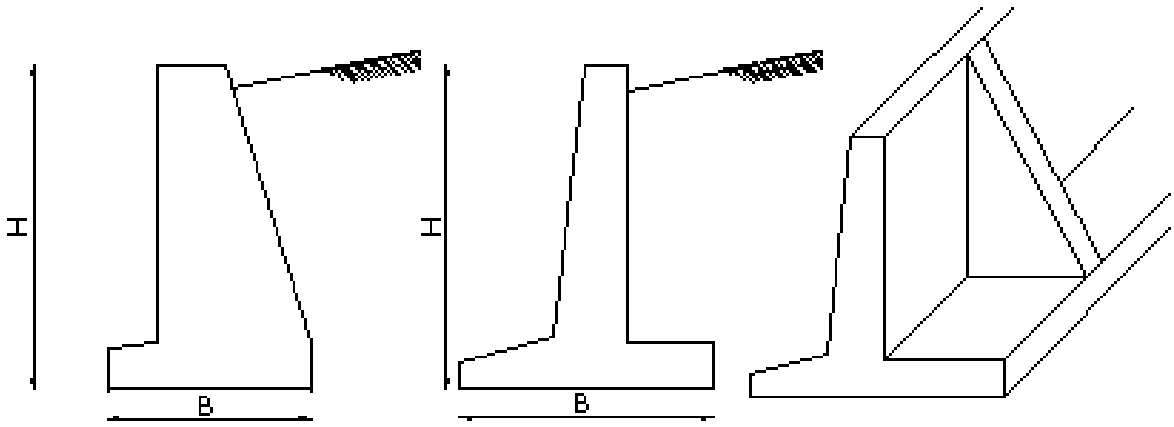


## الجدران الإستنادية

الجدران الإستنادية هي عناصر إنشائية وظيفتها حجز التربة خلفها والمحافظة على فرق المنسوب بين سطحي التربة أمامها وخلفها ، ومنعها من الانهيار كما أنها تستعمل كحاجز ضد الماء على ضفاف الأنهار بالإضافة إلى استخدامها على طول مناطق الحفر والردم عند تنفيذ الأتوسترادات ، وقد تصادف أشكال متعددة للجدران الإستنادية تبعاً لطبيعة الموقع ولطبيعة المواد المستخدمة في إنشائها حيث تدعى النقطة (b) كعب الجدار ، والنقطة (a) قدم الجدار.



### أنواع الجدران الإستنادية :

#### ١. الجدران الثقيلة (الكتلية) :

وتستخدم عادة للارتفاعات الصغيرة حيث تنفذ من البيتون العادي أو المغموس وقد تنفذ من الحجارة فقط ولكن بشرط عدم حدوث إجهادات شادة في أجزاء منها ويستخدم هذا النوع عندما تكون الردمية ذات مواصفات جيدة ، وتعتمد في توازنها على وزنها الذاتي ويكون سطحها ذو ميل كبير نسبياً  $\left(\frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{5}\right)$  .

#### ٢. الجدران نصف الثقيلة :

تمتاز عن الجدران الثقيلة باستخدام كمية قليلة من التسليح وذلك لإنقاص كمية البيتون المستخدم .

#### ٣. الجدران الطفرية :

وهي على شكل تيه مقلوب حيث يعمل كل جزء من الجدار كظفر وتبنى عادةً من البيتون المسلح وهي أكثر الأنواع استخداماً للارتفاعات المتوسطة  $m(5-10)$  .

#### ٤. الجدران المدعمة :

حيث ترتكز بلاطة الجذع وبلاطة الكعب بشكل أفقي على دعائم شاقولية وهي أكثر ما تستخدم للارتفاعات أكبر من  $(10m)$  .

## ٥. الجدران المشدودة من الخلف :

وذلك بواسطة شدادات مثبتة في التربة القاسية نوعاً ما.

## ٦. جدران التدعيم :

وتستخدم عند إنشاء بعض الحفر الكبيرة وهي عبارة عن مجموعة عناصر مسبقة الصنع

، ويجب ألا تحمل جدران التدعيم بأي حمولة عدا حمولة التربة المألثة لها فقط.

## دفع التربة على الجدران الإستنادية

يتعلق مقدار وتوزيع دفع التربة على الجدران الإستنادية بشكل كبير على التشوه الجانبي

النسبي للتربة وراء المنشأة. ومن الضروري أن يكون لدينا معرفة واضحة لهذه العلاقة

النسبية لكي نحسب دفع التربة بشكل دقيق

وهنا ثلاثة أنواع لدفع التربة :

١. دفع التربة في الراحة .

٢. دفع التربة الفعلي .

٣. دفع التربة العكسي .

## أولاً : دفع التربة عند الراحة :

وجد أن دفع التربة عند الراحة يحصل عندما يكون الجدار قاسياً وصلباً ولا يتمكن من الانتقال

أو الدوران كما هو الحال في أجزاء الجدران المطمورة تحت الأرض ، وفي الجدران الضخمة

للأحواض والخزانات الأرضية .

