

الفصل السادس

الجدران الاستنادية في المناطق الزلزالية

1-6- الضغط الستاتيكي على الجدران الاستنادية

يمكن العودة إلى المراجع المختصة ودروس ميكانيك التربة لتحديد الضغط الستاتيكي على الجدران الاستنادية، ونذكر فيما يلي أهم الطرائق التي تحدد هذا الضغط:

● نظرية كولومب (1776م) Coulomb Theory

● نظرية رانكين (1857م) Rankine Theory

● نظرية تيرزاكي (1943م) Terzaghi Theory

● نظرية تايلور (1948م) Taylor Theory

● طريقة كاكو و كيريزل (1948م) Caquot and Kerisel Method

● طريقة الحلزون اللوغاريتمي Logarithmic Spiral Method

تعطي هذه الطرائق قيمة محصلة الضغط الفعال أو المعاكس على الجدار (P)، التي تؤثر عند ثلث ارتفاعه ($H/3$) فوق القاعدة، وفقا للصيغة العامة التالية:

$$P_H = E_H = \frac{1}{2} K \gamma H^2$$

حيث: $K = f(\alpha, \delta, \beta, \theta, \phi, c, \dots)$: عامل ضغط التربة (الفعال أو المعاكس) ، ويحدد وفقا للطريقة المعتمدة،

$$\gamma = \rho g \text{ (} kN/m^3 \text{)} : \text{الوزن الحجمي للتربة.}$$

باعتبار أن:

α : زاوية ميل سطح الانهيار عن الأفق.

δ : زاوية الاحتكاك البيئي (بين مادة الجدار و التربة المحجوزة)، التي تحدد

اتجاه محصلة الضغط (ميل المحصلة عن ناظم سطح الجدار الملامس للتربة المحجوزة).

β : زاوية ميل سطح التربة عن الأفق.

θ : زاوية ميل سطح الجدار الملامس للتربة المحجوزة عن الشاقول.

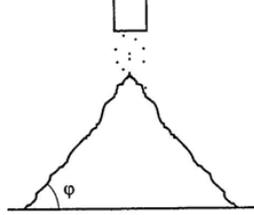
ϕ : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، والتي تسمى أحيانا بزاوية الميل الطبيعي

للتربة ϕ (الشكل 1-6).

c : مقاومة التماسك للتربة.

ρ (t/m^3): الكتلة الحجمية للتربة.

$g = 9.81m/sec^2$: تسارع الجاذبية الأرضية.



الشكل (1-6): زاوية الميل الطبيعي للتربة φ

في الواقع، يقع السلوك الميكانيكي للتربة بين سلوك المواد الصلبة و سلوك السوائل.

وإن عامل ضغط التربة الجانبي يرتبط بنوع التربة ويأخذ القيم التالية :

- $K = 0$: للتربة الصخرية ، وهذا ما يبرر عدم ضرورة إنشاء جدار استنادي أمام كتف صخري.
- $K \approx 1$: تربة غضارية مشبعة ، بالتالي تسلك التربة سلوكاً مشابهاً لسائل حقيقي بدفع أفقي يمثل الدفع الهيدروليكي.
- $K = 0.2 - 0.5$: حالة الترب الرملية الناعمة إلى الحصوية ، وتزداد عند رصها ، ولهذا السبب ينصح باستخدام ردميات من الترب الحصوية والرملية خلف الجدران إذا كان ذلك ممكناً.

ويبين الجدول (1-6) القيم العملية لزاوية الاحتكاك البيئي δ بالدرجات ، تبعاً لنوع المواد المتلامسة.

عندما يتعرض سطح التربة إلى حمولة إضافية شدتها (P_0) ، فإنه يمكن تعويض مفعولها عن طريق زيادة ارتفاع

التربة بمقدار يعادل $\bar{h} = \frac{P_0}{\gamma}$. وفي هذه الحالة، يعطى الضغط الأفقي عند عمق (y) بالعلاقة:

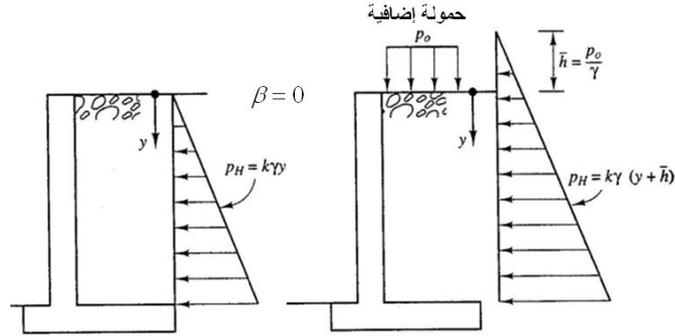
$$P_H = E_H(y) = K\gamma(y + \bar{h})$$

يظهر الشكل (2-6) مخطط الضغط الأفقي الفعال للتربة على جدار ما، في حال وجود حمولة إضافية (P_0) فوق

التربة المحجوزة، أو حالة عدم وجودها، وذلك عندما تكون $\beta = 0$.

وفيما يتعلق بالكتلة الحجمية وزاوية الميل الطبيعي، وعندما لا نملك معطيات دقيقة، يمكن قبول القيم المبينة في

الجدول (2-6) بقصد الايضاح حيث يمكن أن تتغير تبعاً لرطوبة التربة:



الشكل (2-6): دفع التربة الفعال الأفقي على جدار استنادي ظفري

زاوية الاحتكاك البيئي δ (degrees) ^o	المواد المتجاورة (المتلامسة)	
25	صخر نظيف	بيتون كتلي مقابل :
29-31	بحص نظيف ، خليط من البحص والرمل ، رمل خشن	
24-29	رمل ناعم ومتوسط ، وسط سيلتي إلى رمل خشن ، بحص مع غضار أو سيلت	
19-24	رمل ناعم نظيف ، رمل ناعم إلى متوسط مع غضار أو سيلت	
17-19	سيلت رملي ناعم ، سيلت غير لذن	
17-19	غضار قاسي أو متوسط القساوة ، غضار سيلتي	
22-26	بحص نظيف ، خليط من البحص والرمل ، صخر متدرج ومرتب جيدا	بيتون قالب مقابل :
17-22	رمل نظيف ، خليط من البحص والرمل السيلتي ، صخر قاس مرتب بحجم وحيد	
17	رمل سيلتي ، خليط من البحص والرمل مع سيلت أو غضار	
14	سيلت رملي ناعم ، سيلت غير لذن	
22	بحص نظيف ، خليط من البحص والرمل ، صخر متدرج ومرتب جيدا	صفائح وتدية من الفولاذ مقابل :
17	رمل نظيف ، خليط من البحص والرمل السيلتي ، صخر قاس مرتب بحجم وحيد	
14	رمل سيلتي ، بحص أو رمل مخلوط مع سيلت أو غضار	
11	سيلت رملي ناعم ، سيلت غير لذن	

