الجدران الاستنادية

✦ مقدمة:

الجدران الاستنادية هي منشآت تستخدم لحجز التربة أو أية مواد أخرى ، عندما لا تسمح الظروف للمواد بأن تأخذ ميلها الطبيعي .

تستخدم الجدران الاستنادية أيضاً كعناصر إنشائية حاملة ، تنقل الحمولات المؤثرة عليها إلى التربة ، مثل « الركائز الجانبية للجسور ، جدران الأقبية التي تنقل حمولة البلاطات المستندة عليها إلى التربة » .

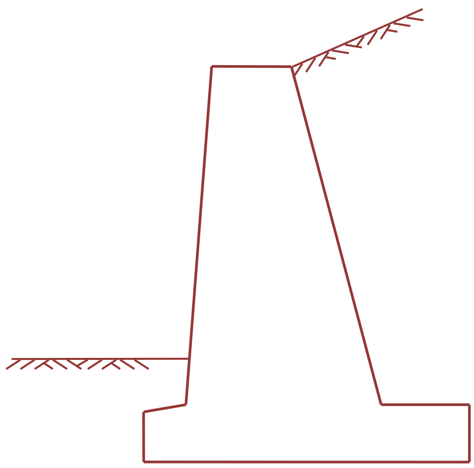
تصنف الجدران الاستنادية بالاعتماد على طريقة تأمين الاستقرار ، ومن أصنافها:

1- الجدران الاستنادية الكتلية:

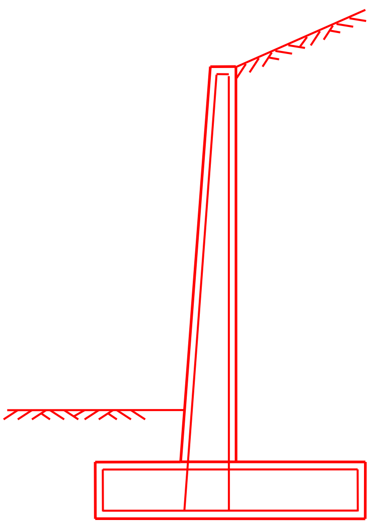
يعتمد هذا النوع من الجدران على كتلته لتأمين التوازن .

2- الجدران الاستنادية الظفرية:

هي جدران من البيتون المسلح ، تعتمد على العمل الظفري لجسم الجدار من أجل حجز التربة .



الشكل (1- أ) الجدران الاستنادية الكتلية



الشكل (1-ب) الجدران الاستنادية الظفرية

و هناك أنواع أخرى ...

✦ تعاريف

سنورد فيما يلي بعض التعاريف الخاصة بالجدران الاستنادية:

1- بلاطة القاعدة أو القاعدة أو الأساس: وهي القاعدة التي يرتكز عليها الجدار الاستنادي .

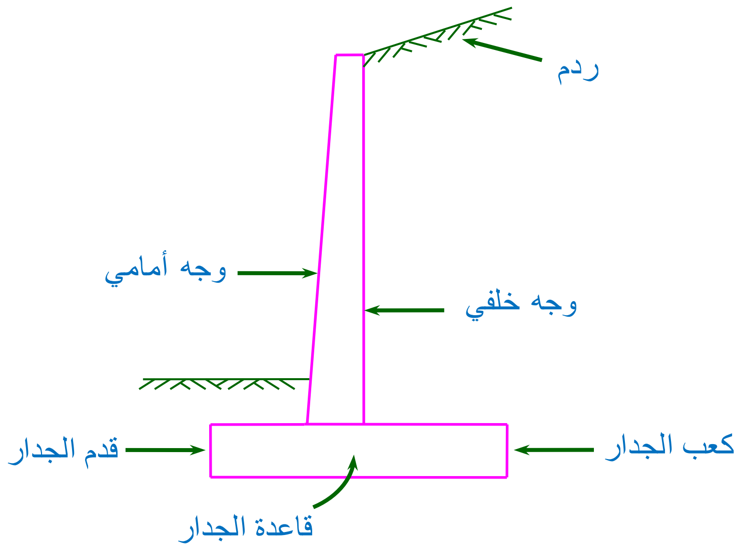
2- البلاطة الشاقولية: هي الجزء الشاقولي من الجدار ، المعرَّض لدفع التربة .

3- وجه الجدار: قد يكون الوجه الظاهر أو الوجه المردوم حسبما يُشار إلى ذلك .

4- قدم الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه الظاهر .

5- كعب الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه المردوم .

6- السن: هو بروز في قاعدة الجدار ، يستخدم لتحقيق شرط الانزلاق عندما يكون سطح القاعدة غير كافٍ لمقاومة الانزلاق .



الشكل (2)

✷ مراحل تصميم الجدران الاستنادية

1- فرض الأبعاد المناسبة للجدار .

2- دراسة الجدار كجسم طليق من أجل تحديد القوى المؤثرة عليه .

3- دراسة توازن الجدار: أ- تحقيق شرط الانزلاق .

ب- تحقيق شرط الانقلاب .

4- تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة .

5- التصميم الإنشائي للجدران الاستنادية .