• لقد حاول الكثير من الباحثين تحديد قيمة لعامل الدفع عند الراحة  $K_0$  بدقة وهذا ما

توصل إليه العالم Rowe حيث اقترح الصيغة :

$$K_0 = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

ولقد اقترح Jaky صيغة أخرى :

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

وأعطوا علماء آخرين صيغة أخرى للترب الرملية وهي :

$$K_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi}$$

ويمكن حساب  $K_0$  من خلال قيم  $\mu$  حيث :

$$K_0 = \frac{\mu}{1 + \mu}$$

## ثانياً : دفع التربة الفعلي والعكسي :

• (أ) حسب رانكين :

استنتج رانكين الضغوط الجانبية في كتلة التربة مفترضاً أنها في حالة توازن لدن وافترض

أن الإجهادات على السطح الفاصل بين الردم والجدار مشابهة لحالة الإجهادات ضمن كتلة

التربة البعيدة عن الجدار .

أي أن وجود الجدار لا يغير من حالة الإجهادات في المنطقة المجاورة له ، ولكي نقتنع بهذه الحالة نفرض فقط جدار شاقولي أملس ( بدون احتكاك أو التصاق على السطح البيني للجدار مع التربة ) ويحجز تربة غير متماسكة وذو سطح أفقي للردم .  
 بشكل عام تكون الأخطار قليلة عند حساب الدفع الفعلي وتكون لصالح الأمان حيث أنه يكون مقدراً بأكثر مما هو عليه ، وأما الخطأ الناتج عن إهمال الاحتكاك في حالة الدفع العكسي يمكن أن يكون كبيراً والدفع العكسي مقدراً أقل مما هو عليه .  
 وتعتمد نظرية رانكين على بعض الفرضيات وهي :

١. التربة جافة ومفككة ومتجانسة الخواص .
٢. سطح الردمية مستقيم أو ذو ميل ثابت دون تعرجات .
٣. سطح الجدار شاقولي ، ويتحرك الجدار حول القاعدة محققاً حالة التوازن اللدن .
٤. الاحتكاك بين التربة و الجدار مهمل ( الجدار أملس أو صقيل ) .

#### أولاً : الدفع الفعلي

فعند انتقال الجدار مبتعداً عن التربة أو دورانها مبتعداً عن التربة وإذا ما بلغت قيمة الإزاحة قيمة محددة بحيث تتشكل حالة التوازن اللدن وبذلك يتشكل في التربة مستويات انزلاق تميل عن الأفق بزاوية  $\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$  وعلية فإن دفع التربة يصل لقيمته الصغرى ويسمى دفع التربة الفعال وذلك في حالة الترب المفككة ويعطى بالعلاقة :

$$P_a = \sigma_h = K_a \cdot \sigma_v \quad ; \quad \sigma_v = \gamma \cdot H \Rightarrow \quad P_a = K_a \cdot \gamma \cdot H$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \text{معامل دفع التربة الفعال}$$

وتؤثر محصلة الدفع الفعلي على بعد  $\frac{H}{3}$  فوق قاعدة الجدار أما في حالة الترب المتماسكة فعبر ترزاكي عنة بالعلاقة :

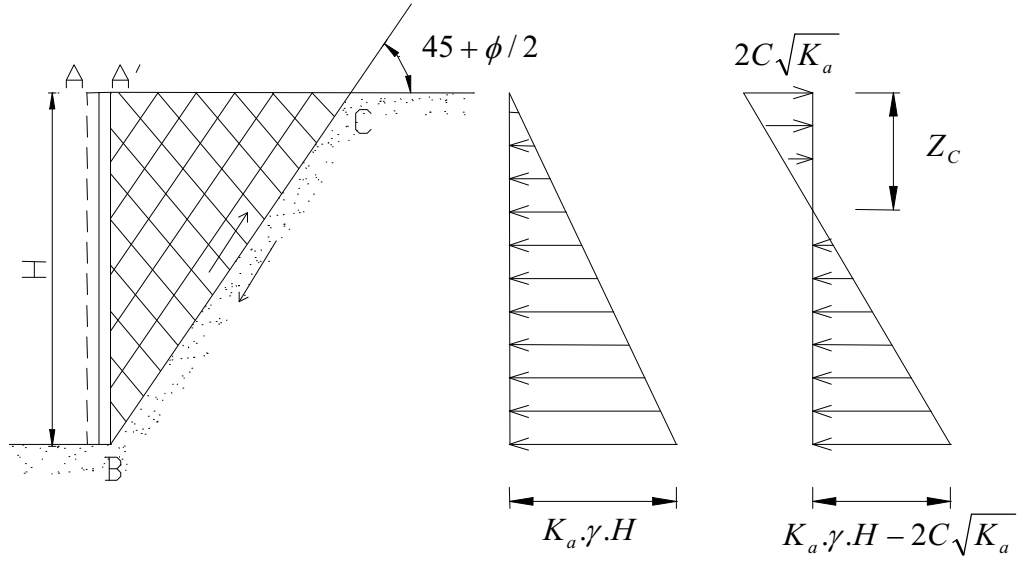
$$P_a = K_a \cdot Z \cdot \gamma \cdot -2C \cdot \sqrt{K_a}$$

