

## ★ 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 » .

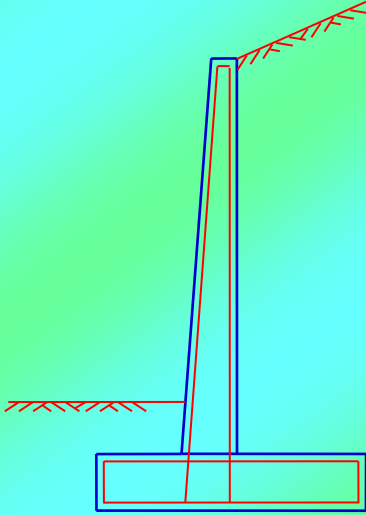
تصنف الجدران الاستنادية بالاعتماد على طريقة تأمين الاستقرار ، ومن أصنافها:

### 1- الجدران الاستنادية الكتلية:

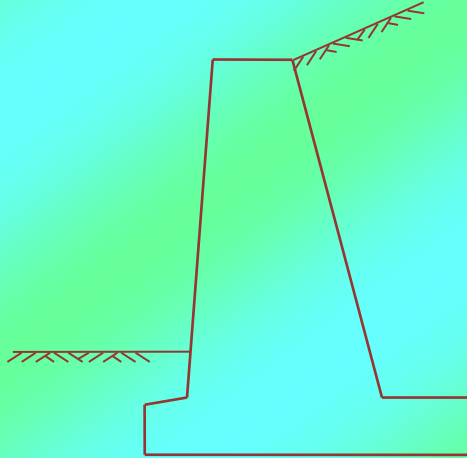
يعتمد هذا النوع من الجدران على كتلته لتأمين التوازن .

### 2- الجدران الاستنادية الظفرية:

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



الشكل (1- ب ) الجدران الاستنادية الظفرية



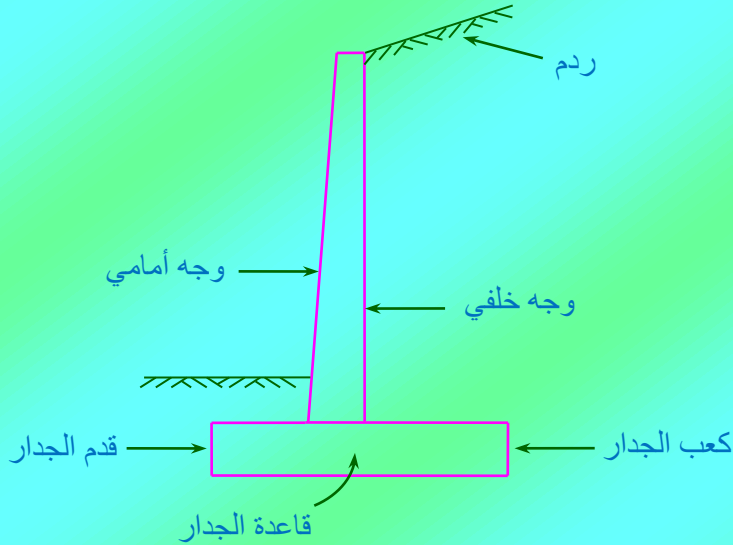
الشكل (1- أ ) الجدران الاستنادية الكتلية

وهناك 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 ، المعرض 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 .



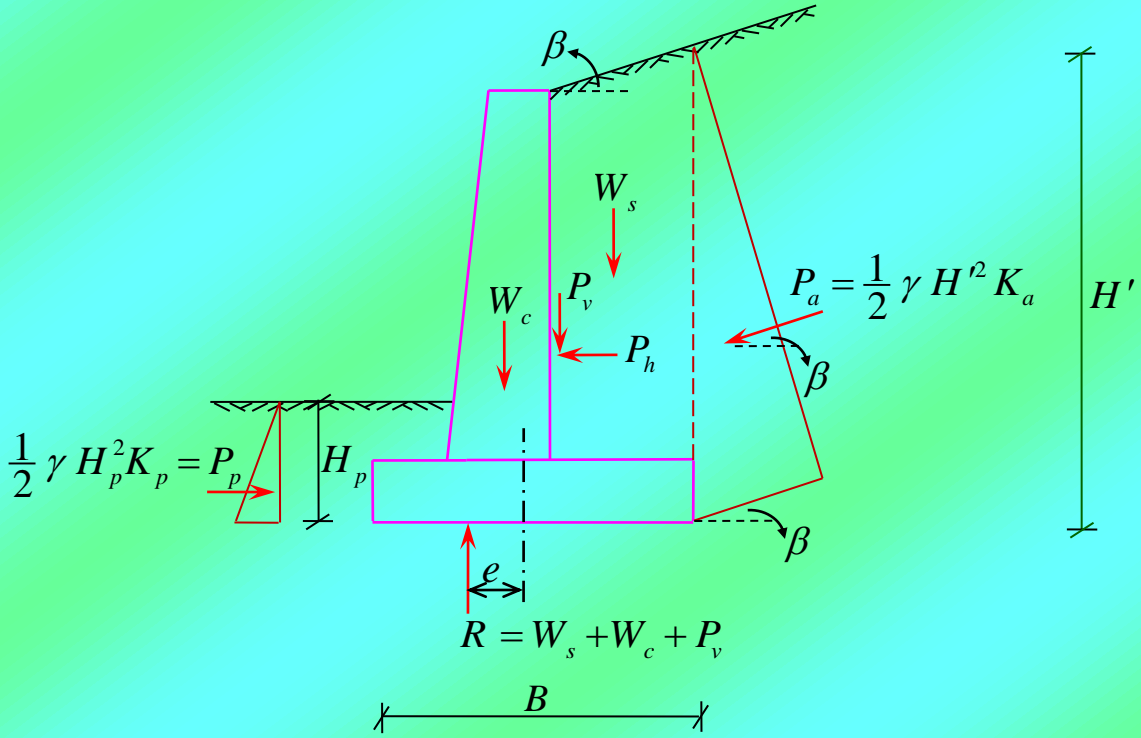
الشكل (2)

### ✱ 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 الجدران 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

$\phi$  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 مستوى القاعدة :

تعطى الإجهادات المطبقة على التربة بالعلاقة التالية:

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

حيث:

$A$  مساحة قاعدة الجدار لشريحة عرضها  $1\text{ m}$  من الجدار:

$$A = (B \times 100) \text{ cm}^2$$

$\sum V$  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  $1\text{ m}$  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:

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

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:

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

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

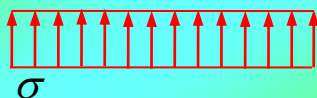
ومنه نجد:

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

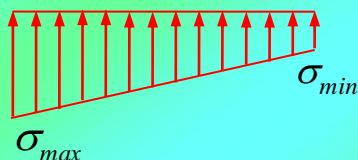
♦ الحالات المختلفة للإجهادات المطبقة على التربة:

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

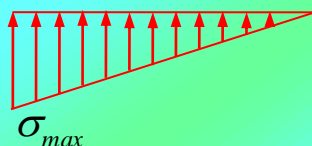
- تنتج الحالة الأولى عندما  $e = 0$



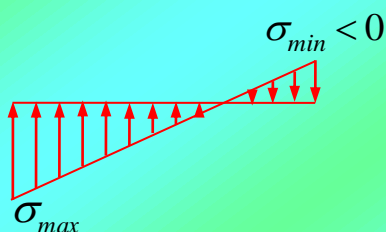
- تنتج الحالة الثانية عندما  $e < \frac{B}{6}$



