

٤- تصميم السدود الترابية Earth dams

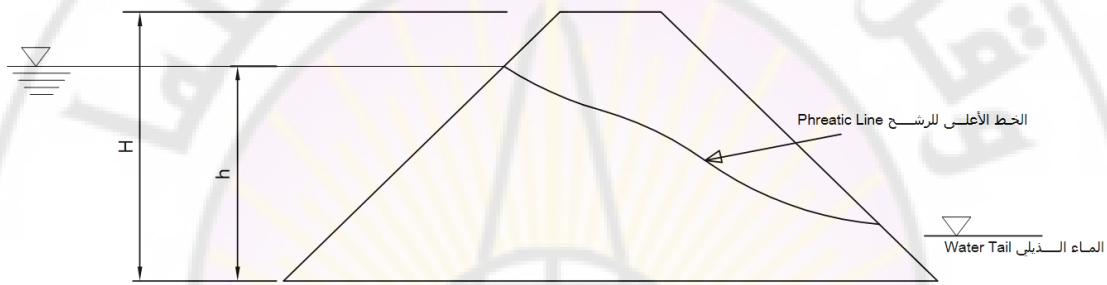
١-٤ المقدمة

بنيت السدود الترابية Earth dams لتخزين مياه الري منذ القدم . تطور ميكانيك التربة لدراسة سلوك السدود الترابية Earth dams ، و تطور تقنيات الأنشاء الحديثة المتميزة الأفضل ، كل هذا ساعد في خلق ثقة في إنشاء سدود ذات ارتفاعات كبيرة بتصاميم أكثر أماناً وأقل كلفة.

تعريفات

التأبيب : هو نحر داخل جسم السد Embankment أو في طبقة الأساس ، والذي يؤدي إلى انجراف حبيبات التربة وتكون فراغات تشبه الأنابيب داخل جسم السد Embankment أو في الأساس .

الخط الأعلى للسريان phreatic line : هو الخط الذي يفصل بين نطاق التربة المشبعة و نطاق التربة الغير المشبعة.



التربة الإيزوتروبية isotropic soil : هي تربة ذات خواص واحدة في جميع الاتجاهات ، أي لا تتغير خصائصها الطبيعية بتغير الاتجاه .

الضاغط المائي head of water : الضاغط المائي head of water عند نقطة هو الارتفاع العمودي للماء الذي يشكل ضغط مساوي للضغط المسلط عند تلك النقطة و يقاس بوحدة الطول (m)

الهبوط المفاجئ drawdown : هو الانخفاض السريع في مياه بحير السد.

٤-٢ أساسات السدود الترابية Earth dams

المتطلبات الأساسية لأساسات السدود الترابية Earth dams هي :

١. يجب أن تعمل الأساسات على استقرار ودعم وزن السد في جميع الحالات من ناحيتي التشبع والأحمال
٢. يجب أن تحقق الأساسات مقاومة كافية للتسرب لمنع انجراف الحبيبات الناعمة من التربة نتيجة مرور المياه وتكون انابيب لعبور المياه عبر الأساس والتي تؤدي إلى انهيار السد كذلك يجب أن تحقق الأساسات مقاومة كافية للفاقد المفرط للمياه .

عموماً يمكن تصنيف الأساسات إلى ثلاثة أصناف رئيسية .

١. أساسات صخرية .
٢. أساسات منفذة .
٣. أساسات كتيمة .

١-٢-٤ الأساسات الصخرية

لا يوجد أي مشاكل في الأساسات الصخرية من ناحية قدرة التحمل . ولكن عادة يتم حقن هذه الأساسات لحشو الصدوع والشقوق التي قد يحتويها هذا النوع من الأساسات . يمكن إنشاء أي نوع من أنواع السدود الترابية Earth dams على هذا النوع من الأساسات .

هذ النوع من الأساسات يضم مشكلتين :

١. كمية مفرطة للتسرب
٢. حدوث انابيب ونبوع المياه بسبب قوى الرشح

الحل للسيطرة على هذين المشكلتين يحدد بسماكة الطبقة النفوذة تمتد إلي

- (a) عمق محدود
- (b) عمق كبير

هناك مشكلة أخرى رئيسية تتمثل بظاهرة معروفة بالتميع ، ككومة من الرمل المنتظم الناعم في حالة عدم التراص (سائب) عندما يعرض لفعل مفاجئ كصدمة (كما يحصل في السدود الترابية Earth dams) فإنه يفقد كل قوى القص ويتصرف كمائع لزج . تُصور هذه الظاهرة بالرمل المنتظم و الذي يكون ناعم جداً ويتألف من حبيبات دائرية .

الأساسات الطميية (silt) و الطينية التي تمتد إلى أعماق كبيرة تكون ذات كتامة كافية لتحول دون المتطلبات الضرورية لحل مشكلة التسرب و تكون انابيب لعبور المياه عبر الأساس ، المشكلة الرئيسية مع هذا النوع من الأساسات قد تكون ضغط الماء الصافي و التشوهات الملحوظة .

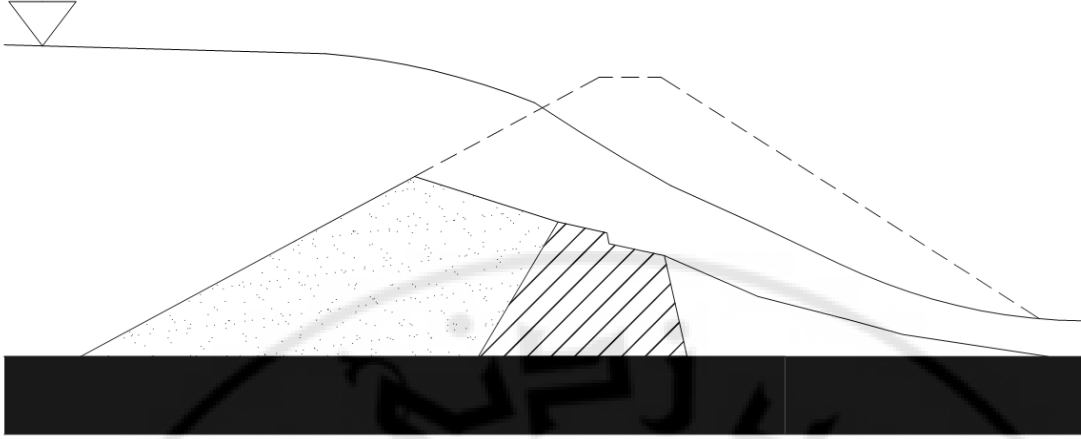
ينهار السد الترابي بسبب التصميم الخاطئ و كثيراً ما يكون بسبب الاعتماد على تحريات غير كافية و قلة العناية في التنفيذ و الصيانة . يمكن تصنيف فشل السدود الترابية Earth dams إلي الأقسام الأساسية التالية :

١. الفشل الهيدروليكي
٢. الفشل الإنشائي
٣. الفشل بالرشح

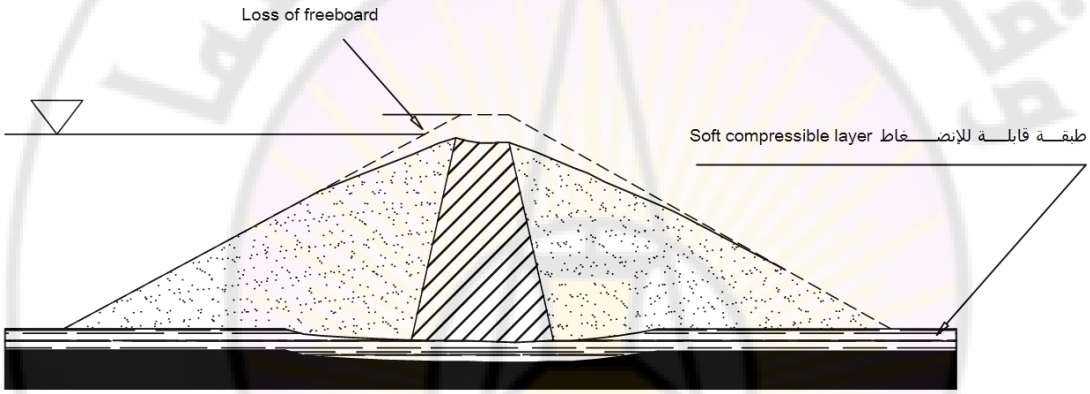
ثلث فشل السدود هو فشل هيدروليكي وتنتج عن تعرية جسم السد بالماء surface erosion . الفشل الهيدروليكي يتضمن التالي :

قد يحدث الغمر في السد الترابي (كما في الشكل(٤-١)) إذا :

- (a) كمية الفيضان التصميمي design flood المخمن سابقا أقل من كمية الفيضان الذي سيحدث في فترة عمر السد لعدم تقدير كمية الفيضان بالشكل الصحيح .
- (b) سعة المفيض spillway غير كافية لإمرار موجات الفيضان
- (c) عيوب faulty ومشاكل في تشغيل بوابات المفيض spillway gates
- (d) هبوط في الأساسات أو الضفة Embankment (كما في الشكل(٤-٢))



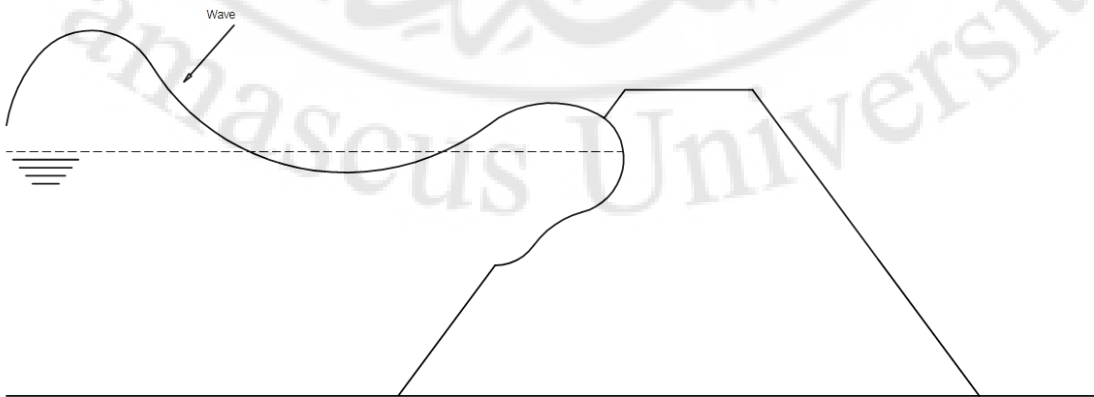
الشكل (١-٤) انهيار السد بسبب الغمر



الشكل (٢-٤) هبوط settlement أساس السد الذي يدل على انخفاض فضلة الارتفاع Freeboard

٢. نحر الموجة Wave erosion

تأثير الموجات هو أنها تتلم جسم السد Embankment من الميل الأمامي U/S في حالة عدم وجود الحماية الأمامية (كما في الشكل (٣-٤))



الشكل (٣-٤) نحر الموجة Wave erosion في الوجه الأمامي للسد

٣. النحر في الميل الخلفي (المؤخرة) للسد Toe erosion

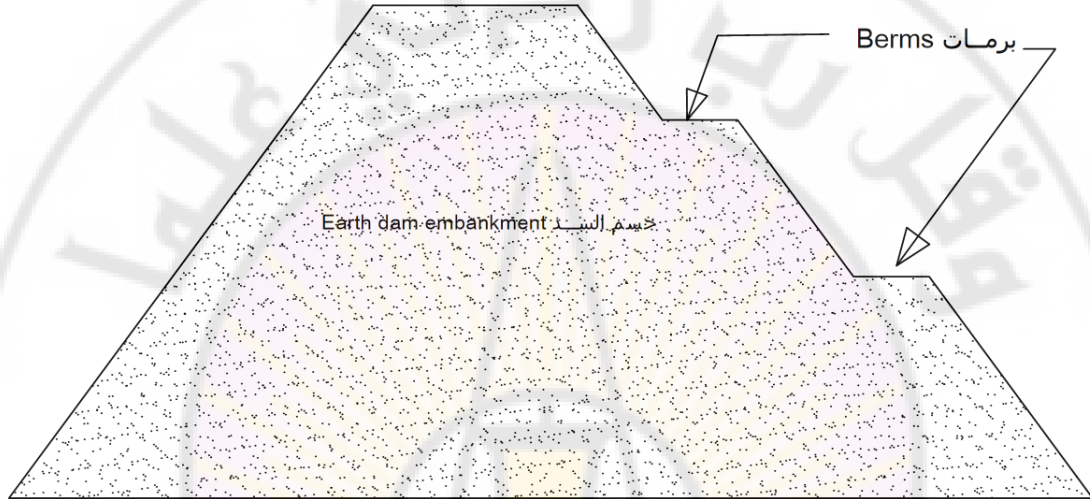
يحدث النحر في مؤخرة السد في حالة التصميم السيئ لقنوات المفيض وأو اختيار مكانها . وبسببه:

a. النحر بسبب الماء الذيلي water tail

b. النحر بسبب المياه الخارجة من المفيض أو البوابات

٤. الأخاديد Gullyng

تحدث الأخاديد بسبب جريان مياه الأمطار الغزيرة على ميل مؤخرة السد إذا لم يعمل حماية لها . لمنع حدوث ذلك يعمل لميل مؤخرة السد برمات Berms (كما في الشكل (٤-٤))

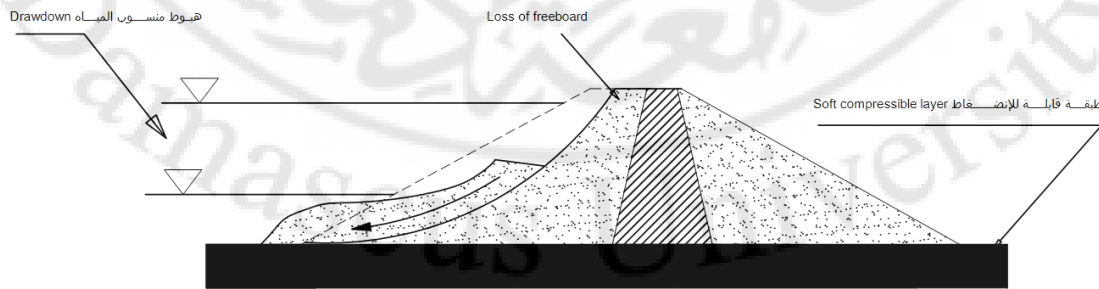


الشكل (٤-٤) تزويد مؤخرة السد ببرمات Berm

٤-٣-٢ الفشل (الانهيار) الإنشائي Structural failure

١. انهيار في مقدمة السد بسبب الانخفاض المفاجئ للمياه في بحيرة السد

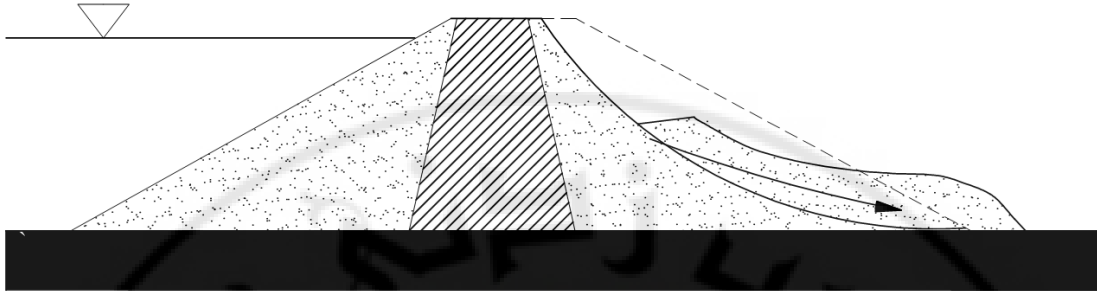
مع الافراغ الكامل لمياه بحيرة السد القوى الناتجة عن الضغط المسامي للمياه pore water pressure التي تؤثر على طول ميل مقدمة السد ومع انعدام الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic Pressure اللازم لموازنة فعل الضغط المسامي للمياه لذلك يحدث انهيار ميل مقدمة السد (كما في الشكل (٤-٥))



الشكل (٤-٥) انهيار ميل مقدمة السد بسبب الانخفاض المفاجئ في منسوب المياه

٢. الانهيار في ميل مؤخرة السد في حالة امتلاء بحيرة السد

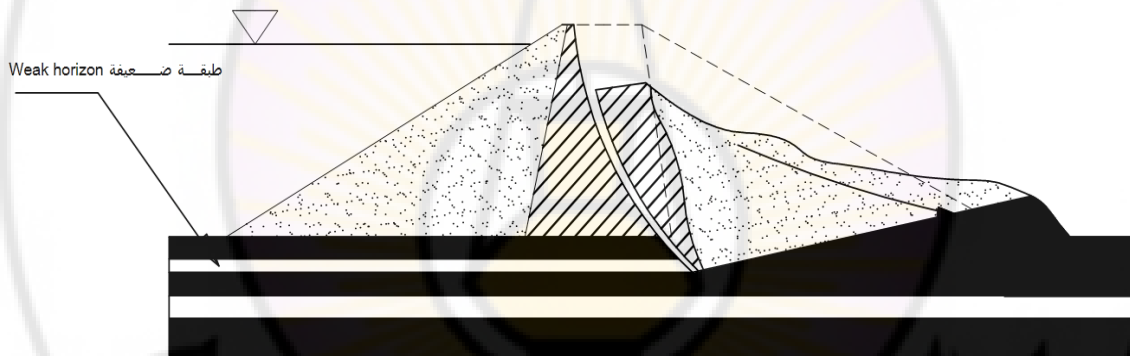
الحالة الحرجة لميل مؤخرة السد (كما في الشكل (٦-٤)) هي في حالة امتلاء بحيرة السد بالمياه و التسرب في هذه الحالة في أعلى نسبة له. لذلك يحدث انهيار ميل مؤخرة السد و كذلك عندما تكون مؤخرة السد ذات ميل حاد.



الشكل (٦-٤) انهيار مؤخرة السد في حالة امتلاء بحيرة السد بالمياه downstream failure

٣. الانهيار في ميل مؤخرة السد بسبب ضعف طبقة الأساس

يحصل الفشل في ميل مؤخرة السد عند ما تصل الاجهادات على طبقة الأساس إلى قيمة أعلى من قدرة تحملها عند وجود طبقة ضعيفة في الأساس (كما في الشكل (٧-٤))



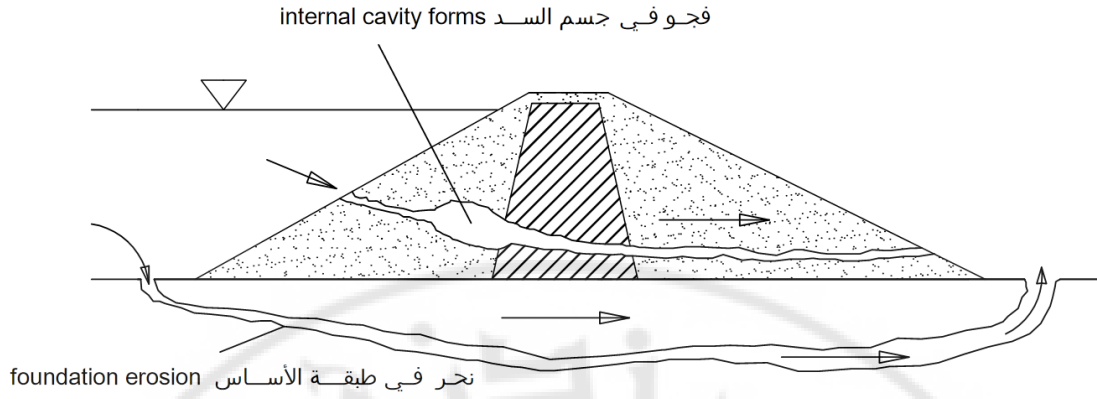
الشكل (٧-٤) انهيار ميل مؤخرة السد بسبب ضعف طبقة الأساس

٤-٣-٣ الفشل بالرشح Seepage failures

لا يمكن السريان من السدود الترابية وعادة لا يؤثر على السد . ولكن السريان الغير مسيطر عليه قد يسبب نحر داخل جسم السد Embankment أو في طبقة الأساس ، والذي يؤدي إلى انجراف حبيبات التربة وتكون فراغات تشبه الأنابيب داخل جسم السد Embankment أو في الأساس ، أو حدوث انسلاخ لميل المؤخرة . الشكل (٨-٤) يوضح ذلك .

١. الانهيار بسبب فراغات تشبه الأنابيب (النخر) Failure due to piping

النخر هي عملية نحر مستمرة والتي يتنامى تطورها عبر جسم السد Embankment أو تحته (الشكل (٨-٤)) . تبدأ من نقطة يتركز عندها السريان حيث الانحدار الهيدروليكي hydraulic gradient ذو ارتفاع كافي لتكوين سرعة تحدث نحر . إذا كانت القوى المقاومة للنحر (التلاصق بين حبيبات التربة) ذات تأثير يمكن أخذه بالحسبان ، ووزن حبيبات التربة في ميل المؤخرة . أقل من اللازمة لمقاومة النحر فانه يؤدي إلى التسبب في النحر . تغسل حبيبات التربة إلى خارج جسم السد Embankment و تسبب الانهيار بالنخر.



الشكل (٨-٤) النحر الداخلي و تكون فراغات تشبه الأتاييب

السريان خلال أو تحت جسم السد Embankment قد يقوم بالتالي :

- يولد قوى تزيح حبيبات التربة من المنشأ الترابي
- التدفق Flow مع الضغط المسامي pore water pressure يمكن أن يدفع أجزاء التربة ويسبب حدوث فقائيع مثل الغليان boiling
- التشكلات والمسارات المفتوحة open conduit عبر التربة تسبب فواید عالية من المياه
- ضغط الماء المسامي pore water pressure يقلل من مقاومة التربة

٢. الانهيار بسبب انسلاخ ميل المؤخرة Failure due to sloughing of D\

تحت حالة الخزن الكامل لبحيرة السد ميل مؤخرة السد يبقى مشبعاً ينتج عن ذلك سقوط صغير من مؤخرة السد الذي يترك خلفه ميل أشد انحداراً مما كان عليه و بحدوث السقوط مرة أخرى يؤدي إلى ميل واجة أشد انحداراً من السابق وأقل استقراراً . يمكن أن تستمر هذه العملية إلى أن يصبح الجز المتبقي من السد وحده يقاوم الضغط ويحدث انهيار فجائي لكامل السد .

٤-٤ معايير تصميم السدود الترابية Design Criteria of Earth Dams

المعايير التالية لتصميم السدود الترابية تستند إلى ، الخبرات والتجارب في أسباب الانهيار ، والتي يلزم أخذها بعين الاعتبار لتصميم سدود ترابية أكثر أماناً .

- لمنع حدوث الفشل الهيدروليكي فإنه يجب تصميم السد مع الأخذ في الاعتبار منع حدوث النحر .

هذا يتضمن الحالات التالية

- تصميم المفيض بحيث تكون سعته كافية ليعبر أكبر فيضان متوقع
- المنسوب الأعلى للسد أعلى من ارتفاع الموجة في حالة المنسوب الأعلى للمياه في بحيرة السد
- الارتفاع الكلي بعد حدوث الهبوط يجب أن يحتفظ بأقل فضلة عمق أمانة من الغمر.
- لا يحدث النحر بفعل الموجات
- عرض القمة بشكل كافي لكي تتحمل ارتطام الأمواج والهزات الأرضية .

- لمنع حدوث الفشل بالسريان seepage failure. سريان الماء داخل جسم السد Embankment والأساس يجب الا يكون كبيراً بما فيه الكفاية ليؤدي إلى عدم تحقيق الهدف الذي أنشئ السد من أجله ولا يكون الضغط كبيراً بما فيه الكفاية ليسبب التآبيب .

هذ يتضمن الحالات التالية والتي سنكتفي بذكرها .

- (a) كمية الرش من المياه خلال مقطع السد والأساس يجب أن تكون محدودة.
- (b) خط السريان seepage line يجب أن يكون في حدود ميل مؤخرة السد لكي لا يسبب انسلاخ في السد.
- (c) جريان الماء خلال جسم السد Embankment أو الأساس لا يحرك حبيبات التربة (لكي لا يكون فراغات تشبه الأنابيب) (التأنيب) .
- (d) يجب ألا يحدث تسرب للمياه التي تنقل من مقدمة السد إلى وجه ميل المؤخرة ، كالتسرب الذي قد يحصل من القنوات عند المفاصل بين المقطع الترابي و الخرسانتي أو عبر الثقوب التي يصنعها الحيوانات ، عموماً يجب ألا يحدث تسرب إلى جسم السد Embankment والأساسات سواء من الأنابيب أو القنوات التي تستخدم لنقل المياه من البحيرة إلى خلف السد أو أي ثقوب أخرى .

٣. لمنع حدوث الفشل الإنشائي ، يجب أن يكون جسم السد Embankment والأساسات مستقرة تحت جميع الحالات .

وهذا ينضمن التالي :

- (a) يجب أن يكون ميل مقدمة السد و ميل مؤخرة السد مستقر تحت جميع حالات التحميل والتي قد تتضمن أحمال الهزات الأرضية .
- (b) يجب أن تكون إجهادات القص على الأساس ضمن الحدود المسموحة لمقاومة القص لمادة الأساس .

٤-٤-٤ تصميم مقطع السد الترابي Cross section design of an earth dam

يتم التصميم الأولى للسدود الترابية بالإعتماد على الخبرات السابقة ، و الاستفادة من السدود المنفذة في السابق تحت نفس الظروف .

٤-٤-٤-١ عرض القمة Top width

عرض القمة (Crest width) يجب ألا تقل على ٤ متر ، لأغراض الصيانة . تعتمد عرض القمة لمقطع السد على العديد من الاعتبارات ، ولكن في الواقع العملي يمكن ايجادها باستخدام المعادلات العملية ، كالمعادلة التالية:

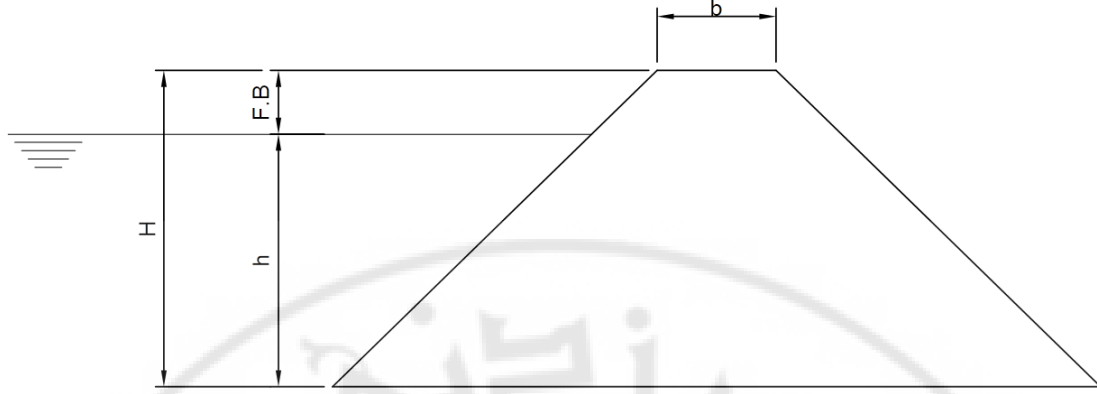
$$b = \frac{5}{3} \times \sqrt{H} \quad (4.1)$$

$$H = h + F.B \quad (4.2)$$

حيث b عرض قمة السد ، و H ارتفاع مقطع السد

h ارتفاع الماء أمام السد في بحير التخزين

F.B فضلة الارتفاع



الشكل (٩-٤)

٢-٤-٤-٤ -٢-٤-٤ Freeboard (F.B) فضلته الارتفاع

فضلته العمق Freeboard (F.B) هو العمق المطلوب الذي يجعل هبوط السد ، وفعل الموجات التي يسببها هبوب الرياح ، تحت منسوب قمة السد ، و يمكن ايجاده كما يلي :

- السدود ذات الارتفاع أقل من ٣٠ متر

$$F.B = 1.5 \times h_w + 2\% \times H \quad (4.3)$$

- السدود ذات الارتفاع أكبر من ٣٠ متر

$$F.B = 1.5 \times h_w + 3\% \times H \quad (4.4)$$

حيث $F.B$ أقل فضلته عمق مطلوبة - متر

h_w ارتفاع الموجات - متر

٢% ، 3% الهبوط المتوقع حدوثه في ارتفاع السد

يمكن ايجاد ارتفاع الموجات (h_w) باستخدام صيغة مولينور - ستيفينستون التالية :

$$h_w = 0.032\sqrt{v \times F} + 0.763 - 0.271\sqrt[4]{F} \quad F < 32 \text{ km} \quad (4.5)$$

$$h_w = 0.032\sqrt{v \times F} \quad F \geq 32 \text{ km} \quad (4.6)$$

حيث v سرعة الرياح - كيلو متر لكل ساعة

F مسافة انسياق الموجة Reservoir Fetch أو بمعنى آخر المسافة المستقيمة الفاصلة بين الشاطئ و السد - كيلو متر

ويمكن اعتبار قيمة F طول البحيرة المتعامد مع محور السد .

٣-٤-٤-٤ الأغلفة الخارجية للسدود الترابية Embankment casing or (Embankment outer shells)

وضيفة الأغلفة الخارجية للسدود الترابية هي توفير استقرار وحماية النواة. قد يختلف الميل المصمم لمقدمة السد U/S ولمؤخرة السد اختلافاً كبيراً بالاعتماد على المواد المتوفرة ، ونوع الأساس ، وارتفاع السد . إذا كان المتوفر هي المواد الكتيمية فقط ، فإنه من الضروري توفير ميل عادي لتلبية متطلبات مقاومة الانسلاخ . ولكن قد يكون الميل الحاد كافياً في حالة توفر مواد نفوذة من الرمل و الحصى لتسند المواد الناعمة (الطين) من السقوط ، أي يتم عمل نواة ذات ميل حاد من المواد الناعمة (الطين و طمي) وفي مقدمة السد ومؤخرته عمل ميول من الرمل و الحصى المتوفر في الموقع أو بالقرب منه .

يمكن أخذ ميل المقدمة (Upstream) و المؤخرة (downstream) للسدود الترابية من الجدول (١-٤) الموصى به من قبل ترزاغي Terzaghi .

ميل المؤخرة downstream slope	ميل المقدمة Upstream slope	ملاحظات	نوع المواد
2:1	2.5:1	-	مواد متجانسة جيدة التدرج
2.5:1	3:1	-	سلت خشن متجانس
2:1	2.5:1	الارتفاع أقل أو يساوي 15 متر	سلت طيني متجانس أو طين
2.5:1	3:1	الارتفاع أكبر أو يساوي 15 متر	مع نواه طينية
2.5:1	3:1	مع نواه طينية	رمل أو رمل وحصى
2:1	2.5:1	مع نواه جدار من الخرسانة المسلحة	

جدول (٤-١): ميول السدود الترابية وفقاً لما أوصى به ترزاجي Terzaghi

ملاحظات :

- في السد الترابي المتجانس ميول عادي للنواه ، لأن السد كله نواه
- في السد الترابي المركب من مواد ناعمة (النواة) ومواد خشنة تكون ميول النواة حادة وتسدن بمواد خشنة من الجانبين
- تعتمد الجدول للاختيار الأولي للميول قبل التصميم .
- بعد التصميم وإجراء التعديل على الميول ، أو إبقاء الميول كما هي دون تعديل ، نقوم بتحليل السد الترابي كما سيتم تفصيله لاحقاً .
- أقل ميل مسموح به في المقدمة والمؤخرة في السدود الترابية 3.5(horizontal):1(vertical) لأن أقل من هذا الميل لن يكون اقتصادي في معظم الحالات

٤-٤-٤ النواة The core

تعتمد السماكة الدنيا الآمنة minimum safe thickness للنواة المركزية الكتيمة على العوامل التالية :

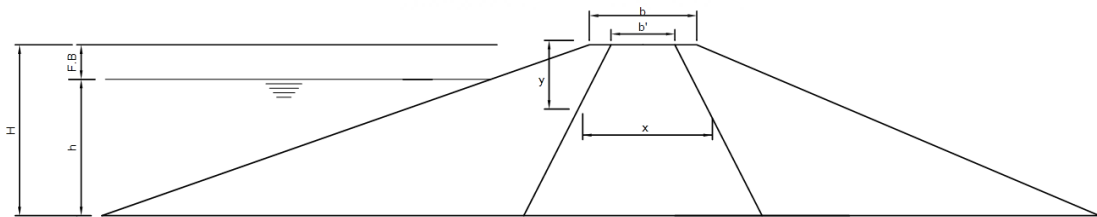
١. كمية فواقد السريان .
٢. سماكة ملائمة عند التنفيذ .
٣. نوعية المواد المتوفرة (نواه أو صفيحة) .
٤. طبقات الفلتر المقترحة .
٥. مشاريع سابقة مشابهة .

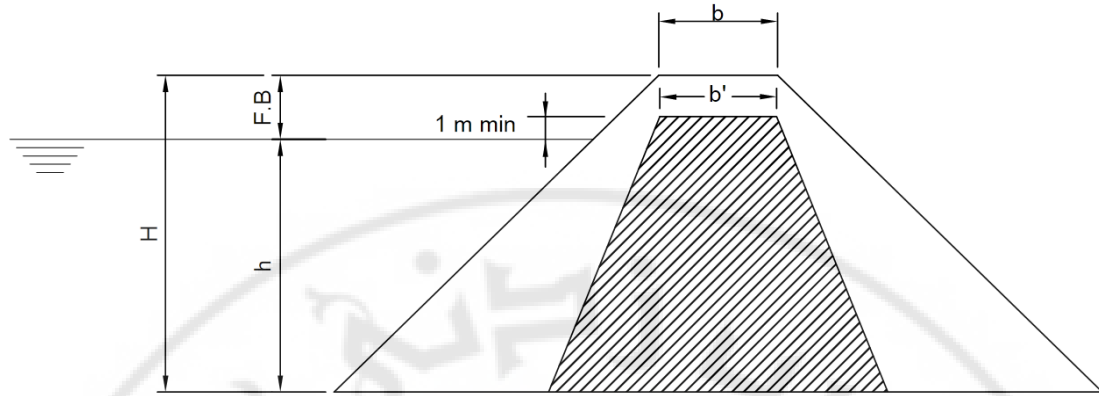
المعايير الدقيقة لتصميم السدود الترابية .

١. سماكة النواة (x) عند أي مستوى ، لا تكون أقل من الارتفاع (y) لجعل الانحدار الهيدروليكي hydraulic gradient أقل من الواحد ، لأن الانحدار الهيدروليكي hydraulic gradient مساوي للقيمة (i=y/x) حسب قانون دارسي لسريان الماء في التربة.
٢. يجب أن تكون سماكة النواة عند القمة ٣ متر أو أكثر لتحقيق متطلبات الإنشاء .
٣. يجب أن تكون قمة النواة على ارتفاع واحد متر على الأقل ، فوق المنسوب الأعلى للمياه Maximum water level لمنع حدوث الرشح .

ملاحظة :- يفضل أن يكون منسوب قمة النواة مع منسوب قمة السد

- في النواة دائماً (x) أكبر من (y)





٥-٤ التحكم بالرشح في السدود الترابية seepage control in earth dam

١-٥-٤ التحكم بالرشح عبر جسم السد Embankment seepage control

كشرط أولي يجب أن يكون السريان seepage من السدود الترابية ضمن ميل مؤخرة السد ، أي أن الخط الأعلى لرشح لا يقطع وجه ميل المؤخرة (كما في الشكل التالي).

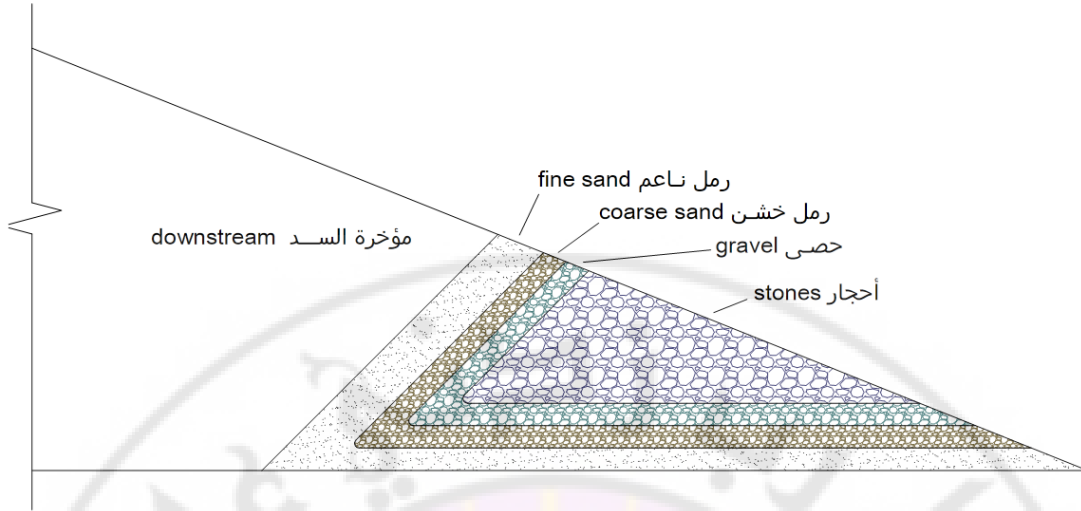


المرشح هو عمل أولي لجعل الخط الأعلى لرشح ضمن ميل المؤخرة . وكذلك نظام المرشح الملائم يساعد على تجنب حدوث فراغات تشبه الأنابيب في جسم السد (التأبيب) Piping لأنه يعمل على إيقاف حبيبات التربة التي قد تتحرك مع المياه المترشحة عبر جسم السد . وكذلك نظام المرشح يقلل من الضغط المسامي للمياه Pore water pressure الذي يؤثر على وجه ميل مؤخرة السد وهد يزيد من استقرار السد. تصميم نظام المرشح يحكم بشكل رئيسي بارتفاع السد ، وتوفر المواد النفوذة ، ودرجة نفاذية الأساس . في الفقرات التالية وصف مختصر لأنظمة المرشح المقترحة .

١-١-٥-٤ المرشح الطرفي Rock Toe

المرشح الطرفي Rock Toe يحافظ على الخط الأعلى للسريان phreatic line ضمن مقطع السد وكذلك هو مرشح بسيط وسهل التنفيذ . يتكون المرشح الطرفي Rock Toe من أحجار عادة يتراوح حجمه من ١٥ سنتيمتر إلى ٢٠ سنتيمتر (كما في الشكل (١٠-٤)). يعمل للمرشح طبقات فلتر كطبقة انتقالية بين الردميات المتجانسة لجسم السد والأساس ، والمرشح . وهذا الفلتر يشتمل على ثلاث طبقات الأولى من الرمل الناعم والثانية من الرمل الخشن و الثالثة من الحصى .

ارتفاع المرشح الطرفي Rock Toe عموماً يبقى بين ٣١١ إلى ٤١١ من ارتفاع السد (H) يمكن أخذ الميل لواجه التصريف (الوجه الداخلي) للمرشح الطرفي ١:١ و الوجه الخارجي هو امتداد لميل مؤخرة السد .



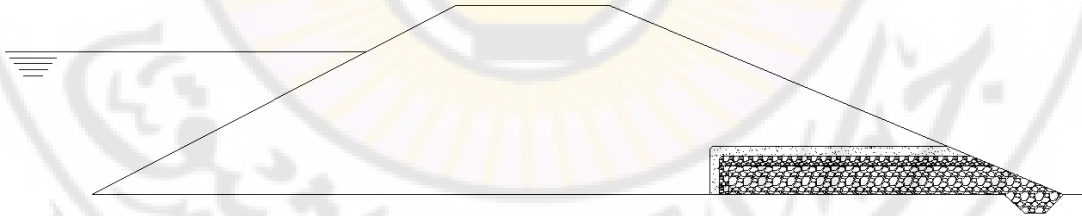
الشكل (١٠-٤) المرشح الطرفي Rock toe

٢-١-٥-٤ مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter

إن مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter مناسب للسدود التي أساسها أو جزء منه تحت ميل مؤخرة السد غير منفذة حيث تؤثر قوى الرشح بضغط رفع إلى الأعلى . يمتد مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter من ٢٥% إلى ١٠٠% من طرف مؤخرة السد إلى خط مركز السد . وعموماً بطول ثلاثة أضعاف ارتفاع السد يكون كافي . هو عموماً مركب من مرشح البساط الأفقي والمرشح طرفي (كما في الشكل (١١-٤)).

يعمل مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter للأغراض التالية:

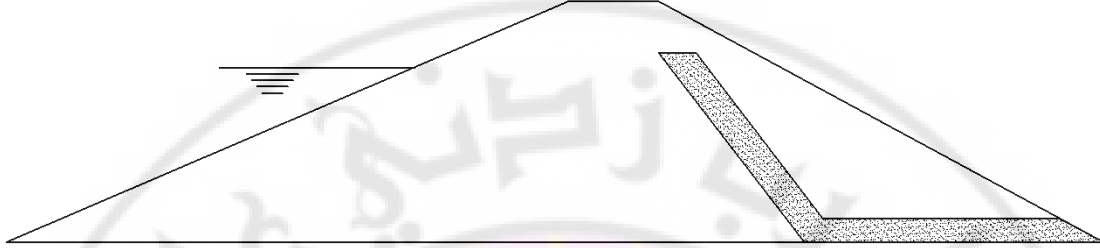
- (a) ليحافظ على الخط الأعلى للسريان *phreatic line* ضمن مقطع السد.
- (b) كمرشح للأساسات .



الشكل (١١-٤) مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter

Chimney drain المائل ٣-١-٥-٤

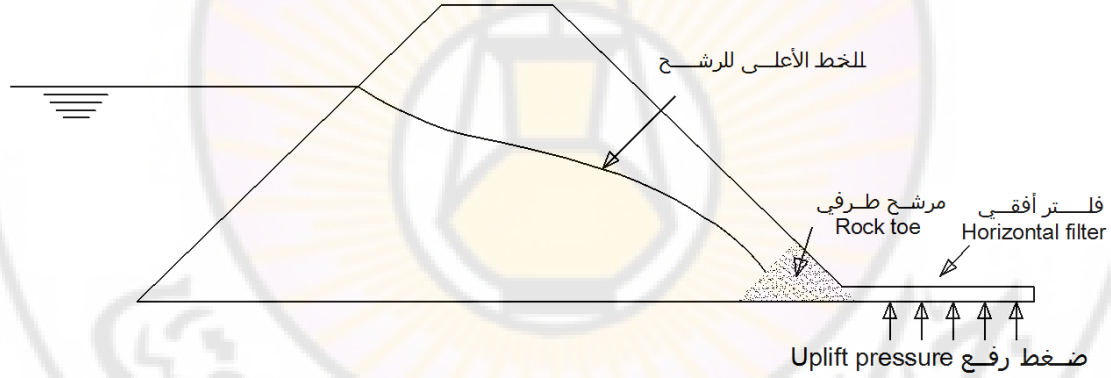
عندما يكون هناك درجة عالية من التطبيق في جسم السد ، يصبح مرشح الفلتر الأفقي Horizontal drainage filter غير مجدي inefficient وتصبح المراشح المائلة أو الرأسية inclined or vertical chimney drain هي المناسبة في العديد من السدود المتجانسة لمواجهة سريان المياه قبل وصولها إلى ميل مؤخرة السد slope (كما في الشكل (١٢-٤))



الشكل (١٢-٤) المرشح المائل Chimney drain

٤-١-٥-٤ فلتر ميل المؤخرة (Filter D/S) للمرشح الطرفي Rock toe

يضاف فلتر ميل المؤخرة (Filter D/S) كوزن إضافي ليجعل تدفق المياه الصاعدة إلى سطح التربة خلف السد آمن بحيث لا تسبب تصاعد حبيبات الرمل (غليان الرمل sand boiling) الشكل (١٣-٤)



الشكل (١٣-٤) فلتر ميل المؤخرة (Filter D/S) للمرشح الطرفي Rock toe

٥-١-٥-٤ مرشح المقطع الخشن D\S coarse section

تزود ميل المؤخرة بمقطع خشن D\S coarse section كما هو موضح بالشكل (١٤-٤) ، لاعتراض المياه السارية خلال جسم السد ، وجعل ميل مؤخرة السد آمنة ضد التآبيب . كذلك تزيد من مقاومة الهزات الأرضية.



الشكل (١٤-٤) مرشح المقطع الخشن D\S coarse section

٤-٥-٢ التحكم بالرشح عبر الأساسات Foundation seepage control

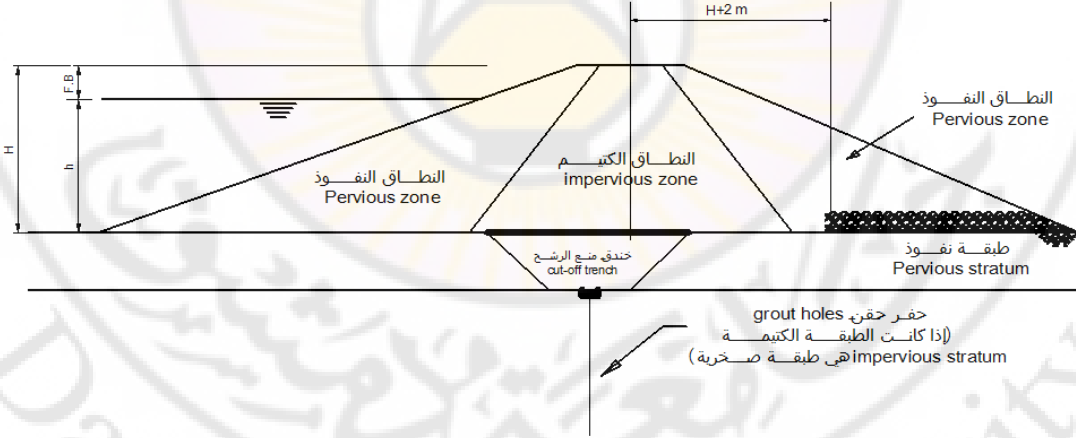
هناك عدة طرق للتحكم بسرّيان المياه عبر الأساسات . إن ملائمة طرق المعالجة يعتمد أولاً على طبيعة الأساس . من هذه الطرق نذكر ، الحقن (الحشو) grouting وستارة الحقن grout curtain ، خنادق منع الرشح cut of trenches ، جدار صفائحي أو أي جدار آخر مانع للرشح partial cut-off ، و الصفائح الخازوقية sheet piling cut-off ، و السجادة (البساط) الأمامية الكتّيمة upstream blanket ، وأبار تخفيف الضغط pressure relief wells ، وهذه الطرق ستناقش في الفقرات التالية :

٤-٥-٢-١ الحقن (الحشو) grouting وستارة الحقن grout curtain

من مواد الحقن المستخدمة ، الإسمنت cement ، الأسفلت asphalt ، والطين clay ومواد كيميائية أخرى تستخدم كماد حقن . وقد يستخدم مع هذه المواد الرمل كمادة مالئة عندما تكون الفراغات الموجودة بالأساس كبيرة . عندما تحقن هذه المواد وتملأ الفراغات الموجودة في الأساس فإنها تعمل كرابط binder وماليّ fill لفراغات voids . وهذا يقلل من نفاذية permeability الأساس ويزيد من استقراره . إن اختيار مادة الحقن وعمق الحقن يرتبط بنوع وحالة الأساس ، ونوع و ارتفاع السد . وأيضاً عدد خطوط الحقن و المسافات بين الحفر يعتمد على طبيعة الأساس .

٤-٥-٢-٢ خنادق منع الرشح cut of trenches

تشيد خنادق البتر (منع الرشح) cut of trenches مع ميول جانبية كما في الشكل (٤-١٥) أو رأسية vertical وهي خرم في الأساس تحت جسم السد Embankment يملأ من المواد المستخدمة في إنشاء السد بحيث يتكون اتحاد جيد من المواد الكتّيمة impervious . موقع الخندق في مقدمة السد عند خط مركز السد . يحافظ على الخط المركزي للخندق موازي للخط المركزي للسد . يجب أن يصل عمق الخندق إلى سطح الطبقة الصخرية أو أي طبقة أخرى غير منفذة . يحكم العرض السفلي للخندق بالفراغ المطلوب بتره من الأساس ونوع الآليات المستخدمة في الإنشاء . وأقل عرض عادةً ما يؤخذ ٥ متر .

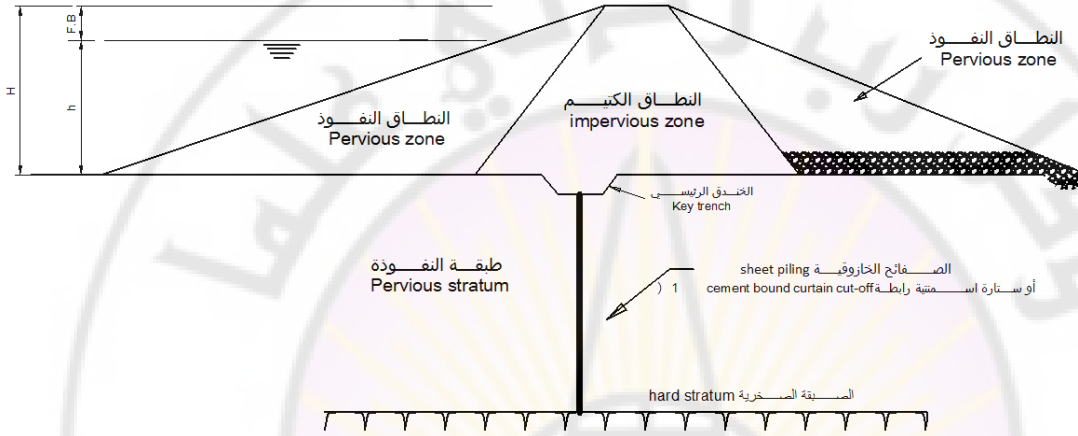


الشكل (٤-١٥) معالجة الأساس السطحي (الضحل) النفوذ shallow pervious foundation

هناك طرق أخرى لخندق منع الرشح قد تكون أكثر اقتصادية مثل خنادق منع الرشح العميقة . Deep cut of trenches
والقيمة العظمى لعمق الخندق محكومة بالاعتبارات الاقتصادية. والعمق الكافي للخندق هو عمق الطبقة المنفذة أي إلى
نهاية الطبقة المنفذة في الأساس و بداية الطبقة الصلبة .

قد يكون البتر cut off:

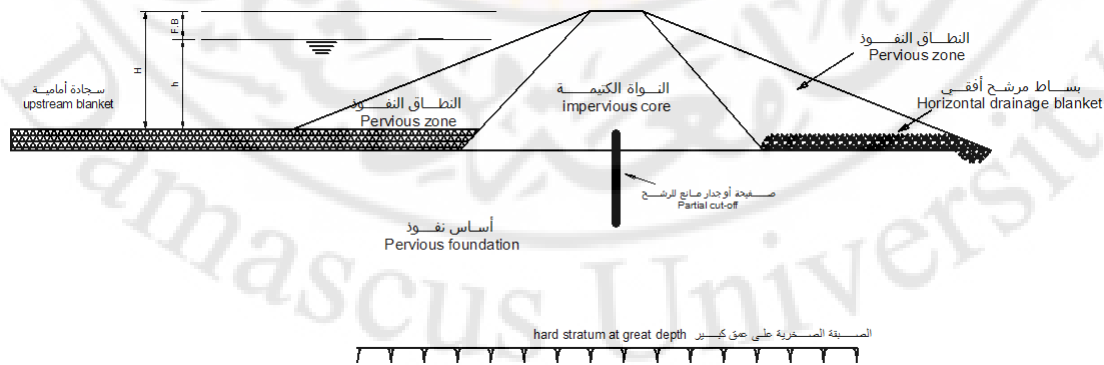
- (١) ستارة خازوقية sheet pile
 - (٢) ستارة اسمنتية رابطة cement bound curtain
 - (٣) جدار أو صفيحة خرسانية concrete diaphragm
- الشكل (١٦-٤) يوضح ذلك



الشكل (١٦-٤) معالجة الأساس متوسط النفاذية Treatment moderate pervious foundation

٣-٢-٥-٤ جدار صفائحي أو أي جدار آخر مانع للرشح partial cut-off

عندما تكون الطبقة العليا للأساس منتظمة وعميقة ومنفذة uniform deep pervious strata فإن دور البتر الجزئي partial cut-off فب تقليل السريان محدود جداً seepage. إن البتر الذي يصل إلى 80% من العمق الكلي للطبقة المنفذة يقلل من السريان بنسبة 50% فقط . لذلك فإن الحل المناسب لطبقة الأساس العميقة والمنفذة عندما يكون تزويدها بالبتر الكامل positive cut off غير ممكن اقتصادياً هو ، البتر الجزئي partial cut-off ، مع بساط المقدمة upstream blanket ، وهو حل مناسب لتقليل سريان المياه وضغط الرشح seepage pressure (الشكل (١٧-٤)).



الشكل (١٧-٤) معالجة الأساس النفاذ العميق Treatment for deep pervious foundation

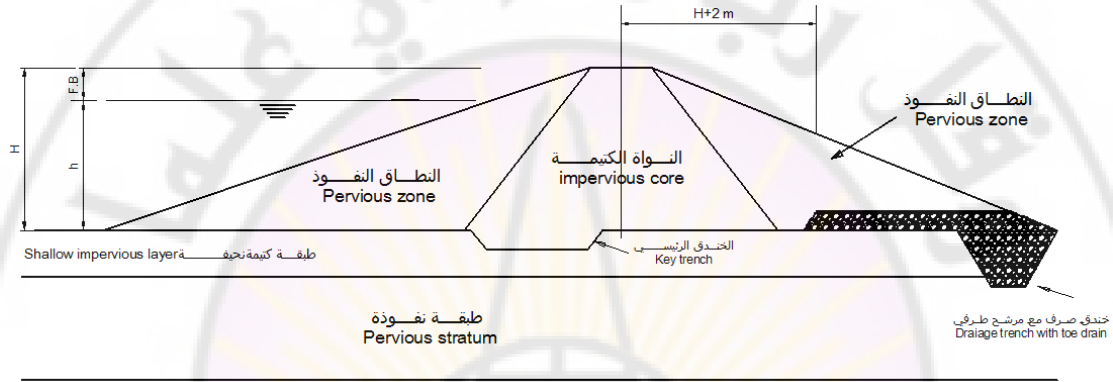
٤-٢-٥-٤ الصفائح الخازوقية sheet piling cut-off

يمكن استخدام الصفائح الخازوقية الفولاذية steel cut-off sheet piling في الأساسات السلتية silty و الرملية sandy و الحصى الناعم fine gravel. إذا كانت طبقة الأساس تحتوي على أحجار كبيرة boulders سيكون من

الصعب دق الصفائح الخازوقية فيها . و في هذه الحالة عمل صفائح حجز المياه سيكون في غاية الصعوبة . هناك أخطاء تحدث دائماً وهي التسرب عبر المفاصل بين الصفائح و عبر اتصالها مع صخر الأساس (الشكل (٤-١٦)).

٥-٢-٥-٤ خنادق الصرف drainage trenches

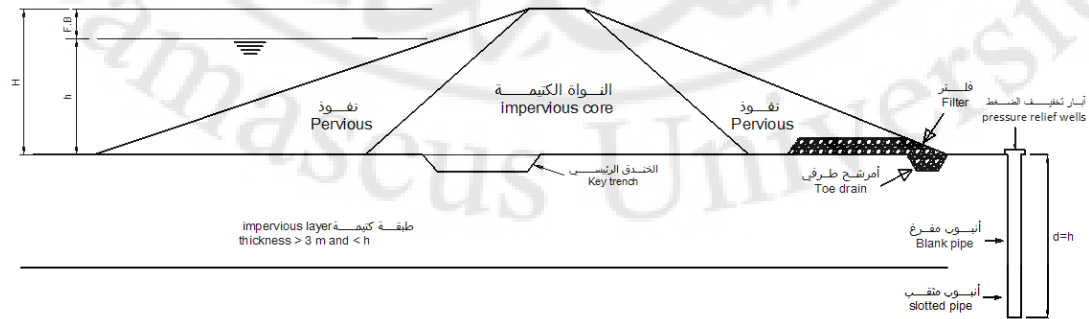
يمكن أن تستخدم ن خنادق الصرف drainage trenches للتحكم بالرشح seepage إذا كانت الطبقة العليا للأساس كتيمة ورقيقة *impervious stratum is thin* وتحتها طبقة منفذة قليلة السماكة (سطحية) *pervious foundation is shallow* ، لهذا يمكن عمل خندق يخترق الطبقة السطحية العليا الكتيمة كما في الشكل (٤-١٨) . وعندما تكون طبقة الأساس المنفذة عميقة *pervious foundation is deep* ، فإن عمل خندق الصرف drainage trench إلى أي عمق معقول يجذب جزء صغير فقط من الرشح ، فتأثير خندق الصرف سيكُون موضعي لأن الرشح أسفل الطبقة سيتجاوز الخندق .



الشكل (٤-١٨) معالجة الطبقة النحيفة النفوذة Treatment for shallow impervious layer

٦-٢-٥-٤ آبار تخفيف الضغط pressure relief wells

إن الغرض الرئيسي من آبار تخفيف الضغط pressure relief wells هو تخفيف ضغوط الرفع uplift pressures والتي تسبب بطريقة أخرى تشكلات فقائيع الرمل sand boils والتأنيب piping . أيضاً آبار تخفيف الضغط pressure relief wells تعترض الرشح و تجعل مخارجِه outlets for seepage مسيطر عليها و من دون ذلك ستكون مؤخرة السد غير آمنة ضد الرشح uncontrolled downstream of the dam . نظرياً، يحدث التأنيب عندما يكون ضغط الرفع uplift pressure عند نقطة في أي مستوى في الأساس قُرب مؤخرة السد downstream أكبر من مجموع الوزن للتربة والماء فوقها . هذا إذا كان سُمك الطبقة العليا الغير منفذة أقل من ارتفاع الضاغط من ماء الخزان h . و لكن إذا كانت سميكة جداً من أن تعالج بخنادق الصرف drainage trenches أو إذا كان الأساس النفاذ على شكل طبقات ، فإن ذلك يتطلب عمل آبار تخفيف الضغط pressure relief wells .

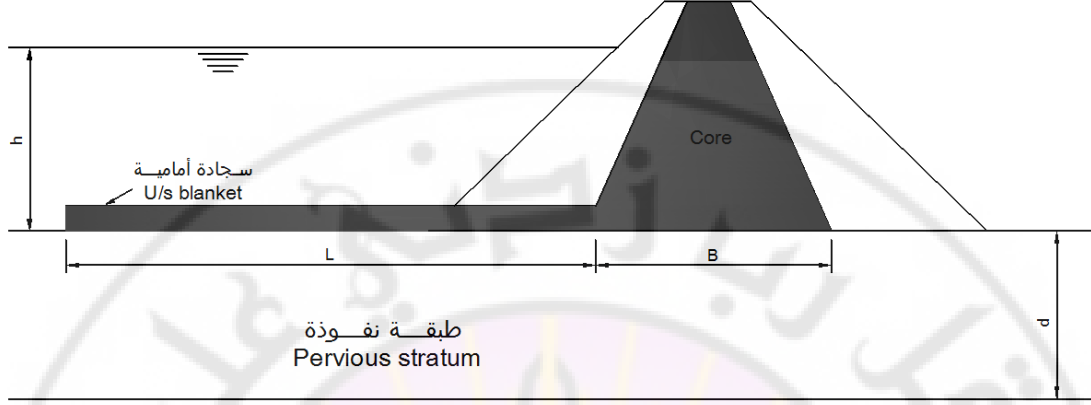


الشكل (٤-١٩) معالجة الطبقة التي فوقها طبقة كتيمة (سماكتها أكبر من ٣ متر و أقل من h)

Treatment for overlying impervious layer

٧-٢-٥-٤ السجادة الأمامية الكتيمة upstream blanket

يوضع بساط من الطين الكتيمة impervious clay blanket في مقدمة السد ويمتد إلى النواة الكتيمة في مقطع السد الشكل (٢٠-٤) وهي طريقة مناسبة تؤدي إلى تهدئة وتقليل كمية السريان seepage .



الشكل (٢٠-٤) السجادة الأمامية الكتيمة upstream blanket

يعطى طول البساط blanket بالمعادلة التالية :

$$L = \frac{Khd - pqB}{pq} \quad (4.7)$$

حيث :

L طول السجادة الأمامية الكتيمة upstream blanket (m)

K معامل النفاذية الأفقي للطبقة المنفذة (m/s)

h ارتفاع الضاغظ فوق السجادة الأمامية الكتيمة upstream blanket (m)

d عمق الطبقة المنفذة (m)

p نسبة من التصريف تحت السد في حالة عدم وجود البساط blanket والتي يراد تقليل السريان seepage حتى الوصول إليها . مثلاً إذا كان المطلوب تقليل كمية السريان إلى النسبة 25% من كمية السريان في حالة عدم وجود البساط blanket (السجادة) فإن قيمة هي (p=0.25)

B طول الجزء الكتيمة من قاعدة السد (m)

q كمية تدفق السريان تحت السد ، في حالة عدم وجود البساط blanket (السجادة) ، و q هي لكل متر طولي في البعد الثالث من السد وتساوي

$$q = K \left(\frac{h}{B} \right) d$$

و سماكة البساط blanket (t) تعتمد على نفاذية مادة البساط ، ونفاذية مادة الأساس وعمقه . وفي الحالات الاعتيادية Normal condition تؤخذ السجادة الأمامية الكتيمة upstream blanket بين 1.5 m إلى 3 m والطول (L) بحدود عشرة أضعاف الضاغظ المائي head of water .