الجدول (1-6): زوايا الاحتكاك البيئي النموذجية δ (degrees)^o

زاوية الميل الطبيعي بالدرجات	الكتلة الحجمية (kg/m ³)	طبيعة التربة
45	1450	تربة زراعية طبيعية
45	1800	ترب غضارية
55	1900	تربة متماسكة
30	1420	رمل ناعم
35	1700	تربة رملية
20	1550	غضاروطين
45	1500	تربة حصوية

الجدول (2-6): الكتلة الحجمية للتربة و ϕ (deg rees)

ويمكن تحديد قيم عوامل ضغط التربة بالعلاقات التالية:

- عامل ضغط التربة الفعال:

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

- عامل ضغط التربة المعاكس:

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

- عامل ضغط التربة في وضع الراحة:

$$K = 1 - \sin \phi$$

وعندما تكون زاوية ميل سطح التربة مع الأفق معدومة ($\beta = 0$)، تكتب العلاقات السابقة كما يلي:

- عامل ضغط التربة الفعال:

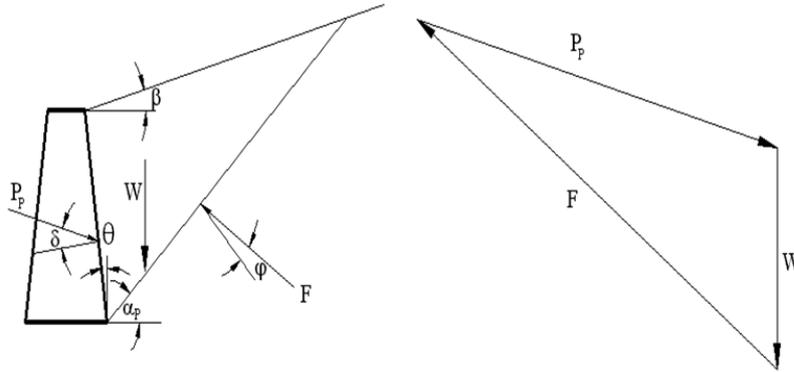
$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

- عامل ضغط التربة المعاكس:

لا تعطي طريقة كولومب التوزيع الفعلي للإجهادات الفعالة على الجدار على أنه يمكن أن يبرهن بأنه توزيع مثلي للسطوح المستوية من الردميات في حال غياب الحمولات الخارجية السطحية، في هذه الحالة تكون القوة مؤثرة عند نقطة ارتفاعها $(H/3)$ من أسفل الجدار وهي مائلة بزاوية δ عن الاتجاه العمودي على السطح الخلفي للجدار.

2-1-6- ضغط التربة الستاتيكي السلبي على الجدران الاستنادية P_p :

يبين الشكل (4-6) حالة الانهيار لموشور من التربة، وكذلك مثلث القوى المؤثرة في حالة ضغط التربة السلبي على الجدار.



الشكل (4-6): ضغط التربة السلبي على الجدار

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

المركبة الستاتيكية لمحصلة الدفع السلبي (كولومب)،

ويحسب عامل ضغط التربة السلبي (ستاتيكي) المقابل لحالة الانهيار من العلاقة:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta - \theta) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\delta - \theta) \cos(\beta - \theta)} \right]^2}$$

وهي تحدث عند زاوية ميل سطح الانهيار α_p :

$$\alpha_p = -\varphi + \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\varphi + \beta) + C_3}{C_4} \right]$$

$$C_3 = \sqrt{\tan(\varphi + \beta) [\tan(\varphi + \beta) + \cot(\varphi + \theta)] [1 + \tan(\delta - \theta) \cot(\varphi + \theta)]}$$

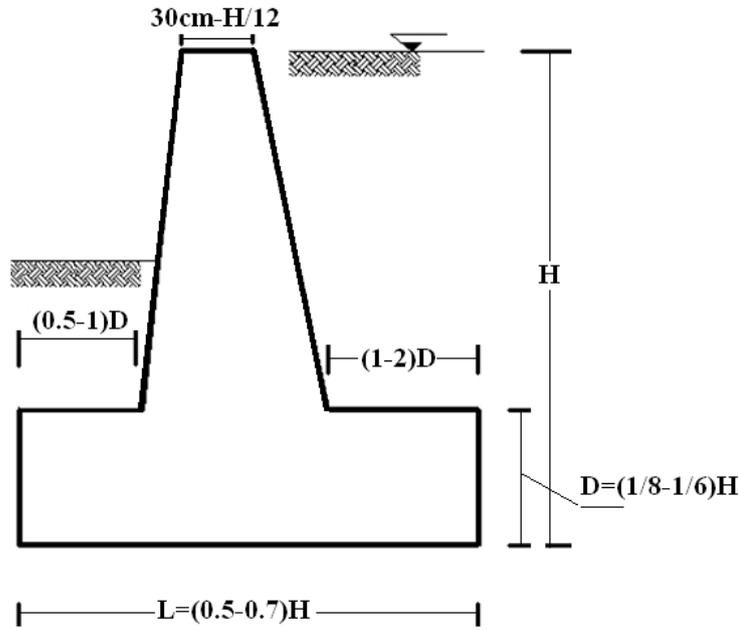
$$C_4 = 1 + \{ \tan(\delta - \theta) [\tan(\varphi + \beta) + \cot(\varphi + \theta)] \}$$

يؤخذ عامل الأمان ضد الانقلاب أو الانزلاق في حالة تصميم الجدران المقاومة لضغط التربة الستاتيكي (1.5).