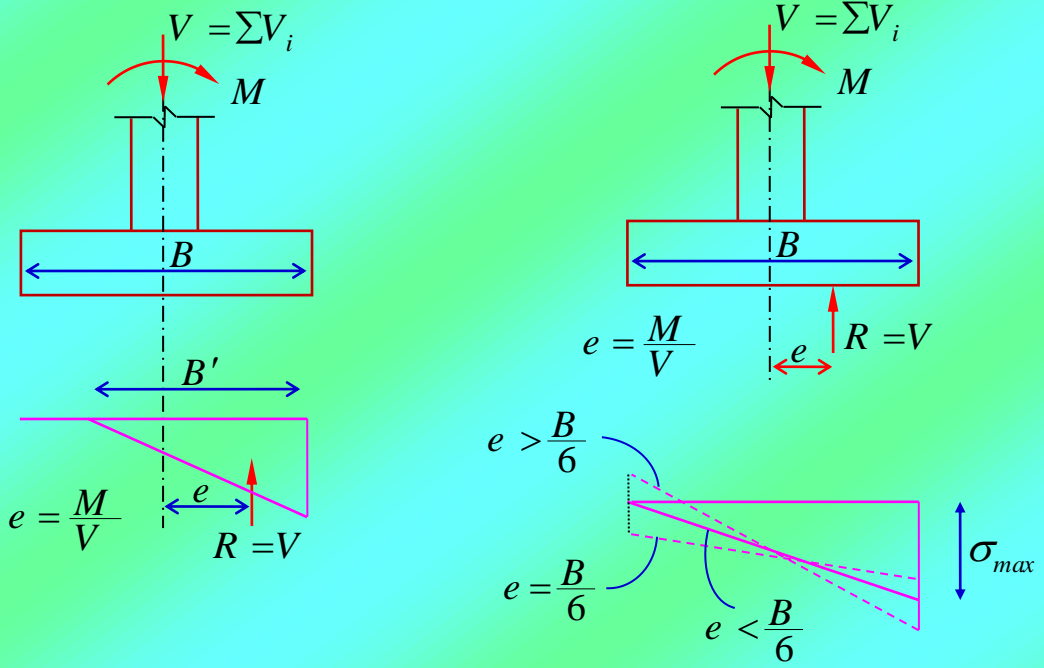
- تنتج الحالة الثالثة عندما  $e = \frac{B}{6}$



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







الشكل (4) حالات الإجهادات المطبقة على التربة

بالنسبة للحالة الرابعة يجب ألا يقل الجزء المضغوط من القاعدة عن:

$$B' \geq \left( \frac{2}{3} \rightarrow \frac{3}{4} \right) B$$

$$\text{من التوازن ، انظر الشكل (4)} \quad \Sigma V = \frac{B' \sigma_{max}}{2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{2 \Sigma V}{B'} \leq \sigma_{all}$$

### 5- تحقيق الجدار على المتانة

يتم تحقيق الجدار على المتانة بتصميم مقاطع الجدار إنشائياً من أجل تحقيق

متطلبات:

- 1- العزم
- 2- القص
- 3- التماسك



يمكن الاعتماد على ملحق البيتون المسلح من أجل التصميم وتحقيق المتطلبات المذكورة .

أما إذا كان الجدار من البيتون العادي فيمكننا اعتبار مادة الجدار متجانسة ثم نطبق العلاقة:

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

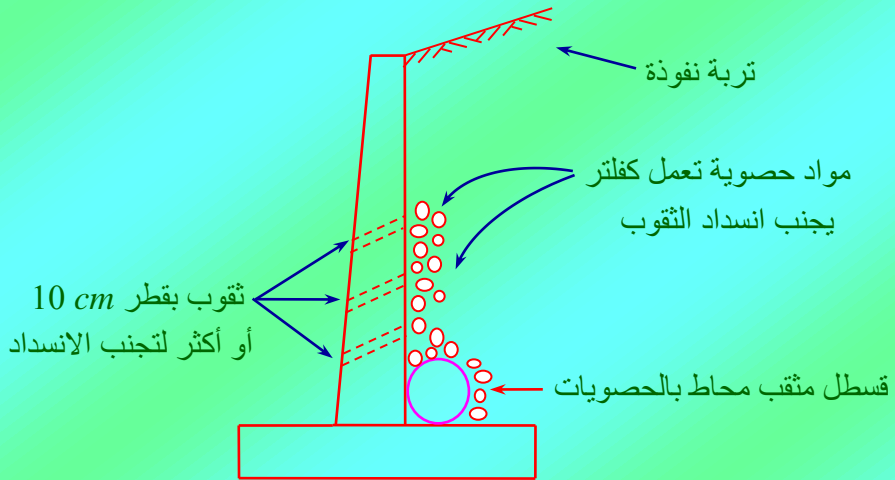
وذلك لحساب الإجهادات المتولدة في مختلف مقاطع الجدار .

### ✱ 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 (5) 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 مداخل كبيرة ، يجب التحقق من الجدار على المتانة والانقلاب ، حيث تعتبر المدحلة كحمولة إضافية .

### ✱ حماية الجدران من الماء والرطوبة

لحماية الوجه الظاهر من الجدار من تأثير الماء والرطوبة عبر الشقوق والفواصل يجب عزل السطح الخلفي للجدار عن طريق دهنه بالبيتومين قبل إجراء عملية الردم .

كما يجب عزل السطح الخلفي للجدار بطبقات غشائية خاصة للعزل عندما يكون مستوى الماء مرتفعاً .

## \*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 الاستنادي المنشأ من الحجر مع المونة:

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

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

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

#### ◀ مواصفات الجدار الاستنادي المنشأ من البيتون المغموس:

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

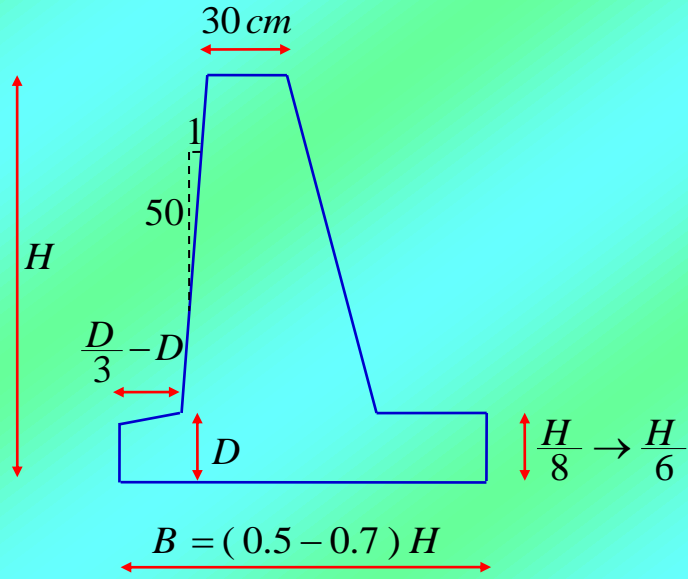
ب- عيار الإسمنت  $250 - 350 \text{ Kg/m}^2$

ج- يتحمل الجدار على الضغط بحدود  $20 - 30 \text{ Kg/cm}^2$  ، 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  $e \leq L/6$  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  $f'_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$  .



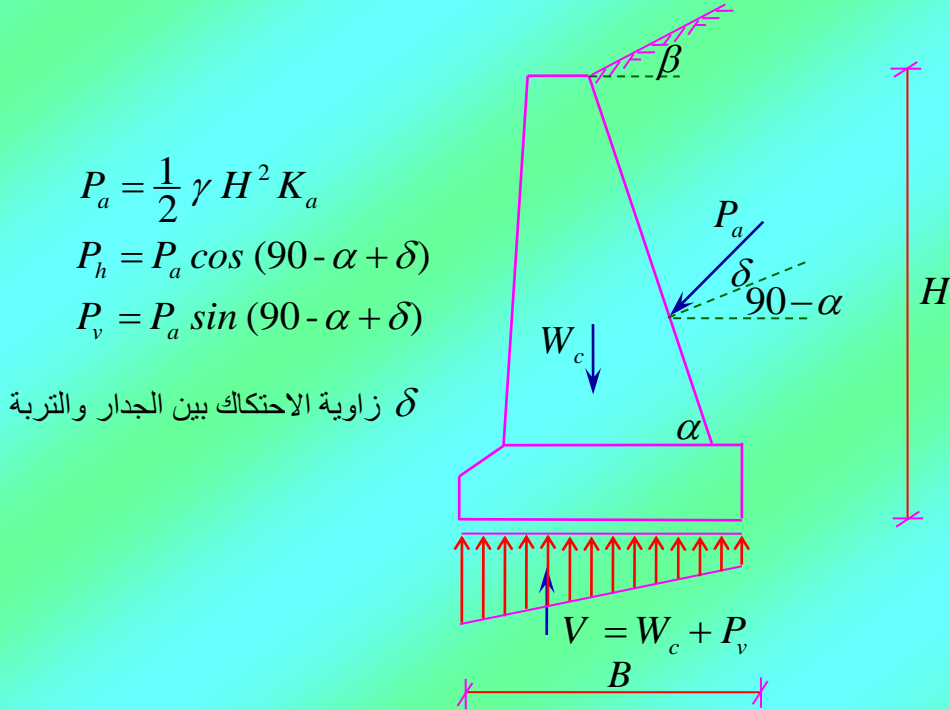
الشكل (6) الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الكتلية

### ✳ القوى المؤثرة على الجدران الكتلية

وهي موضحة على الشكل (7) حسب نظرية كولومب وعلى الشكل (8) حسب نظرية رانكين .

