منشآت مائية "نظري"

المحاضرة الثانية

الفصل الثالث . . . . . دراسة منشأ السد الهدَار

❖ **الهدار :**

حاجز يعترض المجرى المائي بحيث ينساب الماء من أعلاه عبر فتحة تدعى فتحة الهدار .

تســـــــــــــتخدم كـــ :

منشآت تحكم ومعايرة في المآخذ ضمن المجمعات الهيدروليكية و تقوم بما يلي :

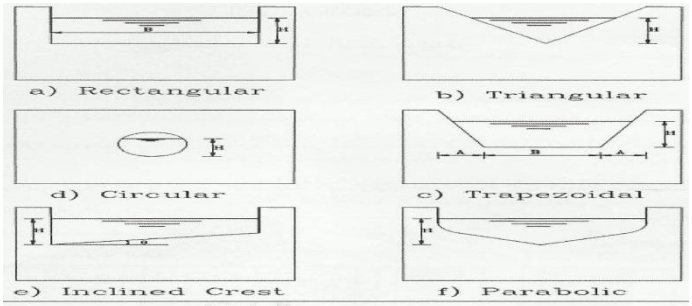
١) توجيه الماء نحو المأخذ .
٢) رفع وتنظيم منسوب الماء .
٣) تخفيض سرعة الجريان .

منشآت قياس التدفق "في المخبر أو في الأقنية" .

تصـــنف حســـــــــــب :

حسب الشكل الهندسي لفتحته :

a) مستطيلة واسعة الإستخدام .
b) مثلثية واسعة الإستخدام في قياس التصريف حيث تعطي دقة جيدة للتصاريف الصغيرة .
c) شبه منحرفة واسعة الإستخدام .
d) دائرية نادرة .
e) بشكل قطع مكافئ حيث تكون العلاقة بين تصريف الهدار والضاغط أمامه خطية .

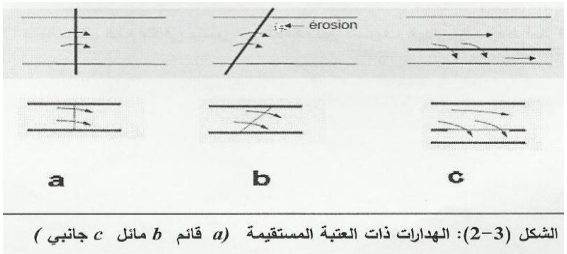


الشكل (3–1): الأشكال الهندسية لفتحة الهدار

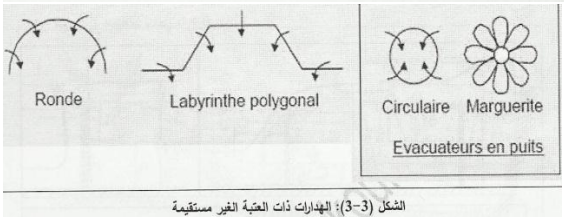
حسب توضع الهدار وشكله في المسقط الأفقي :

١. **هدارات ذات العتبة المستقيمة :**
a) هدارات جبهية " عتبة الهدار تعامد المجرى "
b) هدارات مائلة " عتبة الهدار تصنع زاوية مع محور الجريان "
c) هدارات جانبية : " عتبة الهدار توازي المجرى " حيث يتوضع الهدار على ضفة المجرى .

٢. **هدارات ذات العتبة الغير مستقيمة .**
٣. **هدارات على شكل ملعب كرة قدم .**
٤. **هدارات منحنية .**
٥. **هدارات بئرية "دائرية – زهرة عباد الشمس"**



الشكل (3–2): الهدارات ذات العتبة المستقيمة (a قائم b مائل c جانبي)

