الفصل الثاني : الجدران الوتدية

2. 1 مقدمة

تعرف الجدران الوتدية بأنها جدران مستمرة مؤلفة من صفائح وتدية مدقوقة شاقولياً بعضها إلى جانب البعض الآخر بواسطة آلات الدق (الشكل 2. 1).

الشكل 2. 1: جدار وتدي معدني

يستفاد من الجدران الوتدية في مقاومة كل من ضغط التربة و الماء و تستخدم في حالات متعددة نذكر منها:

1. بناء أحواض التأسيس
2. تدعيم و تأمين كتامة حفر التأسيس الأخفض من منسوب المياه الجوفية حيث تستخدم عوضاً عن التدعيم العادي و خاصة في الترب الرملية لتفادي إمكانية حصول جرف الماء للرمل بين أطراف ألواح التدعيم الخشبية مما سيؤدي إلى خلق فراغات وراء الألواح قد تسبب انهيار التدعيم.
3. تستخدم كعنصر إنشائي: جدار رصيف ميناء – حائط لحماية ركائز الجسور النهرية من النحر – جدار كتامة تحت الهدارات لزيادة طول مسار التسرب و تخفيف الميل الهيدروليكي للمياه المتسربة

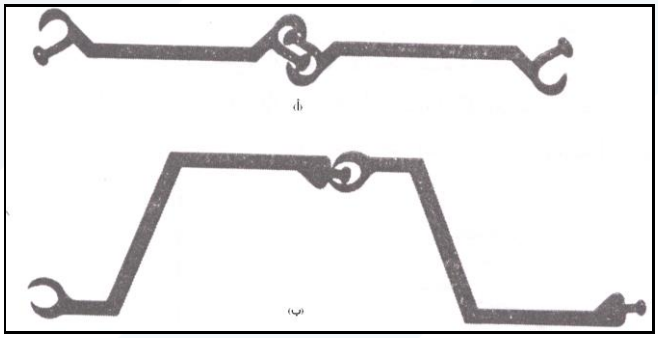
يتميز إنشاء الجدران الوتدية عن الجدران الاستنادية بكونه لا يتطلب تخفيض منسوب المياه في الموقع.

2.2 أنواع الجدران الوتدية

1- الجدران الوتدية الخشبية: تستخدم عادة من أجل المنشآت الخفيفة المؤقتة، و تعتبر الصفائح الوتدية الخشبية جيدة حتى عمق 3m حيث يصبح إدخالها في التربة لأعماق أكبر صعباً نظراً لسماكتها الكبيرة.

2- الجدران الوتدية البيتونية: تتألف من صفائح من البيتون المسلح ذات سماكة 15-25cm تستطيع تحمل الإجهادات الناتجة خلال فترة الإنشاء و ما بعدها. تتميز بقدرتها الكبيرة على تحمل الدق.

3- الجدران الوتدية المعدنية: و هي الأكثر استخداماً و تتألف من صفائح معدنية (فولاذية عادة، و حديثاً تستخدم أحياناً صفائح من الألمنيوم) متصلة مع بعضها بواسطة الأقفال الموجودة في أطرافها (الشكل 2. 2). تكون سماكة الصفائح المعدنية بحدود 13mm – 10 مما يسهل من عملية اختراقها للتربة عند الدق. يمكن دق هذه الصفائح حتى عمق 30m و تتميز بأنها تعمر طويلاً (حتى 100 سنة في حالة المياه غير المالحة)، كما تتميز بخفة وزنها و إمكانية استخدامها أكثر من مرة.



الشكل 2. 2 : مثال عن طبيعة الوصلات بين الصفائح الوتدية المعدنية:

أ- نوع (السبابة – الإبهام) ب- نوع (الكرة – الوسادة الكروية)

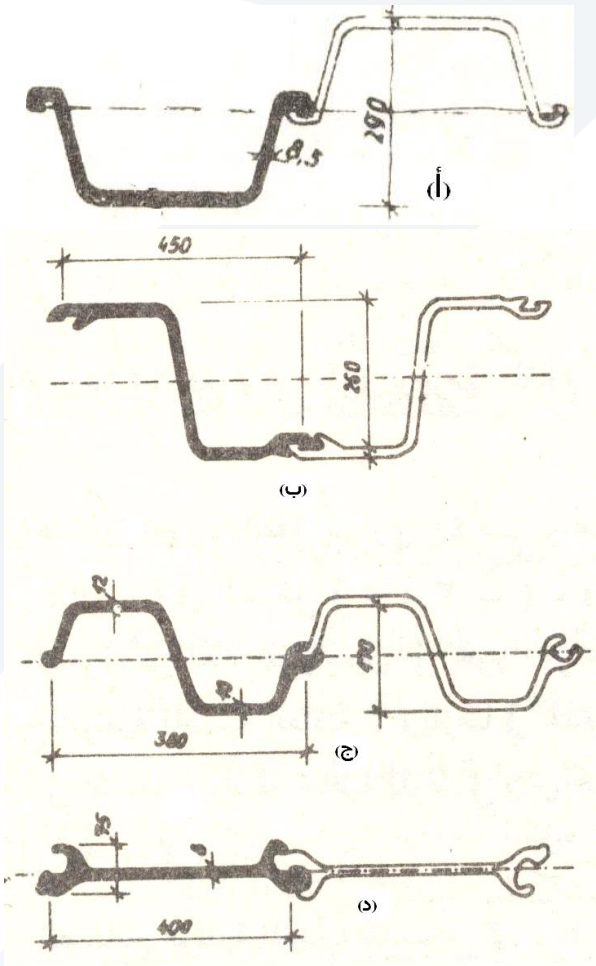
يوجد أشكال مختلفة للصفائح المعدنية نذكر منها:

أ- صفائح بشكل **U** (صفائح لارسن) (الشكل 2. 3-أ): لها نفس شكل القفل في الأطراف. ينفذ الجدار الوتدي منها بزلق قفل الصفيحة المعدنية ضمن قفل الصفيحة المجاورة بحيث توضع الصفائح بشكل متناوب بالنسبة لمحور الجدار الوتدي (صفيحة إلى يمين الجدار تليها صفيحة إلى يساره و هكذا) و بالتالي تكون جميع أقفال الصفائح الوتدية واقعة على محور الجدار الوتدي مما يؤدي إلى استمرارية متقطعة في الجدار بسبب الأقفال مما يضعف العزم المقاوم للجدار في الجزء الحر منه.

ب- صفائح بشكل **Z** (الشكل 2. 3-ب): تكون الأقفال بعيدة عن محور الجدار و بالتالي تحسب بعزم مقاوم كامل لا يتعلق بطول الغرز ضمن التربة.

ج- صفائح بشكل **S** (الشكل 2. 3-ج)

د- صفائح مستوية (الشكل 2. 3-د) : تتحمل قوى شد كبيرة و لا تتطاول، و لذلك يفضل استخدامها في الأحواض الأسطوانية



الشكل 2. 3 : أشكال الصفائح الوتدية المعدنية: أ- شكل U (صفائح لارسن)

ب- شكل Z ج- شكل S د- صفائح مستوية

سنقتصر في دراستنا التالية على الجدران الوتدية المعدنية.