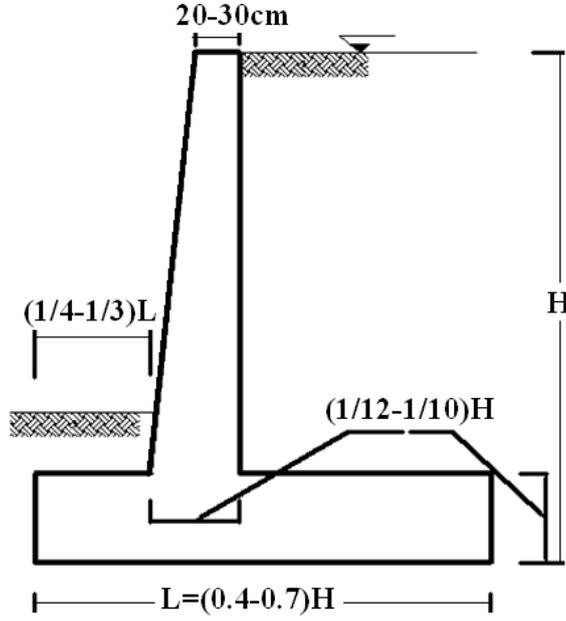
2-6- خطوات تصميم الجدران الاستنادية

يمكننا اعتماد الخطوات التالية عند دراسة جدار استنادي كتلي أو ظفري من البيتون المسلح:

- دراسة أولية لتحديد أبعاد الجدار، ويمكن محاكاة الأبعاد الموضحة في الشكلين (5-6 و 6-6).
- التحقق من الانزلاق والانقلاب (الاستقرار الخارجي).
- التحقق من الضغط الأعظمي على التربة.
- إعادة النظر بالأبعاد الأولية إذا كان ذلك ضرورياً.
- حساب التسليح استناداً لمخططات العزوم والتحقق من إجهادات القص.
- رسم مقطع عرضي في الجدار بمقياس مناسب، مبيناً عليه التسليح الرئيس العامل، والإنشائي.



الشكل (5-6): الأبعاد الأولية لمقطع جدار استنادي كتلي



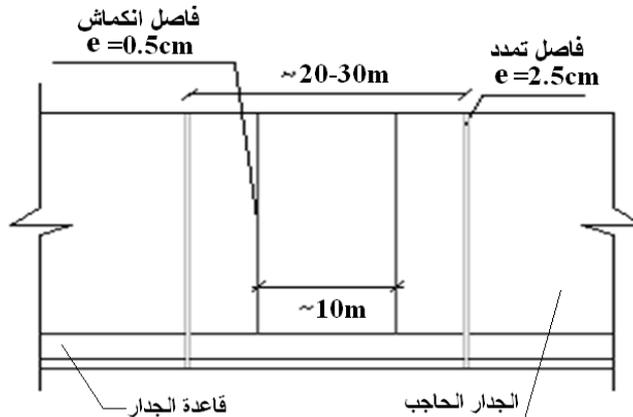
الشكل (6-6): الأبعاد الأولية لمقطع جدار استنادي ظفري من البيتون المسلح

3-6- الفواصل في الجدران الاستنادية

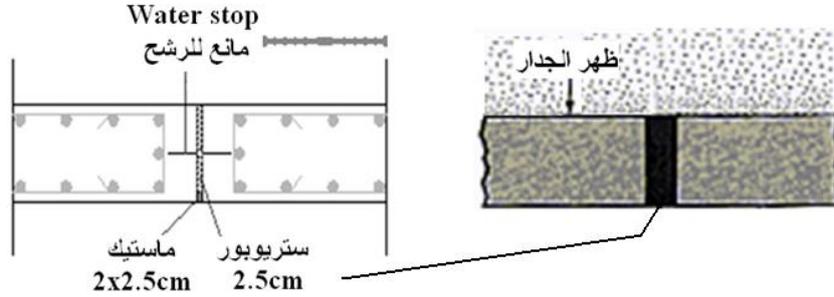
يجب التمييز بين الفواصل التالية عند دراسة وتنفيذ الجدران الاستنادية:

أ- فواصل تمدد Expansion Joints:

تزود الجدران بهذا النوع من الفواصل لتجنب الأفعال غير المباشرة الناجمة عن التغيرات الحرارية (تمدد وتقلص)، وتنفذ بتباعد يتراوح بين 20m و 30m على كامل ارتفاع الجدار حتى بيتون النظافة، وبسماكة لا تقل عن 2.5cm ، كما هو مبين في الشكلين (7-6) و (8-6). هذا ويتم تركيب صفائح أو رقائق مانعة للرشح في هذه المناطق (Water stop).



الشكل (7-6): فواصل التمدد والانكماش في الجدران الاستنادية

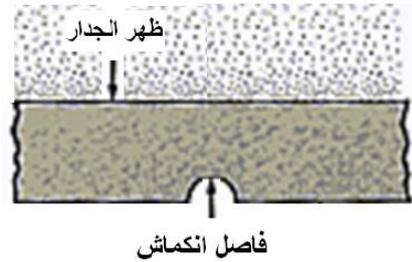


الشكل (8-6): تفصيلات لفواصل التمدد في الجدران الاستنادية

ب- فواصل انكماش Contraction Joints:

يهدف التحكم والحد من التشققات العشوائية الناجمة عن الانكماش بعد الصب، يتم تنفيذ هذه الفواصل من أعلى الجدار حتى سطح قاعدته.

ويكون عمق الفاصل حوالي 0.5 cm، وبتباعد أعظمي 10m، كما هو مبين في الشكلين (7-6) و (9-6).

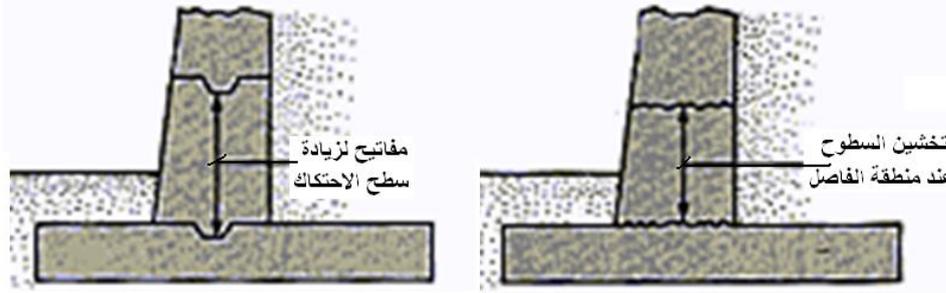


الشكل (9-6): تفصيلا لفواصل الانكماش في الجدران الاستنادية

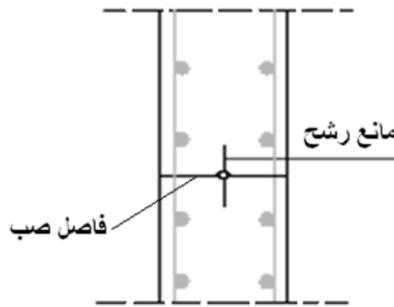
ج- فواصل صب Construction Joints:

يمكن تنفيذ فواصل صب في المواقع المحددة من قبل الدارس، ويتم تخشين هذه السطوح بهدف زيادة مساحة الاحتكاك وتأمين التلاصق الجيد عند إعادة الصب، وعادة تنفذ مفاتيح لهذه الغاية (الشكل 10-6). وأيضاً يتم زرع تشاريك قص متعامدة مع مستوي الفاصل تزيد من ترابط الجزئين العلوي والسفلي.

