



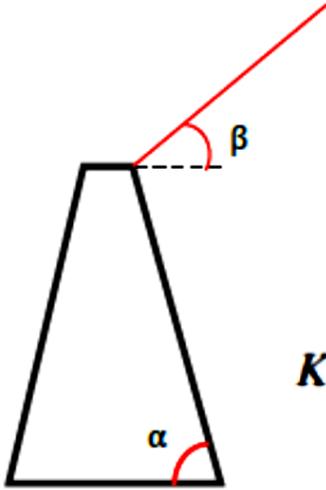
جامعة حماة
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الجيوتكنيكية

هندسة الأساسات ٢ المحاضرتان ٦ و٧: بحث: الجدران الاستنادية

د. كنان زين العابدين
لطلاب السنة الرابعة
(منهاج الدفعة الأولى ٢٠١٩-٢٠٢٠)

3- جدار خشن وسطح التربة يميل بزاوية قدرها β :

عاملا الدفع الفعلي والعكسي وفق طريقة كولومب:

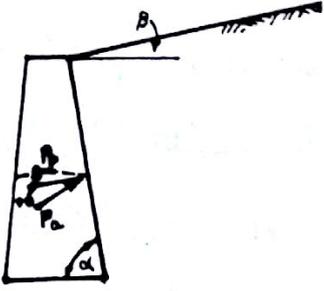


$$K_p^a = \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha \mp \delta) \cdot \left[1 \pm \left(\frac{\sin(\varphi \mp \delta) \cdot \sin(\varphi \mp \beta)}{\sin(\alpha \mp \delta) \cdot \sin(\alpha \mp \beta)} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}$$

الإشارة العلوية في قانون K_a والإشارة السفلية في قانون K_p ، ولا يطلب حفظ القانونين.

(د. كنان زين العابدين)

٣- جدار خشن وسطح التربة يميل بزاوية قدرها β :



$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\beta + \delta) \sin(\beta - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \dots\dots (B2a)$$

$$K_P = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\beta + \delta) \sin(\beta - \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \dots\dots (B2b)$$

(عوامل الدفع وفق طريقة كولومب وهي ليست للحفظ) (د. كنان زين العابدين)

٤-١٣-٤- استقرار الجدران الاستنادية :

حتى تتمكن الجدران الاستنادية من اداء مهمتها بنجاح يجب ان تكون متوازنة او مستقرة خارجيا اي آمنة ضد الانقلاب وضد الانزلاق والحمولات المطبقة منها على التربة ضمن الحدود المسموحة . كما يجب ان تكون مستقرة داخليا اي ان مقاطعها الانشائية كافية لامتصاص كافة الجهود والعزوم المطبقة عليها دون أن تنهار وبالتالي يمكن القول ان الجدران الاستنادية عناصر انشائية تختلف عن بقية المنشآت الهندسية في كونها عرضة للانهار كتلة واحدة وهو ما يقصد بعدم الاتزان .

I - دراسة الامان ضد الانقلاب :

ان عامل الامان ضد الانقلاب بالتعريف هو النسبة بين العزوم المشبته للجدار (النافعة) والعزوم التي تسعى لقلب الجدار (الضارة) حول قدم الجدار . ان دفع التربة الفعلي والدفع الناجم عن الحمولات

الإضافة فوق سطح التربة ودفع الماء الهيدروستاتيكي في حال وجوده كل ذلك يسعى إلى قلب الجدار حول النقطة (A) قدم الجدار أما وزن الجدار ووزن التربة فوق أساس الجدار والمركبة الشاقولية للدفع الفعلي كل ذلك يسعى إلى استقرار الجدار وتخلق عزما مثبتا له وبالتالي يمكن أن نكتب :

$$F_{ovr} = \frac{\text{مجموع عزوم القوى المفيدة}}{\text{مجموع عزوم القوة الضارة}} \geq 1.5 - 2 \dots (83)$$

ان عامل الامان ضد الانقلاب يجب أن لا يقل عن 1.5 في حال استخدام ردمية رملية خلف الجدار وعن (2) في حال استخدام ردمية تربة متماسكة الشكل (٤ - ٤٩) .

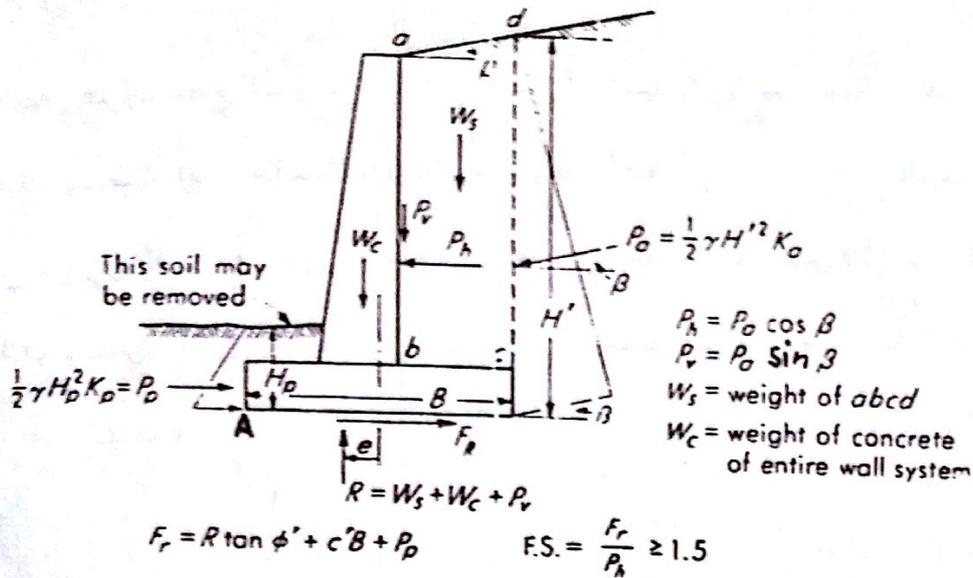
حيث :