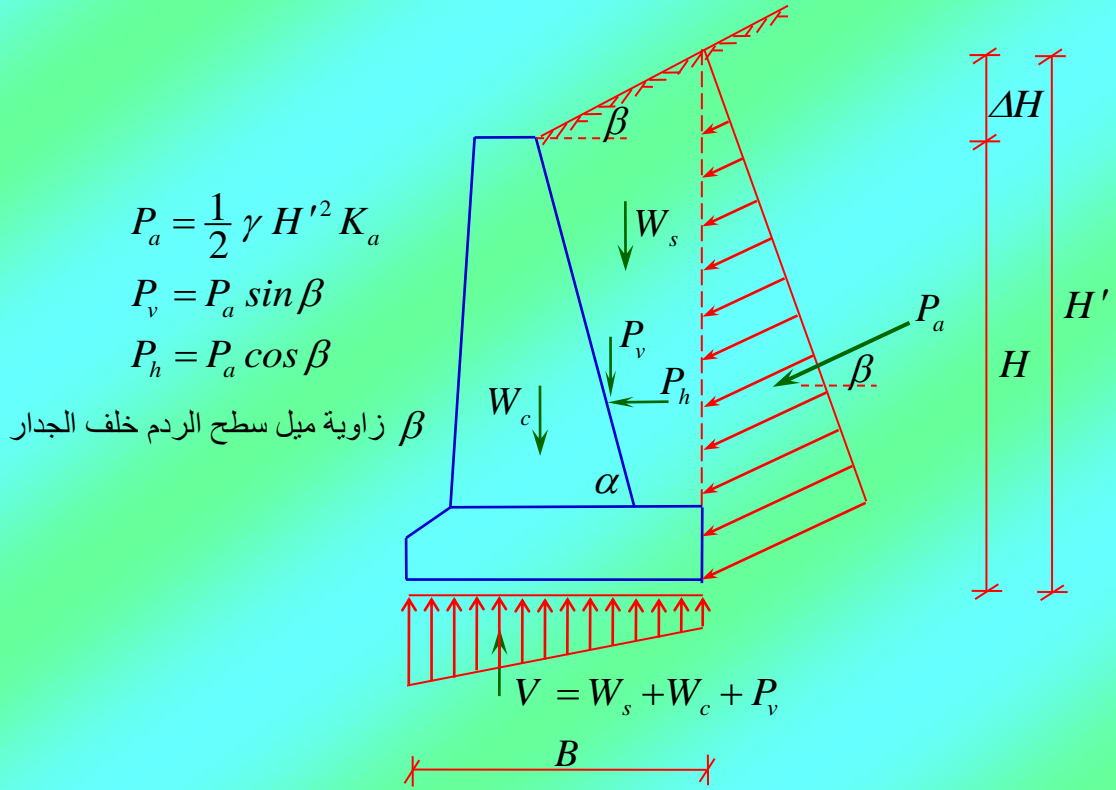
حيث يتم حساب ضغط التربة الفعال على الجدران وفقاً لنظرية كولومب أو نظرية رانكين .

✧ يفترض كولومب وجود انزلاق أولي على الوجه الخلفي للجدار ، بينما يصنع ضغط التربة الفعال  $P_a$  زاوية  $\delta$  مع النازم على سطح الجدار الخلفي . الشكل (7)  
حيث  $\delta$  هي زاوية الاحتكاك بين الجدار والتربة .



الشكل (7) القوى المؤثرة على الجدران الكتلية – نظرية كولومب

✧ أما رانكين فيعتبر أن الضغط الفعال  $P_a$  يصنع زاوية  $\beta$  مع الأفق ، وهي زاوية ميل سطح الردم خلف الجدار . الشكل (8)



الشكل (8) القوى المؤثرة على الجدران الكتلية – نظرية رانكين

في هذه الحالة (رانكين) نعتبر أن الارتفاع هو  $H'$  ويساوي:

$$H' = H + \Delta H$$

حيث  $H$  ارتفاع الجدار

$\Delta H$  الارتفاع الإضافي الناتج عن  $\beta$  اعتبار المستوي الشاقولي ماراً من نهاية

قاعدة الجدار .

♦ إن محصلة القوى المؤثرة بالاتجاه الشاقولي والمتجهة نحو الأسفل هي:

$$\Sigma V = W_c + W_s + P_v$$

حيث:

$W_c$  وزن الجدار

$W_s$  وزن التربة فوق المحدودة بالمستوي الشاقولي المار من نهاية قاعدة الجدار .

$P_v$  المركبة الشاقولية لضغط التربة الفعال على الجدار  $P_a$  .

تقع محصلة القوى الشاقولية على بعد  $e$  من منتصف القاعدة ، ولحساب اللامركزية

$e$  نأخذ عزوم جميع القوى حول نقطة نهاية بلاطة القدم  $O$  فيكون:

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

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

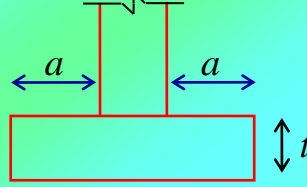
فإذا كان عرض القاعدة  $B$  تكون لامركزية محصلة القوى مساوية إلى:

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



### ♦ حساب ارتفاع قاعدة الجدار الكتلي المنشأ من البيتون العادي

إن التصميم الإنشائي لقاعدة الجدار يتضمن تحديد سماكة القاعدة (  $t$  ) المتعلقة بطول البروز (  $a$  ) والإجهاد المطبق على التربة ونوع البيتون المستخدم .



الشكل (9)

يتم تحديد ارتفاع القاعدة (  $t$  ) بحيث لا تتجاوز الإجهادات الشادة عند وجه الجدار الإجهادات المسموحة أي يجب أن يكون:

$$\sigma_t \leq \bar{\sigma}_t = 0.03 f'_c$$

حيث  $f'_c$  المقاومة المميزة للبيتون .

نفرض أن الإجهاد الصافي المطبق على التربة  $\sigma_{net}$  وهو الإجهاد الناتج عن الحمولات المطبقة على القاعدة دون إضافة وزن القاعدة .

وبالتالي يكون عزم الانعطاف المتولد عند المقطع الملامس لوجده الجدار هو:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{net} \cdot a^2$$

يعطى إجهاد الشد الأعظمي عند أسفل المقطع المدروس بالعلاقة:

$$\sigma_t = \frac{6M}{t^2} \leq \bar{\sigma}_t$$

$$M \text{ بتعويض } \Rightarrow \sigma_t = \frac{3 \cdot \sigma_{net} \cdot a^2}{t^2} \leq \bar{\sigma}_t$$

$$\Rightarrow \left( \frac{a}{t} \right)^2 = \frac{\bar{\sigma}_t}{3 \cdot \sigma_{net}} \Rightarrow \boxed{t = a \sqrt{\frac{3 \sigma_{net}}{\bar{\sigma}_t}}}$$

♦ **ملاحظة:** توجد مخططات جاهزة لإيجاد السماكة ( $t$ ) بالاعتماد على البروز ( $a$ ) والإجهاد الصافي المطبق على التربة وحسب المقاومة المميزة للبيتون .

### ✱ 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:

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

- 5- تحقيق الإجهادات الفاصلة عند مختلف المقاطع:

$$\tau = \frac{P_h}{0.85 \times 100 \times B'} \leq 0.55 \sqrt{f'_c}$$

- حيث  $P_h$  القوة الأفقية المؤثرة على المقطع المدروس .  
 $B'$  عرض المقطع المدروس .  
 $\tau$  إجهاد القص على شريحة بعرض  $1\text{ m}$  من الجدار .

