

المهندس الاستشاري
عماد درويش

الأوتاد الدقيقة المايكروبايل

2023

الأوتاد الدقيقة

الميكروبايل - القسم الأول والثاني

المهندس الاستشاري

عماد درويش

2023



الأوتاد الدقيقة

الميكروبايل - القسم الأول

هذا الكتاب

يتناول هذا الكتاب أهم المعلومات التي يحتاجها المهندس الإنشائي في مجال تصميم وتنفيذ الأوتاد الدقيقة (المايكروبايل)، والتي يجب أن يعرفها في مجالات عمله.

المهندس الاستشاري
عماد يونس درويش
دمشق 2023

الأوتاد الدقيقة وتنفيذها والمعدات المستخدمة Micropiles, Instulation ans equipments

1.1 ما هي الأوتاد الدقيقة:

الأوتاد الدقيقة هي ببساطة أوتاد نحيفة تنفذ عن طريق آبار تحفر في التربة بأقطار صغيرة تتراوح بين (10 – 35 cm) تسليح ثم تحقن بالمونة الإسمنتية.

تسليح الأوتاد الدقيقة بالقضبان الفولاذية المعروفة في البيتون المسلح، أو بمقاطع معدنية أنبوبية (مواسير).

تصنف الأوتاد الدقيقة من فئة الأساسات شبه العميقة، حيث تستخدم لأعمال التأسيس وتدعيم أساسات المنشآت القائمة، بالإضافة إلى استخدامها لتقوية التربة ولحل مشاكل استقرار المنحدرات.

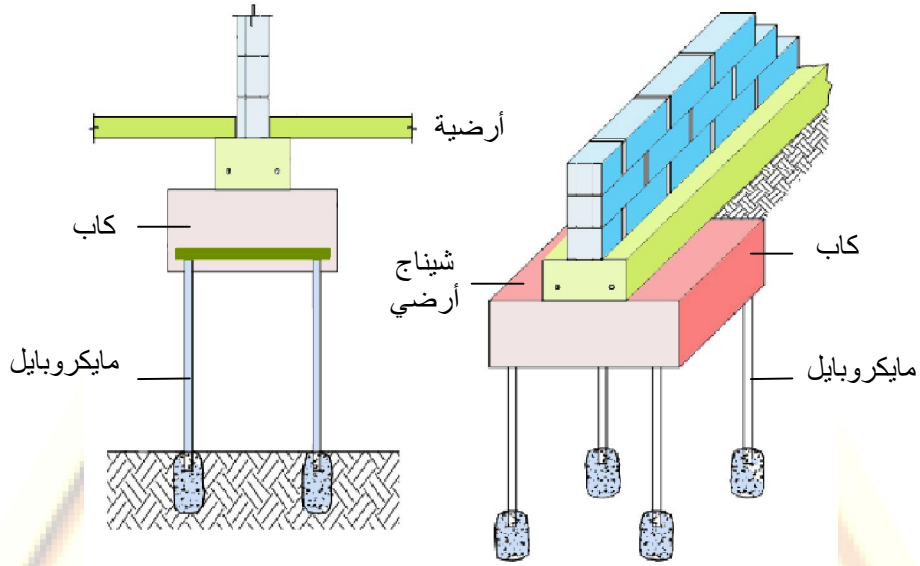
تستخدم الأوتاد الدقيقة في التأسيس، حين الحاجة للوصول إلى طبقة متوسطة العمق من التربة الحاملة، لا يمكن الوصول إليها بالحفر من أجل تنفيذ أساسات سطحية.

يعود تاريخ اختراع الأوتاد الدقيقة في المجال العلمي إلى عام (1950)، غير أن انتشار هذه الأوتاد بشكل واسع في المجال التطبيقي يعود إلى عام (1980).

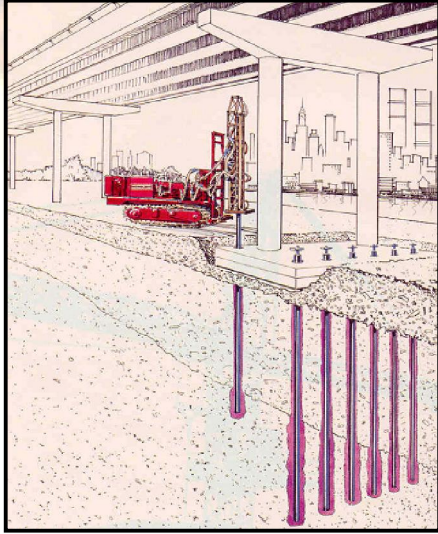
يتوضع هذا النوع من الأوتاد على تباعدات متقاربة حيث تنفذ داخل الأرض إما باستخدام آلات الحفر الهيدروليكية بالدق أو بالحفارات الدورانية، حتى الوصول إلى الطبقة الحاملة المناسبة.

مع صب أو حقن الوتد يجري سحب أنبوب الحقن تدريجياً بخطوة أو بطول يقارب متر واحد، ويتم ربط رؤوس الأوتاد بقاعدة (أو كاب) كبيرة نسبياً.

يبين الشكل (1) مثلاً تطبيقاً على استخدام الأوتاد الدقيقة في أحد المشاريع، لسند جدار وأرضية مستودع للمواد الغذائية.



الشكل 1



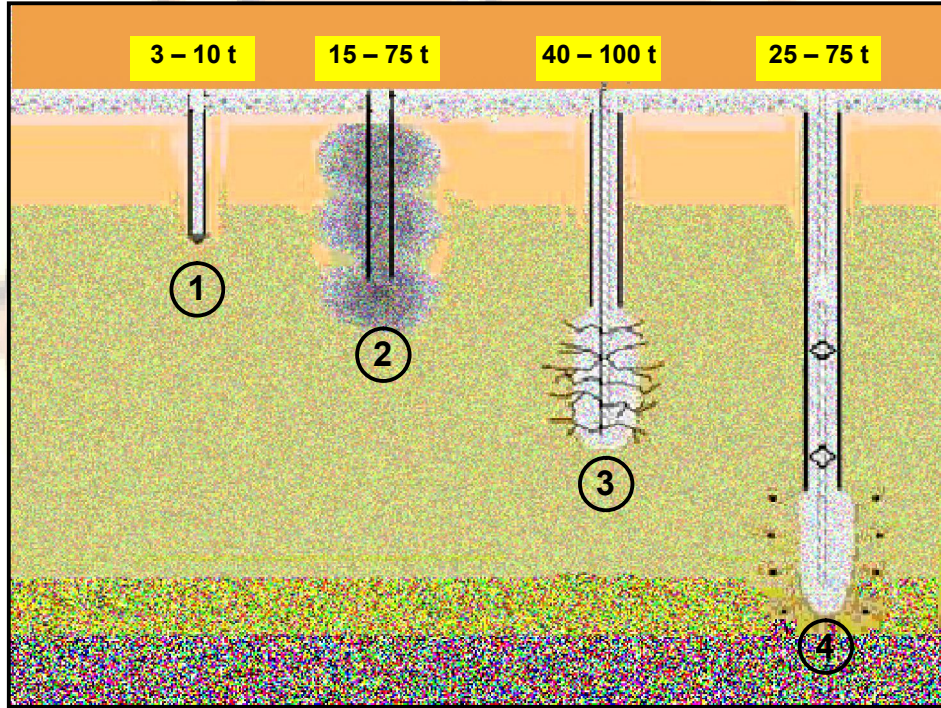
الشكل 2

تم إنشاء الأوتاد المذكورة فوق طبقة من التربة القابلة للانضغاط، حيث تم حقن (52) وتدًا تحت (13) كاب، وبتباعدات (50 cm)، وقد نفذت الأوتاد بقطر (20 cm) ليحمل كل منها حمولة قدرها (12 t). وجرى دفع الأوتاد حتى الوصول للطبقة الصلبة. كما تم حقن الاسمنت بالضغط عبر الأنبوب بطول (1.5 m) وذلك لإنشاء قاعدة ارتكاز موسعة أسفل الوتد، وذلك بعد أن يتم قذف سدادة الأنبوب بعيداً نتيجة الضغط، وقد استغرق هذا العمل وقتاً اقل من أسبوع واحد.

يمكن أيضاً استخدام الأوتاد الدقيقة لزيادة قدرة تحمل الأساسات السطحية على الشد وذلك من خلال خفض الإجهادات تحت الأساسات الزاوية كما في الشكل (2).

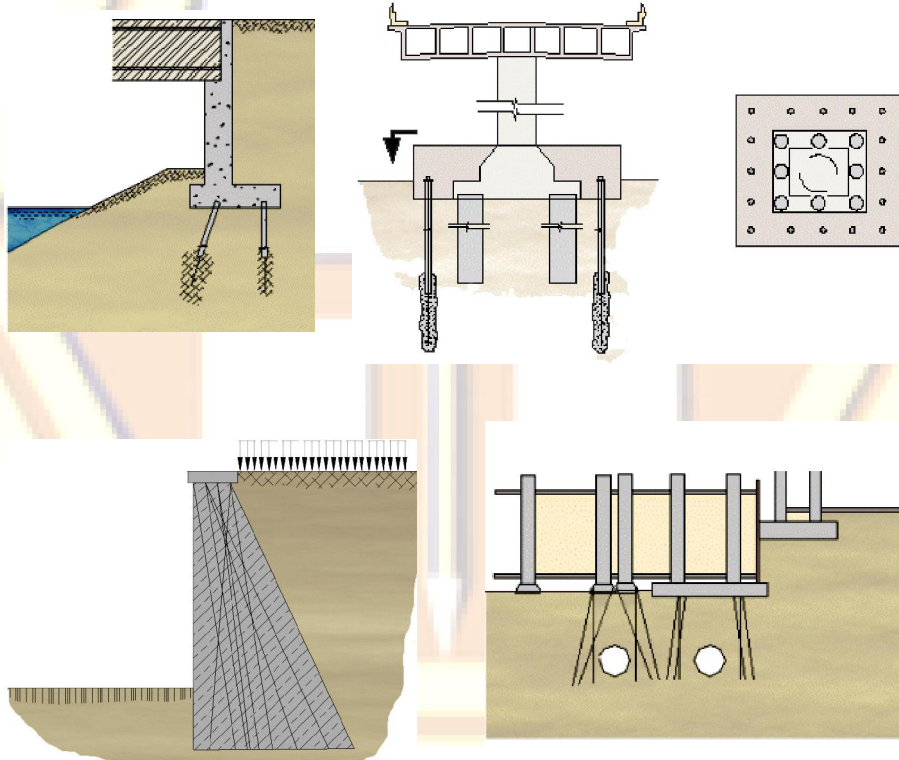
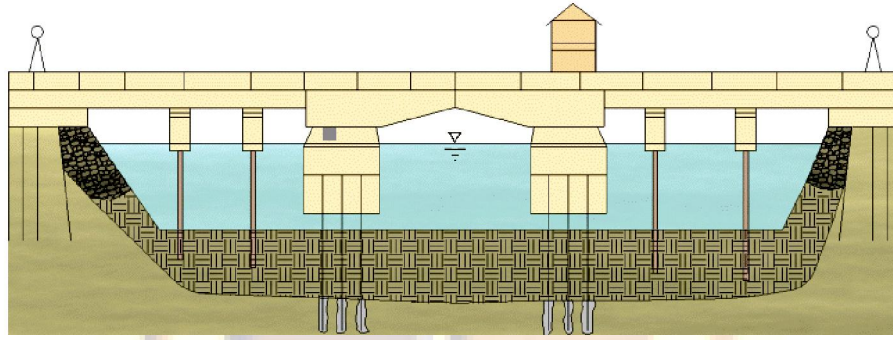
تعتبر الأوتاد الدقيقة نظاماً فعالاً جداً في أعمال تدعيم الأساسات، بسبب تحملها للقوى الشاقولية، حيث تصنف كما في الشكل (3) الذي يبين الحمولات التقديرية التصميمية لكل نوع منها.

- 1 - الأوتاد الدقيقة المحفورة.
- 2 - الأوتاد الدقيقة العاملة على الضغط والمستندة على بيتون مصبوب مسبقاً.
- 3 - الأوتاد الدقيقة المستندة على بيتون مصبوب لاحقاً.
- 4 - الأوتاد الدقيقة المستندة على بيتون محقون تحت تأثير ضغط محدد.



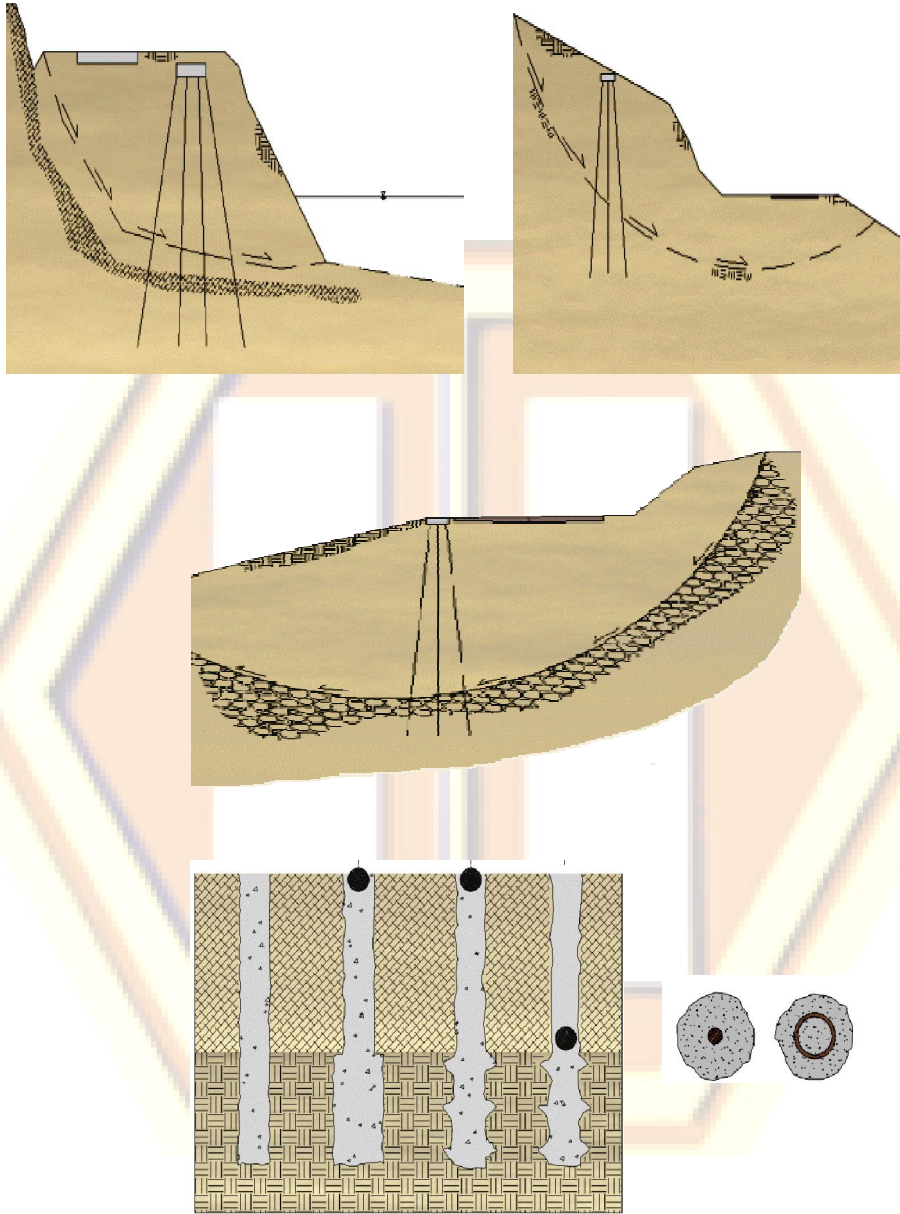
الشكل 3

تبين الأشكال الموضحة في الصفحات الخمس التالية نماذج عديدة لاستخدامات المايكوبايل في أماكن ومنشآت مختلفة.

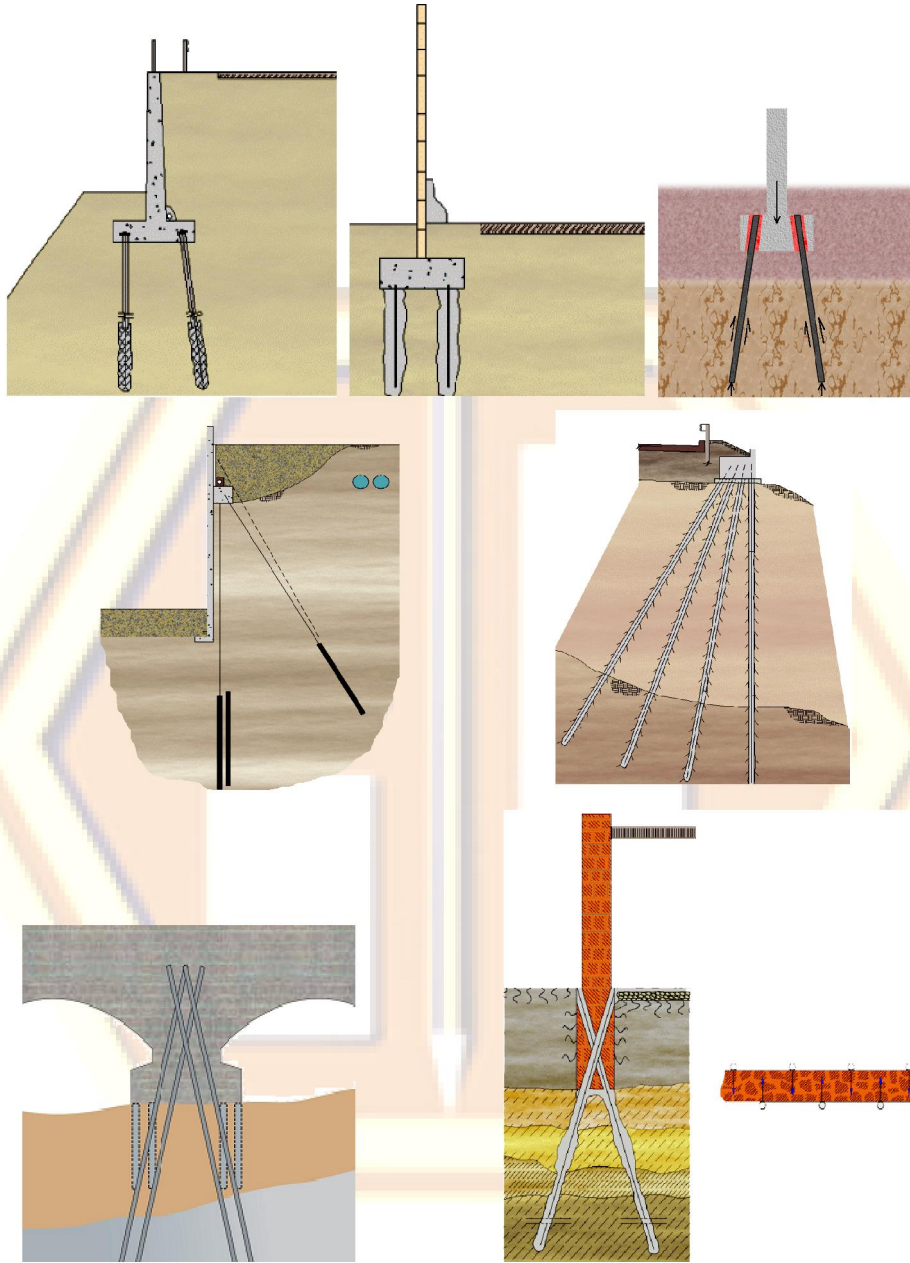


الشكل 4

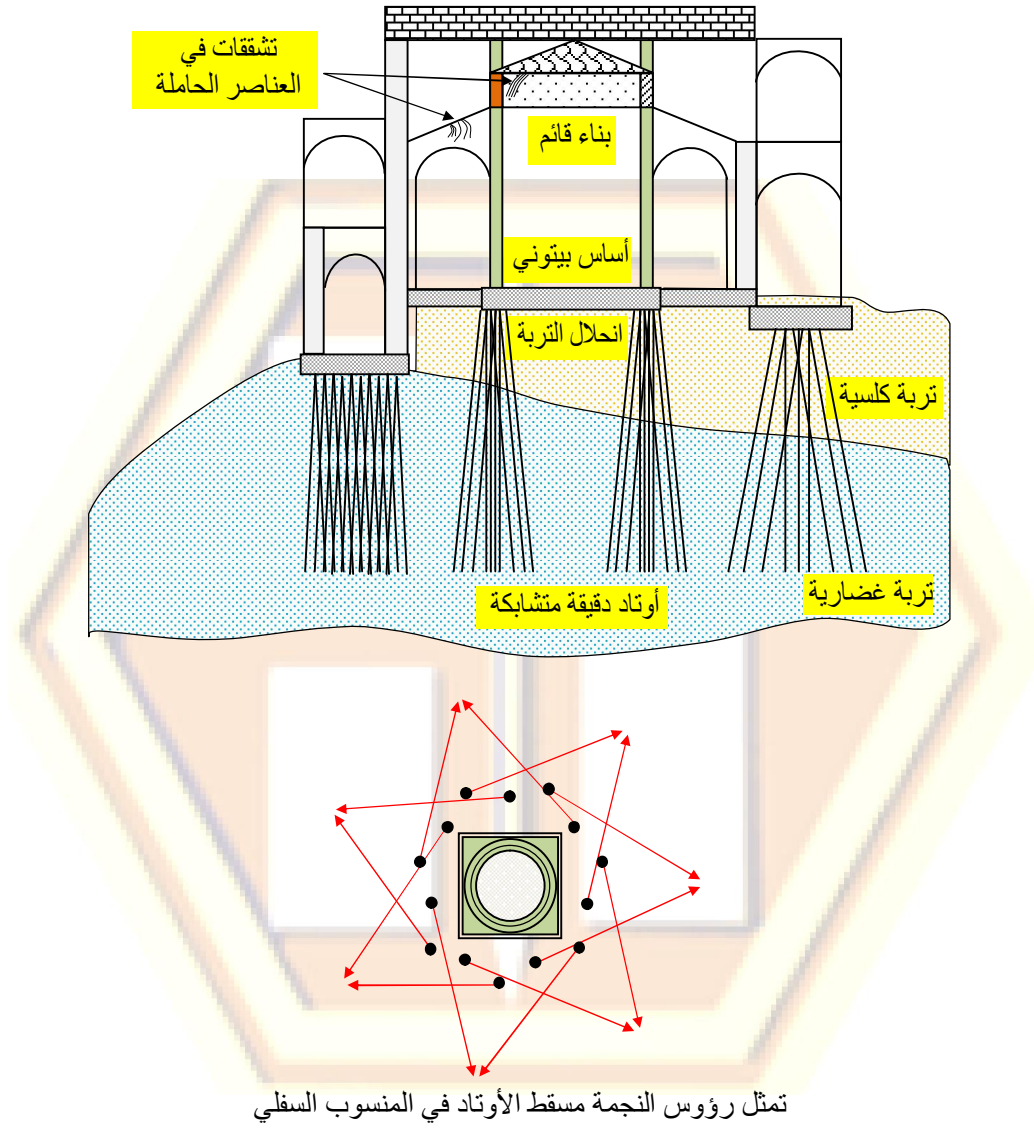
استخدام الأوتاد الدقيقة في قواعد الجسور.



الشكل 5
استخدام الأوتاد الدقيقة في تثبيت المنحدرات.



الشكل 6
استخدام الأوتاد الدقيقة في الجدران الاستنادية.



الشكل 7

رسم نموذجي لتوزيع الأوتاد الدقيقة الخاصة بتدعيم بناء قائم.



الشكل 8
صور توضيحية لتدعيم بناء قائم.

2.1 مزايا الأوتاد الدقيقة: Advantage of micropile

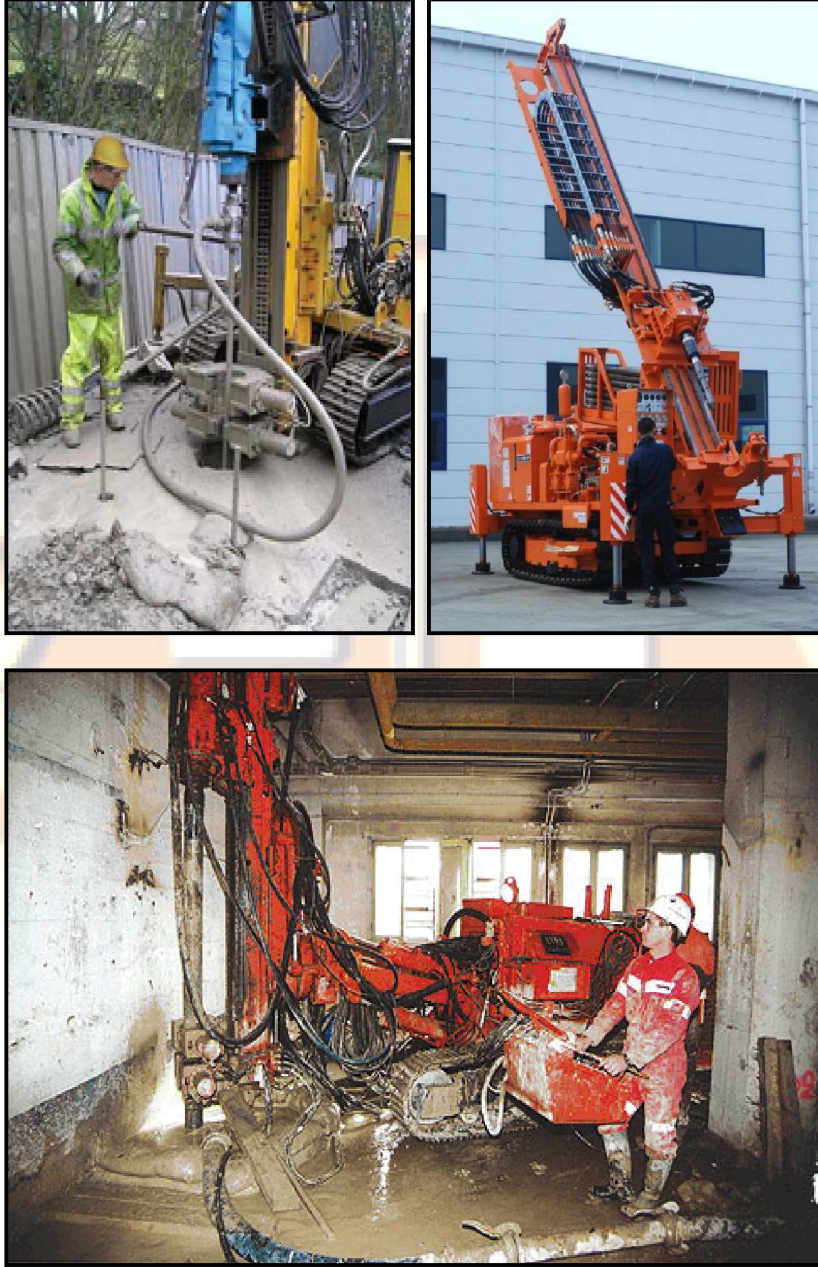
- تمتاز الأوتاد الدقيقة كعناصر إنشائية حاملة بما يلي:
1. يمكن تنفيذ الأوتاد الدقيقة في أماكن ضيقة وتحت الأبنية القائمة، وهي فعالة جداً في الأماكن المذكورة كما في الصور الموضحة في الشكل (9).



