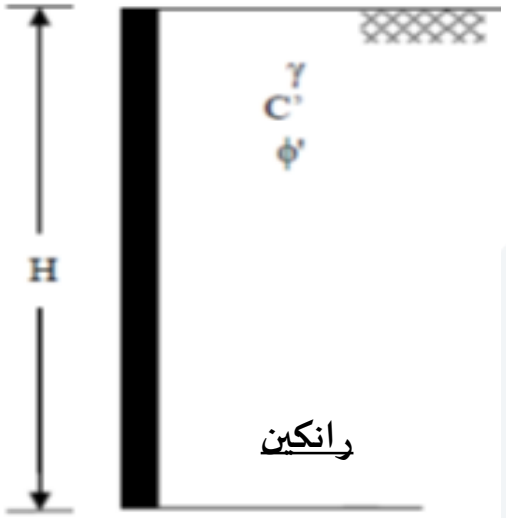
الفصل الخامس :ضغط التربة على المنشآت الساندة

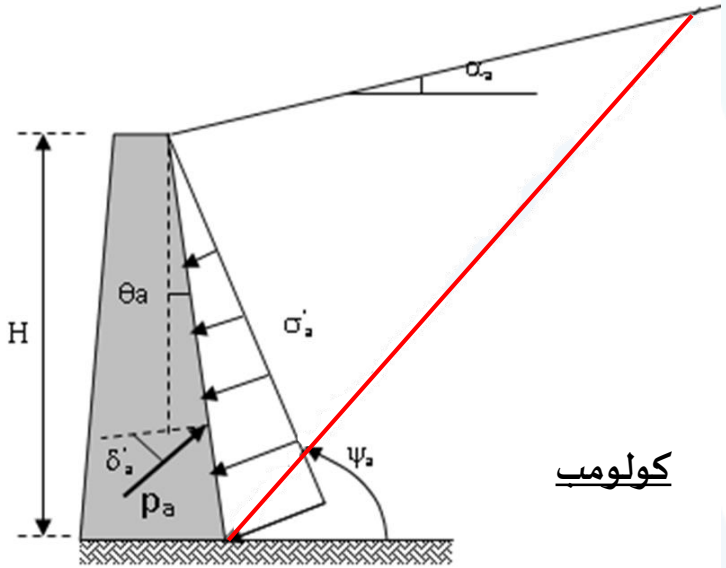
1 .5 نظريات ضغط التربة على الجدران الساندة

كولومب (C.Coulomb) عام /1776/ ، حيث افترض أن أسطح الجدار يمكن أن تكون ملساء أو خشنة وأن التربة تنهار على شكل موشور صلب يميل عن الأفق بزاوية ψ، وقام بتحديد ميل مستوي الانهيار ψ والدفع الجانبي للتربة مستخدماً نظرية كولومب للانهيار للربط بين الاجهادات الناظمية والمماسية على مستوي الانهيار.

رانكين (Rankine)(1857) باقتراح طريقة مبسطة لحساب ضغط التربة الجانبي، معتبراً أن أسطح الجدار ملساء (الاحتكاك معدوم بين التربة و الجدار) والتربة تتلدن نتيجة لقوى الدفع الجانبي، وقد أوجد الدفع الجانبي للتربة اعتمادا على نظرية كولومب للانهيار.

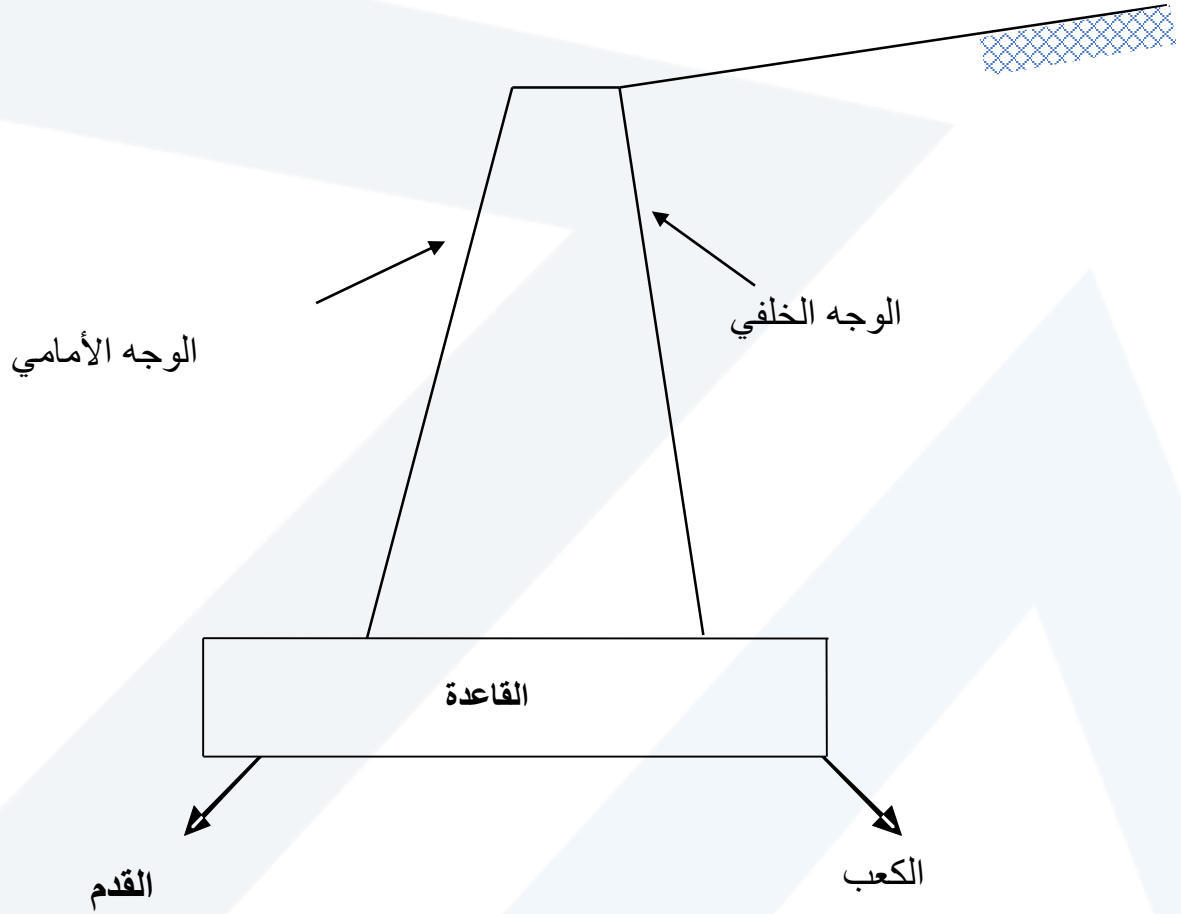


رانكين

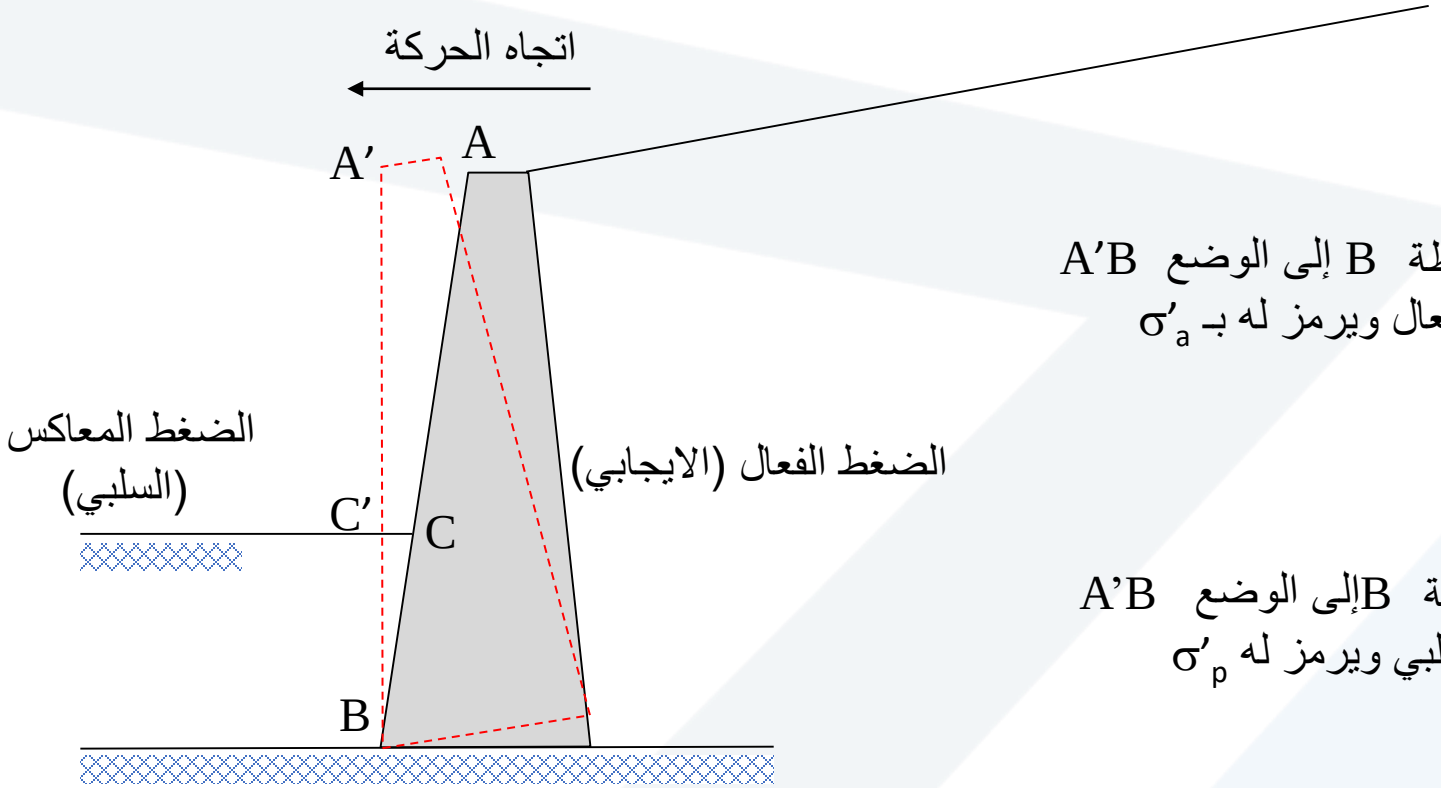


كولومب

2 .5 الجدران الاستنادية



3.5 أنواع ضغوط التربة على الجدران الساندة



الضغط الفعال (الايجابي)

إذا ابتعد الحاجز AB عن التربة أو أنه قد دار حول النقطة B إلى الوضع A'B فإن التربة تطبق على الحاجز ضغطاً يدعى بالضغط الفعال ويرمز له بـ σ'_a

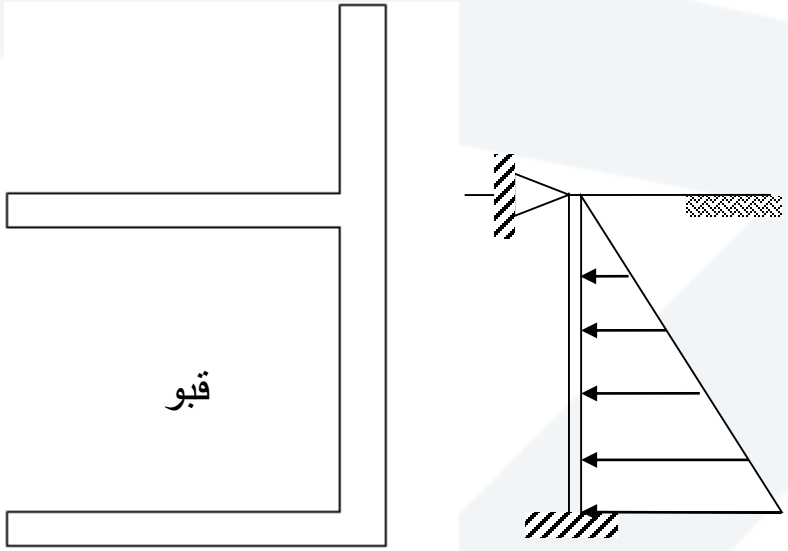
الضغط المعاكس (السلبي)

