



• اختيار نوع السد :

رغم مناقشتنا لهذا الموضوع ضمن المقدمة إلا أنه من المفيد تكرار بعض الأنواع نظراً لأهميتها وملائمتها لظروف بلادنا فإذا تصورنا أكثر التصنيفات شيوعاً والمستخدمه أثناء المناقشات المطروحة حول خطوات تصاميم السدود تعتمد على أساس المواد المستخدمه في الانشاء. وهذا النوع من التصنيف عادة ما يحدد نوع التصميم الاساسي المطلوب، كمثال على ذلك، السدود الخرسانية الثقليه.

وسنقتصر في ما يلي على مناقشة أنواع السدود الأكثر شيوعاً وكما أسلفنا سابقاً والتي تنشأ تحت الظروف المتوفرة في وقتنا الحاضر، وبتحديد أكثر، السدود الثقليه الخرسانية (Concrete gravity) والسدود الإملائية الترابية وتحديد السدود ذات النطاقات (Zoned Dams). طريقة تصميم وتحليل السدود الثقليه الحجرية (Masonry gravity) هي نفس طريقة تصميم وتحليل السدود الثقليه الخرسانية. سنتناقش أيضاً الجدران الساندة وطريقة تحليلها.

ونستطيع القول أن السدود الثقليه الخرسانية تكون ملائمة للمواقع ذات الأساسات الصخرية الجيدة، على الرغم من أن المنشآت الصغيرة يمكن بنائها على أساسات ذات ترسيبات نهرية (رمل، حصى وطيني) مع تصميم قواطع أرضية كتيمة مناسبة لمنع أو تقليل كمية التسرب من خلال القاعدة. السدود الثقليه الخرسانية تعمل أيضاً كمفيض علوي وبسبب هذه الميزة فإنها تستخدم عادة كمفيض في السدود الإملائية (الترابية و الصخرية) و السدود التحويلية.

تتطلب السدود الثقليه الحجرية (masonry dams) كمّاً من العمالة اليدوية، وعندما تبنى بطريقه ركيكة، فإن هذه السدود الثقليه الحجرية تكون غير آمنة لتخزين المياه. وعلى كل فإن الجدران من النوع الثقلي الحجري يمكن أن يكون مقبولاً لحماية الاراضي.

في السدود من النوع الترابي ذات النطاقات فإنها تستخدم المواد الترابية المتوفرة في الموقع، التربة الكتيمة توضع في الوسط لتمثل نواة السد الكتيمة وذلك لمنع التسرب، ويمكن أن تنشأ النواة بشكل مائل الى الجهة الأمامية للسد، كما يمكن أن تكون النواة عبارة عن قلب داخلي رقيق من الأسفلت أو الخرسانه. والسدود الإملائية بشكل عام تكون معرضه للعطب أو التدمير في حالة إنسياب المياه على جسم السد، ولذلك يجب تزويدها بمفيض قادر على تمرير مياه الفيضان بكفائه عالية ومنع إنسيابها فوق جسم السد. الأساسات المناسبة لهذا النوع من السدود هي الصخرية أو تلك المكونه من الرمل والحصى المدكوك.

و السدود الإملائية تكون ملائمة للمناطق التي تتوفر فيها المواد الترابية والصخرية بشكل كبير وحيث يكون الانشاء بالخرسانه مكلفاً جداً.

• الأساسات

في السدود التي يكون إرتفاعها أكثر من 15 متر فوق الأساس الصخري وللسدود التي يبلغ إرتفاعها أكثر من 9 أمتار فوق أساس غير كتيمة، فإنه من الضروري إجراء إختبارات على الأساسات (الحقليه منها أو المعملية) حتى يمكن التثبت ما إذا كان التصميم آمناً للموقع المختار. في السدود الأصغر فإن النوع المناسب من التصاميم يمكن عادة تحديده بعد معاينة للموقع. لأن إختبارات الأساسات تعتبر من النوع التخصصي جداً لذا فلن يُتعرض لها في هذا الموضوع.



حالة الأكتاف والأساسات هي من أهم الموضوعات التي يجب الاهتمام بها في إجراء الدراسات الميدانية وفي التصميم

نصائح :

- تذكر أن بعض المشاكل في الأكتاف والأساسات يمكن أن تؤثر بشكل أساسي في اختيار الموقع.

• السدود الثقيلة الخرسانية

0 مقدمه

السد من النوع الثقلي الخرساني يعتبر مشجعاً جداً ويصمم بحيث أن وزنه يقاوم جميع القوى المؤثرة عليه. فإذا كان الأساس جيداً، وكان السد مصمماً ومنفذاً بطريقة جيدة يصبح السد الخرساني الصلب منشئاً دائماً تحتاج فقط إلى عمليات صيانته بسيطه. وإذا تم إنشاء هذا النوع من السدود على قاعده صخرية قوية فإن ارتفاعه يمكن أن يتجاوز الـ 20 متراً، أما إذا كان منشئاً على أساس مكون من تربة منفذه، فإن ارتفاعه يُحدّد بمعرفة سعة تحميل التربة، ولكن يجب أن لا يتجاوز الـ 9 متر (ينصح بعدم بنائه على مثل هذه القواعد) ، أيضاً الإرتفاع الكلي الخالص لعمود الماء (مستوى الماء أمام السد - مستوى الماء خلف السد) لا يجب أن يتجاوز الـ 6 متر.

وضع المواصفات الدقيقة لآلية تنفيذ أعمال الحفر عند القاعدة والاكثاف والاعمق المطلوبة



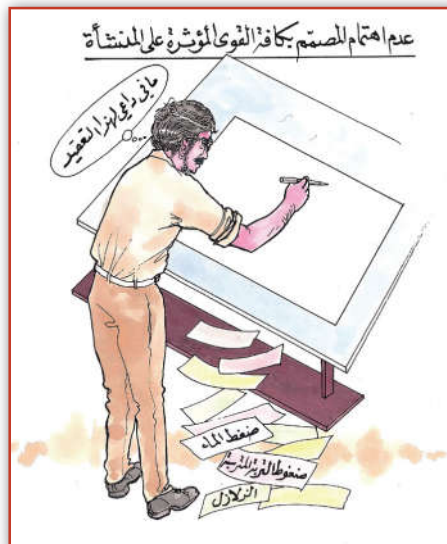
من أهم المواصفات التي يفترض التأكيد عليها لما لها من أهمية قصوى

نطائح :

- كلما كان التوضيف تفصيلياً ودقيقاً كلما أستفاد منه المقاول والمشرف

في حالة السدود الثقيلة الخرسانية، المقامه على أساس صخري، والتي يعمل جزء كبير منها كمفيض، فإنه يتوجب أن تكون الجدران الثقليه الخرسانيه المنشأه على الجناحين (يمين ويسار المفيض) عملية وقليله التكلفة.

عدم إدخال كافة القوى المؤثرة على السد منها الهزات الأرضية بكل حالاتها وكذا الامواج التي تعتمد على طول البحيرة



ضرورة الاهتمام بهذه القوى لما لها من تأثيرات.

نطائح :

- يفترض أن تكون على دراية مسبقة بنطاقات الزلازل والحركات التكتونية.
- لا تنسى أن هناك مركز للهزات الأرضية لديه كثير من المعلومات التي قد تحتاجها

0 القوى المؤثرة على السد

لإتمام تصميم السدود الثقليه الخرسانيه فإنه من الضروري تحديد القوى المتوقعه والتي يمكن أن تؤثر على إستقرار المنشئه. القوى التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار هي كما يلي:

- أ. ضغط الماء الخارجي.
- ب. ضغط الماء الداخلي (ضغط الرفع العلوي) في جسم السد والاساس .
- ج. ضغط الطمي.
- د. القوى الناتجة عن الزلازل.
- هـ. وزن المنشئه .

ليست كل القوى المشار اليها سابقاً ستكون عامله بتأثير أقصى في نفس الوقت، فعلى سبيل المثال فإن تصادف حدوث زلزال عندما تكون مياه الفيضان في أقصى إرتفاعها ظاهرة نادرة الحدوث. والتركيبه التي يمكن أن تؤخذ بشكل أساسي يمكن أن تكون على النحو الاتي:

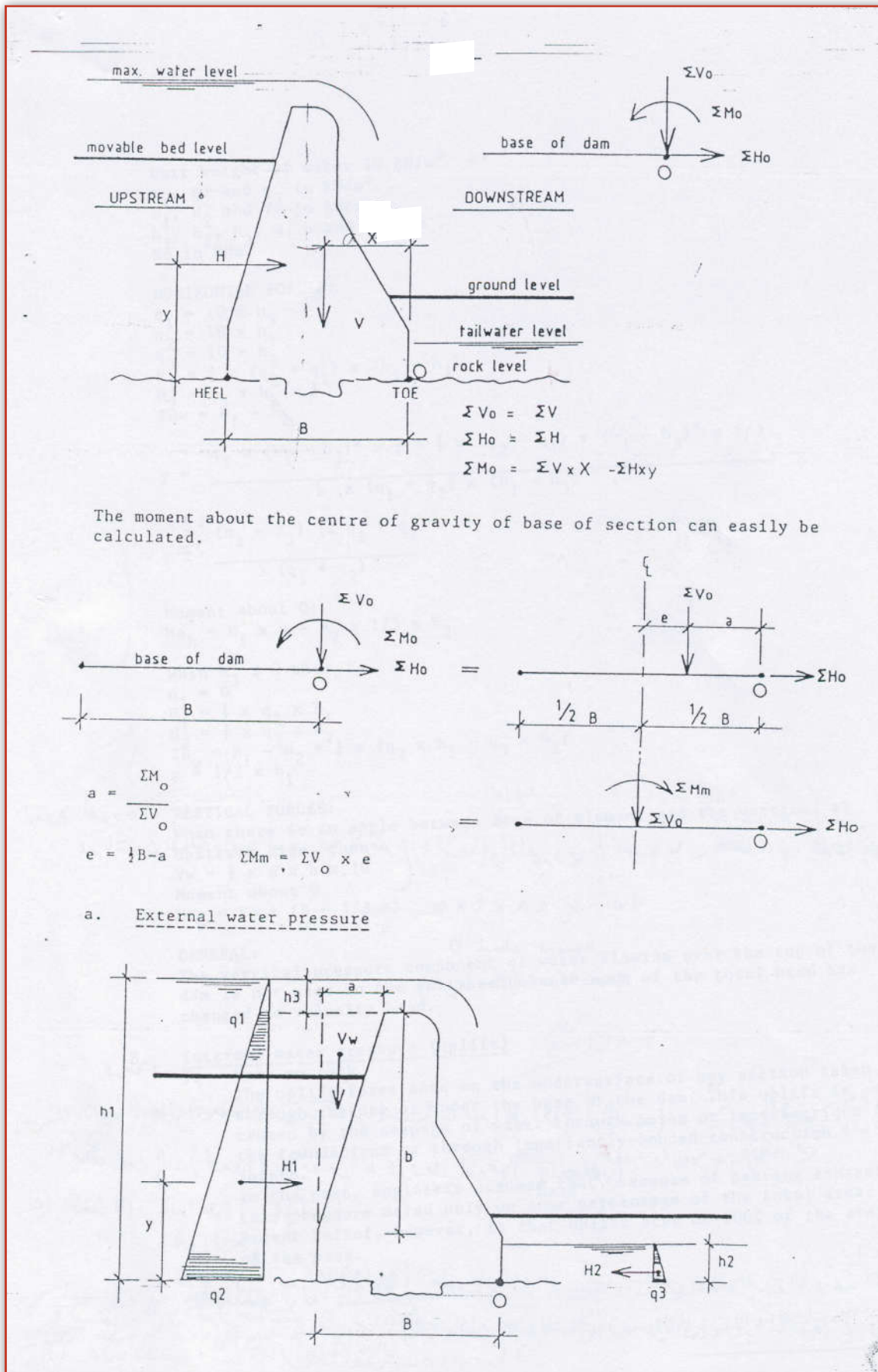
- أ. ضغط الماء الخارجي عند حالة الفيضان.
- ب. ضغط الماء الداخلي (الرفع المائي).
- ج. ضغط الطمي (رسوبيات الفيضان) الناتج عن تأثير الرسوبيات المتحركة في الجانب الأعلى للوادي.
- د. وزن المنشأة.

وقد فصلت هذه القوى كما تم توضيحه أعلاه إلى قوى عموديه وأخرى أفقيه، لكل قسم بعرض متر واحد، والذي يدل على ان الأساس أفقي. أنظر الشكل رقم 1-9.

الخطوة التالية هي حساب العزوم حول النقطة O (Mo) ، التي تقع على حافة جانب السد السفلي (Toe) بإستخدام جميع القوى الأفقيه والعمودية. تُحسب أيضا كل من محصلة القوى العمودية (ΣVo) والقوى الأفقيه (ΣHo) فوق مقطع القاعدة. بعد الحصول على نتائج الحسابات لمحصلي القوى العمودية والأفقيه ومحصلة العزوم حول النقطة O يمكن إجراء حسابات الإلتزان للمنشأ بالاضافة الى حساب ضغوط التحمل للأساسات وقوى الشد للخرسانه. في الحسابات التالية نقرأ الرموز التالية:

$$\text{وحده الوزن للماء} = 10 \text{ kN/m}^3$$

q_1, q_2 and q_3 in (kN/m^2) .
 H_1, H_2 and V_w in (kN/m^1) .
 h_1, h_2, h_3, a, b and B in (m) .
 Mo in (kNm/m^1) .



شكل 9-1 القوى الأفقية والرأسية المؤثرة على السدود الثقليّة الخرسانيّة

بالعودة الى الشكل رقم 1-9:

أ. ضغط الماء الخارجي عند حالة الفيضان

• القوى الأفقية:

$$q_1 = 10 \times h_3$$

$$q_2 = 10 \times h_1$$

$$q_3 = 10 \times h_2$$

$$H_1 = \frac{1}{2} \times (q_2 + q_1) \times (h_1 - h_3)$$

$$H_2 = q_3 \times h_2 \times \frac{1}{2}$$

$$\Sigma H_w = H_1 - H_2$$

$$y = \frac{q_1 \times \frac{1}{2} (h_1 - h_3)^2 + \frac{1}{2} (q_2 - q_1) \times \frac{1}{3} (h_1 - h_3)^2}{\frac{1}{2} (q_1 + q_2) \times (h_1 - h_3)}$$

$$y = \frac{(h_1 - h_3) \times (2q_1 + q_2)}{3 \times (q_1 + q_2)}$$

العزوم حول النقطة O :

$$Mo_h = (H_1 \times y) - \left(H_2 \times \frac{1}{3} h_2 \right)$$

عندما تكون $h_3 = 0$ نحصل على المعادلات الآتية:

$$q_1 = 0$$

$$H_1 = \frac{1}{2} \times q_2 \times h_1$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \times q_3 \times h_2$$

$$\Sigma H_w = (H_2 - H_1) = \frac{1}{2} (q_2 h_1 - q_3 h_2)$$

$$y = \frac{1}{3} h_1$$

• القوى العمودية:

عندما تكون واجهة السد الأمامية ليست عمودية ولكن مائلة بزوايه معينة كما هو موضح في الشكل رقم 1-9، عندها يجب علينا حساب

القوة العمودية الناتجة عن وزن الماء (V_w) :

$$y = \frac{1}{2} \times a \times b \times 10$$

العزوم حول النقطة O :

$$Mo_v = V_w \times (B - \frac{1}{3} a)$$

- الضغط الأفقي للماء المنساب من أعلى السد (على العتبة، Crest) لا يدخل في التحليل لأن معظم إجمالي عمود الماء (الطاقة الكلية)

يتحول الى طاقه حركية (Velocity head) عند تلك النقطة.

ب. ضغط الماء الداخلي (الرفع المائي)

1) سدود على أساسات صخرية

قوة الرفع المائي (Uplift) تعمل تحت سطح أي مقطع يأخذ خلال جسم السد أو تحت قاعدة السد. وهذا الدفع العلوي

يتكون نتيجة تسرب الماء من خلال المسام أو الأجزاء المعابه في الاساسات أو من خلال الفواصل الإنشائية الغير جيدة التنفيذ.

عدم التدقيق في نتائج دراسة أساسيات السد خاصة ما يترتب عليه وجود الحفر والتكهفات

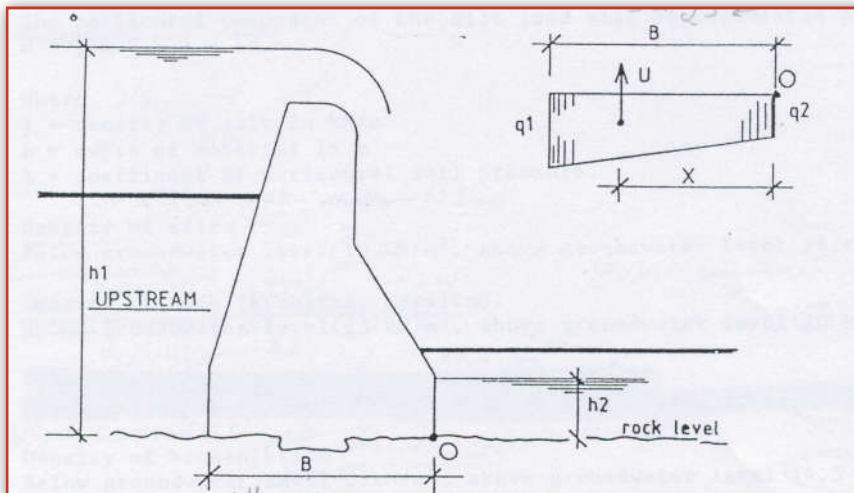


يجب على المصمم الاهتمام بها لايجاد الحلول الفنية التصميمية لها

نطائح :

- إيجاد الحلول الفنية في وقت مبكر يجنب المشروع مشاكل أساسية .
- إذا كانت مشاكل الأساسات والتكهفات غير قابلة للحلول المجدية إقتصادياً فلا تردد في إعطاء التوصية الصائبة دون تأخير.

بسبب الالتصاق بين جسم السد والقاعدة، يفترض المهندسون في الماضي أن قوة الرفع (شكل 2-9) المائي تعمل فقط على نسبة مئوية من المساحة الكلية للقاعدة (35%-50%). وعلى كل، عند بناء السد على قاعدة صخرية، فإن قوة الرفع المائي الناتجة عن الماء أمام السد يمكن أن تأخذ قيمة دنيا تمثل على الأقل 50% من ضغط الماء أمام السد (الماء في الخزان) وتعمل على 100% من مساحة القاعدة. عملية تخفيض ضغط الرفع المائي تحت السد تتطلب عملية حقن على طول كعب السد (Heel) في الجهة الأمامية واستخدام شبكة تصريف خلف خط الحقن لتصريف المياه المتسربة بعد ذلك. في حالة عدم تصريف المياه المتسربة خلف خط الحقن فإن ضغط الرفع المائي على طول القاعدة يُفرض أن يتغير بنمط خطي بين كامل الضغط الهيدروستاتيكي ونصفه عند كعب الحاجز (Heel) في الجهة الأمامية للسد وحتى كامل الضغط الهيدروستاتيكي لعمود الماء خلف السد (Toe) والناتج عن خروج الماء من السد (Tailwater).