• وزن الجدار W_c

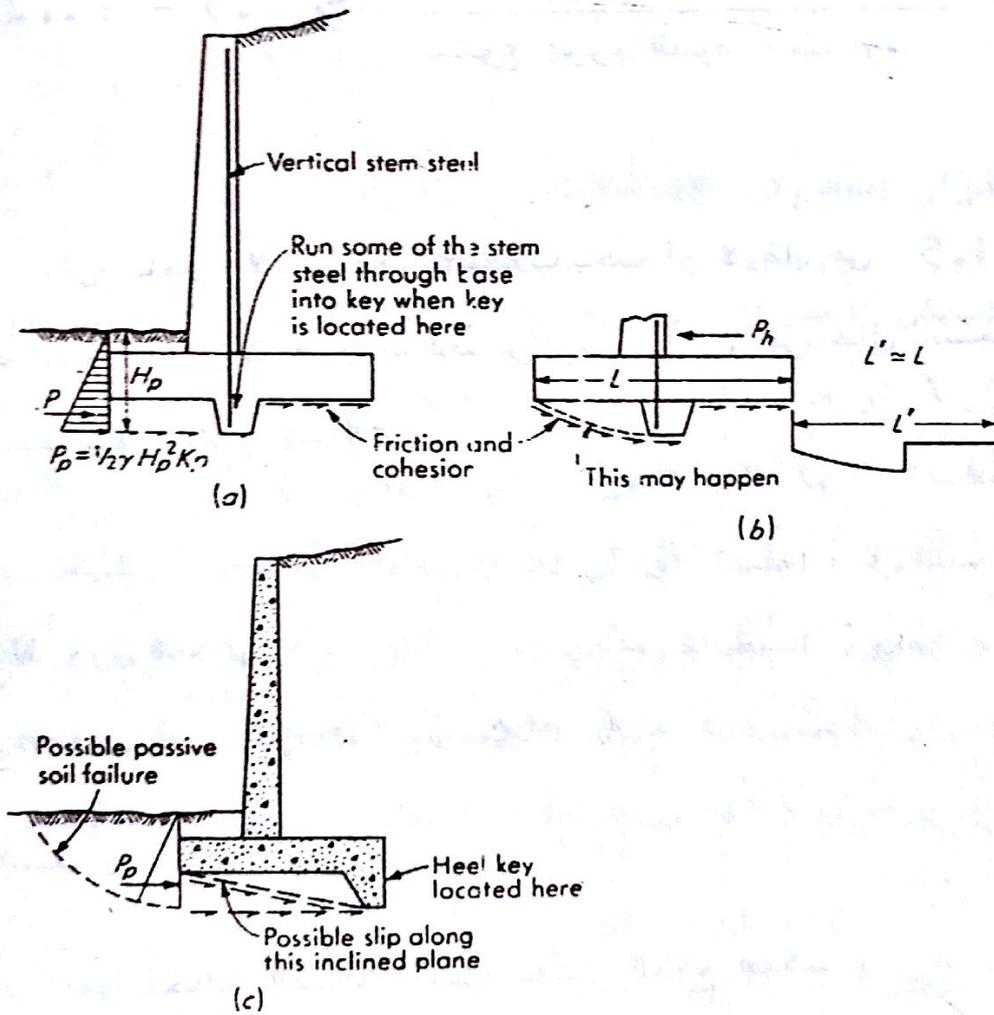
• وزن التربة للجزء (abcd) W_s

ملاحظة :

في الحالة العامة نهمل تأثير الدفع العكسي P_p للتربة أمام الجدار وفي حال الرغبة بإدخال تأثيرها بعين الاعتبار عندها يجب أن نأخذ عمق الشقوق الشدية والحت ... بعين الاعتبار وبالتالي نفضل أخذ قيمة مخفضة للارتفاع H_p بدلا من H_p



Forces involved in the sliding stability of a retaining wall.



Stability against sliding using a base key. (a) Base key near stem so that stem steel may be run into the key; but (b) the sliding surface may develop as shown here where little aid is gained from using the key. (c) Heel key which presents two possible modes of failure (passive and slip along the plane).

الشكل (٤٩-٤)

II - دراسة الامان ضد الانزلاق :

ان المركبة الافقية للدفع الفعلي P_h تسعى الى زلق الجدار حول سطح ارتكازه على الارض وهذا بدوره يخلق مقاومة بين التربة و سطح استناد الجدار عليها ، تتعلق هذه المقاومة بقيمة الحمولات المطبقة على التربة من الحدار وبخشونة أرضية الجدار وبمواصفات التربة الحاملة للجدار . ويمكن تعريف عامل الامان ضد الانزلاق بأنه النسبة بين القوى المقاومة للانزلاق والقوى المسببة له أى :

$$F_{sli} = \frac{F_r}{P_h} \geq 1.5 \dots\dots\dots (84)$$

$$F_r = R \cdot \tan \phi' + C' \cdot B + P_p$$

حيث :

- ϕ' زاوية الاحتكاك بين التربة وقاعدة الجدار .
- C' التلاصق بين التربة وقاعدة الجدار .

ان المقاومة على القص بين التربة و سطح الاستناد تتعلق بخشونة الاساس وفي جميع الاحوال فان زاوية الاحتكاك بين التربة وقاعدة الجدار يجب أن لاتزيد عن زاوية احتكاك التربة التي يستند اليها ويمكن أن نأخذ $\tan \phi' = \frac{2}{3} \tan \phi$ حيث ϕ زاوية احتكاك التربة) لندخل بعين الاعتبار تخريب التربة تحت قاعدة الاساس أثناء تنفيذ الحفريات . ومن أجل التربة الغضارية المشعة نأخذ $\phi = 0$ أما التلاصق C' فيتراوح من $0.5 C_u$ الى $0.75 C_u$ على انلاتجاور

قيمة التلاصق عن 60 (كن / ٢م) في جميع الاحوال والسبب في ذلك يعود الى تخریب قاعدة الاساس وعدم سهولة استعادة قيمة التماسك مع الاساس . سنأخذ 'C' مساوية لثلاثي CU (د. كنان زين العابدين)

