخفض أثناء القفزة المائية، ويتحول قسم من الطاقة الكامنة k_{potent} عند زيادة ارتفاع الماء من h_1 أمام القفزة إلى h_2 خلف القفزة، ويتحول قسم آخر إلى طاقة دفع دوامي وقدرها $k_{putser} = \frac{\alpha' v^2}{2g}$، حيث α' تمثل المعامل الذي يأخذ بعين الاعتبار شدة دفع السرعات اللحظية، أما القسم الباقي من الطاقة h_w يتبدد.

وفي المقاطع خلف القفزة تجري موازنة السرعات، فتنخفض قيم العوامل α و α' إلى المستوى المكافئ للتيار المنتظم في المجرى المائي خلف المنشأة وبالتالي يحدث انخفاض تدريجي للطاقة الحركية. يتم هذا الاستقرار، في الأرض المستوية، على مسافة $l \approx (20-22)\cdot h_2$، حيث يصبح التيار منتظماً، أما في الأرض الوعرة للمجرى، فإن طول الاستقرار يكون أقصر بكثير مما سبق.



الشكل (4-26). توزع الطاقة الحركية لتيار الماء الهابط من أعلى سد– هدار.

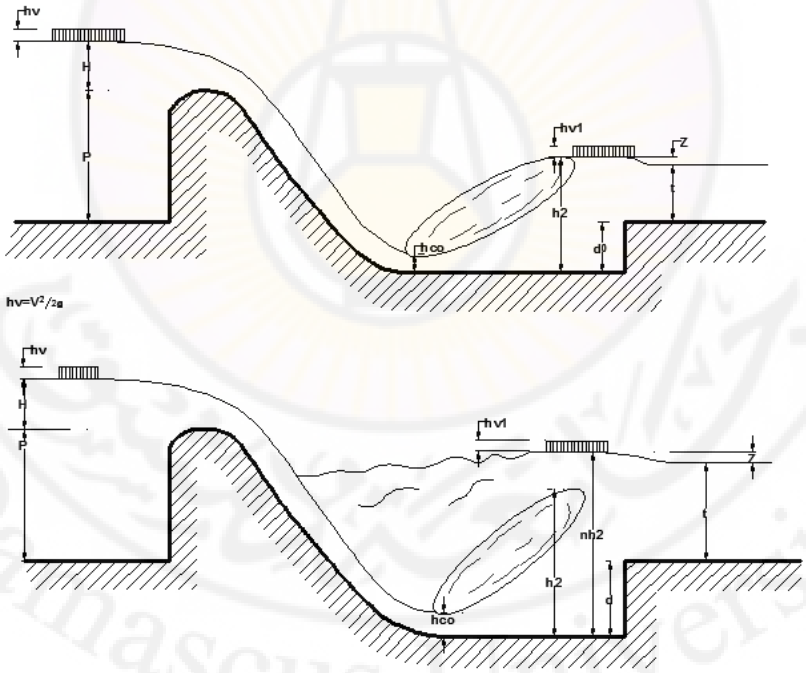
5. 4 الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة خلف السد الهدّار:

لا يُسمح في جميع الأحوال بأن تتشكل قفزة مائية مدفوعة خلف المنشأة، لأن ذلك يؤدي إلى اهتراء أرضية الحيز السفلي، وعدم استقرار كامل المنشأة، لذلك يُلجأ إلى وضع حلول إنشائية لتحويل القفزة المدفوعة إلى قفزة مغمورة منها:

- حوض تهدئة بئري.
- حوض تهدئة جداري.
- حوض تهدئة بئري جداري.
- مخمدات خاصة.

5.1.4 أحواض التهدئة البئرية

هي منشآت فعالة جداً من أجل تخفيض سرعة الماء، وخروجه بقيمة مناسبة لاستقرار القناة في الحيز الخلفي، وتتضمن فكرة حوض التهدئة في هذه الحالة زيادة عمق الماء في القناة السفلية عن طريق خفض قعر مجرى القناة السفلية خلف السد مباشرة بمقدار d فتكون صورة الجريان كما في الشكل (4-27).



الشكل (4-27). النموذج الحسابي لعمق حوض التهدئة.

a- حالة حساب العمق النظري، b- حالة حساب العمق الفعلي.

حيث يُلاحظ الآتي:

1. ازدياد الارتفاع الكلي لسقوط التيار من E_0 إلى E_0'.
2. انخفاض قيمة العمق المضغوط من h_{co} إلى h_{co}'.
3. بانخفاض قيمة العمق المضغوط h_{co} يزداد العمق المرافق له h_2'.
4. يزداد عمق الماء في القناة السفلية بمقدار d_0 ليصبح h_n'، فينخفض العمق المرافق الأول h_1' حتى ينطبق مع العمق المضغوط h_{co}'، وبالتالي تتراجع القفزة لتتشكل عند العمق المضغوط.
5. يؤخذ عمق فعلي d أكبر من العمق النظري، بحيث تُغمر القفزة وفق العلاقة:

$$d = (1.05 \div 1.1) \cdot d_0 + (0.05 \div 0.1) \cdot t \qquad (29\text{-}4)$$

حساب العمق النظري لحوض التهدئة:

يُبين الشكل (4–27) نموذج حساب العمق النظري لحوض، ويُلاحظ أن نهاية الحوض تعمل كهدّار عريض الحافة يعمل على تصريف الغزارة المارة فوق السد–الهدّار وفق مبدأ الاستمرار.

يتم الحساب وفق الآتي:

1- تُفرض قيمة أولية لقيمة العمق d_0.

2- تُحسب قيمة E_0' حيث $E_0' = E_0 + d_0$.

3- تُحسب قيمة العمق المضغوط الموافق لقيمة h_{co}'.

4- يُفرض أن القفزة تتشكل عند العمق المضغوط تماماً، فيكون العمق المرافق الأول للقفزة مساوٍ للعمق المضغوط، $h_1' = h_{co}'$.

5- يُحسب العمق المرافق الثاني h_2'.

6- تُحسب سرعة الاقتراب بالنسبة لعتبة حوض التهدئة من العلاقة:

$$v_0' = \frac{Q}{B \cdot h_2'} \qquad (30\text{-}4)$$

7- تُحسب الحمولة الهيدروليكية أمام عتبة السد ΔZ من العلاقة:

$$\Delta Z = \frac{\alpha}{2g}\frac{q^2}{\phi^2 T_n^{\,2}} - \frac{\alpha}{2g}\frac{q^2}{h_n^{'2}} \qquad (31\text{-}4)$$

8- يُحسب تصريف عتبة حوض التهدئة من العلاقة:

$$Q = \varphi.B.h_n.\sqrt{2.g.\Delta z_0} \qquad (32\text{-}4)$$

9- تُكرر الخطوات السابقة لعدة قيم d_0، وتنظم الحسابات بالجدول الآتي:

d_0	E	h_{c0}	$h_2^{'}$	$v_0^{'}$	$v_0^2/2g$	Δz_0	$Q^{'}$

10- يُرسم منحني العلاقة (d_0, Q) وتُستخرج قيمة d_0 الموافقة لقيمة Q، ثم يُحسب العمق الفعلي باعتماد درجة غمر معينة من العلاقة (23-4):

$$d = (1.05 \div 1.1).d_0 + (0.05 \div 0.1)t \qquad (33\text{-}4)$$

الطريقة المختصرة لحساب العمق d:

1- تُفرض قيمة تقريبية للعمق d ولتكن $d = h_2 - t$.

2- يُحسب العمق المضغوط مع الوضع بالحسبان قيمة d المفروضة

3- يُحسب العمق المرافق للعمق المضغوط باستخدام المعادلة (11-4)

4- يُحسب العمق $h_2^{'} = \sigma.h_2$،

5- حيث: σ عامل أمان للغمر، ويأخذ القيم في المجال $(1.05 \div 1.1)$

6- حساب قيمة d من العلاقة:

$$d = h_2^{'} - t - \Delta Z \qquad (34\text{-}4)$$

حيث:

ΔZ – الهبوط في سطح الماء عند الخروج من حوض التهدئة ويعطي بالعلاقة:

$$\Delta Z = \frac{\alpha}{2g}\frac{q^2}{\varphi^2 t_n^{\,2}} - \frac{\alpha}{2g}\frac{q^2}{h_n^{'2}} \qquad (35\text{-}4)$$

حيث:

φ – عامل السرعة، وتؤخذ قيمته ضمن المجال $(0.95 \div 0.85)$.

α – عامل الطاقة الحركية، ويُؤخذ ضمن المجال $(1 \div 1.1)$.

7- تُكرر الخطوات من 2 إلى 5 من الأجل القيم الجديدة للقيمة d حتى الحصول على الدقة الكافية.

مع الإشارة هنا إلى أن العمق الأصغري لحوض التهدئة يجب ألا يقل عن $H/10$.

طول حوض التهدئة:

يُعطى لحوض التهدئة L_k طول أكبر من طول القفزة المائية L_n، حيث لا يتم تبديد كامل الطاقة الحركية ضمن طول القفزة (في حال عدم وجود مخمدات للطاقة)، ويكون:

$$L_k = (1 \div 1.25).L_n \qquad (36\text{-}4)$$

أما في حال وجود مخمدات فيمكن إعطاء حوض التهدئة طولاً أقصر من طول القفزة، حيث تشارك المخمدات بشكل فعال في تبديد الطاقة، ويكون:

$$L_k = 0.8 \cdot L_n \qquad (37\text{-}4)$$

حيث:

L_n – طول القفزة الهيدروليكية ويعطى بإحدى العلاقات الآتية:

$$L_n = (5 \div 6) \cdot (h_2 - h_1) \qquad (38\text{-}4)$$

علاقة بافلوفسكي:

$$L_n = 2.5 \cdot (1.9 \cdot h_2 - h_1) \qquad (39\text{-}4)$$

علاقة شوميان:

$$L_n = 3.6 \cdot h_2 \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_2}\right)\left(1 + \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2\right) \qquad (40\text{-}4)$$

ومن البديهي أن يكون تصميم الأرضية خلف السد الهدّار مرتبطاً بخواص المجرى

المائي، وعليه يمكن اعتماد طول قصير نسبياً في حال كانت تربة المجرى صخرية، أو صخرية غير عميقة، ومغطاة بطبقة لحقية سطحية قليلة السماكة، وفي حالة التربة الرخوة، يجب إعطاء طول أكبر بقليل، مما تعطيه العلاقات المذكورة أعلاه.

سماكة حوض التهدئة:

تؤخذ قيم تقريبية أولية للسماكة وفق العلاقة:

$$e = (\frac{1}{10} \div \frac{1}{11}) \cdot L_k \qquad (41\text{-}4)$$

أو العلاقة:

$$e = 0.15 \cdot v_{co} \cdot \sqrt{h_{co}} \qquad (42\text{-}4)$$

حيث:

v_{co} ، h_{co} – سرعة التيار المائي، وعمقه في المقطع المضغوط على التوالي.

تُحدد السماكة النهائية لحوض التهدئة بناء على نتائج حسابات الاستقرار، والمتانة تحت تأثير القوى المؤثرة في بلاطة حوض التهدئة.

يجب بعد حوض التهدئة وضع طبقة تكسية تكون على شكل حصيرة مكونة من حجارة مرصوفة أو من بلاطات بيتونية مثقبة بطول L' يُحسب بعلاقات تجريبية منها:

علاقة كومينا:

- في حالة وجود مخمدات:

$$L' + L_k = (7 \div 10).h_2 \qquad (43\text{-}4)$$

- في حالة عدم وجود مخمدات:

$$L' + L_k = 9 \cdot (14 \div 15) \cdot h_{cr} \qquad (44\text{-}4)$$

أما سماكة طبقة التكسية فتؤخذ:

$$e' = (0.5 \div 0.7) \cdot e \qquad (45\text{-}4)$$

ولحماية أرضية حوض التهدئة من الانجراف يُلجأ إلى مجموعة من التدابير منها إنشاء حفرة مرصوفة بركام حجري بيتوني كما في الشكل (4–28) ، أو إنشاء ضرس بيتوني.

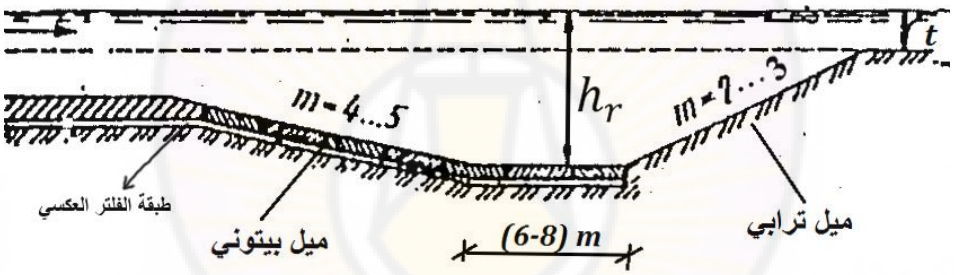
يُعطى العمق h_r للحفرة خلف طبقة الرصف بالعلاقة:

$$h_r = \left(\frac{\alpha}{1.1}\right)^{.4} \cdot \sqrt[1.25]{\frac{q}{1.15.\sqrt{g}.d_m^{0.25}}} \qquad (46\text{-}4)$$

حيث:

q – التدفق النوعي فوق طبقة التكسية.

d_m – القطر الوسطي لتربة المجرى المعرضة للانجراف (mm).



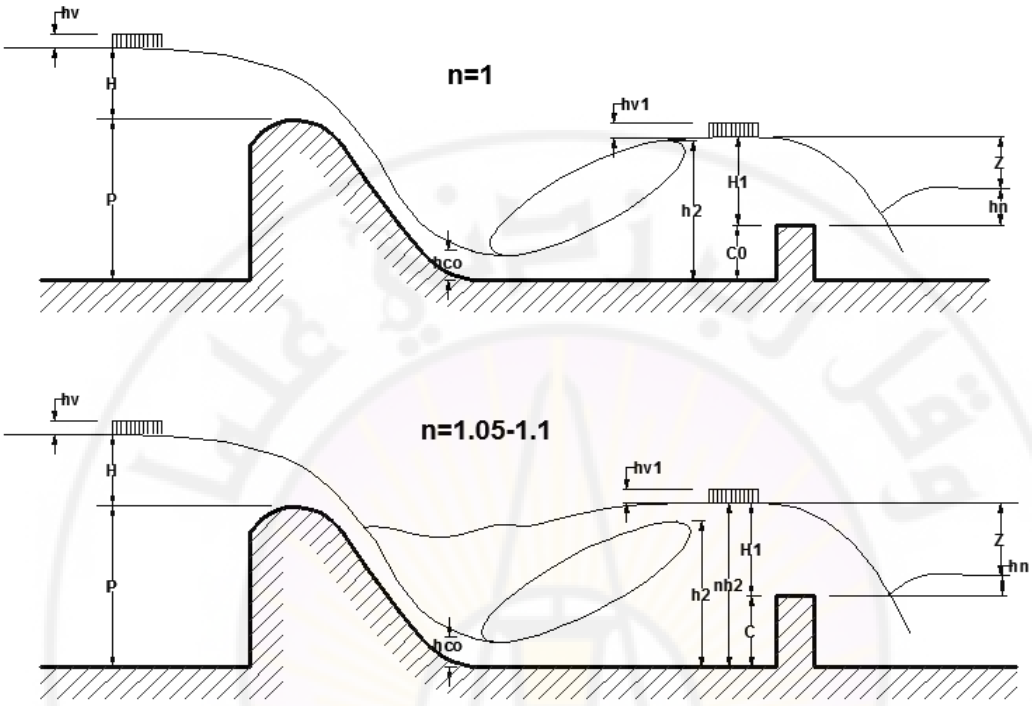
الشكل (4-28). حفرة تهدئة خلف طبقة التكسية.

5.2. 4 جدار الصدم (الحلبة الجدارية)

يُلجأ إلى هذا الحل عندما تكون التربة خلف جسم السد–الهدّار صخرية، أي يصعب الحفر فيها لإنشاء حوض تهدئة.

حساب ارتفاع جدار الصدم:

يُوضح الشكل (4–29) النموذج الحسابي لجدار الصدم، حيث يعمل الجدار كهدار رقيق الحافة يرفع منسوب الماء أمام الجدار، بحيث يتشكل ضاغطٌ كافٍ لتصرف كمية الماء الوارد من السد– الهدّار (وفق مبدأ الاستمرار).



الشكل (4-29). النموذج الحسابي لجدار الصدم.

a– **العمق النظري،** b– **العمق الفعلي.**

1. لأن طبيعة الجريان غير معروفة فوق الجدار (مغمور أو غير مغمور) لذا يُفترض مبدئياً أن الهدّار غير مغمور.
2. حساب قيمة الضاغط الكلي على أنه هدّار رقيقة الحافة من العلاقة:

$$q = m.\sqrt{2.g}.H^{(3/2)} \qquad (47\text{-}4)$$

3. حساب قيمة الضاغط الهيدروليكي H من العلاقة:

$$v_0^{'} = \frac{Q}{B \cdot h_2^{'}} \qquad (48\text{-}4)$$

حيث:

v_0' – سرعة الاقتراب.

4. حساب الارتفاع الحسابي للجدار c_o:

$$c_o = h_2 - H \qquad (49\text{-}4)$$

5. التحقق من الفرض الوارد في الخطوة (1):

8- إذا كان $c_o > t$ يكون الفرض صحيحاً والجدار يعمل كهدار غير مغمور.

9- إذا كان $c_o < h_n$ فالفرض غير صحيح، والجدار يعمل كهدار مغمور، ويجب اتباع الخطوات الآتية:

- يُفرض قيمة أولية لارتفاع الجدار، وتُحدد درجة الغمر σ_n، وقيمة h_n/H_0، وتُحسب قيمة عامل الغمر σ_n كما في الفقرة (4-1-6).
- يُحسب التدفق الموافق من علاقة تصريف الهدّار المغمور:

$$q = m.\sigma_n.\sqrt{2.g}.H_0^{3/2} \qquad (50\text{-}4)$$

6. تُكرر الخطوات السابقة من أجل قيم أخرى، ويُرسم المنحني $q = f \cdot (c_o)$، ويُستنتج منه قيمة (c_o) الموافقة للغزارة النوعية.

7. يؤخذ الارتفاع الفعلي من العلاقة:

$$c = n.c_o + (n-1)t \qquad (51\text{-}4)$$

يتم تدوير القيمة إلى أقرب 5cm.

بعد اعتماد القيمة النهائية لارتفاع الجدار، يتم التحقق من عدم تشكل قفزة مائية مدفوعة خلفه، وإلا يجب إنشاء جدار صدم آخر ارتفاعه أقل من الجدار الأول لغمر هذه القفزة، حيث تُكرر طريقة الحساب السابقة، وقد يكون لازماً في بعض الأحيان إنشاء جدار ثالث للحصول على قفزة مغمورة.

5.3. 4 الحلبة البئرية الجدارية:

يمكن الجمع بين الحلين السابقين باعتماد حل مشترك، أي تصميم حوض تهدئة حتى عمق معين (أصغر من عمق الحلبة بئرية)، وإضافة جدار عند عتبة الحوض ارتفاعه أقل من حالة جدار صدم فقط، ويُلجأ إلى هذا الحل لأسباب كثيرة منها اختصار كميات الحفر ولاسيما عندما يكون الحفر العميق مكلفاً.

حساب الحلبة البئرية الجدارية

يتم الحساب بحيث تشكل قفزة مغمورة خلف الجدار، بالتالي لا يُحتاج إلى جدارٍ ثانٍ، ويتم الحساب وفق النموذج الحسابي المُبين في الشكل (4-30)

وفق الخطوات الآتية:

1. اعتبار العمق المرافق الثاني للقفزة خلف الجدار مساوياً لعمق الماء في المجرى المائي أي: $h_2^{'} = t$
2. حساب العمق المرافق الأول $h_1^{'}$ من علاقات الأعماق المترافقة، إذ إن العمق الحرج في المجرى المائي معروف.
3. تُحسب قيمة الفاقد الكلي في الضاغط $z_1^{'}$ من علاقة تصريف الهدّار المغمور:

$$h_1^{'} = \frac{q}{\varphi.\sqrt{2.g.z_1^{'}}} \qquad (52\text{-}4)$$

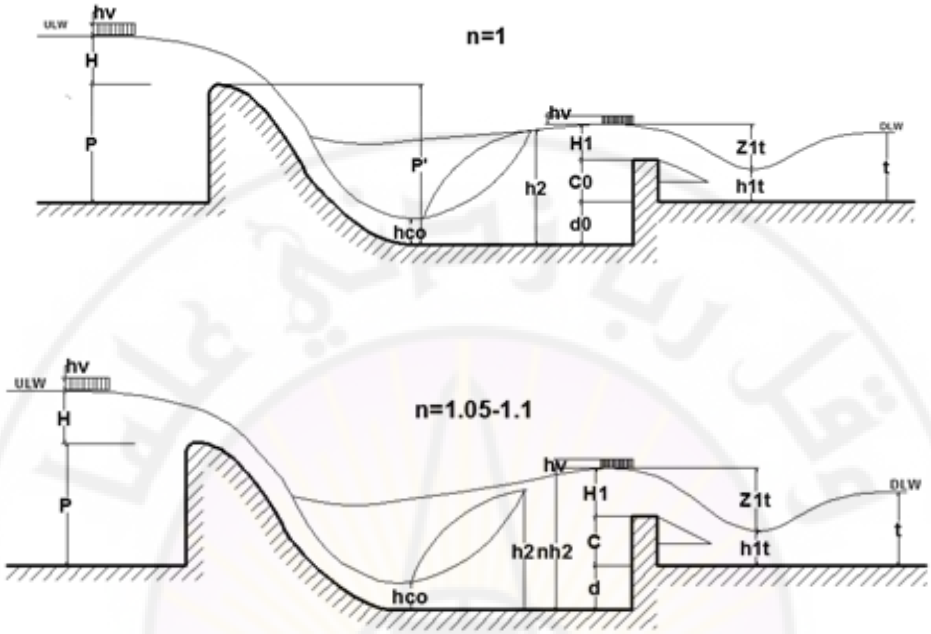
4. يكون ارتفاع الماء أمام الجدار والعمق الأولي للحوض على التوالي:

$$T_1 = h_1^{'} + z_1^{'} \qquad (53\text{-}4)$$

$$d = h_2^{'} - T_1^{'}$$

5. تُصحح القيمة السابقة بالتقريب المتتالي للحصول على قيمة بدقة مقبولة.

يُحسب ارتفاع الجدار C، وفق الخطوات الواردة في الفقرة (4-5-2).



الشكل (4-30). النموذج الحسابي للحلبة البئرية الجدارية.

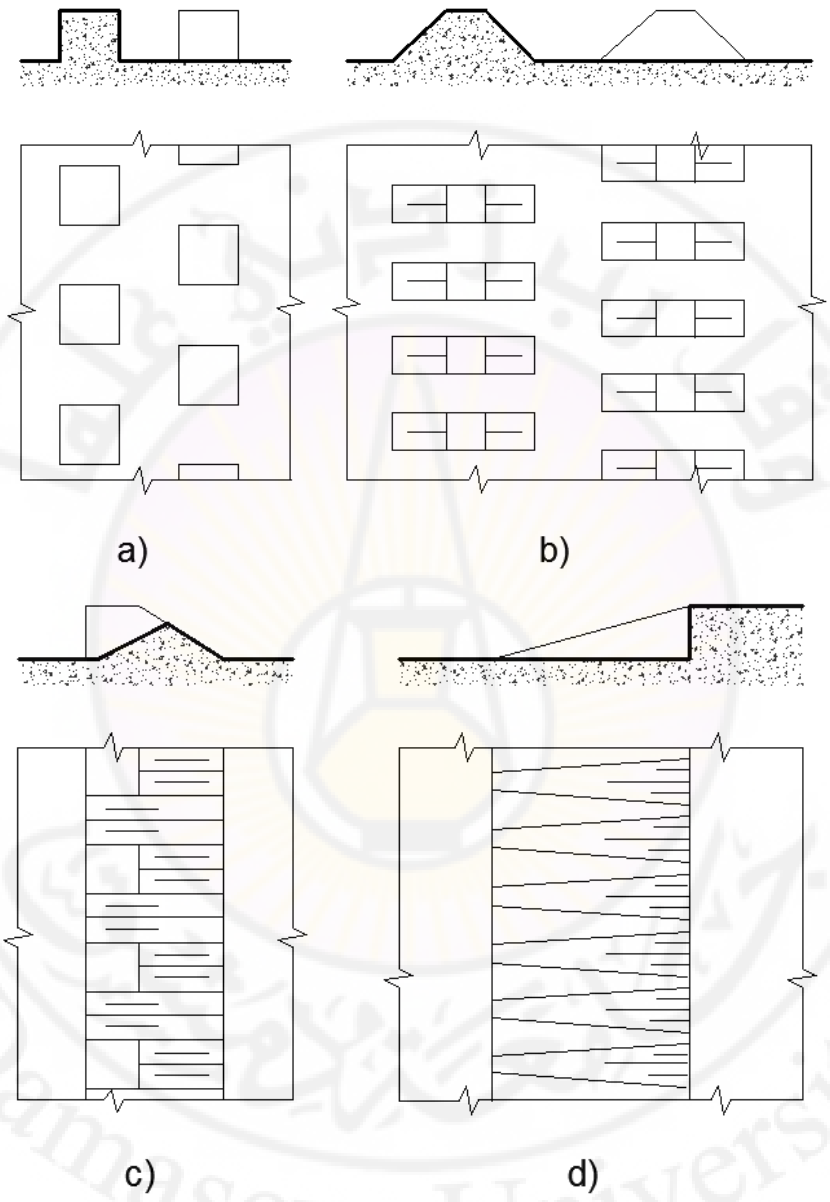
a- الارتفاع النظري، b- الارتفاع الفعلي.

5.4. 4 مخمدات الطاقة البيتونية:

هي عبارة عن عوائق مختلفة تُقام في طريق التيار المائي في القناة السفلية، وتعمل على بعثرة التيار وتبديد الطاقة التي يحملها. ولهذه المخمدات نماذج مختلفة موضحة في الشكل (4-31)، منها المكعبات والأهرامات البيتونية الصغيرة التي تقام على سطح قاع مجرى القناة السفلية.

خلافاً لأحواض وجدران التهدئة لا يمكن إخضاع المخمدات الخاصة للحساب الهيدروليكي، إنما يمكن تحديد أبعادها بالاعتماد على المعطيات التجريبية.

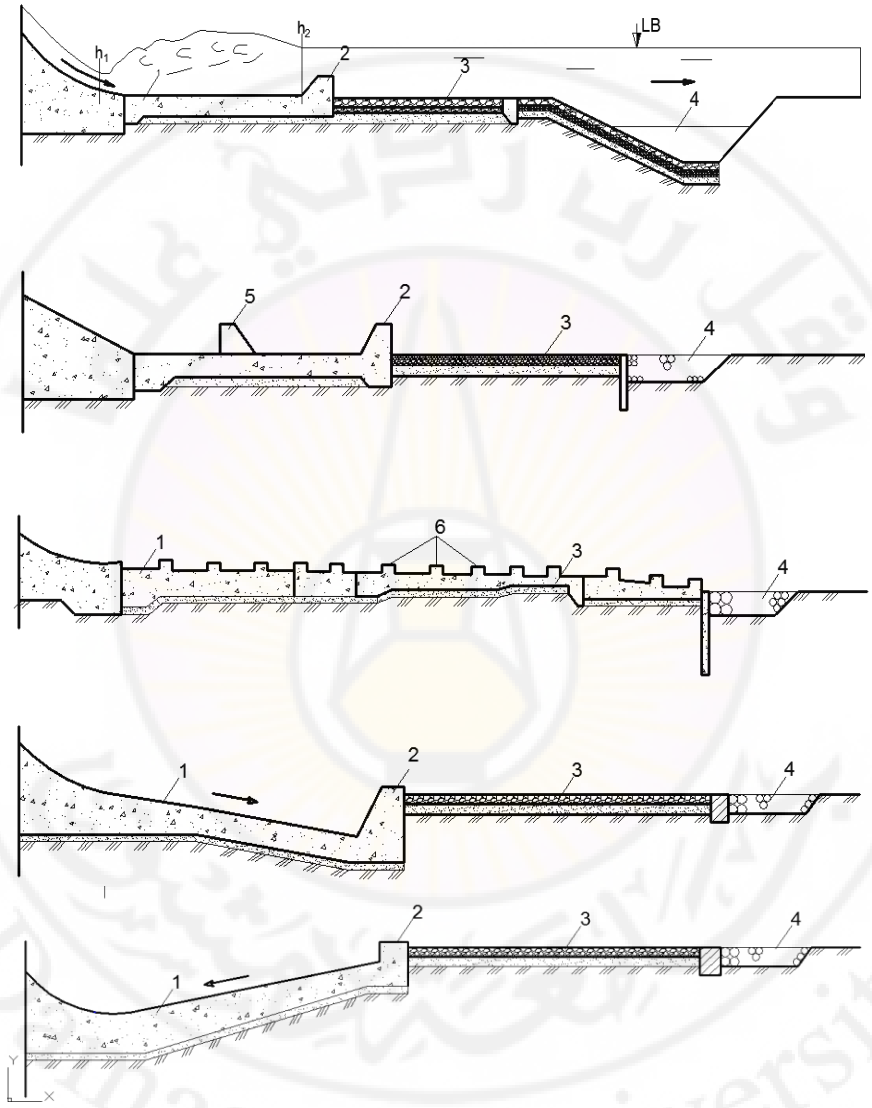
تُستخدم المخمدات عادة بشكل مترافق مع الحلول السابقة (حوض تهدئة، جدار صدم)، حيث تساعد على تبديد الطاقة، وبالتالي يمكن تخفيض عمق وطول حوض التهدئة، أو ارتفاع جدار الصدم بحدود (10-30%).



الشكل(4-31). الأنواع المختلفة لمخمدات الطاقة.

a– المكعبات، **b**– الأهرامات، **c**– المثلثات، **d**– العتبات.

يُبين الشكل (4–32) أشكالاً مختلفة لحوض التهدئة، والتكسية خلفه.



الشكل (4-32). الأشكال المختلفة لطبقات التكسية خلف حوض التهدئة.

1– حوض التهدئة، 2– جدار بيتوني، 3– طبقة تكسية، 4 – حفرة،

5 – مخمد بيتوني، 6– كتل بيتونية.

6. 4 دراسة التسرب أسفل منشأة السد الهدّار:

تُقام المنشآت المائية على الطبقات السطحية للتربة، التي تسمى أساس المنشأ، وتكون غالباً من طبقات رسوبية نفوذة، تتكون من الغضار أو الطمي أو الرمل أو الحصى الواقع فوق سطح كتيم. في بعض الأحيان، ولاسيما إذا كان المنشأ ينقل أحمالاً كبيرة للتربة، كما في حالة السدود الثقيلة يُختار مكان المنشأ بحيث تكون طبقة الأساس صخرية.

نتيجة لفرق الضاغط الناتج عن فرق منسوب الماء أمام وخلف المنشأة تتسرب المياه أسفل المنشأة، ولدراسة التسرب تُميز الحالات الآتية:

6.1. 4 التأسيس على قاعدة صخرية:

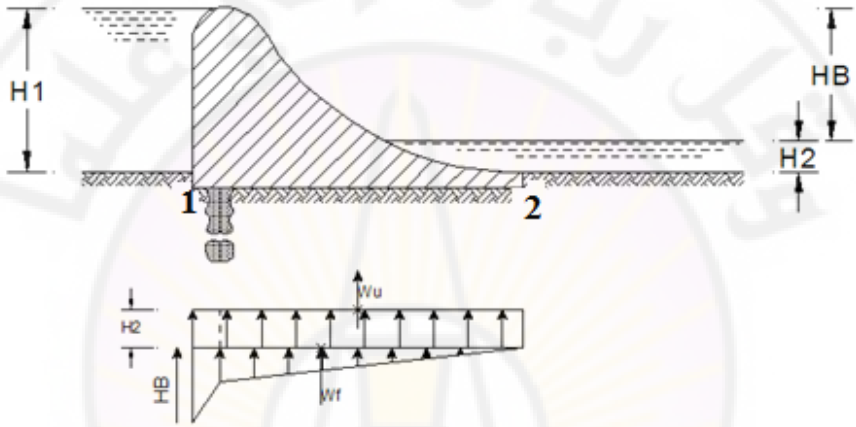
من الممكن أن تحتوي طبقة الأساس الصخرية على شقوق، أو تحدث هذه الشقوق في طبقة الأساس الصخرية أثناء عملية الإنشاء، مما يجعلها نفوذه للمياه، ويمكن أن تكون هذه الشقوق مملوءة بالماء، وبالتالي تتأثر نفاذية الطبقة الصخرية بعوامل متعددة منها عمق الشق، وامتداده، وموقعه، وفيما اذا كان الشق مفتوحاً ويسمح للمياه بالجريان عبره، أو كان مملوءً بحبيبات التربة الناعمة، مما يجعل نفوذيتها للماء ضعيفة، ويجب الإشارة هنا إلى أن دراسة حركة الماء في الأرضيات الصخرية تكون معقدة، لأن حركة الماء هنا لا تتبع لقانون دارسي، لذلك يُفترض أن الضياع في الضاغط يتم بشكل خطي، ويجب القيام بحقن مادة مالئة كتيمة في الشقوق مهمتها عرقلة حركة التيار المائي الراشح ويُعطي مخطط ضغط الماء وفق الشكل (4-33).

6.2. 4 التأسيس على تربة كتيمة:

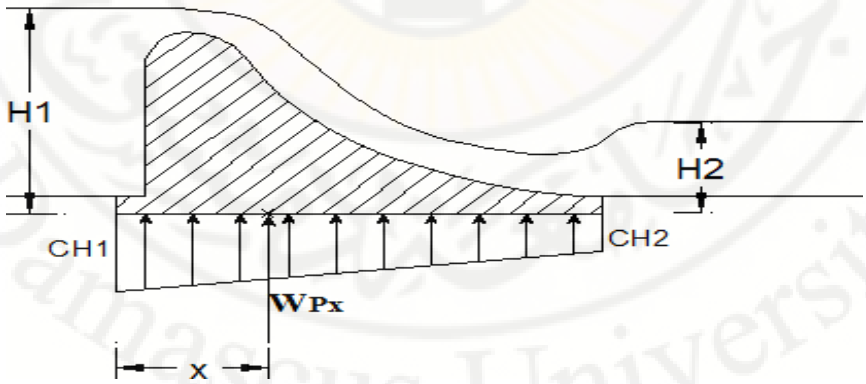
تساعد التربة الكتيمة على حجز الماء ضمن مساماتها، مما يؤدي إلى تشكيل ضغط شاقولي أسفل المنشاة يمكن اعتباره متغيراً خطياً ابتداءً من قيمة أعظمية تساوي CH_1 عند القدم الأمامي إلى قيمة أصغرية تساوي CH_2 عند القدم الخلفية، كما هو موضح في الشكل (4-34).

حيث:

C – معامل تتعلق قيمته بدرجة نفاذية الأرضية، وهي تقع ضمن المجال (1-0.5)، فإذا كانت الأرضية كتيمة جداً، والالتصاق كبير بين قاعدة المنشأة والأرضية يؤخذ C=0.5، وفي معظم الحالات يُفترض أن C=1.



الشكل (4-33). مخطط ضغط الرفع عندما تكون أرضية التأسيس صخرية.



الشكل (4-34). مخطط ضغط الرفع عندما تكون أرضية التأسيس كتيمة.

6.3. 4 التأسيس على تربة نفوذة:

نتيجة لفرق الضاغط أمام المنشأة وخلفها، يتشكل جريان في طبقة التربة النفوذة أسفل المنشأة، ويمكن لهذا الجريان أن يؤدي إلى:

I. فقدان المياه المخزنة، لذلك يجب الحد من كمية المياه المتسربة.

II. جرف ذرات التربة الناعمة: في حال كانت المياه قادرة على جرف ذرات التربة الناعمة، فإنها تنخر التربة (ميكانيكياً أو كيميائياً)، مما يؤدي إلى هبوطها، وبالتالي هبوط قاعدة السد، الأمر الذي يُسبب عدم استقرار المنشأة.

III. فوران التربة خلف المنشأة (عند القدم الخلفي)، وهي حالة تحدث في حال كانت طاقة المياه كبيرة (الضغط الذي تتعرض له التربة أكبر من وزنها)، حيث تكون سرعة خروج المياه من التربة كبيرة في الحوز السفلي، وبالتالي التدرج الهيدروليكي كبير، ويمكن أن يؤدي إلى ارتفاع ذرات التربة للأعلى، مما يهدد استقرار المنشأة.

IV. قوى الرفع الشاقولي على أسفل المنشأة، وهي القوة الأساسية المعاكسة لوزن المنشأة التي تمثل القوة الرئيسية في تحقيق استقرار المنشأة وتوازنها.

مما سبق نرى أنه من الممكن أن تتسرب المياه أسفل المنشأة، وهذا أمر يمكن السماح به طالما أن التسرب ضمن الحدود المسموحة، التي لا تؤثر في توازن المنشاة واستقرارها فليس الهدف هو الحصول على قاعدة تامة الكتامة (هذه عملية مكلفة جداً)، ولكن يجب أن يبقي التسرب ضمن الحدود المسموحة، لأن التسرب أسفل المنشأة إذا تجاوز الحد المسموح به يمكن أن يفقد المنشأة استقرارها، ولذلك يجب خفض سرعة جريان المياه المتسربة، لضمان عدم انجراف تربة القاعدة أسفل المنشأة، وإعطاء خط التسرب طولاً كافياً يخفف من ظاهرة فوران التربة، ويقلل من قوى الرفع الشاقولي على قاعدة المنشأة، ومن كمية المياه المتسربة، لذلك يجب دراسة التسرب بدقة.

7. 4 الدراسة النظرية للجريان في الأوسط النفوذة:

الجريان في التربة النفوذة جريان صفحي، ويتبع معادلة دارسي، التي تُكتب بالصيغة التالية:

$$\vec{V} = \vec{K} \cdot \vec{I} \qquad (54\text{-}4)$$

حيث:

$\vec{I}$ – الميل الهيدروليكي (تغير الضاغط مع تغير المسافة).

$\vec{V}$ – سرعة الجريان.

$\vec{K}$ – معامل نفاذية التربة.

عندما يكون الجريان ثلاثي الأبعاد يكون:

$$u = K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad \nu = K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \quad \omega = K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \qquad (55\text{-}4)$$

وعندما يكون الجريان ثنائي الأبعاد يكون:

$$u = K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \qquad \nu = K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \qquad (56\text{-}4)$$

إن حركة جزئيات الماء حركة انتقالية على طول خطوط الجريان دون حدوث دوران والجريان لا دوراني، وبالتالي هو جريان كموني، وفي هذه الحالة يكون للجريان دالة تُدعى دالة الكمون، ويُرمز لها بالرمز φ، وتُعطى بالعلاقة:

$$\varphi = -k \cdot h \qquad (57\text{-}4)$$

حيث h الضاغط البيزومتري.

وبناءً عليه تُكتب المعادلات (55–4) بالشكل:

$$u = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad \nu = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad w = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \qquad (58\text{-}4)$$

وباعتبار الماء غير قابل للانضغاط والجريان مستقر، فإن معادلة الاستمرار تأخذ الصيغة:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (59\text{-}4)$$

وباشتقاق جمل المعادلات (4–58) بالنسبة للمتغيرات x,y,z على الترتيب، والتعويض في المعادلة (4–59) تنتج المعادلة الآتية:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}=0 \qquad (60\text{-}4)$$

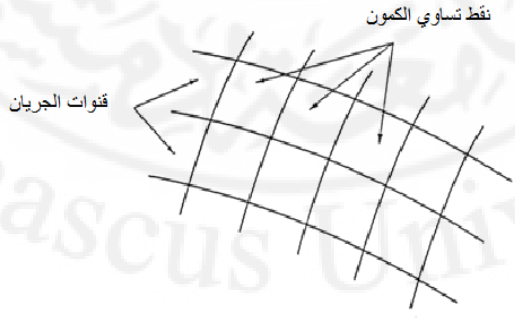
وهي معادلة الحركة المعروفة باسم معادلة لابلاس.

تُدرس المسألة في أغلب الأحيان في المستوي (جريان ثنائي البعد)، وبالتالي تأخذ معادلة لابلاس للجريان المستقر، عندها الشكل:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}=0 \qquad (61\text{-}4)$$

7.1.4 شبكة الجريان:

يمكن التعبير عن معادلة الحركة السابقة (4–61) بيانياً بمجموعتين من المنحنيات: خطوط الجريان وخطوط الكمون، وهاتان المجموعتان من المنحنيات المتعامدة وتشكل فيما بينها مربعات منحنية، والشكل الذي تعطيه هو شبكة الجريان والموضح جزء منها في الشكل (4–35).



الشكل (4-35). خطوط تساوي الكمون وخطوط الجريان (شبكة جريان).

بعد الحصول على شبكة الجريان يمكن تحديد كافة عناصر الجريان من حيث حساب الميول الهيدروليكية (I_E)، وسرعة الجريان (V_E)، والضاغط الكلي (H_E)، والضاغط البيزومتري ($\frac{P}{\gamma}$) في أي نقطة، كما يمكن رسم مخطط توزع قوى الرفع المائي الخاضع لها المنشأ.

7.2.4 الشروط الحدية:

يخضع الجريان إلى تأثير الشروط المؤثرة في حدود المنطقة المدرسة، ويُميز نوعان أساسيان من الشروط الحدية:

- سطوح كتيمة تماماً: قاعدة الأرضية كتيمة والحواجز كتيمة، ويُعبر عن الكتامة بأنه لا يوجد تدفق يخترق هذه السطوح. ومن أجل تربة موحدة الخواص يكون لدينا:

$$\bar{v}.\bar{n} = v_n = -k\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \qquad (62-4)$$

أي أن مركبة سرعة الرشح وفق الناظم n على السطح الكتيم معدومة.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \qquad (63-4)$$

وهو شرط نيومان، ويعني أن سطوح الكمون ($\varphi = const$) تقطع السطوح الكتيمة بزوايا قائمة، لكنه غير صالح للتطبيق من أجل الترب متباينة الخواص.

- سطوح نفوذه تماماً: يكون الجريان عبر هذه السطوح على اتصال مع كتلة من الماء الحر، وفي هذه الكتلة تكون ضياعات الضاغط مهملة، ويكون الضاغط الهيدروليكي ثابتاً. $\varphi = const$، وهو شرط ديريشلي (Dirichlet)، أي أن السطوح النفوذة تماماً هي سطوح كمون.

يمكن تحديد شبكة الجريان ورسمها لمنشأة مائية باستخدام عدة طرائق منها:

الطريقة النظرية:

تعتمد طريقة الحل النظري لتطبيقات التسرب تحت المنشآت المائية المعرضة لفرق ضاغط على وضع عدة فرضيات في الحسبان، وهي:

- التربة أسفل جسم السد ، متجانسة وموحدة الخواص، أي أن قيمة معامل النفاذية (k) ثابت في جميع الاتجاهات.
- الجريان مستمر ومستقر، والماء غير قابل للانضغاط.
- الجريان تحت المنشأة ثنائي البعد، ويتبع قانون دارسي.

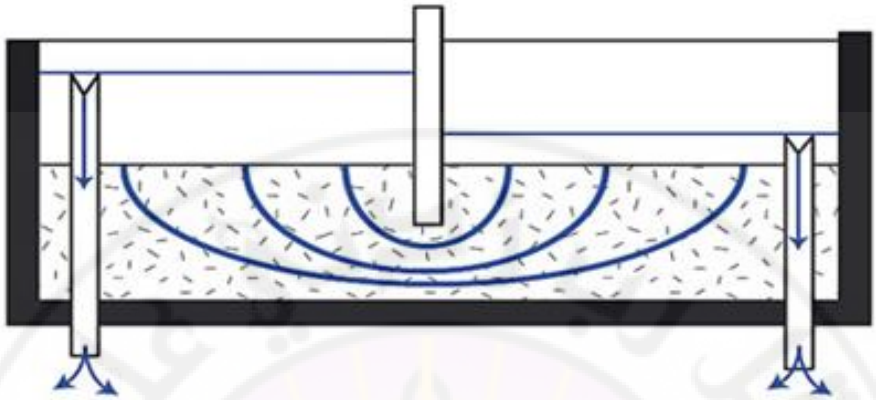
تمكن مجموعة من العلماء مثل العالم الروسي (Pavlovsky)، والعالم الهندي (khosla) من حل هذه المعادلة (المعادلة 4-61) نظرياً لمجموعة كبيرة من تطبيقات التسرب لمعرفة عناصر الجريان.

الطرائق التجريبية:

عندما يكون شكل السطح السفلي لمنشأة معقداً يكون من الصعب جداً حل معادلة الحركة (المعادلة 61.4) حلاً نظرياً، وفي هذه الحالة يمكن اللجوء إلى طرائق النمذجة مع الوضع بالحسبان الشروط الحدية للمسألة، ومن هذه الطرائق:

1- النمذجة الهيدروليكية:

الجهاز المستخدم عبارة عن خزان وجهاه من الزجاج الشفاف أو البلاستيك الزجاجي، البعد بينهما (2-3mm)، يُوضع بداخله رمل لعمق معين لتمثيل طبقة الأساس، ومن ثم يوضع على سطحها العلوي نموذج للمنشأ، ويوضع ثقل فوق النموذج، أو بداخله لضمان التصاق كامل للنموذج مع السطح العلوي للرمل، وتؤخذ كافة التدابير بحيث يبقى سطح الماء أمام المنشأة وخلفها على منسوب ثابت أثناء إجراء التجربة، ويمثل فرق المسافة الشاقولي بينهما قيمة الضاغط المؤثر في المنشأة، ويُمثل الشكل (4–36) شكلاً مبسطاً للنموذج الرملي المستخدم لنمذجة الجريان أسفل ستارة.



الشكل(4-36). خطوط الجريان في نموذج الحوض الرملي.

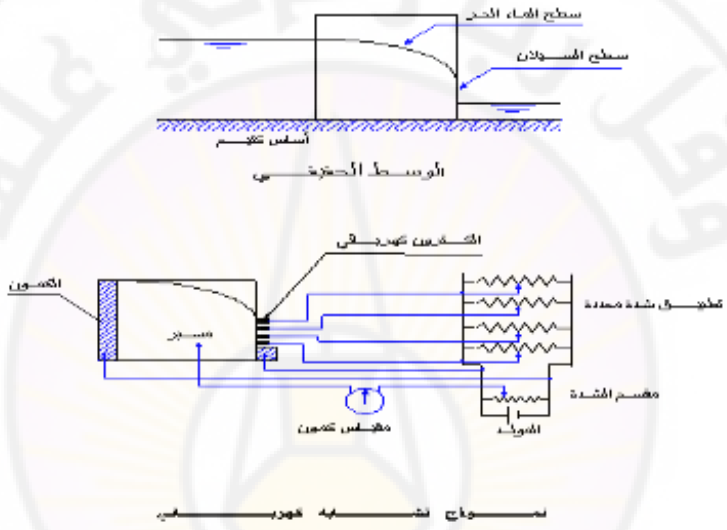
وبما أن شبكة الجريان لا تتأثر بقيمة K في حالة التربة موحدة الخواص، لذلك يكفي لرسم خطوط الجريان، وخطوط الكمون حقن سائل ملون من عدة مواضع على سطح الطبقة الرملية أمام المنشأة، فتتحرك جزئيات السائل الملون مع التيار لترسم صورة واضحة لخطوط الجريان عبر الجدران الشفافة (يجب الانتباه هنا إلى أن الجريان صفحي، لذلك يجب استعمال سائل لزج كالزيت)، ويمكن تحديد خطوط الكمون برسم خطوط متعامدة مع خطوط الجريان، كما يمكن قياس توزع قوى الرفع المائي على قاعدة السد باستخدام مجموعة من البيزومترات تُثبت على طول قاعدة المنشأة.

2- النمذجة بالتشابه الكهربائي:

تعتمد هذه الطريقة على أن كلاً من الجريان المستقر للمياه خلال التربة المسامية المتجانسة، وجريان التيار الكهربائي خلال مادة موصلة تتبعان معادلة لابلاس الشهيرة (المعادلة 4-61) ككل الحركات الكمونية المتشابهة.

تُستبدل حركة الماء بمظهر كهربائي مع الأخذ بعين الاعتبار الشروط الحدية، حيث يُملأ الحوض في النموذج بماءٍ مالح، ثم يوصل الحوض بصفائح نحاسية، توصل بمولد كهربائي، حيث توصل الصفيحة اليسارية بدارة ذات توتر عالٍ، والصفيحة اليمينية بتوتر منخفض، فتنتقل الكهرباء من التوتر العالي إلى التوتر المنخفض (كذلك في السد تنتقل المياه سوف من منطقة الضغط العالي إلى منطقة الضغط المنخفض، وبالتالي تشكل

خطوط الجريان)، ثم تُحدد خطوط الكمون الكهربائي (وهي مماثلة لخطوط الكمون الكهربائي)، ثم تُرسم خطوط الجريان عمودية على خطوط الكمون، وبهذا يتم الحصول على شبكة الجريان. يوضح الشكل (4–37) الجهاز المستخدم لتطبيق النمذجة الكهربائية على الجريان المستقر للمياه الجوفية.

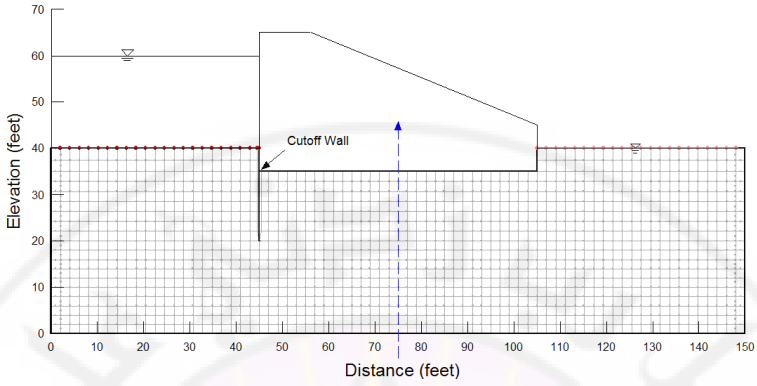


الشكل(4-37). نمذجة الجريان باستخدام الأوجه الكهربائية.

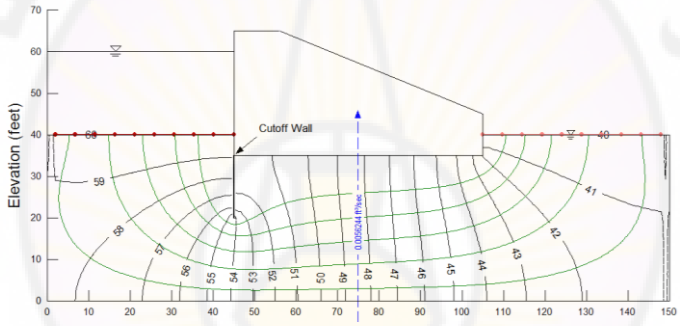
3- النمذجة العددية:

باستخدام نظرية العناصر المحدودة، وبمساعدة الحاسوب، حيث يتوفر حالياً الكثير من البرامج المتطورة (كبرنامج Seep/w ضمن منظومة Geo-Studio على سبيل المثال)، يمكن القيام بنمذجة الجريان في الأوساط المسامية، مع الأخذ بعين الاعتبار الشروط الحدية، وتعد هذه الطريقة قليلة الكلفة، وسريعة، وذات دقة عالية،

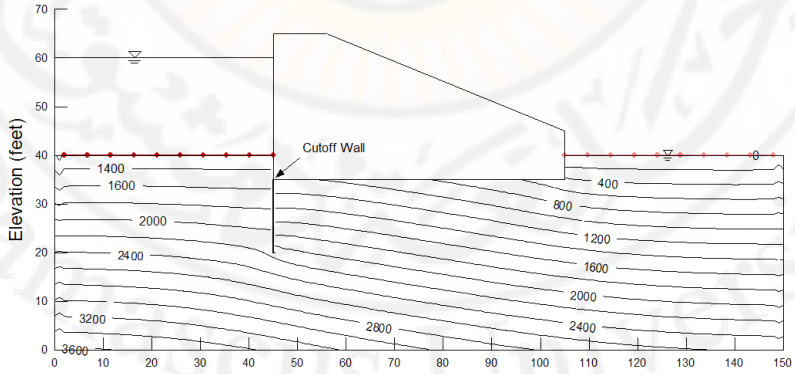
يُبين الشكل (4–38) نموذجاً لشبكة الجريان ضمن طبقة أساس نفوذة أسفل سد–هدار ثقلي، ويُبين الشكل (4–39) شبكة الجريان ضمن جسم سد ترابي متجانس باستخدام برنامج Seep/W.



–a–



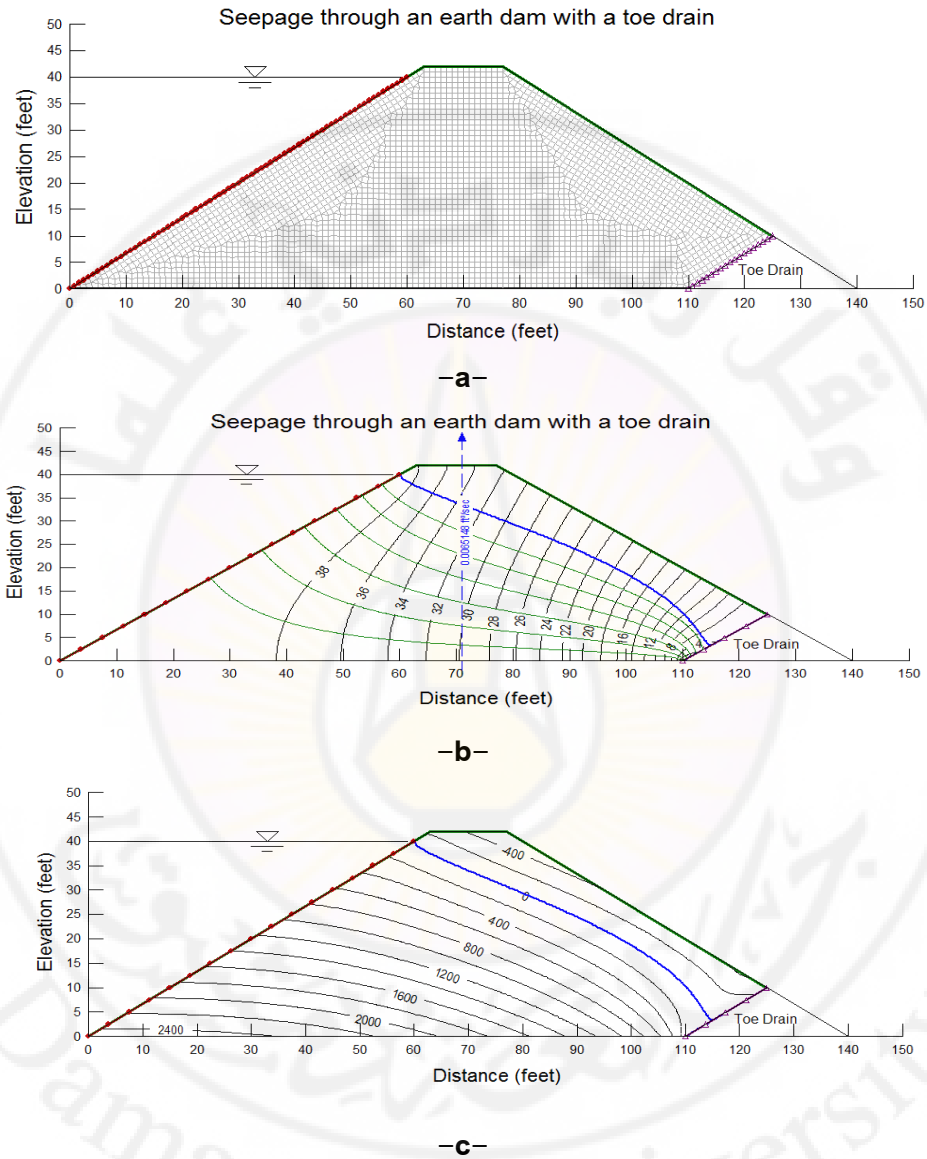
–b–



–c–

الشكل (4-38). رسم شبكة الجريان أسفل سد بيتوني مع ستارة أمامية باستخدام SeepW.

a- نموذج إدخالات البرنامج، b– شبكة الجريان، c– خطوط تساوي الضغط المسامي (KPa).



الشكل (4-39). مثال لرسم شبكة الجريان لسد ترابي متجانس باستخدام برنامج Seep/W.

a- إدخالات البرنامج، b– شبكة الجريان، c- خطوط تساوي الضاغط البيزومتري (kPa).

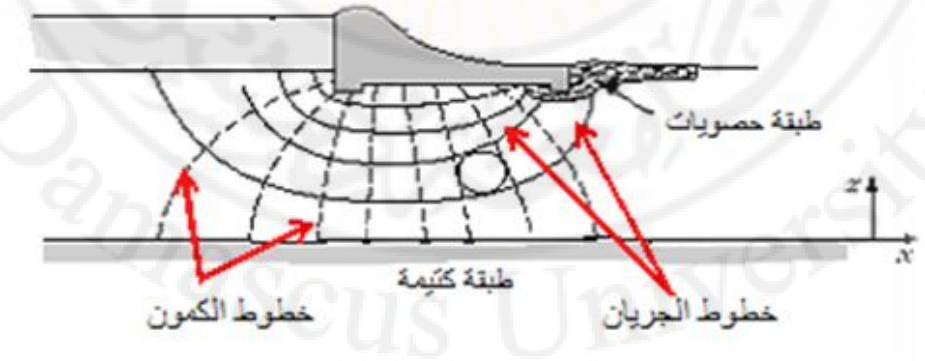
4- الطريقة البيانية:

يمكن رسم شبكة الجريان بيانياً بطريقة المحاولة والخطأ، كما في الشكل (4-40) و الشكل (4-41) ، وذلك بالاعتماد على الشروط الحدية الآتية:

1. أول خط جريان هو محيط قاعدة السد، أي تماس قاعدة السد الأرضية والحواجز مع التربة (AE)، ويُعطى الرقم (0).
2. آخر خط جريان هو الطبقة الكتيمة تحت قاعدة السد (FG).
3. أول خط كمون هو سطح التربة أمام السد (AB)، ويُعطى الرقم (0).
4. آخر خط كمون هو سطح التربة خلف السد (DE).

ثم تُرسم مجموعة خطوط الجريان بشكل تقريبي، بحيث يتم رسم خط الجريان الثاني بالابتعاد والاقتراب من خط الجريان الأول، بحيث يحقق انسيابية محددة، وهكذا حتى الحصول على شبكة الجريان، بعد ذلك تُرسم مجموعة الكمون بحيث تكونان معاً مجموعة من الخلايا على شكل مربعات منحنية (يمكن رسم دوائر ضمنها)، وبحيث تكون التقاطعات بينها عمودية.

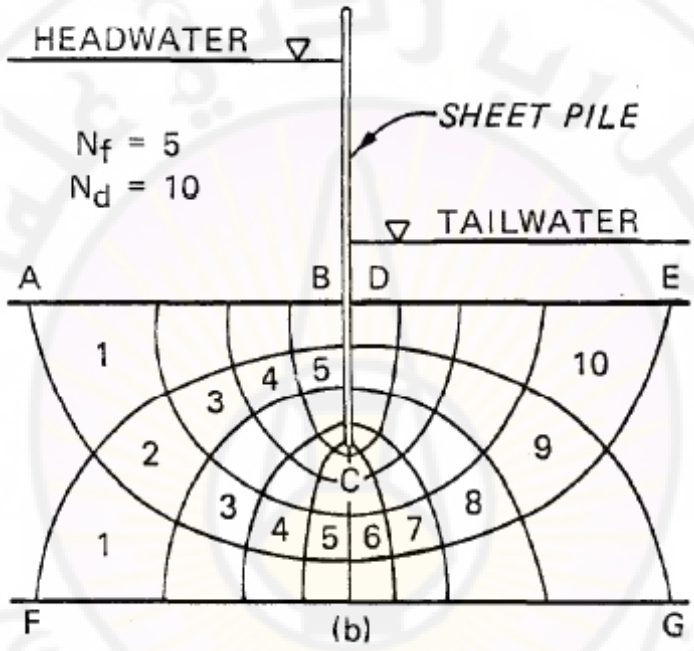
إن رسم شبكة الجريان بهذه الطريقة يحتاج إلى عدة محاولات للوصول إلى الحل المطلوب، وتُعد هذه الطريقة تقريبية، ولكن بدقة لا بأس بها لحل الكثير من المسائل.



الشكل (4-40). رسم شبكة الجريان بالطريقة البيانية.

7.3.4 استنتاج عناصر الجريان من شبكة الجريان المتسرب:

بعد رسم شبكة الجريان بإحدى الطرائق السابقة، يمكن تحديد عناصر الجريان للمياه المتسربة بالكامل، كما يأتي:



الشكل (4-41). شبكة الجريان أسفل ستارة معدنية.

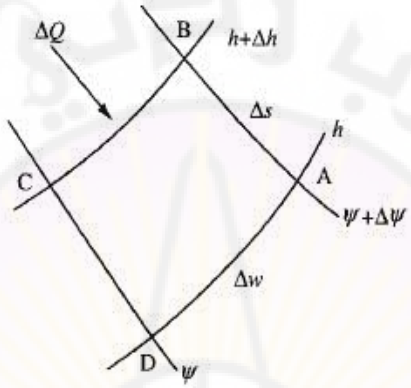
التصريف المتسرب:

باعتبار الجريان ثنائي البعد، وبأخذ واحدة عرض المنشأ، وبفرض أن التصريف المتسرب من خلالها تحت المنشأ (Q)، فإن كل خطي جريان متجاورين يكونان بينهما مجرى تسرب، ويكون التصريف المار في كلٍ من مجاري التسرب المتجاورة مساوياً (ΔQ). يُحدد من شبكة الجريان عدد مجاري التسرب (قنوات الجريان)، الذي يرمز له بالرمز N_f ، حيث:

$$Q = N_f \cdot \Delta Q \qquad (64\text{-}4)$$

الفرق في الضاغط أمام المنشأة وخلفها ($H_B = h$) يُفقد بالكامل خلال تسرب المياه تحت المنشأة من خلال عدة هبوطات يرمز لكلٍ منها (Δh)، وعددها (N_d)، وبالتالي:

$$h = N_d \cdot \Delta h \qquad (65\text{-}4)$$



الشكل (4-42). التصريف المار بين خطي جريان.

بتطبيق معادلة دارسي على مجرى تسرب يكون:

$$\Delta Q = k \cdot b \cdot i = k \cdot b \cdot \frac{\Delta h}{S} \qquad (66\text{-}4)$$

وحيث يمكن رسم دائرة داخل كل مربعٍ منحنٍ ($b = s$)، بالتالي تُكتب المعادلة (4-57) بالشكل:

$$\Delta Q = k \cdot \Delta h = k \cdot \frac{h}{N_d} \qquad (67\text{-}4)$$

ويكون التصريف الكلي المتسرب تحت المنشأة مساوياً:

$$Q = \sum \Delta Q = \Delta Q \cdot N_f = k \cdot \frac{h}{N_d} \cdot N_f \qquad (68\text{-}4)$$

أو

$$Q = k \cdot h \cdot \frac{N_f}{N_d} \qquad (69\text{-}4)$$

سرعة الجريان:

يمكن تحديد قيمة السرعة واتجاهها عند أي موضع في مجال الجريان من شبكة الجريان من العلاقة:

$$V = K.I = K\frac{\Delta h}{s} \qquad (70-4)$$
$$v = \frac{\Delta Q}{b}$$

حيث:

b – المسافة العمودية بين خطي الجريان عند نقطة حساب السرعة.