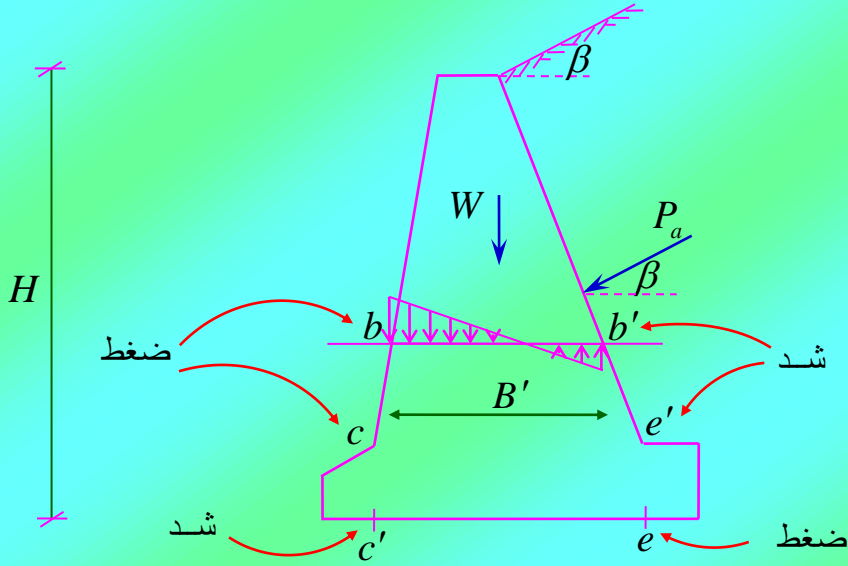
- 6- تحقيق الإجهادات الضاغطة على المقطعين  $b - b'$  ,  $c - c'$  كما يلي:

$$\sigma_c = \frac{V}{100 B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) \leq 0.4 \sqrt{f'_c}$$

- حيث  $V$  محصلة القوى الشاقولية المؤثرة على المقطع .  
 $e$  لامركزية محصلة القوى الشاقولية عن منتصف المقطع المدروس .  
 $B'$  عرض المقطع المدروس .

7- تحقيق الإجهادات الشاذة عند النقاط  $b'$  ,  $c'$  ,  $e'$  كما يلي:

$$\sigma_t = \frac{V}{100 B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) \leq 0.03 \sqrt{f'_c}$$



الشكل (10)

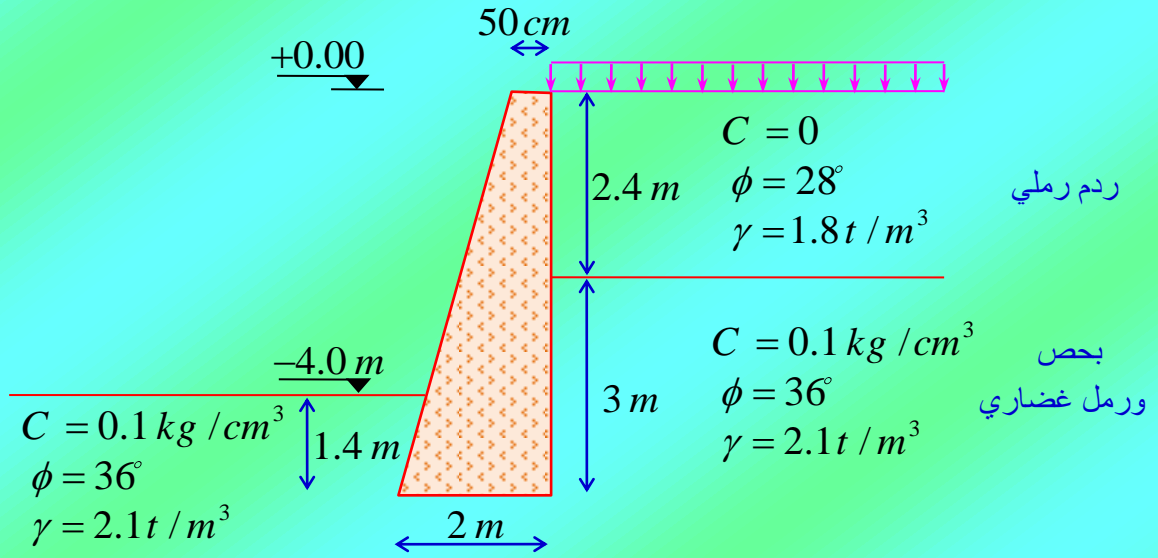
## ⊙ أمثلة توضيحية على حساب الجدران الاستنادية الكتلية

### ✦ مثال (1) :

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

1- ادرس الجدار الاستنادي على الانقلاب .

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



(الشكل 11)

### ✦ 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) :

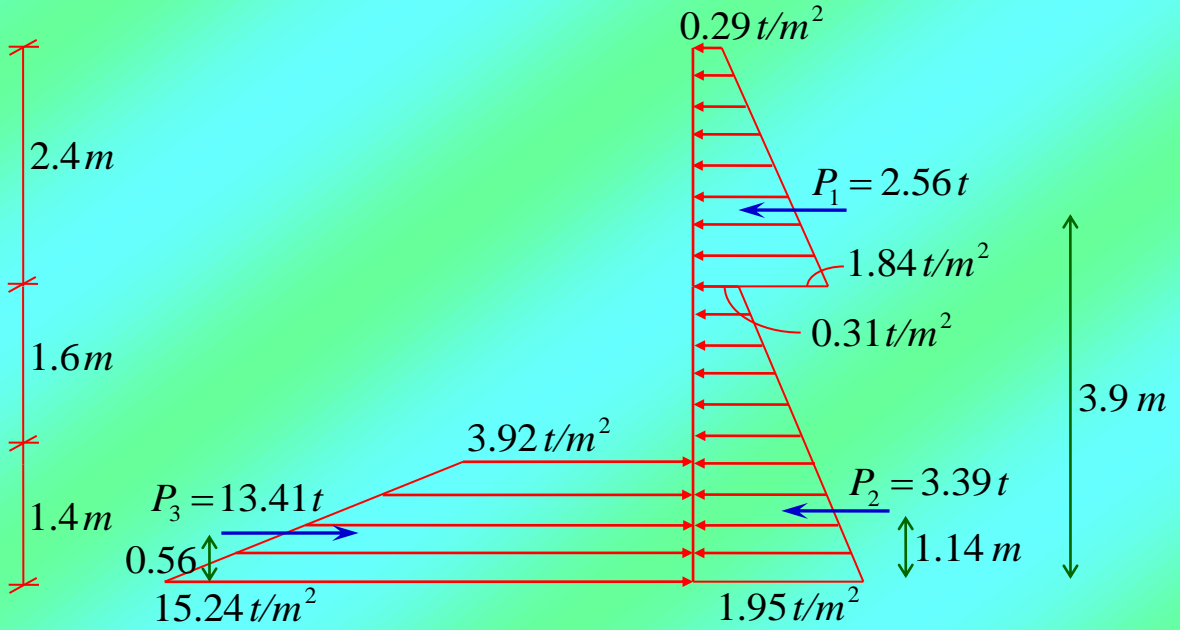
$$P_{p1} = 2C \sqrt{K_{p2}} = 2 \times 1 \times 1.96 = 3.92 \text{ t/m}^2$$

♦ عند المنسوب (-5.40) :

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

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

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



حيث:

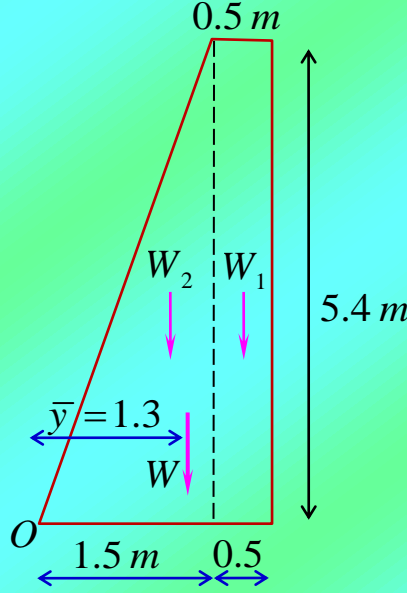
$$P_1 = \frac{0.29 + 1.84}{2} \times 2.4 = 2.56 \text{ t}$$

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

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

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

● حساب الوزن الذاتي للجدار:



الشكل (13)

نقسمه إلى جزأين:

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

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

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

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:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم القوى المثبتة حول 0}}{\text{مجموع العزوم القوى القالبة حول 0}} \geq 1.5$$

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

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

فالجدار أمين ضد الانقلاب .

