

الفصل السادس

الجدران الاستنادية في المناطق الزلزالية

1-6- الضغط الستاتيكي على الجدران الاستنادية

يمكن العودة إلى المراجع المختصة و دروس 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،

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

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.

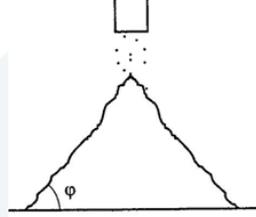
ϕ : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، والتي تسمى أحيانا بزاوية الميل الطبيعي

للتربة φ (الشكل 1-6).

c : مقاومة التماسك للتربة.

ρ (ت/م³): الكتلة الحجمية للتربة.

$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$: 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:

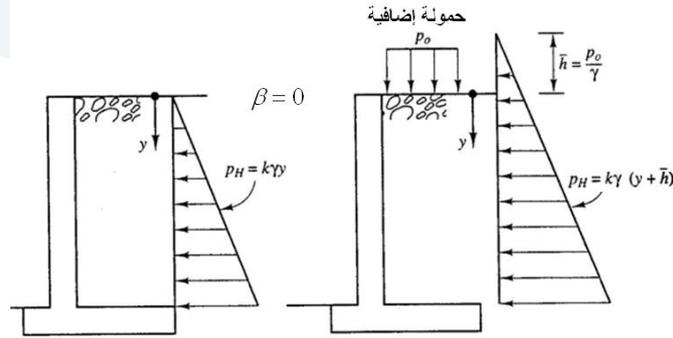
$$P_H = E_H(y) = K\gamma(y + \bar{h})$$

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 وتدبية 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	غضار وطنين
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:

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

وعند دراسة الجدران لمقاومة الزلازل، سنعمد طريقة كولومب في حساب الضغط الجانبي على الجدران الاستنادية لحالة التربة غير المتجانسة حيث يفترض أن سطح الانهيار مستوي.

1-1-6- ضغط التربة الستاتيكي الفعال على الجدران الاستنادية P_A :

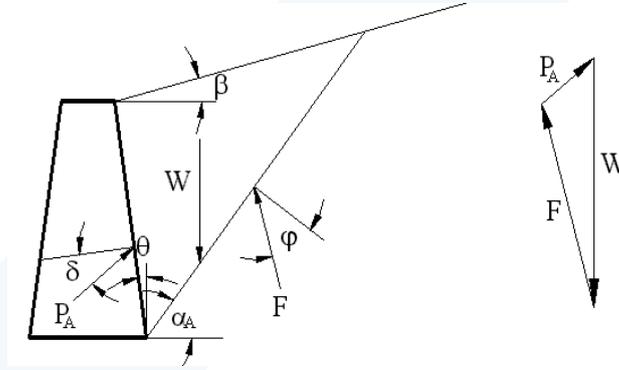
يبين الشكل (3-6) حالة الانهيار لموشور من التربة، وكذلك مثلث القوى المؤثرة في حالة ضغط التربة الفعال على الجدار.

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2$$

المركبة الستاتيكية لمحصلة الدفع الفعال (كولومب)،

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

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



الشكل (3-6): ضغط التربة الفعال على الجدار

وتكون قيمة الزاوية الحرجة α_A :

$$\alpha_A = \varphi + \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\varphi - \beta) + C_1}{C_2} \right]$$

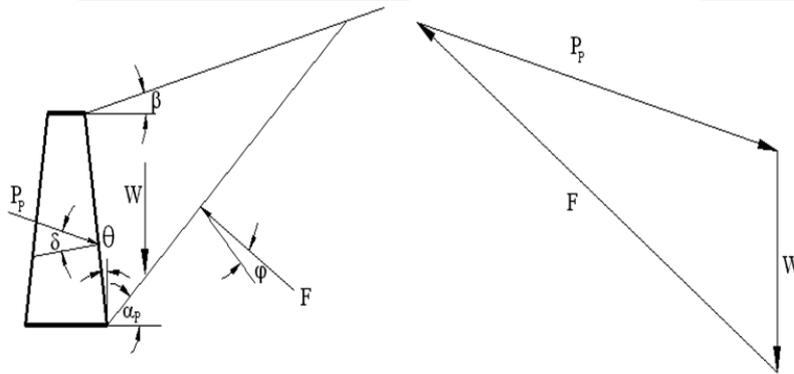
$$C_1 = \sqrt{\tan(\varphi - \beta) [\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \theta)] [1 + \tan(\delta + \theta) \cot(\varphi - \theta)]}$$

$$C_2 = 1 + \{ \tan(\delta + \theta) [\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \theta)] \}$$

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

المركبة الستاتيكية لمحصلة الدفع السلبي (كولومب)، $P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$

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 :