ولمنع تسرب المياه، في حالة وجودها، تزود هذه الفواصل بموانع رشح، كما هو مبين في الشكل (11-6).



الشكل (10-6): فواصل صب في الجدران الاستنادية الكتلية



الشكل (11-6): فاصل صب مع مانع رشح في جدار استنادي من البيتون المسلح

4-6- دراسة الاستقرار الخارجي للجدران الاستنادية

إضافة لتأمين القدرة الكافية لمقاومة القوى الداخلية (جهود قاطعة وعزوم انعطاف ...)، يجب تصميم الجدار ليقاوم فعل التربة الذي يعمل على تحريكه أو قلبه، بمعنى أنه يجب أن يحقق شروط عدم الانزلاق والانقلاب. تتم دراسة مقاطع الجدار عند مناسيب مختلفة لمقاومة القوى الداخلية، استناداً إلى الحالة الحديدية القصوى للمقاومة. بالمقابل، عند دراسة الاستقرار الخارجي فتعتمد الحملات غير المصعدة في وضع الاستثمار كما هو الحال عند حساب أبعاد مسقط الأساسات.

وبين الشكل (12-6) مجموع القوى الفاعلة على جدار استنادي ظفري من البيتون المسلح.

1-4-6- شرط عدم الانزلاق:

لمنع الجدار من الانزلاق، يجب ألا تزيد المحصلة الأفقية لضغط التربة عن قوى الاحتكاك بين القاعدة والتربة، مع اعتماد عامل أمان قدره 1.5، كما هو مبين في المعادلة التالية:

$$\frac{\mu(\sum G_i + E_v)}{E_H} \geq 1.5$$

حيث:

μ : عامل الاحتكاك، ويمكن اعتماد القيم المبينة في الجدول (3-6):

عامل الاحتكاك μ	نوع التربة
0.3	غضار رطب
0.5	غضار جاف
0.4	رمل
0.6	بحص

الجدول (3-6)

$\sum G_i$: وزن الجدار وقاعدته والتربة التي تعلوها.

E_V : المركبة الشاقولية لمحصلة دفع التربة.

E_H : المركبة الأفقية لمحصلة دفع التربة.

ملاحظة: يمكن زيادة مقاومة الجدار ضد الانزلاق باستخدام معاول تثبيت عند أسفل القاعدة، على امتداد الجدار الحاجب، وبارتفاع يتراوح بين (75-100%) من سماكة الجدار. وفي هذه الحالة نأخذ قيمة لعامل الاحتكاك معادلة لميل زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة: $\mu = \tan \phi$.

2-4-6- شرط عدم الانقلاب:

يتحقق الأمان ضد الانقلاب بمقارنة عزم الانقلاب مع عزم التثبيت الناجم عن القوى الشاقولية، مع اعتماد عامل أمان يساوي أيضاً لـ 1.5 ، وفقاً للمعادلة التالية:

$$1.5 E_H \frac{h}{3} \leq \sum G_i x_i + E_V l$$

x_i : المسافة بين القوة الشاقولية G_i ومركز دوران الجدار

l : المسافة بين المركبة الشاقولية لدفع التربة ومركز دوران الجدار (0)،

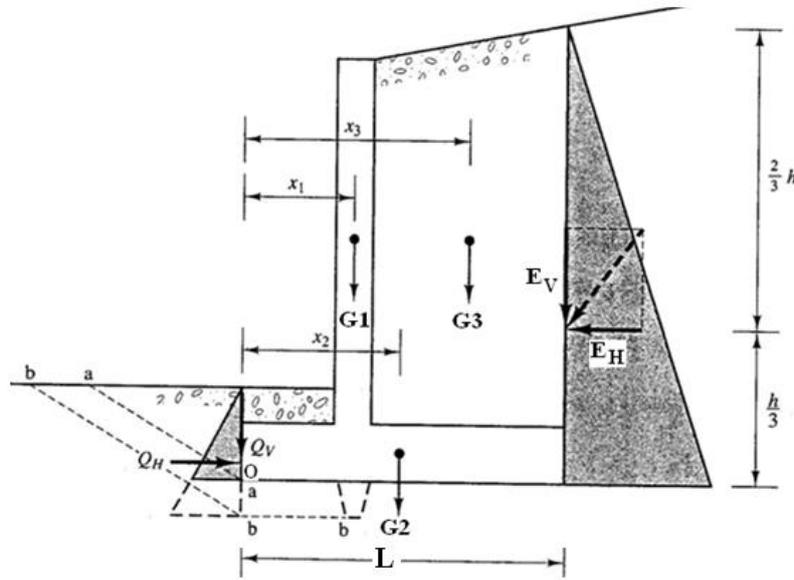
(عرض الجدار)

3-4-6- التحقق من إجهاد الضغط الأقصى:

يجب التحقق من أن إجهاد الضغط الأقصى المطبق على تربة التأسيس أصغر من قدرة تحمل التربة. ونشير هنا إلى ضرورة التحقق من عدم تشكل إجهادات شد عند أسفل القاعدة بالنسبة للترب القابلة للانضغاط، وذلك من خلال التأكد من أن محصلة القوى تمر ضمن حدود النواة المركزية، وفقاً لما يلي:

$$e = \frac{M}{W} \leq k = \frac{l}{6}$$

حيث: $W = \sum G_i + E_V$ تمثل الحمولات الشاقولية، و M : العزم المطبق.



الشكل (6-12): القوى الفاعلة على جدار استنادي

5-6- الاستجابة الديناميكية للجدران الاستنادية

لقد بينت الدراسات المخبرية والحقلية أن الزلازل تسبب تشوهات دائمة للجدران الاستنادية لا يمكن إهمالها، لما تولد من أضرار كبيرة على المستوى الاقتصادي والبيئي. بالتالي يتوجب على المهندس عندما يقوم بدراسة الجدران الاستنادية لحظ التأثيرات التي تسببها الزلازل وإدخالها في التصميم.