إذا تحرك الحاجز باتجاه التربة أو أنه قد دار حول النقطة Bإلى الوضع A'B فإن التربة تطبق على الحاجز ضغطاً يدعى بالضغط السلبي ويرمز له σ'_p

الضغط في وضع الراحة (السكون)

إذا منع الجدار من الحركة تماماً سواء باتجاه التربة أو بعكسها فيدعى الدفع الجانبي للتربة بالدفع في وضع الراحة (السكون)

يرمز للضغط في وضع الراحة بـ σ'_o



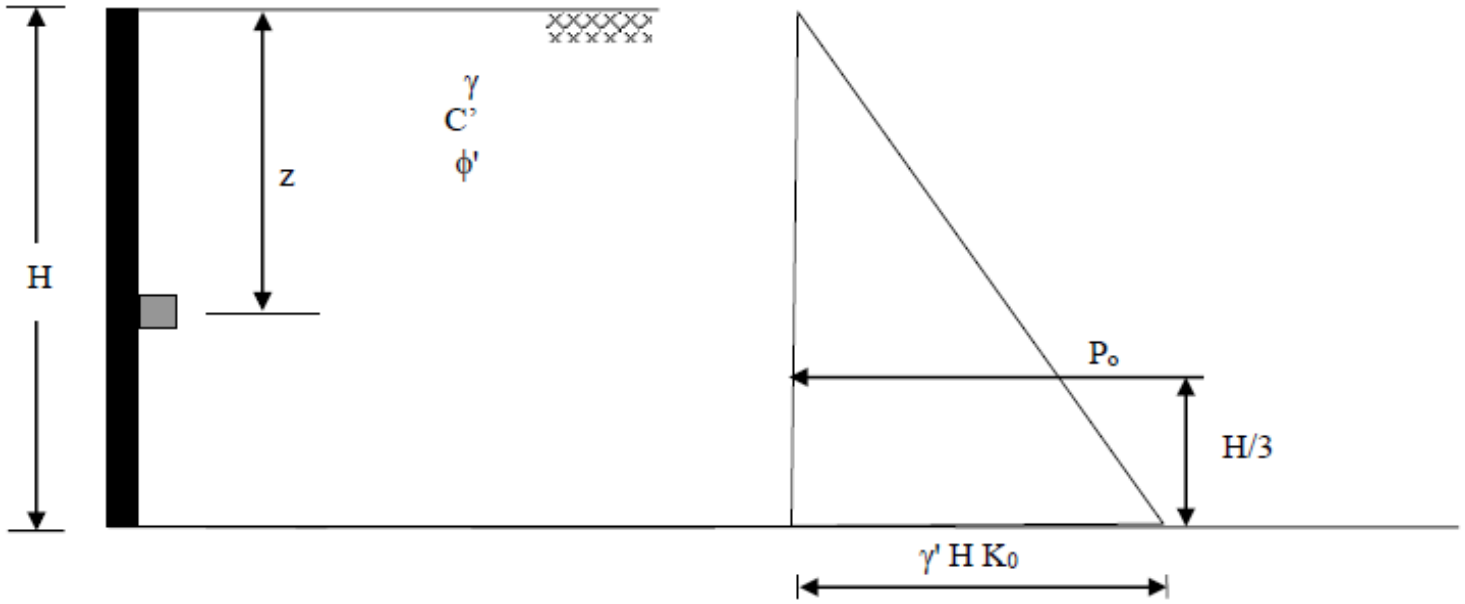
الضغط في وضع الراحة (السكون)

الضغط الفعال هو أصغر أنواع الضغوط الجانبية، يليه الضغط في وضع الراحة ثم الضغط السلبي

$$\sigma'_a < \sigma'_o < \sigma'_p$$

4.5 حساب ضغوط التربة على الجدران الساندة

1.4.5 ضغط التربة في وضع الراحة



$$\sigma'_z = \gamma' . Z$$

$$\sigma'_O = \sigma'_v . K_0 = \gamma' . Z . K_0$$

$$\sigma'_O = \sigma'_v . K_0 = \gamma' . Z . K_0$$

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

$$K_0 = 1 - \sin\phi'$$

حالة وجود مياه جوفية

يعطى الدفع الجانبي الساكن للتربة على العمق $Z=D_w$ بالعلاقة:

$$\sigma'_{O,Dw} = \sigma_O = K_0 \cdot \gamma . D_w$$

ويعطى الدفع الجانبي الساكن للتربة على العمق $Z>D_w$ بالعلاقة:

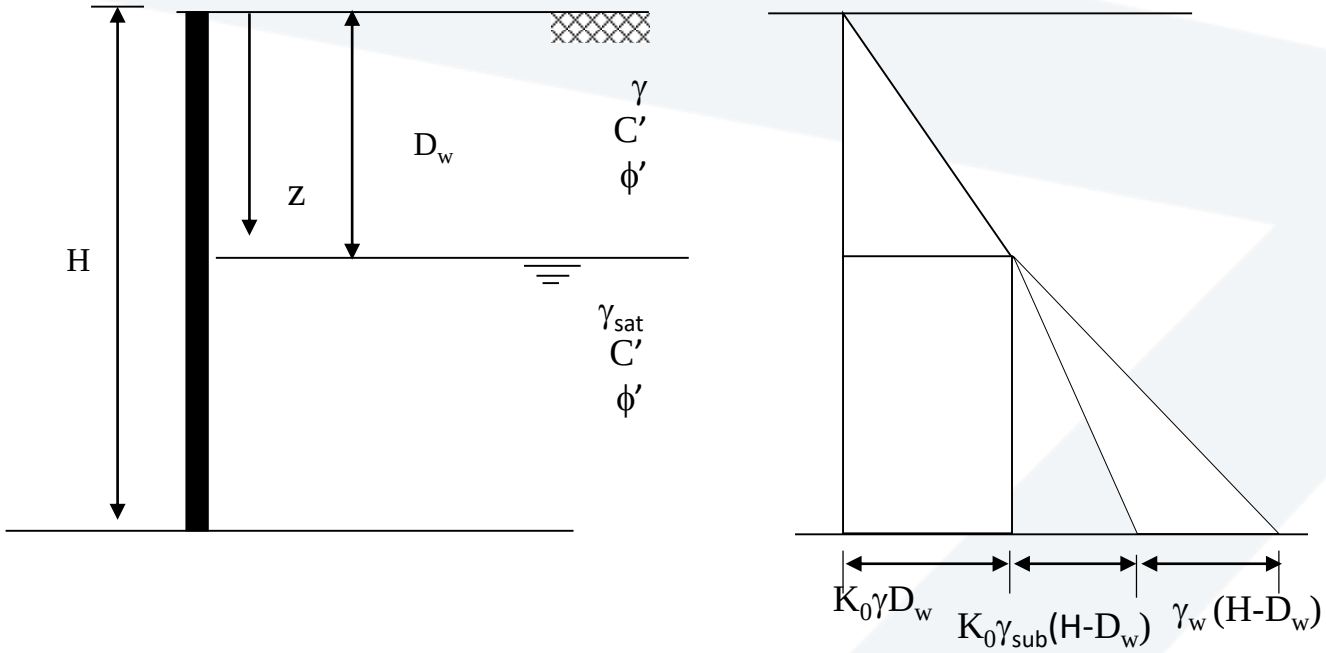
$$\sigma'_{O,Z} = K_0 \left[\gamma . D_w + \gamma_{sub} (Z - D_w)\right]$$

$$u_Z = \gamma_w (Z - D_w)$$

$$\sigma_{O,Z} = \sigma'_O + u = K_0 \left[\gamma . D_w + \gamma_{sub} (Z - D_w)\right] + \gamma_w (Z - D_w)$$

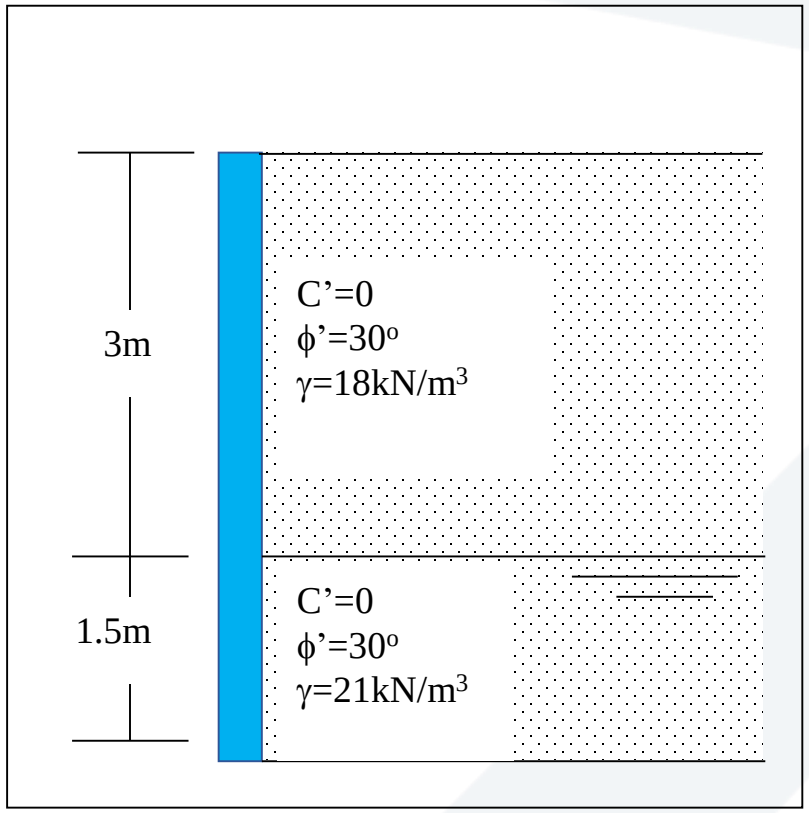
ويكون الدفع الجانبي الكلي أسفل الجدار:

$$\sigma_{O,H} = \sigma'_O + u = K_0 \left[\gamma . D_w + \gamma_{sub} (H - D_w)\right] + \gamma_w (H - D_w)$$

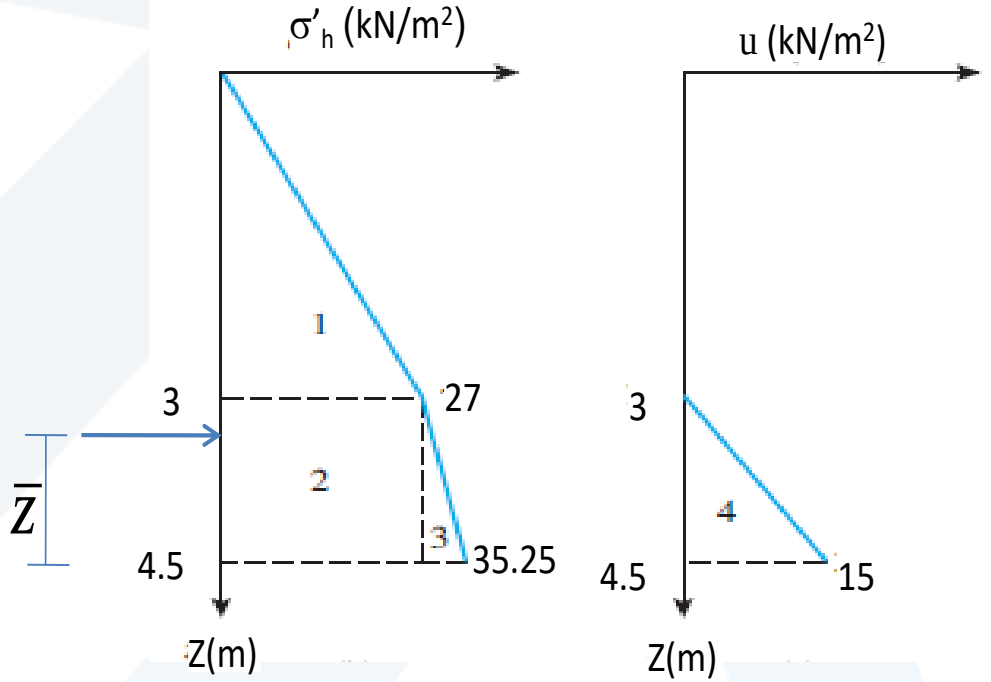


مثال 1

جدار ممنوع من الحركة (جدار قبو) ارتفاعه 4.5m يسند تربة مواصفاتها مبينة بالشكل ومنسوب المياه يقع على عمق 3m من السطح.
احسب دفع التربة على الجدار ومحصلة قوى الدفع.