✷ مراحل تصميم الجدران الاستنادية

1- فرض الأبعاد المناسبة للجدار

هنالك أبعاد تقريبية لكل نوع من أنواع الجداران الاستنادية ، سنوردها عند دراسة كل نوع .

2- حساب القوى المؤثرة على الجدار:

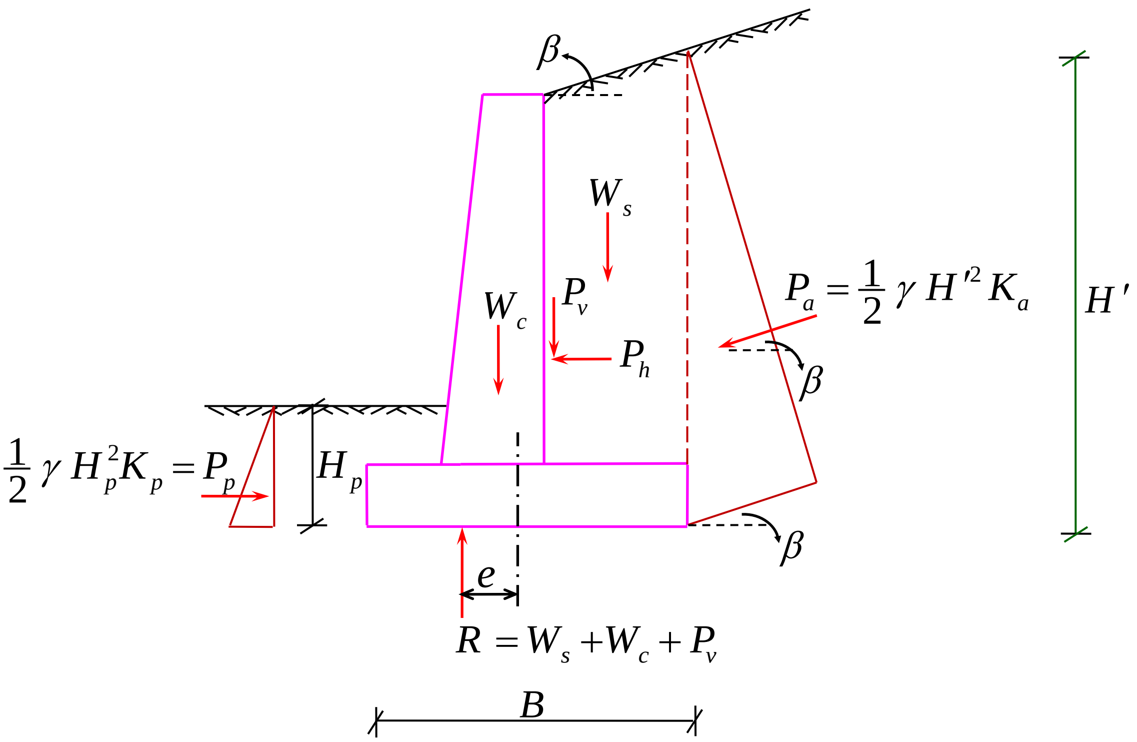
يوضح الشكل (3) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي عند دراسته كجسم طليق ، وهي كما يلي:

أ- ضغط التربة الفعال على الجدار P_a .

ب- وزن الجدار W_c .

ج- وزن التربة فوق بلاطة الكعب W_s .

د- ضغط التربة السلبي المؤثر على مقدمة الجدار ، عند وجود ردم فوق بلاطة القدم .



الشكل (3) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي

3- دراسة توازن الجدار:

يتضمن: أ- تحقيق شرط الانزلاق .

ب- تحقيق شرط الانقلاب .

◉ أ- تحقيق شرط الانزلاق:

يجب تأمين عامل أمان مناسب ضد الانزلاق وذلك من أجل تأمين استقرار الجدار ضد الانزلاق .

عند حساب الانزلاق نهمل غالباً الردم الموجود فوق بلاطة القدم ، وذلك لاحتمال إزالة الردم بعد إنشاء الجدار .

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى جداء مجموع كافة القوى الشاقولية بمعامل الاحتكاك بين التربة و الجدار .

يعطى معامل الاحتكاك بين التربة و الجدار بالعلاقة:

$$f = \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة التأسيس .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{مجموع القوى الزالقة}} = \frac{f\ \sum V}{\sum H} \geq 1.5$$

حيث:

$\sum V$ مجموع القوى الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum H$ مجموع القوى الأفقية المؤثرة على الجدار .

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانزلاق أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، إلا أنه يفضل أخذ قيمة مساوية إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتمال وجود مياه والتي تقوم بتخفيض زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

◉ ب- تحقيق شرط الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية بلاطة القدم .

يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانقلاب أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

4- تحقيق الإجهادات في مستوي القاعدة:

تعطى الإجهادات المطبقة على التربة بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{\substack{max\\min}} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \leq \sigma_{all}$$

حيث:

A مساحة قاعدة الجدار لشريحة عرضها $1\,m$ من الجدار:

$$A = (B \times 100)\, cm^2$$

$\sum V$ مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum M$ المجموع الجبري لعزوم جميع القوى المؤثرة على الجدار حول المحور المار من منتصف القاعدة $(B/2)$.