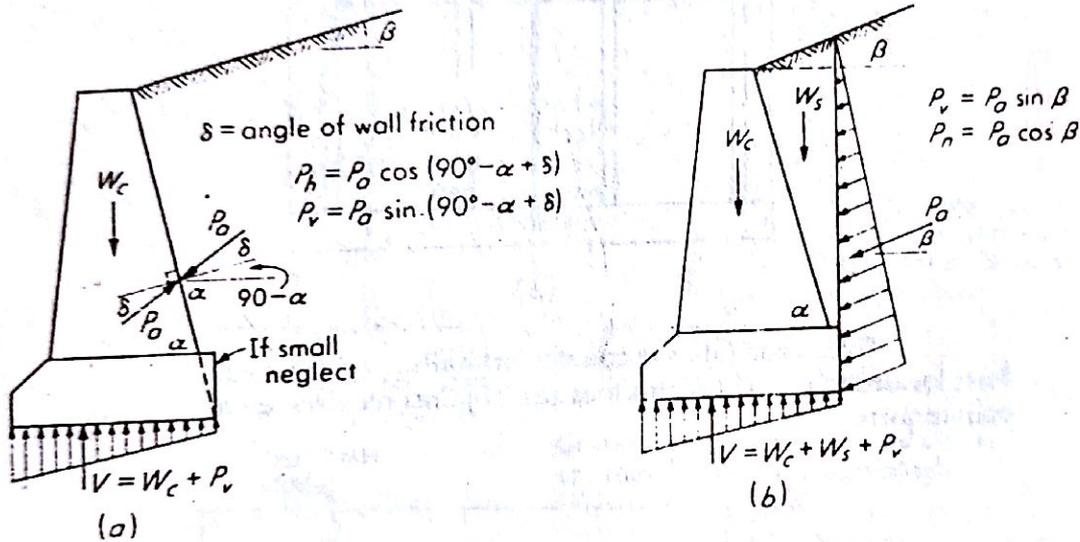
وفي حال عدم تحقق الامان الكافي ضد الانزلاق يمكن اللجوء الى الطريقة التالية لتحسين المقاومة ضد الانزلاق انظر الشكل (٤-٤٩) عمل رجل (سن) اسفل الحائط بحيث يمتد حديد التسليح الشاقولي الى الرجل وحتى يعمل الحديد على الشد في الرجل ويظهر في نفس الشكل سطوح الانهيار التي قد تسلكها التربة ففي حال كون هذا السن سطحي او صغير تنهار التربة حسب اقصر الطرق واقلها مقاومة بأن تعبر منحنياً يتخطى الرجل دون اي زيادة تذكر في قيمة الدفع العكسي عن حالة عدم وجود الرجل اما انشاء الرجل في نهاية او مقدمة اساس الجدار فيحتاج الى دراسة لاحتمالي الانهيار واختيار الافضل :

- ١- انهيار افقي للتربة اسفل الرجل مع تشكل ضغط عكسي على كامل العمق .
- ٢- انهيار مائل للتربة امام الرجل مع تشكل ضغط عكسي على عمق التأسيس فقط .

وغالبا ما يعطي الاحتمال الثاني قيمة اقل للمقاومة على الانزلاق من الاحتمال الاول وذلك للنقص الكبير في قيمة الدفع العكسي وعدم تعويض ذلك بالسطح المائل المتشكل اثناء الانهيار .

٤-١٣-٩ التصميم الانشائي للجدران الاستنادية :

تصمم الجدران الاستنادية مسلحة كانت أم غير مسلحة بحيث تكون جميع مقاطعها كافية لامتصاص كافة الجهود المؤثرة عليها ضمن الحدود المقبولة فالنسبة للجدران الثقيلة تكون أخطر المقاطع المقطع الذي يصل الجذع بالقاعدة الشكل (٤-٥٥) يوضح القوى المؤثرة على جدار ثقيل حسب تحليل كولومب وحسب تحليل رانكين .



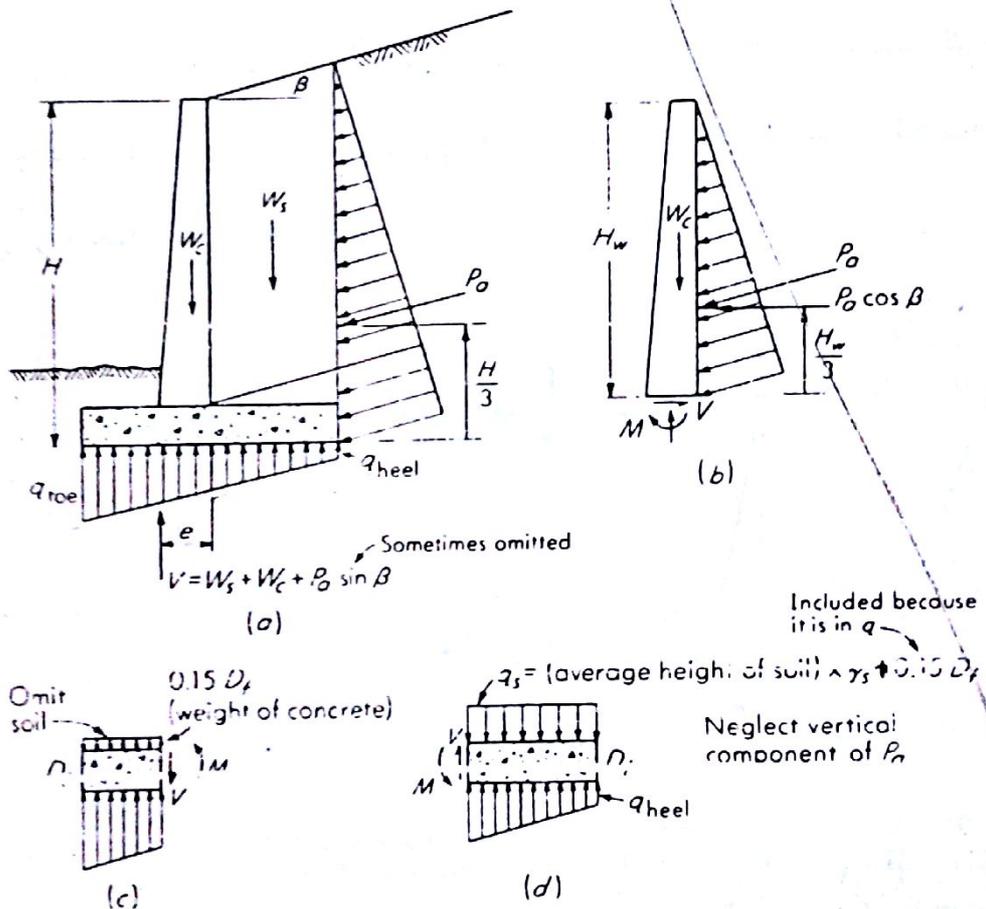
Forces on a gravity wall. (a) Coulomb analysis; (b) Rankine analysis.

الشكل (٤-٥٥ أ)

القوى المؤثرة على جدار ثقلي

أما في الجدران الطفرية من البيتون المسلح فالشكل (٤-٥٥ ب) يظهر المقاطع الخطرة الواجب تصميمها والحمولات المؤثرة عليها وعلى المصمم أن يأخذ قرارا باهمال الدفع العكسي أو عدمه أمام الجدار وكذلك أيضا بالنسبة لورن التربة فوق قدم الجدار .