٦-٤ حماية ميول مقطع السد Embankment Slope Protection

١-٦-٤ حماية ميل مقدمة السد Upstream slope protection

يجب حماية ميل مقدمة السدود الترابية-الترابية (المشييدة من مواد ترابية فقط) earthfill dams ضد فعل الأمواج التي تضر بمقدمة السد . والنوع المعتاد لحماية سطح ميل المقدمة هو الغطاء الحجري stone rip-rap أما ، أحجار تلقى بشكل عشوائي dry-dumped rip-rap الشكل (٢١-٤) ، أو ترص بشكل متناسق hand placed الشكل (٢٢-٤) ، والتبطين بالخرسانة concrete pavement . عند استخدام طبقة قليلة السمك من الأحجار ، فإن رصها اليدوي قد يكون أكثر اقتصادية من ألقائها بشكل عشوائي . إن طبقات الفلتر تكون دائماً مطلوبة تحت الحماية الحجرية rip-rap لصد الأمواج ومنعها من حت وتعرية جسم السد Embankment تحت الحماية الحجرية . إن سمك طبقة الحجر وقطر حبيبات الفلتر المستخدمة ، والذي يمكن اعتماده لحماية مقدمة السد مبين في الجدول (٢-٤) حسب ارتفاع جسم السد Embankment .

حماية مقدمة السد Upstream protection	ارتفاع جسم السد Embankment height
بدون حماية	ما دون 5 متر
0.25 متر أحجار توضع فوق 0.15	ما بين 5 متر و 10 متر
0.30 متر أحجار توضع فوق 0.15 متر حصي متدرج	ما فوق 10 متر و قل من 15 متر
0.50 متر أحجار توضع فوق 0.25 متر حصي متدرج	ما فوق 15 متر و قل من 25 متر
0.50 متر أحجار توضع فوق 0.3 متر حصي متدرج	ما فوق 25 متر و قل من 50 متر
0.75 متر أحجار توضع فوق 0.5 متر حصي متدرج	ما فوق 50 متر و قل من 75 متر
1.0 متر أحجار توضع فوق 0.75 متر حصي متدرج	ما فوق 75 متر



الشكل (٢١-٤) حماية حجرية ملقاه بشكل عشوائي على مقدمة السد Dumped rock riprap



الشكل(٤-٢٢) حماية حجرية رص يدوي hand placed rock riprap

حماية ميل المؤخرة Downstream slope protection

إن مشكلة النحر في ميول مؤخرة السد بفعل الجريان السطحي الناتج عن سقوط الأمطار بكميات كبيرة ومباشرة فوق وجه مؤخرة السد ، يمكن تجنبه عن طريق ملئ الأخاديد المتكونة ما بين وقت وآخر أو عن طرق زراعة غطاء نباتي مناسب على ميل المؤخرة. كذلك إن في بعض المساحات قليلة قليلة فصول السنة سيتكون عليها غطاء نباتي مناسب لحماية ميل المؤخرة ، وكذلك عمل تدرجات ذات عرض مناسب وبارتفاعات مناسبة ، وكذلك قد تستخدم طرق أخرى لحماية ميل المؤخرة من النحر منها ، التغطية بالأحجار dumped rip-rap (كالمستخدمة في حماية ميل المقدمة Upstream slope protection) ، والتي يمكن استخدامها لحماية ميل المؤخرة بشكل جيد .

٤-٧ اختيار نوع السد الترابي Selection of Type of Earth Dam

يحدد نوع السد الترابي بسهولة ، وذلك اعتماداً على المواد المتوفرة في موقع السد أو بالقرب منه ، وكذلك نوع طبقة التأسيس تحت السد .

تصنف السدود الترابية إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

- ١ . النوع المتجانس Homogeneous type
- ٢ . النوع النطقي Zoned type
- ٣ . النوع ذو الجدار أو الصفيحة الحاجزة Diaphragm type

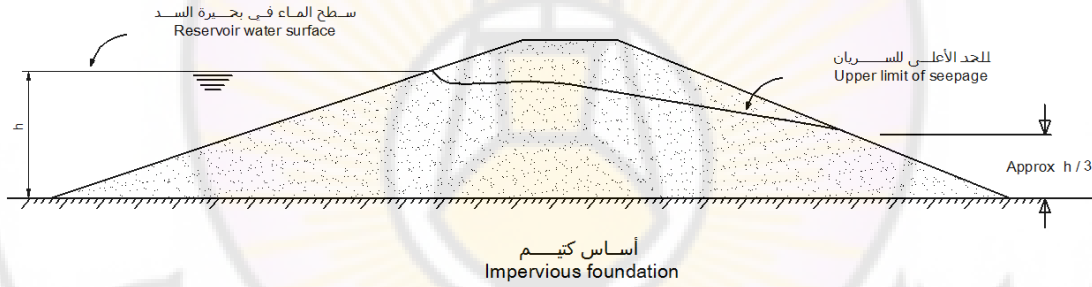
٤-٧-١ النوع المتجانس Homogeneous type

السد الترابي المتجانس تماماً purely homogeneous earth dam يتركب بأجمعه من نوع واحد من المواد

كالذي في الشكل (٤-٢٣) . يجب أن يكون ميل مقدمة السد Upstream slope لهذا النوع منبسطة flat نسبياً لتكون آمنة ضد الانزلاق المفاجئ rapid drawdown ، وكذلك ميل المؤخرة downstream slope يجب أن يكون منبسط flat حتى الوصول إلى ميل مستقر بشكل كافي لمقاومة القوى الناتجة عن مستوى التشبع الأعلى high saturation level . هذا النوع من السدود الترابية يكون مناسب في حالة كون الميول المنبسطة flat مطلوبة ، لأن الأساس ضعيف weak foundation

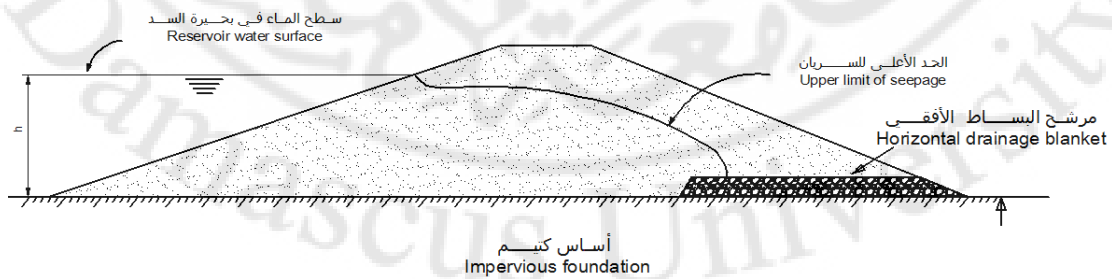
السد الترابي المتجانس تماماً purely homogeneous earth dam يدعى بالسد الترابي المعدل modified homogeneous dam ، عند إضافة مرشح داخلي internal drainage بشكل مناسب في جسم السد Embankment ، منها ، مرشح البساط الأفقي horizontal drainage blanket الشكل (٤-٢٤أ) ، المرشح الطرفي rock toe الشكل (٤-٢٤ب) ، المرشح المائل chimney drain الشكل (٤-٢٤ج) . الغرض من نظام المرشح drainage system هو التحكم بفعل السريان seepage ، وكذلك يسمح باستخدام ميول أكثر حدة much steeper slopes .

السد من النوع المتجانس يكون مستحسن فقط عند عدم توفر المواد المرشحة free-draining (أو أن توفيرها غير اقتصادي) ، وذلك لإنشاء جسم السد Embankment من هذه المواد المرشحة وأخرى كثيمة (سد مركب من نواه كثيمة وميول نفوذة) . إن اقتراح المصرف (المرشح) الأنسب للسدود الترابية المتجانسة المعدلة موضح بالشكل (٤-٢٤) .

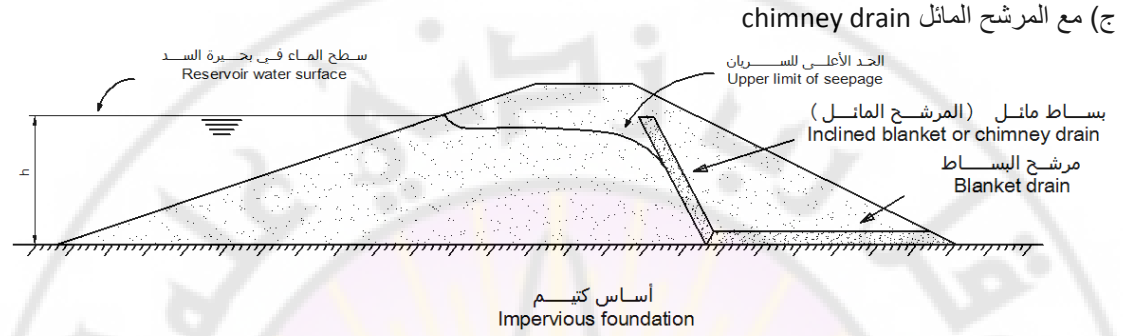
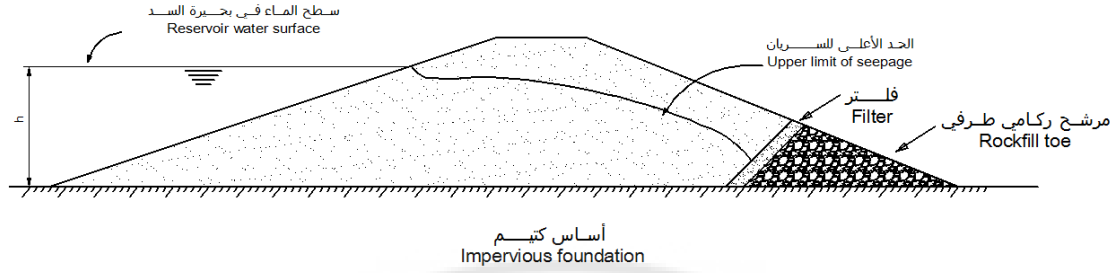


الشكل (٤-٢٣) السريان عبر السد المتجانس تماماً Seepage through a purely homogeneous dam

(أ) مع مرشح البساط الأفقي horizontal drainage blanket



(ب) مع مرشح طرفي rockfill toe



الشكل (٢٤-٤) السريان seepage عبر السد الترابي المتجانس المعدل modified homogeneous earth dam

٢-٧-٤ النوع النطقي Zoned type

إن جسم السد Embankment النطقي يتكون من نواة مركزية كتيمة على شكل طبقة رأسية أو مائلة تستند على مواد ترابية أو ركامية ذات نفاذية عالية considerably more pervious. إن جسم السد Embankment من هذا النوع دوماً يشيد عندما يكون هناك أنواع مختلفة من التربة يمكن الحصول عليها بسهولة (متوفرة في الموقع أو بالقرب منه) ولأن ذلك سيؤدي إلى توفير في كلفة الأنتشاء. هناك ثلاث فوائد رئيسية لاستعمال مقطع السد النطقي:

١. يمكن استخدام ميول أكثر حدة والتي تؤدي إلى تقليل حجم مواد جسم السد Embankment.
٢. قد تستخدم مواد ذات تباين كبير في خصائصها.
٣. إمكانية الاستخدام الأقصى للمواد الترابية لإنشاء جسم السد Embankment من التربة الناتجة عن فر الأساس، والمفيض، ومشغلات المخارج، والمنشآت الملحقة الأخرى.

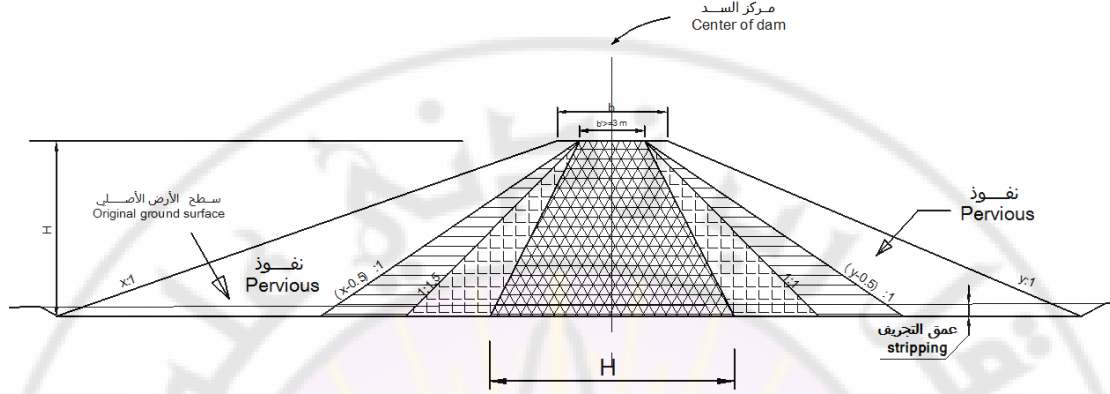
إن أقل عرض للنواة يجب أن يكون كافي، لتقليل السريان، وسهل التنفيذ. الحجم المقترح للقيمة الأصغر للنواة مبين في الشكل (٢٥-٤) للحالتين التاليتين.

١. القيمة الأصغر للنواة في الحالة A، للسدود التي هي على أساس كتيم أو طبقة الأساس نفاذة ولكن ذات سماكة صغيرة يمكن قطعها بخندق مانع للرشح وصولاً إلى الطبقة الكتيمة.
٢. القيمة الأصغر للنواة في الحالة B، للسدود التي هي على أساس نفاذ وبدون خندق مانع للرشح يصل إلى الطبقة الكتيمة.

القيم الاعظمية للنواة الكتيمة التي تمثل الحد الأعلى الذي يمكن اعتبار السد بأنه يعمل كسد نطاقي مبينة أيضاً في الشكل (٢٥-٤).

إذا كانت النواة أصغر من القيمة الأصغر (A)، سيعتبر السد من النوع ذو الجدار أو الصفيحة الحاجزة Diaphragm type، وإذا كانت النواة أكبر من القيمة الأعظمية المبينة في الشكل (٢٥-٤)، فإن النطاق النفاذ في أغلب الأحيان غير مجدي في استقرار النواة، ويمكن اعتبار جسم السد Embankment من النوع المتجانس.

كل الانتقالات بين حدود المواد المختلفة في التدرج الحبيبي و المعرضة للرشح يجب أن تؤمن بفلتر يمنع حركة حبيبات التربة ، لضمان عدم حدوث التآكل لمواد النطاق الواحد من الفراغات في النطاقات المجاورة ، إما في الحالة المستقرة أو في حالة قوى الرشح الناتجة عن الانخفاض المفاجئ لمنسوب المياه في بحيرة السد drawdown seepage forces . إذا كان هناك انتقال بالتدرج بين حدود النطاقات في السد وهذا هو عمل الفلتر الطبيعي في حالة عدم الاستقرار بين النطاقات ، فإن نطاق الفلتر مطلوب لتوفير الحاجز المناسب لحبيبات التربة .



الشكل (٤-٢٥): مديات الحجم للنواة الكتيمة في جسم السد النطقي embankment Size range of impervious cores in zoned

٣-٧-٤ النوع ذو الجدار أو الصفيحة الحاجزة Diaphragm type

يتكون السد ذو الجدار أو الصفيحة الحاجزة Diaphragm type من حاجز مياه رقيق وكتيم لحجز تسرب المياه عبر جسم السد المنشأ من مواد نفوذة . يمكن أن تنشأ الصفيحة الحاجزة من مواد ترابية ، أو خرسانة ، أو مواد أخرى . يستخدم السد من هذا النوع عموماً عند توفر المادة ذات الكثامة العالية .

٨-٤ السريان عبر السدود الترابية seepage through earth dams

هناك العديد من الحلول المتوفرة لإيجاد كمية السريان و السطح الحر خلال السدود الترابية المتجانسة الواقعة فوق قاعدة كتيمة . من هذه الحلول طريقة دوبويت Dupuit ذات الفرضيات التالية :

١. في الميول الصغيرة يمكن أخذ (افتراض) خط التسرب أفقي (إن فخطوط الجهد تقرب إلى الخطوط العمودية)
٢. الانحدار الهيدروليكي hydraulic gradient يساوي ميل السطح الحر ، وثابت مع العمق .

١-٨-٤ حل دوبويت Dupuit's solution

من فرضيات دوبويت Dupuit ، التصريف (السريان) لكل وحدة طول في أي مقطع رأسي (y) من السد كالمبين في الشكل (٤-٢٦) يمكن إيجاده من المعادلة :

$$q = K \times i \times A \quad (4.8)$$

$$q = K \times \frac{dy}{dx} \times y \times 1 \quad (4.9)$$

بإعادة ترتيب المعادلة

$$\frac{q}{K} dx = dy \times y \quad (4.10)$$

بإجراء التكامل على طرفي المعادلة (4.10)

$$y^2 = \frac{2qx}{K} + C \quad (4.11)$$

حيث أن (C) هو ثابت التكامل . باستخدام حالات الحدود الطرفية (الشروط الطرفية) استناداً إلى الشكل (٢٦-٤)

$$\text{at } x = 0 \quad y = h_2 \quad \dots \dots \dots 1$$

$$\text{at } x = L \quad y = h_1 \quad \dots \dots \dots 2$$

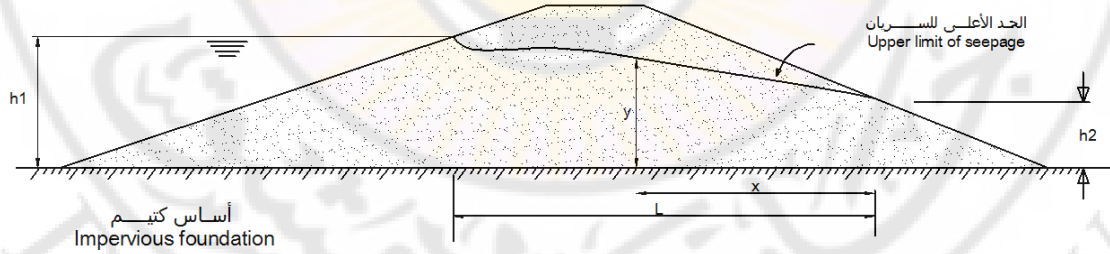
باستخدام الشرط الطرفي (1) ، فإن قيمة C تساوي h_2^2 :

$$y^2 = \frac{2qx}{K} + h_2^2$$

ومن الشرط (2) نحصل على قيمة (x)

$$h_1^2 = \frac{2qx}{K} + h_2^2$$

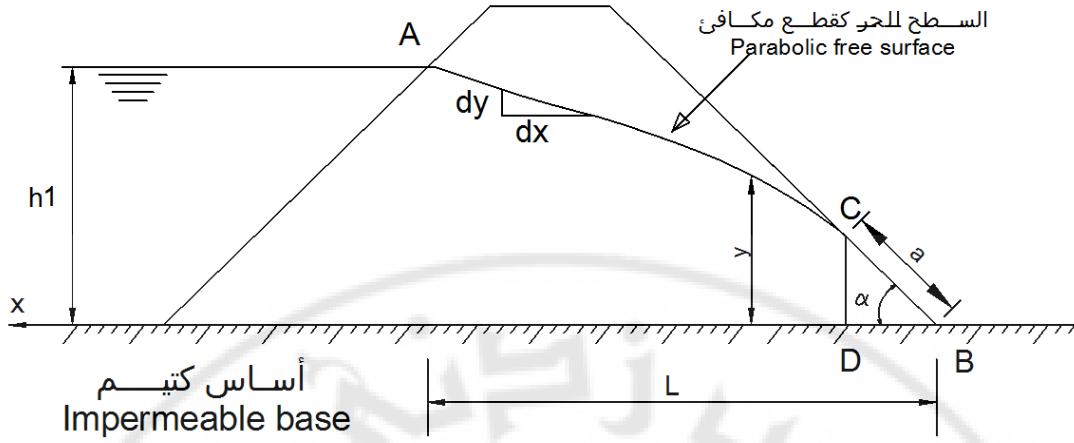
$$q = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2L} \quad (4.12)$$



الشكل (٢٦-٤): السريان عبر السدود الترابية المتجانسة

٤-٨-٢ حل سكافرنريك وإترسون Schaffernak and Iterson's solution (صحيح عند $(\alpha < 30^\circ)$)

حل سكافرنريك وإترسون Schaffernak and Iterson's solution يعطي بدائي حالة خروج خطوط السريان أعتبر أن خط السريان seepage line يقطع وجه التصريف discharge face عند ميل المؤخرة والذي يساوي القيمة a الشكل (٢٧-٤) .



الشكل (٤-٢٧): حل سكافرنك وإترسون Schaffernak and Iterson's solution عند $\alpha < 30^\circ$

أستخدم افتراض دوبيوت الثاني (الذي يعني الانحدار الهيدروليكي يساوي ميل خط السريان line of seepage) لذلك ، فإن الحل صحيح إذا كان السطح الأعلى للسريان phreatic line منبسط نسبياً . كمية التصريف q عبر أي مقطع رأسي من السد يمكن أن يعبر عنها كالتالي :

$$q = K \times \frac{dy}{dx} \times y \quad (4.13)$$

الجريان الحاصل عبر السطح الرأسي CD هو :

$$q = K \times CD \times \tan \alpha \quad (4.14)$$

$$q = K \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \quad (4.15)$$

بمساواة المعادلتين (4.13) و (4.15) نحصل على :

$$K \times y \times \frac{dy}{dx} = K \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \quad (4.16)$$

من حالات الحدود (الشروط الطرفية)

$$y = h \quad \text{for} \quad x = L$$

$$y = a \sin \alpha \quad \text{for} \quad x = a \cos \alpha$$

يجرى التكامل على المعادلة (4.16) كالتالي :

$$\int_{a \sin \alpha}^h y \times dy = (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \times \int_{a \cos \alpha}^L dx$$

$$\left(\frac{y^2}{2}\right) \Big|_{a \sin \alpha}^h = (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \times (x) \Big|_{a \cos \alpha}^L$$

$$(h^2 - a^2 \sin^2 \alpha) = 2 \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \times (L - a \cos \alpha)$$

$$h^2 - a^2 \sin^2 \alpha - 2 a \sin \alpha \times \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \times (L - a \cos \alpha) = 0$$

$$h^2 - a^2 \sin^2 \alpha - 2a \times L \times \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} + 2a^2 \sin^2 \alpha = 0$$

$$a^2 - 2L \times \frac{1}{\cos \alpha} a + \frac{h^2}{\sin^2 \alpha} = 0 \quad \text{وهذه معادلة من الدرجة الثاني تحل بالقانون العام}$$

$$a = \frac{1}{2} \left[-\frac{2L}{\cos \alpha} \pm \sqrt{\frac{4L^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{4h^2}{\sin^2 \alpha}} \right]$$

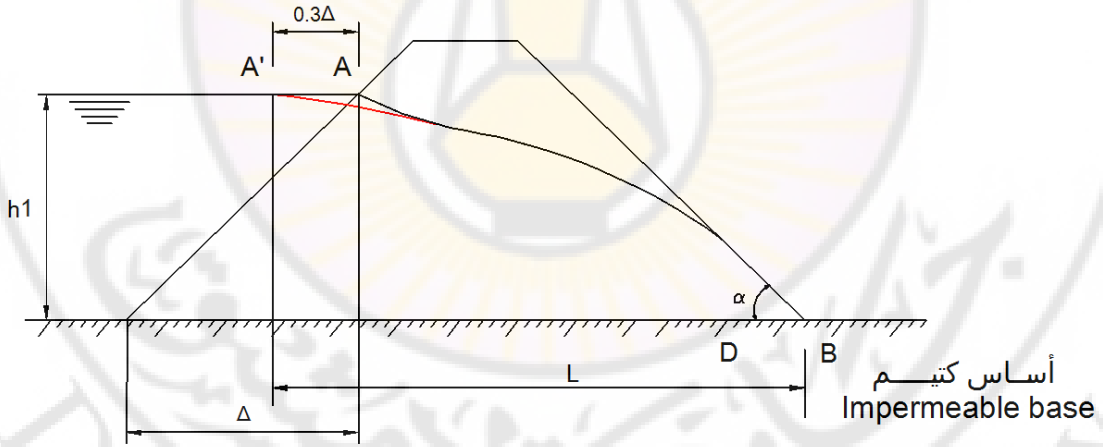
$$a = \frac{L}{\cos \alpha} - \sqrt{\frac{L^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \quad (4.17)$$

وهي التعبير الذي نحصل منه على طول وجه التصريف (a) على مؤخرة السد .

وبإيجاد (a) من المعادلة (4.17) يمكن تخمين السريان عبر جسم السد باستخدام المعادلة (4.15)

$$q = K \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \quad \text{وهي:}$$

بالرغم من أن الحل يعطي حالة المخرج لخط السريان seepage line على شكل قيمة ، فإن حالة الحدود عند المدخل هي تصحيح إضافي مطلوب . وقد أقترح كازاجراندي Casagrande أن بداية الخط النظري للسريان يجب أن تزاح إلى النقطة A' (الشكل (٢٨-٤)) وهذه الإزاحة يمكن جعلها مساوية لـ $(AA' = 0.3\Delta)$ حيث Δ موضحة بالشكل (٢٨-٤) . هذا الحل يصبح غير دقيق عندما تكون الزاوية (α) أكبر من 30° .



الشكل (٢٨-٤): تصحيح كازاجراندي لأصل خط السريان origin of the line of seepage

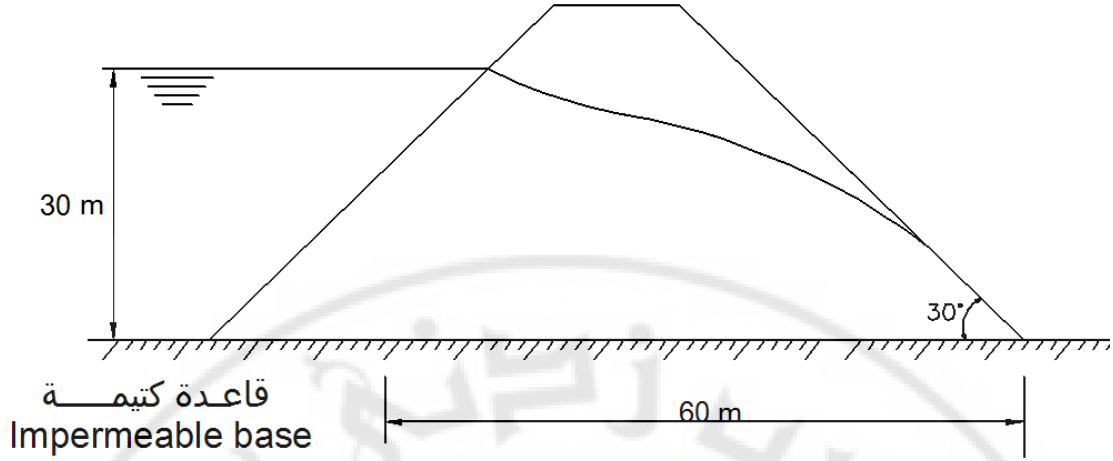
مثال (٤-١)

أوجد كمية السريان عبر المقطع العرضي للسد الترابي المبين في الشكل (٢٩-٤) . افرض أن معامل النفاذية

$(K = 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s})$ ، ولا يوجد ماء ذليل No tail water . استخدم

(a) طريقة دوبويت Dupuit

(b) طريقة سكافرنك



الشكل (٢٩-٤)

الحل

(a) طريقة دوبويوت : باستخدام المعادلة (4.12)

$$q = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2L} \quad (4.12)$$

$$q = \frac{1 \times 10^{-4} \times 10^{-2} \times (30^2 - 0)}{2 \times 60}$$

$$q = 7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

(a) طريقة سكافرنريك : باستخدام المعادلة (4.15)

$$q = K \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha) \quad (4.15)$$

حيث نحصل على a باستخدام المعادلة (4.17)

$$a = \frac{L}{\cos \alpha} - \sqrt{\frac{L^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \quad (4.17)$$

$$a = \frac{60}{\cos 30} - \sqrt{\frac{60^2}{\cos^2 30} - \frac{30^2}{\sin^2 30}} = 34.64 \text{ m}$$

إذن فالتصريف q

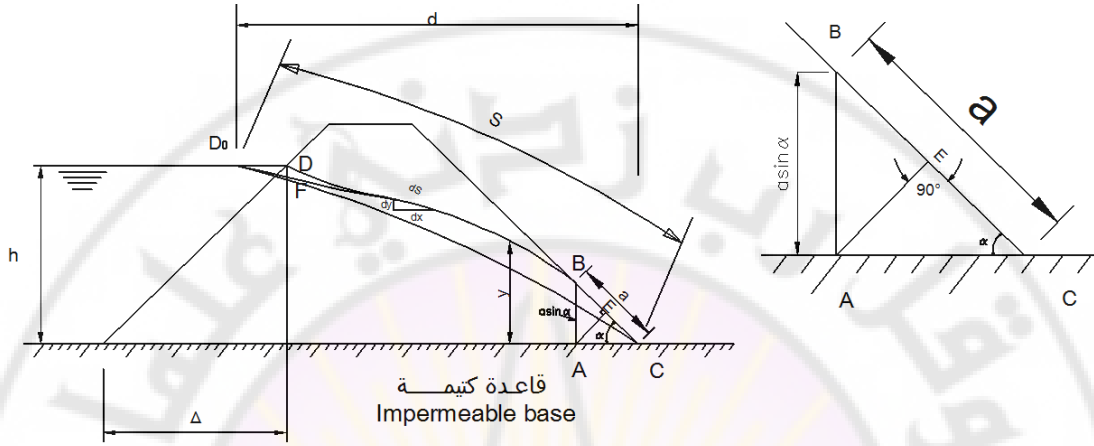
$$q = 1 \times 10^{-4} \times 10^{-2} \times (34.64 \times \sin 30) \times (\tan 30)$$

$$q = 1 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

(لكل متر طولي من السد)

٤-٨-٣ حل كازاجراندي Casagrande's solution (لكل $\alpha > 30^\circ$)

قدم كازاجراندي حلولاً أكثر دقة عندما α أكبر من 30° . بخلاف الافتراض الثاني لدوبيوت الذي ينص على أن الإنحدار الهيدروليكي مساوي للميل $\frac{dy}{dx}$ للسطح الحر، فإن كازاجراندي حل نفس المسألة كغيره من الباحثين ولكن بانحدار هيدروليكي يساوي $\frac{dy}{ds}$ ، حيث s هي مقياساً على طول السطح الحر كالمبين في الشكل (٤-٣٠).



الشكل (٤-٣٠)

كمية التصريف q عبر أي مقطع رأسي من السد يمكن أن يعبر عنها بالتالي:

$$q = K \times y \times \frac{dy}{ds} \quad (4.18)$$

حيث s مقياساً على طول خط السريان *seepage line*

بتطبيق المعادلة (4.18) عند المقطع (AB) في الشكل (٤-٣٠)، ينتج:

$$\begin{aligned} q &= K \times AB \times 1 \times \sin \alpha \\ q &= K \times (a \sin \alpha) \times 1 \times \sin \alpha \\ q &= K \times a \times \sin^2 \alpha \end{aligned} \quad (4.19)$$

بمساواة المعادلتين (4.18) و (4.19)، ينتج:

$$K \times y \times \frac{dy}{ds} = K \times a \times \sin^2 \alpha \quad (4.20)$$

من الشروط الطرفية

$$s = a \quad \text{for} \quad y = a \sin \alpha$$

$$s = S \quad \text{for} \quad y = h$$

حيث S هي طول المنحنى D_0BC

تُكامل المعادلة (4.20) كالتالي:

$$\int_{a \sin \alpha}^h y \times dy = (a \sin \alpha) \times (\sin \alpha) \times \int_a^S ds$$

$$\left(\frac{y^2}{2}\right) \overline{a \sin \alpha}^h = a \times \sin^2 \alpha \times (s) \overline{a}^S$$

$$(h^2 - a^2 \times \sin^2 \alpha) = 2 a \times \sin^2 \alpha \times (S - a)$$

$$h^2 - a^2 \times \sin^2 \alpha - 2 S \times \sin^2 \alpha \times a - 2 \sin^2 \alpha \times a^2 = 0$$

$$\sin^2 \alpha \times a^2 - 2 S \times \sin^2 \alpha \times a + h^2 = 0$$

$$a^2 - 2 S \times a + \frac{h^2}{\sin^2 \alpha} = 0$$

باستخدام القانون العام لحل المعادلة من الدرجة الثانية ذات متغير واحد :

$$a = \frac{1}{2} \left[-(-2S) \pm \sqrt{4S^2 - 4 \times \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \right]$$

$$a = S - \sqrt{S^2 - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} \quad (4.21)$$

الآن يمكن أن نحصل على التصريف q عبر جسم السد بالتعويض عن قيمة a من المعادلة (4.21) في المعادلة (4.19).

وطبقاً لما جاء به كازجراند ، فإن المسافة في المعادلة (4.21) تختلف قليلاً على الخط المستقيم (CΔ°) كما في الشكل (٣٠-٤) ، و الذي قد يستخدم كتقدير أولي . في العموم التقدير الأولي هو كافي .

من الشكل (٣٠-٤) ،

$$S = \sqrt{h^2 + d^2}$$

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{h^2 + d^2 - \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}}$$

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 + h^2 \left(\frac{\sin^2 \alpha - 1}{\sin^2 \alpha} \right)}$$

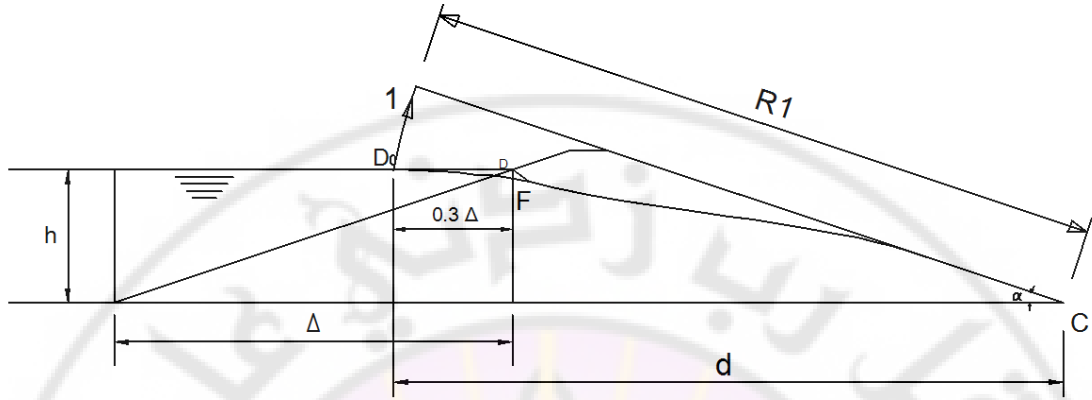
$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \left(\frac{1 - \sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} \right)}$$

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} \right)}$$

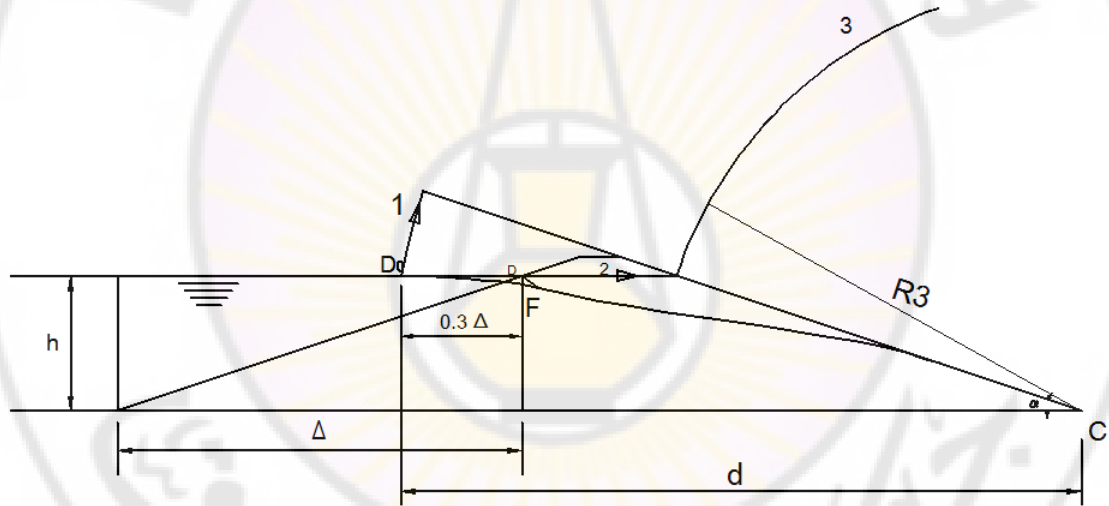
$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha} \quad (4.23)$$

أيضاً أوصى كازجراند بحل بياني للمعادلة (4.23) . هذا الحل يتجنب استخدام تقدير المعادلة (4.23) كالمبين في الشكل (٤-٣٤) .

يتم إيجاد قيمة a (المذكورة سابقاً) من الرسم البياني ، ويمكن إيجاد كمية السريان من المعادلة (4.19) .

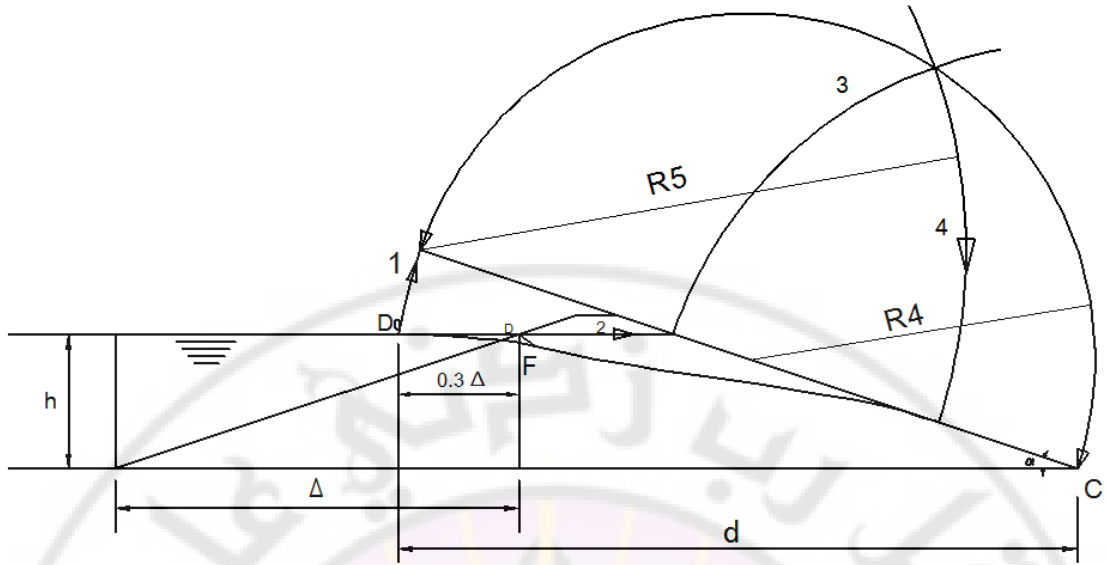


الشكل (٤-٣١): الخطوة الأولى من الرسم

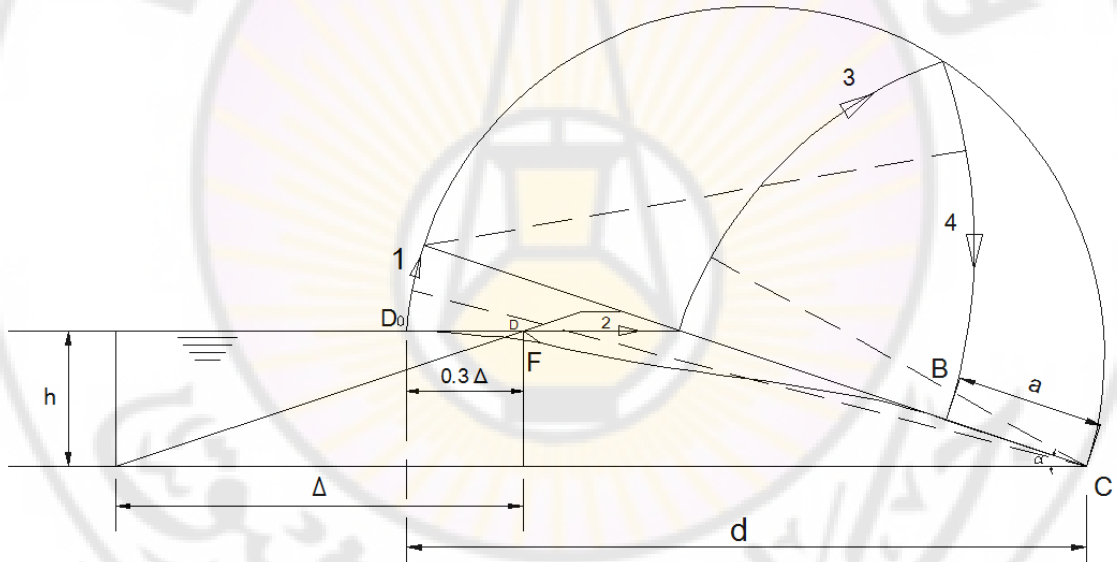


الشكل (٤-٣٢): الخطوة الثانية والثالثة من الرسم

Damascus University



الشكل (٣٣-٤): الخطوة الرابعة من الرسم

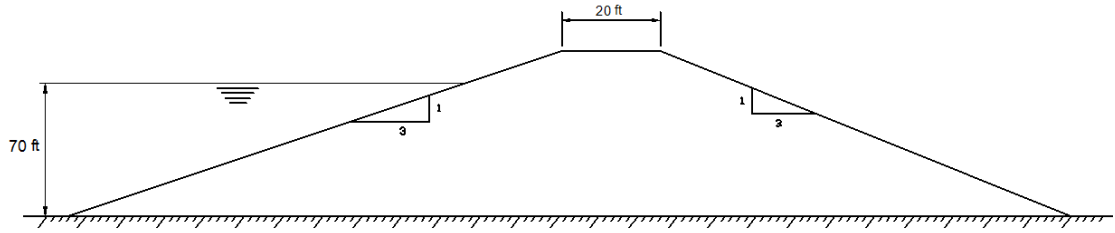


الشكل (٣٤-٤)

من حل كازجراند أيضاً نحصل على حل تقديري لحالات سطوح التصريف الواقعة بين $(90^\circ - 180^\circ)$. هذه الحلول تستند على حل كوزني Kozeny's solution عند $\alpha = 180^\circ$.

مثال (٢-٤)

أوجد كمية السريان لمائة قدم (100 ft) من البعد الثالث لمقطع السد المبين في الشكل (٣٥-٤). معامل النفاذية لمادة السد هي $(K = 0.002 \text{ ft/min})$.



الشكل (٣٥-٤)

الحل

من الشكل (٣٦-٤)

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) = 18.5^\circ$$

$$d = 3H + 20 + 3 \times 10 + 0.2 \times (3 \times h) = 353 \text{ ft}$$

من المعادلة (4.23)

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha}$$

(4.23)

$$a = \sqrt{70^2 + 353^2} - \sqrt{353^2 - 70^2 \cot^2 18.5}$$

$$a = 75.54 \text{ ft}$$

من المعادلة (4.19)

$$q = K \times a \times \sin^2 \alpha$$

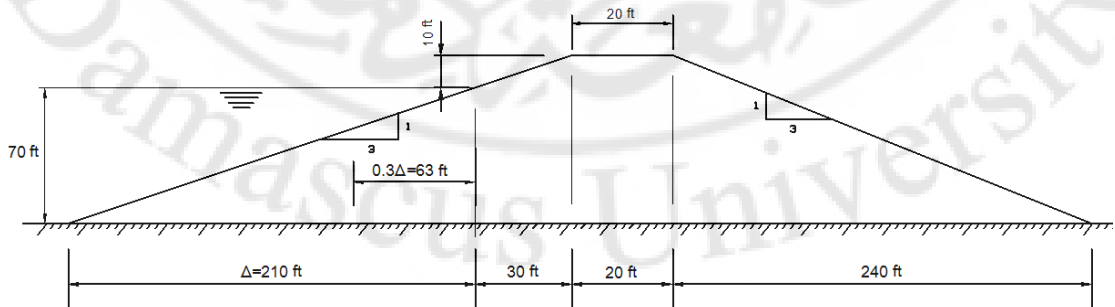
(4.19)

$$q = 0.002 \times 75.54 \times \sin^2 18.5$$

$$q = 15.21 \times 10^{-3} \text{ ft}^3/\text{min}/\text{ft}$$

كمية السريان لمائة قدم من مقطع السد هي :

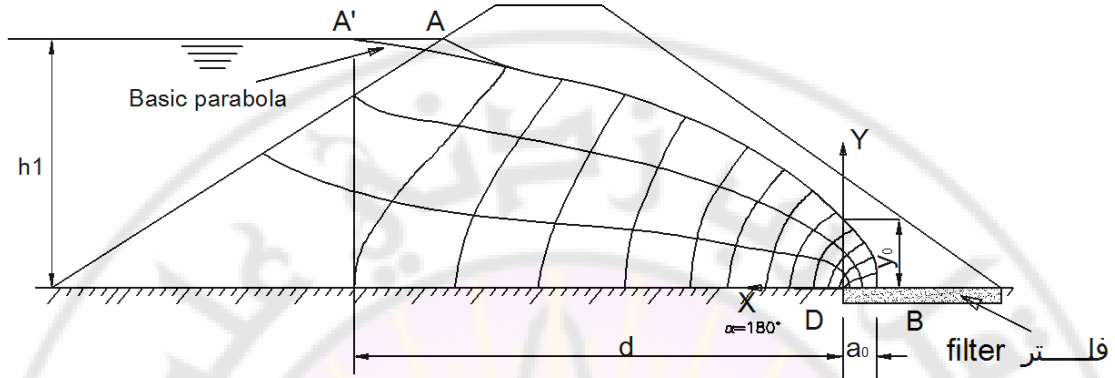
$$Q = 15.21 \times 10^{-3} \times 100 = 1.521 \text{ ft}^3/\text{min}$$



الشكل (٣٦-٤)

٤-٨-٤ حل كوزني Kozeny's solution

عندما يكون ميل وجه التصريف $(\alpha = 180^\circ)$. أي أنه يعمل كوجه تصريف أفقي كما في مرشح البساط drainage blanket عموماً ، والذي تزود به مؤخرة السدود الترابية . الحل النظري لكوزني يقترح أن خطوط السريان وخطوط الجهد equipotential المبينة في الشكل (٣٧-٤) يمكن أن تمثل باستخدام فصيلتين من القطوع المكافئة parabolas .



الشكل (٣٧-٤): حل كوزني للتدفق عبر السدود الترابية عند $(\alpha = 180^\circ)$.

إن معادلة خط السريان seepage line التي هي معادلة قطع مكافئ ، يعبر عنها كالتالي :

$$q = \frac{y^2 - y_0^2}{2 \times y_0} \quad (4.24)$$

حيث x و y هي الإحداثيات المعرفة مع البؤرة O focus (انظر الشكل (٣٧-٤)). قيمة y_0 يمكن إيجادها باستخدام الإحداثيات من نقطة واحدة من النقاط المعلومة الواقعة على خط السريان seepage line في المعادلة (4.24) لهذا فإنه ، عند $(y=h)$ و $(x=d)$ ، يمكن أن يعبر عن y_0 كالتالي :

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (4.25)$$

من الخصائص الأساسية للقطع المكافئ ، البعد البؤري (a_0) يمكن أن يحسب كالتالي :

$$a_0 = \frac{y_0}{2} \quad (4.26)$$

كمية التصريف q خلال أي مقطع رأسي من السد المبينة في الشكل (٣٧-٤) يمكن أن يعبر عنها كالتالي :

$$q = K \times y \times \frac{dy}{dx} \quad (4.27)$$

بإعادة ترتيب المعادلة (4.24) ، فإن قيمة y يمكن أن يعبر عنها كالتالي :

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \quad (4.28)$$

المشتقة الأولى للمعادلة (4.28) هي :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_0}{\sqrt{2y_0x + y_0^2}}$$

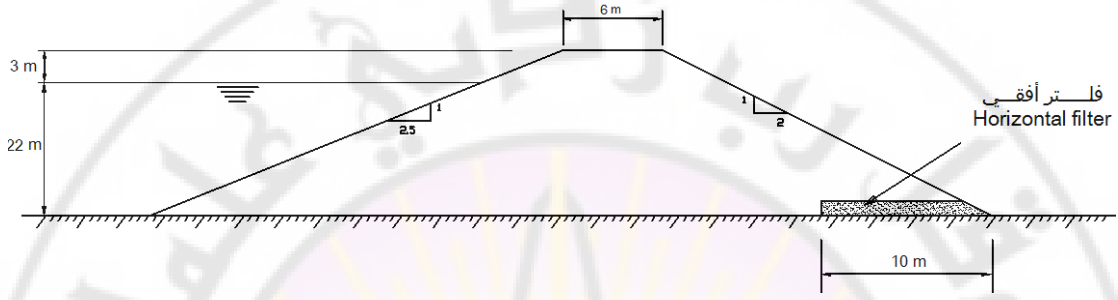
بما أن التصريف المار خلال أي مقطع رأسي هو نفسه ، أو بتعبير آخر ، التصريف ثابت عند أي مقطع رأسي ، إذن عند $(x = 0)$ ينتج $(\frac{dy}{dx} = 1)$ و $(y = y_0)$.

بالتعويض عن هذه القيمة في المعادلة (4.27) ، يمكن الحصول على كمية السريان q باستخدام الصيغة التالية :

$$q = K \times y_0 \quad (4.29)$$

مثال (٣-٤)

من مقطع السد المتجانس المبين في الشكل (٣٨-٤) ، ارسم الخط الأعلى للسريان phreatic line إذا كان طول الفلتر الأفقي المزود به السد (10 m) . أيضاً أوجد التصريف لكل متر طولي (البعد الثالث) من السد إذا كان $K = 10^{-5} \text{ m/sec}$. استخدم طريقة كوزني .



الشكل (٣٨-٤)

الحل

من الشكل (٣٩-٤)

$$h = 22 \text{ m}$$

$$\Delta = 2.5 \times 22 = 55 \text{ m}$$

$$d = 16.5 + 3 \times 25 + 6 + 25 \times 2 - 10 = 70 \text{ m}$$

باستخدام المعادلة (4.25) يمكن إيجاد قيمة y_0

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (4.25)$$

$$y_0 = \sqrt{70^2 + 22^2} - 70$$

$$y_0 = 3.38 \text{ m}$$

بالتعويض بقيمة y_0 في المعادلة (4.28) ، فإن :

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \quad (4.28)$$

$$y = \sqrt{2 \times 3.38 \times x + 3.38^2}$$

$$y = \sqrt{2 \times 3.38 \times x + 11.42}$$

باستخدام المعادلة السابقة ، يمكن رسم خط السريان seepage line . وذلك بإعطاء قيمة للبعد الأفقي (x) في المعادلة للحصول على قيمة البعد الرأسى (y) .

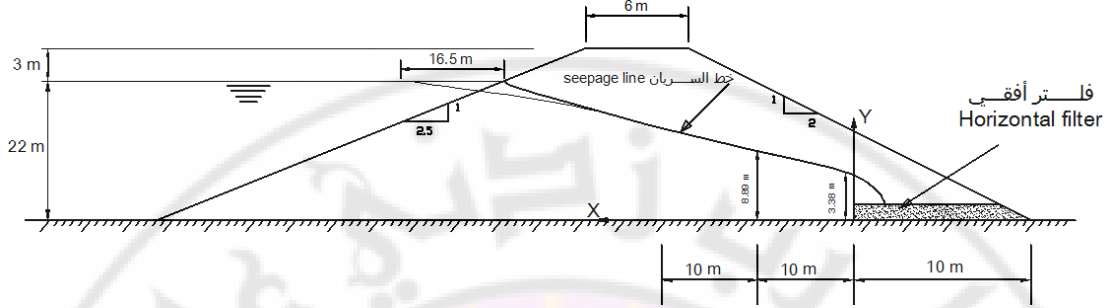
كمثال عند $(x=10 \text{ m})$ ، $(y=8.89 \text{ m})$ (انظر الشكل (٣٩-٤))

عند $(x=20 \text{ m})$ ، $(y=12.11 \text{ m})$ (انظر الشكل (٣٩-٤))

والجدول (٣-٤) يوضح حسابات إحداثيات خط السريان seepage line

X (m)	0	10	20	30	40	50	60	70
Y (m)	3.38	8.89	12.11	14.64	16.79	18.69	20.42	22.00

الجدول (٣-٤) حسابات إحداثيات خط السريان seepage line



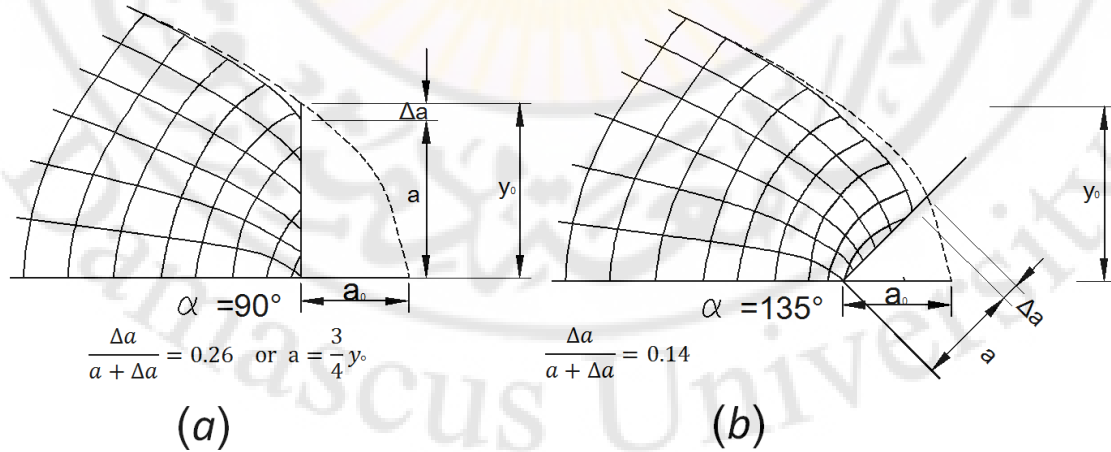
الشكل (٣٩-٤)

يمكن الحصول على التصريف لكل متر طولي من المعادلة (4.29) $q = K \times y_0$

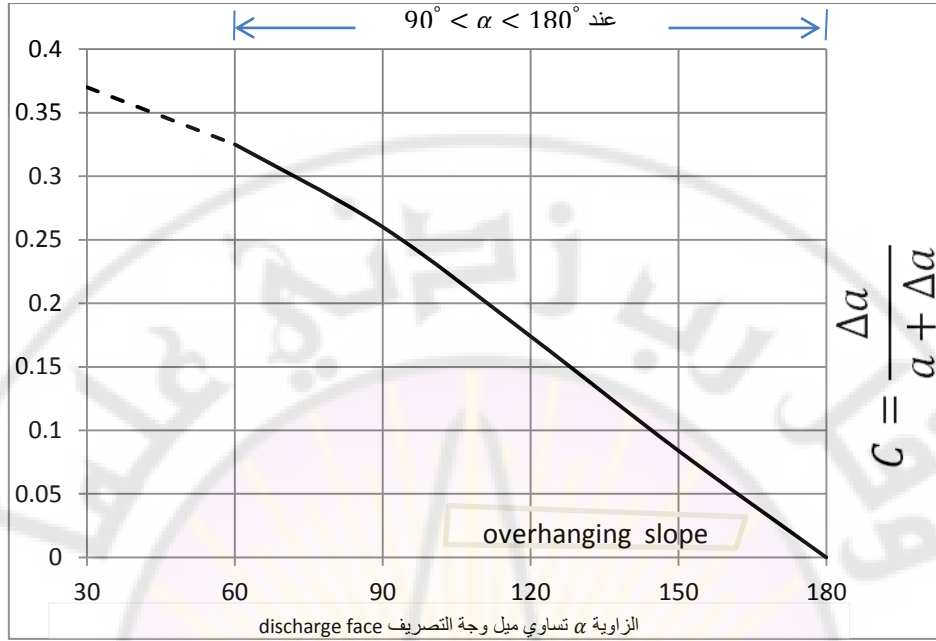
$$q = 3.38 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} / m$$

٤-٨-٥ حل كازاجراندي Casagrande's solution عند $(90^\circ < \alpha < 180^\circ)$

لسطوح التصريف التي تتناظر $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ ، فإن كازاجراندي قارن بين الحلول من الرسم البياني لشبكة التدفق flow net مع حل كوزني عند $\alpha = 180^\circ$. كلا المقارنتين مبينة في الشكل (٤٠-٤) (أ) و (ب) عند $\alpha = 90^\circ$ وعند $\alpha = 135^\circ$ ، على التوالي . وقد لاحظ كازاجراندي أن طول وجه السريان a متنسق مع قطع كوزني المكافئ لخط السريان seepage line . الفرق Δa موضح في الشكل (٤٠-٤) و مرسوم بيانياً في الشكل (٤١-٤) ، وقد وجد أن لها تغير منتظم مع a . العلاقة موضحة في الشكل (٤١-٤) والتي يمكن أن تستخدم لتعديل أصل القطع المكافئ لكوزني والحصول على خط السريان .



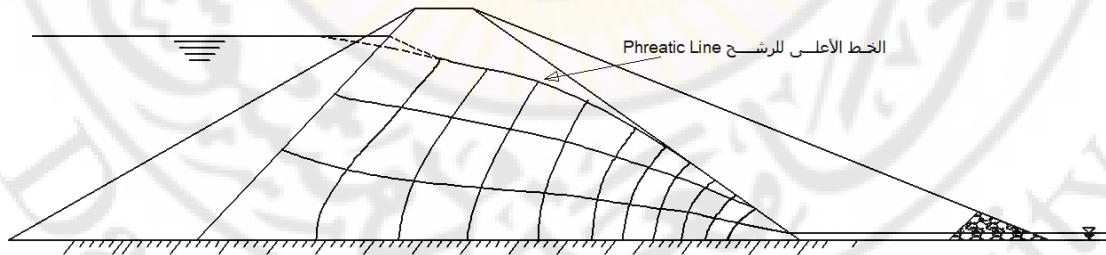
الشكل (٤٠-٤): المقارنة بين شبكات التدفق مع حل كوزني



الشكل (٤١-٤): العلاقة بين Δa والميل α لوجه التصريف

٤-٨-٦ السريان في السدود الترابية النطقية Seepage in zoned earth dams

إن استخدام النواة الكتيمية في مقطع السد ، يقلل من مية السريان بشكل فعال . مع اللوح النفاذ نسبياً relatively pervious shells ، معظم الهبوط الرأسى vertical drop في خط السريان يحصل في النواة الكتيمية (الشكل (٤٢-٤)). عندما تكون مادة اللوح الخارجي ذات نفاذية بضع مئات أضعاف نفاذية مادة النواة الكتيمية ، فإن لوح مؤخره السد له تأثير قليل على موقع خطوط السريان .



الشكل (٤٢-٤): السريان في السدود الترابية النطقية Seepage in zoned earth dams

لذلك بالنسبة للسريان ، فإن النواة الكتيمية هي المعتبرة فقط (يمكن إهمال تأثير النطاق النفوذ في السد) ، ولذا يمكن رسم خطوط السريان عبر النواة الكتيمية فقط. إن مقطع النواة في الشكل (٤٢-٤) أعيد رسمه على طول خط السريان في الشكل (٤٣-٤) . من خصائص القطع المكافئ ، المسافة إلى أي نقطة على القطع من البؤرة F ، مثل FD_0 ، وهي $a + \Delta a$ تساوي المسافة من البؤرة إلى المستقيم العمودي على المستقيم الذي يمر بنقطة الرأس E و نقطة البؤرة F والمسافة العمودية على المستقيم من البؤرة هي $2 \times (FE)$ ويمكن كتابتها رياضياً :

$$a + \Delta a = (a + \Delta a) \times \cos \alpha + 2 \times \left(\frac{y_0}{2}\right)$$

ومنها

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \quad (4.30)$$

وطبقاً لما جاء به كازجراند ، أن المسافة Δa تتغير مع زاوية الميل α وتصبح مساوية صفرأ عندما ($\alpha = 180^\circ$) .
وطبقاً للصيغة العملية :

$$\Delta a = (a + \Delta a) \times (0.5 - \frac{\alpha}{360^\circ}) \quad (4.31)$$

ويحل المعادلتين (4.30) و (4.31) أنياً :

من المعادلة (4.30)

$$\Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} - a$$

نعوض في المعادلة (4.31)

$$\left(\frac{y_0}{1 - \cos \alpha} - a \right) = [a + \left(\frac{y_0}{1 - \cos \alpha} - a \right)] \times (0.5 - \frac{\alpha}{360^\circ})$$

$$\frac{y_0}{1 - \cos \alpha} - a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \times (0.5 - \frac{\alpha}{360^\circ})$$

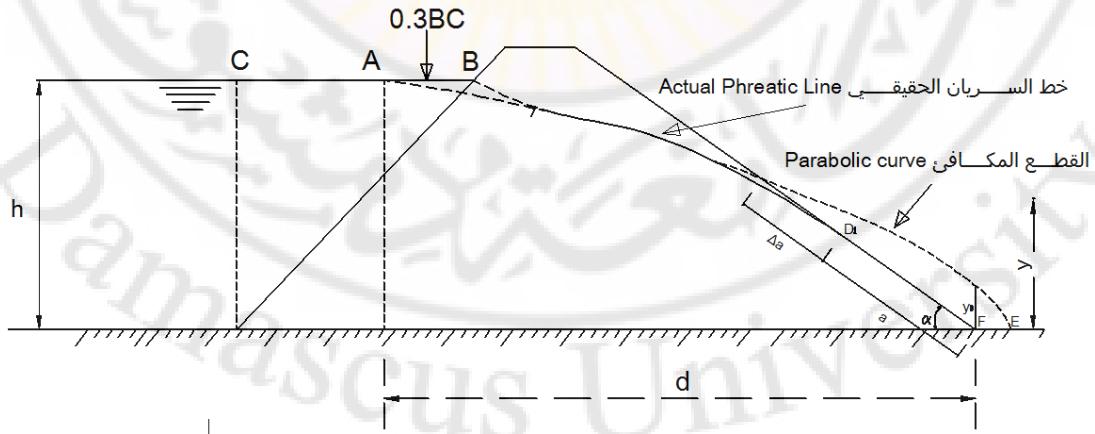
$$a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \times (0.5 + \frac{\alpha}{360^\circ}) \quad (4.32)$$

أيضاً يمكن إيجاد a باستخدام الشكل (٤-١٤) . أو المعادلة (4.23) يمكن أن تستخدم كبديل آخر لتقدير قيمة a .