شكل 2-9 قوة الرفع المائي

وحده وزن الماء: 10 kN/m^2

h_1 و h_2 بالامتار

q_1 و q_2 بـ kN/m^2

U بـ kN/m

Mo بـ kN/m

$$q_1 = 10 \times h_1 \times 0.5 = 5 \times h_1 \quad (\text{يفترض})$$

$$q_2 = 10 \times h_2$$

$$U = ((q_1 + q_2) / 2) \times B$$

$$X = (B \times (q_3 + 2q_2)) / (3 \times (q_3 + q_2))$$

العزوم حول النقطة O :

$$Mo_U = U \times X$$

عندما تكون $h_2 \leq 0$ نحصل على المعادلات الآتية:

$$q_1 = 5 \times h_1 \quad (\text{يفترض})$$

$$q_2 = 0$$

$$U = \frac{1}{2} \times q_1 \times B$$

$$X = \frac{2}{3} B \text{ و } Mo = U \times X = \frac{1}{3} \times q_1 \times B^2$$

ج. الضغط الناتج عن الطمي

يبدو للعيان أن كل مجاري السيول (السوايل) تقريباً تحمل الرواسب أثناء السيول المعتادة والفيضانات. إذا سمح لهذه الرواسب المشبعة

بالماء أن تتجمع وتستند على الوجهه الأمامية للسد فإنها تولد أحمالاً أكبر من الضغط الهيدروستاتيكي للماء وحده فقط. شكل 3-9.

القوة الأفقية للرسوبيات يمكن حسابها كالآتي:

$$H = \frac{1}{2} \times j \times \lambda n \times h^2$$

حيث:

j = كثافة الطمي (kN/m^3)

h = عمق الرسوبيات بالمتر

λn = معامل الضغط الأفقي للتربة



كثافة المواد المختلفة :

- كثافة الطمي :
تحت مستوى الماء الأرضي تساوي 10 kN/m^3 ، فوق مستوى الماء الأرضي تساوي 18 kN/m^3
- كثافة الصخر (الجرانيت ، البازلت) :
تحت مستوى الماء الأرضي تساوي 13 kN/m^3 ، فوق مستوى الماء الأرضي تساوي 20 kN/m^3
- كثافة الصخر (حجر جيرى ، حجر رملي ، شوك) :
تحت مستوى الماء الأرضي تساوي 10 kN/m^3 ، فوق مستوى الماء الأرضي تساوي 16 kN/m^3
- كثافة الطوب المكسور :
تحت مستوى الماء الأرضي تساوي 8 kN/m^3 ، فوق مستوى الماء الأرضي تساوي 14.5 kN/m^3
- معامل ضغط التربة :

خلف الجدران الثقيلة ، قوة قص التربة لا تنتقل بالكامل وبالتالي يكون تأثير ضغط التربة على المنشأ أكبر من قيمة ضغط التربة الفعال (Active pressure) وأقل من قيمة ضغط التربة السلبي (Passive pressure). قيم معامل ضغط التربة الأفقي لتربة في حالة ساكنة هي كالتالي: في حالة الرمل $\lambda_n = 0.5$ ، وفي حالة الطين $\lambda_n = 0.6$.
كثافة الطمي بـ kN/m^3 . يرمز لكثافة الطمي فوق مستوى الأرض بالرمز j_d ، وتحت مستوى الأرض بالرمز j_w .

عدم الاهتمام بتصميم أحواض التهدة والترسيب



يفترض التنبيه الى هذه المنشآت لما لاهميتها في إطالة عمر السد وتقليل تكاليف الصيانة

نصائح :

- كلفتها قليلة ، تقنيات انشائها بسيطة وفوائدها كبيرة .
- يمكن أن ينفذها المستفيدون .
- يفترض إعداد تصاميم محددة لها حتى يتم إتقان العمل وتحديد كمياته .



$$q_1, q_2 \text{ and } q_3 \text{ in kN/m}^2$$

$$V_1, H_1 \text{ and } H_2 \text{ in kN/m}^1$$

$$M_o \text{ in kN/m}$$

• القوى الأفقية للرسوبيات:

$$q_1 = j_w \times \lambda n \times h_1$$

$$q_2 = j_d \times \lambda n \times (h_2 - h_3)$$

$$q_3 = q_2 + j_w \times \lambda n \times h_3$$

$$H_1 = \frac{1}{2} \times q_1 \times h_1$$

$$H_2 = \frac{1}{2} q_2 \times (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} (q_2 + q_3) \times h_3$$

$$\sum H_s = H_1 - H_2$$

العزوم حول النقطة O :

$$M_o = H_1 \times \frac{h_1}{3} - H_2 \times y$$

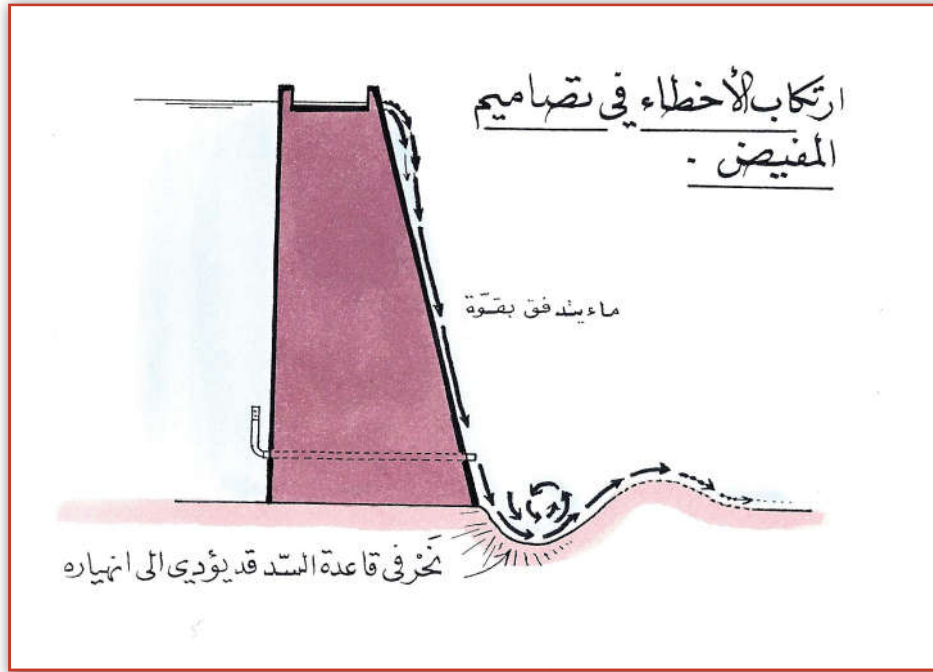
• القوى العمودية:

$$V_s = \frac{1}{2} a \times b \times j_w$$

العزوم حول النقطة O :

$$M_o = V_s \times (B - \frac{1}{3}a)$$

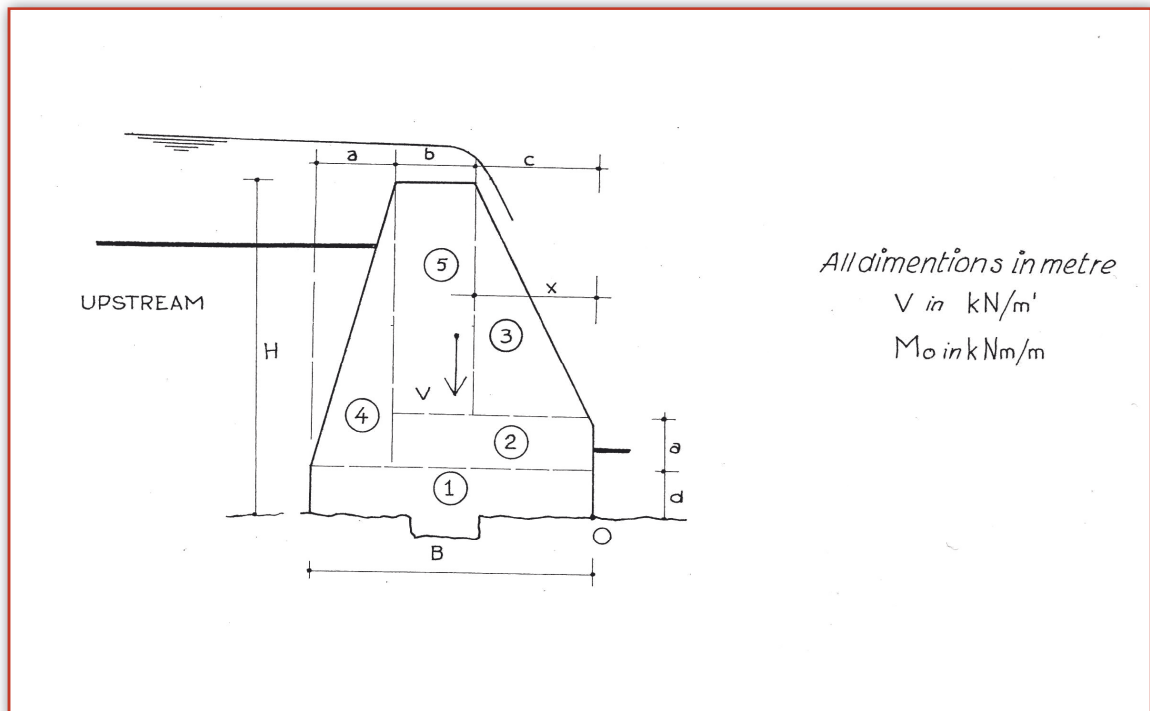
عدم الاهتمام بتصميم المفيض بناءً على المعطيات الفنية



الاهتمام بتصميم المفيض ضماناً لحماية السد من الكوارث

د. وزن المنشأة

تقسم المنشأة إلى عدة أجزاء (شكل 4-9) ثم يحسب وزن كل جزء والقوة العمودية الناتجة عنه كما في جدول 1-9. وزن وحده كتله الخرسانه تساوي 22 kN/m^3 .



شكل 4-9 حساب وزن المنشأة



جدول 9-1 القوى العموديه الناتجة عن وزن المنشأة

رقم	الجزء		القوة (kN/m ¹)		الذراع (m)		O العزم حول (kN.m)
1	$B \times d \times 22$	=		×	$\frac{1}{2}B$	=	
2	$(B - a) \times e \times 22$	=		×	$\frac{1}{2}(B - a)$	=	
3	$\frac{1}{2} \times c \times (H - d - e) \times 22$	=		×	$\frac{2}{3}c$	=	
4	$\frac{1}{2} \times a \times (H - d) \times 22$	=		×	$(B - \frac{2}{3}a)$	=	
5	$b \times (H - d - e) \times 22$	=		×	$(B - a - \frac{1}{2}b)$	=	
			$V =$				$Mo =$

• تحليل إستقرار السد

• الأسس

- يجب أن يتم تصميم السد ليقاوم ميله للإنهيارات التالية:

في حالة الخرسانه المسلحة	في حالة السدود الإملائية
السدود الثقليه	السدود الترابية والصخرية
الإنقلاب	إنزلاق قاعده السد
إنزلاق قاعده السد	إنزلاق الإنحدار
الضغوط على أساسات التربه	التعريه و التسرب الداخلي
زيادة الإجهادات	

عدم إرفاق المذكرات الحسابية مع وثائق التصاميم



أهمية المذكرات تتمحور أساساً في عملية المراجعة والاسراع فيها .

- يجب أن تؤخذ مخاطر الزلازل في الاعتبار حيث أن أجزاء من الجمهورية اليمنية يمكن أن تتعرض للتأثيرات التكتونية (الهزات الأرضية). أسس الإرتزان التي طبقت على تصميم السدود الصغيره في منطقة المرتفعات المركزيه من الجمهورية اليمنية ترتبط مع الظروف الحقيقية، والقوى الفعالة التي يجب أن تأخذ في الاعتبار عند تحديد الأبعاد هي:
- الحالة الحرجة للسد هي عندما يكون الخزان ممتلئ وفي حالة فيضان لذلك فإنه سيتم تحليل القوى الفعالة والاستقرارية في هذه الحالة.
- حمل الطمي وقوة الرفع المائي الناتجة من التسرب السفلي ستؤخذ في الاعتبار وبشكل اختياري لأن تراكم الطمي سيخفض التسرب السفلي إن وجد.
- السدود الخرسانية الثقيلة يجب أن تقام على أساسات صخرية صلبة.
- سطح الإنهيار المحتمل في السد الخرساني الثقلي يكون عند القاعدة.
- لا يؤخذ في الاعتبار وجود ماء خلف السد (tail water) .
- لن يحدث هبوط سريع في منسوب المياه في الخزان بسبب كمية التصريف المحدودة لمنشأ إخراج المياه (لا يتم إقامة منشأ تحتية لإخراج المياه) ، لذلك يتم إستبعادها من التحليل.

• المخاطر السيزمية (الزلائية)

الملامح الجيولوجية لمنطقة المرتفعات المركزية يمكن أن تختص بالتغيرات التي تحدث في شبكة خطوط الفوالق والتي لاتزال نشيطة، والضغط المتواجده قد تنبئ بحدوث زلازل. بعض الإختصاصيين، أوضحوا بإمكانية حدوث زلازل كل 20 سنة في الجمهورية اليمنية، وأخر تلك الزلازل الذي حدث في العام 1982م في محافظة ذمار بقوة 5.6 درجة على مقياس ريختر. وقد أثر ذلك الزلازل على مساحة بقطر 60 كيلومتر حيث وصل تأثيره الى منطقة ضوران جنوب العاصمة صنعاء. من ضمن مصادر أخرى (ذي سانت اورس 1977م وكروليبير 1975م) تم تحديد ميل نطاق الزلازل وبعض نطاقات الخطر الخفيفه للبلد (شكل 5-9). حيث ينصح المصمم بإعتماد قياسات وتصميم خاص وذلك لرفع درجة الامان للمنشآت. ومن خلال المراجع، يمكن أن يستنتج أنه لاجاه لتصميم خاص بالزلازل فيما يخص السدود الإملائية (ترايية وصخرية) أو المنشآت الحافظه للمياه. ولكن فيما يخص السدود الكتليه الخرسانيه وذات الابعاد الكبيره اكثر من 6-8 أمتار إرتفاعاً أو إذا كان موقعها يتموضع على مسافه بسيطه من المنطقة المحرمه (المعرضه للزلازل). وفي حاله المنشآت الحساسه أيضاً من نوع الخرسانه المسلحه (أعمال الخزانات الكبيره الخ) من الضروري زياده القوى الفاعله بواسطه العوامل المعقوله. المعادلات المستخدمة لإيجاد قوى الزلازل ستناقش لاحقاً.



شكل 5-9 نطاق الزلازل وبعض نطاقات الخطر الخفيفه في اليمن

لذلك فإن المهندس ليس أمامه إلا حكمه هو على الوضع واعتماده على بديهيته لمواجهة ذلك .على كل فإن إستخدام عامل الضرب 1.5 يوصى به للحصول على القوى الفعالة.

زيادة معامل الأمان في التصميم مما يزيد الكلفة



يجب التدقيق في احتساب معامل الأمان الحقيقي لتخفيض التكلفة وضمان سلامة المشروع

نصائح :

• كلما أقتربنا من معامل الأمان الأنسب كلما دل ذلك على زيادة الثقة في عمل المصمم .

• إحتياجات الاستقرار للسدود الثقيلة الخرسانية

يجب تصميم الحاجز الثقلي الخرساني بما يتوافق والحد الكافي للسلامة ، وهناك أربعة حالات قد تؤدي إلى انهيار السد:

- (1) الانقلاب
- (2) الإنزلاق
- (3) زيادة الضغوط على أساسات التربة
- (4) زيادة إجهادات الخرسانة

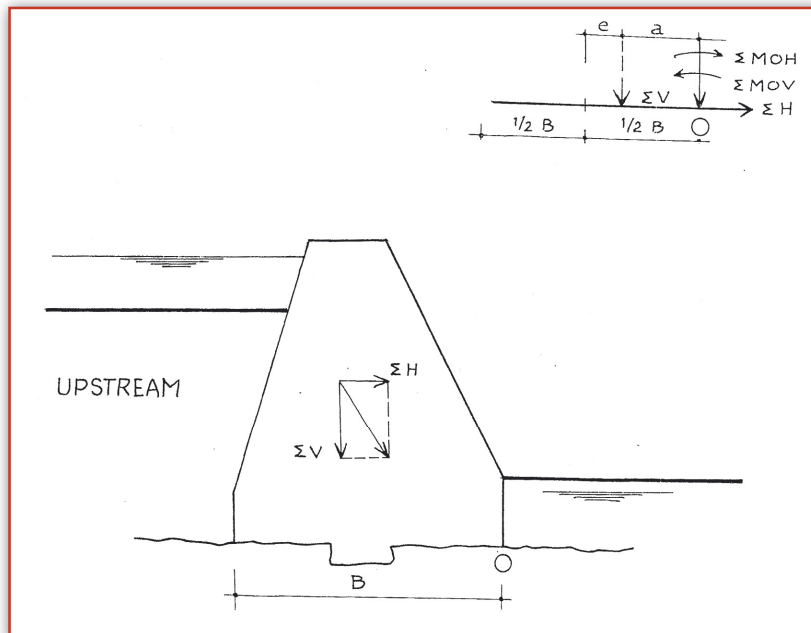
عدم احتساب قوى رفع الماء في التصميم



يمكن أن يؤدي عدم احتسابه الى أخطاء تصميميه فادحة

نطائح :

- يمكنك عمل إستمارة بالأعمال والاحتسابات المفترض عليك إنجازها لعمل التصميم المطلوب



شكل 6-9 تحليل إتران السد

بالرجوع الى شكل 6-9 :

$$a = \frac{\sum Mo_v - \sum Mo_h}{\sum V} \quad e = B / 2 - a$$

حيث:

U = قوة الرفع المائي

$\sum V = kN/m'$ جميع لكل القوى العمودية مع قوى الرفع المائي بـ

$\sum V' =$ جميع لكل القوى العمودية بدون قوى الرفع المائي

$\sum H = kN/m'$ جميع لكل القوى الافقية بـ

$\sum Mo_v = kN.m/m'$ جميع لكل العزوم حول نقطه 0 بواسطة القوى العمودية مع قوى الرفع المائي بـ

$\sum Mo'_v =$ جميع لكل العزوم حول نقطه 0 بواسطة القوى العمودية بدون قوى الرفع المائي

$\sum Mo_h =$ جميع لكل العزوم حول نقطه 0 بواسطة القوى الافقيه

$\sum Mo_u =$ جميع لكل العزوم حول نقطه 0 بواسطة قوى قوى الرفع المائي

1. الانقلاب:

$$\frac{\sum Mo_v}{\sum Mo_h} \geq 1.5, \quad (\sum Mo_v - \sum Mo_u) = \sum Mo'_v$$

2. الإنزلاق:

$$\frac{C \times B + (\sum V) \tan \Phi}{\sum H} \geq 1.3$$

أو:

$$\frac{(\sum V) \tan \Phi}{\sum H} \geq 1.25$$

$$(\sum V' - U) = \sum V$$

حيث: Φ تمثل زاوية الإحتكاك الداخلي لمواد الاساسات و C تمثل قيمة التلاصق للخرسانة أو الصخر وتحسب معمليا .

جدول 2-9 زاوية الإحتكاك لبعض مواد الإنشاء

نوع المادة	Φ
صخر	45° (بعض المراجع تعتبر هذه الزاوية 37°)
رمل	30°
حصى رملي	35°



عندما:

$$\frac{\sum V \times \tan \Phi}{\sum H} < 1$$

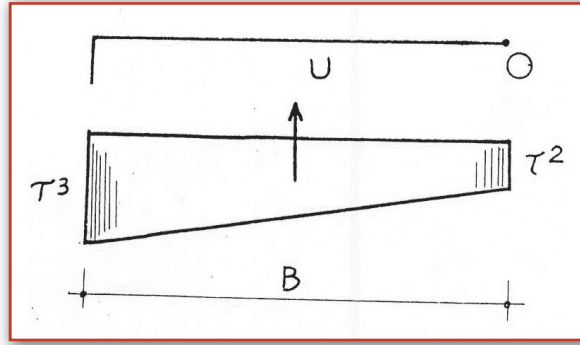
عندها، وفي حالة الأساس الصخري، يجب تصميم خندق مفتاح (Key trench) أو مثبتات حديدية (Anchors).
C = قيمة الالتصاق للخرسانة أو الصخر: يجب تحديدها عموماً بواسطة اختبارات معملية.