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

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

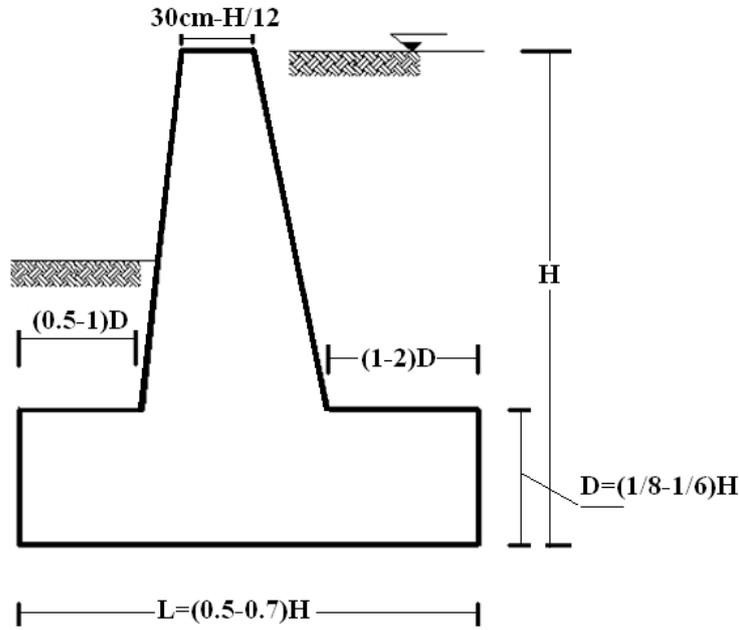
$$C_4 = 1 + \{ \tan(\delta - \theta) [\tan(\varphi + \beta) + \cot(\varphi + \theta)] \}$$

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

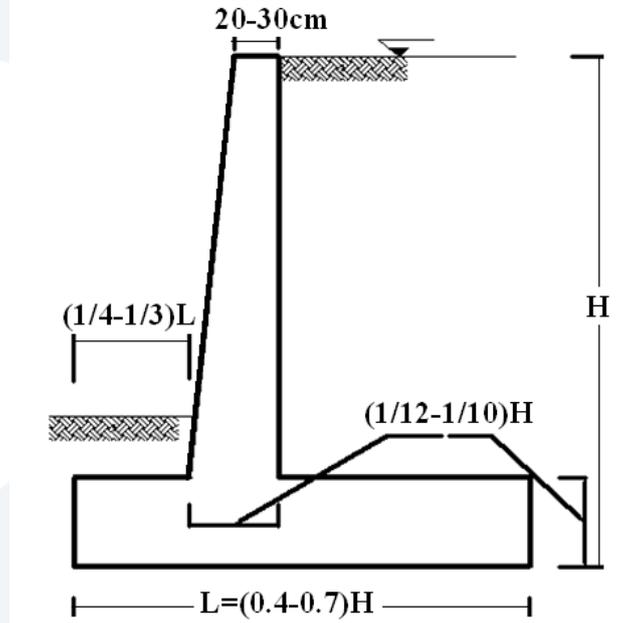
2-6- خطوات تصميم الجدران الاستنادية

يمكننا اعتماد الخطوات التالية عند دراسة جدار استنادي كتلي أو ظفري من البنتون 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



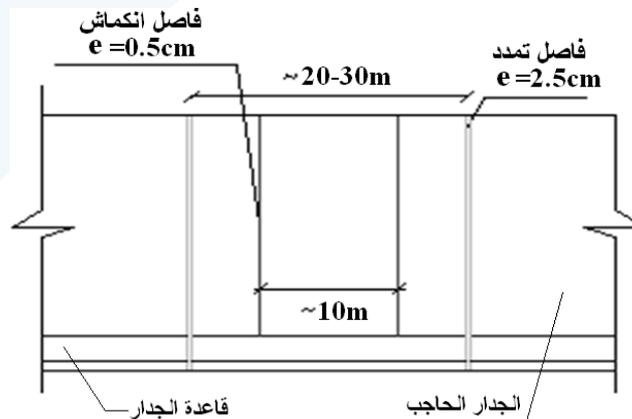
الشكل (6-6): الأبعاد الأولية لمقطع جدار استنادي ظفري من البيتون المسلح

3-6- الفواصل في الجدران الاستنادية

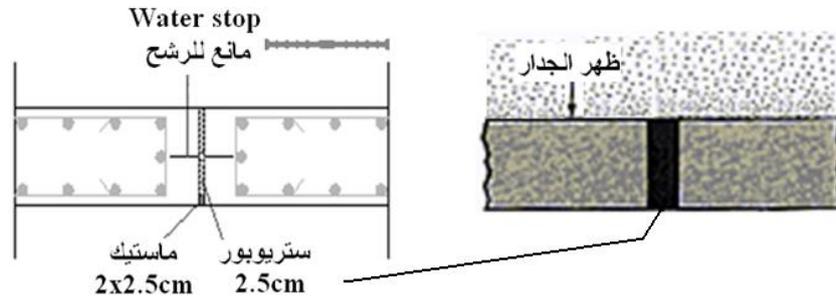
يجب التمييز بين الفواصل التالية عند دراسة وتنفيذ الجدران الاستنادية:

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 20 m و 30 m على كامل ارتفاع الجدار حتى بيتون النظافة، وبسماكة لا تقل عن 2.5 cm، 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

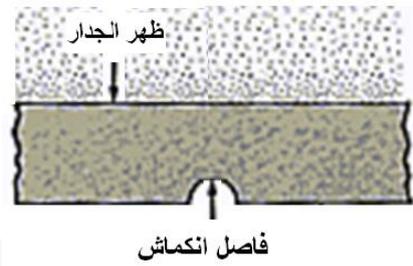


الشكل (8-6): تفصيلات لفواصل التمدد في الجدران الاستنادية

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 10 m ، كما هو مبين في الشكلين (7-6) و (9-6).



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

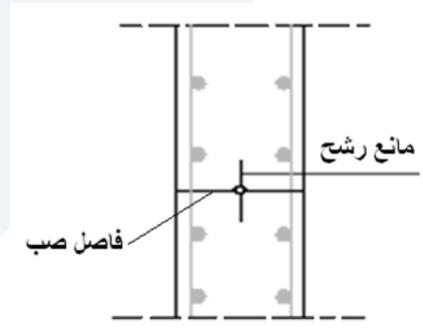
ج- فواصل صب Construction Joints:

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 الحدية القصوى للمقاومة. بالمقابل، عند دراسة الاستقرار الخارجي فتعتمد الحمولات 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)،

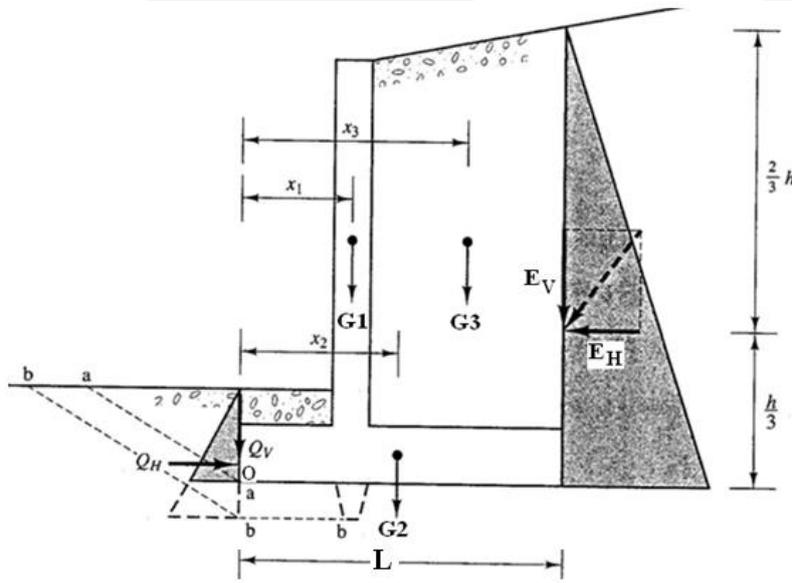
(عرض الجدار)

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 وضغط التربة تعتمد على استجابة الترب الواقعة تحت الجدار وتلك المحجوزة خلفه وعلى استجابة الجدار ذاته للانعطاف وقوى العطالة ولطبيعة الأفعال المحرّضة.

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 للجملية، 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 و ثلثي المركبة الأفقية.
- يتراوح عامل الأمان ضد الانقلاب أو الانزلاق في حالة تصميم الجدران المقاومة للزلازل بين (1.2 – 1).

6-6- الضغوط الزلزالي على الجدران الاستنادية

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.

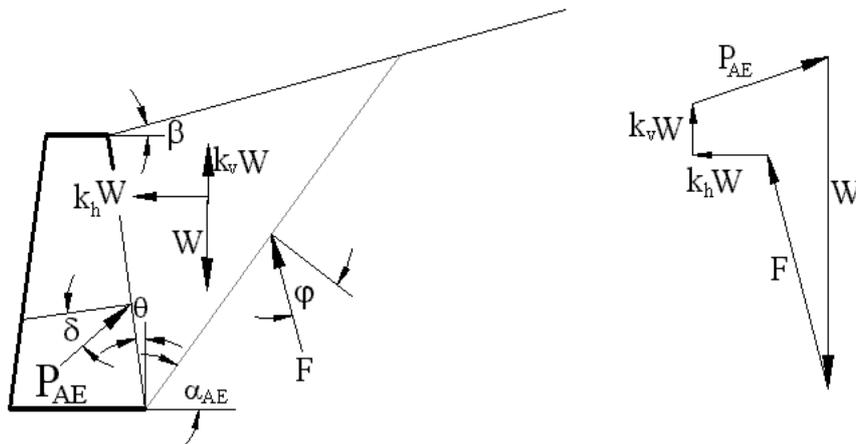
يوجد طرائق مختلفة لتحديد محصلة دفع التربة الناجمة عن الزلزال، نذكر منها: طريقة (M-O) ، Mononobe-Okabe Method، التي تستند على نظرية كولومب الستاتيكية بشكل مباشر، ويتم تطبيق تسارعات شبه استاتيكية على مؤشر الانهيار لتأخذ بالحسبان فعل الزلزال، وهي التي سنعتمدها. و طريقة ستيدمان و زينغ، Steedman-Zeng Method،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