3.2 <u>طرق إنشاء الجدران الوتدية</u>

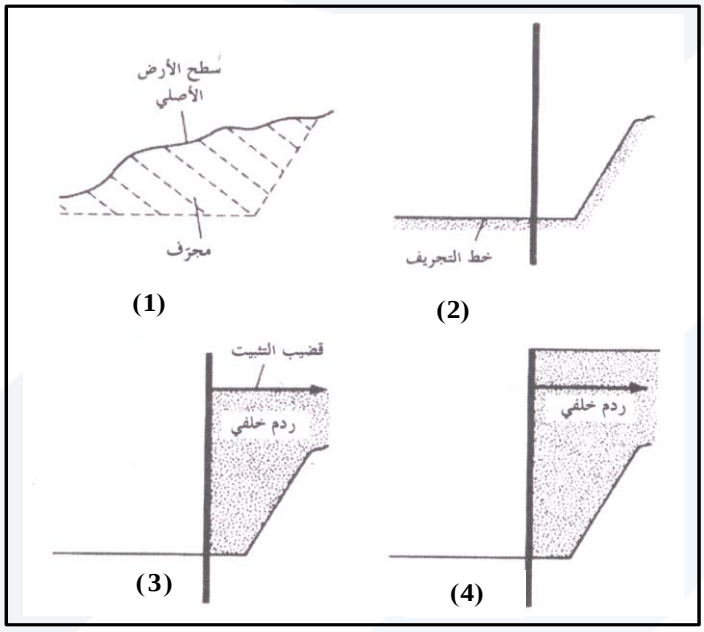
تقسم الجدران الوتدية المعدنية بشكل أساسي إلى فئتين رئيسيتين:

1- جدران وتدية ظفرية

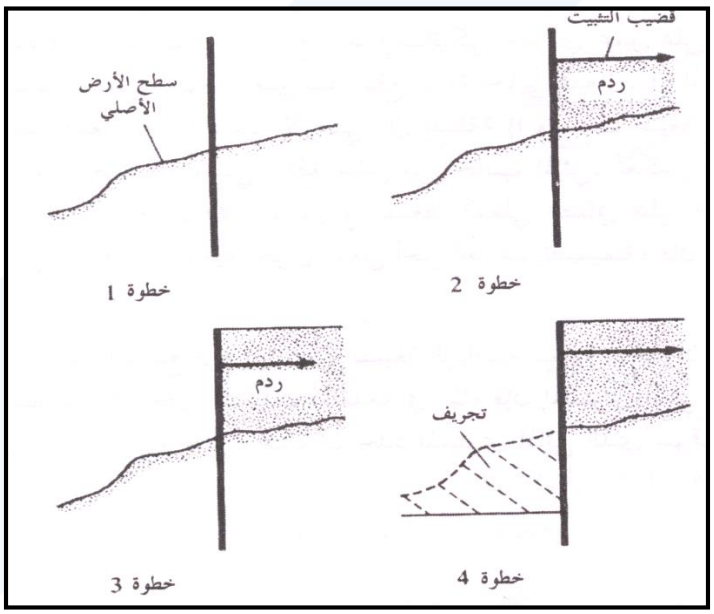
2- جدران وتدية مثبتة

يمكن أن تدق الصفائح الوتدية بالأرض و بعدها يوضع الردم في الجانب الأرضي خلفها كما هو مبين في الشكل 2. 4 (تدعى جدران وتدية حاجزة للردم) , أو يتم نزع (تجريف) التربة من الجانب المائي أمام الصفائح كما هو مبين في الشكل 2. 5 (تدعى

جدران وتدية مانعة للجرف). في كل الأحوال تكون التربة المستخدمة للردم خلف الصفائح مفككة عادة (حصوية أو رملية)، أما التربة تحت خط التجريف (سطح التربة في الجانب المائي) فيمكن أن تكون رملية أو غضارية.



الشكل 2. 4 : مراحل إنشاء جدار وتدي حاجز للردم(المرحلة 3 غير مطلوبة في الجدران الظفرية)



الشكل 2. 5 : مراحل إنشاء جدار وتدي مانع للجرف (المرحلة 2 غير مطلوبة في الجدران الظفرية)

2. 4 الحساب الستاتيكي للجدران الوتدية المعدنية الظفرية

تستخدم الجدران الوتدية المعدنية الظفرية عادة للارتفاعات المتوسطة (6m ≥ فوق منسوب أرضية حوض التأسيس أو منسوب خط التجريف) و تأتي تسميتها بالظفرية من كون الصفائح الوتدية تعمل كجائز ظفري عريض فوق خط

التجريف. تحسب هذه الجدران كجوائز موثوقة بشكل مرن في التربة و الجدار الوتدي لا يتشوه فقط في جزئه العلوي الظاهر و إنما يتشوه أيضاً ضمن التربة نفسها حيث يوجد المقطع المجهد إجهاداً أعظمياً.

من المفروض أن يتم حل الجائز الموثوق بشكل مرن بواسطة المعادلات التفاضلية لتشوهه و لكن نظراً لصعوبة ذلك فسنقبل بالافتراضات التقريبية التالية التي تسمح بحل الجدار كجائز مقرر ستاتيكياً و بالتالي استخدام معادلات التوازن الستاتيكي:

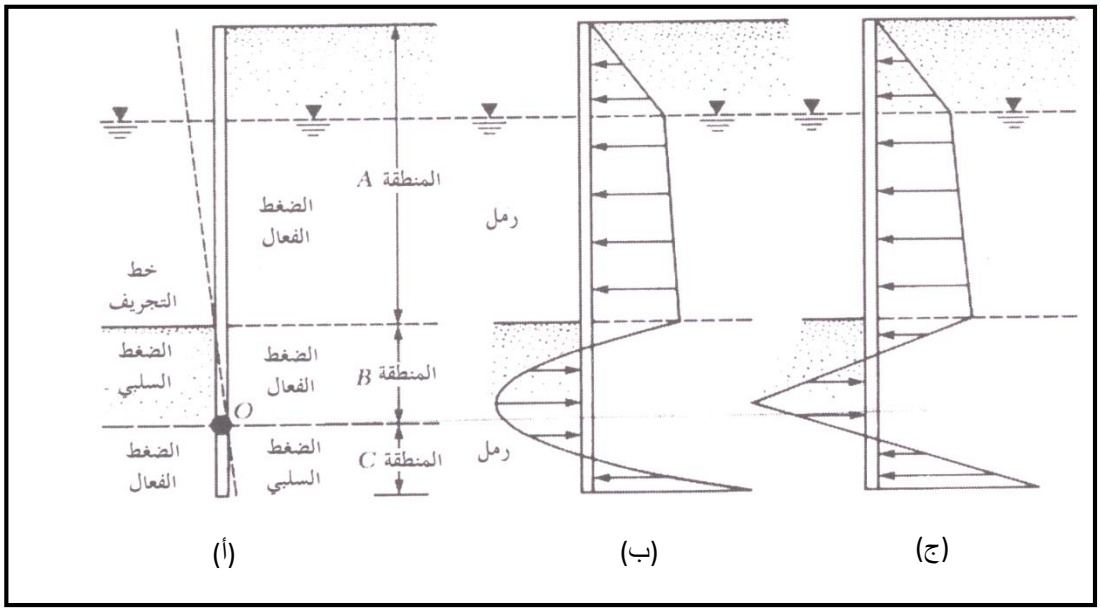
1- الجدار الوتدي لا يتشوه و إنما يدور فقط بنتيجة الضغط و كأنه عنصر صلب