الحل

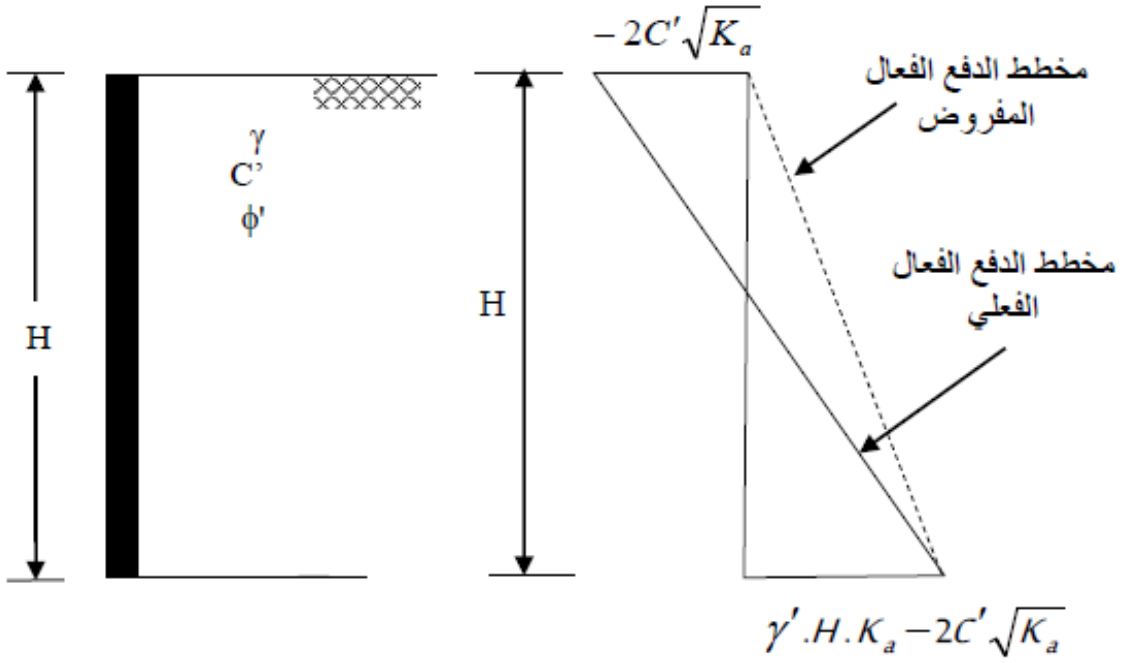


2.4.5 ضغط التربة الفعال والسلبي

لحساب **ضغط التربة الفعال أو ضغط التربة السلبي** نلجأ عادة إلى استخدام إحدى النظريتين الأساسيتين لدفع التربة الجانبي (نظرية رانكين و نظرية كولومب).

نظرية رانكين (RANKINE' S THEORY)

درس رانكين حالة جدار **أوجهه شاقولية وملساء** (أهمل الاحتكاك بين أوجه الجدار والتربة) **وسطح التربة أفقي** وهذا أدى إلى تبسيط المعادلات .



دفع التربة الفعال الفعال لرانكين (Rankine)

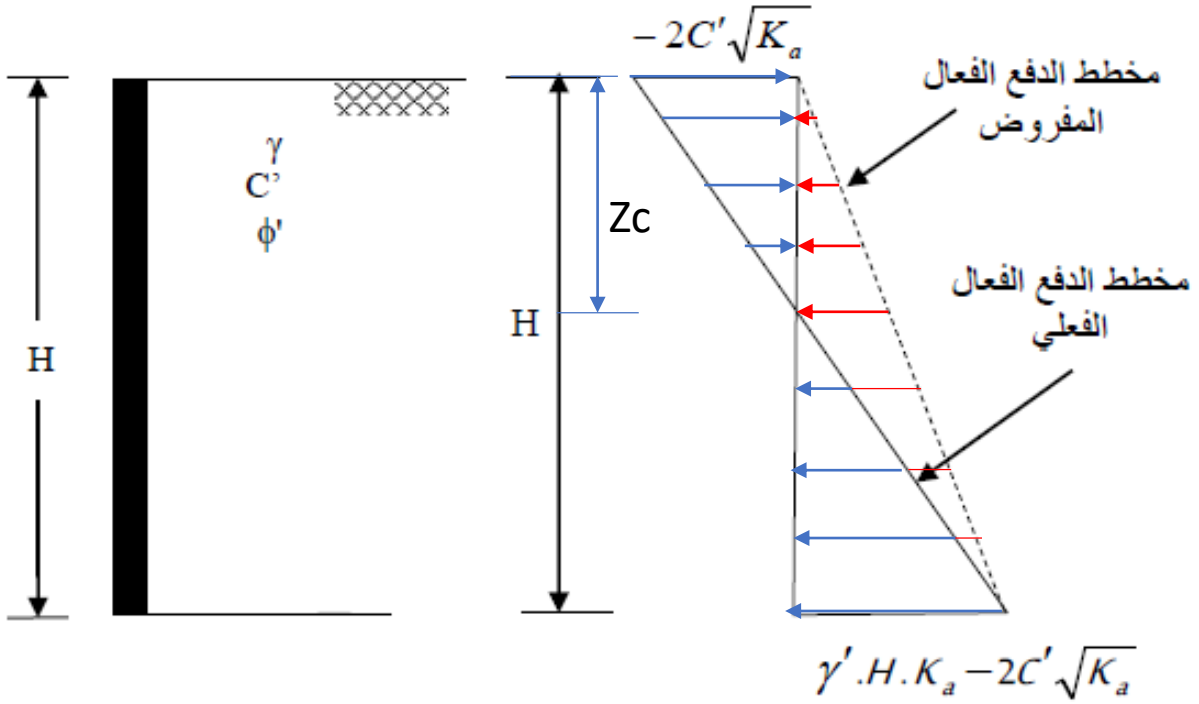
في حالة الترب المتماسكة، يعطى الدفع الفعال بالعلاقة التالية :

$$\sigma'_{a,z}=\gamma' Z K_a-2C'\sqrt{K_a}$$

$$K_a=\tan^2\left(45-\frac{\phi'}{2}\right)$$

$$\sigma'_{a,H}=\gamma' H K_a-2C'\sqrt{K_a}$$

عند سطح التربة يكون الدفع الجانبي سالباً (اجهادات شادة) ويساوي



وكما هو معلوم فإن التربة لا تتحمل اجهادات شادة، ولذلك يتم إما إهمال الاجهادات الشادة حتى العمق $z_c=\frac{2C'}{\gamma\sqrt{K_a}}$ أو يمكن اعتبار الاجهاد يساوي الصفر عند السطح وعند أسفل الجدار يساوي :

$$\sigma'_{a,H}=\gamma' H K_a-2C'\sqrt{K_a}$$

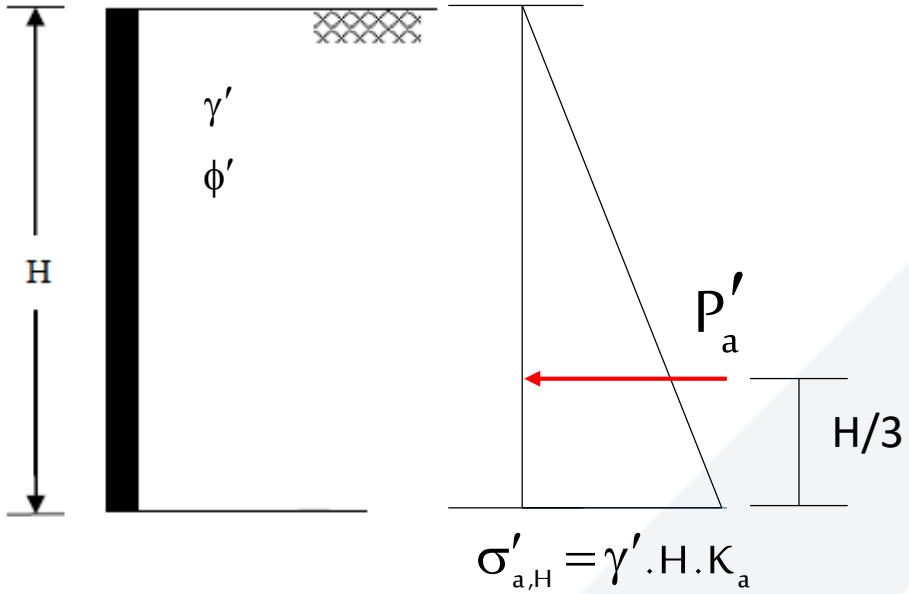
وفي حالة الترب المفككة يكون مخطط الدفع الفعال مثلثي(متزايد مع العمق)، ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\sigma'_{a,z} = \gamma' Z K_a$$

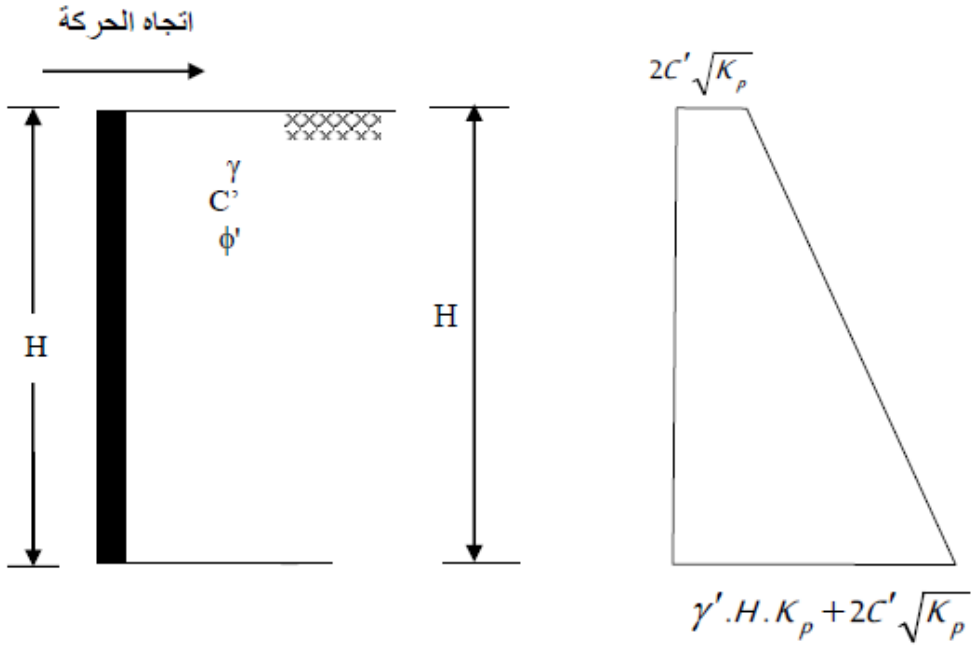
وتكون محصلة الدفع الفعال :

$$P'_a = \frac{\sigma'_{a,H} . H}{2} = \frac{1}{2}\gamma' H^2 K_a$$

وهي قوة أفقية مطبقة على ارتفاع يساوي ثلث ارتفاع الجدار عن القاعدة



دفع التربة السلبي (المعاكس) لرانكين



$$\sigma'_p=\gamma' Z K_p+2C'\sqrt{K_p}$$

$$K_p=\tan^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)$$

$$P'_p=\frac{1}{2}\gamma' H^2 K_p+2C' H\sqrt{K_p}$$

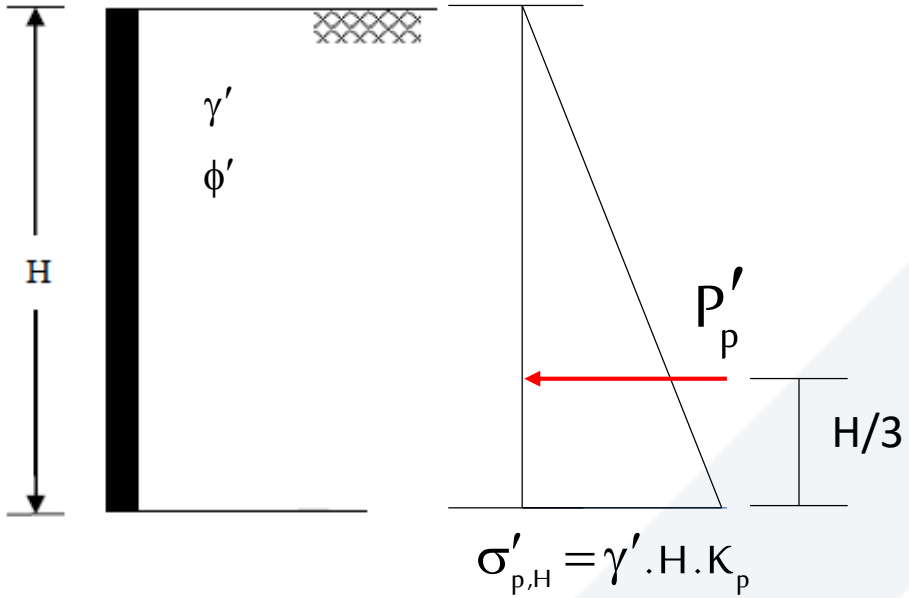
وفي حالة الترب المفككة يكون مخطط الدفع السلبي مثلثي(متزايد مع العمق)، ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\sigma'_{p,z} = \gamma' Z K_p$$