الشكل 9

2. تعمل الأوتاد الدقيقة كعناصر إنشائية على الضغط والشد.
3. تحسن الخواص الميكانيكية للتربة بشكل كبير وعلى امتداد طول الوتد.
4. معدات الحفر ومعدات الحقن خفيفة الوزن.
5. أدوات الحفر قليلة الضجيج والاهتزاز.
6. الأوتاد الدقيقة اقتصادية مقارنة بالأوتاد التقليدية.

يبين الشكل (10) صوراً لنماذج مختلفة لآلات حفر الأوتاد الدقيقة.



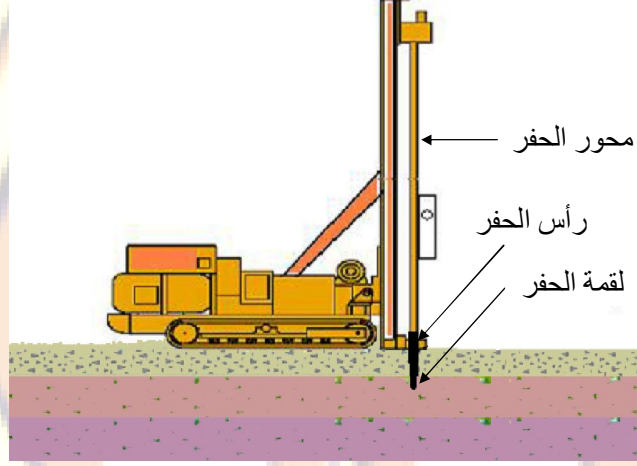
الشكل 10

3.1 مراحل التنفيذ: Steps of Installations

يمكن إيجاز مراحل تنفيذ أو إنشاء الأوتاد الدقيقة كما يلي:

1.3.1 المرحلة الأولى .حفر واختراق الطبقة السطحية:

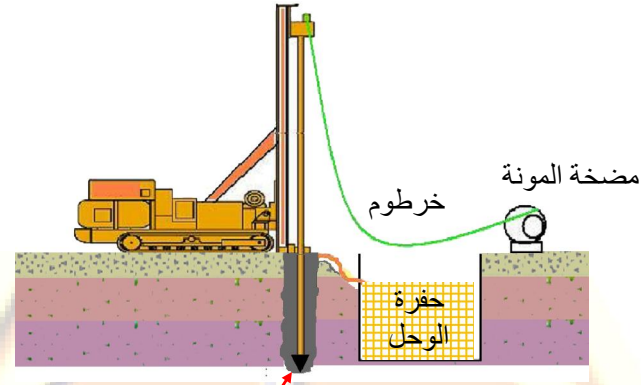
يتم في هذه المرحلة تحديد نقطة على سطح الأرض تمثل مركز رأس الوتد الدقيق المطلوب حفره، ثم توضع الحفارة بشكل مستقر، ليتم تركيز رأس الحفر فوق هذه النقطة حاملاً لقمة خاصة لاختراق الطبقة السطحية من التربة، كما في الشكل (11) الذي يبين رسماً تخطيطياً لهذه العملية. إن أهم ما في هذه المرحلة هو ضمان المباشرة بالحفر بشكل شاقولي تماماً.



الشكل 11

2.3.1 المرحلة الثانية .تنظيف الثقوب مع تقدم الحفر:

يتم التقدم بحفر الثقوب في طبقات التربة الطرية أو القاسية ($SPT - N > 50$) باستخدام رؤوس الحفر الدوارة أو ذات المطرقة. أثناء استمرار الحفر يجري ضخ الماء عبر خرطوم خاص متصل بالحفارة، كما يجري تنظيف الثقوب المحفورة من الطين الناتج بطريقة التدوير العكسي لذراع الحفر (reverse circulation system)، حيث تتجمع النواتج على الذراع لتسحب إلى الأعلى... (الشكل 12).

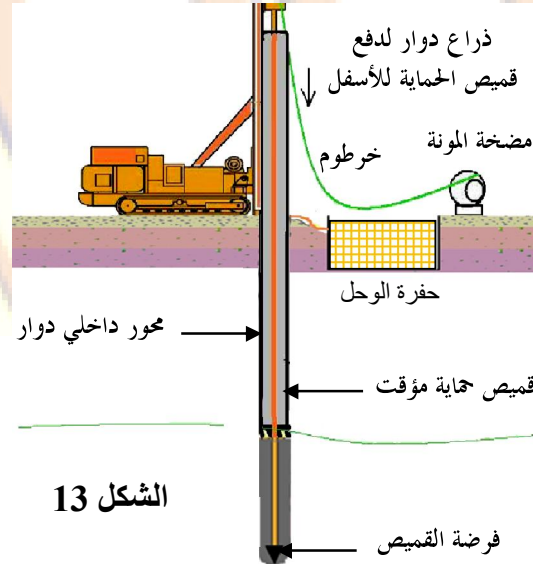


لقمة حفر لتوسيع الحفرة

الشكل 12

3.3.1 المرحلة الثالثة - حفر الثقوب في تربة قابلة للانهييار أثناء الحفر:

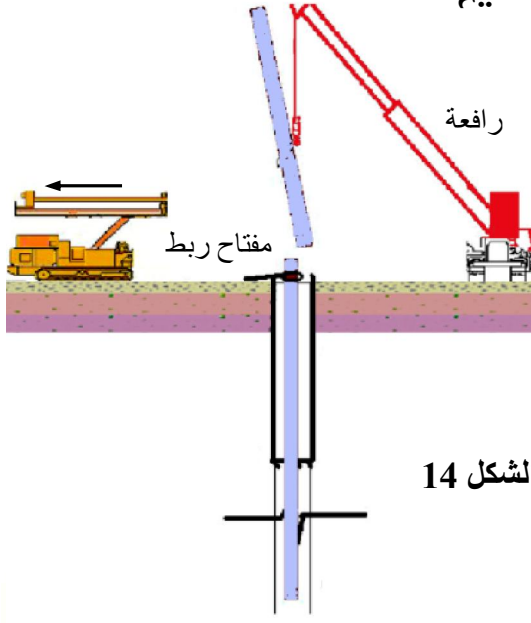
إذا كانت طبقات التربة قابلة للانهييار أثناء الحفر في المرحلة الثانية، يتم اللجوء إلى استخدام قمصان الحماية الفولاذية إذا كانت الأوتاد بحاجة لذلك. وقد أصبحت هناك تقنيات عديدة لإدخال هذه القمصان في التربة... الشكل (13).



الشكل 13

4.3.1 المرحلة الرابعة . تركيب التسليم:

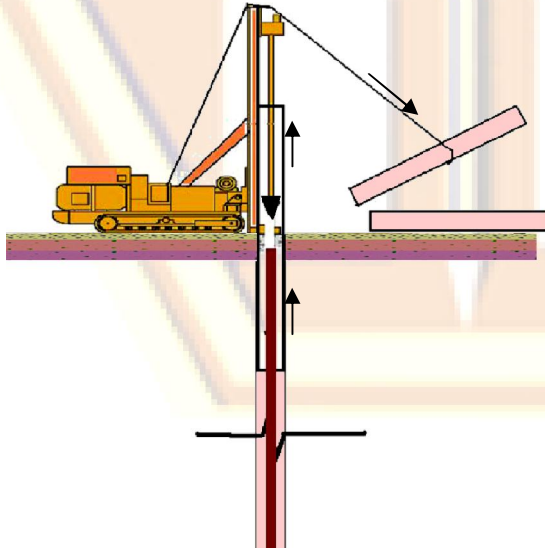
قبيل الانتهاء من الحفر تنظف جوانب الثقب من بقايا التربة المفتتة، بالماء أو بالهواء المضغوط، ثم يتم تركيب التسليم والأنابيب المرنة بواسطة رافعة خاصة، بعد أن تستبعد الحفارة كما في الشكل (14).



5.3.1 المرحلة الخامسة

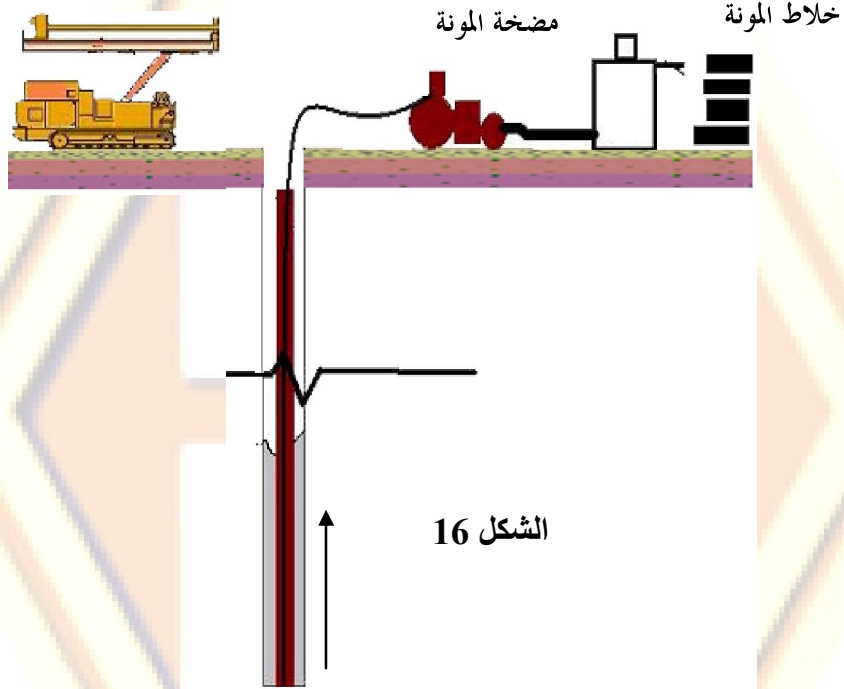
نزع القمصان:

يتم في هذه المرحلة سحب القمصان المؤقتة إما بواسطة الرافعة المستخدمة في المرحلة السابقة ، أو إعادة الحفارة لتقوم بذلك كما في الشكل (15).



6.3.1 المرحلة السادسة . صب الوتد أو حقن المونة:

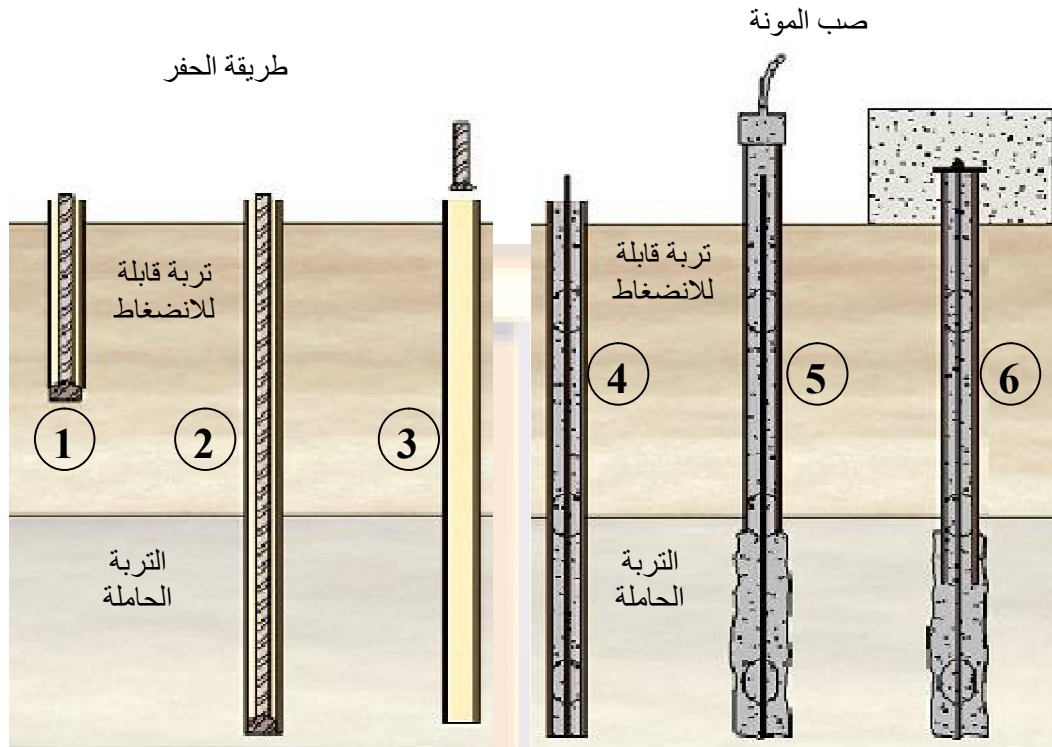
يتم في هذه المرحلة تحضير الخلطة الإسمنتية من المونة بما يتوافق مع الشروط الفنية الخاصة بها كما في الشكل (16).



يبين الشكلان (17) و (18) اختصاراً لمراحل تنفيذ الأوتاد الدقيقة بسلسلة من العمليات تبدأ بالحفر ثم وضع القمصان المؤقتة فالتسليح ثم الحقن أو الصب.



الشكل 17



مقطع في وتد دقيق مصبوب

1. البدء بالحفر وتركيب قمصان مؤقتة.
2. إنهاء بالحفر وتركيب الأنابيب.
3. إزالة الأنابيب الداخلية ورأس الحفر.
4. تركيب التسليح ثم المباشرة بصب المونة.
5. نزع القمصان المؤقتة وصب المونة تحت الضغط.
6. إنهاء صب الوتد.

الشكل 18
تلخيص مراحل تنفيذ الأوتاد الدقيقة

أنظمة تصنيف الأوتاد الدقيقة وتطبيقاتها

Micropile classification systems And Applications

1.2 أنظمة تصنيف الأوتاد الدقيقة:

Micropile classification system

يختلف تنفيذ الأوتاد الدقيقة بحسب الموقع والوظيفة المطلوبة منها مع الإشارة إلى اختلاف سلوك هذه العناصر باختلاف تلك الوظيفة، مما يستوجب مراعاة ذلك في كل من التصميم والتنفيذ، واستناداً لما سبق تصنف الأوتاد الدقيقة إلى:

- فئة تصميمية تعرف بأرقام محددة تبعاً لسلوك الأوتاد.
- فئة تنفيذية تعرف بحروف تبعاً لأسلوب حقن ثقب الأوتاد.
- تصنيفات أخرى ذكرت في الفقرة (3.2.1) أدناه.

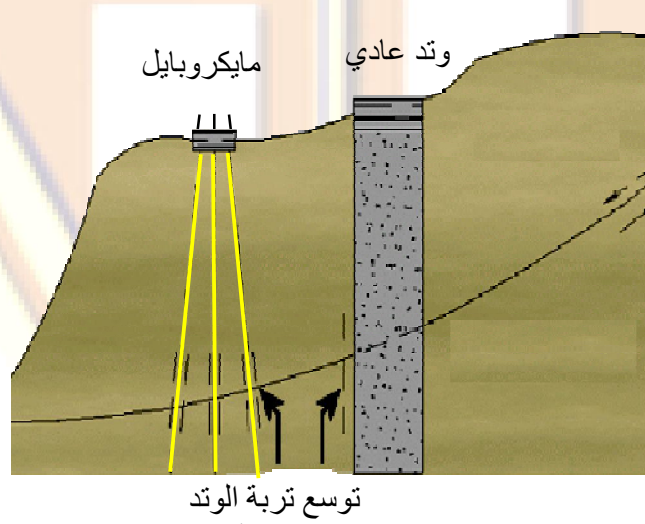
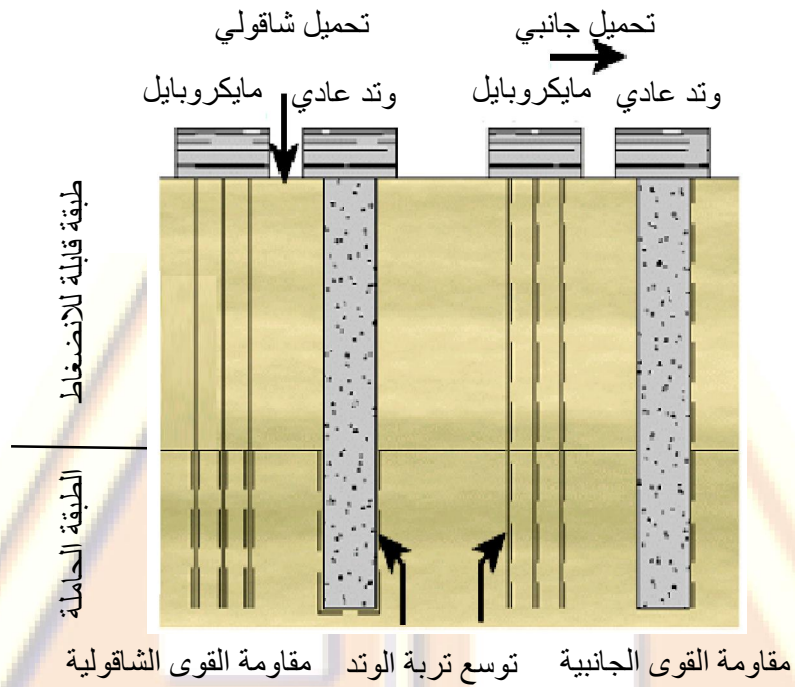
1.1.2 التصنيف التصميمي: The Design Classification

يتم تقسيم الأوتاد الدقيقة وفقاً للتصنيف التصميمي كما يلي:

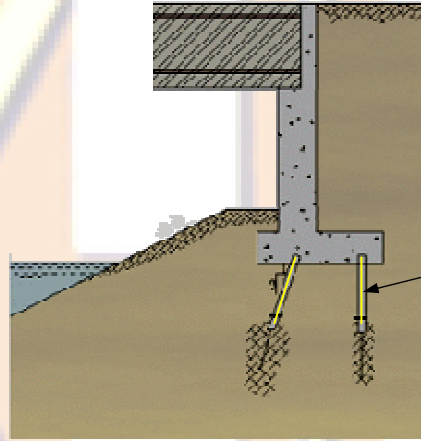
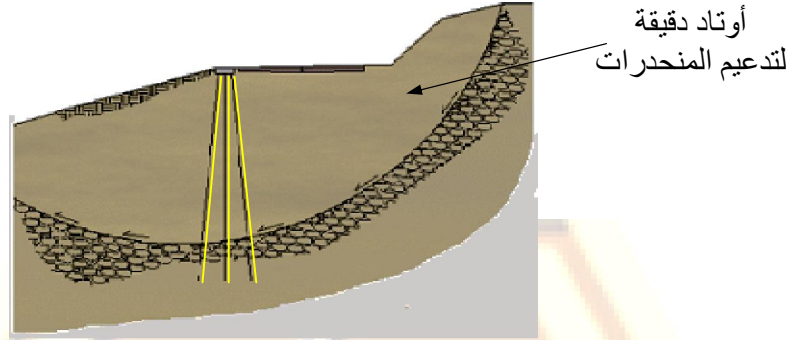
أولاً. النوع الأول (تصميمي): Case 1

يعتمد هذا النموذج على تصميم الأوتاد باعتبارها تتلقى الحمولات مباشرة، حيث تتم مقاومة هذه الحمولات إنشائياً عن طريق التسليح الموجود ضمن الأوتاد وجيوتكنيكياً عن طريق التلاصق بين الوند والتربة المحيطة به كما هو موضح في الشكل (19)، الذي يعتبر الأكثر انتشاراً.

يبين الشكل (20) بعض التطبيقات لهذا النوع من الأوتاد.



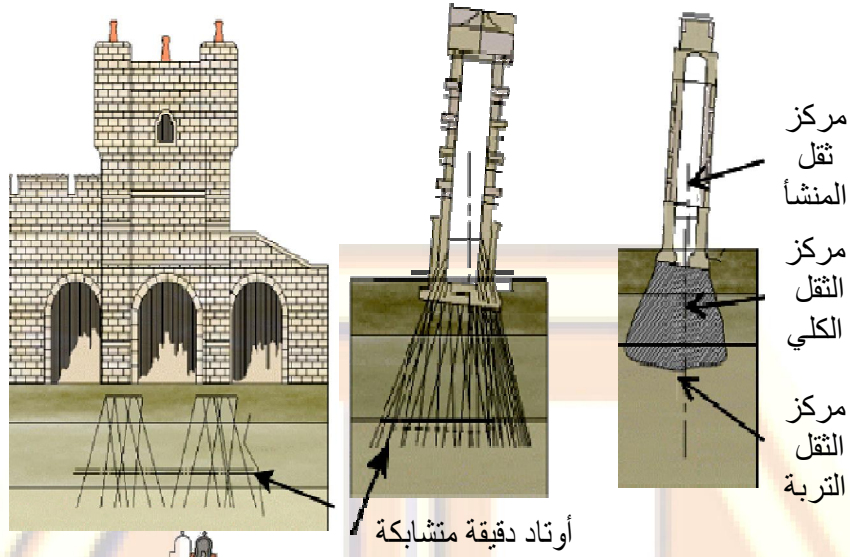
الشكل 19 - النوع التصميمي الأول للمايكروبايل



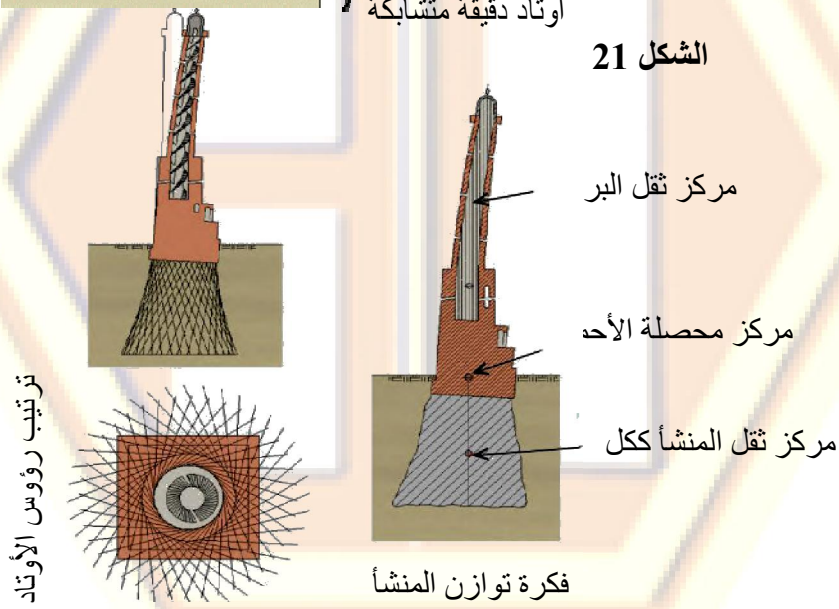
الشكل 20 - تطبيقات النوع التصميمي الأول من المايكروبايل

ثانياً. النوع الثاني (تصميمي): Case 2

يعتمد هذا النموذج على اعتبار الأوتاد كعناصر تقوية للتربة (أي كتسليح للتربة الحاملة)، وتكون قضبان وأقطار قضبان فولاذ تسليح الأوتاد في هذه الحالة أقل من الحالة الأولى نظراً لكون الحمولة تنتقل إلى كتلة التربة المقواة، وليس إلى استناد الأوتاد بشكل مباشر. وتدعى مجموعة الأوتاد هذه بالأوتاد الدقيقة المتشابكة كما في الشكلين (21) و (22).

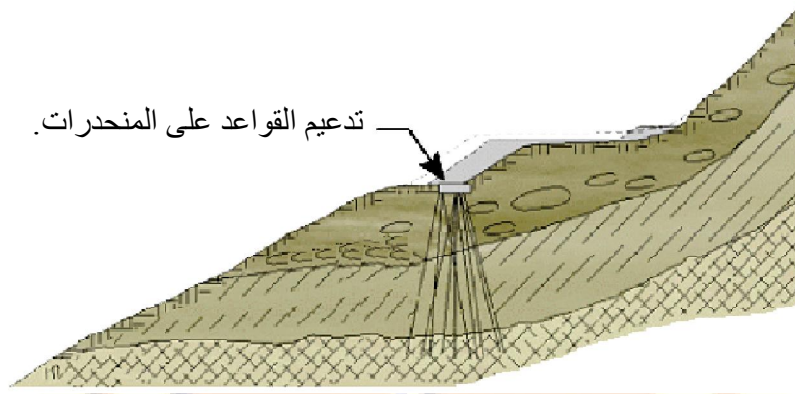


الشكل 21



استخدام الأوتاد المتشابكة في تدعيم أساسات المنشآت.
يجب الأخذ بالاعتبار أثناء التدعيم، مركز الثقل الكلي للمنشأ والأساسات.

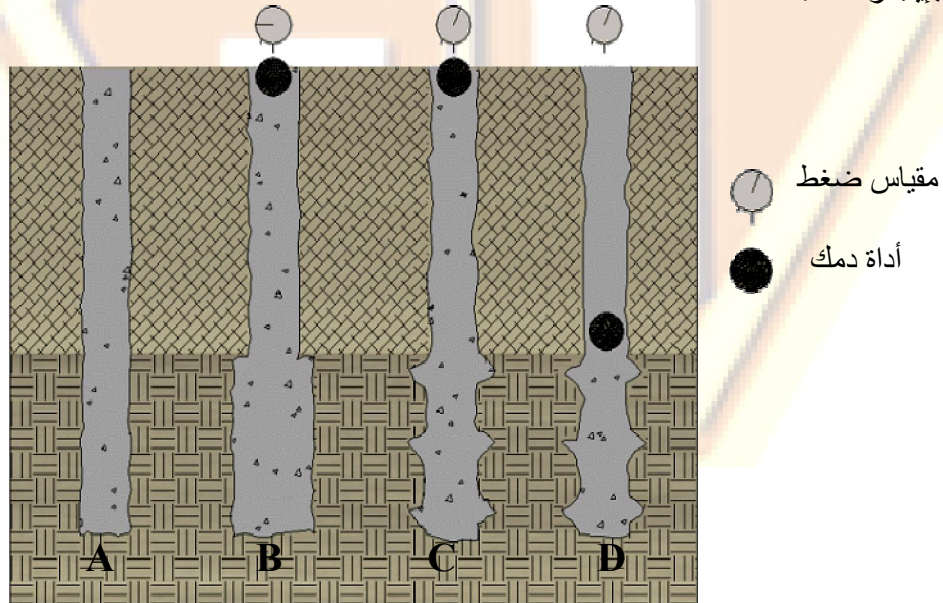
الشكل 22 - تطبيقات النوع التصميمي الثاني من المايكروبايل



تتمة الشكل 22 - تطبيقات النوع التصميمي الثاني من المايكروبايل

2.1.2 التصنيف التنفيذي: Design application classification

تصنف الأوتاد الدقيقة وفقاً لأسلوب وطريقة حقنها إلى أربعة أنواع رئيسية يشار إليها بالرموز (A, B, C, D) كما في الشكل (23)، وقد شرحت هذه الأنواع بإيجاز أدناه.



الشكل 23 - التصنيف التنفيذي للأوتاد الدقيقة

أولاً.النوع التنفيذي A : Type- A

ينفذ الوتد بعد وضع التسليح في ثقب (أو بئر) الوتد، حيث يتم ضخ المونة الإسمنتية في البئر لتستقر في مكانها بتأثير وزنها الذاتي في الأسفل، وبدون أي رص، حيث يمكن في عملية الضخ استخدام مونة الإسمنت مع أو بدون رمل. تعتبر هذه الطريقة قليلة الانتشار حيث ينحصر استخدامها في التربة الصخرية وفي الأنواع الأخرى من التربة القاسية فقط.