أما اتجاه السرعة فهو مماس لخط الجريان المار بهذه النقطة.

الميل الهيدروليكي:

يمكن حساب الميل الهيدروليكي الوسطي I لأي خلية في شبكة الجريان بالعلاقة:

$$I = \frac{\Delta h}{S} = \frac{h}{S \cdot N_d} \qquad (71-4)$$

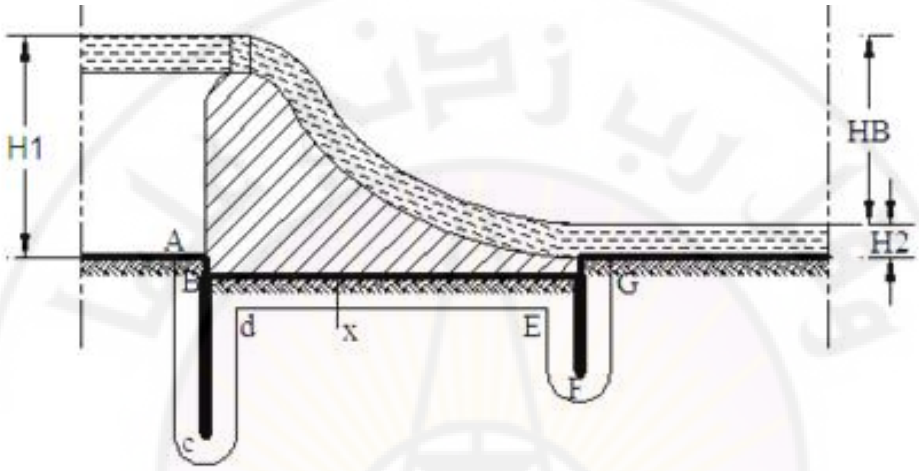
8. 4 الطرائق التقريبية لاستنتاج قوى الرفع المائي:

هي طرائق بسيطة وسهلة التطبيق، لكنها بدقة محدودة، لكنها كافية في حالاتٍ كثيرة. ولاسيما في المنشآت المنخفضة كالمنظمات المائية.

8.1. 4 قاعدة بلاي:

يفترض بلاي أن تسرب المياه تحت المنشأة يتركز على طول الخط الفاصل بين قاعدة المنشأة (الطول المتاح من المنشأة A, B, C, D)، وبين سطح تربة الأساس العلوي، كما في الشكل (4–43)، وهو خط الزحف، ويرمز له بالرمز L_B، وعليه فإن فرق الضاغط المؤثر في المنشأة H_B يُفقد بالكامل خلال الطول L_B (المحيط الكتيم) بمعدل ثابت مقداره:

$$L_B = C_B . H_B \qquad \rightarrow \frac{1}{C_B} = \frac{h}{L_B} \qquad (72-4)$$



الشكل(4-43). حساب خط التسرب وفق طريقة بلاي.

يُسمى المعامل C_B معامل بلاي، أو عامل الزحف. أما الطول الطبيعي المتاح لخط التسرب فهو LN ، وهو طول سطح تماس المنشأة مع قاعدة التأسيس قبل وضع الستائر، ومن الشكل (4-43) نجد أن LN=AB+BE+EG.

من المعادلة (4-73) يُلاحظ أنه، من أجل قيمة محددة لفرق الضاغط (H_B)، كلما انخفضت قيمة المعامل C_B قل طول خط الزحف اللازم L_B.

وقد أعطى بلاي قيماً للمعامل C_B تبعاً لنوع التربة (الجدول 4-5)، والتي يجب استخدامها عند حساب الطول اللازم للخط الزحف السفلي، وهي قيم مستنتجة بالاعتماد على منشآت قائمة لم يحدث فيها انهيارات لتربة قعر المجرى خلف المنشأة.

يُقارن الطول المتاح للمنشأة L_n مع الطول L_B المحسوب من العلاقة (4-73) فإذا كان ($L_B \leq L_n$) فهذا يعني أنه لا يوجد خطر من انجراف التربة، ويكون الطول المتوفر كافياً، أما إذا كان $L_B > L_n$ فيكون الطول المتاح غير كافٍ لمنع انجراف التربة، وبالتالي يجب زيادة هذا الطول، ويمكن أن يتم ذلك بعدة طرائق منها:

1- إنشاء حصيرة كتيمة أفقية أمام الهدّار طولها L' هو الفرق بين الطول المتاح من قاعدة المنشأة و L_B، أي:

$$L' = L_B - L_N \qquad (73-4)$$

2- إنشاء جدران شاقولية مانعة للتسرب بطول إجمالي يساوي:

$$L = \frac{L_B - L_N}{2} \qquad (74-4)$$

وجد بلاي أنه لكي يتم الجريان وفق خط الجريان الأفضلي، يجب أن يتحقق الشرط $DE \rangle 2 \cdot DC$، أي أن طول قاعدة الهدّار أكبر من ضعف طول الستارة الأمامية L_1. فإذا كان $L_1 \le \frac{DE}{2}$ يُكتفي بوضع ستارة واحدة شاقولية أمامية، أما إذا كان الشرط السابق غير محقق فيجب وضع ستارة شاقولية خلف الستارة الأمامية طولها L_2 أقل من طول الستارة الشاقولية الأمامية L_1، ويجب أن يحقق التباعد بين الستارتين (S) الشرط:

$$S \ge 1.5 \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} \qquad (75-4)$$

يمكن الدمج بين الحلين باستخدام ستائر شاقولية وحصيرة أفقية بعد اعتماد الأطوال النهائية للستائر الشاقولية و/أو الحصيرة الأفقية، ويتم حساب خط الزحف النهائي L وفق الشكل (4-43).

8.2.4 قاعدة لين:

يرى لين أن تطبيق علاقة بلاي يؤدي إلى إعطاء البعد L طولاً أكبر مما يجب، باعتبار أن هذه العلاقة تعطي أهمية واحدة للجريان وفق الاتجاه الأفقي والشاقولي. إلا أنه في الواقع العملي، ونتيجة تباين نفاذية التربة (اختلاف معامل النفوذية الشاقولي K_V عن معامل النفوذية الأفقي K_H للتربة)، فإنه يكون للاتجاه الشاقولي أهمية أكبر في مقاومة الجريان، لذا يقترح لين أن يؤخذ بعين الاعتبار فقط ثلث طول الاتجاه الأفقي، أي:

$$L_v + \frac{1}{3} L_H = C_L \cdot H \qquad (76\text{-}4)$$

حيث:

L_v – طول خط الجريان الشاقولي AB + BC + CD + EF + FG.

L_H – طول خط الجريان الأفقي DE.

C_L – معامل لين (Lane's coefficient). ويعطى بالجدول (4–5).

الجدول (4–5) . قيم معاملي بلاي ولين تبعاً لنوع التربة.

نوع التربة	معامل التسرب	
	C_L	C_B
رمال ناعمة جداً أو طمي Very fine sand or silt	8.5	18
رمال ناعمة Fine Sand	7	15
رمال متوسطة Medium Sand	6	13
رمال خشنة Coarse Sand	5	12
حصى ناعمة Fine Gravel	4	6
حصى متوسطة Medium Gravel	3.5	5
خليط من الرمل والحصى	-	9
حصى خشنة تحتوي ركام	3	4
ركام مع حصى	2.5	-
خليط من الركام والحصى والرمال	-	4-6
غضار طري	3	9
غضار متوسط	1.8	-
غضار صلب	1.8	5
غضار صلب جداً	1.9	-

للحصول على شروط أمان كافية عملياً، يُصار إلى:

- حساب الطول الواجب إعطاؤه لخط الجريان L، وتحديد أطوال الستائر وفق علاقة لين.
- حساب قوى الرفع الشاقولية وفق علاقة بلاي.

8.3. 4 فوران التربة:

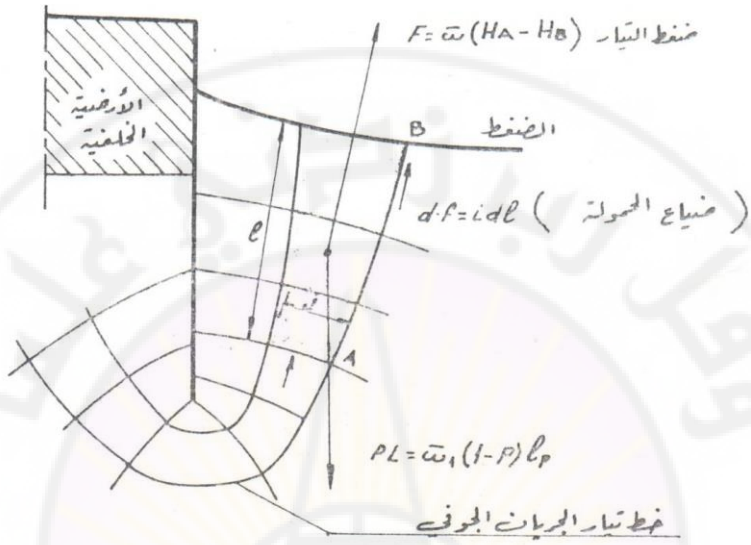
هو حركة جزيئات التربة نحو الأعلى، وتنتج هذه الحركة عن الجريان الشاقولي الرافع أسفل المنشأة خلف الحاجز الخلفي

ولهذه الظاهرة آثار خطيرة على المنشأة باعتبار التربة غير مثبتة، وأن انتقال الحبيبات الصلبة يجري خارج حدود المنشأة، مما يضعف مقاومة التربة باستمرار، ولاسيما أن حركة الماء المتدفقة فوق الهدار تساعد على هذا الانتقال، وعليه يجب التأكد من أن الحبات الصلبة في هذه المناطق تكون في حالة توازن مستمر، تحت تأثير القوى المؤثرة فيها، مع ملاحظة أن القوة المقاومة للرفع هي الوزن الذاتي لحبات التربة فقط.



الشكل (4-44). حادثة فوران التربة.

من الشكل (4-45) يكون:



الشكل (4-45). مخطط حساب فوران التربة.

- قوى ضغط المياه المتسربة:

$$F = \gamma_w \cdot (H_a - H_b) \cdot S$$
$$F = \gamma_w \cdot (I) \qquad (77\text{-}4)$$

- الوزن الذاتي للكتلة:

$$W = \gamma_{sat} \cdot (1-n).l.S \qquad (78\text{-}4)$$

بإهمال زاوية ميل القوة F باعتبار أن خطوط الجريان خلف الحاجز تكون تقريباً شاقولية يمكن عند التوازن الحرج كتابة:

$$\gamma_{sat} \cdot (1-n).l.S = \gamma_w \cdot (H_a - H_b) \cdot S$$

$$(H_a - H_b)/l = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w} \cdot (1-n)$$

$$Icr = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w}(1-n) \qquad (79\text{-}4)$$

حيث:

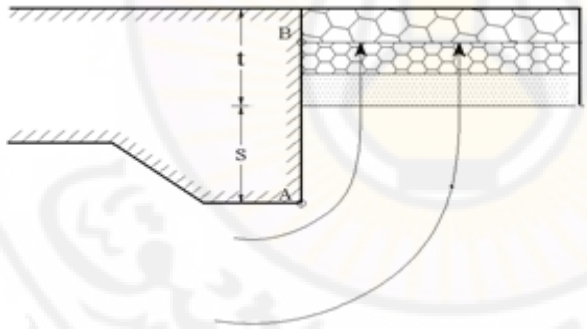
γ_s – الوزن النوعي لحبات التربة الصلبة.

γ_ω – الوزن النوعي للماء.

n – مسامية التربة.

إذا كان $I \prec I_{cr}$: لا يوجد خطر لفوران التربة، أما إذا كان: $I \geq I_{cr}$ يوجد خطر تشكل ظاهرة فوران التربة، ويمكن عندها اللجوء إلى أحد الحلول التالية:

- زيادة طول الصفيحة الأمامية، مما يخفض Ha.
- زيادة الطول L أي زيادة طول الصفيحة الخلفية.
- يمكن رصف طبقة حجارة على شكل حصيرة سماكتها t تُحسب من العلاقة الوارد أدناه، بعد إهمال الاحتكاك، كما في الشكل (4–46):



$$\gamma_\omega \cdot h = \gamma_{sub}.S + \gamma_z.t$$

$$\frac{h}{s} = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_\omega} + \frac{\gamma_z}{\gamma_\omega}.\frac{t}{S}$$

$$i = i_{cr} + \frac{\gamma_z}{\gamma_\omega}.\frac{t}{S}$$

$$t = (i - i_{cr}) \cdot S.\frac{\gamma_\omega}{\gamma_z}$$

الشكل (4-46). مخطط حساب الحصيرة ضد فوران التربة.

ومنه يكون:

$$t = k_s \cdot (i - i_{cr}) \cdot S.\frac{\gamma_\omega}{\gamma_z}.K_Z \qquad (80\text{-}4)$$

حيث:

K_z – معامل أمان يراوح في المجال $1.5 \div 1.2$.

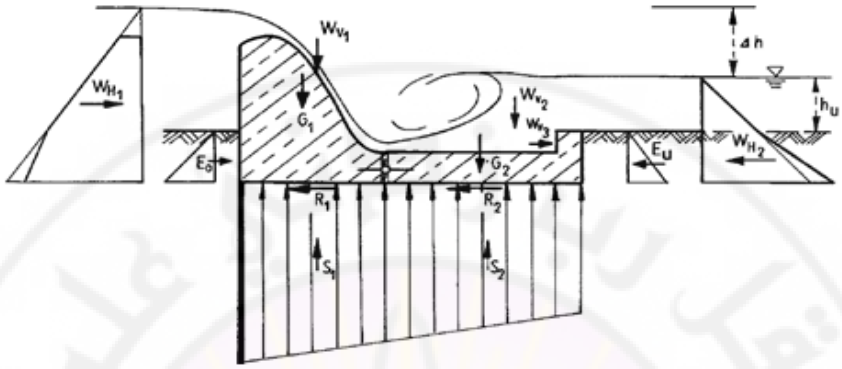
γ_z – الوزن الحجمي الجاف للحجارة المرصوفة.

9. 4 القوى المطبقة على المنشآت المائية:

تتعرض المنشآت المائية عموماً إلى تأثير القوى الآتية:

1) وزن المنشأة الذاتي مع الوضع بالحسبان وزن جميع المعدات عليها (البوابات، ومنشآت رفع البوابات في حال وجودها، والحمولات الحية والميتة الناجمة عنها).
2) ضغط الماء الساكن المؤثر في الوجهين الأمامي والخلفي للمنشأة.
3) الضغط الهيدروديناميكي الناتج عن الماء الجاري.
4) الضغط الناجم عن المواد المترسبة.
5) ضغط التربة الجانبي المؤثر في المنشأة من الأمام والخلف تحت منسوب التأسيس.
6) الضغوط الشاقولية المؤثرة في قاعدة المنشأة (ضغوط الرفع المائي أسفل المنشأة).
7) القوى الناجمة عن وجود الثلج (تُحسب كقوة أساسية في المحطات الكهرومائية عند وجودها).
8) الضغط الناجم عن تأثير الرياح (تؤثر الرياح بشكل أساسي في المنشآت الملحقة بالسد كالروافع والأبراج).
9) الضغط الناجم عن الأمواج المتشكلة نتيجة هبوب الرياح في منطقة المشروع.
10) الحمولات الناجمة عن تأثير الهزات الأرضية.
11) الحمولات الديناميكية الاستثنائية الناجمة عن تمرير التصريف في فترة الفيضانات.
12) القوى الناجمة عن التأثيرات الحرارية في حال سمح شكل السد ونوعه بتشكل إجهادات حرارية (سدود قوسية).

يُبين الشكل (4–47) بعض القوى المؤثرة في سد–هدار ثقلي.



الشكل (4-47). بعض القوى المؤثرة في منشأة مائية.

يُدرس التوازن للمنشأة المائية عادة من أجل شريحة بعرض 1m. وفيما يأتي دراسة تفصيلية للقوى الخمس الأولى الأكثر أهمية بالنسبة للظروف المحلية في الجمهورية العربية السورية.

4 .1. 9 الوزن الذاتي:

إن وزن المنشأة الذاتي هو العنصر الأساس في توازنها واستقرارها، لذا من الضروري الحصول على منشأة ذات وزن حجمي كبير قدر الإمكان، وغالباً ما يؤخذ:

- للمنشآت من البيتون: $\gamma = 2.4 - 2.5 t/m^3$
- المنشآت من الحجر الغرانيتي: $\gamma = 2.6 - 2.7 t/m^3$

ويكون الوزن الذاتي الإجمالي للسد الهدار مساوياً مجموع الأوزان التي تتضمن الوزن الذاتي لجسم الهدار، ووزن الركائز في حال وجودها، ووزن البوابات المركبة على الهدار مع المعدات الملحقة (روافع، و..... الخ).

4 .2. 9 ضغط الماء الساكن:

1 يؤثر الضغط الساكن للماء في الوجهين الأمامي والخلفي للمنشأة، وهنا يمكن تمييز حالتين:

a) حالة الواجهة الأمامية للمنشأة مائلة:

هنا يكون لمحصلة الضغط المائي الساكن مركبتان:

I. مركبة شاقولية W_{V1} تساوي وزن الماء الموجود ضمن الموشور abcd، الشكل (4–48)، ومطبقة في مركز ثقل هذا الموشور:

$$W_{V1} = \gamma_w \cdot A_{pv} \cdot 1 \qquad (81\text{-}4)$$

حيث:

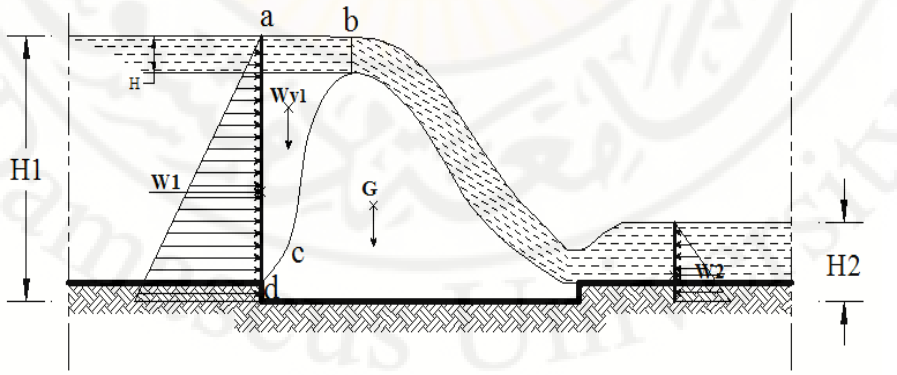
A_{pv} - مساحة الشكل abcd.

II. مركبة أفقية $W1$، وتساوي مساحة شبه المنحرف efgd، كما في الشكل (4–48) ، مضروبة بالوزن النوعي للماء، أي:

$$W_1 = \gamma_w \cdot A_{ph} \cdot 1 = \gamma_w \cdot \frac{H_1^2 - H^2}{2} \qquad (82\text{-}4)$$

ومطبقة في مركز ثقل شبه المنحرف، وتبعد عن قمة المنشأة بمقدار:

$$X = \frac{(H_1 - H) \cdot (H + 2H_1)}{3 \cdot (H + H_1)} \qquad (83\text{-}4)$$



الشكل (4-48). الضغط الساكن (الواجهة الأمامية للمنشأة مائلة عن الشاقول).

b) حالة الواجهة الأمامية للمنشأة شاقولية، الشكل (4–49):

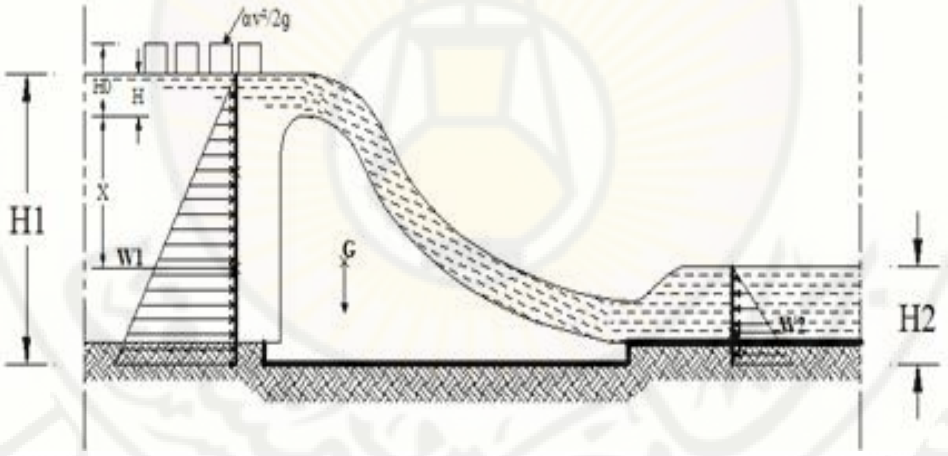
هنا تكون المحصلة الشاقولية للضغط المائي الساكن معدومة، ويتم حساب محصلة الضغط الأفقية المؤثرة في الوجه الأمامي من العلاقة:

$$W_1 = \gamma_w \cdot A_{ph} \cdot 1 = \gamma_w \cdot \frac{H_1^2 - H^2}{2} \qquad (84\text{-}4)$$

ومركز ثقل هذه القوة كما في العلاقة (4-83).

أما على الوجه الخلفي للمنشأة، فتُحسب قوة الضغط الأفقي بدلالة العلاقة:

$$W_2 = \gamma_w \cdot A_{ph} \cdot 1 = \gamma_w \cdot \frac{H_2^2}{2} \qquad (85\text{-}4)$$



الشكل(4-49). الضغط الهيدروستاتيكي الواجهة الأمامية للمنشأة شاقولية.

2 الضغط الهيدروديناميكي الناتج عن جريان المياه:

لإدخال تأثير القوى الديناميكية في الهدار، الناتجة عن التيار المائي يُصار إلى زيادة الحمولة الساكنة بارتفاع يساوي $\frac{V_0^2}{g}$ (أي ضعف الارتفاع المعادل لسرعة الاقتراب).

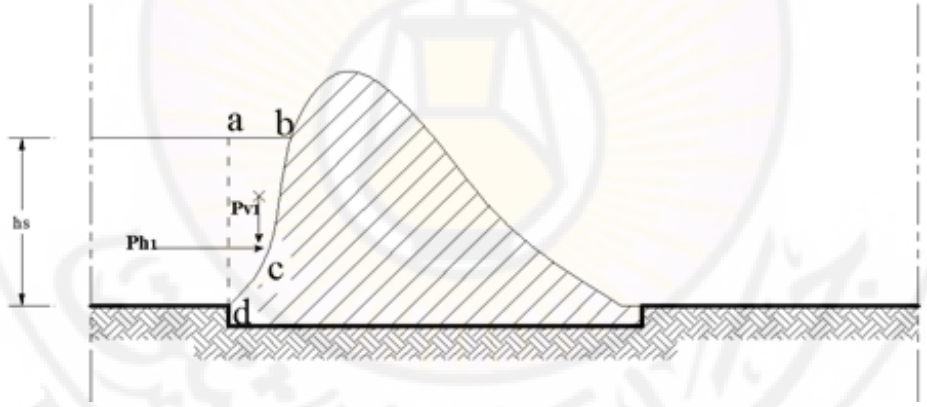
9.3.4 الضغط الناجم عن المواد المترسبة:

تتبع المواد المترسبة أمام السد الهدار لطبيعة المجرى المائي وسرعة الماء، ونتيجة وجود المنشأة (السد–الهدّار) تترسب المواد المحمولة مع التيار المائي، وتشكل حمولة تؤثر في جسم السد الهدار، ويتعلق ضغط المواد المترسبة أمام المنشأة بطبيعة المواد المترسبة.

بافتراض أن ارتفاع المواد المترسبة h_s يمكن حساب الضغط الناجم عن المواد المترسبة كما يأتي:

a- الواجهة الأمامية للمنشأة مائلة:

يُقسم الدفع الناجم عن هذه المواد إلى قسمين، الشكل (4–50):



الشكل (4-50). الضغط الناجم عن المواد المترسبة الواجهة الأمامية للمنشأة مائلة.

- قوة شاقولية ناتجة عن الوزن الذاتي للمواد المترسبة:

تشكل تربة المواد المترسبة وزناً يضغط على جسم السد P_v، وهو وزن المواد المترسبة الموجودة في السطح (abcd)، كما في الشكل (4–50):

$$P_v = \gamma_s^{'} \cdot A_v \cdot 1 \qquad (86\text{-}4)$$

حيث:

γ_s` – الوزن الحجمي المغمور للمواد المترسبة، وتساوي:

$$\gamma' = \gamma_s \cdot (1-e) \qquad (87\text{-}4)$$

حيث:

e- نسبة الفراغات.

γ_s – الوزن الحجمي الجاف للمواد المترسبة.

A_v – مساحة الشكل (abcd).

- قوة أفقية ناتجة عن الوزن الذاتي للمواد المترسبة:

تُميز هنا حالتان:

- الحالة الأولى:
- المواد المترسبة عبارة عن خليط من رمل وبحص، وهنا يُحدد الضغط الناتج عنها كما هو وارد في علم ميكانيك التربة أي حسب علاقة رانكين مع الوضع بالحسبان الوزن الحجمي المغمور لتلك المواد:

$$P_h = \frac{1}{2}\gamma_s' \cdot h_s^2 \cdot \tan^2(45-\frac{\phi}{2}) \qquad (88\text{-}4)$$

حيث:

γ_s' – الوزن الحجمي المغمور للمواد المترسبة .

φ – زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة المواد المترسبة.

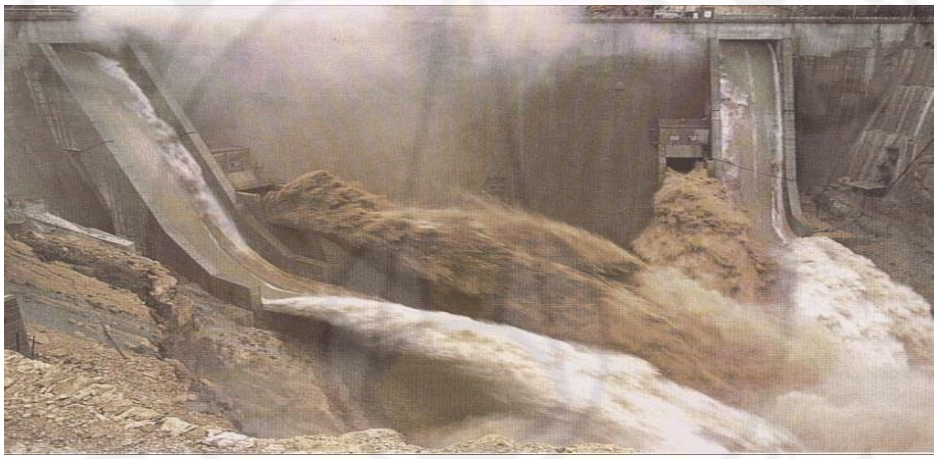
h_s – ارتفاع المواد المترسبة

ويتعلق ارتفاع المواد المترسبة بكمية هذه المواد المحمولة مع التيار المائي، ففي حالة السد الهدار قليل الارتفاع وكمية المواد المحمولة مع التيار كبيرة يكون من الأفضل اعتبار ارتفاع المواد المترسبة مساوياً نسبة كبيرة من ارتفاع التخزين، كما أن ارتفاع المواد المترسبة يتعلق بوجود فتحات لطرد المواد المترسبة، كما في الشكل (4–51) أو عدم وجودها، حيث يؤخذ ارتفاع المواد المترسبة في حال وجود فتحات لطرد المواد

المترسبة $h_s = \frac{1}{3}P$، وفي السدود متوسطة الارتفاع والعالية يمكن أن يؤخذ $h_s = \frac{2}{3}P$ حيث:

P – ارتفاع جسم السد الهدار.

ويمكن أن تؤخذ مواصفات المواد المترسبة المؤلفة من حصويات ورمل وطين كقيمٍ تقريبية: $e = 0.30$ $\gamma_s^{'} = 1.1t/m^3$ $\varphi = 30^o$



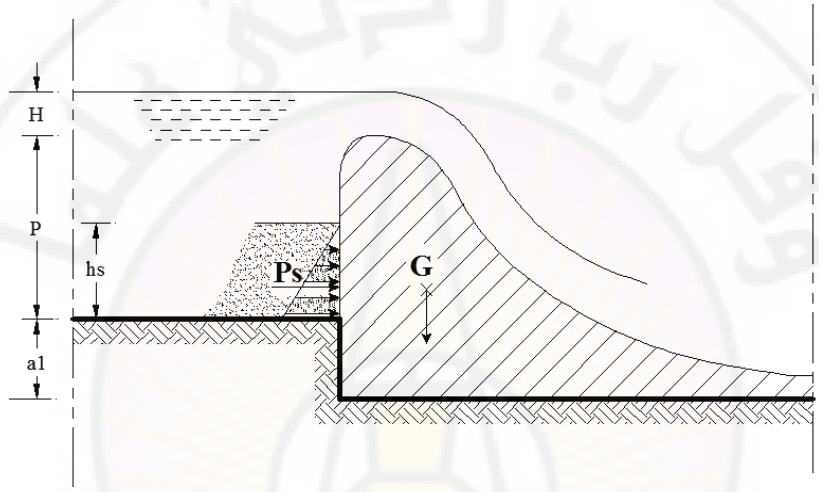
الشكل (4-51). فتحات طرد المواد المترسبة.

– **الحالة الثانية:** حبيبات الطمي ناعمة جداً، وهذا يحدث في السدود الهدارة العالية، وهنا تكون المواد المترسبة بصفاتها الميكانيكية أشبه بسائل، ويمكن أن تؤخذ مواصفاتها (كقيمٍ تقريبية): $e = 0$ $\gamma_s^{'} = 1.0t/m^3$ $\phi = 0^o$ ، وبالتالي تصبح قيمة قوة الدفع الناتجة عن الرواسب:

$$P_S = \gamma_s^{'} . \frac{h^2_s}{2} \qquad (89\text{-}4)$$

b- الواجهة الأمامية للمنشأة شاقولية:

في هذه الحالة تكون القوة الشاقولية الناتجة عن الوزن الذاتي لهذه المواد معدومة $S_v = 0$. ويتم، حساب محصلة الضغوط الأفقية فقط كما في العلاقات السابقة (القوة المؤثرة أفقية)، الشكل (4–52).



الشكل (4-52). الضغط الناجم عن المواد المترسبة (الواجهة الأمامية للمنشأة شاقولية).

9.4. 4 ضغط التربة الجانبي من الأمام والخلف تحت منسوب التأسيس:

تؤثر في جانبي المنشأة قوة أفقية (E_0 من الجهة الأمامية، E_u من الجهة الخلفية) كما هو واضح في الشكل (4-47) ناتجة عن دفع التربة تحت منسوب التأسيس، وتُحسب وفق علاقة رانكين، كما يأتي:

$$E_0 = (\frac{1}{2}) \cdot \gamma_s' \cdot a_1{}^2 \cdot K_a - c a_1 \sqrt{K_a} \qquad (90\text{-}4)$$

حيث:

a_1 – سماكة طبقة التربة (تحت منسوب التأسيس) المؤثرة في قاعدة المنشأة.

γ_s' – الوزن الحجمي المغمور لتربة التأسيس.

c – تماسك تربة التأسيس.

K_a – عامل الدفع الايجابي الفعلي للتربة:

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2}) \qquad (91\text{-}4)$$

حيث:

φ – زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة التأسيس.

وتؤثر في الوجه الخلفي للمنشأة قوة الدفع E_u، التي تُحسب كما في العلاقة السابقة، ولكن مع الوضع بالحسبان معامل الدفع السلبي للتربة، وغالباً ما يتم إهمالها لصالح الأمان.

9.5. 4 ضغوط الرفع المائية الشاقولية المؤثرة في قاعدة المنشأة:

1- التأسيس على قاعدة صخرية:

هنا سيتم التطرق لطريقة حسابية تقريبية، الشكل (53–4) في دراسة التأسيس على قاعدة صخرية تعتمد على الملاحظات الآتية:

1- يؤثر ضغط الماء فقط في المنطقة الموجود فيها الماء أسفل المنشأة، وقد وُجد بالتجربة أن المياه تشكل ضغطاً رافعاً شاقولياً على جزءٍ من القاعدة يراوح في المجال (0.4-0.9) من طول قاعدة المنشأة.
2- المياه تسير حسب الشقوق.
3- افتراض أن الضغط يؤثر في كامل القاعدة، وذلك لصالح الأمان.
4- لا يوجد في القاعدة الصخرية إمكانية للجرف الخطر بسبب التسرب.
5- يتغير الضغط خطياً ابتداءً من قيمة أعظمية في النقطة (1) يساوي (H_1)، وحتى قيمة أصغريه (H_2) عند النقطة (2).
6- لتخفيض قيمة الضغط الشاقولي تُحقن الشقوق بمحلول إسمنتي أو طيني إسمنتي يعمل على عرقلة حركة تيار الماء الراشح.

إن قيمة قوة الرفع المائية الشاقولية المؤثرة في قاعدة المنشأة تُعطى بالعلاقة:

$$W_s = (W_u + W_f) \cdot \alpha_2 \qquad (92\text{-}4)$$

حيث:

w_u– قوة دافعة أرخميدس، وتُعطى بالعلاقة:

$$W_u = \gamma_w \cdot H_2 \cdot L \qquad (93\text{-}4)$$

حيث:

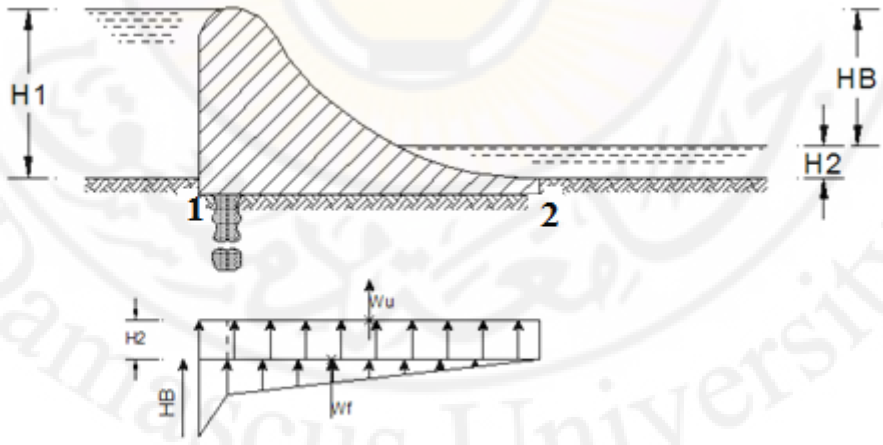
L – طول قاعدة المنشأة من الأسفل.

H_2 – ارتفاع الماء في الجهة الخلفية للمنشأة.

γ_w – الوزن الحجمي للماء.

W_f – قوة الرشح الناجمة عن التسرب عبر الشقوق وتمثل بمساحة مخطط ضغط الماء المتسرب.

إن قيمة ضغط الرشح تنخفض عند بئر الحقن، وتصبح $\alpha_1 \cdot H$، حيث $\alpha_1 = (0.3\text{-}0.5)$ و α_2 معامل السطح الفعال للتسرب، ويؤخذ في المجال $\alpha_2 = (0.4\text{-}0.9)$، وغالباً ما يؤخذ عند التصميم $\alpha_2 = 1$ لصالح الأمان.



الشكل (4-53). مخطط ضغط الرفع في حال أرضية التأسيس صخرية.

2- التأسيس على تربة كتيمة:

تقوم التربة الكتيمة بحجز الماء ضمن مساماتها، مما يؤدي إلى تشكيل ضغط شاقولي أسفل المنشاة يمكن أن يتغير خطياً ابتداءً من قيمة أعظمية CH_1 عند القدم الأمامية إلى القيمة الأصغرية CH_2 عند القدم الخلفية، الشكل (4-54) وتكون المحصلة العامة لضغط الرفع الشاقولي أسفل المنشأة مساويةً:

$$P = C \cdot L \cdot \frac{H_1 + H_2}{2} \qquad (94-4)$$

وهي مطبقة في مركز ثقل مخطط الضغط شبه المنحرف.

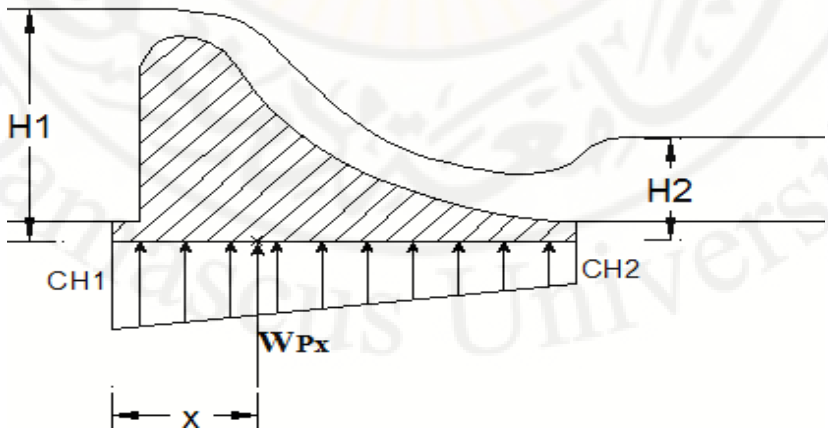
حيث:

C- معامل تتعلق قيمته بدرجة نفاذية الأرضية، وتراوح في المجال (0.5-1)، فعندما تكون الأرضية كتيمة جداً، والالتصاق كبيراً بين قاعدة المنشأة والأرضية، يؤخذ $C = 0.5$، وفي بعض الحالات يؤخذ $C = 1.0$ لصالح الأمان.

L – طول قاعدة الهدار.

على بعد X من القدم الأمامي يكون ضغط الرفع الشاقولي أسفل المنشأة مساوياً:

$$P_X = C \cdot H_1 - C \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot X \qquad (95-4)$$



الشكل (4-54). مخطط ضغط الرفع عندما تكون أرضية التأسيس كتيمة.

3- التأسيس على تربة نفوذة:

أولاً- بالاعتماد على شبكة الجريان:

يُحسب الضغط الناتج عن التسرب في النقاط الواقعة أسفل المنشأة بتجزئة قاعدة السد الهدار لمسافات متساوية تقريباً بعد رسم شبكة الجريان مع اعتبار نقطتين على طرفي الصفيحة المانعة للتسرب، كما في الشكل (4-55)، ولحساب الضغط الناتج عن التسرب في أي نقطة من القاعدة تُطبق العلاقة الآتية:

$$P_i = h \cdot (1 - \frac{n_d}{N_d}) + H_2 \qquad (96\text{-}4)$$

حيث:

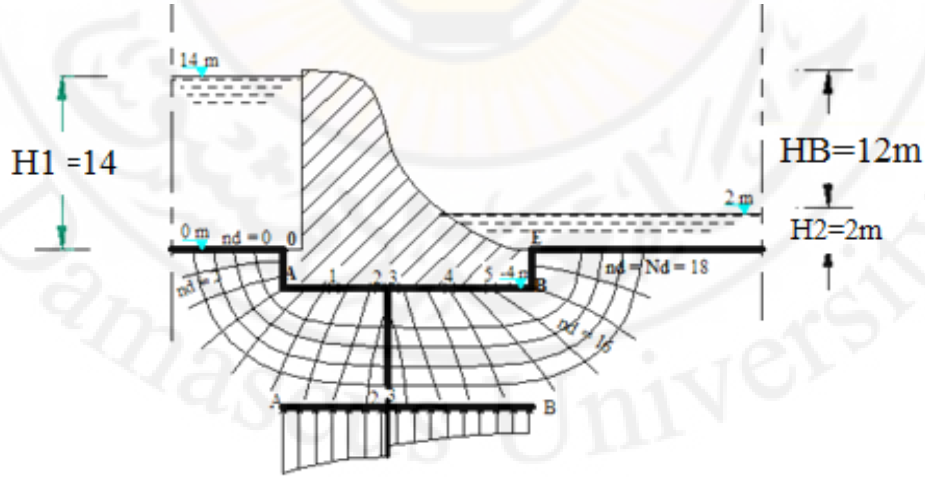
P_i – ضغط الرفع الشاقولي في أي نقطة.

N_d – عدد الهبوطات الكلية في الضاغط.

n_d – عدد الهبوطات اعتباراً من بداية القاعدة حتى النقطة المدروسة.

$h = H_B$ – فرق الضاغط أمام السد وخلفه.

H_2 – منسوب الماء خلف السد.



الشكل (4-55). طريقة حساب الضغط الناتج عن التسرب بطريقة شبكة الجريان.

من الشكل السابق، تأخذ العوامل السابقة القيم: N_d=18، H_2=2m، H_1=14m

ثانياً- بالاعتماد على الطرائق التقريبية لدراسة التسرب:

يكون الضغط المائي الشاقولي في نقطة ما تبعد بمقدار X عن نقطة البداية A الموضحة في الشكل (4-56) مساوياً:

$$P_x = H_1 - H_B \cdot \frac{x}{L_B} \qquad (97\text{-}4)$$

9.6.4 الحمولات الناجمة عن تأثير الهزات الأرضية (الزلازل):

يمكن هنا استخدام النظرية الستاتيكية للزلازل، بتحويل تأثير القوى الزلزالية إلى تأثير ستاتيكي مكافئ، ثم حساب الحمولات على أساس قوى ثابتة وليست متغيرة.

- المركبة الأفقية:

الزيادة في قيمة الضغط الساكن للمياه على الوجه الأمامي للمنشأة يحدث بفضل التسارع الزلزالي، الذي يُعطى بعلاقة ويستيرغراد:

$$P_e = C \cdot \alpha \cdot \gamma_w \cdot h \qquad (98\text{-}4)$$

حيث:

P_e - قيمة الزيادة في الضغط الساكن الناتج عن تأثير الزلزال T/m^2 .

α - التسارع الزلزالي.

γ_w - الوزن النوعي للماء.

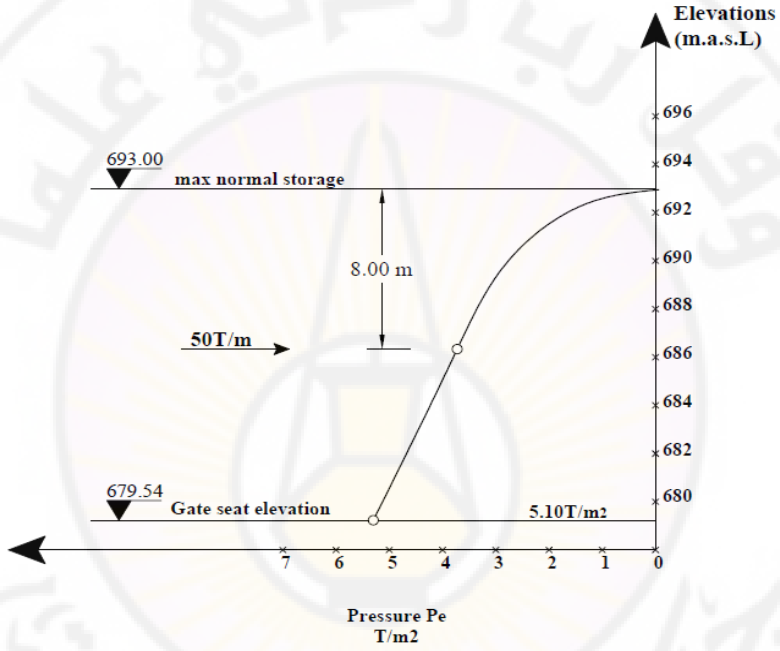
h - عمق الماء في المقطع المدروس.

C - معامل يتعلق بميل وجه المنشأة، ومنسوب النقطة المدروسة.

يوضح الشكل (4-56) كيفية الحل التخطيطي للمعادلة السابقة، ويعطى الشكل (4-58) تغير C كتابع لميل الوجه الأمامي، وللنسبة ($\frac{y}{h}$)، ويمكن هنا استخدام المعادلة الآتية لحساب قيمة المعامل C (في حالة تصميم السدود الصغيرة):

$$C = \frac{C_*}{2}\left[\frac{y}{h}\left(2-\frac{y}{h}\right)+\sqrt[2]{\left(\frac{y}{h}\right)+\left(2-\frac{y}{h}\right)}\right] \qquad (99-4)$$

من أجل $\psi = 0$ للشكل (4-55)، فإن $\frac{C_*}{2} = 0.365$.



الشكل (4-56). مثال عن كيفية الحل التخطيطي.

حيث:

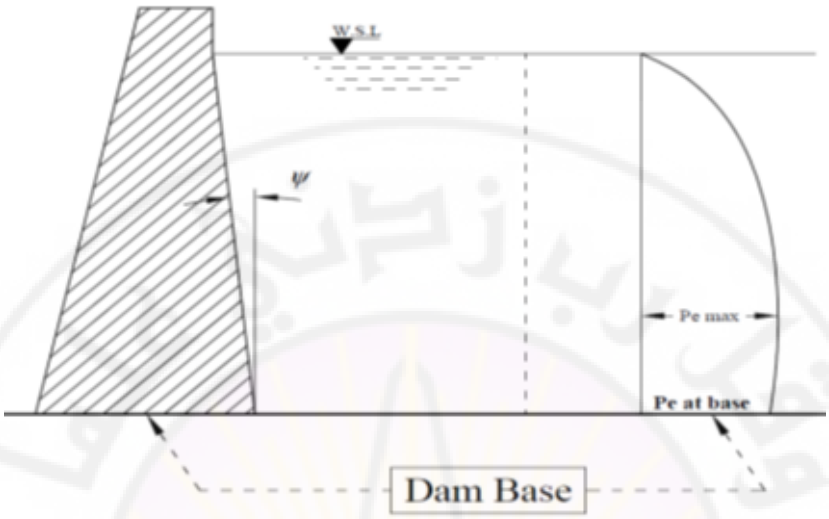
y– عمق الماء في المقطع المدروس.

قيمة القوة الكلية الأفقية F المؤثرة في البوابة تساوي:

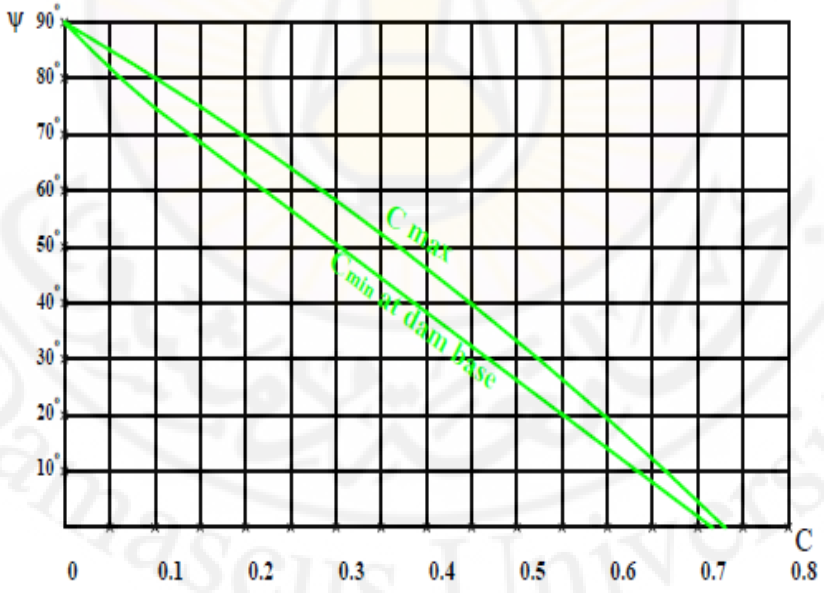
$$F = 0.726 \cdot P_e \cdot y \qquad (100-4)$$

ونقطة تطبيقها على البوابة على مسافة h_0 تحت السطح الحر للماء.

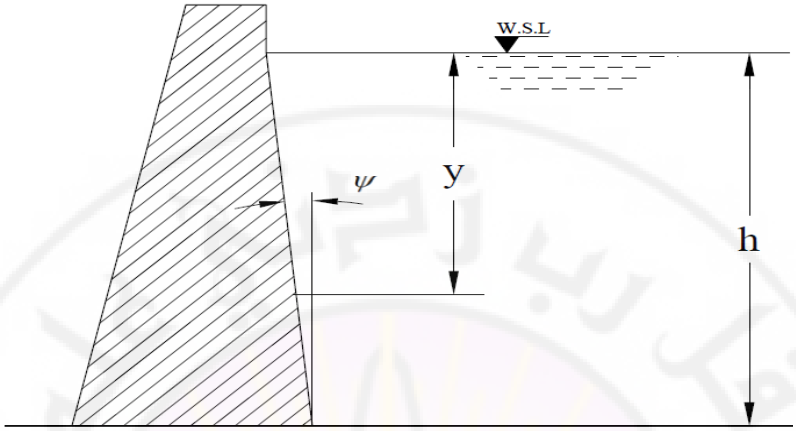
$h_0 = 0.59 \cdot y$ ، ويؤثر عزم القلب M على ارتفاع $M = 0.299 \cdot P_e \cdot y^2$.

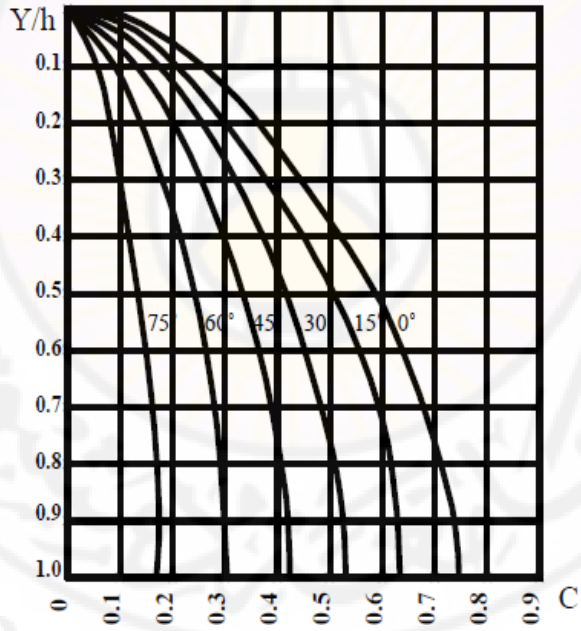


الشكل (4-57). مخطط الضغط.



الشكل (4-58). قيمة C كتابع لميل الوجه الأمامي.





الشكل (4-59). قيمة C كتابع لقيمة(y/h)، وزاوية ميل الوجه الأمامي.

الدفع الشاقولي:

- يُحسب الوزن الذاتي للمنشأة، ووزن الماء مع الوضع بالحسبان التسارع المناسب.

10. 4 دراسة توازن السد – الهدار:

بعد حساب القوى المؤثرة في السد الهدار، كما ذُكر سابقاً، يمكن تحديد هل السد مستقر أم لا؟ والتأكد من حساب الأبعاد، وذلك بدراسة استقرار السد على الانقلاب والانزلاق، والتحقق من قيم الإجهادات المنقولة إلى القاعدة.

10.1. 4 دراسة التوازن على الانقلاب:

مما سبق وُجد أن هناك قوى تحاول قلب المنشأة حول النقطة الأخطر (النقطة التي يمكن أن ينقلب حولها السد) وهناك قوى أخرى تعاكس هذه القوى، وتحاول منع الانقلاب، وحتى تكون المنشأة مستقرة يجب أن تكون عزوم القوى المقاومة للانقلاب أكبر من مجموع عزوم القوى المسببة للانقلاب بقيمة محددة.

تؤخذ هذه العزوم حول النقطة الأخطر، وتُميز هنا حالتان، الشكل (4–60):

1. إذا اعتُبر أن السد الهدار متصل مع حوض التهدئة، تكون النقطة الأخطر في نهاية حوض التهدئة.
2. إذا اعتُبر أن الهدار منفصل عن حوض التهدئة، تكون النقطة الأخطر عند نهاية جسم الهدار.

وتكون معادلة التوازن على الانقلاب:

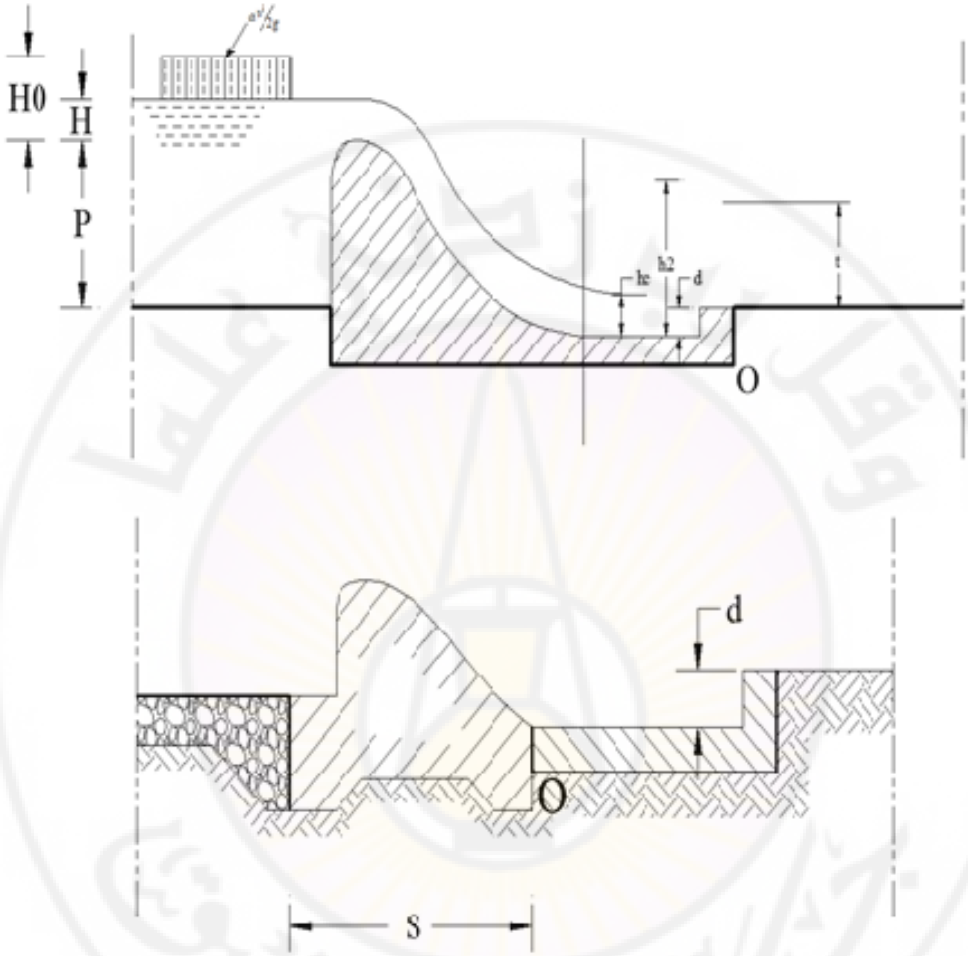
$$\sum M_s \geq K.\sum M_k \qquad (101\text{-}4)$$

حيث:

$\sum M_k$ – مجموع عزوم القوى المعاكسة للانقلاب.

$\sum M_s$ – مجموع عزوم القوى المسببة للانقلاب.

K – معامل أمان ضد الانقلاب (1.3-1.5).



الشكل (4-60). مخطط دراسة السد – الهدار على الانقلاب.

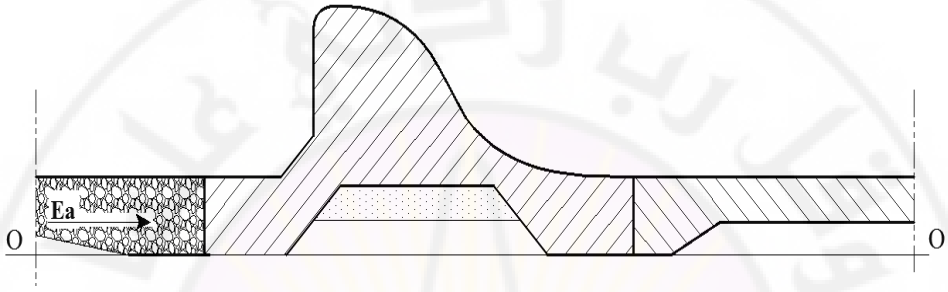
في حال عدم تحقق هذا الشرط يجب القيام بعددٍ من الإجراءات، منها:

- زيادة الوزن الذاتي (بزيادة سماكة حوض التهدئة مثلاً).
- تخفيض قيمة قوة الرفع الشاقولية أسفل المنشأة (بزيادة أطوال الستائر مثلاً).

10.2. 4 دراسة التوازن على الانزلاق:

يمكن حصول الانزلاق وفق سطحٍ أفقي أو سطح مائل.

1- مستوي الانزلاق أفقي:



الشكل (4-61). مستوي الانزلاق أفقي.

التأسيس على قاعدة صخرية:

يتعرض جسم السد الهدار هنا إلى محصلة القوى الشاقولية P المتجهة نحو الأسفل، ومحصلة القوى الأفقية Q التي تحاول زلق الجسم، وفي لحظة الانزلاق تتشكل قوى قص τ معاكسة لقوة الانزلاق. وباعتبار f معامل الاحتكاك الداخلي للتربة، ومحصلة قوى الرفع الشاقولية أسفل السد هي W_f، وفي لحظة الانزلاق يكون:

$$Q = f \cdot (P - W_f) \qquad (102\text{-}4)$$

وحتى لا ينزلق السد الهدار يجب أن تتحقق المتراجحة الآتية:

$$Q < f \cdot (P - W_f) \qquad (103\text{-}4)$$

وتُكتب العلاقة بالشكل الآتي:

$$K = f \cdot (P - W_f)/Q \qquad (104\text{-}4)$$

يتم إدخال قوى التماسك بين البيتون والتربة في قاعدة السد الهدار، فتصبح العلاقة:

$$Q = f \cdot (P - W_f) + C.L.1 \qquad (105\text{-}4)$$

حيث:

C – عامل التماسك.

$L.1$ – مساحة الشريحة (عرض الشريحة 1m).

$$K = \left[f \cdot (P - W_f) + C.L.1\right] / Q \geq (1.1 - 1.3) \qquad (106\text{-}4)$$

التأسيس على قاعدة ترابية:

بالنسبة للتربة يؤخذ $f = tg\varphi$

حيث:

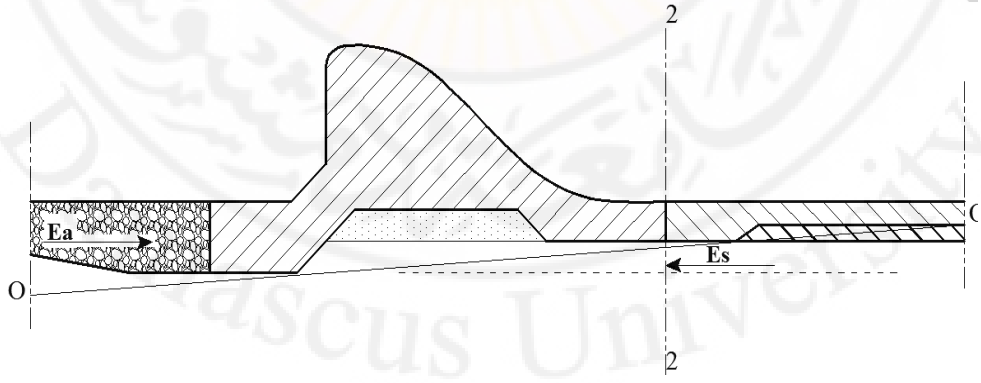
f – زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، فتصبح العلاقة السابقة على الشكل التالي:

$$K = \left[tg_{\phi} \cdot (P - W_f) + C.L.1\right] / Q \geq (1.1 - 1.3) \qquad (107\text{-}4)$$

هذا للترب غير المفككة، أما في حالة الترب الرملية المفككة $(C = 0)$، فيكون:

$$K = tg_{\varphi} \cdot (P - W_f) / Q \geq (1.1 - 1.3) \qquad (108\text{-}4)$$

2- مستوي الانزلاق مائل:



الشكل (4-62). مستوي الانزلاق مائل.

يجري الانزلاق في هذه الحالة على سطح القاعدة المائل بزاوية α، لذا تُحلل القوى المؤثرة في السد الهدار إلى مركبتين، الأولى موازية للقاعدة والثانية عمودية عليها، ويُحسب معامل الأمان مع الأخذ بعين الاعتبار أن ضغط المياه المتسربة يبقى نظاميا على سطح الانزلاق، وهنا يُلاحظ أن قيمة معامل الأمان تزداد، أي أن قيمة معامل الأمان على الانزلاق لسد هدار مقام على قاعدة مائلة أعلى من قيمة عامل الأمان على الانزلاق لسد هدار مقام على قاعدة أفقية، ويُسمى هذا الانزلاق: الانزلاق البسيط.

يوجد نوع آخر من الانزلاق يُسمى **الانزلاق المركب**، حيث يكون سطح الانزلاق محدداً بمقطعٍ دائري من تربة القاعدة (دوران مع جزءٍ من القاعدة)، ويجب أن تكون تربة الأساس غير صخرية، فيتم الانزلاق على شكل قوس دائري، ولكي يُحدد نوع الانزلاق يُحسب الإجهاد المنقول إلى تربة القاعدة، ويُقارن مع الإجهاد الحرج للتربة σ_r (المتعلق بنوع التربة)، فإذا كان $\sigma_B \succ \sigma_{cr}$ أو $\sigma_C \succ \sigma_{cr}$ فالانزلاق هو انزلاق بسيط، أما إذا كان $\sigma_B \prec \sigma_{cr}$ أو $\sigma_c \prec \sigma_{cr}$ فالانزلاق هو انزلاق مركب. ويُدرس الاستقرار كما يأتي:

- حساب القوة الناتجة عن وزن السد مع كل المنشآت الملحقة به (محصلة جميع القوى الشاقولية المتجهة نحو الأسفل) ولتكن P' . إيجاد نقطة تطبيقها
- حساب قيمة محصلة جميع القوى الشاقولية المتجهة نحو الأعلى ولتكن $P"$.
- إيجاد قيمة محصلة P' و $P"$ ولتكن P ، ثم زلقها حتى سطح الانزلاق، وتحليلها إلى مركبتين $T_1 = P \cdot Cos\alpha$ مماسة لسطح الانزلاق وذراعها R و $N_1 = P \cdot \sin\alpha$ ، وهي تمر من المركز فلا تعطي أي عزم. وأثناء الحركة تتشكل قوى قص معاكسة للحركة تتناسب مع القوى الضاغطة بعامل تناسب يساوي زاوية الاحتكاك للتربة $N \cdot tg\varphi$ وذراعها R تعطي عزماً مثبتاً للتربة.
- حساب محصلة القوى الأفقية المؤثرة، ولتكن Q وهي تعطي عزماً موجباً وذراعها هو r ثم تُحسب قيمة القوة الهيدروديناميكية الحركية W (الناتجة عن التسرب) وذراعها r_f.
- حساب وزن الكتلة الترابية G ، وزلقها للأسفل حتى قوس الانزلاق فتعطي قوة

ناظميه تساوي $G \cdot tg\varphi$ ، وهي تعطي عزماً مثبتاً وذراعها R وقوى الالتصاق على طول قوس الانزلاق الناجمة عن قوى القص تعطي عزماً مثبتاً، وهي $C \cdot L$ وذراعها هو R.

- يكون معامل الأمان k :

$$K = (N_1 \cdot tg\phi) \cdot R + (W \cdot tg\phi) \cdot R + (G.tg\phi).R + C.L.R / (T_1.R + G.r + W_f.r_f) \geq (1.2 - 1.3) \quad (109\text{-}4)$$

حيث:

C – معامل التماسك للتربة.

L – طول قوس الانهيار.

يتم تحديد مركز دائرة الانهيار بأخذ عدة مراكز لا على التعيين من (12-9) مركز، ثم حساب قيمة K لكل مركز (لكل دائرة انزلاق)، ويجب أن تكون كل القيم k محققة.