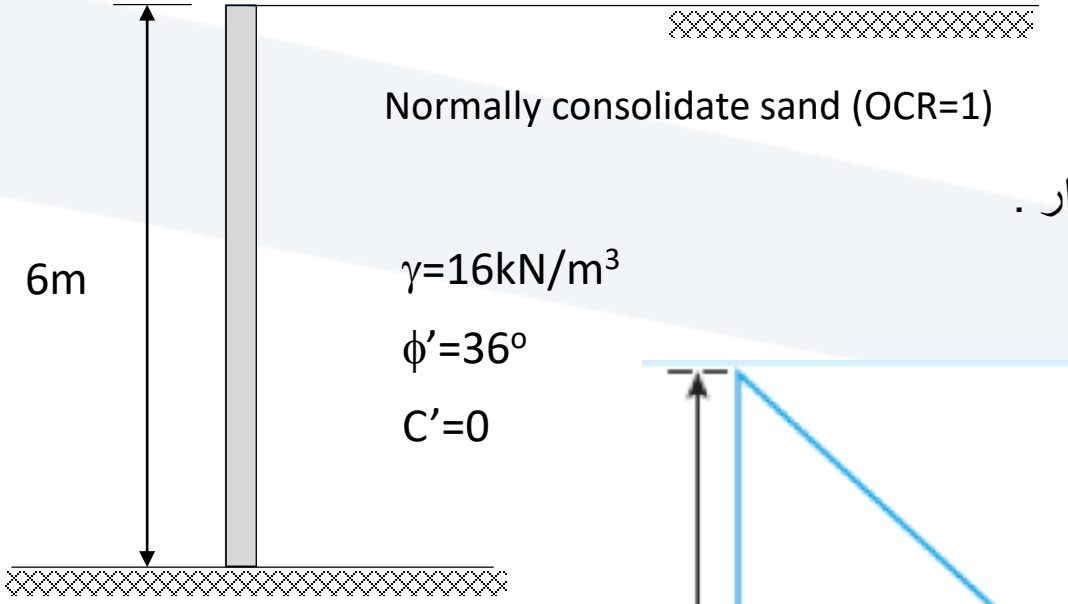
وتكون محصلة الدفع الفعال :

$$P'_p = \frac{\sigma'_{p,H} . H}{2} = \frac{1}{2}\gamma' H^2 K_p$$

وهي قوة أفقية مطبقة على ارتفاع يساوي ثلث ارتفاع الجدار عن القاعدة

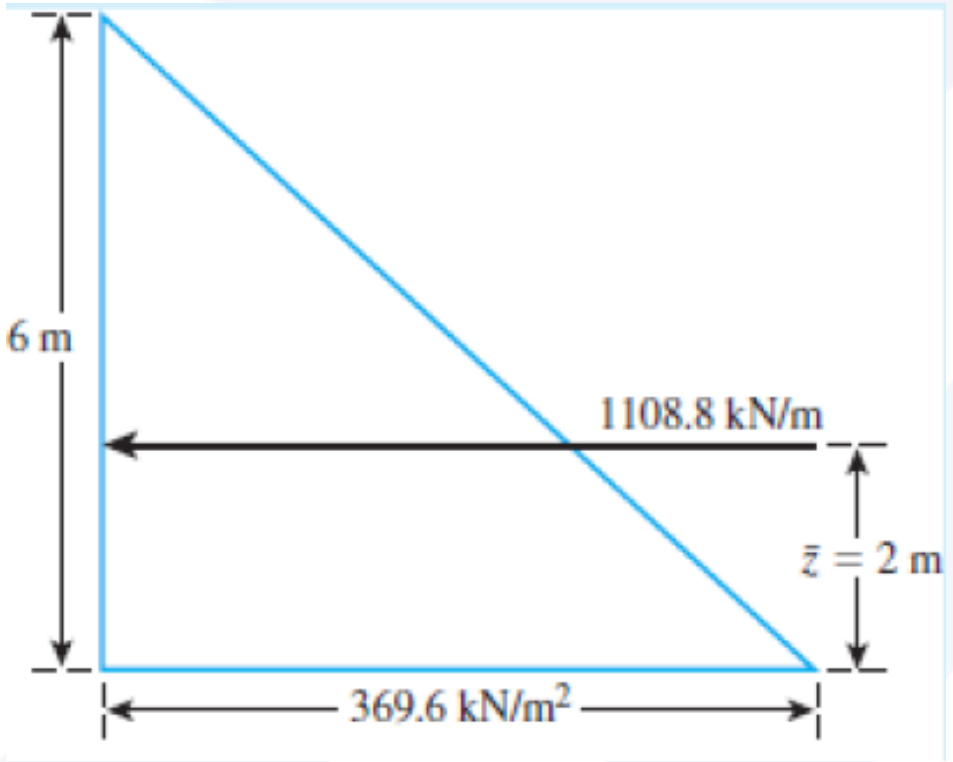


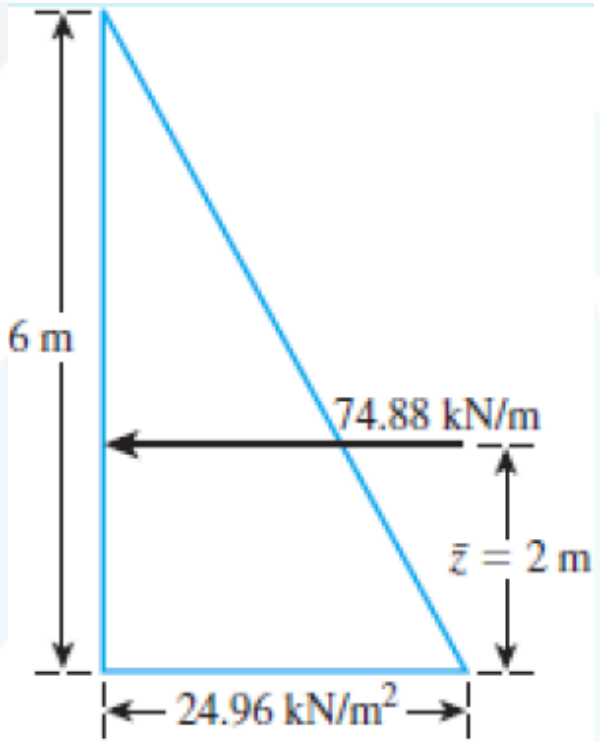
مثال 2



جدار بارتفاع 6m مبين بالشكل المرفق. احسب دفع رانكين الفعال و السلبي على واحدة طول الجدار .

الحل:



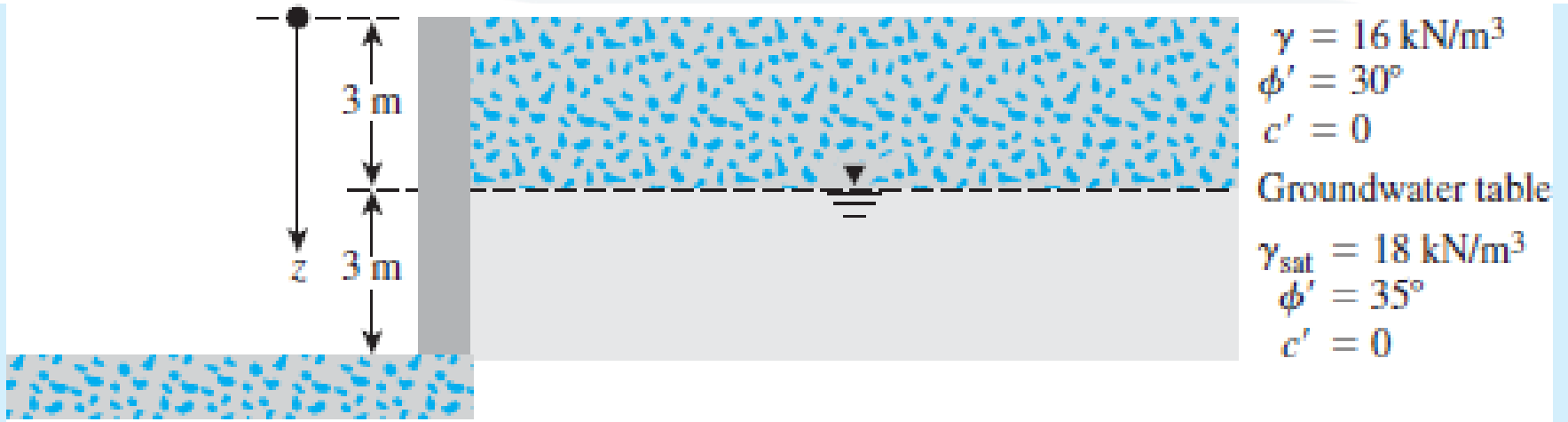


مثال 3

جدار بارتفاع 6m يحجز خلفه تربة مكونة من طبقتين بارتفاع 3m لكل طبقة، مواصفات الطبقتين مبينة بالشكل المرفق.