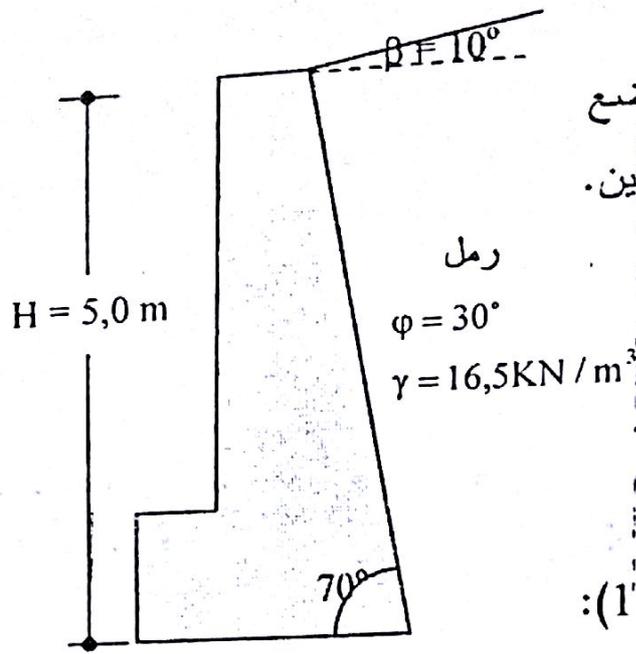
أما الجدران الاستنادية المقواة فيمكن حسابها باعتبار أن الجذع والقاعدة الخلفية بلاطة موثوقة من ثلاثة اتجاهات وحررة في طرفها الرابع إلا أن أسهل الطرق اعتبار الجدار الرأسي والقاعدة الخلفية عبارة عن شرائح مستمرة مستندة الى عناصر التقوية أما الحمولات المطبقة على شريحة فيمكن حسابه من مخطط الدفع الفعلى بالنسبة للجدار .



Forces on cantilever wall. (a) Entire unit; (b) stem; (c) toe; (d) heel.

الشكل (٤-٥٥ ب)

القوى على الجدار الطعري



الدفع
مثال 1 : حدد قيمة الجانبي للتربة مع بيان موضع المحصلة واتجاهها في طريقتي كولومب و رانكين.

الحل

أولاً: بطريقة كولومب

يحسب معامل الدفع الجانبي الفعال من (العلاقة 1):

$$k_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2(\alpha) \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

وبما ان : $\varphi = 30^\circ$; $\delta = \frac{2}{3} \cdot \varphi = 20^\circ$; $\alpha = 70^\circ$; $\beta = 10^\circ$ (لا مشكلة في تبديل تسمية هاتين الزاويتين)

يكون :

$$k_a = \frac{\sin^2(70 + 30)}{\sin^2(70) \cdot \sin(70 - 20) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20) \sin(30 - 10)}{\sin(70 - 20) \sin(70 + 10)}} \right]^2}$$

$$= \frac{\sin^2 100}{\sin^2 70 \cdot \sin 50 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin 50 \cdot \sin 20}{\sin 50 \cdot \sin 80}} \right]^2} = 0,567$$

ومنه :

$$(إجهاد الدفع) P_a = \gamma \cdot H \cdot k_a = 16,5 \cdot 5 \cdot 0,567 = 46,78 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$(قوة الدفع) P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot k_a = \frac{1}{2} P_a \cdot H = 116,94 \text{ KN}$$

وهي قيمة محصلة الدفع الجانبي و تؤثر بعد H/3 اي 1,67م من القاعدة. وتكون المركبتان الافقية والشاقولية لمحصلة الدفع الجانبي للتربة :

$$P_{a,h} = P_a \cdot \sin(\alpha - \delta)$$

$$P_{a,v} = P_a \cdot \cos(\alpha - \delta)$$

$$P_{a,h} = P_a \cdot \sin(\alpha - \delta) = 116,94 \cdot \sin(50) = 89,58 \text{ kN}$$

$$P_{a,v} = P_a \cdot \cos(\alpha - \delta) = 116,94 \cdot \cos(50) = 75,16 \text{ kN}$$

ثانياً: بطريقة رانكين:

بحسب معامل الدفع الجانبي الفعال (بالعلاقة 3) :

$$k_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

حيث $\varphi = 30^\circ$; $\beta = 10^\circ$ ومنه :

$$k_a = \cos 10 \cdot \frac{\cos 10 - \sqrt{\cos^2 10 - \cos^2 30}}{\cos 10 + \sqrt{\cos^2 10 - \cos^2 30}} \cong 0,35$$

بحسب رانكين فان مخطط الدفع الجانبي الفعال يؤثر على المقطع الشاقولي (الخط المنقط) الذي ارتفاعه H' بحسب وفق الشكل كما يلي :

$$H' = H + (H \cdot \tan 20) \cdot \tan \beta = 5 + (5 \cdot \tan 20) \cdot \tan 10 = 5,32 \text{ m}$$

$$p_a = \gamma \cdot H' \cdot k_a \quad (\text{إجهاد الدفع})$$

$$= 16,5 \cdot 5,32 \cdot 0,35 = 30,72 \text{ KN / m}^2$$

ومنه

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

$$= 1/2 \cdot 30,72 \cdot 5,32 = 81,72 \text{ KN}$$

وهي قيمة محصلة الدفع الجانبي و تؤثر بعد $H'/3$ اي 1,77م من القاعدة.

$$P_{a,h} = P_a \cdot \cos \beta$$

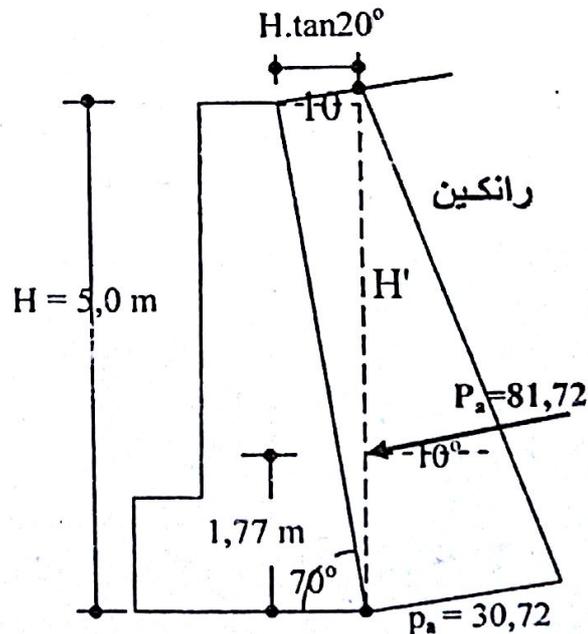
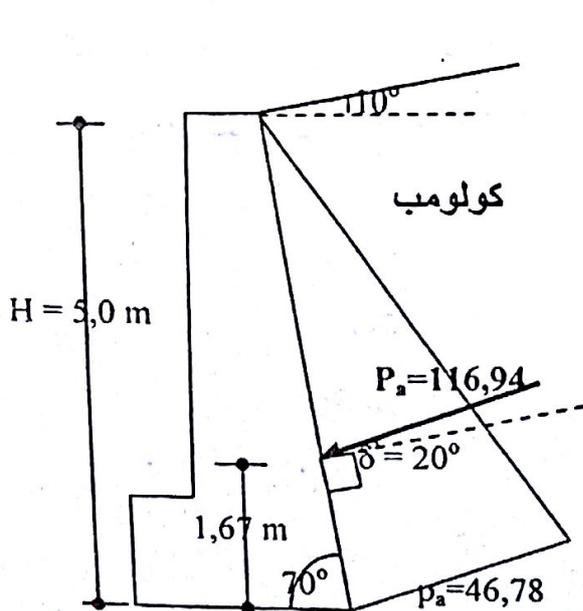
وتكون المركبتان الافقية والشاقولية لمحصلة الدفع الجانبي للتربة :