W العزم المقاوم لشريحة عرضها $1\,m$ من الجدار:

$$W = \frac{100 \times B^2}{6}$$

B عرض قاعدة الجدار .

باعتبار أن توزع الإجهادات خطي أسفل الجدار ، يمكننا أن نكتب قانون الإجهادات بعد وضع $\sum M = e \cdot \sum V$ كما يلي:

$$\sigma_{\substack{max\\min}} = \frac{\sum V}{B \times 100}\left(1 \pm \frac{6\,e}{B}\right) \leq \sigma_{all}$$

حيث e لامركزية محصلة القوى $\sum V$ بالنسبة للمحور المار من منتصف القاعدة .

لحساب اللامركزية e نأخذ عزوم جميع القوى حول نهاية بلاطة القدم O فيكون:

$$\overline{X} = \frac{\text{المجموع الجبري لعزوم جميع القوى حول } O}{\sum V}$$

حيث $\overline{X}$ بعد محصلة القوى $\sum V$ عن النقطة O .

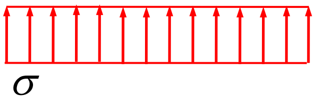
ومنه نجد:

$$e = \frac{B}{2} - \overline{X}$$

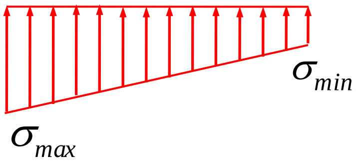
◈ الحالات المختلفة للإجهادات المطبقة على التربة:

هناك أربع حالات للإجهادات المطبقة على التربة ، موضحة على الأشكال التالية:

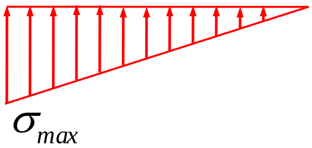
- تنتج الحالة الأولى عندما $e = 0$



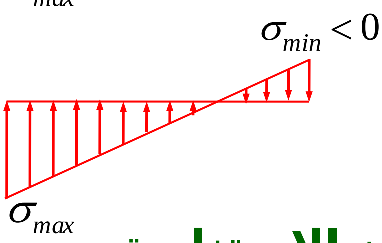
- تنتج الحالة الثانية عندما $e < \dfrac{B}{6}$



- تنتج الحالة الثالثة عندما $e = \dfrac{B}{6}$



- تنتج الحالة الرابعة عندما $e > \dfrac{B}{6}$

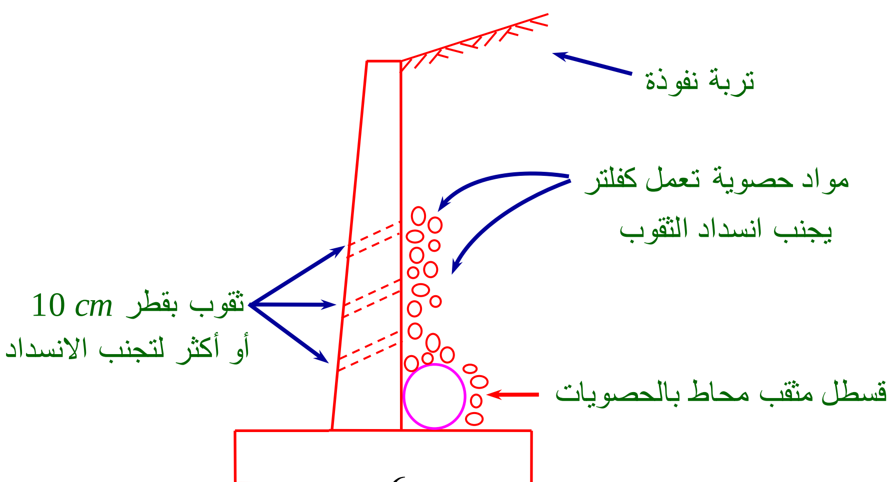


✷ تصريف المياه خلف الجدران الاستنادية

عند وجود مياه خلف الجدران الاستنادية يتم اتخاذ الإجراءات الكفيلة بتصريفها ، بدلاً من تصميم الجدار باعتبار وجود مياه خلف الجدار .

إن تصريف المياه يتم عبر الثقوب الموجودة في الجدار ، أو عن طريق وجود قسطل مثقب أسفل الوجه الخلفي للجدار ، أو كليهما معاً .

يتم ردم مواد نفوذة خلف الجدار تحقق تدرجاً مناسباً ، حتى لا يتم انسداد الثقوب ، كما يجب إحاطة الثقوب أو القسطل بمواد حصوية .



الشكل (4) تصريف المياه خلف الجدران الاستنادية

✷ التربة المردومة خلف الجدران

يجب أن تكون التربة المردومة خلف الجدران من الترب ذات التدرج الجيد وذات تماسك ضعيف من أجل تصريف المياه خلف الجدران .

كما يجب رص التربة المردومة بشكل نظامي تلافياً لحصول هبوط في التربة خلف الجدار ، وخاصة إذا كان هناك طريق بالقرب من الجدار .

يتم الرص عن طريق فرش طبقات بسماكة لا تزيد عن $30\ cm$ ثم رصها برجاجات ميكانيكية .

في حال استخدام مداحل كبيرة ، يجب التحقق من الجدار على المتانة والانقلاب ، حيث تعتبر المدحلة كحمولة إضافية .