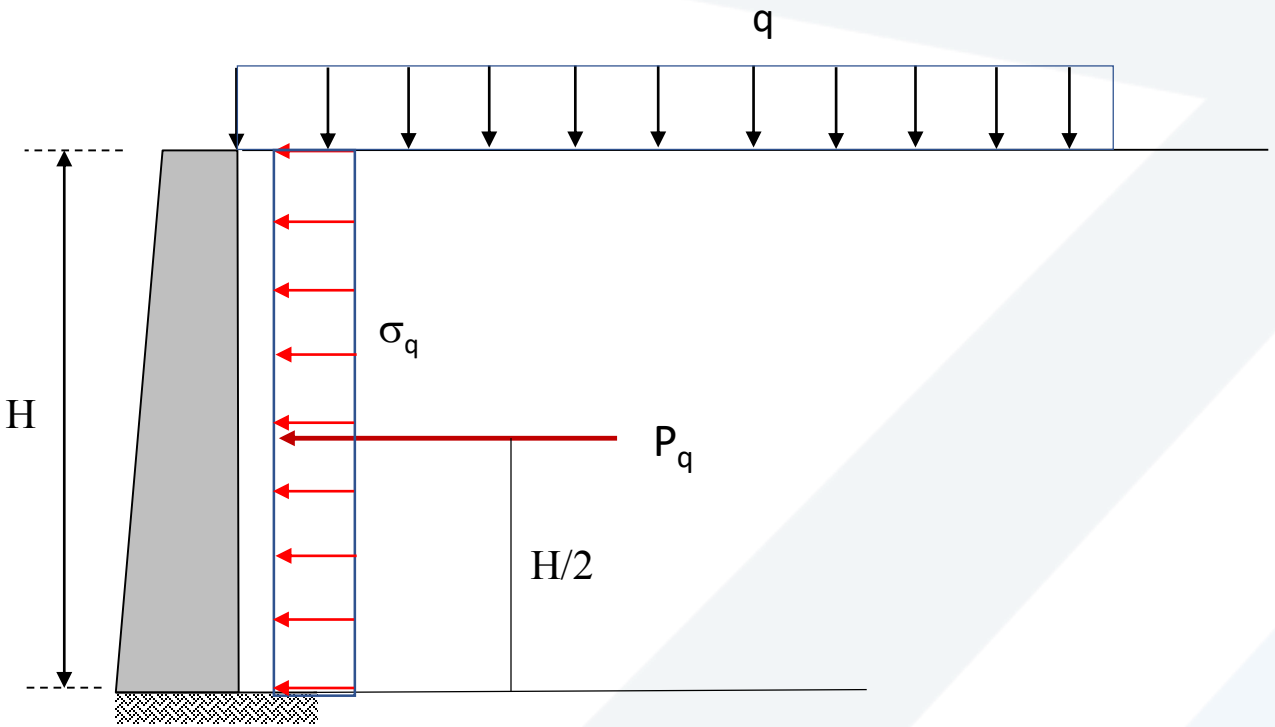
احسب دفع رانكين الفعال وموقع المحصلة على الجدار .

الحل:



حالة وجود حمولة خارجية خلف الجدار

ينتج عن حمولة خارجية موزعة بانتظام وممتدة على مساحة كبيرة خلف الجدار ضغطاً جانبياً ثابتاً مع العمق، تعطى قيمته بالعلاقة التالية :



$$\sigma_q = q \cdot K_a$$

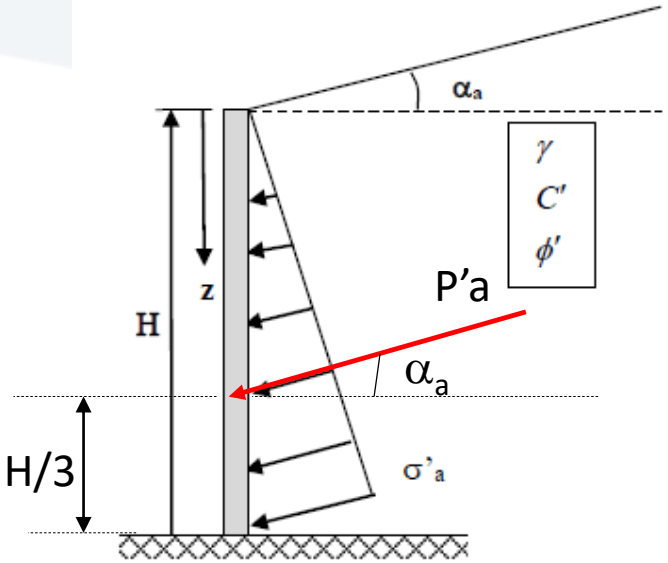
وتكون محصلة الدفع الفعال الناتج عن الحمولة الخارجية :

$$P_q = \sigma_q \cdot \frac{H}{2}$$

وهي قوة أفقية مطبقة في منتصف ارتفاع الجدار

تعميم نظرية رانكين لحالتي الضغط الفعال والسلبي

الضغط الفعال



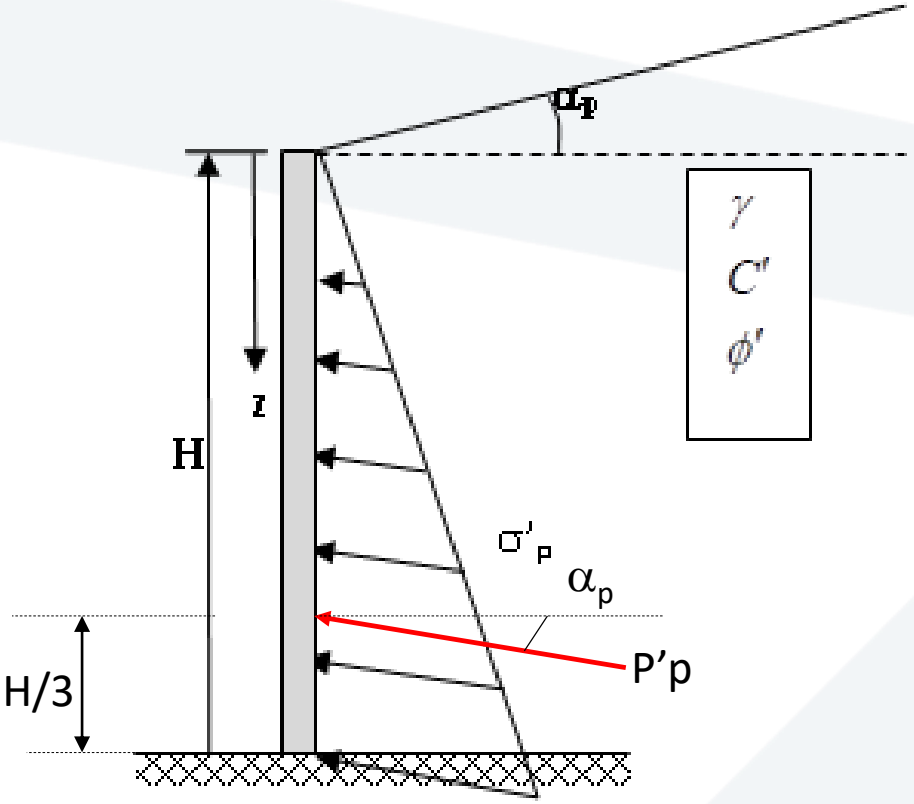
في حالة الترب المفككة

$$\sigma'_a = \gamma' z K_a$$

$$K_a = \cos\alpha_a \frac{\cos\alpha_a - \sqrt{\cos^2\alpha_a - \cos^2\phi'}}{\cos\alpha_a + \sqrt{\cos^2\alpha_a - \cos^2\phi'}}$$

$$P'_a = \frac{1}{2}\gamma' . H^2 . K_a$$

في حالة الترب المفككة

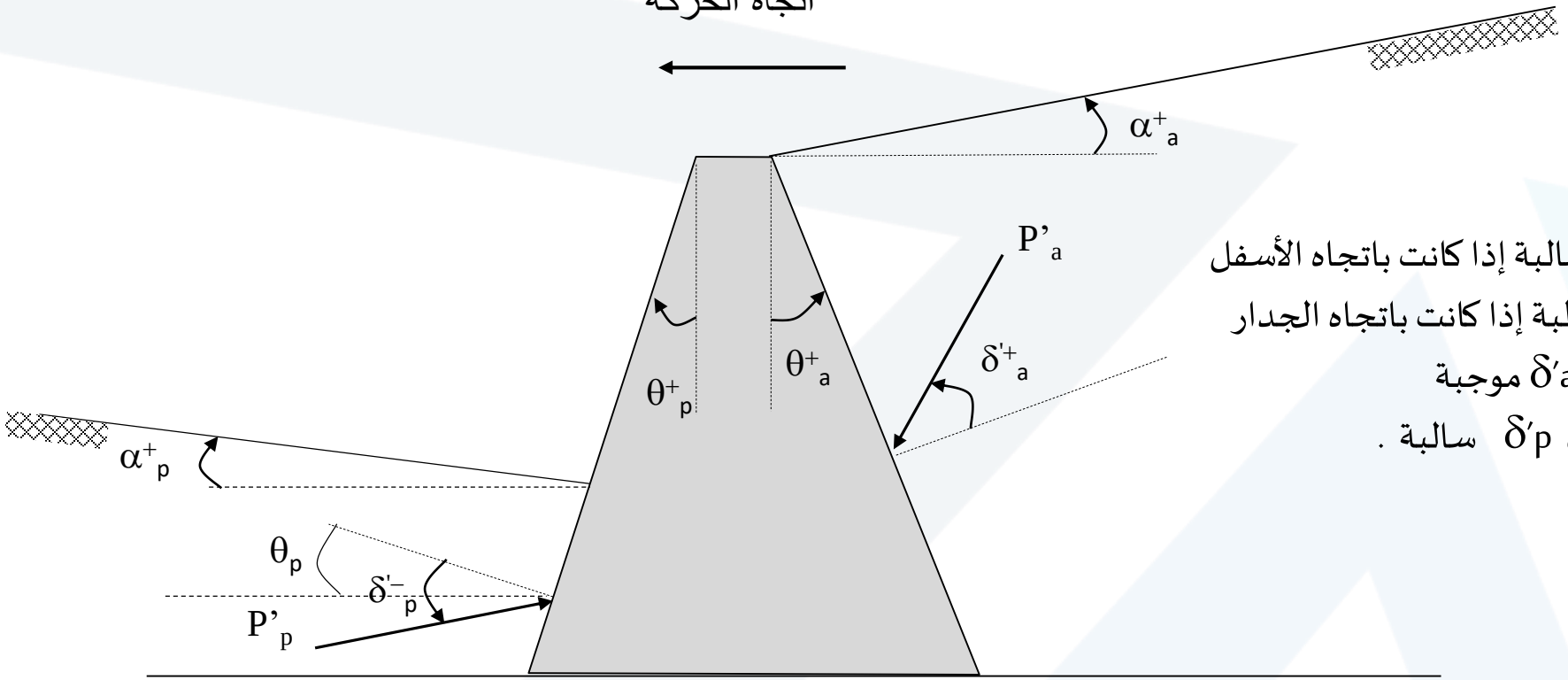


$$\sigma'_p = \gamma' z K_p$$

$$K_p = \cos\alpha_p \frac{\cos\alpha_p + \sqrt{\cos^2\alpha_p - \cos^2\phi'}}{\cos\alpha_p - \sqrt{\cos^2\alpha_p - \cos^2\phi'}}$$

$$P'_p = \frac{1}{2}\gamma' . H^2 . K_p$$

اصطلاح الإشارات



α موجبة إذا كانت باتجاه الأعلى وسالبة إذا كانت باتجاه الأسفل

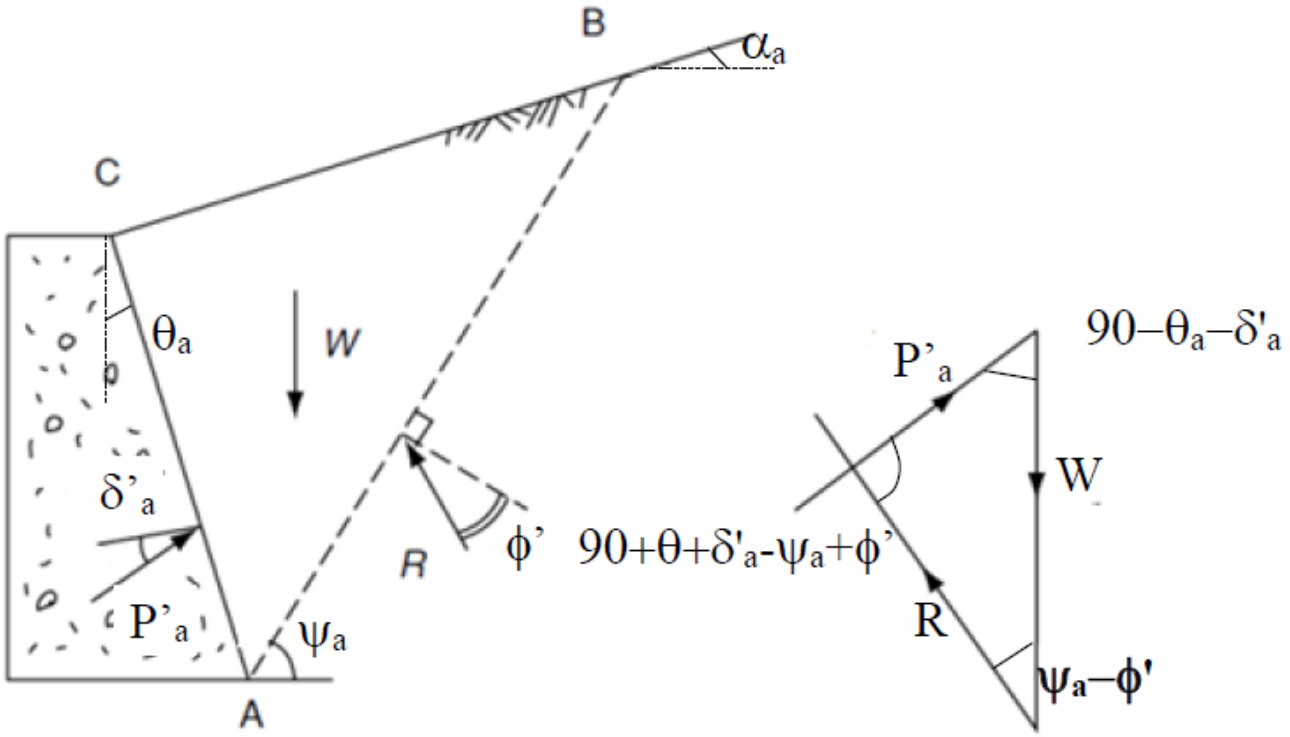
θ موجبة إذا كانت باتجاه التربة وسالبة إذا كانت باتجاه الجدار

δ' : في حالة الضغط الفعال تكون $\delta'a$ موجبة

و في حالة الضغط السالب تكون $\delta'p$ سالبة .