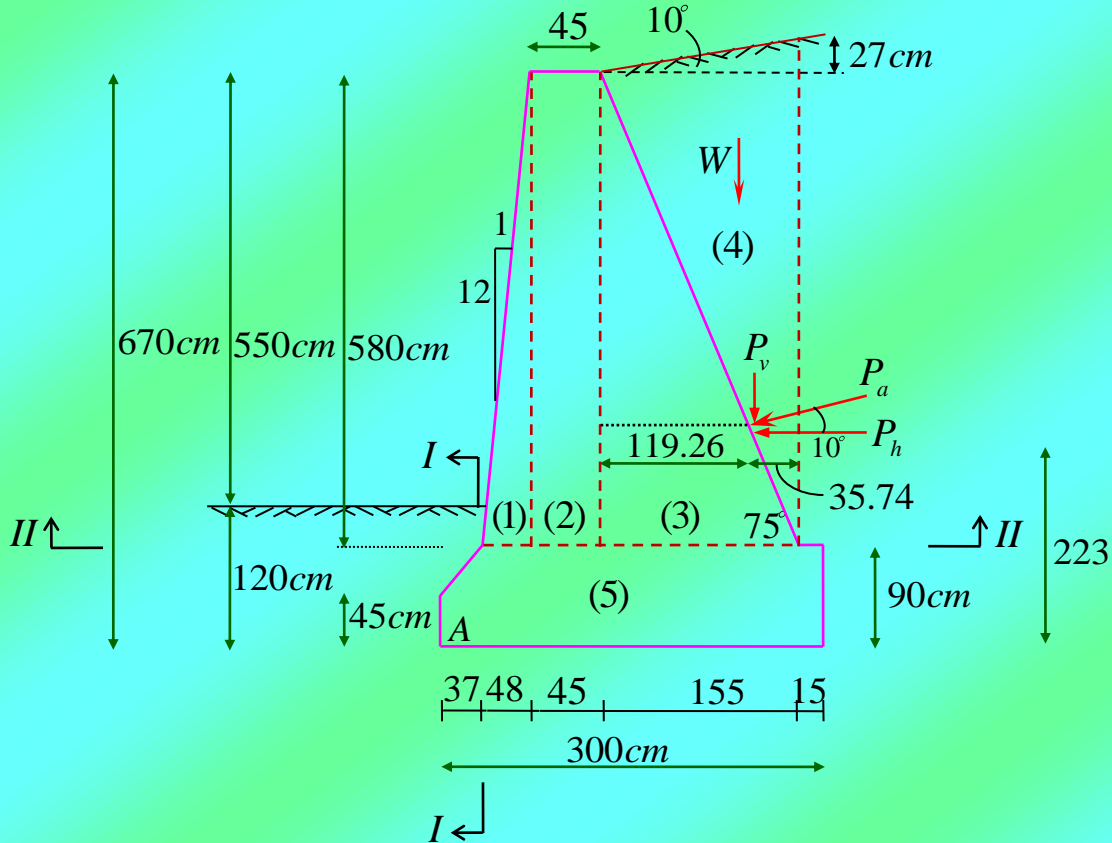
♦ مثال (2) :

المطلوب تصميم جدار استنادي كتلي بارتفاع  $H = 6.7\text{ m}$  وفقاً للمعطيات التالية:

- 1- مواصفات تربة التأسيس:  $\phi = 36$  ,  $\gamma = 1.9\text{ t/m}^3$
- 2- مواصفات التربة المردومة خلف الجدار:  $\phi = 32$  ,  $\gamma = 1.76\text{ t/m}^3$
- 3- ضغط التربة المسموح به:  $\sigma_{all} = 2.9\text{ Kg/cm}^2$
- 4- منسوب التأسيس:  $D_f = 120\text{ cm}$
- 5- المقاومة المميزة للبيتون المستخدم:  $f'_c = 140\text{ Kg/cm}^2$
- 6- يهمل الاحتكاك بين التربة والجدار.

✦ الحل:

نفترض أولاً أبعاد الجدار كما هو مبين في الشكل (13).



بالاعتماد على نظرية رانكين نوجد معاملاً التربة من الجداول الخاصة بذلك من الشكل (13).

أجل:

$$K_a = 0.316 \quad \text{فنجد: } \phi = 32^\circ, \beta = 10^\circ$$

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

$$P_a = \frac{1}{2} \times 1.76 \times 6.97^2 \times 0.316 = 13.5 \text{ t / m'}$$

حيث:

$$H' = H + \Delta H = 6.7 + 0.27 = 6.97 \text{ m}$$

$$\begin{cases} P_h = P_a \cos \beta = 13.5 \times \cos 10 = 13.29 \text{ t} \\ P_v = P_a \sin \beta = 13.5 \times \sin 10 = 2.34 \text{ t} \end{cases}$$

وزن التربة فوق الوجه الخلفي للجدار:

$$W = \frac{1}{2} \times 1.55 \times (5.8 + 0.27) \times 1.76 = 8.3 \text{ t}$$

♦ دراسة توازن الجدار:

♦ حساب عامل الأمان ضد الانقلاب:

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

رقم الجزء	الوزن ( t )	الذراع ( m )	العزم حول A
1	$\frac{1}{2} \times 0.48 \times 5.8 \times 2.5$	0.69	2.40
2	$0.45 \times 5.8 \times 2.5$	1.075	7.02
3	$\frac{1}{2} \times 1.55 \times 5.8 \times 2.5$	1.82	20.45
4	8.3	2.34	19.422
5	$3 \times 0.9 \times 2.5$	1.5	10.13
	$P_v = 2.34$	2.49	5.827

المجموع	$\Sigma V = 38.63$		65.25
---------	--------------------	--	-------

وبالتالي يكون:

- العزم المثبت:

$$M_f = 65.25 \text{ t.m}$$

- العزم القالب الناتج عن  $P_h$  :

$$M_t = 2.23 \times 13.29 = 29.64 \text{ t.m}$$

عامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF = \frac{M_f}{M_t} = \frac{65.249}{29.64} = 2.20 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

♦ حساب عامل الأمان ضد الانزلاق:

- قوة الاحتكاك أسفل الجدار:

$$\begin{aligned} F_R &= \Sigma V \cdot f \\ &= 38.63 \times 0.445 = 17.19 \text{ t} \end{aligned}$$

حيث:

$$f = \tan (2 \phi / 3) = 0.445$$

تؤثر التربة الموجودة على قدم الجدار بضغط سلبي ، يجب إدخاله في الحساب:

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times 1.2^2 \times 3.25 = 4.12 \text{ t}$$

عامل الأمان ضد الانزلاق

$$SF = \frac{4.12 + 17.19}{13.29} = 1.60 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

● حساب بعد نقطة تطبيق محصلة القوى عن النقطة A :

$$\sum V \cdot \bar{x} = \sum M$$

$$\bar{x} = \frac{\sum M}{\sum V} = \frac{65.25 - 29.64}{38.63} = 0.922 \text{ m}$$

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

$$e = \frac{3}{2} - 0.922 = 0.578 > \frac{B}{6} = \frac{3}{6} = 0.5$$

♦ التحقق من الإجهادات أسفل الأساس:

$$\sigma = \frac{V}{A} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

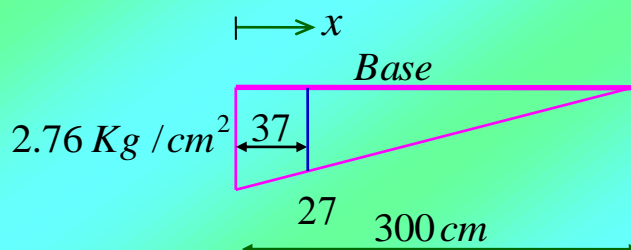
$$\sigma_{\max} = \frac{38.63 \times 10^3}{300 \times 100} \left( 1 + \frac{6 \times 57.8}{300} \right) = 2.78 \text{ Kg / cm}^2$$

$$2.78 < 2.9 \text{ Kg / cm}^2 \quad \underline{\underline{ok}}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{38.63 \times 10^3}{300 \times 100} \left( 1 - \frac{6 \times 57.8}{300} \right) = -0.20 \text{ Kg / cm}^2$$

نلاحظ أن هذا المقدار صغير ويمكن إهماله.