و ينعدم الدفع الفعلي عند العمق

$$Z_a = \frac{2C}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}}$$

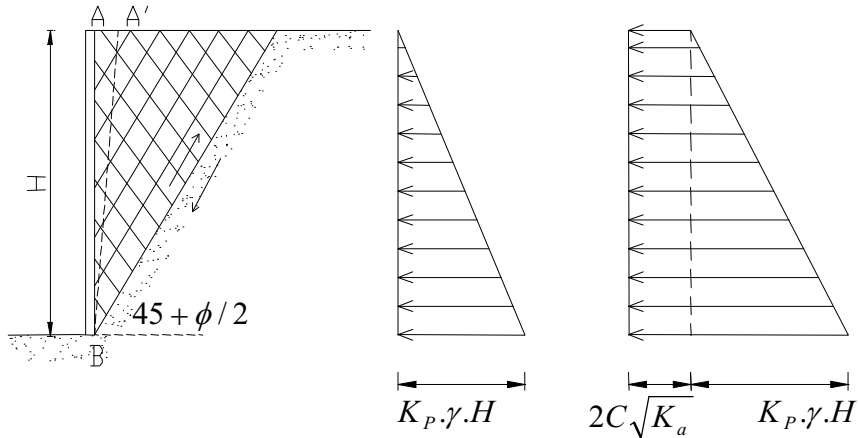
ويهمل الجزء فوق المنطقة (C)

- ونلاحظ أن التربة المتماسكة تعطي دفع أقل من التربة المفككة .



### ثانياً : الدفع العكسي:

في هذه الحالة يتوافق انتقال أو دوران الجدار باتجاه التربة وذلك كما في الشكل :



### • (ب) حسب نظرية كولومب:

إن الاحتكاك الناتج من خشونة الجدار الإستنادي يولد إجهادات قص تتوقف شدتها على طبيعة السطح المشترك ودرجة الانتقالات النسبية للجدار ، حيث أن هذه نظرية الاحتكاك بين التربة المردومة والجدار بعين الاعتبار .  
وقد درس كولومب استقرار التربة المحدودة بموشور انهيار مفترض على طول سطح الانزلاق لحظة حركة الجدار وذلك من خلال القوى المؤثرة على هذا الموشور عندما يكون على وشك الانزلاق .

### فرضيات كولومب :

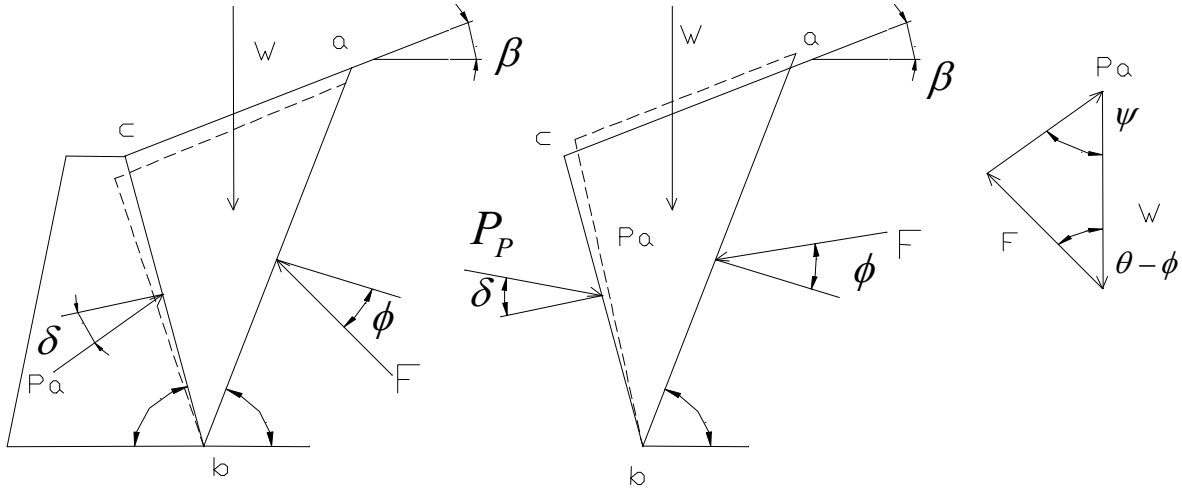
١. التربة مفككة ومتجانسة ومتماثلة الخواص .
٢. تخضع التربة لقانون كولومب .

٣. سطح الانهيار مستوي ويمر من قدم الجدار والتربة على طول هذا السطح بحالة توازن لدن .

فإذا رمزنا للاحتكاك بين التربة والجدار بالرمز  $\delta$

**في حالة الدفع الفعلي** : هنا  $\delta$  تكون موجبة عندما ينزاح الجدار نحو الأمام مبتعداً عن التربة أي تتحرك التربة نحو الأسفل .

**أما في حالة الدفع العكسي** : هنا  $\delta$  سالبة أي عندما ينزاح الجدار باتجاه التربة أي تتحرك التربة نحو الأعلى.



وينتج الضغط الجانبي على الجدار من تأثير التربة الواقعة ضمن الموشور المحدد بالمستوي  $ab$  والذي يميل بزاوية  $\theta$  عن الأفق .  
وبالتالي موشور الانهيار  $abc$  وكذلك التربة المجاورة تتوازن تحت تأثير وزن موشور الانهيار  $W$  ومحصلة الضغط الجانبي  $P$  ورد فعل التربة الأصلية مع موشور الانهيار ( $F$ ) وبذلك نشكل مثلث القوى كما هو أعلاه .