يعطي الجدول (4-6) الإجهادات الأعظمية المسموح بها لبعض أنواع الترب.

الجدول (4-6). الإجهادات الأعظمية المسموح بها لبعض أنواع الترب.

نوع التربة	σ (Kg/cm^2)	نوع التربة	σ (Kg/cm^2)
أرضية لحقيه تحوي من 30%إلى 70%	0.8-1.6	رمل مرصوص غير قابل للتفتيت	4.9-5.5
غضار رطب	1.6-2.2	رمل خشن مرصوص	6.5-7.6
غضار يحتوي على رمل ناعم	4.0-5.0	بحص قاسي	6.5-9.8
غضار أصفر	4.4-6.5	بحص مرصوص بشكل جيد	7.6-9.8
حوَّار لين ورطب	1.1-1.6	صخر	8.7-20
حوَّار يمكن تفتيته باليد	1.6-1.9		

يمكن أن يحدث انزلاق مشترك (سطحي وعميق) حيث يكون انزلاقاً سطحياً في جزءٍ

من القاعدة، وذلك في المنطقة الأمامية للسد، وفي الجزء الخلفي يجري انزلاق عميق (بعد منتصف السد) ولدراسة الانزلاق نستعيض عن محصلة القوى الشاقولية على جسم السد P بمخطط الإجهادات المؤثرة في القاعدة، وهنا تنقسم P إلى قسمين P_1 سوف تشارك بانزلاق سطحي و $(P-P_1)$ سوف تشارك بانزلاق عميق، وهنا نقارن الإجهادات بالإجهاد الحدي σ_{cr} في المنطقة التي تكون فيها قيمة الإجهادات أكبر من قيمة الإجهاد الحدي σ_{cr} سوف تشارك بانزلاق عميق (على شكل قوس من دائرة)، والمنطقة التي تكون فيها قيمة الإجهادات أصغر من قيمة الإجهاد الحدي σ_{cr} سوف تشارك بانزلاق سطحي.

4 .10.3 حساب الإجهادات:

4 .10. 3. 1 الإجهادات على قاعدة التأسيس:

تدخل في دراسة الاستقرار العام للمنشأة، لذلك يجب التحقق مما يأتي:

- الأبعاد كافية لاستقرار المنشأة أم لا؟
- المحصلة العامة لمختلف القوى المؤثرة في المنشأة تقع في الثلث المركزي للمقطع، أي أن الإجهادات المنقولة ليست إجهادات شادة (سالبة).
- الإجهادات المنقولة $\sigma_{\max}$ عند الجزء الخلفي من المنشأة أصغر من الإجهاد المسموح لتحمل التربة.

يجري التحقق من قيم الإجهادات بمساعدة العلاقة:

$$\sigma_{\max,\min}=\frac{\sum V}{L}\pm\frac{6\sum M}{L^2} \qquad (110\text{-}4)$$

حيث:

$\sum V$ – محصلة القوى الشاقولية.

M – مجموع العزوم حول مركز القاعدة.

L – عرض المقطع العرضي.

2. 3. 10. 4 الإجهادات ضمن جسم السد الهدار:

الإجهادات الناظمية σ:

يجب التأكد من أن الإجهادات في كل نقطة من جسم السد مسموح بها، ويتم اختيار مقاطع منتظمة (قدر الإمكان) على كامل جسم السد الهدار، ثم حساب القوى المؤثرة ومحصلتها لكل مقطع (المحصلة الشاقولية $\sum V$، ومحصلة القوى الأفقية $\sum H$، ومحصلة العزوم بالنسبة لمركز المقطع $\sum M$)، ثم حساب الإجهادات الشاقولية المؤثرة في نهايتي المقطع الأفقي من العلاقة:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum V}{L} \pm \frac{6\sum M}{L^2} \qquad (111-4)$$

حيث:

L – عرض المقطع العرضي المدروس.

يجب أن تكون الإجهادات المشار إليها سابقاً موجبة، أي لا يوجد إجهادات شد.

إجهادات القص τ:

إضافة للإجهادات الناظمية تؤثر في الواجهة الخلفية للهدار كونها مائلة (غير شاقولية)، وفي الواجهة الأمامية في حال كانت مائلة، وتُعطى قيمة هذا الإجهاد بالعلاقة:

$$\tau_{1,2} = \sigma_{1,2}.(1+tg^2\alpha) \qquad (112-4)$$

حيث:

$\sigma_{1,2}$ ـ الإجهاد الشاقولي المؤثر على النهاية الخلفية للمقطع المدروس.

تُحسب قيمة إجهاد القص عند بداية المقطع المدروس بالعلاقة:

$$\tau_1 = \sigma_1.(1+tg^2\alpha_1) \qquad (113-4)$$

$$\tau_2 = \sigma_2.(1+tg^2\alpha_2) \qquad (114-4)$$

حيث:

α_1 - زاوية ميل الوجه الخلفي على الشاقول وفي حال الوجه الخلفي شاقولي يكون $\tau_1 = \sigma_1$، وتحسب قيمة إجهاد القص عند نهاية المقطع المدروس بالعلاقة:

α_2- زاوية ميل الوجه الخلفي على الشاقول وفي حال الوجه الخلفي شاقولي أي $\alpha_2 = 0$ ، وتصبح المعادلة بالشكل التالي: $\tau_2 = \sigma_2$

يجب أن يكون الإجهاد المؤثر أقل من إجهادات القص المسموحة لمادة إنشاء الهدار، التي تؤخذ كالتالي:

- بناء حجري مع مونة إسمنتية 8-12 Kg/cm^2.
- بناء حجري مع مونة إسمنتية 12-30 Kg/cm^2.
- بناء بيتوني (يتعلق بعيار البيتون) 18 Kg/cm^2.

يجب التحقق من شرط عدم الانزلاق في كل مقطع أفقي، والشرط هو:

$$tg\varphi = \frac{\sum H}{\sum V} < f \qquad (115-4)$$

حيث:

f - عامل الاحتكاك بين المقاطع (0.65-0.75).

وفي حال عدم تحقيق الإجهادات يُلجأ إلى:

- تسليح المقاطع التي لم تتحقق فيها الإجهادات.
- زيادة الأبعاد الطولية للأقسام، التي لم تتحقق فيها الإجهادات (الزيادة تكون من جهة الوجه الأمامي للمنشأة، لأن زيادة الأبعاد من الوجه الخلفي الملامس للسان المائي تؤدي إلى إعطاء شكلٍ غير ملائم من الناحية الهيدروليكية).

10.4. 4 حساب المنشأة على الطفو:

تُحسب قيمة معامل الأمان على الطفو من العلاقة:

$$K = \frac{P}{W} \geq 1 \qquad (116-4)$$

حيث:

P – محصلة القوى الشاقولية المؤثرة في المنشأة (الضاغطة نحو الأسفل)، التي يخضع لها الجزء العلوي من المنشأة.

W – محصلة القوى الشاقولية الرافعة المؤثرة في الجزء السفلي من المنشأة.

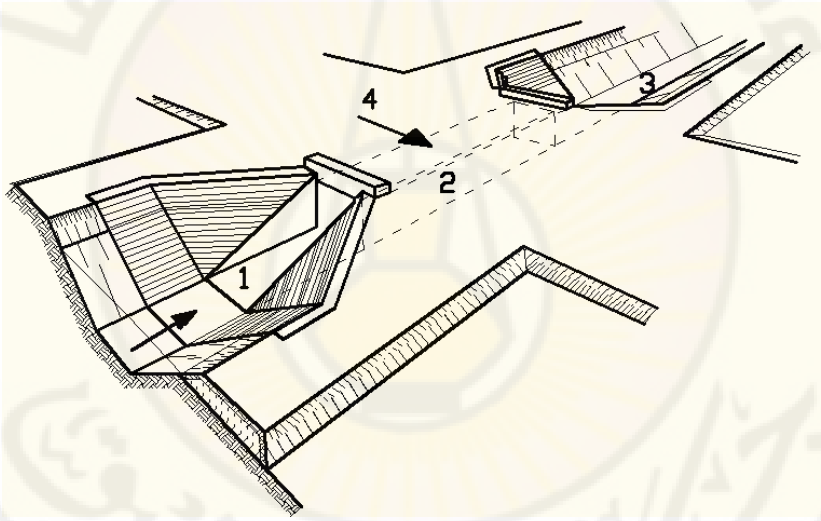
هذا الحساب غير ضروري في السدود لأن وزن المنشأة كبير جداً، وبالتالي تكون متوازنة مستقرة ضد الطفو.

الفصل الخامس

العبَّارة

1. 5 مقدمة:

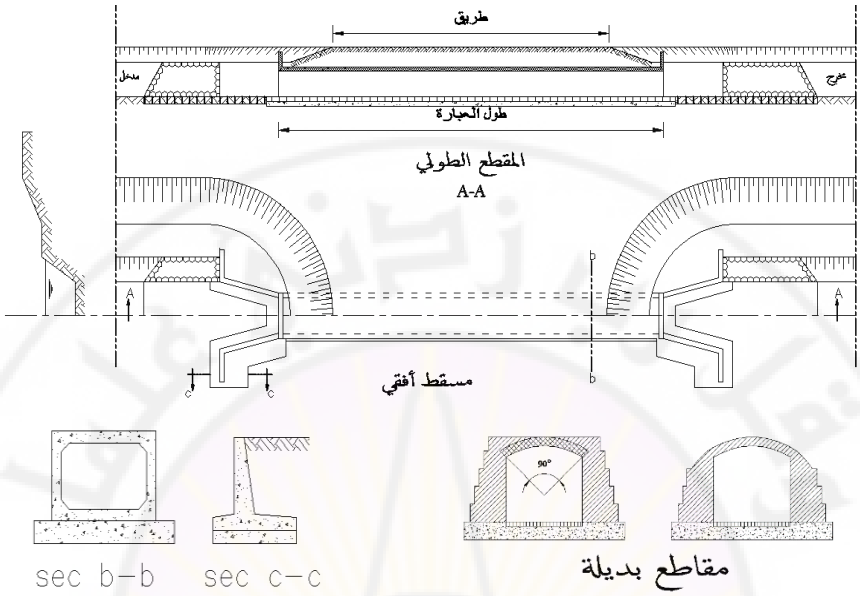
العبَّارة هي ناقل مائي يصل بين مجريين تحت ممر ترابي، أو تحت طريق، أو تحت سكة حديدية الشكل (5–1)، ويُلجأ إلى إنشائها عندما يكون الفرق ما بين منسوب المياه في المجريين صغيراً نسبياً.



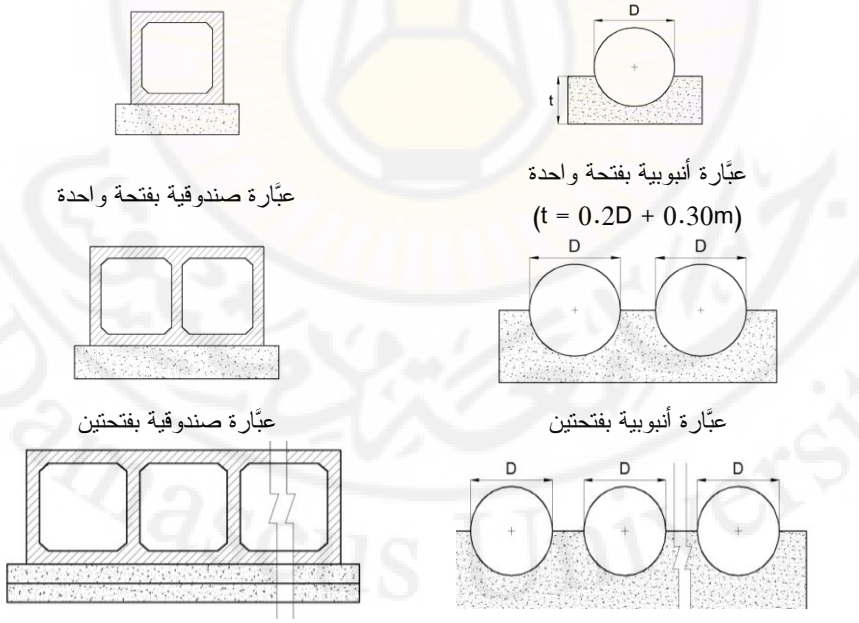
الشكل (5-1). منظر عام لعبَّارة.

1– مدخل العبَّارة، 2– جسم العبَّارة، 3 – مخرج العبَّارة، 4 – طريق زراعي.

يأخذ المقطع العرضي لجسم العبَّارة عادة شكلاً دائرياً، أو مربعاً، أو مستطيلاً فيُسمى في الحالة الأولى أنبوبياً، ويُنشأ من الفولاذ، أو من البيتون العادي، ويُسمى في الحالتين الثانية والثالثة صندوقياً، ويُبنى من البيتون المسلح، ويمكن أن يكون مكوناً من فتحة واحدة، أومن عدة فتحات، وذلك حسب غزارة المياه المطلوب تمريرها عبر العبَّارة. يُبين الشكل (5–2) مسقطاً أفقياً لعبَّارة، مع مقطع طولي، ومقطع عرضي لها، كما يوضح الشكل (5–3) أنواع المقاطع العرضية للعبَّارة.



الشكل (5-2). مسقط أفقي لعبَّارة، مع مقطع طولي، ومقطع عرضي لها.



الشكل (5-3). أنواع العبَّارات حسب شكل المقطع العرضي.

2. 5 تصميم العبّارة:

تشمل عملية التصميم إنجاز كلٍ من الدراسة المائية، والدراسة الإنشائية.

2.1. 5 الدراسة المائية:

تتضمن الدراسة المائية للعبَّارة تحديد الأمور الآتية:

- غزارة المياه الجارية ضمن العبَّارة.
- أبعاد المقطع العرضي للعبَّارة، واختيار عدد الفتحات، وحساب ارتفاع الماء عند مدخل العبَّارة.

1. 1. 2. 5 إيجاد غزارة الجريان للمياه التي تجتاز العبَّارة:

سيقُتصر هنا على إيجاد غزارة الجريان للمياه التي ستجتاز العبَّارة المستخدمة في مشاريع الري والصرف، وستُستبعد حالات العبَّارة التي تُستخدم خارج هذا النطاق.

يجري في الحالة المعتمدة للدراسة إيجاد غزارة الجريان Q المارة في المجرى قبل العبَّارة لتمريرها بذات القيمة إلى المجرى بعد العبَّارة، وبناءً عليه، فإن قيمة Q تُحسب وفق المعادلات التي تُحددها طبيعة الجريان في المجرى الأمامي الواقع قبل العبَّارة.

2. 1. 2. 5 تحديد أبعاد المقطع العرضي للعبَّارة، واختيار عدد الفتحات:

يمكن عملياً مصادفة حالات جريان مختلفة ضمن العبَّارات، وذلك حسب طول العبَّارة، وعمق الماء أمام العبَّارة وخلفها، والميل الطولي لقعرها، والطاقة الهيدروليكية المفقودة ضمن مجراها.

وبافتراض أن مقطع العبَّارة مغمور بالماء في الأمام والخلف، وأن الفرق بين منسوبي الماء في المنطقتين صغير، بحيث يُعد الجريان كما في حالة القنوات المكشوفة، وهو السائد على الأغلب ضمن عبَّارات مشاريع الري والصرف، فإنه يمكن حساب قيمة مساحة المقطع العرضي لجسم العبَّارة من العلاقة:

$$A = \frac{Q}{v_{cu}} \qquad (1\text{-}5)$$

التي فيها:

A – مساحة المقطع العرضي لجسم العبَّارة [m^2].

v_{cu} – سرعة جريان الماء ضمن العبَّارة [m/s]، وتُختار قيمتها بحيث تحقق الآتي:

$$3v_{DS} \rangle v_{cu} \rangle 2v_{DS} \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

v_{DS} – سرعة جريان المياه في المجرى خلف العبَّارة [m/s].

وتُتؤخذ قيمة سرعة جريان الماء ضمن العبَّارة عادةً ضمن المجال:

$$v_{cu} = 1.0 - 2.0 m/s \qquad (3\text{-}5)$$

بعد حساب قيمة المساحة A ، يُختار عدد نواقل العبَّارة، ثم يجري التحقق من صحة الحساب، ولهذه الغاية يجب تعيين قيمة الطاقة التي تُفقد أثناء جريان المياه في العبَّارة، وتؤدي إلى رفع منسوب سطح الماء أمامها، بحيث يتشكل فرق في الضاغط المائي Heading-up بين أمام العبَّارة وخلفها يُسمى الاختناق، ويُرمز له بالرمز Hup، وتُحدد قيمته من أجل عبَّارة أفقية مستقيمة بالعلاقة:

$$H_{up} = \frac{v^2_{ca.}}{2g}(k_r) + \frac{v^2_{cu.}}{2g}(k_{en}. + k_f + k_{ex}.) \qquad (4\text{-}5)$$

حيث:

$v_{ca.}$ – سرعة جريان الماء في القناة قبل العبَّارة [m/s].

v_{cu} – كما سبق، سرعة جريان الماء ضمن العبَّارة [m/s].

g – تسارع الجاذبية الأرضية [m/s^2].

k_r – معامل الفاقد في الضاغط عند الشبك المعدني، الذي يُركب أحياناً عند مدخل العبَّارة، لالتقاط الأشياء الطافية المحمولة مع المياه، مثل أغصان الأشجار، وتُحسب قيمته من العلاقة:

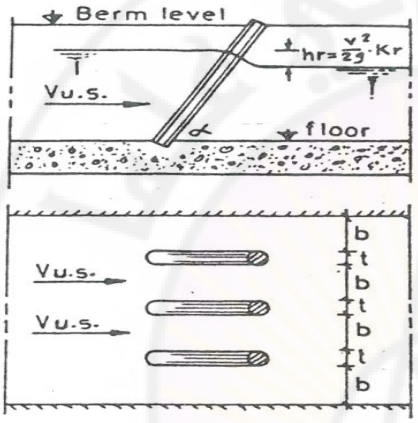
$$k_r = \varphi.(\frac{t}{b})^{4/3}.\sin\alpha \qquad (5\text{-}5)$$

التي فيها:

t و b و α - كما في الشكل (5-4)، و ϕ ثابت تُعطى قيمه حسب شكل المقطع العرضي لقضبان الشبكة الموضحة في الجدول (5-1).

الجدول (5-1).

المقطع العرضي لقضبان الشبكة المعدنية	ϕ
	2.42
	1.83
	1.79
	1.67
	1.03



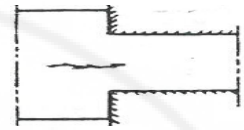
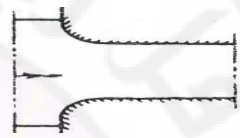
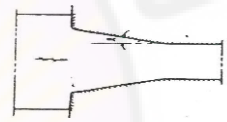
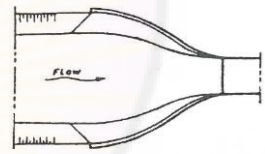
الشكل (5-4).

إن تأثير معامل الفاقد في الضاغط عند الشبك المعدني k_r عادة ما يُهمل بسبب صغر قيمة الفاقد في الطاقة الناتج عن الشبك، فلو اعتُبر مثلاً أن المقطع العرضي لقضبان الشبك المعدني دائري (ϕ=1.79)، وبافتراض t=2.0cm و b=33.0cm و $\alpha=60^0$ يكون حسب العلاقة (5-6) $k_r = 0.037$، وباعتبار أن سرعة جريان الماء في قناة الري قبل الدخول إلى جسم العبَّارة تساوي 0.60m/s، ينتج أن الفاقد في الضاغط بسبب الشبك المعدني عند المدخل يساوي:

$$h_r = k_r . \frac{v^2}{2g} = 0.037 . \frac{(0.60)^2}{2 \times 9.81} = 0.0006789m \qquad (6\text{-}5)$$

وهي قيمة صغيرة جداً يمكن إهمالها.

- k_{en} – معامل الفاقد في الضاغط عند مدخل العبَّارة، ويُحصل عليه تجريبياً، إما في المخبر أو في الحقل، وتُعطى قيمه حسب نوع المدخل من الشكل (5–5).

شكل مدخل او مخرج العبارة	معامل الفاقد في الضاغط عتد مدخل العبارة	معامل الفاقد في الضاغط عتد مخرج العبارة
	0.5	1
	0.20←0.06	1
	0.40←0.30	0.80← 0.70
	0.01← 0.05	0.2

الشكل (5-5). قيم المعاملين k_{en}. و k_{ex}. حسب شكل مدخل ومخرج العبَّارة.

k_f – معامل الفاقد في الضاغط بالاحتكاك على طول العبَّارة، وتُحسب قيمته بمساعدة الصيغة:

$$k_f = f.\frac{L}{R} \qquad (7\text{-}5)$$

التي من أجلها:

L – طول جسم العبَّارة [m].

R – نصف القطر الهيدروليكي لمقطع العبَّارة العرضي [m].

f – معامل خشونة السطح الداخلي للعبّارة، وتُحسب قيمته من العلاقة:

$$f = a.(1+\frac{b}{R}) \qquad (8\text{-}5)$$

التي فيها:

R – كما سبق، نصف القطر الهيدروليكي لمقطع العبَّارة العرضي [m].

a و b – ثابتان يتعلقان بنوعية المادة، التي يُنفذ منها جسم العبَّارة، وتُؤخذ قيمتهما من الجدول (5–2).

الجدول(5-2)

مادة تنفيذ جسم العبَّارة	قيمة الثابت (a)	قيمة الثابت (b) [m]
أنبوب معدني جديد ناعم	0.00497	0.0256
أنبوب معدني قديم أصابه الصدأ	0.00996	0.0256
ناقل بسطح داخلي من الإسمنت	0.00316	0.0305

k_{ex} – معامل الفاقد في الضاغط عند مخرج العبَّارة، وتؤخذ قيمته من الشكل (5–5) بدلالة نوع المخرج.

إن قيمة الاختناق Hup التي يُحصل عليها من العلاقة (5-4) يجب ألا تتجاوز حداً يمكن بسببه أن يحدث اضطراب في الجريان أمام العبَّارة، لذلك يُنصح بالقيم الحدية الآتية:

- Hup = 5.0–6.0cm ، في حالة قنوات الري الصغيرة.
- Hup = 15.0–20.0cm، في حالة قنوات الري الرئيسية أو الفرعية.

وإذا تجاوزت القيمة هذه الحدود، فإن حساب مساحة المقطع العرضي للعبَّارة **A** يجب أن يُعاد بافتراض قيمة جديدة لسرعة جريان الماء في العبَّارة v_{cu} تحقق الشرطين (5-2) و (5-3)، ثم حساب قيمة المساحة **A** المقابلة، وبعدها القيام بالتحقق مرة أخرى من قيمة H_{up}، وهكذا حتى تكون القيمة الناتجة واقعةً ضمن الحدود المطلوبة.

2.2.5 الدراسة الإنشائية:

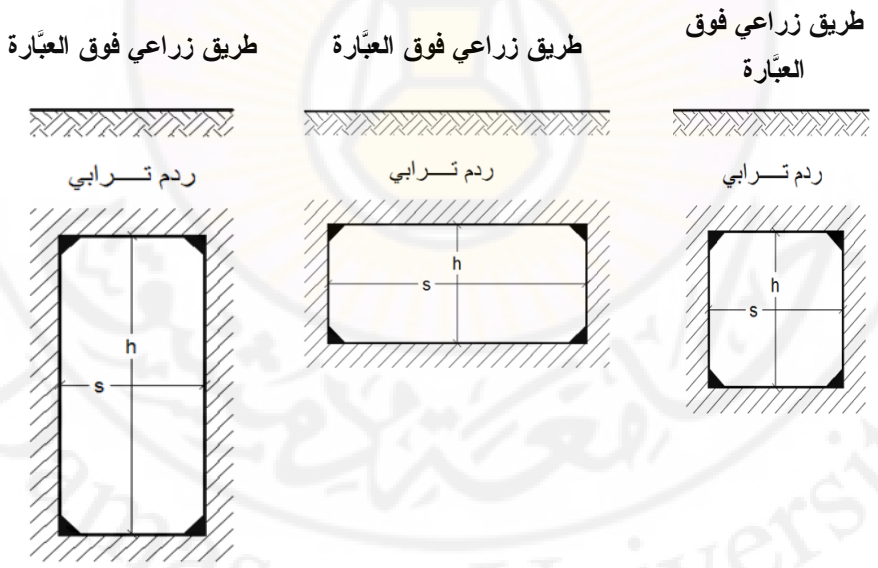
تتكون العبَّارة إنشائياً بشكل أساسي من العناصر الآتية:

- جسم العبَّارة.
- مدخل العبَّارة ومخرجها.

وبناءً عليه، فإن الدراسة الإنشائية لها تشمل:

I. التصميم الإنشائي للمقطع العرضي لجسم العبّارة، الذي يكون مكوناً كما ذُكر أعلاه من فتحة واحدة أو أكثر، ومنفذاً من مواد مختلفة، لكن سيقتصر التصميم هنا على العبَّارات الصندوقية من البيتون المسلح، والتي عادةً ما يأخذ المقطع العرضي لها واحداً من الأشكال المبينة في الشكل (5-5).

II. اختيار نوع جدران المدخل والمخرج، وتصميمها إنشائياً.



مقطع كثير الاستعمال	مقطع شائع الاستعمال	مقطع قليل الاستعمال
مربع **s = h**	مستطيل **s > h**	مستطيل **s < h**

الشكل (5-5). أشكال المقطع العرضي للعبَّارة الصندوقية.

I. التصميم الإنشائي للمقطع العرضي لجسم العبّارة:

يتضمن هذا التصميم تحديد الحمولات المؤثرة في جسم العبَّارة أولاً، ثم إيجاد قيم العزوم، وقيم الضغط، أو الشد المؤثرة في أضلاع المقطع العرضي لجسم العبَّارة، وأخيراً حساب التسليح المطلوب لهذه الأضلاع.

i. تحديد الحمولات المؤثرة في جسم العبَّارة:

تُؤخذ هذه الحمولات عادةً على شريحة بعرض 1.00m من طول جسم العبَّارة، وتضم:

أولاً- الحمولات الميتة:

تشمل الحمولات الميتة (g) كلاً من الوزن الذاتي للعبَّارة (g_1)، ووزن الردم الترابي فوقها (g_2)، أي أن: $g = g_1 + g_2$ ، وتُحسب قيمة الوزن الذاتي للعبَّارة باعتبار أن نصفه الأول يؤثر كقوة شاقولية موزعة بانتظام في محور ضلعها العلوي، ونصفه الثاني يؤثر كقوة شاقولية موزعة بانتظام أيضاً في محور ضلعها السفلي، وتُعطى شدته (t/m) من أجل عبارة بفتحة واحدة بالعلاقة الآتية:

$$g_1 = \frac{1}{2}.\frac{\text{wt.of culvert/m}}{\text{s}} = \frac{1}{2}.(2t_1.h + 2t_2.s).\frac{\gamma_c}{s} \qquad (9\text{-}5)$$

حيث:

γ_c – الوزن الحجمي للبيتون[t/m^3].

h و s – بعدا فتحة العبَّارة [m]، ويؤخذان كما في الشكل (5–6).

t_1 وt_2 – سماكتا أضلاع المقطع العرضي للعبَّارة الشاقولية والأفقية على التوالي [m]، وغالباً ما يكون، $t_1=t_2=t$، ويمكن مبدئياً افتراض قيمة t اعتماداً على الجدول (3–5).

أما بالنسبة لوزن الردم الترابي (g_2) فوق العبَّارة، فيؤخذ كحمولة موزعة بانتظام على كامل سطحها العلوي، وتُحدد شدتها(t/m) من أجل عبَّارة بفتحة واحدة بمساعدة الصيغة:

$$g_2 = \gamma_e.d.\frac{L_1 + L_2}{2L_2} \qquad (10\text{-}5)$$

التي فيها:

γ_e– الوزن الحجمي للردم فوق العبّارة [t/m]، وهو يتعلق بحالة التربة، وتُفرض قيمته كما يأتي:

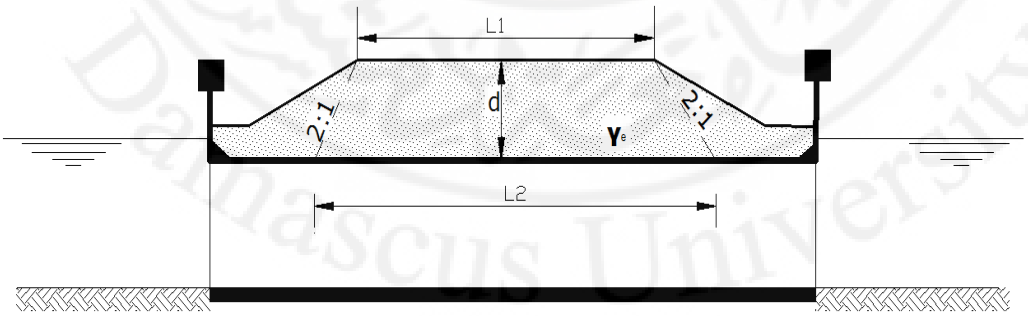
- $\gamma_e = 1.60\ t/m^3$ ، في حالة التربة الجافة.
- $\gamma_e = 1.80\ t/m^3$ ، في حالة التربة الرطبة.
- $\gamma_e = 2.00\ t/m^3$ ، في حالة التربة المشبعة.

d– عمق الردم الترابي فوق السطح العلوي لجسم العبّارة[m].

L_1 و L_2– كما في الشكل (5-6)،[m].

الجدول(5-3). قيم مقترحة لسماكة أضلاع المقطع العرضي للعبّارة t بدلالة بعدي فتحتها h و s.

بعدا فتحة العبَّارة (s×h) [m]	سماكة ضلع العبّارة (t) [cm]
1.00 × 1.00	20.00
1.50 × 1.50	25.00
2.00 × 2.00	30.00
2.50 × 2.00	35.00
3.00 × 3.00	35.00



الشكل (5-6)

مما سبق تكون الشدة الإجمالية للحمولة الميتة التي تؤثر في العبَّارة مساوية:

$$g = g_1 + g_2$$

ثانياً- الحمولات الحية:

تؤثر هذه الحمولات في الردم الترابي فوق جسم العبَّارة، وتكون إما على شكل قوة موزعةٍ بانتظام، تُؤخذ شدتها عادة في المجال $p'=(0.50\text{-}1.00)\ t/m^2$، وتنتقل إلى السطح العلوي للعبَّارة بشدةٍ $P_1\ [t/m^2]$ تساوي:

$$P_1 = p' . \frac{L_1}{L_2} \qquad (11\text{-}5)$$

حيث:

p' – كما سبق، شدة القوة الموزعة بانتظام فوق الردم الترابي $[t/m^2]$.

L_1 و L_2 – كما في الشكل (5–6)، [m].

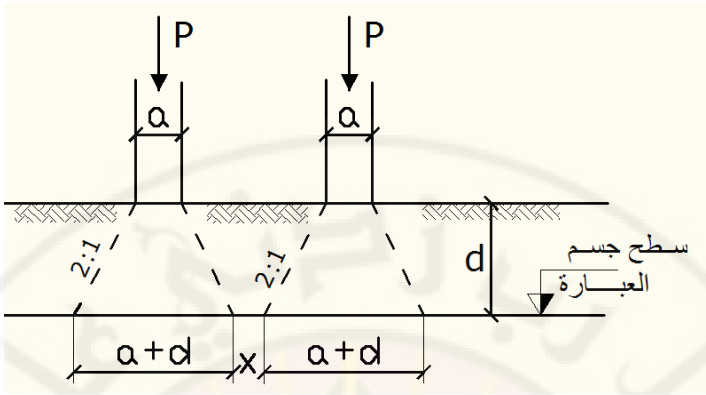
أو تكون على شكل قوة مركزة مقدارها P، وفي هذه الحالة يُفترض أن القوة P تنتقل إلى السطح العلوي لجسم العبّارة على مستويات ميلها 2:1 كما في الشكل (5–7)، وتُحسب شدتها $[t/m^2]$ حسب حالة القوة المركزة المؤثرة P:

أ- **حالة قوة مركزة واحدة:** تُعطى الشدة في هذه الحالة بالعلاقة:

$$P_2 = \frac{P}{(a+d).d} \qquad (12\text{-}5)$$

ب-**حالة قوتين مركزتين P+P:** يمكن في هذه الحالة حساب شدة الحمولة الحية المؤثرة في سطح العبّارة العلوي $P_2\ (t/m^2)$ وفق ما يأتي:

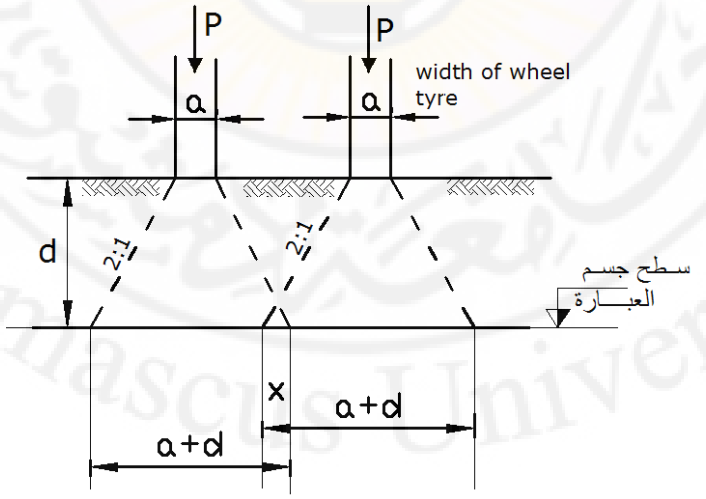
- **عندما يكون عمق الردم d صغيراً** (الشكل 5–7):



الشكل (5-7)

$$P_2 = \frac{2P}{[2(a+d)+x]d} \qquad (13\text{-}5)$$

- **عندما يكون عمق الردم d كبيراً نسبياً:** في هذه الحالة تتداخل مستويات انتقال القوتين المركزتين، كما في الشكل (5–8)، وتُحسب شدة القوة المؤثرة في سطح العبّارة من العلاقة:



الشكل (5-8)

$$P_2 = \frac{2P}{[2(a+d)-x].d} \qquad (14\text{-}5)$$

حيث:

P – كما سبق، قيمة القوة الحية المركزة [ton].

D – كما سبق، عمق الردم الترابي فوق السطح العلوي للعبَّارة [m].

x و a– كما في الشكل (5–8).

أخيراً تكون شدة الحمولة الحية التي تؤثر في جسم العبَّارة مساويةً:

$$P = P_1 + P_2 \qquad (15\text{-}5)$$

ثالثا– الحمولات الجانبية:

تضم هذه الحمولات الضغط الجانبي للتربة، والضغط الجانبي للماء في حال وجود مياه جوفية، والضغط الجانبي الناتج عن الحمولات الحية فوق سطح التربة.

تُقدر قيمة الضغط الجانبي للتربة المؤثر في جانبي المقطع العرضي للعبّارة عادة بمساعدة علاقة Rankin المعروفة:

$$p = \gamma_e.H.\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \qquad (16\text{-}5)$$

حيث:

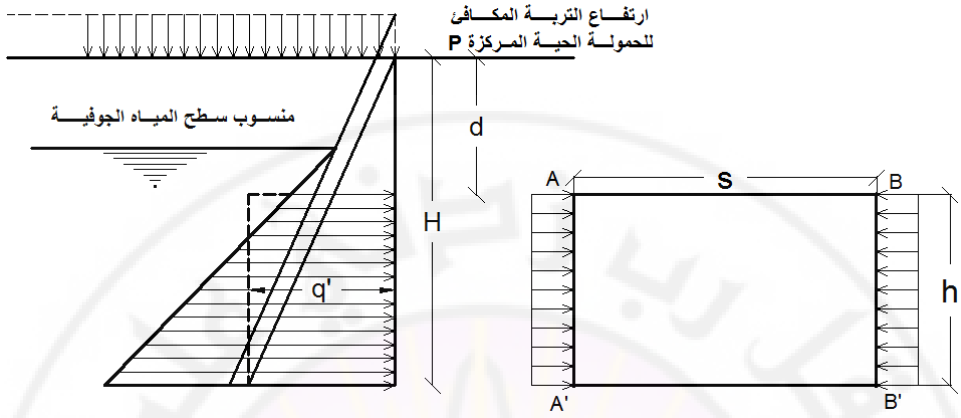
γe – الوزن الحجمي للتربة، ويأخذ القيمة $\gamma e=1.80 t/m^3$ في حالة التربة الجافة، ويُطرح من هذه القيمة المقدار $(1.00 t/m^3)$ إذا كانت التربة مشبعة بالمياه

H – ارتفاع المقطع الذي تُحسب عنده قيمة الضغط الجانبي للتربة[m].

Φ– زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، وتتعلق قيمتها بنوع التربة المحيطة بالعبّارة.

أي أن شدة حمولة الضغط الجانبي تساوي حسب الشكل (5–9):

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2}{2} \qquad (17\text{-}5)$$



الشكل (5-9).

رابعاً- وزن الماء ضمن العبّارة:

يُهمل لضآلة تأثيره من جهة، ولأن إهماله يُعد لصالح الأمان في الحسابات التصميمية للمقطع العرضي للعبَّارة من جهة أخرى.

خامساً- الحمولات الناتجة عن الضغط الداخلي للماء ضمن العبَّارة (الشكل 5-10):

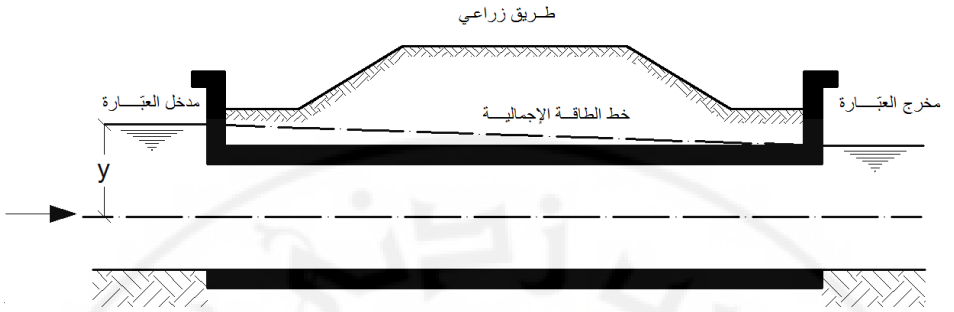
تُؤخذ هذه الحمولات بالحسبان في حالة العبَّارات المضغوطة فقط، ويُعد توزيعها في الحالة المدروسة منتظماً على كافة أضلاع المقطع العرضي للعبَّارة، وتساوي شدتها P [t/m^2]:

$$P = \gamma_w . y \qquad (18\text{-}5)$$

حيث:

γ_w – الوزن الحجمي للماء[t/m^3].

y – الفرق بين منسوب الماء عند مدخل العبَّارة، وبين منسوب المحور الأفقي المار من مركز المقطع للعبَّارة [m]، كما في الشكل (5-10).



الشكل (5-10)

ii. تحديد قيم العزوم وقوى الضغط أو الشد المؤثرة في أضلاع المقطع العرضي لجسم العبَّارة:

بعد تعيين الحمولات المؤثرة في جسم العبَّارة، وحساب قيم شداتها وفق الحالات المدروسة يمكن حساب قيم العزوم، وقوى الضغط أو الشد المؤثرة في أضلاع المقطع العرضي لجسم العبَّارة. وذلك وفق الحالات الآتية:

أ- **العبَّارة بفتحة واحدة** (الشكل 5-11):

بافتراض أن:

$$K = \frac{I_2}{I_1}.\frac{h}{s} \qquad (19\text{-}5)$$

حيث:

K – معامل صلابة المقطع العرضي لجسم العبَّارة.

h و s – بعدا المقطع العرضي لجسم العبَّارة [m]، كما في الشكل (5-11).

I_1 – عزم عطالة الضلع الشاقولي من المقطع العرضي لجسم العبَّارة حول المحور A` [m^4]، وتُعطى قيمته بالعلاقة:

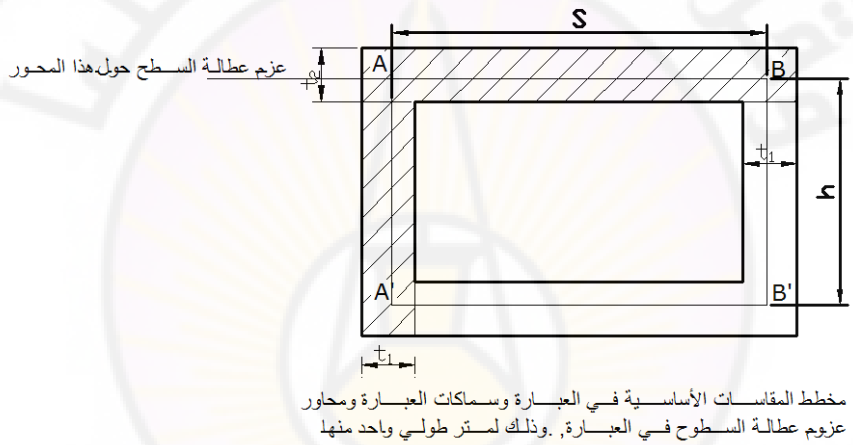
$$I_1 = \frac{h.t_1^3}{12} \qquad (20\text{-}5)$$

I_2 – عزم عطالة الضلع الأفقي من المقطع العرضي لجسم العبَّارة حول المحور [m^4] AB، وتُعطى قيمته بالعلاقة:

$$I_2 = \frac{s.t_2^{\,3}}{12} \qquad (21\text{-}5)$$

التي فيها:

h و s و t_1 و t_2 – كما في الشكل (5–11).



مخطط المقاسات الأساسية في العبارة وسماكات العبارة ومحاور عزوم عطالة السطوح في العبارة, وذلك لمتر طولي واحد منها

الشكل (5-11)

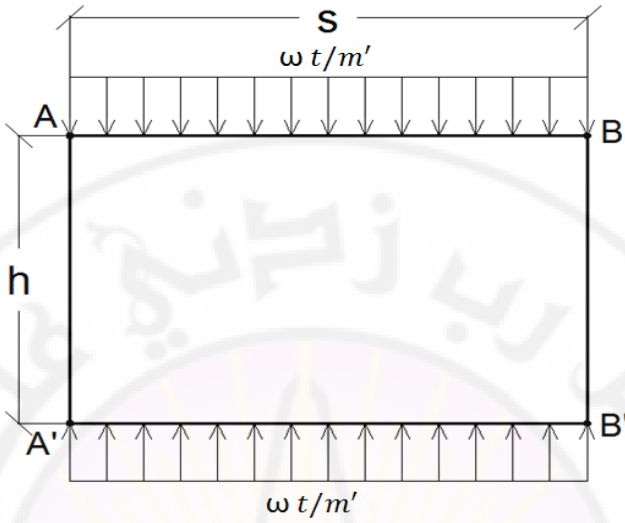
وباعتبار **w**(t/m) الشدة الكلية للحمولات الشاقولية المؤثرة، فإن قيم العزوم، وقوى الضغط أو الشد المؤثرة تُعطى كما يأتي (الشكل5-12):

$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = -\frac{w.s^2}{12}.\frac{1}{1+k} \qquad (22\text{-}5)$$

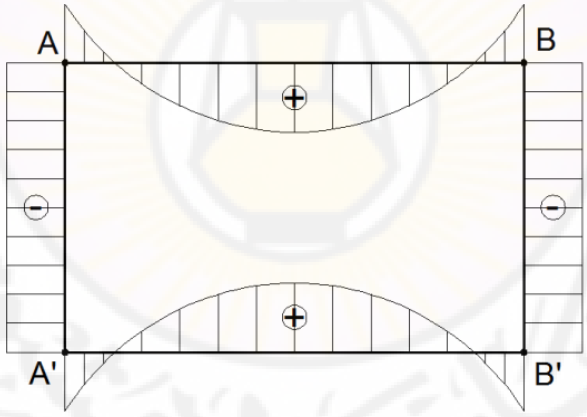
ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = -\frac{w.s^2}{24} \qquad (23\text{-}5)$$

$$M_{A-B} = M_{A'-B'} = \frac{w.s^2}{24}.\frac{1+3k}{1+k} \qquad (24\text{-}5)$$



مخطط توزع الحمولات الشاقولية المؤثرة في جسم العبَّارة



مخطط العزوم الناتج عن الحمولات الشاقولية المؤثرة في جسم العبَّارة

الشكل (5-12)

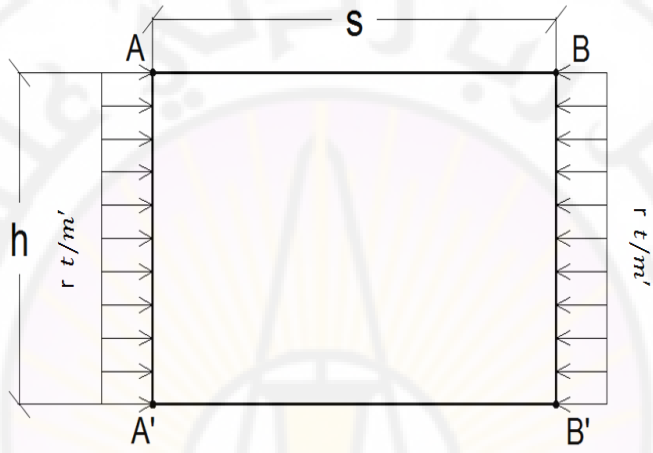
ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_{A-B} = M_{A'-B'} = \frac{w.s^2}{12} \qquad (25\text{-}5)$$

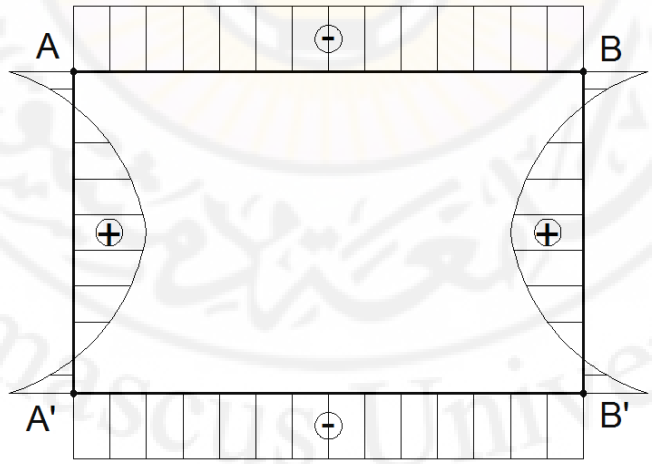
$$N_{A-B} = N_{A'-B'} = 0 \qquad (26\text{-}5)$$

$$N_{A-A'} = N_{B-B'} = -\frac{w.s}{2} \quad \text{(ضغط)} \qquad (27\text{-}5)$$

وباعتبار r(t/m) الشدة الإجمالية للحمولات الجانبية المؤثرة أفقياً في المقطـــــــع العرضي لجسم العبَّارة (الشكل 5-13) ينتج:



مخطط توزع الحمولات الأفقية المؤثرة في جسم العبَّارة



مخطط العزوم الناتج عن الحمولات الأفقية المؤثرة في جسم العبَّارة

الشكل (5-13)

$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = -\frac{r.h^2}{12}.\frac{k}{1+k} \qquad (28\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = -\frac{r.h^2}{24} \qquad (29\text{-}5)$$

$$M_{A-A'} = M_{B-B'} = \frac{r.h^2}{24}.\frac{3+k}{1+k} \qquad (30\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_{A-A'} = M_{B-B'} = \frac{r.h^2}{12} \qquad (31\text{-}5)$$

$$N_{A-B} = N_{A'-B'} = -\frac{r.h}{2} \qquad (32\text{-}5)$$

$$N_{A-A'} = N_{B-B'} = 0 \qquad (33\text{-}5)$$

أما بالنسبة للضغط الداخلي للماء (الشكل5-14)، فإن قيم العزوم، وقوى الضغط أو الشد تُعطى كما يأتي:

$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = \left(\frac{P.s^2}{12}.\frac{1}{1+k}\right) + \left(\frac{P.h^2}{12}.\frac{k}{1+k}\right) \qquad (34\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

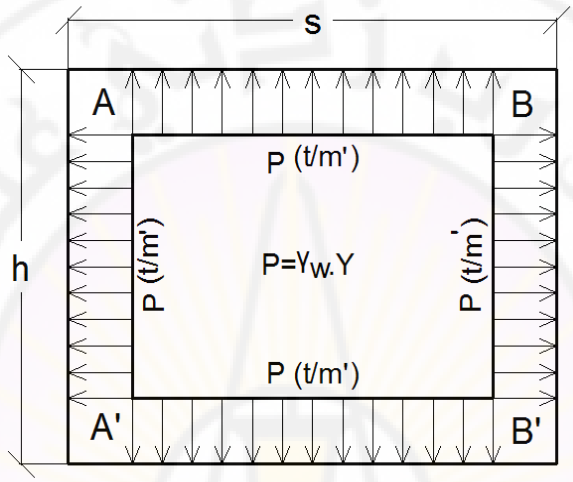
$$M_A = M_B = M_{A'} = M_{B'} = \left(\frac{P.s^2}{24}\right) + \left(\frac{P.h^2}{24}\right) \qquad (35\text{-}5)$$

$$M_{A-B} = M_{A'-B'} = -\left(\frac{P.s^2}{8} - M_A\right) \qquad (36\text{-}5)$$

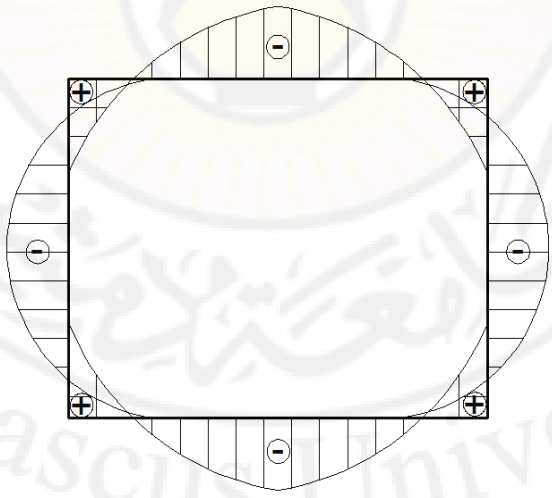
$$M_{A-A'} = M_{B-B'} = -\left(\frac{P.h^2}{8} - M_A\right) \qquad (37\text{-}5)$$

$$N_{A-B} = N_{A'-B'} = +\frac{P\ .h}{2} \qquad (38\text{-}5)$$

$$N_{A-A'} = N_{B-B'} = +\frac{P.s}{2} \qquad (39\text{-}5)$$



مخطط توزع الضغط الداخلي للماء

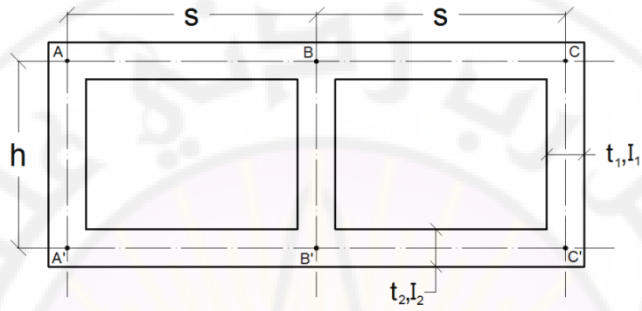


مخطط العزوم الناتج عن الضغط الداخلي للماء

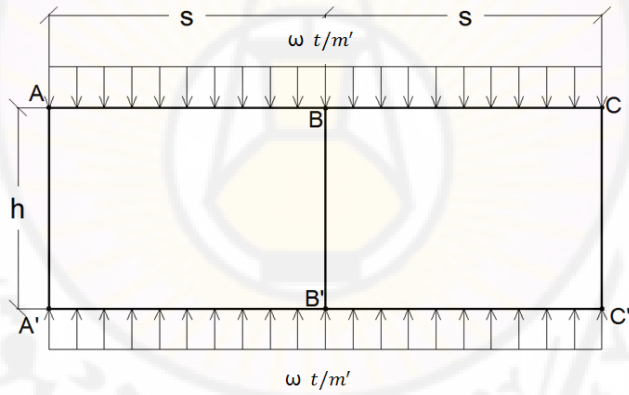
الشكل (5-14)

ب- العبارة بفتحتين متساويتين (الشكل 5-15):

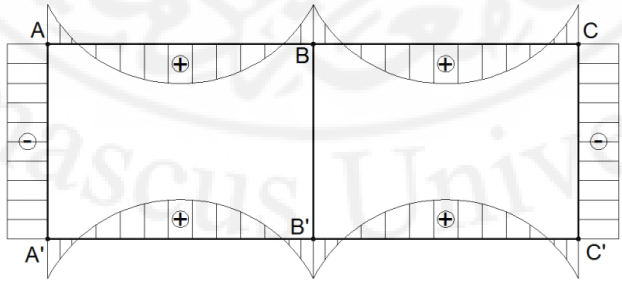
بافتراض صلابة المقطع العرضي لجسم العبّارة K، وباعتبار w(t/m) الشدة الإجمالية للحمولات الشاقولية المؤثرة في المقطع العرضي لجسم العبّارة (الشكلان 5-15 و 5-16)،



الشكل (5-15)



مخطط توزع الحمولات الشاقولية المؤثرة في جسم العبَّارة



مخطط العزوم الناتج عن الحمولات الشاقولية المؤثرة في جسم العبَّارة

الشكل (5-16)

فإن:

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = -\frac{w.s^2}{12}.\frac{1}{1+2k} \qquad (40\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = -\frac{w.s^2}{36} \qquad (41\text{-}5)$$

$$M_B = M_{B'} = -\frac{w.s^2}{12}.\frac{1+3K}{1+2k} \qquad (42\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_B = M_{B'} = -\frac{w.s^2}{9} \qquad (43\text{-}5)$$

$$M_{A-B} = M_{B-C} = M_{A'-B'} = M_{B'-C'} = +\frac{w.s^2}{24}.\frac{1+3k}{1+2k} \qquad (44\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_{A-B} = M_{B-C} = M_{A'-B'} = M_{B'-C'} = +\frac{w.s^2}{18} \qquad (45\text{-}5)$$

$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = -\frac{w.s^2}{12}.\frac{1}{1+2k} \qquad (46\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = -\frac{w.s^2}{36} = M_A \qquad (47\text{-}5)$$

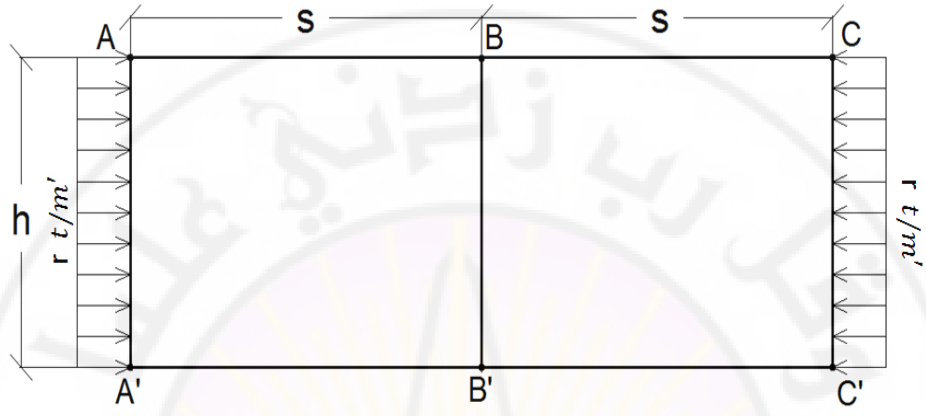
$$M_{B-B'} = 0 \qquad (48\text{-}5)$$

$$N_{A-B} = N_{B-C} = N_{A'-B'} = N_{B'-C'} = 0 \qquad (49\text{-}5)$$

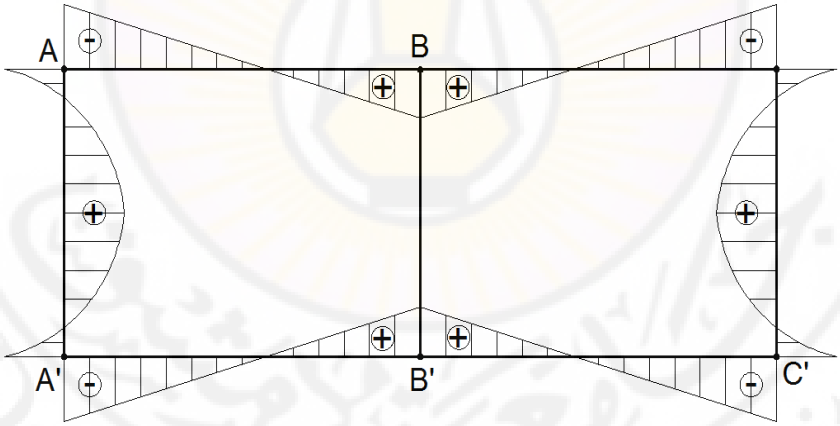
$$N_{A-A'} = N_{C-C'} = -0.40.(w.s) \text{ (ضغط)} \qquad (50\text{-}5)$$

$$N_{B-B'} = 1.20(w.s) \text{ (ضغط)} \qquad (51\text{-}5)$$

وباعتبار r(t/m) شدة الحمولة الجانبية الإجمالية المؤثرة أفقياً في المقطع العرضي لجسم العبَّارة (الشكل 5-17)، يكون:



مخطط توزع الحمولات الأفقية المؤثرة في جسم العبّارة



مخطط العزوم الناتج عن الحمولات الأفقية المؤثرة في جسم العبّارة

الشكل (5-17)

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = -\frac{r.h^2}{6}.\frac{k}{1+2k} \qquad (52\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = -\frac{r.h^2}{18} \qquad (53\text{-}5)$$

$$M_B = M_{B'} = +\frac{r.h^2}{12}.\frac{K}{1+2k} \qquad (54\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_B = M_{B'} = +\frac{r.h^2}{36} \qquad (55\text{-}5)$$

$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = +\frac{r.h^2}{48}.\frac{6+4k}{1+2k} \qquad (56\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ يكون:

$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = +\frac{10.r.h^2}{144} \qquad (57\text{-}5)$$

$$N_{A-C} = N_{A'-C'} = 0.50.r.h \qquad (58\text{-}5)$$

$$N_{A-A'} = N_{B-B'} = N_{C-C'} = 0 \qquad (59\text{-}5)$$

أما بالنسبة للضغط الداخلي للماء في العبّارة ذات الفتحتين المتساويتين، فإذا كان الجريان فيها مضغوطاً، فيكون موزعاً بانتظام، ويكون مخطط العزم الناتج كما في الشكل (5–18)، أما قيم العزوم، وقوى الشد أو الضغط، فتُعطى بالعلاقات الآتية:

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = \frac{P}{12}.\left[\frac{s^2 + 2k.h^2}{1+2k}\right] \qquad (60\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ و h=s يكون:

$$M_A = M_C = M_{A'} = M_{C'} = \frac{P.s^2}{12} \qquad (61\text{-}5)$$

$$M_B = M_{B'} = \frac{P}{12}.\left[\frac{s^2 + 3k.s^2 - k.h^2}{1+2k}\right] \qquad (62\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ و h=s يكون:

$$M_B = M_{B'} = \frac{P}{12}.\left[\frac{s^2 + 3k.s^2 - k.h^2}{1+2k}\right] = \frac{P.s^2}{12} \qquad (63\text{-}5)$$

$$M_{A-B} = M_{B-C} = M_{A'-B'} = M_{B'-C'} = -\frac{P}{24}.\left[\frac{s^2 + 3k.s^2 - k.h^2}{1+2k}\right] \qquad (64\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ و h=s يكون:

$$M_{A-B} = M_{B-C} = M_{A'-B'} = M_{B'-C'} = -\frac{P.s^2}{24} \qquad (65\text{-}5)$$

$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = -\frac{P}{48}\left[\frac{6h^2 + 4k.h^2 - 4s^2}{1+2k}\right] \qquad (66\text{-}5)$$

ومن أجل $k = 1.0$ و h=s يكون:

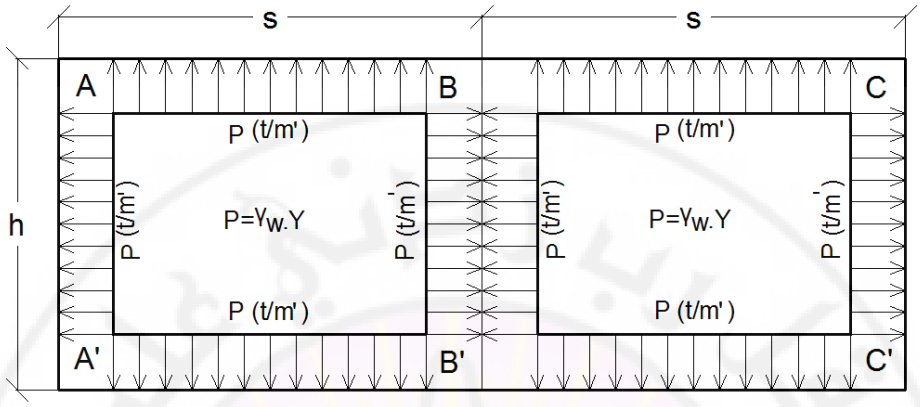
$$M_{A-A'} = M_{C-C'} = -\frac{P.s^2}{24} \qquad (67\text{-}5)$$

$$N_{A-A'} = N_{C-C'} = 0.40.(P.s) \qquad (68\text{-}5)$$

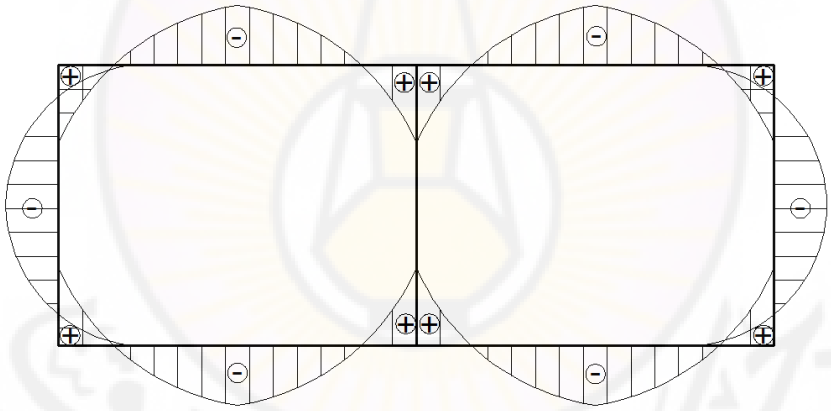
$$N_{B-B'} = 1.20(P.s) \qquad (69\text{-}5)$$

$$N_{A-B} = N_{B-C} = N_{A'-B'} = N_{B'-C'} = 0.50.(P.h) \qquad (70\text{-}5)$$

من المفيد الإشارة إلى أن الضلع المتوسط في العبّارة الصندوقية ذات الفتحتين المتساويتين لا يخضع لأي عزم انعطاف نتيجة حالتي التحميل الشاقولية، أو الأفقية الموزعة بانتظام، وهذا ما يفيد بالدراسة الإنشائية للعبّارات الصندوقية متعددة الفتحات لجهة إمكانية معاملة أضلاعها المتوسطة كمساند شاقولية.