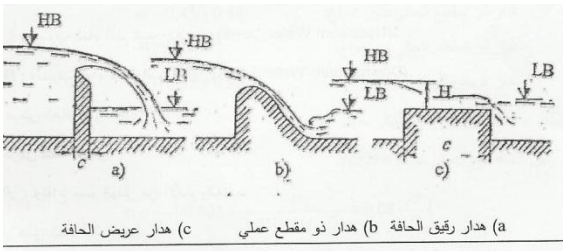


الشكل (3–3): الهدارات ذات العتبة الغير مستقيمة

حسب شكل و أبعاد المقطع العرضي لجدار الهدار :

a) رقيق الحافة : $c < \frac{2}{3} * H$
b) ذا مقطع عملي : $0.5H < c < (1.5-2)\ H$
c) عريض الحافة : $(1.5-2)\ H < c < (10-12)\ H$
d) قناة ذات ميل $S_0 = 0$: $c > (10-12)\ H$

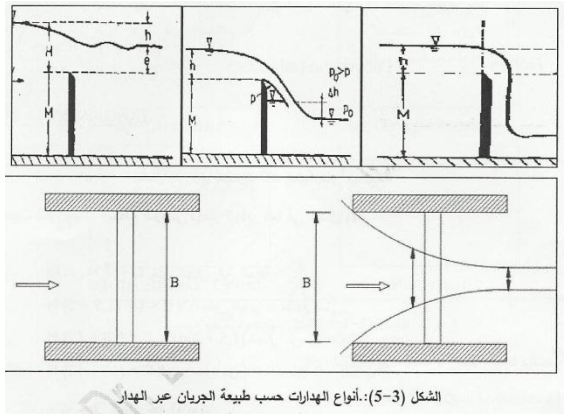
حيث C :هي سماكة جدار الهدار عن القاعدة



a) هدار رقيق الحافة b) هدار ذو مقطع عملي c) هدار عريض الحافة
الشكل (3– 4): أنواع الهدارات تبعاً لشكل وأبعاد المقطع العرضي لجدار الهدار

حسب طبيعة الجريان في الهدار :

a. مغمور .
b. غير مغمور .
c. ملاصق .
d. بدون إنضغاط جانبي (B=b) "عرض المجرى=عرض جبهة الهدار"



الشكل (3–5):.أنواع الهدارات حسب طبيعة الجريان عبر الهدار

الدراسة الهيدروليكية عبر السد – الهدار :

DWL / UWL : منسوب الماء أمام / خلف السد – الهدار

B : عرض القناة أعلى الهدار ، **b** : عرض فتحة الهدار

P, P' : إرتفاع جسم الهدار من الأمام والخلف

H_1 : عمق الماء أمام السد ، **H** : الضاغط أعلى عتبة الهدار

H_0 : الضاغط الكلي أعلى عتبة الهدار

Y_n : عمق الماء النظامي أسفل السد الهدار

Z : فرق المنسوب بين أعلى و أسفل الهدار

Q : التدفق المار عبر الهدار ، **v_0** : سرعة الإقتراب أعلى السد الهدار

✓ **التدفق عبر الهدّار :** $Q = m \cdot B_c \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2}$

حيث :

m : عامل التدفق حسب نوع و طبيعة عمل الهدار

- رقيق حافة (0.42-0.45)
- ذي مقطع عملي بلا إنفراغ (0.45-0.48)
- ذي مقطع عملي مع إنفراغ (0.5)
- عريض الحافة (0.35-0.38)

وهناك علاقات تجريبية حسب نوع الهدار :

- رقيق الحافة مع إهمال سرعة الإقتراب :

$$m = \frac{2}{3}\left(0.605 + \frac{1}{1.05*(H-3)} + 0.08\frac{H}{P}\right)$$

- هدار نظامي : " H_d ضاغط تصميمي"

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

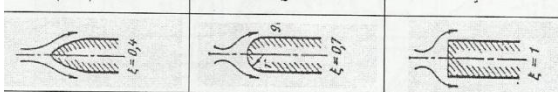
B_c : العرض الكلي الصافي المضغوط لتيار الماء المنسكب :

$$B_c = n * b - 0.1\,(\varepsilon * N * H_0)$$

N : عدد الإنضغاطات الجانبية لتيار الماء .

b : عرض الفتحة الواحدة .