سنكتفي في هذه الدراسة بالضغوط الجانبية للترب المفككة

الضغط الفعال

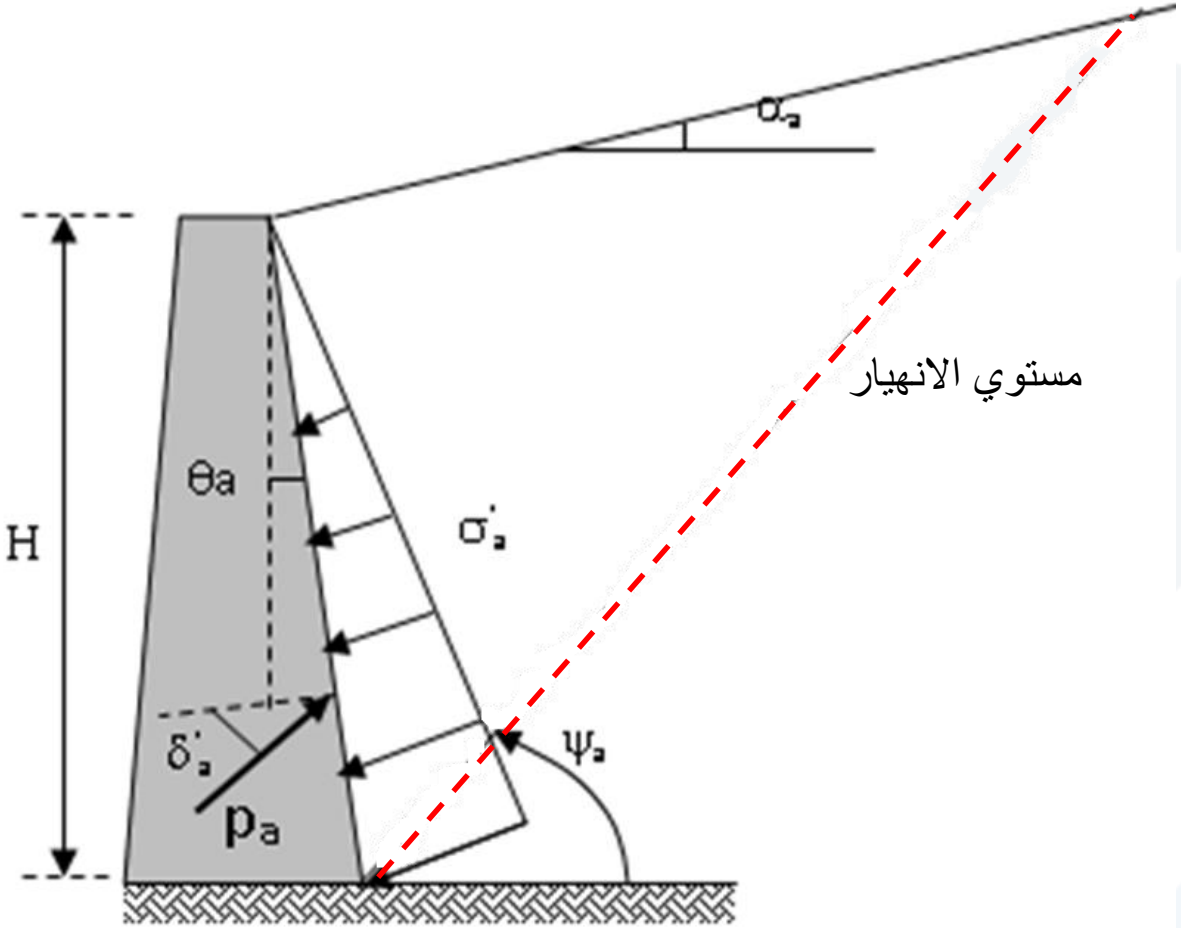


$$\frac{P'_a}{\sin(\psi_a-\phi')}=\frac{W}{\sin(90+\theta+\delta'_a-\psi_a+\phi')}$$

بفرض تغير خطي للدفع الجانبي مع العمق، يمكن كتابة :

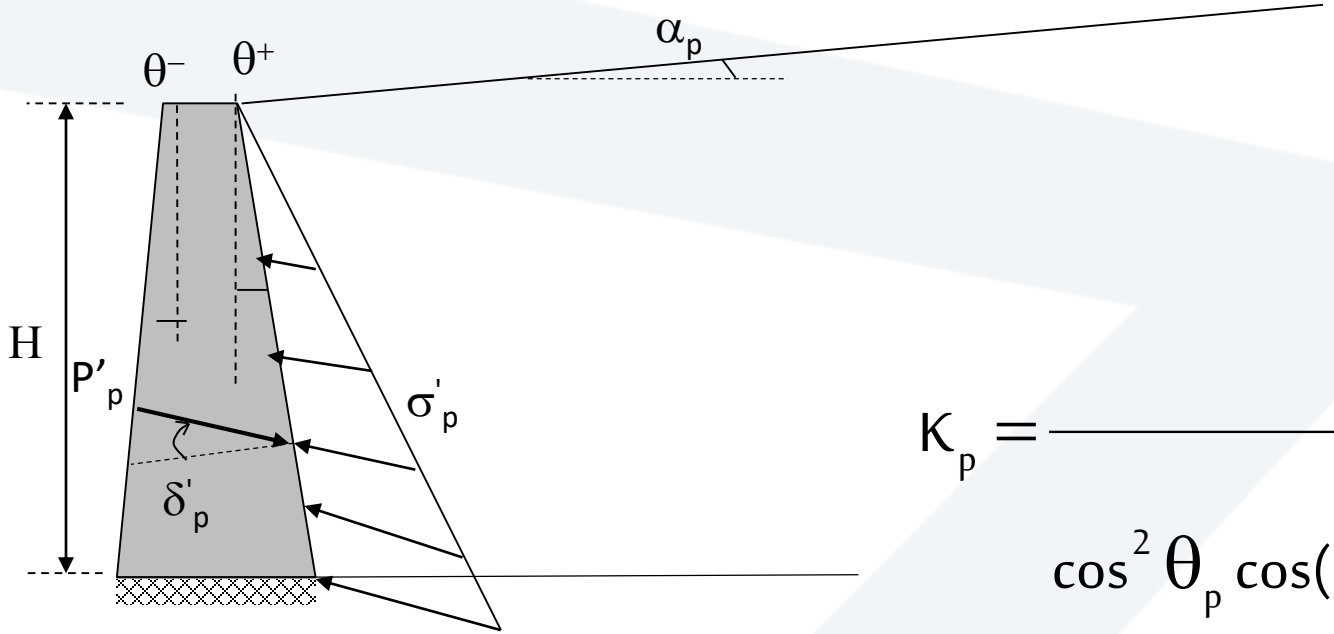
$$\sigma'_a=\gamma' H K_a$$

$$P'a=\frac{1}{2}\gamma' H^2 K_a$$



$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \theta_a)}{\cos^2\theta_a \cos(\delta'_a + \theta_a)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta'_a + \phi')\sin(\phi' - \alpha_a)}{\cos(\delta'_a + \theta_a)\cos(\theta_a - \alpha_a)}}\right]^2}$$

$$K_a = f(\phi', \theta_a, \delta'_a, \alpha_a)$$



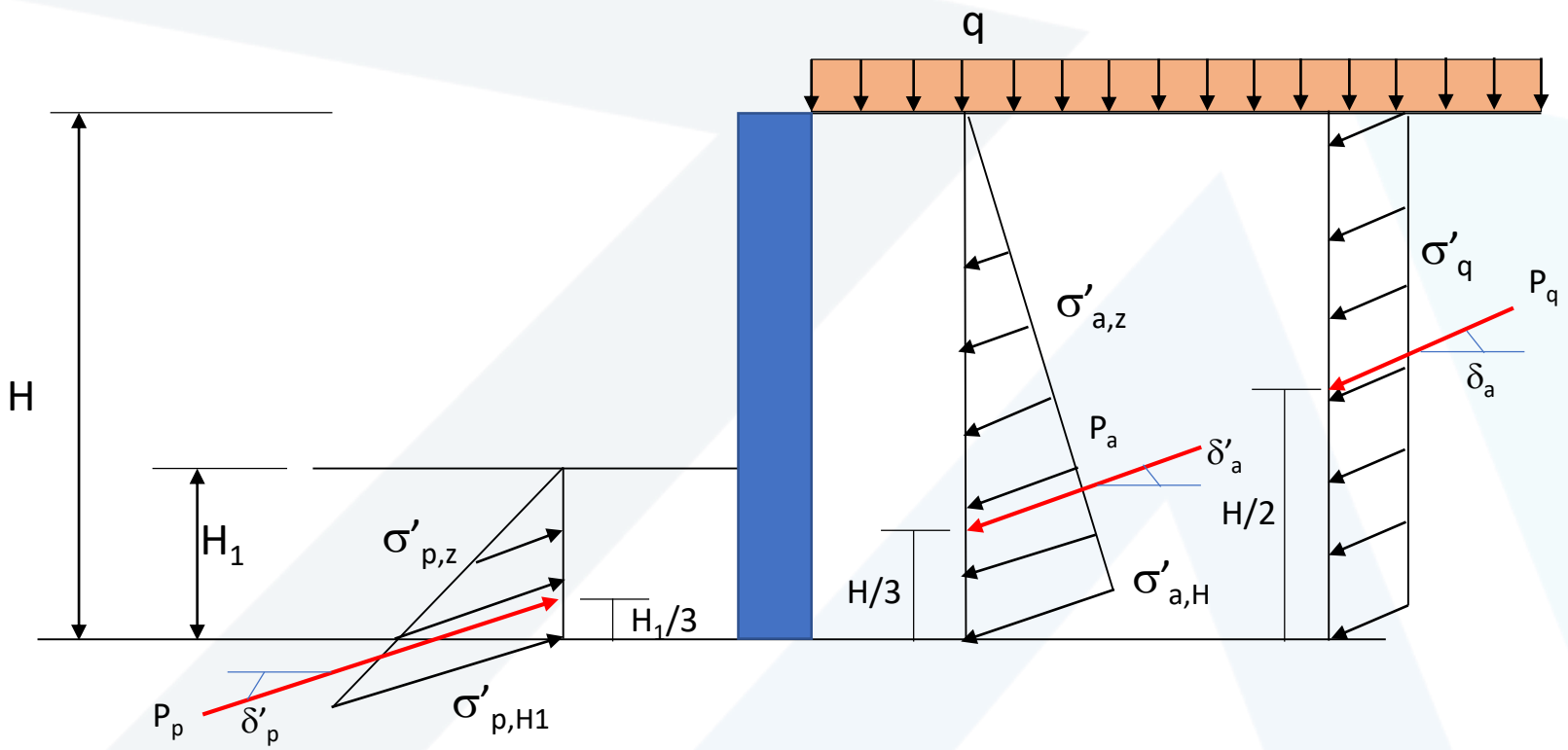
$$\sigma'_{p,z} = \gamma' z K_p$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi' + \theta_p)}{\cos^2\theta_p \cos(\delta'_p - \theta_p)\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta'_p)\sin(\phi' + \alpha_p)}{\cos(\delta'_p - \theta_p)\cos(\alpha_p - \theta_p)}}\right]^2}$$

$$K_p = g(\phi', \theta_p, \delta'_p, \alpha_p)$$

حالة خاصة $\theta a=\theta p=\alpha_a=\alpha_p=0$

سندرس فقط الضغوط الجانبية لحالة أوجه الجدار شاقولية $(\theta_a=\theta_p=0)$ وسطح التربة أفقي $(\alpha_a=\alpha_p=0)$