$$E_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot K_a$$

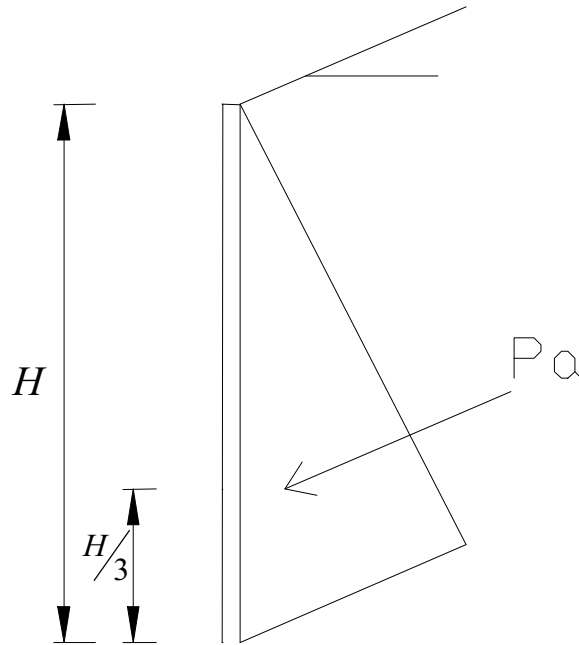
$$E_p = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot K_p$$

$$K_p = \frac{\sin(\alpha \pm \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha \mp \delta) \cdot \left[ 1 \pm \left( \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi \mp \beta)}{\sin(\alpha \mp \delta) \cdot \sin(\alpha \mp \beta)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}$$

سندرس عدة حالات والتي تصادفنا أثناء الدراسة :

١. **حالة ميل سطح الردمية بزاوية  $\alpha$**  :

في هذه الحالة مخطط الدفع كما هو بالشكل المجاور ، ويعطى عامل دفع التربة بالعلاقة :



\* عامل الدفع الفعال :

$$K_a = \cos \alpha \cdot \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi}}$$

\* عامل الدفع العكسي :

$$K_p = \cos \alpha \cdot \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi}}$$

**شدتها**

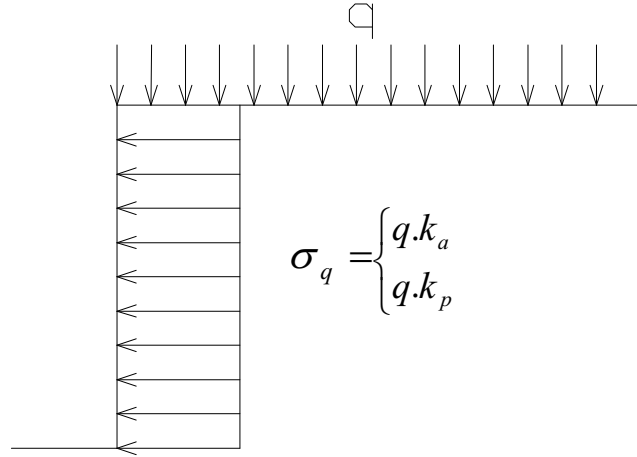
**٢. تأثير حمولة موزعة بانتظام**

(q) :

هنا يتم الحساب بتبديل الحمولة الإضافية بطبقة مكافئة ارتفاعها  $\frac{q}{\gamma}$  أو حسب الصيغة :

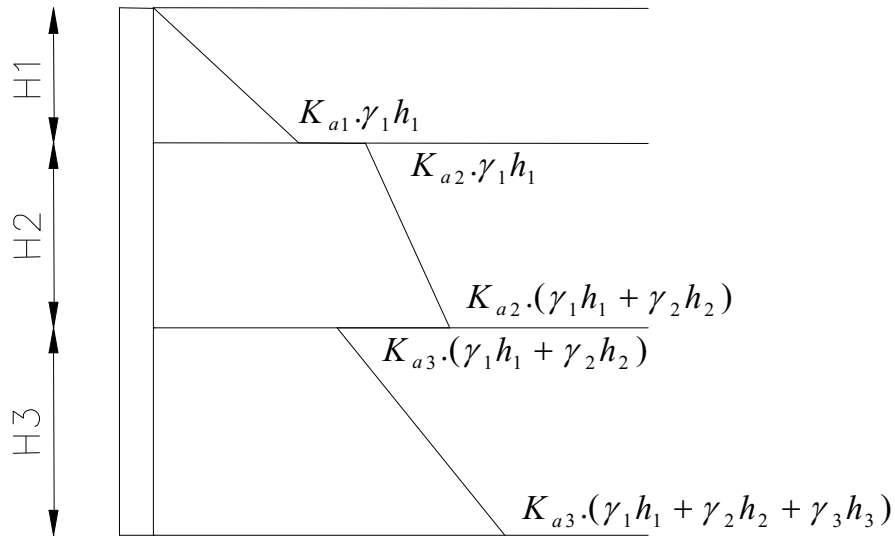
$$P_p = q \cdot K_p \quad , \quad P_0 = q \cdot K_0$$

$$P_a = q \cdot K_a$$



### ٣. حالة تغير الطبقات :

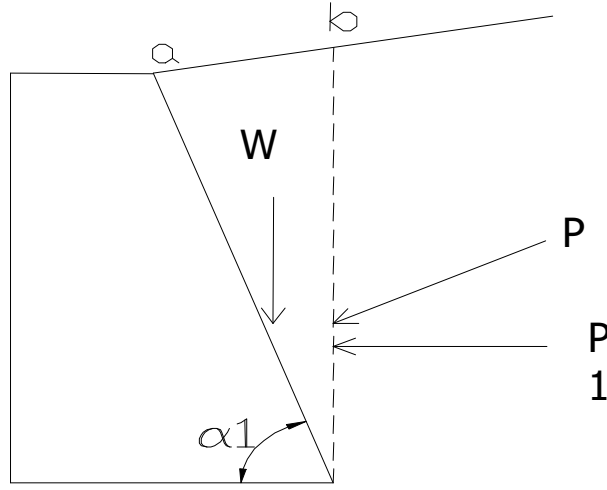
هنا الإجهاد يتغير بشكل مفاجئ بين الطبقات حيث تستخدم  $K_a$ ,  $\gamma$  الخاصة بكل طبقة ، وكذلك فإن وزن التربة المتوضعه فوقها تعتبر كحمولة زائدة ويبين الشكل مخطط لذلك .