يعتمد السلوك الزلزالي للجدران الاستنادية على ضغط التربة الكلي المتولد أثناء حدوث الهزة. وهذا الضغط يشمل كل من ضغط الثقالة الستاتيكي والضغط الديناميكي الإضافي الناجم عن الزلزال.

إن تحديد الاستجابة الديناميكية للجدران الاستنادية هو عملية معقدة جداً، باعتبار أن حركات الجدار ووضغط التربة تعتمد على استجابة الترب الواقعة تحت الجدار وتلك المحجوزة خلفه وعلى استجابة الجدران ذاتها للانعطاف وقوى العطالة ولطبيعة الأفعال المحرصة.

وتبين الدراسات القائمة حول هذا الموضوع ما يلي:

- أ. يمكن للجدران أن تتحرك على شكل انتقال أو دوران أو الاثنين معاً، وسعة هذه الحركات تعتمد على عملية تصميم الجدار ذاته.
- ب. يتأثر كل من مقدار وتوزيع الضغط الديناميكي بنمط حركة الجدار: انتقال، دوران حول القمة أو حول القاعدة.
- ت. تحصل قوة دفع التربة الأعظمية المؤثرة على الجدار عندما ينتقل الجدار أو يدور باتجاه المستوى الخلفي، والعكس صحيح.
- ث. يتغير مخطط توزيع ضغط التربة على سطح الجدار الخلفي عند تحركه ، بالتالي يتغير موقع تطبيق محصلة الضغط الكلية صعوداً أو هبوطاً على ارتفاع الجدار، ويكون الموقع مرتفعاً عندما يتحرك الجدار باتجاه التربة المحجوزة والعكس صحيح.
- ج. يتأثر الضغط الديناميكي للجدار بالاستجابة الديناميكية للجدار وما خلفه، فيمكن أن يزداد هذا الضغط بشكل مهم عند الاقتراب من التواتر الطبيعي للجملة، وتزداد الانتقالات الدائمة عند القيم القريبة لهذا التواتر.
- ح. يمكن أن تستمر الضغوط المرتفعة المؤثرة في الجدار حتى بعد انتهاء سلسلة الضربات القوية. بالرغم من أن استجابة الجدران الاستنادية الخاضعة لأفعال زلزالية تختلف كثيراً عن حالة الحمولات الستاتيكية، توجه الباحثون نحو طرائق تحليل مبسطة قريبة للمنطق الكلاسيكي المعتمد في التصميم الستاتيكي للجدران مع اعتبار تسارعات شبه استاتيكية مكافئة، حيث تبين بأن الجدران المصممة بهذا الأسلوب سلكت سلوكاً جيداً عند تعرضها للزلازل.
- إن قيم التسارعات شبه استاتيكية المعتمدة في التصميم أقل بكثير من التسارعات الأعظمية المتوقعة، وتوافق من ثلث إلى نصف تسارع سطح التربة الأعظمي (PGA) ، وإن القيم العملية لهذه التسارعات تتراوح بين (0.05g) و (0.15g). مع الإشارة إلى أن المركبة الشاقولية للتسارع تتراوح بين نصف وثلثي المركبة الأفقية.
- يتراوح عامل الأمان ضد الانقلاب أو الانزلاق في حالة تصميم الجدران المقاومة للزلازل بين (1.2 – 1).

6-6- الضغط الزلزالي على الجدران الاستنادية

1-6-6-1- حالة الجدران القادرة على نشر ضغط التربة الفعال أو المعاكس:

نظرا لصعوبة تحديد الاستجابة الديناميكية للجدران الاستنادية بشكل دقيق، فقد تم الاعتماد على مجموعة من الطرائق المبسطة لتحديد توزيع ضغط التربة عليها أثناء حدوث الزلزال، والفكرة الأساسية لهذه الطرائق تقوم على اعتبار حمولات إضافية مفروضة يتوجب على الجدار مقاومتها.

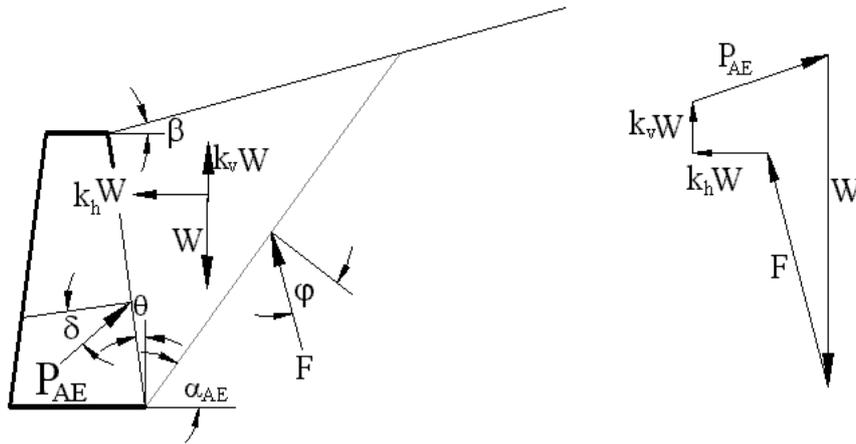
يوجد طرائق مختلفة لتحديد محصلة دفع التربة الناجمة عن الزلزال، نذكر منها: طريقة (M-O) ، Mononobe-Okabe Method، التي تستند على نظرية كولومب الستاتيكية بشكل مباشر، ويتم تطبيق تسارعات شبه استاتيكية على موشور الانهيار لتأخذ بالحسبان فعل الزلزال، وهي التي سنعتمدها. و طريقة ستيدمان وزينغ، Steedman-Zeng Method، التي تأخذ بالحسبان الاستجابة الديناميكية للجدار، باستخدام التحليل الديناميكي المبسط لضغط التربة الزلزالي.