ε : معامل تصحيح حسب شكل رأس الركيزة بين البوابات

نوع الركيزة	مستطيلة	دائرية	مدببة (سهمية)
شكل الركيزة في المسقط			
ε	1	0.7	0.4

H_0 : الضاغط الكلي حيث : $H_0 = H + \frac{v^2_0}{2 \cdot g}$

نهمل الطاقة الحركية إذا كانت صغيرة نسبة لـ H أو عند تحقق :

$$B.(P+H) \geq 4.b.H$$

v_0 : سرعة الإقتراب حيث : $v_0 = \frac{Q}{B\,.(P+H)}$

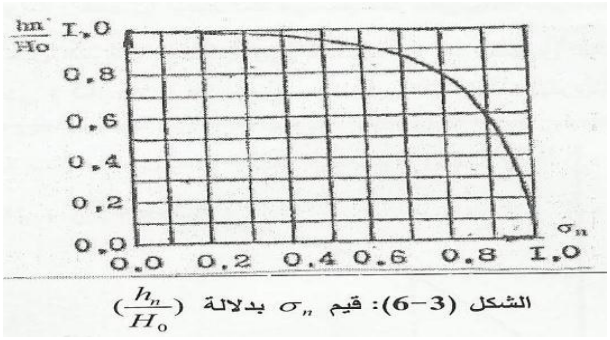
σ_n : عامل الغمر ، فيعتبر مغموراً إذا كان منسوب الماء خلف الهدار أعلى من منسوب قمة السد " $h_n > 0$ " ويحسب من :

$$\sigma_n = 1.05\,[\,1 + 0.2\,(\frac{h_n}{P})\,]\,.\,\sqrt[3]{\frac{Z}{P'}}$$

أو من :

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

أو بيانياً كالتالي :



الشكل (3–6): قيم σ_n بدلالة $(\frac{h_n}{H_0})$

أو من الجدول التالي :

h_n/H	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
σ_n	1	0.99	0.98	0.97	0.956	0.937	0.907	0.856	0.778	0.621	0

نلاحظ أنّ معامل الغمر يأخذ قيمة 1 عندما يكون الهدار غير مغمور.

✓ **العمق الحرج :** $\frac{A_c^3}{B_c} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g}$

حيث A_c : مساحة المقطع الحرج

B_c : عرض سطح الماء الحرج

في حال مقطع مستطيل تحسب من : $y_c = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}}$

✓ **العمق المضغوط : "y_{co}"**

هو العمق الأصغري لتيار الماء خلف السد الهدار

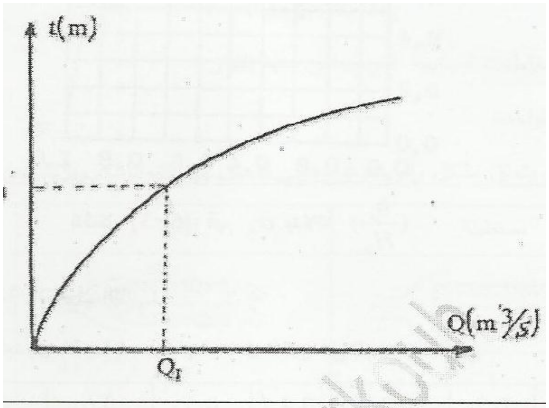
$$y_{co} = \frac{q}{\varphi * \sqrt{2g*(P+H_0-y_{co})}}$$

✓ **العمق النظامي :**

هو عمق الماء في القناة في حال الجريات المنتظم ،

يحسب من علاقات الجريان المكشوف في الأقنية مثل "شيزي-مانينغ"

أو من منحني القياسات الهيدرومترية للقناة كالتالي :



الشكل (3–7): نموذج المنحنى الهيدرومتري للقناة

✓ علاقات القفزة المائية :

نعتبر مقطع المجرى عند القفزة مستطيل وميل المجرى معدوم أو ضعيف فيكون لدينا الأعماق المترافقة :

$$y_2 = \frac{y_1}{2}[\sqrt{1+8(\frac{y_{cr}}{y_1})^3} \ -1\ ]$$

$$y_1 = \frac{y_2}{2}[\sqrt{1+8(\frac{y_{cr}}{y_2})^3} \ -1\ ]$$

ويكون ضياع الحمولة ضمن القفزة : $\Delta H = \frac{(y_2-y_1)^3}{4\,.y_1.y_2}$

✓ المقطع الطولي للسد الهدار النظامي :