◀ تحقيق الإجهادات الشادة عند المقطع I - I :



الشكل (14)

تعطى معادلة شدة الحمولة عند أي مقطع من القاعدة بالعلاقة التالية:

$$q_x = \frac{(L - x)}{L} \cdot P = P - \frac{x \cdot P}{L}$$

$$EI \ y'''' = q_x = \left( 2.76 - \frac{x \times 2.76}{300} \right) \times 100$$

وبالتالي تكون معادلة القوى القاصة عند أية نقطة من القاعدة:

$$EI \ y''' = Q_x = \int q_x \ dx = \left( 2.76 x - \frac{9.2 \times 10^{-3}}{2} x^2 \right) \times 100$$

وتكون معادلة العزم:

$$EI \ y'' = M = \left( \frac{2.76}{2} x^2 - \frac{9.2 \times 10^{-3}}{6} x^3 \right) \times 100$$

من أجل  $x = 37 \text{ cm}$  نجد أن العزم  $M$  يساوي:

$$M = \left( \frac{2.76}{2} \times (37)^2 - \frac{9.2 \times 10^{-3}}{6} (37)^3 \right) \times 100$$

$$= 1.977 \text{ t.m}$$

نحسب الإجهادات الشادة في المقطع بالعلاقة التالية:

$$\sigma_t = \frac{6 M}{b \ h^2} = \frac{6 \times 1.98}{1 \times 0.9^2} = 1.47 \text{ Kg / cm}^2$$

الإجهادات الشادة المسموح بها:

$$\bar{\sigma}_t = 0.03 f'_c = 0.03 \times 140 = 4.2 \text{ Kg / cm}^2$$

وبالتالي:

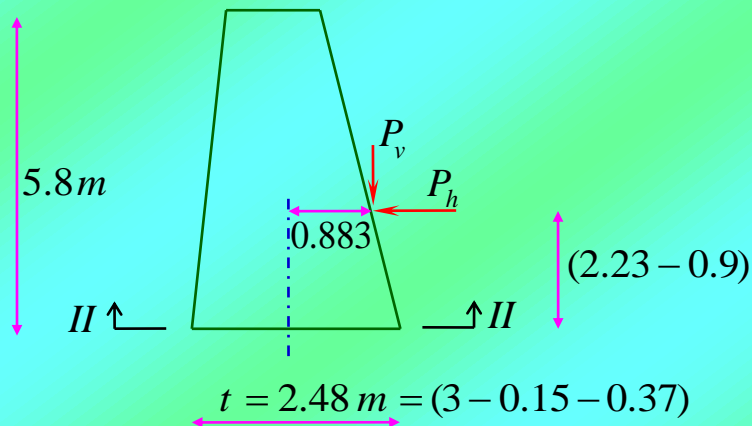
$$\sigma_t = 1.47 < \bar{\sigma}_t = 4.2 \text{ Kg / cm}^2 \quad \underline{\underline{ok}}$$

◀ تحقيق الإجهادات الشادة عند المقطع II - II :

$$\sigma_t = \frac{6 M}{b t^2}$$

$$\begin{aligned} M &= 13.29 \times (2.23 - 0.9) - 2.34 \times (0.883) \\ &= 15.61 \text{ t.m} \end{aligned}$$

حيث تم أخذ عزم  $P_a$  حول محور قاعدة الجذع:



الشكل (15)

بتعويض قيمة  $M$  في علاقة الإجهادات الشادة نجد:



$$\sigma_t = \frac{6 \times 15.61}{1 \times (2.48)^2} = 15.23 \text{ t / m}^2 = 1.523 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\sigma_t = 1.523 < \bar{\sigma}_t = 4.2 \text{ Kg / cm}^2 \quad \underline{\underline{ok}}$$

والمقطع محقق.

◀ يتم تحقيق الإجهادات الضاغطة في المقطع II - II بالعلاقة التالية:

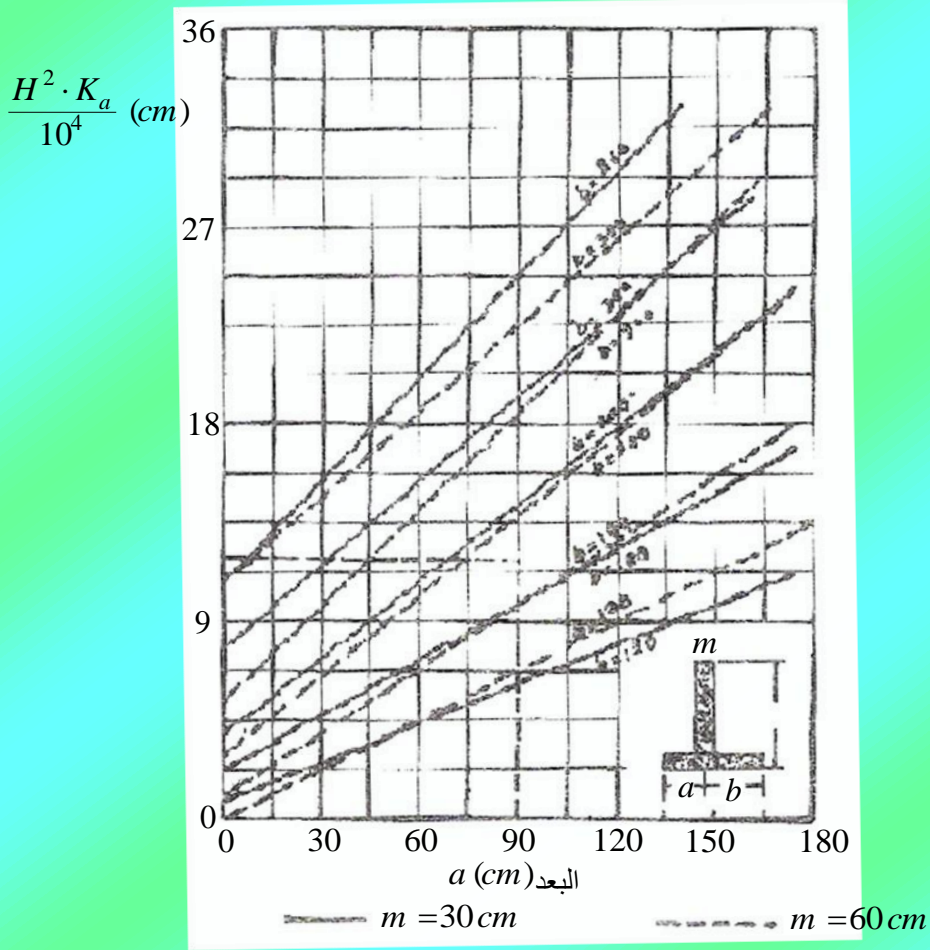
$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{6M}{b \cdot t^2} \leq 0.4f'_c$$

بالتطبيق نجد أن المتراجحة محققة.

أخيراً نجد أن هذا التصميم غير اقتصادي بسبب استخدام كميات كبيرة من الإسمنت ،  
ويفضل استخدام البيتون المغموس من أجل توفير الإسمنت.



ثم ننشئ خطاً أفقياً يتقاطع مع عدة قيم لـ (b) فنختار أحدها وننشئ خطاً شاقولياً لنجد (a) .



الشكل (17) مخطط تحديد a , b بشكل

### ♦ توازن الجدران الاستنادية الظرفية

#### ⊙ 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:

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

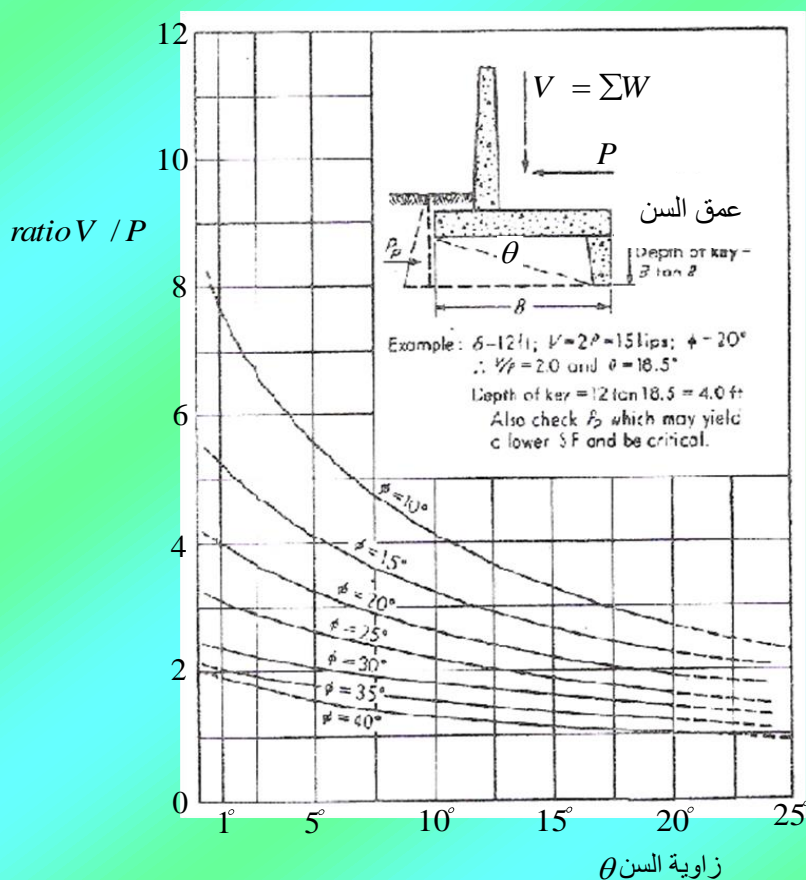
حيث  $\phi$  زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

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

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

إن وجود سن أسفل القاعدة يساعد على تحقيق التوازن ضد الانزلاق ، ونختار عملياً عمق السن  $D$  من المنحنيات الموضحة على الشكل (18) . (حيث نجد زاوية السن  $\theta$  من الشكل)



الشكل (18) إيجاد ارتفاع السن المقاوم للانزلاق

$$D = B \cdot \tan \theta \quad \text{ويكون:}$$

ثم نحسب قوة الضغط السلبي المؤثرة  $P_p$  ، وندخلها في حساب التوازن ضد الانزلاق وإن لم يتحقق عامل الأمان يجب زيادة ارتفاع السن.