1-1-6-6-1- ضغط التربة الفعال:

إضافة للقوى الستاتيكية التي يعالجها كولومب بالنسبة لتربة جافة متماسكة قليلا خلف الجدار، يؤثر الزلزال بقوى مرتبطة بكتلة التربة وذلك بالاتجاهين الأفقي والعمودي، عن طريق تطبيق تسارعات شبه استاتيكية (الشكل (13-6):

$$a_h = k_h g \quad \& \quad a_v = k_v g$$

g : الجاذبية الأرضية



الشكل (13-6): ضغط التربة الفعال على الجدران في حالة الزلزال

ويعبر عن محصلة الدفع الفعال في حالة الزلزال، بطريقة مشابهة للحالة الستاتيكية. على النحو التالي:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v) = P_A + \Delta P_{AE}$$

ΔP_{AE} : المركبة الديناميكية

K_{AE} : عامل ضغط التربة الديناميكي الفعال، ويحسب كما يلي:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi)\sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi)\cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

حيث: φ : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة

β : زاوية ميل سطح التربة المحجوزة عن الأفق

θ : زاوية ميل السطح الداخلي للجدار عن الشاقول

δ : زاوية الاحتكاك بين الجدار والتربة

$$\varphi - \beta \geq \psi$$

$$\gamma = \gamma_d$$

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right]$$

وتؤثر محصلة الدفع الفعال في حالة الزلازل على ارتفاع h من قاعدة الجدار، ويحدد هذا الارتفاع كما يلي:

$$h = \frac{P_A H / 3 + \Delta P_{AE} (0.6H)}{P_{AE}}$$

باعتبار أن محصلة الدفع الستاتيكي تمر من ثلث ارتفاع الجدار $H/3$ ، وأن المركبة الديناميكية تؤثر على ارتفاع أكبر: $0.6H$ ، وهذا ما أكدته نتائج الدراسات. وغالبا نلاحظ أن موقع محصلة الدفع الفعال في حالة الزلازل يقع عند المنسوب: $h \approx 0.5H$.

تؤثر المركبة الشاقولية للتسارع $k_h \approx \left(\frac{1}{2} \rightarrow \frac{2}{3} \right) k_h$ ، عند استخدام هذه الطريقة، على قيمة P_{AE} بمقدار أقل من 10%. ونشير إلى أن معظم الباحثين يهملونها أثناء دراسة وتصميم الجدران الاستنادية النموذجية.

2-1-6-6- ضغط التربة السليبي (المعاكس):

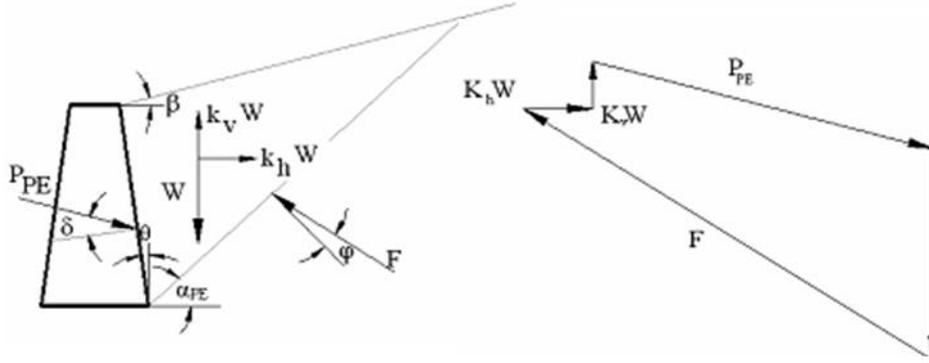
يعبر عن محصلة الدفع المعاكس في حالة الزلازل، بطريقة مشابهة لحالة الدفع الفعال، وذلك على النحو التالي (انظر الشكل 14-6):

$$P_{PE} = \frac{1}{2} K_{PE} \gamma H^2 (1 - k_v) = P_P + \Delta P_{PE}$$

ΔP_{PE} : المركبة الديناميكية

K_{PE} : عامل ضغط التربة الديناميكي المعاكس، ويحسب كما يلي:

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi + \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta - \theta + \psi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi)\sin(\varphi + \beta - \psi)}{\cos(\delta - \theta + \psi)\cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$



الشكل (14-6): ضغط التربة السلبي (المعكس) على الجدار في حالة الزلازل

2-6-6- حالة الجدران غير القادرة على نشر ضغط التربة الفعال أو المعكس:

يوجد بعض المنشآت الاستنادية (الشكل 6-15)، مثل الجدران الكتلية ذات الكتل الكبيرة المقامة على تربة صخرية، أو الجدران المثبتة بشدادات عند القمة أو القاعدة (تكتيف)، التي لا تتحرك بشكل كاف بحيث توصل التربة المحجوزة إلى حالة إجهادية قصوى تصل إلى مقاومة القص، أي لا تكون قادرة على نشر ضغط التربة الفعال أو المعكس. يمكن تحديد محصلة الدفع الديناميكي وعزم الانقلاب الديناميكي المقابل، بالنسبة لقاعدة الجدار كما يلي:

$$\Delta P_{eq} = \gamma H^2 \frac{a_h}{g} F_p \quad ; \quad \Delta M_{eq} = \gamma H^3 \frac{a_h}{g} F_m$$

$$h_{eq} = \frac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}} \approx 0.63H$$

باعتبار أن :

a_h : تسارع القاعدة.

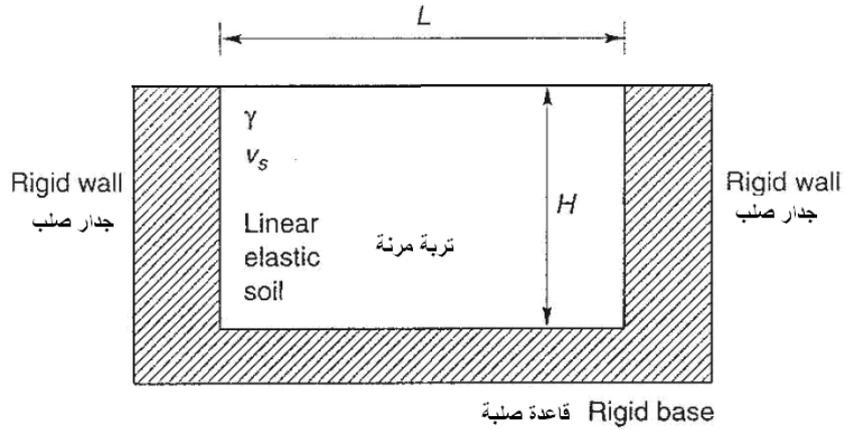
$F_p, F_m = f(L/H, \nu)$: عاملان غير بعديين، للعزم وللدفع الديناميكي، يتم تحديدهما بدلالة النسبة L/H و

ν عامل بواسون، من الشكلين (6-16 و 6-17).