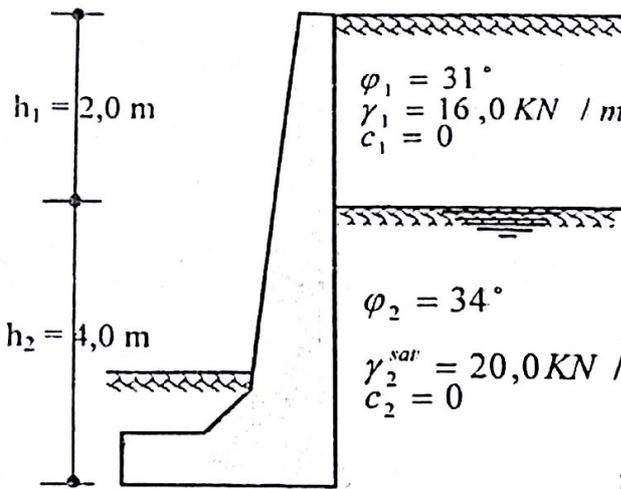
$$P_{a,v} = P_a \cdot \sin \beta$$

$$P_{a,h} = P_a \cdot \cos 10 = 81,72 \cdot \cos 10 = 80,48 \text{ kN}$$

$$P_{a,v} = P_a \cdot \sin 10 = 81,72 \cdot \sin 10 = 14,19 \text{ kN}$$

اي :





مثال 4 : يطلب رسم مخطط الدفع الجانبي

الفعال للتربة على الجدار الاستنادي

وتحديد موضع تأثير محصلة الدفع

المحسوب بحسب طريقة رانكين.

الحل

معاملات الدفع:

• للطبقة الأولى من علاقة رانكين :

$$k_{a1} = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

وبما ان : $\varphi = 31^\circ$; $\beta = 0^\circ$ تصبح المعادلة :

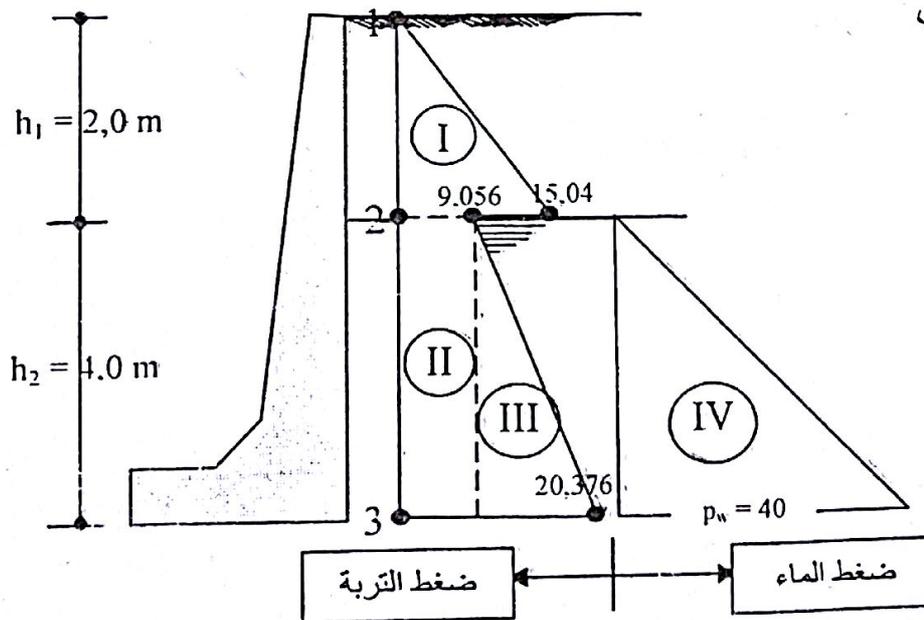
$$k_{a1} = \frac{1 - \sin \varphi_1}{1 + \sin \varphi_1} = \tan^2 (45^\circ - \varphi_1 / 2) = 0,47$$

• للطبقة الثانية : حيث $\varphi = 34^\circ$; $\beta = 0^\circ$ ومنه :

$$k_{a2} = \frac{1 - \sin \varphi_2}{1 + \sin \varphi_2} = \tan^2 (45^\circ - \varphi_2 / 2) = 0,283$$

ملاحظة : عند تغيير نوع التربة تحدث قفزة في مخطط الدفع الجانبي بسبب تغير قيمة معامل

الدفع الجانبي



بالنسبة الى الطبقة الثانية فهي كلها تحت منسوب الماء ولذلك يستخدم الوزن الحجمي المغمور

ويساوي : $\gamma'_2 = \gamma_2^{sat} - \gamma_w = 20 - 10 = 10 \text{ kN/m}^3$. تحسب قيم الدفع الجانبي الفعال

لكل نقطة :