ثانياً.النوع التنفيذي B : Type- B

يتم في هذه الطريقة صب المونة الإسمنتية في حفرة الوتد تحت ضغط يتراوح بين (0.5 – 1.0 MPa).

ثالثاً.النوع التنفيذي C : Type- C

تجري عملية الحقن في هذا النوع على مرحلتين كما يلي:

- المرحلة الأولى:
يتم حقن المونة في الثقب بتأثير وزنها الذاتي كما في النوع (A).
- المرحلة الثانية:
بعد انتهاء المرحلة الأولى بحوالي (25 – 15) دقيقة، يتم حقن طبقة ثانية من نفس المونة باستخدام قوالب معدنية مؤقتة تحت ضغط لا يقل عن (1 mpa) بدون استخدام الدمك.

رابعاً.النوع التنفيذي (D) : Type- (D)

يتم تنفيذ هذا النوع على مرحلتين أيضاً:

- المرحلة الأولى:
يتم حقن المونة بتأثير وزنها الذاتي كما في النوع (A).
- المرحلة الثانية:
وهي مشابهة تماماً للمرحلة الثانية للنوع (C)، مع اختلاف وحيد هو أن الضغط المستخدم في نهاية هذه المرحلة لا يقل عن (2 - 8 mpa).
يتم تحقيق قيمة الضغط المطلوب في المرحلة الثانية باستخدام الدمك عدة مرات حتى الوصول إلى هذا الضغط.

3.1.2 تصنيفات أخرى: Other Classification

هناك العديد من التصنيفات الأخرى لأنواع الأوتاد الدقيقة، بني معظمها على أبحاث جديدة، غير أن طرق التصنيف المعتمدة في معظم الكودات العالمية ما زالت محدودة، فمثلاً تعتمد بعض النظم طريقة التصنيف المبينة في الجدول (1.2). يبين الجدول (2.2) أيضاً العلاقة المتبادلة بين الأوتاد الدقيقة وبين كل من التصنيف التصميمي والتصنيف التنفيذي المناسب.

الجدول (1.2)				
مادة الحقن	تسليح الوتد	قالب الحفر	تصنيف فرعي	تصنيف رئيسي
مونة إسمنتية مع أو بدون رمل	بدون تسليح أو قضبان تسليح كالقفص أو مقاطع معدنية.	مؤقت.	A1	A
	قالب معدني.	دائم على كامل الطول.	A2	
	قالب معدني في القسم العلوي وقضبان التسليح أو مقاطع معدنية في السفلي.	دائم في القسم العلوي من الوتد.	A3	
مونة إسمنتية	قفص أو قضبان تسليح أو مقاطع معدنية.	مؤقت.	B1	B
	قالب معدني.	دائم على كامل الطول	B2	
	قالب معدني في الجزء العلوي وقضبان التسليح أو مقاطع معدنية في السفلي.	دائم في الجزء العلوي من الوتد.	B3	
مونة إسمنتية	قفص أو قضبان تسليح أو مقاطع معدنية.	مؤقت.	C1	C
	لا يوجد	غير مصنف.	C2	
	لا يوجد	غير مصنف.	C3	
مونة إسمنتية	قفص أو قضبان تسليح أو مقاطع معدنية.	مؤقت.	D1	D
	قالب معدني.	دائم على كامل الطول.	D2	
	قالب معدني في الجزء العلوي وقضبان التسليح أو مقاطع معدنية في السفلي.	دائم في الجزء العلوي من الوتد.	D3	

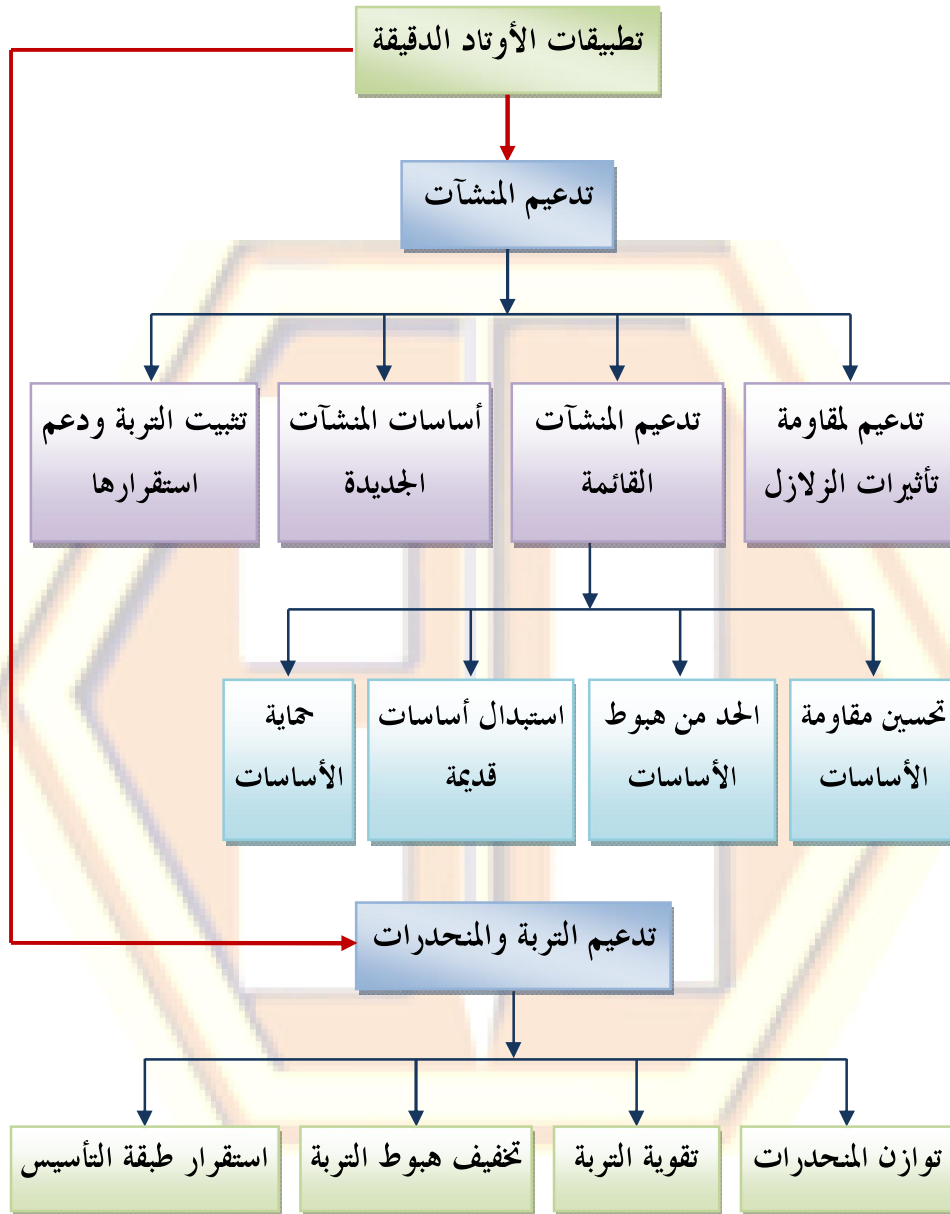
الجدول (2.2)					
تدعيم التربة في الموقع				تدعيم المنشآت	التطبيقات
استقرار المنشآت	تخفيض هبوط التربة	تقوية التربة	توازن المنحدرات	1. تدعيم لمقاومة الزلازل. 2. تدعيم المنشآت القائمة. 3. أساسات المنشآت الجديدة.	التصنيف
الصف 2	الصف 2	الصف 2	الصف 1 كبدل عن الصف 2	الصف (1)	التصنيف التصميمي
الأصناف A	الأصناف A	الأصناف A . B	الأصناف A . B	الأصناف A,B,C,D	التصنيف التنفيذي
5 – 50%				95 %	نسبة الاستخدام

2.2 تطبيقات الأوتاد الدقيقة في المشاريع:

Micropile Applications in Projects

تستخدم الأوتاد الدقيقة في تطبيقات هندسية عديدة من أهمها تدعيم المنشآت وتدعيم التربة والمنحدرات، حيث تزيد هذه العناصر من متانة التربة ومن استقرارها.

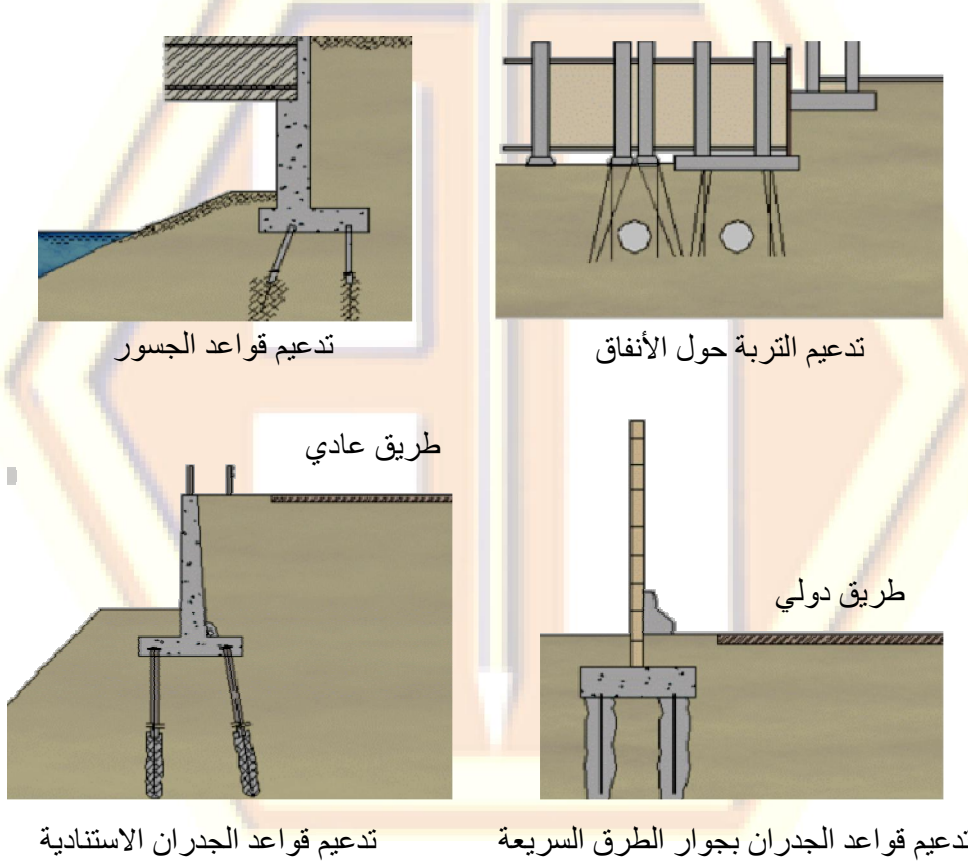
يبين الشكل (24) تطبيقات الأوتاد الدقيقة في العديد من المسائل الهندسية.



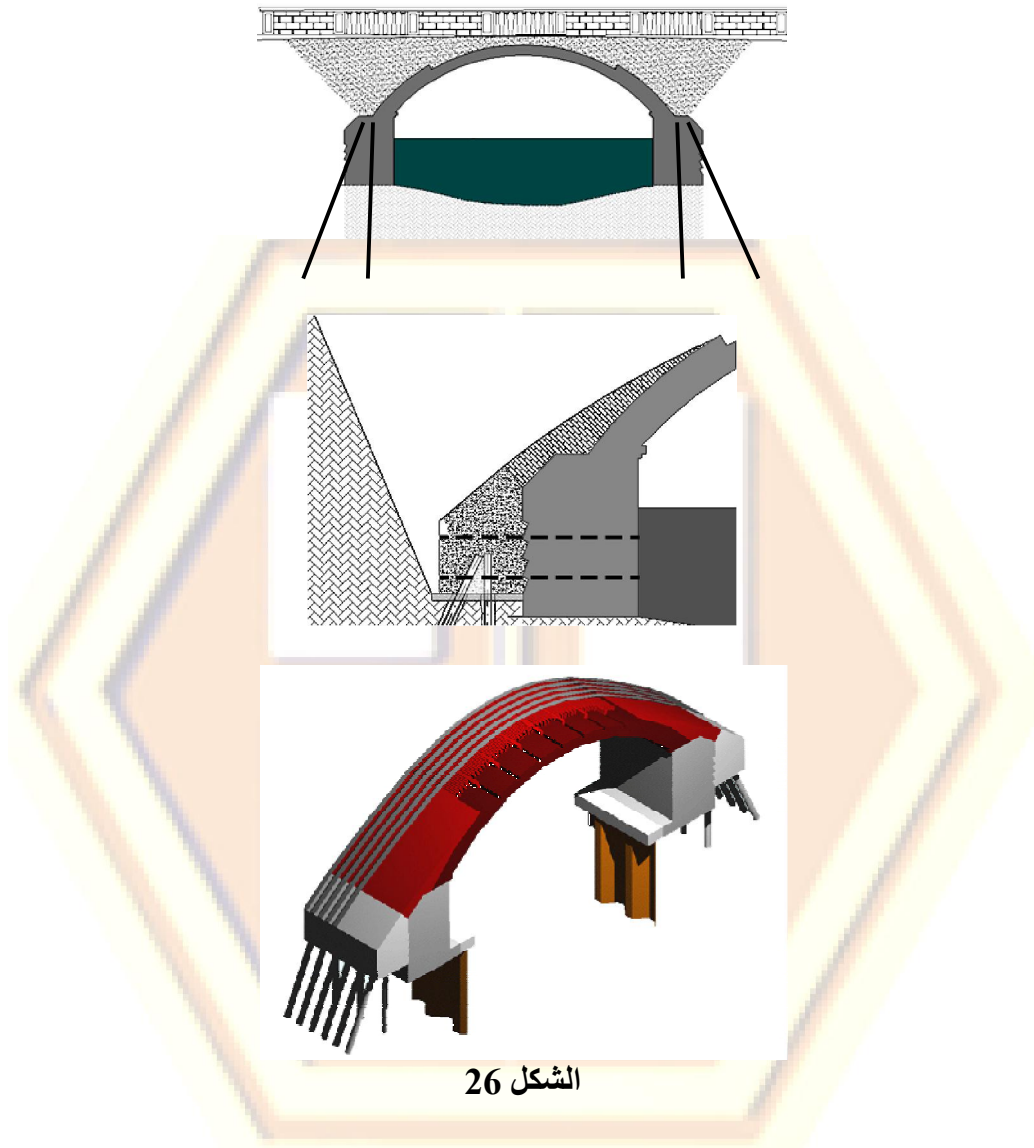
الشكل 24 - تطبيقات الأوتاد الدقيقة

1.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لتأسيس المنشآت الجديدة:

تستخدم الأوتاد الدقيقة كجملعة تأسيس في قواعد الجسور حين تكون الأوتاد التقليدية أو الأوتاد المحفورة صعبة التنفيذ أو مرتفعة الكلفة بسبب طبيعة التربة. ففي منشآت الجسور مثلاً، يتم اختيار الأوتاد الدقيقة بالاعتماد على عاملي التكلفة وزمن التنفيذ، شريطة التأكد من أن هذه الأوتاد تحقق فعالية وكفاءة فنية. وتبين الأشكال التالية الاستخدامات المختلفة للأوتاد الدقيقة في مشاريع النقل من طرق وجسور مستقيمة وقوسية.

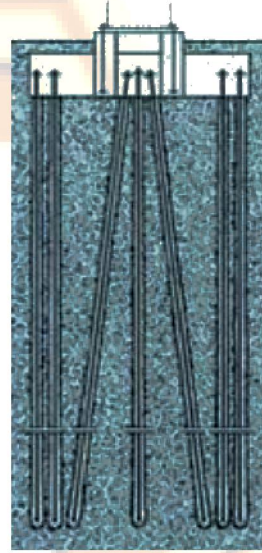
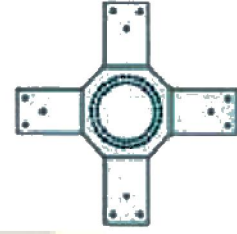


الشكل 25



الشكل 26

يمكن أيضاً استخدام الأوتاد الدقيقة تحت قواعد الصواري (موضوع الجزء الثالث من هذه السلسلة)، حيث يبين الشكل (27) نموذجاً عن هذه الاستخدامات.



الشكل 27 - استخدام الأوتاد الدقيقة في قواعد الصواري

2.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لتدعيم أساسات منشأ قائم:

تستخدم الأوتاد الدقيقة كعناصر تدعيم للأساسات القائمة بشكل واسع، من أجل رفع مقاومة القوى الخارجة وقدرة تحمل الأساسات عموماً، أو من أجل زيادة مقاومة الاهتزاز الناجم عن أي مصدر خارجي. يتم حفر الأوتاد الدقيقة ضمن الأساسات القديمة بحيث تخترقها، وبذلك تصبح هذه الأساسات كقبعات (Caps) لمجموعة الأوتاد. يجب أن يحقق استخدام الأوتاد الدقيقة كعناصر تدعيم لأساسات المنشآت القائمة ما يلي:

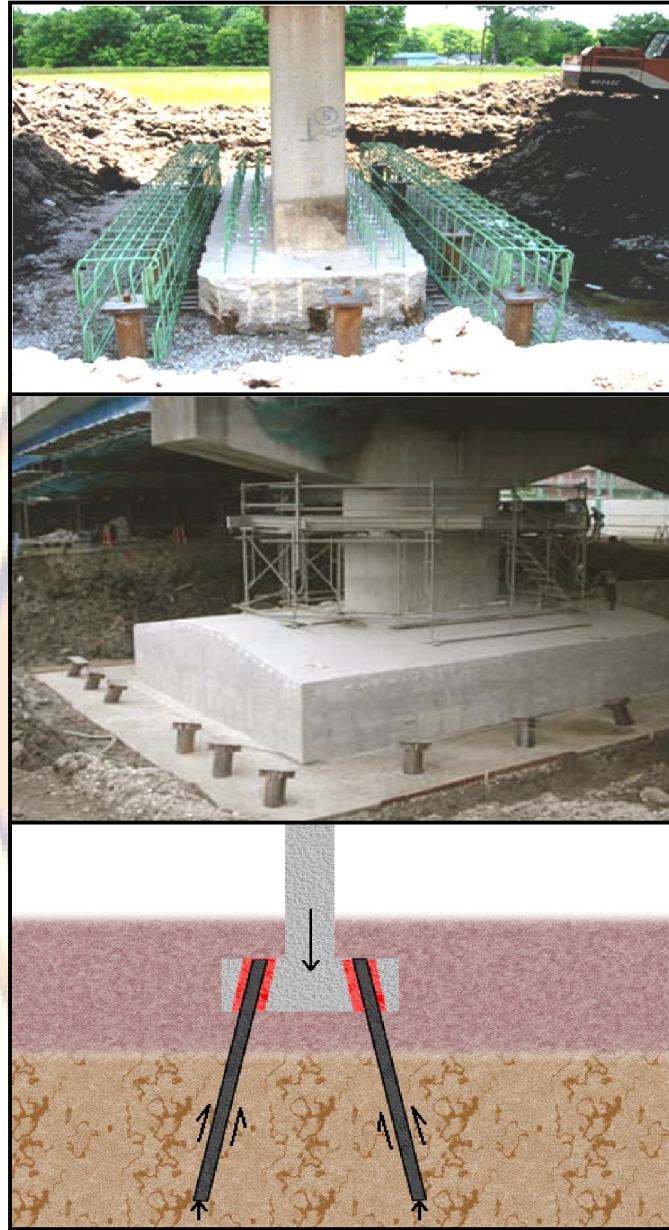
- منع حركة الأساسات أو تخفيفها قدر الإمكان.
- تحسين قدرة تحمل التربة تحت الأساسات.
- استبدال أو تدعيم الأساسات المتضررة.
- حماية الأساسات الحساسة للحث والتآكل.
- نقل الحمولة إلى الطبقة القوية من التربة.

3.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لرفع مقاومة الزلازل:

يتم استخدام الأوتاد الدقيقة كعناصر داعمة لمقاومة تأثير الزلازل. وفي الآونة الأخيرة استخدمت هذه العناصر بشكل واسع في أساسات الجسور بشكل خاص، حيث يمكن أن تكون اقتصادية في حالة أو أكثر من الحالات التالية:

- عندما يتم تنفيذ الأوتاد الدقيقة في منطقة توسع الأساسات.
- عندما يتم تحديد بارامترات الاهتزاز.
- إذا كان ارتفاع الجسر صغيراً.
- إذا كانت الحمولة المحورية كبيرة.
- إذا كانت تربة التأسيس ذات مواصفات سيئة.

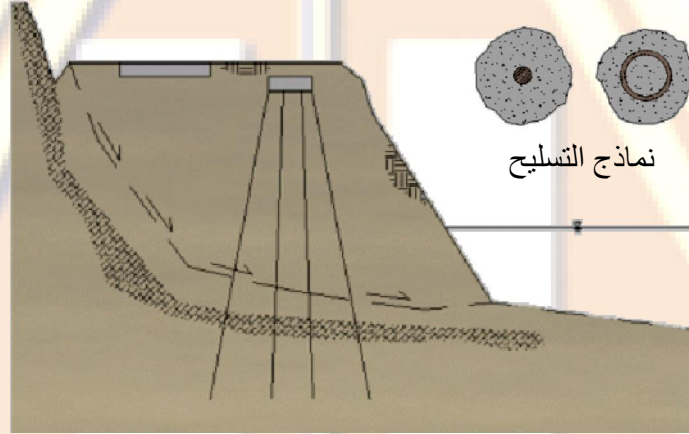
يبين الشكل (28) صوراً لاستخدام الأوتاد الدقيقة في منطقة توسع قواعد أحد الجسور... انظر المثال في نهاية الفصل الرابع.



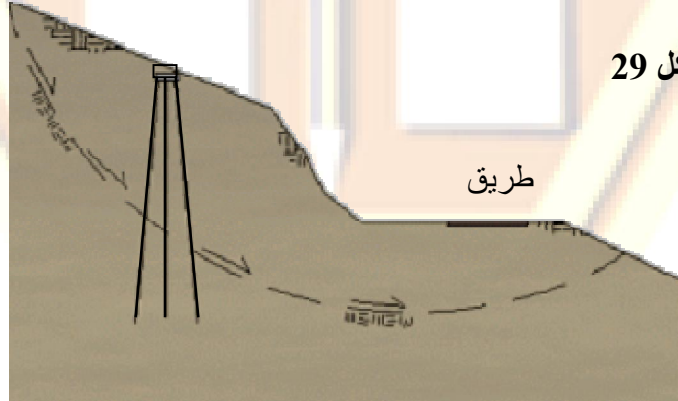
الشكل 28

4.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة في تدعيم التربة والمنحدرات:

يتضمن تدعيم التربة بتوضع فراغي (أو شبكي) بحيث تشكل تسليحاً للتربة، حيث تقاوم كتلة التربة قوى الضغط، وتقاوم مجموعة الأوتاد الدقيقة الشد. يمكن أيضاً استخدام مجموعات الأوتاد الدقيقة في مقاومة انزلاق المنحدرات حيث يتم حفر الأوتاد حتى الوصول إلى طبقة التربة القاسية وتقاوم مجموعة الأوتاد في هذه الحالة قوى القص عند المستوي الفاصل الذي يفصل بين طبقتي التربة. ويبين الشكل (29) كيفية استخدام الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات.



تدعيم منحدر يقع أسفل طريق



الشكل 29

طريق

تدعيم منحدر يقع أعلى طريق

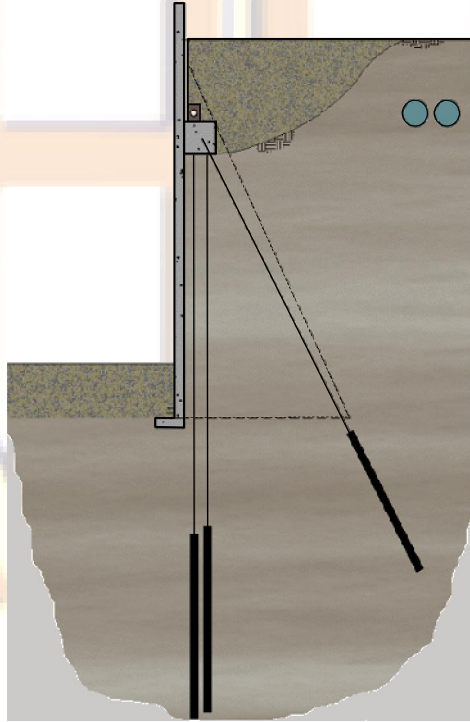
عند دراسة تدعيم توازن المنحدرات باستخدام الأوتاد الدقيقة، يجب التمييز بين الحالتين التاليتين:

• الحالة الأولى:

عندما تكون التربة قاسية يمكن دراسة الأوتاد الدقيقة باعتبارها تتعرض للقص في مستوى الانزلاق، تتم الدراسة باعتبار أن تصنيف الأوتاد من النوع التصميمي الأول (Case 1) ... راجع الفقرة (1.1.2).

• الحالة الثانية:

عندما تكون التربة طرية أو مفككة، تتم الدراسة باعتبار أن التربة مع الأوتاد تشكل كتلة واحدة تقاوم الانزلاق. تستخدم الأوتاد الدقيقة أيضاً كأنظمة تدعيم جانبية للتربة كما في الشكل (30).



الشكل 30

3.2 العوامل المؤثرة على اختيار الأوتاد الدقيقة:

تؤثر العديد من العوامل على اختيار الأوتاد الدقيقة، من أهمها:

- **العوامل الفيزيائية:**

تؤثر هذه العوامل بسهولة الوصول إلى مكان العمل والظروف المحيطة بموقع الحفر كوجود أو عدم وجود منشآت مجاورة مثلاً.

- **الشروط المحيطة للتربة:**

كصعوبة الحفر واحتمال تغير خصائص التربة أو تمييعها خلال عملية الحفر... وما شابه ذلك.

- **عوامل بيئية:**

من أبرزها الاهتزاز والضجيج الناتج عن عملية الحفر والأضرار الناتجة عن التربة المحفورة.

- **عوامل تتعلق بطبيعة الأوتاد الدقيقة:**

تختلف هذه العوامل باختلاف تصنيف الوتد وطريقة تسليحه وتنفيذه والهدف الإنشائي منه...

- **عوامل اقتصادية:**

تتلخص في تكاليف التنفيذ ونسبتها من الكلفة الكلية للمنشأ.

مواد الأوتاد الدقيقة وتقنيات التنفيذ Materials and Construction techniques

1.3 مقدمة: Introduction

تتضمن عملية تنفيذ الأوتاد الدقيقة العديد من المراحل، إلا أنها توجز بشكل عام بثلاث خطوات رئيسية هي:

- عملية الحفر.
- تركيب التسليح.
- الصب أو الحقن.

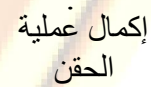
هناك العديد من أنظمة الحفر المتوفرة، والتي تناسب كل نوع من أنواع التربة سواء كانت هذه التربة طينية أو رملية أو صخرية أو غير ذلك. يتناول هذا الفصل كلا من معدات وتجهيزات الحفر المستخدمة وأساليب الحقن ومواصفات المونة المستخدمة وأنواع التسليح الشائع استخدامها في الأوتاد الدقيقة. ويبين الشكل (31) على سبيل المثال مراحل تنفيذ الأوتاد الدقيقة من النوعين التنفيذيين (A , B) المذكورين في الفقرة (1.2) من الفصل الثاني.

