الفصل الثالث : الجدران الاستنادية

1.3 مقدمة

تعتبر الجدران الاستنادية من العناصر الأساسية و الهامة في المشاريع الكبيرة و المرافق العامة (الشكل 1.3) و التي تستخدم كثيراً في الحياة العملية (سدود، مرافئ، أرصفة بحرية، جسور، طرق، أقبية، توازن منحدرات، حفر و أحواض التأسيس،...إلخ)

الجدار الاستنادي هو منشأة هندسية تستخدم لتأمين الدعم الجانبي للتربة أو لمادة أخرى عندما لا تسمح الظروف للمادة بأن تأخذ ميلها الطبيعي.

إن وجود التربة خلف الجدار يؤدي بالإضافة إلى الإجهادات الشاقولية الناتجة عن وزنها الذاتي إلى ظهور إجهادات جانبية تؤثر على الجدار تدعى بالدفع الجانبي للتربة والذي يعتبر تحديد توزعه على ارتفاع الجدار شرطاً أساسياً لتصميم الجدار الاستنادي.

الشكل 1.3 : الجدران الاستنادية

2.3 أنواع الجدران الاستنادية

يمكن تصنيف الأنواع الأكثر شيوعاً للجدران الاستنادية كما يلي:

1-الجدران الثقلية: تعتمد على وزنها الذاتي لتأمين توازنها و تستخدم بشكل أساسي للارتفاعات الصغيرة (H<4.5m) وتتميز بأنها سهلة التنفيذ واقتصادية، وعندما يزداد ارتفاع هذه الجدران تصبح غير اقتصادية. يمكن أن تكون هذه الجدران:

أ-كتلية: منفذة من الحجارة أو البيتون الصافي (دون تسليح) ويمكن أن تكون أحياناً على شكل أقفاص من الشبك المعدني التي تملأ بالحجارة بأقطار (10-20)cm وتدعى **بالكابيونات (Gabion walls)**، وتتميز بنفاذيتها المرتفعة وينصح باستخدامها في الأماكن ذات المنسوب المائي المرتفع (الشكل 2 .3)

الشكل 2 .3 : الكابيونات

ب- نصف كتلية: تستخدم فيها نسبة قليلة من حديد التسليح و بذلك تصغر أبعاد مقاطع الجدار عنها في حالة الجدران الكتلية

مساوئ الجدران الثقلية

1-ارتفاعاتها محدودة وينصح بعدم استخدامها للارتفاعات التي تزيد عن 4m

2-تحتاج لحفريات كبيرة بسبب كبر أبعادها

3-لا ينصح باستخدامها في أماكن الترب ذات المشاكل ولا في المواقع ذات منسوب المياه المرتفع

2-الجدران المسلحة:

ويرمز لها أيضاً بـــ (جدران MSE) وهي جدران مبنية من مواد مختلفة كالبيتون المسلح أو الفولاذ أو الخشب أو من المواد الجيوصنعية كالجيوتكستيل أو الجيوغريد. تتمتع هذه الجدران بالميزات التالية :

1-إمكانية استخدامها لمختلف الارتفاعات الصغيرة والكبيرة

2-المقاومة الكبيرة للضغوط المختلفة

3-المقاطع الصغيرة وعدم الحاجة للحفريات الكبيرة

بالمقابل فإن هناك العديد من المساوئ لهذه الجدران، وأهمها :

1-الكلفة الكبيرة مقارنة بالجدران الثقلية

2-تحتاج لتقنيات تصميم وتنفيذ أكثر تعقيداً من الجدران الثقلية

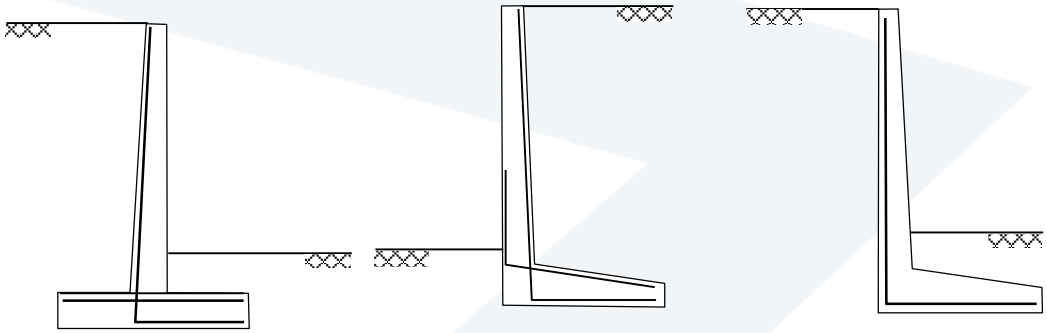
3-تحتاج لكوادر متخصصة من المهندسين والفنيين