- في الهدار النظامي يكون شكل عتبة السد و السفح الخلفي مطابق للسطح السفلي لتيار الماء المنسكب فوق هدار رقيق الحافة برأس مشطوف وبذلك نحصل على أفضل كفاءة تصريف ونتجنب حصول ضغط سالب في الفراغ بين لسان السكب و جسم الهدار .

إذاً : شكل المحيط يتعلق بالتصريف التصميمي و بشروط الإستقرار والتصميم الإقتصادي وشكل يحقق جريان متوازن دون دوامات عند ملامسة اللسان الساكب لأرضية الهدار وبالتالي تآكلها.

- بإهمال سماكة اللسان الساكب وحسب جملة الإحداثيات الموضحة :

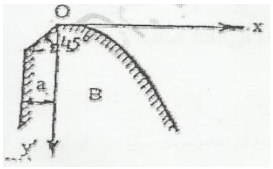
تتحدد إحداثيات أي نقطة ماء أثناء سقوطها من :

$Y = 0.5*g*t^2$ ——— $X = t * (v_0 + \sqrt{2*g*H})$

t الزمن ، v_0 سرعة الإقتراب

H إرتفاع الماء نسبة لمنسوب أعلى عتبة الهدار في منطقة تشكل السرع أمام الهدار.

من المعادلتين نحصل على : $t = \frac{1}{4.H}\frac{X^2}{v_0} = k.X^2$



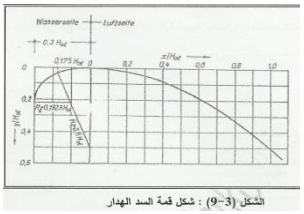
وبإهمال سرعة الإقتراب و إعطاء K قيمة أصغرية و جعل OX يمس أعلى عتبة الهدار و OY منطبق على الواجهة الشاقولية الأمامية للهدار نحصل على :

$Y = 0.45\frac{X^{1.85}}{H^{0.80}}$ ..... (علاقة سيميمي SCIMEMI)

أخذ كرايغر عامل أمان 10% بالنسبة لـ H :

$Y = 0.47\frac{X^{1.80}}{H^{0.80}}$ ..... (علاقة كرايغر CRAEGER)

- ينتهي الهدار بأرضية أفقية حيث يتصل القسم الساكب بالأرضية بمنحني نصف قطره $R = 0.15\ P'$ وبعد المنحني نأخذ مسافة R/2 قبل إتصال جسم السد-الهدار مع حوض التهدئة .
- أبعاد قمة السد و شكلها كالتالي :



الشكل (3-9) : شكل قمة السد الهدار

- إذا زودنا الهدار بسكر فيجب وضع السكر على مسافة $0.2H'$ خلف النقطة التي يكون فيها المماس أفقياً !!

✓ تبديد الطاقة الزائدة لتيار الماء وراء السد – الهدار :

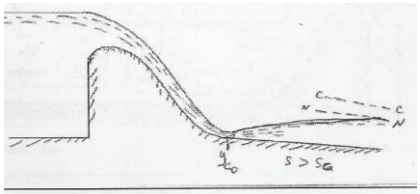
- عندما يبلغ فرق مستويي الماء أعلى و أسفل السد مقداراً Z فإن الماء يصل إلى الحيز السفلي بسرعة كبيرة شلالية بطاقة حركية كبيرة ، بينما يكون الجريان في القناة خلف السد الهدار هادئ بطاقة حركية منخفضة فنبدد الطاقة كالتالي :
  ١) يبدد قسم كطاقة بسبب إرتفاع مستوي الماء بتأثير القفزة
  ٢) يبدد قسم بتحوله لحرارة إحتكاك نتيجة ظهور الدوامات وتحريك ذرات التربة واصطدام تيارات الماء الساقط
  ٣) يبدد قسم كبير جداً في القفزة الهيدروليكية .