مخطط الضغط الداخلي للماء



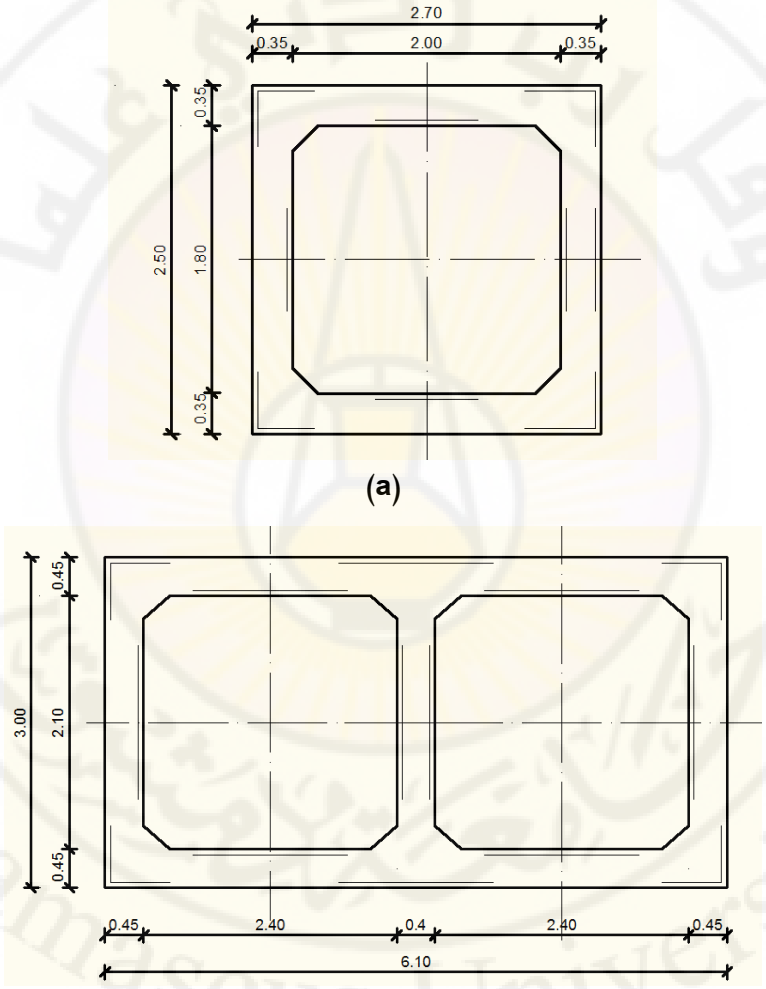
مخطط العزوم الناتج عن الضغط الداخلي للماء

الشكل (5-18)

2.1.I. حساب تسليح العبَّارة الصندوقية:

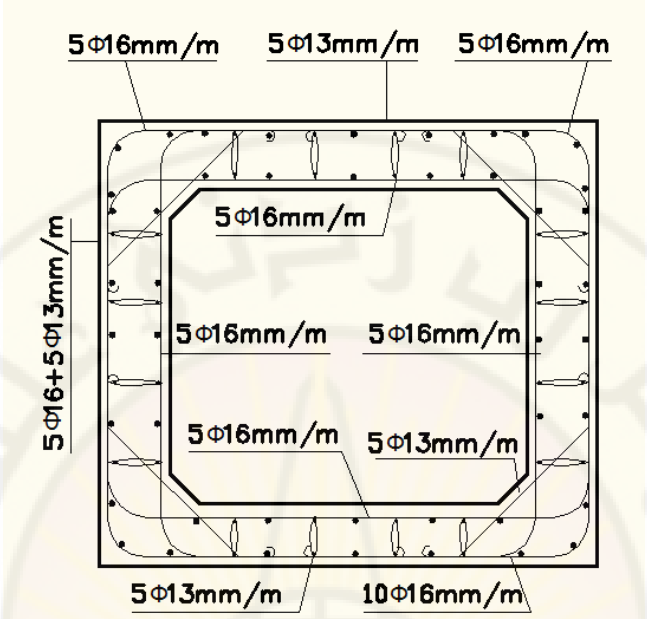
بعد تحديد القوى والعزوم الناتجة عن حالات التحميل، التي يخضع لها جسم العبَّارة يجري حساب قيمها الأعظمية (مغلف العزوم) وفق هذه الحالات من أجل حساب حديد التسليح المطلوب، بمساعدة إحدى الطرائق المستخدمة في البيتون المسلح، وذلك لشريحة مترية واحدة من طول جسم العبَّارة، ثم يُعمم التسليح على كامل الطول.

يُبين الشكل (5–19) مثالاً عن أماكن توضع حديد التسليح في المقطع العرضي من جسم عبَّارة صندوقية، ويبين الشكل (5–20) كمية وطريقة توزيعه، مع الإشارة بطبيعة الحال إلى أن كمية التسليح تختلف من عبَّارة لأخرى حسب أبعادها، ومناسيب تأسيسها.

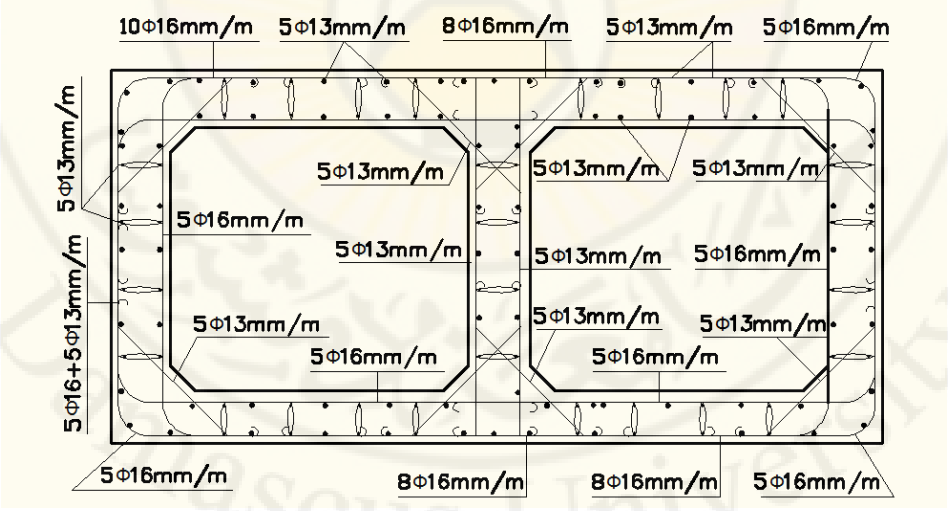


الشكل (5-19)، مثال عن أماكن توضع حديد التسليح في المقطع العرضي لجسم عبَّارة صندوقية.

a) عبارة بفتحة واحدة، **b)** عبارة بفتحتين.



(a)



(b)

الشكل (5-20)، مثال عن كمية وتوزيع حديد التسليح في المقطع العرضي، لجسم عبَّارة صندوقية.

a) عبارة بفتحة واحدة، **b)** عبارة بفتحتين.

II. اختيار نوع جدران مدخل العبّارة ومخرجها، وتصميمها إنشائياً:

إن جدران المدخل والمخرج للعبَّارة هي عبارة عن جدران استنادية عادية تكون على شكل أجنحة تُنفذ عادة من البيتون المسلح المصبوب بالمكان في حالة العبَّارات الكبيرة، ومن البيتون مسبق الصنع في حالة العبَّارات الصغيرة. وتأخذ في المسقط الأفقي أشكالاً مختلفة.

ويؤثر اختيار شكلي المدخل والمخرج في المسقط الأفقي في انتقال الجريان من قناة الري إلى العبَّارة عند المدخل، ومن العبَّارة إلى القناة عند المخرج. كما أنه يؤثر في قيمة الفواقد الهيدروليكية الحاصلة عند الدخول إلى العبَّارة والخروج منها.

تُصمم جدران الأجنحة عادةً لتقاوم الحمولات الآتية:

- الوزن الذاتي للجدار.
- الضغط الجانبي لتربة الردم خلف الجدار.
- الضغط الجانبي للمياه في القناة عند المدخل والمخرج. ويمكن إهمال تأثيره لصالح الأمان.
- الضغط الجانبي للمياه الجوفية في حال وجودها.
- قوة الرفع المائي المتجهة نحو الأعلى.
- الحمولات الحية التي تتحرك فوق الجدار، وفوق الردم الترابي.
- يجب عند التصميم وضع الاعتبارات الأساسية الآتية بالحسبان :
  - التوازن ضد الانزلاق: يؤخذ إجهاد الانزلاق بحيث تكون قيمته ضمن المجال μ=0.20-0.40 من الإجهاد الناظمي المطبق.
  - التوازن ضد الانقلاب: يُؤخذ معامل الأمان في هذه الحالة مساوياً 1.50.
  - قيمة الإجهادات الناظمية المطبقة عند أساسات الجدار أقل من قيمة الإجهاد المسموح به لتربة الأساس.
  - محصلة القوى المؤثرة في الجدار واقعة ضمن الثلث المتوسط من قاعدة الجدار الاستنادي.

2.3.5 الخطوات الأساسية لتصميم عبَّارة صندوقية من البيتون المسلح:

يشمل تصميم وتنفيذ عبَّارة صندوقية من البيتون المسلح عادة الخطوات الرئيسية الآتية:

أ. القيام بالدراسة المائية للعبَّارة.

ب. القيام بالدراسة الإنشائية للعبَّارة.

ت. رسم المسقط الأفقي للعبَّارة (نصف التراب مرفوع)، مع المقاطع الطولية والعرضية اللازمة.

ث. وضع كافة التفاصيل الإنشائية المطلوبة لحسن التنفيذ، مثل فواصل الإنشاء، وجداول التسليح، وغيرها.

ج. تقدير كميات الأعمال المطلوبة لتنفيذ مشروع العبَّارة.

ح. حساب الكلفة الإجمالية لإنجاز أعمال المشروع.

خ. وضع دفتر الشروط الفنية الخاصة بالمشروع، وتحديد البرنامج الزمني لتنفيذ أعماله.

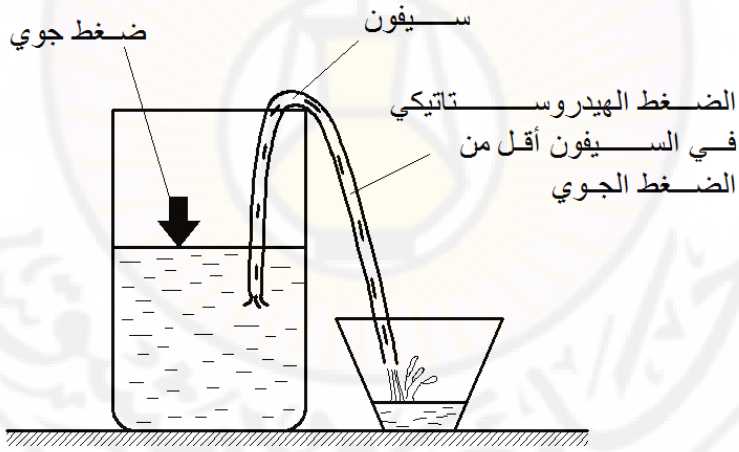
د. إرفاق كافة الدراسات والرسومات والمستندات السابقة بدفتر الشروط الحقوقية، ودفتر الشروط الفنية العامة، وأي دفاتر أخرى تتصل بالمشروع.

الفصل السادس

السيفون المقلوب

1. 6 مقدمـــة:

السيفون **Siphon** كلمة يونانية تعني الأنبوب. وهو بالفعل عبارة عن أنبوب منحنٍ بنهاية قصيرة، تُغمر في خزان مملوء بسائلٍ ما، بحيث يجري السائل من الخزان مجتازاً عائقاً فوق خط التدرج الهيدروليكي للسائل الموجود في الخزان (الشكل 6-1)، أما في اللغة العربية فكلمة السيفون يقابلها المِمَص أو المثقب أو السحارة، لكن الشائع في معظم المراجع العربية استخدام كلمة سيفون، كما في الأصل.



الشكل (6-1)

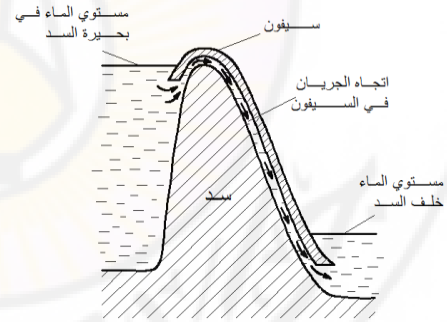
إن شرط الجريان ضمن السيفون هو أن يكون على كامل مقطعه العرضي، ويتحقق ذلك عندما يُفرَّغ تماماً من الهواء قبل جريان السائل فيه، إذ إن السائل الجاري في الأنبوب يرتفع فوق السطح الحر للسائل الموجود في الخزان تحت تأثير الضغط الجوي، ثم يبدأ الانسياب باتجاه النهاية الأخفض للأنبوب.

إن الارتفاع الأعظمي النظري الذي يمكن أن يصل إليه السائل عبر السيفون فيما لو كان

ماءً هو 10m فوق السطح الحر للماء الموجود في الخزان.

تُستخدم السيفونات في حياتنا اليومية أحياناً لنقل السوائل من إناء إلى آخر، كما في حالة الماء، أو الوقود مثلاً. أما هندسياً فاستعمالاتها محدودة نسبياً، وتقتصر على بعض الحالات كاللجوء إليها في تصميم السدود، لتصريف المياه الفائضة عن حجوم بحيراتها (الشكل6-2)، أما استخدامها في القنوات الاصطناعية لأغراض الري (الشكل6-3)، فيعاني من صعوبات كثيرة، بسبب تسرب الهواء الخارجي إليها، وتجمعه مع الغازات المنحلة في الماء عند قمتها، والحيلولة دون تدفق المياه فيها.

ومن المفيد الإشارة هنا إلى واجب التمييز ما بين السيفون، والسيفون المقلـــوب Inverted* Siphon، الذي يُلجأ إليه لتمكين القنوات الناقلة للمياه من اجتياز العوائق التي تعترض مساراتها سواء كانت طبيعية أم اصطناعية كالأنهار، والمنخفضات، والوديان، وطرق المواصلات، و..... الخ (الشكل6-4).



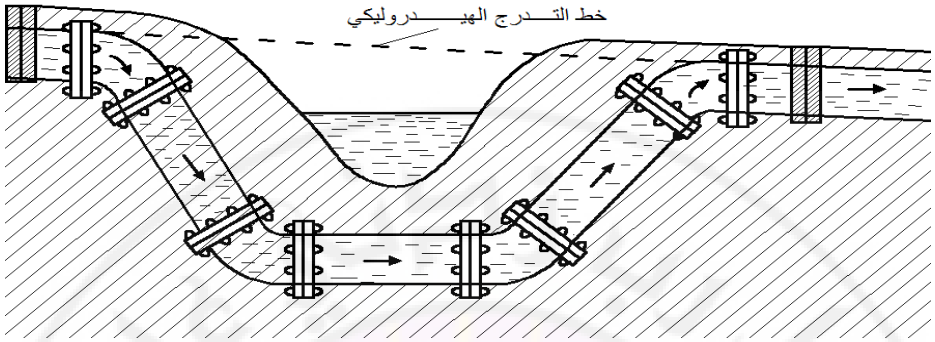
الشكل (6–2). استخدام السيفون في السدود، لتصريف مياه الفيضانات.



الشكل(6–3). استخدام السيفون في قنوات الري.

---

* للتفريق أحياناً ما بين السيفون، والسيفون المقلوب باللغة الإنكليزية، فإن الأول يُكتب **Siphon**، أما الثاني فيُكتب بعد استبدال حرف (i) في الأول بالحرف (y) ليصبح **Syphon**، أو يمكن كتـــابة **Inverted Siphon**. أما في اللغة العربية فلا ملاذ من إلحاق كلمة «**المقلوب**» بكلمة السيفون لتمييز الثاني عن الأول.



الشكل (6-4). سيفون مقلوب.

2. 6 السيفون المقلوب:

غالباً ما تتقاطع مسارات القنوات المصممة لأغراض مختلفة مع نهرٍ، أو وادٍ، أو منخفضٍ، أو طريقٍ، أو خط سكة حديدية، أو غير ذلك. وعندها لابد من العمل على توفير الظروف، التي تؤمن اجتياز مسار القناة لهذه العوائق بأمان، ودون التعرض لوظيفة القناة، أو المساس بالحياة الاقتصادية، والأحوال البيئية لمناطق الجوار، ويتم ذلك بمساعدة منشآت مائية متعددة. فعند تقاطع مجريين مائيين مثلاً، يمكن الاستعانة بأحد الحلول الثلاثة الآتية:

أ- إقامة سيفون مقلوب.

ب- بناء جسر مائي.

ت- إنشاء عقدة مائية أفقية.

إن اللجوء للحل الثالث نادر من الناحية العملية، أما بالنسبة للحلين الباقيين، فإن اختيار أحدهما، يتعلق بجملة من العوامل، أهمها:

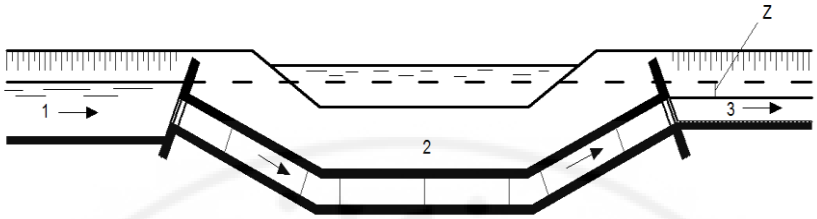
- الفرق بين منسوبي المياه ضمن المجريين المتقاطعين.
- الظروف الخاصة السائدة في منطقة التقاطع.
- الاعتبارات الاقتصادية.

ويمكن بصورة عامة تفضيل السيفون المقلوب على الجسر المائي في الحالات التالية:

- التقاطع مع وادٍ عريضٍ ومنبسط.
- القبول بفرقٍ كبير في مناسيب المياه أمام المنشأة وخلفها.
- الفرق بين منسوبي المياه في المجريين المتقاطعين، لا يسمح برفع مستوى قعر الجسر المائي فوق مستوى المنسوب الأعظمي للمياه الجارية في النهر، الذي تتقاطع معه القناة.
- السعي إلى ألا يُنشأ في وادي النهر، الذي تتقاطع معه القناة أي عائق يعرقل المواصلات الملاحية، ويؤثر في استخدام الأراضي المجاورة، إذ إن الجسر المائي وركائزه يمكن أن يشكل مثل هذا العائق.
- الرغبة في عدم إفساد الصورة الطبيعية للنهر.
- عدم توافر إمكانية الحصول على اتصال تام ما بين الجسر المائي وجانبي الوادي أو النهر الذي يجتازه، وعلى تكتيم جيد ما بين عناصر الجسر المائي، إذا كان مسبق الصنع.
- عندما تكون مناسيب المجرى الأصغر من مجريين متقاطعين أخفض من مناسيب المجرى الأكبر، فإنه يتم إمرار مياه المجرى الأصغر تحت المجرى الأكبر عبر سيفون مقلوب، وإذا كان العكس، فيُفضل استخدام جسر مائي.

والجدير بلفت النظر إليه هو أن السيفونات المقلوبة، والجسور المائية تعمل ضمن شروط تختلف عن الشروط، التي يمكن أن تسيطر في المجرى المائي قبل وبعد العائق، كما أنها تختلف عن ذات المجرى بشكل مقطعه العرضي وأبعاده.

يُعرَّفُ السيفون المقلوب بأنه ناقل مغلق يُصمم لتجري فيه المياه تحت الضغط بفعل وزنها الذاتي أسفل نهر أو قناة، أو مصرف، أو طريق، أو سكة حديدية، أو وادٍ منبسط، ويتميز هذا الناقل المضغوط، بأن الجزء الأفقي منه يقع دوماً على منسوب أخفض من منسوب المستويين، اللذين يقع عندهما كلٌ من مدخله ومخرجه (الشكل 6-5)، وبهذه الطريقة يمكن تجاوز العائق المعترض لمسار المجرى المائي.



الشكل (5.6). مقطع طولي في سيفون مقلوب.

1. مدخل السيفون المقلوب، 2. ناقل السيفون المقلوب، 3. مخرج السيفون المقلوب.

يتكون السيفون المقلوب من ثلاثة أجزاءٍ رئيسية هي الناقل والمدخل والمخرج، ويكون الناقل بمقطعٍ دائري أو صندوقي، ويُنفذ من مواد مختلفة، أما المدخل والمخرج فهما عبارة عن جدران استناديه من البيتون المسلح، تُبنى بأشكالٍ ووضعيات مختلفة، وهي تقوم بالوظائف الآتية:

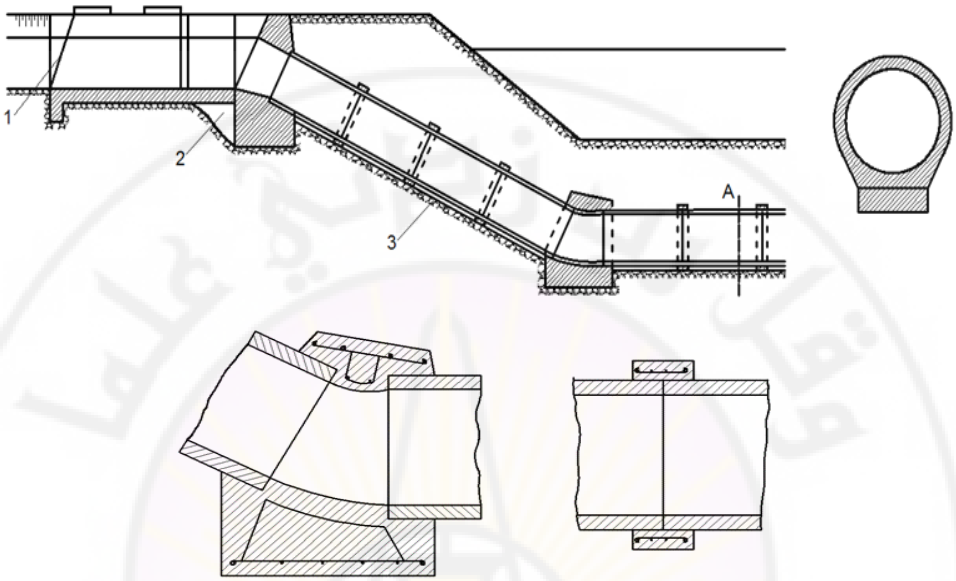
- تأمين دخول المياه إلى ناقل السيفون المقلوب، وخروجها منه، بحيث تكون الفواقد الهيدروليكية المرافقة أقل ما يمكن.
- توفير اتصال بداية ناقل السيفون المقلوب ونهايته مع قناة الري، دون حصول أي تسرب للمياه.
- المساعدة في عزل ناقل السيفون المقلوب لصرف المياه منه، والقيام بعمليات التنظيف والصيانة اللازمة.

3. 6 تصنيف السيفونات المقلوبة:

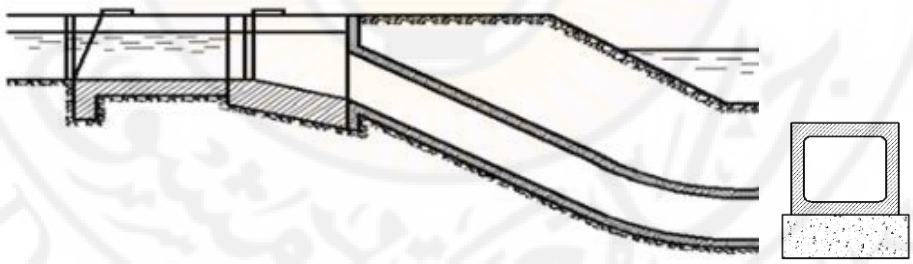
يمكن تصنيف السيفونات المقلوبة اعتماداً على جملة من المعايير الإنشائية والوظيفية، أهمها:

- **حسب شكل المقطع العرضي:** تُصنف السيفونات المقلوبة وفق هذا المعيار إلى (الشكل 6-6):
  - سيفونات مقلوبة دائرية (الشكل 6-6.أ).
  - سيفونات مقلوبة صندوقية (الشكل 6-6.ب).

(أ)



(ب)



الشكل (6–6). تصنيف السيفونات المقلوبة حسب شكل المقطع العرضي.

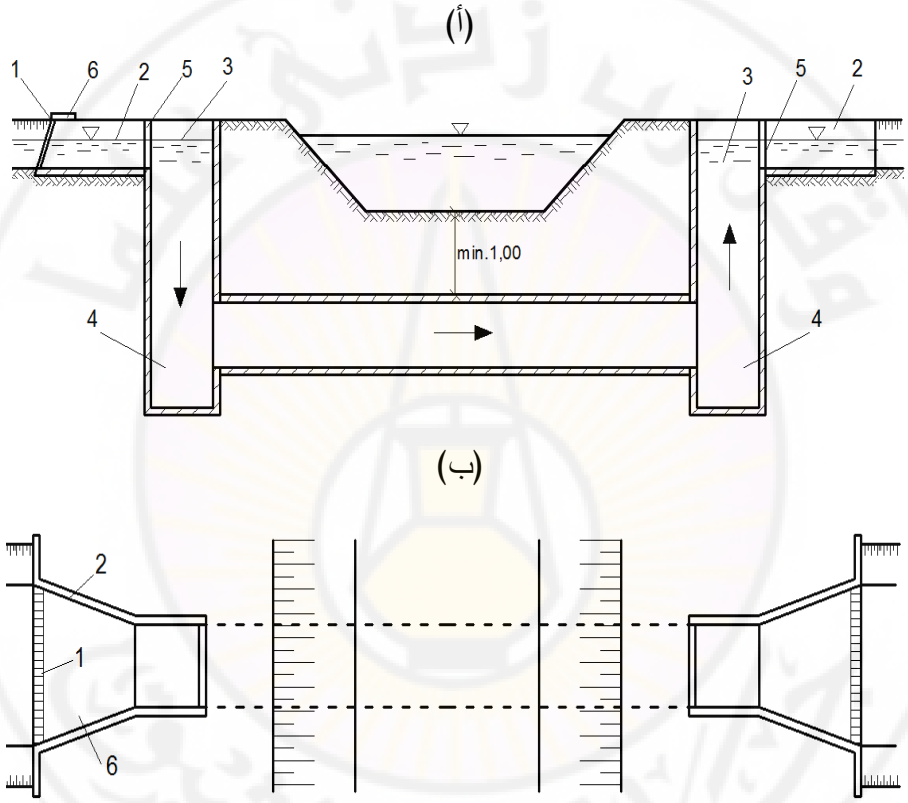
(أ). سيفون مقلوب دائري، (ب). سيفون مقلوب صندوقي.

1. شبك معدني، 2. طبقة غضار، 3. طبقة نظافة من البيتون العادي،

4. طوق من البيتون المسلح يُنفذ عند مناطق الاتصال في ناقل السيفون المقلوب.

- **حسب شكل المقطع الطولي:** يمكن على أساس هذا المعيار تصنيف السيفونات المقلوبة إلى:

- سيفونات مقلوبة بئرية، وتُسمى أيضاً سيفونات مقلوبة قصيرة (الشكل 6-7).

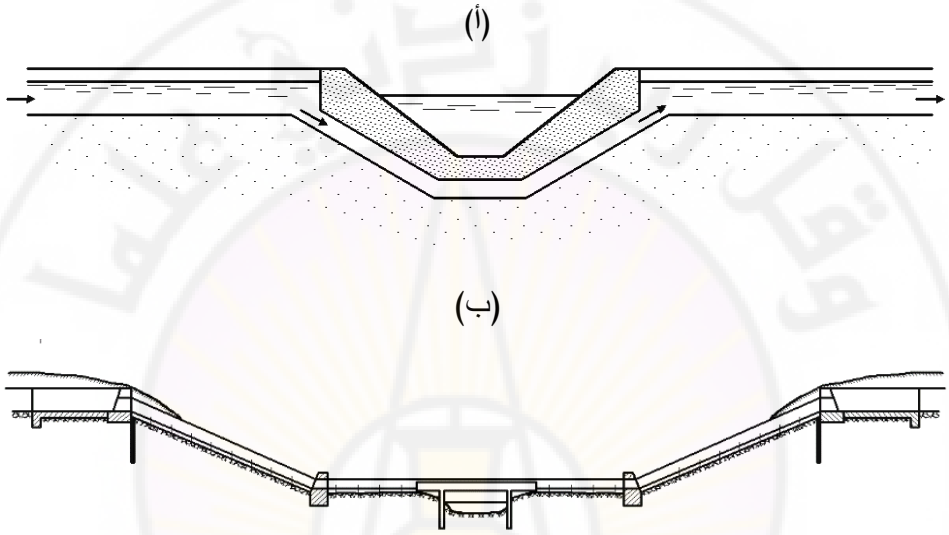


الشكل (6-7). سيفون مقلوب بئري (قصير).

(أ). مقطع طولي، (ب). مسقط أفقي.

1. شبك معدني، 2. جناح عند المدخل، وعند المخرج، 3. بئر، 4. حوض ترسيب، 5. مجراية، 6. جسر عبور (جسر خدمة).

- سيفونات مقلوبة طويلة (بميول صغيرة للأجزاء المائلة)، وهي تُقسم بدورها إلى سيفونات مقلوبة طويلة مطمورة (تحت سطح الأرض)، وسيفونات مقلوبة طويلة مكشوفة (الشكل 6-8).



الشكل (6-8). سيفون مقلوب طويل.

(أ). سيفون مقلوب طويل مطمور، **(ب)**. سيفون مقلوب طويل مكشوف.

- **حسب مادة البناء:** تُقسم السيفونات المقلوبة بدلالة مادة بنائها إلى:
  - سيفونات مقلوبة من الخشب.
  - سيفونات مقلوبة من الحجر.
  - سيفونات مقلوبة من الأسبستوس الإسمنتي.
  - سيفونات مقلوبة من الفولاذ.
  - سيفونات مقلوبة من البيتون.

والجدير بالذكر أن استخدام الأنواع الثلاثة الأولى من السيفونات المقلوبة المذكورة أعلاه توقف من الناحية العملية، واقتصر على النوعين الباقيين، أي الفولاذية والبيتونية. تُنفذ السيفونات المقلوبة الفولاذية بمقطعٍ عرضي دائري ، ويلجأ إليها في الحالتين الآتيتين:

1. عندما تكون الأقطار صغيرة نسبياً.
2. عندما يكون الفرق بين منسوبي المياه أمام وخلف السيفون المقلوب H أكبر، أو يساوي 50m (H≥50m).

وهي تمتاز بسهولة تركيبها، ويُفضل في حال استعمالها أن تكون من الفونت المرن، لمرونته، وتحمله للضغوط العالية، ولفترة خدمته الطويلة نسبياً.

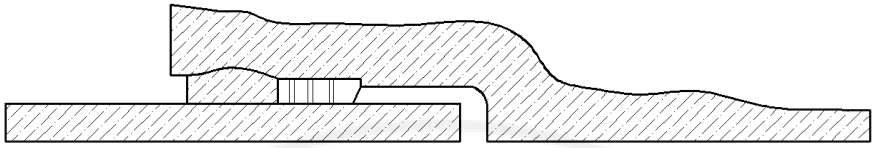
تُصنَّع الأنابيب من الفونت المرن بأطوال نظامية مختلفة، تُؤخذ عادة 5.50m، ويجري الربط بينها بوساطة وصلات مختلفة الأنواع، ولمزيدٍ من التفاصيل حول هذه الوصلات يمكن الاستعانة بالشكل (6-9).

أما بالنسبة للسيفونات المقلوبة البيتونية، فتكون بمقطعٍ عرضي دائري أو صندوقي، وتُنشأ من البيتون العادي، أو البيتون المسلح، الذي يكون مصبوباً في المكان، أو مسبق الصنع مع إجهاد سابق، أو بدون إجهاد سابق.

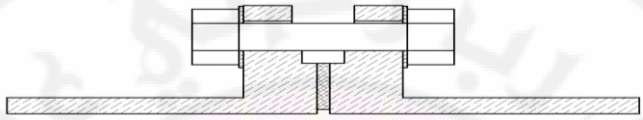
تُقام السيفونات المقلوبة من البيتون العادي في الحالة التي يكون فيها H≤50m، وغالباً ما يأخذ مقطعها العرضي شكلاً دائرياً، ويُفضل أن تُسلَّح بنسبة التسليح الدنيا، أما السيفونات المقلوبة المنفذة من البيتون المسلح، فتُستخدم إذا كان H=(30-50)m، وتكون بمقاطع عرضية دائرية أو صندوقية، وتمتاز بالمقارنة مع باقي الأنواع بالآتي:

- لا تعاني من مشكلة الصدأ، شريطة عدم وجود انكشاف لقضبان التسليح سواء من داخل السيفون المقلوب، أو من خارجه.
- لا تحتاج بعد إنشائها إلى أعمال صيانة وترميم مهمة.
- ذات ديمومة طويلة نسبياً.

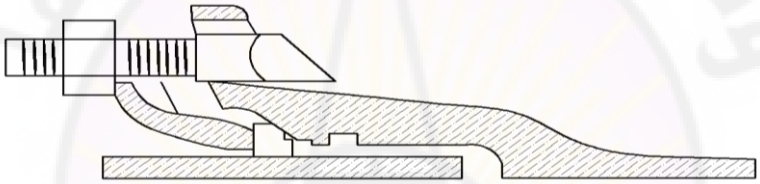
وهي إما أن تكون مصبوبة في المكان، حيث يأخذ مقطعها العرضي أشكالاً مختلفة، وتكون بأقطارٍ تزيد على 2.50m إذا كانت دائرية، وتتميز بعدم وجود فواصل تتسرب منها المياه خارج السيفون المقلوب، أو أن تكون مسبقة الصنع لأقطار لا تتجاوز 2.50m، أو مسبقة الإجهاد، ويلجأ إليها عندما يكون H ≥ 40m، و تمتاز بخفة وزنها، ويُفضل أحياناً تغطية وجهها الداخلي بطبقة رقيقة من المعدن لزيادة كتامتها.



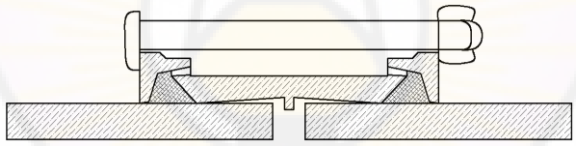
وصلة من الرصاص المسكوب



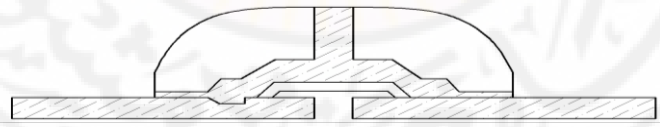
وصلة مشفهة



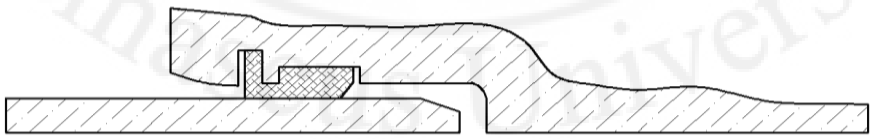
وصلة مرنة مبرشمة



وصلة فايكونغ جونسون (مع طوقين مطاطيين إسفيني الشكل– الجزءان المظللان)



وصلة بغطاء خارجي مع طوق مطاطي على شكل حرف U



وصلة تايتون (مع طوق مطاطي لمنع التسرب– الجزء المظلل)

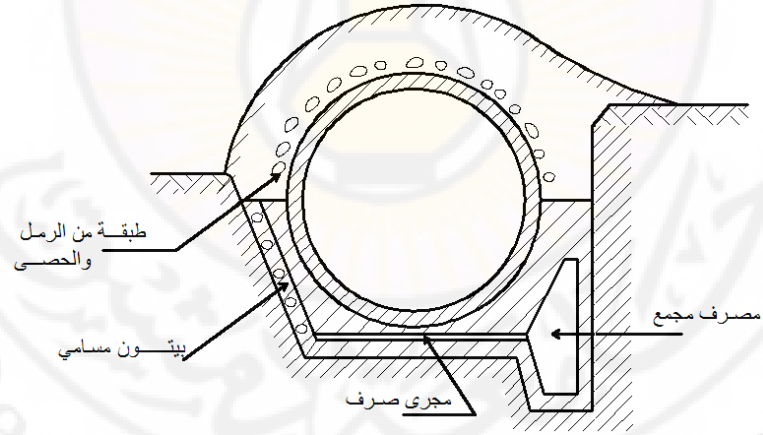
الشكل (6–9)

يجب عموماً إيلاء عيار المونة الإسمنتية الداخلة في تكوين البيتون المسلح المستخدم لإنشاء السيفونات المقلوبة البيتونية المسلحة عنايةً خاصة، للحصول على بيتونٍ كتيم نسبياً، ولهذه الغاية يؤخذ عيـــار 200-350kg من الإسمنت مع بحص ناعم، ونسبة عالية من الرمل، لمنع التسرب منه إلى حدٍ كبير.

من جهة أخرى يمكن طلاء الجدران الداخلية للسيفون المقلوب بطبقةٍ من المونة سماكتها 3-5mm، وبعيار 400-500 kg من الإسمنت لكل متر مكعب من الرمل.

يجب ألا تزيد كمية المياه المتسربة من السيفون المقلوب على 180 liter لكل 1.00cm من القطر، أو لكل 1.00km من الطول خلال24 ساعة، ولا يمكن الحصول على تسرب أقل من هذا المقدار، إلا إذا خُفّض الإجهاد المسموح به لعمل حديد التسليح.

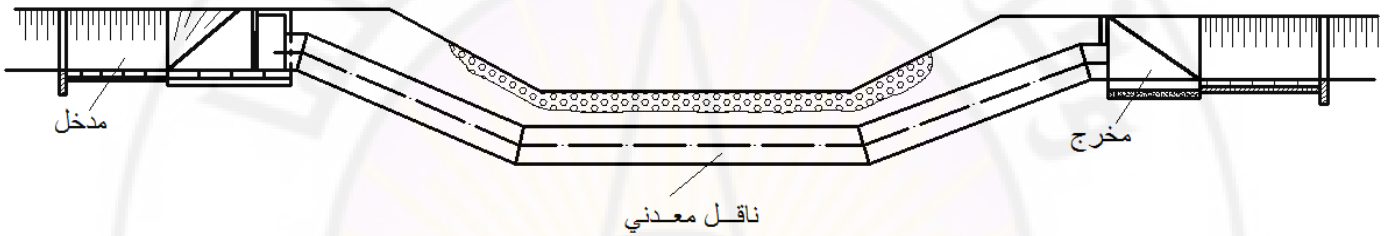
يُبين الشكل (6-10) طريقة تصريف المياه المتسربة عبر سيفون مقلوب من البيتون المسلح.



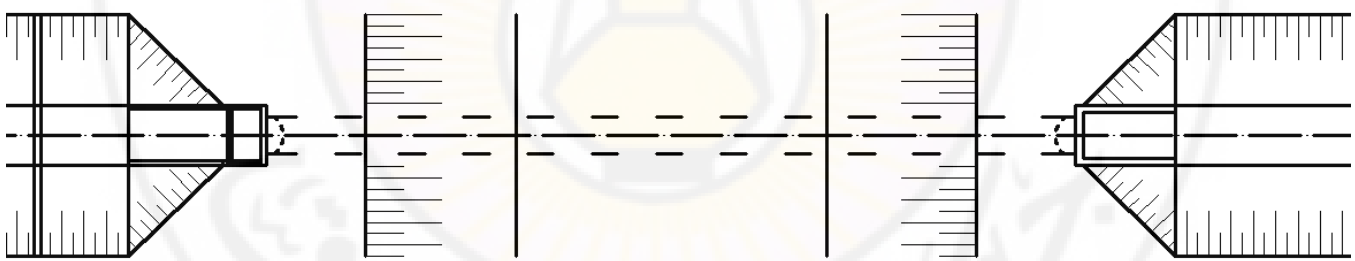
الشكل (6-10)

- **حسب عدد النواقل:** يُصادف وفق هذا المعيار نوعان من السيفونات المقلوبة، هما:
  - سيفونات مقلوبة وحيدة الناقل (الشكل 6-11).
  - سيفونات مقلوبة متعددة النواقل (الشكل 6-12).

(أ)

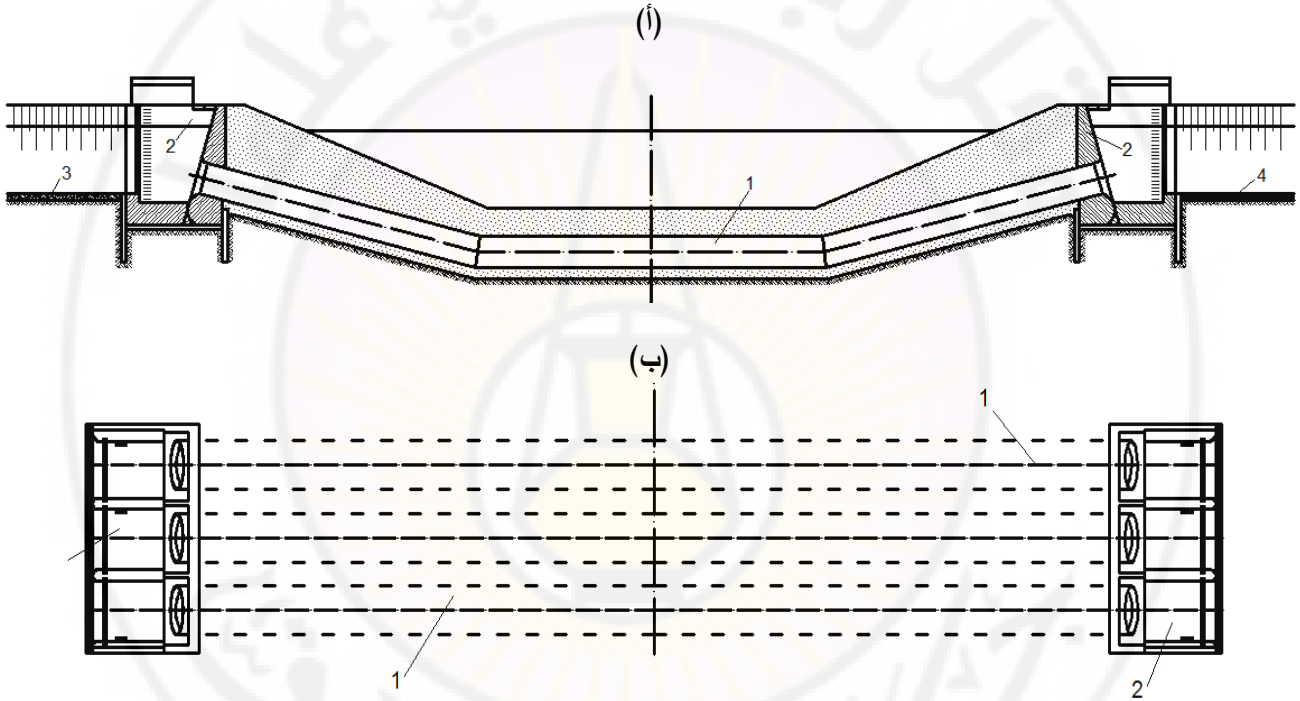


(ب)



الشكل (6-11). سيفون مقلوب وحيد الناقل.

(أ). مقطع طولي، (ب). مسقط أفقي.



الشكل (6-12). سيفون مقلوب متعدد النواقل.

(أ). مقطع طولي، (ب). مسقط أفقي.

- **حسب طريقة التنفيذ:** يضم هذا التصنيف:

أ. سيفونات مقلوبة تُنفذ في وسط جاف: يُلجأ إليها عندما يتقاطع السيفون المقلوب مع قناة ري أو طريق مواصلات، حيث يُنفذ ناقله في حُفَرٍ تُصرف منها المياه في حال وجودها، ثم تُحاط بستائر معدنية كتيمة.

ب. سيفونات مقلوبة تُنفذ في وسط مغمور: تُستخدم هذه الطريقة عندما يتقاطع مسار السيفون المقلوب مع نهر.

4. 6 ميزات استخدام السيفونات المقلوبة:

- يمكن اللجوء إليها عملياً في كل الأحوال، بغض النظر عن القيود الناتجة عن المناسيب الأعظمية للمياه في المجاري المائية المتقاطعة.
- لا تشكل عائقاً في المنطقة التي تُنشأ فيها، كما هو الحال بالنسبة لباقي المنشآت المائية الأخرى، مثل الجسر المائي الذي يعرقل الملاحة النهرية إن وجدت، ويربك استخدام الأراضي المجاورة.
- تكون تكاليف إنشائها وصيانتها على العموم منخفضة نسبياً.
- لا تفسد الصورة الطبيعية للبيئة المجاورة.
- موثوق بها لجهة نقل المياه.

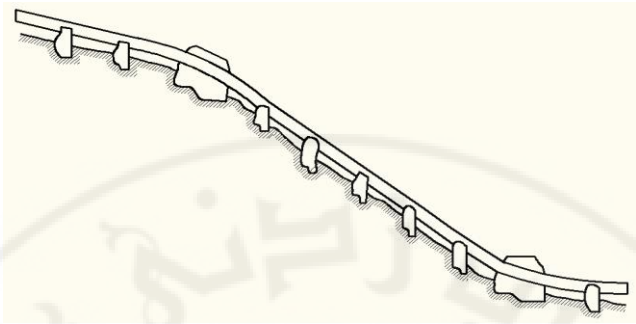
5. 6 مساوئ استخدام السيفونات المقلوبة:

- صعوبة الوصول إليها للقيام بمعاينة حالتها الفنية، وإجراء الإصلاحات اللازمة إذا كان ذلك ضرورياً.
- ضرورة التوضع العميق لنواقلها، ولاسيما إذا توافرت إمكانية جرف قعر المجرى المائي الجاري فوقها.
- السعي إلى أن تكون سرعة الجريان ضمن النواقل عالية نسبياً، مما يسبب فواقد كبيرة إلى حدٍ ما في الميل، وعندما لا يتحقق هذا الشرط يُلجأ للجسر المائي.

6. 6 مسار السيفون المقلوب:

يتطلب تحديد مسار السيفون المقلوب عادةً حرصاً وحذراً شديدين، لما له من تأثير هام في ظروف تشغيله، وتكاليف إنشائه، والوثوقية لجهة أدائه، وبناءً عليه فإن اختيار المسار يجب أن يخضع لموجهات عدة، أهمها:

- أن يكون طول السيفون المقلوب أقصر ما يمكن، ويتحقق ذلك باختيار المسار وفق خطٍ مستقيمٍ عمودي على محور العائق الذي يتقاطع معه السيفون المقلوب، إلا أنه يمكن أحياناً التخلي عن هذا الشرط تبعاً لاتجاه التقاء السيفون المقلوب مع العائق، وللظروف السائدة محلياً (وجود تجمعات سكنية، أو مصادفة مناطق شديدة الانحدار، أو ما شابه ذلك)، والتي لا تُمكِّن من تغيير اتجاه المسار عبر أقواس بأنصاف أقطارٍ مسموح بها، وتفرض عبوراً مائلاً.
- أن تتمتع مناطق التقاء السيفون المقلوب مع العائق، الذي سيجتازه بظروف جيولوجية مناسبة.
- عدم اجتياز الأنهار في مناطق التآكل الشديد من مجاريها.
- أن يتبع مسار السيفون المقلوب خط الميل الأعظمي للمنطقة التي يعبرها إذا كان مكشوفاً، وعندما يكون الميل كبيراً، فإنه يجب تدعيم ناقل السيفون المقلوب في نقاط محددة منه بكتل بيتونية خاصة (الشكل 6-13).
- إبعاد مسار السيفون المقلوب عن مجاري السيول.
- أن يكون مسار السيفون المقلوب منتظماً ما أمكن لاستبعاد التغيرات المفاجئة في الميل الطولي، ولاسيما في المناطق شديدة الميول.
- التقليل من الأكواع الأفقية والرأسية، لتأثيرها في ظروف الجريان ضمن ناقل السيفون المقلوب، وارتفاع كلفتها، وحاجتها للتدعيم بكتل بيتونية، إضافةً إلى وجوب تحاشي النقاط المرتفعة تجنباً لاستخدام محررات الهواء المحبوس Air Vents.



الشكل (6-13)

7. 6 المقطع الطولي للسيفون المقلوب:

يتحدد شكل المقطع الطولي للسيفون المقلوب اعتماداً على عوامل مختلفة، أهمها:

1- العلاقة بين منسوب سطح الماء، وسطح القعر في المجرى، الذي سينقل السيفون المقلوب مياهه تحت مجرى مائي آخر (نهر أو قناة)، وبين منسوب سطح الماء، وسطح القعر في هذا المجرى المائي.

2- العلاقة بين منسوب سطح الماء، وسطح القعر في المجرى، الذي سينقل السيفون المقلوب مياهه تحت طريق أو سكة حديدية، وبين منسوب قمة الطريق أو السكة الحديدية.

3- طول السيفون المقلوب.

4- الظروف الجيولوجية السائدة في منطقة التقاطع.

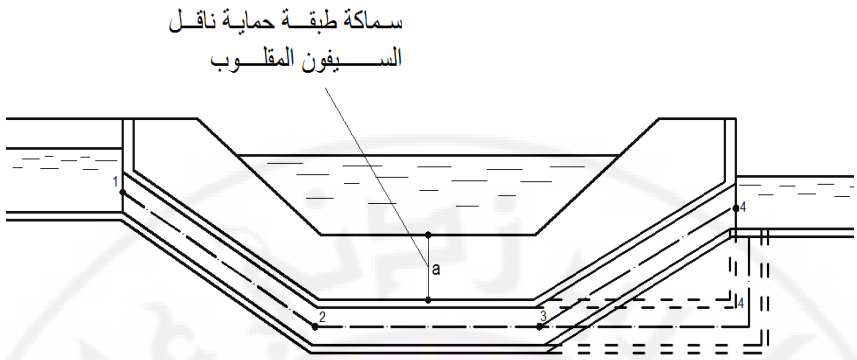
5- طريقة تنفيذ السيفون المقلوب.

ويمكن إذا كان السيفون المقلوب منفذاً تحت قناةٍ أو نهرٍ، كما في الشكل (6-14) أن يُضاف إلى العوامل السابقة، ما يأتي:

أ- العمق (a) الذي يجب أن تكون عليه الحافة العلوية لناقل السيفون المقلوب تحت منسوب قعر المجرى المتقاطع معه.

ب- منسوب الحافة العلوية لناقل السيفون المقلوب عند المدخل والمخرج.

ت- مناسيب نقطتي انعطاف الناقل 2 و 3، أو ميل الجزئين 2-1 و 4-3 منه.



الشكل (6-14)

إن تعيين قيمة العمق (a) المشار إليه في النقطة (أ) أعلاه مسألة سهلة على العموم، عندما لا يتعرض قعر المجرى، الذي يُنفذ تحته السيفون المقلوب لتغيراتٍ كبيرة بسبب تذبذب قيم الجريان المارة فيه على المدى الطويل، كما في حالة القنوات المستقرة، وحالة الأنهار، التي يتكون قعرها من مواد غير قابلة للتآكل والانجراف، وهي تُقاس ابتداءً من السطح العلوي لناقل السيفون المقلوب، وحتى أخفض نقطة من قعر المجرى الواقع فوقه، وتؤخذ عادةً 1.00m في حالة التقاطع مع قنوات، و(0.50-0.70)m في حالة التقاطع مع أنهارٍ صغيرة.

أما عندما تُقام السيفونات المقلوبة تحت أنهارٍ ذات قعورٍ متحركة، فإن نواقلها يجب أن تتوضع على أعماقٍ مناسبة، بحيث لا تؤدي التغيرات، التي ستلحق بالقعر مع مرور الزمن إلى انكشاف هذه النواقل وانغمارها بالماء، وتتطلب متابعة هذه التغيرات معرفة دقيقة بما يطرأ على شكل القعر، مقابل غزارات الجريان المارة، مع توقع التبدلات المستقبلية الممكن حدوثها على المدى البعيد. ويمكن الوصول إلى ذلك بمساعدة سجلات مراقبة تُدون عبر سلسلة مناسبة من السنوات في مقاطع مختلفة من النهر، إلا أنه ولأسباب تتعلق بعدم توافر مثل هذه السجلات دوماً، سواء لمقاطع كافيةٍ من النهر المدروس، أو للنهر ككل، فإنه يجري عادة الاستفادة من النتائج المسجلة في ظروف مماثلة من حيث غزارة الجريان، والميل الطولي للقعر، ونوع تربة القعر، إما لمقاطع أخرى من النهر نفسه، أو لنهر آخر مشابه.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن دراسة عملية تآكل وانجراف قعور الأنهار القابلة للحركة يجب أن تشمل أيضاً تأثير المنشآت الهندسية الأخرى في هذه العملية إن وُجدت، مثل الهدارات والمدرجات المائية والجسور.

يجري وضع ناقل السيفون المقلوب بعد تحديد منسوب المستوى المتوقع الذي سيصير عليه قعر المجرى المائي بعد التآكل، بحيث يكون الناقل على عمقٍ كافٍ تحت هذا المنسوب، ويؤخذ عادة في المجال m(0.70-0.50) في حالة التقاطع مع الأنهار الصغيرة، و m(1.50-1.00) في حالة التقاطع مع الأنهار الكبيرة، مقيساً ما بين الوجه العلوي للناقل وأخفض مستوٍ يمر من قعر المجرى. وفي الحالات التي تكون التوقعات المتعلقة بعمق الجرف الممكن للقعر قليلة الوثوقية من ناحية سجلات المراقبة المتوافرة، فإنه يُفضل للتأمين ضد الانكشاف والانجراف القيام بتأمينٍ محلي فوق السيفون المقلوب على شكل فرشات تُشكل من قطع حجرية تُجمع إلى بعضها البعض ضمن شبك معدني، وتُوضع فوق طبقة من الحصويات، أو الحجارة المكسرة، أو الركام الحصوي الرملي بسماكة m(0.50-0.30)، ويجب الإشارة إلى أن تغيرات القعر يمكن أن تلحق كذلك في حالة القنوات الكبيرة المنفذة في ترب غضارية، لذلك يجب تحديد العمق المسموح به لتوضع الناقل ، بحيث لا يقل عن 1.00m.

إن المستوى الذي يجب عليه تنفيذ مدخل السيفون ومخرجه المقلوب يتعلق بمنسوب سطح الماء، ومنسوب القعر في مكان دخول المياه إلى السيفون المقلوب، ومكان خروج المياه منه، كما يجب أن يقوم السيفون المقلوب بوظيفته دون أي اضطراب في الجريان ضمنه. وبناءً عليه يُحدد غمر الحافة العلوية للمدخل بارتفاع 0.50m من المياه للسيفونات الكبيرة، و0.30m للسيفونات الصغيرة، وإذا كان هذا الارتفاع أقل من ذلك، فإنه ليس من المؤكد عدم إمكانية تسرب الهواء إلى نواقل السيفون المقلوب، والتقليل من قدرتها الاستيعابية للجريان، مع الوضع بالحسبان أن تحقق الشرط السابق ليس ممكناً دوماً.

وبما أن منسوب الحافة السفلية لمدخل الناقل يُؤخذ عادةً على نفس منسوب قعر قناة الاقتراب، أو أخفض منه، فإن ذلك يُعد شرطاً يُضاف إلى ما سبق من شروط.

أما بالنسبة لميلي الجزئين 2-1 و 4-3 المشار إليهما في الفقرة جـــ، فيُحددان ضمن حدود معينة حسب شكل قعر المجرى الذي يجتازه السيفون المقلوب، وكما يظهر من الشكل (6-14)، فإن المنسوب الأعظمي لتوضع الجزء 4-3 ينتج من شرط عدم تجاوز البعد الاحتياطي (a) عند المقطع 3، واختيار منسوب واحد للناقل، وقعر القناة عند المقطع 4 (بافتراض أن الحافة العلوية للمخرج تقع على منسوب أخفض من منسوب سطح الماء في هذه المنطقة بمقدار0.50m على الأقل).

إن أخفض منسوبٍ ممكن للجزء 4-3 يُحصل عليه بتحديد مستويات جزء الناقل، كما في الشكل (6-14)، كما أن اختيار الميل في المجال 4-3 و`4-3 يجب أن يضع بالحسبان ما يأتي:

- إمكانية حدوث ظاهرة ترسب الطمي في ناقل السيفون المقلوب، ولاسيما قرب المناطق، التي يتغير فيها اتجاه الجريان.
- اختيار ميل مناسب للجزء الصاعد من الناقل 4-3، بحيث لا يحصل فيه ترسب للطمي، فمقابل سرعة جريان تساوي 1.00m/s، يجب ألا يكون الميل أكبر من 1:5.
- حقيقة، أنه كلما كان الناقل والمدخل واقعين على مناسيب أعلى، كان السيفون المقلوب أقل كلفة من الناحية الاقتصادية.

8. 6 المقطع العرضي للسيفون المقلوب:

يُحدد شكل المقطع العرضي للسيفون المقلوب حسب شروط تحميله، والخصائص المتعلقة بالأعمال الإنتاجية للإنشاء. ويُعد المقطع الدائري هو الأكثر استخداماً، لملاءمته من الناحية الهيدروليكية والفنية، وغالباً لا يزيد قطر السيفون المقلوب الدائري أو الأنبوبي كما يُسمى أحياناً على 2.00m، وقد يُستخدم أكثر من ناقل عند إنشاء السيفون المقلوب إذا دعت الحاجة إلى ذلك ضمن مشاريع الري (الشكل 6-12). وفي الحالات الخاصة التي تستدعي استعمال سيفونات مقلوبة بأقطارٍ كبيرة، فإنه يُلجأ إلى المقاطع العرضية الصندوقية متعددة الفتحات (الشكل 6-6. ب)، التي غالباً ما تكون مستطيلة الشكل.

9. 6 الدراسة المائية للسيفون المقلوب:

9.1. 6 اختيار سرعة الجريان وحساب قطر الناقل:

يتعلق اختيار سرعة الجريان في ناقل السيفون المقلوب، وتحديد قطر هذا الناقل بالعاملين الواردين أدناه:

- الفرق بين منسوبي المياه عند مدخل ومخرج السيفون المقلوب.
- عدم حصول ترسيب للمواد المحمولة في السيفون المقلوب.

يحدد العامل الأول قيمة السرعة العظمى الممكنة في الناقل، التي يجب ألا تزيد على قيمة السرعة المسموح بها. أما العامل الثاني فيحدد قيمة السرعة الدنيا المسموح بها، التي لا تسبب ترسيباً، وغالباً تُؤخذ سرعة الجريان ضمن المجال v=1.00-2.00 m/s (تشترط بعض المراجع مجالاً آخر لقيمة السرعة v ضمن السيفون المقلوب)، مع ملاحظة أنه يمكن أخذ سرعات أكبر من ذلك، كما هو الحال في بعض مشاريع الري الهندية، حيث يُســـمح هناك بسرعة تصل حتى 8.00feet/sec≈2.50m/sec. من جهة أخرى يمكن أن تكون سرعة الجريان أقل من 1.00m/s، وذلك في الحالات الآتية:

- إذا كانت المواد المحمولة مع المياه لا تترسب عندما تقل السرعة عن 1.00m/s.
- عندما يكون زمن استمرار الجريان المرافق بالترسيب قصيراً.
- عندما يُتوقع وجود فترات توقف في عمل السيفون المقلوب للقيام بتنظيفه، ويجري تنظيف السيفون المقلوب عادةً عن طريق ضخ المياه فيه، بحيث تكون سرعة الجريان بحدود (3.00-4.00) m/sec، ونادراً ما يُلجأ لسرعات أكبر.

لقد قام Kozinow بدراسة لتحديد سرعة الجريان الاقتصادية في السيفون المقلوب. فاختبر عدداً كبيراً من السيفونات المقلوبة العاملة فعلياً، وتوصل إلى القيم الواردة في الجدول (6-1):

الجدول (6-1)

سرعة الجريـــــان(**v**) [m/sec]	قطر ناقل السيفون المقلوب(**d**) [m]
1.60 – 1.00	1.00 – 0.20
1.90 – 1.65	1.40 – 1.10
2.50 – 2.00	5.00 – 2.50

كما استنتج بناءً على الدراسة نفسها علاقةً تربط ما بين القطر الاقتصادي لناقل السيفون المقلوب[m]d، وغزارة الجريان المارة فيه [m^3/sec]Q، وهي من الشكل:

$$d = 0.90 \times Q^{0.44} \qquad (1\text{-}6)$$

مع ضرورة الإشارة هنا إلى أن العلاقة السابقة لا يمكن اعتمادها مباشرة في الحسابات الهيدروليكية للسيفون المقلوب، وإنما يُستأنس بها فقط، وذلك لاختلاف الظروف السائدة في كل حالة مدروسة.

9.2.6 حسب عدد النواقل:

يؤثر عدد النواقل المختارة للسيفون المقلوب بشكل أساسي في جودة أدائه لتنفيذ الوظيفة التي يُنشأ من أجلها، لذلك يتوجب إيلاء هذه المسألة عنايةً خاصة تشمل في الغالب اختيار جملة من الحلول الممكنة لعدد النواقل والملحقات اللازمة لعملها، ثم المقارنة فيما بينها فنياً واقتصادياً، واختيار الأفضل منها. وفي الحالات التي يُتوقع فيها جريان متواصل للمياه ضمن السيفون المقلوب، فإنه يجب أن يتكون من ناقلين على الأقل، وذلك بهدف:

- القيام بصرف مياه التنظيف، أو إصلاح أحد النواقل دون إيقاف الجريان في النواقل الأخرى.
- التمكن من زيادة سرعة الجريان في فترات الغزارة المنخفضة، عن طريق تقليل عدد النواقل التي تجري عبرها المياه.

وعند توزيع كامل غزارة الجريان الواجب تمريرها عبر السيفون المقلوب على عددٍ من النواقل يجب الوضع بالحسبان ما يأتي:

(أ) إمكانية إنشاء السيفون المقلوب على مراحل.

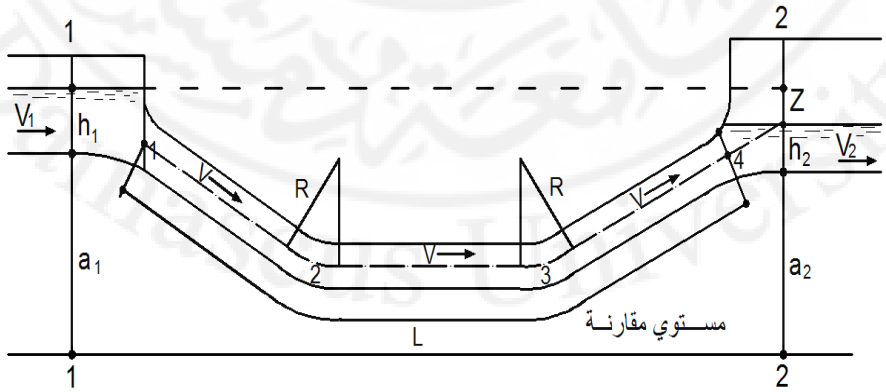
(ب) إمكانية أن تكون غزارة الجريان في فترات محددة هي القاعدة لاختيار العدد المناسب من النواقل.

(ت) عدم الإفراط في اختيار مقاطع عرضيةٍ كبيرة للنواقل، لأن ذلك يتطلب أعماقاً أكبر للتنفيذ تزيد من كلفة الإنشاء، ويمكن بشكل عام عدم استخدام نواقل أنبوبية فولاذية بقطر أكبر من 1.50m، أو نواقل بيتونية مسلحة بمقطع عرضي تزيد مساحته على $2.40m^2$.

(ث) قيمة سرعة الجريان ضمن النواقل في مختلف فترات استثمار السيفون المقلوب، وإمكانية حدوث ترسيب للمواد المحمولة بالمياه.

9.3.6 الحساب الهيدروليكي للسيفون المقلوب:

يتضمن الحساب الهيدروليكي للسيفون المقلوب التحقق من قيمة الفرق ما بين منسوبي المياه عند المدخل والمخرج (z) الناتجة عن قيمة معلومة لغزارة الجريان المتدفقة عبره (Q) مقابل أبعاد مفترضة لمساحة المقطع العرضي للناقل، بحيث تؤمن المتطلبات المتعلقة بسرعة الجريان فيه v (الشكل 6-15).