أنواع الجدران المسلحة

للجدران المسلحة العديد من الأنواع نذكر منها:

أ- الجدران الظفرية :

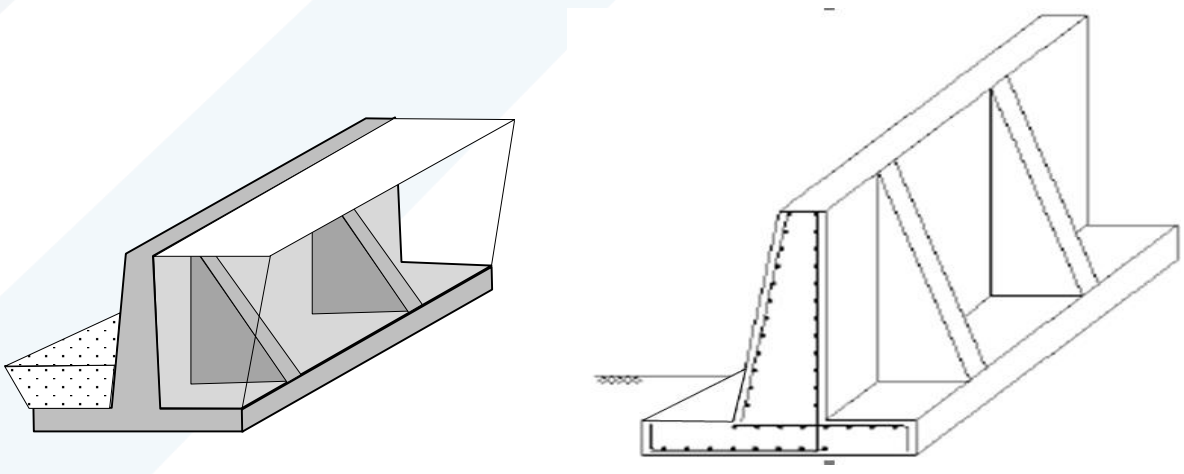
تأخذ الجدران الظفرية شكل ⊥ أو ⌊ أو ⌊ (الشكل 3. 3)، و تكون رقيقة نسبياً و تعمل كظفر موثوق من الأســفل و حر من الأعلى, تعمل التربة المردومة فوق كعب الجدار على زيادة الاســتقرار ولذلك يكون عادة عرض الكعب أكبر من طول الكعب. في بعض الحالات وبســبب حدود الملكية التي لا تســمح بامتداد قاعدة الجدار من الجهة الأمامية فيمكن استخدام جدار ظفري على شكل L بدون قدم، كما أنه في الحالات التي لا يمكن فيها حفر التربة خلف الجدار (من جهة القدم) فيمكن استخدام جدار على شكل L بقدم فقط وبدون كعب. ويعتبر هذا النوع اقتصادياً حتى ارتفاع 8m.



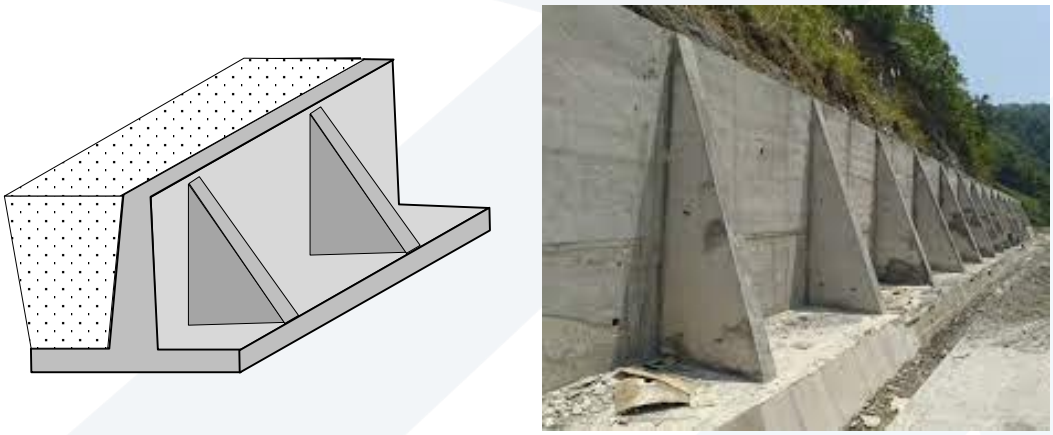
الشكل 3. 3 : الجدران الاستنادية الظفرية

ب- الجدران ذات التدعيم العكسي (Counterfort Walls):

تختلف عن الجدران الظفرية بوجود الدعائم خلف الجدار (الشكل 3. 4) و هي عبارة عن بلاطات بيتونية شـــاقولية نحيفة تربط بلاطة القاعدة بالجذع و تعمل على تخفيض القوى القاصـــة و عزوم الانعطاف المؤثرة على الجدار. يســـتخدم هذا النوع من الجدران في حالة الارتفاعات الكبيرة أو عند وجود ضـــغوط كبيرة خلف الجدار, و تخضـــع الدعائم لقوى شـــادة. كما يمكن اســـتخدام الدعائم في جهة قدم الجدار وتدعى عندها بالجدران ذات التدعيم الأمامي (Buttress wall) , وتخضـــع الدعائم في هذه الحالة لقوى ضاغطة.