6-6-1-1- 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 6-13):

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

g : الجاذبية الأرضية



الشكل (6-13): ضغط التربة الفعال على الجدار 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 و التربة

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

$$\gamma = \gamma_d$$

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

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- ضغوط التربة السليبي (المعاكس):

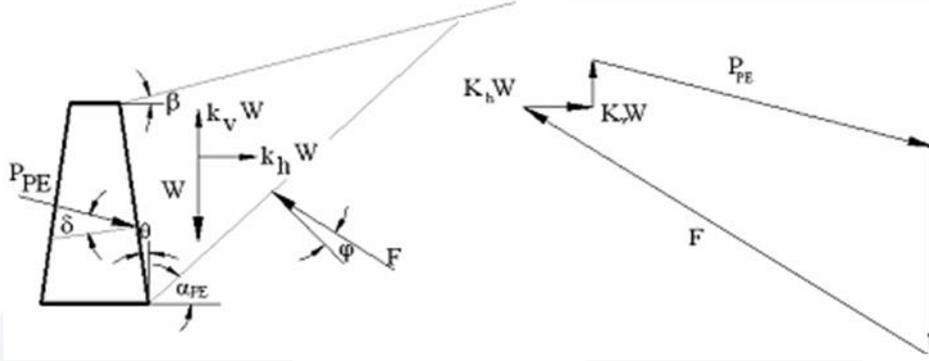
يعبر عن محصلة الدفع المعاكس في حالة الزلازل، بطريقة مشابهة لحالة الدفع الفعال، وذلك على النحو التالي (انظر الشكل 14-6):

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

المركبة الديناميكية : ΔP_{PE}

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

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



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

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

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 المعاكس. 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 :

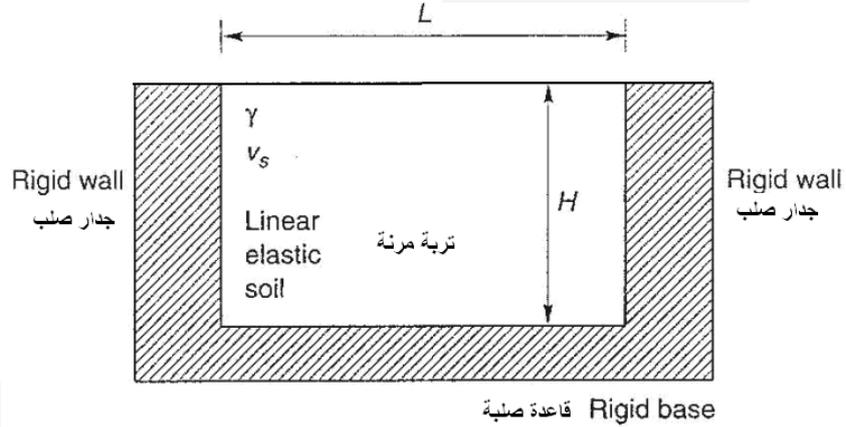
a_h : تسارع القاعدة.

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

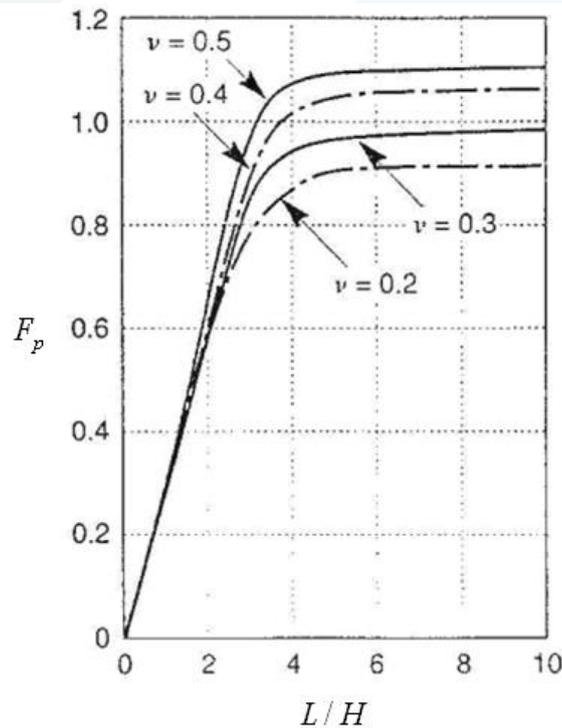
عامل بواسون، من الشكلين (6-16 و 6-17).

L عرض القاعدة، و H ارتفاع الجدار.