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha}$$

أما السريان عبر السد يمكن إيجاده باستخدام المعادلة (4.19)

$$q = K \times a \times \sin^2 \alpha$$



الشكل (٤-٣): نواة السد الترابي المبين في الشكل (٤-٢)

مثال (٤-٤)

في السد المبين في الشكل (٤-٤)، نفاذية النواة المركزية للسد هي $3 \times 10^{-6} ft/sec$ في الاتجاه الأفقي و $1 \times 10^{-6} ft/sec$ في الاتجاه الرأسي . كلا وجهي النواة يميل بزاوية 40° مع الأفقي . أوجد السريان خلال السد .

الحل

في التربة الغير إيزوتروبية anisotropic (تتغير خصائصها بتغير الاتجاه) عندما K_x غير مساوية ل K_y ، فإن شبكة التدفق لا يمكن رسمها كما في التربة الإيزوتروبية isotropic . لذلك ، لرسم شبكة التدفق في التربة الغير إيزوتروبية ، فإنه يجب أن تستبدل كل الأبعاد الأفقية بأبعاد افتراضية وذلك باستخدام المعادلة التالية :

$$x' = x \times \sqrt{\frac{K_z}{K_x}} \quad (4.33)$$

حيث :

x' الأبعاد الأفقية الحقيقية

x الأبعاد الأفقية الافتراضية (المعدلة)

K_x النفاذية في الاتجاه الأفقي

K_z النفاذية في الاتجاه الرأسي

لذا ، ستعدل المسافات الأفقية للنواة بالقيمة :

$$\sqrt{\frac{K_z}{K_x}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-6}}} = 0.58$$

الشكل (٤-٤) يوضح مقطع النواة الافتراضية (المعدلة)

من الشكل (٤-٤) زاوية الميل الجديدة α هي

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{100}{69.1}\right) = 55.35^\circ$$

$$CB = \frac{90}{\tan 55.35^\circ} = 62.2 \text{ ft}$$

$$AB = 0.3 \times CB = 0.3 \times 62.2 = 18.7 \text{ ft}$$

$$CA = 62.2 - 18.7 = 43.5 \text{ ft}$$

$$d = 69.1 + 17.4 + 69.1 - 43.5 = 112.2 \text{ ft}$$

من المعادلة (4.25)

$$y_0 = \sqrt{d^2 + h^2} - d$$

$$y_0 = \sqrt{112.2^2 + 90^2} - 112.2 = 31.66 \text{ ft}$$

من المعادلة (4.32)

$$a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \times \left(0.5 + \frac{\alpha}{360^\circ}\right)$$

$$a = \frac{31.66}{1 - \cos 55.35^\circ} \times \left(0.5 + \frac{\alpha}{360^\circ}\right)$$

معدل النفاذية (K) للنواة هي :

$$K = \sqrt{K_x \times K_z} \quad (4.34)$$

$$K = \sqrt{1 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}} = 1.73 \times 10^{-6} \text{ ft/sec}$$

السريان عبر السد يمكن إيجاده باستخدام المعادلة (4.19)

$$q = K \times a \times \sin^2 \alpha$$

$$q = 1.73 \times 10^{-6} \times 48 \times \sin^2 55.35^\circ = 5.6 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec}} \text{ per foot}$$

مناقشة : ١

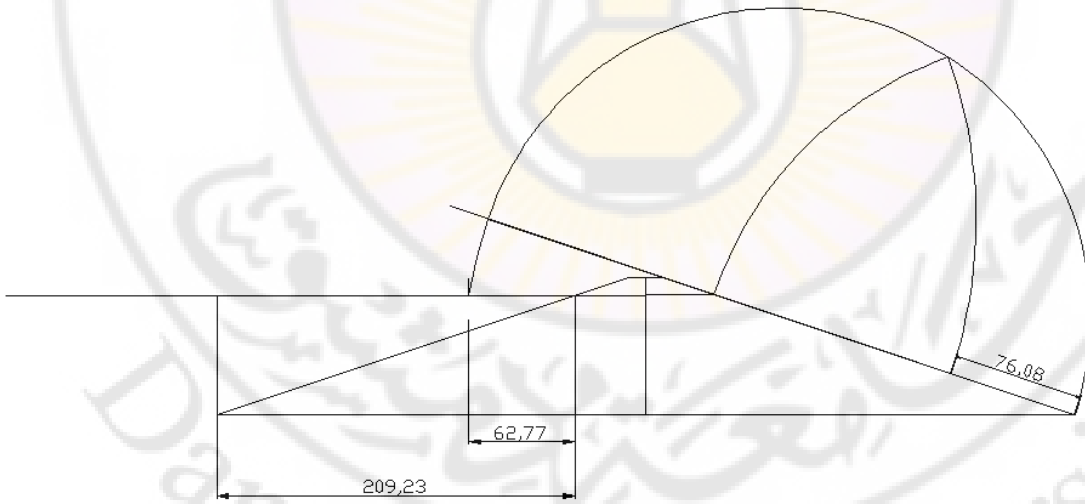
اسم الطالب:

في المثال (٢-٤) ، أوجد

١. كمية السريان لمائة قدم (100 ft) من مقطع السد (Q) باستخدام الحل البياني Graphical solution لإيجاد a . (ارسم مقطع السد على ورقة بيانية باستخدام مقياس رسم مناسب .
٢. كمية السريان لمائة قدم (100 ft) من مقطع السد (Q) باستخدام حل دوبيوت .

الحل

(١) من الرسم التالي قيمة a هي 76.08 ft



السريان عبر السد يمكن إيجاده باستخدام المعادلة (4.15)

$$q = K \times (a \sin \alpha) \times (\tan \alpha)$$

$$q = 0.002 \times (76.08 \sin 18.35^\circ) \times (\tan 18.35^\circ) = 0.0152 \frac{\text{ft}^2}{\text{min}} / \text{ft}$$

$$Q = q \times 100 = 0.0152 \times 100 = 1.52 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

(٢) كمية السريان لمائة قدم (100 ft) من مقطع السد (Q) باستخدام حل دوبيوت - المعادلة (4.12)

$$q = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2L}$$

$$q = \frac{0.002 \times (70^2 - 0^2)}{2 \times 290} = 0.0169 \frac{\text{ft}^2}{\text{min}/\text{ft}}$$

$$Q = q \times 100 = 0.0169 \times 100 = 1.69 \text{ ft}^3/\text{min}$$





المنشآت المائية الملحقة بالسدود الترابية

الفهرس

6

1 المنشآت الملحقة بالسدود

- 1.1 معلومات عامة: 6.....
- 2.1 المفيضات: 7.....
- 1.2.1 التصنيف: 7.....
- 2.2.1 المصارف الأنبوبية: 8.....
- 3.2.1 المفيضات المفتوحة الضافية (متوضعة على الضفة): 10.....

27.....

2 المفرغات

- 1.2 تعريف المفرغ: 27.....
- 2.2 الغاية من إنشاء المفرغ السفلي: 27.....
- 3.2 تصميم المفرغات 28.....
- 4.2 المفرغات الأنبوبية: 29.....
- 5.2 المسائل المدروسة عند تصميم المفرغات: 30.....
- 1.5.2 تحديد مكان إنشاء المفرغ: 30.....
- 2.5.2 تحديد قيمة التصريف التصميمي للمفرغ: 31.....
- 3.5.2 تحديد شكل وأبعاد المقطع العرضي للمفرغ: 31.....
- 6.2 الحساب الهيدروليكي للمفرغ: 31.....
- 7.2 الدراسة الإنشائية لأنبوب المفرغ: 35.....
- 1.7.2 تحليل الحمولات المؤثرة: 36.....

39.....

3 المفيض الخندقي

- 39..... المفيض الخندقي: 1 . 3
- 39..... الهدار في المفيض الخندقي: 2 . 3
- 41..... الحساب الهيدروليكي للخندق: 3 . 3
- 43..... حساب وتصميم القناة (المجرى السريع): 4 . 3
- 44..... حساب العمق الحرج: 1 . 4. 3
- 44..... حساب العمق النظامي: 3 . 4. 2
- 45..... تحديد ظروف الجريان في أجزاء القناة: 3 . 4. 3
- 45..... تحديد شكل السطح الحر للماء في القناة: 4 . 4. 3
- 48..... الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة الحركية: 5 . 3
- 48..... تصميم حوض التهدئة: 3 . 5. 1
- 49..... مراحل التصميم: 2 . 5. 3



مقدمة

تعتبر مشاريع الهندسة المائية من أضخم مشاريع الهندسة المائية على الإطلاق في وقتنا الحالي، والذي يترافق مع تعاظم حاجة الإنسان للمياه سواءً للري أو للصناعة أو للأغراض المعاشية.

وهنا يبرز دور المهندس المائي والذي يقع على عاتقه إيجاد حلول لهذه المشكلات عن طريق استغلال كافة مصادر المياه المتاحة (أنهار- أمطار- بحيرات- وغيرها من المصادر المائية...) وذلك بإقامة السدود للأغراض السابقة الذكر وتوليد الطاقة الكهربائية والمساهمة في إقامة المنشآت السياحية وتطوير الثروة السمكية.

وغالبا ما يرافق إنشاء السدود تنفيذ منشآت ملحقة به، بهدف صرف المياه من بحيرة السد إلى ما بعد السد أو إلى أي جهة أخرى بغرض تأمين متطلبات الجهة المستهلكة أو تفريغ بحيرة السد أو بغرض تخليص بحيرة السد من المياه الفائضة عن استيعابها.

ويتم اختيار هذه المنشآت حسب الظروف الهيدرولوجية والجيوهندسية بعد إجراء المقارنة التقنية الاقتصادية للاحتتمالات الممكنة.



الفصل الأول

المنشآت الملحقة بالسدود

1.1 معلومات عامة:

يلحق بالسدود عادة منشآت تصريف المياه وبحسب الهدف من إنشائها تنقسم إلى منشآت تصريف الفيضان ومنشآت التفريغ.

منشآت تصريف الفيضان: هي منشآت لتصريف المياه الفائضة من بحيرة التخزين عن المنسوب التصميمي والنااتجة عن العواصف المطرية إلى الحوز السفلي من منشأة السد.

منشآت التفريغ: هي منشآت تستخدم لتصريف مياه المجاري المائية في فترة بناء السد، أو تستخدم لتصريف المياه لأعمال الري من بحيرة السد، ومدخل هذه المنشأة يتوضع على منسوب يسمح بتفريغ البحيرة في حالة الطوارئ، والتفريغ المفاجئ، ولمنسوب محدد مسبقاً وعند اختيار نوع منشأة التصريف أو التفريغ يجب الاستفادة من إمكانية استخدام المياه المصرفة أو المفرغة.

- التدفق الأعظمي الذي يجب أن تحسب عليه منشأة التصريف يتبع لحجم التدفق الأعظمي للعاصفة المطرية المحتملة، وهذا بدوره يتبع لدرجة أهمية المنشأة.

درجة أهمية المنشأة	احتمال العاصفة المطرية
الدرجة I	0.01%
الدرجة II	0.1%
الدرجة III	0.5~0.1%

- الطاقة التصريفية لمنشأة المصرف تحسب على أساس عمل جميع فتحات المنشأة، ومع الأخذ بعين الاعتبار قسم من التدفق المصرف من منشآت أخرى (محطة توليد الطاقة الكهربائية- منشأة إمرار السفن إلخ)، ويؤخذ بعين الاعتبار إمكانية ارتفاع منسوب التخزين في البحيرة إلى منسوب أعظمي مسموح به (منسوب الفيضان).

- التدفق التصميمي لمنشأة المفرغ: يحدد من خلال مدة تفريغ البحيرة والسرعة المسموحة في انخفاض منسوب البحيرة، والتي تتبع إلى شرط الحفاظ على استقرار المنحدر الأمامي في السدود الترابية.

- الفترة الزمنية الأكثر اعتماداً لتفريغ البحيرة تتراوح ما بين (2-3) أشهر.

- منسوب مدخل المفيض وأبعاد فتحاته يتم اختيارها على أساس المقارنة الاقتصادية بين مجموع حلول.

- منسوب مدخل المفرغ أو المصرف يتبع مدة تفريغ البحيرة، أو لمقدار المياه المطلوبة خلف المنشأة، ولكن يجب ألا ينخفض عن منسوب الحجم الميت.

عند تصميم المفيضات أو المفرغات على سرعة كبيرة يجب الانتباه إلى تأثير هذه السرعة عند خروجها خلف السد من الحت والتآكل ومن تعرض هذه المنشآت لحادثة التكهف والتآكل، وتصميم أحواض تهدئة مناسبة.

2.1 المفيضات:

1.2.1 التصنيف:

يتبع تصنيف المفيضات إلى عدة عوامل: طبوغرافية- جيولوجية- هيدرولوجية استثمارية إنشائية.

(أ) التصنيف حسب الموقع في المنشأة المائية:

بشكل عام تنقسم منشأة المفيضات إلى نوعين:

النوع الأول: يتوضع في جسم السد، النوع الثاني: يتوضع على الضفاف.

المفيضات في جسم السد الترابي:

يتوضع المفيض في هذه الحالة في المجرى المائي مباشرة (الشكل 1-1-a)، أو على جانبيه

(الشكل 1-1-b)، تبعاً لمخطط تنفيذ أعمال السد ومخطط تصريف التدفق أثناء الإنشاء، وينقسم هذا

النوع إلى نوعين أما مفتوح (سد هدار)، أو مغلق (نفق أنبوبي) يعمل بالضغط.

المفيضات الضفافية:

تتخذ هذه المفيضات على شكل أفنية أو أنفاق أو مختلطة سد هدار مع قناة أو منشأة نقل.

(ب) التصنيف حسب نوع الأجهزة عند مدخل المصرف:

تنقسم المصارف تبعاً لذلك إلى نوعين:

- موجهة لتنظيم التصريف، لذلك يوجد فيها سكرة عند المدخل.

- أتوماتيكية يتم التدفق عبرها بشكل حر بدون أي إعاقة من أي منشأة أخرى.

الشكل (1-1): أنواع المفيضات في السد الترابي

a- في المجرى المائي b- في منتصف السد
1 - السد 2- المفيض 3- قسم انتقالي 4- المخرج

(ت) التصنيف حسب الشكل التصميمي للمنشأة:

مصارف أنبوبية، أفنية، هدار خندقي، قمع، أنفاق، سيفون، مجاري سريعة مدرجات مائبة وغيرها.

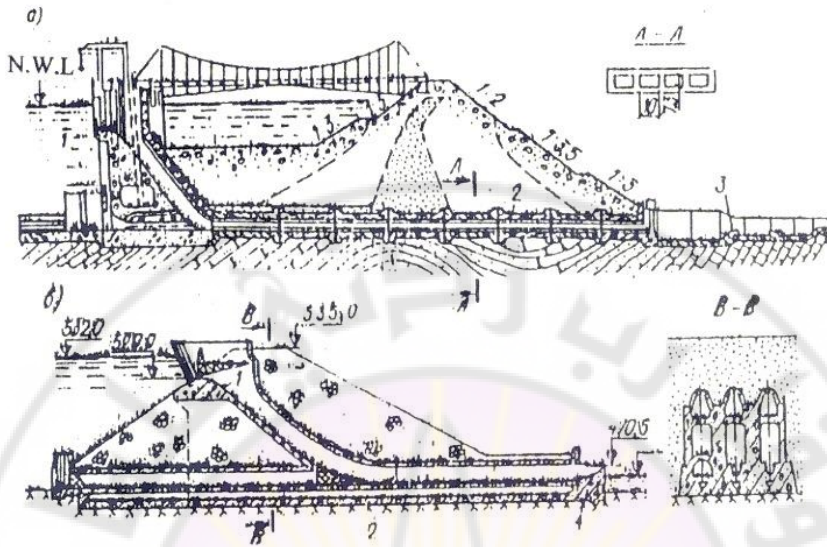
2.2.1 المصارف الأنبوبية:

المصارف الأنبوبية تستخدم في السدود الترابية التي ارتفاعها لا يزيد عن 60-80 m. الميزة الهامة لهذه المصارف إمكانية استخدامها لأكثر من مهمة، في البداية لتصريف تدفق النهر أثناء إنشاء السد ومن ثم في مرحلة الاستثمار تعمل كمفيض أو مفرغ للبحيرة.

1.2.2.1 مكونات المصرف الأنبوبي:

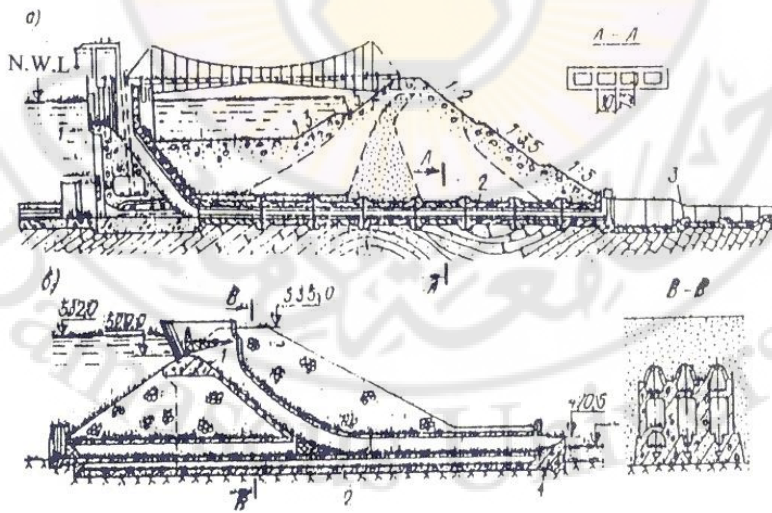
- المدخل يكون على هيئة هدار أو برج مزود بسكورة.
- قسم سفلي وهو عبارة عن أنبوب مطمور أسفل السد وضمن الأساس.
- المخرج مع مخمدات للطاقة.

الأنبوب المطمور ينفذ عادة من البيتون المسلح بمقطع دائري أو مستطيل أو إهليلجي، وعند الحاجة لعدة أنابيب تجمع مع بعضها البعض بقاعدة بيتونية واحدة، ويجب أن تتوضع الأنابيب على أساس متين ومنطقة التقائها مع جسم السد يجب أن تكون كتيمة وذلك عن طريق بروز جدران للتكتيم على طول الأنبوب، الشكل (1-2)، والشكل (1-3)، ويجب أن تحتوي الأنابيب على فواصل تمدد وتقلص كل 20~25 m ويجب أن تتصف هذه الفواصل بالكتامة.



الشكل (1-2): مفيض انبوني في سد ترابي

سد منغيتشات (روسيا)، $Q=1600\text{m}^3/\text{s}$ $H=40\text{m}$ -b سد امدا (الجزائر) $Q=2500\text{m}^3/\text{s}$ $H=70\text{m}$
 1- سد هدار 2- أنبوب 3- مخمد 4- انف الترامبلين



الشكل (1-3): مفيضات انبوبية برجية في جسم السد الترابي

1- بدون سكرة 2- مدخل التصريف 3- برج 4- نفق خدمة 5- شبك منع دخول الرواسب
 6- سكر دائري 7- قناة تهوية (برج) 8- جسر خدمة 9- حوض لإخماد الطاقة

3.2.1 المفيضات المفتوحة الضافية (متوضعة على الضفة):

يوجد هذا النوع من المصارف في منشأة السدود الترابية أو البيتونية (قوسية- ثقالية). وتتوضع على إحدى الضفاف (الشكل 1-4)، ويستخدم هذا النوع من أجل تصريف يتراوح ما بين $500 \sim 1200 \text{m}^3/\text{s}$ ويتألف المصرف من هذا النوع من ثلاثة أجزاء:

قسم دخول (القناة) - سد هدار كمنظم للتدفق - قسم نقل للتدفق (قناة نقل الماء) إلى الحوز السفلي.

آ- قناة الدخول: يجب أن تؤمن جريان انسيابي للماء أمام الهدار وهي بشكل عام ذات جدران منحنية ومتغيرة العرض على طول خط الجريان، من ناحية ميل القاع يكون أفقياً من أجل الأفضية العميقة أما الأفضية ذات الأعماق القليلة فتعطي ميول سالبة لتأمين جريان مستقر ضمن القناة، إذا وقعت القناة في تربة صخرية فلا تكسى القناة بطبقة بيتونية وخاصة في المنطقة القريبة من السد الهدار، ميول جوانب القناة الشبه منحرفة هي حوالي $1.5 \sim 2.5$ في الترب الغير صخرية و 0.5 في الترب الصخرية.

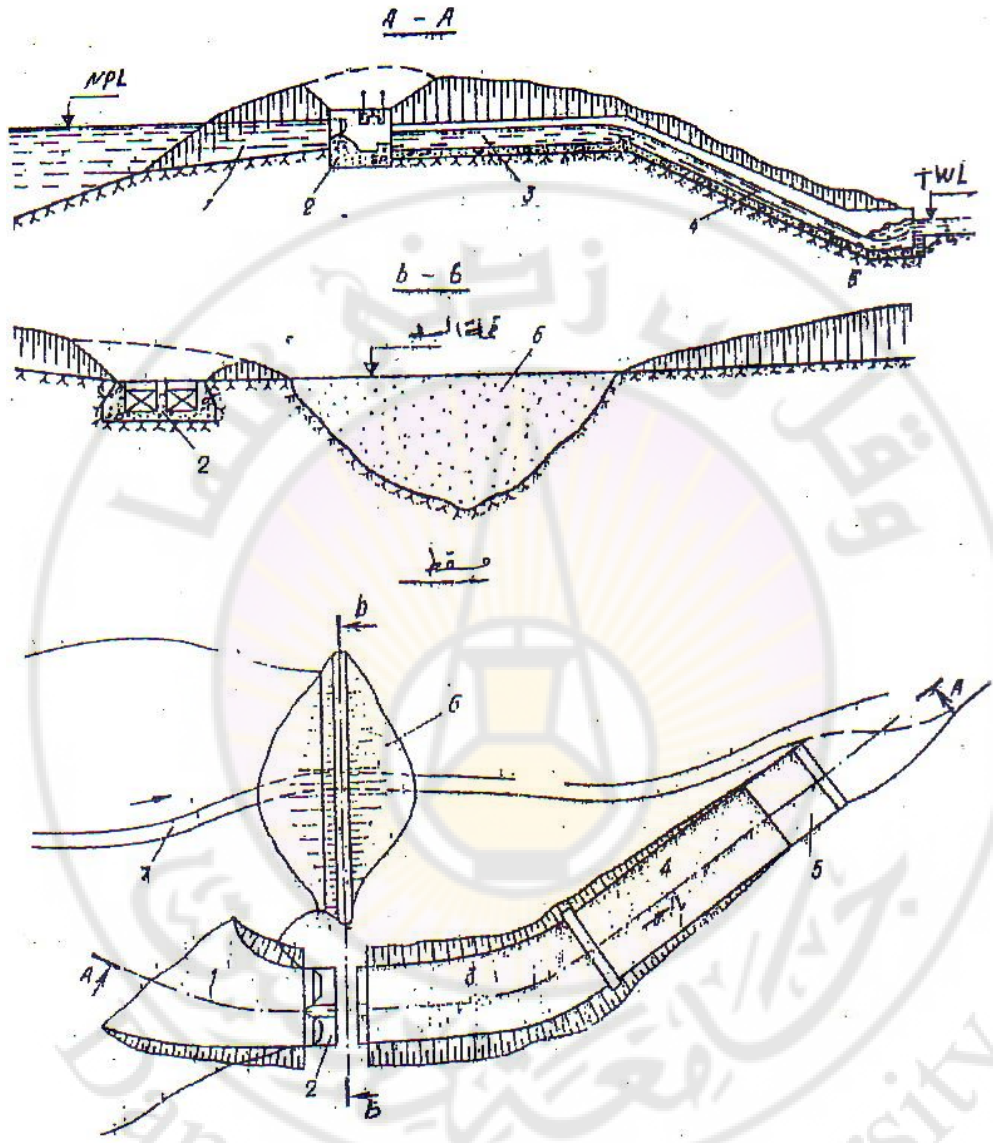
ب- الهدار: عبارة عن سد هدار غير مرتفع ومستقيم الجبهة ويمكن أن يكون منحنى لزيادة الطول والقدرة التصريفية، وبشكل عام في المصارف المفتوحة يستخدم الهدار ذو الجبهة على شكل عتبة شكل $(a,b,5-1)$ ، خلف منشأة الهدار لا توجد مخمدات للطاقة وإنما المياه تدخل إلى قناة النقل، ويمكن أن يكون مقطع الهدار ذو مقطع عملي مع سكر في الأعلى شكل $(c,5-1)$

ج- منشأة النقل (الجر): هي منشأة تلي السد الهدار ويمكن أن تكون على شكل مجرى سريع، أو مدرجات مائية تنتهي بمنشأة إخماد للطاقة.

تستخدم قناة الجر لنقل المياه إلى الحوز السفلي من السد وطولها يتبع العامل الطبوغرافي في المنطقة، وفي حالة وجود ميول تكسى الجوانب والقاع بطبقة بيتونية سماكتها تتبع لقيمة سرعة الجريان وللظروف الجيولوجية للتربة المحيطة بالقناة.

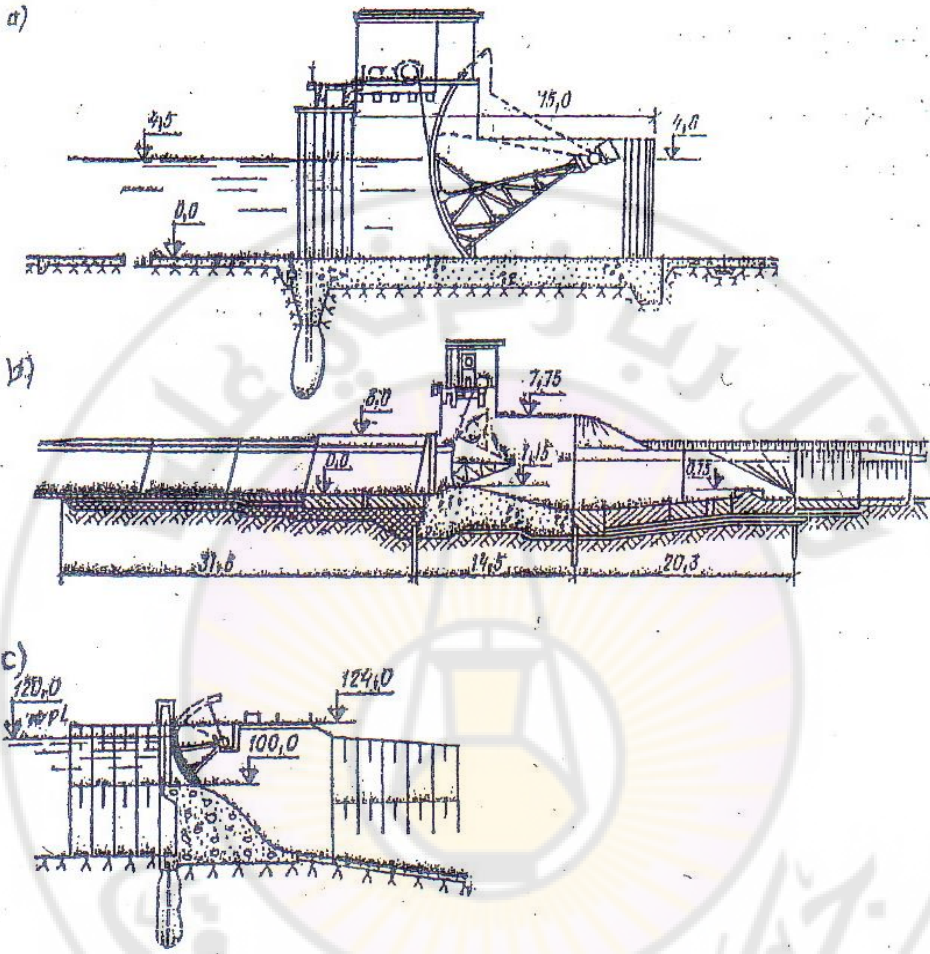
المجرى السريع:

قناة ذات ميل شديد يزيد عن الميل الحرج ويصل إلى القيم $0.05 \sim 0.25$ ويمكن أن يكون أكثر من ذلك. عرض المجرى السريع يمكن أن يكون ثابتاً أو متغير، متناقص أو متزايد نحو الأسفل (الشكل 1-6)، لأن تغير العرض يعمل على إخماد الطاقة في الحوز السفلي وأيضاً يعمل على تخفيض الكلفة الاقتصادية. وتبين الأشكال $(1-7)$ و $(1-8)$ توضع ومواصفات المجرى السريع في سدود مشيدة في كوبا.



شكل (1-4) مفيض مفتوح ضفافي

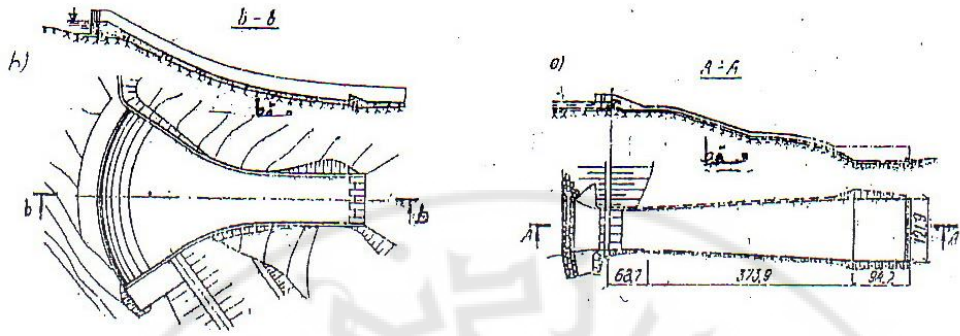
- 1- قناة الدخول 2- سد هدار 3- قناة وصل 4- مجرى سريع 5- القسم النهائي (حوض تهدئة)
6- جسم السد الترابي 7- المجرى المائي



شكل (1-5) أشكال مقطع الهدار في منشأة المفيض المفتوح الضفافي

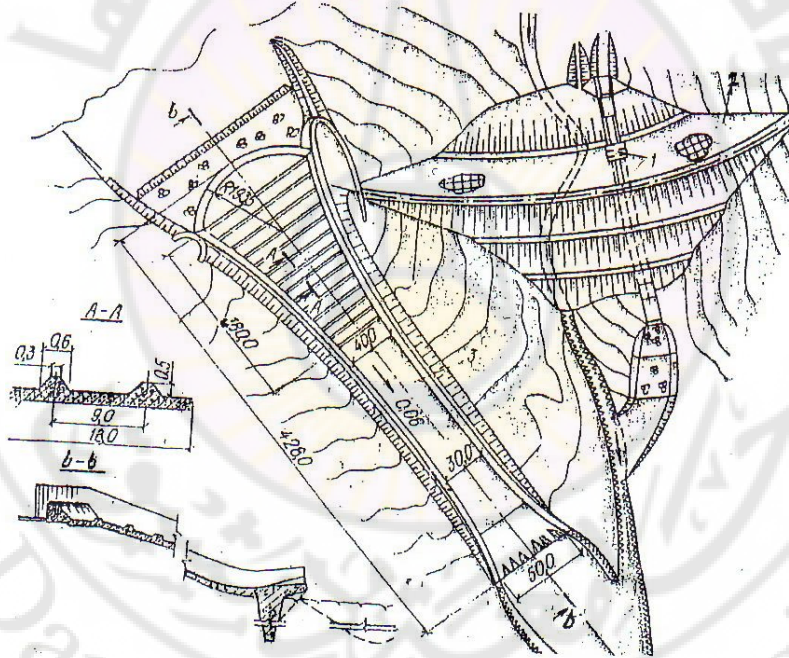
a.b - عتبة هدار منخفضة c - هدار ذو مقطع عملي

- تنفذ المجاري السريعة من الببتون أو الببتون المسلح، وبمقطع مستطيل أو شبه منحرف أو مصلع متعدد الزوايا شكل (1-9)، جوانب المجرى السريع تعتبر جدران استنادية لذلك يجب أن تحتوي على فواصل إنشائية للتمدد والتقلص وبمسافة 20-25m.



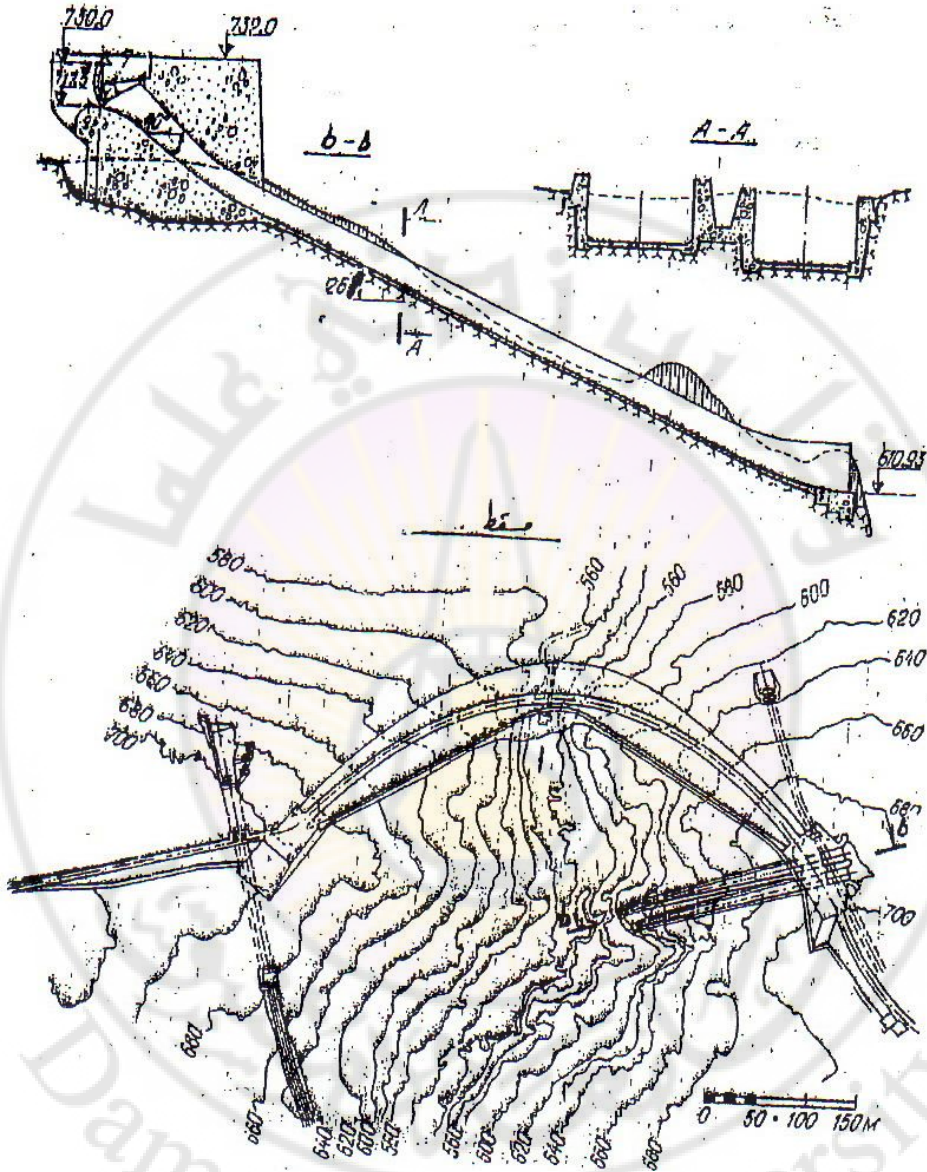
الشكل (1-6) المجاري السريعة

a- العقدة المائية رام نشانفا الهند مجرى متزايد العرض b- مجرى سريع متضيق (منشأة في المكسيك).



شكل (1-7) مفيض ضفافي في سد كارلوس كوبا

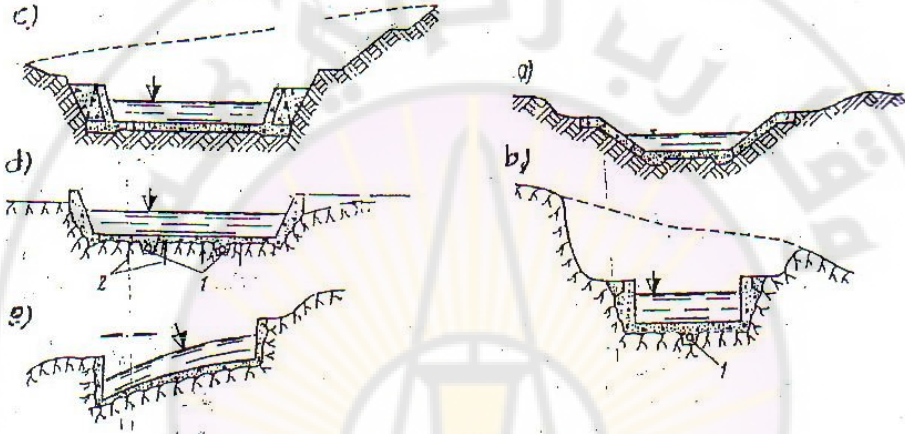
1 مفرغ 2- سد ترابي 3- مفيض مجرى سريع



الشكل (8-1) سد الميندرو" كوبا مع مجريين سريعين

- قاع المجاري البيتونية في حالة التربة غير الصخرية تنفذ كبلطات بسماكة $0.3 \sim 0.8 \text{ m}$
- ميول جوانب المجري السريع في حالة التربة الصخرية، أو نصف صخرية $1:0.3 \sim 1:0.5$ وتكسى القاعدة والجوانب بطبقة بيتونية بسماكة $0.2 \sim 0.3 \text{ m}$.

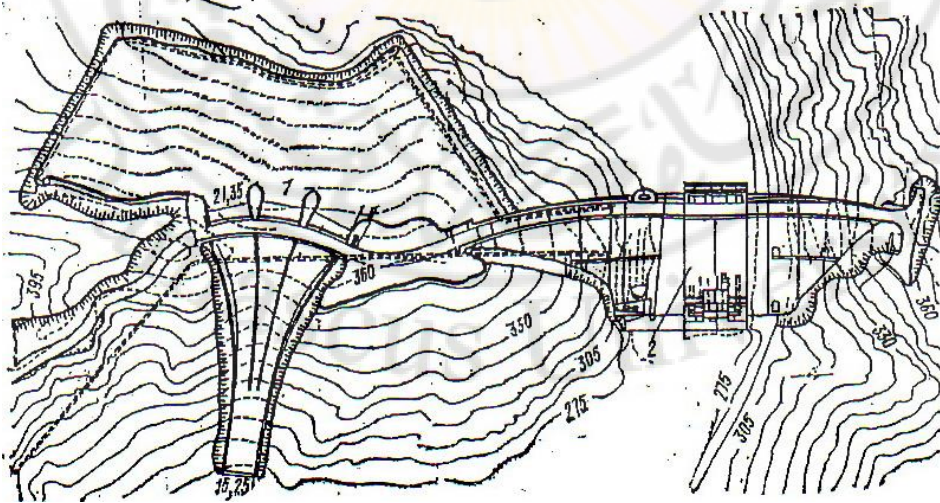
- في الحالة الطبيعية مسار المجرى السريع هو مستقيم ولكن قد يصادف مقطع طولي منحنى لذلك عند المنعطف يعطى ميل للمقطع العرضي شكل (9-1، c)
- يمكن أن يكون مدخل المجرى السريع منحنى ومقسم إلى عدة فتحات بواسطة ركائز أو جدران ممتدة في العمق الشكل (10-1) والشكل (11-1) وذلك لتأمين الاستقرار في الجريان عرضياً.



الشكل (9-1) المقاطع العرضية للمجري السريعة

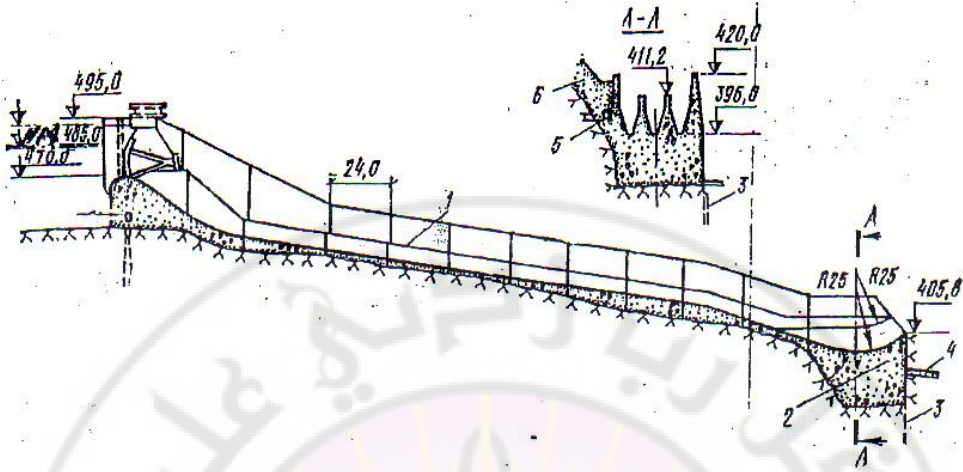
a,c في التربة غير الصخرية d,e في التربة الصخرية

1- مصرف 2- أوتاد محقونة، لتقوية الأساسات.



الشكل (10-1) مفيض مع مجرى سريع ومقسم بركائز

1- المفيض 2- السد



الشكل (11-1) مجرى سريع مع جدران فاصلة

1- المجرى السريع 2- أنف الترامبلين 3- حقن في الأساس

4- بلاطة سماكة 1m 5- مصرف 6- ردميات

- لتخفيض تأثير قوى الرشح أسفل وعلى جوانب المجرى السريع يجب إنشاء مصارف أنبوبية وعند نقطة التقاء المجرى السريع مع الحوز السفلي يجب إنشاء حوض تهدئة مع مخمدات لإخماد الطاقة أو إجراء تقعر نحو الأعلى شكل (11-1)

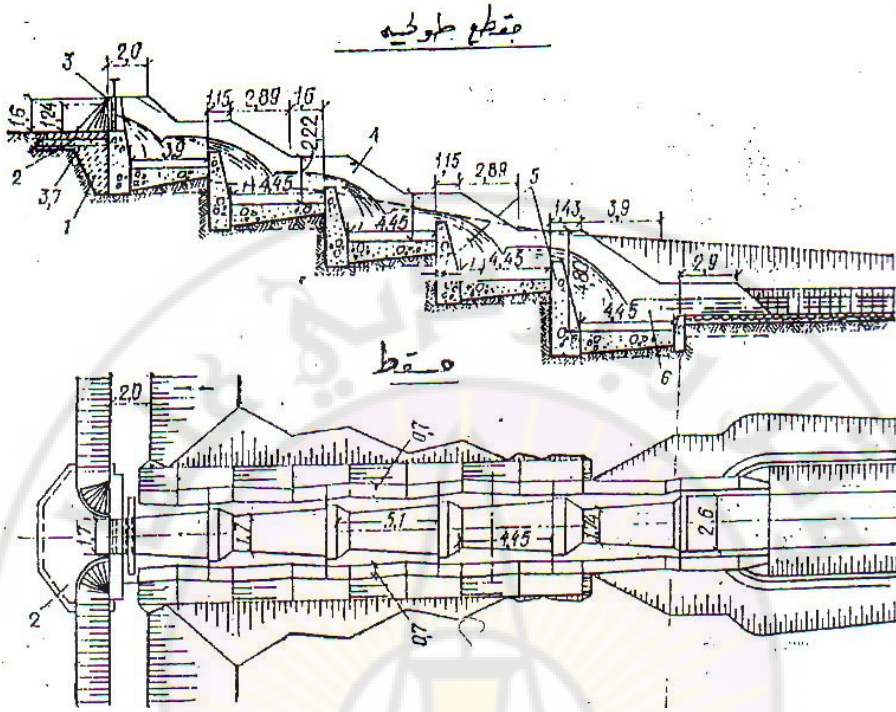
المساقط المائية (المدرجات):

تستخدم المساقط المائية عندما تكون ميول الضفة $i > 0.25$ والتدفق المطلوب تصريفه

$Q \leq 15m^3/s$ ، وتنفذ على شكل درجات متتالية ومتشابهة في مقاطعها العرضية والطولية،

- (شكل 12-1). أبعاد الآبار وارتفاع جدرانها يتم تحديدها انطلاقاً من شرط إخماد طاقة التيار وبشكل جيد يعطى لقاع البئر ميلاً سالباً، وتكون سرعة الجريان في المصاطب المائية هي حوالي $2 \sim 3m/s$.

- في الترب الصخرية والشبه صخرية نترك فواصل شاقولية كل مسافة لإعطاء إمكانية للهبوطات التفاضلية، وتملئ الفواصل بمواد تكتيم.



الشكل (1-12) المصاطب المائية

1- ردميات من الغضار والبيتون 2- حصيرة 3- سكر مستوي

4- جدار عرضي 5- جدران البئر 6- البئر

أبعاد وسماكة بلاطات المصاطب تتبع لخواص التربة، يعطى وفق الجدول التالي بشكل تقريبي:

0.5~1.0m		بلاطة البئر
0.3~0.7m	في القسم العلوي	جدران طولية
1.0~2.0m	في القسم السفلي	
0.5~0.7m	في القسم العلوي	جدران البئر
1.2~2.0m	في القسم السفلي	

في الترب الصخرية تتفد طبقة تسوية بسماكة 0.3~0.4m.






ويمكن تحديد نوع منشأة التصريف في السدود الترابية تبعاً للشروط الرئيسية المؤثرة على اختيارها جدول (1-1)، وكذلك يمكن تحديد بعض المواصفات الهيدروليكية لمصارف تدفق البناء جدول (1-2)، وكذلك المفيضات في السدود. خلال مرحلة الاستثمار جدول (1-3).

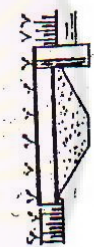


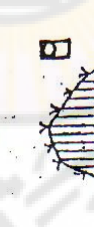




جدول (1-1) أنواع منشآت التصريف حسب ظروف كل منشأة:

المنشأة التي ينصح بها		الشروط الرئيسية المؤثرة على اختيار منشأة التصريف
مجرى سريع	$i = 0.08 \sim 0.25$	تضاريس الأرض
درج شلالي	$i = 0.2 \sim 0.3$	
منشأة قمعية- برج	$i \geq 1$	
مجرى سريع	توضعات قريبة معلقة	منسوب المياه الجوفية
منشأة معلقة (مكبوليه)	ممتازة	نوع تربة الأساس
درج شلالي	جيدة	
مجرى سريع	مختلفة	
مجرى سريع وأكتاف معلقة	نحتاج إلى مراقبة الاستثمار	ظروف الاستثمار
درد شلالي	نحتاج إلى مراقبة قليلة	
الأكتاف المعلقة والمجاري السريعة أكثر كلفة من المجاري الشلالية.		الكلفة الاقتصادية






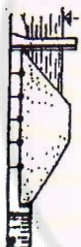
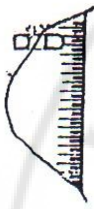



الجدول (1-2) كروكي لمصارف تدفق البناء في السدود الترابية.

رقم الكروكي	الضلع على السد (m)	القدرة التصريفية للمسار الواحد $Q = m^3/s$	الأساس	نوع المصرف		الميل %	نظام الجريان	فتحة المدخل (حوض النخل)	تواجد السكورة	ملاحظات
				المتقطع العرضي	المتقطع الطولي					
1	حتى 10	حتى 3	غير صخرية			$i = i_0$ أو ميل	غير مضغوط	قاعدي	لا	سن 1-2 اقريب مقلبي أو بيوتن مسطح مستقيم المصنع
2	8-15	حتى 3	صخرية ، غير صخرية			$i = i_0$	غير مضغوط	قاعدي	لا	عرض $b=3-100$ m بتر $v < 17$ (سرعة الانجراف)
3	حتى 2	حتى 3	غير صخرية			$i = i_0$ أو ميل	غير مضغوط	قاعدي	لا	سن 1-2 اقريب مقلبي أو بيوتن مسطح مستقيم المصنع
4	حتى 2	حتى 3	غير صخرية			$i = i_0$	غير مضغوط	قاعدي	لا	عرض $b=3-100$ m بتر $v < 17$ (سرعة الانجراف)
5	حتى 2	حتى 3	غير صخرية			$i = i_0$ أو ميل	غير مضغوط	قاعدي	لا	عرض $b=3-100$ m بتر $v < 17$ (سرعة الانجراف)
6	حتى 2	حتى 3	غير صخرية			$i = i_0$	غير مضغوط	قاعدي	لا	عرض $b=3-100$ m بتر $v < 17$ (سرعة الانجراف)

الأكواب من البيتون أو البيتون المسطح ويمكن أن تكون مجموعة تأليب	في منخل الفتحات مسكورة أو عند المخرج منشأة تخميد	قاضي	غير مضغوط مضغوط	$i = i_0$	 تأليب قاصية		صخرية ، غير صخرية	10-1000	40-100	3
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة	في منخل الفتحات مسكورة أو عند المخرج منشأة تخميد	قاضي	غير مضغوط مضغوط	$i = i_0$ أي ميل	 نق حثي		صخرية	(8-10)10 ³	80-100	4
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة	يوجد عند منخل الفتحات المصرف مسكورة وعند المخرج منشآت تخميد	اصعق أسطحي	غير مضغوط مضغوط	$i_2 > i_1$ $i_1 = i_0$	 نق متعدد الطوائف		صخرية	(8-10)10 ³	100-150	5
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة		سطحي	حر	$i < i_0$	 نق أو محوري سريع		صخرية	(8-10)10 ³	150 أكثر	6

جدول (1-2) كروكي لمصارف تدفق البناء في السدود الترابية.

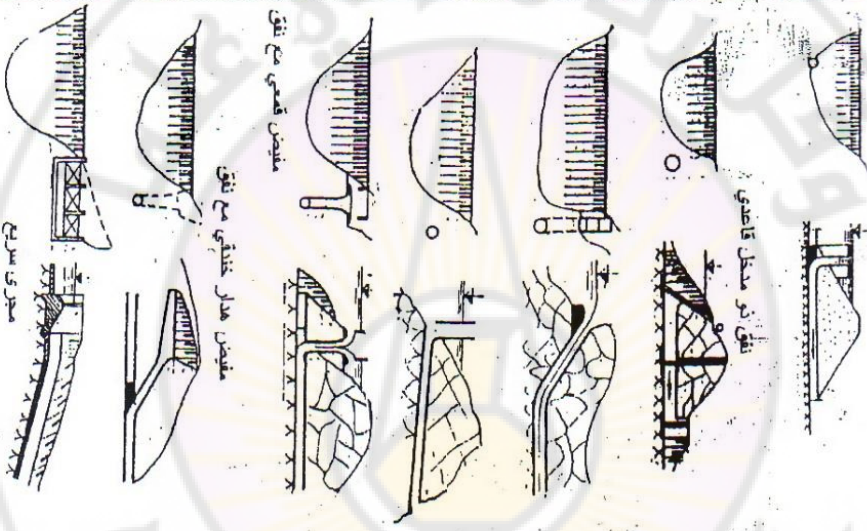
رقم الكروكي	المساحة في المدم m	الاسماء	نوع المفيض		الليل i	نظام الجريان		قوة المدخل	امكانية استخدامه	مقال عن هذا النوع
			مقطع عرضي	مقطع طولي		7	8			
1	8-10 m	غير صخرية			$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط أو مضغوط جزئياً	تقع على مسووب التفريغ الطبيعي	لا يستخدم	شكل (1-1) (13)	
2	8-15 m	غير صخرية			$i < i_{\sigma}$	=	=	بشكل كامل	شكل (1-1) (3)	
3	2-3 m 50-60 m	غير صخرية			$i < i_{\sigma}$	مضغوط غير المضغوط	قاعدي	=	=	شكل (1-1) (14) شكل (1-1) (15)
4	50-60 m	صخرية			$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط	على مسووب NPL	جزئياً	شكل (1-1) (11)	

جدول (3-1) كروكي للمفيضات خلال مرحلة استثمار السد

5	=	-							
6	حتى 100 m	صخري							
7									
8									
9									
10									
11									

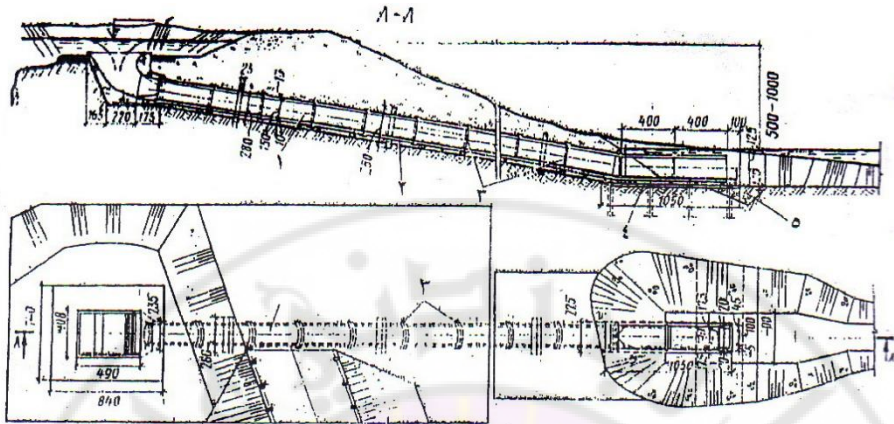
المنشآت المائية
متوسطة و عالية الضاغط

الأساسات الصخرية

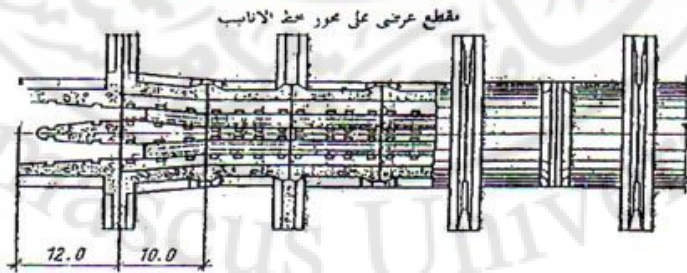
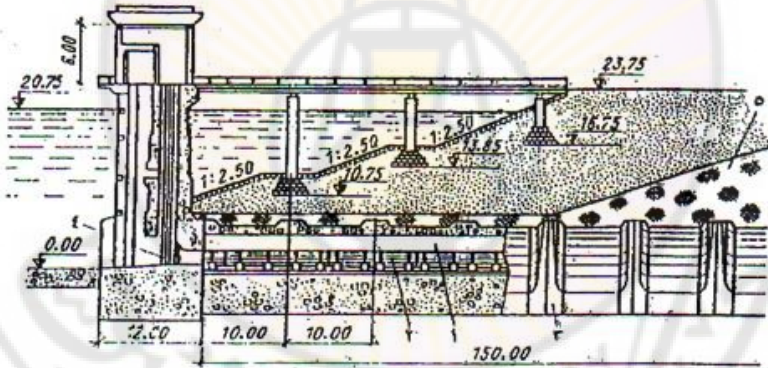


$i < i_{\sigma}$	-	على مستوى NPL	=	شكل (٢-١)
$i < i_{\sigma}$	أي نظام	قاعدي	بشكل كامل	شكل (٣-١)
$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط	سطحي أو عميق	جزئياً	شكل (١٧-١)
$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط	=	=	شكل (١٥-١)
$i > i_{\sigma}$	=	=	=	شكل (١٨-١)
$i > i_{\sigma}$	=	=	=	شكل (١٩-١)
$i > i_{\sigma}$	مضطرب	=	لا يوجد	شكل (٨-١)

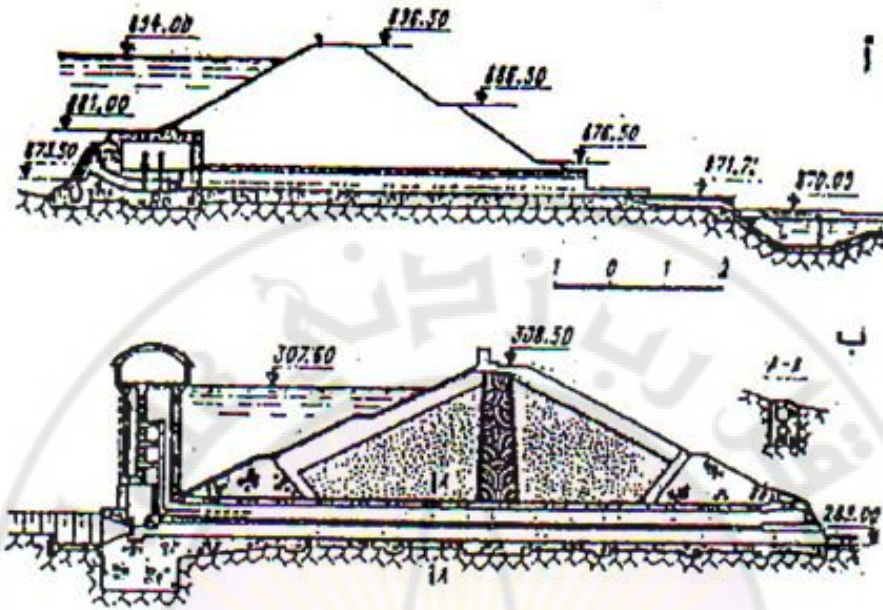
جدول (1-3) كروكي للمفيضات خلال مرحلة استثمار السد



الشكل (13-1) مصرف شاطئي سطحي أنبوبي للماء الفائض
 1-خرسانية مسلحة 2- طبقة تمهيدية خرسانية 3- حواجز رقيقة
 4- بلاطة خرسانية مسلحة على خوازيق 5- حشوة صخرية (حجارة دكة).

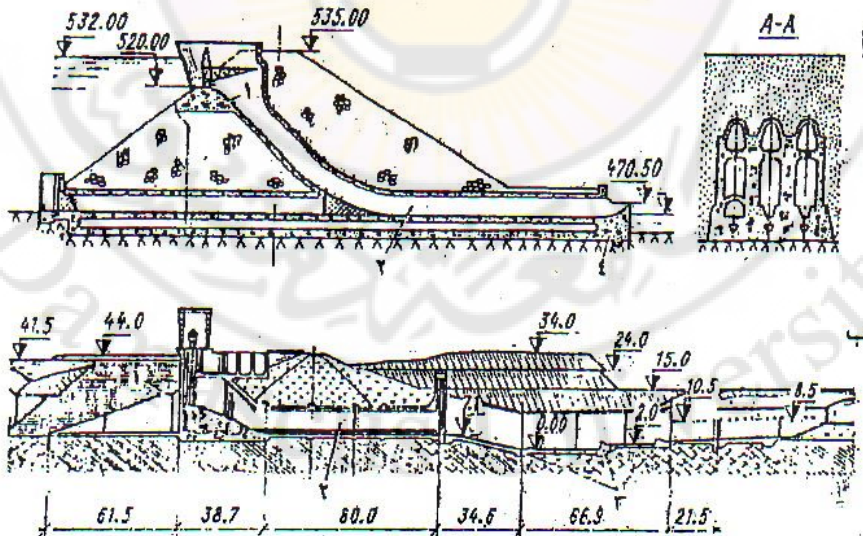


شكل (14-1) مصرف للماء المهدور ذو مواسير موضوعة في السرب
 1- السرب المائي 2- أنابيب مصرف الماء 3- ضلع التقوية والحاجز الرقيق
 4- فتحة صرف غاطسة 5- الجدار الحاجز المانع للتسرب في السد الترابي



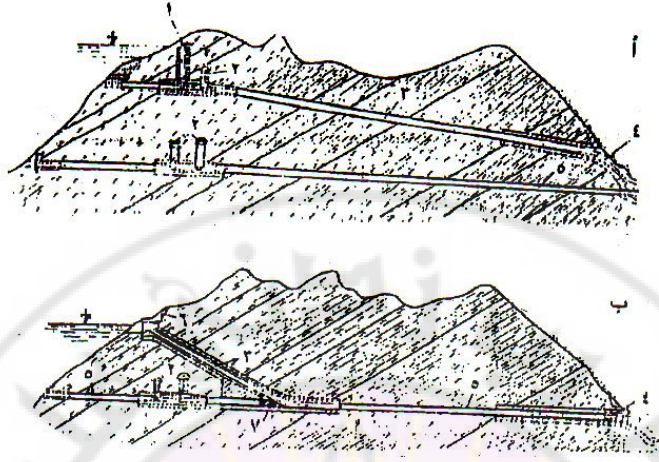
الشكل (1-15) مخارج ومآخذ الماء الماسورية

- أ- مخرج أنبوبي لبرجي ب- مخرج الماء الانبوبي وبرج الماء الخاص بشبكة الإمدادات،
موحدان في إنشاء واحد



الشكل (1-16) مصارف ماسورية للماء الفائض يقع قسمها الرئيسي في جسم السد الترابي:

- 1- مصرف الماء الطافح 2- ماسورة قاعية 3- منصة قادوسية الطرف للقفزة الهيدروليكية.