✓ إلتحام التيار المائي الهابط مع مستوي الماء في القناة السفلية :

- لدينا حالتين :

▪ **ميل القناة السفلية أكبر من الميل الحرج ($S > S_C$)**

تحصل قفزة فيتم الإنتقال من نظام جريان سريع لآخر سريع .



الشكل (3-11): صورة التحام المستويات المائية في حالة $S > S_C$

▪ **ميل القناة السفلية أصغر من الميل الحرج ($S \leq S_C$)**

تحصل قفزة فيتم الإنتقال من نظام جريان سريع لهادئ و نميز الحالات :

☝ قفزة مدفوعة : $"y_1 > y_{co} \ \ \& \ \ y_2 = y_0"$

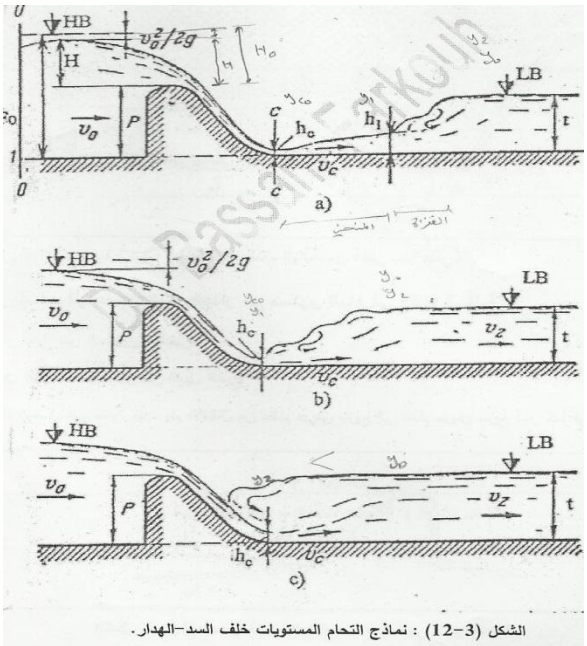
تندفع القفزة مسافة l طول دفع القفزة وفق منحني راجع (M_3 أو H_3 في حال S=0) للإنتقال من y_c إلى y_1 .

✌ قفزة حدية : $" y_1 = y_{co} \ \ \& \ \ y_2 = y_0"$

حيث تتشكل القفزة عند العمق المضغوط

✍ قفزة مغمورة : $"y_0 > y_2"$

الماء في القناة الخلفية يغمر القفزة .



الشكل (3-12) : نماذج التحام المستويات خلف السد–الهدار.

✓ الحلول الإنشائية لإخماد الطاقة خلف السد الهدار :

- لا يسمح بتشكل قفزة مدفوعة خلف المنشأة لأنها تؤدي إلى إهتراء الأرضية في الحيز السفلي وعدم إستقرار المنشأ ككل لذا يجب تحويل القفزة الحرجة و المدفوعة إلى مغمورة بحلول إنشائية **و منهـــــا :**

١) أحواض التهدئة "حلبة بئرية" :

▪ **منشآت فعالة** جداً في تخفيض سرعة الماء وخروجها بسرعة تناسب إستقرار القناة في الحيز الخلفي ،

▪ **الحصول عليه :** نزيد عمق الماء في القناة السفلية بخفض قاعها خلف السد مباشرة بمقدار d مما يؤدي إلى :

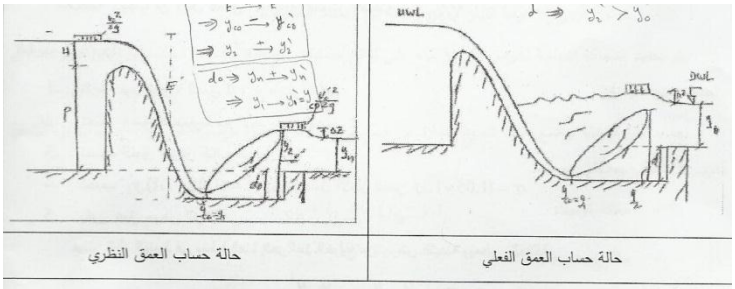
*يزداد إرتفاع سقوط التيار E_0 إلى E_0' .