(3) الضغوط الواقعة على الأساس

شكل 8-9 يوضح الضغوط الواقعة على أساس السد

ملاحظه: يجب أن يتم حساب القوى الرأسية والعزوم حول النقطة O بدون احتساب قوى الرفع المائي.

وبفرض أن ضغط الرفع المائي سيكون كما هو موضح في شكل 7-9:



شكل 7-9 ضغط الرفع المائي

هناك حالتان لحساب الضغوط الواقعة على الأساس:

1. عندما $a \geq \frac{1}{3}B$ نستخدم العلاقات التالية:

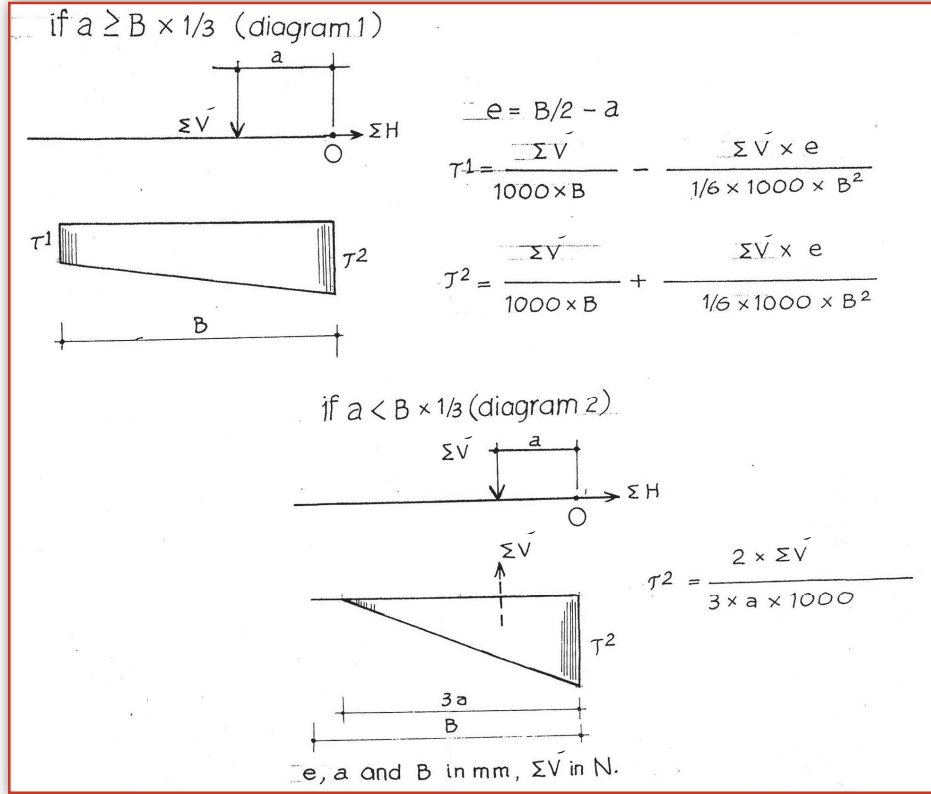
$$e = \frac{B}{2} - a$$

$$\tau_1 = \frac{\sum V'}{B} - \frac{6 \times \sum V' \times e}{B^2}$$

$$\tau_2 = \frac{\sum V'}{B} + \frac{6 \times \sum V' \times e}{B^2}$$

2. عندما $a < \frac{1}{3}B$ نستخدم العلاقة التالية:

$$\tau_2 = \frac{2 \times \sum V'}{3 \times a}$$



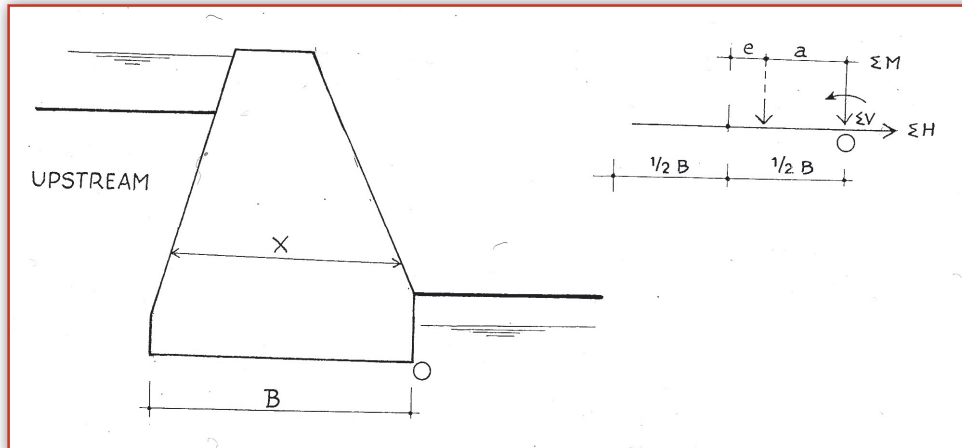
شكل 8-9 الضغوط الواقعة على أساس السد

من أجل تفادي أي هبوطات غير مرغوب بها وميلان السد نتيجة لهذه الهبوطات، فإن شدة الضغط القصوى على الأساسات والتي ستأثر عند كعب الحاجز في المؤخره (Toe) يجب أن لا تتجاوز سعة التحمل الآمنة المناسبة لمادة الأساس (جدول 3-9).

جدول 3-9 سعة التحمل الآمنة لبعض المواد المكونة للأساس

سعة التحمل الآمنة القصوى (N/mm ²)		نوع مادة الأساس
ترية مغمورة	ترية جافة	
0.25	0.5	الرمال المتجانسه المدكوكه و خليط الرمل والحصى
0.15	0.3	الرمل المنتظم التوزيع المدكوك
0.075	0.15	الرمل المنتظم التوزيع السائب
0.2	0.2	الطين القاسي (اليابس)
0.4	0.4	الكتل الطينية شديده القساوة
>1	>1	الصخر

• **إجهاادات الخرسانة :**



شكل 9-9 إجهادات الخرسانة

0 كيفية حساب إجهادات الخرسانة

أحسب (ΣV و ΣH و ΣMo و ΣMo_h) مع أخذ الرفع المائي في الاعتبار

$$\Sigma M = Mo_v - Mo_h - Mo_u$$

$$\mathbf{a} = \frac{\sum \mathbf{M}}{\sum \mathbf{V}} \quad \mathbf{e} = \frac{1}{2} \mathbf{B} - \mathbf{a}$$

1. إجهاد الضغط:

$$\tau_c = \frac{\sum V}{B} + \frac{6 \times (\sum V) \times e}{B^2} \times 1.7$$

2. إجهاد الشد:

$$\tau_T = \frac{\sum V}{B} - \frac{6 \times (\sum V) \times e}{B^2} \times 1.7$$

3. إجهاد القص:

$$\tau_s = \frac{\Sigma H}{B} \times 1.7$$

1.7 هو عامل التحميل، الوحدات بـ m و kN

كما يجب أن يتم أيضاً التحقق من إجهادات الخرسانة في مقطع نموذجي خلال جسم السد (X) (شكل 9-9).

جدول 4-9 يعطي الإجهادات المسموحة للخرسانة الكتلية.

جدول 4-9 الإجهادات المسموحة للخرسانة الكتلية

إجهاد القص N/mm^2	إجهاد الشد N/mm^2	خلطة الخرسانة المعتادة
0.50	1.0	1 : 2 : 3
0.25	0.50	1 : 2 : 4
0.17	0.35	1 : 2.5 : 5

يجب أن لا تكون الخرسانة الكتلية للسدود الخرسانية الثقيلة ذات قوة شد عالية، إلا إذا كانت مقاومة الخرسانة في حالة الشد سوف تستخدم. وهذا لن يحدث في العادة، حيث أنه من الأرخص أن يعد التصميم على أساس عدم وجود شد في الخرسانة أو وجود شد بحدوده الدنيا. الخلطات المعتادة مثل 1:2.5:5 و 1:2:4 ، ستوفر قدر وافر من قوة الضغط (Compressive strength) فيما يكون قليلاً من الشد مسموحاً به.

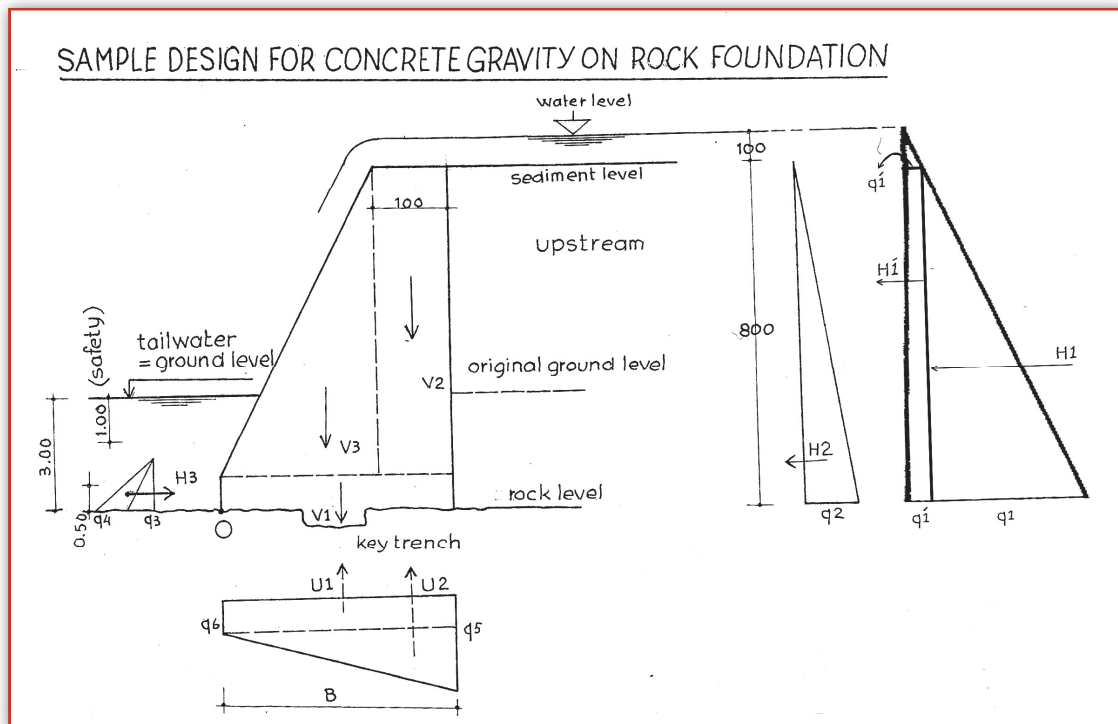
القطع الكبير من الأحجار النظيفة، يمكن إستخدامها في السدود الخرسانية الثقيلة حيث تمثل الأحجار المضافة نسبة قصوى لا تزيد عن 20 % من المحتويات. ويجب أن تتوزع القطع بشكل متعادل ومنتظم خلال الكتلة الخرسانية ويجب أن لا تتجاوز الأبعاد لقصوى للأحجار عن تقريباً $0.2 \times 0.2 \times 0.2 m^3$ ، كما يجب أن لا توضع قريباً جداً من أوجه السد.

التأكيد على رفع المخلفات الناتجة عن البناء .



يجب الاهتمام بتوضيح هذه النقطة لأهميتها .

- أمثلة لتصميم السدود الثقيلة الخرسانية على أساس صخري
 o مثال 1 (شكل 10-9)



شکل 9-10 مثال 1

البيانات الفنية المعطاة:

1. التربه والرسوبيات من نوع الرمل الحصوي :

زاوية الانحدار الطبيعي $(\alpha) = 35^\circ$ ، الوزن المشبع $= 20 \text{ kN/m}^3$ ، معامل ضغط التربة الطبيعي $\lambda_n = 0.5$

2. الخرسانه الكتليه: الخليط المرشح (للاستخدام) 4 : 2 : 1

خصائص الإجهادات المسموح بها:

القص: 0.25 N/mm^2 ، الشد: 0.5 N/mm^2 ، وحده الوزن للخرسنة الكتلية = 22 kN/m^3

- معامل الامان لحساب الجهود = 1.7

فُرض في هذا المثال أن مستوى الأرض خلف السد (ترسبات) منخفضه بمقدار واحد متر عن مستواها الأصلي كإمان احتياطي. فُرض ارتفاع

الماء خلف السد (Tail water) بقيمة قصوى = 3 متر.

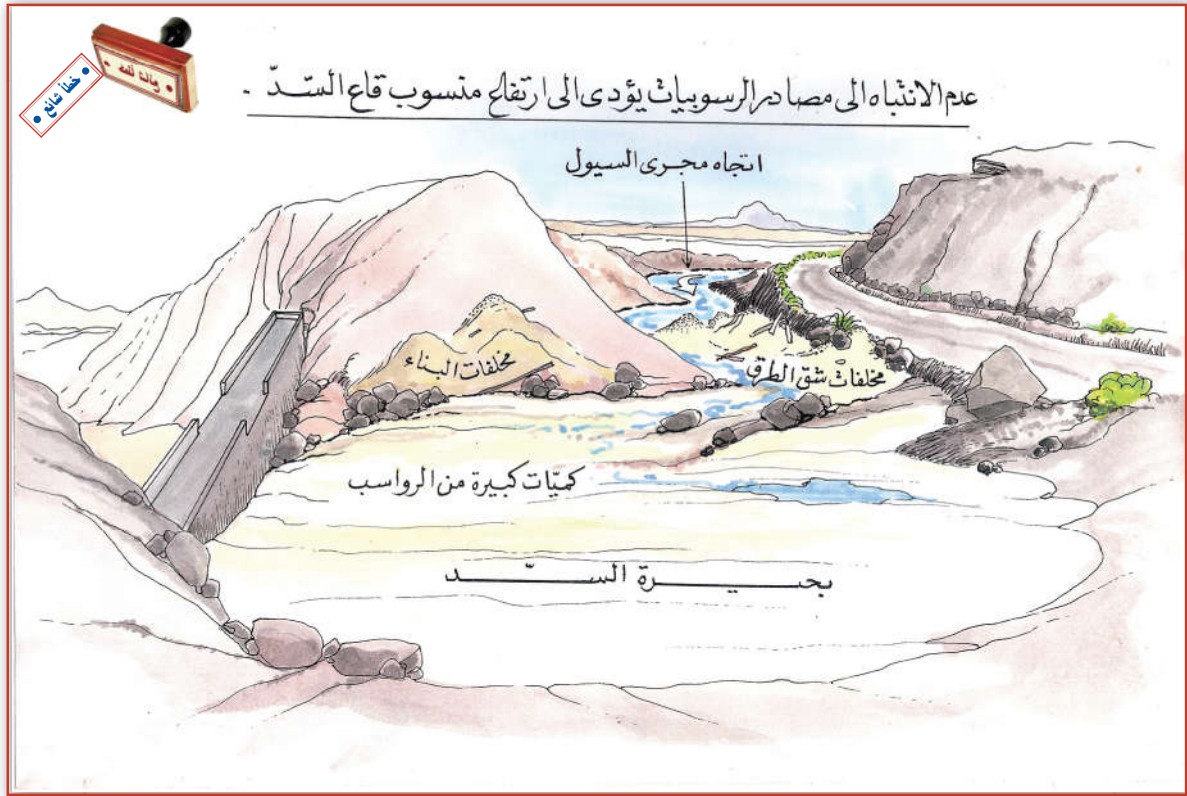
نتيجة للترسبات أمام السد، خفضت قوة الدفع العلوي (Uplift) بمقدار 50% من ضغط مياه الخزان أي أنه يساوي: $9 \times 10^5 \times 0.5 = 45 \text{ kN/m}^2$.

F: الاحتكاك على طول مسافة B من نقطة O.

$$F = \frac{1}{3} \times \left(\frac{1}{2} \times 8^2 \right) \times (20 - 10) \times \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right)$$

$$F = \frac{1}{3} \times 86.72 = 28.90 \text{ kN/m'}$$

عدم الانتباه الى مصادر الترسيبات حول موقع السد كوجود طرق أو مخلفات من ردميات وخلافه



يجب الأخذ في الاعتبار نتائج الدراسات الميدانية وكل ماورد ذكره حول الرسوبيات .

نطائح :

- من المفروض على المصمم التجول في نطاق موقع السد حتى يكون تصور مفيداً لعمله .
- لايجب إهمال الرسوبيات المتواجدة في نطاق المشروع لأنها قد تكون خطيرة على نجاح المشروع .

الجدول 9-11 و 9-12 توضح عملية حساب القوى الأفقية والعمودية المؤثرة على السد:

0 حساب القوى الأفقية:

جدول 9-11 حساب القوى الأفقية المؤثرة على السد

الجزء	حساب الضغط والقوة	H (kN/m')	* الذراع (m)	العزوم حول O (kN.m/m')
H' ₁ (ماء)	$q'_1 = 10 \times 1 = 10 \text{ kN/m}^2$			
	$H'_1 = 10 \times 8 =$	80	$\times 8/2 = 4$	320.0
H ₁ (ماء)	$q_1 = 10 \times 8 = 80 \text{ kN/m}^2$			
	$H_1 = 1/2 \times 80 \times 8 =$	320	$8/3 = 2.67$	853.3



H ₂ (تربة)	$q_2 = j \times \lambda n \times h$			
	$q_1 = (20-10) \times 0.5 \times 8 = 40 \text{ kN/m}^2$			
	$H_2 = 1/2 \times 40 \times 8 =$	160	$8/3 = 2.67$	427.0
H ₃ (ماء)	$q_3 = 10 \times (3-1) = 20 \text{ kN/m}^2$			
	$H_3 = -1/2 \times 20 \times 2 =$	-20	$2/3 = 0.67$	-13.33
H ₄ (تربة)	$q_4 = j \times \lambda n \times h$			
	$q_4 = (20-10) \times 0.5 \times 2 = 10 \text{ kN/m}^2$			
	$H_4 = -1/2 \times 10 \times 2 =$	-10	$2/3 = 0.67$	-06.70
		ΣH	$\times y$	ΣMo_h
		530	$\times 2.98$	1580.30

* المسافة الى النقطة O

O حساب القوى العمودية :

جدول 9-12 حساب القوى العمودية المؤثرة على السد

الجزء	حساب الضغط والقوة	H (kN/m')	* الذراع (m)	العزوم حول O (kN.m/m')
V ₁ =	$B \times 0.5 \times 22 =$	11 B	$\frac{1}{2} B$	$5.5B^2$
V ₂ =	$1.0 \times 7.5 \times 22$	165.0	$(B-0.5)$	$165B-82.5$
V ₃ =	$\frac{1}{2} \times (B-1) \times 7.5 \times 22 =$	$82.5(B-1)$	$\frac{2}{3} (B-1)$	$55B^2-110B+55$
F =	$\frac{1}{3} \times 86.72$	28.90	B	28.9B
	بدون قوى الرفع المائي (without uplift)	$93.5 B+111.4$ $\Sigma v'$		$60.5B^2+83.9B-27.5$ $\Sigma Mo'_v$
(uplift)	قوى الدفع العلوي			
q ₅ =	$-1/2 \times 9 \times 10 = -45 \text{ kN/m}^2$			
q ₆ =	$-3 \times 10 = -30 \text{ kN/m}^2$			
U ₁ =	$q_6 \times B = -30 \times B$	-30B		$-15B^2$
U ₂ =	$1/2(q_5-q_6) \times B = 1/2 \times -15 \times B$	-7.5B		$-5.0B^2$
	مع قوى الرفع المائي (with uplift)	$56B+111.4$ Σv		$40.5B^2+83.9B-27.5$ ΣMo_v