-أ-

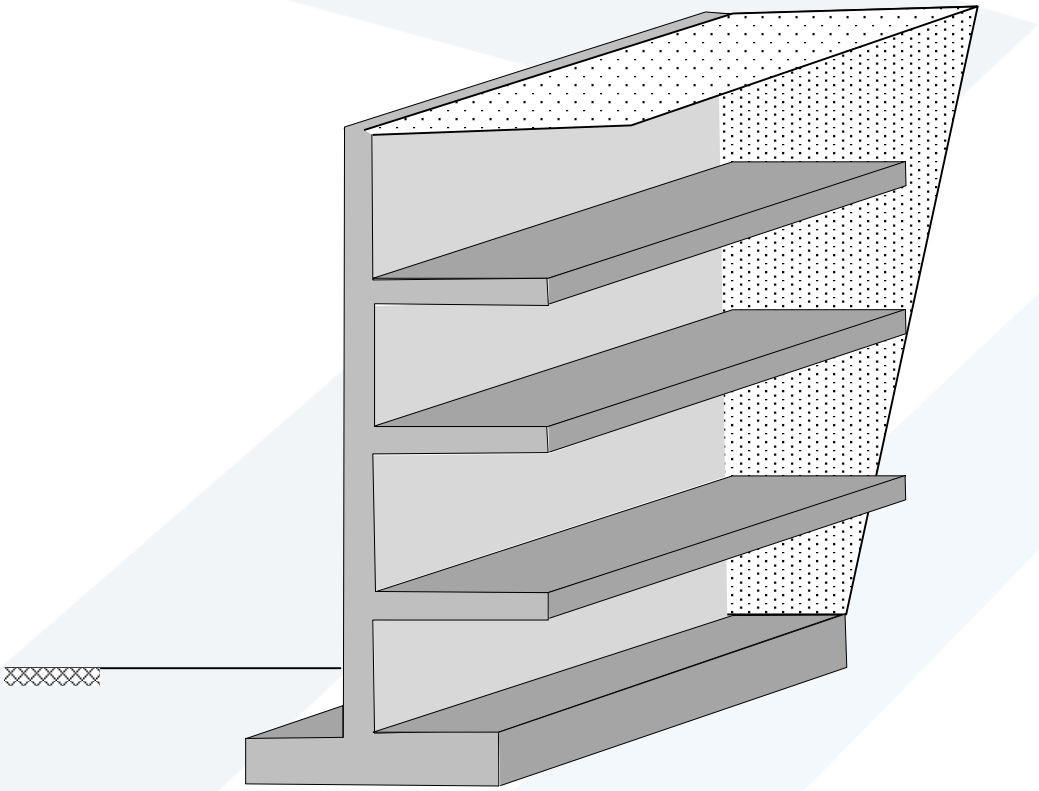


-ب-

الشكل 3. 4: الجدران الاستنادية ذات التدعيم العكسي(أ-تدعيم خلفي ب- تدعيم أمامي)

ج- الجدران ذات الأظفار الموازنة:

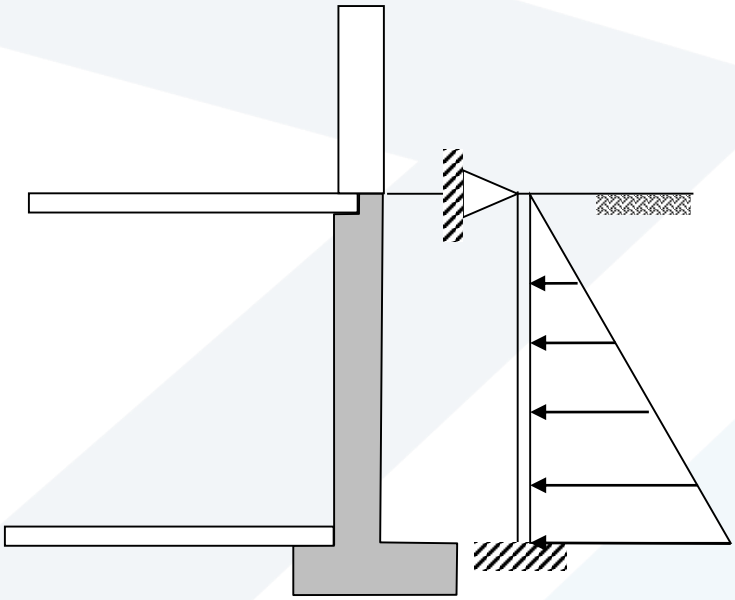
و هي جدران ظفرية مزودة بأظفار بارزة من الجدار من جهة الردم (جهة كعب الجدار) (الشكل 3. 5) و بالتالي فإن وزن التربة فوقها يساعد على تأمين توازن الجدار و تخفيض عزوم الانعطاف و قوى القص على جذع الجدار (تعمل على كسر مخطط دفع التربة و تحويله إلى مثلثات و أشباه منحرف). يستخدم هذا النوع في حالة الجدران ذات الارتفاعات الكبيرة و الضغوط الكبيرة للتربة و يمكن أن يكون هناك ظفر واحد أو أكثر حسب ارتفاع الجدار و مقدار الضغوط المؤثرة عليه، ويعتبر عدد الأظفار المثالي (2-3) ظفر.