الشكل (1-17) مصارف الماء الفائض النفقية في المجمع الهيدروليكي ذو علو الضغط العالي

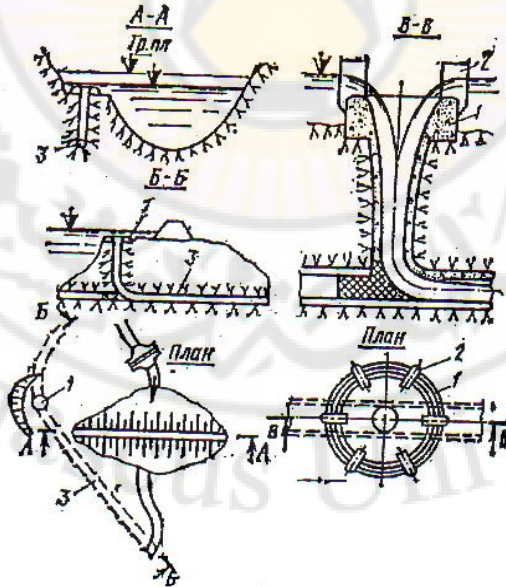
أ- مع مأخذ ماء مغمور ونفق ل طرح النفايات الإنشائية وتفريغ خزان الماء؛

ب - مع مأخذ ماء سطحي واستخدام القسم الهابط من النفق الإنشائي؛

1- الممر الرأسي للتحكم في البوابات 2- حجرات البوابات وغرف التحكم في بوابات إنفاق الطابق الأول

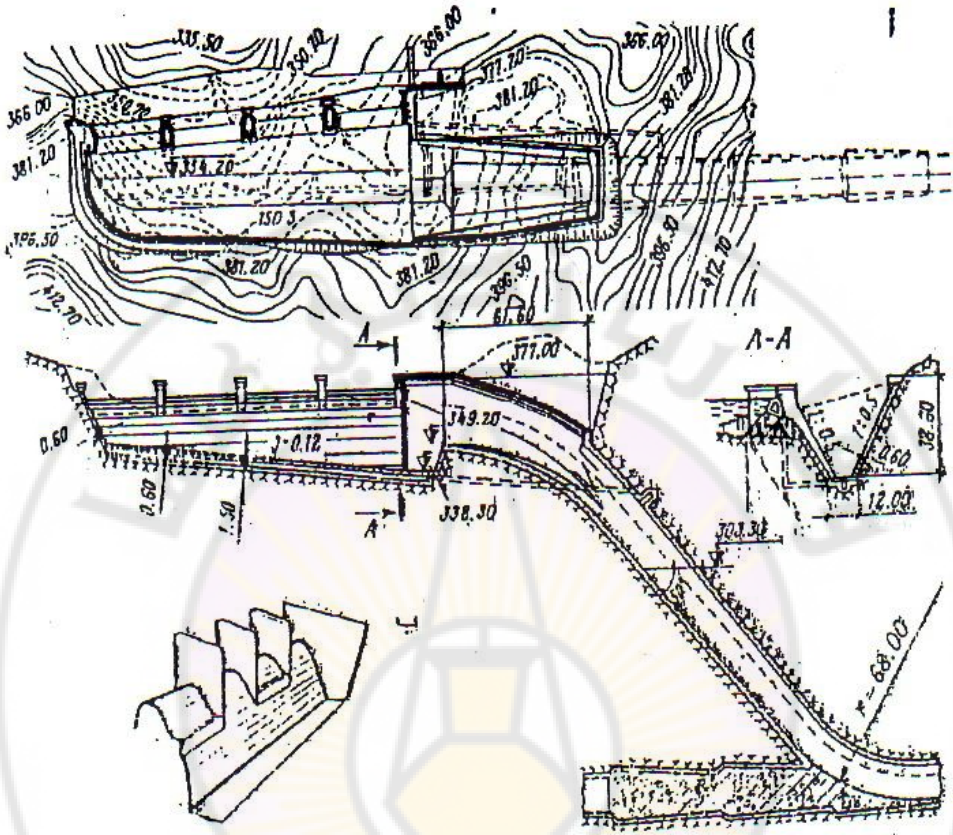
3- نفق تصريف الماء الفائض 4- القسم النهائي لنفق التصريف ؛ المصمم على هيئة مجرى مائل

5- إنفاق خاصة ل طرح النفايات الإنشائية 6- مأخذ سطحي (علوي) للماء 7 سدادة خرسانية.



الشكل (1-18) مفيض قمعي مع فتحة هدار دائري.

1 الهدار الدائري 2- ركائز توجيه 3- نفق.



الشكل (1-19) مصرف نفقي للماء الفائض ذو مأخذ للماء خندقي:

- أ- مصرف نفقي للماء الفائض ذو مأخذ خندقي يحتوي على بوابات نصف قطرية عند الهامة؛
- ب- فتحات مصرف الماء الطافح مع وجود سطح منحنى لمنع حدوث دوامات مائية في الخندق.

الفصل الثاني المفرغات

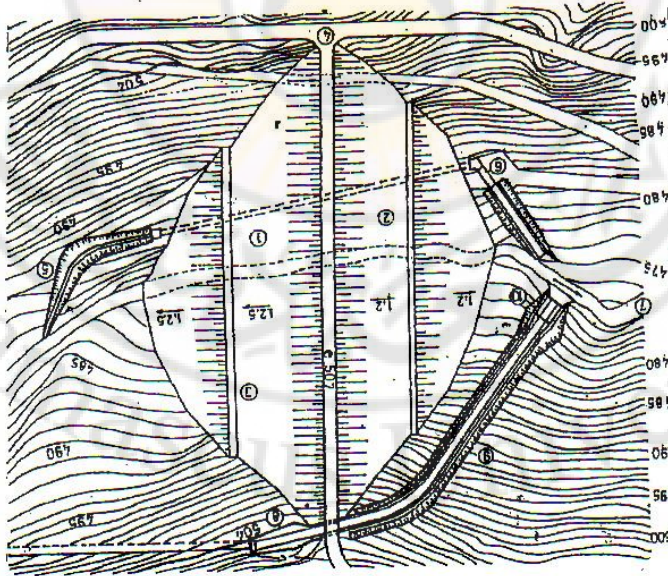
1.2 تعريف المفرغ:

هو بالتعريف منشأة ملحقة بالسد، الغاية منها تفريغ بحيرة السد، جزئياً أو كلياً، بالإضافة إلى إمرار التصاريف الخدمية إلى الحوز السفلي، كما يمكن استخدام المفرغ من أجل غسيل الحوز العلوي (بحيرة السد) من الرواسب أو المجروفات المتراكمة أمام السد.

2.2 الغاية من إنشاء المفرغ السفلي:

المفرغات يمكن أن تقوم بإحدى المهام التالية:

1. تصريف واردات المجرى المائي أثناء التنفيذ
2. تفريغ بحيرة التخزين في الحالات الطارئة
3. نقل المياه اللازمة لري الأراضي
4. تأمين التدفق اللازم لمليء بحيرة التخزين بواسطة محطات الضخ.

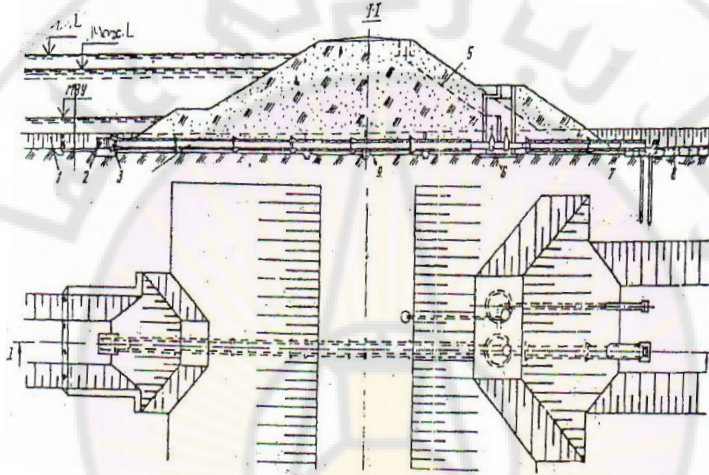


الشكل (1-2) مسقط أفقي لجسم السدج والمنشآت الملحقة به

- 1- المنحدر الأمامي
- 2- المنحدر الخلفي
- 3- مسطبة
- 4- قمة السد
- 5- مدخل المفرغ
- 6- مخرج المفرغ
- 7- المجرى المائي
- 8- مفيض خندقي
- 9- مجرى سريع
- 10 - حوض تهديئة.

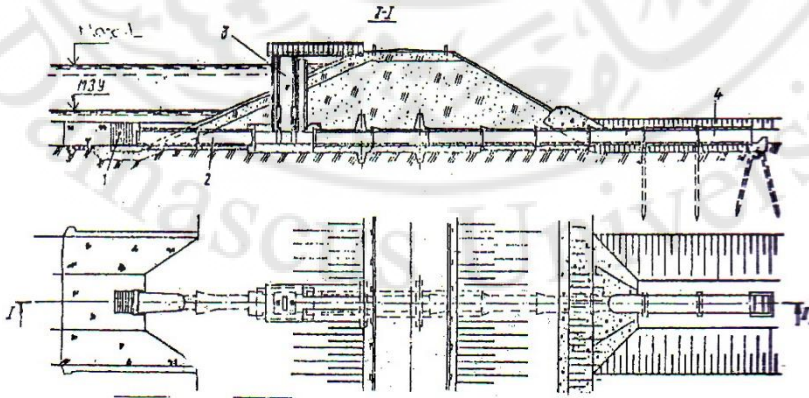
3.2 تصميم المفرغات

ينفذ المفرغ كمنشأة مستقلة أو مجتمعاً مع المفيض الشكل (2-2) و (3-2) ، وذلك تبعاً لظروف الإنشاء وبعد إجراء المقارنة التقنية الاقتصادية للاحتتمالات الممكنة. وتكون المفرغات المستقلة إما مكشوفة (غير مضغوطة)، وفي هذه الحالة غالباً ما تكون ضفافية في السدود المنخفضة الارتفاع حتى (4-6) متر أو مغلقة (مضغوطة) في جسم السد ذي الارتفاع العالي نسبياً.



الشكل (2-2) مفرغ أنبوبي

- 1- قناة جلب ماء
- 2- شبكة حماية
- 3- منشأة المدخل
- 4- الأنابيب الناقلة
- 5- أنبوب التهوية
- 6- سكرة
- 7- الجزء الأخير للأنابيب
- 8- حفرة الجرف.



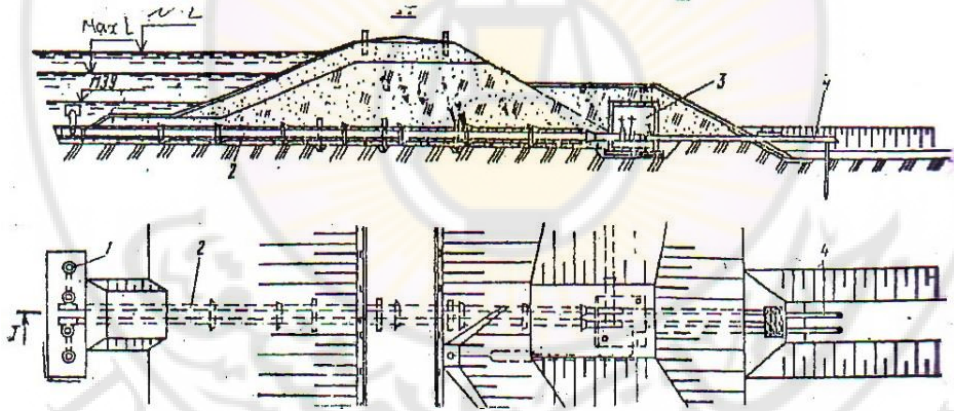
الشكل (2-3):مفرغ أنبوبي ذو برج تحكم

- 1- منشأة المدخل
- 2- الأنابيب الناقلة
- 3- برج التحكم
- 4- الجزء الأخير للأنابيب

4.2 المفرغات الأنبوبية:

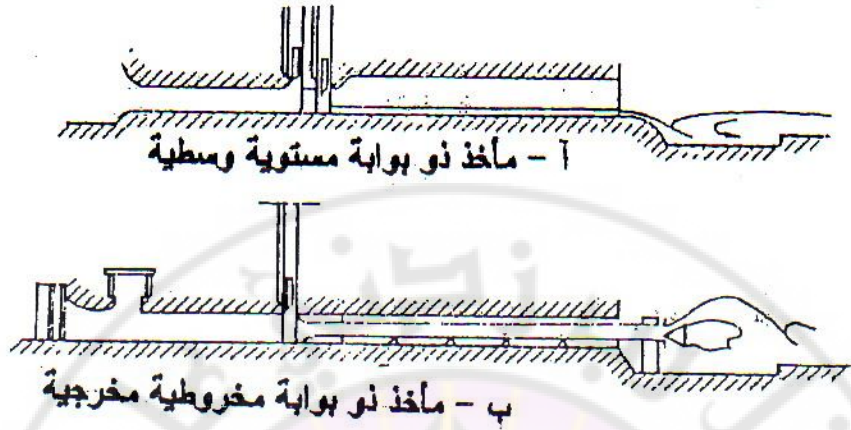
لاقت المفرغات الأنبوبية انتشاراً واسعاً في السدود الترابية المنخفضة الارتفاع لذلك أعطاها المختصون اهتماماً كبيراً وأعدوا لها تصاميم نموذجية مختلفة منها:

- (أ) مفرغ أنبوبي من الببتون المسلح بقطر $D = 0.5 \sim 0.6m$ أو من الفولاذ بقطر $D = 0.4 \sim 0.6m$ لإمرار تصريف تصميمي $Q \leq 1.5m^3/s$ ويعمل المفرغ بواسطة سكورة يدوية متوضعة ضمن بئر خاص يخترق السطح السفلي للسد كما في الشكل (4-2)
- (ب) مفرغ أنبوبي من الببتون المسلح بقطر $D = 1 \sim 1.4m$ وذلك لإمرار تصريف تصميمي $Q \leq 13m^3/sec$. يعمل المفرغ بواسطة بوابات متوضعة ضمن برج تحكم يخترق السطح العلوي للسد كما في الشكل (5-2)
- (ت) مفرغ أنبوبي متعدد الفتحات؛ يؤخذ الماء فيه إلى المستهلك من حجرة توزيع متوضعة في نهاية المآخذ في الشكل (6-2)

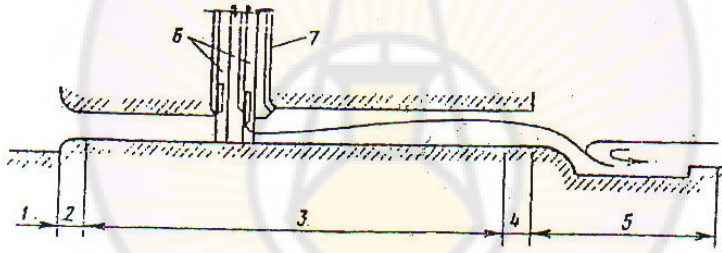


الشكل (4-2): مصرف أنبوبي مركب (مفرغ + مفيض)

1-فتحات المفيض 2- الأنايبب المغلقة 3- حجرة توزيع 4- الجزء الأخير من المصرف.



الشكل (5-2): الشكل العام للمآخذ المغلقة



الشكل (6-2)

1. قطاع جلب الماء 2- منشأة المدخل 3- الجزء الناقل 4- الجزء الأخير للمأخذ 5- الجزء الانتقالي المتصل مع المجرى الطبيعي 6- برج التحكم لتشغيل البوابات 7- بئر تهوية.

5.2 المسائل المدروسة عند تصميم المفرغات:

1.5.2 تحديد مكان إنشاء المفرغ:

يحدد مكان المفرغ، شاقولياً أو أفقياً، تبعاً للوظيفة التي سيؤديها وللظروف الجيوهندسية للموقع. وينصح أن يكون محور المفرغ مع محور السد. وأن يرتكز على دعائم تمنع ما أمكن تجاوز الهبوط التفاضلي لوصلاته إلى الحد المسموح. أما فتحة مدخله فتتوضع على منسوب يؤمن تفريغ بحيرة السد إلى الحد المطلوب. وينصح عادةً أن يقع محورها على عمق 1~1.5m تحت المنسوب الميت. أما فتحة المخرج فيكون محورها متوافقاً مع منسوب الماء في الحوز السفلي وذلك عند إمرار التصريف الأعظمي Q_{max} في المفرغ ويتحدد هذا المنسوب من المنحني البياني $V_{dol}=F(Q)$

2.5.2 تحديد قيمة التصريف التصميمي للمفرغ:

يحدد التصريف التصميمي للمفرغ من شرط تأمين تفريغ بحيرة السد حتى المنسوب المطلوب وخلال زمن محدد. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار ضرورة إمرار التصريف السطحي، (المطلوب للاستثمار في الحوز السفلي) أو التصريف الإنشائي (خلال فترة إنشاء السد) عند تعدد وظائف المفرغ يتم التصميم على التصريف الأكبر.

3.5.2 تحديد شكل وأبعاد المقطع العرضي للمفرغ:

يتم اختيار شكل المقطع العرضي للمفرغ إما إنبوبياً (المقطع دائري) أو صندوقياً (ذا مقطع مستطيل) وذلك تبعاً لمادة الإنشاء وظروف التنفيذ، أما أبعاد المقطع العرضي فتحدد من العلاقة العامة للأنابيب المضغوطة والتي تأخذ بعين الاعتبار الحالات الحسابية المختلفة بالإضافة إلى ظروف الجريان في الحوز السفلي، ثم يتم الاختيار النهائي بحيث يناسب جميع هذه الحالات، بعد تحديد أبعاد المقطع العرضي للمفرغ يتم حساب مدة تفريغ بحيرة السد.

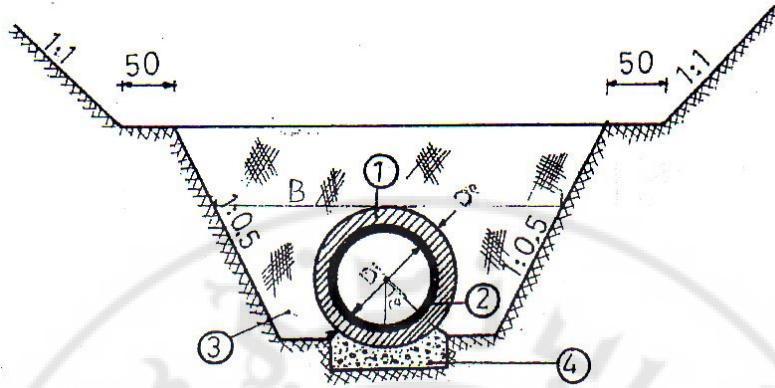
يتضمن أيضاً تصميم المفرغات حل ودراسة المسائل التالية:

- (أ) إخماد الطاقة الحركية في الحوز السفلي.
- (ب) حساب المفرغ على الضغط الستاتيكي
- (ت) حساب تأثير التسرب وخصوصاً تدرج الضغط على التربة المحيطة بالمفرغ.
- (ث) حساب توازن برج التحكم (في حال وجوده) ضد الطفو.

6.2 الحساب الهيدروليكي للمفرغ:

المعطيات مبينة على الشكل (7-2):

- سعة التصريف الأعظمية $Q_{max} \text{ m}^3/\text{se}$
- طول الأنبوب $L \text{ m}$.
- منسوب التخزين الطبيعي $H_1 \text{ m}$
- منسوب التخزين الميت $H_2 \text{ m}$
- منسوب نهاية المفرغ $H_3 \text{ m}$



الشكل (2-7): مقطع عرضي في أنبوب المفرغ السفلي

- 1- أنبوب بيتون مسلح 2- أنبوب معدني 3- ردميات من نواتج الحفر المرصوفة جداً 4- سرير بيتوني عيار C8/10

- يعطى التدفق في المفرغ بالعلاقة التالية:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (2-1)$$

A مساحة مقطع المفرغ

H الضاغط المائي بشكل وسطي ويعطي كما يلي:

$$H = \left(\frac{H1 + H2}{2} \right) - H3 \dots \dots \dots (2-2)$$

μ : معامل التصريف ويعطى بالعلاقة:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\eta_{en} + \eta_f + \eta_{ex} + \eta_{e1} + \eta_{e2} + \eta_{e3}}} \dots \dots \dots (2-3)$$

بحيث η_{en} معامل الضياع عند المدخل ويؤخذ كما يلي:

الحواف حادة: $\eta_{en} = 0,5$

الحواف مستديرة: $\eta_{en} = 0.1 \sim 0.2$

الحواف انسيابية: $\eta_{en} = 0.05 \sim 0.06$

η_f : معامل الضياع بالاحتكاك ويعطى بالعلاقة:

$$\eta_f = \frac{\lambda L}{D} \dots \dots \dots (2-4)$$

λ : معامل الاحتكاك الهيدروليكي (معامل دارسي)، ويمكن حسابه من أجل الأنابيب

الدائرية التي أقطارها $d \leq 4m$ من علاقة بافلوفسكي:

$$\lambda = 8. g. n^2. \left(\frac{4}{d}\right)^{3(\sqrt{n})} \dots \dots \dots (2 - 5)$$

n : أمثال الخشونة للبيتون الجيد التنفيذ (0.012~0.014) ويمكن حساب عامل الاحتكاك λ بشكل عام من العلاقة:

$$\lambda = \frac{8. g}{c^2} \dots \dots \dots (2 - 6)$$

حيث c ثابت شيزي ويعطى بالعلاقة:

$$c = \frac{1}{n} . R^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (2 - 7)$$

R : نصف القطر الهيدروليكي ويساوي $D/4$

D : قطر المفرغ بالمتر.

N : عامل الخشونة للسطح الداخلي للأنبوب ويعطى 0.012 للأنابيب الفولاذية.

η_{ex} : معامل الضياع عند المخرج ويؤخذ مساوياً للـ 1.

η_{e1} : الفاقد الموضعي الناتج عن السكورة إن وجدت.

η_{e2} : الفاقد الموضعي عند وجود فرع ثانوي على الأنبوب الرئيسي ويساوي 0.1.

η_{e3} : الضياع عند الشبك الشاقولي الموجود عند مدخل منشأة الدخول لمنع دخول العوالق والحجارة إلى المفرغ ويحدد بالعلاقة:

$$\eta_{e3} = \beta . k_1 . k_2 . \sin \alpha \dots \dots \dots (2 - 8)$$

α : زاوية ميل الشبكة على الأفق وتساوي 90 درجة عندما تكون الشبكة شاقولية.

β : عامل يؤخذ من الجدول (2-3)

k_1 : عامل يحدد من العلاقة:

$$k_1 = \left(\frac{d}{d + \alpha}\right) \dots \dots \dots (2 - 9)$$

k_2 عامل يحدد من العلاقة:

$$k_2 = \left[2.3 \times \frac{e}{\alpha} + 2.4 \times \frac{\alpha}{e} + 8 \right] \dots \dots \dots (2 - 10)$$

حيث d سماكة القضيب (السيخ) الواحد $d: 8 \sim 10mm$

a : التباعد بين قضبان الشبكة $a: 100 \sim 200mm$

e : عرض القضيب الواحد $e: 40 \sim 70mm$

ونعتمد بشكل عام عند حساب الضياع الموضعي عند الشبكة الشاقولية القيم التصميمية التالية:

$$e = 40mm, a = 100, d = 10mm$$

ومما سبق نلاحظ إن μ مرتبطة بشكل مباشر بـ D (قطر أنبوب المفرغ) وبالتالي بالتعويض بالعلاقة (2-1) نجد:

$$Q = \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH}$$

وهي علاقة بمجهول واحد هو D ومنه يمكن حساب قطر أنبوب المفرغ D .

أن تصريف أنبوب المفرغ يتعلق بالضاغط H ، ومن أجل حساب الزمن الكلي لتصريف بحيرة السد يتم تقسيم بحيرة السد إلى شرائح وفق المستويات الأفقية اعتباراً من منسوب الماء التصميمي ($H1$) وحتى منسوب قاعدة منشأة الدخول. لكل شريحة i ، سماكتها Δb يحدد الضاغط الوسطي المؤثر بين مركز الشريحة وقاعدة منشأة الدخول. وبعد ذلك يحدد حجم الماء الموجود ضمن هذه الشريحة ΔV_i وتصريف أنبوب المفرغ لكل شريحة Q_i ومنه يكون زمن تصريف كل شريحة $\Delta t = \frac{\Delta V_i}{Q_i}$ والزمن التراكمي T وبالتالي يحدد زمن تصريف بحيرة السد الكلي بالعلاقة التالية:

$$i = \frac{T}{24 \times 3600} = \frac{T}{86400} \text{ day} \leq 90 \text{ day} \dots \dots \dots (2 - 11)$$

يجب أن يحقق المفرغ الشرط السابق وإلا فإنه يجب تعديل قطر المفرغ إلى قيمة أكبر وإعادة إجراء التصميم من جديد.

يراعى في التصميم سرعة جريان الماء في المفرغ التي تحسب من العلاقة $V=Q/A$ فإذا كانت السرعة كبيرة بالنسبة للأنايب البيتونية فيجب تلبس الأنبوب من الداخل بأنبوب معدني سماكته $1cm$ وذلك منعاً لتآكل جدران الأنبوب.

7.2 الدراسة الإنشائية لأنبوب المفرغ:

أنبوب المفرغ يتكون من البيتون المسلح C16/20، صنف حديد التسليح A-I عالي المقاومة. يتوضع على السطح الداخلي للأنبوب البيتوني أنبوب فولاذي من أجل مقاومة الإجهادات الناتجة عن ضغط الماء الداخلي، ويحقق كتامة ويحمي البيتون من التآكل والحت كما أن الحديد الداخلي يشكل كوفراج داخلي عند سطح البيتون.

تحدد سماكة البيتون أنبوب المفرغ وحديد التسليح بالعلاقة مع الضاغظ الأعظمي وقطر المفرغ D ونوع الأساسات وذلك من الأبومات المختصة والقائمة على دراسة الأنابيب المضغوطة بالنظرية الحديدية:

تحدد سماكة الأنبوب الفولاذي بالعلاقة

$$\delta = \frac{P \cdot D}{2\sigma} + 0.2. \geq 8\text{mm} \dots \dots \dots (2 - 12)$$

حيث p ضغط الماء التصميمي ويساوي

$$p = \bar{p} \cdot k_u \dots \dots \dots (2 - 13)$$

\bar{p} ضغط الماء الأعظمي في الأنبوب.

k_u عامل أمان الحمولات ويساوي 1.5.

σ الإجهاد المسموح للصفائح الفولاذية 550kg/cm^2

إن مجموع الحمولات التي يتعرض لها الأنبوب تولد فيه وفي كل مقطع من مقاطعة ثلاثة جهود:

1- جهد ناظمي N -2 جهد انعطاف M -3 جهد قص T،

الدراسة تتم في ثلاث نقاط رئيسية هي:

1- قمة الأنبوب. 2- جانب الأنبوب. 3- أسفل الأنبوب.

وبشكل عام يمكن إهمال جهد القص T لأن فعاليته قليلة بالنسبة لبقية الجهود. إنقيم الإجهادات تتبع

لنوع الأساسات التي تتركز عليها الأنابيب وزاوية ارتكازها. أكثر أنواع زوايا الارتكاز هي $\theta = 45^\circ$

$\theta = 90^\circ$ ، ويبين الجدول (1-2) قيم الجهود M-N وذلك حسب زاوية الارتكاز على الأساس

والحمولات المؤثرة.

جدول 1-2 قيم الجهود الناظمية وعزم الانعطاف:

الحالة	نوع الحمولات والأساس	قيم N			قيم M		
		N_0	$N \frac{\pi}{2}$	$N\pi$	M_0	$M \frac{\pi}{2}$	$M\pi$
1	الوزن الذاتي للسيفون: حالة الأساس $\theta = 90$	0.027F	0.0250F	0.027F	0.35Fd	0.031Fd	0.028Fd
	الوزن الذاتي للسيفون: حالة الأساس $\theta = 45$	0.053F	0.250F	-0.053F	-0.051Fd	0.039Fd	0.033Fd
2	وزن الماء: حالة الأساس $\theta = 90$	0.451G	-0.068G	-0.186G	-0.035Gd	0.031Gd	-0.028Gd
	وزن الماء: حالة الأساس $\theta = 45$	-0.424G	-0.068G	-0.212G	-0.051Gd	0.039Gd	-0.033Gd
3	حمولات التربة الشاقولية : حالة الأساس $\theta = 90$	0	0.500w	0	-0.063Wd	0.063Wd	-0.063Wd
	حمولات التربة الشاقولية : حالة الأساس $\theta = 45$	0.027W	0.500W	-0.027W	-0.078Wd	0.070Wd	-0.0685Wd
4	دفع أفقي موزع بانتظام	0.500Q	0	0.500Q	0.063Qd	-0.063Qd	0.036Qd
5	دفع أفقي موزع بشكل مثلثي	0.687H	0	0.313H	0.073Hd	-0.063Hd	0.052Hd
6	حمولة داخلية	0.500pd	-0.500pd	-0.500pd	0	0	0

وبالاعتماد على الجدول السابق الذي يعطي M-N وذلك من أجل قيم زوايا ارتكاز الأنبوب على الأساس بحالتي $\phi = (45 \sim 90)$ لكل نوع من الأنواع من الحمولات

1.7.2 تحليل الحمولات المؤثرة:

يدرس المقطع الواقع تحت منتصف النواة باعتباره أخطر مقطع حيث ارتفاع الردم يكون أعظماً عند هذا المقطع، وبالنسبة لأنبوب المفرغ فهو مصنوع من الفولاذ بسماكة جدران e ومحاط بطبقة بيتونية سماكتها h وظيفتها تقليل الحمولات المطبقة على المفرغ.

القطر الخارج لأنبوب المفرغ: De

القطر الداخلي لأنبوب المفرغ: Di

القطر الوسطي: $D = (De + Di) / 2$

1.1.7.2 الوزن الذاتي للمفرغ:

يحسب في المتر الطولي من العلاقة التالية:

$$F = 2\pi \times r \times e \times \gamma_h \dots \dots \dots (2 - 14)$$

حيث γ_h الوزن الحجمي للبيتون. e سماكة الجدار الداخلي للأنبوب، r نصف القطر الوسطي

2.1.7.2 الحمولات الشاقولية للتربة:

$$W = C. \gamma. B^2 \dots \dots \dots (2 - 15)$$

γ الوزن الحجمي لتربة الردم t/m^2

B عرض الخندق عند المستوي أعلى للمفرغ . شكل (2-7):

C ثابت يحسب من العلاقة:

$$C = \frac{\left[1 - e^{\frac{1}{2k \cdot \mu \cdot H}} \right]}{2k \cdot \mu}$$

حيث $\mu = \text{tag}\theta$ زاوية الاحتكاك للردميات مع جوانب الخندق.

H : ارتفاع الردميات فوق المفرغ الشكل (2-7).

K : نسبة الضغوط الفعلية على الضغوط الشاقولية وتعطى بالعلاقة:

$$k = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

ويمكن إعطاء قيم $k\mu$ من الجدول 2-2 حسب نوع تربة الردم.

التصنيف	نوع تربة الردم	الوزن الحجمي ط/م ³	زاوية الاحتكاك للتربة	زاوية احتكاك التربة مع الأنبوب	$k\mu$
I	2	3	4	5	6
A	تربة خشنة دون رص	1.7	30~40	25~35	0.1924
B	حصى ورمل	1.9	20~35	28~30	0.165
C	تربة ناعمة رطبة	2	20~30	15~20	0.150
D	تربة غضارية	2.1	15~25	15~20	0.130
E	تربة غضارية مشبعة	2.2	10~20	10~20	0.110

3.1.7.2 الدفع الأفقي للتربة Q:

$$Q = K. W \dots \dots \dots (2 - 17)$$

K نسبة الضغوط الفعلية الأفقية على الضغط الشاقولي وتعطى بالعلاقة:

$$k = Q/w = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$$

$\mu = \tan \Phi$ معامل الاحتكاك للردميات مع جوانب الخندق، Φ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المستعملة في الردم

4.1.7.2 وزن الماء داخل الأنبوب G:

$$G = \gamma_{\theta} \frac{D_1^2}{4} \dots \dots \dots (2 - 18)$$

حيث: γ_{θ} الوزن الحجمي للماء ويساوي 1 t/m^3

5.1.7.2 الضغط الداخلي للماء ضمن الأنبوب P: أو kg/cm^2 أو t/m^2

$$p = \gamma_w \times H_p \dots \dots \dots (2 - 19)$$

H_p الضاغط المائي عند النقطة المدروسة (m) وتعطى قيمته بالعلاقة:

$$H_p = (H_1 - H') - \sum \zeta \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2 - 20)$$

V : سرعة التيار المار عبر الأنبوب.

H_1 : منسوب تخزين المياه التصميمي.

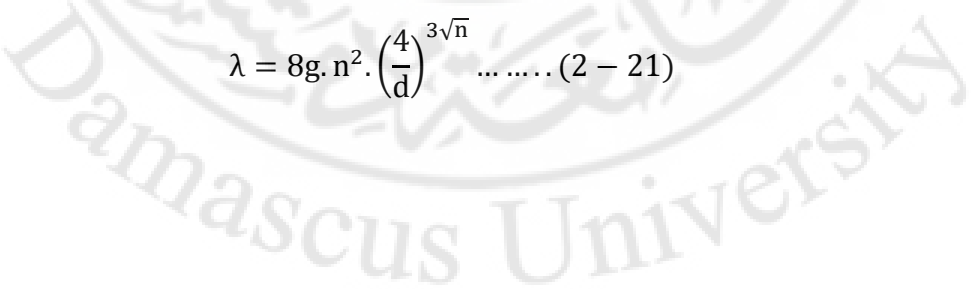
H' : منسوب أسفل بداية المفرغ

$$H_p = (H_1 - H') - \zeta_m \cdot \frac{V^2}{2g} - \zeta_f \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$\zeta_m = 0.5$ الضياعات الموضعية عند المدخل، ζ_f الضياعات الطولية $\zeta_f = \lambda L/d$

L طول الأنبوب من بداية المقطع وحتى المقطع المدروس.

$$\lambda = 8g \cdot n^2 \cdot \left(\frac{4}{d}\right)^{3\sqrt{n}} \dots \dots \dots (2 - 21)$$



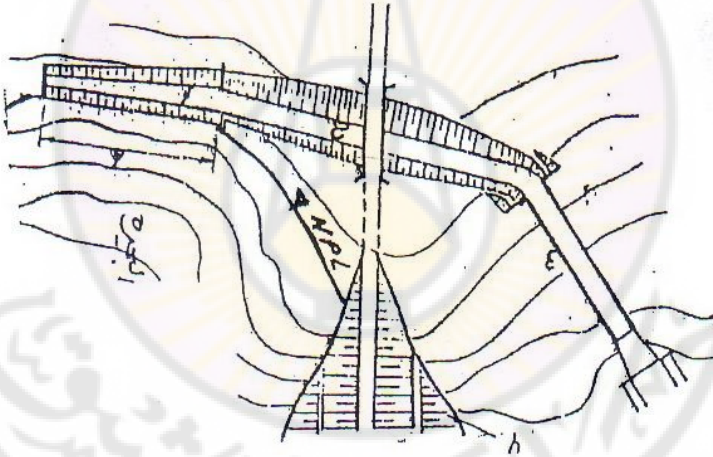
الفصل الثالث

المفيض الخندقي

1.3 المفيض الخندقي:

تعريف: هو مفيض ضفافي مفتوح يستقبل الماء جانبياً ويتألف المفيض الخندقي من الأقسام التالية:

1. هدار عريض العتبة أو هدار ذو مقطع عملي.
2. خندق يتدفق منه المياه العابرة وهو متغير المقطع باتجاه الجريان.
3. قناة وصل.
4. مجرى سريع أو مدرج شلالي ينتهي حوض التهدئة لتخميد الطاقة الحركية



الشكل (1-3) مخطط للمفيض الخندقي

1- هدار مع خندق 2- قناة انتقالية (وصل) 3- مجرى سريع مع حوض تهدئة 4- جسم السد.

2.3 الهدار في المفيض الخندقي:

يمكن أن يصرف المفيض الخندقي تدفق الفيضان أوتوماتيكياً حيث منسوب قمة الهدار هو منسوب التخزين الطبيعي في البحيرة. ويمكن أن يزود الهدار بركائز مع بوابات. النوع الأول يمكن أن يصل طوله إلى 150m والضاغط أعلاه 1.5 m وذلك في حالة التدفق حوالي $500 \text{ m}^2/\text{sec}$ ، أما المفيضات المنظمة أي مع بوابات وسكورة يمكن أن يصل تدفق التصريف إلى $2000 \text{ m}^2/\text{sec}$. ويتم تحديد طول الهدار وبالتالي الخندق حسب قيمة H المسموحة

ويعطى طول الخندق بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{Q}{m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^2}} \dots \dots \dots (1-3)$$

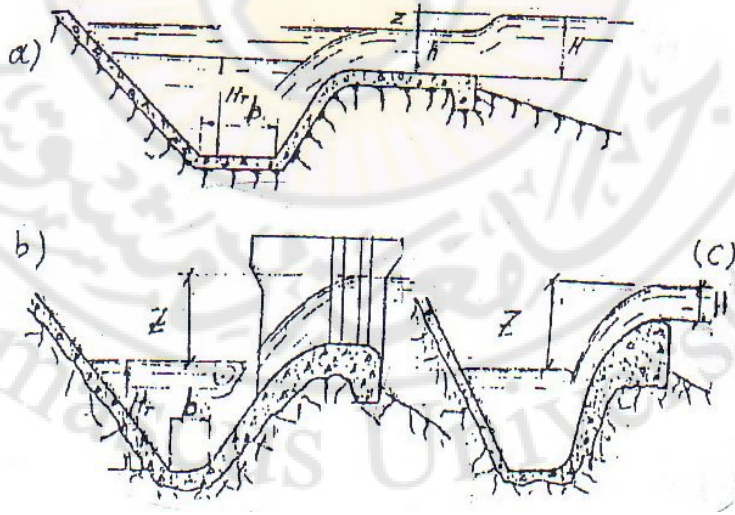
m : معامل التصريف وتختلف قيمته حسب نوع الهدار وطبيعة عمله، أي أن m تتبع إلى ظروف دخول الماء إلى الهدار بشكل (2-3)

- حالة هدار عريض العتبة. شكل (a-2-3). $m=0.36$.
- حالة هدار ذو مقطع عملي $m=0.49$, $m=0.48$ حسب نموذج كغرايغر A,B شكل (b-2-3).
- حالة هدار مع فاكيوم $m=0.54 \sim 0.56$ شكل (c-2-3).

b : عرض جبهة الهدار لفتحة واحدة (في حالة وجود عدة فتحات نستبدل b ب B والتي تساوي $B = \sum b$)

H : الضاغط المائي فوق عتبة الهدار.

Q : التصريف المار عبر الهدار.



شكل (3-2) مقاطع المفيض الخندقي حسب نوع الهدار

3.3 الحساب الهيدروليكي للخندق:

يتضمن الحساب الهيدروليكي تحديد طول عتبة الهدار وأبعاد الخندق، ويمكن أن يتم الحساب بعدة طرق ولكن أكثر الطرق شيوعاً هي طريقة الفروق الحدية، حيث يتم بهذه الطريقة تقسيم الخندق طولياً إلى عدة أقسام، ومن أجل كل قسم وانطلاقاً من التدفق والعرض المعطى عند القاع يتم إيجاد الأبعاد الأخرى للتيار والمنشأة.

يتم الحساب بالأخذ بعين الاعتبار الفرضية التالية: اعتبار سرعة التيار على طول الخندق ثابتة لا تؤثر على طبقات الترسية للجدران والقاع.

خطوات الحل:

1. تحديد قيمة السرعة الوسطية المسموحة للتيار في الخندق وفق العلاقة:

$$V_t = 0.95 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \dots \dots \dots (2 - 3)$$

2. الفرق في منسوب الماء في الحوز العلوي للهدار ومنسوب الماء في الخندق.

3. تحديد مساحة المقطع الحي للتيار في كل مقطع وفق العلاقة:

$$W_n = \frac{Q_{xn}}{V_t} \dots \dots \dots (3 - 3)$$

Q_{xn} تدفق الماء في المقطع المدروس m^3/sec ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{xn} = m \cdot X_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^3} \dots \dots \dots (4 - 3)$$

m : معامل تصريف الهدار.

X_n : المسافة بين بداية الخندق حتى المقطع المذكور ويقدر بـ m .

H : الحمولة المائية فوق عتبة المفيض يقدر بـ m (الضاغط).

4. تعطى قيم لعرض الخندق في بدايته b_0 ونهايته b_k ويحسب في كل مقطع

عرض الخندق وارتفاع الماء فيه بالعلاقات التالية:

$$b_n = b_0 + (b_k - b_0) \frac{X_n}{L} \dots \dots \dots (5 - 3)$$

$$h_n = 1/2m(\sqrt{b_n^2 + 4mA_n} - b_n) \dots \dots \dots (6 - 3)$$

حيث:

b_n : عرض الخندق في المقطع المدروس ويقدر بـ m .

M : ميل منحدر الجدار المواجه لعتبة الهدار.

L : طول الخندق ويساوي طول عتبة الهدار.

h_n : ارتفاع الماء في المقطع المدروس يقدر بـ m .

5. يحسب نصف القطر الهيدروليكي في كل مقطع بالعلاقة:

$$R_n = \frac{W_n}{b_n + 2 \cdot h_n \cdot \sqrt{1 + m^2}} \dots \dots \dots (7 - 3)$$

6. يحدد الميل الهيدروليكي في كل مقطع ثم القيمة الوسطية النهائية من العلاقات التالية:

$$I = \frac{V_1^2 * n^2}{R^3} \dots \dots \dots (8 - 3)$$

$$I_{cp} = \frac{(I_n + I_{n+1})}{2} \dots \dots \dots (9 - 3)$$

حيث:

n معامل الخشونة (من أجل خندق بيتوني $n=0.02$) ومنه يتم حساب القيمة النهائية للميل النهائي.

7. يحدد مقدار الضياع في الضاغط بين المقاطع بالعلاقة التالية :

$$Z_w = I_{cp} \times L_n \dots \dots \dots (10 - 3)$$

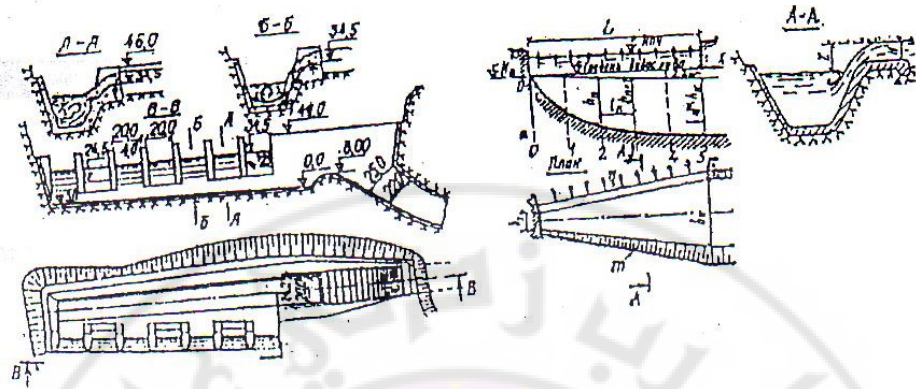
حيث : L_n المسافة بين المقاطع المدروسة تقدر بـ m .

7- تحسب مناسيب سطح الماء للتيار ومنسوب الخندق في كل مقطع بالعلاقات التالية:

$$N_n = N_0 - \sum Z_w \dots \dots \dots (11 - 3)$$

$$N_d = N_n - h_n \dots \dots \dots (12 - 3)$$

حيث: N_0 منسوب الماء في بداية الخندق. والشكل (3-3) يوضح الحساب.

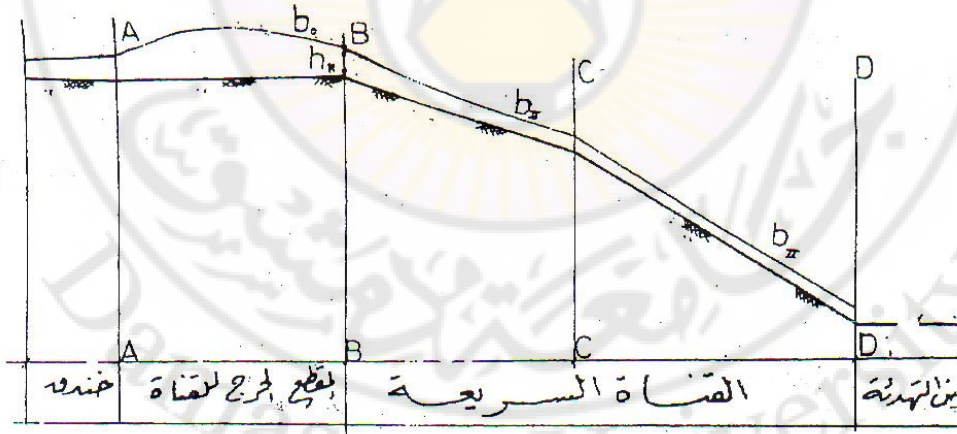


الشكل (3-3) مخطط للحساب الهيدروليكي للخندق

مفرغ خندقي مع أنف على سد هدار سرعة الجريان ثابتة على طوله لإخماد الحركة اللولبية
1 و 2.....5 أرقام المقاطع

4.3 حساب وتصميم القناة (المجرى السريع):

يتم اختيار الميول الطولية للقناة مع أطوال أجزائها بحيث تتناسب وتوافق المسار الذي تم اختياره على سطح الضفة. وتساير الوضع التضاريسي للمنطقة المارة فيها وبحيث تحقق الغاية المنشودة.



الشكل (3-4) مقطع طولي في القناة.

1.4.3 حساب العمق الحرج:

يحسب من العلاقة التالية:

$$\frac{\alpha \cdot Q^2}{g} = \frac{W_k^2}{B_k} \dots \dots \dots (13 - 3)$$

α : عامل تصحيح الطاقة الحركية حيث $\alpha=1$

Q : تدفق المقطع.

g : تسارع الجاذبية الأرضية

W_k : مساحة المقطع المائي الموافق لـ h_k ويعطى بالعلاقة:

$$W_k = h_k(b + mh_k) \dots \dots \dots (14 - 3)$$

B_k عرض المقطع المائي من الأعلى الموافق لـ h_k ويعطى بالعلاقة:

$$B_k = b + 2m h_k \dots \dots \dots (15 - 3)$$

2.4.3 حساب العمق النظامي:

يحسب العمق النظامي لكل جزء من القناة وفق علاقة (شيزي)

$$Q = A \cdot C \sqrt{RI} \dots \dots \dots (16-3)$$

C معامل شيزي ويعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{1}{n} R^6 \dots \dots \dots (17-3)$$

R نصف القطر الهيدروليكي ويعطى بالعلاقة:

$$R = \frac{A}{X} \dots \dots \dots (18-3)$$

X المحيط المبلول للمقطع ويعطى بالعلاقة:

$$X = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \dots \dots \dots (19-3)$$

l : الميل الطولي للقناة في جزئها المدروس.

A : مساحة المقطع المائي بـ m^2 حيث: $A = h(b + mh)$

n : معامل خشونة البيتون.

وبتبديل قيم X, R, C في العلاقة (16-3)، نحصل على العلاقة التالية:

$$Q = \frac{1}{n} X^{-2/3} \cdot A^{5/3} \cdot I^{1/2}$$

أو

$$Q = \frac{1}{n} (b + 2h_0\sqrt{1+m})^{-2/3} \cdot (h_0(b + mh_0))^{5/3} \cdot I^{1/2}$$

وبالحل التجريبي للعلاقة السابقة ومن أجل قيم i الميل لكل جزء من أجزاء القناة نحصل على النتائج كما هي مدونة في الجدول (1-3).

الجدول (1-3) الأعماق النظامية لأجزاء القناة مع ميل وطول كل جزء:

رقم الجزء المدرس	الطول L m	الميل i	العمق الحرج h_k	العمق النظامي h_0
I-II				
II-III				
III-IV				
.				
.				
..				

3.4.3 تحديد ظروف الجريان في أجزاء القناة:

تحدد ظروف الجريان لكل جزء من أجزاء القناة وذلك بمقارنة العمق النظامي مع العمق الحرج لكل جزء من أجزاء القناة.

$$h_0 > h_k \text{ الجريان هادئ (نهري).}$$

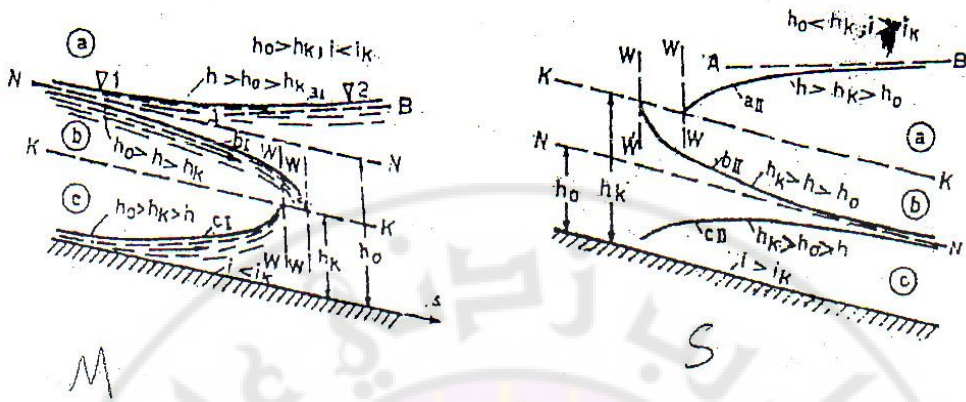
$$h_0 < h_k \text{ الجريان سريع (شلالي).}$$

$$h_0 = h_k \text{ الجريان حرج.}$$

4.4.3 تحديد شكل السطح الحر للماء في القناة:

إن شكل السطح الحر للماء في القناة يتحدد حسب الحالات المبينة في الشكل (3-5) والتي تعطي شكل السطح الحر للماء حسب الميل i وعمق التحكم h وذلك من أجل الميل الموجب لقاع المجرى

$$. i > 0$$



الشكل (5-3): السطح الحر للماء من أجل $i < i_k$ < السطح الحر للماء من أجل $i > i_k$

أما تحديد عمق التيار في نقاط تغير الميل وفي المقاطع المختلفة على طول القناة يتم من خلال علاقة الجريان غير المنتظم في الأفنية المكشوفة ذات الميل الموجب (علاقة باخميتف)

$$\frac{iL}{h_0} = \eta_2 - \eta_1(1 - \bar{j})[\phi(\eta_2) - \phi(\eta_1)] \dots \dots \dots (20 - 3)$$

حيث i : الميل الطولي للقناة.

L طول القناة بين المقطعين المحددين.

$$\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}, \quad \eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$$

\bar{j} ثابت يحدد مواصفات المقطع الوسطي، والمقطع الوسطي هو المقطع الموافق للعمق الوسطي \bar{h} ، وتعطى كل من \bar{j} ، \bar{h} بالعلاقتين:

$$\bar{h} = \frac{1}{2}(h_1 + h_0) \dots \dots \dots (21 - 3)$$

$$\bar{j} = a \cdot i \cdot C^2 \frac{\bar{B}}{\bar{U}} \dots \dots \dots (22 - 3)$$

\bar{B} : عرض سطح الماء من الأعلى في المقطع الوسطي.

\bar{U} : المحيط المبلول للمقطع الوسطي.

C : ثابت شيزي.

a : عامل الطاقة الحركية. $a=1$

ومن أجل مقطع شبه منحرف يكون:

$$\bar{B} = b + 2 \cdot m \cdot \bar{h}$$

b : عرض المقطع من الأسفل.

m : معامل ميل جوانب المقطع.

$$\bar{U} = b + 2\bar{h}\sqrt{1 + m^2}$$

\bar{R} : نصف القطر الهيدروليكي للمقطع.

$$\bar{C} = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{A}}{\bar{U}}$$

\bar{A} : مساحة المقطع الوسطي للتيار وبحسب من العلاقة: $\bar{A} = \bar{h}(b + m\bar{h})$

$\emptyset(\eta)$: تابع تعطى قيمته وفقاً للجدول (3-1) وذلك تبعاً لـ η والدليل الهيدروليكي

X الذي يعطى بالعلاقة:

$$X = 2 \frac{\text{Log} \bar{k} - \text{Log} k_0}{\text{Log} \bar{h} - \text{Log} h_0} \dots \dots \dots (23 - 3)$$

حيث \bar{k} : معامل التصريف الموافق للعمق الوسطي \bar{h} لكل جزء من القناة ويعطى بالعلاقة:

$$\bar{K} = \bar{A} \cdot \bar{C} \cdot \sqrt{\bar{R}} \dots \dots \dots (24 - 3)$$

K_0 : معامل التصريف الموافق للعمق النظامي h_0 ، وبحسب بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$K_0 = A_0 \cdot C_0 \cdot \sqrt{R_0}$$

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{I}}$$

Q : التصريف المار في القناة. m^3/sec .

I : الميل الطولي للقناة في الجزء المدروس

ولتسهيل الحسابات ننظم الجدول (3 - 2)، الذي يبين مواصفات المقطع الوسطي والنظامي لكل جزء من أجزاء القناة اللازمة لتحديد شكل السطح الحر للماء، ولتحديد أعماق التيار في المقاطع المختلفة:

يبين الجدول (3-2) مواصفات المقطع الوسطي والنظامي لكل جزء من أجزاء القناة:

الجزء المدرس	h m	A m	U m	R m	C	K m ³ /sec	K ₀ m ³ /sec	B m	J	X
I-II										
II-III										

وبمعرفة قيم X ، η نوجد $\emptyset(\eta_1)$ من الجدول (3-3)، وبتطبيق علاقة باخميتف نوجد $\emptyset(\eta_2)$ وبالتالي η_2 ، ومنه قيمة h_2 وهو العمق في نهاية القسم المدروس. وبعد ذلك يتم حساب أعماق التيار في المقاطع المختلفة على طول أجزاء القناة وكذلك حساب المسافات الموافقة لها، وبالاعتماد على العلاقة (3-20)، وبفرض قيم مختلفة لـ h محصورة بين قيم عمق التيار في بداية ونهاية الجزء المدروس و L الموافقة للعمق المفروض، حيث h عمق التيار المائي في المقطع المدروس و L المسافة مأخوذة اعتباراً من بداية الجزء المدروس (m).

5.3 الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة الحركية:

في جميع الأحوال لا يسمح بأن تنشأ خلف المنشأة قفزة مائية غير مغمورة لأن ذلك يؤدي إلى اهتراء أرضية المجرى وعدم استقرار كامل المنشأة، لذلك يجب وضع الحلول الإنشائية الملائمة لإخماد الطاقة وجعل القفزة المائية مغمورة وهناك عدة حلول نذكر منها:

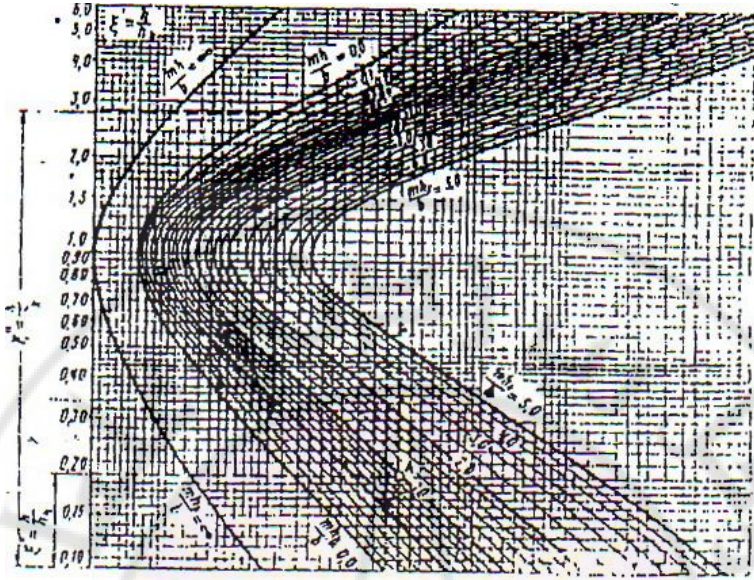
1. إنشاء حوض التهدئة.
2. جدار بيتوني يعترض الجريان المائي.
3. مخمدات بيتونية (كتل مختلفة الأشكال الهندسية تتوضع بشكل شطرنجي).
4. ويمكن استخدام حلين مع بعضهما البعض من الحلول المذكورة سابقاً.

1.5.3 تصميم حوض التهدئة:

الهدف من إنشاء حوض التهدئة إخماد الطاقة الحركية الكبيرة للتيار والمتشكلة في القناة السريعة بسبب الانحدار الشديد. ويتضمن تصميم حوض التهدئة تحديد عمقه d وطوله L_k وسماكته e .

أ- إذا كان $h_0 > h_k$ فسوف تتشكل قفزة مائية. نفرض العمق المرافق الأول لهذه القفزة يساوي عمق التيار في نهاية القناة أما العمق المرافق الثاني يتم تحديده اعتماداً على المخطط البياني

الشكل (3-6)



الشكل (3-6) المخطط البياني لتحديد عمقي القزة المائية في قناة مقطوعها شبه منحرف
ويطلب استخدام الجدول معرفة النسب التالية:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_1 = \frac{h}{h_k} \\ \frac{m \cdot h_k}{b} \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_2 = \frac{h''}{h_k} \Rightarrow h'' = \xi_2 \cdot h_k$$

ب- $h'' < h_0$ ⇔ القفزة المدفوعة، وهنا يجب أن نصمم حوض تهدئة للإخماد الطاقة الحركية وذلك لغمر القفزة. أن عمق الماء في الحوض التهدئة يجب أن يؤمن غمر القفزة بدرجة غمر σ ويصبح العمق المرافق للقفزة ($\xi = \sigma \cdot h''$).

2.5.3 مراحل التصميم:

1. نحدد العمق الأولي للحوض من العلاقة:

$$d = h'' - h_0 \dots \dots \dots (25 - 3)$$

2. نحدد العمق التصميمي لحوض التهدئة من العلاقة:

$$d = \xi - h_0 - \Delta z \dots \dots \dots (26 - 3)$$

h_0 : العمق النظامي في المجرى المائي.

Δz : الهبوط في سطح الماء الحر للتيار المائي عند الخروج من حوض التهدئة ويحسب

بالعلاقة:

$$\Delta z = \frac{a \cdot q^2}{2g \cdot \varphi^2 \cdot h_0^2} - \frac{a \cdot q^2}{2g \cdot t^2} \dots \dots \dots (27 - 3)$$

q: التدفق النوعي في واحدة الطول من مقطع القناة ويحسب من العلاقة التالية:

$$q = \frac{Q}{b + m \cdot h} \dots \dots \dots (28 - 3)$$

3. يعطى طول حوض التهدئة في حال عدم استخدام مخمدات بالعلاقة التالية:

$$L_k = (1 \sim 1.25)L_n \dots \dots \dots (29 - 3)$$

L_n : طول القفزة الهيدروليكية ويعطي بالعلاقة التالية:

$$L_n = (5 \sim 6)(h'' - \acute{h}) \dots \dots \dots (30 - 3)$$

يمكن تخفيض طول حوض التهدئة باستخدام مخمدات وعندئذ:

$$L_k = 0.8L_n \dots \dots \dots (31 - 3)$$

4. سماكة حوض التهدئة:

$$e = \left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12} \right) L_k \dots \dots \dots (32 - 3)$$

$$e = 0.15V_c \sqrt{h_c} \dots \dots \dots (33 - 3)$$

حيث V_c و h_c عمق وسرعة التيار المائي في المقطع المضغوط أي عند التقاء القناة مع أرضية حوض التهدئة.



جدول (3-3)، قيم التابع $\Phi(\eta)$ في حالة الميل الموجب لقاع القناة $\lambda > 0$ من أجل قيم مختلفة للدليل الهيدروليكي X .