* المسافة الى النقطة O

1. الإنقلاب؛

$$\frac{\sum Mo_v}{\sum Mo_h} = 1.5$$

$$1.5 \times 1580.3 = 40.5 B^2 + 83.9 B - 27.5$$

$$40.5 B^2 + 83.9 B - 239 B = 0.0$$

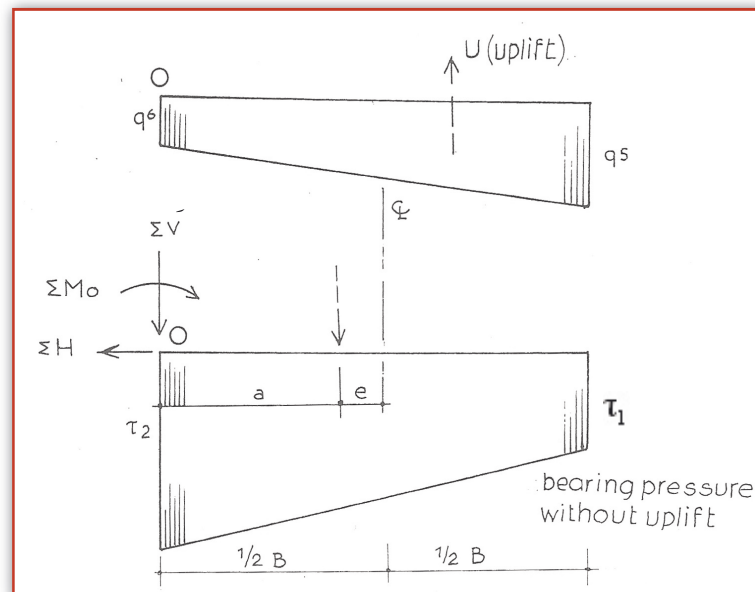
$$B \geq \frac{-83.9 + \sqrt{83.9^2 + 4 \times 40.5 \times 2398}}{2 \times 40.5} \geq 6.73m$$

2. الضغوط المتوقعة على الأساسات الصخرية

$$q_5 = 50\% \text{ من ضغط ماء الخزان } = 10 \times 9 \times 0.5 = 45 \text{ kN/m}^2 \text{ (شكل 9-13)}$$

حدود الحالة (boundary condition) هي $\tau_1 \geq \tau'_1$

حيث τ_1 هو ضغط تحمل التربة و τ'_1 هو ضغط التحمل الناتج عن الماء



شكل 9-13 الضغوط المتوقعة على الأساس

• الحسابات التالية تمت بدون إحتساب الرفع المائي (without uplift)

$$\tau_1 = \frac{\sum V'}{B} - \frac{6 \times \sum V' \times e}{B^2} \geq 45$$



$$\tau_1 = \frac{\sum V'}{B} \left(1 - \frac{6 \times e}{B} \right) \geq 45$$

$$a = \frac{\sum M'_{o_v} - \sum M_{o_h}}{\sum V'}$$

$$a = \frac{60.5 B^2 + 83.9 B - 27.5 - 1580.3}{93.5 B + 111.4} \quad , \quad e = \frac{1}{2} B - a$$

نقوم بتعويض قيم مختلفة لعرض القاعدة B في المعادلات السابقة حتى نحصل على قيمة لضغط تحمل التربة = $(\tau_1) \geq 45 \text{ kN/m}^2$.
جدول 9-5 يوضح هذه الحسابات:

جدول 9-5 إيجاد عرض القاعدة B

B (m)	a (m)	e (m)	$\sum V'$ (kN/m')	τ_1 (kN.m ² /m')
5.75	1.348	1.527	649.0	-
6.00	1.597	1.403	672.4	-
6.25	1.839	1.286	695.8	-
6.50	2.077	1.173	719.2	-
6.75	2.310	1.065	742.5	1.86
7.00	2.538	0.962	765.9	19.19
7.25	2.763	0.862	789.3	31.10
7.50	2.984	0.766	812.7	14.90
7.75	3.201	0.674	836.0	51.6 > 45 O.K

إذاً عندما B = 7.75 متر، $\tau_1 > 45 \text{ kN/m}^2$ وعليه فإن معامل أمان الانقلاب > 1.5 (السد آمن)

• حساب ضغط تحمل الأساس الأقصى بدون أخذ قوة الرفع المائي بالإعتبار:

$$\tau_2 = \frac{\sum V'}{B} \times \left(1 + \frac{6 \times e}{B} \right) = \frac{836}{7.75} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.674}{7.75} \right)$$

$$\tau_2 = 164 \text{ kN/m}^2 < 200 \text{ kN/m}^2 \text{ O.K for rock.}$$

$$\frac{\sum H}{(\sum V' - U) \tan \Phi} = \frac{530}{56 \times B + 111.4} = \frac{530}{56 \times 7.75 + 111.4} = \frac{530}{545} = 0.9718 = \tan \alpha$$

$$(\sum V' - U) = \sum V, \quad \tan \Phi = 1 \text{ for rock}$$

$$\frac{\tan \Phi}{\tan \alpha} = \frac{1}{0.9718} = 1.03 < 1.25$$

$$\text{or: } \frac{1}{H'} = 1.25$$

$$\therefore H' = \frac{545}{1.25} = 436 \text{ kN/m}^2 < 530 \text{ kN/m}^2$$

إذا يجب تصميم خندق مفتاح (key trench) ليقاوم قوة أفقية = 436-530 kN 94

• تصميم خندق مفتاح (key trench)

في هذا التصميم أخذ القيمة 0.3 N/mm^2 لإجهاد القص العملي (ultimate shear stress) يعتبر مناسب.

أ. تصميم عرض الخندق (k)

$$\tau = \frac{1.7 \times \sum H \times 10^3}{1000 \times k} = 0.30 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{1.7 \times 530 \times 10^3}{1000 \times k} = 0.30$$

$$k = 3.0 \text{ m}$$

ب. تصميم عمق الخندق (t)

- إجهاد الضغط الأفقي المسموح بها للصخور = 1 N/mm^2

$$\tau = \frac{(530 - 436) \times 10^3}{\frac{1}{2} \times 1000 \times t} = 1.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{94 \times 10^3}{\frac{1}{2} \times 1000 \times t} = 1.0$$

$$t = 184 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$



3. حساب إجهادات الخرسانة (تأخذ قوة الرفع المائي بالإعتبار)

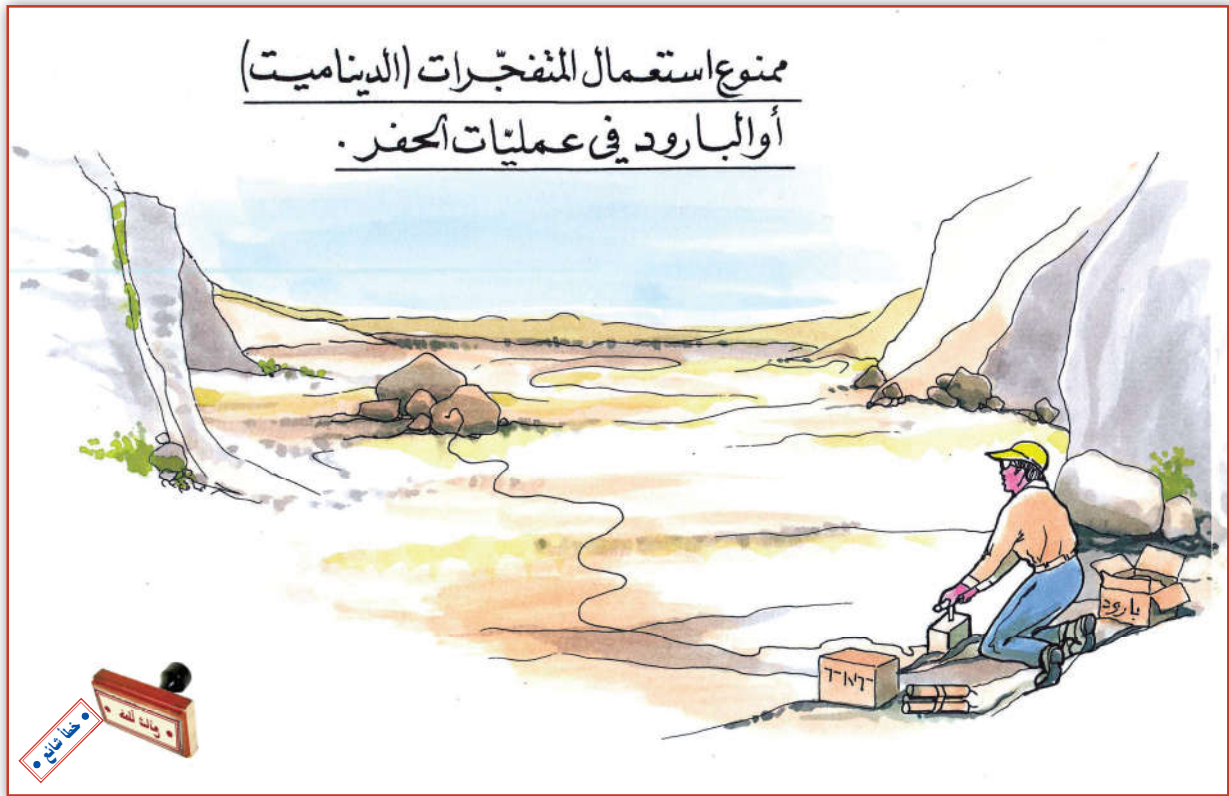
$$a = \frac{\sum Mo_v - \sum Mo_h}{\sum V} \quad e = B / 2 - a$$

$$a = \frac{(40.5 B^2 + 83.9 B - 27.5) - 1580.3}{56 B + 111.4}, \quad B = 7.75$$

$$a = \frac{3055.25 - 1580.3}{545.4} = 2.7 \text{ m}$$

$$e = \frac{7.75}{2} - 2.7 = 1.175 \text{ m}$$

التأكيد على عدم إستخدام التفجير في موقع السد وخاصة في الاساسات والاكتاف .



من الضروري ذكر التحذير من إستخدام المتفجرات لما لذلك من خطورة على تغيير المواصفات الجيولوجية

1. إجهاد الضغط:

$$\tau_c = \frac{\sum V}{B} + \frac{6 \times (\sum V) \times e}{B^2} \times 1.7$$

$$\tau_c = \left(\frac{3055}{7.75} + \frac{6 \times (3055) \times 1.175}{7.75^2} \right) \times 1.7 = 1297.8 \text{ kN/m}^2 < 1600 \text{ kN/m}^2 \text{ O.K}$$

2. إجهاد الشد:

$$\tau_T = \frac{\sum V}{B} - \frac{6 \times (\sum V) \times e}{B^2} \times 1.7$$

$$\tau_T = \left(\frac{3055}{7.75} - \frac{6 \times (3055) \times 1.175}{7.75^2} \right) \times 1.7 = 60.5 \text{ kN/m}^2 < 500 \text{ kN/m}^2 \text{ O.K}$$

3. إجهاد القص:

$$\tau_s = \frac{\sum H}{B} \times 1.7$$

$$\tau_s = \frac{530}{7.75} \times 1.7 = 116.3 \text{ kN/m}^2 < 250 \text{ kN/m}^2 \text{ O.K}$$

1.7 هو عامل التحميل، الوحدات بـ m و kN

• مثال 2

- في هذا المثال فرضت أبعاد السد ثم تم التأكد من تحقيقها لإختبارات الإتزان.

المعطيات: سد ثقلي خرساني كتلي (أنظر شكل 14-9)

إرتفاع السد $H=15\text{m}$ ، إرتفاع المفيض $S=2\text{m}$ ، عرض المفيض $b=2\text{m}$ ، ميل السد الخلفي $=1:0.7$ (رأسي: أفقي)، الإرتفاع الحر

$F=0.5\text{m}$ ، إرتفاع الرسوبيات أمام السد (من النوع الطيني) $= \frac{1}{3}(H-F)$. معامل ضغط التربة الفعال

($\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ ، $\gamma_s=18.9\text{kN/m}^3$ ، $\gamma_R=26\text{kN/m}^3$ ، $\gamma_C=24\text{kN/m}^3$ ، $\lambda n=0.6$ زاوية الإحتكاك الداخلي للصخور)

$\Phi=45^\circ$. يُأخذ مقدار 50% من ضغط الرفع العلوي أثناء الحسابات.

o الإجهادات المسموح بها في الخرسانة الكتلية:

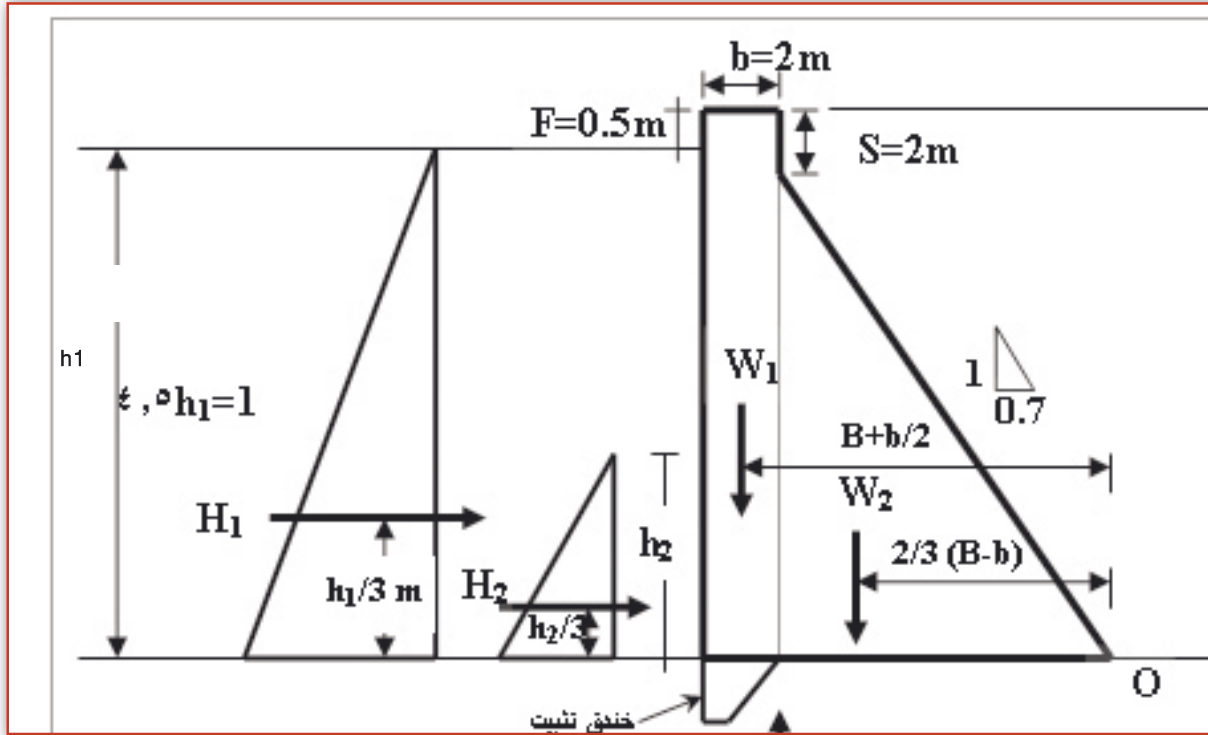
إجهاد الضغط $= 1600\text{kN/m}^2$ ، إجهاد الشد $= 500\text{kN/m}^2$ ، إجهاد القص $= 250\text{kN/m}^2$.

o إجهاد ضغط الصخور $= 4200\text{kN/m}^2$

o معامل التحميل $= 1.7$

- المطلوب:

1. إختبار إتزان السد ضد الانقلاب (Overturning)
2. إختبار إتزان السد ضد الإنزلاق (Sliding)
3. حساب إجهادات الخرسانة (Stresses in concrete)
4. حساب الضغوط الواقعة على الأساس (Soil bearing pressures)



شكل 14-9 مثال 2

الحل:

• حساب القوى الرأسية :

أ- حساب وزن السد : (أهمل وزن خندق التثبيت)

$$W_1 = \gamma_c \times b \times (H - F) = 25 \times 2 \times (15 - 0.5) :$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times \gamma_{c_{avr}} \times b \times (B - 2)(H - 2) = \frac{1}{2} \times 25 \times (11.1 - 2) \times (15 - 2)$$

ب- حساب قوة ضغط الرفع العلوي (Uplift pressure force)

$$U = \frac{1}{2} \times \left[\frac{1}{2} \times \gamma_w \times B \times (H - F) \right] = \frac{1}{2} \times \left[\frac{1}{2} \times 10 \times 11.1 \times (15 - 0.5) \right]$$

• محصلة القوى الرأسية : ($\sum V$)

$$\sum V = W_1 + W_2 - U = 750 + 1478.75 - 402.38 = \underline{\underline{1826.37}}$$

• حساب القوى الأفقية :

أ- حساب قوة ضغط الماء على جسم السد :

$$H_1 = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times (H - F)^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times (15 - 0.5)^2 = \underline{1051.25 \text{ kN/m'}}$$

ب- حساب قوة ضغط الرسوبيات على جسم السد :

$$H_2 = \lambda \Omega \times \left[\frac{1}{2} \times \gamma_{sub} \times \frac{1}{3} (H - F)^2 \right] = 0.6 \times \left[\frac{1}{2} \times (18.9 - 10) \times \left[\frac{1}{3} (15 - 0.5) \right]^2 \right] = \underline{62.4 \text{ kN/m'}}$$

• محصلة القوى الأفقية : ($\sum H$)

$$\sum H = H_1 + H_2 = 1051.25 + 62.4 = \underline{1113.65 \text{ kN/m'}}$$

• حساب العزوم الناتجة عن القوى الرأسية

أ- العزوم الناتجة عن القوى W_1 و W_2

$$\sum Mo_{W1} = W_1 \times \left(B - \frac{2}{2} \right) = 750 \times (11.1 - 1) = \underline{7575 \text{ kN.m/m'}}$$

$$\sum Mo_{W2} = W_2 \times \frac{2}{3} \times (B - 2) = 1478.75 \times \frac{2}{3} \times (11.1 - 2) = \underline{8971.08 \text{ kN.m/m'}}$$

ب- العزم الناتج عن قوة الرفع المائي U

$$\sum Mo_U = U \times \frac{2}{3} \times (B) = 402.38 \times \frac{2}{3} \times (11.1) = \underline{2977.6 \text{ kN.m/m'}}$$

• محصلة العزوم الرأسية : ($\sum Mo_V$)

$$\sum Mo_V = Mo_{W1} + Mo_{W2} - Mo_U = 7575 + 8971.1 - 2977.6 = \underline{13568.51 \text{ kN.m/m'}}$$

• حساب العزوم الناتجة عن القوى الأفقية

أ- العزم الناتج عن القوى الأفقية H_1 و H_2

$$\sum Mo_{H1} = H_1 \times \frac{1}{3} \times (H - F) = 1051.25 \times \frac{1}{3} \times 14.5 = \underline{5081.04 \text{ kN.m/m'}}$$

$$\sum Mo_{H2} = H_2 \times \frac{1}{3} \times \left(\frac{H - F}{3} \right) = 62.4 \times \frac{1}{3} \times \frac{14.5}{3} = \underline{100.5 \text{ kN.m/m'}}$$



- محصلة العزوم الأفقية: $(\sum Mo_h)$

$$\sum M_{O_h} = M_{O_{H1}} + M_{O_{H2}} = 5081.04 + 100.4 = 5181.44 \text{ kN.m/m'}$$

1. إختبار إتران السد ضد الانقلاب (Overturning)

لضماناً تزان السد ضد الانقلاب حول نقطة O ، يجب أن يتحقق معامل الأمان التالي:

$$F.S = \frac{\sum Mo_v}{\sum Mo_h} \geq 1.5$$

كما يجب أن تقع المحصلة في أي نقطة على النصف الوسطي للقاعدة (Middle half)