إجهادات الدفع:

$$p_{a1} = 0$$

$$\text{أعلى } p_{a2} = \gamma_1 \cdot h_1 \cdot k_{a1} = 16.2 \cdot 0.0 \cdot 0.47 = 15,04 \text{ kN / m}^2$$

$$\text{أسفل } p_{a2} = \gamma_1 h_1 \cdot k_{a2} = 16.2 \cdot 0.0 \cdot 0.283 = 9,056 \text{ kN / m}^2$$

$$p_{a3} = p_{a2} + \gamma'_2 h_2 k_{a2} = 9,056 + 10.4 \cdot 0.0 \cdot 0.283 = 20,376 \text{ kN / m}^2$$

$$p_w = \gamma_w \cdot 4,0 = 10.4 = 40 \text{ kN / m}^2$$

محصلة اندفع الجانبي على الجدار = مجموع مساحات الأجزاء من 1 إلى 4

| الجزء | المساحة A | ارتفاع نقطة التأثير y عن أسفل الجدار |
|-------|-----------|---|
| I | 15,04 | 4,67 |
| II | 36,224 | 2 |
| III | 22,64 | 1,33 |
| IV | 80 | 1,33 |

تحسب نقطة تأثير المحصلة بالعلاقة :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{IV} A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{IV} A_i} = \frac{15,04 \cdot 4,67 + 36,224 \cdot 2 + 22,64 \cdot 1,33 + 80 \cdot 1,33}{15,04 + 36,224 + 22,64 + 80}$$

$$\bar{y} = \frac{279,196}{153,904} = 1,81 \text{ m}$$

مثال 3: جدار استنادي كتلي أبعاده مبنية في الشكل .

المطلوب حساب عرض قاعدته B لكي

يكون مستقراً على الانزلاق .

(استخدم نظرية رانكين , وأهمل الدفع المعاكس

أمام الجدار).

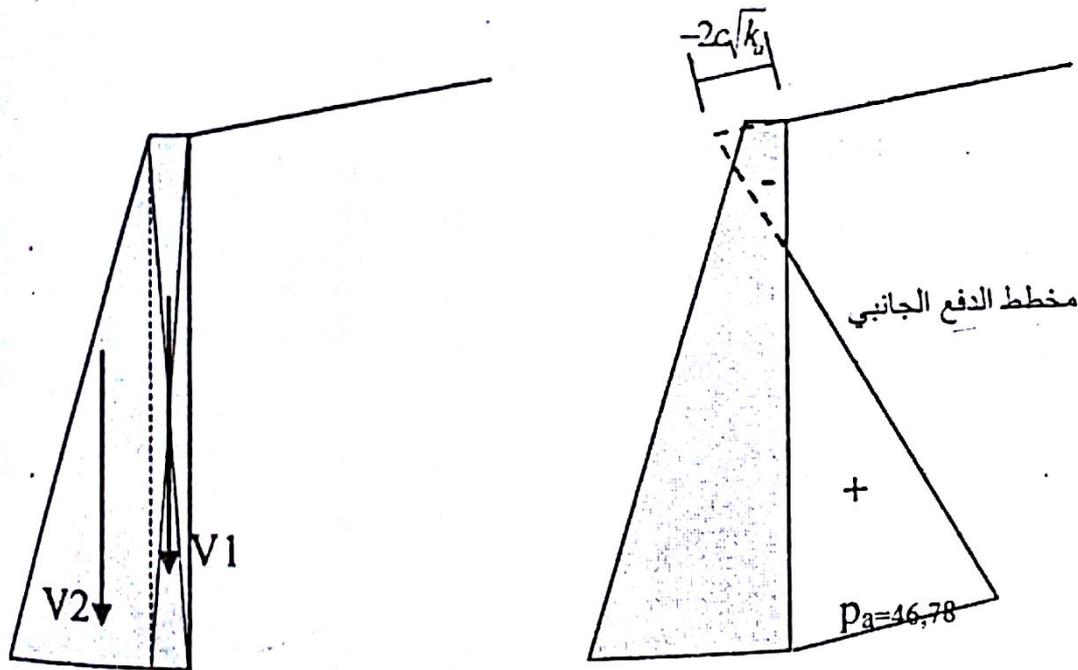
الحل

يحسب معامل الدفع الجانبي الفعال (بالعلاقة 3) :

$$k_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

حيث $\varphi = 21^\circ$; $\beta = 15^\circ$ ومنه :

$$k_a = \cos 15 \cdot \frac{\cos 15 - \sqrt{\cos^2 15 - \cos^2 21}}{\cos 15 + \sqrt{\cos^2 15 - \cos^2 21}} = 0,57$$



$$p_a = \gamma \cdot H \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a}$$

$$= 18,7 \cdot 6,5 \cdot 0,57 - 2 \cdot 18,0 \cdot \sqrt{0,57} = 42,1 \text{ kN/m}^2$$

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \sqrt{k_a}} = \frac{2 \cdot 18}{18,7 \sqrt{0,57}} = 2,55 \text{ m}$$

ارتفاع الشق:

$$H' = 6,5 - 2,55 = 3,95 \text{ m}$$

ويكون الارتفاع الباقي :

نهمل من مخطط الدفع الجانبي القسم السالب ونعتبر في الحساب الجزء الموجب فقط .
محصلة الدفع الجانبي على الجدار :

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 2.42 \cdot 1.3 \cdot 95 = 83,15 \text{ KN}$$

تحلل المحصلة الى مركبتين شاقولية وافقية :

$$P_{a,h} = P_a \cdot \cos \beta = 83,15 \cdot \cos 15 = 80,32 \text{ kN}$$

$$P_{a,v} = P_a \cdot \sin \beta = 83,15 \cdot \sin 15 = 21,52 \text{ KN}$$

وزن الجدار G يساوي

$$G = V_1 + V_2$$

$$G = 0,4 \cdot 6,5 \cdot 24 + 1/2 \cdot (B-0,4) \cdot 6,5 \cdot 24$$

$$G = 78 \cdot B + 31,2$$

لكي يتحقق الامان على الانزلاق يجب ان يكون :

$$\eta_s \geq 1,5 \quad \rightarrow \quad \eta_s = \frac{\text{مجموع القوى للاتزلاق}}{\text{مجموع القوى المسببة له}}$$

• القوى المقاومة للاتزلاق: هي: $F + P_p$ (ولكن P_p بحسب نص المسألة مهملة)

$$F = \sum V \cdot \mu + C_b \cdot B$$

$$\sum V = G + P_{a,v} = 78 \cdot B + 31,2 + 21,52$$

$$= 52,72 + 78 \cdot B$$

$$\mu = \tan(2/3 \cdot \varphi) \approx \frac{2}{3} \tan \varphi$$

$$= \tan(2/3 \cdot 18) = 0,21$$

$$C_b = 2/3 \cdot C = 2/3 \cdot 28,2$$

$$= 18,8 \text{ KN} / m^2$$

ومنه القوى المقاومة (فقط F) تساوي :

$$F = (52,72 + 78 \cdot B) \cdot 0,21 + 18,8 \cdot B$$

$$F = 35,18 \cdot B + 11,071$$

• القوى الزالقة:

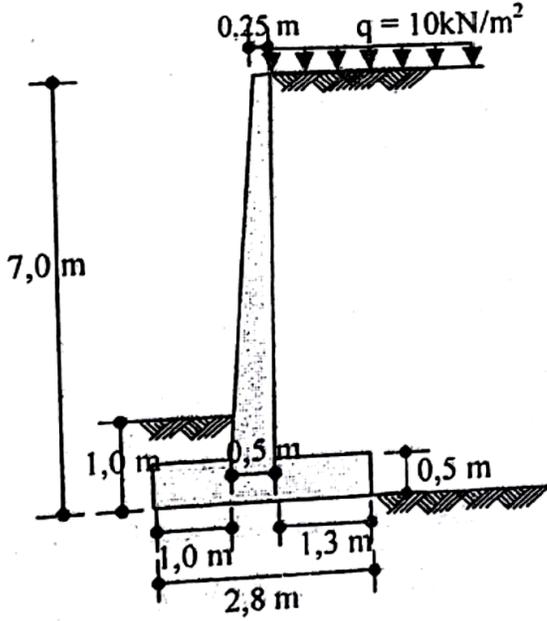
$$\sum H_s = P_{a,h} = 80,32$$

وبالتعويض في علاقة عامل الامان يكون :

$$1,5 = \frac{35,18 \cdot B + 11,071}{80,32}$$

$$\underline{\underline{B = 3,11 \text{ m}}} \quad \text{وبحل المعادلة نجد}$$

مثال 5: جدار استنادي مسلح ظفري شكله من النمط T أبعاده مبنية على الشكل أدناه والمطلوب تحقيق استقرار الجدار , إذا علمنا بان قدرة تحمل التربة المسموحة لتربة التأسيس تساوي $q_{all} = 250 \text{ kN/m}^2$.



• مواصفات تربة الردم خلف الجدار :

(تربة مفككة)
 $\phi_1 = 34^\circ$
 $\gamma_1 = 17,0 \text{ kN/m}^3$
 $c_1 = 0$

• مواصفات التربة اسفل وامام الجدار :

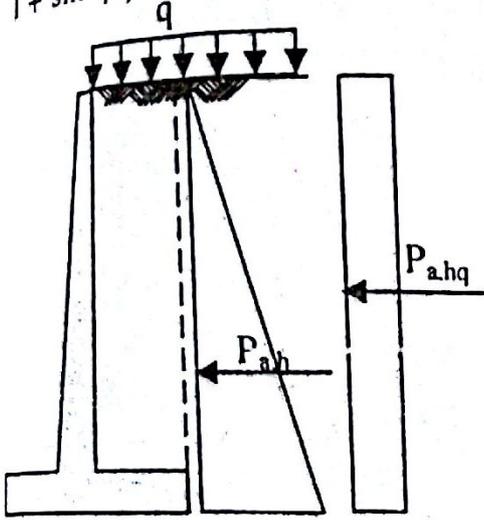
(تربة متماسكة)
 $\phi_2 = 20^\circ$
 $\gamma_2 = 20,0 \text{ kN/m}^3$
 $c_2 = 19 \text{ kN/m}^2$

الحل

أولاً: تحقيق الجدار على الانزلاق

بما أن $\varphi_1 = 34^\circ; \beta = 0^\circ$ فإن معامل الدفع الجانبي الفعال بحسب رانكين يساوي

$$k_a = \frac{1 - \sin \varphi_1}{1 + \sin \varphi_1} = \tan^2(45^\circ - \varphi_1 / 2) = \tan^2(45^\circ - 34 / 2) = 0,283$$



• مجموع القوى الأفقية الزلقة

$$\begin{aligned} \Sigma H_s &= P_{a,h} + P_{a,hq} \\ P_{a,h} &= P_a = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot k_a \\ &= 1/2 \cdot 17,7^2 \cdot 0,282 = 117,87 \text{ kN} \\ P_{a,hq} &= q \cdot k_a \cdot H \\ &= 10 \cdot 0,283 \cdot 7 = 19,81 \text{ kN} \\ \Sigma H_s &= 117,87 + 19,81 = 137,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

• القوى الممانعة للانزلاق:

هي P_p (محصلة الدفع المعاكس) و F (قوة ممانعة القاعدة للانزلاق)، ونظراً

لوجود التماسك فإن شكل مخطط الدفع المعاكس للتربة أمام الجدار هو

منحرف قاعدته الصغرى $p_{1,p}$ والكبرى $p_{0,p}$:

$$k_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{1 + \sin 20}{1 - \sin 20} = 2,04$$

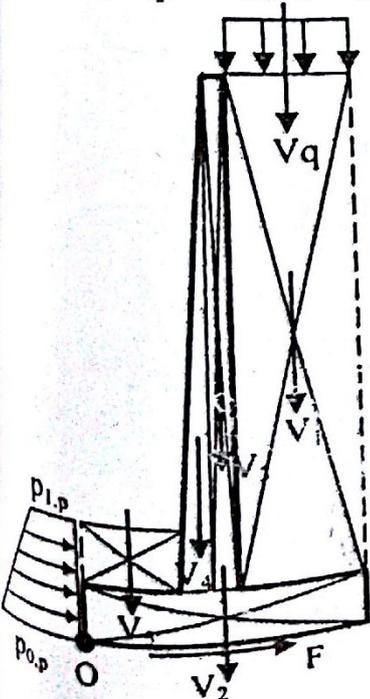
$$P_{1,p} = 2C \sqrt{k_p} = 2 \cdot 19 \cdot \sqrt{2,04} = 54,27 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{0,p} = \gamma \cdot D_f \cdot k_p + 2C \sqrt{k_p} = 18,5 \cdot 10 \cdot 2,04 + 54,27 = 92,01 \text{ kN/m}^2$$

$$\rightarrow P_{p,h} = 1/2 \cdot 1,0 \cdot (54,27 + 92,01) = 73,14 \text{ kN}$$

بينما تحسب قوة ممانعة القاعدة للانزلاق من العلاقة $F = \Sigma V \cdot \mu + C_h \cdot B$