12.3 أعمال الحفر: Drilling Works

1.2.3 مقدمة حول أعمال الحفر: Introduction about drilling

يتم حفر الأوتاد الدقيقة عادةً بتقنيات تختلف عن تلك التي تستخدم في حفر الأوتاد الكبيرة حيث تستخدم رؤوس حفر خاصة بهذه الأعمال. ويتم اختيار طريقة الحفر بحيث يراعى قطر الثقب مع تجنب انهيار الجوانب، ويلعب كل من نوع التربة والعوامل الاقتصادية وعدم الإضرار بالبيئة المحيطة، دوراً هاماً في هذا الاختيار.

نزع القميص
وإكمال الحقن



يجب أن تكون عمليات تنفيذ الوند الدقيق متتالية بحيث تنجز عمليات الحفر وتركيب التسليح والحقن بأسرع ما يمكن، لأن ذلك يفقد التربة المحيطة تماسكها.

ففي بعض الترب كالترب الغضارية مثلاً، يجب أن يتم تركيب التسليح والحقن بعد الحفر بمدة لا تتجاوز يوماً واحداً.

2.2.3 معدات وتقنيات الحفر: Driller Machines and techniques

إن معظم معدات الحفر هي آلات هيدوليكية دورانية تعمل بالطاقة الكهربائية أو بالديزل. وتُحمل هذه الآلات على عربات مجنزرة أو ذات دواليب مطاطية لتسهيل تنقلها، وتكون هذه العربات مختلفة الحجم كما في مجموعة الأشكال (32).



الشكل 32

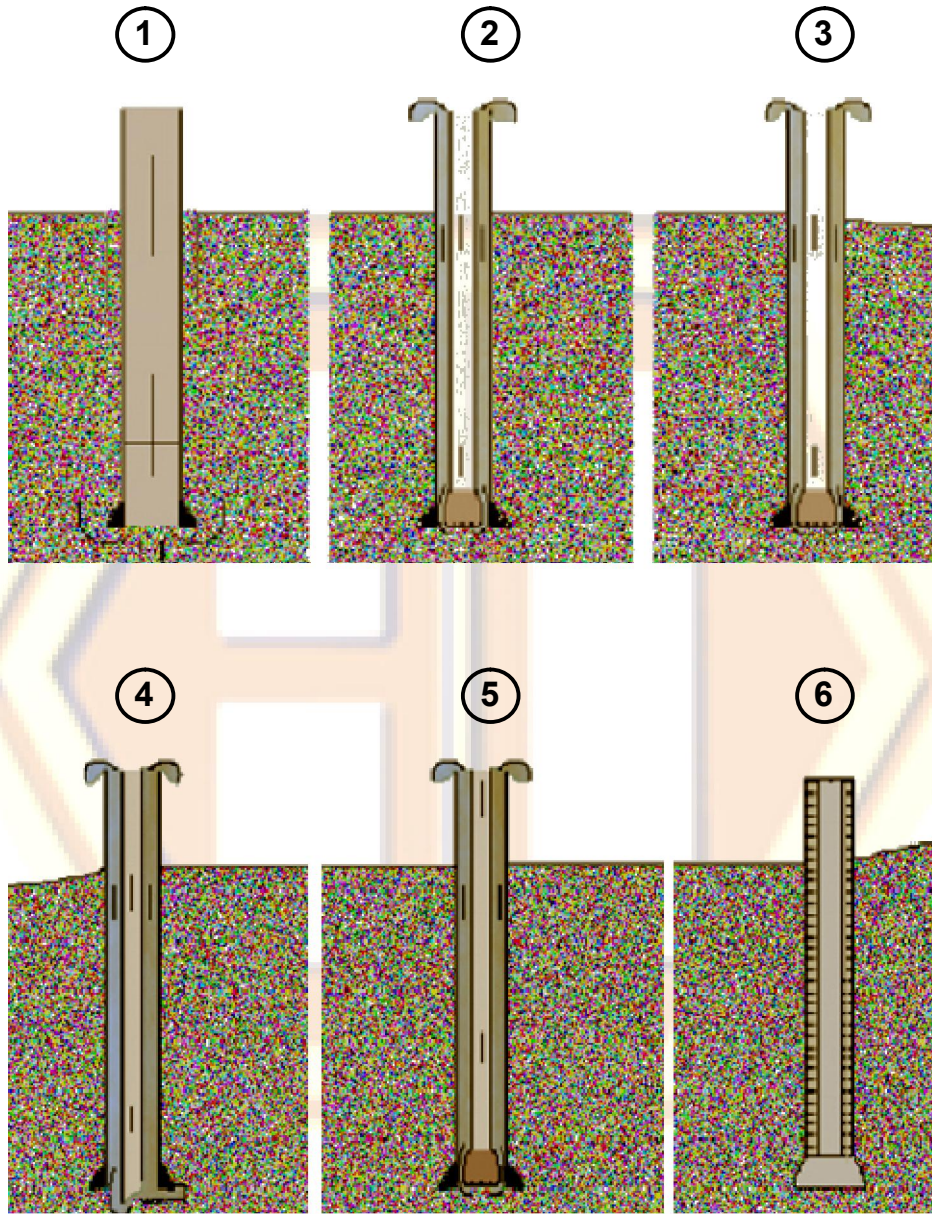
تتعدد أساليب وتقنيات الحفر بحسب طبيعة التربة وتكاليف الحفر، حيث تقسم تقنيات حفر الأوتاد الدقيقة بشكل عام إلى نوعين رئيسيين هما:

- الحفر بتقنية التحميل الزائد (overburden drilling techniques).
- الحفر بتقنية الحفرة المفتوحة (open- hole drilling technique).

1.2.2.3 Overburden drilling techniques: تقنيـة التحميل الزائد:

تستخدم هذه التقنية في الترب التي لا تتماسك جوانبها أثناء الحفر، حيث تجري عملية الحفر باستخدام قميص (أو قالب) معدني مؤقت يزال بعد الصب أو يمكن أن يبقى ضمن بئر الوتد، وذلك بحسب التصميم. هناك العديد من أنظمة الحفر التي تعتمد على مفهوم التحميل الزائد، ويبين الجدول التالي مع الشكل (33) تفرعات هذه الأنظمة وتطبيقاتها.

الجدول (1.3)			
نوع الحفر	مبدأ الحفر	الأقطار الشائعة mm	العمق m
1. الحفر بالدوران.	استخدام القالب الدوار.	50 - 100	$h < 30$
2. الحفر بالماء المضغوط.	استخدام القالب الدوار.	100 - 250	$h < 60$
3. الحفر بالدوران المضاعف.	استخدام القالب الدوار والمتقب الدوار	100 - 220	$h < 70$
4. الحفر بالدوران المركزي المضاعف مع الطرق أو النق.	استخدام القالب الدوار مع الطرق.	90 - 200	$h = 40 \text{ to } 60$
5. الحفر بدوران رأس مضاعف.	استخدام القالب الدوار باتجاهين مع الطرق.	100 - 150	$h < 60$
6. الحفر بالمتقب المجوف.	استخدام المتقب الدوار.	100 - 400	$h < 30$
انظر الشكل (33).			



الشكل 33

2.2.2.3 تقنية الثقب المفتوح: Technique Open- Hole drilling

يمكن استخدام هذه التقنية عندما تكون التربة مناسبة لاستقرار جوانب الثقب أثناء عملية الحفر، حيث يمكن للقلب أن يزال ويستمر الحفر إلى القاع المطلوب. هناك العديد من الطرق المستخدمة والتي تدرج تحت هذه التقنية في الحفر، منها مثلاً ما يلي:

أولاً - طريقة الحفر الدوراني:

تعتبر هذه التقنية خاصة بالصخور ذات المقاومة العالية، حيث يستخدم الطرق إما بسقوط المطرقة من أعلى محرك الأقراص، أو باستخدام مطارق في أسفل الثقب. تعتبر هذه الطريقة اقتصادية، حيث يستخدم الهواء فقط أو الهواء مع الماء المضغوط من أجل تسهيل عملية الحفر. تعتبر هذه الطريقة صاخبة نسبياً، كما يمكن أن تسبب الضرر للبيئة أو الأساس بسبب الاهتزاز القوي الذي تولده المطارق.

ثانياً - طريقة الحفر بالثقب المستمر:

تستخدم هذه التقنية في الترب الغضارية القاسية التي تحوي بعض الصخور الضعيفة، حيث يتم الحفر بشكل مستمر دون الحاجة إلى استخدام الماء أو الهواء. تعتبر هذه الطريقة هادئة وسريعة وتناسب المتطلبات البيئية.

ثالثاً - طريقة الحفر برؤوس ذات نهاية متسعة:

تستخدم في الترب الطرية والحساسة ويستخدم معها الماء المضغوط.

3.2.3 رؤوس الحفر:

أصبحت الشركات المصنعة لرؤوس الحفر كثيرة ومتنوعة، وهناك عدد كبير من النماذج المتوفرة والشائعة. تتركب الرؤوس المختلفة على معظم أنواع الحفارات، حيث تصنف رؤوس الحفر بمعظمها في ثلاثة نماذج هي:

الرؤوس المنزلقة (drag bit):

تستخدم الرؤوس المنزلقة في حفر الأوتاد الدقيقة في التربة الرملية أو التربة الغضارية وفي التربة المكونة من بعض أنواع الصخور الطرية.

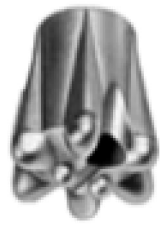
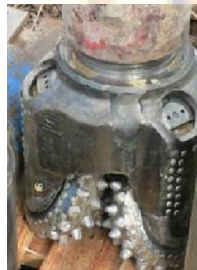
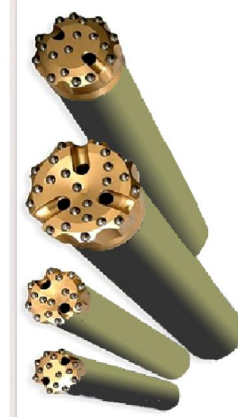
يجري أثناء عملية الحفر ضخ الماء مع تقدم عملية الحفر لتبريد وتنظيف الرأس ولتسهيل اختراقه للتربة، ويتواكب مع ذلك خروج الحبيبات الصغيرة من ثقب الوند (أو الحفرة).

الرؤوس الدوارة أو الدورانية (roller bit):
تستخدم الرؤوس الدوارة من أجل تنفيذ حفر الأوتاد الدقيقة في التربة الحاوية على صخور متوسطة الصلابة.

الرؤوس ذات المطرقة. (down the hole hammer- DTH):
تستخدم رؤوس المطرقة لحفر الأوتاد الدقيقة في أنواع الترب الصخرية القاسية أو الصلبة.
يبين الشكل (34) أنواع مختلفة للرؤوس المذكورة.



رؤوس حفر منزلقة



رؤوس حفر دوارة

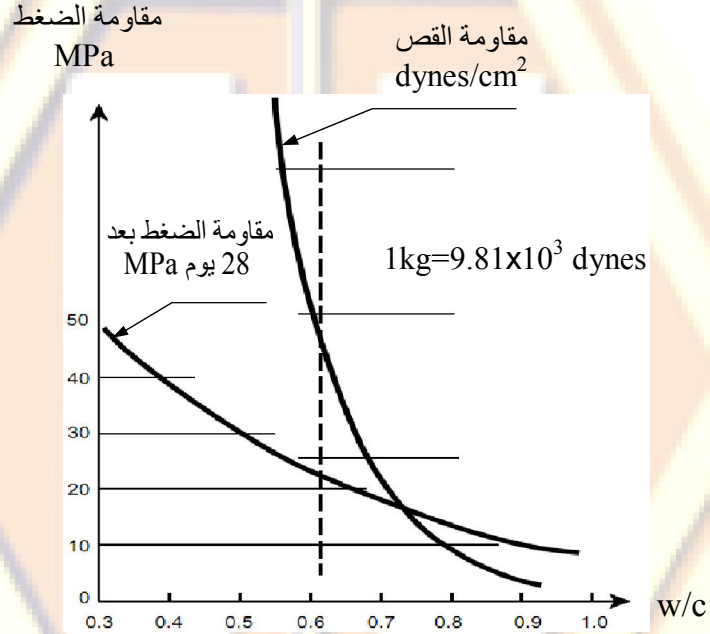
رؤوس حفر ذات مطرقة

الشكل 34 - نماذج لرؤوس الحفر

3.3 الحقن أو الصب: Grouting or Casting

1.3.3 مقدمة: Introduction

تلعب طريقة الحقن دوراً كبيراً في سلوك الأوتاد الدقيقة وفي قدرة تحملها، وذلك من خلال تغير نسبة الماء إلى الاسمنت w/c ومن خلال نوع المونة المستخدمة في الحقن، ويبين المنحني الموضح في الشكل (5.3) كيفية تغير مقاومة الضغط والقص في المونة المصبوبة بتغير النسبة الماء إلى الإسمنت (w/c).



الشكل 35

تتكون المونة بشكل عام من الإسمنت والرمل والماء، بحيث تحقق كل مادة منها الشروط والمواصفات الفنية الخاصة بالعناصر التي تستخدم فيها المونة. تستخدم في تصنيع خلطات المونة المواد التالية:

1. الإسمنت:

- الإسمنت البورتلاندي العادي.
- إسمنت الرماد البركاني، وذلك من أجل تحسين قابلية الضخ.
- إسمنت المقاوم للكبريتات بحسب نوع التربة المحيطة.
- الإسمنت عالي المقاومة في حال الحاجة لمقاومات مرتفعة.

2. الرمل النظيف.
 3. الماء الصالح للشرب.
 4. الإضافات مختلفة الأنواع حسب الحاجة.
- تستخدم الإضافات (أو المواد المضافة للمونة) في الأجواء الحارة أو الباردة لرفع المقاومة أو رفع درجة التشغيل أو لغير ذلك من الخصائص.
- تتراوح نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c) المناسبة للحصول على مقاومة جيدة للمونة الإسمنتية بدون إضافات بين (0.5 - 0.4)، وبشكل عام يعتبر الماء الصالح للشرب مناسباً للاستخدام في صنع المونة.
- تستخدم عادة الخلطات الوزنية في الخلطات على أن تكون نسبة الماء إلى الإسمنت منخفضة قدر الإمكان بما يحقق درجة التشغيل المطلوبة، وتستخدم عادة النسب التالية:

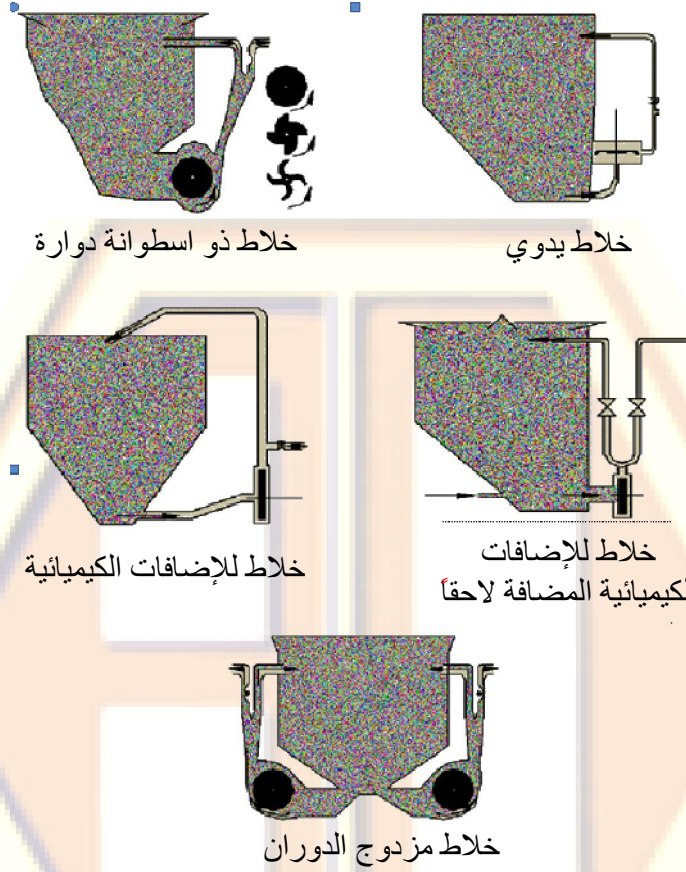
الجدول (2.3)		
المقاومة المكعبية		نسبة الماء إلى الإسمنت w/c
28 يوم	7 أيام	
30 N/mm ²	21 N/mm ²	45% - 42% - 50% المعياري

تؤخذ من كل خلطة ستة مكعبات للاختبار، تكسر ثلاثة منها بعد (7) أيام وثلاثة أخرى بعد (28) يوم، لتحقيق المقاومات المكعبية الموضحة في الجدول السابق.

يجب أن تكون عمليات الخلط في الموقع حيث يجري ضخ المونة بعد الخلط بأسرع وقت ممكن، وفي حال استخدام الإضافات يجب ألا تزيد نسبتها وزناً عن (1%).

2.3.3 الخلاطات وطرق حقن المونة: Mixers and grouting methods

يمكن استخدام أي تقنية للخلط والحقن في صنع المونة الإسمنتية المستخدمة في الأوتاد الدقيقة، إلا أن الخلاطات الآلية الرغوية ذات السرعة العالية تضمن الحصول على مونة ذات مواصفات جيدة ومناسبة للضخ، والتي يبين الشكل (36) بعض أنواعها.



الشكل 36

تستخدم المضخات اللولبية الدوارة من أجل حقن الأوتاد الدقيقة التي تحتاج إلى ضغط منخفض (بحدود 1 mpa) أثناء الصب. أما في الأوتاد التي تحتاج إلى ضغط مرتفع، فتستخدم عادةً المضخات الاهتزازية.

3.3.3 تقنيات الحقن: grouting technologies

تناولت الفقرة (2.1.2) من الفصل الثاني في هذا الكتاب، تصنيف الأوتاد الدقيقة من الناحية التنفيذية إلى أربعة نماذج تم تعريفها بالرموز (A, B, C, D)

تبعاً لعملية الحقن. وتتناول هذه الفقرة شرح كل من هذه النماذج تبعاً لطريقة الحقن المستخدمة.

1.3.3.3 الحقن تحت تأثير الوزن الذاتي - النموذج (A):

يتم حقن المونة عبر أنبوب يمتد إلى أسفل الحفرة دون استخدام أي ضغط، وتتراوح نسبة (w/c) للمونة المحقونة بدون رمل بين (0.45 - 0.50). إذا استخدم الرمل في المونة فيجب أن تتراوح نسبته إلى الإسمنت وزناً بين (1.00 - 2.00) في هذه الحالة تستخدم (w/c) بنسبة (0.60).

2.3.3.3 الحقن تحت تأثير الضغط مع قالب - النموذج (B):

يتم وفق هذه الطريقة استخدام قميص أو قالب مؤقت، حيث تحقن كمية من المونة الإضافية تحت الضغط حيث تتواكب هذه العملية مع إزالة القالب المذكور. إن الهدف من هذه الطريقة هو تحسين التماسك بين الوتد والتربة المحيطة به حيث تحقن المونة تحت الضغط من خلال جهاز الضغط الذي يتوضع أعلى القالب، ويتراوح هذا الضغط عادةً بين (0.5 - 1.0 mpa). إذا تعذر تنفيذ الحقن بضغط عالٍ مع تواكب سحب وإزالة القالب كما في النموذج (B) يمكن استخدام الضغط اللاحق كما في النموذجين التاليين.

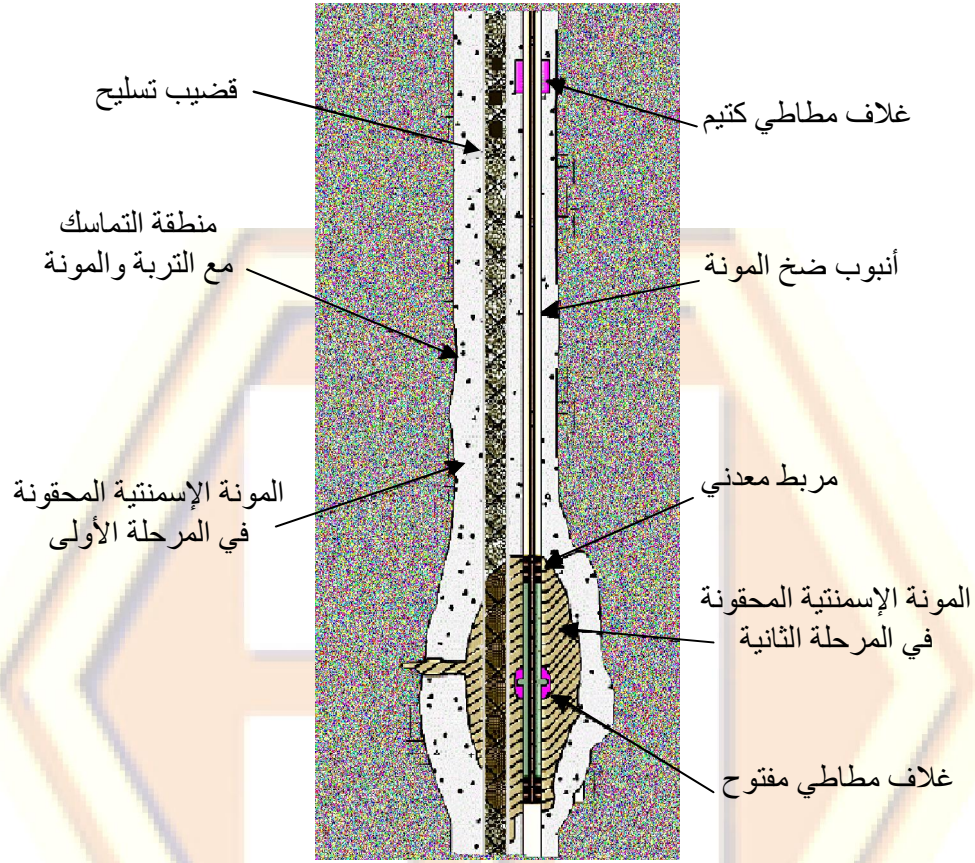
3.3.3.3 الحقن تحت ضغط لاحق - النموذج (C):

يتم صب المونة الإسمنتية في الثقب كالنموذج (A) وبعد حوالي (15 - 25) دقيقة وقبل تصلب المونة المصبوبة، يتم حقن مونة تحت ضغط قدره (1 MPa).

4.3.3.3 الحقن تحت ضغط لاحق - النموذج (D):

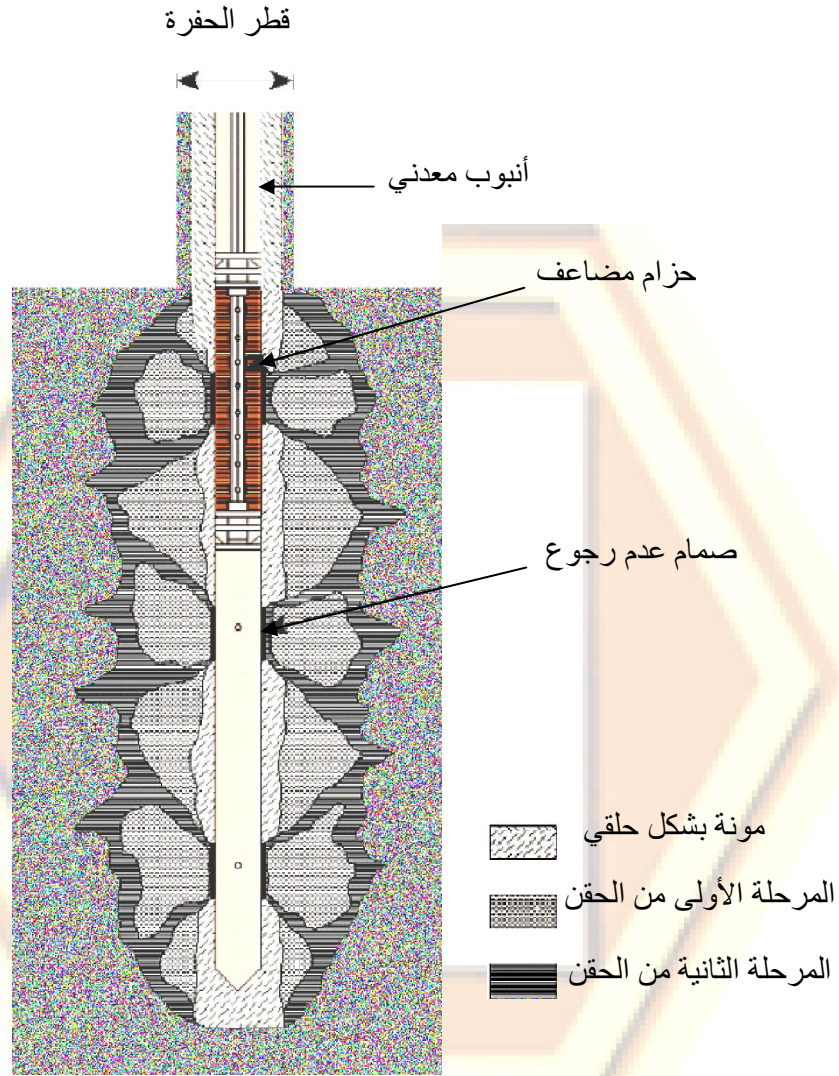
يتم ضخ المونة الأولية إلى أسفل الحفرة كما النموذج (A)، وبعد حوالي (24) ساعة وقبل تصلب هذه المونة، يتم حقن تنمة المونة في جذع الوتد تحت ضغط قدره (2 - 8 MPa). وهنا يتراوح حجم المونة الإضافية بحدود (250%) من حجم المونة الأولية.

تستخدم في عملية الصب أنابيب بلاستيكية بقطر يتراوح بين 25-38 mm تتوضع بجانب التسليح كما في الشكل (37).



الشكل 37

في حال استخدام أنابيب فولاذية في الضخ بدلاً من الأنابيب البلاستيكية يمكن أن يكون الأنبوب الفولاذي كتسليح للوند الدقيق، وذلك كما في الشكل (38).



الشكل 38

4.3 أنواع التسليح: Reinforcing Types

يتم اختيار تسليح الأوتاد الدقيقة بناءً على الحمولات التي يتعرض لها الوتد، وذلك لتحقيق المتانة المطلوبة ومقاومة الانزياحات المرنة.

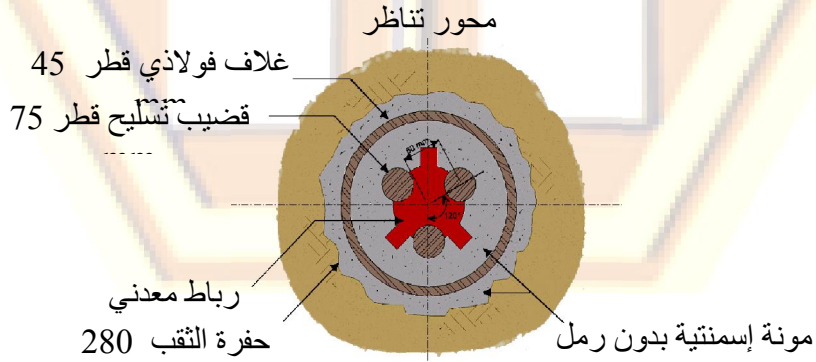
يأخذ تسليح الأوتاد الدقيقة أشكالاً عديدة، فقد يكون هذا التسليح قضيباً واحداً أو عدة قضبان، أو أنبوباً فولادياً، وفي حال استخدام عدة قضبان، فيجب أن توزع على محيط مقطع الوتد بشكل متناظر. يمكن أن يوضع التسليح قبل أو خلال عملية الحقن، شريطة أن يكون نظيفاً وأن يتم ضبط موقعه بشكل دقيق.