2- دوران الجدار الوتدي يكون حول نقطة تقع ضمن التربة

2.4.1 دراسة الصفائح الوتدية الظفرية المغروزة في الرمل

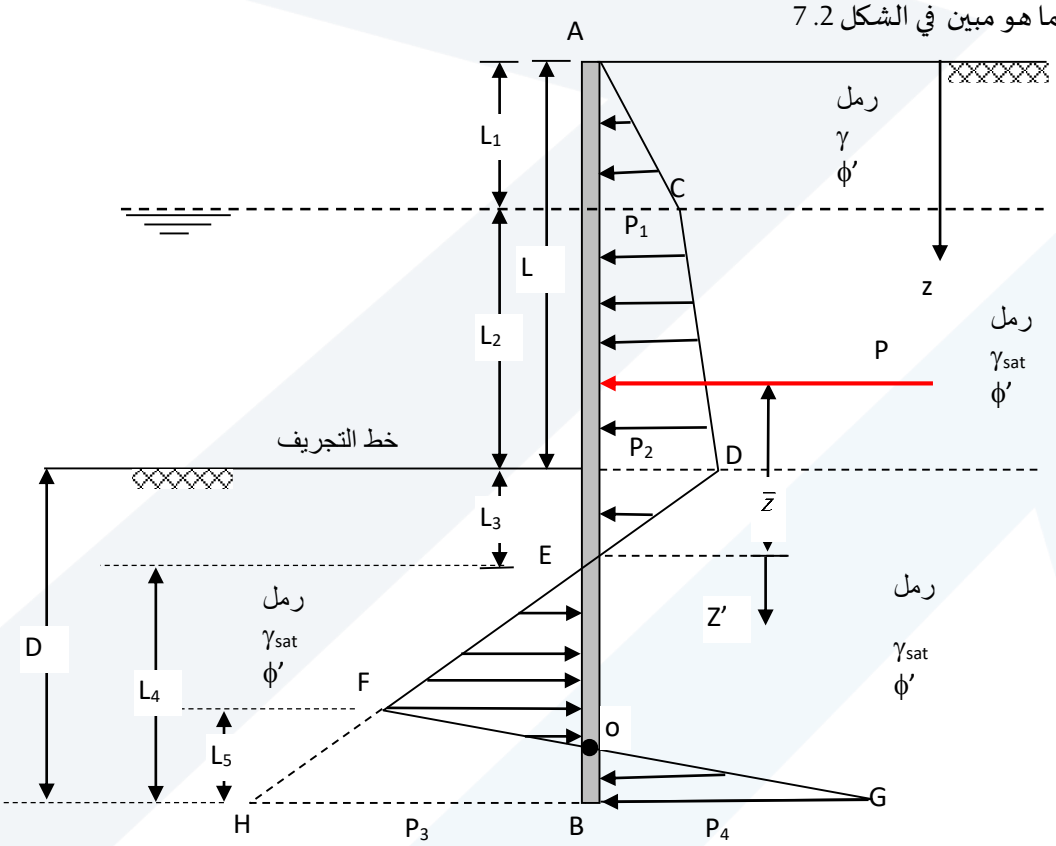
بفرض وجود جدار وتدي يسند تربة رملية متجانسة أمام وخلف االجدار وبفرض أن منسوب المياه الجوفية متساوي على جانبي الجدار,أن الجدار يدور حول نقطة O واقعة تحت منسوب أرضية حوض التأسيس(خط التجريف) (الشكل 2. 6).

نلاحظ على الشكل (2. 6-أ) بأن الدفع الجانبي في المنطقة A هو الضغط الفعال من الجانب الأرضي (خلف الجدار الوتدي)، بينما نلاحظ في المنطقة B وجود ضغط فعال من الجانب الأرضي و ضغط معاكس من الجانب المائي و تصبح الحالة معكوسة في المنطقة C الواقعة أسفل نقطة الدوران O. يبين الشكل (2. 6-ب) مخطط توزع الدفع الجانبي الصافي الفعلي على الجدار الوتدي في حين يظهر الشكل (2. 6-ج) المخطط المبسط المستخدم عند التصميم.



الشكل 2. 6 : الدفع الجانبي للتربة على جدار وتدي ظفري مغروز في الرمل

بفرض أن زاوية احتكاك التربة لا تتأثر بالماء ($\phi = \phi'$), وباستخدام نظرية رانكين تكون قيم الضغوط المؤثرة على الجدار الوتدي كما هو مبين في الشكل 7.2



الشكل 7.2: مخططات تغير الدفع الصافي و العزم لجدار وتدي ظفري مغروز في الرمل

حساب الدفع الجانبي من سطح الأرض حتى خط التجريف O :

تعطى شدة الدفع الفعال P_1 عند العمق $Z = L_1$:

$$P_1 = \gamma . L_1 . K_a \qquad (1.2)$$

k_a معامل رانكين للدفع الفعال، $K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$

و عند العمق $Z = L_1 + L_2$ يكون الدفع الفعال P_2 :

$$P_2 = (\gamma . L_1 + \gamma_{sub} . L_2)\, K_a = q\, K_a \qquad (2.2)$$

حساب الدفع الجانبي تحت خط التجريف و حتى نقطة الدوران O :

يحسب الضغط الفعال على عمق Z ($Z > L$) بالعلاقة:

$$P_a = [q + \gamma_{sub} . (Z - L)]\, K_a \qquad (3.2)$$

و يحسب الضغط المعاكس على العمق Z بالعلاقة:

$P_P = \gamma_{sub}.(Z - L).K_P$ (4.2)

K_P معامل رانكين للدفع السلبي، $K_p = \tan^2(45+\phi/2)$

بطرح المعادلة (4.2) من (3.2) نحصل على الدفع الصافي على الجدار P **من خط التجريف حتى نقطة الدوران O**:

$$P = P_a - P_P = q\,K_a - \gamma_{sub}.(Z - L).(K_P - K_a)$$

$$P = P_2 - \gamma_{sub}.(Z - L).(K_P - K_a) \qquad (5.2)$$

يصبح الدفع الصافي P مساوياً للصفر عند النقطة E التي تقع على عمق $(Z = L + L_3)$:

$$P_2 - \gamma_{sub}.L_3\,(K_P - K_a) = 0$$

$$\Rightarrow \quad L_3 = \frac{P_2}{\gamma_{sub}(K_P - K_a)} \qquad (6.2)$$

تظهر هذه المعادلة أن ميل خط توزيع الدفع الصافي DEF عن الأفق هو:

$$\frac{L_3}{P_2} = \frac{1}{\gamma_{sub}(K_P - K_a)}$$

$$\Rightarrow \quad P_3 = \gamma_{sub}.L_4\,(K_P - K_a) \qquad (7.2)$$

نلاحظ أن P_3 تحسب بدلالة L_4

- من أجل تحديد P_4 : الدفع الجانبي الصافي عند النقطة B الواقعة أسفل الجدار على عمق (L+D) :

الضغط السلبي خلف الجدار الوتدي (جهة اليمين) في النقطة B :

$$P_P = (q + \gamma_{sub}.D)\,K_P \qquad (8.2)$$

و عند نفس العمق يكون الضغط الفعال:

$$P_a = \gamma_{sub}.D.K_a \qquad (9.2)$$

و بالتالي تكون محصلة الدفع أسفل الجدار (النقطة B) مساوية لـ $P_P - P_a$:

$$P_P - P_a = P_4 = q\,K_P + \gamma_{sub}.D\,(K_P - K_a)$$

لكن $D = L_3 + L_4 \Leftarrow$

$$P_P - P_a = P_4 = q\,K_P + \gamma_{sub}.L_3\,(K_P - K_a) + \gamma_{sub}.L_4\,(K_P - K_a)$$