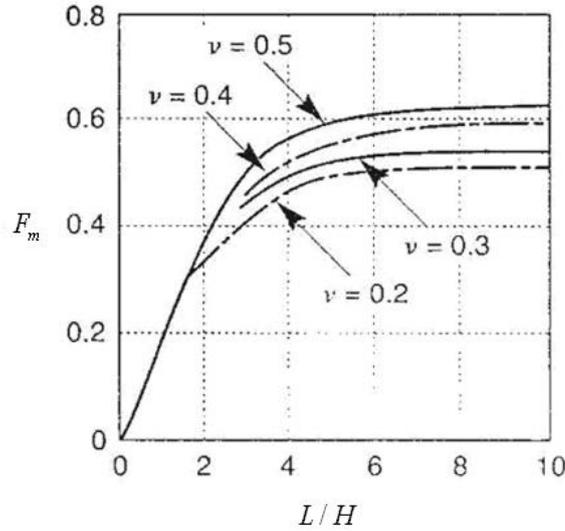
ملاحظة: ورد في ملحق الكود السوري، أنه في الحالة التي تكون فيها قاعدة الجدار ذات عرض محدد، مثل أقبية المباني التي يكون فيها أعلى الجدار ممنوعاً من الحركة، حتى لو كانت سماكته عادية، فيؤخذ العاملان F_p , F_m من أجل قيمة نظرية للنسبة L/H ، مساوية إلى 10.



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 سابقاً 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 اعتماداً 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 ($v_p \approx 1400m/s$).

H : عمق الماء في الحوض .

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

$$\left(f_0 = \frac{1400}{4 \times 6} \approx 58 Hz \right)$$

، 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 جزيئات 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

وضغط 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) ($k \leq 10^{-3} cm/sec$) ، 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

تناسب قوى العطالة مع الوزن الحجمي الكلي للتربة.

وأما في حالة الترب ذات النفاذية العالية، يتولد حركة نسبية بين التربة و الماء ، حيث يبقى الماء المسامي في حالة ساكنة

بينما تتحرك جزيئات التربة عبر هذا الماء نحو الأمام والخلف (حالة الماء المسامي الحر)، وفي هذه الحالة تناسب قوى

العطالة مع الوزن الحجمي المشبع 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:

$$\gamma_b = \frac{G_s - 1}{G_s} \gamma_d \quad \text{و يحسب من العلاقة:}$$

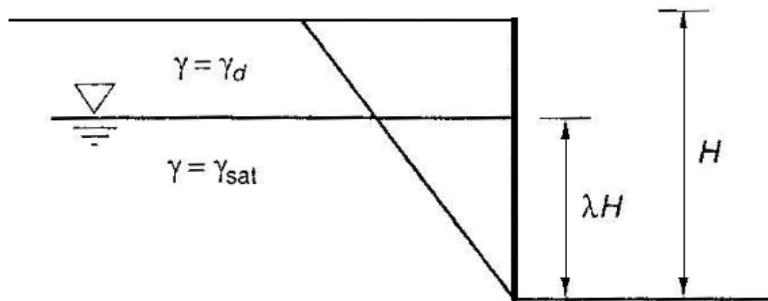
γ_d : الوزن الحجمي الجاف للتربة.

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 تمييع 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 ومحموزة خلف جدار

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

1-8-6- الضغط 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

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

2-8-6- الضغط 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

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

9-6- 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).

المراجع - REFERENCES

- [1] K.E. Bullin & Bruce A. Bolt, An introduction to the theory of seismology- Cambridge University Press, 1985.
- [2] Paulay, T & Priestley M. J. N. - Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings - John Wiley & Sons,INC. 1992.
- [3] Ambrose, J. & Vergun, D. - Simplified Building Design for Wind and Earthquake Forces - John Wiley & Sons,INC.1995.
- [4] Cinna Lomnitz, Fundamental of Earthquake Prediction – John Wiley & Sons,INC. 1994.
- [5] R. LACROIX, A. FUENTES & H. THONIER, Traité de Béton Armé- EYROLLES, Paris, 1982.
- [6] M. ALBIGES & M. MINGASSON, Théorie et Pratique du Béton Armé aux états limites- EYROLLES, Paris, 1981.
- [7] S.V. POLYAKOV, Design of Earthquake Resistant Structures, Mir Publisher, Moscow, 1985.
- [8] Edward G. Nawy, Fundamental of High-Performance Concrete- John Wiley & Sons,INC.2001.
- [9] ATC-14(1987) ; ATC-22(1989) ; FEMA 178-273I &274I , USA.
- [10] الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة دمشق 2012، وملحقاته
- [11] Arthur H. Nilson & David Darwin, Design of Concrete Structures- McGraw-Hill. 1997.
- [12] Christiam Meyer - Design of Concrete Structures – PRENTICE HALL. 1996.
- [13] ACI Committee 318-..., Building Code Requirements for Reinforced Concrete.
- [14] القواعد الفرنسية BAEL، القواعد الزلزالية الفرنسية والكود الأوروبي .
- [15] UBC. Uniform Building Code (1997), International Conference of Building Officials. Whittier, U.S.A. 1997.
- [16] V. N. BAIKOV, Reinforced Concrete Structures- Mir Publisher, Moscow, 1978.
- [17] B. S. Smith & A. Coull, Tall Buildings Structures: Analysis and Design- John Wiley & Sons,INC.1991.
- [18] Victor Davidovici, La Construction en Zone Sismique, Editions Le Moniteur, Paris, 1999.
- [19] Milan Zacek, Construire Parasismique, Editions Parenthèses, Marseille - France, 1996.
- [20] Z.F. Chen & E.M. Lui, Earthquake Engineering for Structures Design- Taylor & Francis CRC Press LLC, 2006.
- [21] Alain PECKER, Advanced Earthquake Engineering Analysis, SpringerWienNewYork, 2007 by CISM, Udine, SPIN 12048397
- [22] البيتون المسلح (2&1) ، أ.د. بسام حويجة، قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين ، 2011-2012.
- [23] UBC-IBC Structural Comparison and Cross Reference
- [24] 2003 International Existing Building Code.