1.4.3 قضبان التسليح: Rebar

يمكن أن تستخدم في تسليح الأوتاد الدقيقة القضبان المحلزنة وعالية المقاومة المستخدمة في البيتون المسلح، كما يمكن أن تكون الحلزنة أو اللولبة فيها مستمرة أو متقطعة.

1.2.4.3 قضبان التسليح المستخدمة في البيتون المسلح:

يتراوح قطر هذا القضيب بين 25 - 63 mm، كما يتراوح حد الخضوع فيها بين $(4200 - 5200 \text{ kg/cm}^2)$. عند استخدام مجموعة من القضبان لتسليح الوتد الدقيق، يجري عادةً تثبيت هذه القضبان باستخدام وصلات أو مرابط معدنية كما في الشكل (39). يبين الجدول (2.3) على سبيل المثال، نموذجاً لبعض أقطار التسليح المستخدمة وإجهاداتها الحدية وإجهادات الخضوع لكل نوع منها، وفق النظام البريطاني (BS).

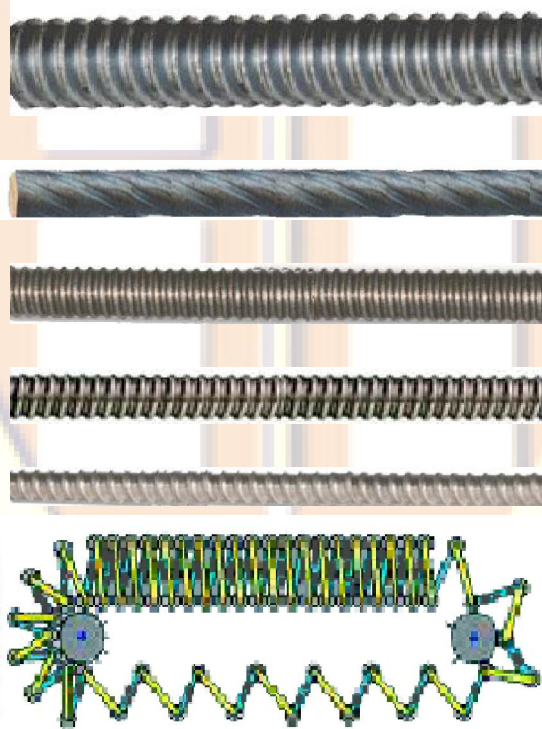


الشكل 39

الجدول (2.3)										
Grade 520				Grade 420						النوع
63	57	43	36	57	43	36	32	29	25	قطر القضيب mm
3168	2581	1452	1006	2581	1452	1006	819	645	510	المساحة mm ²
1742	1334	751	520	1068	600	416	339	267	211	إجهاد الخضوع kN
2168	1770	997	690	1601	901	624	508	400	316	إجهاد الانقطاع kN

2.2.4.3 قضبان التسليم ذات اللولبة المستمرة: Continuous-thread steel bars

تكون أسنان هذه القضبان والتي تشكل اللولبة فيها، مستمرة على كامل طول القضيب، حيث تتراوح أقطارها بين (19 – 63 mm)، ويبين الشكل (40) نماذج عن هذه الأنواع.

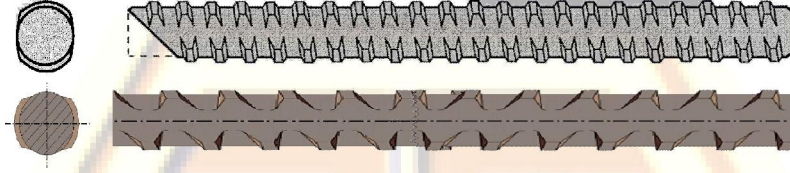


الشكل 40

3.2.4.3 قضبان التسليم ذات اللولبة المتقطعة:

Intermittent- thread steel bars

يمكن أيضاً استخدام القضبان اللولبية بشكل متقطع على كامل طول القضيب كما في الشكل (41).

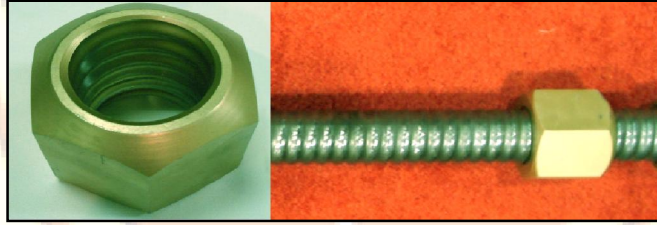


الشكل 41

2.4.3 أنابيب التسليم المفرغة ذات السنن المستمرة:

Continuous- thread hollow- core steel bars

وهي تشبه قضبان التسليم ذات اللولبة المستمرة، لكنها تكون مفرغة من الداخل كما في الشكل (42)، مما يعطي إمكانية إضافة الماء أو الهواء المضغوط حين الحفر. وتستخدم في التسليم حيث يبلغ إجهاد الخضوع فيها بحدود (75 Ksi).

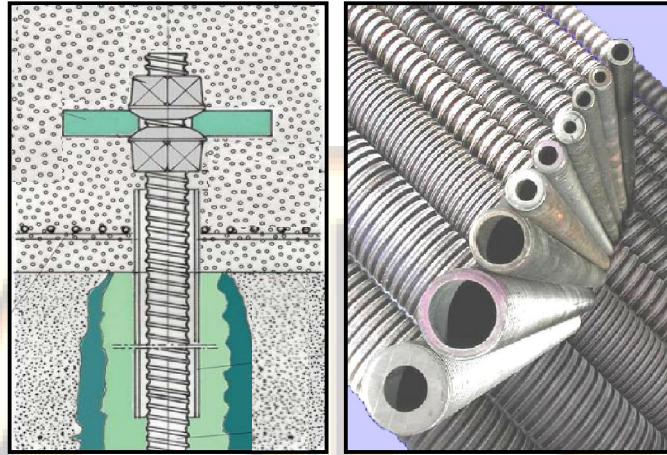


الشكل 42

3.4.3 أنابيب التسليم الفولاذية: Steel pipe casing

أصبحت الأنابيب الفولاذية الموضحة في الشكل (43) الأكثر انتشاراً في العالم لحفر وتسليم الأوتاد الدقيقة، نظراً لما تتمتع به من مقاومة مرتفعة لتحمل الحمولات المحورية والعزوم والقص، بالإضافة إلى صلابتها العالية لمقاومة

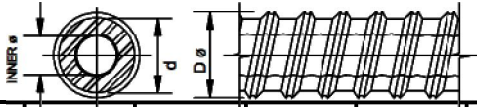
الانزياحات الجانبية. وتمتاز هذه الأنابيب بتوفرها بأنواع وسماكات مختلفة، لكي يتم اختيار سماكة الأنبوب تبعاً لمتطلبات التصميم والتنفيذ.



الشكل 43

يبين الجدولان (3.3) و (4.3) نماذج عن بعض الأنواع الشائعة من الأنابيب الفولاذية المستخدمة في تسليح الأوتاد الدقيقة وقيم مقوماتها.

الجدول (3.3)						
 						
الحمولة التصميمية kN	حمولة الانهيار kN	حمولة الخضوع kN	القطر mm		الوزن Kg/m	مقاس القضيب
			الخارجي	الداخلي		
120	200	150	25	12	2.6	MAY- R25N
168	280	230	32	18	3.5	MAY- R32N
300	500	430	38	19	6.0	MAY- R38N
480	800	630	51	34	9.6	MAY- R51N
396	660	525	40	16	6.9	TITAN- 40/16
696	1160	970	73	53	12.8	TITAN 73/53
1170	1950	1570	103	78	24.7	TITA-103/78
114	190	160	25	12	2.5	IBO- 2512
150	250	220	30	19	3.5	IBO- 3320
294	490	420	38	17	6.6	IBO -3817

الجدول (4.3)							
							
الحمولة التصميمية	حمولة الانهيار	حمولة الخضوع	مساحة المقطع	النور بالمتر	الفصل الفعال	القطر الاسمي	مقاس القضيب
kips	kips	kips	In ²	lb/ft	In	In	mm
kN	kN	kN	mm ²	Kg/m	mm	mm	
41.6	55.1	42.7	0.53	1.8	1.02	1.18	30/16
185	245	190	340	2.7	26	30	
48.3	61.8	49.5	0.58	1.9	1.03	1.18	30/14
215	275	220	375	2.9	26	30	
57	72.0	58.5	0.64	2.2	1.03	1.18	30/11
225	320	260	415	3.3	26	30	
94.4	121.4	95.6	1.13	3.8	1.42	1.57	40/20
420	540	425	730	5.6	36	40	
116.9	184.4	118.1	1.40	4.8	1.42	1.57	40/16
520	660	525	900	7.2	36	40	
163	208	164.2	1.94	6.7	1.92	2.05	52/26
725	925	730	1250	9.9	49	52	
185.5	232.7	186.6	2.11	7.3	2.76	2.87	73/56
825	1035	830	1360	10.8	70	73	
208.7	260.9	218.1	2.50	8.9	2.76	2.87	73/53
928	1160	970	1615	13.2	70	73	
284.5	356.4	285.6	3.50	12	2.76	2.87	73/45
1265	1585	1270	2260	17.8	70	73	
320.4	419.4	321.6	4.20	14.2	2.76	2.87	73/35
1425	1865	1430	2710	21.2	70	73	
403.6	510.5	404.8	4.87	17	3.94	4.06	103/78
1795	2270	1800	3140	25.2	100	103	
599.3	823	600.4	8.80	30	3.94	4.06	103/51
2665	3660	2670	5680	44.6	100	103	
417.4	521.7	456.5	539	19.2	3.94	4.06	127/103
1856	2320	2030	3475	28.6	100	103	

5.3 التسلح المختلط: Composite Reinforcement

يمكن استخدام قضبان التسلح مع القالب في الأوتاد الدقيقة من النوع الذي يستخدم قالب معدني دائم في الجزء السفلي من الحفر كما في النماذج (C1, C2, C3) في الجدول (1.2) من الفقرة (3.1.2) في الفصل الثاني، حيث تشكل بذلك جملة تسلح مختلط، مع الإشارة إلى أن استخدام هذه الطريقة من التسلح المختلط تزيد من تعقيدات الدراسة الإنشائية.

6.3 الحماية من التآكل: Protection from Corrosion

يمكن أن يتعرض التسلح الموجود ضمن الأوتاد الدقيقة إلى التآكل وبالتالي قد يفقد جزءاً من مقاومته. كما يمكن أن يصل التآكل إلى حد يخرج التسلح عن مجال الخدمة، وخصوصاً إذا كان الوسط المحيط بالوتد يحتوي على مواد ضارة بالفولاذ، حيث يعتبر الوسط ضاراً إذا تحققت المعايير الموضحة في الجدول التالي بحسب معايير (ASTM , AASHTO).

الجدول (5.3)	
المعيار	الخاصة
أصغر من 2000 ohm.cm	المقاومة الكهربائية النوعية
أصغر من 5	PH
أكبر من 200 ppm	الكبريتات
أكبر من 100 ppm	الكلوريد

يمكن حماية التسلح بواسطة تنفيذ طبقة من المونة الإسمنتية تحيط به وتدعى بطبقة الحماية، وهناك العديد من طرق الحماية الأخرى والتي تختلف بحسب نوع التسلح المستخدم، منها مثلاً:

1.6.3 حماية قضبان التسلح بطبقة الغراوت:

تتم في هذه الحالة حماية قضبان التسلح بطبقة المونة المحيطة به فقط دون الحاجة إلى طبقة حماية إضافية، وهنا يجب أن تكون قضبان التسلح متمركزة مع محور الوتد كي تكون سماكة المونة المحيطة بالتسلح ثابتة.

بشكل عام تشترط معظم الكودات أن لا تقل سماكة المونة المحيطة بقضبان التسلح عن (30 mm).

2.6.3 الحماية المضاعفة لقضبان التسليح:

عندما يكون الوسط ضار أو عندما يكون من المحتمل تشقق المونة حول قضبان التسليح تزود قضبان التسليح بطبقة حماية إضافية يمكن أن تكون من الإيبوكسي أو من المونة الكتيمية من أية مادة نظام حماية آخر.

3.6.3 حماية قوالب التسليح المملوءة بالمونة:

عند استخدام القوالب الفولاذية كتسليح للأوتاد الدقيقة، تزود معامل إنتاج هذه القوالب الطبقة الخارجية منها بطبقة حماية خاصة، ويوضح الجدول التالي نموذجاً لسماكة هذه الطبقة بحسب نوع التربة والعمر التصميمي للوتد.

الجدول (6.3)				
سماكة طبقة الحماية بحسب العمر التصميمي للوتد (mm)				نوع التربة
100 سنة	75 سنة	20 سنة	25 سنة	
0.80	0.70	0.60	0.25	غير مسببة للتآكل
2.50	2.00	1.60	1.00	متوسطة التأثير على التآكل
6.00	5.00	4.00	2.50	شديدة التأثير على التآكل

4.6.3 حماية قوالب التسليح المملوءة والمغلقة بالمونة:

تنص معظم الشروط العالمية لأعمال حماية قوالب التسليح المملوءة والمغلقة بالمونة على ألا تقل سماكة المونة الإسمنتية المحيطة بالقالب المعدني المستخدم كتسليح للوتد الدقيق عن (10 – 75 mm).

5.6.3 حماية الأنابيب المستخدمة كتسليح:

حين استخدام الأنابيب الفولاذية في تسليح الأوتاد الدقيقة تتم حمايتها بطلائها بالإيبوكسي بسماكة كافية تغطي السطوح بشكل كامل.

تصميم الأوتاد الدقيقة كأساسات للمنشآت

Design of micropile for structure foundations

11.4 اعتبارات تصميم الأوتاد الدقيقة:

Consideration of micropiles design

يختلف تصميم الأوتاد الدقيقة عن تصميم الأوتاد العادية الكبيرة من حيث الصلابة المتعلقة بمساحة مقطع الوتد، فتصميم الأوتاد الكبيرة محكوم بشروط وخصائص التربة المنفذ فيها الوتد. حيث يحكم التصميم قدرة التحمل الجيوتكنيكية للوتد، أي مقاومة التماسك ومقاومة الاستناد. أما تصميم الأوتاد الدقيقة والتي تتصف بمقطعها الصغير، فيتعلق باعتبارات أخرى منها مثلاً:

- المعطيات الإنشائية مثل مساحة مقطع الوتد الدقيق وتسليحه وخصائص ونوع المواد المستخدمة في التصميم.
 - اعتبارات تتعلق بالتربة كتوزيع الإجهادات فيها عند أسفل وجوانب الوتد الدقيق بعد الحقن، بالإضافة إلى نوع الحقن وغير ذلك.
- يتضمن تصميم الأوتاد الدقيقة مفهومين أساسيين هما:
- * تقدير قدرة التحمل الجيوتكنيكية ووضع الإجهادات بعد الحقن (أو تأثير الحقن على الإجهادات حول الوتد).

* تقدير قدرة التحمل الإنشائية وتأثير صلابة الوتد على سلوكه العام. لذلك يجب أن يأخذ تصميم الأوتاد الدقيقة الاعتبارات التالية بالحسبان:

1. البيانات العامة عن المشروع والتي تتضمن ما يلي:
- قدرة تحمل الأوتاد المطلوبة.
 - شروط المشروع والبيئة المحيطة.
 - شروط التعاقد والتنفيذ.

2. البيانات الجيوتكنيكية وهي:

- طبيعة تربة الموقع.
- وسائط أوبارامترات التربة الجيوتكنيكية التصميمية.
- تركيب التربة الكيميائي والضرر المتوقع على الأوتاد من أجل تحديد سماكة طبقة الحماية.

3. التصميم الجيوتكنيكي للأوتاد والمتضمن ما يلي:

- تحديد الحمولة المنقولة عبر طبقات التربة من أجل تحديد طول التماسك المطلوب للوتد.
- تحديد تباعد الأوتاد.

4. التصميم الإنشائي للأوتاد:

- تحديد قدرة تحمل الجزء المغطى من الوتد.
- تحديد قدرة تحمل الجزء غير المغطى من الوتد.
- مقاومة المونة المحقونة.
- توافق الانتقالات بين الوتد وبين العناصر المتصلة به.
- وصلات التسليح ضمن الوتد.
- وصلات التسليح مع الأساس.

5. الاعتبارات الإنشائية / الجيوتكنيكية:

- الاستقرار والصلابة المطلوبين.
- قدرة تحمل الوتد على الحمولات الجانبية.
- تحنيب الوتد... انظر المثال في نهاية هذا الفصل.

6. اعتبارات أخرى:

- الحماية من التآكل... انظر المثال في نهاية هذا الفصل.
- تجارب التحميل ومراقبة دقة العمل (موضوعا الفصلين الخامس والسادس).

- التأثير المتبادل بين الكلفة والتصميم.

وقبل تناول التصميم الجيوتكنيكي والتصميم الإنشائي نشرح الفكرة التالية:

2.4 طرق التصميم: Design Methods

هناك طريقتان أساسيتان لتصميم الأوتاد الدقيقة هما:
الطريقة الأولى:

طريقة التصميم على حمولات الاستثمار SLD (Service load design) وتعتمد على نظرية تخفيض مقاومة المواد بعوامل أمان محددة.

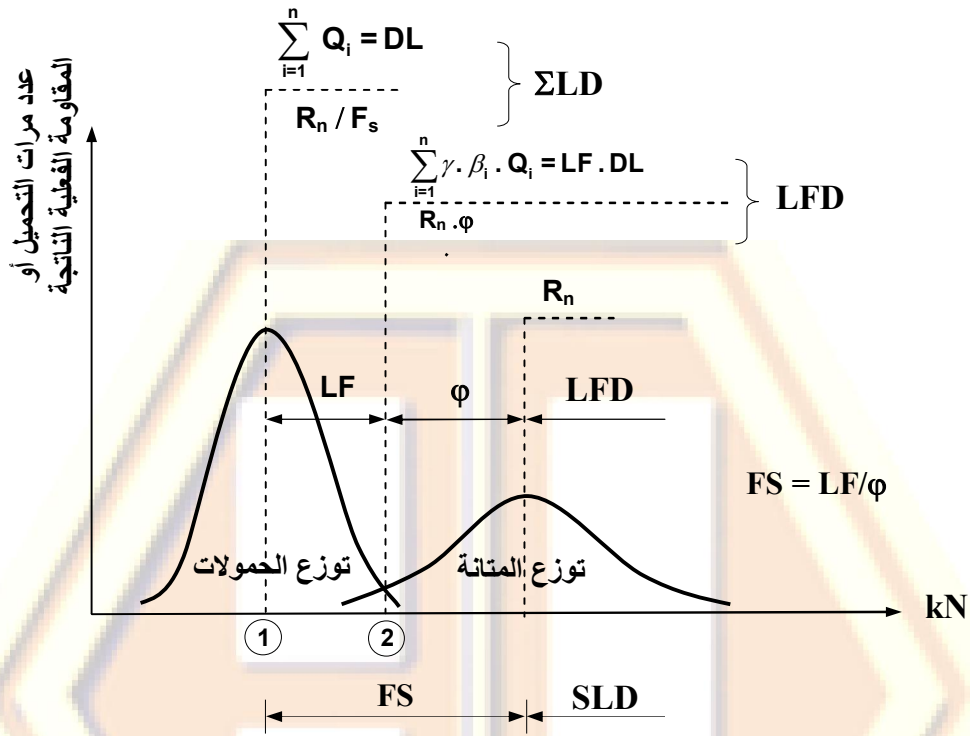
الطريقة الثانية:

طريقة التصميم بتصعيد معاملات الحمولة LFD (Load factor design) تعتمد هذه الطريقة على تصعيد الحمولة بمعامل تكبير وتخفيض المقاومة بمعامل تخفيض كما هو موضح أدناه.

تأخذ كلتا الطريقتان المشروحتان في الفقرات التالية عوامل الأمان في التصميم من أجل تضمين الاختلاف بين المقاومات الحسابية والمقاومات الاستثمارية الفعلية للمواد.

يبين الشكل (44) الفرق بين الطريقتين المذكورتين حيث تعبر الرموز الموضحة في الشكل عما يلي:

- (Q_i) الحمولات المختلفة (ميتة ، حية، ضغط تربة...).
- (ϕ) معامل تخفيض المقاومة.
- (γ) معامل تخفيض حمولة ما ضمن مجموعة من الحمولات.
- (β_i) معامل تخفيض الحمولة المستقلة.
- (LF) معامل التخفيض المعرف بالعلاقة $(LF = \beta_i \cdot \gamma)$.
- (FS) معامل أمان الحمولة.
- (n) عدد تراكيب الحمولات.
- (R_n) المقاومة الاسمية.
- $(\sum Q_i)$ الحمولة التصميمية.
- (R_n / F_s) الحمولة المسموحة.
- $LF \cdot DL = \sum \gamma \cdot \beta_i$ المقاومة المطلوبة.
- ($R_n \cdot \phi$) المقاومة التصميمية.



الشكل 44 - طريقتا التصميم (LFD , SLD)

1.2.4 طريقة التصميم على حمولات الاستثمار: SLD Method

يجب وفق هذه الطريقة أن تكون الحمولة المسموحة أكبر أو تساوي الحمولة التصميمية... أي أن:

$$\frac{R_n}{FS} \geq \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$\text{and } R_n \geq FS \cdot \sum_{i=1}^n Q_i$$

2.2.4 طريقة التصميم بتصعيد معاملات الحمولة: LFD Method

وفق هذه الطريقة يجب أن تكون المقاومة التصميمية أكبر أو تساوي المقاومة المطلوبة... أي أن:

$$\varphi_G \cdot R_n \geq \sum_{i=1}^n \gamma \cdot \beta_i \cdot Q_i$$

$$\text{and } \varphi_G \geq \frac{\sum_{i=1}^n \gamma \cdot \beta_i \cdot Q_i}{R_n}$$

وبما أن (R_n) هي نفسها في الطريقتين نجد أن:

$$\varphi_G = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma \cdot \beta_i \cdot Q_i}{FS \cdot \sum_{i=1}^n Q_i}$$

وبالتالي يكون:

$$\varphi_G = \frac{\gamma (B_D \cdot Q_D + B_L \cdot Q_L + B_{CF} \cdot Q_{CF} + B_E \cdot Q_E + B_B \cdot Q_B + B_{SF} \cdot Q_{SF})}{FS \cdot (Q_D + Q_L + Q_{CF} + Q_E + Q_B + Q_{SF})}$$

حيث $(\gamma = 1.3)$:

ومن أجل الضغط الجانبي للتربة يكون:

$$B_D = 1, \quad B_L = 1.67, \quad B_{CF} = 1, \quad B_E = 1.3$$

$$B_B = 1, \quad B_{SF} = 1$$

حيث:

(FS) معامل الأمان.

(Q_D) الحمولة الميتة.

(Q_L) الحمولة الحية.

(Q_{CF}) قوة الضغط المعاكس.

(Q_E) قوة ضغط التربة.

(Q_B) قوة الطفو في مياه التربة إن وجدت.

(Q_{SF}) ضغط الماء إن وجد في التربة.

يبين الجدول (1.4) أدناه كيفية تغير قيمة كل من (φ_G) و (LF) مع تغير قيم (Q) وذلك من أجل $(FS = 2.5)$ ، حيث $(LF = FS \times \varphi_G)$.
ملاحظة:

تتراوح قيمة (LF) في أجل معظم حالات التصميم العملية بين (1.3 - 1.7) وتكون قيمة (FS) حوالي (2.5).

الجدول (1.4)				
Q_D	Q_L	Q_E	ϕ_G	LF
1.0	-	-	0.52	1.3
0.9	0.1	0.0	0.55	1.38
	0.0	0.1	0.54	1.35
0.8	0.1	0.1	0.57	1.43
	0.2	0.0	0.59	1.48
0.7	0.1	0.2	0.59	1.48
	0.2	0.1	0.61	1.53
	0.3	0.0	0.62	1.55
0.6	0.1	0.3	0.60	1.50
	0.2	0.2	0.62	0.55
	0.3	0.1	0.64	0.60
0.5	0.1	0.4	0.62	1.55
	0.2	0.3	0.64	1.60
	0.3	0.2	0.66	1.65
	0.4	0.1	0.67	1.68
	0.5	0.0	0.69	1.73
0.4	0.1	0.5	0.63	1.58
	0.2	0.4	0.65	1.63
	0.3	0.3	0.67	1.68
	0.4	0.2	0.69	1.73
	0.5	0.1	0.71	1.78
	0.6	0.0	0.73	1.83
0.3	0.1	0.6	0.65	1.63
	0.2	0.5	0.67	1.68
	0.3	0.4	0.69	1.73
	0.4	0.3	0.71	1.78
	0.5	0.2	0.73	1.83
	0.6	0.1	0.74	1.85
	0.7	0.0	0.76	1.90
0.2	0.1	0.7	0.66	1.65
	0.2	0.6	0.68	1.70
	0.3	0.5	0.70	1.75

الجدول (1.4)				
Q_D	Q_L	Q_E	ϕ_G	LF
	0.4	0.4	0.72	1.80
	0.5	0.3	0.74	1.85
	0.6	0.2	0.76	1.90
	0.7	0.1	0.78	1.95
	0.8	0.0	0.80	2.00
0.1	0.1	0.8	0.68	1.70
	0.8	0.1	0.81	2.03

3.4 التصميم الجيوتكنيكي للأوتاد الدقيقة:

Geotechnical design for micropiles

لا يختلف التعامل مع التربة ومع المعلومات الجيوتكنيكية المطلوبة للأوتاد الدقيقة عن تلك المطلوبة لأية جملة تأسيس عميقة، حيث يطلب عادةً التحقق مما يلي:

1. يجب القيام بتحريات جيولوجية للموقع بشكل دقيق من أجل توصيف كل طبقات التربة والموقع (كوجود بناء قائم في الموقع أو بنية تحتية خدمية أو غيرها). كما يجب إجراء اختبارات للتربة لإيجاد كل من الوزن الحجمي ومحتوى الرطوبة ومقاومة الاختراق النظامية ومنسوب المياه الجوفية إن وجدت، بالإضافة إلى سبر التربة الواقعة أسفل العمق المتوقع للأوتاد لتحديد مقاومة القص فيها.