بفرض:

$$P_5 = q\,K_P + \gamma_{sub}.L_3\,(K_P - K_a)$$

$$P_3 = \gamma_{sub}.L_4\,(K_P - K_a)$$

$$\Rightarrow P_4 = P_5 + P_3 \qquad (10.2)$$

نلاحظ أنه مثل P_3 فإن P_4 تحسب أيضاً بدلالة L_4

معادلات التوازن

1- معادلة إسقاط القوى الأفقية: $\Sigma F = 0$

$$A_{(ACDE)} - A_{(EFHB)} + A_{(FHBG)} = 0$$

$$\Rightarrow \quad P - ½\,P_3.L_4 + ½\,(P_3 + P_4).\,L_5 = 0$$

$$\Rightarrow L_5 = \frac{P_3.L_4 - 2P}{P_3 + P_4} \qquad (11.2)$$

ملاحظة: يتم حساب P ثم Z (بعد P عن نقطة انعدام الضغط E) من معادلة عزم حول E

2- معادلة عزم حول النقطة B :

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\Rightarrow P(L_4 + \overline{Z}) - \frac{1}{2}P_3.L_4.\frac{L_4}{3} + \frac{1}{2}(P_3 + P_4).L_5.\frac{L_5}{3} = 0 \qquad (12.2)$$

بالتعويض عن P_3 ، P_4، L_5 بقيمها المحسوبة من المعادلات(7.2) و (10.2) و (11.2) في المعادلة (12.2) نحصل على معادلة من الدرجة الرابعة بالنسبة ل L_4 بحلها بطريقة التجريب نحصل على L_4 و بالتالي يمكن حساب العمق النظري لغرز الصفائح الوتدية D من العلاقة $D = L_3 + L_4$

ملاحظة: نحصل على عمق الغرز الفعلي بزيادة D بمقدار 30% (نأخذ 1.3D)

حساب العزم الأعظمي

يقع العزم الأعظمي بين النقطتين E و F (العزم الأعظمي لا علاقة له بعمق الغرز D)

أ- نحسب مكان العزم الأعظمي (مكان القص المعدوم Q=0) مع اعتبار محور جديد Z´ يبدأ منE باتجاه الأسفل:

$$Q = 0 \Rightarrow P - \frac{1}{2}.\gamma_{sub}.Z'(K_P - K_a).Z' = 0$$

$$\Rightarrow Z' = \sqrt{\frac{2P}{\gamma_{sub}.(K_P - K_a)}} \qquad (13.2)$$

ب- نحسب العزم عند النقطة التي تقع على عمق Z' فيكون هو العزم الأعظمي :

$$M_{max} = P(\bar{Z} + Z') - \frac{1}{2}.\gamma_{sub}.Z'^2(K_P - K_a).\frac{Z'}{3} \qquad (14.2)$$

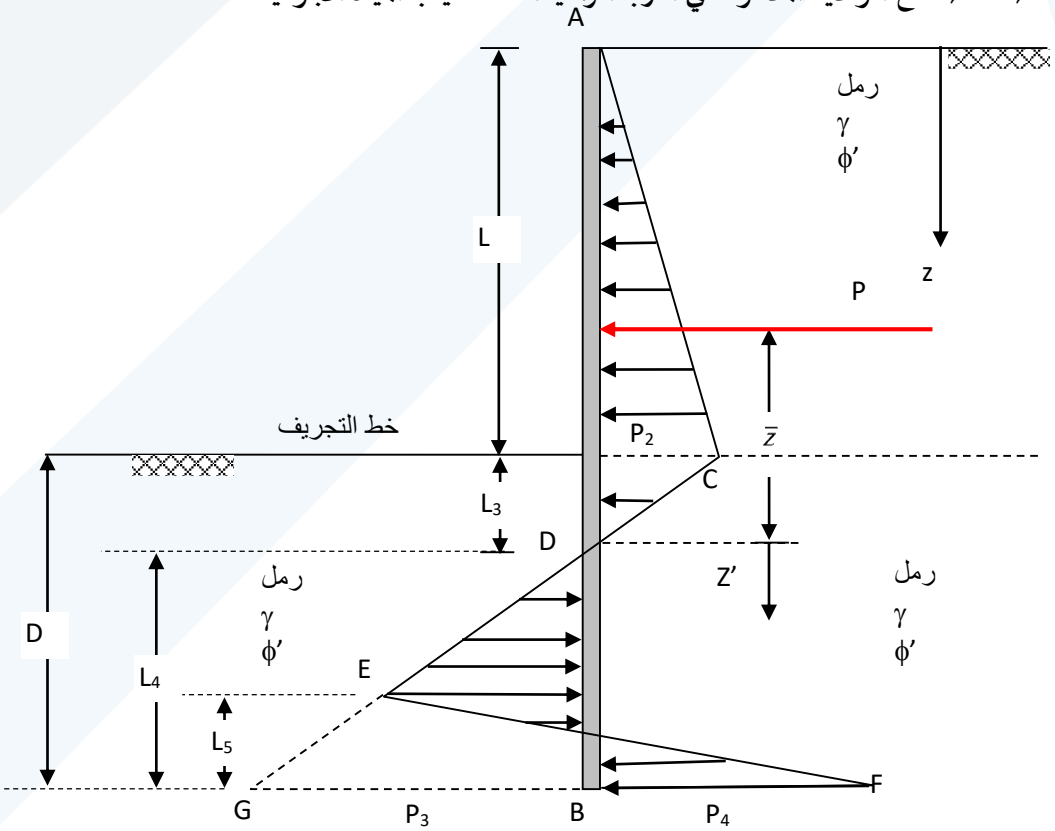
يمكن تحديد أبعاد مقطع الصفيحة الوتدية اعتماداً على العزم الأعظمي أو على معامل المقطع S المطلوب للصفيحة الوتدية حيث:

$$\boxed{S = \frac{M_{max}}{\bar{\sigma}_S} \qquad (15.2)}$$

حيث $\bar{\sigma}_S$: الإجهاد المسموح للصفيحة الوتدية على الانعطاف

بعد حساب S نختار الصفيحة التي لها معامل مقطع يساوي أو أكبر من S (من جداول خاصة)

حالة خاصة للصفائح الوتدية المدقوقة في الترب الرملية: حالة غياب المياه الجوفية



الشكل 8.2 : مخطط الدفع الصافي المؤثر على جدار وتدي مغروز في الرمل (حالة غياب المياه الجوفية)

في هذه الحالة سيكون مخطط تغير الدفع الجانبي الصافي المؤثر على الجدار الوتدي كما هو مبين في الشكل 8.2 و يمكن حساب القيم الممثلة عليه بالعلاقات التالية:

$$P_2 = \gamma . L . K_a \qquad (16.2)$$

$$P_3 = \gamma . L_4 . (K_P - K_a) \qquad (17.2)$$

$$P_4 = P_5 + P_3 \qquad (18.2)$$

حيث:

$$P_5 = \gamma . L . K_P + \gamma . L_3 . (K_P - K_a)$$

<u>حساب L_3:</u>

من أجل $Z > L$

$$P_a - P_P = \gamma . L . K_a - \gamma . (Z - L) . (K_P - K_a) \qquad (19.2)$$

في النقطة E لدينا: $P_a - P_P = 0, Z - L = L_3$

$$\gamma . L . K_a - \gamma . L_3 (K_P - K_a) = 0$$

$$\Rightarrow L_3 = \frac{L . K_a}{(K_P - K_a)} \qquad (20.2)$$

<u>حساب L_5:</u>

تحسب L_5 من معادلة إسقاط للقوى باتجاه x $\Leftarrow$ نحصل على L_5 بدلالة L_4

$$P = \frac{1}{2} P_2 . L + \frac{1}{2} P_2 . L_3 \qquad (21.2)$$

<u>حساب L_4:</u>

من معادلة عزوم حول B : $\Leftarrow \Sigma M_B = 0$ نحصل على معادلة من الدرجة الرابعة بالنسبة لـL_4 بحلها نحصل على L_4 و من ثم عمق الغرز $(D = L_3 + L_4)$