✷1- الجدران الاستنادية الكتلية ✷

✦ مقدمة

يعتبر هذا النوع من الجدران أحد الأشكال الشائعة ، وهو اقتصادي للارتفاعات المنخفضة .

يعتمد هذا النوع على كتلته من أجل تأمين التوازن .

وينشأ من أحد المواد التالية:

1- حجر مع مونة .

2- بيتون مغموس .

3- بيتون عادي .

➢ **مواصفات الجدار الاستنادى المنشأ من الحجر مع المونة:**

أ- لا يقل الضغط المحصور للحجر عن $150-200\ Kg/cm^2$

ب- عيار المونة الإسمنتية $250-350\ Kg/m^2$

جـ- يتحمل الجدار على الضغط بحدود $10-20\ Kg/cm^2$ ، وعلى الشد صفر .

➢ **مواصفات الجدار الاستنادى المنشأ من البيتون المغموس:**

أ- يتكون الجدار من $2/3$ بيتون عادي ، و $1/3$ أحجار مكسرة لا يزيد أكبر بعد فيها عن $20\,cm$.

ب- عيار الإسمنت $250-350\ Kg/m^2$

جـ- يتحمل الجدار على الضغط بحدود $20-30\ Kg/cm^2$ ، ويفضل عدم تعرضه لإجهادات شادة .

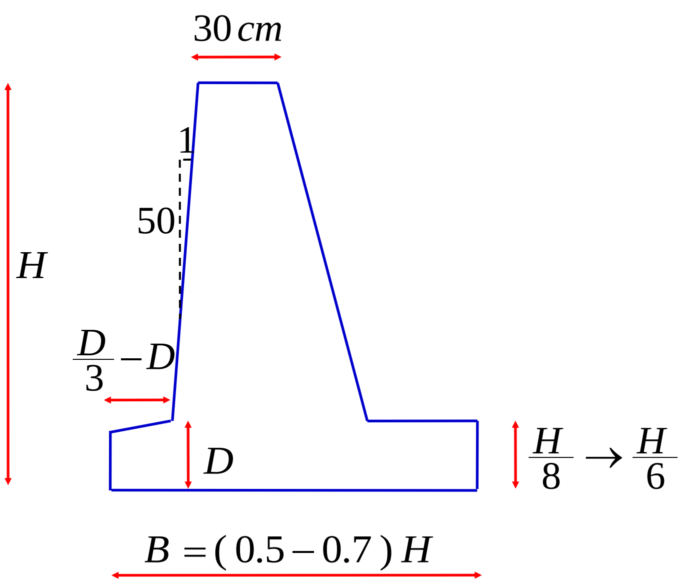
✷ تحديد الأبعاد الأولية للجدران الكتلية

يمكن فرض الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الكتلية كما هو موضح على الشكل (6) .

يتم اختيار عرض القاعدة B بحيث تقع محصلة القوى الشاقولية المؤثرة على قاعدة الجدار ضمن النواة المركزية لشكل قاعدة الجدار .

عندما $e \le L/6$ تكون القاعدة معرضة إلى إجهادات ضاغطة في جميع نقاطها .

بما أن مقاطع الجدار كبيرة لذا تكون الإجهادات المتولدة فيها صغيرة ، وبناء على ذلك يمكن استخدام بيتون ذي مقاومة منخفضة $f_c'=140\ Kg/cm^2$.



الشكل (5) الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الكتلية

⁂ مراحل تصميم الجدران الاستنادية الكتلية

1- فرض أبعاد أولية للجدار .

2- تحديد القوى المؤثرة على الجدار .

3- تحقيق الجدار على الانقلاب والانزلاق .

4- تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة بحيث تتحقق المتراجحة التالية:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{all}$$

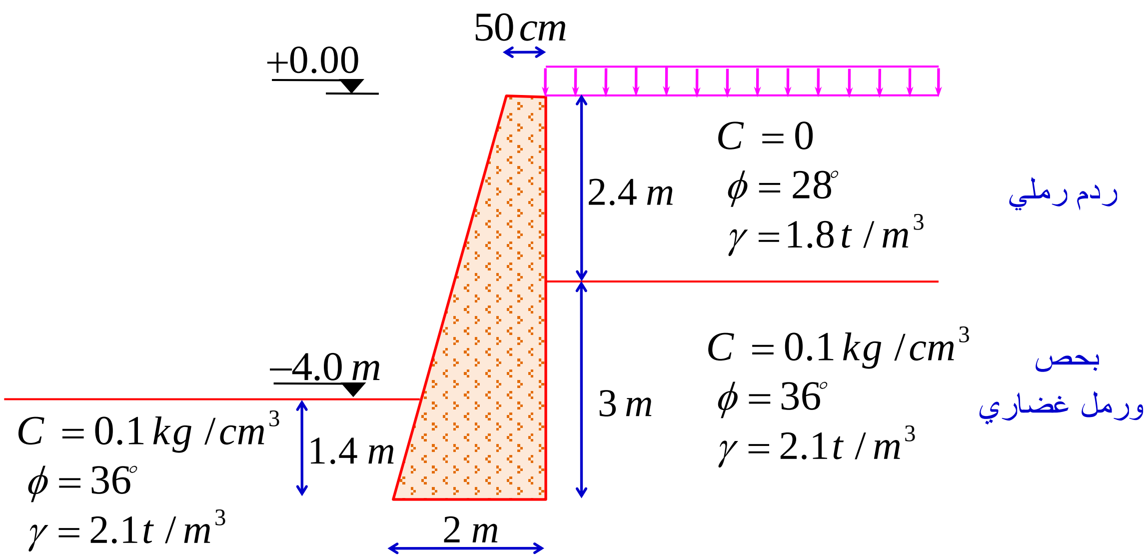
⊙ أمثلة توضيحية على حساب الجدران الاستنادية الكتلية