2. أثناء تصميم الأوتاد الدقيق يجب توخي الدقة في حساب وتقييم قوى التماسك بين الوتد والتربة المحيطة، حيث يتم إهمال عادةً مقاومة الاستناد، إلا إذا كانت طبقة الاستناد من الصخر القاسي (حيث يتم حساب مقاومة الاستناد كما في الأوتاد العادية المحفورة أو المدقوقة)، وذلك للأسباب التالية:

- بسبب صغر مقطع الوتد تكون مساحة محيط الاحتكاك أكبر بكثير من مساحة الاستناد... فإذا كان مثلاً قطر الوتد (20 cm) وطوله (6 m)، فإن مساحة محيط الاحتكاك أكبر بحوالي (120) مرة من مساحة الاستناد.
- لأن قوى التماسك هي التي تتولد أولاً عند بدء تحميل الوتد، إذ أن الحركة اللازمة لإثارة قوى الاحتكاك أصغر بكثير من الحركة اللازمة لإثارة قوى الاستناد.
- لأن مقاومة الاحتكاك ضمن محيط الوتد تكون كبيرة، فمن أجل وتد بقطر يتراوح بين (15 – 30 cm) قد تصل إلى حوالي (365 kN) لكل متر طولي من الوتد في التربة المتدرجة الكثيفة، وإلى حوالي (750 kN) لكل متر طولي في التربة الصخرية.

تختلف قيمة التماسك بحسب كل من نوع التربة وطريقة الحفر، ويمكن للمصمم الاستعانة بمعطيات الجدول التالي لتقدير قيم التماسك بحسب هذين المتحولين مقدرةً بوحدة (kPa) وبحسب التصنيف التنفيذي ونوع التربة. انظر توصيف أنواع التربة في الفصل الأول من الجزء الأول لهذه السلسلة.

الجدول (2.4)				
مقاومة التماسك بين المونة والتربة (kPa)				نوع التربة
النوع D	النوع C	النوع B	النوع A	
50-145	50-120	35-95	30-70	غضارية سيلتية مع قليل من الرمل (منخفضة إلى متوسطة اللدونة)
95-190	95-190	70-190	50-120	غضارية سيلتية مع قليل من الرمل (كثيفة إلى عالية الكثافة)
95-240	95-190	70-190	70-145	رملية مع قليل من السيلت (ناعمة إلى متوسطة الكثافة)
145-385	145-360	120-360	95-215	رملية مع قليل من البحص والسيلت (عالية الكثافة)
145-385	145-360	120-360	95-265	بحصية مع قليل من الرمل والسيلت (متوسطة إلى عالية الكثافة)
120-335	120-310	95-310	95-190	خث أو تربة عضوية (سيلت ورمل وبحص متوسطة إلى عالية الترابط)
-	-	-	205-550	صلصال ناعم إلى متوسط التشقق (قليل التأثير بالعوامل الجوية).
-	-	-	515-1380	صلصال قاسي إلى متوسط التشقق (قليل التأثير بالعوامل الجوية).
-	-	-	1035-2070	حجر كلسي (قليل التأثير بالعوامل الجوية).
-	-	-	520-1725	حجر رملي (قليل التأثير بالعوامل الجوية).
-	-	-	1380-4200	حجر رملي (قليل التأثير بالعوامل الجوية).

1.3.4 حساب الحمولات المحورية المسموحة في حالتها الشد الضغط من أجل نقل الحمولات للتربة بالتماسك بطريقة (SLD):
تعطى الحمولة الجيوكونيكية المسموحة على الوند الدقيق بطريقة حمولات الاستئثار (SLD) بالعلاقة التالية:

$$P_G = \frac{\alpha_b}{F_s} \cdot \pi \cdot D_b \cdot L_b$$

حيث:

(α_b) وحدة التماسك بالطريقتين (LFD ، SLD)، وهي تتعلق بنوع التربة وطريقة الحقن.

$(F_s = 2.5)$ معامل أمان يتعلق بالتربة (في حال وجود زلازل).

(D_b) قطر منطقة التماسك.

(L_b) طول التماسك الوتد... انظر الشكل (45) الذي يبين مقطعاً طولياً في وتد دقيق نموذجي.

2.3.4 حساب الحمولات المحورية المسموحة في حالة الضغط والشد من

أجل نقل الحمولات بالتماسك بطريقة (LFD):

تعطى الحمولة الجيوكونيكية المسموحة على الوتد الدقيق بطريقة تصعيد معامل الحمولة (LFD) بالعلاقة التالية:

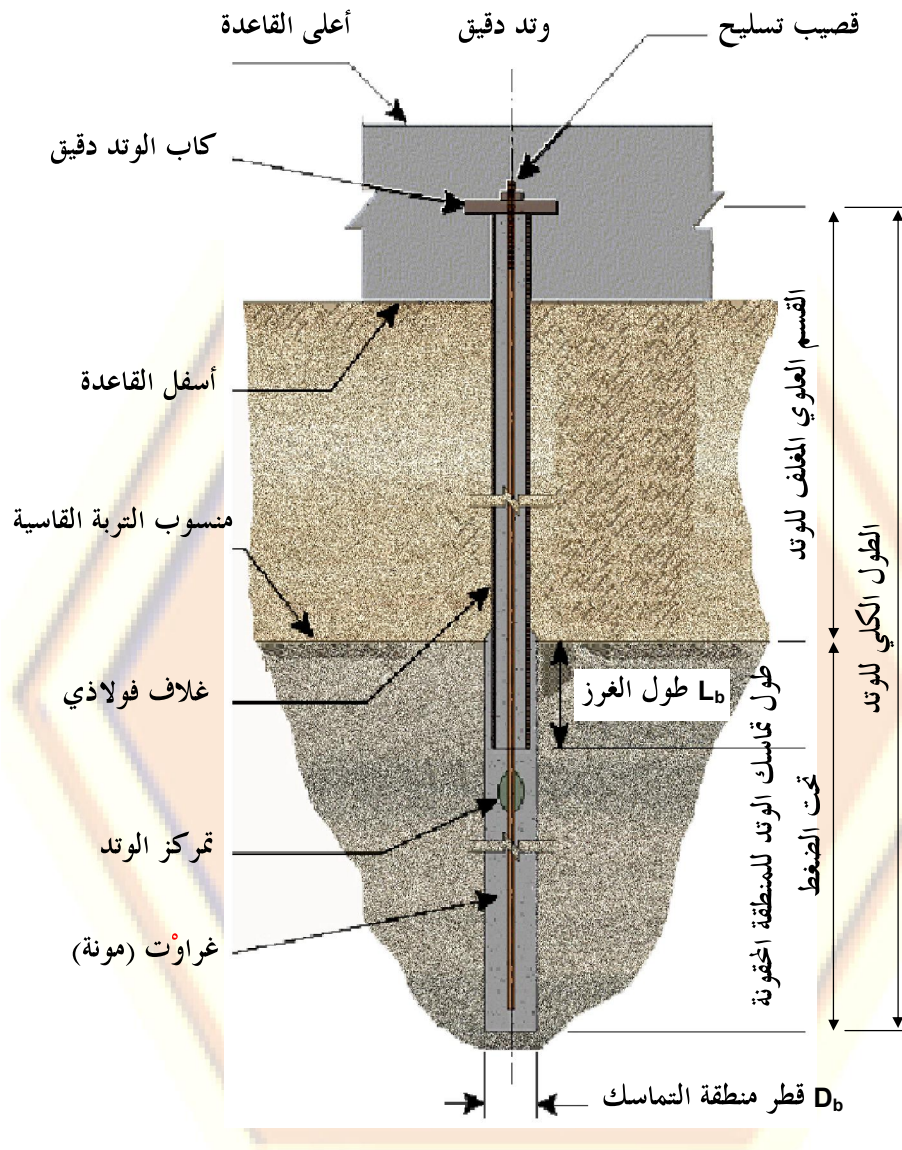
$$P_G = \varphi_G \cdot \alpha_b \cdot \pi \cdot D_b \cdot L_b$$

حيث:

(φ_G) معامل تخفيض يؤخذ كما يلي:

$(\varphi_G = 0.60)$ من أجل تصميم مجموعة الأوتاد الدقيقة النموذجية بدون تأثير الزلازل.

$(\varphi_G = 1)$ من أجل تصميم مجموعة الأوتاد الدقيقة مع تأثير الزلازل.



الشكل 45 - مقطع نموذجي في وترد دقيق

4.4 تأثير مجموعة الأوتاد الدقيقة على الحمولة المحورية:

Group effect for axially loaded micropiles

يتطلب تصميم مجموعات الأوتاد الدقيقة أن تكون التباعدات بينها محددة كما في الأوتاد العادية الكبيرة التي تكون فيها قدرة تحمل المجموعة أقل من مجموع قدرة تحمل كل وتد في المجموعة فيما لو كانت منفردة. إلا أن استقرار المجموعة يكون أكبر من استقرار الأوتاد المنفردة تحت تأثير نفس الحمولة الوسطية على الوتد. من أجل الأوتاد الدقيقة المنفذة بطريقة الحقن من الأنواع (D,C,B) المذكورة في الفقرة (2.1.2) من الفصل الثاني، والتي تكون بقطر (20 cm) وبتباعد أدنى بين الأوتاد من (75 - 100 cm)، ليس من الضروري اعتبار تأثير مجموعة الأوتاد على التصميم.

أما من أجل الأوتاد من النوع (A) المذكور في الفقرة (2.1.2) من الفصل الثاني والمصبوبة بدون ضغط، فيجب أن يتم تحديد نوع التربة وطريقة التنفيذ لمعرفة تأثير الإجهادات في التربة المحيطة بالوتد، وتأثيرها على قدرة تحمل مجموعة الأوتاد وذلك كما في الأوتاد العادية المحفورة.

5.4 التصميم الإنشائي للأوتاد الدقيقة: Micropile structural design

من أجل التصميم الإنشائي للأوتاد الدقيقة يجب إتباع كودات البناء الخاصة بهذه الأعمال أو قواعد اتباع شروط ومتطلبات التنفيذ المحلية. تشرح الفقرات التالية قواعد التصميم الإنشائي الخاصة للوتد النموذجي الموضح في الشكل السابق (45)، والذي يتألف من:

- قسم علوي مسلح بقضبان مركزية مع قميص معدني دائم
- قسم سفلي مسلح بقضبان تسليح مركزية فقط وهو محقون.

1.5.4 الرموز والمصطلحات: Symbols

- (A_{bar}) مساحة مقطع قضبان التسليح (في الطريقتين LFD, SLD).
- (A_{cas}) مساحة مقطع القميص المعدني (في الطريقتين LFD, SLD).
- (A_g) مساحة مقطع المونة المحقونة (غراوت) في الطريقتين (LFD, SLD).
- (C_C) نسبة نحافة العمود في الطريقتين (LFD, SLD).
- (D_b) قطر منطقة التماسك.
- (DL) الحمولة التصميمية بطريقة (SLD).
- (Es) معامل مرونة الفولاذ (في الطريقتين LFD, SLD).
- (FS) معامل أمان بطريقة (SLD).

(F_a) الإجهادات المسموحة لل فولاذ عند استخدام طريقة (SLD) أو الإجهادات الاسمية لل فولاذ عند استخدام طريقة (LFD).
 (f_{c-g}) المقاومة المميزة على الضغط للمونة المحقونة (أو الغراوت) في الطريقتين (LFD ، SLD).
 $(f_y\text{-bar})$ إجهاد الخضوع لفولاذ قضبان التسليح في الطريقتين (LFD،SLD).
 $(f_y\text{-cas})$ إجهاد الخضوع لفولاذ القميص الدائم في الطريقتين (LFD،SLD).
 $(f_{y\text{-min}} \text{ or } f_{y\text{-steel}})$ إجهاد الخضوع الأدنى بين حدي الخضوع لفولاذ قضبان التسليح وفولاذ القميص المعدني الدائم.
 (K) معامل الطول الفعال للوتد في الطريقتين (LFD ، SLD).
 (L_b) الطول المغروز من القميص (طول الغرز) في الطريقتين (LFD ، SLD).
 (L) الطول غير المسنود جانبياً في الطريقتين (LFD ، SLD).
 $(P_c\text{- all})$ حمولة الضغط المسموحة بطريقة (SLD).
 $(P_t\text{- all})$ حمولة الشد المسموحة بطريقة (SLD).
 $(P_c\text{- nom})$ مقاومة الضغط الاسمية عند استخدام طريقة (LFD).
 $(P_t\text{- nom})$ مقاومة الشد الاسمية عند استخدام طريقة (LFD).
 $(P_c\text{- design})$ مقاومة الضغط التصميمية بطريقة (LFD).
 $(P_t\text{- design})$ مقاومة الشد التصميمية بطريقة (LFD).
 (r) نصف قطر الحفرة الفعلية في الطريقتين (LFD،SLD).
 (α_b) وحدة التماسك في الطريقتين (LFD،SLD) .. (وتتعلق بكل من طريقة الحفر ونوع التربة).
 (ϕ) معامل تخفيض المقاومة عند استخدام طريقة (LFD).
 $(P_{G\text{- all}})$ حمولة التماسك المحورية المسموحة عند استخدام طريقة (SLD).
 $(P_{G\text{- des-st}})$ المقاومة المحورية التصميمية للتماسك عند استخدام طريقة (LFD).
 $(P_{\text{tranc- all}})$ الحمولة المسموحة والمنقولة على طول التماسك عند استخدام طريقة (SLD).
 $(P_{\text{tranc- des}})$ حمولة التماسك التصميمية على الطول المغروز عند استخدام طريقة (LFD).

2.5.4 قدرة تحمل الأوتاد الدقيقة:

Micropile Structural Capacity

يتم تحديد قدرة التحمل الإنشائية للوتد النموذجي المبين في الشكل (45) السابق، باعتبار أن هذا الوتد يتكون من جزأين:

الجزء الأول (العلوي):

يتكون من القميص المعدني وحديد التسليح. ويسمى القسم العلوي للوتد المغلف بقميص فولاذي (pile cased length).

الجزء الثاني (السفلي):

يتوضع ضمن تربة كثيفة أو تربة صخرية حيث يتوقف القميص المعدني في هذا الجزء، ويسمى القسم من الوتد غير المغلف بقميص (pile uncased length).
توضح الفقرات التالية قدرة تحمل في كل جزء من الجزأين السابقين على حده، وفي الطريقتين (LFD ، SLD).

3.5.4 قدرة تحمل الوتد الإنشائية في الجزء العلوي المغلف بقميص:

Pile cased length structural capacity

تحدد قدرة تحمل الجزء العلوي المغلف بقميص في الطريقتين (LFD، SLD) كما يلي:

1.3.5.4 قدرة تحمل الجزء المغلف بقميص بطريقة حمولات الاستثمار:

Pile cased length (Service Load Design)

1. قدرة التحمل على الشد (From AASHTO Table 10.32.1A):

$$P_{t-all} = 0.55 f_{y-min} (A_{bar} + A_{casing})$$

الرموز والمصطلحات معرفة في الفقرة (1.5.4) أعلاه.

2. قدرة التحمل على الضغط:

$$P_{c-all} = 0.40 f'_{c-grout} \cdot A_{grout} + 0.47 f_{y-min} (A_{bar} + A_{casing})$$

Note: 0.40 is per AASHTO 8.15.2.1.1

0.47 is per AASHTO, i.e. $1 \div 2.12 = 0.47$

$$F_a = \frac{f_{y-min}}{FS} \dots FS = 2.12$$

2.3.5.4 قدرة تحمل الجزء المغلف بقميص بطريقة معامل الحمولة:

Pile cased length (Load Factor Design)

1. قدرة التحمل على الشد:

$$P_{t-nom} = f_{y-min} (A_{bar} + A_{casing})$$

حيث:

$$\phi_t = 0.9 \text{ (From AASHTO)} \text{ and } P_{t-design} = \phi_t \cdot P_{t-nom}$$

$$P_{t-design} = 0.9 f_{y-min} (A_{bar} + A_{casing})$$

وبالتالي يكون:

2. قدرة التحمل على الضغط:

$$P_{c-all} = 0.85 f'_{c-grout} \cdot A_{grout} + f_{y-min} (A_{bar} + A_{casing})$$

حيث:

$$\phi_c = 0.85 \text{ (From AASHTO)} \text{ and } P_{c-design} = \phi_c \cdot P_{c-nom}$$

وبالتالي يكون:

$$P_{c-design} = 0.85 \times 0.85 \cdot f'_{c-grout} \cdot A_{grout} + f_{y-min} (A_{bar} + A_{cas})$$

4.5.4 طول الوتد في الجزء غير المغلف (الجزء السفلي):

Pile uncased length

تعتبر قدرة التحمل الإنشائية لهذا الجزء من الوتد الدقيق هي فقط قدرة تحمل حديد التسليح، لأن القميص المعدني يتوقف في هذا الجزء. وباعتبار أن القميص المعدني يستمر ضمن هذا الجزء بطول يسمى طول الغرز (plunge length) كما في الشكل (45) السابق، فيمكن الأخذ بالاعتبار المقاومة الجيوتكنيكية الإضافية الناتجة عن التماسك مع التربة ضمن هذا الجزء، وإضافتها إلى قدرة التحمل السابقة، ويمكن أيضاً إهمالها لصالح الأمان في التصميم. يصبح الحساب كما في الفقرتين التاليتين.

1.4.5.4 قدرة تحمل في الجزء غير المغلف بطريقة حمولات الاستثمار:

Pile uncased length (Service Load Design)

الحمولة المسموحة على الطول المغروز:

$$P_{trans-all} = \frac{\alpha_b}{FS} \pi \cdot D_b \cdot L_b$$

1. قدرة التحمل على الشد في هذا الجزء:

$$P_{t-all} = 0.55 f_{y-bar} \cdot A_{bar} + P_{trans-all}$$

Note: 0.55 is per AASHTO Table 10.32.1A

2. قدرة التحمل على الضغط:

$$P_{c-all} = 0.40 f_{c-grout} \cdot A_{grout} + 0.47 f_{y-bar} \cdot A_{bar} + P_{trans-all}$$

Note: 0.40 is per AASHTO 8.15.2.1.1; 0.47 per AASHTO, i.e
 $1 \div 2.12 = 0.47$

2.4.5.4 قدرة تحمل الجزء غير المغلف بطريقة معامل الحمولة:

Pile uncased length (Load Factor Design)

الحمولة المسموحة على الطول المغروز:

$$P_{trans-des} = \phi_G \cdot \alpha_b \cdot \pi \cdot D_b \cdot L_b$$

حيث:

($\phi_G = 1.00$) في حالة اعتبار الزلازل في التصميم.

($\phi_G = 0.60$) في حالة عدم اعتبار الزلازل في التصميم.

1. قدرة التحمل على الشد:

$$P_{t-des} = 0.9 f_{y-bar} \cdot A_{bar} + P_{trans-des}$$

Note: 0.90 is per AISC

2. قدرة التحمل على الضغط:

$$P_{c-des} = 0.75 (0.85 f_{c-g} \cdot A_{grout} + F_{y-bar} \cdot A_{bar}) + P_{trans-des}$$

6.4 عوامل الأمان وحمولات الاختبار:

Safety factors and test loads

للتحقق من صلاحية الأوتاد الدقيقة، توصي الكودات الأمريكية المتخصصة بالمايكروبايل، بحساب كل من حمولات الاختبار ومعاملات الأمان وفقاً للمعايير التالية، وذلك في حالتي أخذ أو إهمال الحمولات الزلزالية. فبعد تصميم الأوتاد الدقيقة سواءً بطريقة (SLD) أو بطريقة (LFD)، يجب إجراء نوعين من تجارب التحميل أو الاختبارات الحقلية عليها، هما اختبارات التحقق (verification test) واختبارات المتانة القياسية (proof test). كما تجرى هذه التجارب للتحقق من قدرة تحمل الوتد وذلك جيوتكنيكياً وإنشائياً.

1.6.4 التحقق الجيوتكنيكي: Geotechnical verification

تجرى اختبارات التحقق الجيوتكنيكي قبل تنفيذ الأوتاد الدقيقة المصممة، للتأكد من طول التماسك المختار للوتد، ومن طريقة التنفيذ وصلاحية المعدات والتجهيزات.

أما اختبارات المتانة القياسية فتجرى للتحقق من مقاومة مقطع الأوتاد الدقيقة المصممة ومساحتها، ومن متانتها وقدرة تحملها للحمولات التصميمية دون تشوهات أو انهيار أو هبوطات طويلة الأجل أو انهيارات فيها. تحدد اختبارات الضغط اختبار معاملات الأمان الجيوتكنيكية للأوتاد الدقيقة. من أجل نوعي الاختبار المذكورين أعلاه نميز ما يلي:

1. حالة عدم اعتبار الزلازل بطريقة حمولات الاستثمار: For non- seismic load groups (SLD)

- حمولة اختبار التحقق = معامل أمان $2.5 \times DL = DL \times$ حيث: (DL) حمولة الوتد التصميمية غير المصعدة (design load).
- حمولة اختبار المتانة القياسية = معامل أمان $1.67 \times DL = DL \times$

2. حالتا اعتبار وعدم اعتبار الزلازل بطريقة معاملات الحمولة: For both non- seismic and seismic load groups (LFD)

- حمولة اختبار التحقق = المقاومة الاسمية المطلوبة.
 $Verification\ Test\ Load = (LF \times DL) / \phi G = 2.5 \times DL$
حيث:

$$(DL \times LF) = \text{الحمولة التصميمية المصعدة} \times \text{معامل الحمولة}$$

$$\text{design load} \times \text{load factor}$$

($\phi G = 0.60$) من أجل التصميم على حالة عدم وجود زلازل.

($\phi G = 1.0$) من أجل التصميم على حالة وجود زلازل.

- حمولة اختبارات المتانة القياسية:

$$\text{Proof test load} = 1.67 / 2.5 \times (\text{verification load or nominal strength}) \text{ or } \text{Proof test load} = DL \times LF$$

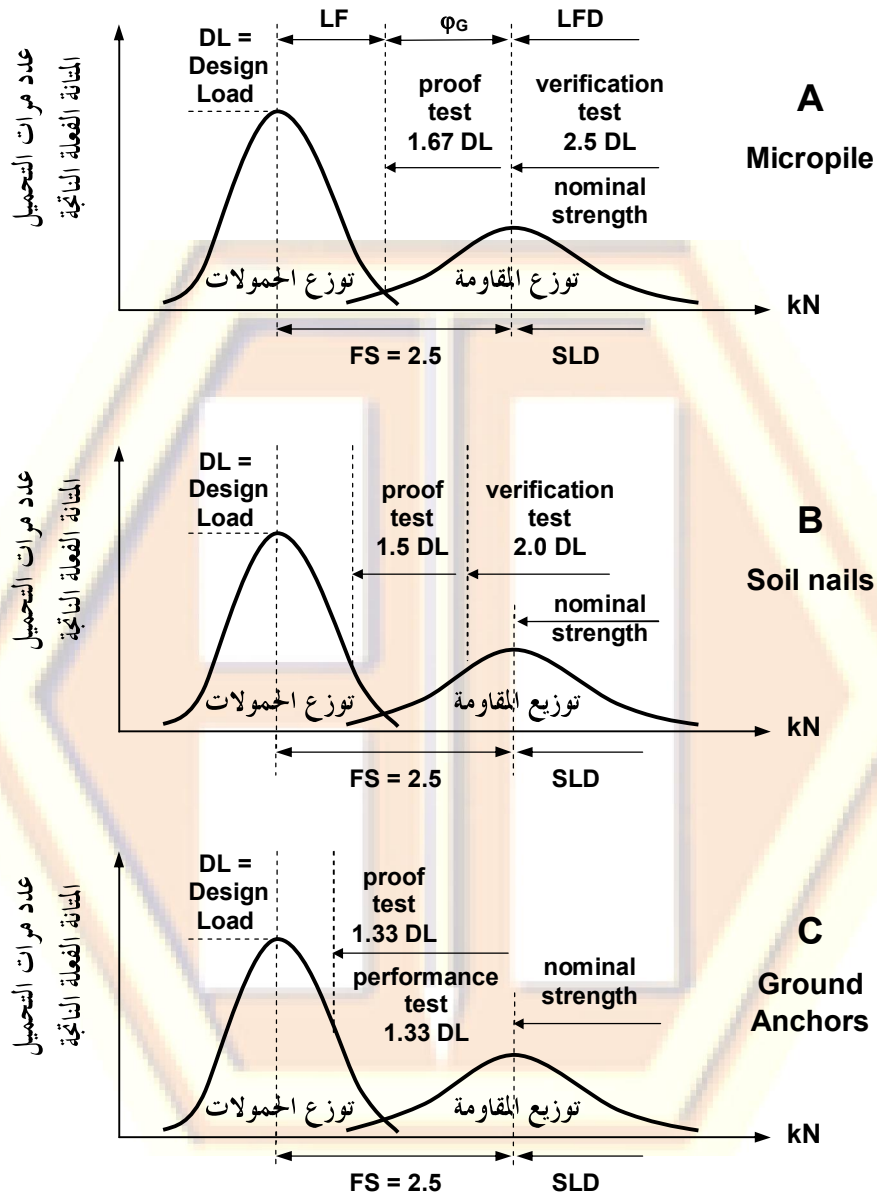
تجرى الاختبارات بحسب المواصفات الأمريكية (AASHTO)، وذلك على كل من الوتد الدقيق والقضيب المحقون ضمن التربة والإرساء (soil nails and ground anchors) كما في الجدول التالي. يبين الشكل (46) المقارنة السابقة التي تساعد في توضيح العلاقة بين مفهوم التصميم وفق طريقة (SLD) وطريقة (LFD).

الجدول (3.4)		
العناصر التي تجرى عليها التجربة	تجربة التحقق	تجربة المتانة القياسية
micropiles الأوتاد الدقيقة	2.5 DL	1.67 DL
soil nails الشدادات الإبرية	2.0 DL	1.5 DL
ground anchors شدادات التماسك	-	1.33 DL
DL = الحمولة التصميمية (أوحمولة الوتد التصميمية غير المصعدة)		

تجرى تجربة المتانة القياسية (كما يبين الشكل 3.4) للتأكد من معيار قدرة التحمل (DL x LF).

تجرى تجربة التحقق للتأكد من أن توزع المقاومة لن يزيد عن (ϕG) ، وأن كل العناصر غير المختبرة سوف تحقق معيار التحمل المذكور (DL x LF).

وكما ذكرنا أعلاه، فإن معامل الأمان (FS) عند تحديد قدرة تحمل الأوتاد الجيوتكنيكية يساوي (2.5)، بالتالي تكون حمولة اختبار التحقق تساوي (2.5 DL) أما حمولة اختبار المتانة تساوي (1.67 DL) وذلك من أجل الأخذ بالاعتبار قدرة التحمل الجيوتكنيكية لكل الأوتاد غير المختبرة، والتي يطلب منها تحقيق هذا المعيار.



الشكل 46 - تجارب الضغط المختلفة على الأوتاد الدقيقة.

2.6.4 التحقق الإنشائي: Structural verification

تجرى الاختبارات السابقة ضمن شروط معينة وخلال فترة قصيرة. أما تصميم الأوتاد فيجب أن يعتمد على نتائج تجارب التحقق من عدم الانهيار الإنشائي وذلك من خلال تجارب المتانة والتحقق، وبمعاملات أمان أصغر من تلك الجيوتكنيكية. يجب أن نحصل من هذه التجارب على نتائج تبين مدى الأمان المتعلق بعدم دخول الفولاذ على الشد أو على الضغط، أو حدوث التحنيط في مرحلة اللدونة. بالإضافة إلى معاملات الأمان في حال عدم انهيار البيتون.