الشكل (6-15)

يمكن إيجاد العلاقة ما بين Q و z بتطبيق معادلة برنولي ما بين المقطعين 1-1 و2-2 المبينين على الشكل (6-15)، فيكون:

$$a_1 + h_1 + \frac{\alpha . v_1^{\,2}}{2g} = a_2 + h_2 + \frac{\alpha . v_2^{\,2}}{2g} + h_s \qquad (2\text{-}6)$$

حيث:

a_1- ارتفاع منسوب قعر القناة عند المقطع 1-1 فوق مستوى المقارنة 2-1.

a_2- ارتفاع منسوب قعر القناة عند المقطع 2-2 فوق مستوى المقارنة 2-1.

h_1- عمق الماء في القناة عند المقطع 1-1.

h_2- عمق الماء في القناة عند المقطع 2-2.

α- معامل تغير السرعة، وغالباً ما يؤخذ: $\alpha=1$.

v_1 - سرعة جريان المياه في القناة عند المقطع 1-1.

v_2 - سرعة جريان المياه في القناة عند المقطع 2-2.

g - تسارع الجاذبية الارضية.

h_s- مجموع الفواقد الهيدروليكية الطولية والمحلية الحاصلة ما بين المقطعين المختارين1-1 و 2-2.

وبافتراض أن للقناتين أمام السيفون وخلفه المقلوب المقطع العرضي نفسه، والميل الطولي ذاته للقعر، يكون:

$$v_1 = v_2 \quad \text{و} \quad h_1 = h_2$$

أي أن:

$$a_1 - a_2 = \frac{\alpha . v_1^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha . v_2^{\,2}}{2g} + h_s$$

وباعتبار:

$$\frac{\alpha.v_1^{\,2}}{2g} = \frac{\alpha.v_2^{\,2}}{2g}$$

ينتج أن:

$$a_1 - a_2 = h_s = z$$

يمكن الحصول على النتيجة نفسها حتى لو كان للقناتين أمام السيفون المقلوب وخلفه مقطعان مختلفان، لإمكانية افتراض أن:

$$\frac{v_1^{\,2}}{2g} \cong \frac{v_2^{\,2}}{2g} \qquad (3\text{-}6)$$

تُحسب قيمة h_s من العلاقة الآتية:

$$h_s = z = (\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5).\frac{v}{2g} \qquad (4\text{-}6)$$

حيث:

v – سرعة الجريان في ناقل السيفون المقلوب [m/sec].

g – كما سبق، تسارع الجاذبية الأرضية [$g=9.81 m/sec^2$].

ξ_1 – معامل الفواقد الهيدروليكية المحلية الحاصلة نتيجة وجود شبكة من القضبان المعدنية عند مدخل السيفون المقلوب، لحجز الأجسام الطافية، التي يمكن أن تحملها المياه.

ξ_2 – معامل الفواقد الهيدروليكية المحلية الحاصلة عند مدخل السيفون المقلوب.

ξ_3 – معامل الفواقد الهيدروليكية المحلية الناتجة عن تغير اتجاه الجريان في ناقل السيفون المقلوب.

ξ_4 – معامل الفواقد الهيدروليكية الطولية الناتجة بالاحتكاك على طول ناقل السيفون المقلوب.

ξ_5 – معامل الفواقد الهيدروليكية المحلية الناتجة عند مخرج السيفون المقلوب.

يمكن من المعادلة (4-6) كتابة الصيغة:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5}} . \sqrt{2.g.z} \qquad (5\text{-}6)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi_i}} . \sqrt{2.g.z} \qquad (6\text{-}6)$$

$$Q = A.v = A. \frac{1}{\sqrt{\sum \xi_i}} . \sqrt{2.g.z} \qquad (7\text{-}6)$$

فاذا رُمز للحد: $\frac{1}{\sqrt{\sum \xi_i}}$ بالحرف اللاتيني μ، فإنه ينتج:

$$v = \mu . \sqrt{2.g.z} \qquad (8\text{-}6)$$

$$Q = A.\mu . \sqrt{2.g.z} \qquad (9\text{-}6)$$

حيث:

Q – غزارة الجريان [m^3/sec].

A – مساحة المقطع المائي لناقل السيفون المقلوب [m^2].

g و z – كما سبق.

μ – معامل تصريف السيفون المقلوب.

9.4.6 حساب معاملات الفواقد الهيدروليكية:

1.4.9.6 معامل الفواقد عند شبكة القضبان المعدنية ξ_1:

ترتبط قيمة هذا المعامل بسرعة اقتراب الجريان في القناة قبل الشبكة v_1. وبما أن جميع المعـــاملات ξ_2 وξ_3 و ξ_4 و ξ_5 الواردة في العلاقة (6–4) تتعلق بسرعة الجريان v ضمن ناقل السيفون المقلوب، فإنه يمكن صياغة ξ_1 بدلالة v، وذلك بضرب قيمته المتعلقة بالأبعاد الهندسية للشبكة ξ_1^* بالنسبة $(v_1/v)^2$، ومنه يكون:

$$\xi_1 = \xi_1^* . (\frac{\nu_1}{\nu})^2 \qquad (10\text{-}6)$$

حيث تُقدر قيمة ξ_1^* بمساعدة معادلة Kiersher:

$$\xi_1^* = k.(\frac{s}{s+b})^{1/6}.(2.30\frac{l}{b} + 8.0 + 2.40.\frac{b}{l}).\sin\alpha \qquad (11\text{-}6)$$

التي فيها:

K – معامل، تؤخذ قيمته حسب شكل المقطع العرضي لقضبان الشبكة.

K= 0,504 – لقضبان بمقطع مستطيل. K= 0,318 – لقضبان بحافة مدورة.

s - سماكة القضيب.

l - ارتفاع مقطع القضيب.

b - المسافة الصافية الفاصلة بين القضبان المتجاورة.

α – زاوية ميل الشبكة على الأفق.

والجدير بالذكر هنا، أنه يمكن حساب ارتفاع الفاقد الهيدروليكي h الناتج عن وجود الشبكة المعدنية قبل المدخل إلى السيفون المقلوب مباشرة من العلاقة:

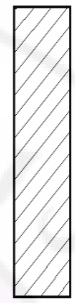
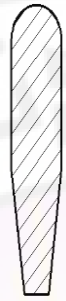
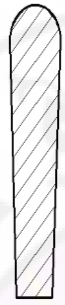
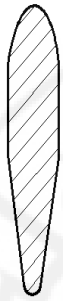
$$h = \beta.\sin\alpha.(\frac{s}{b})^{4/3}.\frac{\nu_1^{\,2}}{2g} \qquad (12\text{-}6)$$

حيث:

s و b و v_1 و g – كما سبق.

β – معامل يتعلق بشكل قضبان الشبكة، وتُعطى قيمه حسب الجدول(6-2)، وذلك وفق مقاطع القضبان المبينة في الشكل(6-16).

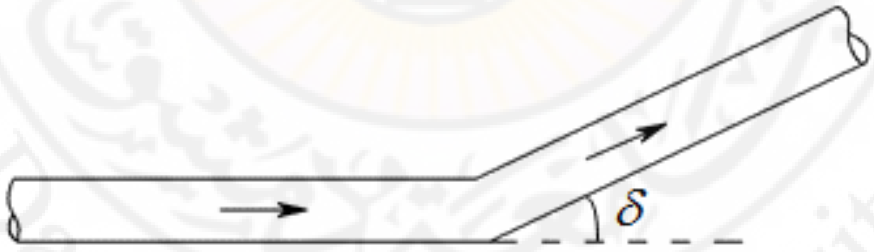
الجدول (6-2)

نموذج القضيب	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
شكل القضيب							
قيمة المعامل ß	2.42	1.83	1.67	1.03	0.92	0.76	1.79

الشكل (6-16). نماذج من المقاطع العرضية لقضبان الشبك المعدني.

2.4.9.6 معامل الفواقد بسبب تغير اتجاه الجريان ξ3:

عندما يتغير اتجاه الجريان عبر زاوية(δ) تقع في المجال 20° < δ < 140°، (الشكل6-18) تُحسب قيمة ξ3 بمساعدة معادلة Weisbach:



الشكل (6-18)

$$\xi_3 = 0.9457.\sin^2\frac{\delta}{2} + 2.0470.\sin^4\frac{\delta}{2} \qquad (13\text{-}6)$$

والتي يمكن كتابتها أيضاً على الشكل:

$$\xi_3 = \sin^2 \frac{\delta}{2} + 2.\sin^4 \frac{\delta}{2} \qquad (14\text{-}6)$$

حيث:

δ – زاوية تغير اتجاه الجريان [°].

ويعطى الجدول (6–3) قيم ξ_3 بدلالة الزاوية δ.

الجدول (6–3)

قيمة الزاوية δ [°]	20	40	60	80	90
قيمة المعامل ξ_3	0.03	0.14	0.37	0.75	1.00

- عندما يتغير اتجاه الجريان عبر منحنٍ دائري (عند النقطتين 2 و 3 من الشكل 6–15) تُقدر قيمة المعامل ξ_3 حسب Weisbach أيضاً وفق ما يأتي:
  - من أجل مقطع عرضي دائري لناقل السيفون المقلوب:

$$\xi_3 = [0.131 + 0.165.(\frac{d}{R})^{3.5}].\frac{\Theta}{90} \qquad (15\text{-}6)$$

  - من أجل مقطع عرضي مستطيل لناقل السيفون المقلوب $\frac{a}{b} \le 2$:

$$\xi_3 = [0.124 + 0.274.(\frac{a}{R})^{3.5}].\frac{\Theta}{90} \qquad (16\text{-}6)$$

حيث:

d– قطر الناقل[m].

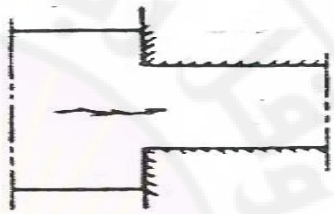
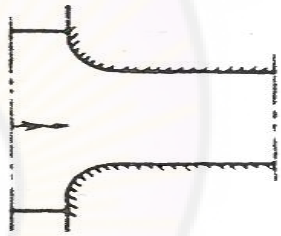
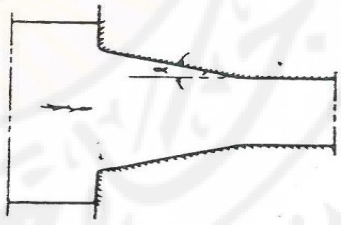
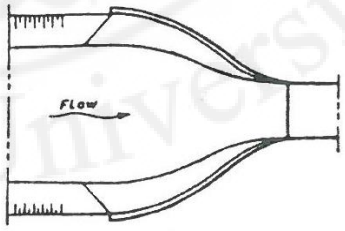
R– نصف قطر انحناء ناقل السيفون المقلوب في منطقة تغير اتجاه الجريان [m].

a و b– ضلعا المقطع المستطيل لناقل السيفون المقلوب [m].

Θ– الزاوية المركزية لانحناء ناقل السيفون المقلوب [°].

3.4.9.6 معامل الفواقد عند مدخل السيفون المقلوب ξ_2:

تعتمد قيمة هذا المعامل على شكل المدخل، وتُؤخذ قيمته من الشكل (6-17).

شكل مدخل أو مخرج السيفون المقلوب	قيمة معامل الفاقد في الضاغط عند مدخل السيفون المقلوب k_{en}	قيمة معامل الفاقد في الضاغط عند مخرج السيفون المقلوب k_{ex}
	0.50	1.00
	0.20←0.06	1.00
$\alpha = 25^0\text{-}70^0$ 	0.40←0.30	0.80← 0.70
	0.01← 0.05	0.20

الشكل (6–17). أشكال مدخل أو مخرج السيفون المقلوب، وقيم معامل الفاقد المقابلة.

4. 4. 9. 6 معامل الفواقد بالاحتكاك على طول ناقل السيفون المقلوب ξ_4:

يمكن إيجاد قيمة المعامل ξ_4 من الصيغة:

$$\xi_4 = \lambda . \frac{L}{4.R_h} \qquad (17\text{-}6)$$

وباعتبار:

$$\lambda = \frac{8.g}{C^2} \qquad (18\text{-}6)$$

فإن:

$$\xi_4 = \frac{2g.L}{C^2.R_h} \qquad (19\text{-}6)$$

حيث:

L– طول السيفون المقلوب[m].

R_h– نصف القطر الهيدروليكي للناقل[m].

C– معامل شيزي، وتُعطى قيمته حسب Manning من العلاقة:

$$C = \frac{1}{n}.R_h^{\frac{1}{6}} \qquad (20\text{-}6)$$

n– معامل خشونة السطح الداخلي لناقل السيفون المقلوب، وتُؤخذ قيمته في المجال n=0.12-0.16 للنواقل من البيتون المسلح، وللنواقل الفولاذية في المجال n=0.011-0.014.

ومن أجل النواقل الدائرية يكون: $R_h = \frac{d}{4}$، وتأخذ الصيغة (6–17) الشكل:

$$\xi_4 = \lambda . \frac{L}{d} \qquad (21\text{-}6)$$

$$\xi_4 = \frac{8.g}{C^2} . \frac{L}{d} \qquad (22\text{-}6)$$

كما يمكن حساب قيمة ξ_4 أيضاً كما في حالة العبّارة بدلالة العلاقة (5–6).

5.4.9.6 معامل الفواقد عند مخرج السيفون المقلوب ξ_5:

يُحدد ارتفاع الفاقد المحلي Δh الحاصل عند مخرج السيفون المقلوب، بالاستفادة من معادلة Borde لحساب الفاقد، باعتبار أن توسعاً في سطح الجريان سيحصل عند المخرج:

$$\Delta h = \frac{(v - v_2)^2}{2g} \qquad (23\text{-}6)$$

حيث:

v – سرعة الجريان في ناقل السيفون المقلوب [m/sec].

v_2 – سرعة الجريان عند مخرج السيفون المقلوب [m/sec].

وبما أن معاملات الفواقد الهيدروليكية الواردة في العلاقة (6–4) منسوبة لارتفاع السرعة في ناقل السيفون المقلوب، لذلك فإن قيمة Δh في المعادلة السابقة (6–23) يجب أن تُحسب أيضاً بدلالة السرعة v، ولهذه الغاية يُفترض أن مساحة سطح المقطع العرضي لناقل السيفون المقلوب A، ومساحة سطح المقطع العرضي للجريان في القناة عند المخرج A_2، فيكون:

$$A.v = A_2.v_2 \qquad (24\text{-}6)$$

ومنه:

$$v_2 = \frac{A}{A_2}.v \qquad (25\text{-}6)$$

وبعد التعويض بقيمة v_2 المحسوبة أعلاه في العلاقة (6–23) ينتج:

$$\Delta h = \frac{(1 - A/A_2)^2 . v^2}{2g} = (1 - \frac{A}{A_2})^2 . \frac{v^2}{2g} \qquad (26\text{-}6)$$

ومنه يُستنتج أن:

$$\xi_5 = (1 - \frac{A}{A_2})^2 \qquad (27\text{-}6)$$

وعندما تكون قيمة المساحة A صغيرةً بالمقارنة مع قيمة المساحة A_2، فإن قيمة النسبة

A/A_2 تنتهي إلى الصفر، وعندها يصبح: $\xi_5 = 1.00$

يمكن أيضاً تحديد قيمة المعامل ξ_5 حسب نوع المخرج كما في حالة العبّارة.

من المفيد عند حساب قيم معاملات الفواقد الهيدروليكية الحاصلة في السيفون المقلوب الإشارة إلى أنه يمكن، وبدقة كافية إيجاد قيمة معامل التصريف μ الواردة في المعادلة (9-6) بدلالة العلاقة:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1.50 + \frac{2g.L}{C^2.R_h}}} \qquad (28\text{-}6)$$

حيث:

g و C و R_h – كما سبق.

L – طول السيفون المقلوب [m].

شريطة ألا يغير الجريان اتجاهه في أكثر من موضعين، أو ثلاثة على طول ناقل السيفون المقلوب.

أخيراً يمكن إجمال مراحل الحساب الهيدروليكي للسيفون المقلوب بالخطوات الآتية في الحالة المدروسة:

1. افتراض قيمة لسرعة الجريان v، التي يجب تأمينها في ناقل السيفون المقلوب، بما يتوافق مع الاعتبارات الاستثمارية المطلوبة، وغالباً ما تُختار ضمن المجال (1-2m/s) المشار إليه سابقاً في الفقرة 1.9.6.
2. حساب قطر، أو أبعاد المقطع العرضي لناقل السيفون المقلوب من العلاقة: $V = Q/A$
3. حساب قيم معاملات الفواقد الهيدروليكية ξ_i، وتحديد قيمة z.
4. إذا كانت قيمة z المحسوبة في الخطوة السابقة لا تسبب ما يضر بجوار السيفون المقلوب، فإن الحسابات تُعد منتهية، وإلا فيجب تكرار العملية بافتراض قيمة جديدة للسرعة v.

وعندما تكون قيمة z معلومة مسبقاً، فإن قطر الناقل، وأبعاد مقطعه العرضي تُحسب بطريقة التجريب حتى تصبح كافية لتمرير الغزارة المطلوبة عبر السيفون المقلوب، ثم يجري التحقق من أن السرعة الناتجة عن هذه الغزارة ليست صغيرة، بحيث تسبب ترسيباً للمواد المحمولة. ومن أجل السيفونات المقلوبة الكبيرة ذات الأكلاف العالية، فإنه من الضروري إجراء الحسابات لعددٍ من الحالات المفترضة، لاختيار الأبعاد الأفضل اقتصادياً.

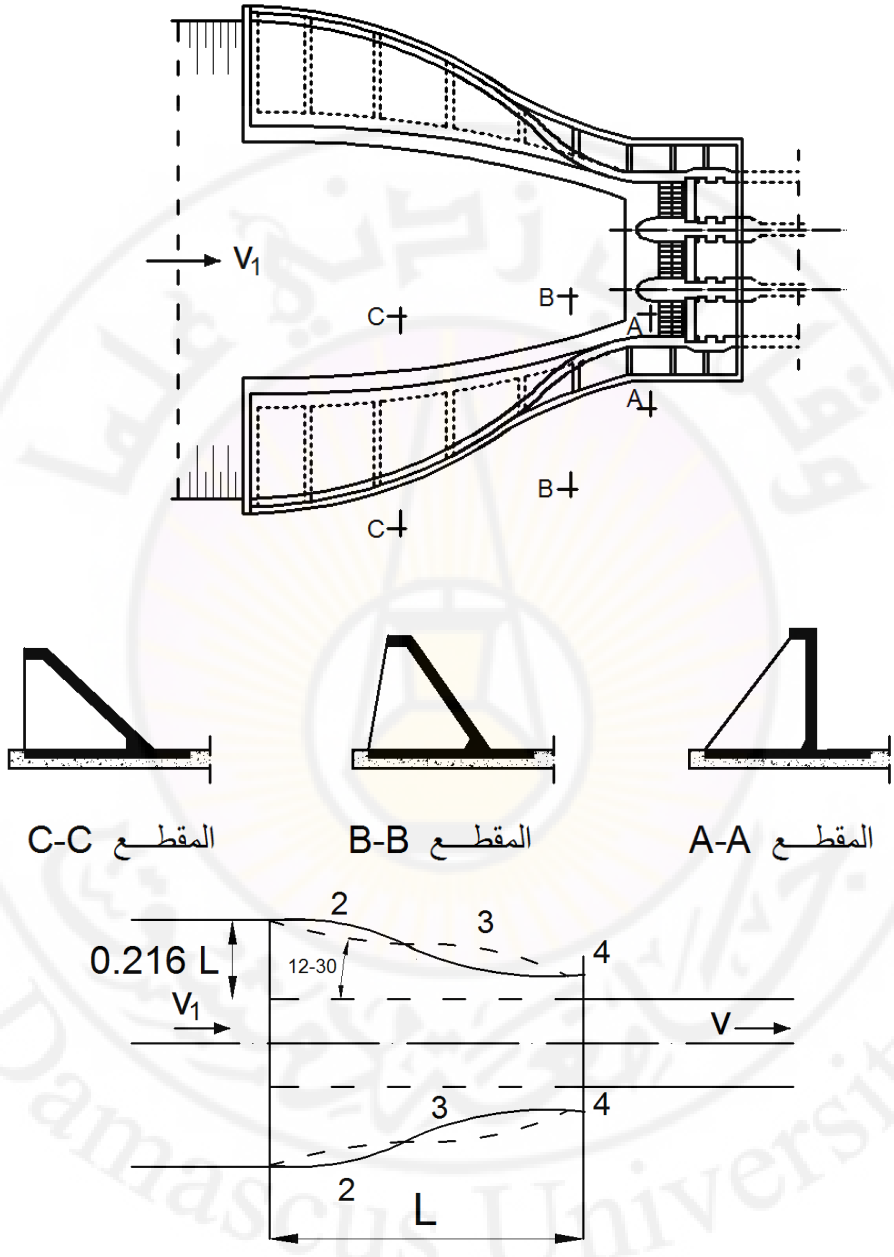
إن تحقيق المتطلبات المتعلقة بعدم تجاوز قيمة الفرق في المناسيب z المعطاة سلفاً، وتأمين سرعة الجريان v التي لا يقابلها ترسيب ضمن السيفون المقلوب في نفس الوقت ليس ممكناً دائماً. لذلك من الواجب في مثل هذه الحالات السعي لخفض قيمة الفواقد الهيدروليكية، وذلك عن طريق:

- إعطاء مدخل السيفون المقلوب، ومخرجه أشكالاً ملائمة.
- تقصير طول الناقل، والتقليل من عدد مناطق تغيير اتجاه الجريان.
- زيادة التباعد ما بين قضبان الشبكة المعدنية، وتكبير زاوية ميلها.

وعندما لا تؤدي هذه الإجراءات إلى النتيجة المبتغاة، فإنه من الممكن السماح بسرعات جريان صغيرة ضمن ناقل السيفون المقلوب، شريطة توفير الوسائل اللازمة لمنع ما يترتب على ذلك من إرباك في عمل السيفون المقلوب بسبب الحاجة المتكررة للتنظيف، والبحث في إمكانية استخدام ناقل إضافي احتياطي، أو ما شابه ذلك.

إن التقليل من الفواقد الهيدروليكية التي يمكن أن تحصل عند مدخل السيفون المقلوب هو واحدٌ من أهم الأساليب المتبعة لزيادة قدرته على تمرير المياه، أما الأساليب الأخرى مثل تقصير طول الناقل، وتعديل زاوية أو نصف قطر المنحنيات، وتغيير شكل وزاوية الشبكة المعدنية فهي ليست ممكنة دوماً.

يمكن الوصول لمقاومات صغيرة عند المدخل بتأمين دخول سلس للمياه إلى السيفون المقلوب باختيار الشكل المناسب لكلٍ من جدران المدخل، والجزء الابتدائي من الناقل، وتُعد الجدران المبينة في الشكل (6-19) هي الأكثر ملاءمة هيدروليكياً في هذه الحالة.


V1
C
B
A
A
B
C
C-C المقطع
B-B المقطع
A-A المقطع
0.216 L
12-30
V1
V
2
3
4
3
4
2
L

الشكل (6–19)

يجري تحديد قيمة الفاقد الهيدروليكي Δh_1 عند المدخل للحالة السابقة من الجدران حسب Hindos من العلاقة (الشكل 6-19):

$$\Delta h_1 = 0.10 \times (\frac{v^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}) \qquad (29\text{-}6)$$

حيث:

v- سرعة الجريان في ناقل السيفون المقلوب [m/sec].

v_1 – سرعة الجريان في القناة عند مدخل السيفون المقلوب [m/sec].

إن قيمة ξ_1 المقابلة لمثل هذه الحالة، والتي يجب تعويضها في العلاقة (6-5) يُحصل عليها بمساواة قيمة Δh_1 المحسوبة بمساعدة العلاقة (6-30) مع القيمة $\Delta h_1 = \xi_1 . \frac{v^2}{2g}$

فينتج:

$$\Delta h_1 = \xi_1 . \frac{v^2}{2g} = 0.10 \times (\frac{v^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}) \qquad (30\text{-}6)$$

ومنه يكون:

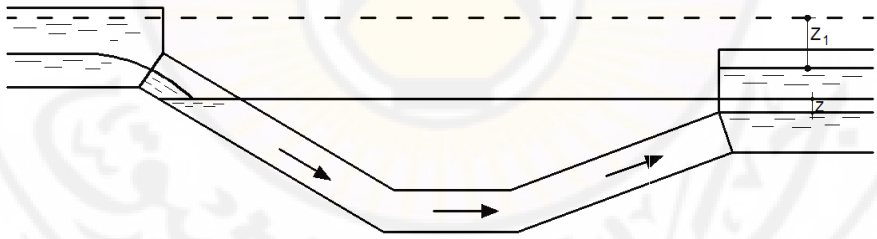
$$\xi_1 = 0.10 . (1 - \frac{v_1^2}{v^2}) \qquad (31\text{-}6)$$

يُحدد مسار المنحني 4-3-2-1 على الشكل (6-18) بتقسيم الطول L إلى أجزاءٍ متساويةٍ عددها n، وبطولٍ يساوي 1,50-2,00m لكلٍ منها، ثم حساب عرض كل جزءٍ بحيث تكون قيمة الفواقد الهيدروليكية اللازمة للتغلب على مقاومة الاحتكاك الناشئة من كامل الجزء مساوية h_1/n. وبعد ذلك يجري الوصل ما بين النقاط التي يُحصل عليها من الحساب بخطٍ منحنٍ، إلا أنه يجب التنبيه هنا إلى أن تنفيذ الجدران ذات الشكل الانسيابي الوارد آنفاً مكلف وصعب مقارنةً مع بقية أشكال الجدران المستخدمة، لذلك لا يُلجأ إليها إلا في الحالات الضرورية، التي يلزم فيها أن تكون قيمة الفواقد الهيدروليكية منخفضة.

إن الفرق بين منسوبي المياه عند مدخل ومخرج السيفون المقلوب z المحسوب من أجل

غزارة الجريان الأعظمية المارة في القناة يُصادف في السيفونات المقلوبة التي تُمرر مياه المجاري الطبيعية بصفة نادرة ولفترة قصيرة فقط، وذلك عند مرور الغزارة الحسابية الأعظمية. أما في باقي الفترات فإن حجم الجريان يكون أقل بشكل ملحوظ، وبناءً عليه تكون السرعة والفواقد الهيدروليكية صغيرة.

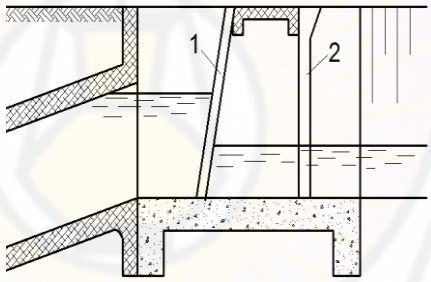
من العلاقة (6-4)، ومن العلاقات التي تعطي قيم معاملات الفواقد الهيدروليكية يُلاحظ أن تصغير قيمة سرعة الجريان v يقلل من قيمة الحد $\frac{v^2}{2g}$، وكذلك من قيم المعاملات المتعلقة، إما بقيمة v أصلاً أو بالعلاقة ما بين سطوح الجريان، وبالتالي فهو يقلل من قيمة z إلى درجة يُصادف فيها المستوى، الذي يرتفع فوق سطح الماء عند مخرج السيفون المقلوب بمقدار z واقعاً على منسوب أخفض من منسوب قعر القناة عند المدخل، أو على ارتفاع تتشكل مقابله قفزة مائية في الجزء العلوي من الناقل، كما في الشكل (6-20).



الشكل (6-20)

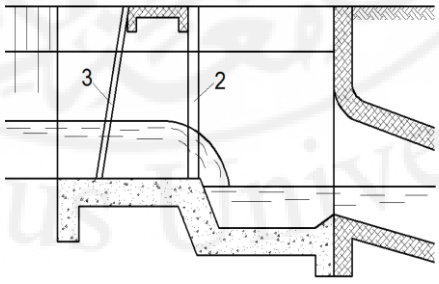
إن ظاهرة حدوث قفزة مائية في ناقل السيفون المقلوب هي ظاهرة غير مرغوب بها، لأن تغيرات السرعة والضغط المرافقة لها يمكن أن تؤدي إلى حالة يتعرض فيها السيفون المقلوب لتحميل ديناميكي إضافي يؤثر في شكل صدمات تتكرر في فترات زمنية غير منتظمة، ولاستبعاد حدوث مثل هذه الظاهرة يمكن الاستعانة بعددٍ من الوسائل العلاجية، منها:

- تركيب بوابة عند مدخل السيفون المقلوب، والسماح للمياه بالتدفق عبر فتحة سفلية فيها يكون الجريان خلفها مغموراً، كما في الشكل (6–21). إن مثل هذا الحل لا يُستخدم إلا في حالة السيفونات المقلوبة الكبيرة، حيث تكون البوابات ضرورية لعمل السيفون المقلوب، وكذلك في الحالة التي تتوافر فيها خدمة متواصلة للصيانة والمراقبة.
- حجز المياه عند مخرج السيفون المقلوب عن طريق استخدام بوابات احتياطية لرفع منسوب سطح الماء في بداية السيفون المقلوب حتى منسوب سطح الماء في القناة أمامه، وذلك كما هو في الشـــكل(6-22)، ورغم أن هذا الحل بسيط ورخيص نسبياً، لكنه يتطلب خدمة مستمرة للتحكم بفتحة البوابات، لذلك نادراً ما يُلجأ إليه.



1. بوابة،
2. مجراية (مزلق).

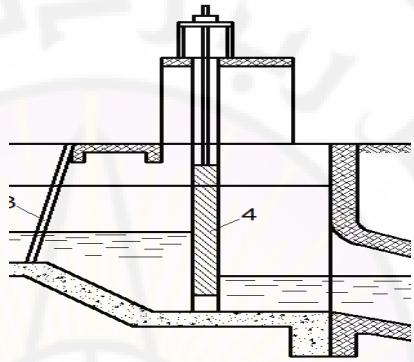
الشكل (6-21)



2. مجراية(مزلق)،
3. شبك معدني

الشكل (6-22)

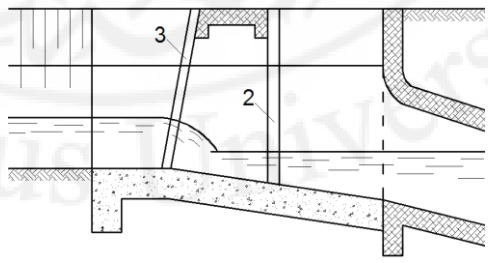
- إقامة حوض تهدئة عند مدخل السيفون المقلوب بحيث تكون القفزة المائية المتشكلة مغمورة بسطح الماء في بداية الناقل، كما في الشكل (6-23). ونظراً للبساطة، وعدم الحاجة لخدمة صيانة مستمرة، فإن هذا النوع من الحلول يُستعمل بكثرة.



3. شبك معدني،
4. بوابة.

الشكل (6-23)

- إعطاء قعر مدخل السيفون المقلوب ميلاً خفيفاً، بحيث يكون الاتصال ما بين القناة أمام المدخل، وبداية الناقل على شكل ميلٍ مائي صغير كما في الشكل (6-24)، ويُعد هذا الحل بسيطاً ورخيصاً، لكنه لا يُستخدم إلا في الحالة التي لا يتطلب فيها مستوى سطح الماء في ناقل السيفون المقلوب خفضاً كبيراً لقعر القناة أمام المدخل (منسوب الماء في الناقل، ومنسوب قعر القناة متقاربان).



2. مجراية (مزلق)،
3. شبك معدني.

الشكل (6-24)

10. 6 ملحقات السيفون المقلوب:

تشمل ملحقات السيفون المقلوب في الحالات الخاصة عناصر متنوعة ومعقدة، لكنها عموماً يمكن أن تتوزع كما يأتي:

10.1. 6 الملحقات المرفقة بالمدخل:

- **شبكة معدنية:** تُوضع الشبكة المعدنية عند مدخل للسيفون المقلوب بهدف:

(أ) منع انسداد مقطع الجريان بالأجسام الطافية، التي يمكن أن تحملها المياه، مثل جذوع وأغصان الأشجار، وجثث الحيوانات الميتة.

(ب) الحماية من حوادث سقوط الأشخاص رغم ندرة مصادفتها.

مع الانتباه هنا إلى أن الشبكة يمكن أن تُغلق بأوراق الأشجار وبقايا الأغصان، وهو ما يسبب نتائج مشابهة لانسداد ناقل السيفون المقلوب، وللحيلولة دون ذلك يجب تأمين خدمة مستمرة لإزاحة مسببات الانسداد المذكورة.

- **بوابة تحكم:** تُركب هذه البوابة مع أجهزتها المرفقة، لتنظيم الجريان، أو لإيقاف تدفق المياه نحو ناقل السيفون المقلوب أثناء تنظيفه أو صيانته أو الكشف عليه.
- **حوض ترسيب:** يُقام في الحالات، التي تكون فيها المياه، التي ستعبر السيفون المقلوب محملةً بنسبة عالية من المواد العالقة، ويُصمم بحيث يجري فيه التقاط هذه المواد قبل دخولها إلى الناقل.
- **منشأة تفريغ:** يُلجأ إلى إلحاق هذه المنشأة بالسيفونات المقلوبة الكبيرة، التي يُتوقع أن تكون غزارة الجريان الواصلة إليها أحياناً أكبر من غزارة الجريان التصميمية بسبب خلل في برنامج تشغيل القناة الرئيسية أمام السيفون المقلوب، أو نتيجة وصول الجريان السطحي إلى القناة من مناطق الجوار، وتكون منشأة التفريغ غالباً على شكل هدار جانبي يعمل على توجيه المياه الفائضة إلى مصارف خاصة.

- **محطة ضخ:** تُقام في بعض الحالات الاستثنائية لدواعٍ اقتصادية، وتكون وظيفتها خلق ضاغط مائي اصطناعي يسمح للماء بالجريان في ناقل السيفون المقلوب بمقاسات مقبولة اقتصادياً.

10.2. 6 الملحقات المرفقة بناقل السيفون المقلوب:

- **سكر تفريغ:** يُركب في أخفض موقع من الناقل، لتفريغه من المياه، أو لتصريف ماء التنظيف منه.
- **غرفة تفتيش:** تُقام أيضاً في الجزء المنخفض من الناقل بأبعاد تسمح بدخول رجلٍ واحد إليها على الأقل للمساعدة في إنجاز أعمال المراقبة والصيانة والتنظيف، والكشف على ناقل السيفون المقلوب.

10.3. 6 الملحقات المرفقة بالمخرج:

- **شبكة معدنية:** تغطي المخرج، وتمنع سقوط الأجسام الغريبة إلى ناقل السيفون المقلوب بفعل الأعمال العبثية لبعض الأشخاص.
- **بوابة احتياطية:** تُخصص لعزل ناقل السيفون المقلوب في أوقات التنظيف، والصيانة.

الجدير بالذكر أخيراً أنه في كثيرٍ من الأحيان يُستغنى عن الشبكتين المعدنيتين عند المدخل والمخرج، وتُركب شبكة واحدة فقط في مجرى القناة أمام السيفون المقلوب، لتجميع الأجسام الطافية التي تحملها المياه قبل بلوغ المدخل.

11. 6 العناصر الإنشائية للسيفون المقلوب:

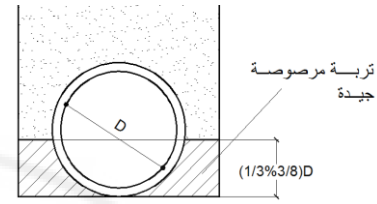
السيفون المقلوب من الناحية الإنشائية هو ناقل قصير يتميز بانحناء مميز نحو الأسفل، مع مدخل ومخرج يربطانه بمجرى مائي. ولا تختلف منشأة هذا الناقل من حيث المبدأ عن منشأة أي ناقل آخر.

أما المدخل والمخرج فيتكونان من جدران استنادية تكون على شكل أجنحة مع ركائز وبلاطات أرضية، أو على شكل آبار شاقولية بمقطع دائري أو مستطيل، وتتلخص وظيفتهما بالآتي:

- تأمين دخول المياه إلى ناقل السيفون المقلوب، وخروجها منه بأقل ما يمكن من فواقد هيدروليكية.
- تأمين الاتصال ما بين المجرى المائي المفتوح عادة، وبين ناقل أو نواقل السيفون المقلوب، مع المحافظة على كتامة مناسبة.
- توفير إمكانية إيقاف جريان المياه إلى ناقل السيفون المقلوب أثناء القيام بأعمال الصيانة والتنظيف فيه.

بعد إنجاز الدراستين المائية والإنشائية للسيفون المقلوب بدقة وعناية (سيأتي الحديث عنهما لاحقاً)، لا بد من اختيار طريقة استناد الناقل على التربة، وتحديد مواضع فواصل التمدد عليه في حال وجودها، وكيفية تكتيمها. ففي حالة السيفونات المقلوبة البيتونية المسلحة المصبوبة في المكان تحت سطح الأرض(المطمورة) ليس من الضروري إقامة أساس مستقل تحت الناقل، بل يُكتفى بتنفيذ طبقة من التربة المرصوصة جيداً أسفله بسماكة تســـاوي (1/3-3/8) من قطره، كما في الشكل (6-25).

وإذا كان ناقل السيفون المقلوب ذا سوية واحدة، أي من دون أي انحناء أو انكسار في مقطعه الطولي ومكوناً من قطع أنبوبية مسبقة الصنع كما في الشكل (6-26)، فإن استناده يكون على أساسٍ مستمرٍ من البيتون العادي (الشكل 6-27).

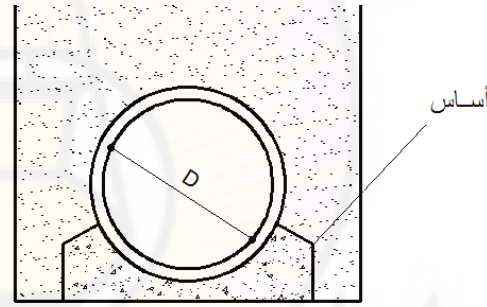


الشكل (6-25)

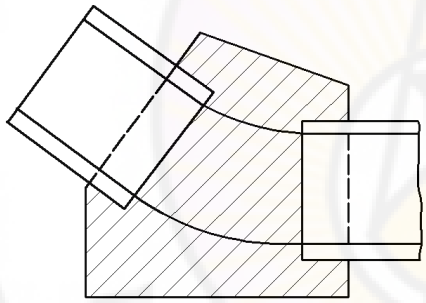


الشكل (6-26)

عند أماكن تغيير الاتجاه في المقطع الطولي لناقل السيفون المقلوب المنفذ من أنابيب مسبقة الصنع تُستخدم غالباً عناصر بيتونية قوسية تُنفذ في المكان، وتأخذ شكل كتل كالمبينة على الشكل (6-28).



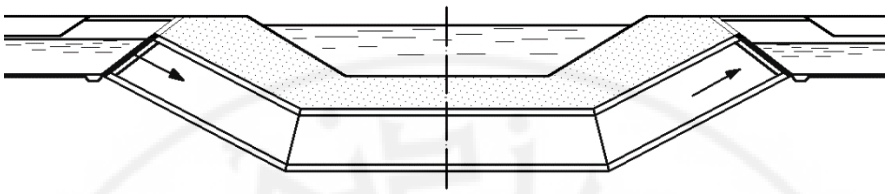
الشكل (6-27)



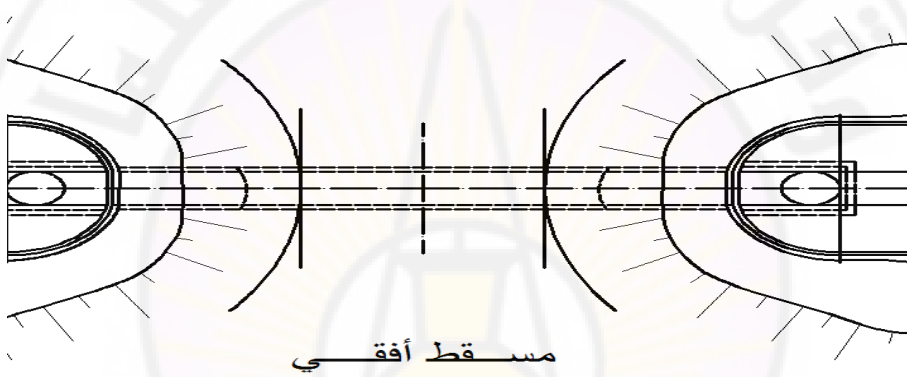
الشكل (6-28)

إن قيمة الفواقد الهيدروليكية المحلية الناتجة في ناقل السيفون المقلوب صغيرة جداً، إذا ما تم تغيير الاتجاه عبر منحنٍ، أو زاويةٍ كبيرة ما بين محاور أجزائه المتجاورة، وتزداد قيمتها عندما يكون تغيير الاتجاه على شكل انكسار، لكنها في كل الأحوال تبقى صغيرةً بالنسبة للفواقد الطولية الحاصلة على طول الناقل بسبب الاحتكاك. وبناءً عليه يُحبذ عدم استخدام المنحنيات ذات الأشكال المعقدة في معظم الحالات، والاستعاضة عنها بانكسارات عادية للناقل كما في الشكل (6-29).

(أ)



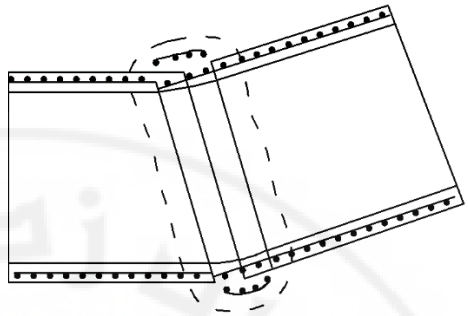
(ب)



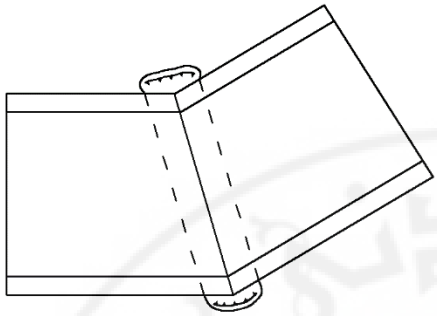
الشكل (6-29). سيفون مقلوب بانكسارات عادية للناقل.

(أ). مقطع طولي، **(ب)**. مسقط أفقي.

ويمكن للانكسار في حالة النواقل البيتونية المسلحة أن يُصنع من قطع مسبقة الصنع (الشكل 6-30)، وعندما تكون المنشأة غير مسلحة، فإن الربط بين جزئي الناقل يمكن أن يجري بمساعدة عنصرين أنبوبيين يُصنَّعَان بطريقة توافق زاوية الانكسار، كما في الشكل (6-31).

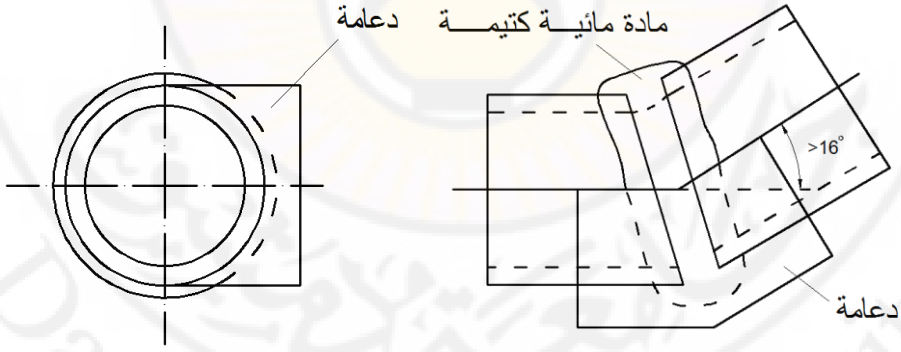


الشكل (6-30)



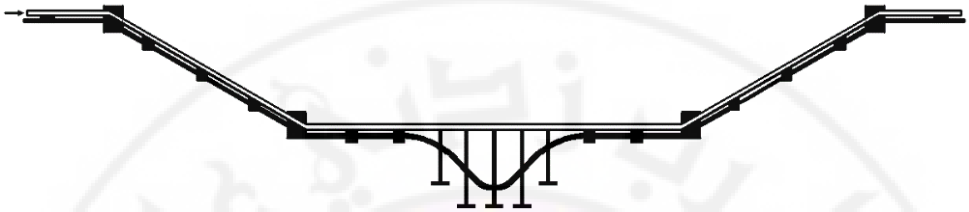
الشكل (6-31)

وفي الحالة التي تكون فيها الزاوية α ما بين محاور أجزاء الناقل أكبر من °16، والتربة تحت الناقل ضعيفة، وشروط التنفيذ تثير المخاوف من حدوث هبوطات كبيرة يُفضل استخدام كتل بيتونية مقاومة حسب الشكل (6-32)، وبالنسبة للنواقل الفولاذية المطمورة، فهي تُنفذ مباشرةً على التربة.

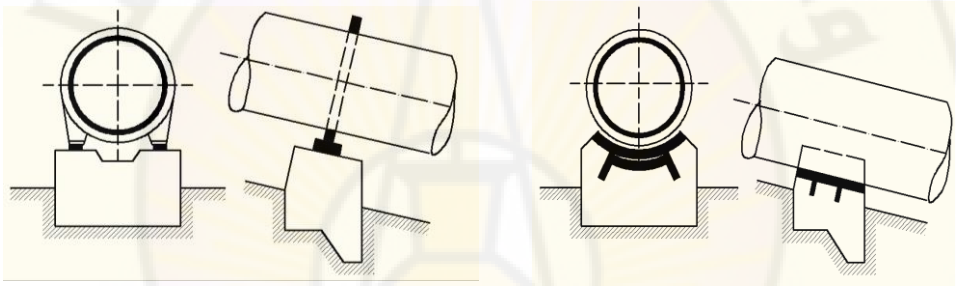


الشكل (32.6)

أما النواقل الفولاذية، والبيتونية الأنبوبية المسلحة المنفذة فوق سطح الأرض في حالة الوديان العريضة (الشكل 6-33)، فتستند على ركائز، كما في الشكل (6-34).



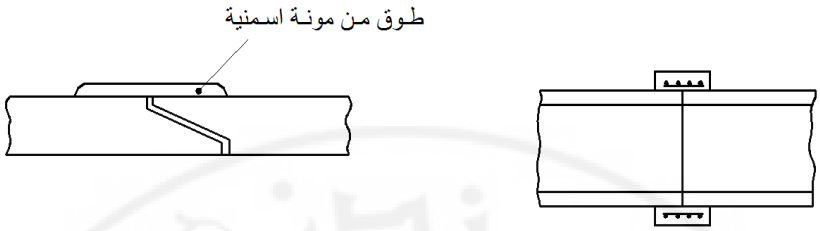
الشكل (6-33)



الشكل (6-34)

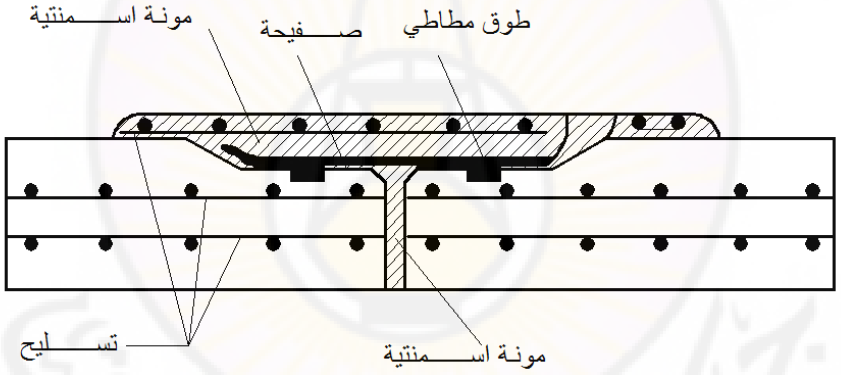
تُستعمل فواصل التمدد في السيفونات المقلوبة ذات السوية الواحدة المنفذة تحت عائق، والمطمورة تحت سطح الأرض، وذلك في حالة النواقل الطويلة جداً فقط، وبمسافات فاصلة لا تزيد على 30.0m، وفي المناطق التي يظهر فيها تغير واضح لنوعية التربة، كما وتُستعمل فواصل التمدد بشكل أساسي ما بين المدخل والمخرج من جهة، وبين ناقل السيفون المقلوب من جهة أخرى، ويجري تكتيم هذه الفواصل بطرائق مختلفة وبمواد متنوعة تتعلق بعوامل متعددة منها حجم السيفون المقلوب ووظيفته، وضغط المياه فيه، والحاجة لصرف المياه منه تماماً، وشكل الناقل، ونوع مادة الإنشاء.

إن أبسط أنواع التكتيم المستخدمة في النواقل البيتونية، والبيتونية المسلحة مسبقة الصنع غير الطويلة، والمستندة على قاعدة ترابية جيدة مبينة على الشكل (6-35).



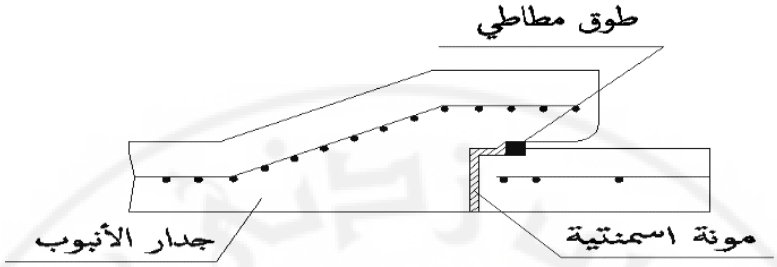
الشكل (6-35)

وعندما يكون ناقل السيفون المقلوب مسبق الصنع، ومعرضاً بشكل متواصل لضغط مياهٍ كبير في التربة، وهناك تخوف من ظهور صعوبات لصرف المياه، يُفضل استعمال طريقة التكتيم الموضحة في الشكل (6-36).



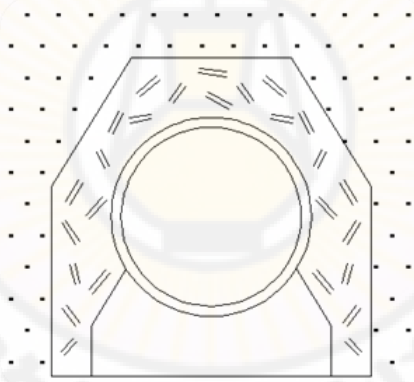
الشكل (6-36)

ومن أجل النواقل الأنبوبية المكونة من عناصر ذات نهايات متداخلة يُستعمل التكتيم المبين في الشكل (6-37). وبالنسبة لتكتيم الفواصل في النواقل ذات السوية الواحدة فيجري باستخدام صفيحة من النحاس، أو من الألمنيوم، أو من فولاذ غير قابل للصدأ، أو باستخدام حشوات من المطاط، أو من مواد اصطناعية.



الشكل (6-37)

تجري حماية ناقل السيفون المقلوب من تسرب المياه الجوفية إلى داخله خلال فترات إيقاف الجريان فيه لأغراض الصيانة والتنظيف عن طريق إحاطة الناقل بقميص من تربة متماسكة كما في الشكل (6-38).



الشكل (6-38)

من جهة أخرى تُحمى النواقل المعدنية ضد الصدأ باستعمال مواد إسفلتية يُطلى بها السطح الخارجي عادة على عدة طبقات. أما عزل النواقل البيتونية والبيتونية المسلحة من الخارج فيُلجأ إليه عندما تكون المياه الجوفية في حال وجودها ذات تأثير كيميائي يضر بها.

يُنفذ مدخل ومخرج السيفون المقلوب في حفرتين مناسبتين، بحيث تقوم الجدران الاستنادية بمقاومة ضغط التربة الجانبي، وضغط المياه الجوفية إن وجدت، وتقوم

البلاطات الأرضية بحماية القاعدة من التآكل. وعندما يكون السيفون المقلوب متعدد النواقل، فلا بد من إقامة ركائز تقسم المدخل إلى عددٍ من الفتحات يساوي عدد النواقل يُؤمن الاتصال بين كل فتحة والناقل المقابل لها بشكلٍ منفصل، بحيث يمكن عند الحاجة عزل أحد النواقل دون إيقاف الجريان باتجاه بقية النواقل.

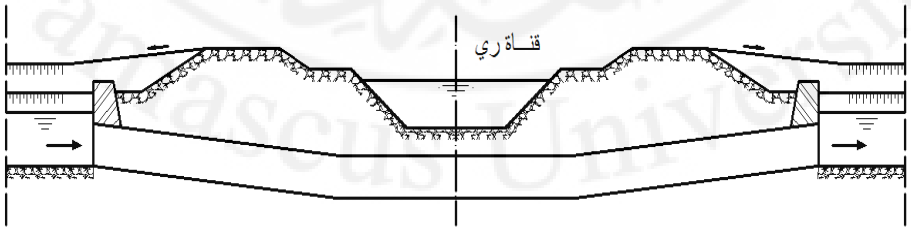
تجري إجراءات الحماية من رشح المياه عند كلٍ من المدخل والمخرج بأساليب مختلفة مثل استعمال ستائر معدنية كتيمة، أو حُجُب من ترب طينية رملية، كما يجب إقامة مصارف خاصة للتخلص من الماء الراشح.

12. 6 الدراسة الإنشائية للسيفون المقلوب:

12.1. 6 تمهيد:

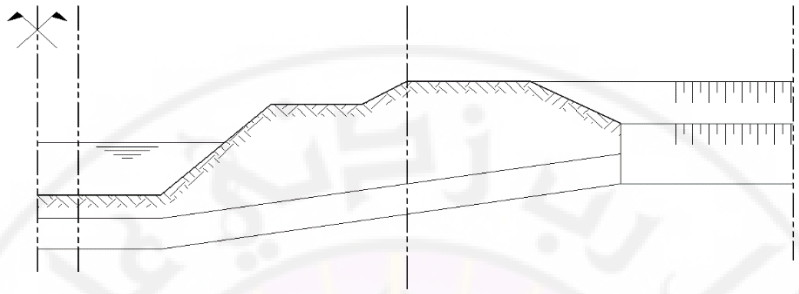
لا يُلاحظ في تصميم السيفونات المقلوبة حلولاً إنشائية متنوعة، كما هو الحال بالنسبة لمنشآت أخرى. فالجزء الأساسي من السيفون المقلوب هو الناقل الذي يقرر طبيعة الحل الإنشائي، ويحدد شكل المنشأة كما أنه يُعد الجزء الأصعب لجهة التنفيذ، لأنه يحتاج لتقانة تنفيذية خاصة تستغرق في الغالب زمناً طويلاً نسبياً.

تهدف الدراسة الإنشائية للسيفون المقلوب بشكل رئيس إلى تحديد قيم القوى والعزوم والإجهادات الناتجة في النقاط المختلفة من المقاطع العرضية المدروسة من الناقل بفعل الحمولات المؤثرة، وفي حالة استخدام السيفون المقلوب لتمرير مياه قناة ري تحت قناة ري أخرى كما في الشكل (6-39)، فإنه تُدرس حالتا التحميل الواردتان أدناه.



الشكل (6-39)

الحالة الأولى- السيفون المقلوب فارغ، والقناة مملوءة بالمياه (الشكل 6-40):



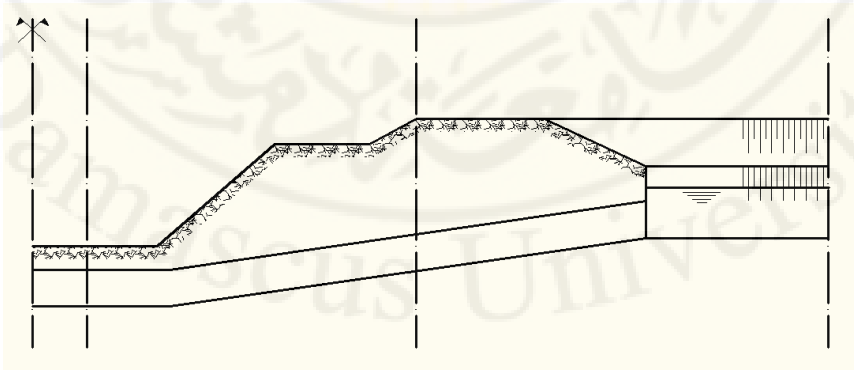
الشكل (6-40)

في هذه الحالة يُدرس المقطعان I-I و Π-Π المبينان على الشكل بحيث يُصمم المقطع I-I كمقطع عبّارة، والحمولات المؤثرة هي:

- الحمولات الميتة.
- الحمولات الحية.
- ضغط التربة الجانبي، وضغط المياه خارج ناقل السيفون المقلوب.

أما المقطع Π – Π فيُصمم ليقاوم الضغط الخارجي للماء.

الحالة الثانية- السيفون المقلوب مملوء بالمياه، والقناة فارغة (الشكل 6-41):



الشكل (6-41)

يُدرس في هذه الحالة المقطعان III-III و IV-IV الموضحان على الشكل، بحيث يُصمم المقطع III-III على الحمولات الآتية:

- الحمولات الميتة.
- الضغط الجانبي للتربة الجافة.
- الضغط المائي داخل ناقل السيفون المقلوب.

ويُصمم المقطع IV–IV ليقاوم:

- الضغط الجانبي للتربة في الحالة الجافة.
- الضغط المائي الأعظمي داخل ناقل السيفون المقلوب.

يُلاحظ من دراسة الحالتين السابقتين أن المقطعين الأسوأ هما المقطعان I-I وIV-IV، اللذان يجب عندهما التحقق من قيم الإجهادات المؤثرة.

12.2. 6 الحمولات التي يتعرض لها ناقل السيفون المقلوب:

أ- **الحمولات الميتة**، وتضم:

- **الوزن الذاتي لناقل السيفون المقلوب:**

يُحسب لمتر طولي من الناقل بدلالة العلاقة:

$$F = \gamma_b .2.\pi .r.t \qquad (t/m) \qquad (32\text{-}6)$$

حيث:

γ_b – الوزن الحجمي لمادة ناقل السيفون المقلوب [t/m^3].

r – نصف القطر الوسطي لناقل السيفون المقلوب [m].

t – سماكة جدار ناقل السيفون المقلوب، وتُقدر قيمتها من الجدول (6-4) الذي ينصح باستخدامه مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي USBR.

الجدول(6-4)

الضاغط المائي في ناقل السيفون المقلوب (H) [m]	**سـماكة جدار الناقل (t)** [cm]
H<12	(d/12)
12<H<24	2.5+(d/12)
24<H<30	5.0+(d/12)
30<H<36	7.5+(d/12)
36<H<42	10.0+(d/12)
42<H<48	12.5+(d/12)
d– القطر الداخلي لناقل السيفون المقلوب [cm].	

- **وزن الماء داخل ناقل السيفون المقلوب:** تُحدد قيمته لمترٍ طولي واحد من الناقل بمساعدة المعادلة:

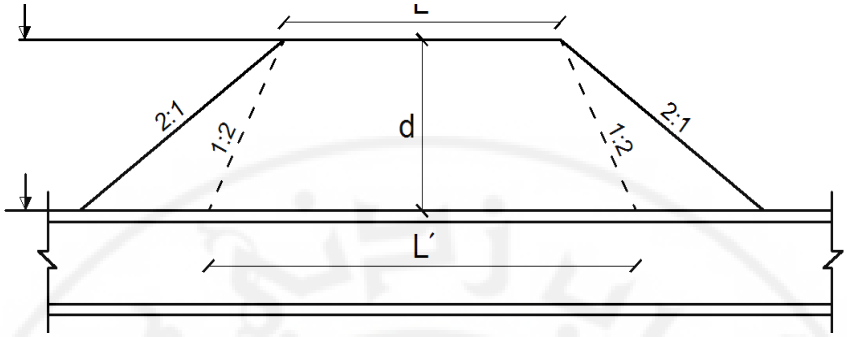
$$G = \gamma_w . \frac{\pi . d^2}{4} \qquad \text{(t/m)} \qquad (33\text{-}6)$$

حيث:

d– كما سبق، قطر ناقل السيفون المقلوب.

γ_w– الوزن الحجمي للماء، ويساوي $1.0 t/m^3$

- **وزن الردم الترابي فوق السيفون المقلوب:** لحساب توزع وزن الردم الترابي فوق ناقل السيفون المقلوب يمكن إهمال زاوية الميل الصغيرة Θ، وافتراض أن تربة الردم مشبعة تماماً بالماء (γ_s = 2.0 t/m^3)، واعتبار أن التوزع يتم كما في الشكل (6-42).



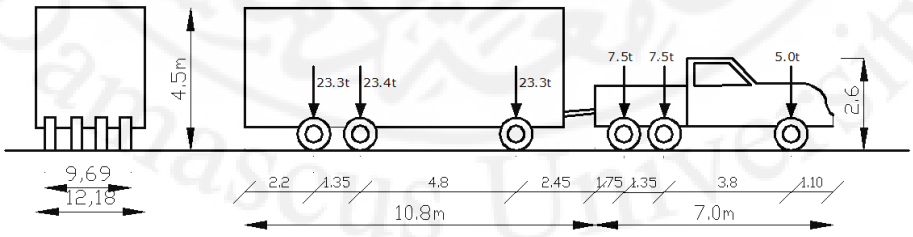
الشكل(6-42)

وبناءً عليه تكون شدة الحمولة الناتجة عن وزن الردم مساويةً:

$$w_1 = \frac{\frac{L+L'}{2}.d.1.0.\gamma_s}{L'.1.0} = \gamma_s.d.(\frac{L+L'}{2L'}) \quad \text{(t/m)} \qquad (34\text{-}6)$$

ب- الحمولات الحية: هي حمولات ديناميكية تنتج عن مرور الآليات فوق السيفون المقلوب، وتُقدر شدتها باعتبار ناقلة الشحن المعيارية Standard Truck Lorry المبينة في الشكل (6-43)، حيث يُفترض أن الحمولة المركزة الناتجة عن الآليات تتوزع في العمق وفق خطوط تأثير بميلٍ يساوي 2:1، واستناداً عليه يكون الشكل (6-43) الذي بمساعدته يُستنتج أن شدة الحمولة الحية تساوي:

$$w_2 = \frac{23.30 + 23.40}{l_1.l_2} \qquad \text{(t/m)} \qquad (35\text{-}6)$$



الشكل (6-43)

ت- الضغط الجانبي للتربة: Lateral Earth Pressure، يؤثر أفقياً، ويتم حساب القوة الجانبية الناتجة عنه اعتماداً على علاقة Rankin المعروفة:

$$p = \gamma_s . h . \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \qquad (36\text{-}6)$$

حيث:

p – الضغط الجانبي للتربة على عمق h [t/m^2].

γ_s – الوزن الحجمي للتربة الجافة، ويُؤخذ عادة γ_s=1,8 t/m^3، ويُطرح منه واحد عندما تكون التربة المحيطة بناقل السيفون المقلوب مشبعةً بالماء.

h– ارتفاع التربة بين المولد السفلي لناقل السيفون المقلوب، وسطح الأرض.

φ – زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، وتُقدر قيمتها بالدرجة.

ويجب التنبيه هنا إلى وجوب إضافة الضغط الجانبي لماء التربة في حالة وجود مياه جوفية، كما يُضاف الضغط الجانبي الناتج عن الوزن الحي فوق التربة السطحية، وذلك بتحويله إلى ارتفاع مكافئ من التربة بتقسيم قيمة الوزن الحي على الوزن الحجمي الجاف للتربة γ_d، مع لفت الانتباه إلى أنه يمكن بشكل تقريبي التعويض عن الحمولة الناتجة عن ناقلة الشحن المعيارية بحمولة موزعة بانتظام شدتها 2.00t/m^2.