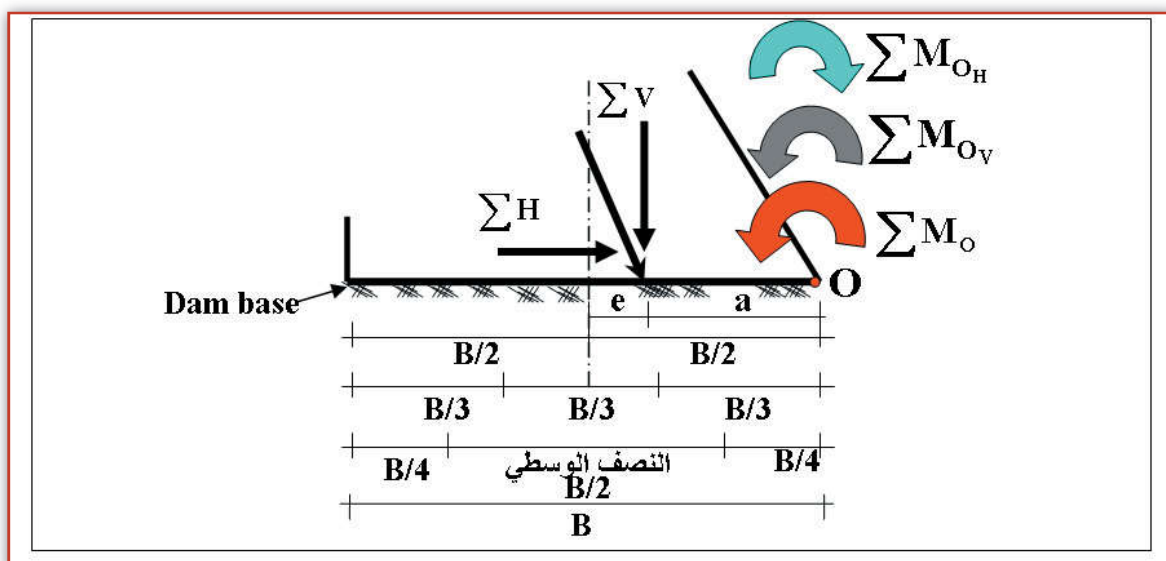
- معامل الأمان ضد الانقلاب:

$$F.S = \frac{\sum Mo_v}{\sum Mo_h} = \frac{13568.51}{5181.44} = \underline{\underline{2.62}} > 1.5 \text{ O.K.}$$

- محصلة كل العزوم حول ($\sum M_o$)

$$\sum \text{Mo} = \text{Mo}_v - \text{Mo}_h = 13568.51 - 5181.44 = 8387.07$$

- موقع المحصلة : (شكل 15-9)



شكل 15-9 تحديد موقع المحصلة

$$a = \frac{\sum Mo}{\sum V} = \frac{8387.04}{1826.28} = 4.59 \text{ m} > 2.78 \text{ O.K. ,}$$

تقع المحصلة في النصف الوسطي للقاعدة (Middle half)

$$e = \frac{B}{2} - a = \frac{11.1}{2} - 4.59 = 0.96 \text{ m}$$

2. إختبار إتزان السد ضد الإنزلاق (Sliding)

لضمان إتزان السد ضد الإنزلاق ، يجب أن يتحقق معامل الأمان التالي:

$$F.S = \frac{\sum V \text{ tg } \Phi}{\sum H} \geq 1.25$$

• معامل الأمان ضد الإنزلاق:

$$\text{tg } \Phi = \text{tg } 45 = 1.0$$

$$F.S = \frac{1826.38}{1113.65} = \underline{\underline{1.64}} > 1.25 \text{ O.K.}$$

• حساب إجهادات الخرسانة

1. إجهاد الضغط

$$\tau_c = 1.7 \times \left[\frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6 \times e}{B} \right) \right] \leq 1600$$

$$\tau_c = 1.7 \times \left[\frac{1864.38}{11.01} \left(1 + \frac{6 \times 1.01}{11.1} \right) \right] = \underline{\underline{432.86}} \text{ kN/m}^2/\text{m}' < 1$$

2. إجهاد الشد

$$\tau_c = 1.7 \times \left[\frac{1864.38}{11.01} \left(1 + \frac{6 \times 1.01}{11.1} \right) \right] = \underline{\underline{432.86}} \text{ kN/m}^2/\text{m}' < 1$$

$$\tau_t = 1.7 \times \left[\frac{1864.38}{11.1} \left(1 - \frac{6 \times 1.01}{11.1} \right) \right] = \underline{\underline{126.57}} \text{ kN/m}^2/\text{m}' < 500$$



3. إجهاد القص

$$\tau_s = 1.7 \times \left[\frac{\sum H}{B} \right] \leq 250 \text{ kN/m}^2/\text{m}'$$

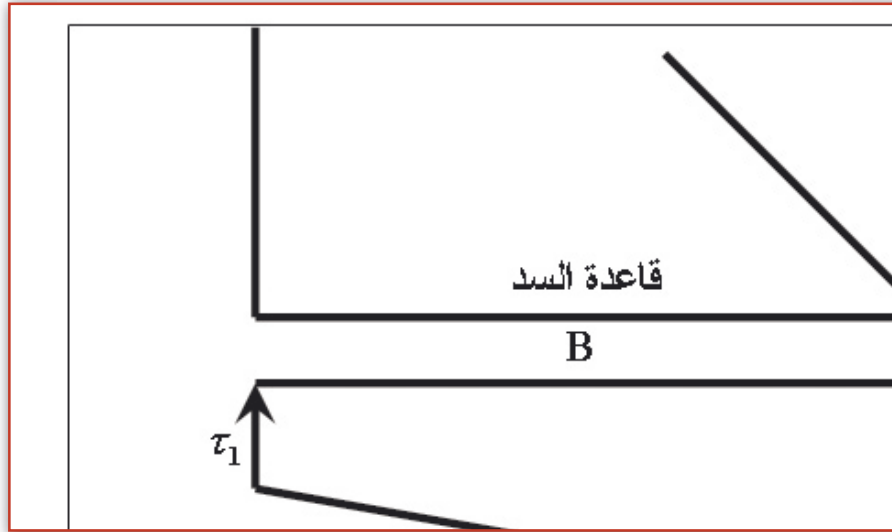
$$\tau_s = 1.7 \times \left[\frac{1113.65}{11.1} \right] = \underline{\underline{170.56 \text{ kN/m}^2/\text{m}'}} < 250 \text{ kN/m}^2/\text{m}' \text{ O.K.}$$

• حساب الضغوط الواقعة على الأساس: (شكل 9-16)

لحساب ضغوط تحمل التربة يجب أن نهمل قوة ضغط الرفع المائي في جميع الحسابات.

• محصلة القوى الرأسية بدون قوة رفع مائي: ($\sum V'$)

$$\sum V' = W_1 + W_2 = 750 + 1478.75 = \underline{\underline{2228.75 \text{ kN/m}'}}$$



شكل 9-16 الضغوط الواقعة على الأساس

• محصلة كل العزوم حول O ($\sum Mo'$) بدون ضغط مائي

$$\sum Mo' = Mo_{w1} + Mo_{w2} - Mo_h = 7575 + 8971.1 - 5181.44 = 11364.66 \text{ kN.m/m}'$$

$$a' = \frac{\sum Mo'}{\sum V'} = \frac{11364.66}{2228.75} = 5.1 \text{ m} > 2.78 \text{ O.K.}, \quad \left(\frac{B}{4} = 2.78 \text{ m} \right)$$

$$e' = \frac{B}{2} - a = \frac{11.1}{2} - 5.05 = 0.45 \text{ m}$$

لأن a' أكبر من $B/3$ تستخدم القوانين الآتية :

$$\tau_1 = 1.7 \times \left[\frac{\sum V'}{B} \left(1 - \frac{6 \times e'}{B} \right) \right] \leq 4200 \text{ kN/m}^2/\text{m}'$$

$$\tau_1 = 1.7 \times \left[\frac{2228.75}{11.1} \left(1 - \frac{6 \times 0.45}{11.1} \right) \right] = \underline{\underline{258.14}} \text{ kN/m}^2/\text{m}' < 4200 \text{ kN/m}^2/\text{m}' \text{ O.K.}$$

$$\tau_2 = 1.7 \times \left[\frac{\sum V'}{B} \left(1 + \frac{6 \times e'}{B} \right) \right] \leq 4200 \text{ kN/m}^2/\text{m}'$$

$$\tau_2 = 1.7 \times \left[\frac{2228.75}{11.1} \left(1 + \frac{6 \times 0.45}{11.1} \right) \right] = \underline{\underline{424.54}} \text{ kN/m}^2/\text{m}' < 4200 \text{ kN/m}^2/\text{m}' \text{ O.K.}$$

• القاعدة الصخرية آمنة.

• كيفية حساب القوى الناتجة عن الزلازل

في المنطقة المصنفة كمنطقة زلازل فإنه يجب تصميم السد كي يقاوم القوى الإضافية الناتجة عن الزلازل. هذه القوى تكون كنتيجة لحركة جسم السد وكذلك نتيجة لحركة المياه المحجوزة في بحيرة السد. إتجاه الحركة الناشئة عن الزلازل يمكن أن يكون متغيراً ولهذا يجب أن يأخذ إتجاه تأثير القوى الناشئة عنه مطابقاً للإتجاه الذي يؤدي الى زيادة عدم إتران السد (في إتجاه أسفل السد). هذه القوى تؤثر في مركز الثقل لجسم السد (أو مركز الثقل لكل جزء منه عند تقسيمه لعدة أقسام) ومركز الثقل لتوزيع ضغط الماء خلف السد (توزيع على شكل قطع مكافئ).

لحساب قوى الزلازل الناتجة عن حركة السد (F_{ed}) تستخدم العلاقة الآتية:

$$F_{ed} = 1.5 \times W \times k_E$$

حيث:

F_{ed} : هي قوى الزلازل الناتجة عن حركة السد ويأخذ إتجاهها أفقياً ماراً بمركز ثقل السد (شكل 17-9)

W : وزن السد

k_E : معامل يتوقف على شدة الزلازل (جدول 6-9)

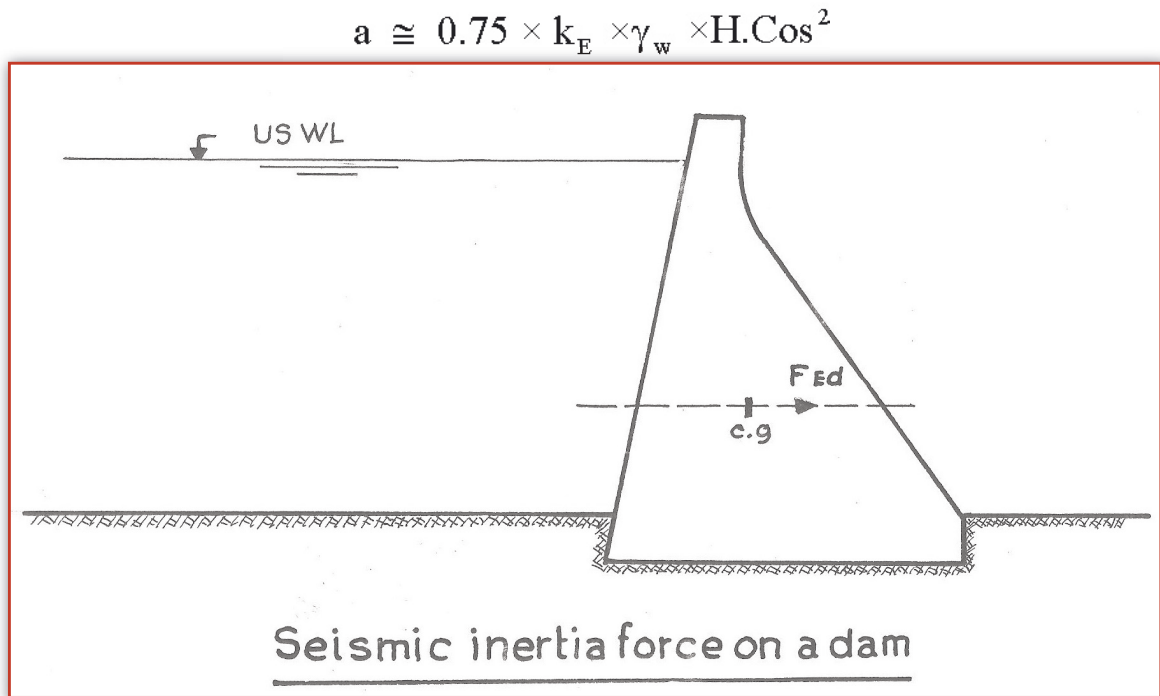
جدول 6-9 معامل الزلازل

شدة الزلازل	7	8	9
المعامل (k_E)	1/40	1/20	1/10

يلاحظ من جدول 6-9 أن الزلازل ذات شدة أقل أو يساوي 6 ليس لها تأثير كبير على إتران السد.

قوى الزلازل الناتجة عن حركة المياه المحجوزة أمام السد تكون موزعة على الوجه الأمامي للسد على شكل قطع مكافئ كما هو موضح

في شكل 18-9. في هذا الشكل:



شكل 9-17 قوى الزلازل الناتجة عن حركة السد

- عندما يكون الوجه الخلفي للسد مائلا بزاوية (α) يكون هناك مركبتين لقوى الزلازل أفقية ورأسية:

• المركبة الأفقية:

$$(F_{Fw})_{rr} = 0.5 \times k_F \times \gamma_w \times H^2 \cdot C\alpha$$

ونقطة تأثيرها:

$$y_f = 0.42H$$

حيث H هو ارتفاع الماء خلف السد

• المركبة الرأسية:

$$(F_{Ew})_V = (F_{Ew})_H \times$$

ونقطة تأثيرها:

$$x_f = y_f \cdot C$$

- عندما يكون الوجه الخلفي للسد عموديا ($\alpha=0$) تكون هناك مركبة أفقية فقط كالتالي:

$$(F_{Fw})_{rr} = 0.5 \times k_F \times \gamma_w \times H^2$$

ونقطة تأثيرها:

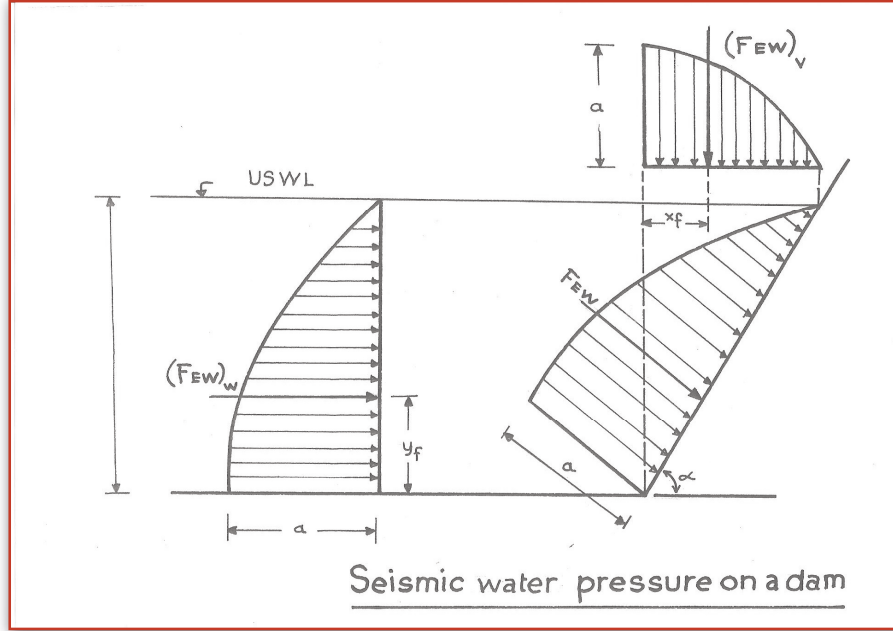
$$y_f = 0.42H$$

- نتيجة لحركة الأرض تزداد قيمة ضغط التربة ولذلك يجب زيادة معامل ضغط التربة الفعال (λ_n) للرسوبيات خلف السد بالمقدار:

$$(1 + 2 \cdot k_E \times ta$$

حيث:

ϕ : زاوية الإحتكاك الداخلي للتربة



شكل 18-9 قوى الزلازل الناتجة عن حركة المياه المحبوزة أمام السد

مثال:

إذا كانت قوة الزلازل المتوقعة في المنطقة = 8 درجات بمقياس ريختر، هل سيظل السد الثقلي الخرساني في مثال 2 في حالة إتزان؟

الحل:

- من جدول 6-9 نحصل على معامل الزلازل المقابل لقوة 8 درجات والذي = $1/20$

- حساب قوى الزلازل:

1. قوى الزلازل الناتجة عن وزن السد جزء 1 (W_1):

$$(F_{ed})_{W1} = 1.5 \times W_1 \times k_E$$

$$(F_{ed})_{W1} = 1.5 \times 750 \times \frac{1}{20} = 56.25 \text{ kN/m'}$$

2. قوى الزلازل الناتجة عن وزن السد جزء 2 (W_2):

$$(F_{ed})_{W2} = 1.5 \times W_2 \times k_E$$

$$(F_{ed})_{W1} = 1.5 \times 1478.75 \times \frac{1}{20} = 110.9 \text{ kN/m'}$$



3. قوى الزلازل الناتجة عن حركة المياه المحبوسة أمام السد (H_1):

$$(F_{ew})_{H_1} = 0.5 \times k_E \times \gamma_w \times H_1^2$$

$$(F_{ew})_{H_1} = 0.5 \times \frac{1}{20} \times 10 \times 14.5^2 = 52.56 \text{ kN/m'}$$

4. تأثير قوى الزلازل على الرسوبيات (H_2):

- بفرض زاوية الإحتكاك الداخلي للتربة (ϕ) = 35°

- القوة الأفقية H_2 الناتجة عن الرسوبيات ستصبح كالآتي:

$$H_{2e} = \lambda n \times (1 + 2 \times k_E \times \tan \phi) \times \left[\frac{1}{2} \times \gamma_{sub} \times \frac{1}{3} (H - F)^2 \right]$$

$$H_{2e} = 0.6 \times \left(1 + 2 \times \frac{1}{20} \times \tan 35 \right) \times \left[\frac{1}{2} \times (18.9 - 10) \times \left[\frac{1}{3} (15 - 0.5) \right]^2 \right] = 66.74 \text{ kN/m'}$$

بإدخال قوى الزلازل المحسوبة في خطوة 1، 2 و 3 في تحليل الإلتزان في مثال 2 مع إستبدال القوة الناتجة عن الرسوبيات H_2 الناتجة في مثال 2 بالقوة H_{2e} المحسوبة أعلاه نحصل على معاملات الأمان التالية:

1. معامل الأمان ضد الإ انقلاب:

$$F.S = \frac{\sum Mo_v}{\sum Mo_h} = > 1.5 \text{ O.K.}$$

2. معامل الأمان ضد الإ نزلاق:

$$\tan \Phi = \tan 45 = 1.0$$

$$F.S = \frac{1826.38}{1284.14} = 1.42 > 1.25 \text{ O.K.}$$

كما أن إجهادات الخرسانة والضغط الواقعة على الأساس تظل تحت الحدود المسموح بها.

عدم إعداد رسوم وتصاميم تفصيلية لجميع أجزاء السد



الاهتمام بإعداد رسوم وتصاميم تفصيلية وواضحة لجميع أجزاء السد يوفر الكثير من جهد المراجع والمنفذ والمشرفين على التنفيذ

نصائح :

- قبل تقديم التصميم تأكد من أنك قد أرفقت كافة التصاميم لكل أجزاء السد .