تنص الكودات المختصة على أنه من أجل أنماط الانهيار المذكورة، يجب أخذ معامل أمان يساوي (FS = 1.25).. ومن ناحية أخرى تنص المواصفات العامة للأوتاد الدقيقة على عدم إجهاد عناصر الوتد المختبر بإجهاد يزيد على (80%) من قدرة التحمل.

في بعض الحالات يمكن أن تتطلب تجربة التحقق أوتاداً خاصة بالاختبار فقط، ذات أقطار أكبر من تلك العاملة (أي الأوتاد الدائمة)، أو ذات قضبان بمساحات أكبر، وذلك من أجل أن يكون وتد الاختبار أكثر صلابة وقادر على تحقيق مقاومة التماسك الجوتكنيكية. لكن ذلك لا يعطي فكرة عن التشوهات الانشائية الحاصلة في الأوتاد الدائمة الأقل صلابة. وفي هذه الحالات يجب القيام بتجربة المتانة لتقدير التشوهات الفعلية في الأوتاد العاملة وذلك تحت تأثير الحمولة التصميمية.

تعطي العلاقات التالية الحمولات المسموحة للجزء المغلف والجزء غير المغلف من الوتد وذلك من أجل (FS = 1.25).

■ الحمولة المسموحة على الجزء المغلف من الوتد:

$$F_{y \text{ steel}} = \min \text{ of } (F_{y \text{ - bars}} \text{ \& } F_{y \text{ - casing}})$$

- حمولة الاختبار المسموحة على الشد:

$$P_{t \text{ - allowable}} = 0.80 F_{y \text{ - steel}} (Area_{\text{bars}} + Area_{\text{casing}})$$

- حمولة الاختبار المسموحة على الضغط:

$$F_{\text{allowable}} = \frac{F_{y \text{ - steel}}}{FS} \dots FS = 1.25$$

■ الحمولة المنقولة على الجزء غير المغلف من الوتد:

$$P_{\text{transfer - allowable}} = \left(\frac{\alpha_b}{FS} \right) \cdot \pi \cdot D_{\text{bond}} \cdot (\text{Plunge Length})$$

حيث (FS = 1.25) من أجل حمولات تجارب التحميل الحقلية.

- حمولة الاختبار المسموحة على الشد:

$$P_{t \text{ - allowable}} = 0.80 F_{y \text{ - bar}} \cdot area_{\text{bars}} + P_{\text{transfer allowable}}$$

- حمولة الاختبار المسموحة على الضغط:

$$P_{c-allowable} = 0.68 f_{c-grout} + 0.80 F_{y-bar} area_{bar} + P_{transfer allowable}$$

7.4 قدرة التماسك بين البيتون والفولاذ:

Grout to steel bond capacity

يسمح التماسك بين البيتون (أو المونة) والفولاذ في الوتد الدقيق، بالعمل المشترك بينهما، ونقل هذه الحمولة من الفولاذ إلى المونة المحيطة. تعتبر قيمة قوى التماسك بين المونة والفولاذ في الكودات المختصة عادةً مثل (ACI – 318-13) كما يلي:

للقضبان الملساء: تتراوح بين (1 – 1.75 Mpa).

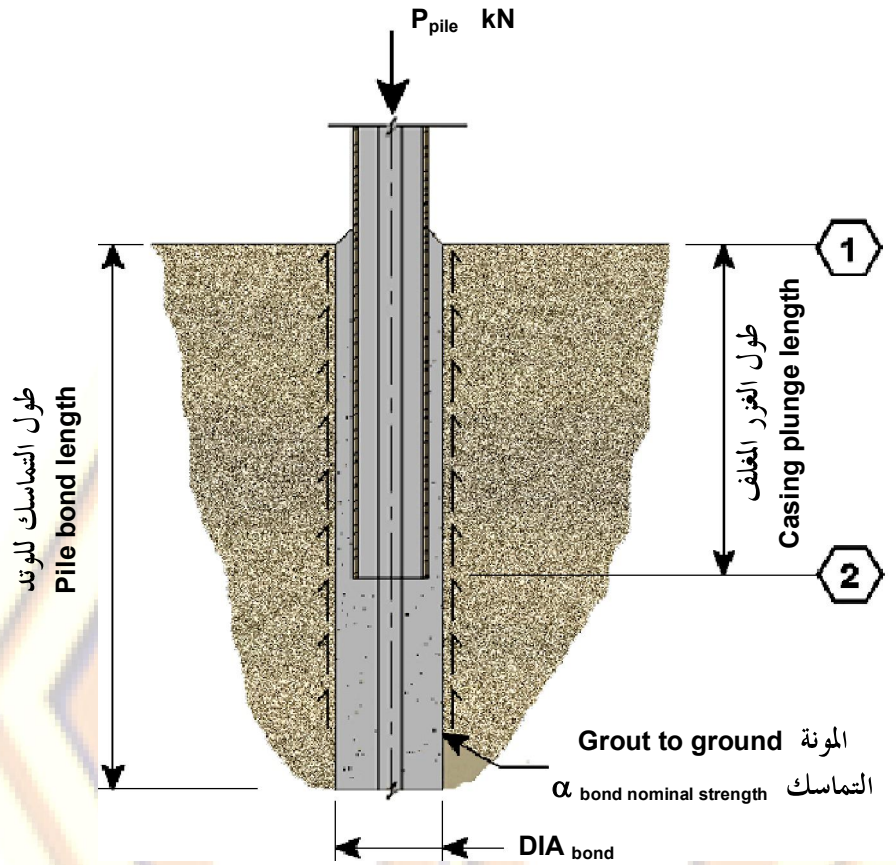
للقضبان المحلزنة: تتراوح بين (2 – 3.5 Mpa).

في حالة القوالب المعدنية لا يحدد التصميم قوى التماسك بين المونة والفولاذ إنما تُحدد هذه القوى من خلال قدرة التحمل الجيوتكنيكية والإنشائية. ينصح في حالة القوالب المعدنية بعدم طلي القوالب بالزيت أو الطلاء إنما يكفي بالتنظيف بالفراشي الفولاذية من أجل تأمين التماسك بين القالب المعدني والمونة.

8.4 تصميم طول الغرز: Design of plunge length

يبين الشكل (47) التنفيذ النموذجي لوتد دقيق بتسليح مختلط، كما يوضح كيفية إرساء قالب الوتد في قسم التماسك أعلى المونة، وتؤدي هذه العملية إلى نقل الحمولات من الجزء العلوي المغلف إلى الجزء غير المغلف، والذي يعمل بالتماسك. كما تسمح بنقل جزء من حمولة الوتد إلى الأرض وبالتالي تخفيض حصة الجزء غير المغلف من الوتد والذي يعتبر الجزء الأضعف منه.

تحتسب الحمولة المنقولة ضمن طول الغرز (plunge length - LP) كما في الشكل (46) السابق، وكما في الفقرة (2.4.5.4) التي تعتمد على واحدة التماسك. يجب الأخذ بالاعتبار الانخفاض في نقل الحمولة نتيجة تداخل التماسك بين القالب المعدني والمونة الإسمنتية من جهة، وبين المونة الإسمنتية نفسها، وذلك كما يبينه الشكل (47)، حيث نجد فيه أنه كلما زادت الحمولة المطبقة على الوتد يزيد احتمال فقدان التماسك بين القالب المعدني والمونة المحيطة به. مما يؤدي إلى الانخفاض في طول الغرز وبالتالي انخفاض الحمولة المنقولة.



TRANSFER LOAD: الحمولة المنقولة

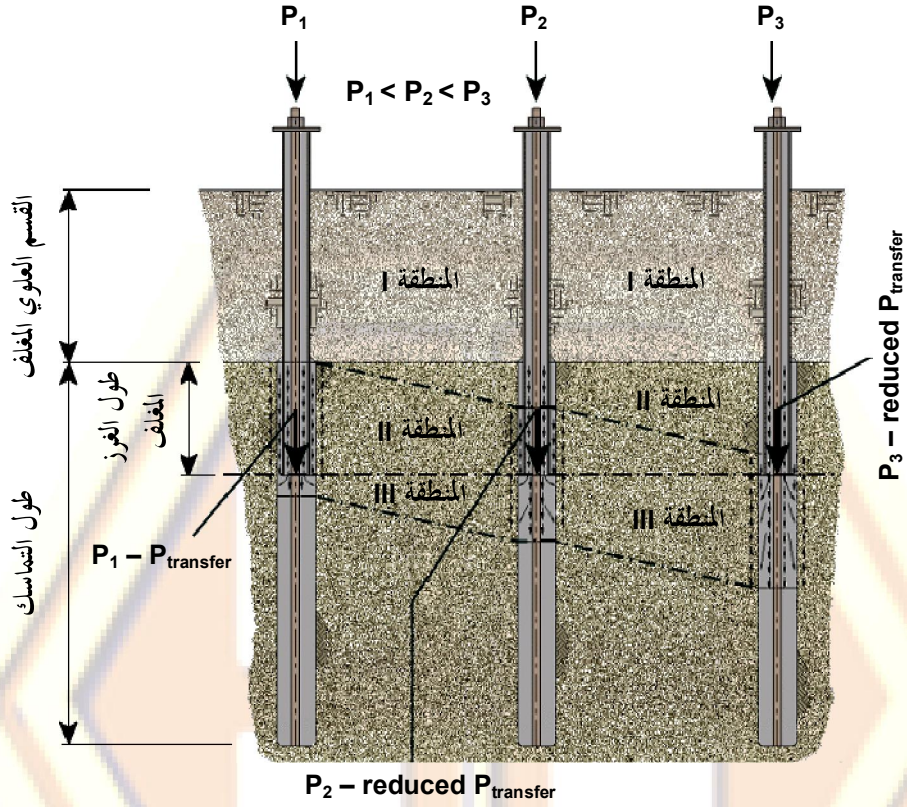
$$P_{TRANSFER} (kN) = (\alpha_{BOND\ NOMINAL\ STRENGTH}) \times 3.14 \times DIA_{bond} \times (PLUNGE\ LENGTH)$$

LOAD CARRIED BY PILE @ DEPTH 1 = P_{PILE}

LOAD CARRIED BY PILE @ DEPTH 2 = $P_{PILE} - P_{TRANSFER}$

الشكل 47

تشكل قيمة الحمولة المنقولة عاملاً هاماً في تصميم الطول غير مغلف من الوتد، لذلك يجب تحديد هذه القيمة بدقة في الحسابات، كما يجب التحقق من خلال تجارب التحميل الحقلية من قدرة الوتد على نقل الحمولة، وخاصة إذا كان الوتد مصمماً لكي يتلقى حمولة استثمارية كبيرة.



المنطقة I: غلاف على كامل الطول.
المنطقة II: الحمولات المنقولة من الغلاف إلى المونة المحيطة.
المنطقة III: الحمولات المنقولة من الغلاف إلى منطقة الاستناد في الأسفل.

الشكل 48

9.4 توافق التشوهات بين المكونات الإنشائية:

Strain compatibility between structural components

إن توافق التشوهات بين المونة الإسمنتية والفولاذ أمر هام يجب أخذه بعين الاعتبار عند تصميم الأوتاد الدقيقة، وخصوصاً عند استخدام فولاذ عالي المقاومة، حيث تتوفر قضبان التسليح بإجهاد خضوع يصل إلى (828 Mpa).
في حالة التصميم بالطريقة الحدية يمكن أن تزيد التشوهات في البيتون، والمراقبة لإجهاد الخضوع في التسليح والذي يساوي (85% fy)، عن قدرة تحمل

البيتون لهذه التشوهات. وقد تؤدي هذه الظاهرة إلى انهيار البيتون. لذلك نجد أنه من الأهمية بمكان تخفيض قيمة إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم لتجنب انهيار البيتون المحيط بقضبان التسليح.

توصي المواصفات الأميركية (AASHTO) بتحديد قيمة التشوهات الناتجة في البيتون بالقيمة (0.003) والتي توافق إجهاد خضوع أعظمي قدره (600 Mpa). أما بالنسبة للقوالب المعدنية فإن توافق التشوهات بين فولاذ القالب والبيتون المحيط به أقل أهمية من حالة قضبان التسليح، وذلك لأن البيتون المحصور داخل القالب يقاوم التشوهات الناتجة، مع العلم أن قيمة إجهاد الخضوع لفولاذ القوالب تصل إلى حد أقصى قيمته (551 Mpa).

إن توافق التشوهات بين القضبان عالية المقاومة والقالب المعدني، أمر يجب أخذه بالاعتبار، إذ أن مساحة مقطع القالب المعدني أكبر من مساحة مقطع فولاذ التسليح، وهذا يؤدي إلى توزيع الحصة الأكبر من الحمولة إلى القالب، كما أن التشوهات الموافقة لوصول إجهاد الخضوع في القضبان إلى $(0.85f_y)$ ، يؤدي إلى دخول فولاذ القالب في مرحلة اللدونة، وبالتالي عدم المحافظة على مقاومته.

استناداً إلى ما سبق نجد أنه من الضروري استخدام قضبان تسليح بإجهاد خضوع منخفض وتجنب استخدام الفولاذ ذي المقاومات العالية، وتتصح الكودات العالمية بعدم استخدام فولاذ تسليح ذو مقاومة أعلى من (600 Mpa) وإلا سيحتاج التصميم إلى دراسات خاصة تأخذ ذلك بالاعتبار.

10.4 وصلات قضبان التسليح مع القالب الفولاذي:

Reinforcing Bar and Casing Connections

كما ذكرنا في الفصل الثالث أنه من الشائع استخدام قضبان التسليح مع القالب المعدني بحيث تؤمن العمل المشترك في المقطع المختلط، وفي بعض الحالات يتم إنشاء الأوتاد الدقيقة في ظروف يكون فيها عنق الوتد قليل الارتفاع حيث يصل إلى أقل من متر واحد، الأمر الذي يمنع حدوث التماسك المطلوب بين القالب المعدني وقضبان التسليح، لذلك فإن الطريقة الشائعة لوصل قضبان التسليح بالقالب المعدني من أجل وصول المقاومة للمقطع المختلط لقيمتها التصميمية، هي بثني القضبان وإدخالها في جدران القالب المعدني. كما أن ملء القالب المعدني بالمونة بشكل جيد يساعد في تأمين الاستقرار لهذا النوع من الوصلات.

11.4 وصلات الوتد مع القاعدة (أو القبعة Cap):

Pile to Footing Connection

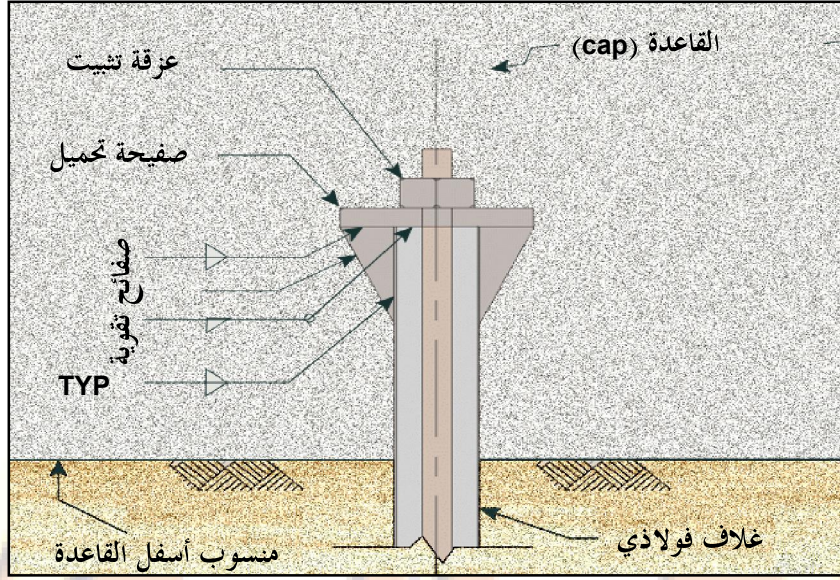
تعتبر القاعدة البيتونية (أو قبعة الأوتاد cap) العنصر الإنشائي المسؤول عن توزيع حمولة المنشأ على مجموعة الأوتاد الدقيقة، حيث نجد أنه في تصميم هذه

القاعدة وفقاً للكوود (AASHTO) أو للكوود (ACI- 318) أن وصلة الوتد مع القاعدة هي من أهم التفاصيل التي يجب مراعاتها. تعتمد وصلة الوتد مع القاعدة على قدرة تحمل هذه الوصلة، والمتعلقة بنوع التسليح المستخدم ضمن الوتد وتفاصيل تسليح القاعدة (القبة). هناك العديد من الأمثلة الشائعة لطرق الوصل كتلك الموضحة في الأشكال (48 – 49) والتي تتعرض للشد والضغط بحسب حالة التحميل، كما تبين الأشكال (50 – 51) أيضاً نماذج شائعة أخرى لوصلات بسيطة تتعرض للضغط فقط.

تتناول الفقرة التالية شرحاً مفصلاً عن كل نموذج من هذه النماذج. **➤ 1.** يبين الشكل (49) وصلة وتد بتسليح مختلط مع قاعدة جديدة (CAP) حيث تنقل حمولات القاعدة من شد وضغط إلى الوتد عبر الصفيحة العلوية، كما تؤمن الصفائح الجانبية الداعمة مقاومة انعطاف للصفيحة وتؤمن كذلك طولاً إضافياً لشريط اللحام من أجل نقل الحمولة من الصفيحة إلى القالب المعدني.

هناك تفاصيل إضافية لهذه الوصلة كما يلي:

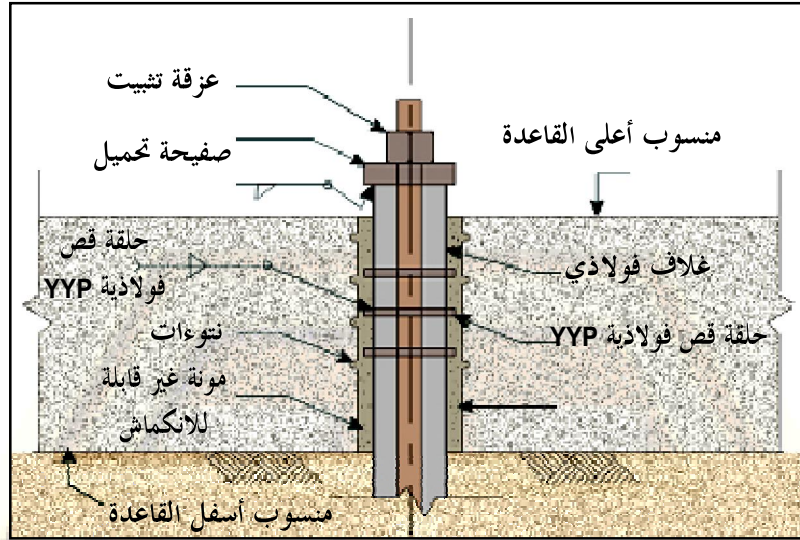
- يتم نقل جزء من حمولة الشد إلى قضبان التسليح عبر العزقة مما يخفض من كمية اللحام المطلوبة بين الصفيحة والقالب المعدني.
- يؤمن التماسك بين القالب المعدني وبيتون الأساس مقاومة إضافية في نقل الحمولة مما يقلل من أبعاد الصفيحة واللحام المستخدم لتثبيت الصفيحة مع القالب المعدني.
- يتم نقل جزء من حمولة الضغط من الصفيحة المعدنية إلى القالب المعدني عبر التحميل، وهذا يستدعي العناية بالسطح الفاصل بين القالب المعدني والصفيحة.



الشكل 49

➤ 2. يبين الشكل (50) وصلة وتد بتسليح مختلط (من قالب معدني وقضبان تسليح) مع قاعدة علوية مصبوبة قبل الوتد، وهنا يتم حفر القاعدة من أجل إدخال الوتد المطلوب ثم تنظف هذه الحفرة من نواتج الحفر، وتحقن بالمونة الاسمنتية غير القابلة للانكماش.

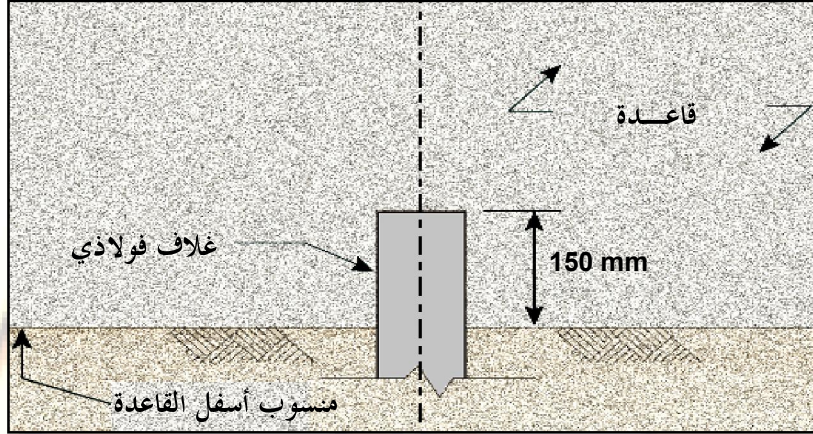
يتم لحام الحلقات المعدنية أعلى المقطع المعدني قبل ادخال الوتد في القاعدة حيث تنقل هذه الحلقات الحمولات من الوتد إلى المونة المحقونة حول الوتد. يتوجب في هذه الحالة تأمين تباعد كاف بين الحلقات المعدنية من أجل تجنب تركيز الإجهادات في المونة المحيطة بالوتد.



الشكل 50

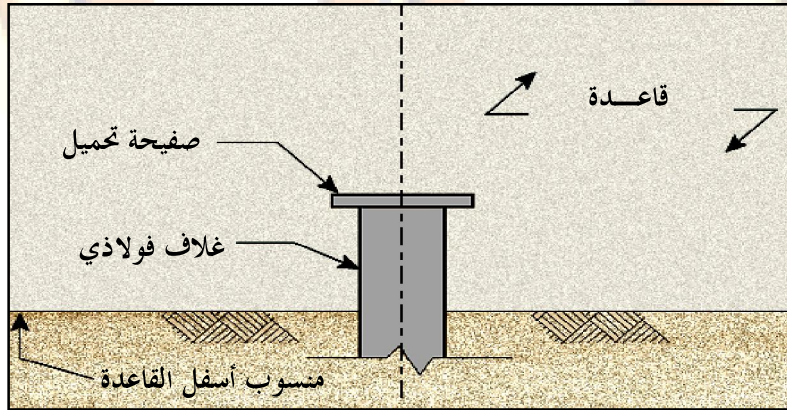
- يتم التحكم بمقاومة هذه الوصلة من خلال حسابها كما يلي:
- حساب مجموع مقاومات الحلقات المعدنية.
- حساب قدرة نقل الحمولة من المونة الاسمنتية المحقونة حول الوتد إلى بيتون القاعدة.
- حساب مقاومة البيتون القديم لإجهادات القص.
- ومن أجل النقل الجيد للحمولة من المونة المحقونة حول الوتد إلى القاعدة، يتم عادةً إنشاء نتوءات ضمن الحفرة بعمق (20 mm) وعرض (32 mm)، كما يمكن إدخال قضبان تسليح شاقولية ضمن بيتون القاعدة وحقنها بالايوكسي من أجل تأمين مقاومة إضافية ضد الثقب.
- يمكن أن تصل مقاومة هذه الوصلة إلى (2660 kN)، وذلك ضمن حفرة قطرها (25 cm) مع قاعدة قديمة بعمق (60 cm).
- 3. يبين الشكل (51) وصلة وتد بتسليح مختلط مع قاعدة جديدة، حيث يتم نقل حمولة الضغط من القاعدة إلى الوتد عبر التحميل في أعلى الوتد، ومن خلال الصفيحة المثبتة في نهاية قضيب التسليح... وهناك جزء من حمولة الضغط ينتقل إلى الوتد من خلال سطح التماس بين القاعدة الجديدة والوتد.
- يتم نقل حمولة الشد من القاعدة إلى الوتد عبر صفيحة تربط قضبان التسليح.

تنتقل الحمولة الضاغطة في هذه الوصلة من القاعدة إلى الوتد عبر الصفيحة المثبتة في نهاية القضيب، وعبر قوى التماسك بين قضيب التسليح وبيتون القاعدة الجديدة. كما ينتقل جزء من حمولة الشد إلى الوتد عبر سطح التماس بينه وبين القاعدة. ➤ 5. يبين الشكل (53) وصلة نموذجية لوتد مع قاعدة بحمولات ضاغطة متوسطة القيمة... حيث تكون الإجهادات أعلى الوتد ضمن الحدود المقبولة.



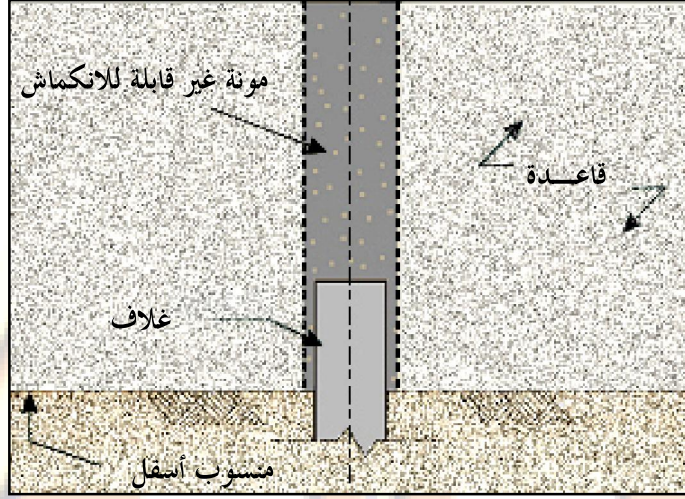
الشكل 53

➤ 6. يبين الشكل (54) وصلة نموذجية لوتد مع قاعدة بحمولات ضاغطة كبيرة نسبياً، حيث هناك حاجة لتركيب صفيحة تحميل أعلى القالب المعدني من الوتد لمقاومة الإجهادات المرتفعة.



الشكل 54

7. يبين الشكل (55) وصلة ضغط بين وتد دقيق وأساس سابق حيث يتم نقل القوى الضاغطة عبر التماسك بين المونة المحقونة الغير قابلة للانكماش والأساس القديم كم أن قيمة التماسك تعتمد على طريقة الحفر والمواد المستخدمة.



الشكل 55

12.4 اعتبارات جيوتكنيكية إنشائية إضافية:

Additional geotechnical/structural considerations

1.12.4 تقدير الانتقالات الإنشائية المحورية المتوقعة في الوتد:

Prediction of Anticipated Structural Axial Displacements

لا تعتبر صلابة الوتد المحورية في العديد من التصميمات أمراً مهماً، لذلك لا يتم اعتبارها في الحسابات. أما في حالة دراسة الأساسات التي تخضع لتأثيرات الزلازل فيجب أخذ هذه الصلابة بالاعتبار من أجل توافق التشوهات بين الأساسات القديمة والأوتاد المحدثّة، وذلك من خلال تضمين هذه الصلابة في التحليل الزلزالي للأوتاد الجديدة.

عندما يتطلب تصميم الوتد التشدد في الحد من الانتقالات، فمن الضروري حساب الصلابة المحورية للوتد لتقييم الانتقالات المتوقعة والتحقق منها ومن قدرة تحمل الوتد من خلال تجارب التحميل الحقلية، ويمكن في مرحلة التصميم التنبؤ بقيمة الصلابة المبدئية المطلوبة للوتد وبقيمة الانتقالات الناتجة عن تأثير الشد والضغط.