ا لشكل 3. 5 : الجدران الاستنادية ذات أظفار الموازنة

د- جدران الأقبية (Basement walls)

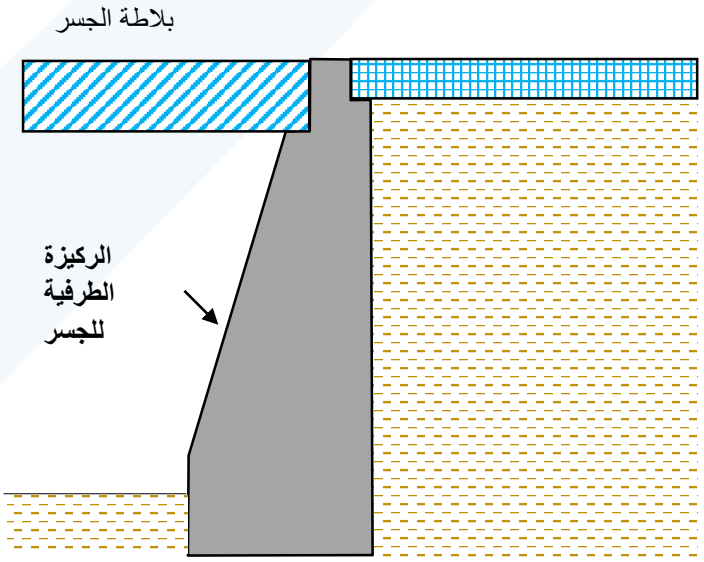
وهي جدران قليلة السماكة تستخدم على محيط الأقبية من أجل حمايتها من التربة والماء. تعمل بلاطات الأقبية كمساند لهذه الجدران وتمنع حركتها الأفقية وتخفض من عزوم الانعطاف المتولدة فيها، ولذلك تعتبر جدران الأقبية موثوقة من الأسفل (عند مستوي القاعدة) و مسنودة في مستويات أسقف الأقبية (الشكل 3. 6).

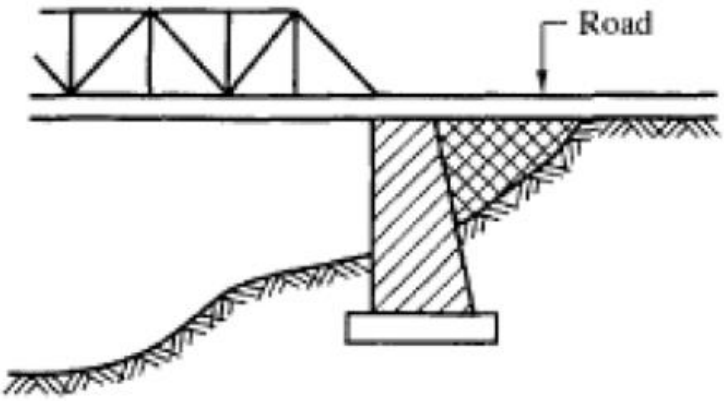


الشكل 3. 6 : جدران الأقبية

هـ- الركائز الجانبية للجسور والمردوم خلفها

تعرف الركائز الجانبية للجسور بأنها عناصر انشائية متينة وظيفتها تأمين نقل حمولات الجسر إلى التربة بالإضافة إلى تأمين حجز التربة المتواجدة (أو المردومة) خلفها. وبالتالي فإن الركيزة الجانبية للجسر تعمل كجدار استنادي محمل بحمولات شاقولية (ناتجة عن حمولات الجسر) وحمولات أفقية ناتجة عن دفع التربة المردومة خلفها بالإضافة إلى القوى الأخرى كقوى الزلازل أو قوى الرياح (الشكل 3. 7)