ث- الضغط المائي داخل ناقل السيفون المقلوب:

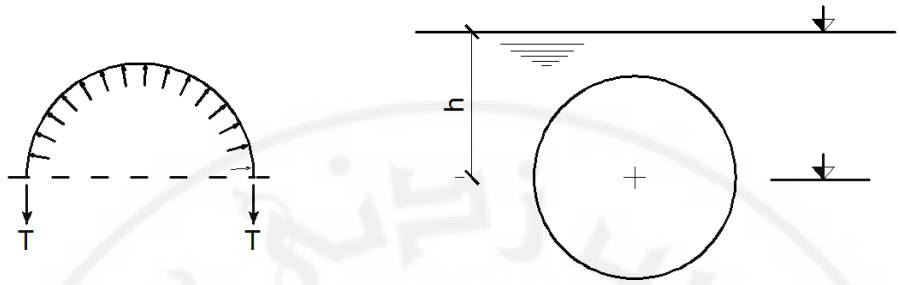
يُقدر الضغط الداخلي المنتظم للمياه في ناقل السيفون المقلوب p(kg/cm^2) بالعلاقة:

$$p = \gamma_w . h_w \qquad (37\text{-}6)$$

حيث:

γw – كما سبق، الوزن الحجمي للماء[t/m^3].

hw – الضاغط المائي المؤثر[m].



الشكل (6-44)

ج- تأثير القوى الخارجية في ناقل السيفون المقلوب:

بأخذ القوى المؤثرة في ناقل السيفون المقلوب أفقياً وشاقولياً موزعةً بانتظام، وباعتماد نظرية كاستيليانو Castigliano المعروفة في التحليل الإنشائي، فإنه يُحصل على ما يأتي:

أ. في حالة قوى شاقولية موزعة بانتظام:

في حال وجود وثاقة كاملة في المقطع A من ناقل السيفون المقلوب يجب حسب نظرية كاستيليانو أن يكون:

$$Angle \text{ of flexible rotation} = \int_0^{\pi} \frac{M.r.d\theta}{E.I} = 0 \qquad (38\text{-}6)$$

حيث يمثل الرمز M عزم الانعطاف المؤثر في ناقل السيفون المقلوب على بعد $\theta.r$ من المقطع A، ويُلاحظ من الشكل أن:

$$M = p.(2r-x).\frac{2r-x}{2} + (-N).(2r-x) + m \qquad (39\text{-}6)$$

حيث يمثل الرمز m قيمة عزم الانعطاف عند المقط B ويجب تحديدها.

أما الرمز $E.I$ فيمثل جداء أمثال يونغ Young لمادة ناقل السيفون المقلوب في عزم عطالة المقطع، وهو يساوي كمية ثابتة يمكن اختصارها من طرفي العلاقة (6-39)، وبناءً عليه يكون:

$$\int_0^{\pi}\left[\frac{p}{2}.(2r-x)^2 - p.r.(2r-x)+m\right].d\theta = 0 \qquad (40\text{-}6)$$

وبملاحظة أن:

$$x = r.(1-\cos\theta) \qquad (41\text{-}6)$$

يكون:

$$2r - x = r.(1+\cos\theta) \qquad (42\text{-}6)$$

وبناءً عليه ينتج:

$$\int_0^{\pi}\left[\frac{p.r^2}{2}.(1+\cos\theta)^2 - p.r^2.(1+\cos\theta)+m\right].d\theta = 0 \qquad (43\text{-}6)$$

أو:

$$-\int_0^{\pi}(\frac{p.r^2}{2}.\sin^2\theta - m).d\theta = 0 \qquad (44\text{-}6)$$

وباعتبار أن:

$$\int_0^{\theta}\sin^2\theta.d\theta = \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{4}\sin 2\theta \qquad (45\text{-}6)$$

بالتكامل يكون:

$$m.\pi - p.r^2.\frac{\pi}{4} = 0 \qquad (46\text{-}6)$$

ومنه:

$$m = \frac{p.r^2}{4} \qquad (47\text{-}6)$$

استناداً على ما سبق تأخذ علاقة حساب قيمة عزم الانعطاف عند أي نقطة تقع على محيط ناقل السيفون المقلوب الصيغة الآتية:

$$M = \frac{p.r^2}{2}.(\frac{1}{2} - \sin^2\theta) \qquad (48\text{-}6)$$

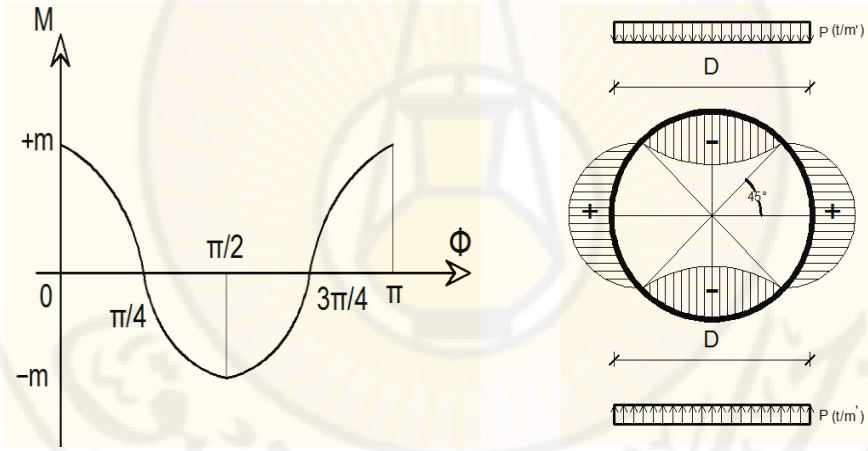
ويمكن هنا مصادفة الحالات الخاصة الآتية:

$$\theta = 0 \quad \Rightarrow \quad M = \frac{p.r^2}{4} = \text{m}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} \quad \Rightarrow \quad M = 0$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad M = -\frac{p.r^2}{4} = \text{-m}$$

بافتراض أن شدة القوى هي p ينتج:



الشكل (6-45)

حيث:

$$M = m.(1 - 2\sin^2\theta) \qquad (49\text{-}6)$$

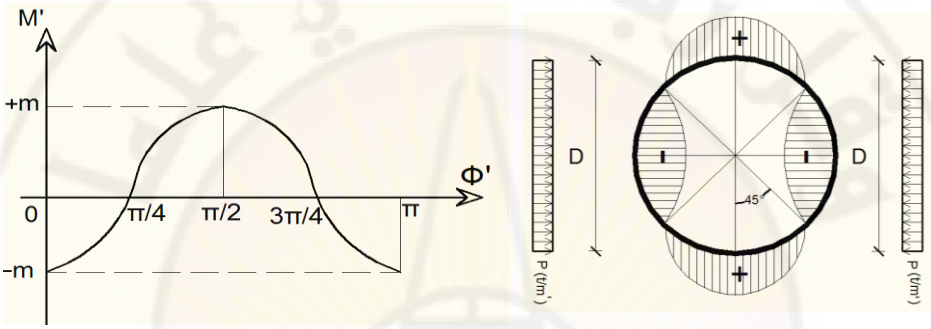
$$m = \frac{p.r^2}{4} \qquad (50\text{-}6)$$

أو:

$$m = \frac{1}{16}.p.D^2 \qquad (51\text{-}6)$$

ب. في حالة قوى أفقية موزعة بانتظام:

بافتراض أن شدة القوى المؤثرة هي p' يكون:



الشكل (6-46)

حيث:

$$M' = m'.(1 - 2\sin^2\theta') \qquad (52\text{-}6)$$

$$M' = m'.\left[1 - 2\sin^2(\theta - \frac{\pi}{2})\right] \qquad (53\text{-}6)$$

$$M' = 2m'.\left[\frac{1}{2} - \cos^2(\theta)\right] \qquad (54\text{-}6)$$

$$M' = -2m'.\left[\frac{1}{2} - \sin^2\theta\right] \qquad (55\text{-}6)$$

$$M' = -m'.\left[1 - 2\sin^2\theta\right] \qquad (56\text{-}6)$$

$$m' = \frac{1}{16}.p'.D^2 \qquad (57\text{-}6)$$

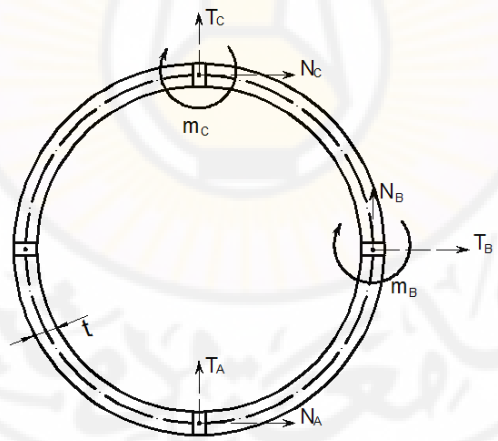
وفي الحالة الخاصة التي يكون فيها: $p = p'$

فان: $m = m'$ و: $M = -M'$

وهذا يعني أنه لا تتشكل في هذه الحالة عزوم انعطاف، وإنما قوة حلقية ضاغطة تُعطى قيمتها بالعلاقة: $N = p.r$.

12.3. 6 حساب القوى والعزوم المؤثرة في السيفون المقلوب:

مع الوضع بالحسبان القوى المختلفة التي يمكن أن يخضع لها ناقل السيفون المقلوب من وزن ذاتي، ووزن ماء، و..... الخ، والتي عُرضت طرائق حسابها آنفاً، وافتراض حالتي استناد لناقل السيفون المقلوب وإهمال قوى القص الداخلية، فإنه يمكن إجراء الحسابات المتعلقة بتحديد قيم كلٍ من القوى الناظمية الداخلية، وعزوم الانعطاف في مقاطع مختلفة من ناقل سيفون مقلوب دائري الشكل وفقاً لما في الجدول (6-5) باعتبار النقاط الرئيسية A وB وC من الناقل المبينة في الشكل (7-47).



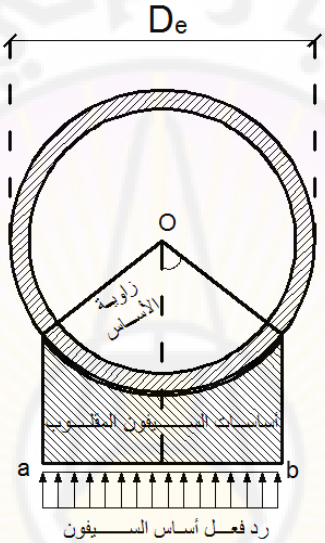
الشكل (7-47)

الجدول (6-5)

الحالة	نوع الحمولة، وقيمة زاوية الأساس	قيمة القوة			قيمة العزم		
		N_A	N_B	N_C	m_A	m_B	m_C
الأولى	الوزن الميت لناقل السيفون المقلوب زاوية الأساس $\theta = 90^0$	0.027.F	0.250.F	- 0.027.F	- 0.035.F.D	0.031.F.D	- 0.028.F.D
	الوزن الميت لناقل السيفون المقلوب زاوية الأساس $\theta = 45^0$	0.053.F	0.250.F	- 0.053.F	- 0.051.F.D	0.039.F.D	- 0.033.F.D
الثانية	وزن الماء في ناقل السيفون المقلوب زاوية الأساس $\theta = 90^0$	- 0451.G	- 0.068.G	- 0.186.G	- 0.035.G.D	0.031.G.D	- 0.028.G.D
	وزن الماء في ناقل السيفون المقلوب زاوية الأساس $\theta = 45^0$	- 0.424.G	- 0.068.G	- 0.212.G	- 0.051.G.D	0.039.G.D	- 0.033.G.D
الثالثة	وزن الردم الترابي، والوزن الحي زاوية الأساس $\theta = 90^0$	0.000	0.500.W	0.000	- 0.063.W.D	0.063.W.D	- 0.063.W.D
	وزن الردم الترابي، والوزن الحي زاوية الأساس $\theta = 45^0$	0.027.W	0.500.W	- 0.027.W	- 0.078.W.D	0.070.W.D	- 0.068.W.D
الرابعة	الضغط الجانبي الخارجي للتربة المؤثر أفقياً (توزيع الضغط منتظم)	0.500.P	0.000	0.500.P	0.063.P.D	- 0.063.P.D	0.063.P.D
الخامسة	الضغط الجانبي الخارجي للمياه المؤثر أفقياً (توزيع الضغط مثلثي)	0.687.H	0.000	0.313.H	0.073.H.D	- 0.063.H.D	0.052.H.D
السادسة	الضغط الداخلي المنتظم للمياه في ناقل السيفون المقلوب	- 0.500.p.D	- 0.500.p.D	- 0.500.p.D	0.000	0.000	0.000

12.4.6 . رد فعل الأساسات تحت ناقل السيفون المقلوب دائري الشكل:

يمكن للأساسات البيتونية تحت ناقل السيفون المقلوب دائري الشكل أن تأخذ عملياً أكثر من وضعية، لكن الوضعية الأكثر شيوعاً هي الوضعية المبينة في الشكل(6-48)، حيث تأخذ زاوية الأساس القيمتين العمليتين°45 = Θ، أو °90 = Θ.



الشكل (6-48)

إذا افتُرض أن القوة R هي مجموع قوى رد الفعل الشاقولي الخاضع له أساس السيفون المقلوب بفعل القوى الآتية:

- الوزن الذاتي للسيفون المقلوب.
- وزن الماء داخل السيفون المقلوب.
- الحمولات الشاقولية الحية والميتة التي تؤثر في السيفون المقلوب.
- قوة الدفع المائي الناتجة عن دافعة أرخميدس، والتي تؤخذ فقط عندما تكون التربة المحيطة بناقل السيفون المقلوب مشبعة بالماء.

فإن الإجهاد الشاقولي $f[kg/cm^2]$ السائد في أساسات ناقل السيفون المقلوب بعد اعتبار أنه يُوزع بانتظام على كامل مساحة الأساسات يُعطى بالعلاقة:

$$f = \frac{R}{D_e.\sin\theta} \qquad (58\text{-}6)$$

حيث D_e القطر الخارجي لناقل السيفون المقلوب.

وبناءً على قيمة الإجهاد الناتجة من العلاقة السابقة تُحسب قيم القوى والعزوم في ناقل السيفون المقلوب مقابل الزاوية θ، وذلك وفق العلاقات الواردة في الجدول (6-6).

الجدول(6-6)

الزاوية θ	القوة الناظمية	قوة القص	العزم		
[درجة]	N_A	T_A	m_A	m_B	m_C
15	- 0.0018.f.r	- 0.0257.f.r	0.0307.f.r^2	- 0.0009.f.r^2	0.0009.f.r^2
30	- 0.0132.f.r	- 0.5000.f.r	0.1050.f.r^2	- 0.0067.f.r^2	0.0065.f.r^2
45	- 0.0374.f.r	- 0.7071.f.r	0.1932.f.r^2	- 0.0194.f.r^2	0.0180.f.r^2
60	- 0.0689.f.r	- 0.8660.f.r	0.2700.f.r^2	- 0.0360.f.r^2	0.0329.f.r^2
75	- 0.0956.f.r	- 0.9659.f.r	0.3201.f.r^2	- 0.0507.f.r^2	0.0448.f.r^2
90	- 0.1061.f.r	- 1.0000.f.r	0.3372.f.r^2	- 0.0567.f.r^2	0.0492.f.r^2

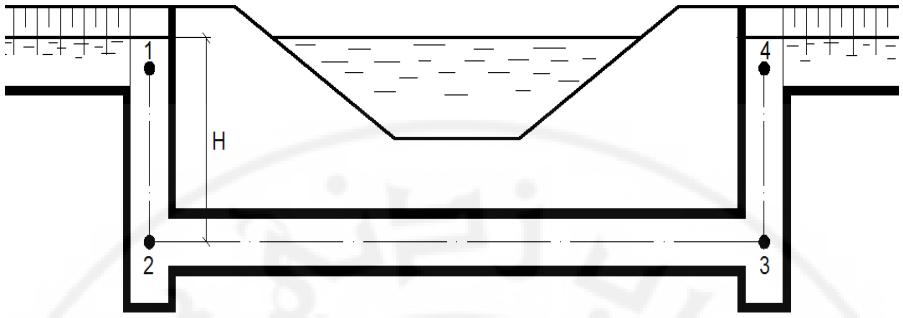
مع ملاحظة أن:

$$N_B = 0 \quad , \quad T_C = 0 \quad , \quad T_B = N_A \quad , \quad N_C = -N_A$$

وتُعد الحالة التي يُنفذ فيها ناقل السيفون المقلوب فوق طبقة مستمرة من الرمل، ويصل ارتفاعها حتى مستوى القطر الأفقي للناقل مماثلة للحالة التي يكون فيها $\theta = 90^0$ الواردة في الجدول (6-6).

13. 6 السيفونات المقلوبة القصيرة (البئرية):

يمكن تنفيذ السيفونات المقلوبة الصغيرة في مشاريع الري والصرف، بحيث يكون المدخل والمخرج على هيئة بئرين شاقوليين بمقطعٍ عرضي مستطيل أو دائري، ومتصلين فيما بينهما عبر ناقل يُنفذ على عمقٍ مناسب كما في الشكل (6-49).



الشكل (6-49)

يُختار قعرا البئرين في هذه الحالة على منسوب أخفض من مستوى قعر الناقل من أجل تشكيل حوضين لترسيب المواد المحمولة، والتخلص منها لاحقاً عند كلٍ من المدخل والمخرج، وبفضل ذلك تسهل عملية تنظيف الناقل لانعدام وجود انعطافات في مساره أولاً، ولإمكانية تجميع المواد المحمولة عند قعري كلٍ من البئرين ثانياً، وعندما يكون عمقا البئرين كبيرين، فإن جودة أداء هذا النوع من السيفونات المقلوبة تنخفض عما هو في حالة السيفون المقلوب ذي المقطع الطولي الطويل، لذلك فإن استخدامه ينحصر في الحالات التي يكون فيها $H \leq 5.00m$، كما أنه لا يُستعمل في حالة الغزارات والسرعات الكبيرة، وذلك بسبب الفواقد الكبيرة، وصعوبة الحصول على السرعة المناسبة للجريان عند المدخل إلى البئر.

بالمحافظة على الخواص الهندسية لقناة الري قبل السيفون المقلوب القصير وبعده، فإن علاقة الجريان من أجل السيفون المقلوب القصير تأخذ الصيغة:

$$Z = 2.5.\frac{v^2}{2g} + \lambda.\frac{L}{D}.\frac{v^2}{2g} \qquad (59\text{-}6)$$

حيث:

z- الفرق بين منسوبي المياه عند مدخل ومخرج السيفون المقلوب القصير[m].

v- سرعة الجريان في ناقل السيفون المقلوب القصير [m/s]، ويجب ألا تقل عن 1.0m/s.

L– طول ناقل السيفون المقلوب[m].

D– قطر ناقل السيفون المقلوب[m].

g– تسارع الجاذبية الأرضية[m/s^2].

λ– معامل الفاقد بالاحتكاك.

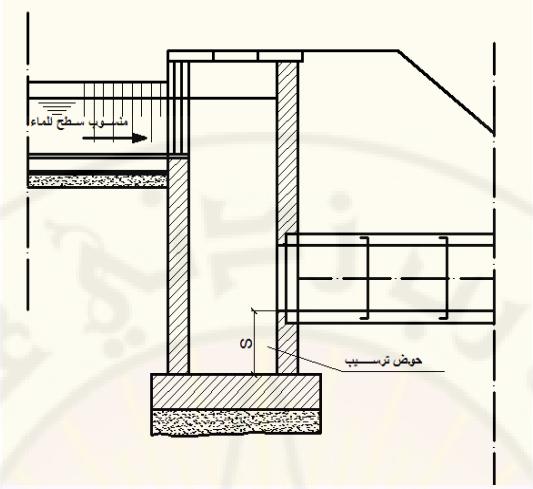
مع التنبيه هنا إلى أن الحد $2.5.\frac{v^2}{2g}$ يمثل مجموع الفواقد الهيدروليكية المحلية (الموضعية، أو الثانوية) الحاصلة على كامل السيفون المقلوب القصير، وهي:

- $0.5.\frac{v^2}{2g}$– الفاقد الهيدروليكي الموضعي الحاصل عند المدخل.
- $0.5.\frac{v^2}{2g}$– الفاقد الهيدروليكي الموضعي الحاصل عندما يغير الجريان اتجاهه (موضعان).
- $\frac{v^2}{2g}$ – الفاقد الهيدروليكي الموضعي الحاصل عند المخرج.

وتُحل الصيغة السابقة (6–60) كما في الحالة العامة للسيفونات المقلوبة، أي بحل المعادلة : $z = f(d)$.

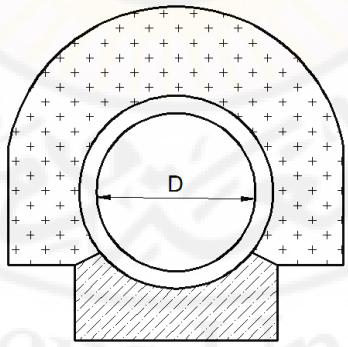
من الناحية الإنشائية يجب أن تحقق منشأة السيفون المقلوب القصير عدداً من المواصفات الفنية، أهمها:

1. يُنفذ بئرا السيفون المقلوب القصير من البيتون المصبوب في المكان، بحيث تكون أرضية كل بئر من البيتون العادي بسماكة 20cm فوق طبقة من بيتون النظافة سماكتها 10cm، وبحيث لا يقل الفرق بين منسوب قعر البئر والمولد السفلي لناقل السيفون المقلوب القصير عن 50cm، وذلك لتشكيل حوض ترسيب تتجمع فيه المواد المحمولة مع المياه العابرة، ولاسيما اذا كانت قنوات الري قبل المدخل ترابية، أو غزارة الجريان فيها كبيرة (الشكل 6-50).



الشكل (6-50)

2. يتكون ناقل السيفون المقلوب القصير من أنابيب بيتونية مسلحة مسبقة الصنع بطول 1.0m لكلٍ منها، وتُنفذ هذه الأنابيب فوق طبقة من البيتون العادي بسماكة 30cm، وتُملأ الفواصل فيما بينها بمواد مالئة كتيمة، ولحماية الناقل من تأثير المياه الجوفية إن وُجدت، فإنه يُحاط بطبقة من الغضار سماكتها 50cm (الشكل 6-51).



الشكل (6-51)

3. يمكن عملياً اعتماد الأبعاد الواردة في الجدول (6-7) لناقل وبئري السيفون المقلوب القصير:

الجدول (6-7)

قطر ناقل السيفون المقلوب القصير [cm]	80	100
الأبعاد الداخلية لبئري السيفون المقلوب القصير [cm]	100 x 100	100 x 120

مع ملاحظة أن الأبعاد الداخلية للبئرين تُختار بحيث تسمح بالدخول إليها، للقيام بصيانتها، وتنظيفها دورياً من المواد التي يمكن أن تترسب فيها.

4. لحماية ناقل السيفون المقلوب القصير من التعرض للانكسار نتيجة مرور الآليات أعلى طبقة الردم الترابي الواقع فوقه، فإن سماكة هذه الطبقة فوق المولد العلوي للناقل يجب ألا تقل عن 0.60cm، وهو ما يتطلب عملياً أن يكون متوسط عمق البئرين ما بين 1.25m و 2.00m.
5. يُزود السيفون المقلوب القصير بشبكٍ معدني متحرك يُركب عند النهاية العلوية للبئر الأمامي، وذلك لمنع عبور الأجسام الطافية إلى داخل ناقل السيفون المقلوب، ويتألف هذا الشبك من قضبان أقطارها mm(10-20)، أو من عوارض معدنية رقيقة أبعاد مقطعها العرضي 30x4mm، وتفصل بينها مسافة تؤخذ من 40cm إلى 50cm.
6. يُزود مدخل السيفون المقلوب القصير بمجارٍ خاصة تسمح بانزلاق حواجز معدنية ضمنها، وذلك لتوفير إمكانية وقف تدفق المياه في الحالات التي تتطلب ذلك، ولاسيما حالات الصيانة، وإصلاح الأعطال.
7. تجري حماية المجرى المائي عند مدخل السيفون المقلوب القصير ومخرجه بطبقة من الحجارة الطبيعية أو الاصطناعية، تُرصف بطولٍ يساوي 5.0m فوق طبقة من الحصويات لا تقل سماكتها عن 15cm.

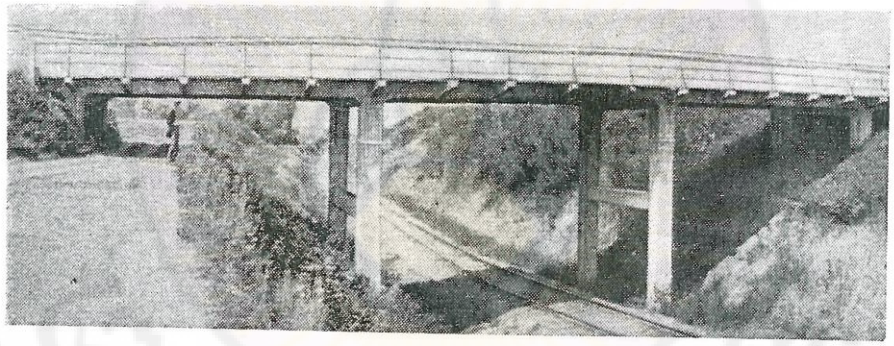
وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السابع

الجســـــــــر المائـــــــي

1. 7 مقدمة:

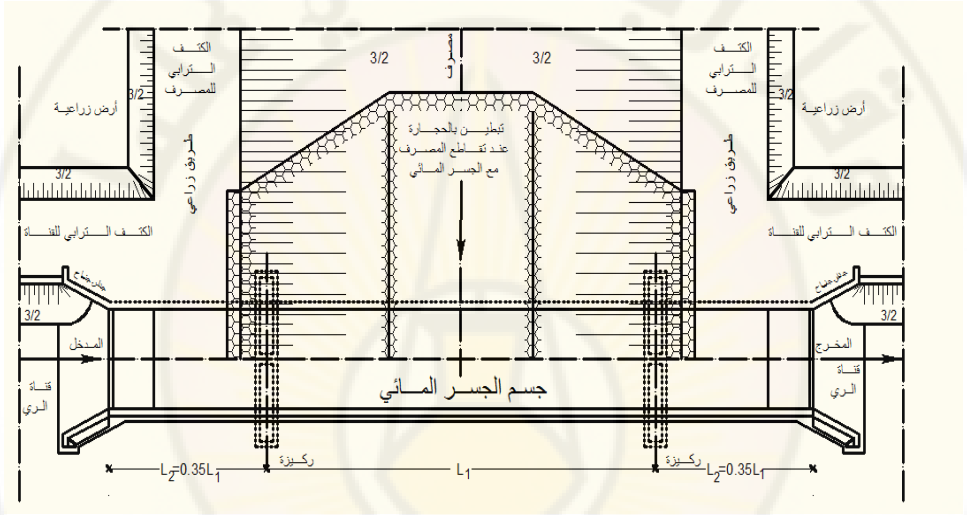
الجسر المائي أو البدالة هو ناقل اصطناعي يحمل المياه بين طرفي قناة فوق مجرى مائي آخر مثل نهر، أو قناة ري أو مصرف، أو فوق طريق أو سكة حديدية، أو منخفض عميق وضيق نسبياً (الشكل7-1).



الشكل (7-1). جسر مائي فوق سكة حديدية.

استُخدمت الجسور المائية منذ عصور بعيدة ومازالت بعض آثارها ماثلة في بلدان مختلفة حتى يومنا هذا. ومن أقدم هذه الجسور كما يقول أصحاب الاختصاص الجسر المائي الذي بني نحو عام 700 قبل الميلاد في بلاد آشور لجر المياه إلى مدينة نينوى. كما أن الرومان أتقنوا إلى حدٍ كبير فن بناء الجسور المائية، ولعل أهم ما بنوه الجسر المائي المعلق الذي أشادوه عام 305 قبل الميلاد بطول وصل حتى 40 km لتأمين مياه الشرب لمدينة روما، وكذلك الجسر المائي "Pont du Gard" الذي أقيم على ثلاثة أقواس طابقية بطولٍ 25,00m، لنقل المياه إلى Nimes في جنوب فرنسا.

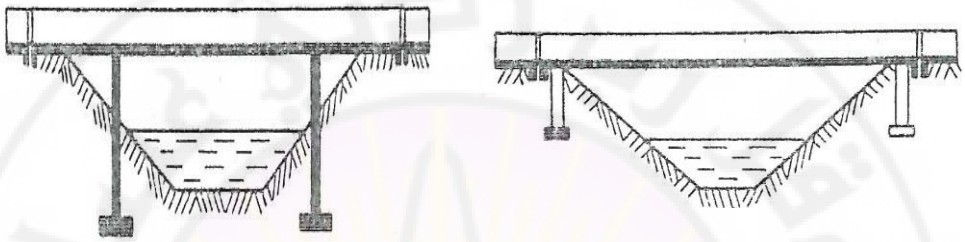
يتألف الجسر المائي عموماً من ثلاثة أجزاء رئيسية هي: المدخل، والمخرج، وجسم الجسر المائي (الشكل7-2)، حيث يكون المدخل والمخرج على شكل جدران تأخذ وضعيات مختلفة تتناسب مع التصميم الهيدروليكي لكلٍ من المدخل والمخرج، أما جسم الجسر المائي فيتكون من مجرى مفتوح، أو ناقل مغلق، ومن منشأة حاملة على شكل جسر، أو على شكل مساند جسرية تكون على هيئة ركائز مصمتة أو إطارية.



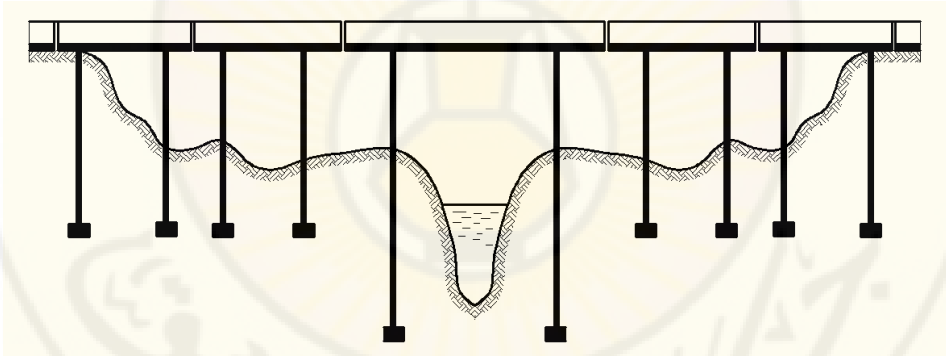
الشكل (7-2). مسقط أفقي لجسر مائي، يبين عناصره الأساسية.

بما أن ركائز الجسر المائي تكون دوماً معرضةً كركائز أي جسر مواصلات لخطر الانكشاف بسبب مياه الأنهار، أو مياه المجاري المائية الأخرى التي تُقام فوقها، فإن أساساتها يجب أن تكون عميقة. ويُلجأ في حالة الأنهار الكبيرة إلى عزل هذه الأساسات بوساطة ستائر كتيمة، أو أوتاد، أو آبار، وبناءً عليه يكون تنفيذ الركائز عادة معقداً، ومكلفاً، ويستغرق وقتاً طويلاً ، وتبقى الركيزة بعد كل هذا العنصر الأقل وثوقية بالنسبة لعناصر الجسر المائي الأخرى، لذلك يكون السعي دوماً لاستبعادها من الاستخدام عند إنشاء الجسور المائية إن أمكن، ولأن الوضع ليس ممكناً في معظم الحالات، فإن التفكير يجب أن يُوجه إلى أن تكون المسافات الفاصلة بين الركائز متساويةً، إلا أن شرط الابتعاد عن إقامة الركائز في عرض المجرى تحت الجسر المائي للأسباب الموضحة أعلاه،

ونقلها إلى الضفاف (الشكل7-3) يحتم أحياناً أن يكون التباعد كبيراً بين الركيزتين الواقعتين فوق المجرى مباشرة ، كما في الشكل (7-4)، بحيث يمكن أن يكون التباعد بين الركائز مختلفاً.

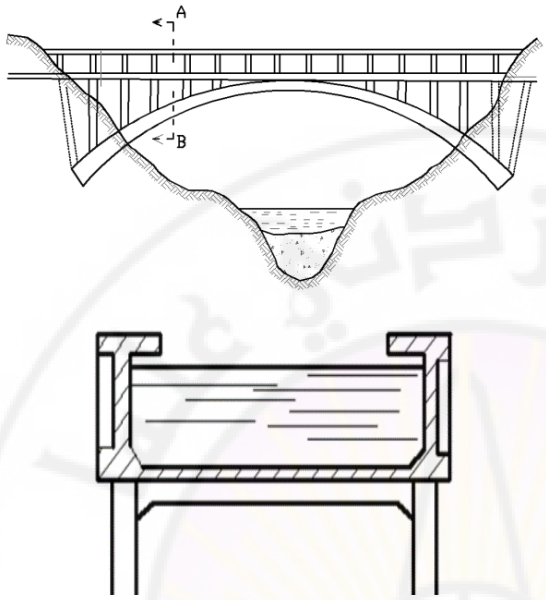


الشكل(7-3)

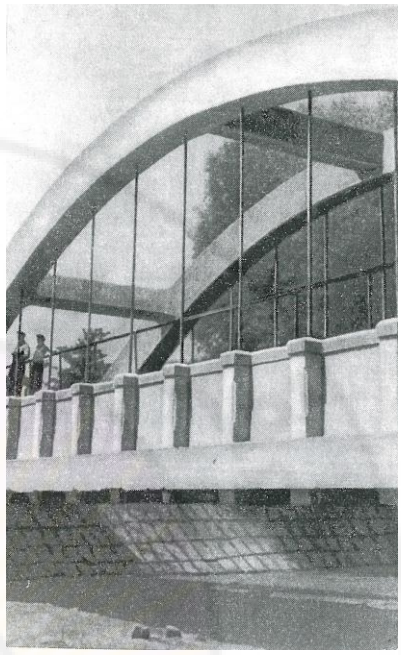


الشكل (7-4)

عند تجاوز الجسر المائي للوديان الضيقة في المناطق الجبلية، يُفضل أن يُقام على هيئة جسرٍ قوسي يستند على جانبي الوادي دون أي ركائز وسطية (الشكل 7-5)، لأن تنفيذ الركائز في مثل هذه المناطق يكون مكلفاً، وصعباً، وتظل الركيزة رغم كل ما يمكن أن يُتخذ من دقة وحيطة مهددةً بالتصدع والانهيار طوال الوقت نظراً للأضرار التي تُلحقها بها السيول المفاجئة، والحركة المركزة للطمي فيها، والكميات الكبيرة التي يمكن لمياه السيول أن تحملها من مواد صلبة متنوعة كأغصان الأشجار مثلاً.



المقطع A-B



الشكل (7-5)

إن اللجوء إلى الحل السابق في اختيار شكل استناد الجسر المائي يتعلق بجملة من العوامل أهمها:

- عرض الوادي المطلوب تجاوزه.
- طبيعة التوضع الجيولوجي على جانبي الوادي، والمواصفات الجيوتكنيكية لتربته، ولاسيما قدرة تحمل التربة لإجهادات الضغط المنقولة إليها من الجسر المائي، ويُحبذ دوماً أن يكون الاستناد على تربة صخرية.

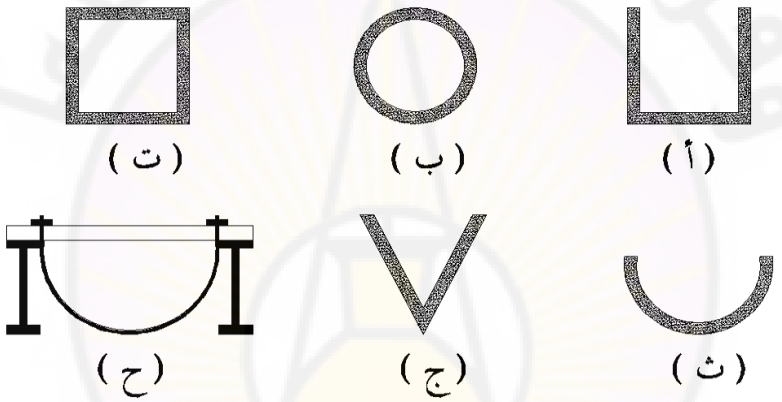
2. 7 المقطع العرضي للجسر المائي:

يُبين الشكل (7-6) عدداً من المقاطع العرضية لجسم الجسر المائي، ويُعد المقطع المستطيل المفتوح (الشكل 7-6.أ) الأكثر استخداماً، ثم يليه المقطع الدائري على (الشكل7-6. ب)، أو المقطع المستطيل المغلق (الشكل 7-6. ت)، أما بالنسبة للمقاطع الأخرى فنادراً ما يُلجأ لها عملياً، ويتعلق اختيار شكل المقطع العرضي للجسر المائي

بالعوامل الآتية:

- الاعتبارات الإنشائية.
- المقاومات المطلوبة.
- سهولة التنفيذ.

أما الاعتبارات الهيدروليكية فتأثيرها ضئيل، لأن طول الجسر المائي ليس كبيراً، وعمق الماء فيه يتعلق بعمق الماء ضمن القناة الواصل بين طرفيها.



الشكل (7–6). نماذج من المقطع العرضي لجسم الجسر المائي.

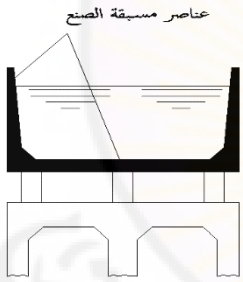
أ. مقطع مستطيل مفتوح من الأعلى، ب. مقطع دائري، ت. مقطع مستطيل مغلق، ث. مقطع على شكل قطع مكافئ، ج. مقطع مثلثي، ح. مقطع نصف دائري من صفائح معدنية رقيقة، محمول على جوائز طولية معلقة (كان يُستخدم قديماً في الولايات المتحدة الأمريكية).

تُنشأ الجسور المائية ذات المقطع العرضي المستطيل المفتوح، أو المغلق من البيتون المسلح المصبوب في المكان، أو مسبق الصنع، أو مسبق الإجهاد، وتُنشأ ذات المقطع العرضي الدائري من الفولاذ عادةً بقطر لا يتجاوز في معظم الحالات 1.50m، ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن المقطع المكشوف للجسر المائي غالباً ما يُقوى بشدادت Ties من البيتون المسلح تُوزع على طول جسم الجسر المائي بمسافات متساوية، تؤخذ عادة في المجال 1.50-2.0m (الشكل7-7)، كما أن الارتفاع الحر في الجسر المائي يُؤخذ (0.15-0.20)d، حيث d عمق الماء في الجسر المائي.

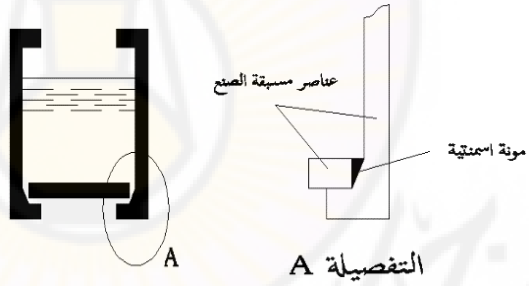


الشكل (7-7)

يبين الشكلان (7-8)، و(7-9) نموذجين للمقطع العرضي لجسم جسر مائي مسبق الصنع.



الشكل (7-9)



الشكل (7-8)

3. 7 الدراسة المائية:

يُعد الجريان في الجسر المائي جرياناً مستقراً منتظماً، وتسري عليه معادلة Chezy المعروفة:

$$v = C.\sqrt{R_h.S_0} \qquad (1\text{-}7)$$

التي فيها:

$$C = \frac{1}{n}.R_h^{\frac{1}{6}} \qquad (2\text{-}7)$$

أي أن:

$$v = \frac{1}{n}.R^{\frac{2}{3}}.S_0{}^{\frac{1}{2}} \qquad (3\text{-}7)$$

حيث:

v– سرعة الجريان في مجرى الجسر المائي[m/s]، وتؤخذ قيمتها عادة في المجال من 2 إلى 3 أضعاف سرعة الجريان في القناة قبل الجسر المائي.

C– معامل Chezy.

n – معامل خشونة السطح الداخلي لمجرى الجسر المائي، ويُؤخذ في حالة البيتون المسلح n = 0.014، ويُلجأ أحياناً إلى تنعيم السطح ليصبح: n=0.011–0.014.

R – نصف القطر الهيدروليكي لمقطع الجريان في مجرى الجسر المائي [m].

S_0– الميل الطولي لقعر مجرى الجسر المائي.

تُقدر قيمة الفواقد في طاقة المياه H الحاصلة عبر الجسر المائي بمساعدة العلاقة:

$$H = \frac{v^2}{2g}.(C_{en.} + C_{f.} + C_{ex.}) \qquad (4\text{-}7)$$

حيث:

v – كما سبق، سرعة الجريان في مجرى الجسر المائي.

C_{en} – معامل فاقد الطاقة عند المدخل، وتتراوح قيمته بين 0.10 و0.50، وذلك حسب شكل المدخل.

C_f – معامل فاقد الطاقة بالاحتكاك على طول الجسر المائي، ويتعلق بنوع وطبيعة السطح الداخلي للمجرى، وتُحسب قيمته كما في حالة العبّارة أو السيفون المقلوب.

C_{ex} – معامل فاقد الطاقة عند المخرج، وتتعلق قيمته بوضعية جدران المخرج، وتؤخذ عادةً في المجال 0.20-1.00.

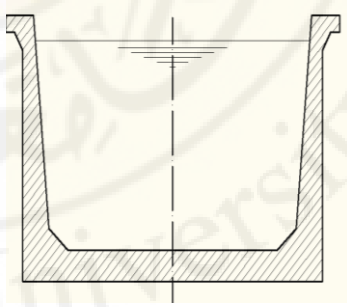
يجب ألا تزيد قيمة H المحسوبة بالعلاقة (7-5) على قيمة فرق الضاغط ما بين أمام الجسر المائي وخلفه، والتي تُؤخذ عادة 20 cm.

إن جدران مدخل الجسر المائي ومخرجه تكون على شكل أجنحة توازي محوره الطولي أو تميل عليه قليلاً، ويمكن أن تأخذ أشكالاً أخرى معقدة بانسيابية أفضل تسمح بتقليل الفواقد في الطاقة، لكنها تُصعّب تنفيذ العمل، وتزيد من كلفة الإنشاء. لكن استخدام مثل هذه الأشكال لا يكون مسوغاً عندما لا يكون فرق المنسوب ما بين سطحي الماء عند المدخل والمخرج كبيراً، وعندما لا يكون محبذاً زيادة مساحة المقطع العرضي لمجرى الجسر المائي، نظراً لصغر قيمة سرعة الجريان.

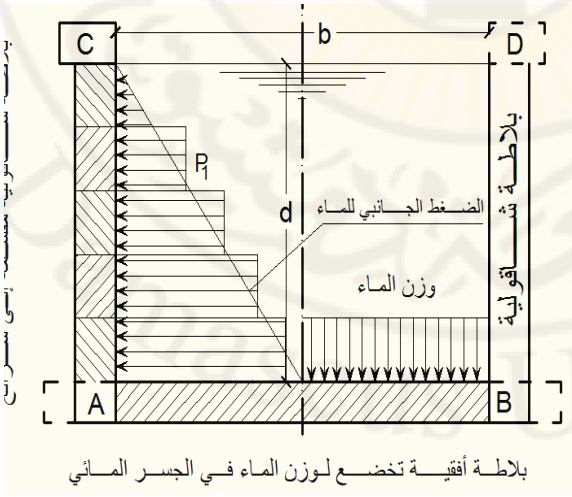
أخيراً تجدر الإشارة إلى أنه عندما تكون هناك خشية من إمكانية أن تصبح لسبب ما غزارة جريان المياه المارة في الجسر المائي، أكبر من غزارة الجريان، التي تُنجز على أساسها الحسابات الهيدروليكية والإنشائية، فإنه يجب إنشاء فتحات طولية في جدران المجرى، لتصريف المياه الفائضة، وتجنب تأثير حمولات إضافية عليه، وتكون هذه الفتحات على منسوب سطح الماء في المجرى، أو فوقه بقليل.

4. 7 الدراسة الإنشائية:

4.1. 7 حالة الجسر المائي المفتوح من الأعلى (الشكل7-10):



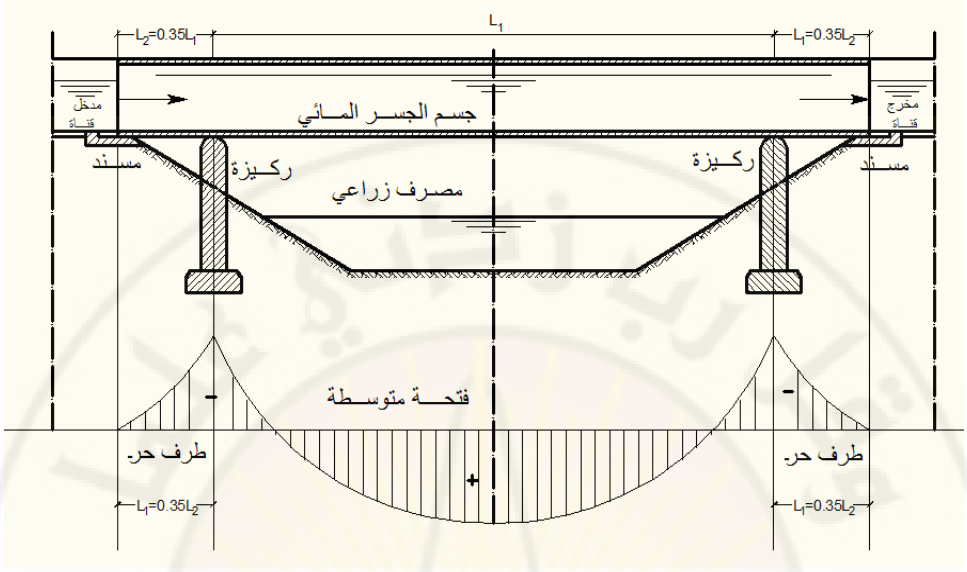
الشكل (7-10)



الشكل (7-11)

- تُصمم القاعدة السفلية AB من جسم الجسر المائي كبلاطة مستطيلة الشكل من البيتون المسلح عرضها b، وطولها L يساوي البعد بين الجوائز العرضية التي تستند عليها البلاطة عند الركائز المتوسطة الحاملة لجسم الجسر المائي.
- تُصمم البلاطتان الشاقوليتان AC وBD كشرائح طولية تتعرض لضغوط مائية جانبية P_1 و P_2 و P_3 و P_4 و .....الخ، كما في الشكل (7-11)، وتُحسب قيم العزوم المؤثرة فيها من العلاقة $\frac{P.L^2}{10}$ عند منتصف الشريحة، ومن العلاقة $\frac{P.L^2}{12}$ عند نهاية الشريحة.
- تُصمم الجوائز الطولية عند النقاط A و B و C و D أما على شكل جوائز بسيطة، أو على شكل جوائز مستمرة فوق الركائز التي يستند عليها جسم الجسر المائي، وذلك في الاتجاه الطولي، أي في اتجاه جريان الماء العابر للجسر المائي، وتخضع هذه الجوائز الطولية إلى القوى الآتية:
  1. وزنها الذاتي (حمولة ميتة).
  2. ردود الفعل الناتجة عن كلٍ من البلاطة الأفقية AB، والبلاطتين الشاقوليتين AC و BD، مع الإشارة هنا إلى أنه عند مواقع الاستناد على الركائز الحاملة لجسم الجسر المائي تنقل الجوائز الشاقولية (نهاية البلاطة الشاقولية عند كل ركيزة يستند عليها جسم الجسر المائي) القوى وردود الفعل إلى الركائز، التي تنقلها بدورها إلى الركائز.

يُبين الشكل (7-12) مقطعاً طولياً لجسر مائي، ومخططاً لعزم الانعطاف الناتج عن القوى المؤثرة فيه، بوصفه يعمل كجائزٍ طولي يستند على ركائز.



الشكل (7–12)

ولكي يكون التسليح المستخدم اقتصادياً في الاتجاه الطولي، فإنه يُفضل عملياً أن يُختار التباعد بين الركيزتين اللتين يستند عليهما جسم الجسر المائية، بحيث يحقق طول الفتحة المتوسطة L_1، وطول الطرفين الحرين L_2 العلاقة الآتية:

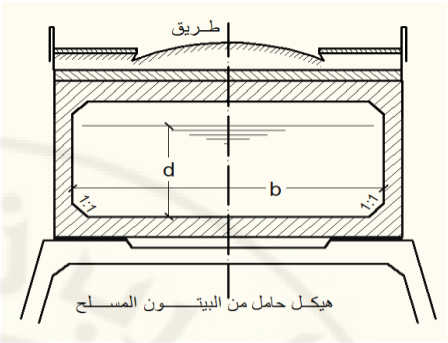
$$L_2 = 0.35 . L_1 \qquad (5\text{-}7)$$

يُلاحظ في هذه الحالة أن عزم الانعطاف السالب المؤثر عند الركيزة يساوي بالقيمة المطلقة عزم الانعطاف الموجب المؤثر في منتصف الفتحة المتوسطة.

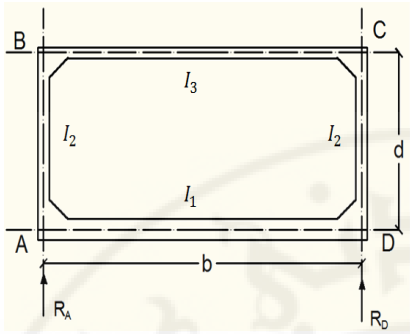
4.2.7 حالة الجسر المائي المغلق من الأعلى (المقطع العرضي مستطيل):

فرضيات:

باعتبار أن المقطع العرضي للجسر المائي مغلق كما في الشكل (7–13)، وأن عزوم عطالة أضلاعه كما في الشكل (7–14):



الشكل(7-13)



الشكل(7-14)

يكون:

$$K_1 = \frac{I_3}{I_1} \qquad K_2 = \frac{I_3}{I_2}.\frac{d}{b}$$

حيث:

I_1 – عزم عطالة البلاطة السفلية من المقطع العرضي لجسم الجسر المائي [m^4].

I_2 – عزم عطالة البلاطة الشاقولية من المقطع العرضي لجسم الجسر المائي [m^4].

I_3 – عزم عطالة البلاطة العلوية من المقطع العرضي لجسم الجسر المائي [m^4].

d – عمق الماء في جسم الجسر المائي [m].

b – عرض المقطع العرضي لجسم الجسر المائي [m].

وفي الحالة العملية الخاصة التي يكون فيها:

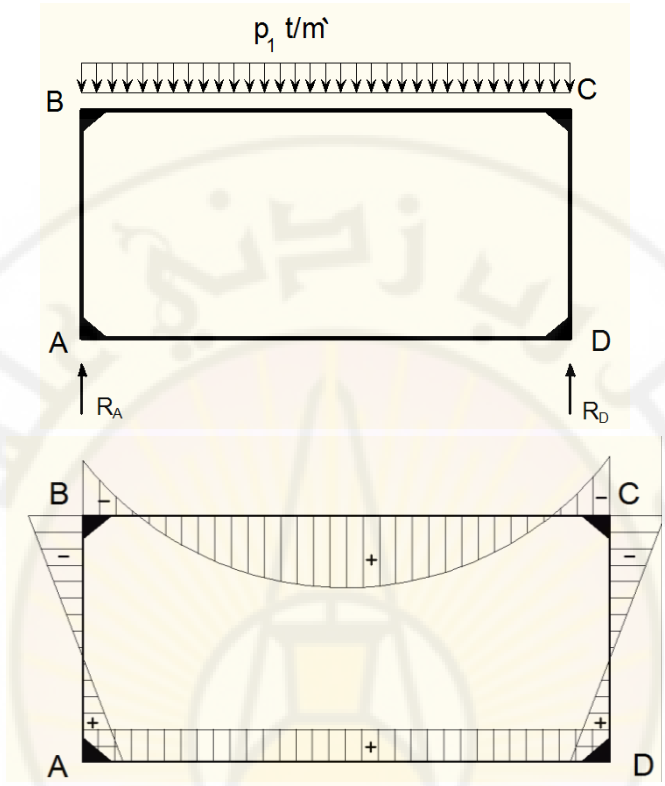
$$I_1 \cong I_2 \cong I_3 \quad \text{و} \quad \frac{d}{b} \cong \frac{1}{2}$$

يمكن اعتبار أن:

$$K_1 \cong 1 \qquad \text{و} \qquad K_2 \cong \frac{1}{2}$$

2.2.4.7.حالات التحميل المدروسة:

الحالة الأولى– حمولة شاقولية موزعة بانتظام فوق سطح البلاطة العلوية، كما في الشكل (7-15)، يُضاف إليها الوزن الذاتي للبلاطة (حمولة ميتة)– (p_1(t/m`):



الشكل(7-15)

في هذه الحالة تُعطى قيم العزوم والقوى المؤثرة في المقاطع المختارة بالعلاقات الآتية:

$$M_A = M_D = +\frac{p_1.b^2}{4}.\frac{K_2}{(2K_2+3).(3K_1+K_2)-K_2^{\,2}} \qquad (6\text{-}7)$$

وباعتبار: $K_2 \cong 1$ و $K_2 \cong \frac{1}{2}$

ينتج أن:

$$M_A = M_D \cong +\frac{p_1.b^2}{4}.\frac{1}{32} = \frac{1}{128}.p_1.b^2 \qquad (7\text{-}7)$$

$$M_B = M_C = -\frac{p_1.b^2}{4}.\frac{3K_1+2K_2}{(2K_2+3).(3K_1+K_2)-K_2^{\,2}} \qquad (8\text{-}7)$$

وباعتبار: $K_2 \cong 1$ و $K_2 \cong \frac{1}{2}$

يكون:

$$M_B = M_C = -\frac{p_1.b^2}{4}.\frac{1}{4} = -\frac{1}{16}.p_1.b^2 \qquad (9\text{-}7)$$

$$M_{BC} = \frac{p_1.b^2}{8} + M_B \qquad (10\text{-}7)$$

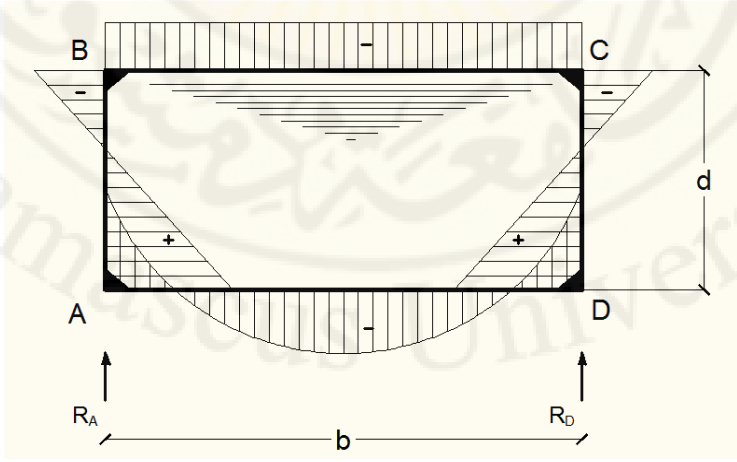
$$R_A = R_D = \frac{p_1.b}{2} \qquad (11\text{-}7)$$

$$N_{AD} = -N_{BC} = \frac{M_B - M_A}{d} \qquad (12\text{-}7)$$

$$N_{BA} = N_{CD} = \frac{p_1.b}{2} \qquad (13\text{-}7)$$

الحالة الثانية – وزن الماء في جسم الجسر المائي مع وزن البلاطة السفلية(p_2 (t/m`):

بافتراض أن عمق الماء في جسم الجسر المائي يصل حتى الارتفاع d كما في الشكل (7–16)، وأن: $K_2 \cong 1$ و $K_2 \cong \frac{1}{2}$



الشكل (7–16)

يكون:

$$M_A = M_D = +\frac{p_2.b^2}{4}.\frac{K_1.(2K_2+3)}{(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2{}^2}$$

$$= +\frac{p_2.b^2}{4}.\frac{1}{4} \cong +\frac{1}{16}.p_2.b^2 \qquad (14\text{-}7)$$

$$M_B = M_C = -\frac{p_2.b^2}{4}.\frac{K_1.K_2}{(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2{}^2}$$

$$= -\frac{p_2.b^2}{4}.\frac{1}{32} \cong -\frac{1}{128}.p_2.b^2 \qquad (15\text{-}7)$$

$$M_{AD} = -\frac{p_2.b^2}{8} + M_A \qquad (16\text{-}7)$$

$$R_A = R_D = \frac{p_2.b}{2} \qquad (17\text{-}7)$$

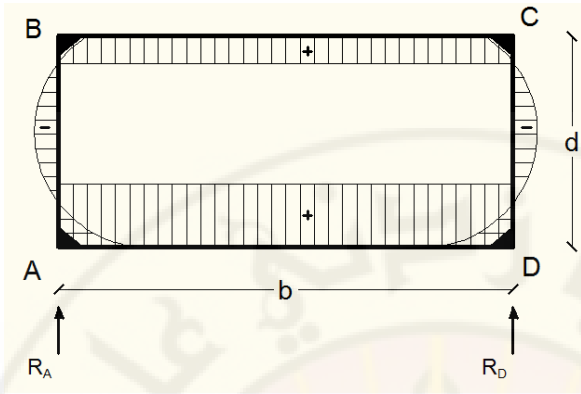
$$N_{AD} = -N_{BC} = \frac{M_B - M_A}{d} \qquad (18\text{-}7)$$

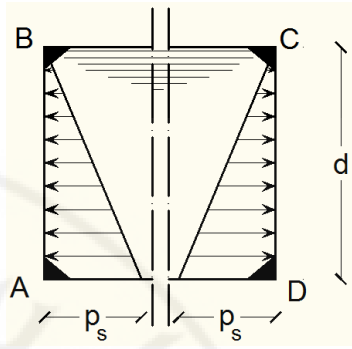
$$N_{BA} = N_{CD} = 0 \qquad (19\text{-}7)$$

الحالة الثالثة– الضغط الجانبي للمياه الجارية عبر جسم الجسر المائي(p_3 (t/m`):

بافتراض أن الضغط المائي عند قعر المقطع العرضي لجسم الجسر المائي هو P_3 كما في الشكل (7–17)، وأن:

$$K_2 \cong \frac{1}{2} \quad \text{و} K_2 \cong 1$$





الشكل (7-17)

يكون:

$$M_A = M_D = +K_2 . \frac{(2K_2+3).\frac{2.p_3.d^2}{15} - K_2.\frac{7.p_3.d^2}{60}}{(2K_2+3).(3K_1+2K_2) - K_2^{\,2}} \qquad (20\text{-}7)$$

$$\cong \frac{1}{64}.p_3.d^2$$

$$M_B = M_C = +K_2 . \frac{(3K_2+2K_2).\frac{7.p_3.d^2}{60} - K_2.\frac{2.p_3.d^2}{15}}{(2K_2+3).(3K_1+2K_2) - K_2^{\,2}} \qquad (21\text{-}7)$$

$$\cong \frac{1}{80}.p_3.d^2$$

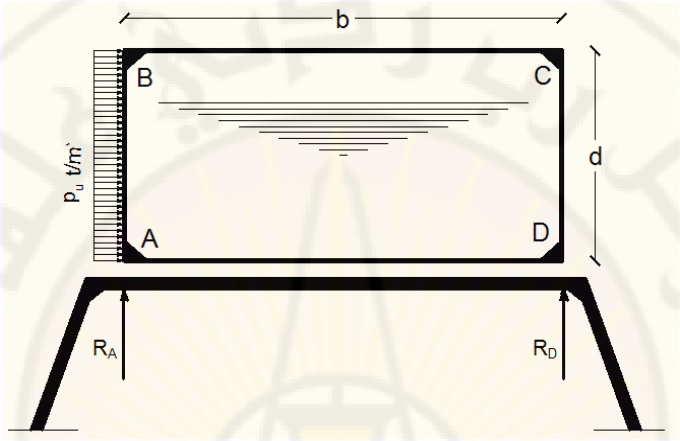
$$R_A = R_D = 0 \qquad (22\text{-}7)$$

$$N_{AD} = \frac{-\frac{p_3.d^2}{3}}{d} + \frac{M_B - M_A}{d} \qquad (23\text{-}7)$$

$$N_{BC} = \frac{-\frac{p_3.d^2}{6}}{d} + \frac{M_A - M_B}{d} \qquad (24\text{-}7)$$

الحالة الرابعة– ضغط الرياح على الوجه الخارجي لجسم الجسر المائي(p_4 (t/m`:

تؤثر الرياح جانبياً في الوجه الخارجي المواجه لها من جسم الجسر المائي بضغط موزع بانتظام تؤخذ قيمته عادةً في المجال p_4=200-300kg/cm^2، كما في الشكل (7-18):



الشكل (7–18)

فإذا أفتُرض أن:

$$K_1 \cong 1 \quad \text{و} \quad K_2 \cong \frac{1}{2}$$

يكون (الشكل 7–19):

$$M_A = -\frac{K_2.\frac{1}{4}.(K_2+3).p_4.d^2}{2.\left[(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2^{\,2}\right]} - \frac{\frac{1}{2}.(4K_2+1).p_4.d^2}{2(1+K_1+6K_2)}$$

$$\cong -\left(\frac{7}{512}+\frac{3}{20}\right).p_4.d^2 \qquad (25\text{-}7)$$

$$M_D = -K_2.\frac{\frac{1}{4}.(K_2+3).p_4.d^2}{2.\left[(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2{}^2\right]} + \frac{\frac{1}{2}.(4K_2+1).p_4.d^2}{2.(1+K_1+6K_2)} \cong -\left(\frac{7}{512}-\frac{3}{20}\right).p_4.d^2 \quad (26\text{-}7)$$

$$M_B = -K_2.\frac{\frac{1}{4}.(3K_1+K_2).p_4.d^2}{2.\left[(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2{}^2\right]} + \frac{\frac{1}{2}.(K_1+2K_2).p_4.d^2}{2(1+K_1+6K_2)} \cong -\left(\frac{7}{512}-\frac{1}{10}\right).p_4.d^2 \quad (27\text{-}7)$$

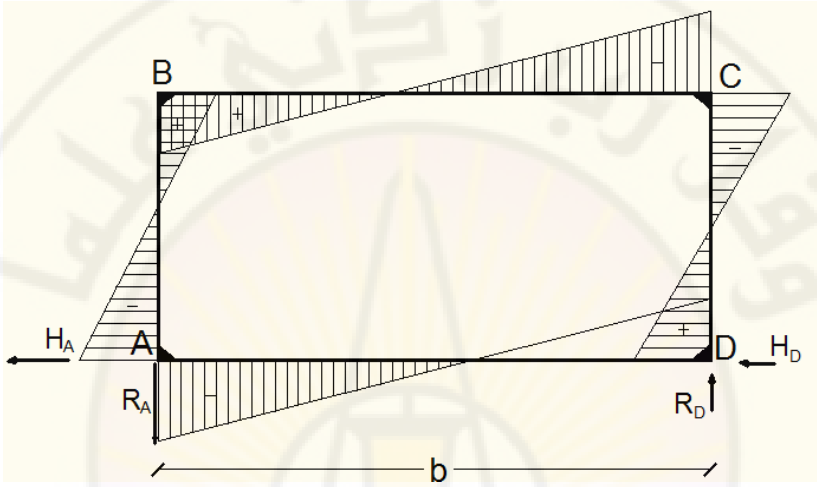
$$M_C = -K_2.\frac{\frac{1}{4}.(3K_1+K_2).p_4.d^2}{2.\left[(2K_2+3).(3K_1+2K_2)-K_2{}^2\right]} - \frac{\frac{1}{2}.(K_1+2K_2).p_4.d^2}{2(1+K_1+6K_2)} \cong -\left(\frac{7}{512}+\frac{1}{10}\right).p_4.d^2 \quad (28\text{-}7)$$

$$H_A = -p_4.d \quad (29\text{-}7)$$

$$R_D = -R_A = \frac{p_4.d^2}{2.b} \quad (30\text{-}7)$$

$$M_{AB} = \frac{p_4.d^2}{8} + \frac{M_A+M_B}{2} \quad (31\text{-}7)$$

$$N_{AD} = -\frac{M_D - M_C}{d} \quad , \quad N_{BC} = +\frac{M_D - M_C}{d}$$
$$N_{BA} = -\frac{M_B - M_C}{b} \quad , \quad N_{CD} = +\frac{M_B - M_C}{b} \qquad (32\text{-}7)$$



الشكل (7–19)

أخيراً يمكن إيجاز نتائج حالات التحميل السابقة في الجدول (7–1)، باعتبار ما سبق ذكره من أن:

$$K_1 \cong 1 \quad \text{و} \quad K_2 \cong \frac{1}{2}$$

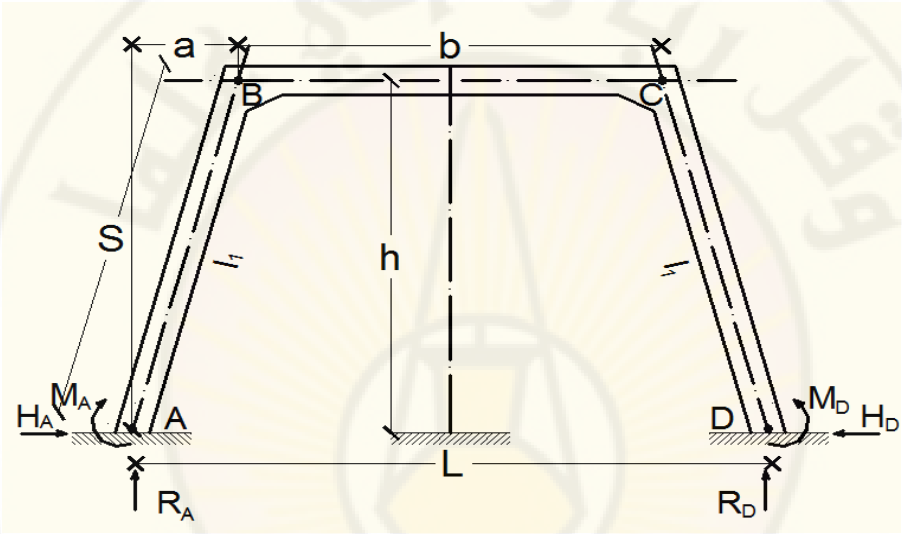
الجدول (7-1)

حالات التحميل		قيم العزوم المؤثرة			
		M_A	M_B	M_C	M_D
الحالة الأولى	وزن شاقولي موزع بانتظام (يشمل الوزن الميت للبلاطة العلوية) $p_1(t/m`)$	$\frac{p_1.b^2}{128}$	$-\frac{p_1.b^2}{16}$	$-\frac{p_1.b^2}{16}$	$\frac{p_1.b^2}{128}$
الحالة الثانية	وزن الماء في جسم الجسر المائي (يشمل الوزن الميت للبلاطة السفلية) $p_2(t/m`)$	$\frac{p_2.b^2}{16}$	$-\frac{p_2.b^2}{128}$	$-\frac{p_2.b^2}{128}$	$\frac{p_2.b^2}{16}$
الحالة الثالثة	الضغط الجانبي للمياه الجارية في جسم الجسر المائي $p_3(t/m`)$	$\frac{p_3.d^2}{64}$	$\frac{p_3.d^2}{80}$	$\frac{p_3.d^2}{80}$	$\frac{p_3.d^2}{64}$
الحالة الرابعة	الضغط الجانبي للرياح على الوجه الخارجي لجسم الجسر المائي $p_4(t/m`)$	$-(\frac{7}{512}+\frac{3}{20}).p_4.d^2$	$-(\frac{7}{512}-\frac{1}{10}).p_4.d^2$	$-(\frac{7}{512}+\frac{1}{10}).p_4.d^2$	$-(\frac{7}{512}-\frac{3}{20}).p_4.d^2$

4.3. 7 العزوم والقوى المؤثرة في الهيكل الحامل للجسر المائي:

يجري عملياً بناء الجسور المائية فوق هياكل حاملة تأخذ أشكالاً وتصاميم متعددة، وتُنفذ من مواد مختلفة، ولدراسة العزوم والقوى المؤثرة فيها سيُعتمد على الفرضيات الآتية:

1. الهيكل الحامل من البيتون المسلح، ومن النموذج المبين بالشكل (7-20).