عدم تحديد المواضع المناسبة لأنابيب المآخذ وأقطارها



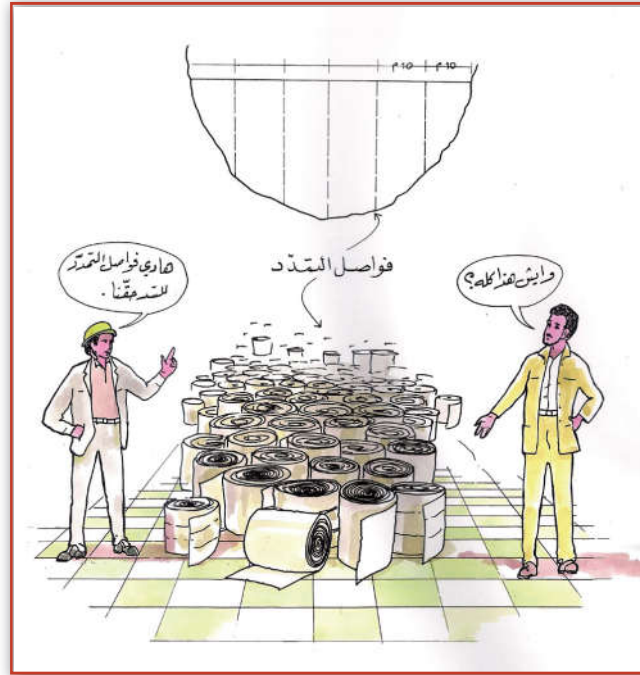
من ضرورات التصميم المتكامل تحديد كل ما يختص بمواضع أنابيب أخذ المياه

نصائح :

- إذا وضع المصمم خطة متسلسلة للعمل فيمكنه إستيعاب كافة الأجزاء وبكفاءة تصميمية عالية.



الأكثر من عمل فواصل التمدد دون داعي فني .



إذا كان التصميم دقيقاً فستكون كمية فواصل التمدد محددة .

نصائح :

- ليس الهدف وجود فواصل تمدد في المشروع بقدر ما هو مهم هل هناك حاجة لها وكم كمياتها.
- اعلم بأن لفواصل التمدد مهمة محددة فأجعل تصميمك يستخدمها بشكل مدروس.

عدم توصيف استخدام فواصل التمدد بصورة تصميمية واضحة



من المهم الاهتمام بتوضيح ذلك نظراً لمتطلبات دقة تنفيذها.

نصائح :

- ضع في إعتبارك تدني خبرة الكثير من المنفذين

ضعف عملية التوصيف (توصيف الأعمال)



يجب التدقيق في ذلك لأن مراحل التنفيذ والإشراف تعتمد على وضع مواصفات أعمال تفصيلية ودقيقة

نطائح :

- تأثير المصمم لا ينحصر في تصميم المنشأة ولكن في كيفية تنفيذها والإشراف على ذلك بشكل مناسب.
- المواصفات العامة والخاصة هي الإطار الذي تبنى عليه عملية الإشراف.

توصيف نسب الخلط للخرسانة مع تحديد نسب الاحجار الى الخرسانة



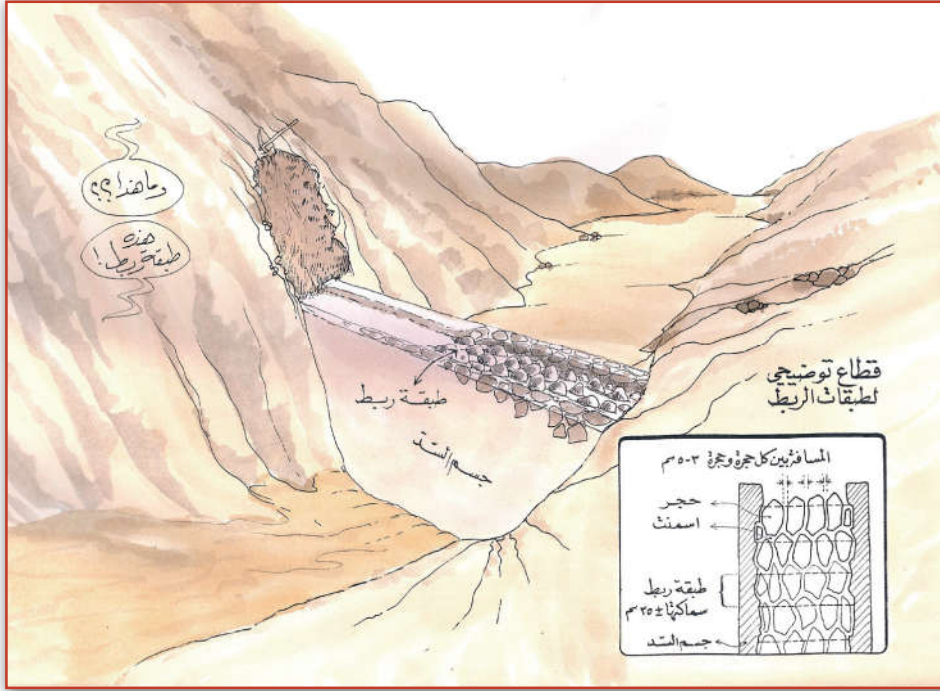
أهم المواصفات في السدود الكتلية.

نطائح :

- قد يؤدي إجهاد المقاو إلى استخدام نسب خلط غير مناسبة في حالة عدم توظيف نسب خلط مناسبة
- الأخطاء التي ترتكب في نسب الخلط قد تسبب مشاكل كبيرة



عدم توصيف تهيئة طبقات الاشتراك (الربط)

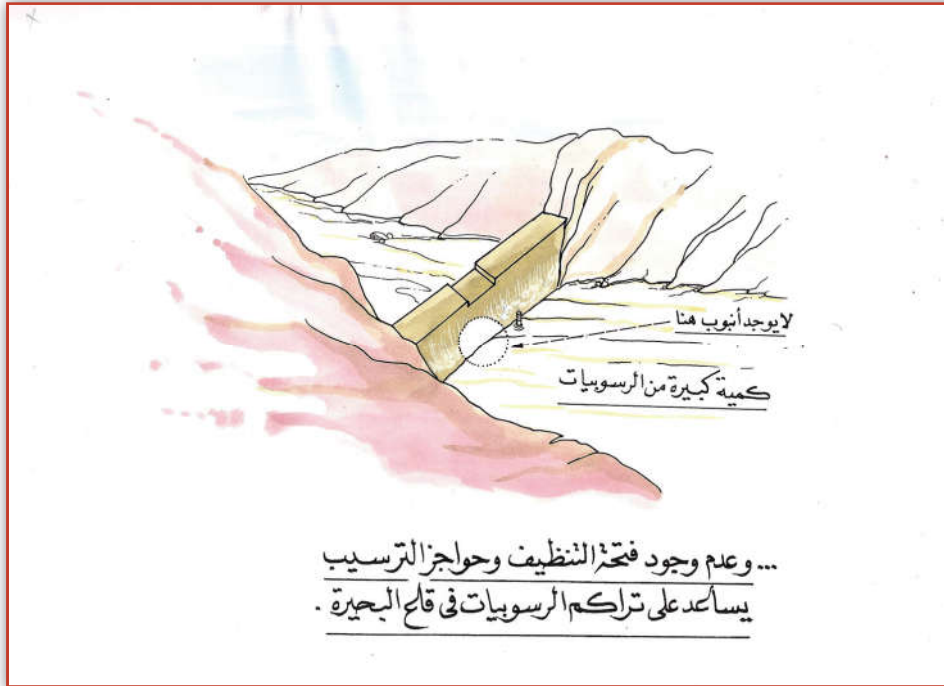


التأكيد على توصيف تهيئة أسطح الاشتراك من التسوية والتنظيف والمسافات... الخ
نصائح :

- الصور النموذجية والرسوم التوضيحية ستكون مفيدة للغاية.



عدم تصميم أنبوب تصفية الرواسب في بعض التصاميم



... وعدم وجود فتحة التنظيف وحواجز الترسيب
يساعد على تراكم الرسوبيات في قاع البحيرة.

يجب أن يقوم المصمم بتصميم أنبوب إخراج الرواسب للأهمية

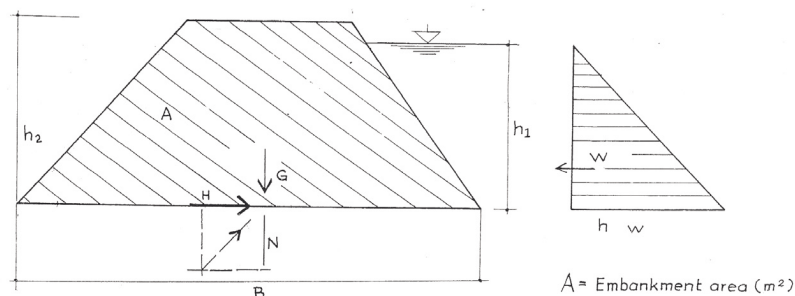
نصائح :

- يمكنك زيارة سدود نفذت مثل هذه الأنابيب للإطلاع على هذه التجربة.
- التجربة أثبتت نجاح فكرة أنابيب التنظيف.



من الامور الهامة المفترض توصيفها.

- القوى الفعالة في حالة السدود الإملائية (ترايية وصخرية)



Material properties :

 γ_o (T/m³) unit weight of embankment

φ ($^{\circ}$) angle of internal friction (shearing)

c (MPa/m²) cohesion

Acting forces

$$G(\tau) = A \cdot \gamma_0$$

$$H \text{ (MP/m}^2\text{)} = G. + g \varphi + B.C \quad \text{--- (27)}$$

$$W(\tau) = h_1^2 \cdot 0.5 \cdot \delta_w \quad (28)$$

$C (M_p/m^2) = 0$ in gravel and rockfill embankment

$$n = \frac{H}{W} \quad ; \quad n = \text{safety factor against sliding} \quad (29)$$

$\min 2$

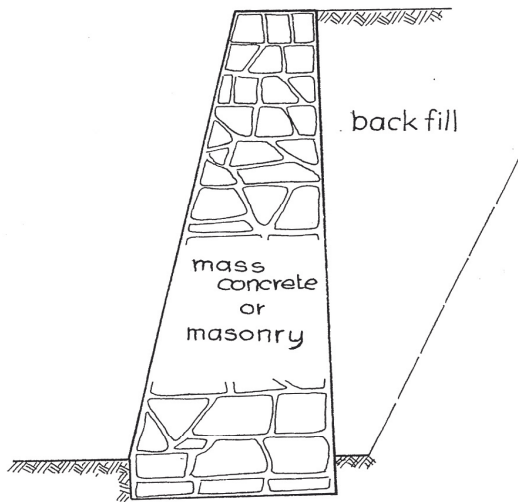
شكل 19-9 كيفية تحليل إيزان السدود الإملائية



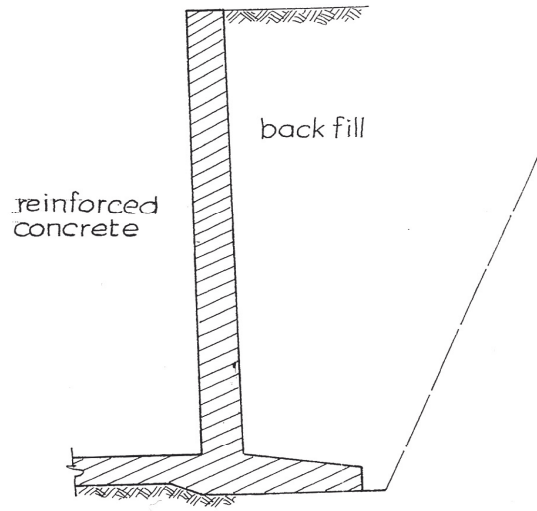
• الجدران الساندة

أشكال 9-20 ، 9-21 ، و 9-22 توضح أنواع الجدران الساندة، بعض خصائص التربة و ضغط التربة على الجدران الساندة.

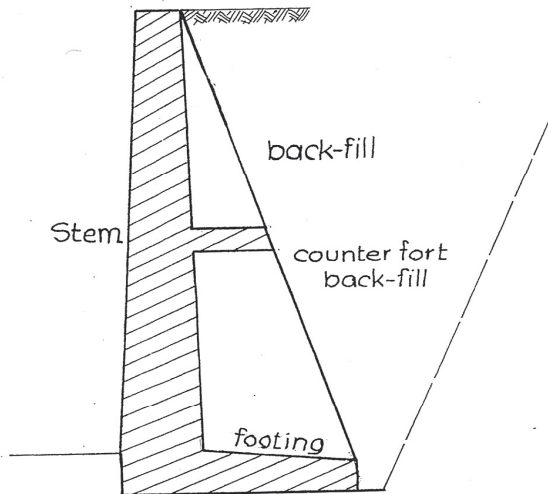
بعض أنواع الجدران الساندة SOME TYPES OF RETAINING WALLS



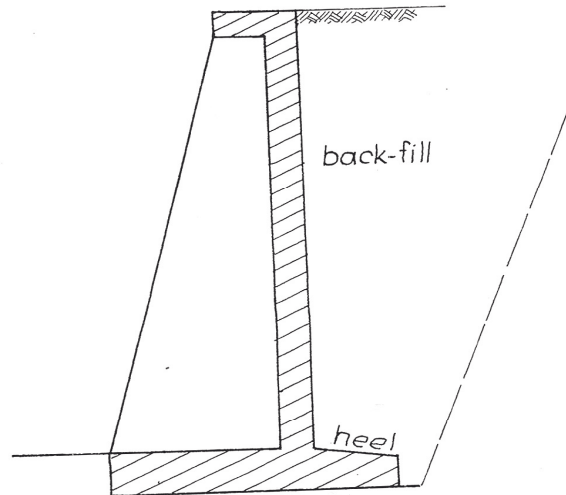
الجدار الكبير
MASSIVE WALL



الجدار الكابلي
CANTILEVER WALL



جدار الكنف الجاني
COUNTER FORT WALL



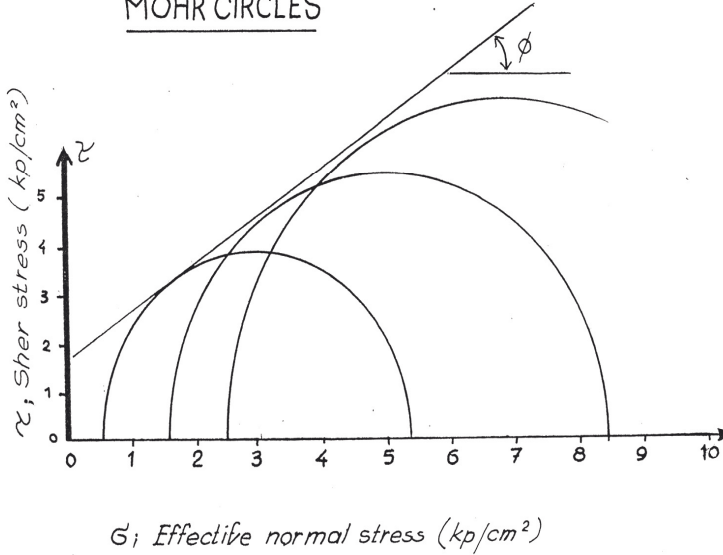
TOE BATTERSHED WALL

توضيح وقيم مقادير بعض التحاليل الميكانيكية للتربة

EXPLANATION AND VALUES OF SEVERAL SOIL MECHANICAL PARAMETERS

Determination : by
triaxial shear test

MOHR CIRCLES



function of envelope line:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

GREEK LETTERS

α	alfa
β	beta
θ	theta
τ	thaw
ρ	rho
φ, ϕ	fee
δ	delta
ψ	phsi
σ	sigma
γ	gamma

CONVERSION FACTORS

	N	kN	kp	Mp	kp/cm ²	Mp/m ²
Mp	9.81.10	0.102	10 ³	1		
kp	9.81	102	1	10 ⁻³		
N	1	10 ⁻³	0.102	0.102.10 ⁻³		
kN	10 ³	1	102	0.102		
Mp/m ²					10 ⁻¹	1
kn/m ²					102	0.102

INFORMATIVE VALUES FOR TYPICAL YEMENI TERRACE-SOIL FORMATION

Factor	Symbol	Unit	Values
Unit weight of soil	γ	M _F /m ²	1.6 - 1.7
Pressure strength	σ	Mp/m ²	2 - 6
Cohesion	c	Mp/m ²	0 - 2.5
Internal friction angle	ϕ	°	20 - 34
Friction angle between soil and wall	δ	°	↓
δ/ϕ { in case of smooth concrete and masonry in case of rough concrete			0.8 - 1.0 0.9 - 1.0

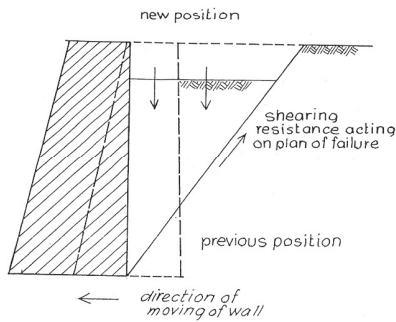
kp : kilopond
Mp : Megapond
N : Newton
kN : kilonewton

شكل 21-9 بعض خصائص التربة

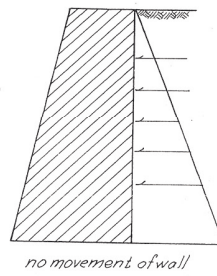
ضغط التربة على الجدران الساندة EARTH PRESSURE ON RETAINING WALLS

ثلاثة ظروف أساسية لضغط التربة على الجدران الساندة Three Fundamental Conditions of Earth Pressure on Retaining Walls

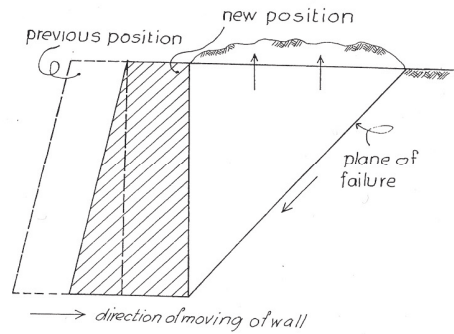
ضغط التربة الفاعل
ACTIVE EARTH PRESSURE



ضغط التربة عند السكون
EARTH PRESSURE AT REST

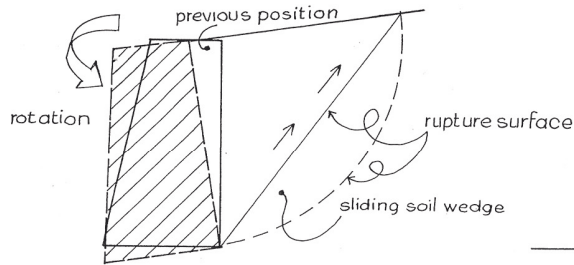


الضغط الخامل للتربة
PASSIVE EARTH PRESSURE

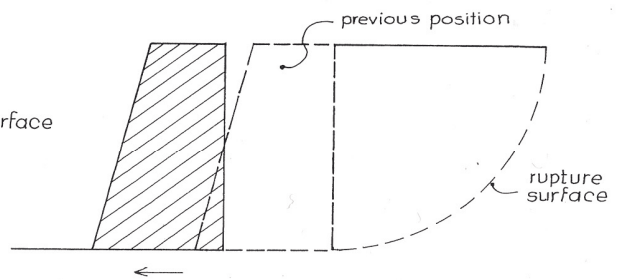


حالات فشل الجدران الساندة EARTH PRESSURE ON RETAINING WALLS

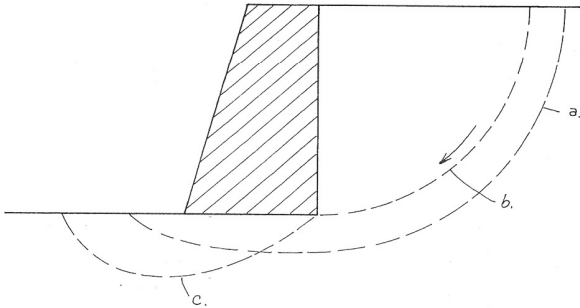
① ROTATION OR OVERTURNING



② SLIDING OR TRANSLATION ON THE BASE



③ FAILURE IN SHEAR OF EARTH UNDER THE WALL



④ COLLAPSE

caused by altered...
STRESS
WATER CONDITIONS
EARTHQUAKE, etc.