### ٤. حالة جدار مائل :

بما أن رانكين اعتبر سطح الجدار شاقولي ، وإذا كان السطح مائلاً نفرض مرور مستقيم خلفي شاقولي وهي عبر الكعب .

$P$  المحصلة للقوتين  $(W, P_1)$  حيث أن  $W$  وزن المثلث  $abc$

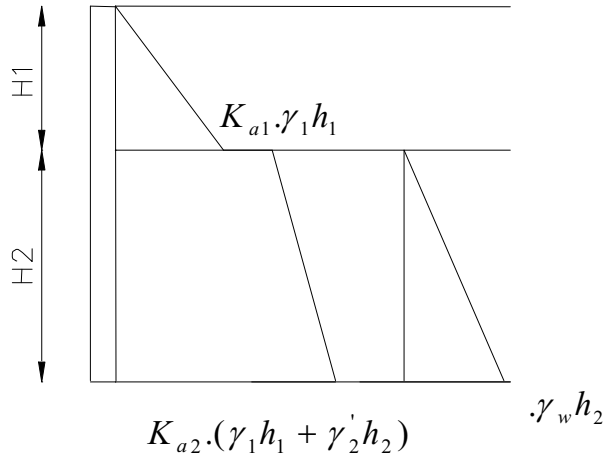


٥. حالة وجود مياه جوفية :

إذا وجد في التربة خلف الجدار مياه فهو يؤثر بضغط حسب العلاقة :

$$P_w = \gamma_w \cdot h$$

$h$  عمق النقطة المدروسة.



## دراسة ثبات واستقرار الجدران الإستنادية

من أجل دراسة استقرار الجدار الإستنادي يجب أن نحقق ما يلي :

١. الانقلاب.
٢. الانزلاق.
٣. الإجهادات الناتجة أصغر من المسموحة .
٤. الهبوطات الناتجة أصغر من المسموحة .

أولاً: تحقيق الجدار على الانقلاب :

يوجد اعتبارين للتحقيق على الانقلاب :

١. يجب ألا يدور الجدار حول نقطة الانقلاب (0).

٢. يجب ألا يكون الدوران ( العزم ) قوياً كي لا يؤدي إلى وجود منطقة يكون فيها الدفع معدوماً بين قاعدة الجدار والتربة قرب الكعب ، من الأفضل المحافظة على دفع فعلي يضغط على القاعدة بكاملها . ولتحقيق ذلك فإن المحصلة  $R$  لكل القوى على الجدار يجب أن تقع ضمن ثلث القاعدة الوسطي أي اللامركزية ( $e$ ) يجب ألا تتجاوز  $\left(\frac{B}{6}\right)$  .

## مراحل التصميم :

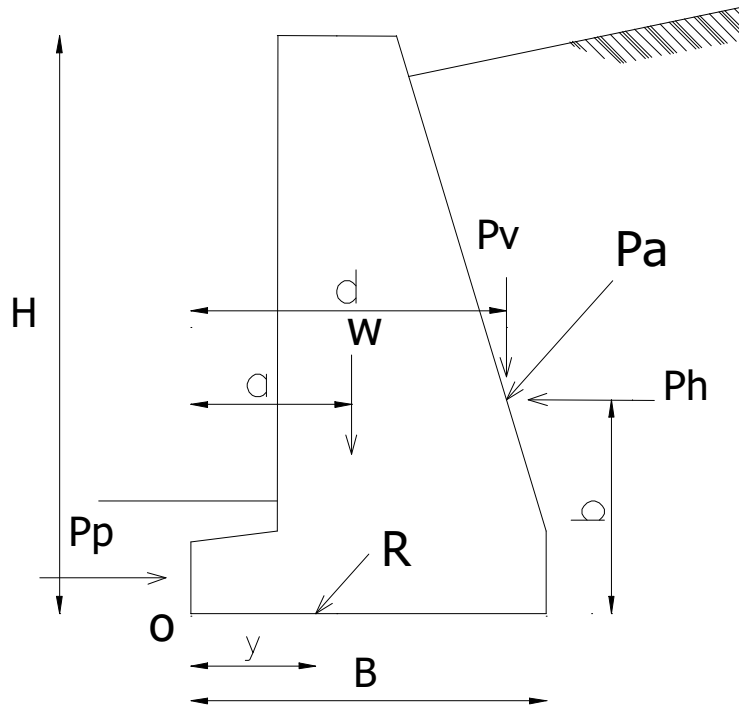
حساب القوى المؤثرة على الجدار وإيجاد موقع المحصلة  $R$  .

نأخذ العزم حول نقطة الانقلاب ( الكعب ) .