من أجل حالة $\theta a=\theta p=\alpha_a=\alpha_p=0$

في هذه الحالة، تميل محصلة قوى الدفع الجانبي عن الأفق بزاوية δ'، وبالتالي يكون لدينا :

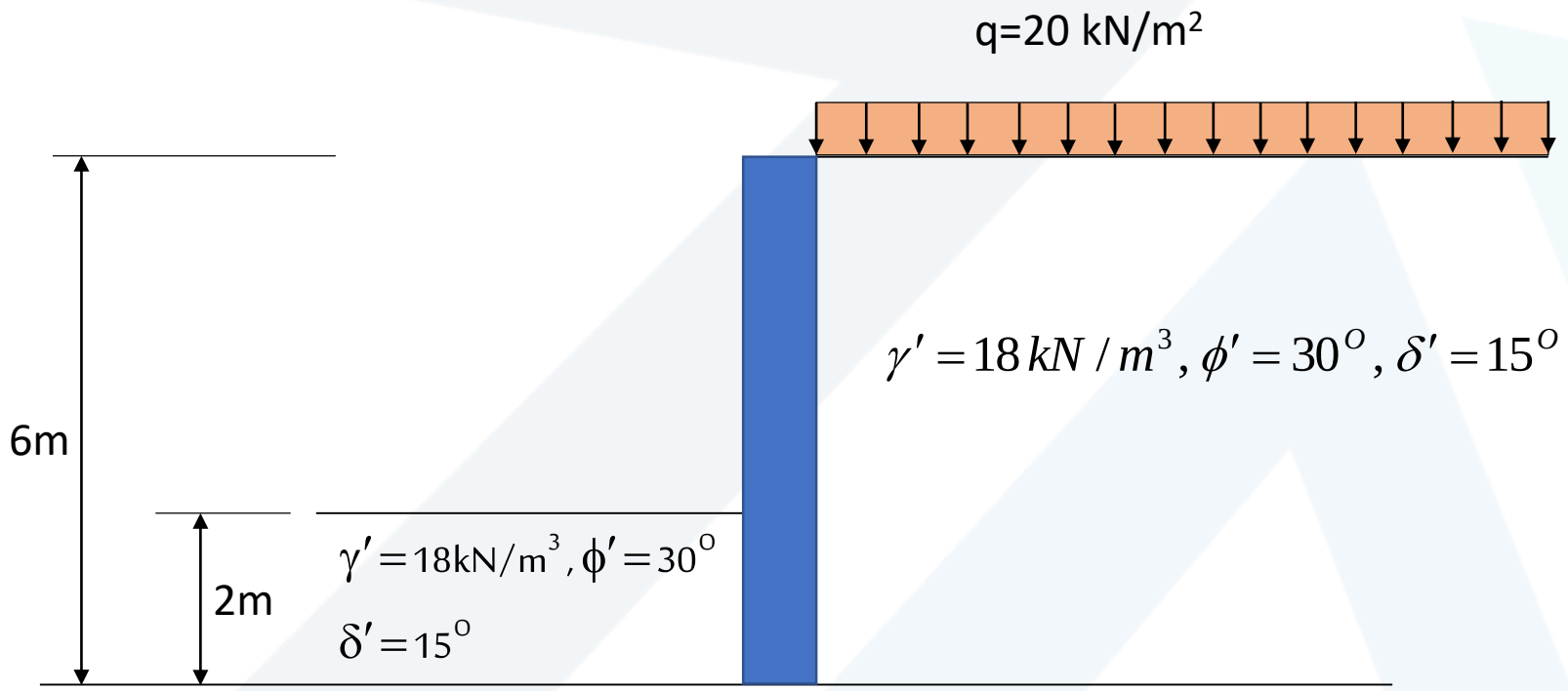
$$\sigma'_{a,z}=\gamma' z K_a \qquad P'_a=\frac{1}{2}\gamma'.H^2.K_a \qquad P'_{a,h}=P'_a.\cos\delta'_a \qquad P'_{a,v}=P'_a.\sin\delta'_a$$

$$\sigma'_{p,z}=\gamma' z K_p \qquad P'_p=\frac{1}{2}\gamma'.H^2.K_p \qquad P'_{p,h}=P'_p.\cos\delta'_p \qquad P'_{p,v}=P'_p.\sin\delta'_p$$

$$\sigma_q=q.K_a \qquad P_q=q.H.K_a \qquad P_{q,h}=P_q.\cos\delta'_a \qquad P_{q,v}=P_q.\sin\delta'_a$$

مثال 4

احسب محصلة كل من الضغط الفعال والضغط السلبي والمركبات الأفقية لهذه الضغوط على الجدار باستخدام نظرية كولومب



قوى الدفع الفعال على الجدار مع قوى الزلازل

طريقة مونونوبي-أوكابة (Mononobe-Okabe).

1-بفرض كتلة التربة المنزلقة تخضع لتسارع أفقي ثابت ($a_h=k_h . g$) وتسارع شاقولي ثابت - ($a_v=k_v . g$) مطبقان في مركز ثقل كتلة التربة المنزلقة

2- بفرض اتجاه a_v الموجب نحو الأسفل واتجاه a_h الموجب بعيداً عن الجدار

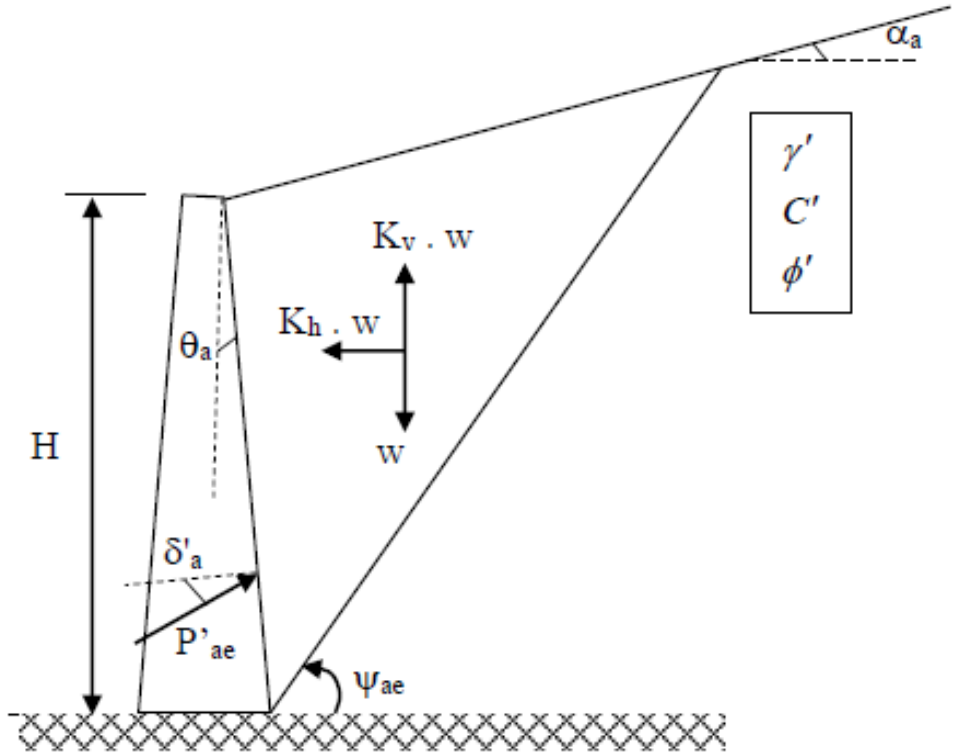
2- تؤثر قوى العطالة في الاتجاهات المعاكسة لاتجاهات التسارعات المطبقة من الحركة الزلزالية. من أجل التسارعات الموجبة، تكون قوى العطالة معاكسة لهذه الاتجاهات كما هو مبين في الشكل، فقوة العطالة الشاقولية ($k_v.W$) تتجه نحو الأعلى وقوة العطالة الأفقية ($k_h.W$) تتجه باتجاه الجدار، حيث.

K_h ثابت التسارع الأفقي و K_v ثابت التسارع الشاقولي (كلاهما نسبة من عامل زلزالية المنطقة Z)

W وزن التربة ضمن موشور الانزلاق

$$a_h = k_h . g \Rightarrow F_h = m.a_h = m.g.k_h = k_h . W$$

$$a_v = k_v . g \Rightarrow F_v = m.a_v = m.g.k_v = k_v . W$$



في الكود الهندي(IS : 1893 - 1984)

من أجل جدار استنادي غير مسلح يكون عامل التسارع الأفقي $k_h=Z/3$ ، وفي حالة الجدران المسلحة يكون عامل التسارع الأفقي أصغر من ذلك.

حالة الترب المفككة

قوة الدفع الكلية الفعالة

$$P'_{ae} = \frac{1}{2}\gamma' H^2 (1-k_v) K_{ae}$$

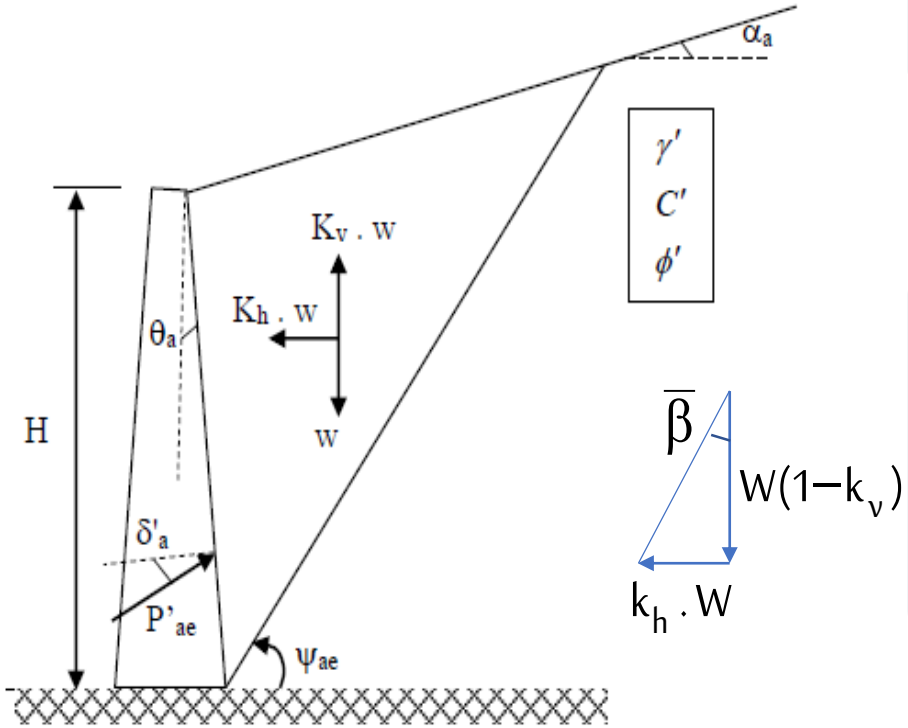
$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi' - \bar{\beta} - \theta)}{\cos\bar{\beta}\cos^2\theta_a \cos(\delta'_a + \bar{\beta} + \theta_a)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\delta'_a+\phi')\sin(\phi'-\bar{\beta}-\alpha)}{\cos(\delta'_a+\bar{\beta}+\theta_a)\cos(\alpha-\theta_a)}}\right]^2}$$

$$K_a = f(\phi', \theta_a, \delta'_a, \alpha_a, \bar{\beta})$$

$\bar{\beta}$ زاوية ميل محصلة قوى المؤثرة موشور التربة خلف الجدار

$$\bar{\beta} = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

عادة يتم اعتبار $K_v=0$ وذلك لأن ذروتي التسارعات (الأفقية والشاقولية) لا تحصلان في وقت واحد