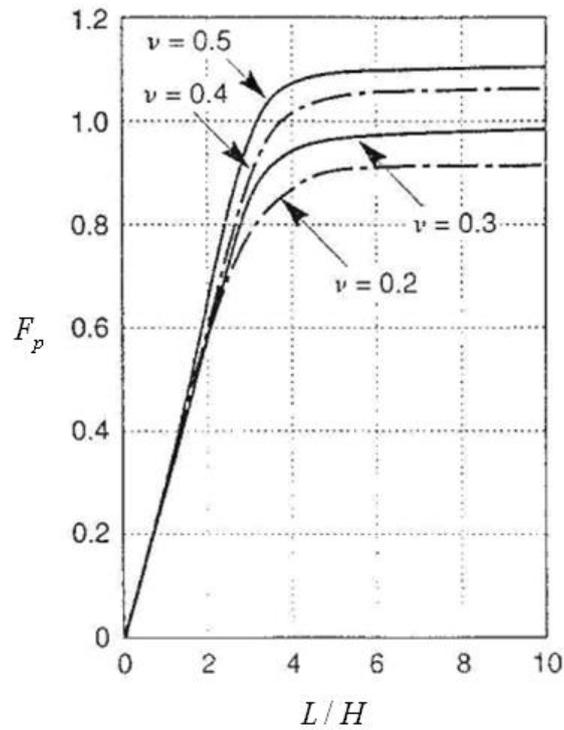
L عرض القاعدة، و H ارتفاع الجدار.

ملاحظة: ورد في ملحق الكود السوري، أنه في الحالة التي تكون فيها قاعدة الجدار ذات عرض محدد، مثل أقبية المباني التي يكون فيها أعلى الجدار ممنوعاً من الحركة، حتى لو كانت سماكته عادية، فيؤخذ العاملان F_p, F_m من

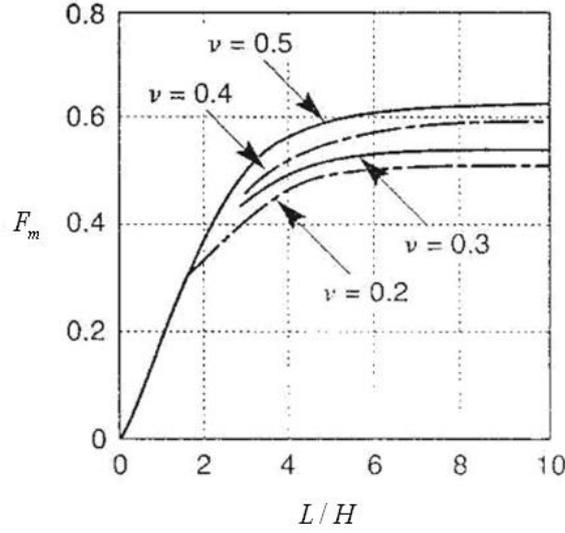
أجل قيمة نظرية للنسبة L/H ، مساوية إلى 10.



الشكل (6-15): أبعاد الجدار



الشكل (6-16): العامل اللابعدي للدفع الديناميكي F_p



الشكل (6-17): العامل اللابعدي للعزم الديناميكي F_m

7-6- تأثير المياه على دفع الجدران

إن الخطوات التي تم شرحها سابقا حول تقدير الحمولات الزلزالية على الجدران الاستنادية، تخص الترب الجافة فقط. أما في حالة الترب الرطبة، فإن وجود الماء يسبب ضغوط ديناميكية إضافية على الجدار يتوجب أخذها بالحسبان أثناء حدوث الزلزال وبعده.

عندما لا يتم تأمين نظام تصريف جيد للمياه المتواجدة في التربة المحجوزة، يمكن تحليل ضغط الماء الكلي إلى مركبتين:

1- مركبة الضغط الهيدروستاتيكي التي تؤثر على الجدار قبل حدوث الزلزال وخلال وبعده، وتزداد هذه المركبة بشكل خطي مع العمق.

2- مركبة الضغط الهيدروديناميكي الناجمة عن الاستجابة الديناميكية لكتلة الماء.

1-7-6- حالة وجود المياه أمام الجدار:

يمكن تحديد محصلة الضغط الهيدروديناميكي اعتمادا على طريقة ويستيركارد (Westergaard, 1931)، التي تعطي الضغط الديناميكي لحالة سد صلب (شاقولي) يحجز حوض مائي، ومعرض لتحريض حركة أفقية عند قاعدته الصلبة. تبين هذه الطريقة أن الضغط الهيدروديناميكي يزداد مع الجزر التريبيعي لعمق المياه عندما يكون تواتر الحركة المطبق أقل من التواتر الأساسي لحوض الماء المحدد بالعلاقة:

$$\left(f_0 = \frac{v_p}{4H} \right)$$

باعتبار أن:

v_p : سرعة انتشار الأمواج الطولية في الماء ($v_p \approx 1400 \text{ m/s}$).

H : عمق الماء في الحوض .

فمثلا عندما يكون عمق الماء في الحوض معادلا لستة أمتار، يكون التواتر الأساسي لحوض الماء قريبا من

$$\left(f_0 = \frac{1400}{4 \times 6} \approx 58 \text{ Hz} \right) , \text{ وهذه القيمة أكبر من التواترات المسببة من قبل الزلازل.}$$

تحسب قيمة الضغط الهيدروديناميكي عند z_w عمق من سطح الماء كما يلي:

$$P_w = \frac{7}{8} \frac{a_h}{g} \gamma_w \sqrt{z_w H}$$

وتعطى محصلة قوى الضغط الهيدروديناميكي وفقا للعلاقة التالية :

$$P_w = \frac{7}{12} \frac{a_h}{g} \gamma_w H^2$$

وتكون محصلة الدفع الكلي الناجم عن المياه على سطح الجدار، مساوية إلى مجموع محصلي قوى الضغط

الهيدروستاتيكي و الهيدروديناميكي.

2-7-6- حالة وجود المياه في التربة خلف الجدار:

يمكن أن يؤثر وجود الماء في التربة المحجوزة خلف الجدار على قيم الأفعال الزلزالية المطبقة ، وذلك وفق ثلاث طرائق:

1- تغيير قوى العطالة في التربة المحجوزة.

2- نشر الضغوط الهيدروديناميكية في التربة المحجوزة.

3- حصول زيادات كبيرة في ضغط الماء المسامي نتيجة التشويه الدوري للتربة المحجوزة.

ترتبط قوى العطالة في الترب المشبعة بالحركة النسبية بين جزئيات التربة المحجوزة و الماء المسامي الذي يحيط بها.

نستنتج أنه في حالة الترب الرطبة، يتوجب إضافة ضغط الماء الهيدروديناميكي إلى كل من ضغط الماء

الهيدروستاتيكي و ضغط التربة المحسوب للحصول على الحمولة الكلية للجدار.