✦ مثال (1) :

لدينا جدار استنادي ثقلي منشأ من البيتون العادي ، يسند تربة مقطعها مبين على الشكل ، كما توجد حمولة إضافية على سطح التربة شدتها $q = 0.8\,t/m^2$. المطلوب:

1- ادرس الجدار الاستنادي على الانقلاب .

2- احسب القوى المؤثرة على الجدار بفرض أن سطح الجدار الخلفي شاقولي وأملس من أجل الأمان .



الشكل (6)

✦ الحل:

نحسب معامل دفع التربة الفعال:

$$K_a = tg^2(45 - \phi/2)$$

- للطبقة الأولى:

$$K_{a1} = tg^2(45 - 28/2) = 0.36 \Rightarrow \sqrt{K_{a1}} = 0.6$$

- للطبقة الثانية:

$$K_{a2} = tg^2(45 - 36/2) = 0.26 \Rightarrow \sqrt{K_{a2}} = 0.51$$

نحسب معامل دفع التربة السلبي للتربة المردومة أمام الجدار:

$$K_{p2} = tg^2(45 + \phi/2)$$

$$K_{p2} = tg^2(45 + 36/2) = 3.85 \Rightarrow \sqrt{K_{a2}} = 1.96$$

● **حساب ضغط التربة عند مختلف المناسيب:**

$$P_a = (q + \gamma \cdot h) K_a - 2C\sqrt{K_a}$$

♦ عند المنسوب (0.00) :

$$P_1 = q \cdot K_{a1} = 0.8 \times 0.36 = 0.29\, t/m^2$$

♦ عند المنسوب (-2.40) :

- الطبقة الأولى:

$$P_2 = (q + \gamma_1 \cdot h_1) K_{a2}$$

$$P_2 = (0.8 + 1.8 \times 2.4) \times 0.36 = 1.84\, t/m^2$$

- الطبقة الثانية:

$$P_2' = (q + \gamma_1 \cdot h_1) K_{a2} - 2C\sqrt{K_{a2}}$$

$$P_2' = (0.8 + 1.8 \times 2.4) \times 0.26 - 2 \times 1 \times 0.51 = 0.31\, t/m^2$$

♦ عند المنسوب (-5.40) :

$$P_3 = (q + \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2) K_{a2} - 2C\sqrt{K_{a2}}$$

$$P_3 = (0.8 + 1.8 \times 2.4 + 2.1 \times 3) \times 0.26 - 2 \times 1 \times 0.51 = 1.95\, t/m^2$$

● **حساب الدفع العكسي:**

♦ عند المنسوب (-4.00) :

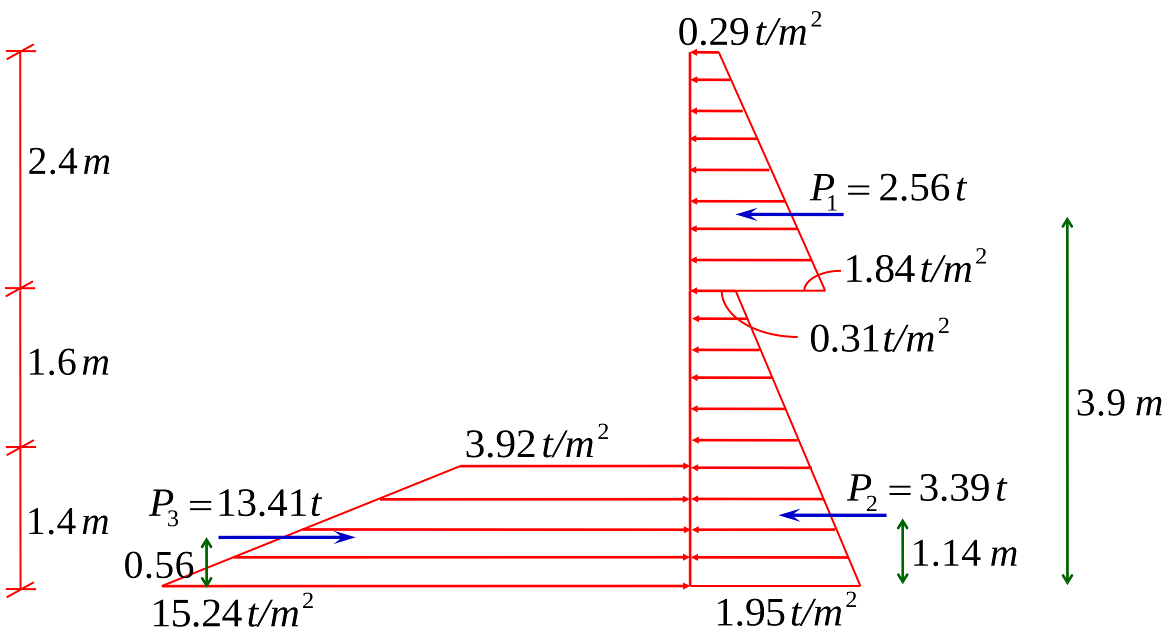
$$P_{p1} = 2C\sqrt{K_{p2}} = 2 \times 1 \times 1.96 = 3.92\, t/m^2$$