η	2.00	2.50	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.50	5.00	5.50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.15	0.151	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
0.20	0.202	0.201	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.25	0.255	0.252	0.251	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
0.30	0.309	0.304	0.302	0.301	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.35	0.365	0.357	0.354	0.352	0.351	0.351	0.351	0.351	0.350	0.350
0.40	0.423	0.411	0.407	0.404	0.403	0.403	0.402	0.401	0.400	0.400
0.45	0.484	0.468	0.461	0.458	0.456	0.455	0.454	0.452	0.451	0.450
0.50	0.549	0.527	0.517	0.513	0.510	0.508	0.507	0.504	0.502	0.501
0.55	0.619	0.590	0.575	0.570	0.566	0.564	0.561	0.558	0.554	0.552
0.60	0.693	0.657	0.637	0.630	0.624	0.621	0.617	0.610	0.607	0.605
0.61	0.709	0.671	0.650	0.642	0.636	0.632	0.628	0.621	0.618	0.615
0.62	0.725	0.685	0.663	0.654	0.648	0.644	0.640	0.632	0.629	0.626
0.63	0.741	0.699	0.676	0.667	0.660	0.656	0.652	0.644	0.640	0.637
0.64	0.758	0.714	0.689	0.680	0.673	0.668	0.664	0.656	0.651	0.648
0.65	0.775	0.729	0.703	0.693	0.686	0.681	0.676	0.668	0.662	0.659
0.66	0.792	0.744	0.717	0.706	0.699	0.694	0.688	0.680	0.674	0.670
0.67	0.810	0.760	0.731	0.720	0.712	0.707	0.700	0.692	0.686	0.681
0.68	0.829	0.776	0.746	0.734	0.725	0.720	0.713	0.704	0.698	0.692
0.69	0.848	0.792	0.761	0.748	0.739	0.733	0.726	0.716	0.710	0.704
0.70	0.867	0.809	0.776	0.763	0.753	0.746	0.739	0.728	0.722	0.716
0.71	0.887	0.826	0.791	0.778	0.767	0.760	0.752	0.741	0.734	0.728
0.72	0.907	0.843	0.807	0.793	0.781	0.774	0.766	0.754	0.747	0.740
0.73	0.928	0.861	0.823	0.808	0.796	0.788	0.780	0.767	0.760	0.752
0.74	0.950	0.880	0.840	0.823	0.811	0.802	0.794	0.780	0.773	0.764
0.75	0.972	0.899	0.857	0.839	0.827	0.816	0.808	0.794	0.786	0.776
0.76	0.996	0.919	0.874	0.855	0.843	0.832	0.823	0.808	0.799	0.788
0.77	1.020	0.939	0.892	0.872	0.860	0.848	0.838	0.822	0.812	0.801
0.78	1.045	0.960	0.911	0.890	0.877	0.865	0.854	0.837	0.826	0.814
0.79	1.071	0.982	0.930	0.908	0.895	0.882	0.870	0.852	0.840	0.828
0.80	1.098	1.006	0.950	0.927	0.913	0.900	0.887	0.867	0.854	0.842
0.81	1.127	1.031	0.971	0.947	0.932	0.918	0.904	0.882	0.869	0.857
0.82	1.156	1.056	0.993	0.968	0.951	0.937	0.922	0.898	0.884	0.872
0.83	1.188	1.082	1.016	0.990	0.971	0.956	0.940	0.915	0.900	0.888
0.84	1.221	1.110	1.040	1.013	0.992	0.976	0.960	0.933	0.917	0.904
0.85	1.256	1.139	1.065	1.037	1.015	0.997	0.980	0.952	0.935	0.921
0.86	1.293	1.170	1.092	1.062	1.039	1.019	1.002	0.972	0.953	0.938
0.87	1.333	1.203	1.120	1.088	1.065	1.043	1.025	0.993	0.972	0.956
0.88	1.375	1.238	1.151	1.116	1.092	1.069	1.049	1.015	0.992	0.975
0.89	1.421	1.276	1.183	1.146	1.121	1.097	1.075	1.039	1.014	0.995
0.90	1.472	1.316	1.218	1.179	1.152	1.127	1.103	1.065	1.038	1.017
0.905	1.499	1.338	1.237	1.197	1.169	1.143	1.117	1.079	1.050	1.028
0.910	1.527	1.361	1.257	1.216	1.186	1.159	1.132	1.093	1.063	1.040
0.915	1.557	1.385	1.278	1.236	1.204	1.175	1.148	1.108	1.077	1.053
0.920	1.589	1.411	1.300	1.257	1.223	1.194	1.165	1.124	1.091	1.066
0.925	1.622	1.439	1.323	1.279	1.243	1.214	1.184	1.141	1.106	1.080
0.930	1.658	1.469	1.348	1.302	1.265	1.235	1.204	1.159	1.122	1.095
0.935	1.696	1.501	1.374	1.326	1.288	1.257	1.225	1.178	1.139	1.111
0.940	1.738	1.535	1.403	1.352	1.312	1.280	1.247	1.198	1.157	1.128
0.945	1.782	1.571	1.434	1.380	1.338	1.305	1.271	1.219	1.176	1.146
0.950	1.831	1.610	1.467	1.411	1.367	1.332	1.297	1.241	1.197	1.165
0.955	1.885	1.653	1.504	1.445	1.399	1.362	1.325	1.265	1.220	1.186
0.960	1.945	1.701	1.545	1.483	1.435	1.395	1.356	1.292	1.246	1.209
0.965	2.013	1.756	1.591	1.526	1.475	1.432	1.391	1.324	1.275	1.235

x	2.00	3.30	3.00	3.25	1.50	3.15	1.00	1.50	5.00	5.50
0.970	2.092	1.820	1.611	1.575	1.521	1.475	1.431	1.362	1.308	1.265
0.975	2.181	1.895	1.707	1.672	1.575	1.525	1.479	1.407	1.347	1.300
0.980	2.297	1.985	1.783	1.703	1.640	1.587	1.537	1.460	1.394	1.344
0.985	2.442	2.100	1.881	1.795	1.727	1.666	1.611	1.525	1.455	1.400
0.990	2.616	2.264	2.018	1.921	1.844	1.777	1.714	1.614	1.533	1.474
0.995	3.000	2.511	2.250	2.137	2.043	1.965	1.889	1.770	1.680	1.605
1.000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.005	2.997	2.139	1.617	1.477	1.329	1.218	1.107	0.954	0.826	0.730
1.010	2.652	1.861	1.419	1.265	1.138	1.031	0.936	0.790	0.680	0.598
1.015	2.450	1.701	1.291	1.140	1.022	0.922	0.836	0.702	0.603	0.525
1.020	2.307	1.591	1.193	1.053	0.940	0.847	0.760	0.641	0.546	0.474
1.025	2.197	1.504	1.119	0.986	0.879	0.789	0.712	0.594	0.503	0.435
1.030	2.107	1.432	1.061	0.931	0.827	0.742	0.668	0.555	0.468	0.402
1.035	2.031	1.372	1.010	0.885	0.784	0.702	0.632	0.522	0.439	0.375
1.040	1.966	1.320	0.967	0.845	0.747	0.668	0.600	0.494	0.415	0.353
1.045	1.908	1.271	0.929	0.810	0.716	0.638	0.572	0.469	0.391	0.334
1.05	1.857	1.221	0.896	0.779	0.687	0.612	0.548	0.447	0.375	0.317
1.06	1.768	1.164	0.838	0.726	0.640	0.566	0.506	0.411	0.343	0.290
1.07	1.693	1.105	0.790	0.682	0.600	0.529	0.471	0.381	0.316	0.266
1.08	1.629	1.053	0.749	0.645	0.565	0.497	0.441	0.355	0.292	0.245
1.09	1.573	1.009	0.713	0.612	0.534	0.469	0.415	0.332	0.271	0.228
1.10	1.522	0.969	0.680	0.583	0.506	0.444	0.392	0.312	0.253	0.210
1.11	1.477	0.933	0.652	0.557	0.482	0.422	0.372	0.293	0.237	0.196
1.12	1.435	0.901	0.626	0.533	0.461	0.402	0.354	0.277	0.223	0.183
1.13	1.398	0.872	0.602	0.512	0.442	0.384	0.337	0.263	0.211	0.172
1.14	1.363	0.846	0.581	0.493	0.424	0.368	0.322	0.250	0.200	0.162
1.15	1.331	0.821	0.561	0.475	0.407	0.353	0.308	0.238	0.190	0.153
1.16	1.301	0.797	0.542	0.458	0.391	0.339	0.295	0.227	0.181	0.145
1.17	1.273	0.775	0.525	0.442	0.377	0.326	0.283	0.217	0.173	0.137
1.18	1.247	0.755	0.510	0.427	0.364	0.314	0.272	0.208	0.165	0.130
1.19	1.222	0.736	0.495	0.413	0.352	0.302	0.262	0.200	0.158	0.124
1.20	1.199	0.718	0.480	0.400	0.341	0.292	0.252	0.192	0.151	0.118
1.21	1.177	0.701	0.467	0.388	0.330	0.282	0.243	0.184	0.141	0.113
1.22	1.156	0.685	0.454	0.377	0.320	0.272	0.235	0.177	0.138	0.108
1.23	1.136	0.670	0.442	0.366	0.310	0.263	0.227	0.170	0.132	0.103
1.24	1.117	0.656	0.431	0.356	0.301	0.255	0.219	0.164	0.126	0.098
1.25	1.098	0.643	0.420	0.346	0.292	0.247	0.212	0.158	0.121	0.094
1.26	1.081	0.630	0.410	0.337	0.284	0.240	0.205	0.152	0.116	0.090
1.27	1.065	0.618	0.400	0.328	0.276	0.233	0.199	0.147	0.111	0.086
1.28	1.049	0.606	0.391	0.320	0.268	0.226	0.193	0.142	0.107	0.082
1.29	1.033	0.594	0.382	0.312	0.261	0.220	0.187	0.137	0.103	0.079
1.30	1.018	0.582	0.373	0.304	0.254	0.214	0.181	0.133	0.099	0.076
1.31	1.004	0.571	0.365	0.297	0.247	0.208	0.176	0.129	0.095	0.073
1.32	0.990	0.561	0.357	0.290	0.241	0.202	0.171	0.125	0.092	0.070
1.33	0.977	0.551	0.349	0.283	0.235	0.197	0.166	0.121	0.089	0.067
1.34	0.964	0.542	0.341	0.277	0.229	0.192	0.161	0.117	0.086	0.064
1.35	0.952	0.533	0.334	0.271	0.224	0.187	0.157	0.113	0.083	0.061
1.36	0.940	0.524	0.328	0.265	0.219	0.182	0.153	0.109	0.080	0.058
1.37	0.928	0.516	0.322	0.259	0.214	0.177	0.149	0.106	0.077	0.056
1.38	0.917	0.508	0.316	0.253	0.209	0.173	0.145	0.103	0.074	0.054
1.39	0.906	0.500	0.310	0.248	0.204	0.169	0.141	0.100	0.072	0.052
1.40	0.896	0.492	0.304	0.243	0.199	0.165	0.137	0.097	0.070	0.050
1.41	0.886	0.484	0.298	0.238	0.195	0.161	0.134	0.094	0.068	0.048
1.42	0.876	0.477	0.293	0.233	0.191	0.157	0.131	0.091	0.066	0.046
1.43	0.866	0.470	0.288	0.229	0.187	0.153	0.128	0.088	0.064	0.045
1.44	0.856	0.463	0.283	0.225	0.183	0.150	0.125	0.085	0.062	0.044
1.45	0.847	0.456	0.278	0.221	0.179	0.147	0.122	0.083	0.060	0.043
1.46	0.838	0.450	0.273	0.217	0.175	0.144	0.119	0.081	0.058	0.042
1.47	0.829	0.444	0.268	0.213	0.171	0.141	0.116	0.079	0.056	0.041

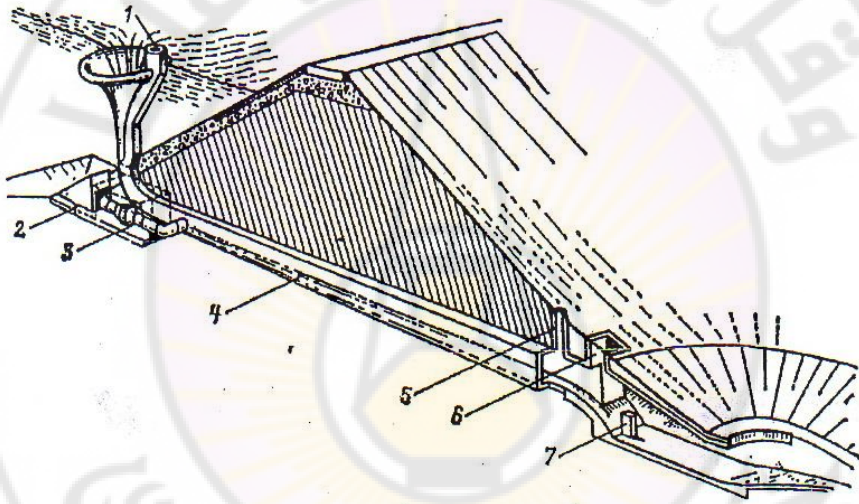
	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50
1,48	0,321	0,438	0,263	0,209	0,168	0,138	0,113	0,077	0,054	0,040
1,49	0,813	0,432	0,259	0,205	0,165	0,135	0,110	0,075	0,053	0,039
1,50	0,805	0,426	0,255	0,201	0,162	0,132	0,108	0,073	0,052	0,038
1,55	0,767	0,399	0,235	0,184	0,147	0,119	0,097	0,065	0,045	0,032
1,60	0,733	0,376	0,218	0,170	0,134	0,108	0,087	0,058	0,039	0,027
1,65	0,703	0,355	0,203	0,157	0,123	0,098	0,079	0,052	0,034	0,023
1,70	0,675	0,336	0,189	0,145	0,113	0,090	0,072	0,046	0,030	0,020
1,75	0,650	0,318	0,177	0,134	0,104	0,083	0,065	0,041	0,026	0,017
1,80	0,626	0,303	0,166	0,123	0,096	0,077	0,060	0,037	0,023	0,015
1,85	0,605	0,289	0,156	0,115	0,089	0,071	0,055	0,033	0,020	0,013
1,90	0,585	0,276	0,147	0,108	0,083	0,066	0,050	0,030	0,018	0,011
1,95	0,567	0,264	0,139	0,102	0,078	0,061	0,046	0,027	0,016	0,009
2,0	0,550	0,253	0,132	0,097	0,073	0,057	0,043	0,025	0,015	0,008
2,1	0,518	0,233	0,119	0,086	0,064	0,049	0,037	0,021	0,012	0,007
2,2	0,490	0,216	0,108	0,077	0,057	0,043	0,032	0,018	0,010	0,006
2,3	0,466	0,201	0,098	0,069	0,051	0,038	0,028	0,015	0,008	0,005
2,4	0,444	0,188	0,090	0,063	0,046	0,034	0,024	0,013	0,007	0,004
2,5	0,424	0,176	0,082	0,057	0,041	0,031	0,021	0,011	0,006	0,003
2,6	0,405	0,165	0,076	0,052	0,037	0,028	0,019	0,0095	0,0050	0,0025
2,7	0,389	0,155	0,070	0,048	0,033	0,025	0,017	0,0084	0,0045	0,0020
2,8	0,374	0,146	0,065	0,044	0,030	0,022	0,015	0,0075	0,0040	0,0015
2,9	0,360	0,138	0,060	0,040	0,027	0,020	0,013	0,0067	0,0035	0,0010
3,0	0,346	0,131	0,056	0,037	0,025	0,0185	0,0125	0,0060	0,0030	0,00075
3,5	0,294	0,104	0,041	0,026	0,017	0,0125	0,0075	0,0035	0,0020	0,00050
4,0	0,255	0,084	0,031	0,019	0,012	0,0085	0,0050	0,0020	0,0010	0,00025
4,5	0,226	0,070	0,025	0,014	0,009	0,0065	0,0035	0,0015	0,0005	0
5,0	0,203	0,059	0,020	0,010	0,007	0,0050	0,0025	0,0010	0	0
6,0	0,168	0,047	0,014	0,007	0,004	0,0030	0,0015	0,0005	0	0
8,0	0,126	0,029	0,009	0,004	0,002	0,0015	0,0010	0,0002	0	0
10,0	0,100	0,021	0,005	0,002	0,001	0,0005	0,0005	0	0	0

جامعة دمشق
 Damascus University

الفصل الرابع المفيض القمعي

1.4 تعريف:

هي منشأة تعمل على تصريف مياه الفيضان من بحيرة السد ومؤلفة من قسمين قمع ونفق وتتوضع في جسم السد الترابي كما في الشكل (1-4).



الشكل (1-4) مفيض قمعي برجى مع نفق في جسم السد الترابي 1- قناة تهوية 2- حوض استقبال عميق 3- سكر 4- نفق غير مضغوط 5-6- فتحات تنقل عبر النفق 7- مخمد.

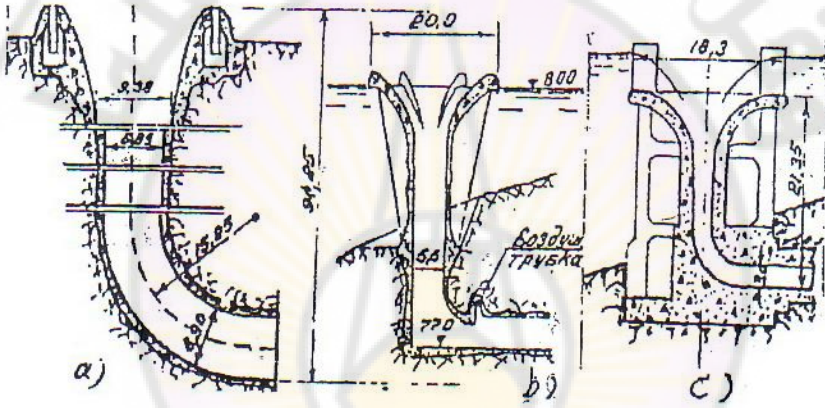
2.4 شروط استخدام منشأة المفيض القمعي:

1. وجود وديان صخرية ذات منحدرات شديدة يتعذر معها إنشاء أنواع أخرى من المصارف.
2. إمكانية استخدام قسم كبير من النفق المنشأ لتصريف التدفق أثناء الإنشاء كجزء من منشأة التصريف القمعية شكل (1-4).
3. قيمة تدفق الفيضان لا تزيد عن $5000 \text{ m}^3/\text{sec}$

3.4 أنواع المفيضات القمعية :

1- تصنيف حسب شكل القمع شكل (2-4):

- a- قمع كامل: أي كامل القمع ينشأ في الصخر ويكسى بالبيتون.
- b- قمع برجى: قسم من القمع في الصخر وقسم حر من البيتون المسلح.
- c- برجى كامل: القمع مع الكوع وقسم الوصل مع النفق تنشأ جميعها من البيتون المسلح ويستخدم هذا النوع لتصريف تدفقات $Q \leq 200 m^3/sec$ ، والضابط $H \leq 25m$



الشكل (2-4) أنواع المفيضات القمعية حسب توضع القمع في السد.

2- تصنيف حسب ظروف الاستثمار:

- منظم حيث تزود قمة القمع بسكورة مهمتها تنظيم التدفقات إلى الحوز السفلي.
- مفتوح بشكل دائم (جريان دائم عبر القمة).

4.4 عناصر منشأة المفيض القمعي:

يتألف المفيض القمعي من العناصر التالية:

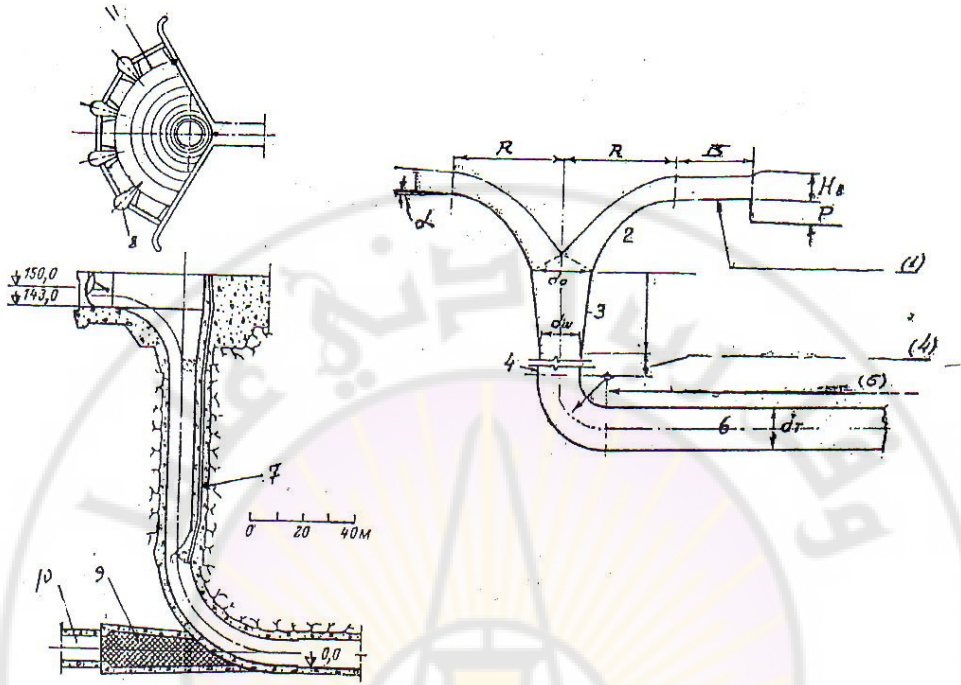
1. مدخل على شكل هدار حلقي أو نصف حلقي ويمكن أن يكون ذو قمة

مستوية.

2. قمع عبارة عن مخروط يتناقص باتجاه الأسفل.
3. منطقة انتقالية يكون فيها المقطع مملوء بالماء ويتناقص قطرها باتجاه الأسفل حتى قيمة قطر أنبوب القمع.
4. أنبوب القمع ذو قطر ثابت.
5. كوع وصل بين أنبوب القمع والنفق.
6. نفق تصريف.
7. نفق تهوية يقع بعد كوع الوصل.

5.4 شروط تصميم المفيض القمعي:

- 1- منشأة القمع بدون سكورة عند القمة. يؤخذ الضاغظ فوق القمة بحدود $1 \sim 2m$ ومع سكورة بحدود $4 \sim 5m$
- 2- طول القمة المستوية $B = 0.4 \sim 0.5 R$ مع زاوية ميل على الأفق $\alpha = 6^\circ \sim 9^\circ$ ، شكل (3-4).
- 3- السرعة في النفق المضغوط وأنبوب القمع يجب ألا تزيد عن القيم التالية:
 - إذا كان المفيض مبني في الصخر ومسوى بشكل ناعم وبدون تكسية $V = 30 \sim 35 m/s$.
 - المفيض مكسى بالبيتون ماركة أكثر من 300، السرعة المسموحة $V = 40 \sim 45 m/s$.
 - المفيض مكسى بالبيتون ماركة أقل من 300، السرعة $V = 30 \sim 40 m/s$.

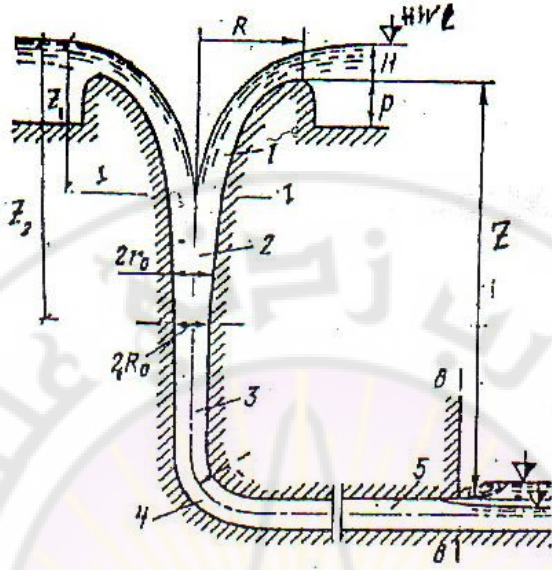


شكل (3-4) أقسام المفيض القمعي

- 1- مدخل القمع 2- القمع 3- منطقة انتقالية 4- أنبوب القمع 5- كوع وصل 6- نفق
- 7- أنبوب تهوية 8- ركيزة 9- كتلة بيتونية لإغلاق نفق تدفق البناء 10- أنبوب الصرف لتدفق
- البناء 11- مفيض قمعي نصف دائرة.

6.4 الدراسة الهيدروليكية للمفيض القمعي:

القدرة التصريفية للمفيض القمعي ذو هدار عملي شكل (4-4)



شكل (4-4) مفيض قمعي ذو هدار عملي

1- القمع 2- منطقة انتقالية 3- أنبوب القمع 4- كوع وصل 5- نفق مضغوط.

يعطى التدفق عبر المفيض بالعلاقة التالية:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot (2\pi R - nd) \sqrt{2gH}^{3/2} \dots \dots \dots (1 - 4)$$

حيث:

m : معامل التصريف ويأخذ القيم التالية:

$m = 0.36 \sim 0.38$ حالة وجود قسم دخول مستوي.

$m = 0.44 \sim 0.48$ حالة عدم وجود قسم دخول مستوي.

أي هدار ذو مقطع عملي:

R : نصف قطر القمعة.

H : الضاغط فوق عتبة الهدار.

n : عدد الركائز

d : سماكة الركيزة.

ε : معامل الانضغاط ويأخذ قيمة وسيطة $\varepsilon = 0.9$ وعند عدم وجود ركائز $\varepsilon = 1$ و

$n=0$ وفي هذه الحالة تأخذ معادلة التدفق (4-1) الشكل التالي:

$$Q = m \cdot 2\pi \cdot R \cdot \sqrt{2g} H^{3/2} \dots \dots \dots (2-4)$$

m معامل التصريف يتبع إلى النسبة H/R لذلك لتحديد قيمة R نصف قطر القمع يمكن أن نضرب

الطرف الأيمن من المعادلة (4-2) بـ $R^{3/2}$ فيكون:

$$\dots \dots \dots (3-4) R = \sqrt[5]{\left[\frac{Q}{2 \cdot m \cdot \pi \cdot \sqrt{2g} (H/R)^{3/2}} \right]^2}$$

لتأمين دخول المياه على كامل محيط القمع بشكل منتظم يجب إحاطة قمة القمع بحفرة على شكل قطع مكافئ محفورة بالصخر عمقها $f=1.75D$ شكل (4-5) وطولها يعطى بالعلاقة:

$$l = \frac{2Q}{(P + H)V} \times \frac{\varphi}{180} \dots \dots \dots (4-4)$$

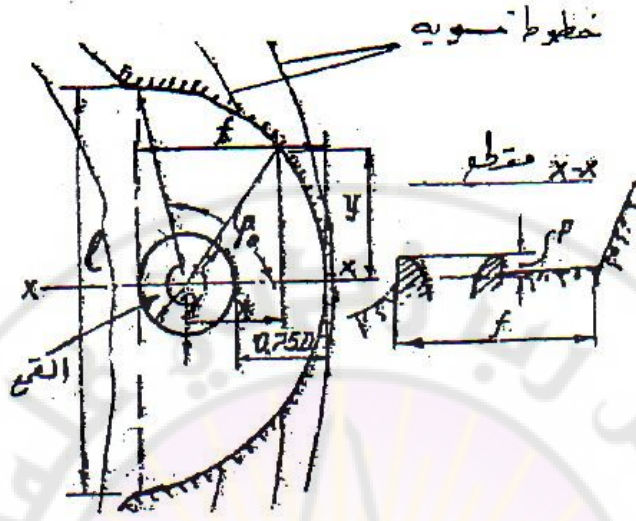
حيث:

V : سرعة الاقتراب للماء أمام القمة وتأخذ القيم التالية:

- $V=1\text{m/s}$ حالة وجود منشأة إعاقة حاجز عند القمة.

- $V=0.3\text{m/s}$ حالة عدم وجود منشأة إعاقة.

φ : الزاوية المحصورة بين المحور X والمستقيم الواصل من مركز القمع إلى نهاية الحفرة شكل (4-5).



شكل (4-5) حفرة تتوضع فيها قمة المفيض القمعي

معادلة منحنى الحفرة تعطى بالعلاقة التالية:

$$y = \frac{7D \cdot x \cdot (l - x)}{l^2} \dots \dots \dots (5 - 4)$$

عندما يكون منحنى الحفرة قطع مكافئ منشأة المفيض القمعي الدائري تعمل بطاقة تصريفية جيدة من أجل نسب مثالية l/D و P/H وعندما $f=cont=1.75D$ وفق

الجدول (4-1) الذي يبين قيم m تبعاً للنسب H/R وقيم l/D و P/H

H/R	0.2	0.3	0.4	0.5
l/D	8~6.5	6.5~5.8	6~5.4	5.7~5.3
P/H	2.6~1.9	2.2~1.65	1.9~1.4	1.6~1.15
M	0.48	0.466	0.442	0.439

حيث:

P : ارتفاع عتبة الهدار فوق أرض الحفرة شكل (4-5).

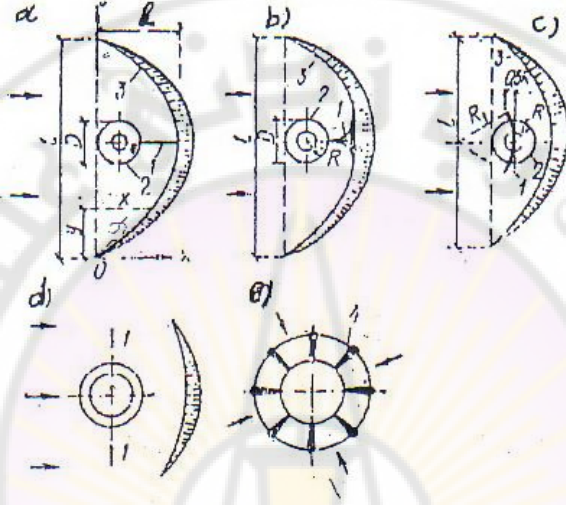
l : عرض مدخل الحوض (الحفرة)

$D=2R$ قطر القمع.

تصحيح قيم m معامل التصريف المعطاة في الجدول (4-1) إلى القيم m_p التي تعطى بالعلاقة:

$$m_p = \sigma_n \times m \dots \dots \dots (6 - 4)$$

تبعاً لنوع منشأة الإعاقة والتوجيه للماء في الحفرة شكل (4-6) وللنسبة l/D في الحفرة حيث قيم n تعطى بالجدول (4-2)



شكل (4-6) مخطط قسم الدخول للمفيض القمعي مع منشأة التوجيه.

- 1- جدار توجيه
- 2- هدار حلقي
- 3- محيط الحفر
- 4- ركائز توجيه

جدول (4-2) قيم معامل التصحيح n لقيم معامل التصريف m المعطاة بالجدول (4-1) حسب قيمة l/D ونوع منشأة التوجيه.

نوع منشأة التوجيه	قيم n حسب l/D	
	$l/D = 4$	$l/D = 8$
	0.91~0.93	0.93~0.94
	0.97~0.98	0.98~0.99
	0.96~0.99	0.97~1.00
	1.0	1.0

أبعاد الحفرة القطع مكافئ تحدد بعلاقات ب - ب " مايسا" شكل (4-6).

$$\left\{ \begin{array}{l} l = \alpha \cdot D \\ f = 1.75D \\ P = \beta H_0 \\ x = 4 \cdot y \cdot (l - y)^f / l^2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (7 - 4)$$

حيث α, β معاملات تتبع للنسبة H_0/D جدول (4-3).

$$H_0 = H + \frac{v^2}{2g}$$

الضغوط الحسابي فوق عتبة الهدار

D: قطر قمع الهدار.

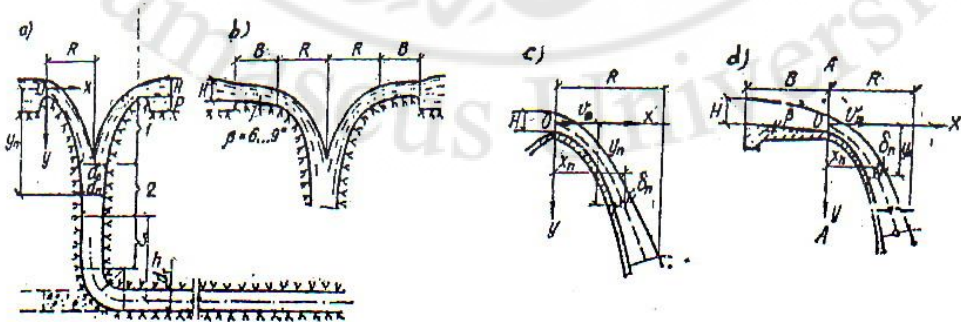
P: ارتفاع قمة الهدار عن أرضية الحفرة شكل (4-5).

جدول (4-3) قيم α, β تبعاً لـ H_0/D :

H_0/D	α	β
0.1	8~6.5	2.6~1.9
0.15	6.5~5.8	2.2~1.6
0.2	6~5.4	1.9~1.4
0.25	5.7~5.3	1.6~1.15

1.6.4 رسم منحنى القمع طريقة آن-آخوتين:

منحنى هدار القمع يؤخذ بشكل عام على هيئة قطع مكافئ وبشكل انسيابي يتصل القمع مع الأنبوب وذلك عن طريق التضايق بالقطر في منطقة انتقالية شكل (4-7a)، درجة الانضغاط (التضايق) يجب أن لا تؤدي إلى انقطاع بالتيار المائي. مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الجريان.



شكل (4-7) المخطط الحسابي للمفيض القمعي ذو المقطع الدائري.

1- القمع 2- منطقة انتقالية 3- الأنبوب القمعي ذو مقطع ثابت.

نصف قطر الهدار الدائري في المفيض يعطى بالعلاقات التالية:

أ- عند عدم وجود ركائز توجيه في القمة:

$$R = \frac{Q}{2. \pi. m_p. \sqrt{2gH_0}^{3/2}} \dots \dots \dots (8 - 4)$$

ب- حالة وجود ركائز

$$R = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{Q}{\varepsilon \cdot m_p \sqrt{2gH_0}^{3/2}} + nd \right) \dots \dots \dots (9 - 4)$$

حيث m_p : معامل التصريف.

$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2.g}$ (H الضاغط V_0 سرعة دخول الماء إلى القمة).

ε : معامل الانضغاط.

n : عدد الركائز.

d : سماكة الركيزة.

منحني اللسان المائي هو قطع مكافئ. ونميز حالتين:

أ- هدار ذو مقطع عملي شكل (4-7-4):

$$Y_n = \frac{gX_n^2}{2V_r^2} \dots \dots \dots (10 - 4)$$

حيث V_r : السرعة الوسطية عند بداية القمع، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_r = \frac{Q}{2. \pi. R. 0,75. H} \dots \dots \dots (11 - 4)$$

ب- هدار مع عتبة عريضة شكل (4-7-4):

$$Y_r = \frac{gX_n^2}{2. \pi. R. 0,65. H} \dots \dots \dots (12 - 4)$$

حيث V_r : السرعة الوسطية عند بداية القمع، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_r = \frac{Q}{2. \pi. R. 0,65. H} \dots \dots \dots (13 - 4)$$

β : زاوية ميل قسم الدخول مع الأفق وتأخذ القيم $6^\circ \sim 9^\circ$

سرعة التيار في أي نقطة من اللسان المائي تعطى بالعلاقة التالية:
حالة أ:

$$V_n = \sqrt{V_r^2 + 2g. y_n} \dots \dots \dots (14 - 4)$$

حالة ب:

$$V_n = \sqrt{V_r^2 + 2g. y_n + \sin\beta \cdot \sqrt{2g. y_n}} \dots \dots \dots (15 - 4)$$

سماكة اللسان المائي عند أي نقطة y_n تعطى بالعلاقة التالية:

$$\delta_n = \frac{Q}{2. \pi(R - x). V_n} \dots \dots \dots (16 - 4)$$

- لرسم منحنى الهدار ننظم الجدول التالي:

x_n	Y_n	V_n	δ_n
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

ننشأ في كل نقطة محسوبة بالجدول شاقول على خط محور اللسان الساكن شكل (-4) ونحدد عليه $0.5 \delta_n$ من الطرفين. الحد السفلي هو سطح القمع أما الحد العلوي فهو سطح اللسان المائي.

ملاحظة: نهاية القمع هو المقطع الذي عنده يلتقي اللسان المائي من الطرفين.

2.6.4 المنطقة الانتقالية:

تقع المنطقة الانتقالية بعد الهدار مباشرة قس (2) شكل (4-4) وهي متغيرة القطر يتناقص ابتداءً من القطر عند المقطع 1-1 وانتهاءً عند القطر Dt قطر أنبوب المفيض والنفق مقطع 2-2 ويعطي قطر المنطقة الانتقالية بالعلاقة التالية:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_y}} \dots \dots \dots (17 - 4)$$

حيث:

v_y : السرعة عند العمق y من المنطقة الانتقالي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$v_y = \sqrt{V_r^2 + 2 \cdot g \cdot y_n} \dots \dots \dots (19 - 4)$$

y_n هي منسوب بداية القسم الانتقالي وتساوي: $y=Z$ شكل (4-4).

نستمر بحساب قيمة d_n للمنطقة الانتقالية حتى الوصول إلى القطر $d_n=D_t$ قطر أنبوب القمع والنفق لأنهما متساويان.

3.6.4 قطر أنبوب القمع والنفق:

- طريقة تقريبية أولى:

لتحديد قطر النفق وأنبوب القمع نفترض بأنهما متساويان وبشكل عام شكل (4-4) نتبع الخطوات التالية:

1- نحدد فرق المنسوب بين قمة ونهاية النفق Z .

2- تحديد قيمة L طول أنبوب القمع والنفق معاً من المقطع العرضي للسد في مكان توضع القمع والنفق.

3- نوجد قيمة قطر النفق وذلك بطريقة التقريب بفرض قيم L نوجد D_T معامل التصريف:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi + \lambda \cdot \frac{L}{D_T}}} \dots \dots \dots (20 - 4)$$

حيث:

$\sum \xi$: مجموع ضياعات المدخل والأكواع ويعادل 1.25

λ معمل الاحتكاك للبيتون 0.016

L طول النفق والأنبوب.

قطر النفق يعطى بالعلاقة التالية:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\mu \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z}}} \dots \dots \dots (21 - 4)$$

لإيجاد القطر المطلوب نشكل الجدول التالي:

القطر المفروض D_T	معامل التصريف μ	القطر المحسوب D_T
-	-	-
-	-	-

عندما D_T المحسوبة تساوي D_T المفروضة يكون هو القطر المطلوب.

4- نحدد قيمة السرعة الوسطية في أنبوب القمع والنفق مع فرض $D_T = D$

$$V_C = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \dots \dots \dots (22 - 4)$$

5- المنطقة الانتقالية تتميز بحدوث تخلخل بالضغط بين المقطعي (1-1) و (2-2)

شكل (4-4) حيث أن الضغط فيها أقل من الضغط الجوي من أجل $D_T = D$ نحدد

منسوب المقطع (1-1) بالعلاقة التالية:

$$Z_1 = \frac{1}{\phi^2} \cdot \frac{V_C^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (23 - 4)$$

حيث:

V_C : السرعة الوسطية في أنبوب القمع.

ϕ معامل يأخذ القيمة 0.95

- قيمة ضغط التخلخل (الفاكوم) المسموح به في المفيض القمعي تحدد بالعلاقة

التالية:

$$h_v = 9.75 - \sigma_k \cdot \frac{V_C^2}{2 \cdot g}$$

حيث $\sigma_k = 0.1$ معامل التفجى (تشكل الفقاع).

- منسوب المقطع 2-2 الذي عنده يبلغ ضغط الخلخل القيمة h_V يتم إيجاده بتطبيق علاقة برنولي بين المقطعين:

$$\begin{aligned} Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \\ = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \xi_{1-2} \\ \cdot \frac{V_C^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (25 - 4) \end{aligned}$$

عند المقطع 1-1 الضغط $P_1 = P_0$ الضغط الجوي ونفترض $V_1 = V_2 = V_C$ ولدينا ضغط التخلخل يعطى بالعلاقة:

$$h_V = \frac{(P_0 - P_2)}{\rho \cdot g} \dots \dots \dots (26 - 4)$$

فتصبح بذلك معادلة برنولي على الشكل التالي:

$$h_V = \frac{(P_0 - P_2)}{\rho \cdot g} = Z_2 - Z_1 + \xi_{1-2} \frac{V_C^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (27 - 4)$$

حيث:

ξ_{1-2} معامل الضياع بالاحتكاك بين المقطعين 1-1 و 2-2 ويعطى بالعلاقة:

$$\xi_{1-2} = \lambda \frac{Z_2 - Z_1}{d} \dots \dots \dots (28 - 4)$$

- يمكن تخطيطياً إيجاد المناسب Z_2, Z_1 حيث يقع المقطع 1-1 عند نقطة التقاء اللسان المائي من الطرفين شكل (4-4) ومنسوب المقطع 2-2 هو Z_2 عندما يصبح قطر المنطقة الانتقالية مساوياً إلى قطر النفق.

4-6-4 حساب قطر أنبوب القمع والنفق تخطيطياً:

- الطريقة الثانية: يعطى التدفق عبر أنبوب النفق بالعلاقة التالية:

$$Q = \mu \cdot \omega_t \cdot \sqrt{2g(H + Z)} \dots \dots \dots (29 - 4)$$

حيث μ : معامل التصريف، وبشكل عام في المفيضات ذات المقطع المتغير تحدد

قيمته من العلاقة التالية:

$$\frac{1}{\mu} = \sqrt{\xi_e \left(\frac{\omega_k}{\omega_1}\right)^2 + \sum_1^n \frac{2gl_1}{C_1 \cdot R_1} \left(\frac{\omega_k}{\omega_1}\right)^2 + a + \xi_n \dots \dots \dots} \quad (30 - 4)$$

حيث:

ξ_e : معامل الضياع عند المدخل ويؤخذ من الجدول (4-4) حسب قيمة H/R .

- جدول (4-4) قيم ξ_e تبعاً لقيم H/R :

H/R	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ξ_e	0.123	0.075	0.049	0.043	0.04	0.039

ω_1 : مساحة فتحة القمع.

ω_k : مساحة مقطع النفق عند المخرج.

ω_1 ، R_1 ، C_1 ، l_1 : مساحة المقطع الوسطي للقسم i من أنبوب النفق، نصف قطر الهيدروليكي الوسطي، ثابت شيزي، طول القسم المدروس وبذلك يمكن قبول:

$$R_1 = \frac{d_1 + d_{i-1}}{8} \dots \dots \dots (31 - 4)$$

n : عدد الأقسام على طول أنبوب القمع والنفق.

α : معامل الطاقة الحركية $\alpha = 1.1$

ξ_n : معامل الضياع الموضعي عند كوع الوصل بين الأنابيب والنفق ويأخذ القيم التالية:

R_n/d_T	4	2.5
ξ_n	0.25	0.35

d_T : قطر النفق.

R_n : نصف قطر كوع الوصل.

- لإيجاد قيمة قطر النفق d_T تخطيطياً نتبع ما يلي الشكل (4-8):

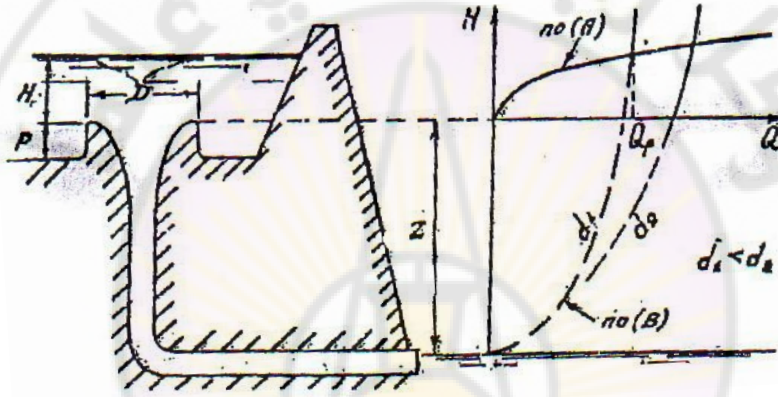
1- نرسم منحنى (A): $Q=f(H)$ مع اعتبار $R=const$ من معادلة التدفق عبر القمع:

$$Q = m \cdot R \cdot 2\pi \cdot \sqrt{2g} H^{3/2}$$

2- نرسم المنحنى (B): $Q=f(H+Z)$ مع اعتبار $d=const$ من معادلة التدفق عبر

النفق:

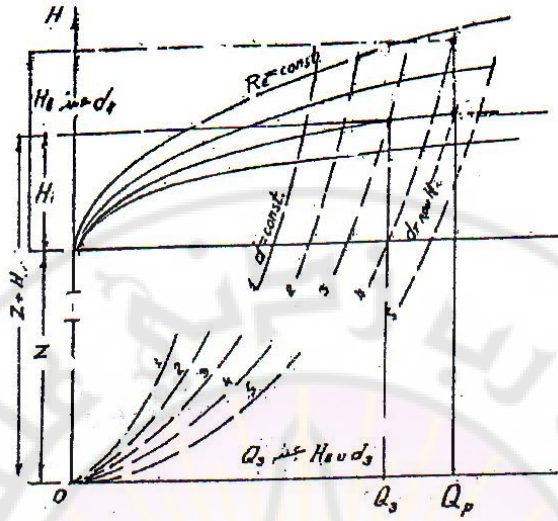
$$Q = \mu \cdot W_t \cdot \sqrt{2g(H+Z)}$$



شكل (4-8) مخطط بياني لإيجاد قطر النفق d_T .

القطر المطلوب يتم تحديده من نقطة تقاطع المنحنيين A,B حيث نحصل على التدفق المقابل لقطر معين.

ويمكن رسم سلسلة من المنحنيات $Q=f(R,H)$ و $Q=f(d,H+Z)$. ولتحديد القطر المطلوب نرسم منحنى $H=f(Q,R)$ وبذلك نوجد d_T من أجل H المفروضة أو نوجد H من أجل d المفروضة شكل (4-9):



شكل (4-9) سلسلة منحنيات $Q=f(Q,H)$ و $Q=f(d,H+Z)$ لتحديد قطر النفق ذو القدرة التصريفية نفسها في القمع.

7.4 المنشآت المعدنية في المفيضات القمعية:

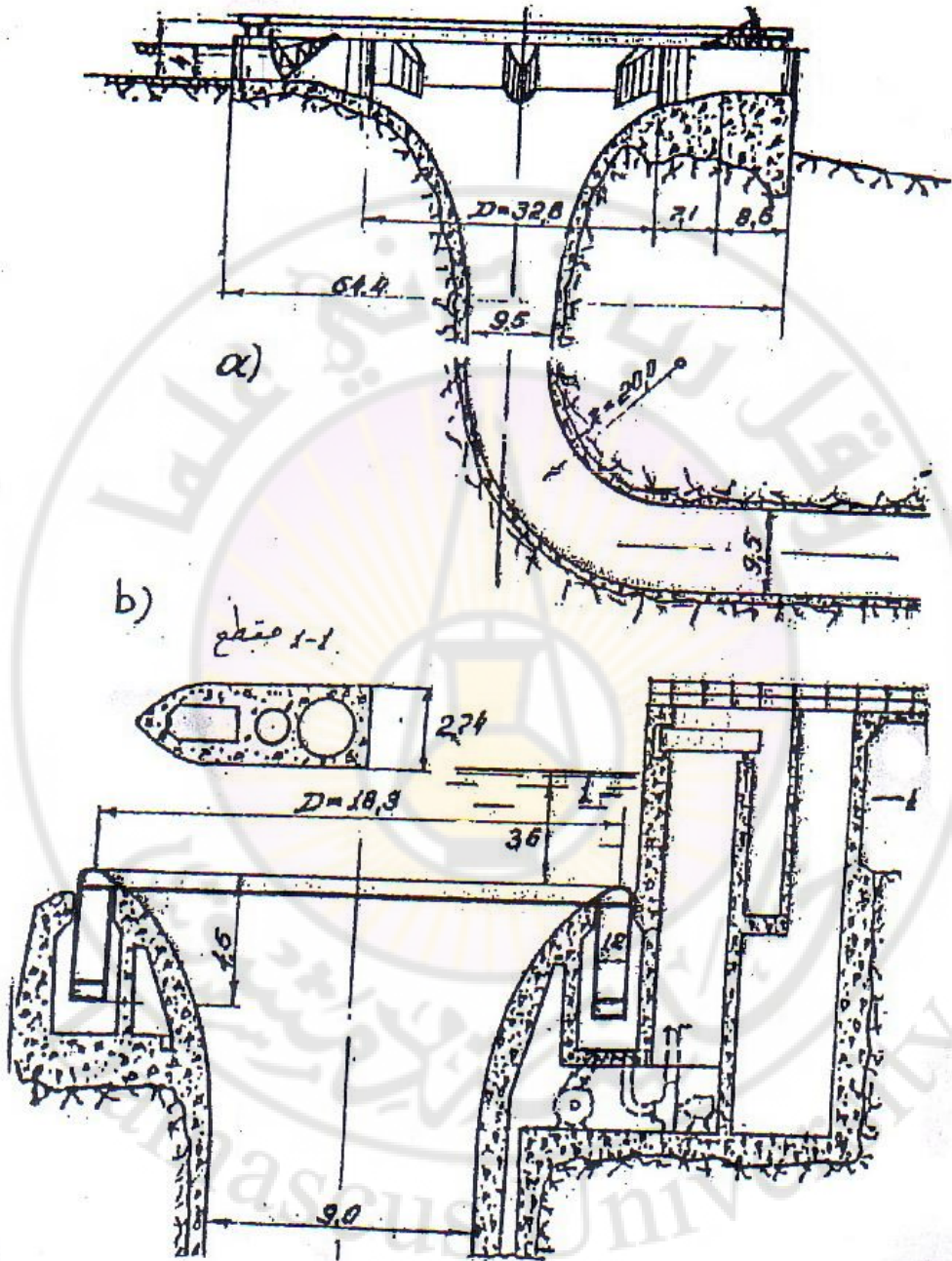
السكورة: تستخدم لتنظيم التدفق عبر المفيض وهناك عدة أنواع للسكورة منها:

- مستوية أو نصف كرة أو دائرة مع رافعة ميكانيكية (4-10-a).

- دائرية وتعمل بالسحب بشكل (4-10-b)، وإنشاء هذا النوع من السكورة يتطلب أن تكون القمة مستوية تماماً. وعناصر تصميم هذا النوع من السكورة موضحة على الشكل (4-10).

واستخدمت في سد "هانفري-خوز" الولايات المتحدة.

عند استخدام السكورة المستوية أو المنحنية (نصف كرة) يجب أن يكون للقمة منطقة دخول مستوية ومقسمة بركائز. استخدم هذا النوع في روسيا سد "سولاكسكي" لتوليد الكهرباء.



شكل (10-4) بعض الحلول لتنظيم الجريان عبر القمة في المفيض القمعي.

a- مع سكورة نصف دائرية b- مع سكورة دائرية.



المنشآت المائية المحقة بالسدود الترابية



الفهرس

6	1 المنشآت الملحقة بالسدود
6.....	1.1 معلومات عامة:
7.....	2.1 المفيضات:
7.....	1.2.1 التصنيف:
8.....	2.2.1 المصارف الأنبوبية:
10.....	3.2.1 المفيضات المفتوحة الضافية (متوضعة على الضفة):
27.....	2 المفرغات
27.....	1.2 تعريف المفرغ:
27.....	2.2 الغاية من إنشاء المفرغ السفلي:
28.....	3.2 تصميم المفرغات
29.....	4.2 المفرغات الأنبوبية:
30.....	5.2 المسائل المدروسة عند تصميم المفرغات:
30.....	1.5.2 تحديد مكان إنشاء المفرغ:
31.....	2.5.2 تحديد قيمة التصريف التصميمي للمفرغ:
31.....	3.5.2 تحديد شكل وأبعاد المقطع العرضي للمفرغ:
31.....	6.2 الحساب الهيدروليكي للمفرغ:
35.....	7.2 الدراسة الإنشائية لأنبوب المفرغ:
36.....	1.7.2 تحليل الحمولات المؤثرة:

39.....

3 المفيض الخندقي

- 39..... 1 . 3 المفيض الخندقي:
- 39..... 2 . 3 الهدار في المفيض الخندقي:
- 41..... 3 . 3 الحساب الهيدروليكي للخندق:
- 43..... 4 . 3 حساب وتصميم القناة (المجرى السريع):
- 44..... 1.4. 3 حساب العمق الحرج:
- 44..... 3.4. 2 حساب العمق النظامي:
- 45..... 3.4. 3 تحديد ظروف الجريان في أجزاء القناة:
- 45..... 4.4. 3 تحديد شكل السطح الحر للماء في القناة:
- 48..... 5 . 3 الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة الحركية:
- 48..... 3.5. 1 تصميم حوض التهدئة:
- 49..... 2.5. 3 مراحل التصميم:

مقدمة

تعتبر مشاريع الهندسة المائية من أضخم مشاريع الهندسة المائية على الإطلاق في وقتنا الحالي، والذي يترافق مع تعاظم حاجة الإنسان للمياه سواءً للري أو للصناعة أو للأغراض المعاشية.

وهنا يبرز دور المهندس المائي والذي يقع على عاتقه إيجاد حلول لهذه المشكلات عن طريق استغلال كافة مصادر المياه المتاحة (أنهار- أمطار- بحيرات- وغيرها من المصادر المائية...) وذلك بإقامة السدود للأغراض السابقة الذكر وتوليد الطاقة الكهربائية والمساهمة في إقامة المنشآت السياحية وتطوير الثروة السمكية.

وغالبا ما يرافق إنشاء السدود تنفيذ منشآت ملحقة به، بهدف صرف المياه من بحيرة السد إلى ما بعد السد أو إلى أي جهة أخرى بغرض تأمين متطلبات الجهة المستهلكة أو تفريغ بحيرة السد أو بغرض تخليص بحيرة السد من المياه الفائضة عن استيعابها.

ويتم اختيار هذه المنشآت حسب الظروف الهيدرولوجية والجيوهندسية بعد إجراء المقارنة التقنية الاقتصادية للاحتتمالات الممكنة.

الفصل الأول

المنشآت الملحقة بالسدود

1.1 معلومات عامة:

يلحق بالسدود عادة منشآت تصريف المياه وبحسب الهدف من إنشائها تنقسم إلى منشآت تصريف الفيضان ومنشآت التفريغ.

منشآت تصريف الفيضان: هي منشآت لتصريف المياه الفائضة من بحيرة التخزين عن المنسوب التصميمي والنااتجة عن العواصف المطرية إلى الحوز السفلي من منشأة السد.

منشآت التفريغ: هي منشآت تستخدم لتصريف مياه المجاري المائية في فترة بناء السد، أو تستخدم لتصريف المياه لأعمال الري من بحيرة السد، ومدخل هذه المنشأة يتوضع على منسوب يسمح بتفريغ البحيرة في حالة الطوارئ، والتفريغ المفاجئ، ولمنسوب محدد مسبقاً وعند اختيار نوع منشأة التصريف أو التفريغ يجب الاستفادة من إمكانية استخدام المياه المصرفة أو المفرغة.

- التدفق الأعظمي الذي يجب أن تحسب عليه منشأة التصريف يتبع لحجم التدفق الأعظمي للعاصفة المطرية المحتملة، وهذا بدوره يتبع لدرجة أهمية المنشأة.

درجة أهمية المنشأة	احتمال العاصفة المطرية
I الدرجة	0.01%
II الدرجة	0.1%
III الدرجة	0.5~0.1%

- الطاقة التصريفية لمنشأة المصرف تحسب على أساس عمل جميع فتحات المنشأة، ومع الأخذ بعين الاعتبار قسم من التدفق المصرف من منشآت أخرى (محطة توليد الطاقة الكهربائية- منشأة إمرار السفن إلخ)، ويؤخذ بعين الاعتبار إمكانية ارتفاع منسوب التخزين في البحيرة إلى منسوب أعظمي مسموح به (منسوب الفيضان).

- التدفق التصميمي لمنشأة المفرغ: يحدد من خلال مدة تفريغ البحيرة والسرعة المسموحة في انخفاض منسوب البحيرة، والتي تتبع إلى شرط الحفاظ على استقرار المنحدر الأمامي في السدود الترابية.

- الفترة الزمنية الأكثر اعتماداً لتفريغ البحيرة تتراوح ما بين (3-2) أشهر.

- منسوب مدخل المفيض وأبعاد فتحاته يتم اختيارها على أساس المقارنة الاقتصادية بين مجموع حلول.

- منسوب مدخل المفرغ أو المصرف يتبع مدة تفريغ البحيرة، أو لمقدار المياه المطلوبة خلف المنشأة، ولكن يجب ألا ينخفض عن منسوب الحجم الميت.

عند تصميم المفيضات أو المفرغات على سرعة كبيرة يجب الانتباه إلى تأثير هذه السرعة عند خروجها خلف السد من الحت والتآكل ومن تعرض هذه المنشآت لحادثة التكهف والتآكل، وتصميم أحواض تهدئة مناسبة.

2.1 المفيضات:

1.2.1 التصنيف:

يتبع تصنيف المفيضات إلى عدة عوامل: طبوغرافية- جيولوجية- هيدرولوجية استثمارية إنشائية.

(أ) التصنيف حسب الموقع في المنشأة المائية:

بشكل عام تنقسم منشأة المفيضات إلى نوعين:

النوع الأول: يتوضع في جسم السد، النوع الثاني: يتوضع على الضفاف.

المفيضات في جسم السد الترابي:

يتوضع المفيض في هذه الحالة في المجرى المائي مباشرة (الشكل 1-1-a)، أو على جانبيه (الشكل 1-1-b)، تبعاً لمخطط تنفيذ أعمال السد ومخطط تصريف التدفق أثناء الإنشاء، وينقسم هذا النوع إلى نوعين أما مفتوح (سد هدار)، أو مغلق (نفق أنبوبي) يعمل بالضغط.

المفيضات الضفافية:

تتخذ هذه المفيضات على شكل أفنية أو أنفاق أو مختلطة سد هدار مع قناة أو منشأة نقل.

(ب) التصنيف حسب نوع الأجهزة عند مدخل المصرف:

تنقسم المصارف تبعاً لذلك إلى نوعين:

- موجهة لتنظيم التصريف، لذلك يوجد فيها سكورة عند المدخل.
- أتوماتيكية يتم التدفق عبرها بشكل حر بدون أي إعاقة من أي منشأة أخرى.

الشكل (1-1): أنواع المفيضات في السد الترابي

في المجرى المائي b- في منتصف السد

1 - السد 2- المفيض 3- قسم انتقالي 4- المخرج

(ت) التصنيف حسب الشكل التصميمي للمنشأة:

مصارف أنبوبية، أفنية، هدار خندقي، قمع، أنفاق، سيفون، مجاري سريعة مدرجات مائية وغيرها.

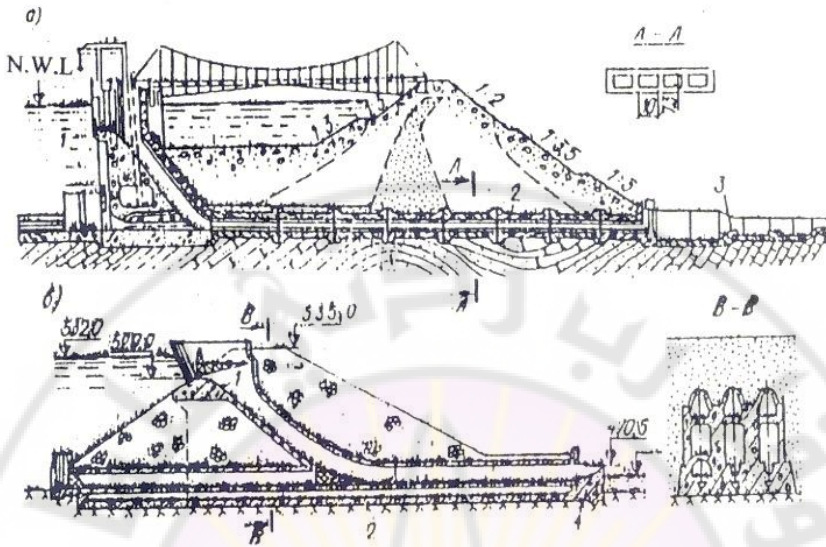
2.2.1 المصارف الأنبوبية:

المصارف الأنبوبية تستخدم في السدود الترابية التي ارتفاعها لا يزيد عن 60-80 m. الميزة الهامة لهذه المصارف إمكانية استخدامها لأكثر من مهمة، في البداية لتصريف تدفق النهر أثناء إنشاء السد ومن ثم في مرحلة الاستثمار تعمل كمفيض أو مفرغ للبحيرة.

1.2.2.1 مكونات المصرف الأنبوبي:

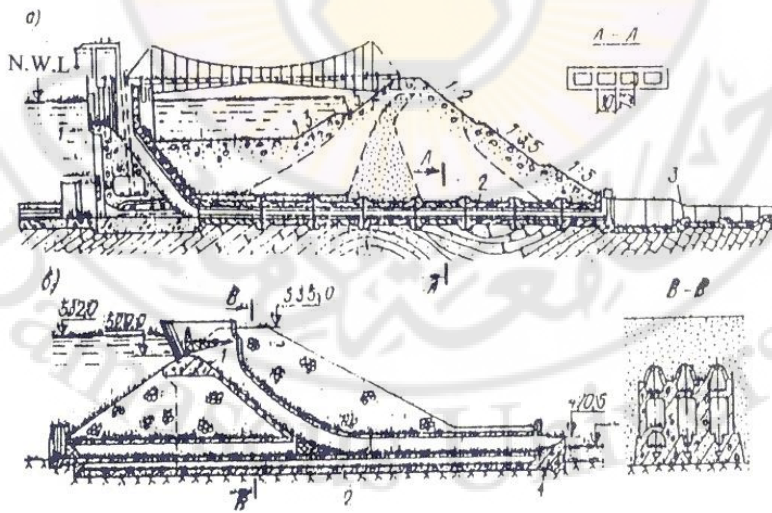
- المدخل يكون على هيئة هدار أو برج مزود بسكورة.
- قسم سفلي وهو عبارة عن أنبوب مطموّر أسفل السد وضمن الأساس.
- المخرج مع مخمدات للطاقة.

الأنبوب المطموّر ينفذ عادة من البيتون المسلح بمقطع دائري أو مستطيل أو إهليلجي، وعند الحاجة لعدة أنابيب تجمع مع بعضها البعض بقاعدة بيوتونية واحدة، ويجب أن توضع الأنابيب على أساس متين ومنطقة التفائنها مع جسم السد يجب أن تكون كثيفة وذلك عن طريق بروز جدران للتكتيم على طول الأنبوب، الشكل (1-2)، والشكل (1-3)، ويجب أن تحتوي الأنابيب على فواصل تمدد وتقلص كل 20~25 m ويجب أن تتصف هذه الفواصل بالكثامة.



الشكل (1-2): مفيض انبوبي في سد ترابي

سد منغيتشات (روسيا)، $Q=1600\text{m}^3/\text{s}$ $H=40\text{m}$ - سد امداء (الجزائر) $Q=2500\text{m}^3/\text{s}$ $H=70\text{m}$
 1- سد هدار 2- أنبوب 3- مخمد 4- انف الترامبلين



الشكل (1-3): مفيضات انبوبية برجية في جسم السد الترابي

1- بدون سكرة 2- مدخل التصريف 3- برج 4- نفق خدمة 5- شيك منع دخول الرواسب
 6- سكر دائري 7- قناة تهوية (برج) 8- جسر خدمة 9- حوض لإخماد الطاقة

3.2.1 المفيضات المفتوحة الضافية (متوضعة على الضفة):

يوجد هذا النوع من المصارف في منشأة السدود الترابية أو البيتونية (قوسية- ثقلية). وتتوضع على إحدى الضفاف (الشكل 1-4)، ويستخدم هذا النوع من أجل تصريف يتراوح ما بين $500 \sim 1200 \text{m}^3/\text{s}$ ويتألف المصرف من هذا النوع من ثلاثة أجزاء:

قسم دخول (القناة) - سد هدار كمنظم للتدفق - قسم نقل للتدفق (قناة نقل الماء) إلى الحوز السفلي.

آ- **قناة الدخول:** يجب أن تؤمن جريان انسيابي للماء أمام الهدار وهي بشكل عام ذات جدران منحنية ومتغيرة العرض على طول خط الجريان، من ناحية ميل القاع يكون أفقياً من أجل الأفضية العميقة أما الأفضية ذات الأعماق القليلة فتعطي ميول سالبة لتأمين جريان مستقر ضمن القناة، إذا وقعت القناة في تربة صخرية فلا تكسى القناة بطبقة بيتونية وخاصة في المنطقة القريبة من السد الهدار، ميول جوانب القناة الشبه منحرفة هي حوالي $1.5 \sim 2.5$ في الترب الغير صخرية و 0.5 في الترب الصخرية.