[25] BUNGALE S. TARANATH, Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design- MARCEL DEKKER, 2005.

[26] محاضرات خاصة بمهندسي الرأي في سوريا – نقابة المهندسين السوريين – الدكتور محمد كرامة بدورة: رئيس لجنة تحديث وتطوير الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة.

المصطلحات الأجنبية

A

Acceleration	تسارع
Active soil pressure	ضغط التربة الفعال
Adherence	تلاصق، تلاحم
Aggregates	حصويات
Allowable Stress	الإجهادات المسموحة
Analysis	تحليل
Anchorage	إرساء
Arch	قوس
Area	مساحة
Axial	محوري ، مركزي
Axial Compression	الضغط المحوري
Axial Tension	الشد المحوري
Axially Loaded Members	عناصر محملة محوريا
Axis	محور

B

Balanced reinforcement	تسليح الانعطاف التوازني
Bar	عنصر في جائر شبكي، قضيب
Beam	جائر
Bearing	التحمل
Behavior	سلوك
Bending	انعطاف
Bending Moment	عزم انعطاف
Bending Moment Diagram	مخطط عزم الانعطاف
Bending Strength	المقاومة على الانعطاف
Bending Stress	إجهادات الانعطاف
Bi-axial Bending	الانعطاف حول محورين
Bolts	براغي
Bond	التماسك - التلاحم
Body Wave	أمواج حجمية
Bracing	تربيط
Breadth	عرض
Brittle Materials	مواد هشة
Buckling	التحنيب
Buckling length	طول التحنيب

Buckling load	C	حمولة تسبب التحنيب
Cantilever Beam		جائز ظفري
Capacity		قدرة
Cellular concrete		بيتون رغوي (خفيف)
Cement		إسمنت
Center of Gravity		مركز الثقل
Characteristics		خصائص
Circle Section		مقطع دائري
Clay		غضار
Coefficient		عامل
Collapse		انهيار
Collapse Stress		إجهاد الانهيار
Column		عمود
Column capital		تاج العمود
Column strip		شريحة مسندية
Combined Footings		أساسات مشتركة
Composite Section		مقطع مختلط
Compression		ضغط
Compression Flange		جناح الضغط
Compression Member		عنصر مضغوط
Compressive Strength		مقاومة الضغط
Compressive Stress		إجهاد الضغط
Concentrated		مركز
Concentrated Load		حمولة مركزة
Concrete		بيتون
Confined concrete		بيتون مطوق بتسليح عرضاني
Conglomerate		كونغلو ميرات
Connections		وصلات
Constant		ثابت
Continuous Beam		جائز مستمر
Continuous Load		حمولة مستمرة
Continuous Slab		بلاطة مستمرة
Corbel		كتف
Corrosion		تآكل - صدأ
Couple of Forces		مزدوجة قوى

Cover	التغطية
Cracks	تشققات
Cracking moment	عزم التشقق
Cracked section	مقطع متشقق
Crane	رافعة
Crane Girder	جائز حامل للرافعة
Creep	زحف ، جريان
Critical Force	قوة حرجة
Critical shear perimeter	محيط القص الحرج
Cross-Section	مقطع عرضي
Culvert	عبارة
Curvature	تقوس - انحناء
Cylinder	أسطوانة
D	
Damping	تخامد
Dead Loads	حمولات دائمة (ميتة)
Deflection	سهم - انحراف - انتقال
Deformation	تشوه
Deformed Bars	قضبان ذات نتوءات (محلزنة)
Development length	طول التثبيت
Diagram	مخطط
Diameter	قطر
Direct Connection	وصلة مباشرة
Discontinuity	انقطاع
Discrete	منفصل
Displacement	إزاحة - انتقال
Distributed Load	حمولة موزعة
Distribution Moment	توزيع العزوم
Double Shear	قص مضاعف
Drift	الانتقالات الأفقية
Drill Hole	سبر
Ductility	مطاوعة
Durability	الديمومة
Dynamic Load	حمولة ديناميكية
E	
Earthquake	زلزال