3-7-6- تأثير الماء المسامي في التربة المحجوزة:

عندما تكون نفاذية التربة صغيرة بما فيه الكفاية (حالة شائعة) ($k \leq 10^{-3} \text{ cm/sec}$) ، فإن الماء المسامي يتحرك

مع التربة أثناء حدوث الهزة، وبالتالي لا وجود للحركة النسبية بين التربة و الماء (حالة الماء المسامي المقيد)، وفي هذه

الحالة تتناسب قوى العطالة مع الوزن الحجمي الكلي للتربة.

وأما في حالة الترب ذات النفاذية العالية، يتولد حركة نسبية بين التربة والماء ، حيث يبقى الماء المسامي في حالة ساكنة بينما تتحرك جزيئات التربة عبر هذا الماء نحو الأمام والخلف (حالة الماء المسامي الحر)، وفي هذه الحالة تتناسب قوى العطالة مع الوزن الحجمي المشيع للتربة .

قام ماتسيزاوا وزملاؤه (Matsuzawa et al., 1985) بتعديل طريقة (M-O) لتأخذ بعين الاعتبار وجود الماء المسامي في التربة المحجوزة. إذ عبروا عن الزيادة في الضغط المسامي في التربة المحجوزة بعامل الضغط المسامي (r_u) ، ومن ثم تطبيق طريقة (M-O) لتحديد محصلة دفع التربة الفعال، باعتماد :

$$\gamma = \gamma_b(1 - r_u)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_{sat} k_h}{\gamma_b(1 - r_u)(1 - k_v)} \right]$$

حيث:

$$\gamma_b = \frac{G_s - 1}{G_s} \gamma_d \text{ : الوزن الحجمي المغمور للتربة، ويحسب من العلاقة:}$$

γ_d : الوزن الحجمي الجاف للتربة.

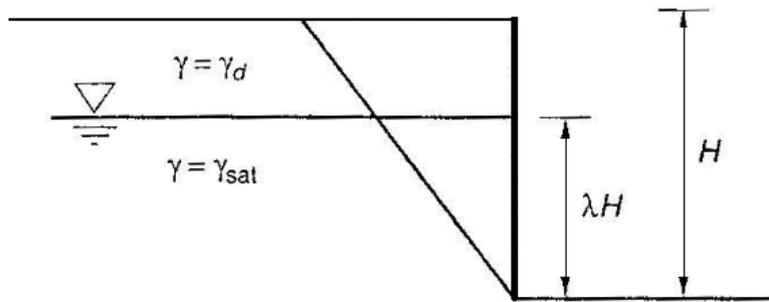
G_s : الوزن النوعي للتربة.

$$\gamma_{sat} = \gamma_w + \gamma_b$$

يضاف لمحصلة دفع التربة السابقة، محصلة الدفع الهيدروستاتيكي المكافئة لسائل وزنه الحجمي $(\gamma_{eq} = \gamma_w + r_u \gamma_b)$. ونشير إلى أنه كلما اقتربت قيمة (r_u) من الواحد كلما اقتربنا لحالة تميع التربة $(\gamma_{eq} = \gamma_{sat} = \gamma_w + \gamma_b)$.

يمكننا تحديد محصلة دفع التربة المغمورة جزئياً ، باستخدام مفهوم الوزن الحجمي المتوسط (الشكل 6-18) :

$$\bar{\gamma} = \lambda^2 \gamma_{sat} + (1 - \lambda^2) \gamma_d$$



الشكل (6-18) : تربة مغمورة جزئياً ومحجوزة خلف جدار

8-6- تأثير الحمل الموزع على سطح الأرض على دفع الجدران (P_0)

6-8-1- الضغوط الفعال نتيجة الحمل الموزع:

يمكن حساب المقدار الكلي (ستاتيكي وزلزالي) للضغط الفعال على الجدار الاستنادي نتيجة لحمل موزع على سطح الأرض بشدة (P_0) لوحدة السطح المائل للتربة، كما يلي:

$$(P_{AE})_{P_0} = \left[\frac{P_0 H \cos \theta}{\cos(\theta - \beta)} \right] K_{AE}$$

حيث:

β : زاوية ميل سطح التربة عن الأفق.

θ : زاوية ميل سطح الجدار الملامس للتربة المحجوزة عن الشاقول.

K_{AE} : عامل ضغط التربة الديناميكي الفعال (يحسب بطريقة M-O).

يمكن حساب قيمة الجزء الخاص بالتأثير الزلزالي فقط بطرح الجزء الستاتيكي من الدفع الكلي المحسوب $(P_{AE})_{P_0}$

، ويطبق على ارتفاع يساوي $\left(\frac{2}{3} H\right)$ من قاعدة الجدار، بينما يؤخذ موضع تأثير الدفع الستاتيكي في منتصف الجدار

$$\cdot \left(\frac{1}{2} H\right)$$

6-8-2- الضغوط المعاكس نتيجة الحمل الموزع:

يمكن حساب المقدار الكلي (ستاتيكي وزلزالي) للضغط المعاكس على الجدار الاستنادي نتيجة لحمل موزع على سطح الأرض بشدة (P_0) لوحدة السطح المائل للتربة، كما يلي:

$$(P_{PE})_{P_0} = \left[\frac{P_0 H \cos \theta}{\cos(\theta - \beta)} \right] K_{PE}$$

هذا، ويمكن حساب قيمة الجزء الخاص بالتأثير الزلزالي بطرح الدفع الكلي المحسوب $(P_{PE})_{P_0}$ ، من الجزء الستاتيكي،

ويطبق على ارتفاع يساوي $\left(\frac{2}{3} H\right)$ من قاعدة الجدار، بينما يؤخذ موضع تأثير الدفع الستاتيكي في منتصف الجدار

$$\cdot \left(\frac{1}{2} H\right)$$

6-9- حالة خاصة - جدران بارتفاعات صغيرة ($H \leq 4m$)

يمكن بشكل تقريبي حساب الجدران التي لا يزيد ارتفاعها عن 4 م، والواقعة في منطقة زلزالية، بزيادة دفع التربة

بمقدار 15% إلى 40% حسب عامل المنطقة الزلزالية ($Z = 0.15 \rightarrow 0.4$)، وتمر محصلة هذا الدفع المصعد عند

منتصف ارتفاع الجدار (توزيع مكافئ منتظم بعد التصعيد).