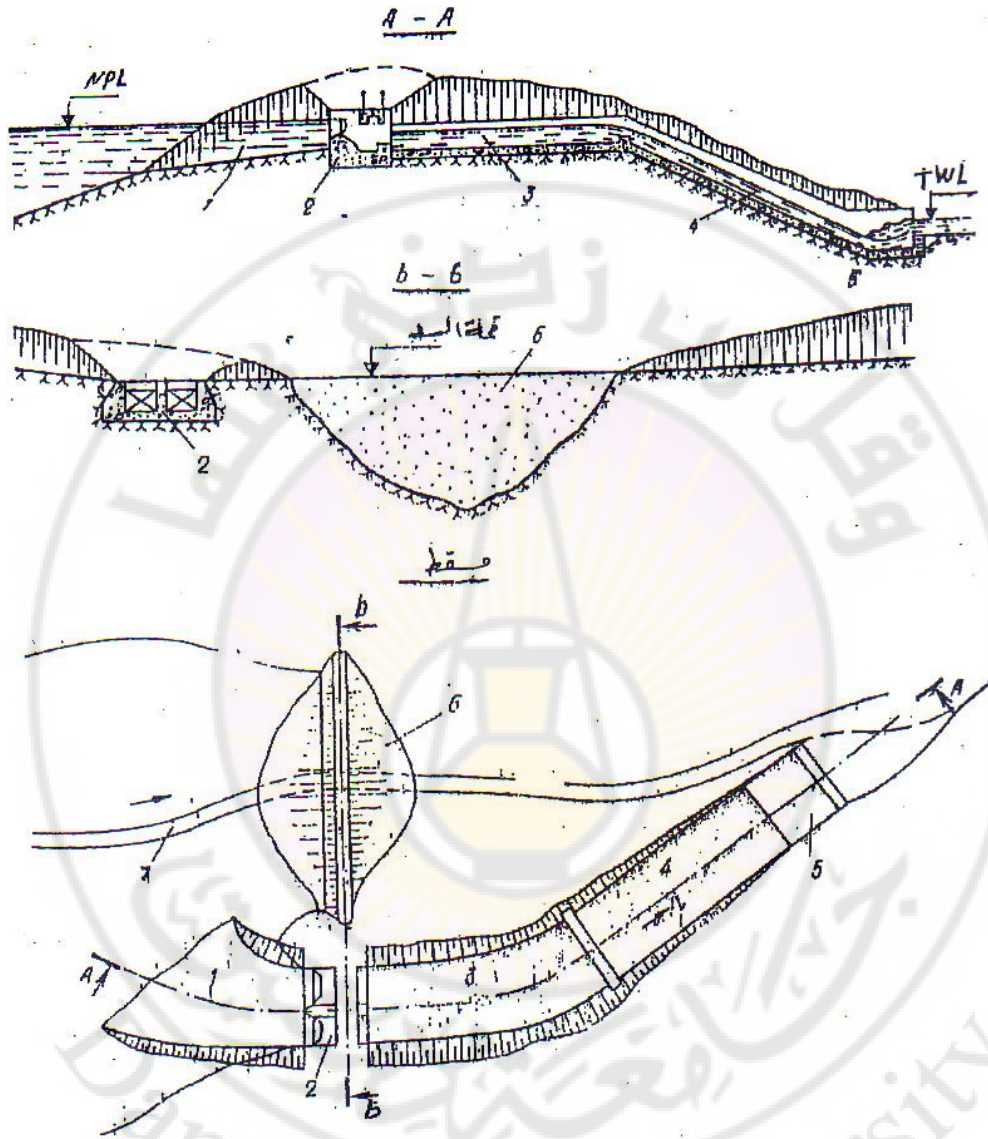
ب- **الهدار:** عبارة عن سد هدار غير مرتفع ومستقيم الجبهة ويمكن أن يكون منحنى لزيادة الطول والقدرة التصريفية، وبشكل عام في المصارف المفتوحة يستخدم الهدار ذو الجبهة على شكل عتبة شكل (1-5, a, b)، خلف منشأة الهدار لا توجد مخمدات للطاقة وإنما المياه تدخل إلى قناة النقل، ويمكن أن يكون مقطع الهدار ذو مقطع عملي مع سكر في الأعلى شكل (1-5, c)

ج- **منشأة النقل (الجر):** هي منشأة تلي السد الهدار ويمكن أن تكون على شكل مجرى سريع، أو مدرجات مائبة تنتهي بمنشأة إخماد للطاقة.

تستخدم قناة الجر لنقل المياه إلى الحوز السفلي من السد وطولها يتبع العامل الطبوغرافي في المنطقة، وفي حالة وجود ميول تكسى الجوانب والقاع بطبقة بيتونية سماكتها تتبع لقيمة سرعة الجريان وللظروف الجيولوجية للتربة المحيطة بالقناة.

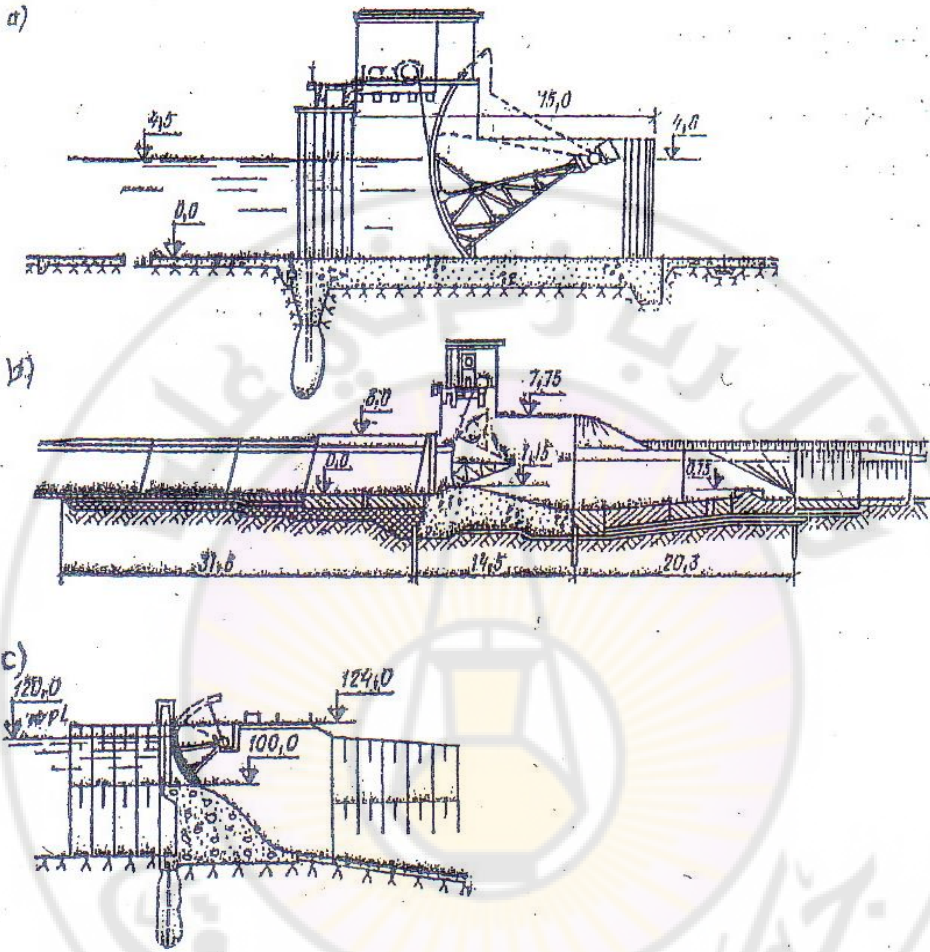
المجرى السريع:

قناة ذات ميل شديد يزيد عن الميل الحرج ويصل إلى القيم $0.05 \sim 0.25$ ويمكن أن يكون أكثر من ذلك. عرض المجرى السريع يمكن أن يكون ثابتاً أو متغير، متناقص أو متزايد نحو الأسفل (الشكل 1-6)، لأن تغير العرض يعمل على إخماد الطاقة في الحوز السفلي وأيضاً يعمل على تخفيض الكلفة الاقتصادية. وتبين الأشكال (1-7) و (1-8) توضع ومواصفات المجرى السريع في سدود مشيدة في كوبا.



شكل (1-4) مفيض مفتوح ضفافي

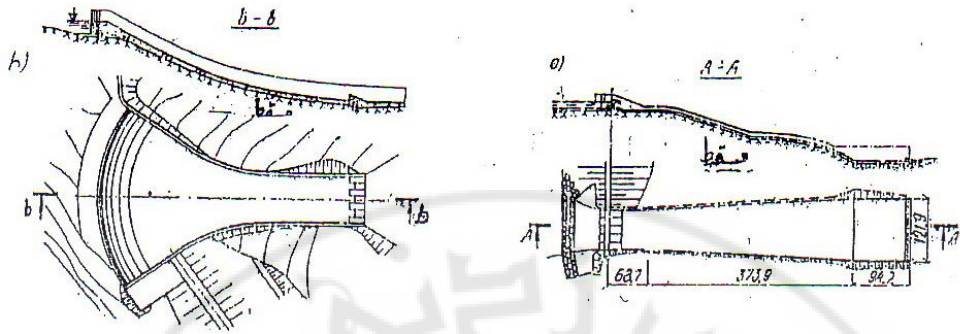
- 1- قناة الدخول 2- سد هدار 3- قناة وصل 4- مجرى سريع 5- القسم النهائي (حوض تهذئة)
6- جسم السد الترابي 7- المجرى المائي



شكل (1-5) أشكال مقطع الهدار في منشأة الفيض المفتوح الضفافي

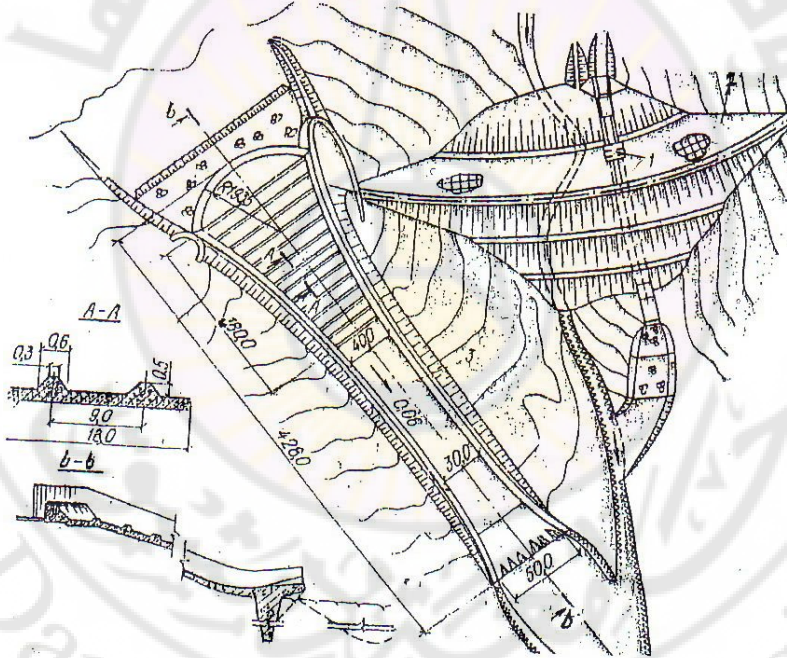
a.b - عتبة هدار منخفضة c - هدار ذو مقطع عملي

- تنفذ المجاري السريعة من البيتون أو البيتون المسلح، وبمقطع مستطيل أو شبه منحرف أو مضلع متعدد الزوايا شكل (1-9)، جوانب المجرى السريع تعتبر جدران استنادية لذلك يجب أن تحتوي على فواصل إنشائية للتمدد والتقلص وبمسافة 20-25m.



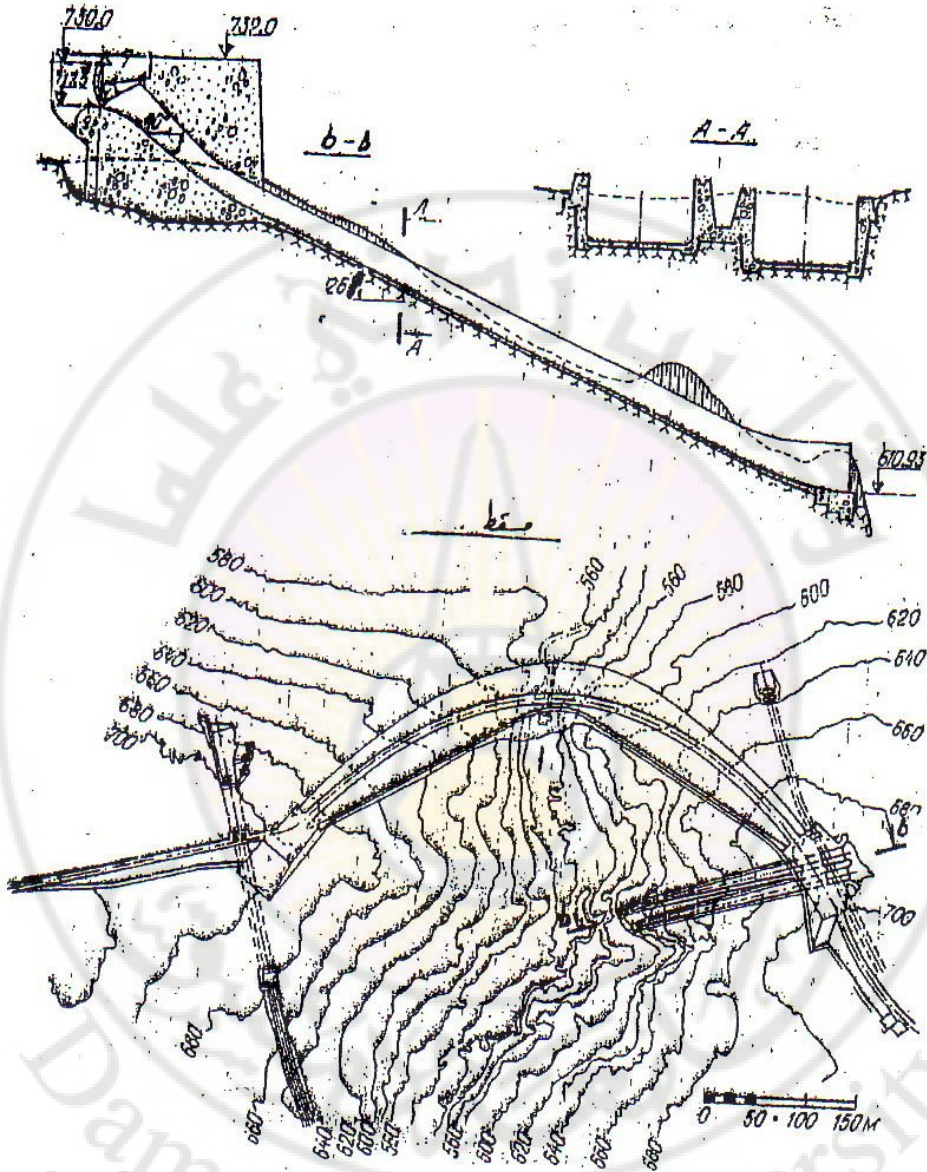
الشكل (1-6) المجاري السريعة

a- العقدة المائية رام تشانفا الهند مجرى متزايد العرض b- مجرى سريع منضيق (منشأة في المكسيك).



شكل (1-7) مفيض ضفافي في سد كارلوس كوبا

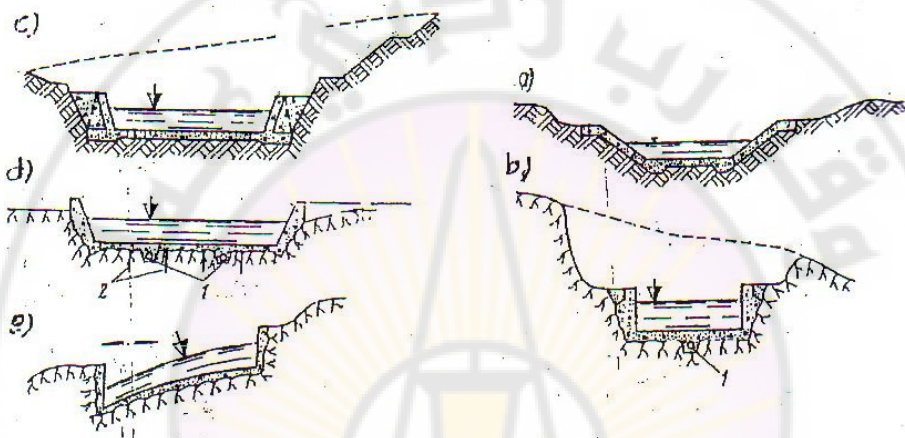
1 مفرغ 2- سد ترابي 3- مفيض مجرى سريع



الشكل (8-1) سد الميندرو "كوبا مع مجريين سريعين"

- قاع المجاري البيتونية في حالة التربة غير الصخرية تنفذ كبلطات بسماكة 0.3~0.8 m
- ميول جوانب المجري السريع في حالة التربة الصخرية، أو نصف صخرية 1:0.3~1:0.5 وتكسى القاعدة والجوانب بطبقة بيتونية بسماكة 0.2~0.3 m.

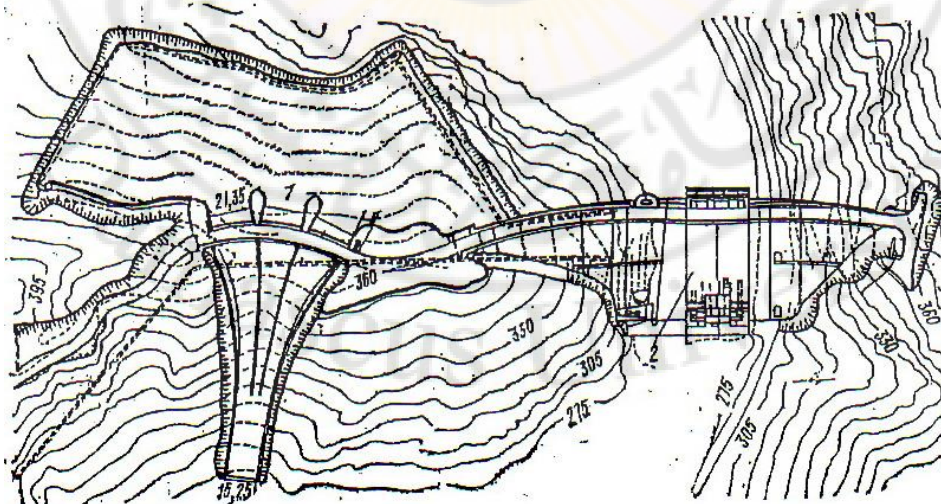
- في الحالة الطبيعية مسار المجرى السريع هو مستقيم ولكن قد يصادف مقطع طولي منحنى لذلك عند المنعطف يعطى ميل للمقطع العرضي شكل (9-1، c)
- يمكن أن يكون مدخل المجرى السريع ومنحني ومقسم إلى عدة فتحات بواسطة ركائز أو جدران ممتدة في العمق الشكل (10-1) والشكل (11-1) وذلك لتأمين الاستقرار في الجريان عرضياً.



الشكل (9-1) المقاطع العرضية للمجاري السريعة

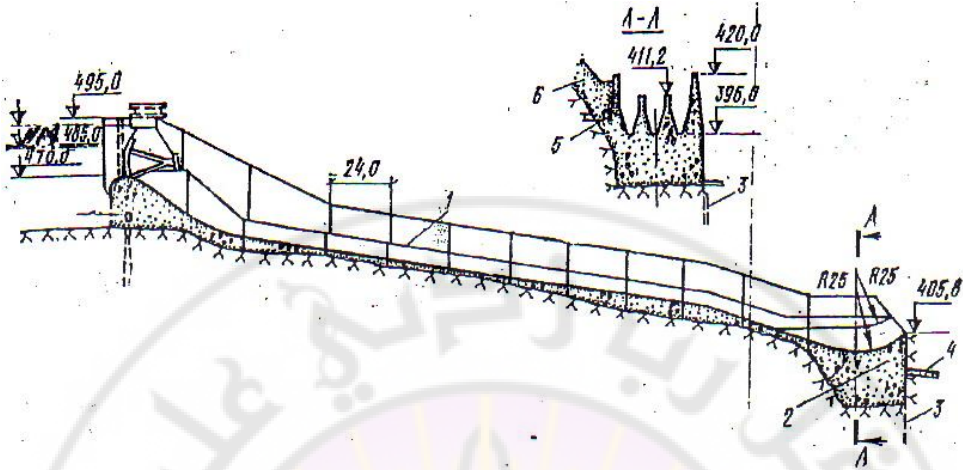
a,c في التربة غير الصخرية d,e في التربة الصخرية

1- مصرف 2- أوتاد محقونة، لتقوية الأساسات.



الشكل (10-1) مفيض مع مجرى سريع ومقسم بركائز

1- المفيض 2- السد



الشكل (11-1) مجرى سريع مع جدران فاصلة

1- المجرى السريع 2- أنف الترامبلين 3- حقن في الأساس

4- بلاطة سماكة 1m 5- مصرف 6- ردميات

- لتخفيض تأثير قوى الرش أسفل وعلى جوانب المجرى السريع يجب إنشاء مصارف أنبوبية وعند نقطة التقاء المجرى السريع مع الحوز السفلي يجب إنشاء حوض تهدئة مع مخمدات لإخماد الطاقة أو إجراء تقعر نحو الأعلى شكل (11-1)

المساقط المائية (المدرجات):

تستخدم المساقط المائية عندما تكون ميل الضفة $i > 0.25$ والتدفق المطلوب تصريفه

$Q \leq 15m^3/s$ ، وتنفذ على شكل درجات متتالية ومتشابهة في مقاطعها العرضية والطولية،

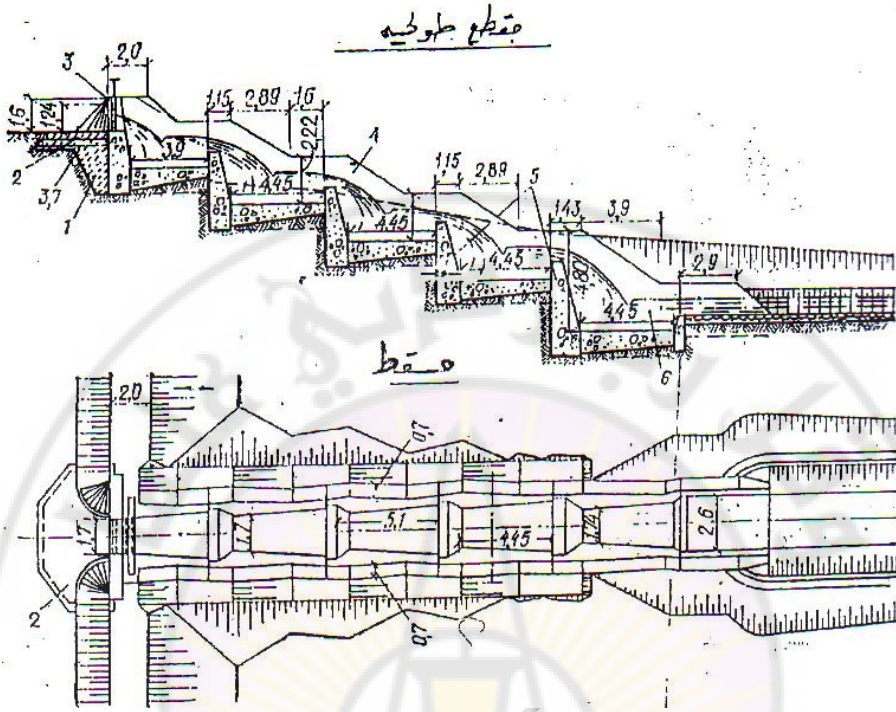
(شكل 12-1). أبعاد الآبار وارتفاع جدرانها يتم تحديدها انطلاقاً من شرط إخماد طاقة التيار

وبشكل جيد يعطى لقاع البئر ميلاً سالباً، وتكون سرعة الجريان في المصاطب المائية هي حوالي

2~3m/s.

- في الترب الصخرية والشبه صخرية نترك فواصل شاقولية كل مسافة لإعطاء إمكانية

للهبوطات التفاضلية، وتملأ الفواصل بمواد تكتيم.



الشكل (1-12) المصاطب المائية

1- ردميات من الغضار والبيتون 2- حصىرة 3- سكر مستوي

4- جدار عرضي 5- جدران البئر 6- البئر

أبعاد وسماكة بلاطات المصاطب تتبع لخواص التربة، يعطى وفق الجدول التالي بشكل تقريبي:

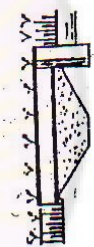

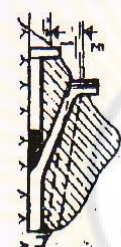

0.5~1.0m		بلاطة البئر
0.3~0.7m	في القسم العلوي	جدران طولية
1.0~2.0m	في القسم السفلي	
0.5~0.7m	في القسم العلوي	جدران البئر
1.2~2.0m	في القسم السفلي	

في الترب الصخرية تتفد طبقة تسوية بسماكة 0.3~0.4m.

ويمكن تحديد نوع منشأة التصريف في السدود الترابية تبعاً للشروط الرئيسية المؤثرة على اختيارها جدول (1-1)، وكذلك يمكن تحديد بعض المواصفات الهيدروليكية لمصارف تدفق البناء جدول (1-2)، وكذلك المفيضات في السدود. خلال مرحلة الاستثمار جدول (1-3).

جدول (1-1) أنواع منشآت التصريف حسب ظروف كل منشأة:

المنشأة التي ينصح بها		الشروط الرئيسية المؤثرة على اختيار منشأة التصريف
مجرى سريع	$i = 0.08 \sim 0.25$	تضاريس الأرض
درج شلالي	$i = 0.2 \sim 0.3$	
منشأة قمعية - برج	$i \geq 1$	
مجرى سريع	توضعات قريبة معلقة	منسوب المياه الجوفية
منشأة معلقة (مكبولية)	ممتازة	نوع تربة الأساس
درج شلالي	جيدة	
مجرى سريع	مختلفة	
مجرى سريع وأكتاف معلقة	نحتاج إلى مراقبة الاستثمار	ظروف الاستثمار
درد شلالي	نحتاج إلى مراقبة قليلة	
الأكتاف المعلقة والمجاري السريعة أكثر كلفة من المجاري الشلالية.		الكلفة الاقتصادية

الأكوب من البيتون أو البيتون المسطح ويمكن أن تكون مجموعة قائليين	في منخل الفتحات مسكورة أو عند المخرج منشأة تخميد	قاضي	غير مضغوط مضغوط	$i = i_0$	 قائليين قاصية	صفيرية ، غير صفيرية	10-1000	40-100	3
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة	في منخل الفتحات مسكورة أو عند المخرج منشأة تخميد	قاضي	غير مضغوط مضغوط	$i = i_0$ أي ميل	 نق حثي	صفيرية	$(8-10)10^3$	80-100	4
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة	يوجد عند منخل الفتحات المصرف مسكورة وعند المخرج منشآت تخميد	اصعق أسطحي	غير مضغوط مضغوط	$i_2 > i_1$ $i_1 = i_0$	 نق متعدد الطوائف	صفيرية	$(8-10)10^3$	100-150	5
المسك غاطس لتوجيه الماء إلى البحيرة		سطحي	حر	$i < i_0$	 نق أو محوري سويح	صفيرية	$(8-10)10^3$	150 أكثر	6

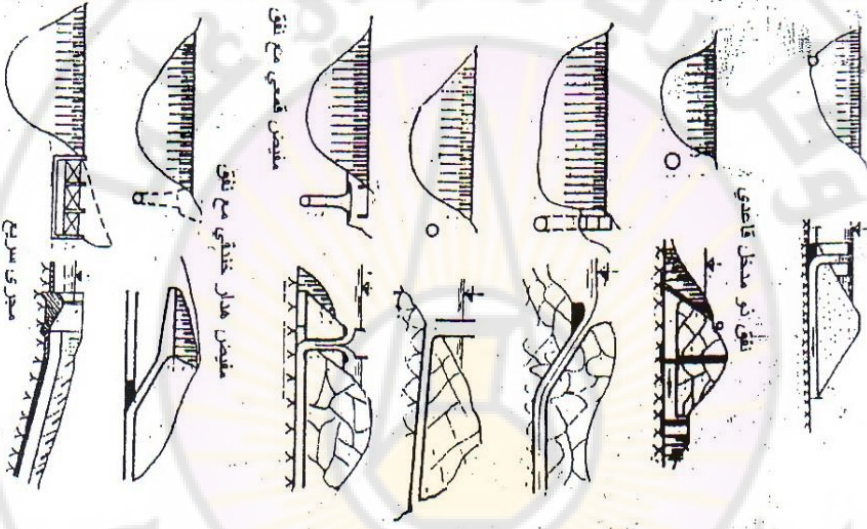
رقم الكروكي	المساحة في المدم m	الاسماء	نوع المفيض		الليل	نظام الجريان		فتحة المدخل	امكانية استخدامه	مقال عن هذا النوع	
			مقطع عرضي	مقطع طولي		6	7				
1	8-10 m	غير صخرية			$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط أو مضغوط جزئياً	تقع على مسووب التفريغ الطبيعي	لا يستخدم	شكل (1-1)	شكل (1-1)	
2	8-15 m	غير صخرية			$i < i_{\sigma}$	=	=	شكل كامل	شكل (1-1)	شكل (1-1)	
3	2-3 m 50-60 m	غير صخرية			$i < i_{\sigma}$	مضغوط غير المضغوط	قاعدي	=	=	شكل (1-1) شكل (1-1)	شكل (1-1) شكل (1-1)
4	50-60 m	صخرية			$i < i_{\sigma}$	غير مضغوط	على مسووب NPL	جزئياً	شكل (1-1)	شكل (1-1)	

جدول (1-3) كروكي للمفيضات خلال مرحلة استثمار السد

5	=	-							
6	حتى 100 m	صخري							
7									
8									
9									
10									
11									

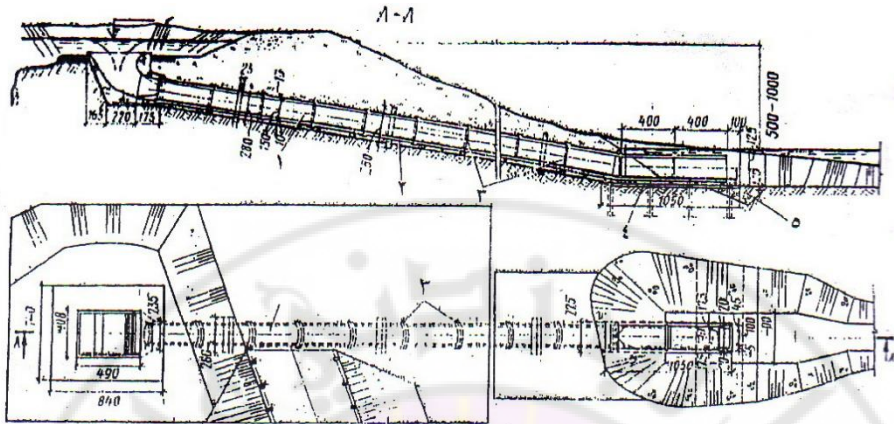
المنشآت المائية
متوسطة و عالية الضاغط

الأساسات الصخرية

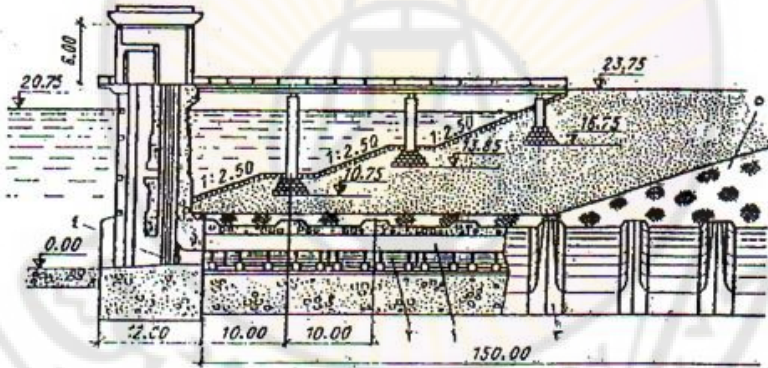


$i < i_{\sigma}$	-	على مستوى NPL	=	شكل (٢-١)
$i < i_{\sigma}$	أي نظام	قاعدي	بشكل كامل	شكل (٣-١)
$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط	سطحي أو عميق	جزئياً	شكل (١٧-١)
$i > i_{\sigma}$	غير مضغوط	=	=	شكل (١٥-١)
$i > i_{\sigma}$	=	=	=	شكل (١٨-١)
$i > i_{\sigma}$	=	=	=	شكل (١٩-١)
$i > i_{\sigma}$	مضطرب	=	لا يوجد	شكل (٨-١)

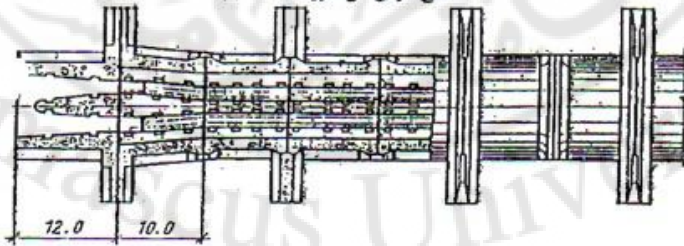
جدول (1-3) كروكي للمفيضات خلال مرحلة استثمار السد



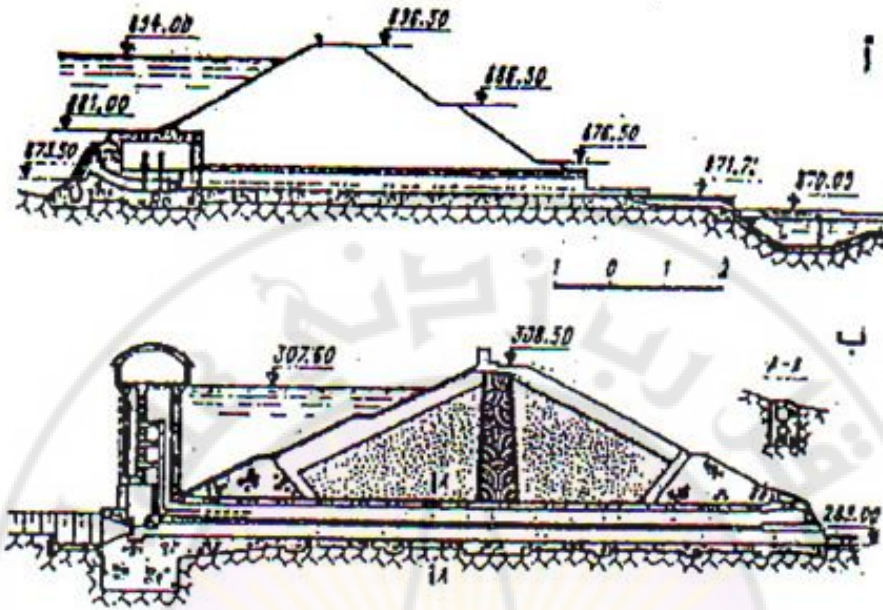
الشكل (13-1) مصرف شاطئي سطحي أنبوبي للماء الفائض
 1-خرسانية مسلحة 2- طبقة تمهيدية خرسانية 3- حواجز رقيقة
 4- بلاطة خرسانية مسلحة على خوازيق 5- حشوة صخرية (حجارة دكة).



مقطع عرضي على محور عرض الانابيب

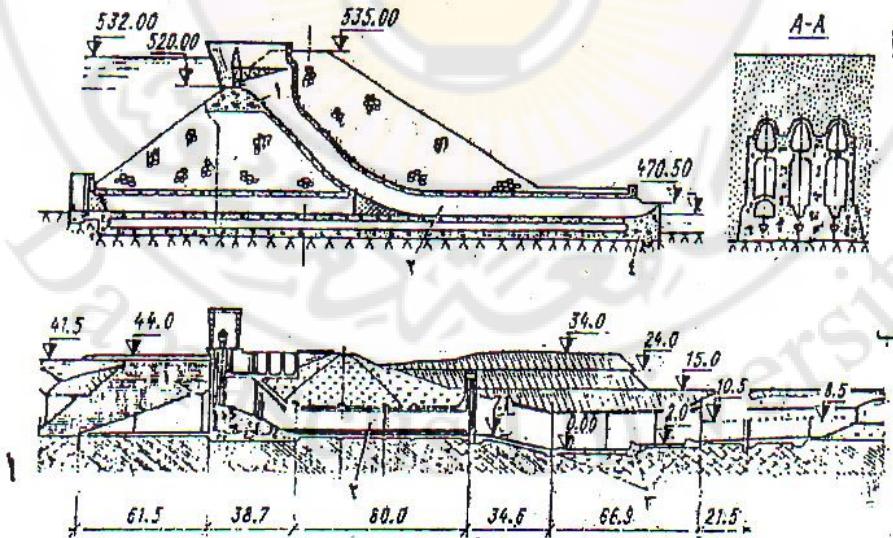


شكل (14-1) مصرف للماء المهدور ذو مواسير موضوعة في السرب
 1- السرب المائي 2- أنابيب مصرف الماء 3- ضلع التقوية والحاجز الرقيق
 4- فتحة صرف غاطسة 5- الجدار الحاجز المانع للتسرب في السد الترابي



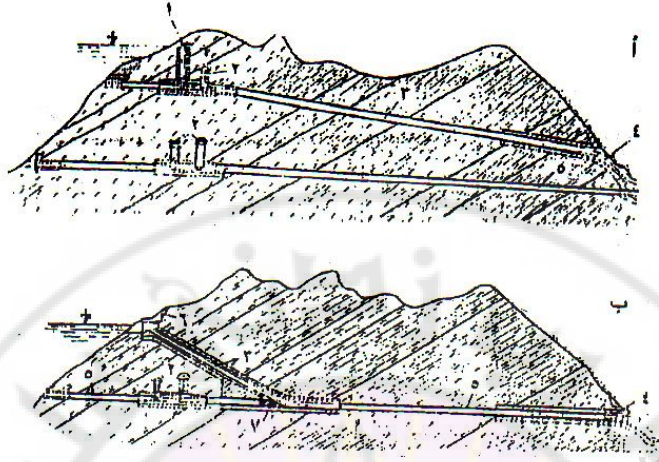
الشكل (1-15) مخارج ومآخذ الماء الماسورية

أ- مخرج أنبوبي لابر جي ب- مخرج الماء الانبوبي وبرج الماء الخاص بشبكة الإمدادات،
موحدان في إنشاء واحد



الشكل (1-16) مصارف ماسورية للماء الفائض يقع قسمها الرئيسي في جسم السد الترابي:

1- مصرف الماء الطافح 2- ماسورة قاعية 3- منصة قadosية الطرف للقفرة الهيدروليكية.



الشكل (17-1) مصارف الماء الفائض النفقية في المجمع الهيدروليكي ذو علو الضغط العالي

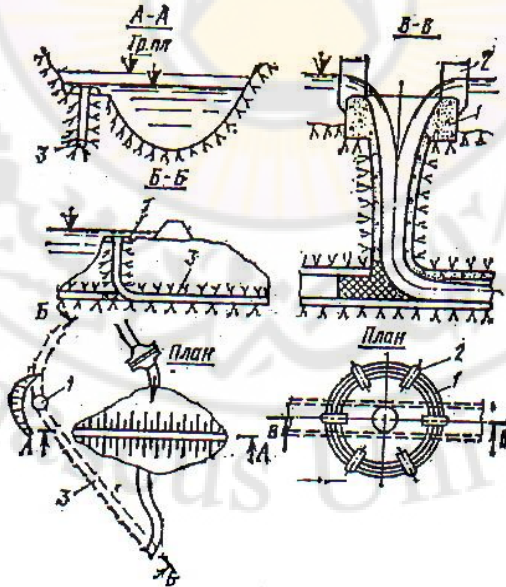
أ- مع مأخذ ماء مغمور ونفق ل طرح النفايات الإنشائية وتفريغ خزان الماء؛

ب- مع مأخذ ماء سطحي واستخدام القسم الهابط من النفق الإنشائي؛

1- الممر الرأسي للتحكم في البوابات 2- حجرات البوابات وغرف التحكم في بوابات إنفاق الطابق الأول

3- نفق تصريف الماء الفائض 4- القسم النهائي لنفق التصريف؛ المصمم على هيئة مجرى مائل

5- إنفاق خاصة ل طرح النفايات الإنشائية 6- مأخذ سطحي (علوي) للماء 7 سداة خرسانية.



الشكل (18-1) مفيض قمعي مع فتحة هدار دائري.

1 الهدار الدائري 2- ركائز توجيه 3- نفق.

الفصل الثاني

المفرغات

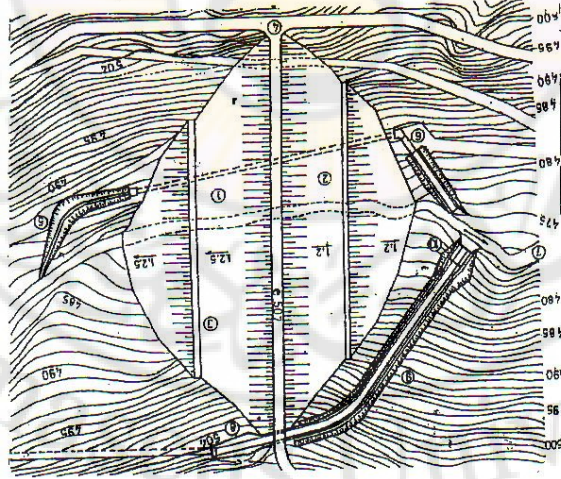
1.2 تعريف المفرغ:

هو بالتعريف منشأة ملحقة بالسد، الغاية منها تفريغ بحيرة السد، جزئياً أو كلياً، بالإضافة إلى إمرار التصريف الخدمية إلى الحوز السفلي، كما يمكن استخدام المفرغ من أجل غسيل الحوز العلوي (بحيرة السد) من الرواسب أو المجروفات المتراكمة أمام السد.

2.2 الغاية من إنشاء المفرغ السفلي:

المفرغات يمكن أن تقوم بإحدى المهام التالية:

1. تصريف واردات المجرى المائي أثناء التنفيذ
2. تفريغ بحيرة التخزين في الحالات الطارئة
3. نقل المياه اللازمة لري الأراضي
4. تأمين التدفق اللازم لمليء بحيرة التخزين بواسطة محطات الضخ.

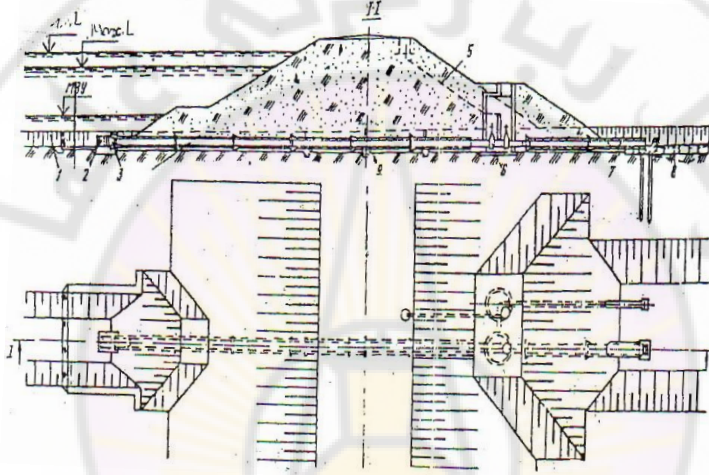


الشكل (1-2) مسقط أفقي لجسم السدج والمنشآت الملحقة به

- 1- المنحدر الأمامي
- 2- المنحدر الخلفي
- 3- مسطبة
- 4- قمة السد
- 5- مدخل المفرغ
- 6- مخرج المفرغ
- 7- المجرى المائي
- 8- مفيض خندقي
- 9- مجرى سريع
- 10- حوض تهدئة.

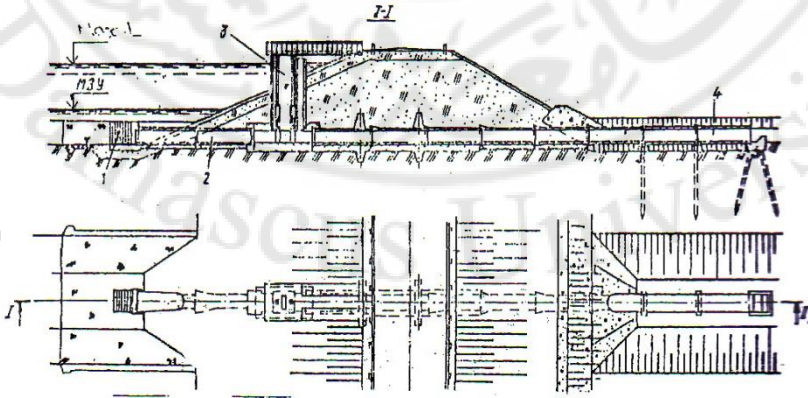
3.2 تصميم المفرغات

ينفذ المفرغ كمنشأة مستقلة أو مجتمعاً مع المفيض الشكل (2-2) و (3-2) ، وذلك تبعاً لظروف الإنشاء وبعد إجراء المقارنة التقنية الاقتصادية للاحتتمالات الممكنة. وتكون المفرغات المستقلة إما مكشوفة (غير مضغوطة)، وفي هذه الحالة غالباً ما تكون ضفافية في السدود المنخفضة الارتفاع حتى (4-6) متر أو مغلقة (مضغوطة) في جسم السد ذي الارتفاع العالي نسبياً.



الشكل (2-2) مفرغ أنبوبي

- 1- قناة جلب ماء
- 2- شبكة حماية
- 3- منشأة المدخل
- 4- الأنابيب الناقلة
- 5- أنبوب التهوية
- 6- سكرة
- 7- تشغيل
- 8- حفرة الجرف.



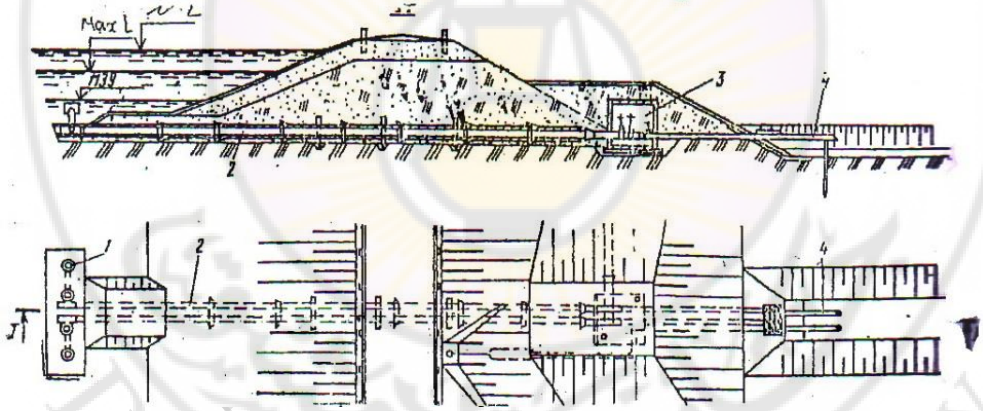
الشكل (2-3):مفرغ أنبوبي ذو برج تحكم

- 1- منشأة المدخل
- 2- الأنابيب الناقلة
- 3- برج التحكم
- 4- الجزء الأخير للأنابيب

4.2 المفرغات الأنبوبية:

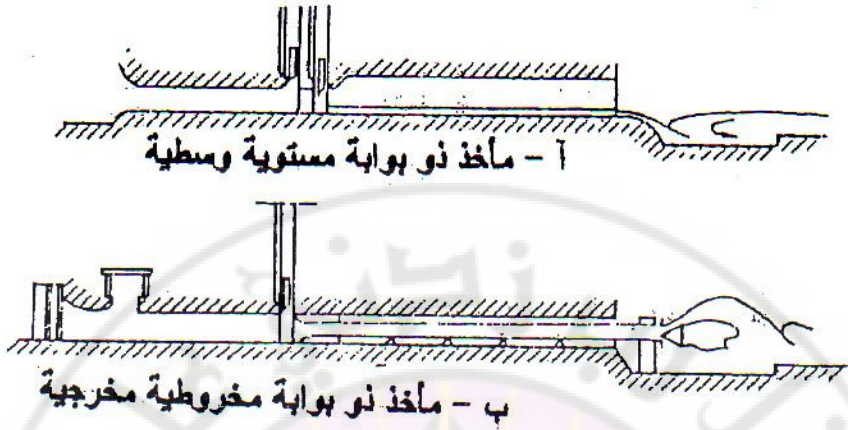
لاقت المفرغات الأنبوبية انتشاراً واسعاً في السدود الترابية المنخفضة الارتفاع لذلك أعطتها المختصون اهتماماً كبيراً وأعدوا لها تصاميم نموذجية مختلفة منها:

- (أ) مفرغ أنبوبي من الببتون المسلح بقطر $D = 0.5 \sim 0.6m$ أو من الفولاذ بقطر $D = 0.4 \sim 0.6m$ لإمرار تصريف تصميمي $Q \leq 1.5m^3/s$ ويعمل المفرغ بواسطة سكورة يدوية متوضعة ضمن بئر خاص يخترق السطح السفلي للسد كما في الشكل (2-4)
- (ب) مفرغ أنبوبي من الببتون المسلح بقطر $D = 1 \sim 1.4m$ وذلك لإمرار تصريف تصميمي $Q \leq 13m^3/sec$. يعمل المفرغ بواسطة بوابات متوضعة ضمن برج تحكم يخترق السطح العلوي للسد كما في الشكل (2-5)
- (ت) مفرغ أنبوبي متعدد الفتحات؛ يؤخذ الماء فيه إلى المستهلك من حجرة توزيع متوضعة في نهاية المآخذ في الشكل (2-6)

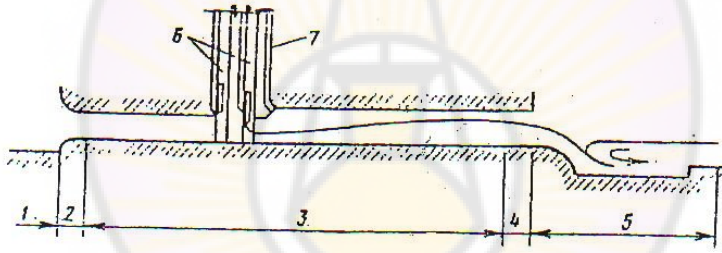


الشكل (2-4): مصرف أنبوبي مركب (مفرغ + مفيض)

1-فتحات المفيض 2- الأنابيب المغلقة 3- حجرة توزيع 4- الجزء الأخير من المصرف.



الشكل (2-5): الشكل العام للمأخذ المغلقة



الشكل (2-6)

1. قطاع جلب الماء 2- منشأة المدخل 3- الجزء الناقل 4- الجزء الأخير للمأخذ 5- الجزء الانتقالي المتصل مع المجرى الطبيعي 6- برج التحكم لتشغيل البوابات 7- بئر تهوية.

5.2 المسائل المدروسة عند تصميم المفرغات:

1.5.2 تحديد مكان إنشاء المفرغ:

يحدد مكان المفرغ، شاقولياً أو أفقياً، تبعاً للوظيفة التي سيؤديها وللظروف الجيوهندسية للموقع. وينصح أن يكون محور المفرغ مع محور السد. وأن يرتكز على دعائم تمنع ما أمكن تجاوز الهبوط التفاضلي لوصلاته إلى الحد المسموح. أما فتحة مدخله فتتوضع على منسوب يؤمن تفريغ بحيرة السد إلى الحد المطلوب. وينصح عادةً أن يقع محورها على عمق 1~1.5m تحت المنسوب الميت. أما فتحة المخرج فيكون محورها متوافقاً مع منسوب الماء في الحوز السفلي وذلك عند إمرار التصريف الأعظمي Q_{max} في المفرغ ويتحدد هذا المنسوب من المنحني البياني $V_{dol}=F(Q)$.

2.5.2 تحديد قيمة التصريف التصميمي للمفرغ:

يتحدد التصريف التصميمي للمفرغ من شرط تأمين تفريغ بحيرة السد حتى المنسوب المطلوب وخلال زمن محدد. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار ضرورة إمرار التصريف السطحي، (المطلوب للاستثمار في الحوز السفلي) أو التصريف الإنشائي (خلال فترة إنشاء السد) عند تعدد وظائف المفرغ يتم التصميم على التصريف الأكبر.

3.5.2 تحديد شكل وأبعاد المقطع العرضي للمفرغ:

يتم اختيار شكل المقطع العرضي للمفرغ إما إنبوبياً (المقطع دائري) أو صندوقياً (ذا مقطع مستطيل) وذلك تبعاً لمادة الإنشاء وظروف التنفيذ، أما أبعاد المقطع العرضي فتحدد من العلاقة العامة للأنابيب المضغوطة والتي تأخذ بعين الاعتبار الحالات الحسابية المختلفة بالإضافة إلى ظروف الجريان في الحوز السفلي، ثم يتم الاختيار النهائي بحيث يناسب جميع هذه الحالات، بعد تحديد أبعاد المقطع العرضي للمفرغ يتم حساب مدة تفريغ بحيرة السد.

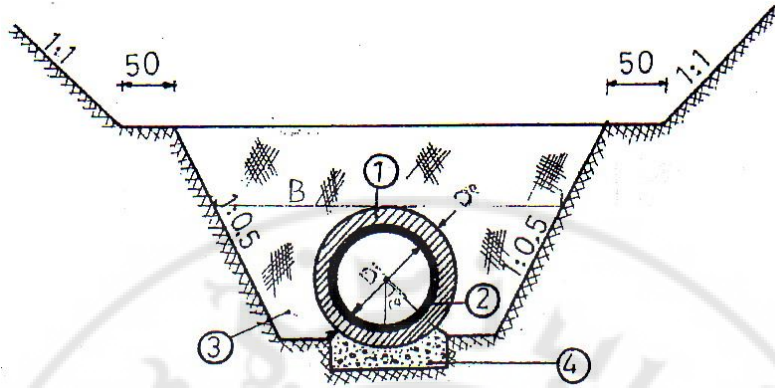
يتضمن أيضاً تصميم المفرغات حل ودراسة المسائل التالية:

- (أ) إخماد الطاقة الحركية في الحوز السفلي.
- (ب) حساب المفرغ على الضغط الستاتيكي
- (ت) حساب تأثير التسرب وخصوصاً تدرج الضغط على التربة المحيطة بالمفرغ.
- (ث) حساب توازن برج التحكم (في حال وجوده) ضد الطفو.

6.2 الحساب الهيدروليكي للمفرغ:

المعطيات مبينة على الشكل (7-2):

- سعة التصريف الأعظمية Q_{max} m/se
- طول الأنبوب L_m .
- منسوب التخزين الطبيعي H_1 m
- منسوب التخزين الميت H_2 m
- منسوب نهاية المفرغ H_3 m



الشكل (7-2): مقطع عرضي في أنبوب المفرغ السفلي

- 1- أنبوب بيتون مسلح 2- أنبوب معدني 3- ردميات من نواتج الحفر المرصوفة جداً 4- سرير بيتوني عيار C8/10

- يعطى التدفق في المفرغ بالعلاقة التالية:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (2-1)$$

A مساحة مقطع المفرغ

H الضاغط المائي بشكل وسطي ويعطى كما يلي:

$$H = \left(\frac{H1 + H2}{2} \right) - H3 \dots \dots \dots (2-2)$$

□ : معامل التصريف ويعطى بالعلاقة:

$$\square = \frac{1}{\sqrt{\eta_{en} + \eta_f + \eta_{ex} + \eta_{e1} + \eta_{e2} + \eta_{e3}}} \dots \dots \dots (2-3)$$

بحيث η_{en} معامل الضياع عند المدخل ويؤخذ كما يلي:

الحواف حادة: $\eta_{en} = 0,5$

الحواف مستديرة: $\eta_{en} = 0.1 \sim 0.2$

الحواف انسيابية: $\eta_{en} = 0.05 \sim 0.06$

η_f : معامل الضياع بالاحتكاك ويعطى بالعلاقة:

$$\eta_f = \frac{\lambda L}{D} \dots \dots \dots (2-4)$$

□ : معامل الاحتكاك الهيدروليكي (معامل دارسي)، ويمكن حسابه من أجل الأنابيب

الدائرية التي أقطارها $d \leq 4m$ من علاقة بافلوفسكي:

$$\lambda = 8. g. n^2. \left(\frac{4}{d}\right)^{3(\sqrt{n})} \dots \dots \dots (2 - 5)$$

n : أمثال الخشونة للبيتون الجيد التنفيذ (0.012~0.014) ويمكن حساب عامل الاحتكاك \square بشكل عام من العلاقة:

$$\square = \frac{8. g}{c^2} \dots \dots \dots (2 - 6)$$

حيث c ثابت شيزي ويعطى بالعلاقة:

$$c = \frac{1}{n}. R^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (2 - 7)$$

R : نصف القطر الهيدروليكي ويساوي $D/4$

D : قطر المفرغ بالمتري.

N : عامل الخشونة للسطح الداخلي للأنبوب ويعطى 0.012 للأنابيب الفولاذية.

\square_{ex} : معامل الضياع عند المخرج ويؤخذ مساوياً للـ 1.

\square_{e1} : الفاقد الموضعي الناتج عن السكورة إن وجدت.

\square_{e2} : الفاقد الموضعي عند وجود فرع ثانوي على الأنبوب الرئيسي ويساوي 0.1.

\square_{e3} : الضياع عند الشبك الشاقولي الموجود عند مدخل منشأة الدخول لمنع دخول

العوالق والحجارة إلى المفرغ ويحدد بالعلاقة:

$$\square_{e3} = \beta. k_1. k_2. \sin \alpha \dots \dots \dots (2 - 8)$$

\square : زاوية ميل الشبكة على الأفق وتساوي 90 درجة عندما تكون الشبكة شاقولية.

\square : عامل يؤخذ من الجدول (2-3)

k_1 : عامل يحدد من العلاقة:

$$k_1 = \left(\frac{d}{d + \alpha}\right) \dots \dots \dots (2 - 9)$$

k_2 عامل يحدد من العلاقة:

$$k_2 = \left[2.3 \times \frac{e}{\alpha} + 2.4 \times \frac{\alpha}{e} + 8 \right] \dots \dots \dots (2 - 10)$$

حيث d سماكة القضيب (السيخ) الواحد $d: 8 \sim 10 \text{mm}$

a : التباعد بين قضبان الشبكة $a: 100 \sim 200 \text{mm}$

e : عرض القضيب الواحد $e: 40 \sim 70 \text{mm}$

ونعتمد بشكل عام عند حساب الضياع الموضعي عند الشبكة الشاقولية القيم التصميمية التالية:

$$e = 40 \text{mm}, a = 100, d = 10 \text{mm}$$

ومما سبق نلاحظ إن μ مرتبطة بشكل مباشر بـ D (قطر أنبوب المفرغ) وبالتالي بالتعويض بالعلاقة (2-1) نجد:

$$Q = \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH}$$

وهي علاقة بمجهول واحد هو D ومنه يمكن حساب قطر أنبوب المفرغ D .

أن تصريف أنبوب المفرغ يتعلق بالضاغط H ، ومن أجل حساب الزمن الكلي لتصريف بحيرة السد يتم تقسيم بحيرة السد إلى شرائح وفق المستويات الأفقية اعتباراً من منسوب الماء التصميمي ($H1$) وحتى منسوب قاعدة منشأة الدخول. لكل شريحة I ، سماكتها Δb يحدد الضاغط الوسطي المؤثر بين مركز الشريحة وقاعدة منشأة الدخول. وبعد ذلك يحدد حجم الماء الموجود ضمن هذه الشريحة ΔV_i وتصريف أنبوب المفرغ لكل شريحة Q_i ومنه يكون زمن تصريف كل شريحة $\Delta t = \frac{\Delta V_i}{Q_i}$ والزمن التراكمي T وبالتالي يحدد زمن تصريف بحيرة السد الكلي بالعلاقة التالية:

$$i = \frac{T}{24 \times 3600} = \frac{T}{86400} \text{ day} \leq 90 \text{ day} \dots \dots \dots (2 - 11)$$

يجب أن يحقق المفرغ الشرط السابق وإلا فإنه يجب تعديل قطر المفرغ إلى قيمة أكبر وإعادة إجراء التصميم من جديد.

يراعى في التصميم سرعة جريان الماء في المفرغ التي تحسب من العلاقة $V=Q/A$ فإذا كانت السرعة كبيرة بالنسبة للأنايب البيتونية فيجب تلبس الأنبوب من الداخل بأنبوب معدني سماكته 1cm وذلك منعاً لتآكل جدران الأنبوب.

7.2 الدراسة الإنشائية لأنبوب المفرغ:

أنبوب المفرغ يتكون من البيتون المسلح C16/20، صنف حديد التسليح A-I عالي المقاومة. يتوضع على السطح الداخلي للأنبوب البيتوني أنبوب فولاذي من أجل مقاومة الإجهادات الناتجة عن ضغط الماء الداخلي، ويحقق كتامة ويحمي البيتون من التآكل والحت كما أن الحديد الداخلي يشكل كوفراج داخلي عند سطح البيتون.

تحدد سماكة البيتون أنبوب المفرغ وحديد التسليح بالعلاقة مع الضغوط الأعظمي وقطر المفرغ D ونوع الأساسات وذلك من الألبومات المختصة والقائمة على دراسة الأنابيب المضغوطة بالنظرية الحديدية:

تحدد سماكة الأنبوب الفولاذي بالعلاقة

$$\delta = \frac{P \cdot D}{2\sigma} + 0.2 \geq 8\text{mm} \dots \dots \dots (2-12)$$

حيث p ضغط الماء التصميمي ويساوي

$$p = \bar{p} \cdot k_u \dots \dots \dots (2-13)$$

\bar{p} ضغط الماء الأعظمي في الأنبوب.

ku عامل أمان الحمولات ويساوي 1.5.

σ الإجهاد المسموح للصفائح الفولاذية 550kg/cm^2

إن مجموع الحمولات التي يتعرض لها الأنبوب تولد فيه وفي كل مقطع من مقاطع ثلاثة جهود:

1- جهد ناظمي N = 2- جهد انعطاف M = 3- جهد قص T،

الدراسة تتم في ثلاث نقاط رئيسية هي:

1- قمة الأنبوب، 2- جانب الأنبوب، 3- أسفل الأنبوب.

وبشكل عام يمكن إهمال جهاد القص T لأن فعاليته قليلة بالنسبة لبقية الجهود. إنقيم الإجهادات

تتبع لنوع الأساسات التي تركز عليها الأنابيب وزاوية ارتكازها. أكثر أنواع زوايا الارتكاز هي

$\theta = 90^\circ$ ، $\theta = 45^\circ$ وبين الجدول (1-2) قيم الجهود M-N وذلك حسب زاوية الارتكاز على

الأساس والحمولات المؤثرة.