الشكل (7–20)

2. تأثير الضغط الجانبي الناتج عن الرياح مهمل لصغره نسبياً.
3. اعتبار أن:

$$a = \frac{h}{10} \quad , \quad \alpha = \frac{a}{L} \quad , \quad \beta = \frac{b}{L}$$

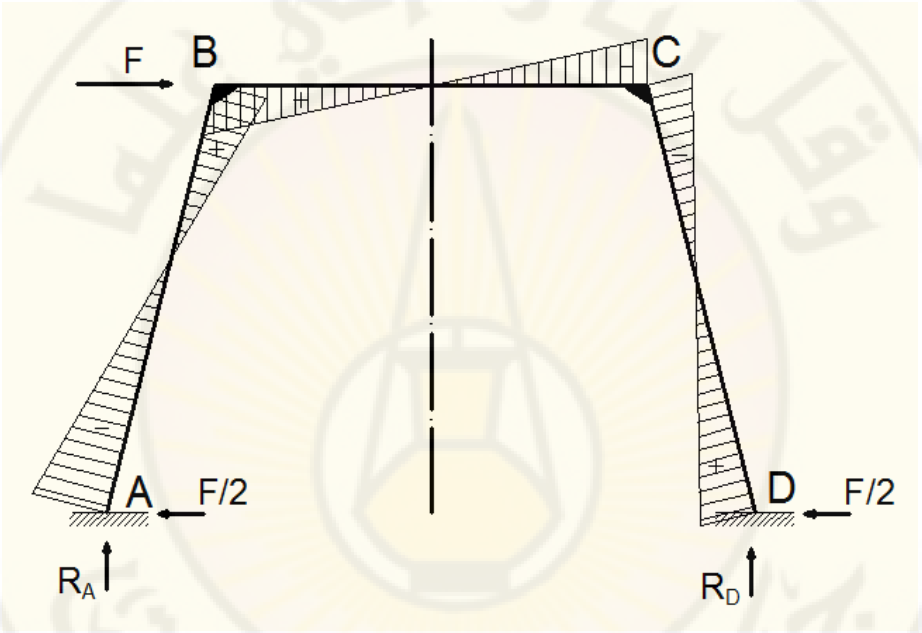
$$K = \frac{I_2}{I_1}.\frac{S}{b} \quad , \quad K_1 = 2.K + 3 \quad , \quad K_2 = K(1+\beta) + \beta(1+K)$$

$$N = K + 2 \; , \quad N_2 = 2(1+\beta+\beta^2)K + \beta^2$$

1. اقتصار حالات التحميل على أربع حالات فقط.

وفيما يلي قيم العزوم والقوى الناتجة في مقاطع مختلفة من حامل جسم الجسر المائي وفق الفرضيات الواردة أعلاه.

الحالة الأولى– تطبيق قوة أفقية F عند النقطة B من الهيكل الحامل (الشكل7–21):



الشكل (7–21)

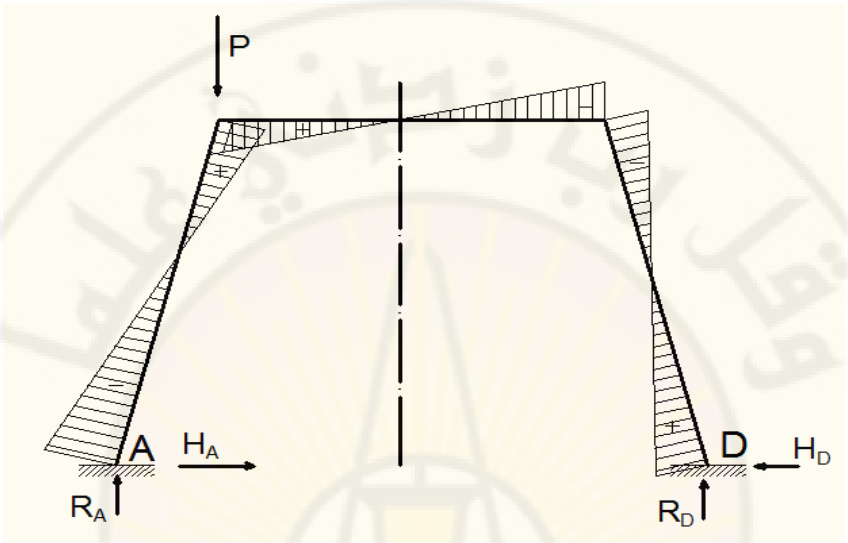
$$M_A = -M_D = -\frac{\beta.K_2}{2.N_2}.F.h \qquad (33\text{-}7)$$

$$M_B = -M_C = +\frac{\beta.(2+\beta).K}{2.N_2}.F.h \qquad (34\text{-}7)$$

$$H_A = H_D = -\frac{1}{2}.F \qquad (35\text{-}7)$$

$$R_A = -R_D = -\frac{2.M_B}{b} \qquad (36\text{-}7)$$

الحالة الثانية– تطبيق قوة شاقولية P عند النقطة B من الهيكل الحامل، كما في الشكل (7–22):



الشكل (7–22)

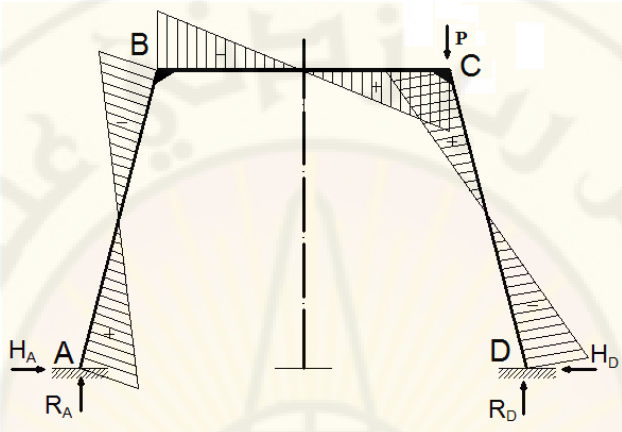
$$M_A = -M_D = -\frac{\beta.K_2}{2.N_2}.P.a \qquad (37\text{-}7)$$

$$M_B = -M_C = +\frac{\beta.(2+\beta).K}{2.N_2}.P.a \qquad (38\text{-}7)$$

$$R_A = P - R_D \qquad (39\text{-}7)$$

$$R_D = \frac{2.M_B}{b} \qquad (40\text{-}7)$$

الحالة الثالثة– تطبيق قوة شاقولية `P عند النقطة C من الهيكل الحامل، كما في الشكل (7–23):



الشكل (7–23)

$$M_A = -M_D = +\frac{\beta.K_2}{2.N_2}.P'.a \qquad (41\text{-}7)$$

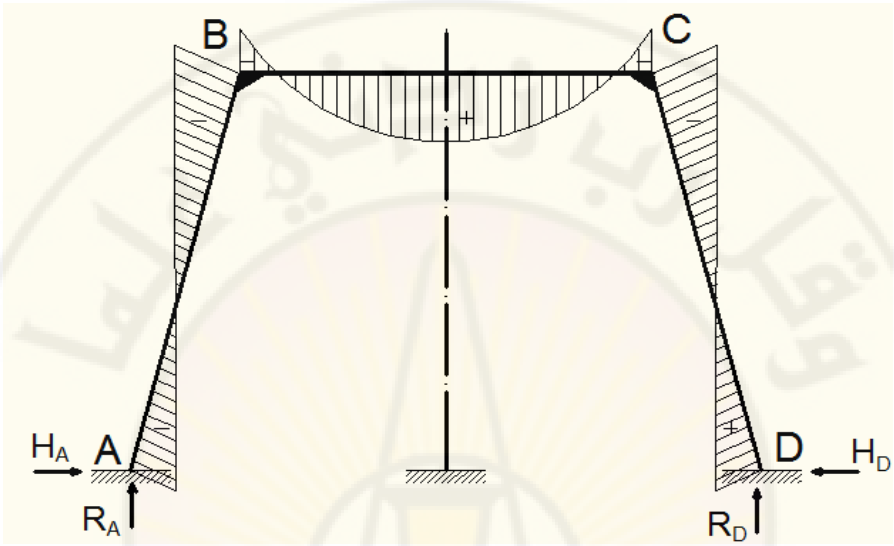
$$M_B = -M_C = -\frac{\beta.(2+\beta).K}{2.N_2}.P'.a \qquad (42\text{-}7)$$

$$H_A = H_D = \frac{P'.a}{2.h} \qquad (43\text{-}7)$$

$$R_A = \frac{2.M_C}{b} \qquad (44\text{-}7)$$

$$R_D = P' - R_A \qquad (45\text{-}7)$$

الحالة الرابعة– تطبيق قوة شاقولية W موزعة بانتظام على الضلع العلوي BC من الهيكل الحامل (الشكل7-24):



الشكل (7–24)

$$M_A = M_D = +\frac{W.b^2}{12.(K+2)} \qquad (46\text{-}7)$$

$$M_B = M_C = -\frac{W.b^2}{6(K+2)} \qquad (47\text{-}7)$$

$$M_{BC} = \frac{W.b^2}{8} - \frac{W.b^2}{6(K+2)} \qquad (48\text{-}7)$$

$$H_A = H_D = \frac{b}{4.h}.\left(2a + \frac{b}{K+2}\right).W \qquad (49\text{-}7)$$

$$R_A = R_D = \frac{W.b}{2} \qquad (50\text{-}7)$$

4.4.7 اعتبارات تصميمة في تنفيذ الجسور المائية من البيتون المسلح:

(أ) تُنفذ مجاري الجسور المائية، من البيتون المسلح المصبوب في المكان ضمن قوالب تُركب بعناية، بعد الانتهاء من إقامة الركائز، ولزيادة كتامة السطح الداخلي للمجرى، والتقليل من خشونته، فإنه يُغطى بطبقة ناعمة من الإسمنت.

(ب) يمكن التقليل من فواقد الطاقة للمياه، عند مدخل الجسر المائي ومخرجه، بتصميم جدران الأجنحة على شكل جدران انسيابية، وبتكسية القناة عند مدخل الجسر المائي ومخرجه بالإسمنت، أو بالحجارة مع مونة إسمنتية، وذلك على مسافة لا تقل عن ضعف عمق الماء h أمام الجسر المائي، وعن ثلاثة أضعاف عمق الماء خلف الجسر المائي.

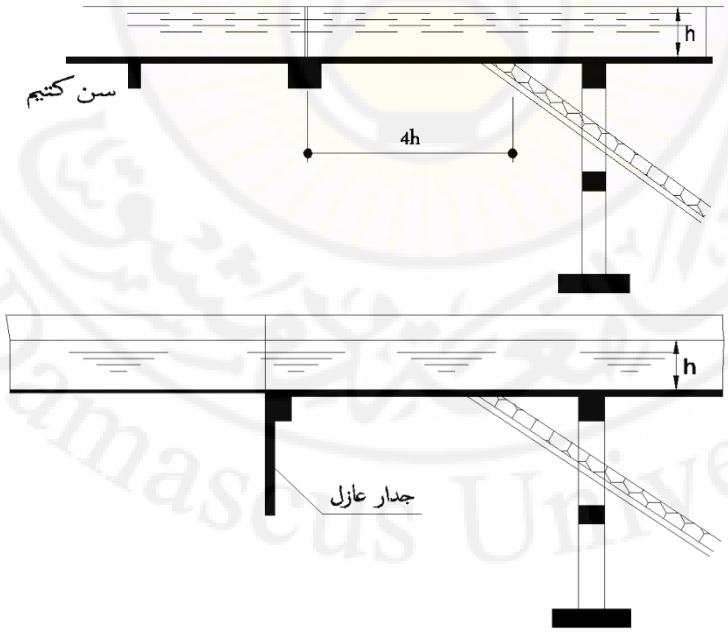
(ت) نظراً لتعرض الجسور المائية، خلافاً لما هو عليه الحال في السيفونات المقلوبة للتقلبات الجوية بين الليل والنهار، ولاسيما حين تكون خالية من الماء، فإن مجاريها الطويلة تُقسَّم بفواصل تمدد. ولمنع التسرب من هذه الفواصل يجري تكتيمها بصفائح معدنية غير قابلة للصدأ، أو بشرائط من المطاط، أو بمواد اصطناعية تُعد لهذا الغرض.

(ث) لتحديد عمق توضع قواعد أساسات الركائز، اللازم لحمايتها من الانجراف، يجب تقدير التغيرات المتوقعة للقعر الناتجة عن انضغاط الجريان بسبب الركائز، وأجنحة الجسر المائي، أو الناتجة عن أي أسباب أخرى. وتزداد أهمية دراسة هذه التغيرات، عندما يتقاطع الجسر المائي مع نهر، ولاسيما إذا كان النهر كبيراً.

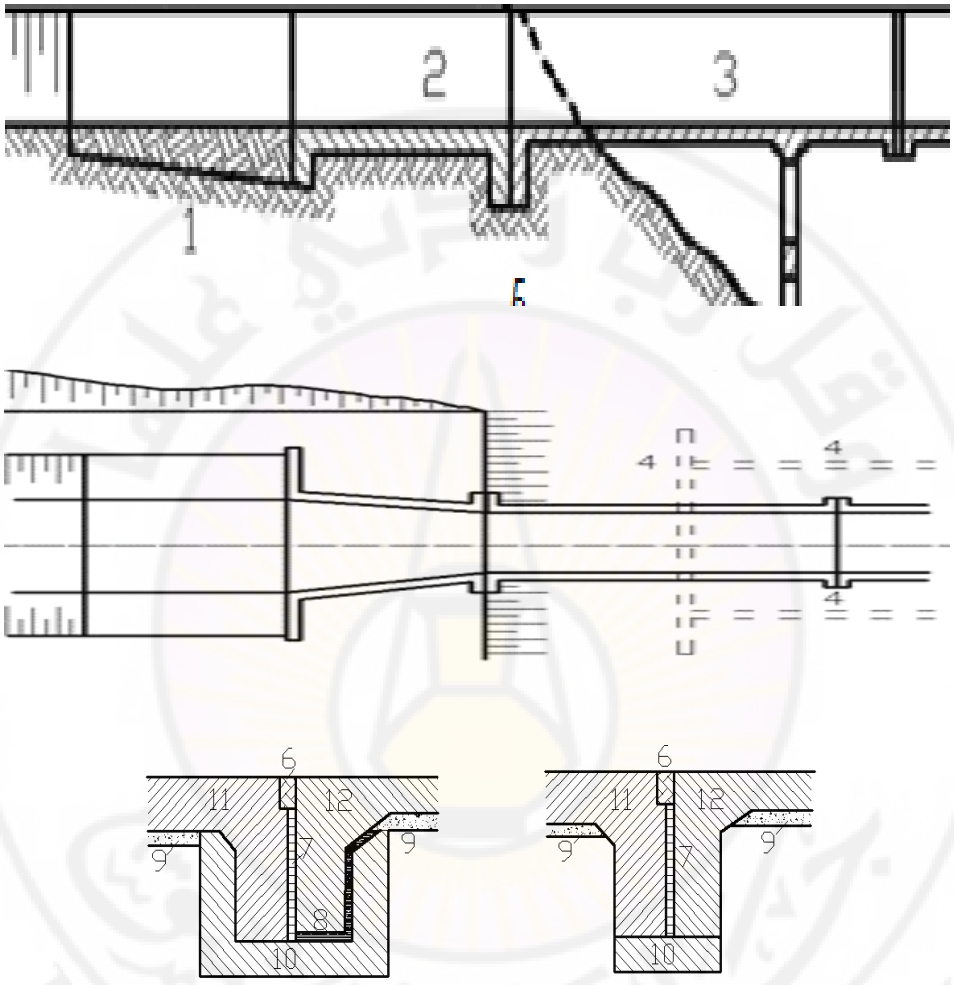
(ج) يجب تأمين الظروف الموائمة لمرور المياه الأعظمية في المجرى تحت الجسر المائي، واختيار المقطع الطولي الملائم للجسر المائي، وتحديد التباعد المناسب ما بين الركائز.

(ح) يمكن تزويد مدخل ومخرج الجسر المائي ببوابتين، لعزله عن باقي أجزاء القناة، الموجود عليها، والقيام عند الحاجة بالأعمال اللازمة للصيانة.

(خ) تُعد منطقتا اتصال الجسر المائي مع القناة عند المدخل والمخرج منطقتين غير آمنتين نظراً لأن تسرب الماء عبرهما يمكن أن يخرب السفح الذي يستند عليه الجسر المائي، مما يؤدي لانهياره في هاتين المنطقتين. وللحيلولة دون ذلك يُمد الجسر المائي باتجاه القناة عند المدخل والمخرج بطول لا يقل عادةً عن 4h (h – كما سبق ، عمق الماء في مجرى الجسر المائي)، ويجري تكسية السطح الداخلي للقناة على نفس المسافة (4h) ببلاطات بيتونية، أو إسفلتية، أو بطبقة من الغضار، ويزود القعر عند نهاية التكسية أما بكتلة بيتونية تمتد على كامل عرض الجسر المائي، أو بستارة معدنية(الشكل7-26)، كما يمكن تكتيم الفاصل ما بين مدخل الجسر والقناة بمواد مناسبة، ويُنشأ تحت الفاصل الكتيم مصرف من فلتر عكسي لالتقاط المياه التي يمكن أن تتسرب في هذه المنطقة، وتوجيهها عبر مجرى بيتوني أو حجري إلى أقرب منخفض في الجوار (الشكل7-27).



الشكل (7–26)



الشكل (7-27)

1. طبقة غضارية، 2. مدخل الجسر المائي، 3. جسم الجسر المائي،
4. مصرف، 5. فاصل، 6. حشوة من البيتومين، 7. بيتومين، 8. خيش مع بيتومين، 9. طبقة نظافة والبحص، 10. بيتون نظافة، 11. بيتون عادي، 12. بيتون مسلح.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثامن

المنظمات المائية

1.8 مقدمة

تُقام المنظمات المائية على قنوات الري لتنظيم دخول المياه وتوزيعها بين أجزاء شبكة الري والتحكم بمناسيب المياه في القنوات. والمنظم كأي منشأة مائية يجب أن يكون بسيطاً وسهل المراقبة والصيانة والوصول إليه ومنخفض الكلفة.

تتعدد أشكال المنظمات تبعاً لوظيفتها ومكان توضعها فيمكن أن تكون:

- منظمات رأسية (مآخذ مائية).
- منظمات حجز.
- منظمات تفريغ (المفرغات).
- منظمات غسيل.
- منظمات توزيع (الموزعات–المجزئات).

وتُصنف المنظمات المائية وفقاً لشكلها الهندسي إلى ثلاثة أنواع:

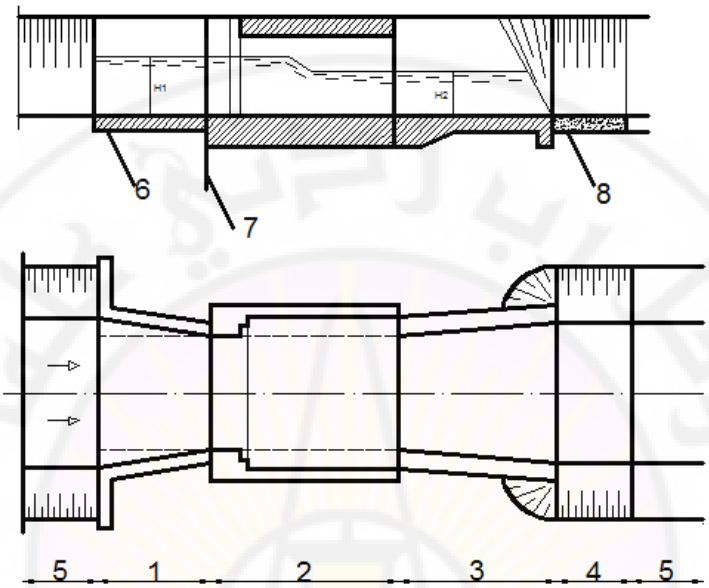
- منظمات مكشوفة.
- منظمات مغلقة (أنبوبية): منظمات بجريان حر، ومنظمات بجريان مضغوط.
- منظمات حجابية (مزودة بحجاب).

2.8 المنظمات المكشوفة

تنتشر المنظمات المكشوفة على نطاق واسع في شبكات الري، ويفضل إقامتها على القناة الرئيسية ذات التدفقات الكبيرة. ويمكن أن تكون بشكل مأخذ يُوضع في بداية القنوات الفرعية، أو بشكل منظمات حجز لتنظيم منسوب الماء في القنوات، ويمكن مصادفتها كمجزئات أو كمآخذ رأسية تتوضعة في بداية قنوات التوزيع.

يتألف المنظم المكشوف الشكل (8–1)، والشكل (8–2) من ثلاثة أجزاء رئيسية:

أ- مدخل المنظم. ب- جسم المنظم. ج- مخرج المنظم.



الشكل (8-1). منظم مكشوف.

1- منشأة المدخل، 2- جسم المنظم، 3- منشأة المخرج، 4- منطقة تقوية (بيتونية، حجرية)، 5- القناة، 6 - أرضية المدخل، 7- ستارة مانعة للرشح، 8- فلتر عكسي.



الشكل(8-2). صورة لمنظم مائي مكشوف (سهل حران- تركيا-2010- تصوير د. بسام فركوح).

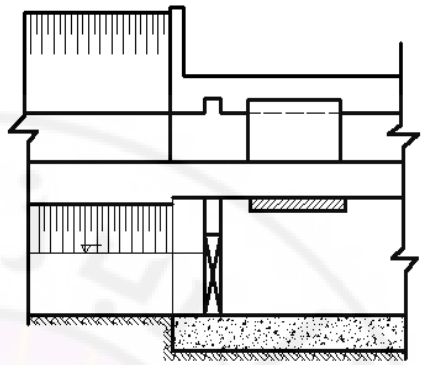
مدخل المنظم: تُصمم منشأة المدخل كجزء انتقالي بين جسم المنظم والمجرى المائي، وتتألف من أرضية بيتونية أو بيتونية مسلحة، ويمكن أن تكون من مواد ترابية مانعة للرشح كالغضار المرصوص، وتُحدد الأرضية بجدران جانبية طولانية تُسمى أجنحة المدخل.

تأخذ منشأة المدخل أشكالاً مختلفة، ويتعرض التيار المائي عند المدخل لانضغاط جانبي تختلف قيمته بحسب شكل المدخل ويعبر عن معدل الضياعات الهيدروليكية بمعامل الشكل، وبالتالي كلما انخفض معامل الشكل كان المدخل أفضل من الناحية الهيدروليكية كما هو موضح في الشكل (8-3).

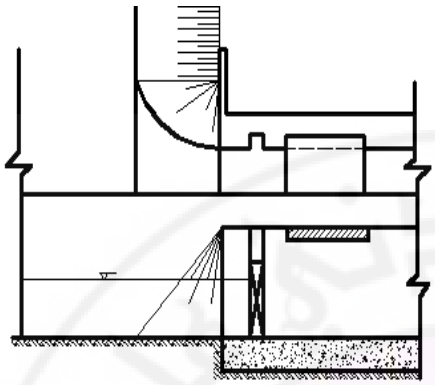
في معظم الحالات يكون قعر قناة السحب (القناة ذات الدرجة الأدنى) أعلى من قعر القناة المتفرع عنها (ذات الدرجة الأعلى)، أما عندما تكون القناة الفرعية كبيرة فتوضع على منسوب القناة الرئيسية نفسه، ويتم تأمين اتصال المنظم مع القناة الرئيسية بعتبة مستوية من البيتون المغموس أو من الحجارة أو بلاطة بيتونية، ويمكن أن يُجهز المدخل ببوابات تحكم ومعدات رفع للبوابات وجسر للخدمة.

جسم المنظم: عبارة عن قناة مستطيلة المقطع عادةً، جوانبه جدران بيتونية بسماكة (0.50-0.70 m)، أو بيتونية مسلحة بسماكة 0.2m، ويراوح ارتفاع الجدران في المجال 2-4m، أما طولها فيجب طول فيجب أن يكون كافياً لتوضع أخاديد البوابات العاملة وبوابات الإصلاح وجسر الخدمة، أو جسر العبور، إذا كان ضرورياً. وتُصمم أرضية المنظم بشكل بلاطة بيتونية تقاوم التأثيرات الناجمة عن التيار المائي.

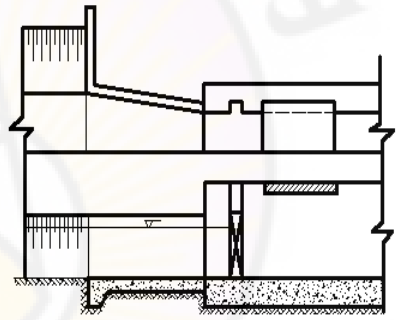
منشأة المخرج: هي عبارة عن جزء انتقالي بين المنظم والقناة الواقعة خلفه مهمتها تأمين جريان هادئ ومنتظم في القناة خلف المنظم، لذلك يجب أن يكون المخرج انسيابياً، كما أن عرض نهاية المخرج يجب أن يساوي عرض قعر القناة الفرعية، وتنفذ أرضية جزء القناة الواقع خلف منشأة المخرج بشكل فلتر عكسي لحماية تربة القعر من التشوهات الارتشاحية الناجمة عن الماء المتسرب، ويُنفذ الفلتر من مواد حبيبية من طبقة واحدة أو من عدة طبقات، بتدرج حبي مختلف لكل طبقة.



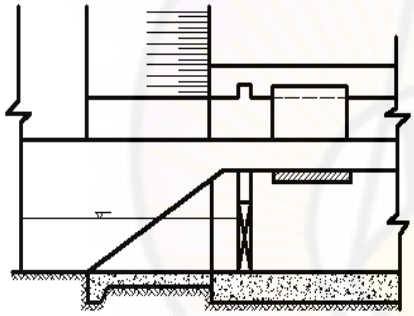
مدخل بأجنحة جبهية معكوسة



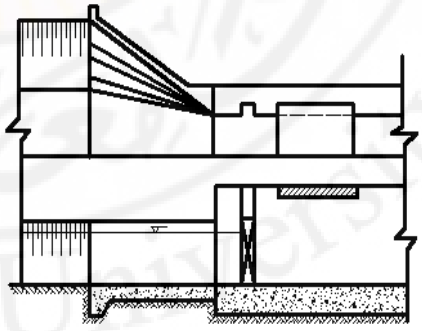
مدخل بأجنحة جبهية مع مخروط



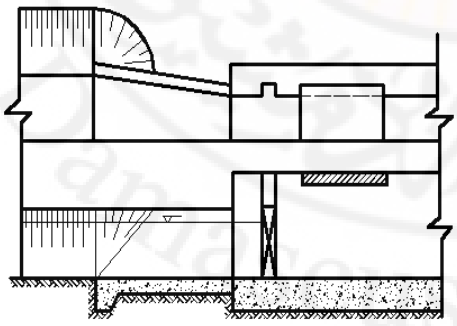
مدخل جرسي (قمعي الشكل) بأجنحة جبهية



مدخل بأجنحة غاطسة



مدخل بأجنحة ذات سطح متدرج



مدخل بأجنحة غاطسة مع التحام مخروطي بجدران

الشكل (8-3). أشكال مختلفة لمدخل المنظمات ومخرجها.

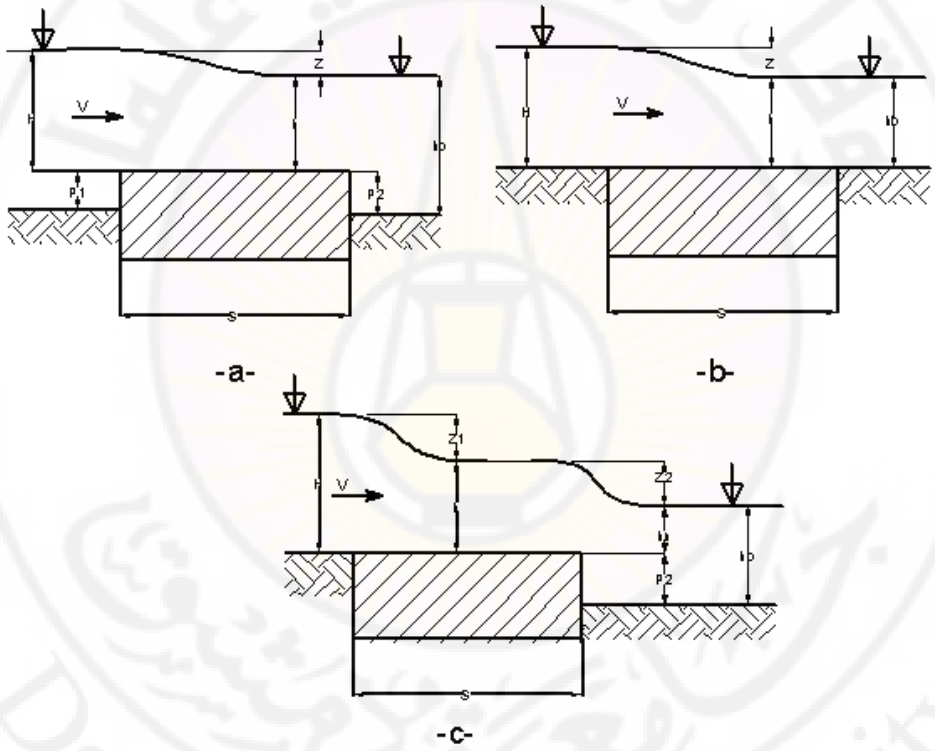
الجدول(8-1). الأشكال المختلفة والمواصفات الفنية والهيدروليكية لمدخل منظم مائي مكشوف

شكل منشأة المدخل	معامل الشكل	إيجابيات الاستخدام	سلبيات الاستخدام
مدخل بأجنحة جبهية معكوسة	0.20	تصميمه بسيط، وسهل التنفيذ ويؤمن مقاومة ضد التيار الرشحي حول المنشأة	يتعرض التيار لانضغاط جانبي عند المدخل وإلى حركة دوامية ونحر عند مخرج المنظم
مدخل بأجنحة جبهية مع مخروط	0.07	الظروف الهيدروليكية عند المدخل جيدة	حجم الأعمال الترابية عند الإنشاء كبير
مدخل جرسي (قمعي الشكل) بأجنحة جبهية	0.13-0.07	الظروف الهيدروليكية للجريان عند المدخل والمخرج جيدة	تكاليف الإنشاء مرتفعة
مدخل بأجنحة غاطسة،	0.075	اقتصادية وتؤمن ظروف هيدروليكية جيدة عند المخرج	أمكانية حدوث رشح للمياه من تحت الأجنحة أو من جوانب المنظم
مدخل بأجنحة ذات سطح متدرج،	0.05-0.06	الظروف الهيدروليكية للجريان عند المدخل والمخرج جيدة	صعوبة في التنفيذ، وضعف مقاومة ضد التيار الرشحي
مدخل بأجنحة غاطسة مع التحام مخروطي بجدران	0.13-0.07	اقتصادية وتؤمن ظروف هيدروليكية جيدة عند المخرج	إمكانية حدوث رشح للمياه من تحت الأجنحة، أو من جوانب المنظم

3. 8 الحساب الهيدروليكي للمنظمات المكشوفة:

3.1. 8 تمهيد:

تُدرس المنظمات المكشوفة هيدروليكياً على أساس هدار عريض الحافة بجريان مغمور أو غير مغمور، وتُحدد أبعاد المنظم من شرط تمرير التصريف الحسابي الأعظمي للقناة والبوابة مفتوحة بالكامل، ويُبين الشكل (8-4) حالات الجريان الممكنة.



الشكل (8-4). حالات الجريان الممكنة عبر المنظم

a- عتبة مرتفعة من الطرفين، b – عتبة مطمورة c- عتبة مرتفعة من الخلف

يمكن إعطاء أبعاد أولية لمنشأة المنظم كما في الجدول (8-2)، ويُبين الجدول (8-3) الأبعاد الأولية وسرعات الجريان التصميمية للمنظمات حسب حجمها.

الجدول(8-2). الأطوال التصميمية لأجزاء المنظم تبعاً لنوع المنظم المستخدم

نوع المنظم	طول بلاطة المنظم	طول أرضية المدخل	طول الفلتر
مأخذ رأسي أو منظم حجز	$(1\div 2).h_1$	$(2\div 4).h_1$	$(3\div 5).h_2$
مفرغات أو منظمات غسيل	$(2\div 4).h_1$	$(3\div 5).h_1$	$(5\div 8).h_2$
h_1 : الضاغط المائي أمام المنظم - h_2 : ارتفاع الماء خلف المنظم			

الجدول(8-3). أبعاد أولية وسرعات تصميمية للمنظمات.

نوع المنظم (حسب الأبعاد)	عرض فتحات المنظم (m)	سرعة الجريان عبر فتحات المنظم (m/s)
صغير	$2 \le b \le 4$	$1m/\sec$
متوسط	$2 \le b \le 4$	$1.25-1.5m/\sec$
كبير	$4 \le b \le 5$	$1.5-2.0m/\sec$
سد على نهر	$5 \le b$ أو أكثر	$2.0-2.5m/\sec$

3.2.8 حالة البوابة مرفوعة بشكل كامل

تُحدد حالة الجريان (مغمور أو غير مغمور) وفق شروط كيسيليوف:

جريان مغمور $\Longleftarrow$ $h_n \ge 1.25.h_{cr}$

جريان غير مغمور $\Longleftarrow$ $h_n \le 1.25.h_{cr}$

حيث:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}} \qquad (1\text{-}8)$$

h_n – ارتفاع الماء عند مخرج الهدّار

h_{cr} – العمق الحرج، ويُحدد بالعلاقة:

Q – التصريف. b –عرض عتبة الهدّار.

g– التسارع الأرضي. α عامل الطاقة الحركية، ويؤخذ $\alpha = 1.1$

حالة الجريان المغمور:

تُستخدم في هذه الحالة العلاقة:

$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2.g.z_0}$$
$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2g \cdot (H_0 - h)} \qquad (2\text{-}8)$$

حيث:

H_0 – الضاغط المائي الكلي أمام الهدّار، ويحدد بالعلاقة الآتية:

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g} \qquad (3\text{-}8)$$

Q – التصريف.

b – عرض عتبة الهدّار.

h – ارتفاع الماء فوق عتبة الهدّار.

H – ارتفاع الماء أمام عتبة الهدّار

V – سرعة الاقتراب عند المدخل.

α – ثابت عدم انتظام السرعة، ويؤخذ $\alpha = 1.1$.

δ – معامل التصريف الجانبي ويتعلق بالزاوية التي يشكلها الجريان في القناة الرئيسية مع اتجاه التصريف الجانبي ويحدد وفق الجدول (8–4).

الجدول(8-4). معامل التصريف الجانبي بدلالة زاوية انحراف التيار.

α (درجة)	0	30	45	60	75	90
δ	1	0.97	0.95	0.93	0.90	0.86

ε – معامل الانضغاط الجانبي يُحدد بالعلاقة:

$$\varepsilon = 1 - c.a\frac{H_0}{b + H_0} \qquad (4\text{-}8)$$

حيث:

H_0 – الضاغط المائي أمام المنظم.

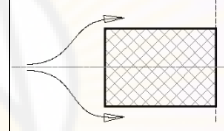
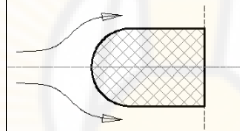
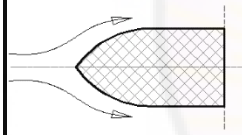
b – عرض عتبة الهدّار.

a – ثابت يتعلق بشكل الدعائم والأكتاف في المنظم كما في الجدول (8–5).

c – ثابت يؤخذ 0.5 في حالة الجريان المغمور، و1.0 في حالة الجريان غير المغمور.

φ – معامل السرعة، ويحدد تبعاً الجدول (8–6).

الجدول(8-5). معامل شكل الركيزة.

نوع الركيزة	مستطيلة	دائرية	مدببة (سهمية)
شكل الركيزة في المسقط			
a	0.2	0.11	0.07

الجدول(8-6). قيم معامل السرعة حسب شكل مدخل المنظم.

شكل مدخل المنظم	معامل السرعة φ
مدخل بأجنحة مع سطح متدرج (عتبة المنظم عند قعر القناة)	0.95
مدخل بأجنحة مع سطح متدرج (منسوب العتبة أعلى من قعر القناة)	0.92
مدخل بشكل مخروطي (عتبة المنظم عند قعر القناة)	0.93
مدخل بشكل مخروطي (العتبة أعلى من قعر القناة)	0.90
مدخل بأجنحة غاطسة (عتبة المنظم عند قعر القناة)	0.91
مدخل بأجنحة غاطسة (العتبة أعلى من قعر القناة)	0.88

حالة الجريان غير المغمور:

تُستعمل العلاقة:

$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot m.\varphi \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} \qquad (5\text{-}8)$$

حيث:

δ، ε، H_0 – كما ورد سابقاً،

m – معامل التصريف، ويحدد تبعاً لمواصفات الجريان ، الجدول (8–7).

وإذا اعتبرنا ($M = m \cdot \sqrt{2g}$) عندئذ يمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل:

$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot M \cdot b \cdot H_0^{3/2} \qquad (6\text{-}8)$$

الجدول(8-7). معاملات السرعة والتصريف وفق مواصفات الجريان عند المدخل.

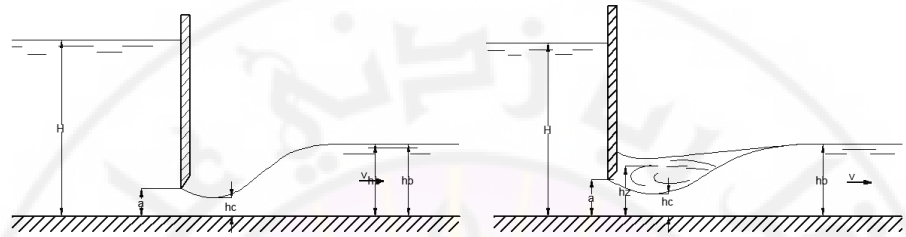
مواصفات الجريان عند مدخل المنظم	φ	m	M
المقاومة الهيدروليكية معدومة	1	0.385	1.7
المدخل ذو شكل جيد (الضياعات قليلة)	0.95	0.365	1.62
الحافة العلوية لعتبة المدخل بشكل دائري	0.92	.350	1.55
عتبة المدخل ذات حافة غير مصقولة	0.88	0.32	1.42
عتبة المدخل ذات حافة حادة	0.85	0.30	1.42
ظروف هيدروليكية سيئة عند المدخل (العتبة ذات حافة غير مصقولة وحادة).	0.80	0.300	1.33

3.3.8 حالة استخدام البوابات

في حال مرور تصريف جزئي أصغر من التصريف التصميمي، تُغلق بوابة التحكم بشكل جزئي، ويصبح عندئذ الجريان من أسفل بوابة، أو أن يكون الجريان أعلى البوابة حيث تعمل البوابة هدار رقيق الحافة.

1- الجريان أسفل البوابة

يمكن أن يكون الجريان خلف بوابة المفتوحة جزئياً مغمور، أو غير مغمور، كما هو موضح بالشكل (8–5).



- a - - b -

الشكل(8-5). الجريان أسفل بوابة مستوية

-a- جريان غير مغمر (قفزة مائية طليقة)، -b- جريان مغمور.

يُعطى التصريف لحالة الجريان غير مغمور بالصيغة:

$$Q = \phi \cdot \varepsilon' \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g.\left(H_0 - \varepsilon' \cdot a\right)} \qquad (7\text{-}8)$$

حيث:

H_0 – الضاغط المائي أمام المنظم، ويُحدد بالعلاقة (3–8).

b – عرض عتبة الهدّار.

a – ارتفاع فتحة البوابة.

ϕ – معامل السرعة، ويُحدد تبعاً لشكل عتبة المدخل ويمكن اعتبار القيم الآتية:

المدخل من دون عتبة (عتبة قاعية) $\phi = 0.95 \div 0.97$

المدخل مع عتبة مرفوعة (عتبة بارزة) $\phi = 0.85 \div 0.95$

ε' - معامل الانضغاط الشاقولي، ويتعلق بالنسبة a/H ، وتُحدد قيمته من أجل البوابات الشاقولية المستوية بالجدول (8–8).

الجدول(8-8). معامل الانضغاط الشاقولي.

a/H	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50
ε'	0.615	0.618	0.62	0.625	0.63	0.645
a/H	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	
ε'	0.66	0.69	0.72	0.78	1.00	

ويُحدد التصريف لحالة الجريان المغمور من تحت بوابة بالعلاقة الآتية:

$$Q = \varphi \cdot \varepsilon' \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g\left(H_0 - h_z\right)} \qquad (8\text{-}8)$$

حيث:

h_z - عمق الماء في المقطع المضغوط، ويُحدد بالعلاقة:

$$h_z = \sqrt{h_n^2 - N\left(H_0 - \frac{N}{4}\right)} + \frac{N}{2}$$
$$N = 4\mu^2 \cdot a^2 \frac{h_b - h_{co}}{h_b \cdot h_{co}} \qquad (9\text{-}8)$$

يكون الجريان مغموراً إذا كان: $h_b > h''$

حيث يمكن حساب h'' من علاقات الأعماق المترافقة للقفزة المائية:

$$h'' = \frac{h_{co}}{2}\left(\sqrt{1 + \frac{8 \cdot \alpha . Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_{co}^3}} - 1\right) \qquad (10\text{-}8)$$

أو عندما تتحقق المتراجحة:

$$\frac{h_b}{h_{co}}\left(\frac{h_b}{h_{co}} + 1\right) > 4 \cdot \varphi^2\left(\frac{H_0}{h_{co}} - 1\right) \qquad (11\text{-}8)$$

حيث:

h'' – العمق المرافق الثاني للقفزة المائية.

h_b – عمق الماء في القناة خلف القفزة المائية المتشكلة.

تُحدد قيمة المعامل μ من الجدول (8–9)، أو يمكن أن تُحسب من العلاقة:

$$\mu = \varepsilon' \cdot \varphi \qquad (12\text{-}8)$$

الجدول(8-9). قيم العامل μ وفق مواصفات مدخل المنظم.

مواصفات مدخل المنظم	فتحة المنظم بمقطع عرضي	
	$2m^2 \geq$	$2m^2 \leq$
الحافة العلوية لعتبة المدخل دائرية، مع انضغاط علوي	0.90	0.92
عتبة بحافة حادة، يوجد انضغاط علوي فقط	0.83	0.85
عتبة بحافة دائرية، انضغاط علوي وجانبي	0.75	0.80
عتبة بحافة حادة، انضغاط علوي وجانبي	0.70	0.75
عتبة بحافة دائرية، انضغاط من كل الجهات	0.65	0.70
عتبة بحافة حادة، انضغاط من كل الجهات	0.6	0.65

2- حالة الجريان فوق البوابة:

هو جريان فوق هدار رقيق الحافة، ويُحدد التصريف المقابل بالعلاقة (13–8):

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} \qquad (13\text{-}8)$$

ويؤخذ ثابت التصريف (m) من الجدول (10–8).

الجدول(8-10). ثابت التصريف (m) بدلالة التصريف هدار رقيق الحافة.

H (m)	**ارتفاع جدار البوابة** (m)			
	0.5	1.0	2.0	>2.0
0.5	0.467	0.436	0.419	0.410
0.7	0.485	0.447	0.424	0.409
1.0	-	0.465	0.433	0.408
1.5	-	0.464	0.432	0.407
2.0	-	0.464	0.432	0.406

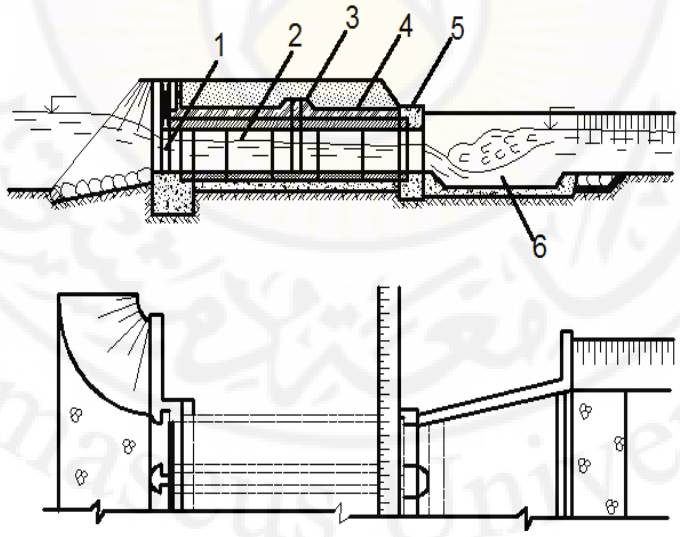
4. 8 المنظمات المغلقة (الأنبوبية)

تنتشر بشكل واسع في شبكات الري، ويمكن أن تكون بشكل مآخذ رأسية على قنوات المزارع والقنوات القطاعية، كما يمكن أن تعمل كمنظمات حجز، أو كمنظمات غسيل، وتُستخدم في الحالات الآتية:

- عندما يُستلزم إنشاء ممر فوق المنظم.
- عند وقوع القنوات في حفر عميق.
- في عقد التوزيع (عدة منظمات)، وعندما يزيد عدد المنظمات المكشوفة على ثلاثة، ويصبح من الصعوبة إقامة منظم رابع مكشوف.
- لا ينصح باستخدامها عندما تكون أعماق الماء كبيرة في القنوات.

يتألف المنظم الأنبوبي من الأجزاء الآتية، الشكل (8-6):

- القسم الأمامي (مدخل المنظم) – القسم الأنبوبي (أنبوب المنظم).
- القسم الخلفي (مخرج المنظم) – حوض التهدئة مع مخمدات الطاقة الحركية.



الشكل (8-6). نموذج للمنظم الأنبوبي.

1– فتحة مدخل المنظم، 2– القسم الأنبوبي، 3– ستارة مانعة للرشح،
4– تربة غضارية، 5– مخرج المنظم، 6– حوض التهدئة.

4.1.8 الحساب الهيدروليكي للمنظمات الأنبوبية

يُصمم القسم المطمور للمنظم على شكل أنابيب دائرية بقطر يصل حتى $(1.4-1.6m)$ أو على شكل أنابيب مستطيلة بأبعاد تتراوح بين (1.5x2m، 2x2.5m).

تُغطى الأنابيب بطبقة من الغضار الرملي بسماكة لا تقل عن 0.5m، وذلك لتجنب الرشح المحتمل حدوثه حول الأنابيب، أما في المنظمات الأنبوبية المتوضعة تحت طريق أو ممر فيجب ألا تقل سماكة طبقة الردم فوق الأنابيب عن 0.6 m، ويمكن زيادة السماكة حتى 1m في حال استخدام أنابيب من الأسبستوس.

يُصمم المنظم الأنبوبي هيدروليكياً، وفقاً لنظام الجريان في الأنبوب، وتُميز الحالات الحسابية الآتية:

1- الجريان ضمن الأنابيب غير مضغوط (مخرج المنظم مغمور أو غير مغمور):

تُحسب المنظمات الأنبوبية ذات المقطع المستطيل كمهدارات عريضة الحافة مغمورة أو غير مغمورة، وتُعتمد في الحسابات العلاقات الواردة في الفقرة (1-2-3). أما إذا كان الأنبوب دائري المقطع فيمكن استخدام العلاقة:

$$Q = \varphi \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot d^2 \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta Z_0} \qquad (14\text{-}8)$$

حيث:

Q – التصريف عبر المنظم.

d – قطر الأنبوب.

φ – معامل السرعة، ويراوح في المجال (0.97-0.98)

ε – عامل الانضغاط الجانبي، ويساوي $\varepsilon = 0.85$ من أجل مدخل المنظم القائم و $\varepsilon = 0.9$ من أجل المدخل المخروطي الشكل:

$$\Delta Z_0 = \Delta Z + \alpha . \frac{V^2}{2g} \qquad (15\text{-}8)$$

$$\Delta Z = H - h_b$$

حيث:

H – ارتفاع الماء أمام المنظم.

h_b – عمق الماء خلف المنظم.

V – سرعة الاقتراب عند المدخل، $\alpha = 1.1$

γ – معامل يتعلق بدرجة امتلاء الأنبوب h/d ويُحدد بالجدول (8–11).

الجدول(8-11). قيم المعامل γ وفق درجة امتلاء الأنبوب h/d.

γ	h/d	γ	h/d	γ	h/d	γ	h/d
0.295	0.400	0.492	0.600	0.673	0.800	0.784	0.995
0.246	0.350	0.442	0.550	0.628	0.750	0.772	0.950
0.198	0.300	0.398	0.500	0.588	0.700	0.742	0.900
		0.344	0.450	0.542	0.650	0.714	0.850

2- 2 الجريان ضمن الأنابيب مضغوط: مخرج المنظم غير مغمور ($L < 5.d$):

يُحسب التصريف بالعلاقة:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot H} \qquad (16\text{-}8)$$

حيث:

μ – معامل التصريف، ويُحدد بالعلاقة:

$$\mu = 1/\sqrt{\alpha + \xi_{en} + \lambda \cdot L/d} \qquad (17\text{-}8)$$

ω – مساحة المقطع المبلول للأنبوب.

H – الضاغط المائي أمام المنظم.

$\alpha = 1$، ξ_{en}: معامل يتعلق بالضياعات الموضعية عند المدخل.

λ – عامل الاحتكاك الهيدروليكي،

L – طول الأنبوب.

3- الجريان مضغوط (مخرج المنظم مغمور، $L > 5d$):

يُحسب التصريف بالعلاقة:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta Z_0} \qquad (18\text{-}8)$$

حيث:

μ – معامل التصريف، ويُحدد بالعلاقة:

$$\mu = 1 \Big/ \sqrt{\xi_{ex} + \xi_{en} + \xi_f} \qquad (19\text{-}8)$$

حيث:

ξ_{en} – معامل يتعلق بالضياعات الموضعية عند المدخل، ويؤخذ $\xi_{en} = 0.5$ من أجل مدخل بحافة حادة، و $\xi_{en} = 0.2$ من أجل مدخل انسيابي.

ξ_{ex} – معامل الضياعات الموضعية عند مخرج المنظم، ويمكن أن يأخذ القيمة $\xi_{ex} = 1.0$ ، أو يُحسب بالعلاقة :

$$\xi_{ex} = (1 - \omega / \omega_k)^2 \qquad (20\text{-}8)$$

حيث:

ω – المقطع المائي في الأنبوب

ω_k – المقطع المبلول للقناة خلف المنظم

ξ_f – معامل الضياعات الطولية (الاحتكاك)، وتحسب قيمته بالعلاقة:

$$\xi_f = \lambda \cdot L / d \qquad (21\text{-}8)$$

حيث:

λ – معامل الاحتكاك الهيدروليكي،

L – طول الأنبوب.

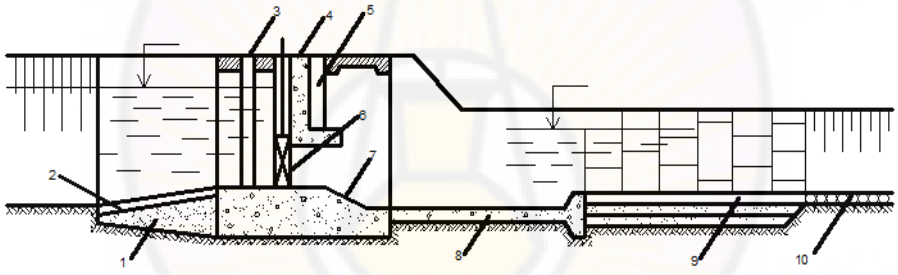
d – قطر الأنبوب.

5. 8 المنظمات الحجابية (ذات الحجاب):

عند وجود فروق كبيرة بين منسوبي الماء أمام المنظم وخلفه يُستخدم حجاب أو ستارة لإنقاص أبعاد فتحة المنظم، والتقليل من تكاليف الإنشاء، ويكون على شكل بلاطة بيتونية مسلحة متوضعة شاقولياً، ويُبين الشكل (8–7) الأجزاء الرئيسية لمنظم حجابي.

توجد المنظمات الحجابية على شكل منظمات غسيل أو مفرغات أو كمنظمات عادية (على القنوات العميقة).

تُصمم المنظمات الحجابية هيدروليكياً على أساس الجريان من أسفل بوابة، وبالتالي يمكن اعتماد العلاقات الواردة في الفقرة (8–3–3) الجريان من أسفل بوابة.



الشكل(8-7). نموذجي لمنظم حجابي

1– أرضية المدخل، 2– بلاطة بيتونية، 3، 5- مجاري لبوابات التحكم الاحتياطية، 4– الحجاب، 6 – البوابة الرئيسية، 7– بلاطة عتبة المنظم، 8 – بلاطة تقوية بيتونية، 9– جزء من القناة خلف المنظم، 10– فلتر عكسي.

6. 8 تصنيف المنظمات من حيث الوظيفة

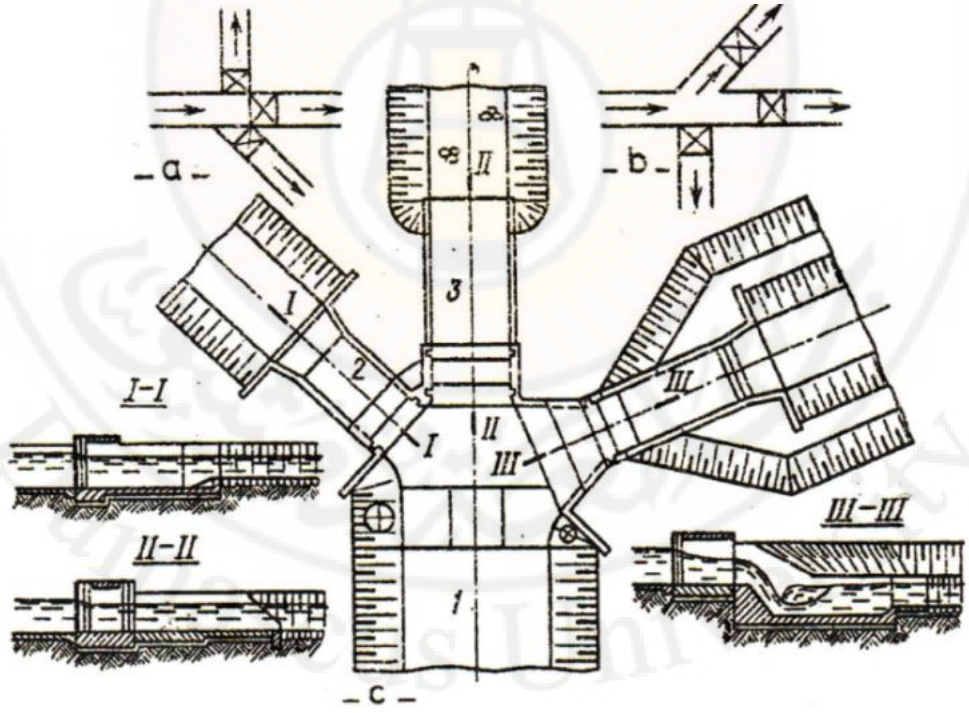
6.1. 8 عقد التوزيع

توجد أحياناً على قنوات الري مجموعة منظمات تتوضع في مكان واحد، وتؤدي وظائف مختلفة، تُسمى بعقدة التوزيع (عقدة منظمات)، وتسمح بالحصول على:

- الاستثمار المريح لمجموعة المنشآت في العقدة الواحدة.
- البساطة وضمان العناية للمنشآت وحمايتها.
- خفض كلفة البناء للعقدة بالمقارنة مع التنفيذ بشكل مستقل لكلٍ من المنشآت.

توجد عقد التوزيع بأحد الشكلين الآتيين:

- الشكل المتقارب: يتميز بأرضية مدخل مشتركة لكافة المنظمات، مما يخفض من التكاليف الإنشائية، ولكن الظروف الهيدروليكية تسوء عند المدخل نتيجة التأثير المتبادل بين المنظمات الشكل (8-8-a)
- الشكل المتباعد: تتوضع المنظمات بشكل متباعد عن بعضها البعض مما يزيد من تكاليف الإنشاء، لكن ذلك يخلق ظروفاً هيدروليكية جيدة للجريان، الشكل (8-8-b).



الشكل (8-8). أشكال عقد التوزيع على قنوات الري.

a و c – **شكل متقارب،** b– **شكل متباعد،**

6.2.8 المجزئات

تُعد المجزئات أحد أشكال عقد التوزيع، ووظيفتها تقسيم تصريف قناة التغذية بين القنوات المتفرعة عنها وفق نسب معينة وثابتة مهما كان التصريف.

ومبدأ عملها: نعلم التصريف في قناة مستطيلة تتناسب طرداً مع عرض القناة وارتفاع الماء والسرعة الوسطية: $Q = f(h_o, l, u)$، وبالتالي لتجزئة هذا التدفق إلى 2 أو 3 أو 4 أجزاء متساوية يكفي نظرياً تقسيم عرض القناة بنسبة 2 أو 3 أو 4 أجزاء متساوية. إن منشآت كهذه لا تعطي سوى نتائج تقريبه لأن سرعة الماء الحقيقة ليست ثابتة على عرض القناة ولأن منشآت التجزئة تسبب تضيقاً عرضانياً في التيار المائي.

1.2.6.8 الأنواع المختلفة للمجزئات:

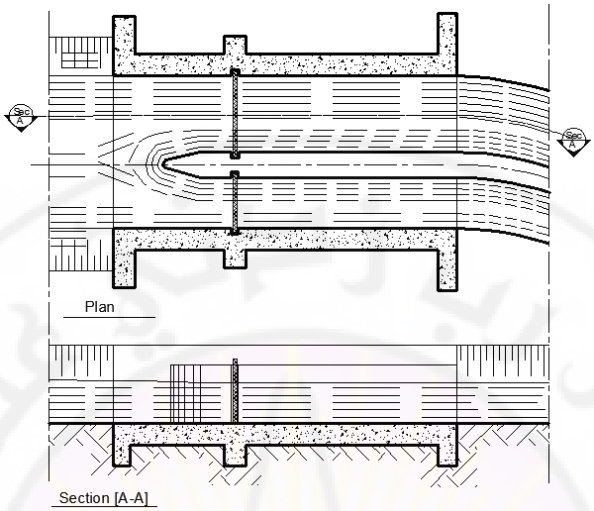
تُصنف وفق نظام عملها إلى مجزئات ثابتة أو مجزئات متحركة أو مجزئات بهدار، ومن حيث الشكل الهندسي يمكن أن تكون مكشوفة أو مغلقة.

A. <u>المجزئات المكشوفة والثابتة:</u>

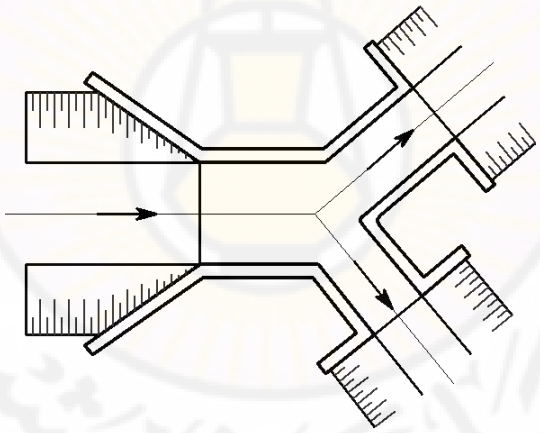
تعمل هذه المجزئات على تقسيم تصريف قناة التغذية بنسب ثابتة وغير قابلة للتغير على الأقنية المتفرعة عنها، وتتألف من جدار ينتهي بمقدمة متضيقة تُنشأ بشكل موازٍ لمحور القناة، ويتبع وضعه نسبة التجزئة المراد الحصول عليها، الشكل (8-9).