Earth pressure	ضغط التربة
Eccentric	لامركزي
Eccentric Load	حمولة لا مركزية
Effect	تأثير
Effective depth	الارتفاع الفعال
Effective Length of Columns	الطول الفعال للأعمدة
Effective span	المجاز الفعال
Elastic Behavior	السلوك المرن
Elastic Curve	الخط المرن
Elastic Design	التصميم على الطريقة المرنة
Elastic Limit	حد المرونة
Elastic Modulus	عامل المرونة
Elastic Range	المجال المرن
Elasticity	المرونة
Elongation	تطاول
Energy	طاقة
Equilibrium	توازن
Equivalent Area	المساحة المكافئة
Equivalent Length	الطول المكافئ
Equivalent Stress	الإجهاد المكافئ
Expansion Joint	فاصل تمدد
External	خارجي
External Forces	قوى خارجية
F	
Factor of Safety	عامل الأمان
Factor of Section	عامل المقطع
Failure Limit	حد الانهيار
Failure Load	حمولة الانهيار
Failure mode	نمط الانهيار
Failure Stage	مرحلة الانهيار
Failure surface	سطح الانهيار
Fatigue	التعب الناجم الحمولات الدورية
Fiber	ألياف
Finite	محدد - منتهي
Fixed	ثابت ، موثوق
Fixed Beam	جائز موثوق من الطرفين

Fixed End		نهاية موثوقة
Flange		جناح المقطع
Flat plate		بلاطة مستوية غير جانزية دون تيجان أو سقوط
Flat slab		بلاطة مستوية غير جانزية حاوية على تيجان أو سقوط أو الاثنين معاً
Force		قوة
Foundations		أساسات
Frame		إطار
Friction		احتكاك
	G	
Geometric Stability		استقرار هندسي
Girder		جائز رئيسي
Grade of Steel		ماركة الفولاذ
Graphical		بياني
Gravel		بحص
	H	
Hardening		تقسية - تصلد
High Tensile Steel		فولاذ عالي المقاومة
Hinge		مفصل
Hinged		متمفصل
Hinged Girder		جائز متمفصل
Homogenous		متجانس
Hook		عكفة
Hybrid		مركب
	I	
Indeterminate		غير مقرر أو محدد
Inertia		عطالة
In-Situ		مصبوب في الموقع
Instability		عدم الاستقرار
Instantaneous deflection		سهم آني (لحظي)
Integral		تكامل
Intensity		كثافة ، شدة
Internal Forces		قوى داخلية
	J	
Joint		عقدة
Joist		عصب

L

Lateral Buckling	تحنيب جانبي
Lateral Deflection	انحراف جانبي
Lattice Beam, truss	جائز شبكي
Lattice Girder	جائز مربوط
Length	طول
Lever Arm	ذراع الرافعة
Lightweight concrete	بيتون خفيف
Limit	حد
Limit State	حالة حدية
Lining	تبطين
Live Load	حمولة إضافية (حية)
Loading	تحميل
Loads	حمولات
Long-term deflections	سهوم طويلة الأمد

M

Magnitude	قدر - سعة
Mass concrete	بيتون كتلي
Mat foundation	حصيرة
Maximum moment	عزم أعظمي
Mechanism	آلية - ميكانيزم
Member	عنصر
Method	طريقة
Middle strip	شريحة مجازية (وسطية)
Mild Steel	فولاذ مطاوع
Minimum Moment	عزم أصغري
Mix design	تصميم الخلطة الببتونية
Model	نموذج رياضي
Modeling	النمذجة
Modular ratio (n)	عامل التكافؤ
Modulus of Elasticity	عامل المرونة
Modulus of Thermal Expansion	عامل التمدد الحراري
Modulus, Coefficient	عامل
Moment	عزم
Moment Diagram	مخطط العزم
Moment envelope	مغلف العزم

Moment of Inertia		عزم عطالة
Mortar		مونة اسمنتية
	N	
Negative Moment		العزم السالب
Neutral Axis		المحور المحايد
Node		عقدة
Normal Force		قوة ناظمية
Normal Stress		إجهاد ناظمي
Overturning moment	O	عزم الانقلاب
	P	
Parabola		قطع مكافئ
Passive soil pressure		ضغط التربة المعاكس
Perimeter		محيط
Permanent		دائم
Permissible		مسموح
Permissible Stress		الإجهاد المسموح
Pile		وتد
Pile cap		قلنسوة الوتد
Plain		منبسط - أملس
Plain concrete		بيتون عادي (لا يحوي تسليح)
Plane		سطح - مستو
Plastic Deformation		تشوهات لدنة
Plastic Hinge		مفصل لدن
Plastic Materials		مواد لدنة
Plastic Method		الطريقة اللدنة
Plastic Moment		العزم اللدن
Plastic Stage		مجال اللدونة
Plasticity		لدونة
Plate		صفيحة
Poisson's Ratio		نسبة أو عامل بواسون
Polymer concrete		بيتون حاوي على رابط بوليميري عضوي بدلاً من الاسمنت
Positive Moment		العزم الموجب
Potential Energy		طاقة كامنة
Precast Concrete		البيتون المسبق الصنع
Prestressed Concrete		بيتون مسبق الإجهاد