♦ عند المنسوب (-5.40) :

$$P_{p2} = (\gamma \cdot h) K_{p2} + 2C\sqrt{K_{p2}}$$

$$P_{p2} = (2.1 \times 1.4) \times 3.85 + 2 \times 1 \times 1.96 = 15.24\, t/m^2$$

والآن نرسم مخطط دفع التربة على الجدار ، ونوجد محصلة كل جزء من المخطط وموقع كل محصلة.



حيث:

$$P_1 = \frac{0.29 + 1.84}{2} \times 2.4 = 2.56\, t$$

$$P_2 = \frac{0.31 + 1.95}{2} \times 3.0 = 3.39\,t$$

$$P_3 = \frac{3.92 + 15.24}{2} \times 1.4 = 13.41\,t$$

أما لإيجاد موقع القوى فيكون بالتوازن أو بعلاقة مركز شبه المنحرف ، حيث نجد القيم المبينـة على المخطط .

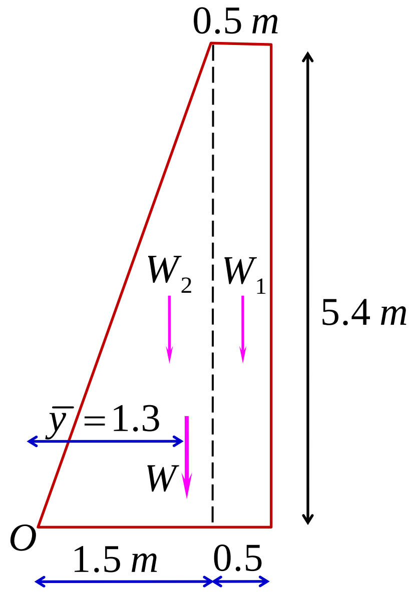
- **حساب الوزن الذاتي للجدار:**

نقسمه إلى جزأين:

$$W_1 = 0.5 \times 5.4 \times 2.4 = 6.48\,t$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 1.5 \times 5.4 \times 2.4 = 9.72\,t$$

$$\Rightarrow W = 16.2\,t/m$$



الشكل (13)

نوجد موقع محصلة الوزن الذاتي:

$$W \cdot \bar{y} = W_1 \cdot \bar{y}_1 + W_2 \cdot \bar{y}_2$$

$$\Rightarrow 16.2 \times \bar{y} = 6.48 \times 1.75 + 9.72 \times 1$$

$$\Rightarrow \bar{y} = 1.3\,m$$

◈ **دراسة الانقلاب:**

نحسب عامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم القوى المثبتة حول O}}{\text{مجموع العزوم القوى القالبة حول O}} \geq 1.5$$

$$SF = \frac{13.41 \times 0.56 + 16.2 \times 1.3}{2.56 \times 3.9 + 3.39 \times 1.14} = \frac{28.57}{13.85} = 2.06$$

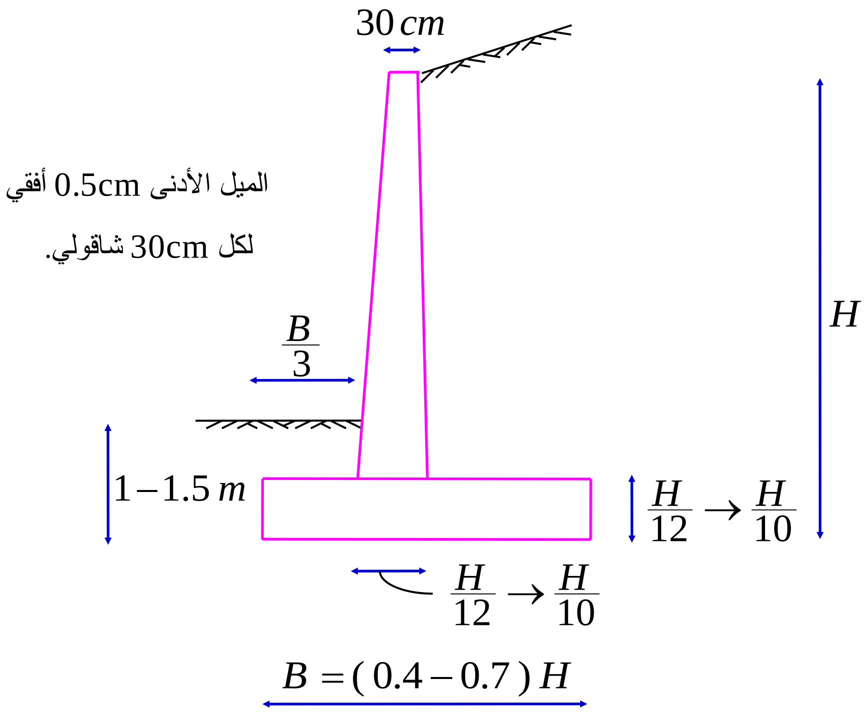
$$\Rightarrow SF = 2.06 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

فالجدار أمين ضد الانقلاب .