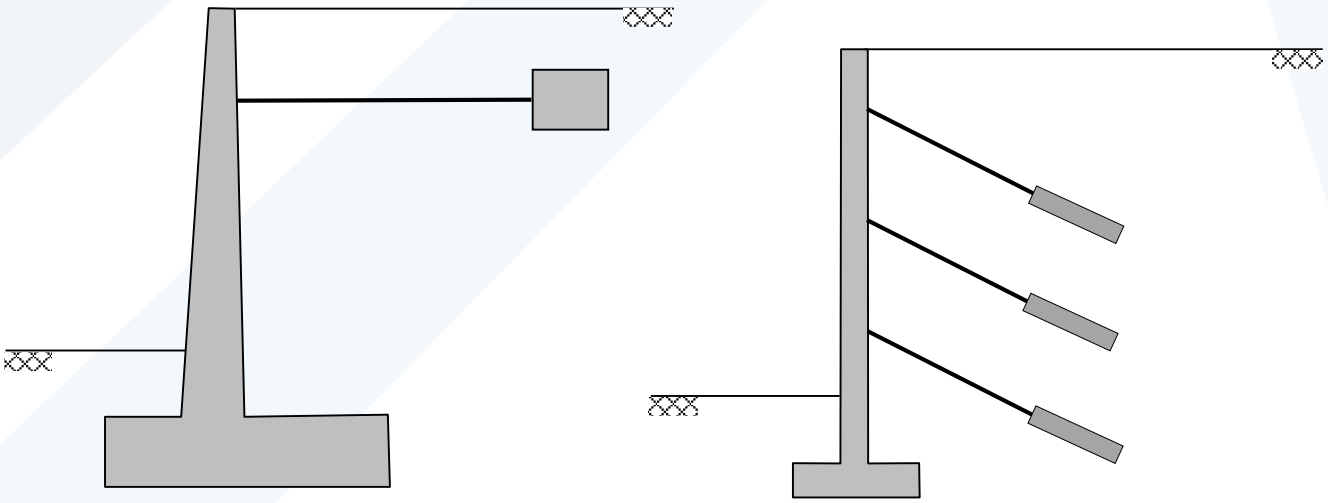




الشكل 3. 6 : الركائز الجانبية للجسور والمردوم خلفها

و- الجدران الاستنادية المثبتة بشدادات (Braced walls)

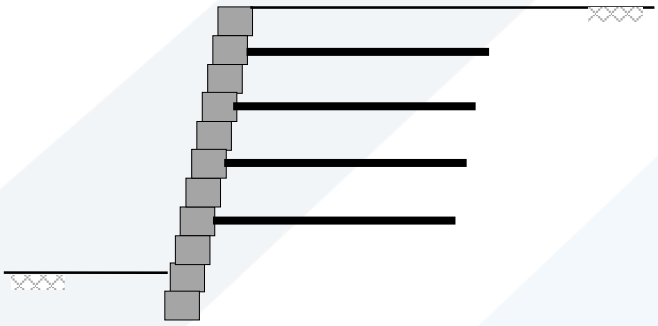
يمكن تثبيت أي نوع من أنواع الجدران الآنفة الذكر بشدادات مثبتة في قمة الجدار وذلك من أجل الحد من حركتها ولتخفيض عزوم الانعطاف المتشكلة أسفل الجذع وفي القاعدة (الشكل 3. 7).

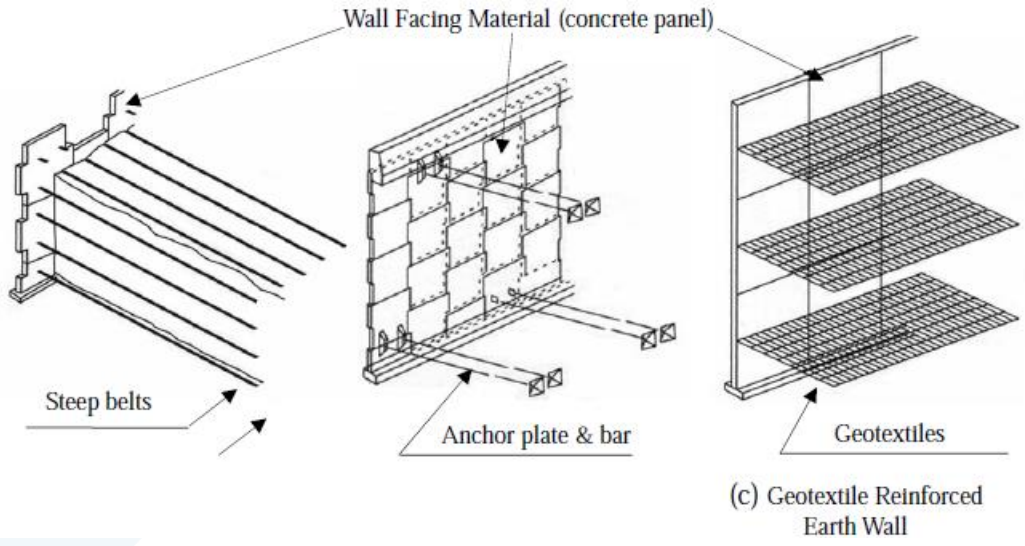


الشكل 3. 7 : الركائز الجانبية للجسور والمردوم خلفها

ز-الجدران المثبتة بالمواد الجيوصنعية

تتكون هذه الجدران شرائح من مواد جيوصنعية (الجيوتكستيل والجيوغريد) تستخدم لتقوية تربة المنحدرات وأكتاف الجسور (الشكل 3. 8)