نهمل تأثير التربة أمام الجدار في تحقيق الثبات أي نهمل تأثير الدفع العكسي

$P_p = 0$  أي نغرض أن  $P_p$

حيث تسعى المحمولات المختلفة على الجدار ( دفع تربة - دفع الحمولات الأخرى ) إلى قلب الجدار حول قدمه ، بينما وزن الجدار ووزن التربة فوق أساس الجدار والمركبة الشاقولية للدفع تحاول تثبيت الجدار ومنعه من الانقلاب .



## عامل الأمان ضد الانقلاب هو :

$$F_S = \frac{\sum M_R}{\sum M_0}$$

حيث  $M_R$  عزوم القوى المثبتة .

$M_0$  عزوم القوى القالبة .

$$F_S = \frac{W \cdot a}{P_h \cdot b - P_v \cdot d} \quad ; \quad Y = \frac{W \cdot a + P_v \cdot d - P_h \cdot b}{W + P_v}$$

فإذا كانت التربة مفككة فإن عامل الأمان ضد الانقلاب  $F_S = 1.5$  .

وإذا كانت التربة متماسكة فإن عامل الأمان ضد الانقلاب  $F_S = 2$  .

**يهمل الدفع العكسي للتربة أمام الجدار في حساب عامل الأمان ضد الانقلاب لأن هذه التربة غير ثابتة وفي الحالة التي تكون سماكة التربة كبيرة عندئذٍ نأخذ الدفع العكسي بعين الاعتبار بعد ضربة بعامل تخفيض مناسب وذلك لأخذ عدة عوامل بعين الاعتبار مثل إمكانية الحفر في المستقبل ، الحت و التعرية ، شقوق الشد في الترب المتماسكة ، التأثيرات الموسمية .**

## ثانياً : تحقيق الجدار على الانزلاق

إن ما يسبب انزلاق الجدار عند مستوي القاعدة هو المركبة الأفقية لدفع التربة الجانبي حيث يحدث الانزلاق إذا تجاوزت إجهادات القص المتولدة في التربة مقاومة القص للتربة . يعرف عامل الأمان ضد الانزلاق بأنه نسبة القوى المثبتة للجدار على القوى الزالقة له

$$F_S = \frac{P_p + S}{P_h} \quad \text{حيث} \quad S = B \cdot C + R \cdot \tan \varphi'$$

$$\varphi' = \left( \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \right) \cdot \varphi$$

$\varphi'$  زاوية احتكاك قاعدة الجدار مع التربة .

$\varphi$  زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

$C$  تماسك التربة مع قاعدة الجدار .

$R$  محصلة القوى .

$f = \tan \phi$  إذا كانت قاعدة الجدار خشنة أو إذا تم تزويد الجدار بسن أسفل القاعدة ،

وفيما يلي بعض القيم لمعامل الاحتكاك :

تربة حجرية خشنة السطح 0.6

تربة بجمية 0.5

تربة رملية 0.45

تربة رملية سلتية 0.35

تربة رملية غضارية 0.3

تربة غضارية 0.2

إن قيمة عامل الأمان ضد الانزلاق هي  $F_s = 1.5$  إذا لم نأخذ قوى الدفع العكسي .

إن قيمة عامل الأمان ضد الانزلاق هي  $F_s = 2$  إذا تم نأخذ قوى الدفع العكسي .

### **\*استخدام السن :**

في الحالة التي لا تسمح أبعاد الجدار بتحقيق شرط الانزلاق عندئذٍ نصمم الجدار سناً في أسفل القاعدة ، وعادة في أسفل الجذع لكي تمتد قضبان تسليح الجذع إلى السن .

في حالة وجود سن فإن فائدة السن في زيادة الدفع العكسي للجدار وهناك مخطط لحساب ارتفاع السن بمعرفة  $\phi$  زاوية الاحتكاك الداخلية والنسبة  $\frac{V}{P}$  وبذلك يكون ارتفاع

$$D = B \cdot \tan \phi \text{ السن}$$

• يفضل وضع السن في نهاية الكعب ، وفي حالة التربة الطرية فإن فائدة السن صغيرة لذلك تكون للسن حواف مائلة  $\frac{1}{1.5}$  .

• تدخل في حساب الاستقرار ضد الانزلاق أصغر القيمتين :

١. مقاومة الضغط السلبي الناتج عن وجود السن .

٢. مقاومة الانزلاق على مستوي الانزلاق المائل .

### **ثالثاً : تحقيق تحمل التربة تحت الجدار :**

تحت تأثير الحمولات التي يخضع لها الجدار فإن قاعدة الجدار تنقل الحمولات إلى تربة التأسيس رد فعل التربة على قاعدة الجدار وبسبب عدم مركزية الحمولات المؤثرة فإن أساس الجدار سيتعرض إلى لا مركزية في التحميل ويشترط أن يكون رد فعل التربة أقل أو يساوي قدرة تحمل التربة المسموح به و باعتبار أساس الجدار صلب .

إن رد فعل التربة على قاعدة الجدار توزعها خطي ويعطى بالصيغة :

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \cdot \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) \leq \sigma_{all}$$

$$q_{\min} = \frac{\sum V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) \geq 0$$

ولتحقيق الشرطان السابقان يجب ألا تتجاوز (e) الثلث المركزي.