2- الجدران الاستنادية الظفرية

تحديد الأبعاد الأولية للجدران الظفرية

يوضح الشكل (16) الأبعاد الأولية المقترحة للجدران الاستنادية الظفرية.



الشكل (7) الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الظفرية

◈ توازن الجدران الاستنادية الظفرية

◉ أ- التوازن ضد الانزلاق:

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى $f \cdot R$:

حيث: R مجموع كافة القوى الشاقولية

f معامل الاحتكاك بين القاعدة والتربة ، ويؤخذ من العلاقة:

$$f = \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{القوى الزالقة}} \geq 1.5$$

ويؤخذ مساوياً إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتمال وجود الماء الذي يخفض زاوية الاحتكاك والتلاصق.

◉ ب- التوازن ضد الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية قدم الجدار .

يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

✦ مثال:

المطلوب تصميم جدار استنادي ظفري وفقاً للمعطيات التالية:

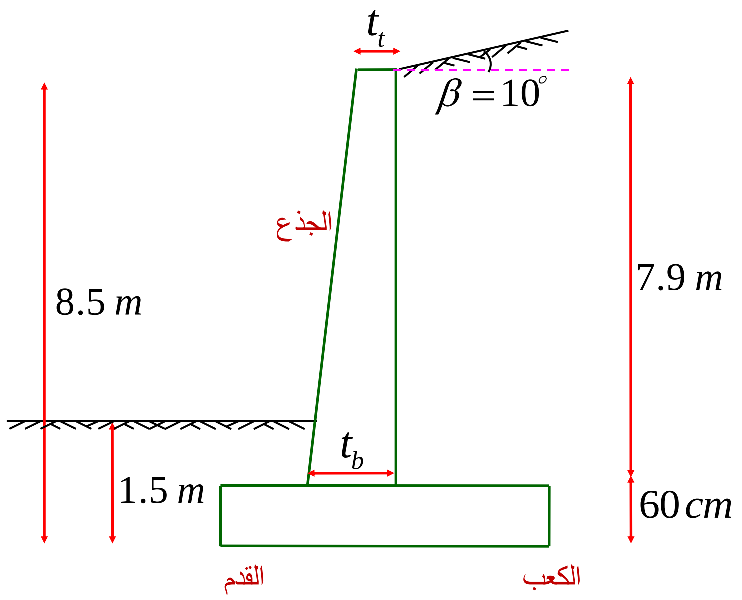
الوزن الحجمي للبيتون: $\gamma_c = 2.4\,t/m^3$

ارتفاع الجدار: $H = 8.5\,m$

مواصفات التربة المردومة: $\phi = 34\ ,\ \gamma = 1.84\,t/m^3$

مواصفات تربة القاعدة: $\phi = 34\ ,\ \gamma = 1.76\,t/m^3$

قدرة تحمل التربة المسموحة: 5 كغ/سم2



الشكل (8)

✦ الحل:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0.289$$

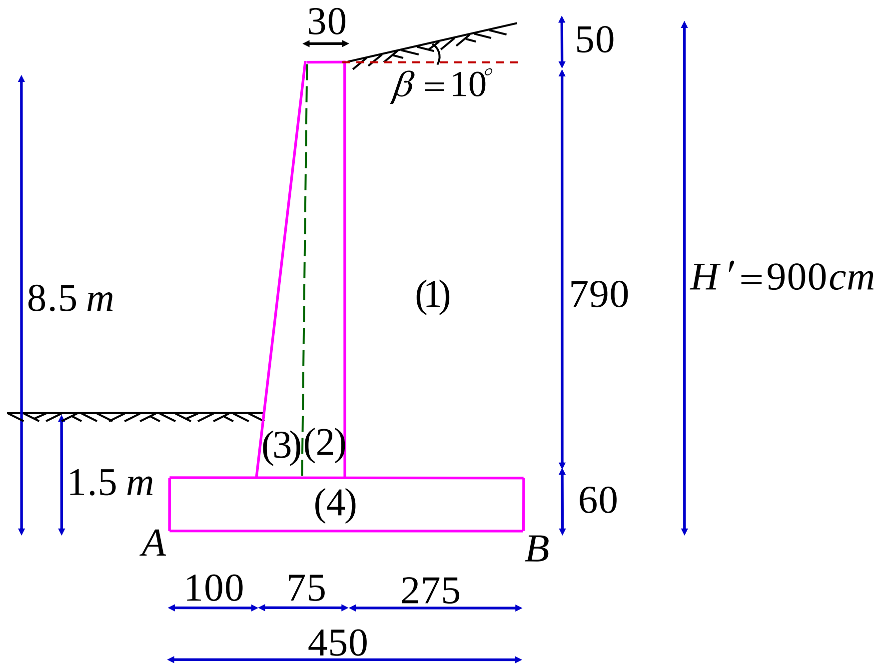
نفرض $t_b = 75\,cm$ حيث $t_b = H/12$ ، كما نفرض $t_t = 30\,cm$.