حيث ΣV مجموع القوى الشاقولية وتحسب وفق الجدول التالي:



| القوة | القيمة |
|------------|---|
| V_1 | $1,3 \cdot 6,5 \cdot 17 = 143,65 \text{ kN}$ |
| V_2 | $2,8 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = 35 \text{ kN}$ |
| V_3 | $0,25 \cdot 6,5 \cdot 2,5 = 40,625 \text{ kN}$ |
| V_4 | $1/2 \cdot 0,25 \cdot 6,5 \cdot 5,52 = 20,313 \text{ kN}$ |
| V_5 | $1,0 \cdot 5,18 = 9,0 \text{ kN}$ |
| V_6 | $10 \cdot 1,3 = 13,0 \text{ kN}$ |
| ΣV | $261,588 \text{ kN}$ |

$$\mu = \frac{2}{3} \tan \varphi = \frac{2}{3} \cdot \tan 20^\circ = 0,243$$

$$C_b = \frac{2}{3} \cdot C = \frac{2}{3} \cdot 19 = 12,67 \text{ kN/m}^2$$

$$F = 261,588 \cdot 0,243 + 12,67 \cdot 2,8 = 99,04 \text{ kN}$$

ومنه معامل الأمان على الانزلاق:

$$\eta_s = \frac{F + P_p}{\Sigma H_s} = \frac{99,04 + 73,14}{137,68} \approx 1,25 < 1,5$$

والجدار غير محقق على الانزلاق، ومن أجل جعله آميناً على الانزلاق يجب انشاء سن قص (سن انزلاق) تحت الجدار تصمم وفق الخطوات التالية:

1. نختار أي عامل امان على الانزلاق أكبر من 1,5 وليكن $\eta^* = 1,6$.

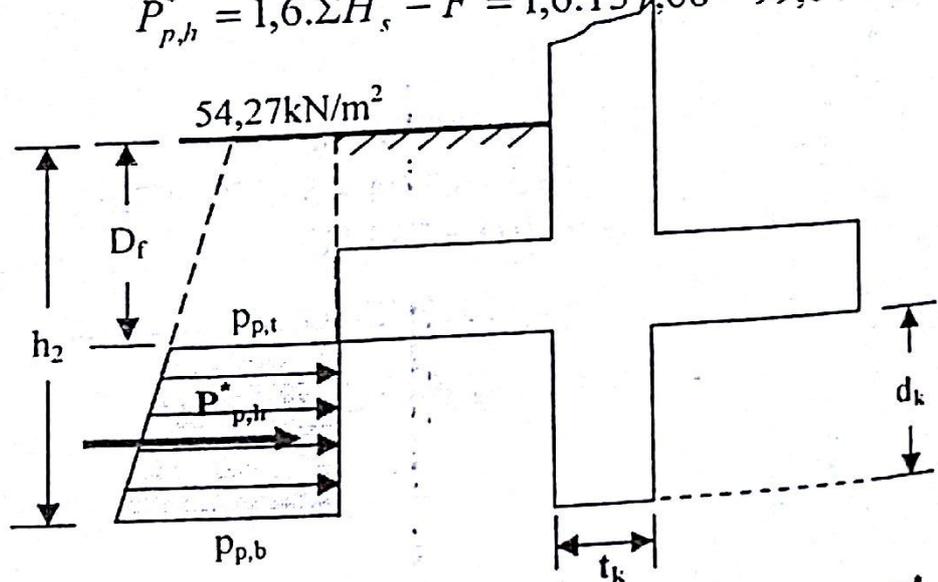
2. نكتب علاقة الأمان على الانزلاق:

$$\eta^* = 1,6 = \frac{P_p^* + F}{\Sigma H_s}$$

ولكن F معلومة وتساوي 99,04kN و ΣH_s معلومة وتساوي 137,68kN

ومنه نحسب $P_{p,h}^*$ الضرورية للتوازن

$$P_{p,h}^* = 1,6 \cdot \Sigma H_s - F = 1,6 \cdot 137,68 - 99,04 = 121,248 \text{ kN}$$



3. تمثل $P_{p,h}^*$ حصة الدفع المعاكس المؤثر على ارتفاع السن وتحسب وفق الشكل

(بالعلاقة 35): $P_{p,h}^* = 1/2 \cdot (h_2 - D_f) \cdot (P_{p,t} + P_{p,b})$ حيث:

$$P_{p,t} = \gamma \cdot D_f \cdot k_p + 2C \cdot \sqrt{k_p} = 18,5 \cdot 1,0 \cdot 2,04 + 54,27 = 92,01 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{p,b} = \gamma k_p h_2 + 54,27 = 18,5 \cdot 2,04 \cdot h_2 + 54,27 = 37,74 \cdot h_2 + 54,27$$

$$121,248 = 0,5 \cdot (h_2 - 1) \cdot (92,01 + 37,74 h_2 + 54,27)$$

$$121,248 = (h_2 - 1)(73,14 + 18,87 h_2)$$

$$\rightarrow 18,87 \cdot h_2^2 + 54,27 \cdot h_2 - 194,39 = 0$$

| القوة kN | الذراع m | العزم kN.m | $\Sigma M_R = 550,31 kN.m$ |
|-------------------------|----------|------------|----------------------------|
| $V_1 = 165,75$ | 2,25 | 372,93 | |
| $V_2 = 37,5$ | 1,5 | 56,25 | |
| $V_3 = 40,625$ | 1,375 | 55,86 | |
| $V_4 = 20,313$ | 1,33 | 27,02 | |
| $V_5 = 9$ | 0,5 | 4,5 | |
| $V_q = 15$ | 2,25 | 33,75 | |
| $\Sigma V = 288,188 kN$ | | | |

ويتحقق بذلك الامان على الانقلاب :

$$\eta_o = \frac{550,31}{344,365} \cong 1,6 > 1,5 \quad \text{حيث}$$

ويمكن لغايات اقتصادية أن يعاد حساب السن بناء على الأبعاد الجديدة .

ثالثاً تحقيق اجهادات القاعدة:

يحسب بعد المحصلة x عن الزاوية الامامية للجدار

وفق (العلاقة 40) :

$$x = \frac{\Delta M}{\Sigma V} = \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_o}{\Sigma V}$$

$$x = \frac{550,31 - 344,365}{288,188} = 0,715 \approx 0,72 m$$

ومنه فان اللامركزية e تساوي :

$$e = \frac{B}{2} - x = 1,5 - 0,72 = 0,78 m$$

ومنه فان الاجهادات العظمى والصغرى تحت الاساس

تساوي وفق (المعادلة 42) :

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6.e}{B}\right)$$

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{288,188}{3} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,78}{3}\right)$$

$$\sigma_{\max} = 245,92 kN/m^2 < q_{all} \quad \text{أي}$$

$$\sigma_{\min} = -53,8 kN/m^2$$

ومن أجل استبعاد الاجهادات الشادة نزيد عرض القاعدة إلى 3,2 م.