الشكل 3. 8 : الجدران المثبتة بالمواد الجيوصنعية

3. 3 أنماط انهيار الجدران الاستنادية (Types of retaining walls failures)

1- الجدران الثقلية والجدران البيتونية المسلحة

تنهار الجدران الثقلية وفق أنماط انهيار الأجسام الصلبة التالية :

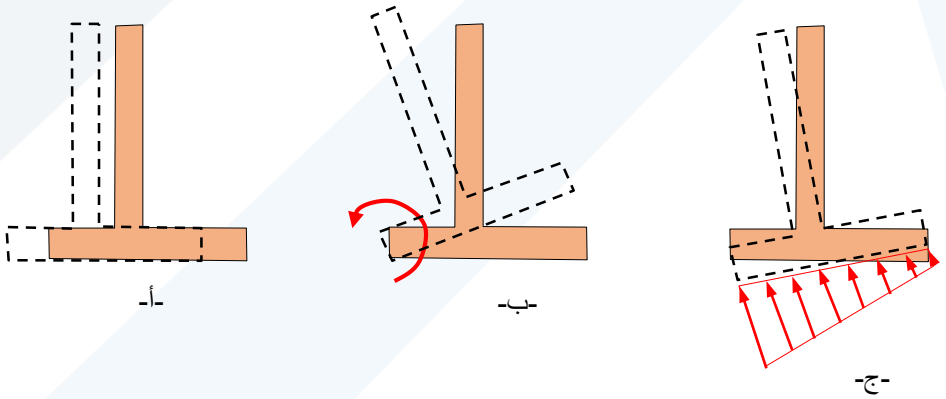
أ-الانهيار بالانزلاق : يحدث هذا الانهيار نتيجة للقوى الأفقية المتشكلة خلف الجدار والتي تتجاوز القوى الأفقية المثبتة للجدار (الشكل 3. 9 –أ)

ب-الانهيار بالانقلاب : يحدث هذا النوع من الانهيار بسبب دوران الجدار بعيداً عن التربة حول الزاوية السفلية لقدم الجدار (الشكل 3. 9 -ب)

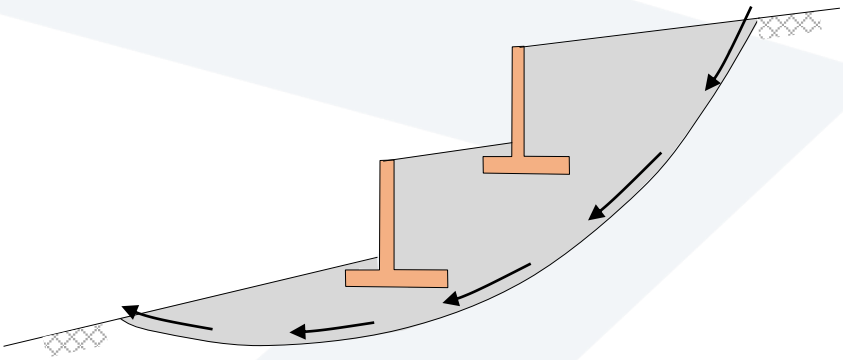
ج-الانهيار نتيجة لضعف تربة التأسيس للجدار (الشكل 3. 9 -ج)

د- الانهيار لأسباب انشائية نتيجة لعدم كفاية الأبعاد أو التسليح .

هـ-الانهيار نتيجة لعدم استقرار المنحدر الذي يشاد عليه الجدار : في الحالات التي تستخدم فيها الجدران الاستنادية لتدعيم المنحدرات، من الضروري التأكد من توازن المنحدر مع وبدون الجدار (أو الجدران) (الشكل3. 10).