جدول 1-2 قيم الجهود الناظمية وعزم الانعطاف:

الحالة	نوع الحمولات والأساس	قيم N			قيم M		
		N_0	$N \frac{\pi}{2}$	$N\pi$	M_0	$M \frac{\pi}{2}$	$M\pi$
1	الوزن الذاتي للسيفون: حالة الأساس $\theta = 90$	0.027F	0.0250F	0.027F	0.35Fd	0.031Fd	0.028Fd
	الوزن الذاتي للسيفون: حالة الأساس $\theta = 45$	0.053F	0.250F	-0.053F	-0.051Fd	0.039Fd	0.033Fd
2	وزن الماء: حالة الأساس $\theta = 90$	0.451G	-0.068G	-0.186G	-0.035Gd	0.031Gd	-0.028Gd
	وزن الماء: حالة الأساس $\theta = 45$	-0.424G	-0.068G	-0.212G	-0.051Gd	0.039Gd	-0.033Gd
3	حمولات التربة الشاقولية : حالة الأساس $\theta = 90$	0	0.500w	0	-0.063Wd	0.063Wd	- 0.063Wd
	حمولات التربة الشاقولية : حالة الأساس $\theta = 45$	0.027W	0.500W	-0.027W	-0.078Wd	0.070Wd	- 0.0685W d
4	دفع أفقي موزع بانتظام	0.500Q	0	0.500Q	0.063Qd	-0.063Qd	0.036Qd
5	دفع أفقي موزع بشكل مثلثي	0.687H	0	0.313H	0.073Hd	-0.063Hd	0.052Hd
6	حمولة داخلية	0.500pd	-0.500pd	-0.500pd	0	0	0

وبالاعتماد على الجدول السابق الذي يعطي M-N وذلك من أجل قيم زوايا ارتكاز الأنبوب على الأساس بحالتي $\phi = (45 \sim 90)$ لكل نوع من الأنواع من الحمولات

1.7.2 تحليل الحمولات المؤثرة:

يدرس المقطع الواقع تحت منتصف النواة باعتباره أخطر مقطع حيث ارتفاع الردم يكون أعظماً عند هذا المقطع، وبالنسبة لأنبوب المفرغ فهو مصنوع من الفولاذ بسماكة جدران θ ومحاط بطبقة بيتونية سماكتها h وظيفتها تقليل الحمولات المطبقة على المفرغ.

القطر الخارج لأنبوب المفرغ: De

القطر الداخلي لأنبوب المفرغ: Di

القطر الوسطي: $D = (De + Di) / 2$

1.1.7.2 الوزن الذاتي للمفرغ:

يحسب في المتر الطولي من العلاقة التالية:

$$F = 2\pi \times r \times e \times \gamma_h \dots \dots \dots (2 - 14)$$

حيث γ_h الوزن الحجمي للبيتون. e سماكة الجدار الداخلي للأنبوب، r نصف القطر الوسطي

2.1.7.2 الحمولات الشاقولية للتربة:

$$W = C \cdot \gamma \cdot B^2 \dots \dots \dots (2 - 15)$$

γ الوزن الحجمي لتربة الردم t/m^2

B عرض الخندق عند المستوي أعلى للمفرغ . شكل (2-7):

C ثابت يحسب من العلاقة:

$$C = \frac{\left[1 - e^{-\frac{1}{2k \cdot \mu \cdot H}} \right]}{2k \cdot \mu}$$

حيث $\mu = \tan \theta$ زاوية الاحتكاك للردميات مع جوانب الخندق.

H : ارتفاع الردميات فوق المفرغ الشكل (2-7).

K : نسبة الضغوط الفعلية على الضغوط الشاقولية وتعطى بالعلاقة:

$$k = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

ويمكن إعطاء قيم $k\mu$ من الجدول 2-2 حسب نوع تربة الردم.

التصنيف	نوع تربة الردم	الوزن الحجمي ط/م ³	زاوية الاحتكاك للتربة	زاوية احتكاك التربة مع الأنبوب	$k\mu$
I	2	3	4	5	6
A	تربة خشنة دون رص	1.7	30~40	25~35	0.1924
B	حصى ورمل	1.9	20~35	28~30	0.165
C	تربة ناعمة رطبة	2	20~30	15~20	0.150
D	تربة غضارية	2.1	15~25	15~20	0.130
E	تربة غضارية مشبعة	2.2	10~20	10~20	0.110

3.1.7.2 الدفع الأفقي للتربة Q:

$$Q = K \cdot W \dots \dots \dots (2 - 17)$$

K نسبة الضغوط الفعلية الأفقية على الضغط الشاقولي وتعطى بالعلاقة:

$$k = Q/w = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$$

$\mu = \tan \Phi$ معامل الاحتكاك للردميات مع جوانب الخندق، Φ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المستعملة في الردم

4.1.7.2 وزن الماء داخل الأنبوب G:

$$G = \gamma_0 \frac{D_1^2}{4} \dots \dots \dots (2-18)$$

حيث: γ_0 الوزن الحجمي للماء ويساوي 1 t/m^3

5.1.7.2 الضغط الداخلي للماء ضمن الأنبوب P: أو 2 t/m^2 أو kg/cm^2

$$p = \gamma_w \times H_p \dots \dots \dots (2-19)$$

H_p الضاغط المائي عند النقطة المدروسة (m) وتعطى قيمته بالعلاقة:

$$H_p = (H_1 - H') - \sum \zeta \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2-20)$$

V : سرعة التيار المار عبر الأنبوب.

H_1 : منسوب تخزين المياه التصميمي.

H' : منسوب أسفل بداية المفرغ

$$H_p = (H_1 - H') - \zeta_m \cdot \frac{V^2}{2g} - \zeta_f \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$\zeta_m = 0.5$ الضياعات الموضعية عند المدخل، ζ_f الضياعات الطولية $\zeta_f = \lambda L/d$

L طول الأنبوب من بداية المقطع وحتى المقطع المدروس.

$$\lambda = 8g \cdot n^2 \cdot \left(\frac{4}{d}\right)^{3\sqrt{n}} \dots \dots \dots (2-21)$$

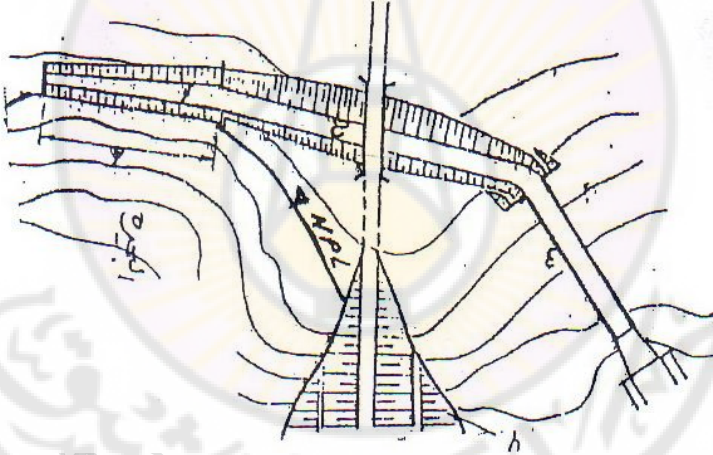
الفصل الثالث

المفيض الخندقي

1.3 المفيض الخندقي:

تعريف: هو مفيض ضفافي مفتوح يستقبل الماء جانبياً ويتألف المفيض الخندقي من الأقسام التالية:

1. هدار عريض العتبة أو هدار ذو مقطع عملي.
2. خندق يتدفق منه المياه العابرة وهو متغير المقطع باتجاه الجريان.
3. قناة وصل.
4. مجرى سريع أو مدرج شلالي ينتهي حوض التهدئة لتخميد الطاقة الحركية



الشكل (1-3) مخطط للمفيض الخندقي

1- هدار مع خندق 2- قناة انتقالية (وصل) 3- مجرى سريع مع حوض تهدئة 4- جسم السد.

2.3 الهدار في المفيض الخندقي:

يمكن أن يصرف المفيض الخندقي تدفق الفيضان أوتوماتيكياً حيث منسوب قمة الهدار هو منسوب التخزين الطبيعي في البحيرة. ويمكن أن يزود الهدار بركائز مع بوابات. النوع الأول يمكن أن يصل طوله إلى 150m والضاغط أعلاه 1.5 m وذلك في حالة التدفق حوالي $500 \text{ m}^2/\text{sec}$ ، أما المفيضات المنظمة أي مع بوابات وسكورة يمكن أن يصل تدفق التصريف إلى $2000 \text{ m}^2/\text{sec}$. ويتم تحديد طول الهدار وبالتالي الخندق حسب قيمة H المسموحة

ويعطى طول الخندق بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{Q}{m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^2}} \dots \dots \dots (1-3)$$

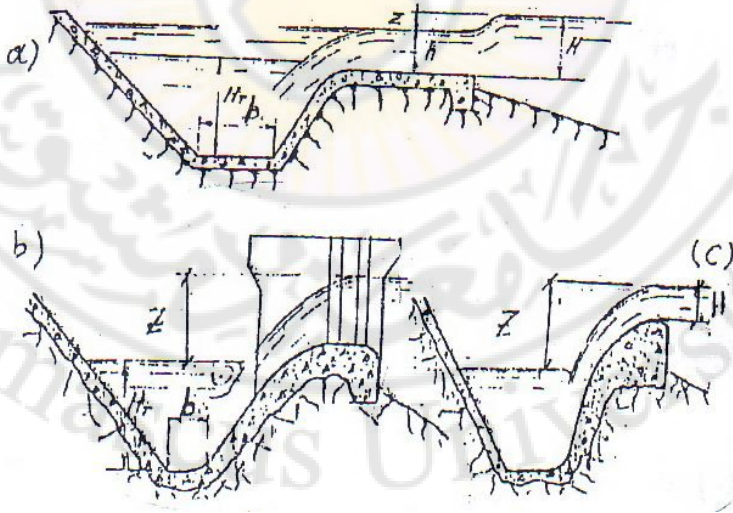
m : معامل التصريف وتختلف قيمته حسب نوع الهدار وطبيعة عمله، أي أن m تتبع إلى ظروف دخول الماء إلى الهدار بشكل (2-3)

- حالة هدار عريض العتبة. شكل (a-2-3). $m=0.36$.
 - حالة هدار ذو مقطع عملي $m=0.49$, $m=0.48$ حسب نموذج كغرايغر A,B شكل (b-2-3).
 - حالة هدار مع فاكيوم $m=0.54 \sim 0.56$ شكل (c-2-3).
- b : عرض جبهة الهدار لفتحة واحدة (في حالة وجود عدة فتحات نستبدل b بـ B والتي

$$B = \sum b$$

H : الضاغط المائي فوق عتبة الهدار.

Q : التصريف المار عبر الهدار.



شكل (3-2) مقاطع المفيض الخندقي حسب نوع الهدار

3.3 الحساب الهيدروليكي للخندق:

يتضمن الحساب الهيدروليكي تحديد طول عتبة الهدار وأبعاد الخندق، ويمكن أن يتم الحساب بعدة طرق ولكن أكثر الطرق شيوعاً هي طريقة الفروق الحدية، حيث يتم بهذه الطريقة تقسيم الخندق طولياً إلى عدة أقسام، ومن أجل كل قسم وانطلاقاً من التدفق والعرض المعطى عند القاع يتم إيجاد الأبعاد الأخرى للتيار والمنشأة.

يتم الحساب بالأخذ بعين الاعتبار الفرضية التالية: اعتبار سرعة التيار على طول الخندق ثابتة لا تؤثر على طبقات الترسية للجدران والقاع.
خطوات الحل:

1. تحديد قيمة السرعة الوسطية المسموحة للتيار في الخندق وفق العلاقة:

$$V_t = 0.95 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \dots \dots \dots (2 - 3)$$

2. الفرق في منسوب الماء في الحوز العلوي للهدار ومنسوب الماء في الخندق.
z: الفرق في منسوب الماء في الحوز العلوي للهدار ومنسوب الماء في الخندق.

3. تحديد مساحة المقطع الحي للتيار في كل مقطع وفق العلاقة:

$$W_n = \frac{Q_{xn}}{V_t} \dots \dots \dots (3 - 3)$$

Q_{xn} تدفق الماء في المقطع المدروس m^3/sec ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{xn} = m \cdot X_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^3} \dots \dots \dots (4 - 3)$$

m : معامل تصريف الهدار.

X_n : المسافة بين بداية الخندق حتى المقطع المذكور ويقدر بـ m .

H : الحمولة المائية فوق عتبة المفيض يقدر بـ m (الضاغط).

4. تعطى قيم لعرض الخندق في بدايته b_0 ونهايته b_k ويحسب في كل مقطع

عرض الخندق وارتفاع الماء فيه بالعلاقات التالية:

$$b_n = b_0 + (b_k - b_0) \frac{X_n}{L} \dots \dots \dots (5 - 3)$$

$$h_n = 1/2m(\sqrt{b_n^2 + 4mA_n} - b_n) \dots \dots \dots (6 - 3)$$

حيث:

b_n : عرض الخندق في المقطع المدروس ويقدر بـ m .

M : ميل منحدر الجدار المواجه لعتبة الهدار.

L : طول الخندق ويساوي طول عتبة الهدار.

h_n : ارتفاع الماء في المقطع المدروس يقدر بـ m .

5. يحسب نصف القطر الهيدروليكي في كل مقطع بالعلاقة:

$$R_n = \frac{W_n}{b_n + 2 \cdot h_n \cdot \sqrt{1 + m^2}} \dots \dots \dots (7 - 3)$$

6. يحدد الميل الهيدروليكي في كل مقطع ثم القيمة الوسطية النهائية من العلاقات التالية:

$$I = \frac{V_1^2 * n^2}{R^3} \dots \dots \dots (8 - 3)$$

$$I_{cp} = \frac{(I_n + I_{n+1})}{2} \dots \dots \dots (9 - 3)$$

حيث:

n معامل الخشونة (من أجل خندق بيتوني $n=0.02$) ومنه يتم حساب القيمة النهائية للميل النهائي.

7. يحدد مقدار الضياع في الضاغط بين المقاطع بالعلاقة التالية :

$$Z_w = I_{cp} \times L_n \dots \dots \dots (10 - 3)$$

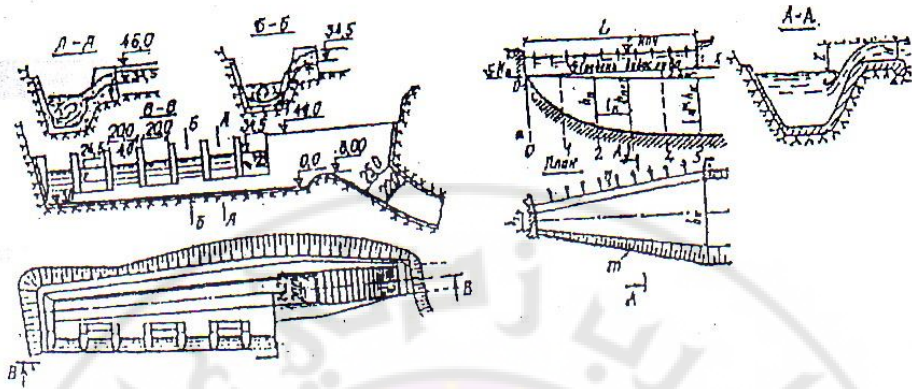
حيث : L_n المسافة بين المقاطع المدروسة تقدر بـ m .

7- تحسب مناسيب سطح الماء للتيار ومنسوب الخندق في كل مقطع بالعلاقات التالية:

$$N_n = N_0 - \sum Z_w \dots \dots \dots (11 - 3)$$

$$N_d = N_n - h_n \dots \dots \dots (12 - 3)$$

حيث: N_0 منسوب الماء في بداية الخندق. والشكل (3-3) يوضح الحساب.

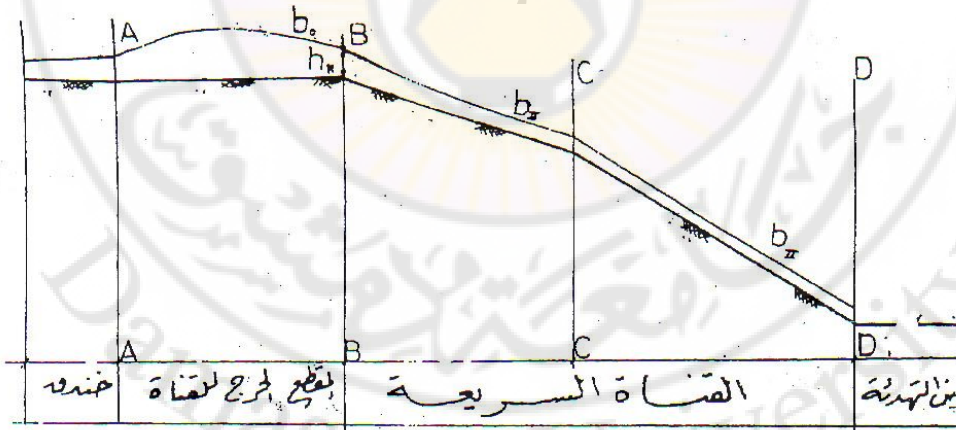


الشكل (3-3) مخطط للحساب الهيدروليكي للخندق

مفرغ خندقي مع أنف على سد هدار سرعة الجريان ثابتة على طوله لإخماد الحركة اللولبية
1 و 2 5 أرقام المقاطع

4.3 حساب وتصميم القناة (المجرى السريع):

يتم اختيار الميول الطولية للقناة مع أطوال أجزائها بحيث تتناسب وتوافق المسار الذي تم اختياره على سطح الضفة. وتساير الوضع التضاريسي للمنطقة المارة فيها وبحيث تحقق الغاية المنشودة.



الشكل (3-4) مقطع طولي في القناة.

مراحل التصميم

1.4.3 حساب العمق الحرج:

يحسب من العلاقة التالية:

$$\frac{\alpha \cdot Q^2}{g} = \frac{W_k^2}{B_k} \dots \dots \dots (13 - 3)$$

α : عامل تصحيح الطاقة الحركية حيث $\alpha=1$

Q : تدفق المقطع.

g : تسارع الجاذبية الأرضية

W_k : مساحة المقطع المائي الموافق لـ h_k ويعطى بالعلاقة:

$$W_k = h_k(b + mh_k) \dots \dots \dots (14 - 3)$$

B_k عرض المقطع المائي من الأعلى الموافق لـ h_k ويعطى بالعلاقة:

$$B_k = b + 2m h_k \dots \dots \dots (15 - 3)$$

2.4.3 حساب العمق النظامي:

يحسب العمق النظامي لكل جزء من القناة وفق علاقة (شيزي)

$$Q = A \cdot C \sqrt{RI} \dots \dots \dots (16-3)$$

C معامل شيزي ويعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{1}{n} R^6 \dots \dots \dots (17-3)$$

R نصف القطر الهيدروليكي ويعطى بالعلاقة:

$$R = \frac{A}{X} \dots \dots \dots (18-3)$$

X المحيط المبلول للمقطع ويعطى بالعلاقة:

$$X = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \dots \dots \dots (19-3)$$

I : الميل الطولي للقناة في جزئها المدروس.

A : مساحة المقطع المائي بـ m^2 حيث: $A = h(b + mh)$

n : معامل خشونة البيتون.

وبتبديل قيم X, R, C في العلاقة (16-3)، نحصل على العلاقة التالية:

$$Q = \frac{1}{n} X^{-2/3} \cdot A^{5/3} \cdot I^{1/2}$$

أو

$$Q = \frac{1}{n} (b + 2h_0\sqrt{1+m})^{-2/3} \cdot (h_0(b + mh_0))^{5/3} \cdot I^{1/2}$$

وبالحل التجريبي للعلاقة السابقة ومن أجل قيم I الميل لكل جزء من أجزاء القناة نحصل على النتائج كما هي مدونة في الجدول (1-3).

الجدول (1-3) الأعماق النظامية لأجزاء القناة مع ميل وطول كل جزء:

رقم الجزء المدرس	الطول L m	الميل I	العمق الحرج h_k	العمق النظامي h_0
I-II				
II-III				
III-IV				
.				
.				
..				

3. 4. 3 تحديد ظروف الجريان في أجزاء القناة:

تحدد ظروف الجريان لكل جزء من أجزاء القناة وذلك بمقارنة العمق النظامي مع العمق الحرج لكل جزء من أجزاء القناة.

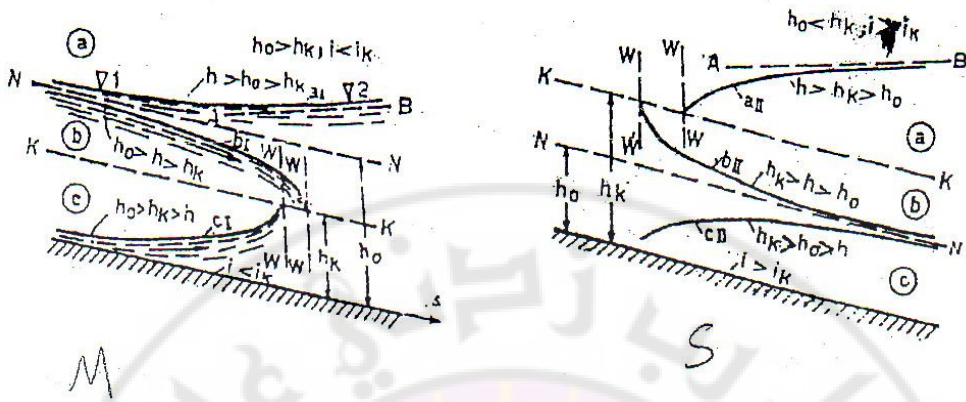
$h_0 > h_k$ الجريان هادئ (نهري).

$h_0 < h_k$ الجريان سريع (شلالي).

$h_0 = h_k$ الجريان حرج.

4. 4. 3 تحديد شكل السطح الحر للماء في القناة:

إن شكل السطح الحر للماء في القناة يتحدد حسب الحالات المبينة في الشكل (3-5) والتي تعطي شكل السطح الحر للماء حسب الميل i وعمق التحكم h وذلك من أجل الميل الموجب لفاع المجرى . $i > 0$



الشكل (5-3): السطح الحر للماء من أجل $i < i_k$ < السطح الحر للماء من أجل $i > i_k$

أما تحديد عمق التيار في نقاط تغير الميل وفي المقاطع المختلفة على طول القناة يتم من خلال علاقة الجريان غير المنتظم في الأفنية المكشوفة ذات الميل الموجب (علاقة باخميتف)

$$\frac{iL}{h_0} = \eta_2 - \eta_1(1 - \bar{j})[\Phi(\eta_2) - \Phi(\eta_1)] \dots \dots \dots (20 - 3)$$

حيث i : الميل الطولي للقناة.

L طول القناة بين المقطعين المحددين.

$$\eta_2, \eta_1 \text{ الأعماق النسبية: } \eta_2 = \frac{h_2}{h_0}, \eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$$

\bar{j} ثابت يحدد مواصفات المقطع الوسطي، والمقطع الوسطي هو المقطع الموافق للعمق الوسطي \bar{h} ، وتعطى كل من \bar{h} ، \bar{j} بالعلاقتين:

$$\bar{h} = \frac{1}{2}(h_1 + h_0) \dots \dots \dots (21 - 3)$$

$$\bar{j} = a \cdot i \cdot \bar{C}^2 \frac{\bar{B}}{\bar{U}} \dots \dots \dots (22 - 3)$$

\bar{B} : عرض سطح الماء من الأعلى في المقطع الوسطي.

\bar{U} : المحيط المبلول للمقطع الوسطي.

C : ثابت شيزي.

a : عامل الطاقة الحركية. $a=1$

ومن أجل مقطع شبه منحرف يكون:

$$\bar{B} = b + 2 \cdot m \cdot \bar{h}$$

b : عرض المقطع من الأسفل.

m : معامل ميل جوانب المقطع.

$$\bar{U} = b + 2\bar{h}\sqrt{1 + m^2}$$

\bar{R} : نصف القطر الهيدروليكي للمقطع.

$$\bar{C} = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{A}}{\bar{U}}$$

\bar{A} : مساحة المقطع الوسطي للتيار وبحسب من العلاقة: $\bar{A} = \bar{h}(b + m\bar{h})$

$\emptyset(\eta)$: تابع تعطي قيمته وفقاً للجدول (3-1) وذلك تبعاً لـ η والدليل الهيدروليكي X الذي يعطى بالعلاقة:

$$X = 2 \frac{\text{Log} \bar{k} - \text{Log} k_0}{\text{Log} \bar{h} - \text{Log} h_0} \dots \dots \dots (23 - 3)$$

حيث \bar{k} : معامل التصريف الموافق للعمق الوسطي \bar{h} لكل جزء من القناة ويعطى بالعلاقة:

$$\bar{K} = \bar{A} \cdot \bar{C} \cdot \sqrt{\bar{R}} \dots \dots \dots (24 - 3)$$

K_0 : معامل التصريف الموافق للعمق النظامي h_0 ، وبحسب بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$K_0 = A_0 \cdot C_0 \cdot \sqrt{R_0}$$

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{I}}$$

Q : التصريف المار في القناة. m^3/sec .

I : الميل الطولي للقناة في الجزء المدروس

ولتسهيل الحسابات ننظم الجدول (3 - 2)، الذي يبين مواصفات المقطع الوسطي والنظامي لكل جزء من أجزاء القناة اللازمة لتحديد شكل السطح الحر للماء، ولتحديد أعماق التيار في المقاطع المختلفة:

يبين الجدول (3-2) مواصفات المقطع الوسطي والنظامي لكل جزء من أجزاء القناة:

الجزء المدرس	h m	A m	U m	R m	C	K m ³ /sec	K ₀ m ³ /sec	B m	J	X
I-II										
II-III										

وبمعرفة قيم X ، η توجد $\emptyset(\eta_1)$ من الجدول (3-3)، وبتطبيق علاقة باخميتف نوجد $\emptyset(\eta_2)$ وبالتالي η_2 ، ومنه قيمة h_2 وهو العمق في نهاية القسم المدروس. وبعد ذلك يتم حساب أعماق التيار في المقاطع المختلفة على طول أجزاء القناة وكذلك حساب المسافات الموافقة لها، وبالاعتماد على العلاقة (3-20)، وبفرض قيم مختلفة لـ h محصورة بين قيم عمق التيار في بداية ونهاية الجزء المدروس و L الموافقة للعمق المفروض، حيث h عمق التيار المائي في المقطع الدروس و L المسافة مأخوذة اعتباراً من بداية الجزء المدروس (m).

5.3 الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة الحركية:

في جميع الأحوال لا يسمح بأن تنشأ خلف المنشأة قفزة مائية غير مغمورة لأن ذلك يؤدي إلى اهتزاز أرضية المجرى وعدم استقرار كامل المنشأة، لذلك يجب وضع الحلول الإنشائية الملائمة لإخماد الطاقة وجعل القفزة المائية مغمورة وهنالك عدة حلول نذكر منها:

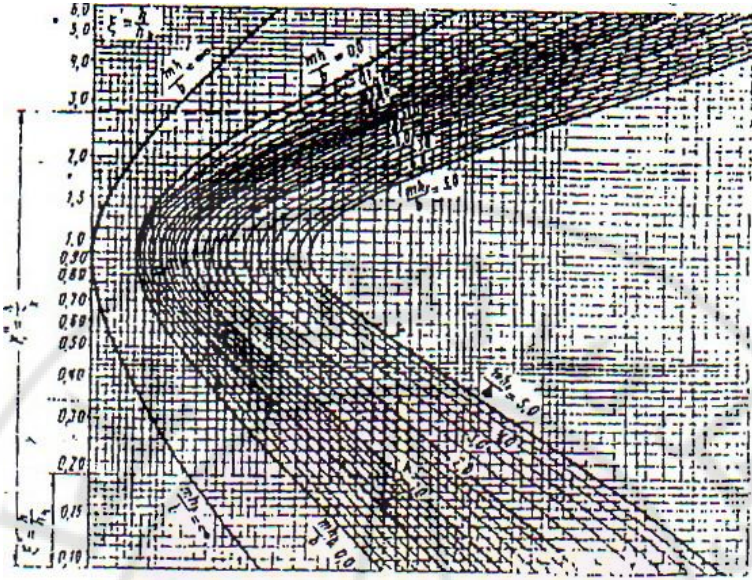
1. إنشاء حوض التهدئة.
2. جدار بيتوني يعترض الجريان المائي.
3. مخمدات بيتونية (كتل مختلفة الأشكال الهندسية تتوضع بشكل شطرنجي).
4. ويمكن استخدام حلين مع بعضهما البعض من الحلول المذكورة سابقاً.

1.5.3 تصميم حوض التهدئة:

~~الهدف من إنشاء حوض التهدئة إخماد الطاقة الحركية الكبيرة للتيار والمشكلة في القناة السريعة بسبب الانحدار الشديد. ويتضمن تصميم حوض التهدئة تحديد عمقه d وطوله L_k وسماكته e .~~

~~أ- إذا كان $h_0 > h_k$ فسوف تتشكل قفزة مائية. نفرض العمق المرافق الأول لهذه القفزة يساوي عمق التيار في نهاية القناة أما العمق المرافق الثاني يتم تحديده اعتماداً على المخطط البياني~~

~~الشكل (3-6)~~



الشكل (3-6) المخطط البياني لتحديد عمقي القفزة المائية في قناة مقطوعها شبه منحرف
ويتطلب استخدام الجدول معرفة النسب التالية:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_1 = \frac{h}{h_k} \\ \frac{m \cdot h_k}{b} \end{array} \right\} \Rightarrow \xi_2 = \frac{h''}{h_k} \Rightarrow h'' = \xi_2 \cdot h_k$$

ب- $h'' < h_0$ ← القفزة المدفوعة، وهنا يجب أن نصمم حوض تهدئة للإخماد الطاقة الحركية وذلك لغمر القفزة. أن عمق الماء في الحوض التهدئة يجب أن يؤمن غمر القفزة بدرجة غمر σ ويصبح العمق المرافق للقفزة $(\xi = \sigma \cdot h'')$.

2.5.3 مراحل التصميم:

1. نحدد العمق الأولي للحوض من العلاقة:

$$d = h'' - h_0 \dots \dots \dots (25-3)$$

2. نحدد العمق التصميمي لحوض التهدئة من العلاقة:

$$d = \xi - h_0 - \Delta z \dots \dots \dots (26-3)$$

h_0 : العمق النظامي في المجرى المائي.

Δz : الهبوط في سطح الماء الحر للتيار المائي عند الخروج من حوض التهدئة ويحسب بالعلاقة:

$$\Delta z = \frac{a \cdot q^2}{2g \cdot \varphi^2 \cdot h_0^2} - \frac{a \cdot q^2}{2g \cdot t^2} \dots \dots \dots (27 - 3)$$

~~q: التدفق النوعي في واحدة الطول من مقطع القناة ويحسب من العلاقة التالية:~~

$$q = \frac{Q}{b + m \cdot h} \dots \dots \dots (28 - 3)$$

~~3. يعطى طول حوض التهئة في حال عدم استخدام مخمدات بالعلاقة التالية:~~

$$L_k = (1 \sim 1.25)L_n \dots \dots \dots (29 - 3)$$

~~L_n : طول القفزة الهيدروليكية ويعطي بالعلاقة التالية:~~

$$L_n = (5 \sim 6)(h'' - \hat{h}) \dots \dots \dots (30 - 3)$$

~~يمكن تخفيض طول حوض التهئة باستخدام مخمدات وعندئذ:~~

$$L_k = 0.8L_n \dots \dots \dots (31 - 3)$$

~~4. سماكة حوض التهئة:~~

$$e = \left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12} \right) L_k \dots \dots \dots (32 - 3)$$

$$e = 0.15V_e \sqrt{h_e} \dots \dots \dots (33 - 3)$$

~~حيث V_e و h_e عمق وسرعة التيار المائي في المقطع المضغوط أي عند التقاء القناة مع أرضية حوض التهئة.~~

جدول (3-3)، قيم التابع $\phi(\eta)$ في حالة الميل الموجب لقاع القناة $\lambda > 0$ من أجل قيم مختلفة للدليل

الهيدروليكي X.

η	2.00	2.50	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.50	5.00	5.50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.15	0.151	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
0.20	0.202	0.201	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.25	0.255	0.252	0.251	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
0.30	0.309	0.304	0.302	0.301	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.35	0.365	0.357	0.354	0.352	0.351	0.351	0.351	0.351	0.350	0.350
0.40	0.423	0.411	0.407	0.404	0.403	0.403	0.402	0.401	0.400	0.400
0.45	0.484	0.468	0.461	0.458	0.456	0.455	0.454	0.452	0.451	0.450
0.50	0.549	0.527	0.517	0.513	0.510	0.508	0.507	0.504	0.502	0.501
0.55	0.619	0.590	0.575	0.570	0.566	0.564	0.561	0.558	0.554	0.552
0.60	0.693	0.657	0.637	0.630	0.624	0.621	0.617	0.610	0.607	0.605
0.61	0.709	0.671	0.650	0.642	0.636	0.632	0.628	0.621	0.618	0.615
0.62	0.725	0.685	0.663	0.654	0.648	0.644	0.640	0.632	0.629	0.626
0.63	0.741	0.699	0.676	0.667	0.660	0.656	0.652	0.644	0.640	0.637
0.64	0.758	0.714	0.689	0.680	0.673	0.668	0.664	0.656	0.651	0.648
0.65	0.775	0.729	0.703	0.693	0.686	0.681	0.676	0.668	0.662	0.659
0.66	0.792	0.744	0.717	0.706	0.699	0.694	0.688	0.680	0.674	0.670
0.67	0.810	0.760	0.731	0.720	0.712	0.707	0.700	0.692	0.686	0.681
0.68	0.829	0.776	0.746	0.734	0.725	0.720	0.713	0.704	0.698	0.692
0.69	0.848	0.792	0.761	0.748	0.739	0.733	0.726	0.716	0.710	0.704
0.70	0.867	0.809	0.776	0.763	0.753	0.746	0.739	0.728	0.722	0.716
0.71	0.887	0.826	0.791	0.778	0.767	0.760	0.752	0.741	0.734	0.728
0.72	0.907	0.843	0.807	0.793	0.781	0.774	0.766	0.754	0.747	0.740
0.73	0.928	0.861	0.823	0.808	0.796	0.788	0.780	0.767	0.760	0.752
0.74	0.950	0.880	0.840	0.823	0.811	0.802	0.794	0.780	0.773	0.764
0.75	0.972	0.899	0.857	0.839	0.827	0.816	0.808	0.794	0.786	0.776
0.76	0.996	0.919	0.874	0.855	0.843	0.832	0.823	0.808	0.799	0.788
0.77	1.020	0.939	0.892	0.872	0.860	0.848	0.838	0.822	0.812	0.801
0.78	1.045	0.960	0.911	0.890	0.877	0.865	0.854	0.837	0.826	0.814
0.79	1.071	0.982	0.930	0.908	0.895	0.882	0.870	0.852	0.840	0.828
0.80	1.098	1.006	0.950	0.927	0.913	0.900	0.887	0.867	0.854	0.842
0.81	1.127	1.031	0.971	0.947	0.932	0.918	0.904	0.882	0.869	0.857
0.82	1.156	1.056	0.993	0.968	0.951	0.937	0.922	0.898	0.884	0.872
0.83	1.188	1.082	1.016	0.990	0.971	0.956	0.940	0.915	0.900	0.888
0.84	1.221	1.110	1.040	1.013	0.992	0.976	0.960	0.933	0.917	0.904
0.85	1.256	1.139	1.065	1.037	1.015	0.997	0.980	0.952	0.935	0.921
0.86	1.293	1.170	1.092	1.062	1.039	1.019	1.002	0.972	0.953	0.938
0.87	1.333	1.203	1.120	1.088	1.065	1.043	1.025	0.993	0.972	0.956
0.88	1.375	1.238	1.151	1.116	1.092	1.069	1.049	1.015	0.992	0.975
0.89	1.421	1.276	1.183	1.146	1.121	1.097	1.075	1.039	1.014	0.995
0.90	1.472	1.316	1.218	1.179	1.152	1.127	1.103	1.065	1.038	1.017
0.905	1.499	1.338	1.237	1.197	1.169	1.143	1.117	1.079	1.050	1.028
0.910	1.527	1.361	1.257	1.216	1.186	1.159	1.132	1.093	1.063	1.040
0.915	1.557	1.385	1.278	1.236	1.204	1.175	1.148	1.108	1.077	1.053
0.920	1.589	1.411	1.300	1.257	1.223	1.194	1.165	1.124	1.091	1.066
0.925	1.622	1.439	1.323	1.279	1.243	1.214	1.184	1.141	1.106	1.080
0.930	1.658	1.469	1.348	1.302	1.265	1.235	1.204	1.159	1.122	1.095
0.935	1.696	1.501	1.374	1.326	1.288	1.257	1.225	1.178	1.139	1.111
0.940	1.738	1.535	1.403	1.352	1.312	1.280	1.247	1.198	1.157	1.128
0.945	1.782	1.571	1.434	1.380	1.338	1.305	1.271	1.219	1.176	1.146
0.950	1.831	1.610	1.467	1.411	1.367	1.332	1.297	1.241	1.197	1.165
0.955	1.885	1.653	1.504	1.445	1.399	1.362	1.325	1.265	1.220	1.186
0.960	1.945	1.701	1.545	1.483	1.435	1.395	1.356	1.292	1.246	1.209
0.965	2.013	1.756	1.591	1.526	1.475	1.432	1.391	1.324	1.275	1.235

x	2.00	3.30	3.00	3.25	1.50	3.15	1.00	1.50	5.00	5.50
0.970	2.092	1.820	1.611	1.575	1.521	1.475	1.431	1.362	1.308	1.265
0.975	2.181	1.895	1.707	1.672	1.575	1.525	1.479	1.407	1.347	1.300
0.980	2.297	1.985	1.783	1.703	1.640	1.587	1.537	1.460	1.394	1.344
0.985	2.442	2.100	1.881	1.795	1.727	1.666	1.611	1.525	1.455	1.400
0.990	2.616	2.264	2.018	1.921	1.844	1.777	1.714	1.614	1.533	1.474
0.995	3.000	2.511	2.250	2.137	2.043	1.965	1.889	1.770	1.680	1.605
1.000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.005	2.997	2.139	1.617	1.477	1.329	1.218	1.107	0.954	0.826	0.730
1.010	2.652	1.861	1.419	1.265	1.138	1.031	0.936	0.790	0.680	0.598
1.015	2.450	1.701	1.291	1.140	1.022	0.922	0.836	0.702	0.603	0.525
1.020	2.307	1.591	1.193	1.053	0.940	0.847	0.760	0.641	0.546	0.474
1.025	2.197	1.504	1.119	0.986	0.879	0.789	0.712	0.594	0.503	0.435
1.030	2.107	1.432	1.061	0.931	0.827	0.742	0.668	0.555	0.468	0.402
1.035	2.031	1.372	1.010	0.885	0.784	0.702	0.632	0.522	0.439	0.375
1.040	1.966	1.320	0.967	0.845	0.747	0.668	0.600	0.494	0.415	0.353
1.045	1.908	1.271	0.929	0.810	0.716	0.638	0.572	0.469	0.391	0.334
1.05	1.857	1.221	0.896	0.779	0.687	0.612	0.548	0.447	0.375	0.317
1.06	1.768	1.164	0.838	0.726	0.640	0.566	0.506	0.411	0.343	0.290
1.07	1.693	1.105	0.790	0.682	0.600	0.529	0.471	0.381	0.316	0.266
1.08	1.629	1.053	0.749	0.645	0.565	0.497	0.441	0.355	0.292	0.245
1.09	1.573	1.009	0.713	0.612	0.534	0.469	0.415	0.332	0.271	0.228
1.10	1.522	0.969	0.680	0.583	0.506	0.444	0.392	0.312	0.253	0.210
1.11	1.477	0.933	0.652	0.557	0.482	0.422	0.372	0.293	0.237	0.196
1.12	1.435	0.901	0.626	0.533	0.461	0.402	0.354	0.277	0.223	0.183
1.13	1.398	0.872	0.602	0.512	0.442	0.384	0.337	0.263	0.211	0.172
1.14	1.363	0.846	0.581	0.493	0.424	0.368	0.322	0.250	0.200	0.162
1.15	1.331	0.821	0.561	0.475	0.407	0.353	0.308	0.238	0.190	0.153
1.16	1.301	0.797	0.542	0.458	0.391	0.339	0.295	0.227	0.181	0.145
1.17	1.273	0.775	0.525	0.442	0.377	0.326	0.283	0.217	0.173	0.137
1.18	1.247	0.755	0.510	0.427	0.364	0.314	0.272	0.208	0.165	0.130
1.19	1.222	0.736	0.495	0.413	0.352	0.302	0.262	0.200	0.158	0.124
1.20	1.199	0.718	0.480	0.400	0.341	0.292	0.252	0.192	0.151	0.118
1.21	1.177	0.701	0.467	0.388	0.330	0.282	0.243	0.184	0.141	0.113
1.22	1.156	0.685	0.454	0.377	0.320	0.272	0.235	0.177	0.138	0.108
1.23	1.136	0.670	0.442	0.366	0.310	0.263	0.227	0.170	0.132	0.103
1.24	1.117	0.656	0.431	0.356	0.301	0.255	0.219	0.164	0.126	0.098
1.25	1.098	0.643	0.420	0.346	0.292	0.247	0.212	0.158	0.121	0.094
1.26	1.081	0.630	0.410	0.337	0.284	0.240	0.205	0.152	0.116	0.090
1.27	1.065	0.618	0.400	0.328	0.276	0.233	0.199	0.147	0.111	0.086
1.28	1.049	0.606	0.391	0.320	0.268	0.226	0.193	0.142	0.107	0.082
1.29	1.033	0.594	0.382	0.312	0.261	0.220	0.187	0.137	0.103	0.079
1.30	1.018	0.582	0.373	0.304	0.254	0.214	0.181	0.133	0.099	0.076
1.31	1.004	0.571	0.365	0.297	0.247	0.208	0.176	0.129	0.095	0.073
1.32	0.990	0.561	0.357	0.290	0.241	0.202	0.171	0.125	0.092	0.070
1.33	0.977	0.551	0.349	0.283	0.235	0.197	0.166	0.121	0.089	0.067
1.34	0.964	0.542	0.341	0.277	0.229	0.192	0.161	0.117	0.086	0.064
1.35	0.952	0.533	0.334	0.271	0.224	0.187	0.157	0.113	0.083	0.061
1.36	0.940	0.524	0.328	0.265	0.219	0.182	0.153	0.109	0.080	0.058
1.37	0.928	0.516	0.322	0.259	0.214	0.177	0.149	0.106	0.077	0.056
1.38	0.917	0.508	0.316	0.253	0.209	0.173	0.145	0.103	0.074	0.054
1.39	0.906	0.500	0.310	0.248	0.204	0.169	0.141	0.100	0.072	0.052
1.40	0.896	0.492	0.304	0.243	0.199	0.165	0.137	0.097	0.070	0.050
1.41	0.886	0.484	0.298	0.238	0.195	0.161	0.134	0.094	0.068	0.048
1.42	0.876	0.477	0.293	0.233	0.191	0.157	0.131	0.091	0.066	0.046
1.43	0.866	0.470	0.288	0.229	0.187	0.153	0.128	0.088	0.064	0.045
1.44	0.856	0.463	0.283	0.225	0.183	0.150	0.125	0.085	0.062	0.044
1.45	0.847	0.456	0.278	0.221	0.179	0.147	0.122	0.083	0.060	0.043
1.46	0.838	0.450	0.273	0.217	0.175	0.144	0.119	0.081	0.058	0.042
1.47	0.829	0.444	0.268	0.213	0.171	0.141	0.116	0.079	0.056	0.041

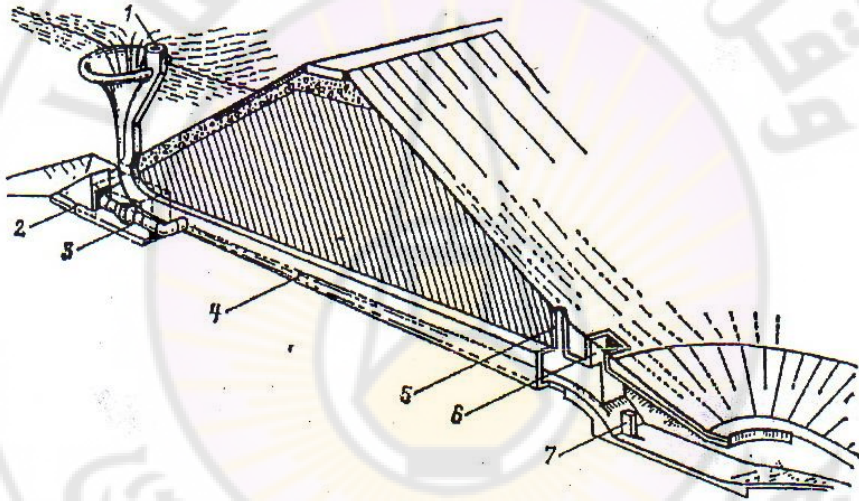
	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50
1,48	0,321	0,438	0,263	0,209	0,168	0,138	0,113	0,077	0,054	0,040
1,49	0,813	0,432	0,259	0,205	0,165	0,135	0,110	0,075	0,053	0,039
1,50	0,805	0,426	0,255	0,201	0,162	0,132	0,108	0,073	0,052	0,038
1,55	0,767	0,399	0,235	0,184	0,147	0,119	0,097	0,065	0,045	0,032
1,60	0,733	0,376	0,218	0,170	0,134	0,108	0,087	0,058	0,039	0,027
1,65	0,703	0,355	0,203	0,157	0,123	0,098	0,079	0,052	0,034	0,023
1,70	0,675	0,336	0,189	0,145	0,113	0,090	0,072	0,046	0,030	0,020
1,75	0,650	0,318	0,177	0,134	0,104	0,083	0,065	0,041	0,026	0,017
1,80	0,626	0,303	0,166	0,123	0,096	0,077	0,060	0,037	0,023	0,015
1,85	0,605	0,289	0,156	0,115	0,089	0,071	0,055	0,033	0,020	0,013
1,90	0,585	0,276	0,147	0,108	0,083	0,066	0,050	0,030	0,018	0,011
1,95	0,567	0,264	0,139	0,102	0,078	0,061	0,046	0,027	0,016	0,009
2,0	0,550	0,253	0,132	0,097	0,073	0,057	0,043	0,025	0,015	0,008
2,1	0,518	0,233	0,119	0,086	0,064	0,049	0,037	0,021	0,012	0,007
2,2	0,490	0,216	0,108	0,077	0,057	0,043	0,032	0,018	0,010	0,006
2,3	0,466	0,201	0,098	0,069	0,051	0,038	0,028	0,015	0,008	0,005
2,4	0,444	0,188	0,090	0,063	0,046	0,034	0,024	0,013	0,007	0,004
2,5	0,424	0,176	0,082	0,057	0,041	0,031	0,021	0,011	0,006	0,003
2,6	0,405	0,165	0,076	0,052	0,037	0,028	0,019	0,0095	0,0050	0,0025
2,7	0,389	0,155	0,070	0,048	0,033	0,025	0,017	0,0084	0,0045	0,0020
2,8	0,374	0,146	0,065	0,044	0,030	0,022	0,015	0,0075	0,0040	0,0015
2,9	0,360	0,138	0,060	0,040	0,027	0,020	0,013	0,0067	0,0035	0,0010
3,0	0,346	0,131	0,056	0,037	0,025	0,0185	0,0125	0,0060	0,0030	0,00075
3,5	0,294	0,104	0,041	0,026	0,017	0,0125	0,0075	0,0035	0,0020	0,00050
4,0	0,255	0,084	0,031	0,019	0,012	0,0085	0,0050	0,0020	0,0010	0,00025
4,5	0,226	0,070	0,025	0,014	0,009	0,0065	0,0035	0,0015	0,0005	0
5,0	0,203	0,059	0,020	0,010	0,007	0,0050	0,0025	0,0010	0	0
6,0	0,168	0,047	0,014	0,007	0,004	0,0030	0,0015	0,0005	0	0
8,0	0,126	0,029	0,009	0,004	0,002	0,0015	0,0010	0,0002	0	0
10,0	0,100	0,021	0,005	0,002	0,001	0,0005	0,0005	0	0	0

~~الفصل الرابع~~

~~المفيض القمعي~~

1.4 تعريف:

~~هي منشأة تعمل على تصريف مياه الفيضان من بحيرة السد ومؤلفة من قسمين قمع ونفق وتتوضع في جسم السد الترابي كما في الشكل (1-4).~~



~~الشكل (1-4) مفيض قمعي برجى مع نفق في جسم السد الترابي 1- قناة تهوية 2- حوض استقبال عميق 3- سكر 4- نفق غير مضغوط 5-6- فتحات تنقل عبر النفق 7- مخمد.~~

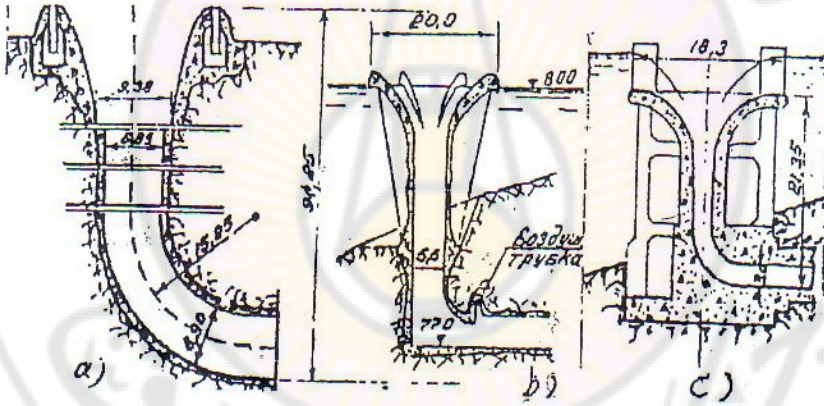
2.4 شروط استخدام منشأة المفيض القمعي:

- ~~1- وجود وديان صخرية ذات منحدرات شديدة يتعذر معها إنشاء أنواع أخرى من المصارف.~~
- ~~2- إمكانية استخدام قسم كبير من النفق المنشأ لتصريف التدفق أثناء الإنشاء كجزء من منشأة التصريف القمعية شكل (1-4).~~
- ~~3- قيمة تدفق الفيضان لا تزيد عن $5000 \text{ m}^3/\text{sec}$~~

3.4 أنواع المفيضات القمعية :

1- تصنيف حسب شكل القمع شكل (2-4):

- a- قمع كامل: أي كامل القمع ينشأ في الصخر ويكسى بالبيتون.
- b- قمع برجى: قسم من القمع في الصخر وقسم حر من البيتون المسلح.
- c- برجى كامل: القمع مع الكوع وقسم الوصل مع النفق تنشأ جميعها من البيتون المسلح ويستخدم هذا النوع لتصريف تدفقات $Q \leq 200 m^3/sec$ والضاغط $H \leq 25m$



الشكل (2-4) أنواع المفيضات القمعية حسب توضع القمع في السد.

2- تصنيف حسب ظروف الاستثمار:

- منظم حيث تزود قمة القمع بسكورة مهمة لتنظيم التدفقات إلى الحوز السفلي.
- مفتوح بشكل دائم (جريان دائم عبر القمة).

4.4 عناصر منشأة المفيض القمعي:

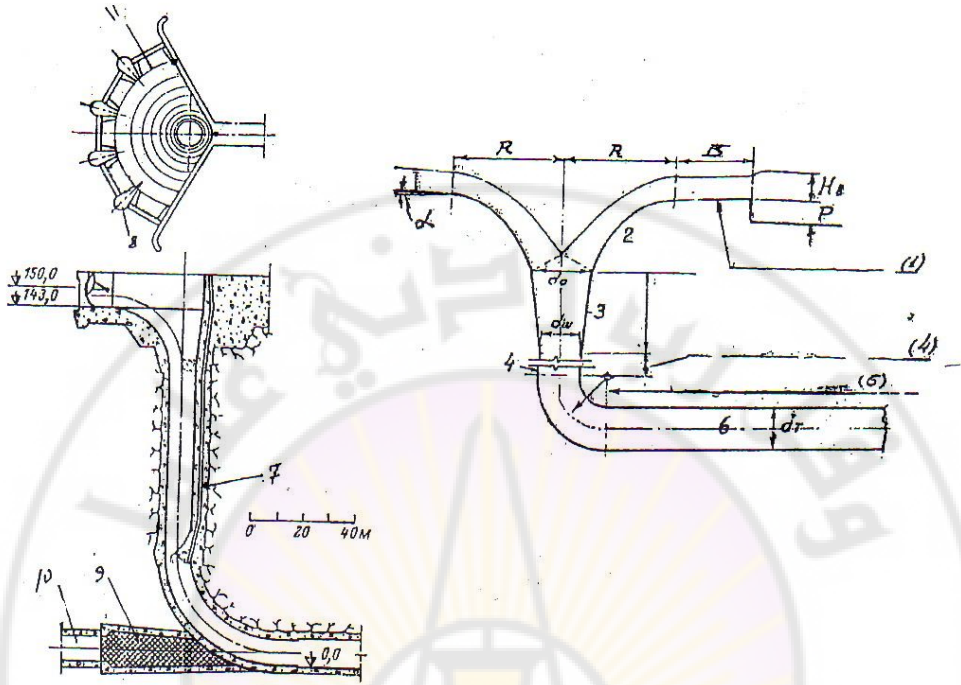
يتألف المفيض القمعي من العناصر التالية:

1. مدخل على شكل هدار حلقي أو نصف حلقي ويمكن أن يكون ذو قمة مستوية.
2. قمع عبارة عن مخروط يتناقص باتجاه الأسفل.
3. منطقة انتقالية يكون فيها المقطع مملوء بالماء ويتناقص قطرها باتجاه الأسفل حتى قيمة قطر أنبوب القمع.
4. أنبوب القمع ذو قطر ثابت.
5. كوع وصل بين أنبوب القمع والنفق.
6. نفق تصريف.
7. نفق تهوية يقع بعد كوع الوصل.

5.4 شروط تصميم المفيض القمعي:

- 1- منشأة القمع بدون سكورة عند القمة. يؤخذ الضاغط فوق القمة بحدود $1 \sim 2m$ ومع سكورة بحدود $4 \sim 5m$
 - 2- طول القمة المستوية $B = 0.4 \sim 0.5 R$ مع زاوية ميل على الأفق $\alpha = 6^\circ \sim 9^\circ$.
- شكل (3-4).

- 3- السرعة في النفق المضغوط وأنبوب القمع يجب ألا تزيد عن القيم التالية:
 - إذا كان المفيض مبني في الصخر ومسوى بشكل ناعم وبدون تغطية $V = 30 \sim 35 m/s$
 - المفيض مكسى بالبيتون ماركة أكثر من 300، السرعة المسموحة $V = 40 \sim 45 m/s$
 - المفيض مكسى بالبيتون ماركة أقل من 300، السرعة $V = 30 \sim 40 m/s$.

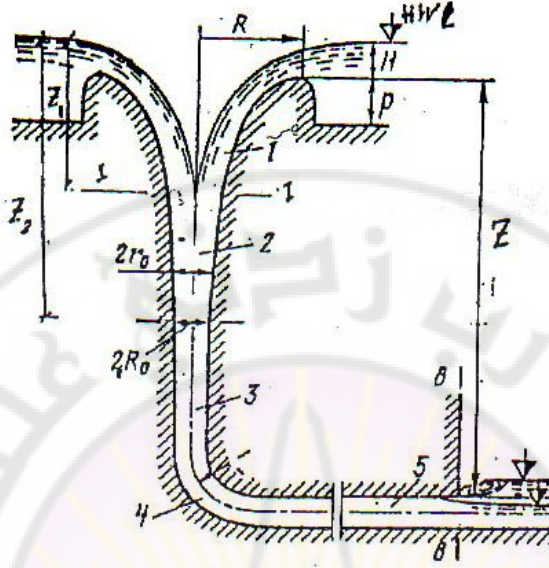


~~شكل (3-4) أقسام المفيض القمعي~~

- ~~1- مدخل القمع - 2- القمع - 3- منطقة انتقالية - 4- أنبوب القمع - 5- كوع وصل - 6- نفق
7- أنبوب تهوية - 8- ركيزة - 9- كتلة بيتونية لإغلاق نفق تدفق البناء - 10- أنبوب الصرف لتدفق
البناء - 11- مفيض قمعي نصف دائرة.~~

~~6.4 الدراسة الهيدروليكية للمفيض القمعي:~~

~~القدرة التصريفية للمفيض القمعي ذو هدار عملي شكل (4-4)~~



(شكل 4-4) مفيض قمعي ذو هدار عملي

1- القمع 2- منطقة انتقالية 3- أنبوب القمع 4- كوع وصل 5- نفق مضغوط.

يعطى التدفق عبر المفيض بالعلاقة التالية:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot (2\pi R - nd) \sqrt{2gH}^3/2 \dots \dots \dots (1-4)$$

حيث:

m : معامل التصريف ويأخذ القيم التالية:

$m = 0.36 \sim 0.38$ حالة وجود قسم دخول مستوي.

$m = 0.44 \sim 0.48$ حالة عدم وجود قسم دخول مستوي.

أي هدار ذو مقطع عملي:

R : نصف قطر القمة.

H : الضاغط فوق عتبة الهدار.

n : عدد الركائز

d : سماكة الركيزة.

ε : معامل الانضغاط ويأخذ قيمة وسيطة $\varepsilon = 0.9$ وعند عدم وجود ركائز $\varepsilon = 1$ و

$n=0$ وفي هذه الحالة تأخذ معادلة التدفق (4-1) الشكل التالي:

$$Q = m \cdot 2\pi \cdot R \cdot \sqrt{2g} H^{3/2} \dots \dots \dots (2-4)$$

m معامل التصريف يتبع إلى النسبة H/R لذلك لتحديد قيمة R نصف قطر القمع يمكن أن نضرب

الطرف الأيمن من المعادلة (4-2) بـ $\frac{R^{3/2}}{R^{3/2}}$ فيكون:

$$\dots \dots \dots (3-4) R = \sqrt[5]{\left[\frac{Q}{2 \cdot m \cdot \pi \cdot \sqrt{2g} \cdot (H/R)^{3/2}} \right]^2}$$

لتأمين دخول المياه على كامل محيط القمع بشكل منتظم يجب إحاطة قمة القمع بحفرة

على شكل قطع مكافئ محفورة بالصخر عمقها $f=1.75D$ شكل (4-5) وطولها يعطى

بالعلاقة:

$$l = \frac{2Q}{(P + H)V} \times \frac{\varphi}{180} \dots \dots \dots (4-4)$$

حيث:

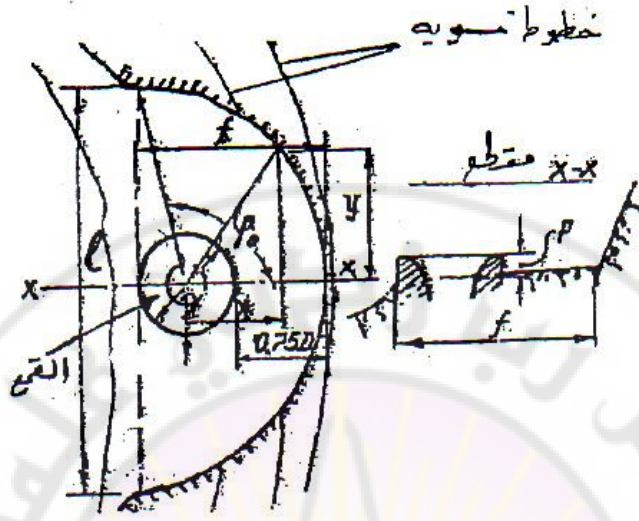
V: سرعة الاقتراب للماء أمام القمة وتأخذ القيم التالية:

- $V=1\text{m/s}$ حالة وجود منشأة إعاقة حاجز عند القمة.

- $V=0.3\text{m/s}$ حالة عدم وجود منشأة إعاقة.

φ : الزاوية المحصورة بين المحور X والمستقيم الواصل من مركز القمع

إلى نهاية الحفرة شكل (4-5).



شكل (4-5) حفرة تتوضع فيها قمة المفيض القمعي

معادلة منحنى الحفرة تعطى بالعلاقة التالية:

$$y = \frac{7D \cdot x \cdot (l - x)}{l^2} \quad (5-4)$$

عندما يكون منحنى الحفرة قطع مكافئ منشأة المفيض القمعي الدائري تعمل بطاقة تصريفية جيدة من أجل نسب مثالية l/D و P/H وعندما $f=cont=1.75D$ وفق

الجدول (4-1) الذي يبين قيم m تبعاً للنسب H/R وقيم l/D و P/H

H/R	0.2	0.3	0.4	0.5
l/D	8~6.5	6.5~5.8	6~5.4	5.7~5.3
P/H	2.6~1.9	2.2~1.65	1.9~1.4	1.6~1.15
M	0.48	0.466	0.442	0.439

حيث:

P: ارتفاع عتبة الهدار فوق أرض الحفرة شكل (4-5).

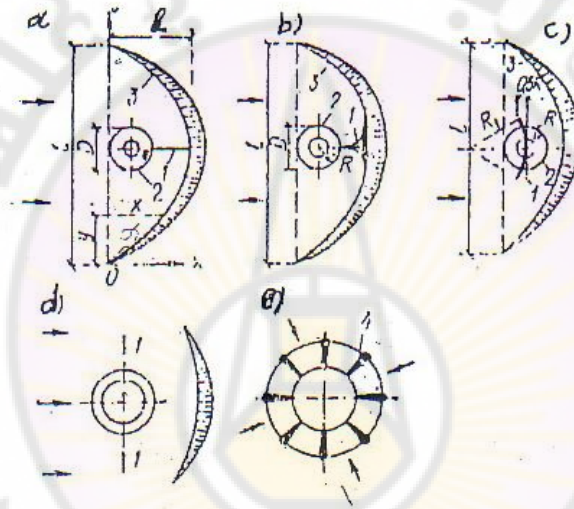
l: عرض مدخل الحوض (الحفرة)

D=2R قطر القمع.