- إيضاحات ومعادلات الضغط الفعال للتربة (Active Earth pressure)
(مؤسساً على نظريته رانكن لنظرية ضغط الأرض)

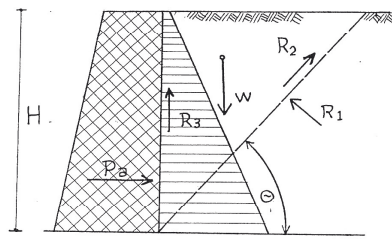
معايير التربة ذات الصلة	معايير التربة ذات الصلة
في حال التربة الملتصقة	في حاله التربة غير الملتصقة
$C = \text{الاحتكاك}$	$\emptyset = \text{زاوية الإحتكاك الداخلي}$
$\emptyset = \text{زاوية الاحتكاك الداخلي}$	$\gamma = \text{وحده الوزن}$
$\gamma = \text{وحده الوزن}$	$m = \text{معامل الإحتكاك بين التربة والجدار}$
$mc = \text{معامل الإلتصاق بين التربة والجدار}$	

الظروف :

- سطح التربة افقي
- سطح الجدار عمودي

الظروف :

- إحتكاك الجدار محذوف
- السطح أفقي، الجدار عمودي

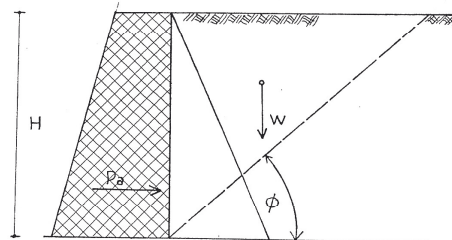


$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} - 2 Hc (1 + m)^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

$$W = \frac{\gamma H^2}{2 \tan \emptyset} \quad (31)$$

$$R_2 = C \frac{H}{\sin \emptyset} \quad (34)$$

$$R_3 = m c H \quad (35)$$



$$e = \gamma H \cdot K_a \text{ where} \quad (32)$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (33)$$

Earth Pressure Factors:

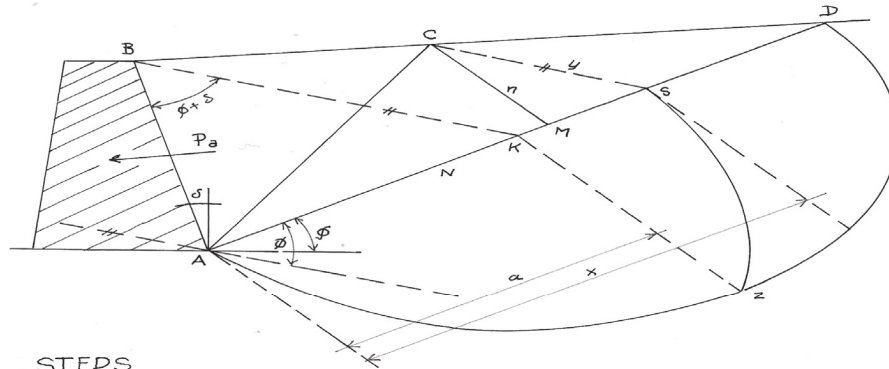
$$(36) \quad K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \text{ in case of active status}$$

$$(37) \quad K_A = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \text{ in case of passive status}$$

شكل 9-23 ضغط التربة الفعال



Pancelet Graphical Construction to determine Active Earth pressure



STEPS

- 1 Draw AB at a scale
- 2 Draw BD as in nature
- 3 Draw AD at angle ϕ
- 4 At point B draw position line to K at angle $(\phi + \delta)$ with line AB . This gives distance a .
- 5 Describe a semicircle AZD on AD
- 6 At point K erect a perpendicular KZ to AD
- 7 With the cord AZ as a radius draw arc ZS
- 8 Draw SC parallel to the line BK to obtain y
- 9 Connect A and C . AC is the coulomb's most dangerous rupture plane and it defines the size of sliding wedge ABC
- 10 From C erect a perpendicular to AD to give M . then $CM = n$ and area of $ACS = \frac{1}{2} \times n$ and $P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot n \cdot y$. (38)

شكل 9-24 الشكل البياني الانشائي لبانسوليت يوضح كيفية إيجاد ضغط التربة الفعال

Vertical Stresses

$$\sigma_{v1} = 1.6 \times 2.5 = 4.0 \text{ Mp/m}^2$$

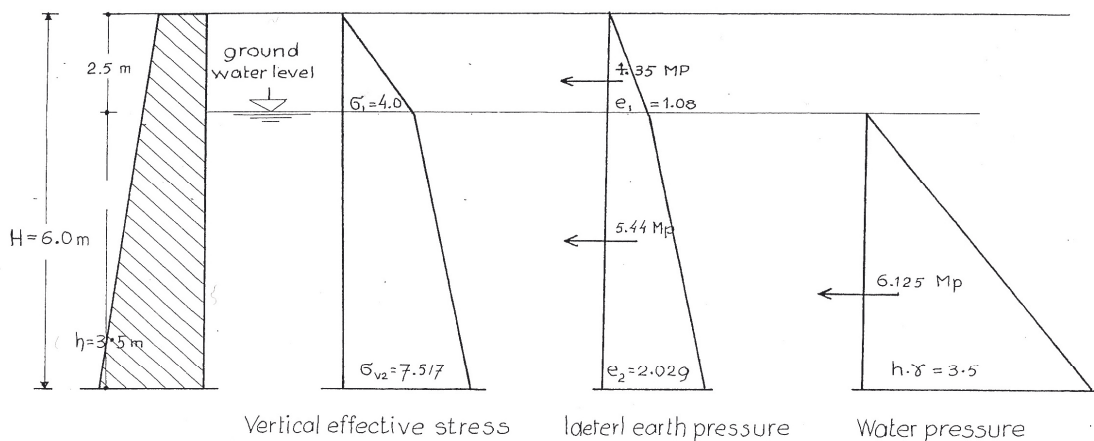
$$\sigma_{v2} = 4.0 + (3.5 \times 1.005) = 7.517 \text{ Mp/m}^2$$

Lateral Stresses (if $k_a = 0.27$)

$$e_1 = 4.0 \times 0.27 = 1.08 \text{ Mp/m}^2$$

$$e_2 = 7.517 \times 0.27 = 2.029 \text{ Mp/m}^2$$

Demonstration



$$\text{Total thrust on wall} = 1.35 + 5.44 + 6.125 = 12.915 \text{ M}$$

شكل 9-25 مثال لتحليل الجدران الساندة

Sample Calculations;

Earth Pressure on a Retaining Wall

Case No. 1 (no groundwater)

Retaining Wall Height = 6 m

Cohesionless soil, dry density = 1.6 Mp/m³

Angle of shearing resistance = 35°

Surface of the soil : horizontal; no groundwater

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} = 0.270$$

$$e = \gamma \cdot H \cdot K_a = 1.6 \cdot 6 \cdot 0.270 = 2.592 \text{ Mp}$$

$$\text{Total Pa} = \frac{e \cdot H}{2} = \frac{2.592 \cdot 6}{2} = 7.776 \text{ Mp}$$

$$\text{Acts at } \frac{6}{3} = 2.0 \text{ m from base}$$

Case No. 2 (there is groundwater)

Retaining wall height = 6 m

Water level in soil = - 2.5 m (from surface)

Dry density = 1.6 Mp/m³

Submerged weight = ($\gamma_{\text{sat}} - 1$) if $e = \frac{V_v}{V_s} = 0.68$ and $V_v + V_s = 1.0$

$$\frac{V_v}{V_v + V_s} = 1, \text{ therefore } V_v = 0.405$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.6 + 0.405 \times 1 = 2.005 \text{ Mp/m}^3$$

Where :

e = void ratio

V_v = volume of voids

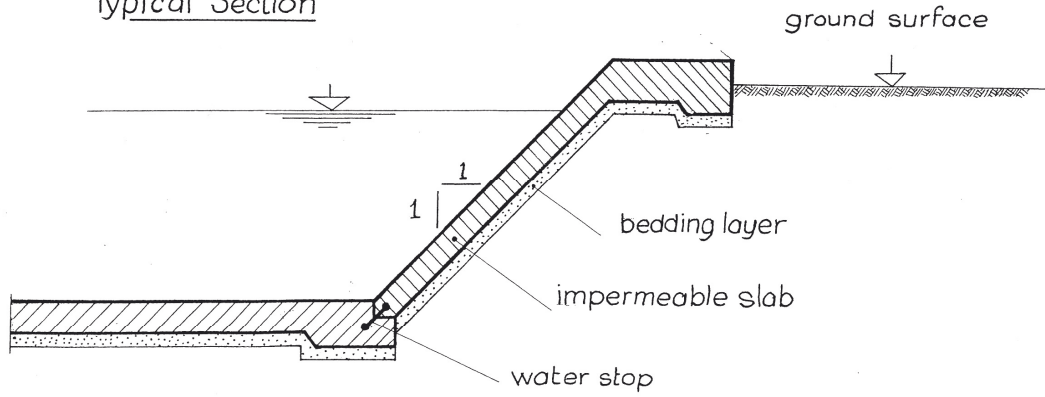
V_s = volume of soil

γ_{sat} = saturated weight of soil



AN ECONOMIC SOLUTION TO CONSTRUCT WATER STORAGE OPEN TANKS WITHOUT RETAINING WALLS

Typical Section



Geotechnical Conditions Considred for Designing

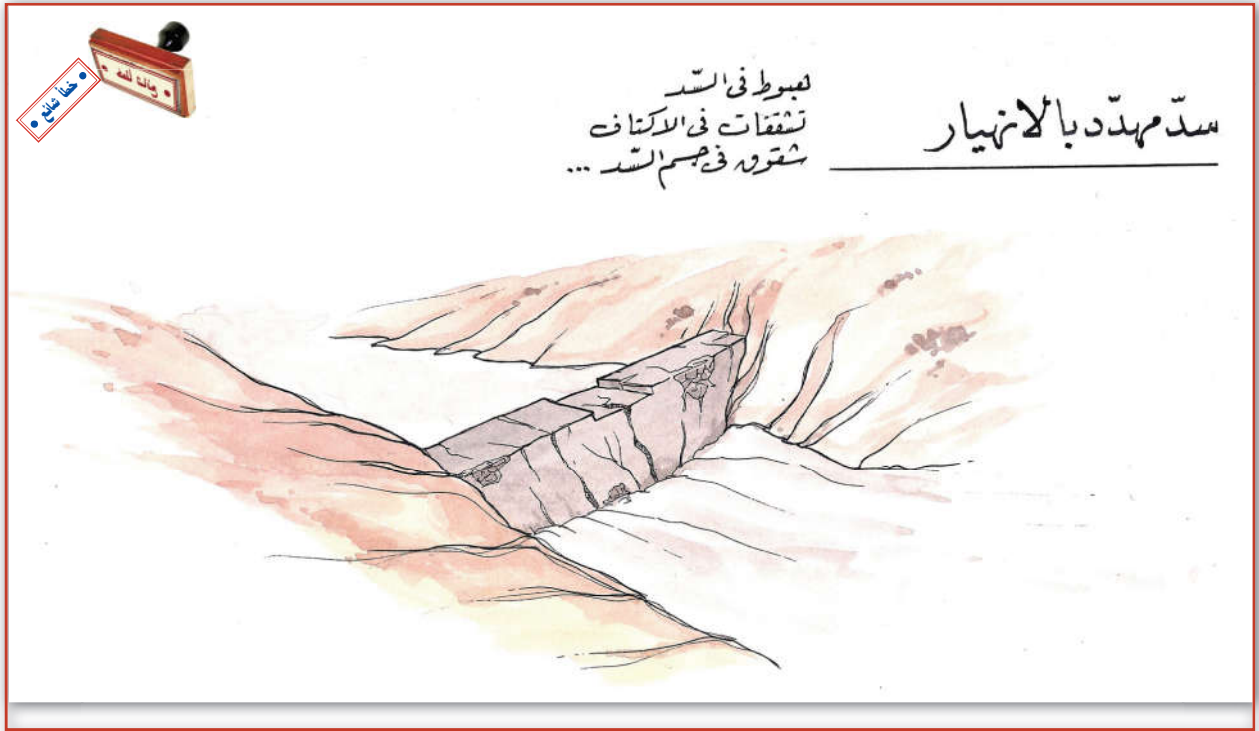
- There is no groundwater upper than the base of the pool
- The soil is silty fine sand or sandy silt (terrace - soil formation) , in which the angle of plane of failure in case of sliding soil wedge is around 45°

Material of the Structure

The slab can be constructed from

- . reinforced concrete
- . plain concrete
- . concr. solid blocks with plastering
- . masonry stone in cem.mortar

وجود معلومات خاطئة تؤدي الى تصاميم خاطئة





الالتزام بالخطوات العلمية الصحيحة لإعداد التصاميم والاعتماد على القياسات والدراسات عامل مهم لنجاح العمل







الخطأ الشائعة



الخطأ	التصحيح
 إهمال الضغوط الايجابية (أمام السد) ضغط ،تربة ، مياه إن وجدت .	 من العناصر الحسابية الهامة ويجب عدم إهمالها
نصائح : • إهمال أي نوع من أنواع الضغوط قد يؤدي بك إلى أخطاء جسيمة • إتباعك لاسلوب متسلسل لاحتساب الضغوط والقوى المختلفة يجنبك التخطئ في عملك .	

الخطأ	التصحيح
 عدم حساب المشروع انشائياً والاعتماد على الثابت في عرض السد (conor)	 من الأخطاء التي يجب تصحيحها الاعتماد على الثابت والصحيح إحساب المشروع انشائياً لما لذلك من أهمية
نصائح : • إشراك الآخرين في حالة الوصول إلى نتائج غير منطقية هو الخيار الأمثل • النقاشات المستمرة مع ذوي الخبرة يكسبك معارف متجددة .	


الخطأ	التصحيح
 عدم التأكد من إستقرارية السد على إرتفاعات مختلفة في المقطع	 إحساب خيارات استقرارية مختلفة يعطي المصمم تصور أوضح للارتفاع الأفضل



الخطأ	التصحيح
 عدم توفر المعلومات الفنية قد يؤدي الى ضعف في التصميم	 يجب أن يكون المصمم على صلة وثيقة مع فريق الدراسة الأولية إذا لم يكن أحد أعضائها
نصائح : • على المصمم الاستفادة من كل معطيات الدراسة الأولية • علينا جمع كافة البيانات الفنية الممكنة ومن كافة المصادر .	

الخطأ	التصحيح
 عدم توضيح التفاصيل التصميمية اللازمة	 يجب وضع تفاصيل الرسوم والتصاميم حتى يمكن قرائتها للمراجعة وللتنفيذ والأشراف
نصائح : • تأكد من أن كل معلومة تدونها في تقريرك ستساعد الآخرين في اتخاذ القرار .	

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الأخذ في الاعتبار توفر الاحجار المستخدمة في إنشاء السد في الموقع .</p>	 <p>تعتبر من العوامل الهامة وترتبط بالتكلفة وحتى نوع السد .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • الاحجار عنصر إنشائي أساسي للسدود الكتلية فإذا توفر المناسب منها في نطاق المشروع فيفترض إستخدامها . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم مراعاة العوامل الاقتصادية عند التصميم</p>	 <p>من أهم العوامل التي يجب على المصمم التركيز عليها لانها يمكن أن تحدد مصير السد من أساسه .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • العمل من خلال الاستثمارات ل : ” تنظيم العمل ” إختصار الوقت ” نجاح العمل الميداني 	

الخطأ	التصحيح
 <p>وضع المواصفات الدقيقة لآلية تنفيذ أعمال الحفر عند القاعدة والاكثاف والاعماق المطلوبة .</p>	 <p>من أهم المواصفات التي يفترض التأكيد عليها لم لها من أهمية قصوى.</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • كلما كان التوصيف تفصيلياً ودقيقاً كلما استفاد منه المقاول والمشرف . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>توصيف فحص الاسمنت ، الكري ، والرمل والحصي مع التأكيد على الاختبارات وفحص مكعبات الخرسانة .</p>	 <p>يفترض أن يكون من أهم متابعات المشرفين على التنفيذ بل والمتفذين .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • يجب الأهتمام بطرق أخذ العينات وطريقة نقلها الى المختبر . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>وضع المواصفات الخاصة بنوعية وإستخدام فواصل التمدد وموانع التسرب .</p>	 <p>الاهتمام بهذه المواصفات يجنب المتفذين والمشرفين على التنفيذ العديد من الاشكالات .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • تفصيل مواصفات فواصل التمدد ضروري حيث توجد في الأسواق نوعيات ومقاسات مختلفة . 	





الخطأ		التصحيح	
	عدم تحديد المواصفات الدقيقة لآلية إستخدام الخرسانة الكتلية ومكوناتها .		تحديد المواصفات الدقيقة لاستخدامات الخرسانة الكتلية ضرورية لضبط تنفيذ الاعمال .
نصائح : • تخيل أنك تضع المواصفات لأشخاص لا يعرفونها .			


الخطأ		التصحيح	
	صب طبقات بأي سماكة كانت		يجب أن لا تتجاوز سماكة الصبة إرتفاع المتر .

الخطأ		التصحيح	
	ترقيـد (وضع) الحجر بمسافة أقل من إرتفاعه		يفترض أن لا تقل مسافة الترقيد عن مقدار إرتفاع الحجر .
نصائح :			
• يمكن أثناء توصيف بعض خطوات العمل استخدام الصورة أو الرسمة للتوضيح .			

الخطأ		التصحيح	
	وضع الخرسانة الكتلية بعملية صب بارتفاعات مختلفة .		يفترض ضبط مواصفات صب الخرسانة الكتلية بسمك 75 سم ثم يتم إضافة الأحجار .

الخطأ		التصحيح	
	إستخدام أي نوع من المياه في عملية الخلط والعمليات الانشائية الأخرى		ضرورة التأكيد على نوعية المياه المستخدمة وجودتها نظراً لتأثيرها الكبير على الخرسانة الكتلية .
نصائح :			
• المياه المستخدمة من العناصر التي لا يهتم المنفذون بها فيجب توعيتهم حول ذلك .			

الخطأ		التصحيح	
	عدم تحديد مواصفات الخرسانة المستخدمة		يجب أن تحدد مواصفات الخرسانة بمواصفات
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none">• مواصفات الخرسانة اصبحت من الأمور المتفق عليها فأرجع للمراجع المطلوبة .• كلما التزمنا بتنفيذ المواصفات الانشائية للأعمال والمواد كلما قللنا تكلفة الصيانة المستقبلية وأطلنا عمر المنشأة .			

الخطأ		التصحيح
	عدم وصف عملية التعبئة في الأكتاف	توصيف عملية التعبئة في الأكتاف وذلك بالخرسانة العادية فقط بدون أحجار . 
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none">• الخبرة العملية يجب أن تظهر في توصيف الاعمال فلا تبخل بخبرتك العملية وأكتبها صغيرة كانت أم كبيرة		

الخطأ		التصحيح	
	عدم تحديد الجعم في الخرسانة الكتلية		يجب ألا تزيد نسبة الجعم في الخرسانة الكتلية عن 30%
نصائح :			
• كلما كانت المواصفات الخاصة بتنفيذ الاعمال الانشائية واضحة وتفصيلية كلما كانت مفيدة للمنفذين والمشرفين			

الخطأ		التصحيح	
	عدم الإشارة في مواصفات تنفيذ الاعمال الانشائية عن الفراغات		من العوامل الهامة الإشارة الى ملئ الفراغات بالخرسانة .