### ⊙ 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:

إجهادات الشد المسموحة في الحديد المستخدم:  $f_s = 1400 \text{ Kg/cm}^2$

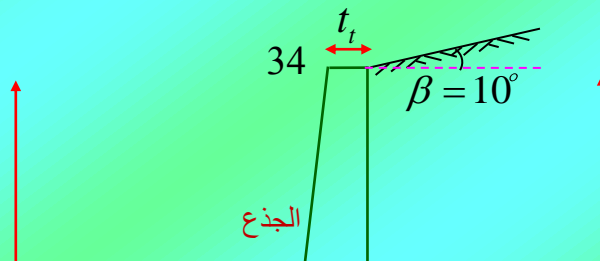
المقاومة المميزة للبيتون:  $f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

الوزن الحجمي للبيتون:  $\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$

ارتفاع الجدار:  $H = 8.5 \text{ m}$

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

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



✦ الحل:

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

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

حساب عرض القاعدة  $B$  :

نستخدم المخطط الوارد في الشكل (17) من أجل حساب أبعاد القاعدة.

ندخل إلى الجدول عن طريق القيمة:

$$K_a \cdot H^2 = 0.28 \times 8.5^2 = 20.2$$

نلاحظ وجود ثلاث قيم لكل من  $(b)$  ,  $(a)$  تحقق وقوع محصلة القوى ضمن الثلث

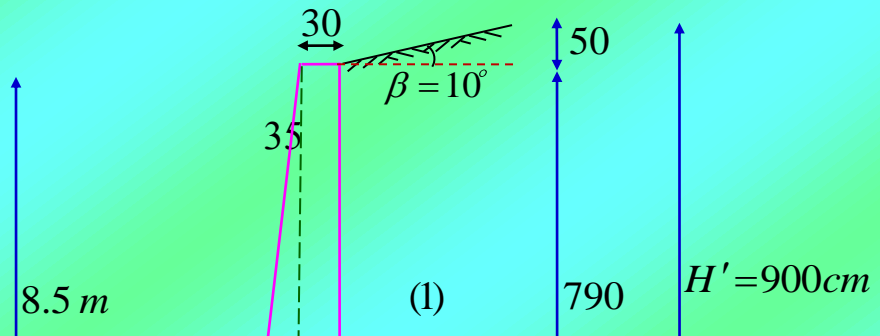
الأوسط من القاعدة ، وهي كما يلي:

$$(b = 3.7, a = 0.6), (b = 3, a = 1.1), (b = 2.5, a = 1.4)$$

$$B = 0.52 H = 4.5 \text{ m}$$

نختار:

طول القدم  $100 \text{ cm}$  ، طول الكعب  $275 \text{ cm}$  ، عرض الجدار:  $75 \text{ cm}$



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

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

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

$$\text{المركبة الأفقية} \quad P_h = P_a \cos 10 = 21.21$$

$$\text{المركبة الشاقولية} \quad P_v = P_a \sin 10 = 3.74 \text{ t}$$

♦ حساب عامل الأمان ضد الانقلاب:



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

الجزء	رقم	اسم الجزء	الوزن ( t )	الذراع ( )	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 المثلي 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	$\Sigma V = 62.12$		$\Sigma M = 177.1$

وبالتالي يكون:

- العزم المثبت:

$$M_f = 177.1 \text{ t.m}$$

- العزم القالب الناتج عن  $P_h$  :

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

عامل الأمان ضد الانقلاب:

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

العزم الصافي:

$$M_n = 177.1 - 63.63 = 113.47 \text{ t.m}$$

● حساب بعد نقطة تطبيق محصلة القوى عن النقطة A :

$$\bar{x} = \frac{M_n}{\Sigma V} = \frac{113.47}{62.12} = 1.827 \text{ m}$$

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

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

أي أن محصلة القوى تقع ضمن الثلث الأوسط للقاعدة.

♦ تحقيق الانزلاق عند مستوي القاعدة:

بإهمال الضغط السلبي  $P_p$  عند القدم نجد:

$$F = f \cdot \Sigma V = \tan (2 \phi / 3) \times \Sigma V \\ = 0.418 \times 62.12 = 25.97 \text{ t}$$

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

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:

نحسب عمق السن من المنحنيات الموضحة بالشكل (18) كما يلي:

$$\phi = 34^\circ , \frac{V}{P_h} = 2.67 \Rightarrow \theta = 5^\circ$$

$$D = B \cdot \tan \theta = 4.5 \times \tan 5 = 0.39 \text{ m}$$

نأخذ ارتفاع السن مساوياً إلى  $D = 60 \text{ cm}$  .

ثم نقوم بحساب الضغط السلبي المتولد:

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.6)^2 \times 3.5 = 4.44 \text{ t}$$

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

نزيد ارتفاع السن:  $D = 90 \text{ cm}$

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

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

✱ إيجاد قدرة تحمل التربة:

نطبق المعادلة التالية:

$$\sigma_{ult} = \gamma D N_q (1 + 0.35 \frac{D}{B'}) (1 - 0.5 \frac{H}{V}) + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma (1 - 0.5 \frac{H}{V})^2$$

حيث:

$\sigma_{ult}$  قدرة تحمل التربة الحدية.

$D$  عمق التأسيس.

$V$  مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على الجدار.

$$B' = B - 2e \quad : B'$$

$e$  لامركزية محصلة القوى الشاقولية بالنسبة لمحور  $B$ .

$N_q, N_\gamma$  عاملا قدرة تحمل التربة ، وتؤخذ القيم من الجدول الوارد في بحث قدرة

تحمل التربة بدلالة  $\phi$ .

$$D = 1.5 \text{ m} , B' = 4.5 - 2 \times 0.423 = 3.654$$

من الجداول ومن أجل  $\phi = 34^\circ$  نجد:

$$N_q = 30.3 \quad , \quad N_\gamma = 36.2$$

$$\frac{H}{V} = \frac{21.21}{62.12} = 0.341 \quad , \quad \frac{D}{B'} = \frac{1.5}{3.644} = 0.412$$

$$0.412 < \tan (2 \phi / 3) = 0.418 \quad ok$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} = & 1.76 \times 1.5 \times 30.3 (1 + 0.35 \times 0.411) (1 - 0.5 \times 0.341) + \\ & + \frac{1}{2} \times 1.76 \times 3.654 \times 36.2 (1 - 0.5 \times 0.341)^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{ult} = 155.99 \, t / m^2 = 15.6 \, Kg / cm^2$$

بالتقسيم على عامل أمان يساوي (3) نحصل على قدرة التحمل المسموحة.

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_{ult}}{3} = \frac{15.60}{3} = 5.2 \, Kg / cm^2$$

ملاحظة: في حالة إزالة التربة عن القدم يصبح عمق التأسيس:

$$D = 1.5 - 0.6 = 0.9$$

$$\sigma_{ult} = 9 \, Kg / cm^2 \Rightarrow \sigma_{all} = \frac{9}{3} = 3 \, Kg / cm^2$$

وهذا يدل على مدى تأثير عمق التأسيس على قدرة تحمل التربة.

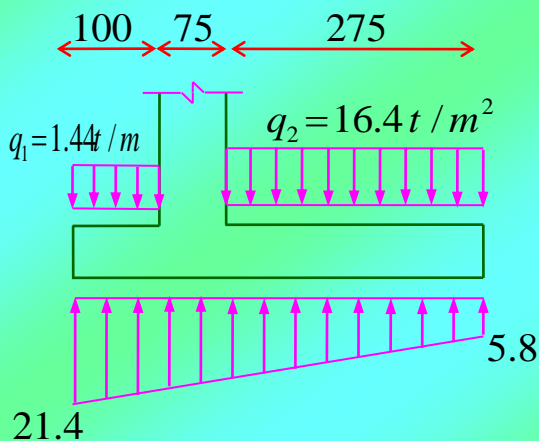
**\* حساب الإجهادات أسفل قاعدة الجدار:**

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

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

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

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



الشكل (21)

- حساب الحمولة الموزعة فوق القدم:

نهمل وزن التربة فوق القدم وبذلك تكون الحمولة الموزعة تساوي إلى وزن البيتون فقط.

$$q_1 = 0.6 \times 2.4 = 1.44 \text{ t / m}^2$$

الحمولة الموزعة فوق الكعب:

$$q_2 = 0.6 \times 2.4 + 1.84 (7.9 + 0.25) = 16.44 \text{ t / m}^2$$

◀ معادلة القوى الموزعة بالنسبة لقدم الجدار:

$$\begin{aligned} q_x &= 21.4 - 1.44 - \frac{(21.4 - 5.8)}{4.5} x \\ &= 19.7 - 3.467 x \end{aligned}$$

تقدر  $x$  بالأمتار.