**ولحساب قدرة تحمل التربة فمن العلاقات التالية :**

١. حالة تربة مفككة :

$$q_{ult} = 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \left(1 - 0.5 \cdot \frac{H}{V}\right)^2 + \gamma \cdot D \cdot N_{\gamma} \left(1 + 0.1 \cdot \frac{D}{B}\right) \left(1 - 1.5 \frac{H}{V}\right)$$

٢. حالة التربة المتماسكة :

$$q_{ult} = 5 \cdot C \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{D}{B}\right) \left(1 - 1.3 \cdot \frac{H}{V}\right) + \gamma \cdot D$$

كما يمكن حساب قدرة تحمل التربة الحدي من علاقة هانزن :

$$q_{ult} = C \cdot N_C \cdot d_C \cdot i_C + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma}$$

وللحصول على تحمل التربة المسموح وذلك بتقسيم التحمل الحدي على عامل الأمان ويؤخذ حسب نوع التربة .

للتربة المتماسكة  $F = 3$

للتربة المفككة  $F = 2$

$$\sigma_{net}^{ult} = \frac{q_{ult}}{F_S} = (2 - 3)$$

## رابعاً : تحقيق هبوط الجدار

تتبع قيمة الهبوط للإجهاد المنقول إلى التربة ، بشكل عام فالتربة الرملية تهبط أثناء فترة إنشاء الجدار الإستنادي ( هبوط آني ) أما التربة الغضارية فإن هبوطها مع الزمن ويجب أن يحسب الهبوط بإحدى الطرق المعروفة لحساب الهبوط بحيث لا يتجاوز الهبوط المسموح .

- الجدار يتعرض لميلان ناتج عن التحميل المركزي ويزداد عند احتواء تربة التأسيس على تربة قابلة للإنضغاط .

- من الممكن ميل الجدار باتجاه الردمية عند احتواء تربة التأسيس على تربة عالية الإنضغاط لذلك يجب دراسة التربة وإجراء تجربة التشديد ، وعندما يكون الميلان أو الإزاحة أكبر من المسموح نقوم بعدة إجراءات منها :

١. إنقاص ارتفاع الردمية .

٢. استخدام ردميات ذات وزن حتمي خفيف .

٣. استبدال التربة العالية الإنضغاط بتربة محسنة .  
إذا كان الجدار يستند على تربة صخرية فإنه لن يحصل له هبوط .  
عند تغير التربة تحت الجدار فإنه يجب وضع فاصل شاقولي عند كل تغير لتحقيق الهبوط التفاضلي .

### أنواع الجدران الإستنادية الكتلية

يعتمد هذا النوع على كتله من أجل تأمين التوازن ، وينشأ من إحدى المواد التالية :

١. حجر مع مونه .

٢. بيتون مغموس .

٣. بيتون عادي .

### مواصفات الجدار الإستنادي المنشأ من حجر مع مونه :

١. لا يقل الضغط المحصور للحجر عن  $(150 - 200) kg/cm^2$

٢. عيار المونه الإسمنتية  $(250 - 350) kg/m^3$

٣. يتحمل الجدار على الضغط بحدود  $(10 - 20) kg/m^3$  وعلى الشد صفر .

### مواصفات الجدار الإستنادي المنشأ من البيتون المغموس

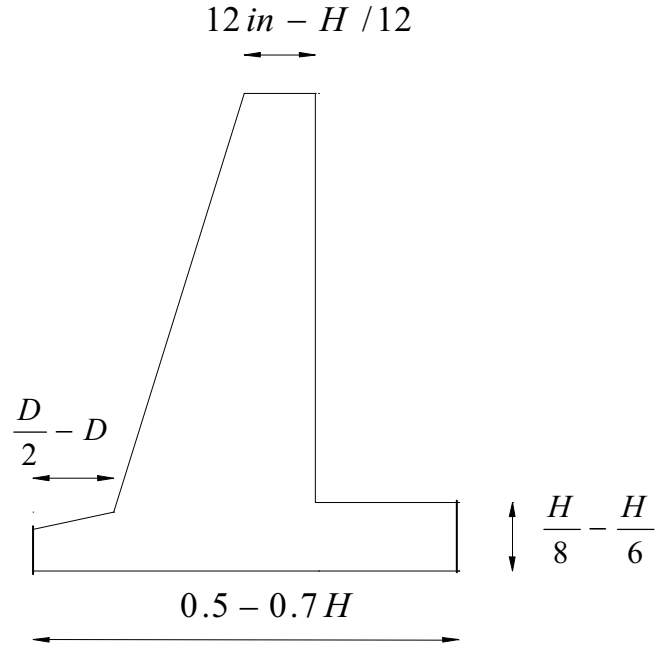
١. يتكون من 2/3 بيتون عادي و 1/3 حجارة مكسرة ولا يزيد أكبر بعد فيها عن (20cm) .

٢. عيار الإسمنت  $(250 - 350) kg/m^3$  .

٣. تحمل الجدار على الضغط بحدود  $(20 - 30) kg/cm^2$  ويفضل عدم تعرضة لإجهادات شد

### تحديد أبعاد الجدران الكتلية الأولية

يمكن فرض الأبعاد حسب الشكل المجاور:



نختار عرض القاعدة بحيث تقع محصلة القوى الشاقولية ضمن النواة المركزية  $\left( e \leq \frac{L}{6} \right)$ .  
 بما أن مقطع الجدار كبير لذلك الإجهادات المتولدة في القاعدة صغيرة .