<u>حساب العزم الأعظمي:</u>

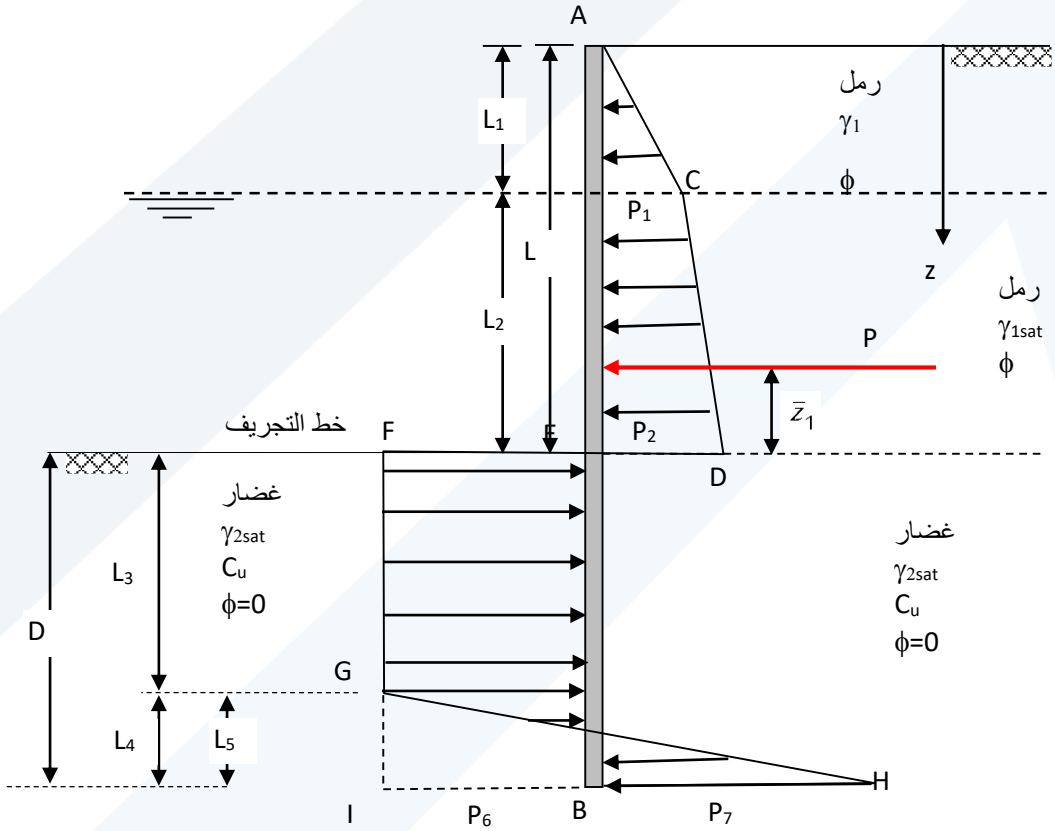
يقع العزم الأعظمي بين النقطتين E و F

- نحسب مكان العزم الأعظمي Z' (من معادلة قطع و حساب مكان القص المعدوم Q=0):

- نحسب العزم حول النقطة التي تقع على عمق Z' ⟸ M_{max}

2.4.2 دراسة الصفائح الوتدية الظفرية المغروزة في الغضار

يوضح الشكل 2. 9 مخطط تغير الدفع الجانبي الصافي على جدار من صفائح وتدية ظفرية مغروزة في طبقة غضارية ذات تماسك غير مصرف Cu (ϕ=0) مع ردم خلفي مكون من تربة مفككة رملية (C=0، زاوية الاحتكاك ϕ) فوق منسوب خط التجريف و في حالة وجود بساط مائي واقع على عمق L_1 تحت أعلى الجدار.



الشكل 2. 9 : مخطط الدفع الصافي المؤثر على جدار وتدي ظفري مغروز في الغضار

باستخدام المصطلحات التالية:

K_{a1}: عامل الدفع الفعال لطبقة الرمل: $K_{a1}=\tan^2(45-\phi/2)$

K_{a2}: عامل الدفع الفعال لطبقة الغضار

K_P: عامل الدفع المعاكس لطبقة الغضار

و بما أن ϕ=0 لطبقة الغضار ⟵ $K_P = K_{a2} = \tan^2(45) = 1$

γ_{1sub}: الوزن الحجمي المغمور لطبقة الرمل : $\gamma_{1sub} = \gamma_{1sat} - \gamma_w$

γ_{2sub}: الوزن الحجمي المغمور لطبقة الغضار : $\gamma_{2sub} = \gamma_{2sat} - \gamma_w$

و باعتماد منهجية مماثلة لتلك المشروحة سابقاً من أجل الصفائح الوتدية الظفرية المغروزة في الرمل في حالة وجود الماء نحصل على العلاقات التالية:

-عند العمق $Z = L_1$:

$$P_1 = \gamma_1 . L_1 . K_{a1} \qquad (22.2)$$

- عند العمق $Z = L_1 + L_2$ يكون:

$$P_2 = (\gamma_1 . L_1 + \gamma_{1sub} . L_2)\, K_{a1} = q\, K_{a1} \qquad (23.2)$$

- من أجل تحديد الدفع الجانبي تحت خط التجريف و حتى نقطة الدوران O :

يحسب الضغط الفعال من اليمين إلى اليسار على عمق Z $(Z > L)$ بالعلاقة:

$$P_a = [q + \gamma_{2sub} . (Z - L)] K_{a2} - 2C\sqrt{K_{a2}} = q + \gamma_{2sub} . (Z - L) - 2C \qquad (24.2)$$

و يحسب الضغط المعاكس على العمق Z بالعلاقة:

$$(25.2)\ P_P = \gamma_{2sub} . (Z - L)] K_{P2} + 2C\sqrt{K_{P2}} = \gamma_{2sub} . (Z - L) + 2C$$

بطرح المعادلة (24.2) من (25.2) نحصل على الدفع الصافي على الجدار P:

$$P_6 = P_P - P_a = [\gamma_{2sub} . (Z - L) + 2C] - [q + \gamma_{2sub} . (Z - L) - 2C]$$

$$\Rightarrow P_6 = 4C - q \qquad (26.2)$$

- عند أســفل الجدار (النقطة B: Z=D) يكون الدفع الفعال من اليســار إلى اليمين و الدفع المعاكس من اليمين إلى اليسار و قيمتهما:

$$P_a = \gamma_{2sub} . D - 2C \qquad (27.2)$$

$$P_P = (q + \gamma_{2sub} . D) + 2C \qquad (28.2)$$

و بالتالي يكون الدفع الصافي:

$$P_7 = P_P - P_a = 4C + q \qquad (29.2)$$

معادلات التوازن

1- معادلة إسقاط القوى الأفقية: $\Sigma F = 0$

$$A_{(ACDE)} - A_{(EFIB)} + A_{(GIH)} = 0$$

$$P - (4C-q).D + ½.L_4(4C-q + 4C + q] = 0 \qquad (30.2)$$

P : مساحة الجزء ACDE من مخطط الدفع الجانبي الصافي على الجدار

بتبسيط المعادلة السابقة:

$$\Rightarrow L_4 = \frac{D(4C-q)-P}{4C} \qquad (31.2)$$

2- معادلة عزم حول B:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\Rightarrow P(D+\overline{Z}_1) - (4C-q)\frac{D^2}{2} + \frac{1}{2}.L_4.(8C)(\frac{L_4}{3}) = 0 \qquad (32.2)$$

حيث $\overline{Z}_1$: المسافة من مركز الضغط للجزء ACDE مقاسة من مستوى خط التجريف

بالتعويض عن L_4 بقيمتها من العلاقة (32.2) نحصل على معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـ D بحلها نحصل على (Dالعمق النظري لغرز الصفائح الوتدية ضمن الطبقة الغضارية)

ملاحظة: نحصل على عمق الغرز الفعلي بزيادة D بمقدار 50% (نأخذ 1.5D)

حساب العزم الأعظمي

حسب الشكل 9 .2 فإن العزم الأعظمي (القص عنده معدوم) سيقع بين النقطتين E و G.