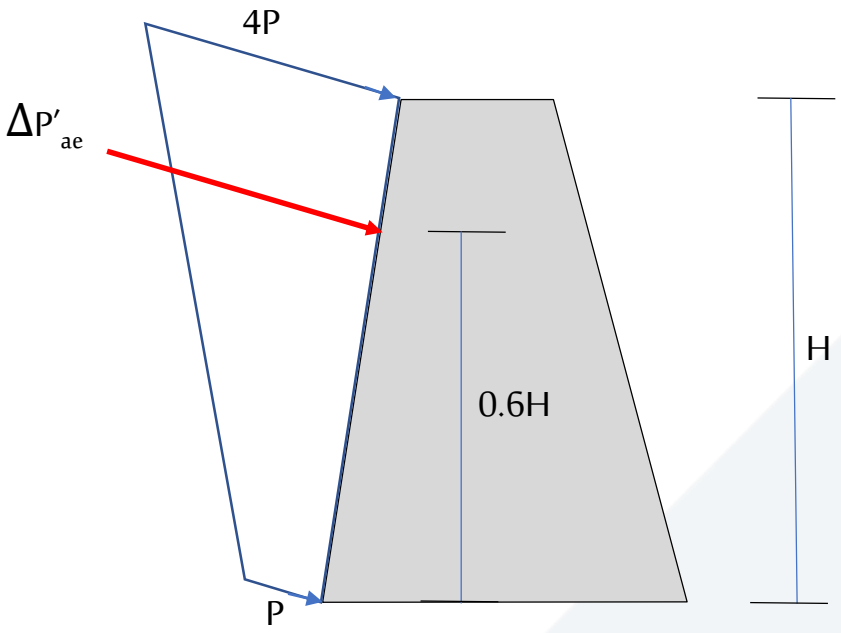


موقع قوة الدفع الفعال P'_{ae} على الوجه الخلفي للجدار

$$P'_{ae} = P'_a + \Delta P'_{ae} \qquad \Delta P'_{ae} = P'_{ae} - P'_a$$

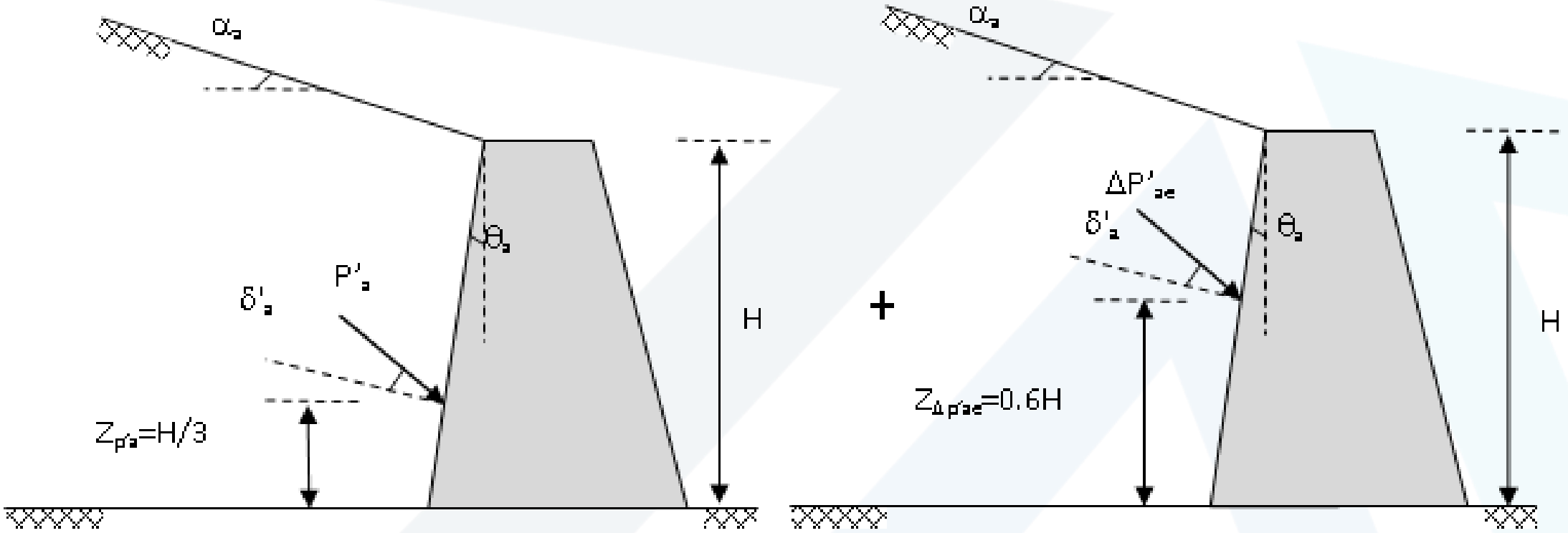
P'_a تؤثر على مسافة H/3 من أسفل الجدار

فرض أن $\Delta P'_{ae}$ تؤثر على مسافة 0.6H من أسفل الجدار، وتتوزع على ارتفاع الجدار بالشكل التالي :



من الشكل، نستطيع كتابة :

$$\frac{4P+P}{2} * L = \Delta P'_{ae} \Rightarrow \boxed{P = \frac{2}{5L}\Delta P'_{ae}}$$


α_a
θ_a
P'_a
δ'_a
H
$Z_{p'a}=H/3$
+
α_a
$\Delta P'_{ae}$
δ'_a
θ_a
H
$Z_{\Delta p'ae}=0.6H$

مثال 5

لدينا الجدار المبين بالشكل.

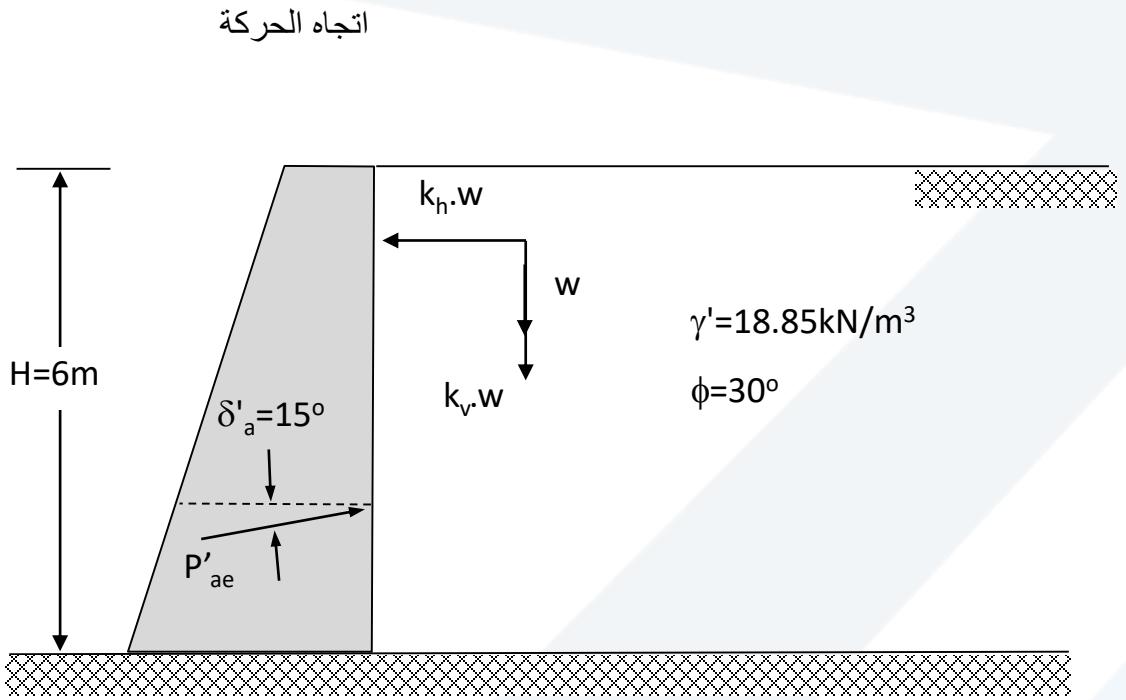
بفرض $k_h=0.1$

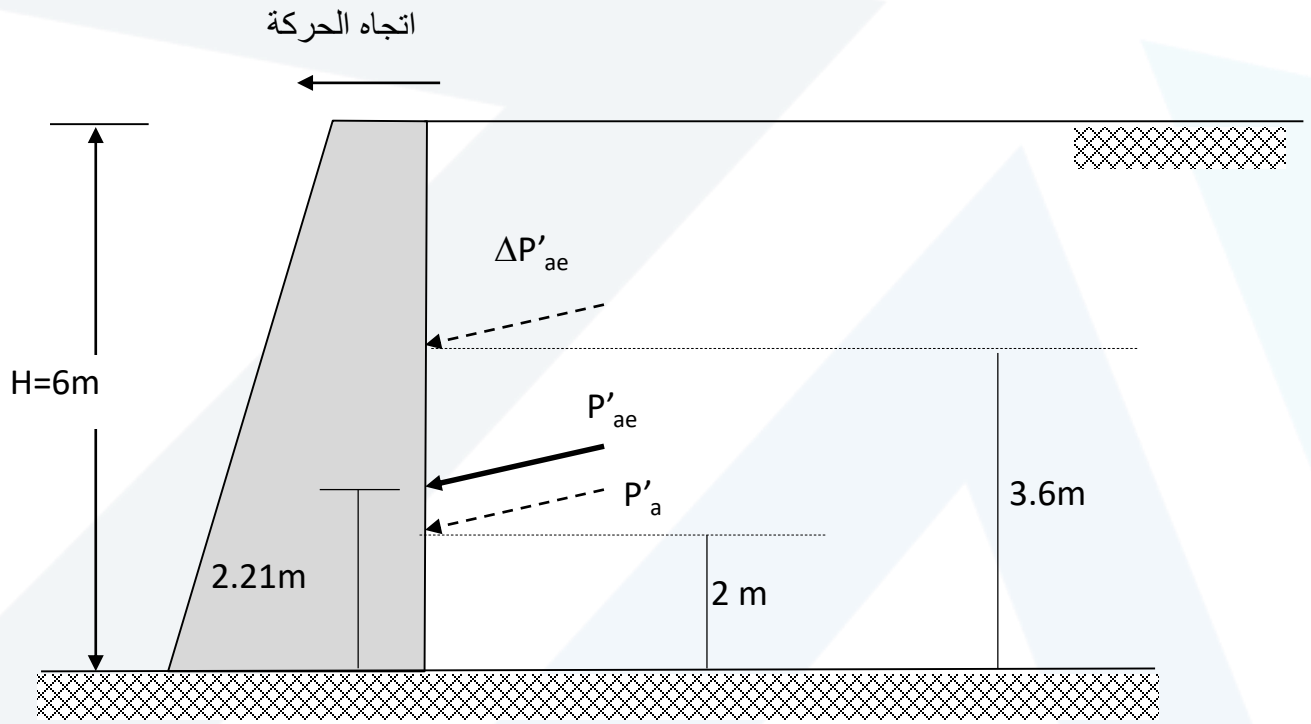
(التسارع $kh \cdot g$ باتجاه يبتعد عن الجدار وقوة العطالة $k_h \cdot w$ باتجاه الجدار)

و $kv=0.067$

(التسارع $kv \cdot g$ باتجاه الأسفل وقوة العطالة $kv \cdot w$ باتجاه الأعلى).

احسب $P'ae$ و $P'a$ و $\Delta p'_{ae}$ نقطة تطبيق كل منها مع الرسم




اتجاه الحركة
H=6m
ΔP'ae
P'ae
P'a
2.21m
2 m
3.6m