Primary Waves		أمواج أولية (ضاغطة)
Principal Stresses		إجهادات رئيسية
Profile		مقطع بروفيلي
Propagation		انتشار
Pumped concrete		بيتون مضخوخ
Punching		الثقب
Pure Shear Stress		إجهاد قص صاف
	Q	
Quality		جودة - نوعية
	R	
Radius of Gyration		نصف قطر العطالة
Rayleigh Waves		أمواج ريليه
Reaction		رد فعل
Rectangular Section		مقطع مستطيل
Ready-mixed concrete		بيتون جاهز للصب
Reinforced concrete		بيتون مسلح
Reinforcement		تسليح
Reinforcing details		تفريد التسليح
Reinforcing ratio		نسبة التسليح
Relative Strain		تشوه نسبي
Retaining walls		جدران استنادية
Retarding admixture		مؤخر تصلب
Resistant		مقاوم
Restoring moment		عزم التثبيت
Rigidity		صلابة
Rivet		برشام
Rod		قضيب
Roller-compacted concrete (RCC)		بيتون دون أي هبوط (للمنشآت الكتلية كالسدود أو أرضيات على التربة)
Roof of Truss		سقف الجائز الشبكي
Rupture		انقطاع ، انكسار ، انهيار
Rupture Load		حمولة انهيار
	S	
Safe Load		حمولة الأمان
Sand		رمل
Secondary Waves		أمواج ثانوية (قص)
Seismic		زلزالي

Seismic Hazard	الخطر الزلزالي
Seismic Hazard Zones	نطاقات الخطر الزلزالي
Seismic Instruments	أجهزة قياس الهزات الأرضية
Seismic Risk	خطورة زلزالية
Settlement	هبوط
Shaking	اهتزاز - رج
Shear	قص
Shear Center	مركز القص
Shear Diagram	مخطط القص
Shear Force	قوة قص
Shear Modulus	عامل القص
Shear Strength	مقاومة القص
Shear Stress	إجهادات القص
Shear wall	جدار قص
Shell	قشرية
Shotcrete	مونة أو بيتون مقزوف
Simple Beam	جائز بسيط
Simple Bending	انعطاف بسيط
Simple Torsion	فتل بسيط
Single-column footings	أساسات منفردة
Slab	بلاطة
Slenderness Ratio	نسبة النحافة
Sliding	انزلاق
Slump test	اختبار الهبوط (مخروط ابراهامس)
Soft Steel	فولاذ مطاوع
Soil	تربة
Soil bearing capacity	قدرة تحمل التربة
Span	مجاز
Spiral	حلزون
Splitting failure	انهيار بالفلق (شقوق صريحة وموازية)
Stability	استقرار
Stable	مستقر
Statical Moment	عزم استاتيكي
Steel	فولاذ
Steel Stress	إجهاد الفولاذ
Stiffened	مقوى - مدعم

Stiffness		قساوة
Stirrups		الأساور في الجوائز
Strain		تشوهات
Strain Energy		طاقة التشوه
Strap footing		أساس مع جوائز ربط (جوائز تقويم)
Strength reduction factor		عامل تخفيض المقاومة
Stress		إجهاد
Structure		منشأة
Support		مسند
Surface Waves		أمواج سطحية
	T	
Tangential Stress		إجهاد مماسي
Tensile Strength		مقاومة الشد
Tensile Stress		إجهاد الشد
Tension		شد
Test		اختبار
Theory		نظرية
Theory Of Elasticity		نظرية المرونة
Thick Section		مقطع ثخين
Thickness		سماكة
Thin Section		مقطع نحيف
Tie		شداد - الأساور في الأعمدة
Torsion		قتل
Transverse Reinforcement		التسليح العرضي
	U	
Ultimate Stress		إجهاد حدي
Uniform		موزع بانتظام
Uniformly Distributed Load		حمولة موزعة بانتظام
Unstable		غير مستقر
	V	
Variable		متحول
Vertical		شاقولي
Vibrator		رجاج
Virtual Work		العمل الوهمي
	W	
Waffle slab		بلاطة معصبة باتجاهين
Water-cement ratio		نسبة الماء للإسمنت

Web of Beam

Weight

Weld

Wire mesh

Workability

Working Stress

Yield Stress

Young's Modulus

جسد الجانز

وزن

لحام

شبهكات تسليح ملحومة

درجة التشغيل

إجهاد التشغيل

إجهاد الخضوع

عامل يونغ

Y