تصحيح قيم m معامل التصريف المعطاة في الجدول (4-1) إلى القيم m_p التي تعطى بالعلاقة:

$$m_p = \sigma_n \times m \dots \dots \dots (6-4)$$

تبعاً لنوع منشأة الإعاقة والتوجيه للماء في الحفرة شكل (4-6) وللنسبة l/D في الحفرة حيث قيم n تعطى بالجدول (4-2)



شكل (4-6) مخطط قسم الدخول للمفيض القمعي مع منشأة التوجيه.
 1- جدار توجيه 2- هدار حلقي 3- محيط الحفر 4- ركائز توجيه

جدول (4-2) قيم معامل التصحيح n لقيم معامل التصريف m المعطاة بالجدول (4-1) حسب قيمة l/D ونوع منشأة التوجيه.

نوع منشأة التوجيه	قيم n حسب l/D	
	$l/D=4$	$l/D=8$
	0.91~0.93	0.93~0.94
	0.97~0.98	0.98~0.99
	0.96~0.99	0.97~1.00
	1.0	1.0

أبعاد الحفرة القطع مكافئ تحدد بعلاقات ب - ب " مايسا" شكل (4-6).

$$\left\{ \begin{array}{l} l = \alpha \cdot D \\ f = 1.75D \\ P = \beta H_0 \\ x = 4 \cdot y \cdot (l - y) \cdot \frac{f}{l^2} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (7-4)$$

حيث α, β معاملات تتبع للنسبة H_0/D جدول (4-3).

$$H_0 = H + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

D: قطر قمع الهدار.

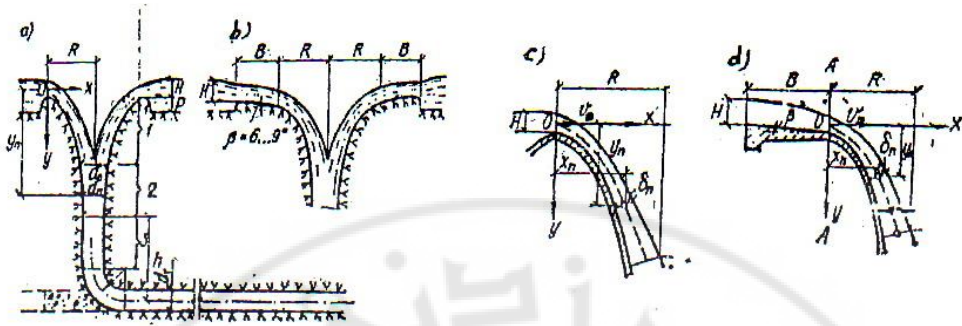
P: ارتفاع قمة الهدار عن أرضية الحفرة شكل (4-5).

جدول (4-3) قيم α, β تبعاً لـ H_0/D .

H_0/D	α	β
0.1	8~6.5	2.6~1.9
0.15	6.5~5.8	2.2~1.6
0.2	6~5.4	1.9~1.4
0.25	5.7~5.3	1.6~1.15

1.6.4 رسم منحنى القمع طريقة آن - آخوتين:

منحنى هدار القمع يؤخذ بشكل عام على هيئة قطع مكافئ وبشكل انسيابي يتصل القمع مع الأنبوب وذلك عن طريق التضايق بالقطر في منطقة انتقالية شكل (4-7، a)، درجة الانضغاط (التضايق) يجب أن لا تؤدي إلى انقطاع بالتيار المائي. مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الجريان.



شكل (4-7) المخطط الحسابي للمفيض القمعي ذو المقطع الدائري.

1- القمع 2- منطقة انتقالية 3- الأنبوب القمعي ذو مقطع ثابت.

نصف قطر الهدار الدائري في المفيض يعطى بالعلاقات التالية:

أ- عند عدم وجود ركائز توجيه في القمة:

$$R = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot m_p \cdot \sqrt{2gH_0}^{3/2}} \dots \dots \dots (8-4)$$

ب- حالة وجود ركائز

$$R = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{Q}{\varepsilon \cdot m_p \sqrt{2gH_0}^{3/2}} + nd \right) \dots \dots \dots (9-4)$$

حيث m_p : معامل التصريف.

$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2 \cdot g}$ (H الضاغط V_0 سرعة دخول الماء إلى القمة).

ε : معامل الانضغاط.

n: عدد الركائز.

d: سماكة الركيزة.

منحني اللسان المائي هو قطع مكافئ. ونميز حالتين:

أ- هدار ذو مقطع عملي شكل (4-7-c):

$$Y_n = \frac{gX_n^2}{2V_r^2} \dots \dots \dots (10-4)$$

حيث V_r : السرعة الوسطية عند بداية القمع، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_r = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot 0,75 \cdot H} \dots \dots \dots (11-4)$$

ب- هدار مع عتبة عريضة شكل (d-7-4):

$$V_r = \frac{gX_n^2}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot 0,65 \cdot H} \dots \dots \dots (12-4)$$

حيث V_r : السرعة الوسطية عند بداية القمع، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_r = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot 0,65 \cdot H} \dots \dots \dots (13-4)$$

β : زاوية ميل قسم الدخول مع الأفق وتأخذ القيم $6^\circ \sim 9^\circ$

سرعة التيار في أي نقطة من اللسان المائي تعطى بالعلاقة التالية:

حالة أ:

$$V_n = \sqrt{V_r^2 + 2g \cdot y_n} \dots \dots \dots (14-4)$$

حالة ب:

$$V_n = \sqrt{V_r^2 + 2g \cdot y_n + \sin\beta \cdot \sqrt{2g \cdot y_n}} \dots \dots \dots (15-4)$$

سماكة اللسان المائي عند أي نقطة y_n تعطى بالعلاقة التالية:

$$\delta_n = \frac{Q}{2 \cdot \pi (R - x) \cdot V_n} \dots \dots \dots (16-4)$$

- لرسم منحني الهدار ننظم الجدول التالي:

x_n	Y_n	V_n	δ_n
=	=	=	=
=	=	=	=
=	=	=	=

ننشأ في كل نقطة محسوبة بالجدول شاقول على خط محور اللسان الساكب شكل (4-4)

(7) ونحدد عليه $0.5 \delta_n$ من الطرفين. الحد السفلي هو سطح القمع أما الحد العلوي فهو سطح اللسان المائي.

ملاحظة: نهاية القمع هو المقطع الذي عنده يلتقي اللسان المائي من الطرفين.

2.6.4 المنطقة الانتقالية:

تقع المنطقة الانتقالية بعد الهدار مباشرة قس (2) شكل (4-4) وهي متغيرة القطر يتناقص ابتداءً من القطر عند المقطع 1-1 وانتهاءً عند القطر Dt قطر أنبوب المفيض والنفق مقطع 2-2 ويعطي قطر المنطقة الانتقالية بالعلاقة التالية:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_y}} \dots \dots \dots (17-4)$$

حيث:

v_y : السرعة عند العمق y من المنطقة الانتقالي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$v_y = \sqrt{V_r^2 + 2 \cdot g \cdot y_n} \dots \dots \dots (19-4)$$

y_n هي منسوب بداية القسم الانتقالي وتساوي $y=ZI$ شكل (4-4).

نستمر بحساب قيمة dn للمنطقة الانتقالية حتى الوصول إلى القطر dn=Dt قطر أنبوب القمع والنفق لأنهما متساويان.

3.6.4 قطر أنبوب القمع والنفق:

- طريقة تقريبية أولى:

لتحديد قطر النفق وأنبوب القمع نفترض بأنهما متساويان وبشكل عام شكل (4-4)

نتبع الخطوات التالية:

1⊠- نحدد فرق المنسوب بين قمة ونهاية النفق Z.

2⊠- تحديد قيمة L طول أنبوب القمع والنفق معاً من المقطع العرضي للسدف في مكان

توضع القمع والنفق.

3×- نوجد قيمة قطر النفق وذلك بطريقة التقريب بفرض قيم لـ D_T نوجد μ معامل

التصريف:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi + \lambda \cdot \frac{L}{D_T}}} \dots \dots \dots (20 - 4)$$

حيث:

$\sum \xi$: مجموع ضياعات المدخل والأكواع ويعادل 1.25

λ معمل الاحتكاك للبيتون $\lambda = 0.016$

L طول النفق والأنبوب.

قطر النفق يعطى بالعلاقة التالية:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\mu \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z}}} \dots \dots \dots (21 - 4)$$

لإيجاد القطر المطلوب نشكل الجدول التالي:

القطر المفروض D_T	معامل التصريف μ	القطر المحسوب D_T
-	-	-
-	-	-

عندما D_T المحسوبة تساوي D_T المفروضة يكون هو القطر المطلوب.

4×- نحدد قيمة السرعة الوسطية في أنبوب القمع والنفق مع فرض $D_T = D$

$$V_C = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \dots \dots \dots (22 - 4)$$

5×- المنطقة الانتقالية تتميز بحدوث تخلخل بالضغط بين المقطعي (1-1) و (2-2)

شكل (4-4) حيث أن الضغط فيها أقل من الضغط الجوي من أجل $D_T = D$ نحدد

منسوب المقطع (1-1) بالعلاقة التالية:

$$Z_1 = \frac{1}{\phi^2} \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (23 - 4)$$

حيث:

V_c : السرعة الوسطية في أنبوب القمع.

ϕ معامل يأخذ القيمة 0.95

= قيمة ضغط التخلخل (الفاكوم) المسموح به في المفيض القمعي تحدد بالعلاقة التالية:

$$h_v = 9.75 - \sigma_k \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g}$$

حيث $\sigma_k = 0.1$ معامل التفجى (تشكل الفقاع).

= منسوب المقطع 2-2 الذي عنده يبلغ ضغط الخلخل القيمة h_v يتم إيجاده بتطبيق علاقة برنولي بين المقطعين:

$$\begin{aligned} Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \\ = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \xi_{1-2} \\ \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (25 - 4) \end{aligned}$$

عند المقطع 1-1 الضغط $P_1 = P_0$ والضغط الجوي ونفترض $V_1 = V_2 = V_c$ ولدينا ضغط التخلخل يعطى بالعلاقة:

$$h_v = \frac{(P_0 - P_2)}{\rho \cdot g} \dots \dots \dots (26 - 4)$$

فتصبح بذلك معادلة برنولي على الشكل التالي:

$$h_v = \frac{(P_0 - P_2)}{\rho \cdot g} = Z_2 = Z_1 + \xi_{1-2} \frac{V_c^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (27 - 4)$$

حيث:

ξ_{1-2} معامل الضياع بالاحتكاك بين المقطعين 1-1 و 2-2 ويعطي بالعلاقة:

$$\xi_{1-2} = \lambda \frac{Z_2 - Z_1}{d} \dots \dots \dots (28 - 4)$$

= يمكن تخطيطياً إيجاد المناسب Z_2, Z_1 حيث يقع المقطع 1-1 عند نقطة التقاء اللسان المائي من الطرفين شكل (4-4) ومنسوب المقطع 2-2 هو Z_2 عندما يصبح قطر المنطقة الانتقالية مساوياً إلى قطر النفق.

4-6-4 حساب قطر انبوب القمع والنفق تخطيطياً:

= الطريقة الثانية: يعطي التدفق عبر أنبوب النفق بالعلاقة التالية:

$$Q = \mu \cdot \omega_e \cdot \sqrt{2g(H + Z)} \dots \dots \dots (29 - 4)$$

حيث μ : معامل التصريف، وبشكل عام في المفيضات ذات المقطع المتغير تحدد قيمته من العلاقة التالية:

$$\frac{1}{\mu} = \sqrt{\xi_e \left(\frac{\omega_k}{\omega_1}\right)^2 + \sum_1^n \frac{2gl_1}{C_1 \cdot R_1} \left(\frac{\omega_k}{\omega_1}\right)^2 + a + \xi_n} \dots \dots \dots (30 - 4)$$

حيث:

ξ_e : معامل الضياع عند المدخل ويؤخذ من الجدول (4-4) حسب قيمة H/R .

= جدول (4-4) قيم ξ_e تبعاً لقيم H/R :

H/R	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ξ_e	0.123	0.075	0.049	0.043	0.04	0.039

ω_1 : مساحة فتحة القمع.

ω_k : مساحة مقطع النفق عند المخرج.

ω_1 ، R_1 ، C_1 ، l_1 : مساحة المقطع الوسطي للقسم i من أنبوب النفق ، نصف

~~قطر الهيدروليكي الوسطي، ثابت شيزي، طول القسم المدروس وبذلك يمكن قبول:~~

$$R_1 = \frac{d_1 + d_{i-1}}{8} \dots \dots \dots (31-4)$$

~~n: عدد الأقسام على طول أنبوب القمع والنفق.~~

~~α : معامل الطاقة الحركية $\alpha = 1.1$~~

~~ξ_n : معامل الضياع الموضعي عند كوع الوصل بين الأنابيب والنفق ويأخذ القيم التالية:~~

R_n/d_T	4	2.5
ξ_n	0.25	0.35

~~d_T : قطر النفق.~~

~~R_n : نصف قطر كوع الوصل.~~

~~- لإيجاد قيمة قطر النفق d_T تخطيطياً نتبع ما يلي الشكل (4-8):~~

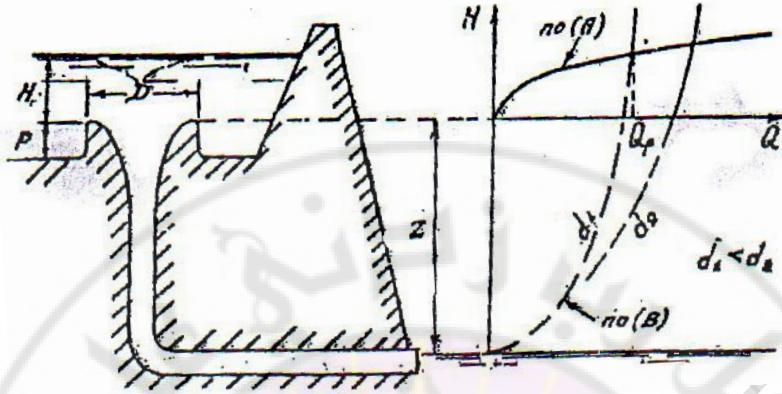
~~1⊠- نرسم منحنى (A) : $Q=f(H)$ مع اعتبار $R=const$ من معادلة التدفق عبر القمع:~~

$$Q = m \cdot R \cdot 2\pi \cdot \sqrt{2gH}^{3/2}$$

~~2⊠- نرسم المنحنى (B) : $Q=f(H+Z)$ مع اعتبار $d=const$ من معادلة التدفق~~

~~عبر النفق:~~

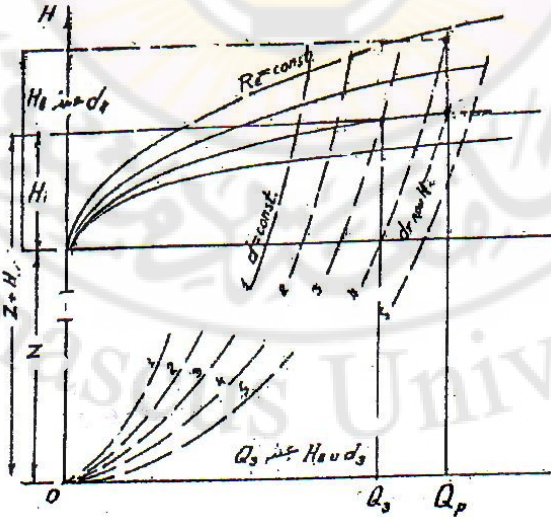
$$Q = \mu \cdot W_t \cdot \sqrt{2g(H+Z)}$$



شكل (4-8) مخطط بياني لإيجاد قطر النفق d_T .

القطر المطلوب يتم تحديده من نقطة تقاطع المنحنيين A,B حيث نحصل على التدفق المقابل لقطر معين.

ويمكن رسم سلسلة من المنحنيات $Q=f(R,H)$ و $Q=f(d,H+Z)$. ولتحديد القطر المطلوب نرسم منحنى $H=f(Q,R)$ وبذلك نوجد d_T من أجل H المفروضة أو نوجد H من أجل d المفروضة شكل (4-9):



شكل (4-9) سلسلة منحنيات $Q=f(Q,H)$ و $Q=f(d,H+Z)$ لتحديد قطر النفق ذو القدرة التصريفية نفسها في القمع.

7.4 المنشآت المعدنية في المفيضات القمعية:

السكورة: تستخدم لتنظيم التدفق عبر المفيض وهناك عدة أنواع للسكورة منها:

= مستوية أو نصف كرة أو دائرة مع رافعة ميكانيكية $(a=10-4)$.

= دائرية وتعمل بالسحب شكل $(b=10-4)$ ، وإنشاء هذا النوع من السكورة يتطلب

أن تكون القمة مستوية تماماً. وعناصر تصميم هذا النوع من السكورة موضحة على

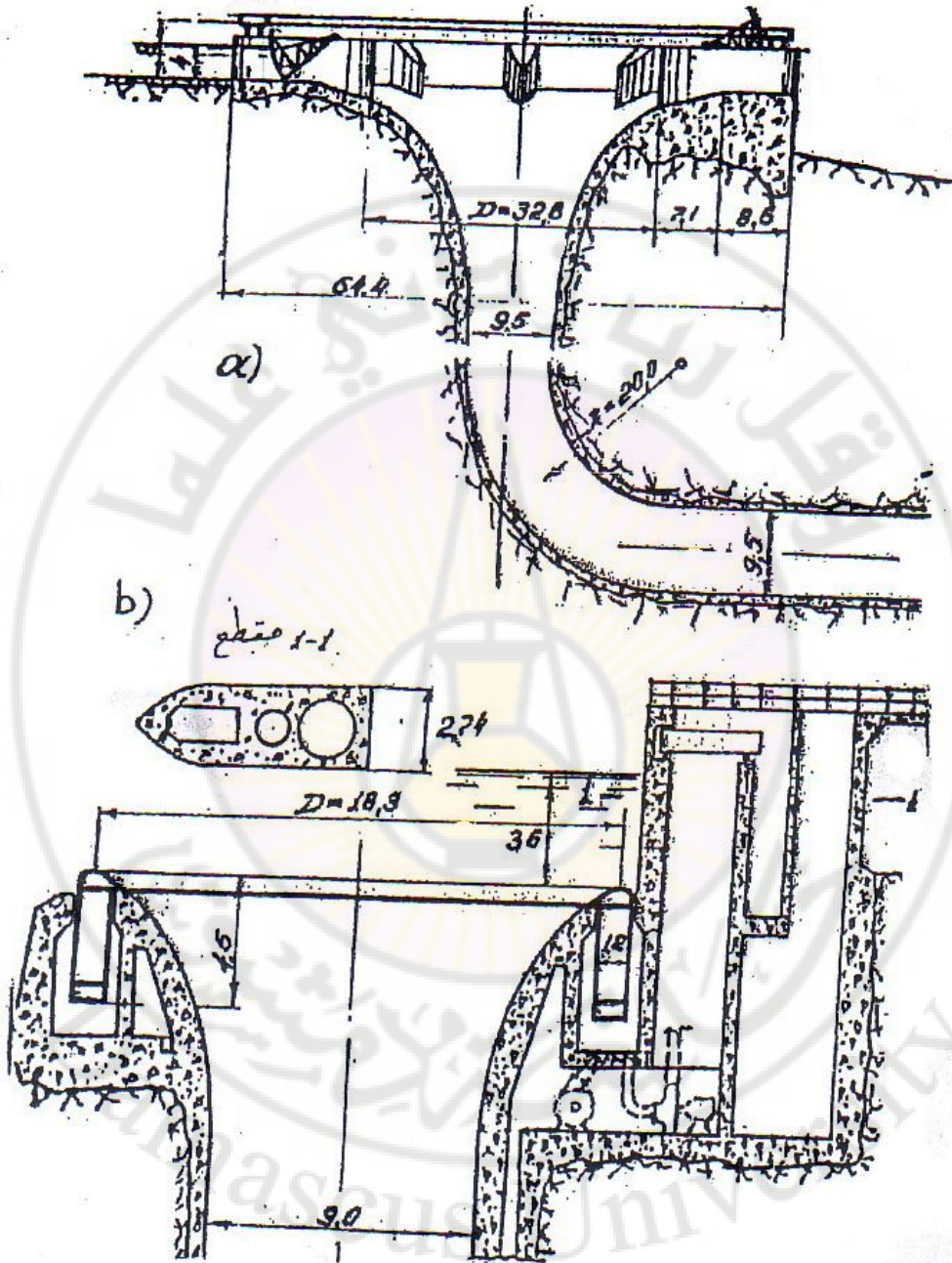
الشكل $(4-10)$.

واستخدمت في سد "هانفري-خورز" الولايات المتحدة.

عند استخدام السكورة المستوية أو المنحنية (نصف كرة) يجب أن يكون للقمة منطقة

دخول مستوية ومقسمة بركائز. استخدم هذا النوع في روسيا سد "سولاكسكي" لتوليد

الكهرباء.



شكل (10-4) بعض الحلول لتنظيم الجريان عبر القمة في المفيض القمعي.

a- مع سكورة نصف دائرية b- مع سكورة دائرية.

لدينا سد ترابي مزود بمفرغ سفلي، قناة المفرغ عبارة عن أنبوب فولاذي، منسوب مدخل المفرغ ينطبق على منسوب التخزين الميت. كافة المعطيات و المناسيب اللازمة المذكور في الجدول التالي

المطلوب:

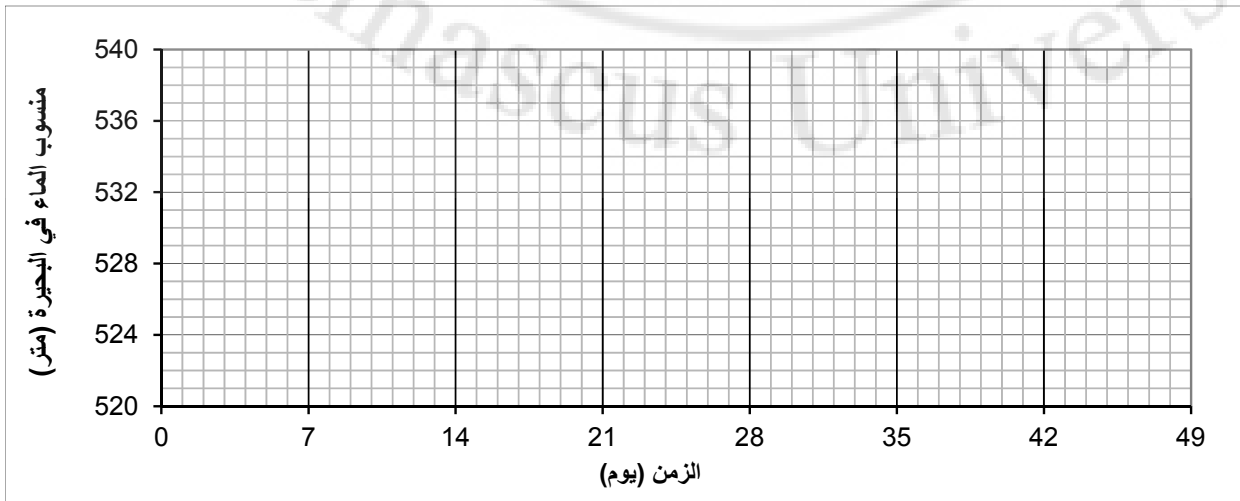
1. حساب عامل تصريف لأنبوب المفرغ على اعتبار أن سكر المفرغ مفتوح بالكامل،
2. وأحسب زمن تفريغ بحيرة السد (من منسوب التخزين النظامي وحتى المنسوب الميت) ورسم منحنى التفريغ مع الزمن وفق البيان المرفق.
3. تحقق من شروط التفريغ (مدة التفريغ، سرعة الجريان في أنبوب المفرغ، سرعة هبوط سطح الماء)
4. أشرح كيف يمكن جعل سرعة هبوط سطح الماء ثابتة. وحساب زمن التفريغ من أجل سرعة هبوط 33 cm/day . ~~رسم التعديل الذي يطرأ من منحنى التفريغ ومنحنى التصريف~~
5. تصميم حوض التهذنة علماً بأن $(a=0.9\text{m})$

$$\lambda = 8 \cdot g \cdot n^2 \cdot \left(\frac{4}{D}\right)^3 \cdot \sqrt{n}$$

عامل تصريف الأنبوب	معامل الضياعات الهيدروليكية				عامل الاحتكاك	طول الأنبوب	أمثال خشونة الأنبوب
	عند المخرج	سكر المخرج	الاحتكاك	عند المدخل			
μ	ex	v	$f\eta$	en	λ	L	n
1	0.05			0.5		120	0.012

المناسيب					
ارتفاع الشريحة	عدد الشرائح	قطر أنبوب المفرغ	مخرج المفرغ	التخزين النظامي	التخزين الميت
dH		D	EOL	NWL	DWL
m		m	m	m	m
	4	1	521	540	524

رقم المقطع	المنسوب	الضغوط	التصريف	سرعة الجريان في القناة السفلية	الشرائح			زمن تفريغ الشريحة		سرعة هبوط سطح الماء
					رقم الشريحة	التصريف الوسيط	حجم الشريحة	الجزئي	التراكمي	
N0	m	m	m ³ /sec	m/sec	N0	m ³ /sec	m ³	hour	day	cm/day
0										
1					1		6.00E+06			
2					2		4.00E+06			
3					3		2.00E+06			
4					4		1.00E+06			

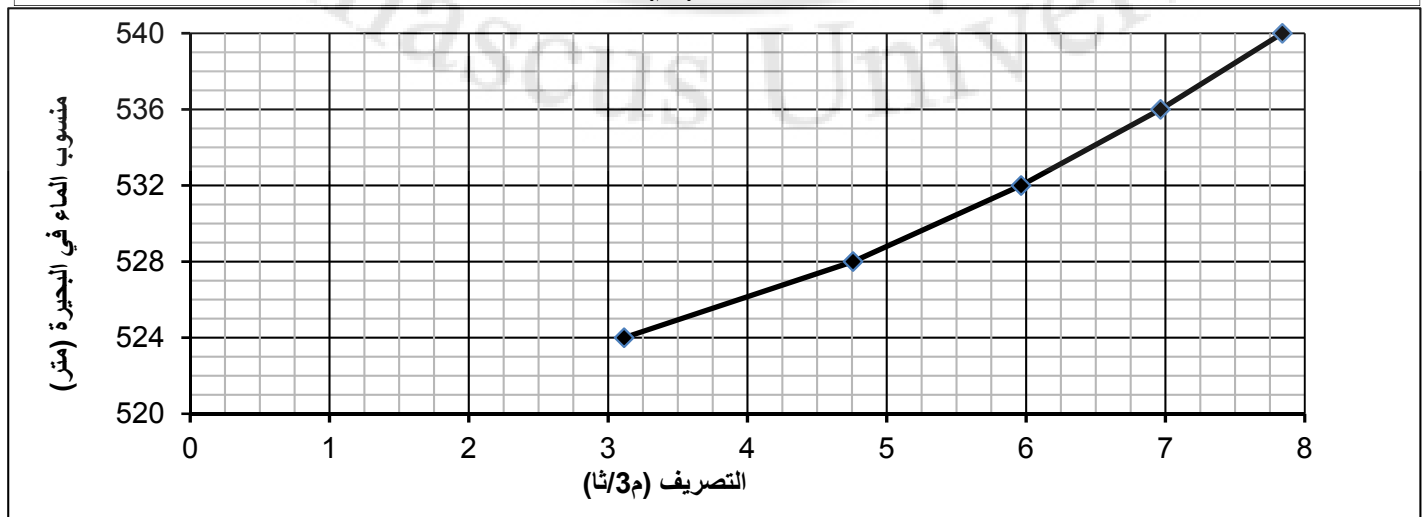
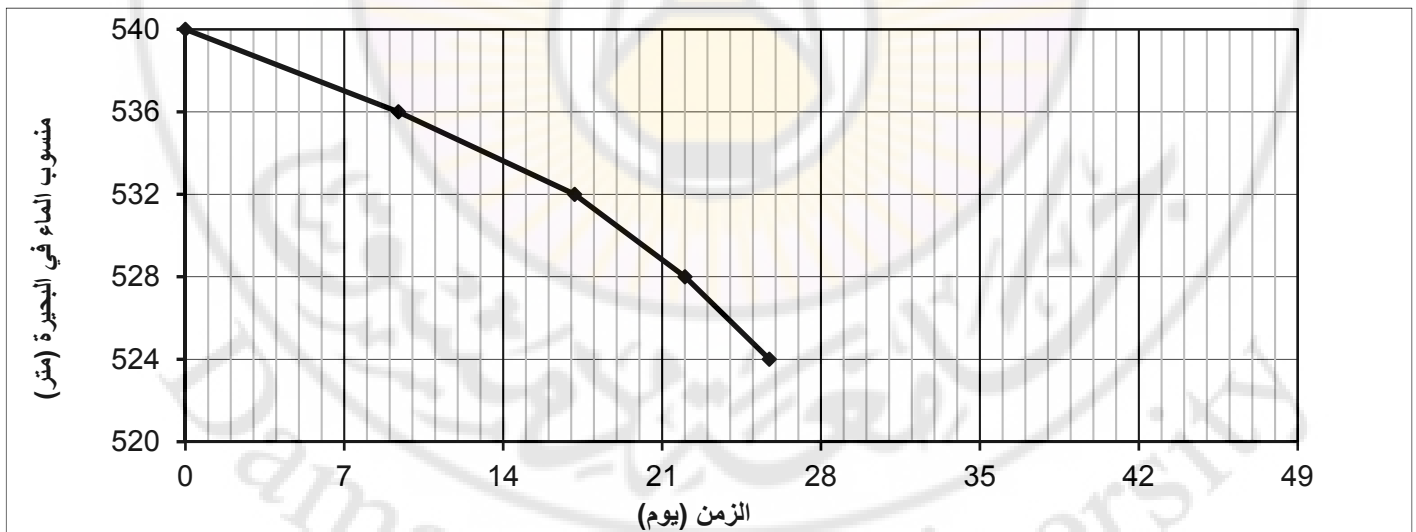


أمثلة خشونة الأنابيب	طول الأنابيب	معامل الاحتكاك	معامل الضياعات الهيدروليكية				عامل تصريف الأنابيب
			عند المدخل	الاحتكاك	سكر المخرج	عند المخرج	
n	L	λ	en	$f\eta$	v	ex	μ
0.012	120	0.018	0.5	2.14	0.05	1	0.517

2. حساب زمن التفريغ الأدنى ورسم منحنى التفريغ

المناسيب			عدد الشرائح	ارتفاع الشريحة
التخزين الميت	التخزين النظامي	مخرج المفرغ		
DWL	NWL	EOL	D	dH
m	m	m	m	m
524	540	521	1	4

رقم المقطع	المنسوب	الضاغط	التصريف	سرعة الجريان في القناة السفلية	الشرائح			زمن تفريغ		سرعة هبوط سطح الماء
					رقم الشريحة	التصريف الوسطي	حجم الشريحة	الجزئي	التراكمي	
N0	m	m	m ³ /sec	m/sec			m ³	Day	Day	cm/Day
0	540	19	7.84	9.99					0.00	
1	536	15	6.96	8.87	1	7.40	6.00E+06	9.38	9.38	42.63
2	532	11	5.96	7.60	2	6.46	4.00E+06	7.76	17.14	51.53
3	528	7	4.76	6.06	3	5.36	2.00E+06	4.87	22.01	82.21
4	524	3	3.11	3.97	4	3.94	1.00E+06	3.72	25.73	107.64



3. مناقشة شروط التفريغ

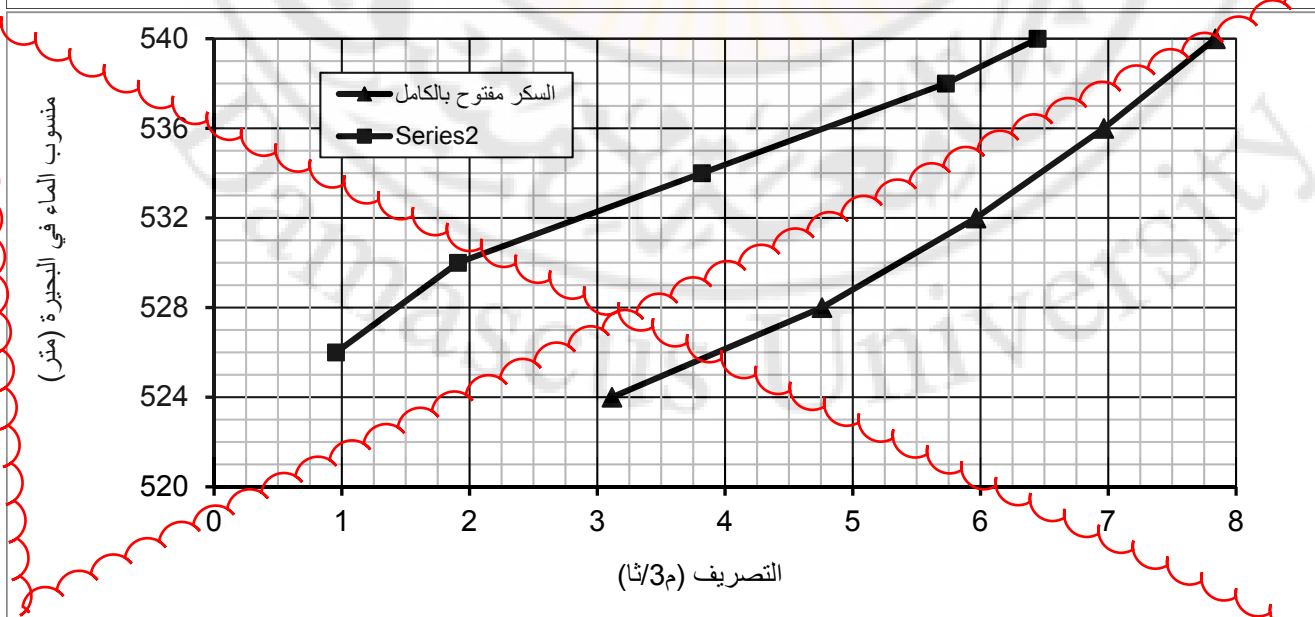
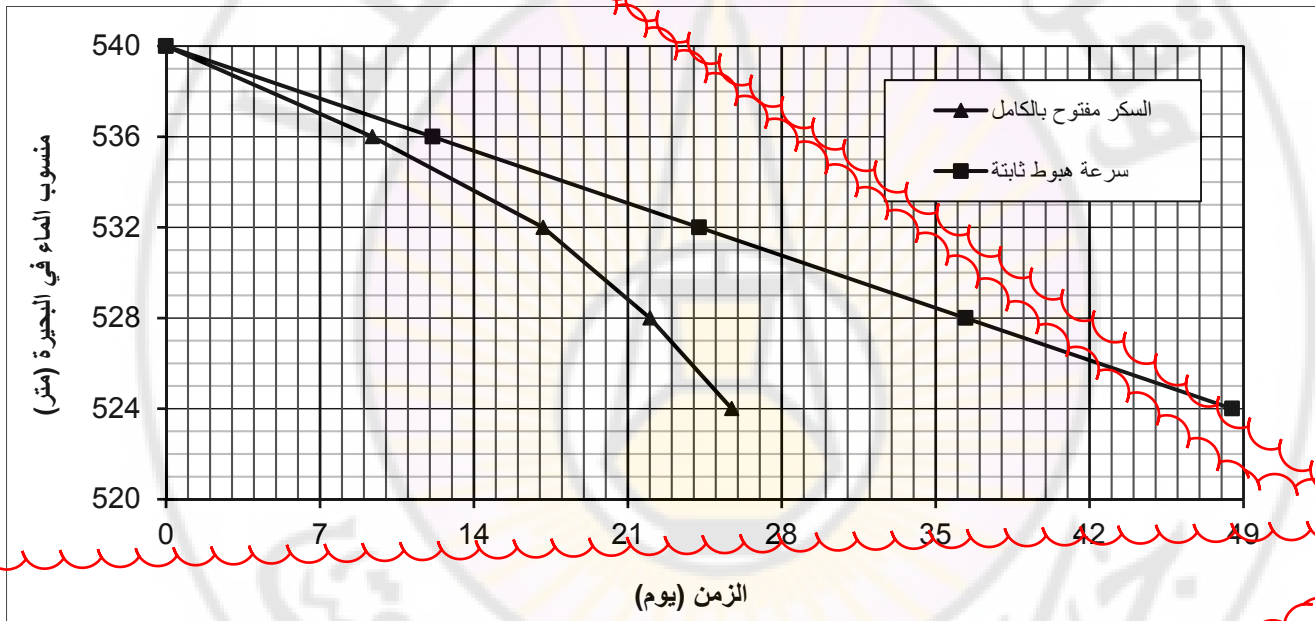
- زمن التفريغ صغير جداً وبالتالي يوجد خطر التفريغ السريع ضمن نواة السد
- سرعة الجريان في القناة السفلية كبيرة نسبياً وبالتالي يجب العناية بآنبوب المفرغ السفلي
- معدل هبوط سطح الماء في البحيرة مرتفع



4. شرح كيفية جعل سرعة هبوط سطح الماء ثابتة. وحساب زمن التفريغ من أجل سرعة هبوط 33cm/Day .

سرعة هبوط سطح الماء 33 cm/Day

رقم الشريحة	المنسوب	الضاغط	حجم الشريحة	زمن تفريغ الشريحة		المنسوب	التصريف الوسطي الشريحة	عامل التصريف المطلوب	عامل ضياعات سكر التحكم
				الجزئي	التراكمي				
N0	m	m	m ³	Day	Day		m ³ /sec		
	540	19		12.12	0.00	540.00	6.45	0.43	1.84
1	536	16	6.00E+06	12.12	12.12	538	5.73	0.43	1.84
2	532	11	4.00E+06	12.12	24.24	534	3.82	0.33	5.43
3	528	7	2.00E+06	12.12	36.36	530	1.91	0.21	19.52
4	524	3	1.00E+06	12.12	48.48	526	0.95	0.16	36.09



5. تصميم حوض التهذنة

Tout	Q	a	Bk	Lk	h2	Vc	hv	Ho1	C	m
			m	m	m	m/sec	m	m	m	
19.0	7.84	0.90	2.80	10.35	2.94	0.952	0.05	1.48	1.51	1.50

لدينا سد ترابي مزود بمفرغ سفلي، قناة المفرغ عبارة عن أنبوب فولاذي، منسوب مدخل المفرغ ينطبق على منسوب التخزين الميت. كافة المعطيات و المناسيب اللازمة المذكور في الجدول التالي

المطلوب:

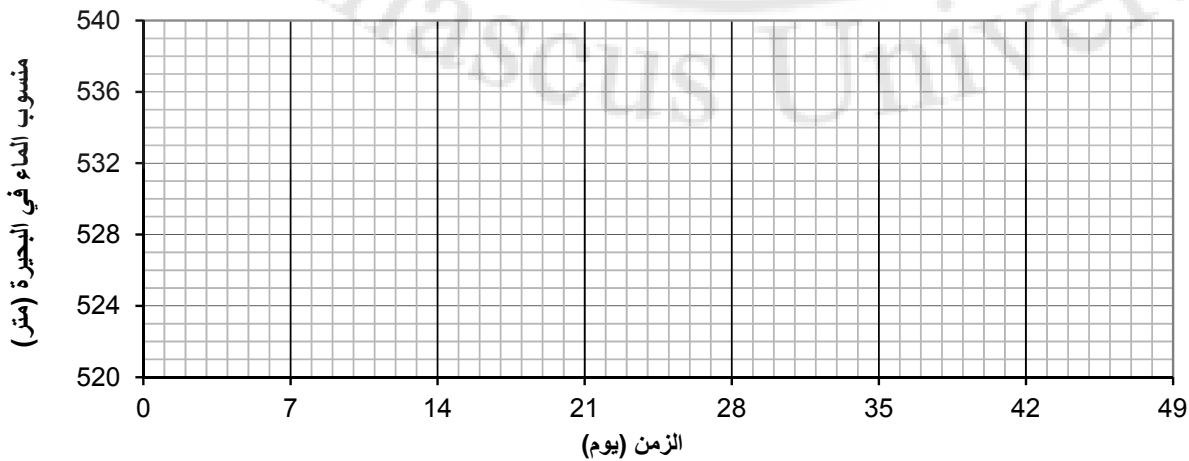
1. حساب عامل تصريف لأنبوب المفرغ على اعتبار أن سكر المفرغ مفتوح بالكامل،
2. وأحسب زمن تفريغ بحيرة السد (من منسوب التخزين النظامي وحتى المنسوب الميت) ورسم منحنى التفريغ مع الزمن وفق البيان المرفق.
3. تحقق من شروط التفريغ (مدة التفريغ، سرعة الجريان في أنبوب المفرغ، سرعة هبوط سطح الماء)
4. أشرح كيف يمكن جعل سرعة هبوط سطح الماء ثابتة. وحساب زمن التفريغ من اجل سرعة هبوط 33cm/day . رسم التعديل الذي يطرأ من منحنى التفريغ ومنحنى التصريف
5. تصميم حوض التهذئة علماً بأن $(a=0.9\text{m})$

$$\lambda = 8 \cdot g \cdot n^2 \cdot \left(\frac{4}{D}\right)^3 \cdot \sqrt{n}$$

عامل تصريف الأنبوب	معامل الضياعات الهيدروليكية				معامل الاحتكاك	طول الأنبوب	أمثال خشونة الأنبوب
	عند المخرج	سكر المخرج	الاحتكاك	عند المدخل			
μ	ex	v	$f\eta$	en	λ	L	n
1	0.05			0.5		120	0.012

المناسيب					
ارتفاع الشريحة	عدد الشرائح	قطر أنبوب المفرغ	مخرج المفرغ	التخزين النظامي	التخزين الميت
dH		D	EOL	NWL	DWL
m		m	m	m	m
	4	1	521	540	524

رقم المقطع	المنسوب	الضغوط	التصريف	سرعة الجريان في القناة السفلية	الشرائح			زمن تفريغ الشريحة		سرعة هبوط سطح الماء
					رقم الشريحة	التصريف الوسيط	حجم الشريحة	الجزئي	التراكمي	
N0	m	m	m ³ /sec	m/sec	N0	m ³ /sec	m ³	hour	day	cm/day
0										
1					1		6.00E+06			
2					2		4.00E+06			
3					3		2.00E+06			
4					4		1.00E+06			

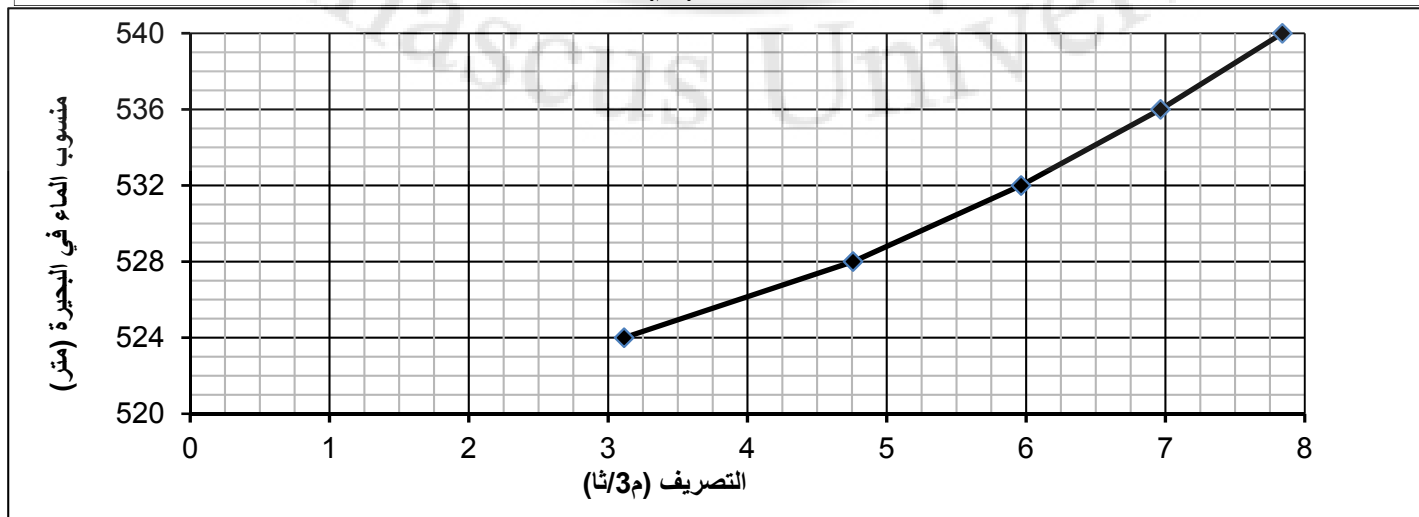
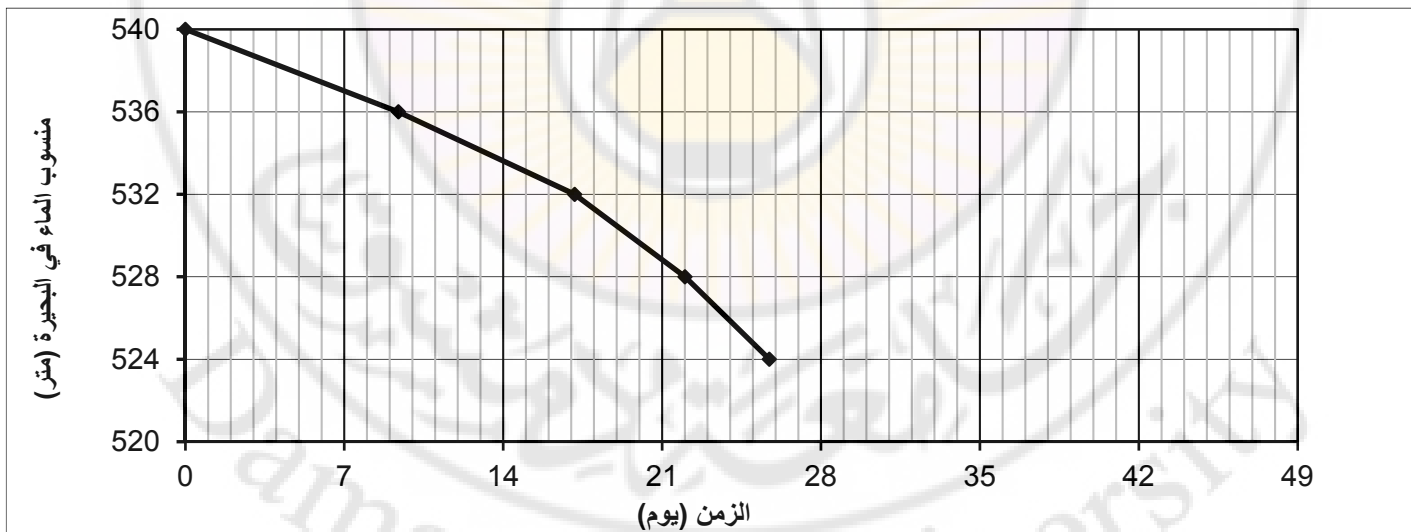


أمثلة خشونة الأنابيب	طول الأنابيب	معامل الاحتكاك	معامل الضياعات الهيدروليكية				عامل تصريف الأنابيب
			عند المدخل	الاحتكاك	سكر المخرج	عند المخرج	
n	L	λ	en	$f\eta$	v	ex	μ
0.012	120	0.018	0.5	2.14	0.05	1	0.517

2. حساب زمن التفريغ الأدنى ورسم منحنى التفريغ

المناسيب			عدد الشرائح	ارتفاع الشريحة
التخزين الميت	التخزين النظامي	مخرج المفرغ		
DWL	NWL	EOL	D	dH
m	m	m	m	m
524	540	521	1	4

رقم المقطع	المنسوب	الضاغط	التصريف	سرعة الجريان في القناة السفلية	الشرائح			زمن تفريغ		سرعة هبوط سطح الماء
					رقم الشريحة	التصريف الوسطي	حجم الشريحة	الجزئي	التراكمي	
N0	m	m	m ³ /sec	m/sec			m ³	Day	Day	cm/Day
0	540	19	7.84	9.99					0.00	
1	536	15	6.96	8.87	1	7.40	6.00E+06	9.38	9.38	42.63
2	532	11	5.96	7.60	2	6.46	4.00E+06	7.76	17.14	51.53
3	528	7	4.76	6.06	3	5.36	2.00E+06	4.87	22.01	82.21
4	524	3	3.11	3.97	4	3.94	1.00E+06	3.72	25.73	107.64



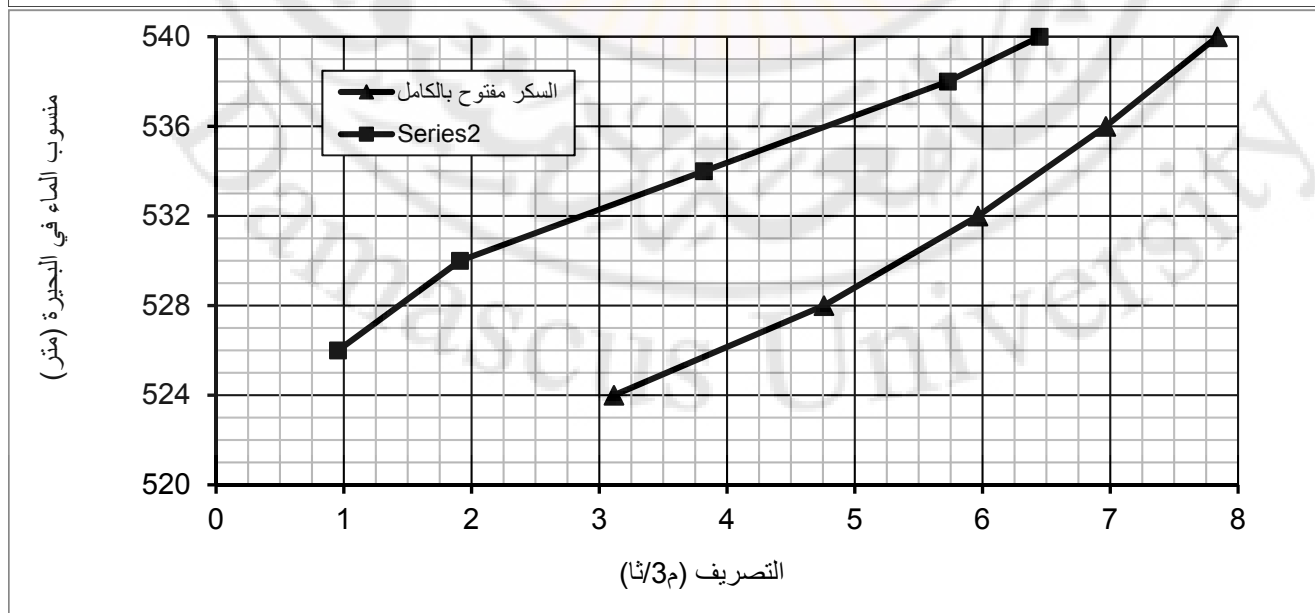
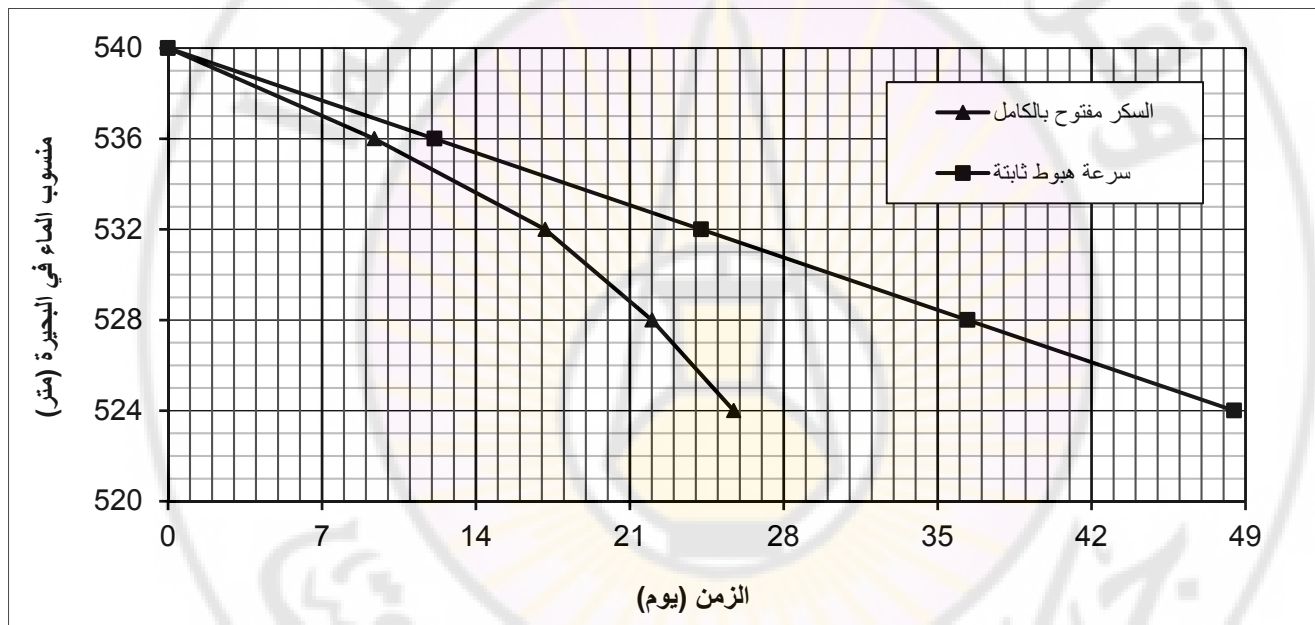
3. مناقشة شروط التفريغ

- زمن التفريغ صغير جداً وبالتالي يوجد خطر التفريغ السريع ضمن نواة السد
- سرعة الجريان في القناة السفلية كبيرة نسبياً وبالتالي يجب العناية بأنبوب المفرغ السفلي
- معدل هبوط سطح الماء في البحيرة مرتفع

4. شرح كيفية جعل سرعة هبوط سطح الماء ثابتة. وحساب زمن التفريغ من أجل سرعة هبوط 33cm/Day .

سرعة هبوط سطح الماء 33 cm/Day

رقم الشريحة	المنسوب	الضاغط	حجم الشريحة	زمن تفريغ الشريحة		المنسوب	التصريف الوسطي الشريحة	عامل التصريف المطلوب	عامل ضياعات سكر التحكم
				الجزئي	التراكمي				
N0	m	m	m ³	Day	Day		m ³ /sec		
	540	19		12.12	0.00	540.00	6.45	0.43	1.84
1	536	15	6.00E+06	12.12	12.12	538	5.73	0.43	1.84
2	532	11	4.00E+06	12.12	24.24	534	3.82	0.33	5.43
3	528	7	2.00E+06	12.12	36.36	530	1.91	0.21	19.52
4	524	3	1.00E+06	12.12	48.48	526	0.95	0.16	36.09



5. تصميم حوض التهذنة

Tout	Q	a	Bk	Lk	h2	Vc	hv	Ho1	C	
			m	m	m	m/sec	m	m	m	
19.0	7.84	0.90	2.80	10.35	2.94	0.952	0.05	1.48	1.51	1.50

براد تصميمي مفيض جانبي خندقي ملحق بسد ترابي لتصريف فيضان تصميمي بتدفق $175.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، منسوب التخزين الأعظمي $\text{HWL}=520\text{m}$ ، منسوب عتبة المفيض $\text{NWL}=518.5\text{m}$ ، الخندق بشكل شبه منحرف عرض قاعدته متغيرة من $b_0=3\text{m}$ إلى $b_k=6\text{m}$ ميل السفح $1:0.5$ ، الخندق مكسو ببلاطات بيتونية عامل الخشونة $n=0.02$ ، عتبة المفيض على شكل هدار عملي عامل تصريفه $m=0.43$. يتصل الخندق بقناة شديدة الميل (ميلها الطولي $S_0=0.11$) (لها نفس مواصفات المقطع الأخير من الخندق وطولها 250m).

المطلوب:

1. حساب طول عتبة المفيض. علماً بأن الماء يدخل من طرف واحد فقط الخندق.
2. حساب ارتفاع الماء في الخندق (باعتداد أربعة مجالات).
3. حساب منسوب قاع الخندق على طول الخندق.
4. تحديد منحنى سطح الماء في القناة شديدة الميل.
5. حساب أبعاد حوض التهذنة.
6. رسم مقطع على طول محور الخندق والقناة شديدة الميل موضحاً عليه قاع المنشأة و سطح الماء وحدود التكمية بشكل تقريبي.

NWL	518.5
HWL	520
Q	175
(m ³ /s)	
b ₀ (m)	3
bk	6
DX	
n	0.02
m	0.43
m ₁	0.5
H	

$$v \geq \sqrt{2g \cdot Z}$$

$$L = \frac{Q}{m \cdot H^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2g}}$$

$$h_i = \frac{1}{2 \cdot m_1} \cdot (\sqrt{b_i \cdot n^2 + 4 \cdot m_1 \cdot w_i} - b_i)$$

$$S_f = \frac{v_i^2 \cdot n^2}{R h_i^{\frac{4}{3}}}$$

L (m)	
Z	
v=	

درجة 1

x	b	Q	v	w	h	P	Rh	ln	lcp	dh	منسوب سطح الماء	منسوب قاع القناة	الارتفاع الأدنى للعاكس	المنسوب الأدنى للعاكس	المنسوب المعتمد للعاكس
m	m	m ³ /s	m/s	m ²	m	m	m								
0	0										518				
1															
2															
3															
4															

حساب العمق الحرج

Q ² /g	h	A	B	A ³ /B

hcr

القناة شديدة الميل	
hcr	
B	6
n	
s ₀	0.11
m ₁	0.5
L	250
hn	

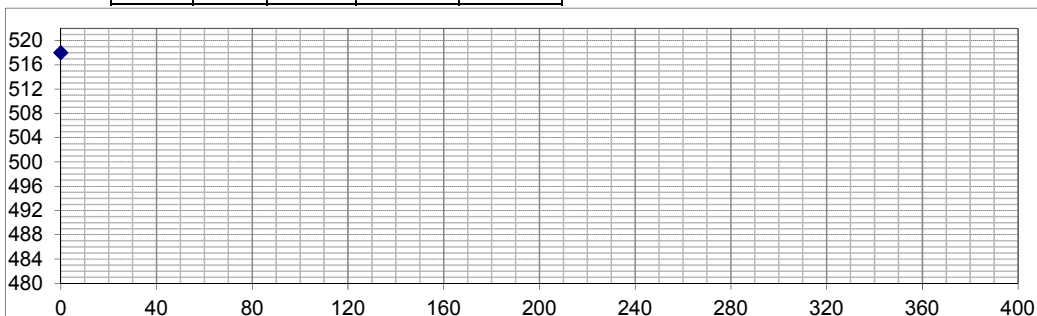
حساب العمق النظامي	
hn	
A ₀	
P ₀	
R ₀	
V ₀ m/s	
Q (m ³ /s)	

حساب المناسيب				
X	سطح الماء	العاكس	الأكتاف الأدنى	الأكتاف المعتمد
50.0				
300.0				
340.0				
372.0				
372.0				
400.0				

تصميم حوض التهذنة

d	yc ₀	h ₁	h ₂	nh ₂	T	d	L'	L	المعتمد
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m

أبعاد حوض التهذنة	d	0.00	المعتمد
	Mim		
	Ln		
	Lk		
e			



NWL	518.5
HWL	520
Q (m3/s)	175
b0(m)	3
bk	6
DX	12.50
n	0.02
m	0.43
m1	0.5
H	1.5

$$v \geq \sqrt{2g \cdot Z}$$

$$L = \frac{Q}{m \cdot H^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}$$

$$h_i = \frac{1}{2 \cdot m_1} \cdot (\sqrt{b_i \cdot n^2 + 4 \cdot m_1 \cdot w_i} - b_i)$$

$$S_f = \frac{v_i^2 \cdot n^2}{R h_i^{\frac{4}{3}}}$$

$$h_s = 0.6 + 0.05 \cdot V \cdot h^{1/3}$$

L (m)	50.0
Z	2
v (m/s)	5.95

1 درجة

No	x m	b m	Q m3/s	v m/s	w m2	h m	Rh m	Sf	Scp	dh	منسوب سطح الماء	منسوب قاع القناة	الارتفاع الأدنى للعاكس	المنسوب الأدنى للعاكس	نختار
0	0	3.00	0.0	5.95	0	0.00	0.00	0		0.000	518	518	0.60	518.60	519
1	12.5	3.75	43.8	5.95	7.352	1.61	1.00	0.01418	0.0071	0.089	517.91	516.3	0.95	518.86	519
2	25.0	4.50	87.5	5.95	14.7	2.55	1.44	0.00869	0.0114	0.143	517.77	515.22	1.01	518.77	519
3	37.5	5.25	131.3	5.95	22.06	3.22	1.77	0.00666	0.0076	0.096	517.67	514.46	1.04	518.71	519
4	50.0	6.00	175.0	5.95	29.41	3.74	2.05	0.00545	0.006	0.075	517.6	513.86	1.06	518.66	519

حساب العمق الحرج				
Q2/g	h	A	B	A3/B
3122	1	6.5	7	39
	3	22.5	9	1266
	3.95	31.5	9.95	3142

hcr	3.95
-----	------

القناة شديدة الميل	
Q (m3/s)	175.0
hcr	3.95
B	6
n	0.02
s0	0.11
m1	0.5
L	250
hn	1.49

حساب العمق النظامي	
hn	1.49
A0	10.05
P0	9.332
R0	1.077
V0m/s	17.42
Q (m3/s)	175.1

حساب المناسيب					
X	القاع	سطح الماء	العاكس	الأدنى	المعتمد
50.0	513.86	517.6	1.06	518.66	519.00
300.0	486.36	487.85	1.60	489.45	489.50
340.0	481.96	483.45	1.60	485.05	485.00
340.0	481.96	483.45	1.60	485.05	492.35
374.0	481.96	490.76	1.60	492.35	492.35
374.0	486.26	490.76			492.35
400.0	486.26	490.76			492.35

تصميم حوض التهذئة

d	m1	h2	nh2	T	d	L'	L	نختار L
m	m	m	m	m	m	m	m	m
0	1.49	8.38	8.80	4.50	4.30	39.09	289.1	290

أبعاد حوض التهذئة	d	4.30		
	Mim			المعتمد
	Ln	34.5	41.34	40
	Lk	29.286	35.1	34
e	2.93	3.5	3.2	