* يقل العمق المضغوط y_{co} إلى y_{co}' ، فيزداد المعمق المرافق له y_2'

*عمق الماء في القناة السفلية $y_n' = d_o + y_n$ ، فينخفض العمق المرافق الأول له إلى y_1' حتى ينطبق $y_1' = y_{co}'$ فتتشكل القفزة عند العمق المضغوط .

* نأخذ d فعلي أكبر من النظري بحيث يصبح $y_n' > y_2'$ ؟؟ وفق :

$$d = (1.05 \rightarrow 1.1) * d_o + (0.05 \rightarrow 0.1) * y_n$$



الشكل (3-13): النموذج الحسابي لعمق حوض التهدئة

▪ **حساب العمق النظري للحوض :**

- كأنو فيو أخطاء ويمكن حاططها من شان العملي فيمكن ناخدها بالعملي على كلٍ رح أرفقها متل ما هية "page 14"

▪ **طول الحوض : "L_k"**

- يعطى طول أكبر من طول القفزة عندما لا يوجد مخمدات طاقة حيث لا يتم تبديد كامل الطاقة ضمن القفزة : $L_k = (1 \rightarrow 1.25) L_n$

- وفي حال وجود مخمدات : $L_k = 0.8\, L_n$

- حيث L_n : طول القفزة و يعطى بـ :

$L_n = (5 \rightarrow 6) * (y_2 - y_1)$

بالفلومسكي $L_n = 2.5 * (1.9\, y_2 - y_1)$

شوميان $L_n = 3.6 * y_2 * (1 - \frac{y_1}{y_2}) * (1 + \frac{{y_1}^2}{y_2})$

ملاحظة :عندما تكون خواص المجرى جيدة "تربة صخرية أو صخرية ليست عميقة ومغطاة بطبقة لحقية سطحية" فنعتمد طول أقل نسبياً وبالعكس في حال الترب الرخوة المتحركة فنعطي طول أكبر بقليل مما سبق .

▪ **سماكة الحوض : "e"**

$$e = (\frac{1}{10} \rightarrow \frac{1}{11}) * L_k$$

أو $e = 0.15 * v_{co} * \sqrt{y_{co}}$

حيث : v_{co} ، y_{co} السرعة و العمق في المقطع المضغوط .

- يتم تحديد السماكة النهائية للحوض حسب نتائج حسابات الإستقرار والمتانة تحت تاثير القوى المؤثرة على بلاطات الحوض .

▪ **طبقة التكسية :**

- توضع بعد حوض التهدئة وهي حصيرة من حجارة مرصوفة أو بلاطة بيتونية مثقبة بطول L' تحسب من :

كومينا : $L_k + L' = 9.(y_2 - y_1)$

بوجود مخمدات : $L_k + L' = 9.(7 \rightarrow 10).y_2$

دون مخمدات : $L_k + L' = 9.(14 \rightarrow 15).y_{cr}$

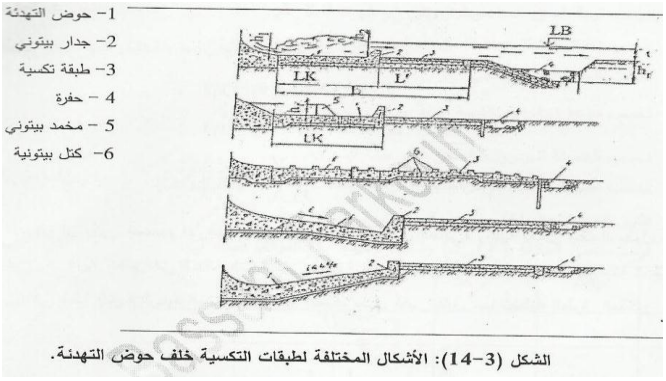
- سماكة هذه الطبقة: $e' = (0.5 \rightarrow 0.7).e$