ب- نحسب مكان العزم الأعظمي مع اعتبار محور جديد Z´ يبدأ منE باتجاه الأسفل:

$$Q = 0 \Rightarrow P - P_6 . Z' = 0$$

$$\Rightarrow Z' = \frac{P}{P_6} \qquad (33.2)$$

ب- نحسب العزم عند النقطة التي تقع على عمق Z' فيكون هو العزم الأعظمي :

$$M_{max} = P(Z' + \overline{Z_1}) - \frac{P_6 . Z'^2}{2} \qquad (34.2)$$

بمعرفة عزم الانعطاف الأعظمي يمكن تحديد معامل المقطع S المطلوب للصفيحة الوتدية بالعلاقة:

$$S = \frac{M_{max}}{\overline{\sigma_S}} \qquad (35.2)$$

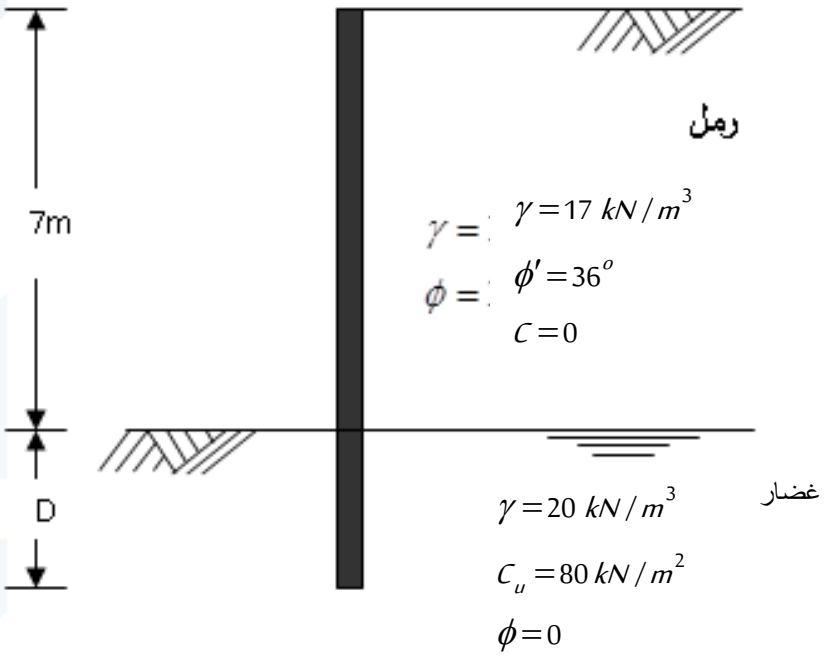
و من ثم نختار الصفيحة التي لها معامل مقطع يساوي أو أكبر من S (من جداول خاصة)

مثال 1

يطلب حساب عمق الغرز للصفيحة المبينة بالشكل 10 .2 والمستخدمة لتدعيم حوض التأسيس, علماً بأن:

- عمق حوض التأسيس 7m

- منسوب المياه الجوفية يقع عند منسوب أرضية حوض التأسيس.



الشكل 10 .2 : معطيات المثال 1

الحل

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) = \tan^2(45 - \frac{36}{2})) = 0.26$$

$$P_2 = \gamma . L . K_a = 17 * 7 * 0.26 = 30.94\, kN/m^2$$

$$P_6 = 4C - q = 4 * 80 - 17 * 7 = 201\, kN/m^2$$

$$P_7 = 4C + q = 4 * 80 + 17 * 7 = 439\, kN/m^2$$

$$P = P_2 * \frac{L}{2} = 30.94 * \frac{7}{2} = 108.29\, kN/m$$

$$Z' = \frac{L}{3} = \frac{7}{3} = 2.33\, m$$

حساب L4

$$P - P_6 . D + (P_6 + P_7)\frac{L_4}{2} = 0 \Rightarrow L_4 = \frac{P_6 . D - P}{4C} = 0.628D - 0.3384$$

حساب عمق الغرز D

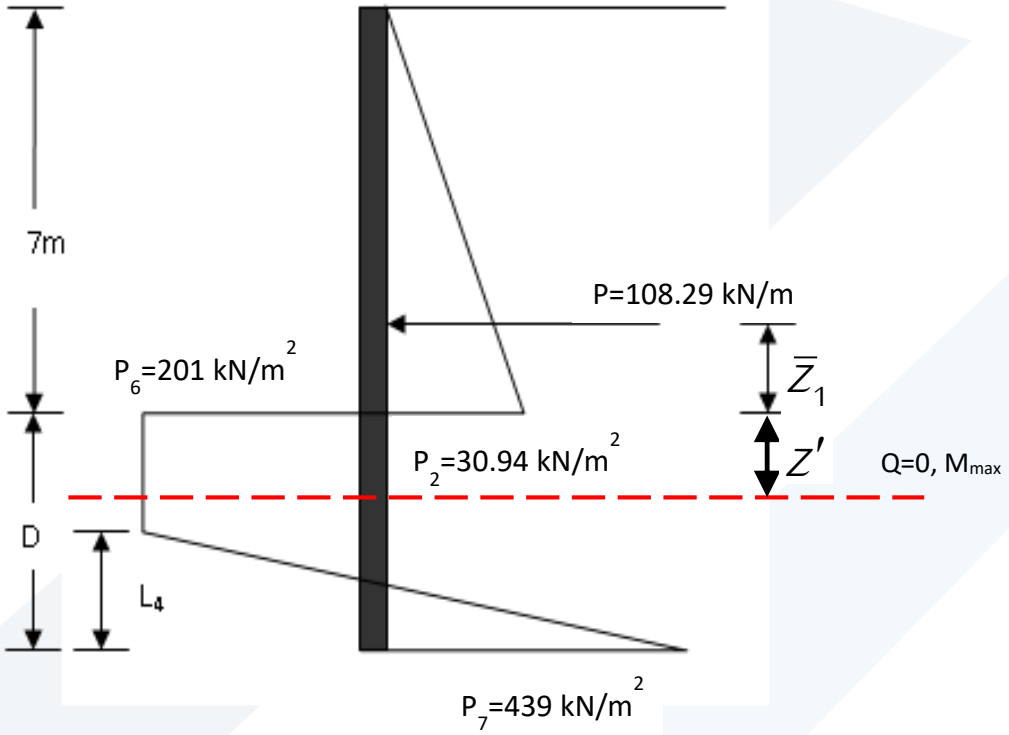
$$P(\bar{Z}_1 + D) - P_6 \frac{D^2}{2} + (P_6 + P_7)\frac{L_4^2}{6} = 0$$

$$108.29(2.33 + D) - \frac{201}{2}D^2 + \frac{80 * 8}{6}(0.628D - 0.3384)^2 = 0$$