ونفرض عرض القاعدة نصف الإرتفاع تقريباً 0.50 H = 4.25m

نعتمد: B = 4.50 m

نختار:

طول القدم $100\,cm$ ، طول الكعب $275\,cm$ ، عرض الجدار: $75\,cm$



الشكل (8)

ملاحظة هامة: في الإمتحان تعطى أبعاد مقطع الجدار بينما بالواقع على المهندس فرض أبعاد أولية ثم إجراء التحققات بحيث تكون هذه الأبعاد اقتصادية.

$$H' = 60 + 790 + 275 \cdot \tan(10) = 900\,cm$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H'^2 \cdot K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 1.84 \times (9)^2 \times 0.289 = 21.54\,t$$

المركبة الأفقية $P_h = P_a \cos 10 = 21.21$

المركبة الشاقولية $P_v = P_a \sin 10 = 3.74\,t$

♦ **حساب عامل الأمان ضد الانقلاب:**

نأخذ عزوم جميع القوى المثبتة حول النقطة A ثم ننظم النتائج في الجدول التالي:

رقم الجزء	اسم الجزء	الوزن (t)	الذراع (m)	العزم $(t.m)$
1	التربة فوق الكعب	$\frac{(8.4+7.9)}{2}\times 2.75\times 1.84=41.94$	3.125	131.063
2	الجزء المستطيل من الجذع	$7.9\times 0.3\times 2.4=5.69$	1.6	9.1
3	الجزء المثلثي من الجذع	$\frac{1}{2}\times 7.9\times 0.45\times 2.4=4.27$	1.3	5.55
4	القاعدة	$4.5\times 0.6\times 2.4=6.48$	2.25	14.58
5	المركبة الشاقولية لـ P_a	3.74	4.5	16.83
	المجموع	$\sum V=62.12$	$\sum M=177.1$	

وبالتالي يكون:

- العزم المثبت:

$$M_f=177.1\,t.m$$

- العزم القالب الناتج عن P_h :

$$M_0=21.21\times\frac{9}{3}=63.63\,t.m$$

عامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF_{(o)}=\frac{177.1}{63.63}=2.78>1.5\quad \underline{\underline{ok}}$$

العزم الصافي:

$$M_n=177.1-63.63=113.47\,t.m$$

● حساب بعد نقطة تطبيق محصلة القوى عن النقطة A :

$$\bar{x}=\frac{M_n}{\sum V}=\frac{113.47}{62.12}=1.827\,m$$

اللامركزية $e = \frac{B}{2} - \bar{x}$

$$e = \frac{450}{2} - 182.7 = 42.3\,cm \; < \frac{B}{6} = \frac{450}{6} = 75\,cm$$

أي أن محصلة القوى تقع ضمن الثلث الأوسط للقاعدة.

♦ **تحقيق الانزلاق عند مستوي القاعدة:**

بإهمال الضغط السلبي P_p عند القدم نجد:

$$F = f \cdot \sum V = \tan(2\phi/3) \times \sum V$$
$$= 0.418 \times 62.12 = 25.97\,t$$

$$SF_{(S)} = \frac{\text{القوى الممانعة لحركة الجدار}}{\text{القوى الزالقة}} = \frac{25.97}{21.21} = 1.22 < 1.5 \quad not\ ok$$

بما أن عامل الأمان غير محقق ، نضع سن في نهاية الكعب ، الهدف منه توليد قوة جديدة ممانعة لحركة الجدار هي قوة ضغط التربة السلبي P_p المؤثرة على السن.

✓ اختيار عمق السن تحقيق عامل أمان مناسب:

نأخذ ارتفاع السن مساوياً إلى $D = 60\,cm$.

ثم نقوم بحساب الضغط السلبي المتولد:

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$
$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$
$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.6)^2 \times 3.5 = 4.44\,t$$

$$\Rightarrow SF_{(S)} = \frac{4.44 + 25.97}{21.21} = 1.43 < 1.5 \quad not\ ok$$

نزيد ارتفاع السن: $D = 90\,cm$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.9)^2 \times 3.5 = 6.93\,t$$

$$\Rightarrow SF_{(S)} = \frac{6.93 + 25.97}{21.21} = 1.54 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

✷ **حساب الإجهادات أسفل قاعدة الجدار:**

$$\sigma_{\max}=\frac{V}{B\cdot L}\left(1+\frac{6e}{B}\right)=\frac{62.12}{4.5\times 1}\left(1+\frac{6\times 0.423}{4.5}\right)$$

$$\sigma_{\max}=21.6\,t/m^2=2.16\,Kg/cm^2 < 5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

$$\sigma_{\min}=\frac{V}{B\cdot L}\left(1-\frac{6e}{B}\right)=\frac{62.12}{4.5\times 1}\left(1-\frac{6\times 0.423}{4.5}\right)$$

$$\sigma_{\min}=6.02\,t/m^2=0.6\,Kg/cm^2$$

إذاً عرض الأساس B يحقق كافة الشروط (دوران إنزلاق وإجهادات مقبولة على التربة)