- نقوم بإنشاء حفرة مرصوفة بركام حجري أو إنشاء ضرس بيتوني أو أو ..:

بحيث عمق الحفرة : $h_r = (\frac{\propto}{1.1})^4 . \sqrt[1.25]{\frac{q}{1.15\sqrt{g}.\, {d_m}^{0.25}}}$

حيث : q التدفق النوعي فوق طبقة التكسية

d_m القطر الوسطي لتربة المجرى المعرضة للإنجراف

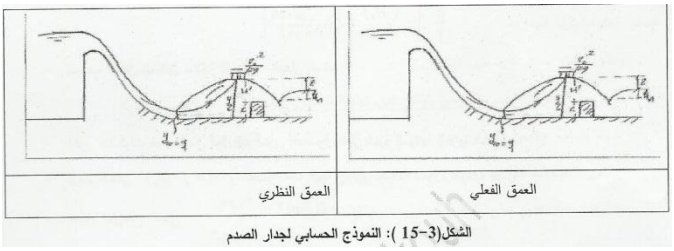


الشكل (3-14): الأشكال المختلفة لطبقات التكسية خلف حوض التهدئة.

٢) جدار التهدئة "حلبة جدارية" :

- نستخدمه عندما تكون التربة خلف السد – الهدار صخرية حيث يصعب حفر حوض التهدئة .

- يعمل الجدار كهدار رقيق حافة يرفع منسوب الماء أمام الجدار بحيث يتشكل ضاغطٌ كافي لتصريف كمية الماء الواردة من السد الهدار "مبدأ الإستمرار".



الشكل(3-15): النموذج الحسابي لجدار الصدم

▪ **الإرتفاع النظري للجدار :**

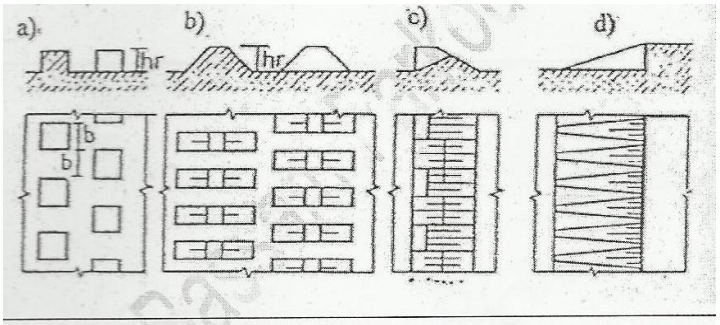
كأنو فيو أخطاء ويمكن حاططها من شان العملي فيمكن ناخدها بالعملي على كلٍ رح أرفقها متل ما هية "page 17-18"

٣) جدار التهدئة "حلبة جدارية" :

- حل مشترك بين الحلين السابقين فنصمم حوض تهدئة حتى عمق معين "سيكون أصغر من العمق الموافق لحل حوض فقط" و إضافة جدار عند عتبة الحوض "إرتفاعه أقل منه في حال جدار فقط" ،
حيث نلجأ لهذا الحل عندما يكون الحفر العميق مكلف .....
- هناك حسابات فايتة بالحيط .

٤) مخمدات بيتونية :

- عقبات مختلفة تقام بطريق التيار المائي في القناة السفلية تجعل التيار يتمدد بأشكال خاصة فتتبعثر الطاقة لتغير شكل التيار .
- لهذه المخمدات نماذج مختلفة كالمكعبات و الأهرام البيتونية الصغيرة التي تقام على سطح قاع مجرى القناة السفلية على خلاف أحواض وجدران التهدئة .
- لا تخضع المخمدات الخاصة لحسابات هيدروليكية بل تحدد بالتجريب .
- عادة نستخدمها مع حل آخر من الحلول السابقة (حوض،جدار) مما يساعد في تخفيض الطاقة وبالتالي تخفيض الطول اللازم للحوض أو الإرتفاع اللازم للجدار بمقدرا %(10-30)



الشكل (3-16): الأنواع المختلفة لمخمدات الطاقة.

إنـتـهت المحاضرة الثانـيـة ☺