$$252.32 + 108.29D - 100.5D^2 + 42.07D^2 + 12.21 - 45.33D = 0$$

$$-58.43D^2 + 62.96D + 264.51 = 0 \Rightarrow D = 2.73m$$

$$D_{eff} = 1.5D = 4.1m$$

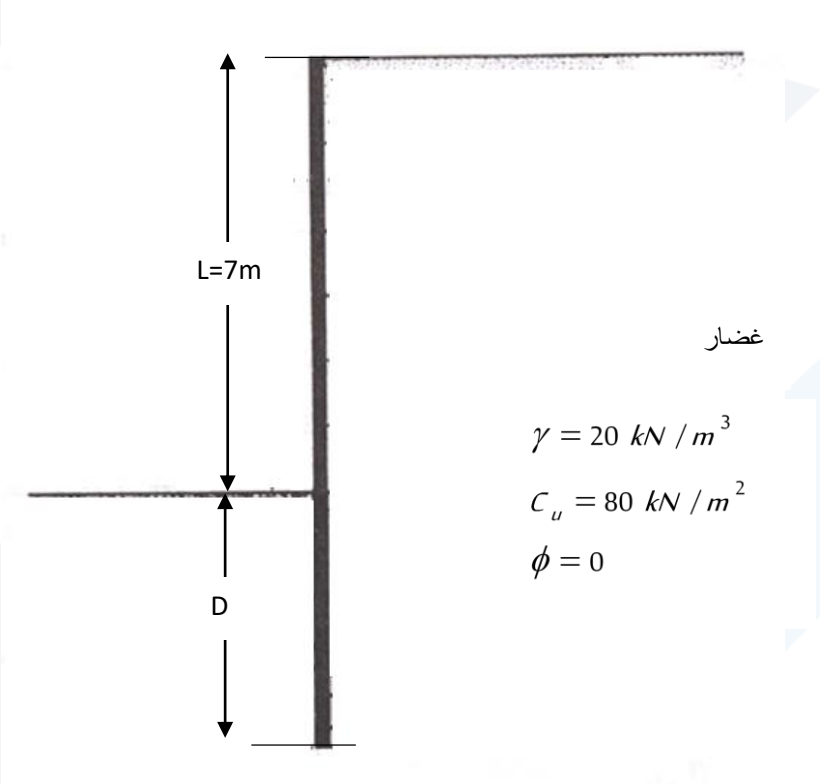


الشكل 2. 11 : مخطط قوى الدفع للمثال 1

مثال 2

يطلب حساب عمق الغرز للصفيحة المبينة بالشكل 2. 12 والمستخدمة لتدعيم حوض التأسيس, علماً بأن:

- عمق حوض التأسيس 7m



الشكل 2. 12 : معطيات المثال 2

الحل

$$K_a = 1$$

$$P_2 = \gamma.L.K_a - 2C\sqrt{K_a} = 20*7*1 - 2*80*1 = -20\ kN/m^2 < 0 \Rightarrow P_2 = P_{2,\min}$$

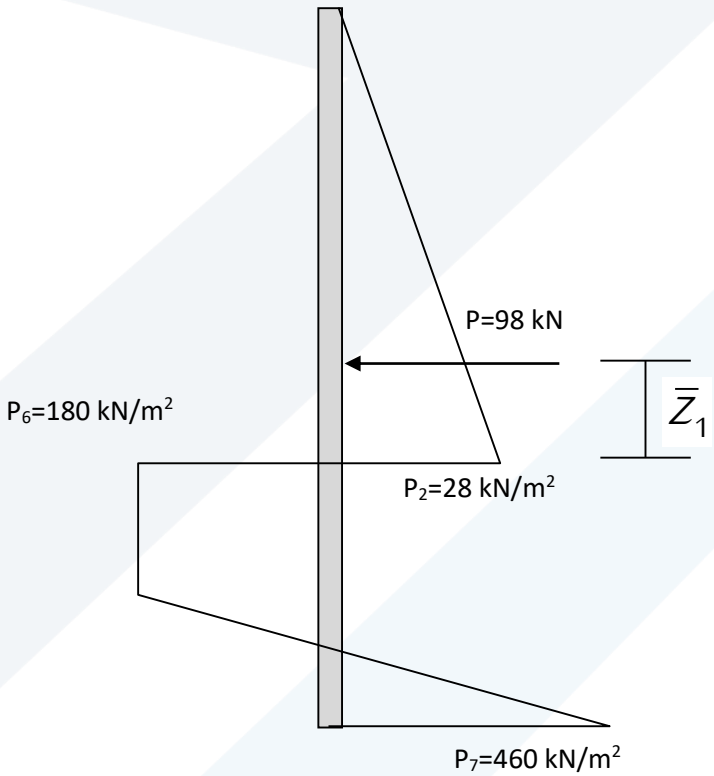
$$P_{2,\min} = \gamma.L.K_{a,\min} = 20*7*0.2 = 28\ kN/m^2$$

$$P_6 = 4C - q = 4*80 - 20*7 = 180\ kN/m^2$$

$$P_7 = 4C + q = 4*80 + 20*7 = 460\ kN/m^2$$

$$P = P_2 * \frac{L}{2} = 28*\frac{7}{2} = 98\ kN/m$$

$$\bar{Z}_1 = \frac{L}{3} = \frac{7}{3} = 2.33\ m$$



الشكل 2. 13 : مخطط قوى الدفع للمثال 2

حساب L4

$$P-P_6.D+(P_6+P_7)\frac{L_4}{2}=0 \Rightarrow L_4=\frac{P_6.D-P}{4C}=\frac{180.D-98}{4*80}0.5625D-0.3063$$

حساب عمق الغرز D

$$P(\bar{Z}_1+D)-P_6\frac{D^2}{2}+(P_6+P_7)\frac{L_4^2}{6}=0$$

$$98(2.33+D)-\frac{180}{2}D^2+\frac{80*8}{6}(0.5625D-0.3063)^2=0$$

$$228.34+98D-90D^2+33.75D^2+10-36.76D=0$$

$$-56.25D^2+61.24D+238.34=0$$

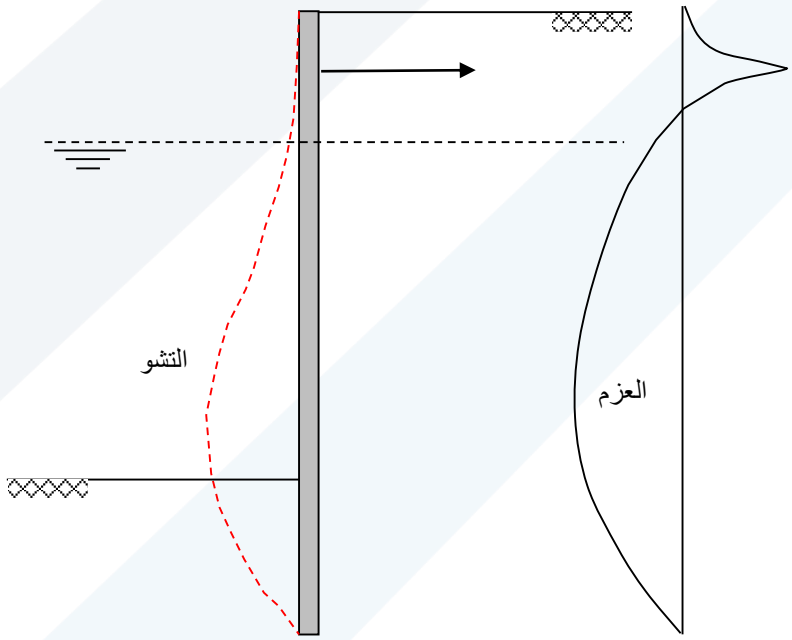
$$D^2-1.09D-4.237=0 \Rightarrow D=2.7m$$

$$D_{eff}=1.5D=4.05m$$

2. 5 دراسة الجدران الوتدية المثبتة بواسطة الشدادات

عندما يتجاوز ارتفاع الردم خلف جدار وتدي ظفري 6m يصبح من الضروري اقتصادياً تثبيته قرب نهايته العلوية باستخدام قضبان ربط أو تثبيت (شدادات) مما يسمح بالتقليل من عمق الغرز المطلوب للصفائح الوتدية و يقلل من مساحة المقطع العرضي و وزن الأوتاد الصفائحية اللازمة للإنشاء.