الشكل 3. 9 : أنماط انهيار الجدران الاستنادية الثقلية والجدران البيتونية المسلحة



الشكل 3. 10 : الانهيار نتيجة لعدم استقرار المنحدر الذي يشاد عليه الجدار الاستنادي الثقلي والجدر البيتوني المسلح

2-الجدران المثبتة

يمكن أن تنهار هذه الجدران بعدة أنماط، نذكر منها :

أ- انقطاع الشداد نتيجة لعدم كفاية مقاومته لقوة الشد المحورية المتولدة فيه (الشكل 3. 11-أ)

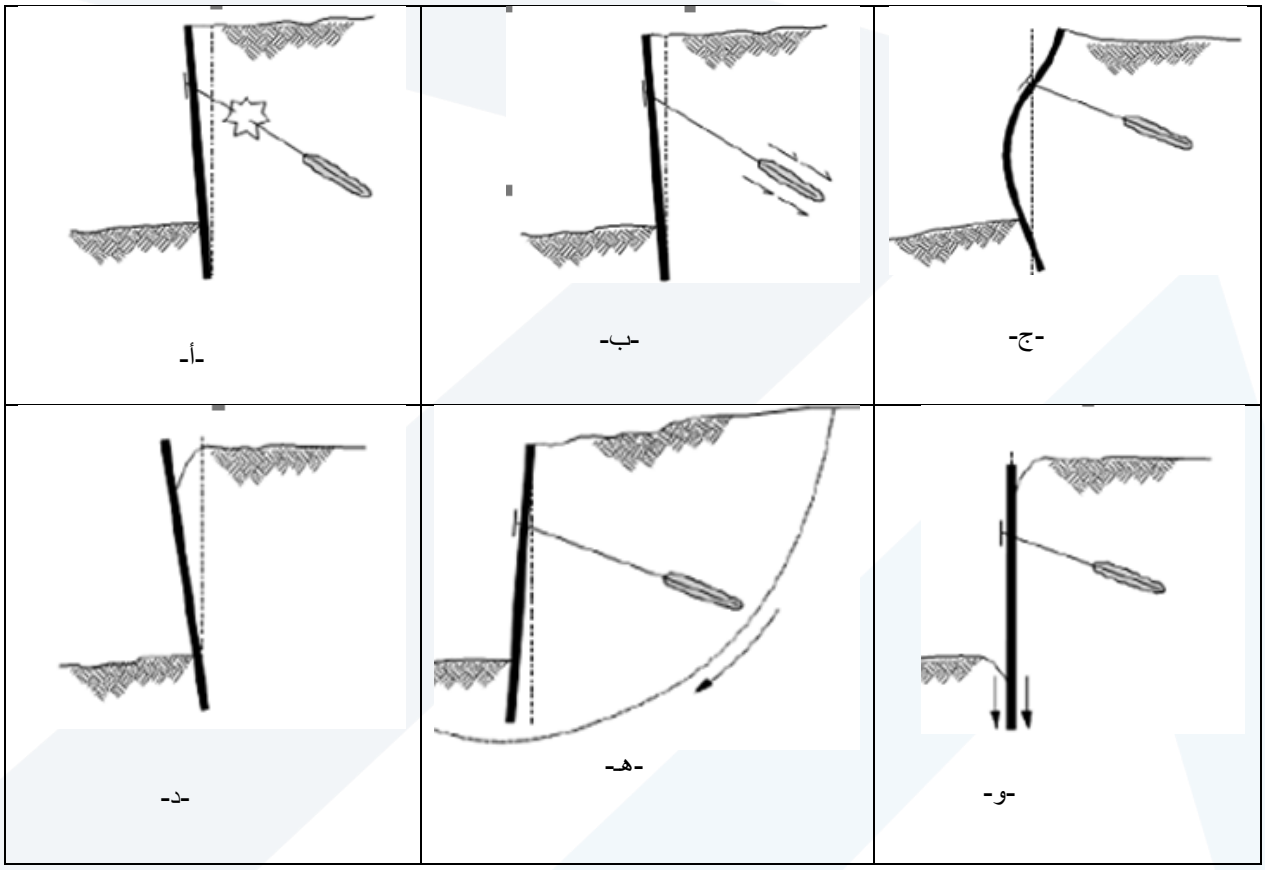
ب- انزلاق كتلة الاسمنت (الغراوت) ضمن التربة بسبب عدم كفاية قوة الاحتكاك مع التربة (الشكل 3. 11-ب)

ت- انحناء الجدار بسبب الانعطاف (الشكل3. 11-ج)

ث- دوران الجدار بسبب عدم كفاية طول الشداد (الشكل 3. 11-د)

ج- انزلاق كتلة التربة (الشكل 3. 11-هـ)

ح- ضعف تربة التأسيس (الشكل 3. 11-و)



الشكل 3. 11 : أنماط انهيار الجدران المثبتة

3. 4 أسباب انهيار الجدران الاستنادية

يعتبر التصميم الخاطئ أهم أسباب انهيار الجدران الاستنادية وهناك العديد من الأسباب التي قد تجعل التصميم خاطئاً، أهم هذه الأسباب :