◀ معادلة القوى القاصة بالنسبة لقدم الجدار:

$$Q_x = \int q_x dx = 19.7x - 3.467 \frac{x^2}{2}$$

$$= 19.7x - 1.734x^2$$

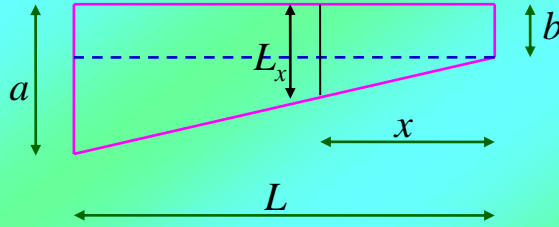
◀ معادلة العزم بالنسبة لقدم الجدار:

$$M_x = \int Q_x dx = 19.7 \frac{x^2}{2} - 1.734 \frac{x^3}{3}$$

$$= 9.85x^2 - 0.578x^3$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية القدم نضع ( $x = 1m$ )

تحسب معادلة القوى الموزعة للكعب كما يلي:



الشكل (22)

$$L_x = b + \frac{(a-b)}{L}x$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية الكعب نضع ( $x = 2.75m$ )

$$Q_{(x=2.75m)} = 16.04t \quad , \quad M_{(x=2.75m)} = 28.1tm$$

- حساب الإجهادات القاصة عند الكعب:

$$d = 60 - 10 = 50cm$$

$$\tau = \frac{16.04}{1 \times 0.5} = 32.08t/m^2 = 3.21Kg/cm^2$$

$$\bar{\tau} = 0.55 \sqrt{f'_c} > 3.21 \quad \underline{\underline{ok}}$$

## ♦ تصميم المقاطع البيتونية لقاعدة الجدار:

1- المقطع الواقع عند نهاية القدم:

$$M = 9.27 \text{ tm}$$

أبعاد المقطع:  $50 \times 100 \text{ cm}$

$$\omega_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 9.27 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.04$$

من الجداول الملحقة بالمحاضرة نجد:

$$\omega_b = 0.119 , \gamma_z = 0.913$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.913 \times 1400 \times 50} = 14.5 \text{ cm}^2$$

التحقق من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma'_c = \frac{M}{\omega_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.119 \times 100 \times 50^2} = 31.2$$

$$\bar{\sigma}'_c = 0.4 f'_c = 0.4 \times 200 = 80 > 31.2 \text{ Kg / cm}^2 \quad \underline{\underline{ok}}$$

2- المقطع الواقع عند نهاية الكعب:

$$M = 28.1 \text{ tm}$$

أبعاد المقطع:  $50 \times 100 \text{ cm}$

$$\omega_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 28.1 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.12$$

$$\Rightarrow \omega_b = 0.177 , \gamma_z = 0.864$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.864 \times 1400 \times 50} = 46.5 \text{ cm}^2$$



التحقق من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma'_c = \frac{M}{\omega_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.177 \times 100 \times 50^2} = 63.2$$

$$\Rightarrow \sigma'_c = 63.2 < \bar{\sigma}'_c = 80 \quad \underline{\underline{ok}}$$

♦ تصميم المقاطع البيتونية للجذع:

بإهمال المركبة الشاقولية  $P_v$  والوزن الذاتي للجدار ، نكتب معادلات الحمولة الموزعة والقص والعزم عند أي نقطة من الجذع بالشكل التالي:  
شدة الحمولة الموزعة:

$$q_h = \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos \beta$$

$$Q_h = \int_0^H q_h \cdot dh = \int_0^H \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot dh$$

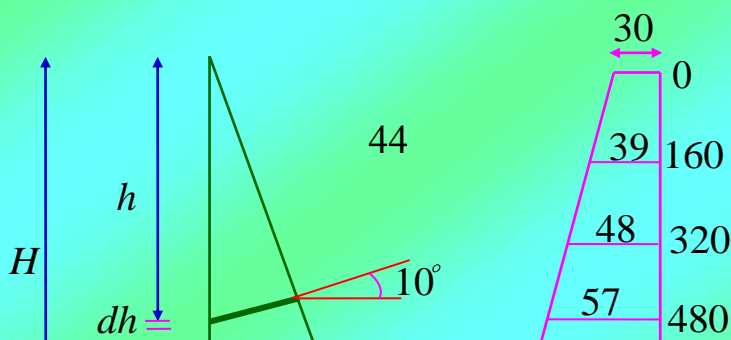
$$M_h = \int_0^H Q_h = \int_0^H \gamma \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot \frac{h^2}{2}$$

$$M_h = \gamma \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot \frac{h^3}{6} \Big|_0^H$$

$$K_a = 0.29 , \cos 10 = 0.99 , \gamma = 1.844 \text{ t / m}^3$$

$$\Rightarrow M_h = 0.088 h^3$$

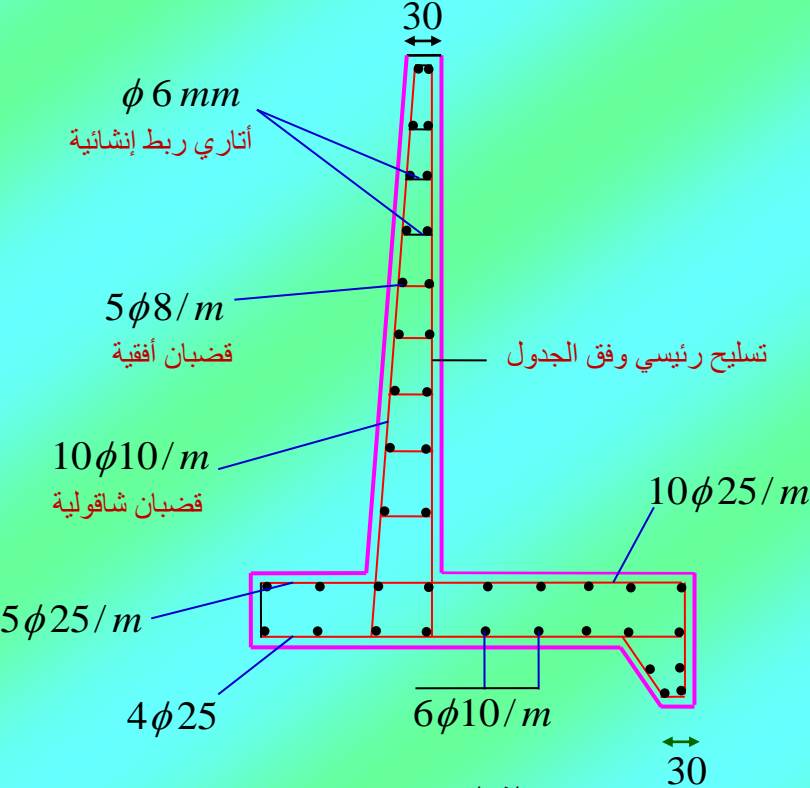
ثم ننظم النتائج في جدول ، حيث يتم حساب التسليح على مختلف الارتفاعات والتأكد من الإجهادات في البيتون.



h (cm)	M (t.m)	b (cm)	d (cm)	W <sub>a</sub>	W <sub>b</sub>	z	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_c$
0	-	30					تسليح إنشائي	
160	0.361	39	32				تسليح إنشائي	
320	2.885	48	40	0.019	0.087	0.938	تسليح إنشائي	20.8
480	9.737	57	47	0.047	0.125	0.908	16.3	35.3
640	23.1	66	56	0.079	0.151	0.886	33.3	48.8
800	45.1	75	65	0.114	0.173	0.867	57.2	61.7

تعطى نسبة التسليح الدنيا مقطع ما من البلاطة الشاقولية بالعلاقة التالية:

$$\mu = 0.025 \cdot b \cdot d$$



الشكل ( 24 )