يجب أن تكون القناة قبل المجزئ، وعلى طول لا يقل عن 20m مستقيمة وميلها ثابت بمقطعها مستطيل، وبعد نهاية المجزئ تتفرغ القناتان الثانويتان.

إذا كانت نسبة التجزئة 2 فإن المنشأة تكون متناظرة بالنسبة لمحور القناة الرئيسية، الشكل (8-10) وتكون نسب التجزئة صحيحة في هذه الحالة، كما يمكن إعادة هذا التجزئة عدة مرات لتجزئ التدفق إلى (4، 8، 16 الخ) جزءٍ متساوٍ.



الشكل (8-9). مجزئ مكشوف ثابت.



الشكل (8-10). مجزئ مكشوف ثابت (نسبة التجزئة ½).

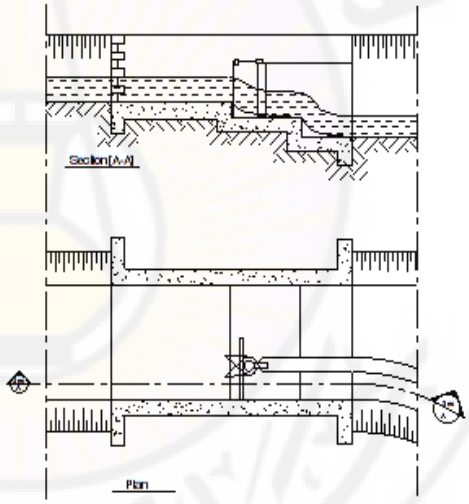
أما إذا أُريد تجزئة التدفق إلى ثلاثة أجزاء متساوية فلا يجب تقسيم عرض القناة إلى ثلاثة أجزاءٍ متساويةٍ بسبب عدم انتظام توزع السرع في المقطع، لذلك يجب اللجوء إلى التجربة للحصول على تقسيم مناسب من أجل مختلف الارتفاعات للماء.

من مساوئها: عدم إمكانية تغير نسب التقسيم، وفقدان المناورة حيث أن كل الأقنية الفرعية تعمل بآنٍ واحدٍ (لا يمكن استثناء أحدها في حال وقوع عطل في شبكة الري).

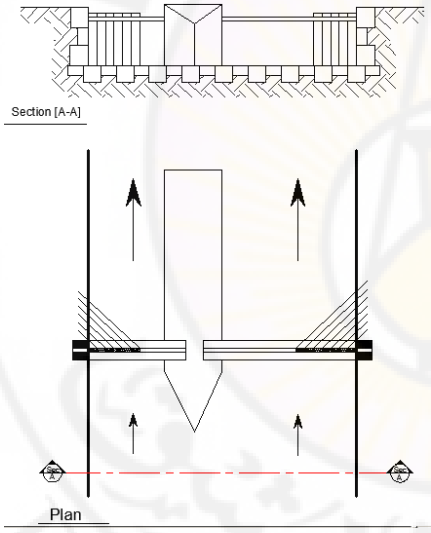
B. المجزئات المكشوفة والمتحركة:

يسمح هذا النوع من المجزئات بتقسيم تصريف قناة التغذية بنسب معينة قابلة للتغير، والنموذج الأكثر انتشاراً هذا النوع هو المجزئ ذو المنقار، الشكل (8-11).

النموذج الثاني هو المجزئ ذو الألواح الشاقولية، المؤلف من أرضية حجرية في وسطها قاعدة مركزية تقسم المقطع إلى فتحتين تغذي كل فتحة قناة ثانوية، الشكل (8-12)، وتُغلق هذه الفتحات ألواح خشبية شاقولية بعدد يساوي عدد الحصص التي يمكن إمراها في القناة. وعند اللزوم يُرفع العدد إلى عدد الحصص التي يراد إمرارها. هذا المجزئ غير دقيق لأنه لا يأخذ بعين الاعتبار عدم انتظام توزع السرع، ولا التضيق.



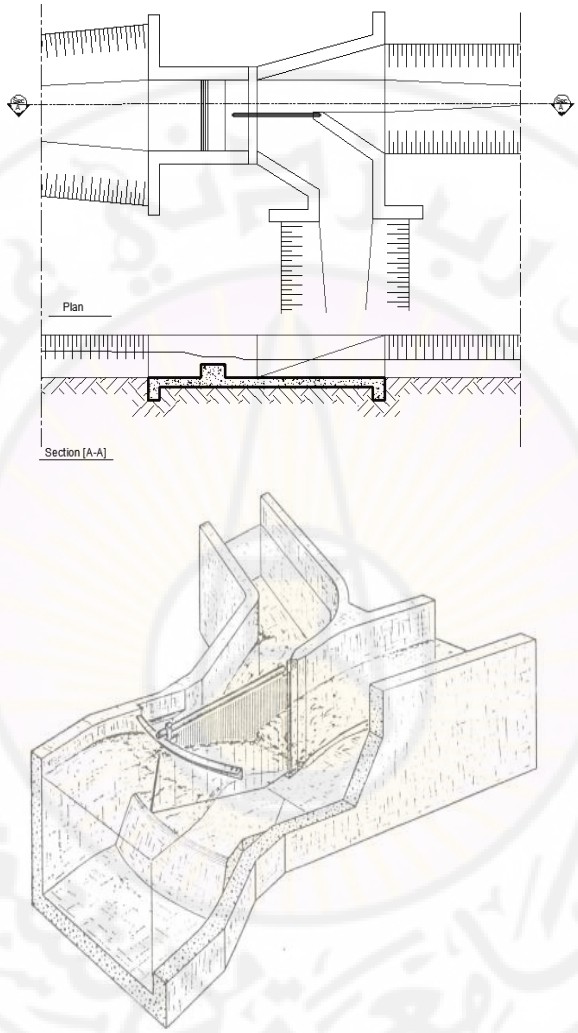
الشكل(8-11). مجزئ متحرك ذو المنقار.



الشكل(8-12). مجزئ متحرك ذو الألواح.

C. المجزئات ذات الهدّار، الشكل (8-13) :

يكون التدفق فوق هدار متناسباً تقريباً مع طول عتبة الهدّار وبالتالي أجراء التجزئة على عتبة الهدّار يؤمن تجزئة متكافئة، يتطلب بالمقابل إنشاء هدار لتحقيق مسقط مائي وبالتالي تخفيف ميل القناة، لذلك تستخدم هذا النوع من المجزئات في الأقنية ذات الميل الشديد.



الشكل (8-13). مجزئ ذو هدار.

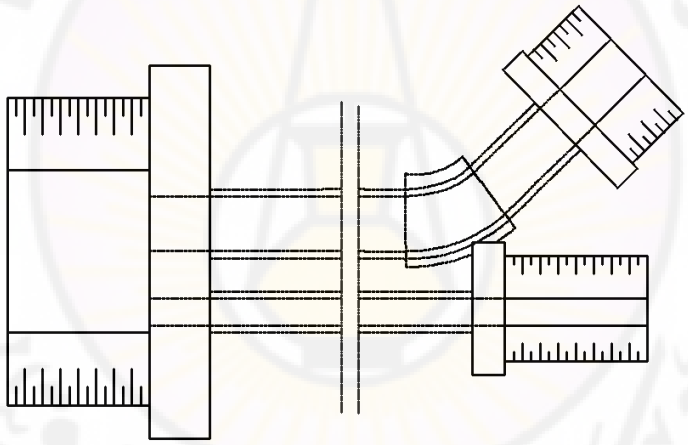
D. <u>سكورة تعمل كمجزئات</u>

إذا وضعنا سكرين (بوابتان) متماثلين في نفس القناة من حيث الشكل والأبعاد، فإن هذين السكرين يعطيان تدفقين متساوين مهما تغير التدفق في القناة، وبالتالي يقوم هذان السكران بدور المجزئات.

تمسح السكورة بتنظيم العمل، والمناورة أثناء التشغيل (عزل وإغلاق إحدى الأقنية في حال حدوث عطلة في الشبكة)، ومن حيث الشكل يمثل هذا النوع من المجزئات التحام عدة منظمات عادية مكشوفة، بحيث تتكون عتباتها على منسوب واحد مع قاع قناة التغذية، وينشأ عادة قبل المجزئ مفرغ آلي يعمل على تصريف الماء الفائض في حال عدم قدرة الأقنية الفرعية على إمرار التصريف العامل لقناة التغذية.

المجزئات المغلقة، الشكل (8-14)

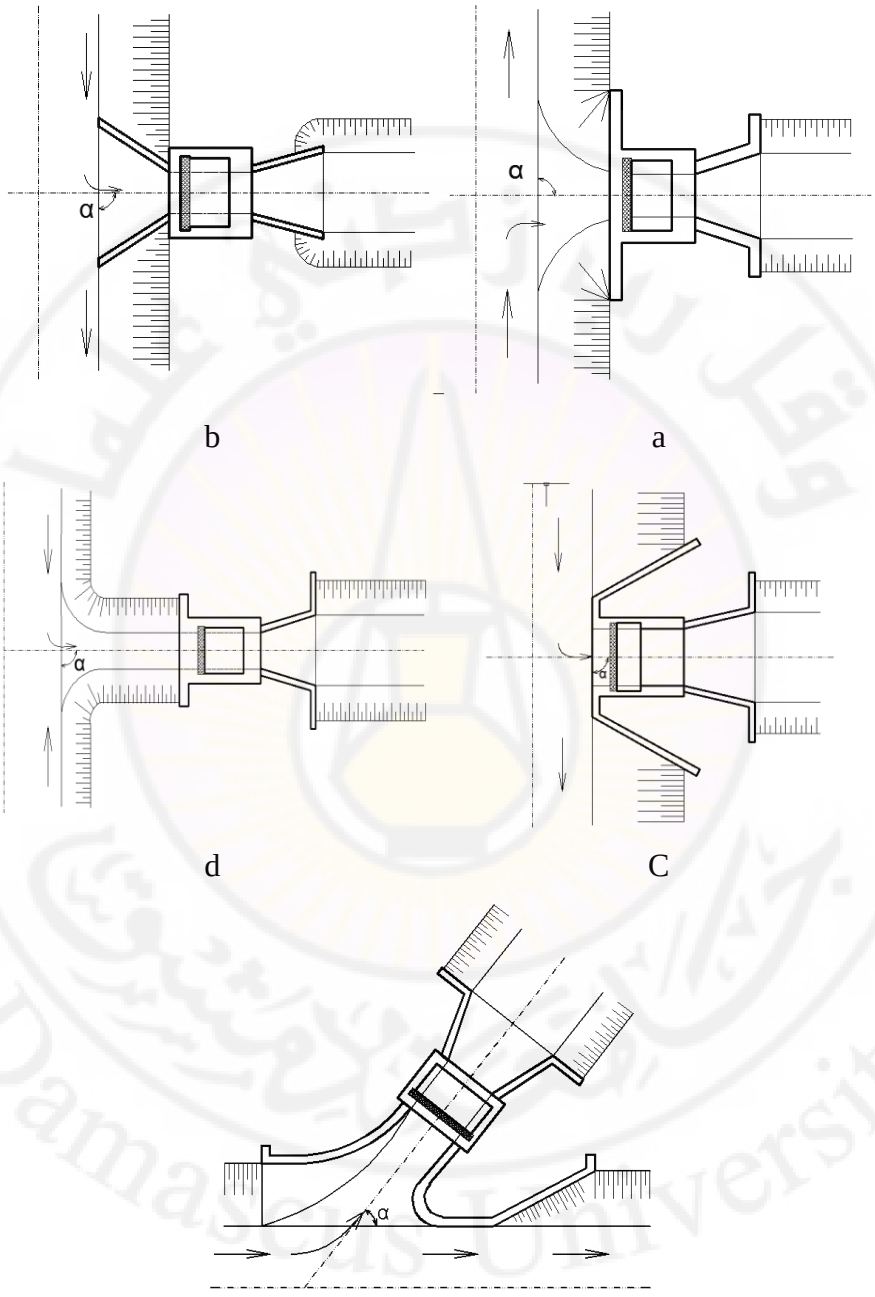
يُستخدم هذا النوع من المجزئات عند تقاطع مسار القناة الرئيسية مع ممر طبيعي أو اصطناعي



الشكل (8-14). مجزئ مغلق.

6.3.8 المآخذ الرأسية

تتوضع في بدايات الأقنية الفرعية بشكل متعامد، أو بزاوية معينة مع اتجاه الجريان في قناة التغذية، ويمكن أن تكون منظمات مكشوفة أو مغلقة، ويُبين الشكل (8-15) أشكال اتصال المآخذ الرأسية مع قناة التغذية.



الشكل (8-15). أشكال التحام المآخذ الرأسية مع قناة التغذية.

1- بشكل أجنحة جبهية مع مخروط منفذ بميلٍ مساوٍ لميل جوانب قناة التغذية، كما في الشكل (8-15-a)

2- بشكل أجنحة غاطسة، ميلها يساوي ميل جوانب القناة، كما في الشكل (8-15-b).

3- مدخل المأخذ بشكل جرسي، مما يخلق ظروفاً هيدروليكية جيدة عند المدخل.

4- بوساطة أجنحة جبهية، حيث تتوضع عتبة مدخل المأخذ عند قعر قناة التغذية، كما في الشكل (8-15-c).

5- اتصال المأخذ الرأسي بقناة التغذية يتم بواسطة قناة أو جزء من قناة متوضعة بشكل متعامد، كما في الشكل (8-15-d)، أو تشكل زاوية حادة مع قناة التغذية كما في الشكل (8-15-e).

تتوضع عتبة المأخذ الرأسي عند قاع قناة التغذية، أو أعلى بقليل (إذا تطلب تأمين الإشراف في القناة الفرعية). أما في أقنية المزارع فتكون عتبة المأخذ عند قاع قناة التغذية، بحيث تؤمن مرور الطمي مع التيار المائي إلى الأقنية المتفرعة عنها.

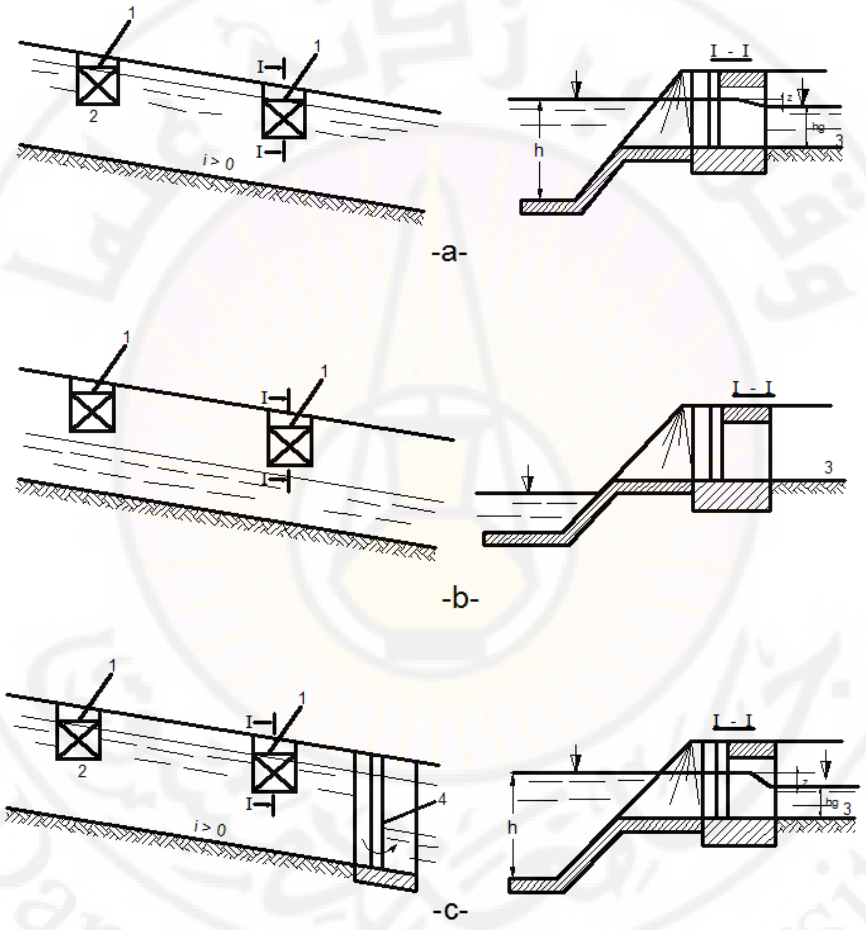
6.4.8 منظمات الحجز:

هي منشآت مائية الغاية منها تأمين المنسوب الضروري الواجب لجريان المياه من القناة الرئيسية للقنوات الفرعية.

عندما يعبر القناة الرئيسية تصاريف صغيرة ينخفض منسوب الماء فيها بحيث لا تستطيع المياه الدخول بالراحة بالكمية المطلوبة إلى القنوات الفرعية، وذلك نتيجة انخفاض منسوب الماء كما هو موضح بالشكل (8-16-b). عندئذ يتم إنشاء منظم حجز في قناة التغذية بعد القناة الفرعية لرفع منسوب الماء في القناة، وتأمين التصاريف اللازمة للقنوات المتفرعة كما هو موضح ب الشكل (8-16-c)

يُصمم منظم الحجز بشكل مشابه لمنشآت التنظيم، ولكن تختلف عنها بموقعها، حيث تُقام على كامل عرض القناة بمواجهة التيار المائي. وقد يتم توسيع القناة عند المنظم بحيث يكون العرض الفعال للمنظم مساوياً عرض القناة لتعويض الانضغاط الجانبي، الشكل (8-17).

يتم التصميم بحيث يكون الجريان خلف المنظم غير مضطرب، ويتم عن طريق إقامة حوض تهدئة، وتأمين خروج الماء بشكل انسيابي من المخرج بوضع عتبات قاعية وجدران توجيه، الشكل (8–18).



الشكل (8-16). نظام عمل منظمات الحجز.

a– تصريف قناة التغذية يساوي التصريف التصميمي، والقناة تعمل دون حجز،

b – تصريف القناة أقل من التصريف التصميمي، c – قناة التغذية تعمل مع منظم حجز.

1– مأخذ رأسي على قناة فرعية، 2– قناة التغذية، 3– قناة فرعية بمأخذ رأسي، 4– منظم حجز.



الشكل (8-17). منظم حجز (سهول حران – تركيا، 2010– تصوير د. بسام فركوح)



الشكل (8-18). مخرج منظم حجز (سهول حران– تركيا، 2010– تصوير د. بسام فركوح)

8 .6.5 منظمات الغسيل

تُقام منظمات الغسيل على قنوات الري للتخلص من الطمي المترسب، ويمكن أن تكون بشكل منظمات مكشوفة أو مغلقة، وتكون عتبة المنظم عند منسوب قاع القناة بحيث تؤمن مرور الطمي دون أي عائق.

تعمل هذه المنظمات على مبدأ الغسيل الهيدروليكي، وذلك بخلق نظام جريان معين في القناة تكون فيه سرعة الجريان كبيرة، مما يؤدي إلى جرف الطمي المترسب في القناة.

ولابد من تكسية مجرى القناة بالجوار من هذه المنظمات بشكل جيد لتجنب حدوث حت أو جرف فيها، وتجرى عمليات الغسيل عند مرور التصاريف المرتفعة (تصريف الفيضانات أو تصاريف استثنائية).

6.6.8 منظمات التفريغ

تُقام منظمات التفريغ في نهاية القنوات الكبيرة، وذلك من أجل:

- تصريف الماء الفائض في مصرف (أو داخل قناة أخرى) الناتج عن زيادة مفاجئة في تصريف القناة عن الحد التصميمي.
- ضبط منسوب الماء في القناة، والمحافظة على شروط جريان شبه متجانسة في نهاية القناة.

يزداد التصريف في القنوات للأسباب الآتية:

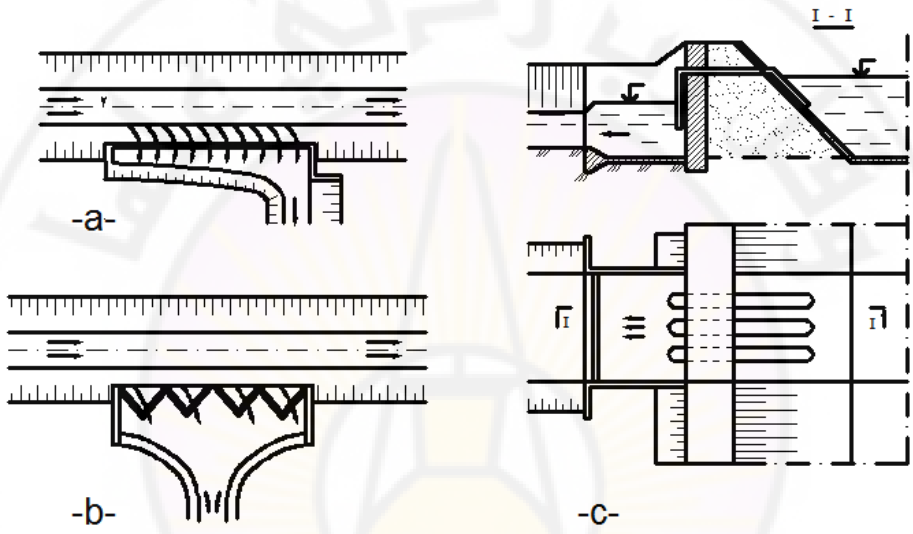
- حدوث عطل أو خلل في القناة الرئيسية أو القنوات الفرعية.
- توقف مفاجئ لمحطات الضخ التي تسحب الماء من القنوات الكبيرة.
- استثمار غير منظم لشبكة لري.
- الزيادة الناتجة عن مياه الأمطار والفيضانات.

تُصمم مفرغات التفريغ على القناة الرئيسية وفروعها على أساس 50% من التصريف التصميمي للقناة، وتصنف تبعاً لعملها إلى نوعين:

أ- المفرغات ذات التحكم الأوتوماتيكي، وهنا يمكن أن يُميز الشكلان الآتيان:

1- مفرغ يشمل هدار جانبي عريض الحافة تتوضع حافته عند منسوب الماء الأعظمي في القناة، حيث يعمل المفرغ على تصريف الماء الزائد بشكل أوتوماتيكي عندما يرتفع منسوب الماء فوق المنسوب التصميمي، كما في الشكل (8-19-a). ويمكن أن تكون حافة الهدّار مكسرة لزيادة قدرة التصريف كما هو مبين في الشكل (8-19-b)

2- مفرغ بشكل سيفون: تتوضع حافته عند منسوب الماء التصميمي في القناة. ويعمل المفرغ بشكل أوتوماتيكي على تصريف الماء الزائد عندما يرتفع منسوب الماء في القناة فوق المنسوب التصميمي بمقدار2-3cm، ويتوقف عن العمل بانخفاض منسوب الماء عن الحد التصميمي، الشكل (8-19-c).



الشكل (8-19). نماذج منظمات التفريغ ذات التحكم الآلي.

a- مفيض حر جانبي، b – مفيض حر جانبي بشكل متاهة، c– مفيض سيفوني متعدد المآخذ.

ب – المفرغات العادية (ذات التحكم اليدوي):

هي عبارة عن منظمات عادية تتوضع فيها عتبة المدخل تحت منسوب الماء التصميمي في القناة وتُزويد ببوابات تحكم.

إن استخدام هذا النوع من المفرغات يمكن أن يزيد من تكاليف الاستثمار بسبب الحاجة الدائمة إلى عامل مناوب يقوم بفتح وإغلاق بوابات التحكم عند الضرورة. ويمكن الاستعاضة عن العامل بتزويد المنظمات بأجهزة توجيه أوتوماتيكية بوابة التحكم تبعاً لمنسوب الماء في القناة.

7. 8 بوابات التحكم في شبكات الري

تُستخدم البوابات استخداماً واسعاً في بشبكات الري ويمكن أن تكون بوابات عادية أو بوابات ذات تحكم آلي.

وتُصنف بوابات التحكم الآلي بحسب مبدأ عملها الهيدروليكي إلى:

- بوابات تحافظ على منسوب ثابت للماء أمام البوابة معروفة باسم (AMIL).
- بوابات تحافظ على منسوب ثابت لف منشآت الري، وتُعرف باسم AVIO وAVIS.

إن استخدام هذه المنشآت والتجهيزات يقدم المميزات الآتية:

1- أتمتة كاملة لشبكة الري.
2- توفير في كمية المياه وذلك عند عدم استجرار المياه من القناة.
3- استجابة مباشرة للجريان عند أي طلب للري.
4- تأمين منسوب ثابت ومرتفع للمآخذ الجانبية.
5- توفير في اليد العاملة.

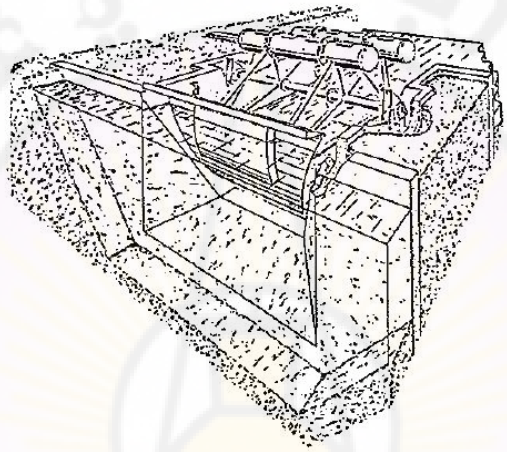
7.1. 8 بوابات (AMIL) التي تتحكم بمنسوب الماء أمام البوابة

هي بوابات سطحية مجهزة بجسم عائم وحيد متوضع على الترس الأمامي للبوابة، الجملة المتحركة تتأرجح حول محور أفقي، وفي حالة الاستقرار يكون منسوب الماء ماراً من محور الدوران. وعندما ينخفض منسوب الماء أمام البوابة يصبح عزم قوة رفع الماء أقل من عزم الوزن المعاكس فترتفع البوابة ويمر الماء لينخفض المنسوب ويحصل العكس تماماً عندما ينخفض الماء أمام البوابة، الشكل (8-20).

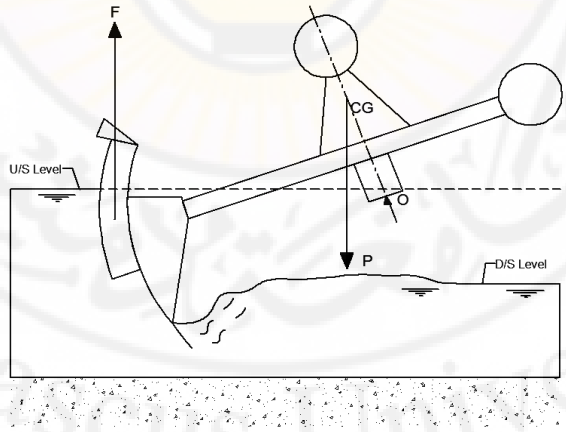
تتضمن مجموعة البوابات AMIL، 21 نموذجاً بتسعة أقطار مختلفة لترس البوابة، تغطي المجموعة مجالاً واسعاً للغزارة وفرق المنسوب، وتقدم الشركات المصنعة للبوابات جداول بالأبعاد الهندسية والإنشائية والمخططات البيانية تُعطي التدفق الممكن إمراره مقابل الفاقد بالضاغط وذلك لاختيار المنظم المناسب للشروط الهندسية والمائية المطلوبة.

الجدول(8-12). أبعاد وخواص أصغر وأكبر بوابات AMIL

H above sill (m)	Head loss (gate open) (m)	Max. discharge (m^3/sec)	Designation
0.4	0.1	.18	D80 R63
4	1	50	D800 R630



–a–



–a–

الشكل (8-20). نموذج لبوابة من نوع AMIL

-a- منظور، –b– مقطع طولي.

7.2. 8 بوابات (Av) التي تتحكم بمنسوب الماء بعد البوابة:

تتأثر هذه المنظمات بتأرجح منسوب الماء الخلفي (h=a) حيث تفتح وتغلق تبعاً لذلك المنسوب وتنقسم حسب التصميم إلى بوابات AVIO، الشكل (8–21) وبوابات AVIS، الشكل (8–22). كما تُصنف حسب الضاغط:

- بوابات تعمل تحت تأثير حمولة مائية كبيرة
- بوابات تعمل تحت تأثير حمولة مائية بسيطة.

يتألف الهيكل هذه المنظمات من جزئين رئيسين، الشكل (8–21–b): الجزء الأول وهو الصفيحة التي تعمل على فتح المجرى وإغلاقه بتأثير الجزء الثاني وهو الفواشة التي تُلازم منسوب الماء الخلفي ويتصل الهيكل بساعد مسنود بمحور أفقي. عند هبوط منسوب الماء الخلفي تهبط الفواشة مما يؤدي إلى رفع البوابة ومرور الماء. وبالعكس فارتفاع منسوب الماء الخلفي يُصعد الفواشة مما يؤدي إلى هبوط البوابة.

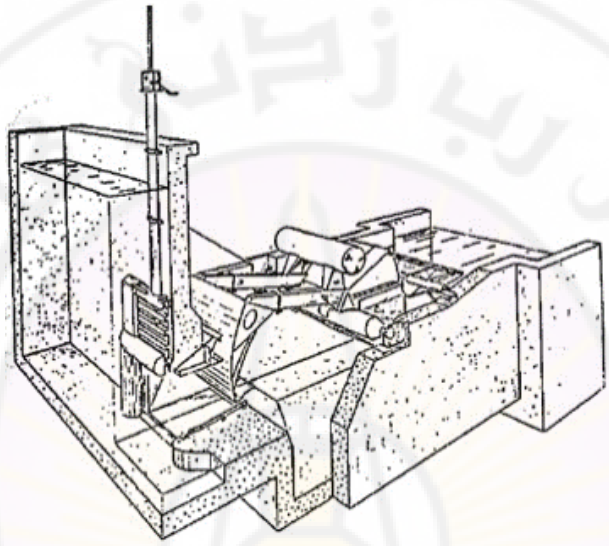
تتضمن المجموعة النظامية: 9 نماذج ضاغط منخفض و11 نموذج ضاغط مرتفع من نوع AVIS، و12 نموذج ضاغط منخفض و14 نموذج ضاغط مرتفع من نوع AVIO، الجدول (8–13).

الجدول(8-13). أبعاد وخواص أصغر واكبر بوابات AVIO و AVIS.

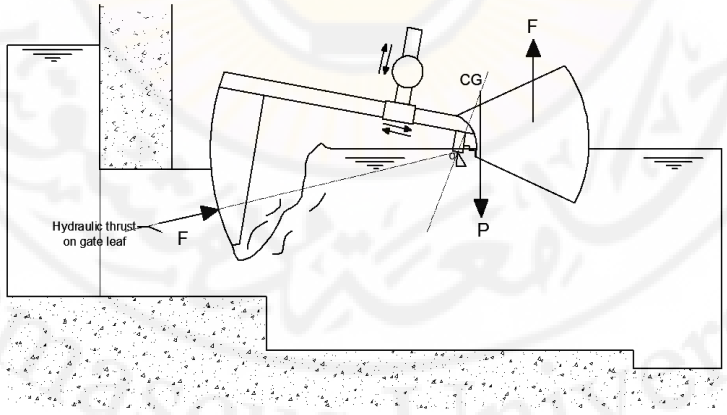
التوصيف والرمز		التصريف الأعظمي (m^3/sec)	الفاقد بالضاغط (m)	الضاغط فوق العتبة (m)
AVIO 28/6	H.C.	0.85	0.1	0.30
AVIO 280/630	H.C.	27.5	11.0	3.00
AVIO 280/1250	B.C.	40	5.6	3.00
AVIS 56/106	H.C.	0.75	0.4	0.56
AVIS 280/530	H.C.	45	2.0	2.80
AVIS 280/600	B.C.	60	1.1	3.15

H.C. :high-head B.C.: Low-head

تقدم الشركات المصنعة للبوابات جداول بالأبعاد الهندسية والإنشائية والمخططات البيانية بين التدفق الممكن إمراره مقابل الفاقد بالضاغط وذلك لاختيار المنظم المناسب للشروط الهندسية والمائية المطلوبة.



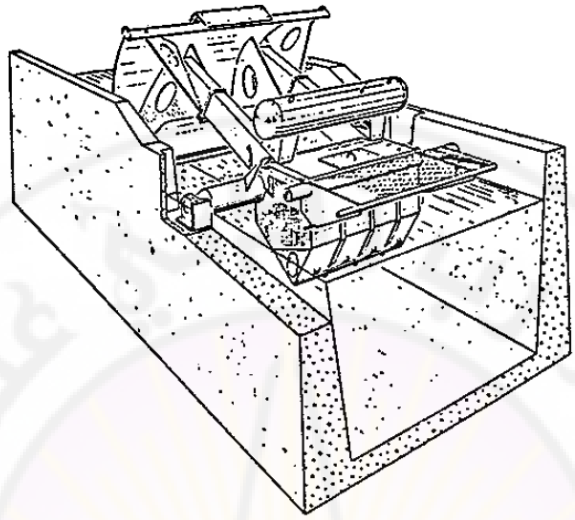
– a –



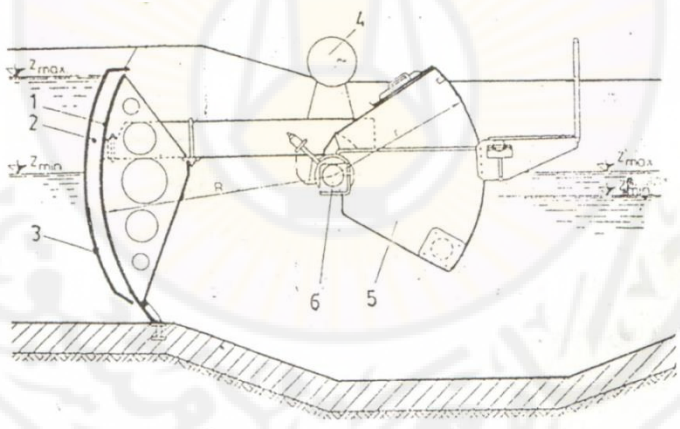
– b –

الشكل (8-21). بوابة هيدروليكية من نوع AVIO

-a- منظور، **–b–** مقطع طولي.



– a –



– b –

الشكل (8-22). بوابة هيدروليكية من AVIS

-a- منظور، **–b–** مقطع طولي.

1–ترس أمامي جزء من أسطوانة نصف قطرها R، 2– المهدئ وهو خزان هوائي فيه ثقبان أحدهما في الأعلى والثاني في الأسفل يسمحان بدخول الماء وخروجه ببطء وذلك لتهدئة صعود وهبوط الترس، 3– صفيحة حماية، 4– الوزن المعدل، 5– المبادلات، 6– محور الدوران.

8. 8 المعاملات

هي أجهزة مهمتها قياس التدفق المفرع بالمأخذ وتنظيمه، وهي منشآت عملية جداً في حالة الشبكات التي تعتمد على نظام توزيع حصص حجمية للمياه.

طور مخبر Neyric في مدنية في Grenoble بفرنسا مجموعة من المنشآت لهذا الغرض، ونميز ثلاث حالات أساسية لاستخدام هذه المنشآت إذا كانت التغيرات بمنسوب الماء في القناة الأم صغيرة يتم استخدام معاملات وحيدة الفتحة، أما في خال التغيرات المتوسطة فيكن استخدام المعاملات ذات الفتحة المزدوجة. وفي حال التغيرات الكبيرة بالمنسوب هنا ينصح بجمع معاملات وحيدة الفتحة مع بوابة تحكم بمنسوب خلفي ثابت (انظر الفقرة 8 .7.2) وتوضع على القناة الفرعية خلفي المعامل.

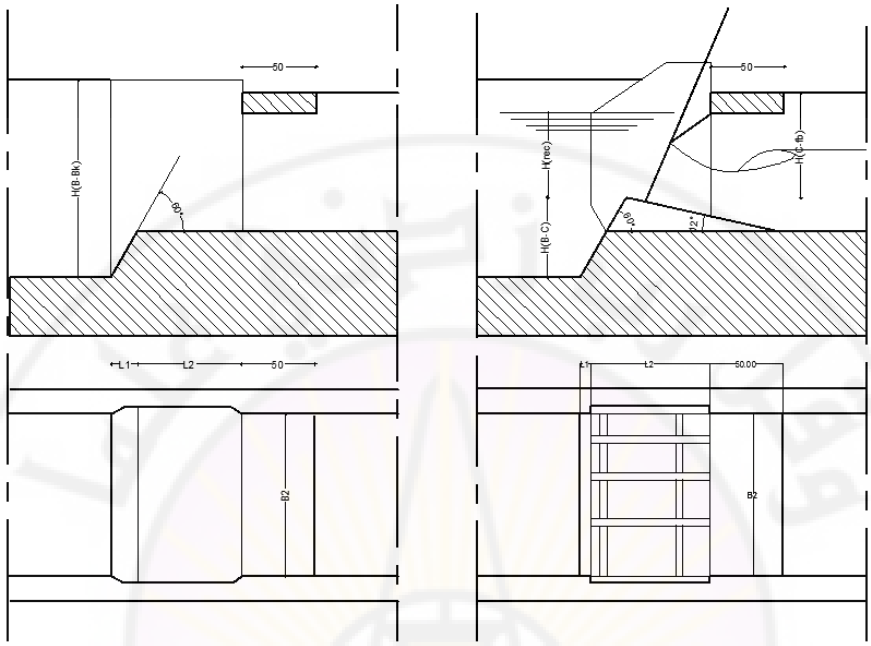
8.1. 8 المعامل وحيد الفتحة:

A. <u>الهيكل والخواص</u>

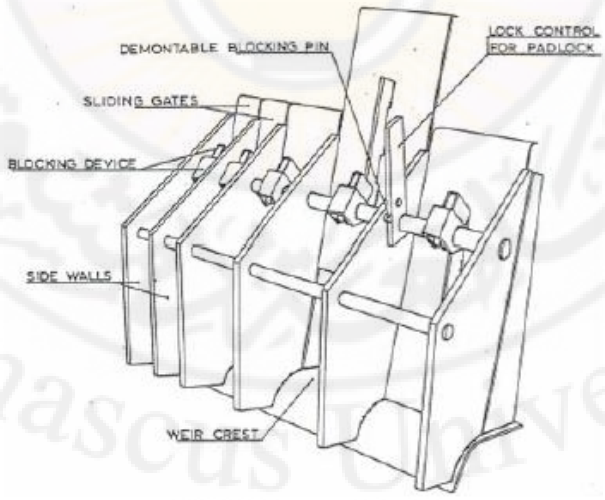
يتألف المعامل من هدار–عتبة بزاوية ميل 60^o للوجه الأمامي و12^o للوجه الخلفي وحافة العتبة مستديرة بقوس من دائرة نصف قطرها $0.2 \cdot h_d$. (h_d: الضاغط التصميمي). ويتم حصر العتبة بجدارين معدنيين مائلين متوازيين مما يشكل فتحة يتم إغلاقها ببوابة مستوية، وراء قمة العتبة يتم وضع صفيحة (أو اثنتين) بمكان محدد وبميل 35^o وبحواف مستديرة، تقوم هذه الصفحية برفع عامل الانضغاط لتيار الماء خلف الفتحة مع ارتفاع الضاغط أمامها الأمر الذي يسمح بالحصول على تصريف شبه ثابت.

من أجل الحصول على الغزارة التصميمية وغزارات التشغيل المختلفة، يتم جمع عدة فتحات بأبعاد نموذجة مختلفة في منشأة واحدة على كامل عرض القناة. ويتم ضبط التدفق بفتح وأغلاق البوابات المستوية لهذه الفتحات (فتح أو إغلاق كامل).

يُبين الجدول (8–14)، الأبعاد الأساسية والتصاريف التصميمية لمجموعة من المعاملات X، XX .



الشكل(8-23). مسقط ومقطع طولي لمعامل حجابي مكون من معاملات متجاورة.



الشكل(8-24). مجموعة معاملات من نموذج (Nerpic).

الجدول(8-14). الأبعاد الأساسية والتصاريف التصميمية لمجموعة من المعاملات Nerpic.

نموذج المعامل	تصريف الحجرة	العرض الصافي للحجرة	العرض الكلي للحجرة
	[l/sec]	[cm]	[cm]
X/30	5,10,15	30	30
X/60	5,10,15,30	60	63
X/90	5,10,15,30,30	90	94
X/120	5,10,15,30,30,30	120	125
X/150	5,10,15,30,30,30,30,	150	156
XX/30	10,20	15	16
XX/60	10,20,30,	30	32
XX/90	10,20,30,30	45	48
XX/120	10,20,30,60	60	63
XX/150	10,20,30,30,60	75	79
XX/180	10,20,30,60,60	90	94
XX/210	10,20,30,60,90,	105	109
XX/240	10,20,30,60,60,60	120	125
XX/300	10,20,30,60,90,90	150	155
XX/360	10,20,30,60,60,90,90	180	186
XX/420	10,20,30,60,60,60,90,90	210	217
XX/480	10,20,30,60,90,90,90,90	240	247

فعلى سبيل المثال، عند اختيار المعامل XX60 والذي يتضمن ثلاث حجرات بثلاث غزارات (10-20-30 l/sec) كما هو مبين بالجدول أعلاه، نحصل على غزارات التشغيل التالية (10-20-30, 40, 50, 60 l/sec).

الجدول(8-15). أبعاد وخواص أصغر وأكبر بوابات AVIO وAVIS.

Module	H (b-bk)	H (bs-bk)	L1	L2	B (rec)	L3	H (b-c)	H (crt)	H (c-fp)
No	min.	min.					min.		
X	41	30	5	35	5	3	16	17	25
XX	62	48	8	57	5	7	25	27	37
L	110	88	15	85	10	12	55	50	50
C	190	140	25	140	15	20	75	80	

B. <u>علاقات التصميم</u>

يعمل المعامل كمفيض حر للتصاريف الصغير K وقبل أن يصل الماء إلى منسوب اسفل الحجاب، وفق العلاقة التالية:

$$Q = c.h\sqrt{h} \qquad (22\text{-}8)$$

حيث:

Q – التصريف،

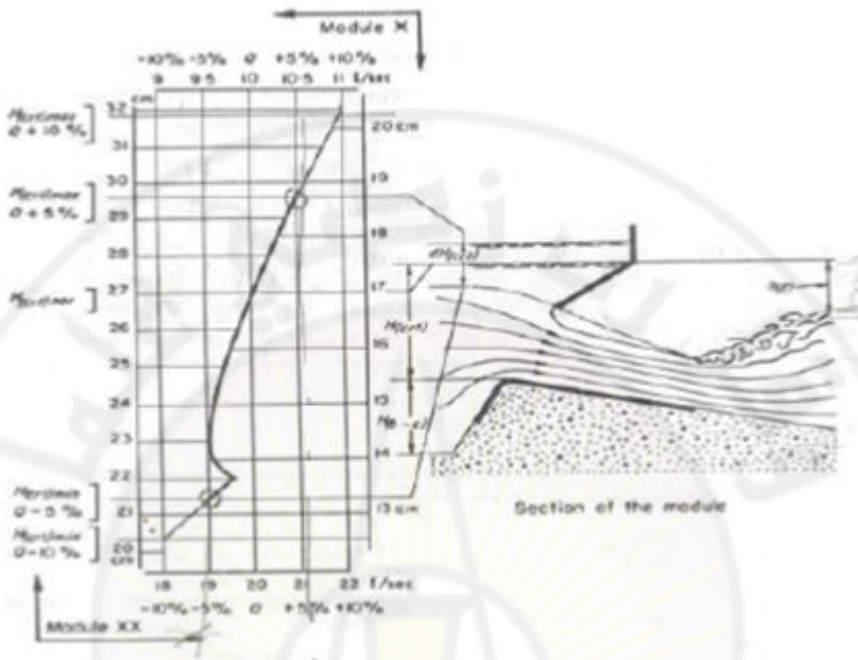
C– معامل التصريف،

h – الضاغط

وعندما يتجاوز منسوب الماء أسفل الحجاب، يعمل الجهار كفتحة مغمورة وفق العلاقة:

$$Q = c'.\sqrt{h'} \qquad (23\text{-}8)$$

حيث يحصل تقليص لتيار الجريان مما يجعل التصريف شبه ثابت (تغيرات ضمن مجال 5-10%)، رغم ازدياد سرعة الجريان.



الشكل (8-25). مبدأ عمل المعاملات الحجابية وحيدة الفتحة (Neyrpic).

8.2.8 المعامل ثنائي الفتحة:

A. <u>الخواص الهيكلية</u>

تتكون المعاملات ثنائية الفتحة من عتبة هدار على غرار المعامل Neyrpic وحيد الفتحة، مع أضافة صفحتين معدنيتي تشكلان سيفوناً.

تُصمم المعاملات بعرض مختلف، بحيث يتم الحصول على فتحات باستطاعات تصريف معيارية 10 l/sec، 20 l/sec، و30 l/sec أو أكثر.

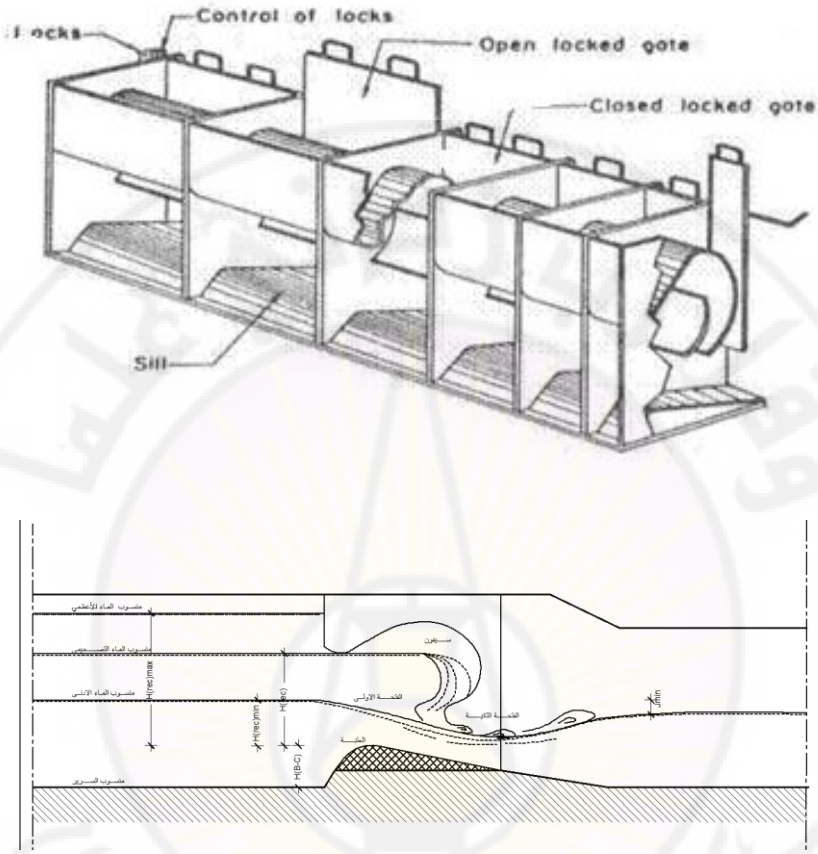
خصائص وأبعاد الأخرى هذه الوحدة الهيكلية مماثلة لتلك لمعاملات وحيدة الفتحة أعلاه باستثناء ارتفاع قمة العتبة فوق منسوب سرير الجريان أمام المعامل، الذي يرد في الجدول(8-16) .

الجدول(8-16). خواص المعاملات ثنائية الفتحة نوع Neyrpic.

H (b-c)	J min	dH(crt)	H(max)	H(crt)	H(crt)	Unitary Discharge (l/s/dm)	Type no.
17	8	7	21.5	18.5	14.5	10	1
28	13	11.2	34.2	29.5	23	20	2
37	18	13.5	44.5	38.5	31	30	3
50	20.5	17.5	53.5	46	36	40	4
58	23.5	21	63	54	42	50	5
64	26.5	25	72	61	47	60	6
69	28.5	27	79	67	52	70	7
74	32	31	88	74	57	80	8
77	34	33	94	79	61	90	9
80	37	35	101	85	66	100	10
88	48.5	47	134	112	87	150	15
93	59	56	161	134	105	200	20

تتضمن المعامل صفيحتين معدنيتين مائلتين، تقوم الأولى بوظيفة مزدوجة، خنق التيار المائي في حال الضواغط المنخفضة، وتعمل كهدار في الحال الضواغط المرتفعة، بالتالي التيار المائي المار أعلى الصفحية الأولى يوجه نحو الفتحة الخلفية فيخضع لانضغاط شاقولي ثانٍ عند مروره الفتحة. وبالنتيجة نحصل على المزيد من تضيق هامش التغيرات في الغزارة مع ارتفاع الضاغط.

يُوضح الشكل (8–26) هيكلية المعاملات ثنائية الفتحة وطريقة جمع الفتحات النظامية في مجموعة واحدة.



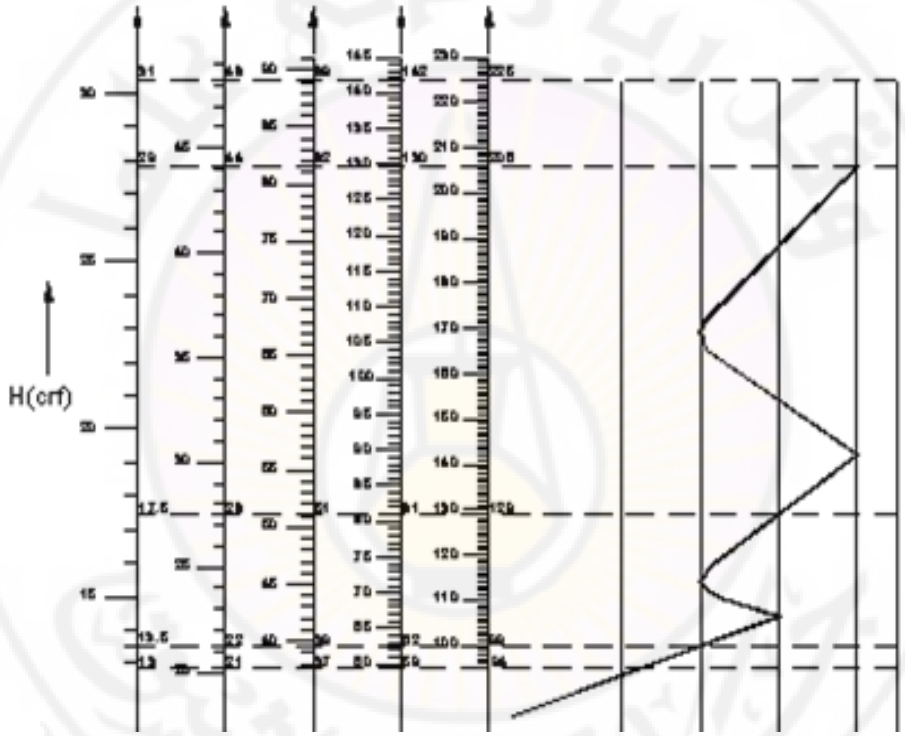
الشكل (8-26). معاملات ثنائية الفتحة من نوع (Nerpic).

B. <u>الخواص الهيدروليكية</u>

كما في المعاملات وحيدة الفتحة أيضا في المعاملات ثنائية الفتحة يحصل خنق للتيار المار عبر المعامل وبالتالية يصبح التدفق مستقلاً عن منسوب الماء في القناة الفرعية.

يعمل الجهار كمعامل مادام منسوب الماء أمامه لا يتجاوز الحافة السفلية للغطاء المعدني، عندما يتجاوز هذا المنسوب يعمل الجهاز نصف معامل حيث يخفض المنسوب نتيجة عبوره الغطاء المعدني وكما ارتفع منسوب الماء يقوم السيفون بتخفيض الضاغط.

تسمح المعاملات ثنائية الفتحة بتغيرات كبيرة نسبياً لمنسوب الماء أمام المعامل فعلى سبيل المثال المعامل نموذج 2 ونسبة سماح $Q = \pm 5\%$ هي 11cm بمقابل 8cm لمعامل وحيد الفتحة نموذج Nerpic ,XX وبزيادة 50% للعرض نفسه. ويُبين الشكل (8−27) تغيرات الغزارة مع تغيرات الضاغط H(Crt)



الشكل (8-27). مبدأ عمل المعاملات الحجابية ثنائية الفتحة من نوع (Nerpic).

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

معجم المصطلحات العلمية المستخدمة في الكتاب

إنكليزي –عربي

إنكليزي	عربي
Absolute Pressure	الضغط المطلق
Agricultural	زراعي
Alluvial pervious foundation	طبقات رسوبية
Approach velocity	سرعة الاقتراب
Aqueducts	الجسور المائية
Archimedes Principle	مبدأ أرخميدس
Basin	حوض
Bligh’s Theory	نظرية بلاي
Bligh's Coefficient	معامل بلاي
Boundary Conditions	الشروط الحدودية
Canal	قناة
Chute Structures	المجاري السريعة
Clay	الغضار
Coefficient of Drowning	معامل الغمر
Coefficient of Permeability	معامل النفوذية
Concrete	بيتون، خرسانة
Conduit	مجرى
Continuous Flow	جريان مستمر
Contour – Water Table	سطح الماء الجوفي
Contour line	خط تسوية
Conveyance Structures	منشآت النقل
Cracks	شقوق

Creep Coefficient	عامل الزحف
Critical depth	عمق حرج
Crest	عتبة
Crossing Structures	منشآت التقاطع
Culvert	عبَّارة
Curtain Cutoff	ستارة مانعة للتسرب
Curtain cutoff	ستارة مانعة للتسرب
Curve linear Squares	مربعات منحنية
Cutoff Wall	حاجز مانع للتسرب
Dam	سد
Darcy Equation	معادلة دارسي
Deformation	التشوه
Differential Continuity Equation	معادلة الاستمرار التفاضلية
Direct Intakes or Intakes Without Dam	المآخذ المباشرة أو المآخذ اللاسدية
Discharge	الغزارة أو التصريف
Discharge Coefficient	معامل التصريف
Downstream Water Level	منسوب الماء خلف السد الهدار
Drain	مصرف
Efficiency	كفاية–فعَّالية
Electrical Analogue Method	طريقة النمذجة الكهربائية
Elevation Head	الضاغط الكامن
Entrance	مدخل
Equipotential Lines	خطوط تساوي الكمون
Escape Regulators	منظمات الغسيل أو منظمات التفريغ
Excavation	حفريات
Experimental Method	طريقة تجريبية

Family of Equipotential Lines	مجموعة خطوط الكمون
Family of Streamlines	مجموعة خطوط الجريان
Finite Element Method	طريقة (نظرية) العناصر المحدودة
Flood	فيضان
Flow	الجريان
Flow Irrotational	جريان لا دوراني
Flow Net	شبكة الجريان
Flow Paths	مسارات الجريان
Fluid Static	توازن السائل
Force	قوة
Foundation of Structure	أساس المنشأ
Friction	احتكاك
Friction losses	ضياعات بالاحتكاك
Gate	سكر / بوابة
Graphical Method	الطريقة البيانية
Gravel	حصى
Gravity Dams	السدود الثقيلة
Ground Water	مياه جوفية
Grouting	حقن
Head	الضاغط
Head Losses	فواقد الطاقة
Humidity	رطوبة
Hydraulic	الهيدروليك
Hydraulic Conductivity	الناقلية المائية
Hydraulic Grade Line	خط التدرج الهيدروليكي
Hydraulic Gradient	الميل الهيدروليكي
Hydraulic Head	الضاغط المائي

Hydraulic Jump	القفزة المائية
Incompressible Flow	جريان غير قابل للانضغاط
Intake	مأخذ
Intake with Dam	المآخذ المائية غير المباشرة أو السدية
International System	النظام العالمي
Inverted Siphon	سيفون مقلوب
Irrigation Structures	منشآت الري
Isotropic	موحدة الخواص
Kinematic Viscosity	اللزوجة الحركية
Laminar Flow	جريان صفحي
Lane's Coefficient	معامل لين
Lane's Theory	نظرية لين
Laplace's Equation	معادلة لابلاس التفاضلية
Law Darcy	قانون دارسي
Leakage	التسرب
Length	الطول
Linear Losses	الفواقد الطولية
Liquid	سائل
Live Loads	الحمولات الحية
Local Losses	الفواقد المحلية
Main Water Intake	المأخذ المائي الرئيسي
Measurement Structures	منشآت القياس
Mechanics Soil	ميكانيك التربة
Model	نموذج
Modeling Hydraulic Method	طريقة النمذجة الهيدروليكية
Moisture	رطوبة
Momentum Equation	معادلة كمية الحركة

Network	شبكة
No uniform Flow	الجريان غير المنتظم
Normal Depth	عمق الماء في المجرى المائي
One Dimensional Flow	جريان أحادي البعد
Open Flow Meters	مقاييس التدفقات المفتوحة
Orthogonal	متعامدة
Outlet	مخرج
Overflow	مفيض
Overflow crest	حافة المفيض
Parshell Flume	قناة بارشال
Permeability	نفوذية
Permeable	مسامي
Piezometer	بيزومتر
Piezometer Tube	الأنبوب البيزومتري
Piezometric Head	الضاغط البيزومتري
Pipe	أنبوب
Plunged Intakes	مآخذ غاطسة
Porosity	مسامية
Potential Flow	جريان كموني
Precipitation	هطول
Pressure	ضغط
Pressure Gradient	تدرج الضغط
Pressure Head	ضاغط الضغط
Pump	مضخة
Pumping Stations	محطات الضخ
Rectangular Wall	جدار مستطيل
Regulating Structures	منشآت التنظيم

Relative Density	الكثافة النسبية
Relative Roughness	الخشونة النسبية
Reservoir	خزان
Retaining Regulators	منظمات الحجز
Reynolds Number	عدد رينولدز
River	نهر
River Basin	حوض النهر
Rock Foundation	طبقة أساس صخرية
Rotational Flow	جريان دوراني
Roughness	الخشونة
Runoff	جريان سطحي
Sand	رمل
Sedimentation	ترسيب
Seepage	رشح
Seepage Discharge	التصريف المتسرب
Shape Factor	معامل الشكل
Sharp-Crested Rectangular Weir	هدار مستطيل رقيق الحافة
Shear stress	إجهاد القص
Side Water Intakes	المآخذ المائية الجانبية
Silt	الطمي
Silting	إطماء
Small Orifice	فتحة صغيرة
Software Modelling Mouthed	طريقة النمذجة العددية
Source	نبع
Static	توازن
Steady Flow	الجريان المستقر
Stilling Basin	حوض تهدئة

Stream	مجرى مائي
Stream Function	تابع التيار
Stream Line	خط التيار
Stream Tube	أنبوب تيار
Stress	إجهاد
Structures Drop	المدارج المائية
Submerged Weir	هدار مغمور
Sudden Contraction	تضيق مفاجئ
Sudden Expansion	توسع مفاجئ
Superficiality Intakes	مآخذ سطحية
Surface Water Basins	الأحواض المائية السطحية
Surface Water Resources	موارد المياه السطحية
Temperature	الحرارة
Total Head	الضاغط الكلي
Total Hydraulic Head	الضاغط الهيدروليكي الكلي
Tow Dimensional Flow	جريان ثنائي البعد
Trench	خندق
Tunnels	الأنفاق
Turbulent Flow	الجريان المضطرب
Uniform Flow	الجريان المنتظم
Unsteady Flow	الجريان غير المستقر
Uplift Pressure Forces	قوى الرفع المائي
Upstream Water Level	منسوب الماء أمام السد – الهدار
Valley	وادي
Vapor	تبخر
Velocity	السرعة
Velocity Coefficient	معامل السرعة

Velocity Energy Coefficient	معامل الطاقة الحركية
Velocity Flow	سرعة الجريان
Velocity Head	الضاغط الحركي
Velocity Potential	كمون السرعة
Vertical	عمودي (شاقولي)
Vie Weir	هدار مثلثي
Viscosity	اللزوجة
Voltage	الجهد الكهربائي
Vortex Motion	حركة دوامية
Water Conveyance	نقل المياه
Water Resources	مصادر مائية
Water Spreaders	مجزئات مائية
Weir	هدار

Damascus University

المراجع العلمية

1. إبراهيم، بسام – حديد، شعبان، 1997، المنشآت المائية (1)، منشورات جامعة البعث، حمص.
2. الرفاعي، نور الدين، 1982، تصميم الأقنية المكشوفة والمنشآت المائية في مشاريع الري، منشورات جامعة دمشق، دمشق.
3. عبد الله، إيهاب – ليوس، إلياس، 1996، هندسة الري (2)، منشورات جامعة البعث، حمص.
4. جعارة، عبد الناصر– شغالة، محمد أمين، 1999، المنشآت المائية (1)، منشورات جامعة حلب، حلب.
5. م. جريشين وآخرون، ترجمة المنير د. داود سليمان، 1988، الإنشاءات الهيدرولية (الجزاءان الأول والثاني)، دار مير، موسكو.
6. وكيل، ميخائيل،1991، المنشآت المائية (1)، منشورات جامعة حلب، حلب.

7. Aisenbery A. J., Hayes R. B., Warren H. J., Winsett D. L. Young R. B. ,1978, Design of Small Cannel Structures. United states Department of the Interior – Bureau of Reclamation.
8. Bouvard Maurice, 1984, «Barrages mobiles et ouvrages de dérivation, à partir de rivières transportant des matériaux solides» collection de la direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, EYROLLES.
9. Chow V. T., 1959, Open – Channel Hydraulics, McGraw-Hill, Inc. USA.
10. Costet Jean, Sanglerat Guy, 1975, «Cours pratique de Mécanique des sols». Tome 2, DUNC, Paris.

11. D. B. Kraatz, I. K. Mahajan, 1975, Small hydraulic structures. Parts 1, 2, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
12. Helmut Lauterjung, Gangolf Schmidt, 1989, «Planning of Water intake structures for irrigation or hydropower», GTZ- GmbH Eschborn ISBN 3-528-02042-3
13. Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, HEC 14, September 1983
14. K.R. Arora, "Irrigation, Water Power and Water Resources Engineering", 3rd Edition, Standard Publishers Distributors, 2010. SBN-10 8180140075
15. Kielbik Marcin, 1984, Budownictwo Wodne, t.2, PWRL, Warszawa.
16. Ollier Chales, Poiree Maurice, 1986, «IRRIGATION, Les réseaux d'irrigation théorie, technique et économe des arrosages», EYROLLES, paris France.
17. Ollier Charles, Poiree Maurice, 1986, IRRIGATION, Les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. Septième Edition, EYROLLES, Paris.
18. Sakla Sharl Shukry, 1986, Design of Irrigation Structures Part 1. El. Mansourah University.
19. Schneebeli georges, 1987 «Hydraulique souterraine» collection de la direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, EYROLLES
20. Varlet H., 1965 " Unine Hydraulique : Usines de derivation" tome 1 et tome 2, Eyrolles, Paris
21. Younan, N. A., 1991, Design Textbook in Civil Engineering, Irrigation Structures, University of Alexandria.
22. Zbikowski, A., 1974, Male Budowle Wodne, czesc II, Kanaly i Przewody, PWN, Warszawa.

تم بعونه تعالى

المقومون العلميون

الدكتــور
محمد منصور الشبلاق
أستاذ في قسم الهندسة المائية
كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق

الدكتــور
عدنان مصطفى النحاس
أستاذ مساعد في قسم الهندسة المائية
كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق

الدكتــور
وسام ميشيل نخله
أستاذ مساعد في قسم الهندسة المائية
كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق

المدقِّق اللُّغويّ

الدكتور
حمود يونس
أستاذ في كلية الآداب والعلوم الإنسانية
جامعة دمشق

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة
لمديرية الكتب والمطبوعات في جامعة دمشق

Published by Damascus University
Faculty of Civil Engineering

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University