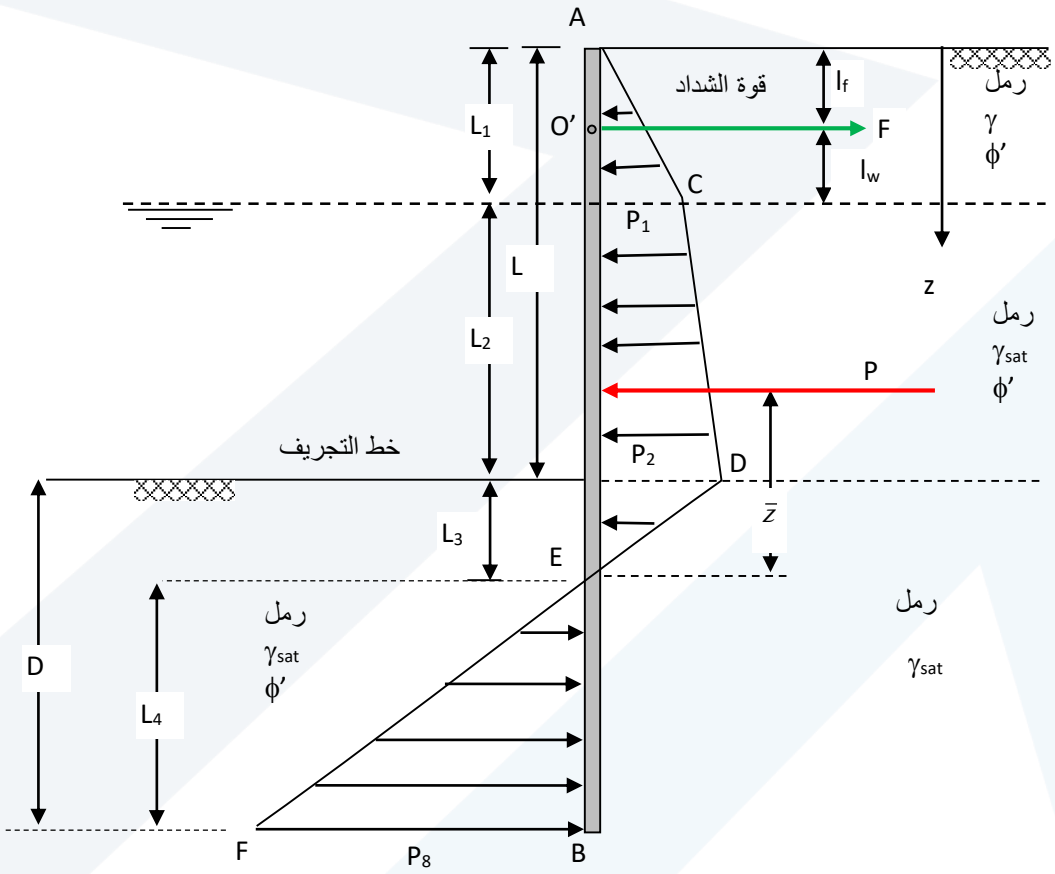
في هذه الحالة لا يحدث دوران للجدار حول نقطة تقع ضمن التربة كما رأينا في حالة الجدران الوتدية الظفرية و إنما يمكن تمثيل تغيرات التشوه و العزم لجدار وتدي مثبت كما هو مبين بالشكل 2. 14



الشكل 2. 14: طبيعة تغير التشوه و العزم للصفائح الوتدية المثبتة بالشدادات

دراسة الصفائح الوتدية المثبتة المغروزة في الرمل

يبين الشكل 2. 15 جدار صفيحي وتدي مثبت تم دقه في تربة مفككة رملية مع وضع الشدادات الواصلة بين الصفائح الوتدية و المثبتات على عمق ما أسفل نهاية الجدار العلوية.



الشكل 2. 15: مخطط الدفع الصافي المؤثر على جدار وتدي مثبت بشدادات و مغروز في الرمل

مخطط توزع الدفع الصافي فوق منسوب خط التجريف سيكون مشابهاً لذلك الموضح في الشكل (2. 13):

-عند العمق $Z = L_1$: $P_1 = \gamma . L_1 . K_a$

و عند العمق $Z = L_1 + L_2$ يكون: $P_2 = (\gamma . L_1 + \gamma_{sub} . L_2)\, K_a$

- تحت خط التجريف : يكون الدفع الصافي مساوياً للصفر عند النقطة E $(Z = L_1 + L_2 + L_3)$

$$\Rightarrow \quad L_3 = \frac{P_2}{\gamma_{sub}(K_P - K_a)} \qquad (36.2)$$

نلاحظ أن ميل خط توزيع الدفع الصافي DEF مع الأفق هو: $\dfrac{1}{(K_P - K_a)\gamma_{sub}}$

و بالتالي يمكن حساب الدفع الصافي P_8 عند أسفل الجدار $(Z = L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$ بالعلاقة:

$$P_8 = \gamma_{sub}.L_4\,(K_P - K_a) \qquad (37.2)$$

معادلات التوازن

1- معادلة إسقاط القوى الأفقية: $\Sigma F = 0$

$$A_{(ACDE)} - A_{(EBF)} - F = 0$$

F : قوة الشد في الشداد/واحدة الطول للجدار

$$\Longrightarrow \quad P - ½\, P_8.L_4 - F = 0$$

$$\Rightarrow F = P - \frac{1}{2}\left[\gamma_{sub}(K_P - K_a)\right]L_4^2 \qquad (38.2)$$

حيث P: مساحة الجزء ACDE من مخطط الدفع الصافي

2- معادلة عزم حول O':

$$-P\left[(L_1+L_2+L_3)-(\bar{Z}+l_f)\right]+\frac{1}{2}\left[\gamma_{sub}(k_p-k_a)\right]L_4^2\,(l_w+L_2+L_3+\frac{2}{3}L_4)=0 \qquad (39.2)$$

معادلة من الدرجة الثالثة بالنسبة لـ L_4 بحلها بطريقة التجريب نحصل على L_4 فيكون العمق النظري لغرز الصفائح الوتدية D من العلاقة:

$$D = L_3 + L_4$$

ملاحظة: نحصل على عمق الغرز الفعلي بزيادة D بمقدار 40% (نأخذ 1.4D)

حساب العزم الأعظمي

يحدث العزم الأعظمي النظري الذي ستتعرض له الصفيحة الوتدية عند عمق $L_1<Z<L_1+L_2$

- نحسب مكان العزم الأعظمي (مكان القص المعدوم Q=0) :

$$Q=0 \Rightarrow \frac{1}{2}P_1.L_1 - F + P_1(Z-L_1) + \frac{1}{2}.K_a.\gamma_{sub}.(Z-L_1)^2 = 0 \qquad (40.2)$$

- نحسب العزم عند النقطة التي تقع على العمق Z فيكون هو العزم الأعظمي