1- الخطأ في تقدير حمولات الجدار كتصميم الجدار على القوى الستاتيكية فقط وعدم أخذ الحمولات الزلزالية بعين الاعتبار أو تقديرها بطرق تقريبية لا تناسب حالة الجدار المصمم أو الموقع المتواجد فيه الجدار، أو عدم أخذ الحمولات السطحية بعين الاعتبار.
2- إهمال الدفع الجانبي الناتج عن المياه (الهيدروستاتيكي أو الهيدرودينامي أو الاثنان معاً) في المواقع ذات منسوب المياه المرتفع وخاصة عندما تكون التربة المردومة خلف الجدار ضعيفة النفاذية أو عندما لا تتمكن شبكة تصريف المياه خلف الجدار من تشتيت ضغط الماء المتولد خلف الجدار.
3- التقدير الخاطئ للضغط السلبي المتشكل أمام الجدار إما بسبب استخدام قيم كبيرة لعامل الدفع السلبي أو نتيجة لاعتبار قوى سلبية مقاومة لتربة معرضة للإزالة.

4- التقدير الخاطئ لمقاومة القص لتربة التأسيس وعدم الأخذ بعين الاعتبار انخفاض مقاومة القص لهذه التربة نتيجة للأمطار أو لأي سبب آخر.

5.3 استقرارالجدران الاستنادية

يتم التأكد من استقرار الجدار الاستنادي عن طريق التأكد من عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب والقص للتربة تحت القاعدة ومن القص العميق للتربة، ويجب أن لا تقل عوامل الأمان عن القيم التالية :

شرط الاستقرار	الحالة الستاتيكية	الحالة الديناميكية
الانزلاق	1.5	1.2
الانقلاب	2	1.5
القص السطحي	3 and $\|e\|\leq B/6$	3 and $\|e\|\leq B/3$
القص العميق	1.5	1.2

by Japan Road Association, March 1999

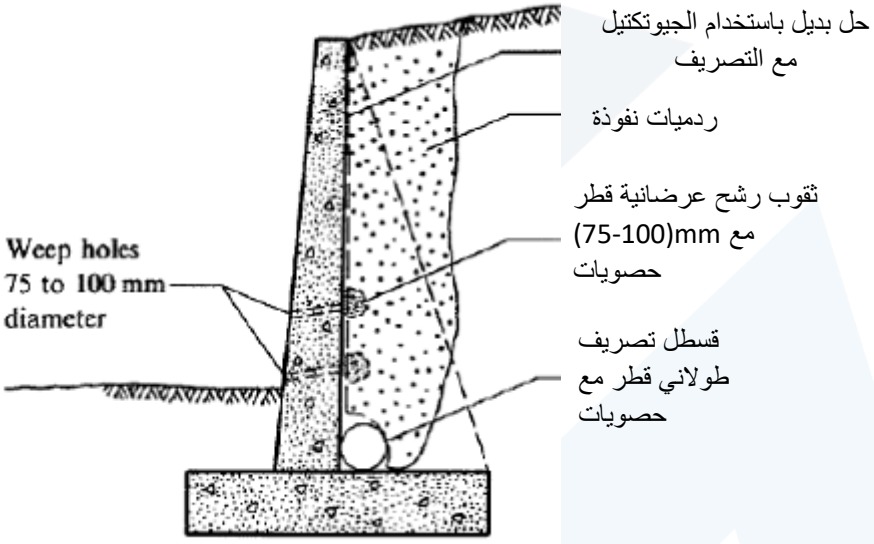
6.3 تصريف المياه خلف للجدران الاستنادية

يمكن نتيجة للأمطار أو تسرب المياه أو غيرها من الأسباب أن تصبح تربة الردم خلف الجدار الاستنادي مشبعة مما سيؤدي إلى زيادة الضغط الجانبي على الجدار وقد يؤدي بالنتيجة إلى عدم توازنه و انهياره و لذلك يجب دائماً الاهتمام بمسألة تصريف المياه من خلف الجدار و يتم ذلك عادة كما يلي :

1- تنفيذ ثقوب رشح ضمن الجدار (دماعات) بقطر(75-100)mm وبتباعد 1.5m شاقولياً وأفقياً.
2- استخدام قسطل تصريف طولاني مثقب قطر 200mm في زاوية التقاء كعب الجدار مع جذعه (الشكل3. 12).

كما يجب تأمين تصفية الماء قبل وصوله إليها كي لا يحصل انسداد فيها، ويتم عادة تأمين التصفية بواسطة تربة بحصية توضع خلف ثقوب الترشيح أو حول أنابيب التصريف. تختار تربة المصفاة بعناية و خاصة من ناحية تدرجها الحبي حيث يجب أن تمنع تسرب التربة عبرها إلى ثقوب أو أنابيب التصريف.

كما يمكن تغطية أنبوب التصريف الطولي بطبقة من الجيوتكستيل من أجل منع حبيبات التربة الناعمة من المرور عبر ثقوب الانبوب.



الشكل 3. 12: التصريف من الردم الخلفي لجدار استنادي