الخطأ		التصحيح	
	عدم توضيح عمليات الدك المطلوبة		توصيف عمليات الدك في حالة التربة القابلة لذلك مع الرش للحصول على إنضغاطية عالية .



الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الاهتمام للهبوط المحتمل</p>	 <p>هام للغاية أن يوصف الهبوط بأن لا يزيد ذلك عن 5 سم وإلا فإنه سيحدث هبوط تفاضلي</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • معالجة مشاكل الهبوط أثناء التنفيذ أفضل وأقل كلفة منها بعد الانتهاء من العمل بل وأقل في مستوى الخطورة . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم مطابقة التصميم مع جدول الكميات .</p>	 <p>التأكيد على ضرورة مطابقة التصميم والرسوم الهندسية مع جدول الكميات وذلك يدل على صحة العمل</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • تعني عدم دقة العمل . • الحسابات الانشائية والتصاميم مصدرها مختلف . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الإشارة الى أحجام الاحجار المستخدمة في الخرسانة .</p>	 <p>يفترض أن توصف أقطار الاحجار المستخدمة في الخرسانة الكتلية بأن تكون من 15 - 30 سم</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • ليس فقط المطلوب توصيف حجم الاحجار ولكن أيضاً نوعياتها ودرجة إمتصاصها وغير ذلك . 	



الخطأ	التصحيح
 <p>لا يتم الإشارة الى مواصفات الانابيب .</p>	 <p>يشترط استخدام أنابيب حديد مجلفن متوسطة للضغط بحسب المواصفات البريطانية 67 - 1387 - B.5 .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • استخدام نوعيات رديئة من المواسير يمكن أن يكون مدخلاً للتسربات الخطيرة مستقبلاً 	


الخطأ	التصحيح
 <p>عدم توصيف إختبارات مكعبات الخرسانة</p>	 <p>يجب أن لا تقل مقاومة مكعبات الخرسانة عن 25 نيوتن / مم²</p>



الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الالتزام بمواصفات عملية الحفر السليم</p>	 <p>يفترض المحافظة على جوانب الحفر بحالتها السليمة وعدم تفجير الصخر .</p>

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم توصيف الخرسانة الكتلية لقلب الحاجز</p>	 <p>المواصفات لهذه الخرسانة يفترض أن توصف على أنها من الخرسانة العادية (1:2:4) الى الاحجار بنسبة خلط 80% خرسانة الى 20% أحجار ويكون مقاسها (الأحجار) 20×20×20 سم</p>

الخطأ	التصحيح
 <p>لا يتم الاهتمام بنوعية الرمل المستخدم في البناء</p>	 <p>يفترض توصيف الرمل بأن يكون خالي من الشوائب</p>



الخطأ	التصحيح
 <p>عدم وضوح الكميات لمادة السیکا</p>	 <p>يفضل إضافة مادة السیکا بنسبة 1 كيس إسمنت</p>

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الاهتمام بعملية الرش على البناء الكتلي</p>	 <p>يجب التأكيد على الرش المستمر للبناء الكتلي</p>

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الاهتمام بالتأكد على تصفية حضريات الاساسات قبل البناء عليه</p>	 <p>يجب توصيف عملية تهيئة أسطح الأساسات بحيث تُنظف بالمياه والكمبريشن الهواء قبل البدء بالمباني الكتلية .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • يفضل أن يستلم الاساسات بعد الحفر والتجهيز اختصاصيون لأنها خطوة رئيسية في البناء كله . 	



الخطأ	التصحيح
 <p>عدم توصيف عمل قنوات بغرض تداخل طبقات البناء</p>	 <p>يجب التأكيد على إحداث قنات كل طبقة كتلية وذلك لضمان تداخل الطبقات الكتلية ويجب أن يكون البناء متدرج .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • ننصح بإرفاق صور لأعمال نموذجية ورسوم توضيحية لأنها ستكون مفيدة للغاية . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>الكثير من المصممين لا يرفعون المواصفات الفنية ويكتفون بإرفاق المواصفات العامة .</p>	 <p>يجب أن ترفق بالمشروع والتصاميم بشكلها النهائي كامل المواصفات العامة والخاصة لضمان تنفيذ وإشراف جيد .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • يجب مراجعة المواصفات العامة والخاصة لأننا سنحتاج لتعديل بعضها لبعض المشروعات . 	

الخطأ	التصحيح
 <p>عدم الأخذ بالاعتبار توفر المواد المستخدمة في انشاء السد</p>	 <p>أهمية أخذ توفر المواد الإنشائية في نطاق الموقع مرتبط بتخفيض الكلفة وايضاً اختيار نوع التصميم .</p>
<p>نصائح :</p> <ul style="list-style-type: none"> • خيارات المصمم قد تكون كثيرة للتصميم إلا أن أذكاه المعتمد على استخدام كافة المواد الإنشائية الممكنة من النطاق الجغرافي للمشروع • في المناطق النائية يمكن أن يكون توفر المواد الأولية في المنطقة عامل محدد • الاختبارات المعملية مهمة . 	

لا تنسى

- 1- الأخذ بنتائج دراسات الجدوى والدراسات الميدانية بكل دقة .
- 2- تتعرف على تجارب الآخرين .
- 3- الاستعانة بفريق متكامل من الاختصاصين .
- 4- دور المراجعة يجب أن يكون محايداً ومن جهة غير جهة التصاميم .
- 5- إعداد المجموعة الكاملة من الرسوم والمخططات .
- 6- وضع البيانات والتوضيحات التفصيلية على كل الرسوم والمخططات .
- 7- الاهتمام بجانب الإخراج الفني للتصاميم والرسوم بحسب المواصفات العلمية والفنية المتعارف عليها .
- 8- إختيار أوراق الكلك الجيدة (هناك نوعيات طرية لا تتعرض للجفاف)
- 9- أقلام التحبير لها دور أساسي في الإخراج الفني الجيد .
- 10- الاهتمام بدراسة الخيارات الفنية المختلفة ودافع عن الخيار الأفضل فنياً واقتصادياً ولا تنسى الجانب الاقتصادي .
- 11- إختيار الموقع يعتمد على أولويات فخذها بحسب ترتيب أهميتها .
- 12- إذا أردنا الاستعانة بالحاسب الآلي في التصاميم فيجب علينا الإلمام بشكل كامل باستخدام برامجه ، ما لم فلا داعي لذلك .
- 13- أهتم بعرض مشروعك بشكل متوازن في أقسامه المختلفة وبحسب متطلبات الجهة المعروض عليها .
- 14- يجب الربط والتكامل بين بيانات الدراسة الأولية ودراسات الجدوى وبين جدول الكميات والمخططات والرسوم الهندسية .
- 15- إرفاق مسودات الحسابات الرئيسية للاستعانة بها في المراجعة .
- 16- إن هناك شركاء آخرين معك في العمل .
- 17- وثق عملك كلما أمكن .
- 18- إحتفظ لك بأرشفة مصغر يخص مشروعك بوثائق مختومة إن أمكن وموقعة .
- 19- دون كل ملاحظاتك الفنية أولاً بأول وتعود على تسجيل أية ملاحظات أو خبرات سواء في الزيارات أو اللقاءات المختلفة .
- 20- الاحتفاظ بنسخ مطبوعة أو في الكمبيوتر من التقارير والدراسات والمخططات .
- 21- أن تعطي النصيحة كلما كان ذلك ممكن وذلك في إطار التوعية العامة .



الفصل العاشر

السدود الإملائية



السدود الإملائية

مقدمة

يقصد بالسدود الإملائية هي تلك السدود التي تبنى من مواد ترابية، صخرية أو كلاهما ويتم تنفيذها بشكل طبقات مدكوكة متراكمة فوق بعضها البعض ولذلك يمكن أيضا إطلاق إسم السدود الركامية عليها. تنقسم السدود الإملائية الى قسمين رئيسيين:

1. السدود الإملائية الترابية أو باختصار السدود الترابية.

2. السدود الإملائية الصخرية أو السدود الصخرية.

وسنتكلم هنا بكثير من التفصيل عن السدود الترابية.

السدود الترابية

السد الترابي هو سد مواد إنشائه الأساسية مواد التربة المختلفة المتوفرة في الموقع أو قريبا منه مثل الرمل، الرمل المخلوط بالحصى المكونة لقاع الوادي، الطين والطيني، الى جانب الماده الصخرية لمتطلبات حماية المادة الترابية من الانجراف بفعل الأمطار وعوامل التعرية الأخرى أو بفعل الأمواج التي تكونها الرياح في بحيرة السد.

بفضل توفر الآلات الحديثة للنقل والحفر والدك، أصبح تنفيذ وبناء هذا النوع من السدود أكثر سهولة من السابق. على كل حال تحتاج هذه السدود الى دقة في التصميم وحرص كبير أثناء التنفيذ وخاصة في تصميم و تنفيذ طبقات المرشح أمام وخلف النواة حيث أن أي تقصير في اختيار المواد المناسبة للمرشح أو سوء تنفيذها يؤدي الى إنجراف حبيبات التربة الناعمة المكونة للنواة مما يؤدي الى إنهيار كامل للسد.

إن تصاميم السدود الترابية يجب أن تعكس الحالة الراهنة للأساسات ونوعية المواد الترابية المتوفرة في الموقع. فلا يجب أخذ تصميم سد لموقع ما وإستخدامه في موقع آخر له أساس مختلف ومواد ترابية مختلفة. إذ أنه لكل شروط موقع من أساس ومواد، سد خاص ملائم ولا يوجد ما يمكن أن يسمى بتصميم مثالي لمختلف المواقع.

إعتبارات التصميم

إن أول إعتبار في تصميم المنشآت الهندسية ومنها السد الترابي هو التوصل الى تنفيذ منشأة آمنة بأقل التكاليف وفي نفس الوقت تحقق الأهداف المطلوبة من إنشائها وأن تكون كذلك ذات تكاليف تشغيل وصيانة منخفضة. لتنفيذ المنشأة بأقل تكلفة، يجب تبني تصميم السد الذي يستخدم بشكل كبير المواد المتوفرة في الموقع وتلك التي يمكن أن تنتج من أعمال الحفريات التي تتطلبها الأساسات والمنشآت المساعدة كالمفيض.

ولتأمين شرط الأمان، يجب تصميم إنحدارات جانبية ثابتة ومتوازنة لردمية السد كما يجب أيضا أن تكون جوانب إرتكاز السد وقاعدته وجوانب بحيرة التخزين ثابتة ومتوازنة وأن لا تظهر بها أي تشوهات غير مقبولة تحت تأثير الحمولات التي سوف تتعرض لها أثناء تنفيذ السد أو بعد إمتلاء البحيرة أو التفريغ السريع للبحيرة أو حتى تحت تأثير الهزات الأرضية. يجب أن تكون السدود الترابية ذات كتامة عالية لمنع فقدان كميات عالية من المياه وذلك بتزويدها بنواة من مادة كثيفة كما يجب منع خسارة كميات كبيرة من المياه من خلال قاعدة السد بتزويدها بخندق مانع للتسرب منفذ من مادة كثيفة تصل الى الطبقات الصخرية أو الكثيفة. يجب أيضا تصميم مصارف مناسبة للمياه المتسربة من خلال السد والقاعدة لمنع خطر

ضغوط الرفع (Uplift pressure) التي تؤدي الى الإخلال بتوازن السد.

يجب التأكد من عدم إنجراف المواد الناعمة من مادة النواة وذلك بتصميم مرشح جيد أمامها وخلفها كما يجب منع حدوث ما يسمى بظاهرة الثعلبة (Piping) في قاعدة السد (غير الصخرية). يجب أيضا ضمان أن الهبوطات التي تحدث بعد إنشاء السد لن تؤدي إلى إنقاص الارتفاع الحر للسد إلى درجة خطيره كما يجب أن يعطى السد إرتفاعا إضافيا مساويا لمقدار الهبوطات المستقبلية التي ستحدث في ردمية وقاعدة السد. يجب حماية الانحدار الأمامي للسد المواجه للبحيرة من التأثير المدمر للأمواج بطبقة من الأحجار الصلبة والقاسية كما يجب حماية الانحدار الخلفي من الإنجراف بفعل الأمطار بواسطة غطاء صخري أو نباتي.

الدراسات الجيولوجية والجيوتكنيكية

يجب توفير وصف جيولوجي للموقع والمناطق المحيطة بمنشأة السد من أجل تصميم السد ، يناقش التعاقبات الجيولوجية ولكن يجب ان يركز على السمات الفيزيائية للتركيب (الجيولوجي) للدفع بوجهات النظر الهندسية الى الامام . ففي موضوع السدود فإن جيولوجية الوادي ، المقطع العرضي ، المقطع الطولي والخريطه ستكون مطلوبة بنفس المقياس المستخدم في الرسوم التكنيكية . كل نشاطات المسح مثل الحفر والمقاطع والحفر التجريبيه الخ ، يجب ان تكون متضمنه في هذه الوثائق ، وفي حالة المنشآت الصغيره مثل الخزانات والحواجز التحويليه الخ فإنه يلزم فقط توفير مواد مساند جيوتكنيكية بمقياس مناسب بحسب أهميه المنشأ و بوجه عام يمكن مناقشة الوصف الجيولوجي المفترض للتركيب (الجيولوجي) ، عمره ، الفتره الزمنية ، السلاسل الجيولوجيه. من وجهه النظر الجيوتكنيكية يمكن التركيز على ثلاث مجموعات من التراكيب الجيولوجية الأساسية في المناطق المرتفعه حيث تقع السدود والمنشآت الأخرى الحاجزه للمياه وهي كالآتي :

- التركيب الصخري
- رسوبيات الوادي الخشنه
- تراكيب المدرجات

• التركيب الصخري

وذلك من أجل الاستقرار وموضوعات التخللات المائيه . وهذه التحريات يمكن أن تنفذ بالشكل المبسط بالفحص البصري وفي حالات أخرى بالحفر (بالأوجر) أو بالحفر الاختباريه أو بعمل أخاديد أو باستخدام الطرق الجيوفيزيائيه . كما يجب ان تتسع الاختبارات لتشمل مناطق المواد الأولية (المقالع) والتي ستستخدم أثناء التنفيذ. التجمعات الصخريه يمكن ان تصبح ذات اهميه للتصميم ، سواءاً من حيث ان كونها مناطق مقالع للمواد الانشائيه أو موضوع من موضوعات تحليل استقرار الانحدار. العوامل الأساسية التي يجب اخذها في الاعتبار في الصخور ، هي قوه تحملها للضغط وعدم النفاذيه (الكثامة) في الموقع ومدى متانه الصخور المتعلقة. يمكن تقدير قوه الضغط لعدد من أنواع الصخور ضمن الحدود المذكورة في جدول 10.1 ، (FAO-1988).

جدول 10-1 قوه الضغط المقترحة للصخور المختلفه (FAO-1988).

نوع الصخر	(Mp/m^2) قوه الضغط
basalt	400 - 1000
hard tuffs , ignimbrites	150 - 500
hard trachite	200 - 1000
metamorphosed shist and gneiss	300 - 1200
metamorphic granite	100 - 600
hard limestone	600 - 1200
hard sandstone	200 - 400

• رسوبيات الوادي الخشنه

تتواجد في الطبقات الرسوبية المؤلفة للوديان في اليمن ترسبات مؤلفه من كافة الاحجام تبدأ من حبيبات الطين الى الجلاميد ، وذلك بسبب الاختلاف الواسع (مع الزمن) لمحتوى طاقة التدفقات التي تحدد حجم الترسبات المنقولة في الوقت الحاضر واختلافها الأكبر في الحقب الجيولوجية المختلفة. ويتواجد أكبر شكل من من الصخور والكتل في المرتفعات المركزية والتي يصل حجمها الى 2 متر (توسان بن ضاحي) والتي طُمرت تحت طبقه رملية طميه . وهذا التكوين يمكن أن يكون قاعدة لاي نوع من المنشآت الساندة حتى السدود أو أن تكون من ضمن المواد الانشائية لهذه المنشآت ، بعد إخراج الجزيئات الأكبر من هذه المكونات. هذه الرسوبيات يمكن أن توصف مبدئياً بواسطة عوامل التربه الميكانيكية التالية:

$6 = 3-6 \text{ MP/m}^2$ (شد الضغط العمودي) ، $K = 1-10 \text{ m/day}$ (المسامية الافقيه) ، وكذلك التوزيع (التدرج) الحبيبي للحيبيات، انظر المنحنيات رقم 1-6 في الشكل 10.1 (FAO-1988) .

• تكوين المدرجات

تعتبر المدرجات في اليمن من الأعمال النموذجيه للنشاط البشري لتكوين الاراضي الزراعية ، والتي نُفذت خلال قرون عديده من الزمن، حيث يقوم المزارعون بفصل الحبيبات الدقيقة من رسوبيات الوديان (السلت، الطين والرمل) التي تنقل خلال الجريان السطحي، ثم يقومون بوضعها داخل جدران حجرية ساندة على ضفاف الوديان أو على المنحدرات الجبلية فتكون المدرجات. أهميه مركبات المواد الترابية المكونة للمدرجات وخاصة لبناء السدود تحددت من خلال الحقيقة القائلة بأن هذه المواد يمكن ان تستخدم في بناء السدود الترابية المتجانسة أو لبناء النواهي الكتيمة (غير المنفذه) في السدود الترابية ذات النطاقات والسدود الصخرية. هناك عدد من الإختبارات الحقلية التي أجريت على عينات أخذت من مناطق إعاره (Borrow areas) مكونة من هذه المواد وذلك لتحديد معامل النفاذية (k) والتي أثبتت أن لهذه المواد نفاذية منخفضة جداً تجعلها صالحة للإستخدام في بناء السدود الإملائية (الترابية والصخرية). الشكل 10-2 يعطي بعض منحنيات التوزيع الحبيبي والتي تم تحليلها خلال إنشاء بعض السدود الصغيره في المرتفعات المركزيه . بالإضافة الى توفر بعض البيانات الجيوتكنيكية في الجدول 10-2 لعينات من الطمي الرملي المكوّن للمدرجات في مواقع تلك السدود. إذا أستخدمت نفس هذه المواد في إنشاء السدود فإنه يجب إجراء نفس الاختبارات المدونه في الجدول 10-2 (FAO-1988) عليها.

مركبات التربة

أ. قطر الحبيبات الصلبة المصنفة كجزء من حبيبات التربة

وفقا للنظام الموحد لتصنيف التربة USCS فإن الحبيبات الصلبة ذات القطر المساوي أو الأقل من 3 بوصه (7.62 سم) تعتبر من مكونات التربة. وفقاً لهذا النظام فإن الحبيبات الصلبة تنقسم الى قسمين خشنه وناعمة. الحبيبات الخشنه هي التي تكون أقطارها أكبر من 0.075 مم (منخل رقم 200) .

أقطار الحبيبات الخشنه

أقطار الحبيبات الخشنه تنقسم الى قسمين:

- البحص (G) وتتراوح اقطاره بين (3) بوصه و (3/16) من بوصه (0.476 سم - 7.62 سم) وينقسم الى قسمين: البحص الخشن (من 4/3 - 3 بوصه) و البحص الناعم (من أقل من 4/3 بوصه - 16/3 بوصه).
- الرمل (S) وتتراوح اقطاره بين (0.075 مم - 0.476 سم) (من المنخل رقم 4 الى رقم 200) وهو يقسم الى التقسيمات التالية:

- رمل خشن (من المنخل رقم 4 الى رقم 10)
- رمل وسط (من المنخل رقم 10 الى رقم 40)
- رمل ناعم (من المنخل رقم 40 الى رقم 200)