### حساب القوى المؤثرة على الجدران الكتلية

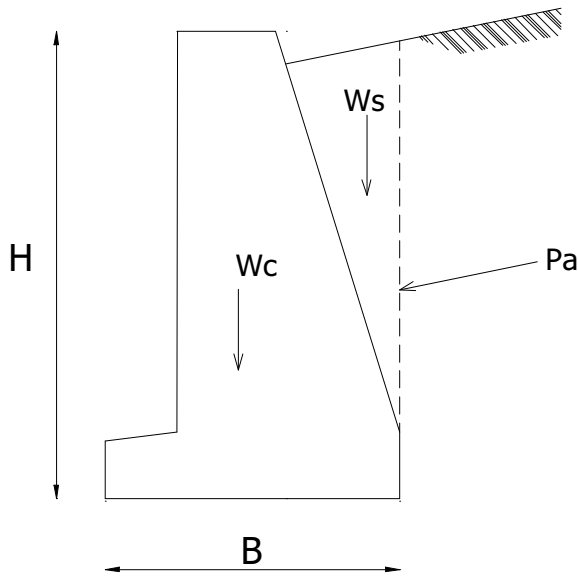
يتم حسابها وفق إحدى النظريتين ( كولومب ، رانكين )

١. **يفترض كولومب** وجود انزلاق أولي على الوجه الخلفي للجدران  $(P_a)$  ضغط التربة

الفعال يصنع زاوية  $\delta$  مع الناظم على سطح الجدار الخلفي حيث  $\delta$  زاوية الاحتكاك بين الجدار والتربة .

$$P_h = P_a \cdot \cos(90 - \alpha + \delta)$$

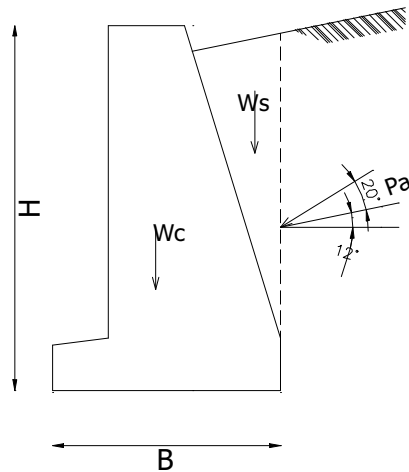
$$P_v = P_a \cdot \sin(90 - \alpha + \delta)$$



٢. **يفترض رانكين** أن الضغط الفعال  $P_a$  يصنع زاوية  $\beta$  مع الأفق وهي زاوية ميل سطح الردم خلف الجدار بالنسبة لمستوي شاقولي مار من القاعدة .

$$= P_a \cdot \cos \beta$$

$$= P_a \cdot \sin \beta$$



## مراحل تصميم الجدران الإستنادية الكتلية

١. فرض أبعاد أولية للجدار .
٢. تحقيق الجدار على الانقلاب و الانزلاق .

• على الانزلاق

$$S \cdot F_{(s)} = \frac{F \cdot \sum V}{\sum H} \geq (1.5 - 2)$$

$$F = tg(2/3 \varphi)$$

معامل الاحتكاك

• مجموع القوى الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .  
 • مجموع القوى الأفقية المؤثرة على الجدار .

$$S \cdot F_0 = \frac{M_r}{M_0} \geq (1.5 - 2)$$

• على الانقلاب

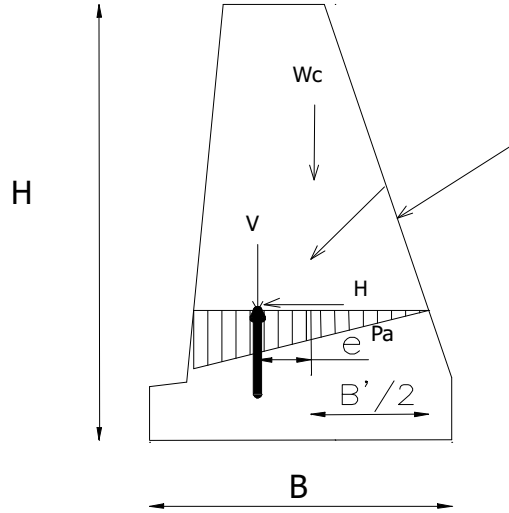
• ٣. تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة بحيث  $\sigma_{max} \leq \sigma_{all}$   
 • ٤. تحقيق الإجهادات القاصة عند مختلف المقاطع :

$$\tau = \frac{P_h}{0.85 \cdot 100 \cdot B} \leq 0.55 \sqrt{f_c}$$

•  $P_h$  القوة الأفقية المؤثرة على المقطع .

•  $\tau$  القص على شريحة بعرض (1m) من الجدار .  
 •  $B$  عرض المقطع .

• ٥. تحقيق الإجهادات الضاغطة عند المقطع  $bc$  :



$$\sigma_{bc} = \frac{V}{100 \cdot B} \cdot \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) \leq 0.4 \cdot f_c$$

•  $V$  المركبة الشاقولية ل  $R$  ( محصلة القوى ) .

$$R = \sqrt{W^2 + P^2}$$

•  $e$  لا مركزية القوى عند المقطع المدروس .

٦. تحقيق الإجهادات الشادة .

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

وأخطر مقطع هو الذي يصل الجذع بالقاعدة ، وتكون الإجهادات المؤثرة في هذا المقطع هي إجهادات قص  $\tau$  وتعطى بالعلاقة :

$$\tau = \frac{H}{B}$$