من أكثر النظريات الشائعة لتقدير الانتقالات هي نظرية (t - z)، (حيث يمثل الرمز t إجهاد القص والرمز z الانتقال الشاقولي). وقد تم تطوير هذه النظرية للأوتاد ذات الاقطار الكبيرة حيث تعتمد على نمذجة الوتد على شكل سلسلة من العناصر المحدودة، وتمثل التربة على شكل نوابض محورية. لكنها تهمل تأثير التربة المحيطة وظروف التنفيذ.

هناك نظرية أبسط لتحليل الانتقالات في الأوتاد مشابهة لتلك المستخدمة في تحليل شدادات التربة يمكن من خلالها تقدير الانتقالات المرنة (القابلة للرجوع) والانتقالات المتبقية (غير القابلة للرجوع) في الوتد الدقيق.

تعتمد قيمة الانتقالات المرنة بشكل أساسي على مقدار الحمولة المطبقة وعلى الطول الفعال للوتد، فإذا كان الوتد يعتمد في نقل الحمولة على الاحتكاك والتماسك مع التربة المحيطة دون نقل جزء مهم من الحمولة عبر الاستناد، يكون الطول الفعال المرن للوتد حينئذ ثابتاً، وتكون الانتقالات المرنة متناسبة مع الحمولة.

عندما تزيد الحمولة المطبقة على الوتد، تنخفض قيمة التماسك بينه وبين التربة في الجزء العلوي منه، بينما تأخذ هذه القيمة بالتزايد باتجاه أسفل الوتد.

يمكن تحديد قيمة الانتقالات المرنة والانتقالات المتبقية من خلال تجارب التحميل الحقلية، كما يمكن تحديدها بطريقة نظرية (الأوتاد الدقيقة والانكورات) من العلاقة التالية:

$$\Delta_{\text{elastic}} = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

حيث:

(Δ_{elastic}) الانتقال أو الهبوط المرن (m).

(P) الحمولة المطبقة على الوتد (kN).

(L) الطول المرن للوتد (m).

(E) معامل مرونة مادة الوتد (kN/m²).

(A) مساحة مقطع الوتد (m²).

(E . A) صلابة مقطع الوتد (kN/m² or kPa).

يعتبر تحديد الصلابة في الأوتاد الدقيقة عملية معقدة نسبياً قياساً بتحديدها في شدادات التربة، وذلك للأسباب التالية:

- تساهم المونة في حساب صلابة الوتد الدقيق باعتباره يعمل على الضغط، في حين أنه في الشدادات تهمل صلابة المونة.

- يختلف التسليح المستخدم في الأوتاد عنه في الشدادات، حيث يكون عادةً من قضبان تسليح مع قالب معدني في القسم العلوي وقضبان تسليح في القسم السفلي. في حين يسلح الشداد بنوع تسليح واحد فقط.
- يلعب البيتون المحصور في القالب المعدني دوراً مؤثراً في صلابة الوتد الدقيق.

إذاً فيغية تحديد الانتقال في مرحلة التصميم يجب تحديد صلابة الوتد كما يلي:
يتم تحديد صلابة المقطع المختلط من الوتد بالعلاقة التالية:

$$E \cdot A_{pile} = [A_{grout} \cdot E_{grout}] + [A_{steel} \cdot E_{steel}]$$

لقد وجد من التجارب المخبرية أن قيمة معامل مرونة البيتون المحصور ضمن القالب المعدني تتراوح بين (Egrout = 31000 - 23000 Mpa)، وتعطي هذه القيم نتائج مقبولة.

يتم تقدير كل من الطول المرن والانتقال المتبقي من الوتد بالاعتماد على كل مما يلي:

- طريقة تنفيذ الوتد.
 - نسبة ارتصاص التربة.
 - الخبرة في أعمال الأوتاد الدقيقة.
- يكون الطول المرن في حالة الأوتاد المنفذة في تربة متراسة على طول الوتد صغيراً، إلا إذا امتد القالب إلى الطبقة المتراسة من التربة فيمتد الطول المرن إلى أسفل القالب، أما الانتقال المرن فيتزايد بزيادة الحمولات المطبقة أو مع زيادة تخلخل التربة أو مع نقصان قدرة التماسك الجيوتكنيكية... ففي حالة الوتد المنفذ في تربة متوسطة الكثافة مع حمولة تصل إلى (1300 kN) مثلاً تتراوح قيمة الانتقالات المتبقية بين (2 - 5 mm)، ويمكن الاعتماد على هذه القيم أثناء تجربة التحميل للتحقق من أداء الوتد.

يجب الانتباه حين تصميم الأوتاد إلى أنه إذا امتد الطول المرن إلى ما بين ثلث ونصف طول التماسك فقط، فإن ذلك يشير إلى احتمال حدوث انهيار جيوتكنيكي، أما إذا امتد إلى أسفل الوتد، فذلك يشير إلى قيمة غير دقيقة للصلابة.

13.4 الانتقال الناتج عن زحف التربة:

Long Term Ground Creep Displacement

يعرف الزحف في التربة بأنه التشوهات الحاصلة في بنية التربة عبر الزمن، أو بعبارة أخرى الهبوطات والانتقالات طويلة الاجل (ليست آنية) تحت تأثير حمولات ثابتة أو متغيرة. وتعتمد قيمة هذه الانتقالات على ما يلي:

- 1 - نوعية التربة.
- 2 - مونة جذع الوتد والمونة المحيطة به.
- 3 - فولاذ التسليح على طول القسم السفلي من الوتد (التماسك) ملاحظة:

تهمل عادة تشوهات الزحف الناتجة عن فقدان التماسك بين فولاذ التسليح والمونة (أي المتعلقة بالبندين الأخيرين).
تعتبر تشوهات الزحف مع مرور الزمن كبيرة في الترب الغضارية ذات الحبيبات الناعمة عموماً وهناك أنواع من هذه الترب تكون أكثر حساسية للزحف من غيرها.

14.4 هبوط مجموعة الأوتاد: Settlement of Pile Groups

بالإضافة إلى أهمية حساب الانتقال المحوري للوتد المنفرد، لا بد من الأخذ بالاعتبار أثناء التصميم هبوط مجموعة الأوتاد، لأن الوتد المنفرد ينقل الحمولة إلى التربة الملامسة له بشكل آني، بينما تقوم مجموعة الأوتاد بتوزيع الحمولة إلى طبقة التربة السفلية، ويتم حساب هبوط مجموعة الأوتاد الدقيقة بنفس طريقة الحساب للأوتاد العادية المحفورة... (انظر الجزء السادس من هذه السلسلة).

15.4 قدرة التحمل للحمولات الجانبية: Lateral Load Capacity

تعتمد مقاومة الأوتاد للحمولات الجانبية على الخصائص التالية:

- قطر وعمق الوتد الدقيق.
- الصلابة الجانبية.
- شروط اتصال الوتد مع القاعدة (cap).
- خصائص التربة المحيطة بالوتد.

يجب الأخذ بالاعتبار تأثير طريقة تنفيذ الوتد على التربة المحيطة، إذ يمكن أن تتضمن هذه التأثيرات تفكك التربة أثناء حفر الوتد وتكتفها نتيجة ضخ المونة. يمكن زيادة مقاومة الوتد الدقيق للحمولات الجانبية ضد الانهيار من خلال طريقة تنفيذه، فمن هذه الطرق مثلاً:

- تنفيذ الوتد بطريقة الدق أو بشكل مائل.
- زيادة أبعاد القالب المعدني في القسم العلوي من الوتد مما يؤدي إلى زيادة القطر الفعال ومقاومة الوتد للانعطاف، بالإضافة إلى الدعم الجانبي من التربة.
- لحساب مقاومة الأوتاد الجانبية للانتقالات الجانبية، يجب تحديد العلاقة بين تشوهات الوتد والتربة المحيطة، وهذه العلاقة غير خطية... انظر المثال الشامل في بداية الجزء التاسع من هذه السلسلة.
- يوجد برامج متخصصة لحساب لكل من الصلابة الجانبية والمقاومة الجانبية للوتد، مثل برنامج (COM624-P)، كما توجد طريقة خطية مبسطة لحساب المقاومة الجانبية للوتد كما في المثال التالي:

16.4 مثال عددي أول:

يطلب حساب المقاومة الجانبية لوتد وفق البيانات التالية:

- قطر الوتد $OD = 224.5 \text{ mm}$
- سماكة الغلاف $w = 11.99 \text{ mm}$
- $ID = 244.5 - 2 \times 11.99 = 220.52 \text{ mm}$
- $E_{\text{casing}} = 200000 \text{ Mpa}$
- $E_{\text{grout}} = 31000 \text{ Mpa}$
- الانتقال الجانبي المفترض للوتد $(0.25 \text{ in} = 6.35 \text{ mm})$.

الحل:

من أجل هذه المعطيات يكون:

$$I_{\text{casing}} = \frac{\pi}{64} (OD^4 - ID^4)$$

$$I_{\text{casing}} = \frac{\pi}{64} (244.50^4 - 220.52^4) = 59000000 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{grout}} = \frac{\pi}{4} (ID^4)$$

$$I_{\text{grout}} = \frac{\pi}{64} (220.52^4) = 116000000 \text{ mm}^4$$

$$EI = E_{\text{casing}} \cdot I_{\text{casing}} + E_{\text{grout}} \cdot I_{\text{grout}} = 15396 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

تحسب مقاومة الوتد الجانبية وفق هذه الطريقة والمسببة لانتقال جانبي قدره $(1/4 \text{ in} = 6.35 \text{ mm})$ ، بالعلاقة التالية:

$$P = \left[\frac{\delta_p}{F_\delta} \right] \times \frac{EI}{\left[\left(\frac{EI}{f} \right)^{1/5} \right]^3}$$

تمثل (f) معامل رد فعل التربة، وهو يعطى من أجل التربة الكثيفة الجافة، والمفترضة في هذا المثال ($f = 17600 \text{ kN/m}^3$)، كما يلي.

$$F_\delta = 2.60 \text{ for } L = 3 T \quad \dots \quad L = \text{Pile Length} \quad , \quad T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{1/5}$$

$$F_\delta = 2.25 \text{ for } L > 5 T$$

حيث:

(L) طول الوتد و $T = (EI / f)^{1/5}$... إذا:

$$T = \frac{15396}{17600} = 0.97 \text{ m}$$

من أجل طول الوتد ($L > 5T$) نستخدم ($F_\delta = 2.25$) ... إذا:

$$P = \left[\frac{6.35}{2.25} \right] \times \frac{15396}{[0.97]^3} = 47.1 \text{ kN}$$

تعتبر قيمة الانتقال الجانبي في هذا المثال السابق (6.35 mm) هي قيمة حدية للانتقال من أجل الحمولات غير الزلزالية... أما في حال في حالة الحمولات الزلزالية (حيث قيم الانتقال الجانبي أعلى)، فيجب عند التصميم اعتماد حدود أكبر من القيمة المذكورة.

يجب أن تقاوم الأوتاد المائلة الحمولات الجانبية الناتجة عن المركبة الأفقية لحمولة الوتد المحورية، وعندما تكون هذه الحمولات كبيرة نسبياً يمكن إدخال تأثير صلابة كل من الوتد والتربة في الحسابات كما ذكرنا سابقاً، وينصح بعدم إدخال تأثير الضغط السلبي للتربة على الأساسات لأن تفعيل دور الضغط المذكور يولد حدوث انتقالات كبيرة.

يبين الجدول التالي قيم الصلابة لمجموعة من الأوتاد بثلاث أحجام مختلفة مع ست قيم مختلفة لمعامل رد فعل التربة (ثلاث منها فوق منسوب المياه الجوفية وثلاث أخرى تحت منسوب المياه الجوفية) كما يوضح الجدول المذكور مقارنة مع ثلاثة أنواع مختلفة من الأوتاد المعدنية من مقطع (HP).

الجدول (4.4) الانزياح الجانبي (1/4 in = 6.35 mm) للأوتاد الدقيقة مع قاعدة (Cap) من الحمولات الجانبية (kN) في التربة رديئة التدرج.						
الكثافة تحت المياه الجوفية			الكثافة فوق المياه الجوفية			معامل رد فعل التربة f kN/m ³
كثافة عالية	كثافة متوسطة	كثافة منخفضة	كثافة عالية	كثافة متوسطة	كثافة منخفضة	
10681	4398	1256	17592	6597	2199	
36.7	21.6	10.2	49.5	27.5	14.2	HP 10 x 42 EI = 17477
47.2	27.7	13.1	63.6	35.3	18.3	HP 12 x 53 EI = 32707
65.8	38.6	18.2	88.8	49.3	25.5	HP 14 x 89 EI = 75235
15.1	8.9	4.2	20.4	11.3	5.9	MP 139.7x9.17 w _{all} EI = 1905
22.7	13.3	6.3	30.6	17.0	8.7	MP 177.8x12.65 w _{all} EI = 17477
34.9	20.5	9.6	47.1	26.1	13.5	MP 244.5x11.99 w _{all} EI = 15396
ملاحظات:						
- (HP) وند بمقطع (H) ... و (MP) وند دقيق (micropile). - تم اعتماد قيم معامل رد فعل التربة (f) من الكود (AISC) بحسب الجدول (5.4). - استخدمت في الجدول السابق واحدة (kN) للحمولة التي تسبب انتقالاً جانبياً قدره (6.35 mm = 1/4 in).						

يمكن استخدام قيم هذا الجدول بشكل متناسب، فمثلاً تكون الحمولة الجانبية المسببة لانتقال قدره (12.7 mm) لوند بمقطع (244.5 mm ، 11.99 mm) هي (47.1 x 2 = 94.2 kN).
يوضح الجدول التالي قيم معامل رد فعل التربة (f) المستخدمة في الجدول (4.4)، وذلك بحسب الكود (AISC).

الجدول (5.4) خصائص التربة الخشنة رديئة التدرج			
فوق المياه الجوفية			
الخصائص	γ_e (kN/m ³)	ϕ (degrees)	f (kN/m ³)
كثافة منخفضة	14.7	28	2199
كثافة متوسطة	17.3	30	6597
كثافة عالية	17.3	36	17592
تحت المياه الجوفية			
كثافة منخفضة	8.6	28	1256
كثافة متوسطة	9.4	30	4398
كثافة عالية	10.2	36	10681

17.4 التحنيط والاستقرار الجانبي: Buckling & Lateral Stability

تعتبر ظاهر التحنيط في الأوتاد الدقيقة من الظواهر الهامة جداً والتي تجب دراستها بعناية ودقة، لأن مقطع هذه الأوتاد صغير.

لقد تمت دراسة هذه الظاهرة في كثير من الأبحاث من خلال نماذج رياضية وتجارب حقلية، وتبين أن ظاهرة التحنيط في الأوتاد الدقيقة تعتبر ذات أهمية قصوى في التربة السيلتية والتربة التي تحتوي على مواد عضوية والتربة الغضارية، أي التربة ذات معامل المرونة الأقل من (0.5 Mpa).

يعتبر الطول غير المسنود جانبياً للوتد العامل أكثر تأثيراً على ظاهر التحنيط في هذه الأوتاد، والذي يتم حسابه أثناء مرحلة التصميم من خلال معامل الطول الفعال للتحنيط (K)، وطول الوتد غير الممسوك أو غير المسنود جانبياً (L)، وذلك عند تحديد مقاومة الوتد على الضغط سواء أكان الحساب طريقة التصميم على حمولات الاستئثار (SLD) أو بطريقة التصميم بتصعيد معاملات الحمولة (LFD). فإذا كانت القيمة (K . L = 0) فلا يوجد عندئذٍ تأثير لظاهرة التحنيط على الوتد.

تستخدم العلاقات التالية في حساب حمولة الوتد مع الأخذ بالاعتبار ظاهرة التحنيط:

1.17.4 التصميم بطريقة حمولات الاستثمار (SLD):

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot E_{\text{steel}}}{f_{y-\text{steel}}}}$$

$$\text{if } \frac{k \cdot L}{r} = 0 \Rightarrow F_a = \frac{f_{y-\text{steel}}}{F_s} \dots F_s = 2.12$$

$$\text{if } 0 < \frac{k \cdot L}{r} \leq C_c \Rightarrow F_a = \frac{f_{y-\text{steel}}}{F_s} \times \left[1 - \frac{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2 \cdot f_{y-\text{steel}}}{4 \pi^2 \cdot E_{\text{steel}}} \right]$$

$$\text{if } \frac{k \cdot L}{r} \geq C_c \Rightarrow F_a = \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{steel}}}{F_s \cdot \left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$

الحمولة التصميمية المسموحة:

$$P_{c-\text{allowble}} = \left[0.4 f_{c-\text{grout}} \cdot \text{Area}_{\text{grout}} + \frac{f_{y-\text{steel}}}{F_s} (\text{Area}_{\text{steel}} + \text{Area}_{\text{casing}}) \right] \times \frac{f_a}{\frac{f_{y-\text{steel}}}{F_s}}$$

2.17.4 التصميم بحسب طريقة (LFD):

من أجل الأخذ بالاعتبار توافق الانفعالات بين الغلاف وقضبان التسليح، يجب اعتبار أن حد الخضوع ($f_{y-\text{steel}}$) هو القيمة الأصغر بين ($f_{y-\text{bar}}$) و ($f_{y-\text{casing}}$).

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot E_{\text{steel}}}{f_{y-\text{steel}}}}$$

$$\text{if } \frac{k L}{r} = 0 \Rightarrow F_a = F_{y-\text{steel}}$$

$$\text{if } 0 < \frac{k L}{r} \leq C_c \Rightarrow F_a = F_{y-\text{steel}} \left[1 - \frac{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2 \cdot F_{y-\text{steel}}}{4 \pi^2 \cdot E_{\text{steel}}} \right]$$

$$\text{if } \frac{k L}{r} \geq C_c \Rightarrow F_a = \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{steel}}}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$

الحمولة التصميمية المسموحة:

$$P_{c-nominal} = \left[0.85 f'_{c-grout} \cdot Area_{grout} + f_{y-steel} (Area_{bar} + Area_{casing}) \right] \times \frac{f_a}{f_{y-steel}}$$

يستخدم معامل التخفيض ($\phi_c = 0.85$) مع ($P_{c-design} = \phi_c \times P_{c-nominal}$) لحساب الحمل التصميمية كما يلي:

$$P_{c-design} = 0.85 \left[(0.85 f'_{c-grout} \cdot Area_{grout} + f_{y-steel} (Area_{bar} + Area_{casing})) \right] \times \frac{f_a}{f_{y-steel}}$$

لتوضيح كيفية حساب حمولة الوتد بعد التحنيط نستعرض المثال التالي:

18.4 مثال عددي ثاني:

لدينا وتد غير مسنود جانبيًا على طول من أسفل الأساس يساوي ($L = 3$ m) (أي الطول الذي يهمل فيه تأثير إسناد التربة الجانبية للوتد بسبب الاحتكاك). يطلب حساب مقاومة هذا الوتد لحمولات الضغط المحوري وذلك بالطريقتين (LFD ، SLD).

الحل:

أولاً - حساب مقاومة الوتد بطريقة (SLD):

لدينا ($L = 3$ m) و ($FS = 2.12$) وسنعتبر الوتد موثوق الطرفين.. أي أن ($K = 0.65$)، كما سنفترض أن:

$$\begin{aligned} E_{steel} &= 200000 \text{ Mpa} \\ r_{casing} &= 46 \text{ mm} \\ area_{casing} &= 3224 \text{ mm}^2 \\ area_{bar} &= 1452 \text{ mm}^2 \\ area_{grout} &= 10240 \text{ mm}^2 \\ f_{y-casing} &= 241 \text{ Mpa} \\ f_{y-bar} &= 520 \text{ Mpa} \\ f'_{c-grout} &= 34.5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

يكون إذاً:

$$\frac{K \cdot L}{r_{casing}} = 42.38 < C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot E_{steel}}{F_{y-steel}}} = 128$$

$$F_a = \frac{f_{y\text{-steel}}}{FS} \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 F_{y\text{-steel}}}{4 \pi^2 E_{y\text{-steel}}} \right] = 108 \text{ Mpa}$$

$$P_{c\text{-allowble}} = \left[0.4 f_{c\text{-grout}} \cdot \text{area}_{\text{grout}} + \frac{f_{y\text{-steel}}}{FS} (\text{area}_{\text{grout}} + \text{area}_{\text{casing}}) \right] \times \frac{f_a}{\frac{f_{y\text{-steel}}}{FS}}$$

$$P_{c\text{-allowble}} = 636 \text{ kN}$$

ثانياً - حساب مقاومة الوتد بطريقة (LFD):
كما هو مشروح أعلاه نجد:

$$F_a = f_{y\text{-steel}} \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 f_{y\text{-steel}}}{4 \pi^2 \cdot E_{\text{steel}}} \right] = 228 \text{ Mpa}$$

$$P_{c\text{-nominal}} = \left[0.85 f_{c\text{-grout}} \cdot \text{area}_{\text{grout}} + f_{y\text{-steel}} (\text{area}_{\text{bar}} + \text{area}_{\text{casing}}) \right] \times \frac{f_a}{f_{y\text{-steel}}}$$

$$P_{c\text{-nominal}} = 1349 \text{ kN}$$

$$\phi_c = 0.85 \Rightarrow \phi_c \cdot P_{c\text{-nominal}} = 1147 \text{ kN}$$

فهرس القسم الأول

الفصل الأول... مقدمة حول المجموعات الوتدية

- 1.1 ما هي الأوتاد الدقيقة
- 2.1 مزايا الأوتاد الدقيقة
- 3.1 مراحل التنفيذ
- 1.3.1 المرحلة الأولى - حفر واختراق الطبقة السطحية
- 2.3.1 المرحلة الثانية - تنظيف الثقوب مع تقدم الحفر
- 3.3.1 المرحلة الثالثة - حفر الثقوب في تربة قابلة للانهيال أثناء الحفر
- 4.3.1 المرحلة الرابعة - تركيب التسليح
- 5.3.1 المرحلة الخامسة - نزع القمصان
- 6.3.1 المرحلة السادسة - صب الوتد أو حقن المونة

الفصل الثاني... أنظمة تصنيف الأوتاد الدقيقة وتطبيقاتها

- 1.2 أنظمة تصنيف الأوتاد الدقيقة
- 1.1.2 التصنيف التصميمي
- 2.1.2 التصنيف التنفيذي
- 2.2 تطبيقات الأوتاد الدقيقة في المشاريع
- 1.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لتأسيس المنشآت الجديدة
- 2.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لتدعيم أساسات منشأ قائم
- 3.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة لرفع مقاومة الزلازل
- 4.2.2 استخدام الأوتاد الدقيقة في تدعيم التربة والمنحدرات
- 3.2 العوامل المؤثرة على اختيار الأوتاد الدقيقة

الفصل الثالث... مواد الأوتاد الدقيقة وتقنيات التنفيذ

- 1.3 مقدمة
- 2.3 أعمال الحفر
- 1.2.3 مقدمة حول أعمال الحفر
- 2.2.3 معدات وتقنيات الحفر

- 1.2.2.3 تقنية التحميل الزائد
- 2.2.2.3 تكنولوجيا الثقب المفتوح
- 3.2.3 رؤوس الحفر
- 3.3 الحقن أو الصب
- 1.3.3 مقدمة
- 2.3.3 الخلاطات وطرق حقن المونة
- 3.3.3 تقنيات الحقن
- 1.3.3.3 الحقن تحت تأثير الوزن الذاتي - النموذج (A)
- 2.3.3.3 الحقن تحت تأثير الضغط مع قالب - النموذج (B)
- 3.3.3.3 الحقن تحت ضغط لاحق - النموذج (C)
- 4.3.3.3 الحقن تحت ضغط لاحق - النموذج (D)
- 4.3 أنواع التسليح
- 1.4.3 قضبان التسليح
- 1.2.4.3 قضبان التسليح المستخدمة في البيتون المسلح
- 2.2.4.3 قضبان التسليح ذات اللولبة المستمرة
- 3.2.4.3 قضبان التسليح ذات اللولبة المتقطعة
- 2.4.3 الأنابيب التسليح المفرغة ذات السنن المستمرة
- 3.4.3 الأنابيب التسليح الفولاذية
- 5.3 التسليح المختلط
- 6.3 الحماية من التآكل
- 1.6.3 حماية قضبان التسليح بطبقة الغراوت
- 2.6.3 الحماية المضاعفة لقضبان التسليح
- 3.6.3 حماية قوالب التسليح المملوءة بالمونة
- 4.6.3 حماية قوالب التسليح المملوءة والمغلقة بالمونة
- 5.6.3 حماية الأنابيب المستخدمة كتسليح
- الفصل الرابع... تصميم الأوتاد الدقيقة كأساسات للمنشآت**
- 1.4 اعتبارات تصميم الأوتاد الدقيقة
- 2.4 طرق التصميم
- 1.2.4 طريقة التصميم على حمولات الاستثمار

- 2.2.4 طريقة التصميم بتصعيد معاملات الحمولة
- 3.4 التصميم الجيو تكنولوجي للأوتاد الدقيقة
- 1.3.4 حساب الحمولات المحورية المسموحة في حالي الشد الضغط من أجل نقل الحمولات للتربة بالتماسك بطريقة (SLD)
- 2.3.4 حساب الحمولات المحورية المسموحة في حالة الضغط والشد من أجل نقل الحمولات بالتماسك بطريقة (LFD)
- 4.4 تأثير مجموعة الأوتاد الدقيقة على الحمولة المحورية
- 5.4 التصميم الإنشائي للأوتاد الدقيقة
- 1.5.4 الرموز والمصطلحات
- 2.5.4 قدرة تحمل الأوتاد الدقيقة
- 3.5.4 قدرة تحمل الوتد الإنشائية في الجزء العلوي المغلف بقميص
- 1.3.5.4 قدرة تحمل الجزء المغلف بقميص بطريقة حمولات الاستثمار
- 2.3.5.4 قدرة تحمل الجزء المغلف بقميص بطريقة معامل الحمولة
- 4.5.4 طول الوتد في الجزء غير المغلف (الجزء السفلي)
- 1.4.5.4 قدرة تحمل في الجزء غير المغلف بطريقة حمولات الاستثمار
- 2.4.5.4 قدرة تحمل الجزء غير المغلف بطريقة معامل الحمولة
- 6.4 عوامل الأمان وحمولات الاختبار
- 1.6.4 التحقق الجيو تكنولوجي
- 2.6.4 التحقق الإنشائي
- 7.4 قدرة التماسك بين الببتون والفولاذ
- 8.4 تصميم طول الغرز
- 9.4 توافق التشوهات بين المكونات الإنشائية
- 10.4 وصلات قضبان التسليح مع القالب الفولاذي
- 11.4 وصلات الوتد مع القاعدة (أو القبة Cap)
- 12.4 اعتبارات جيوتكنولوجية إنشائية إضافية
- 1.12.4 تقدير الانتقالات الإنشائية المحورية المتوقعة في الوتد
- 13.4 الانتقال الناتج عن زحف التربة
- 14.4 هبوط مجموعة الأوتاد
- 15.4 قدرة التحمل للحمولات الجانبية
- 16.4 مثال عددي أول

- 17.4 التحنيط والاستقرار الجانبي
2.17.4 التصميم بحسب طريقة (LFD)
18.4 مثال عددي ثاني





الأوتاد الدقيقة

الميكروبايل - القسم الثاني

المهندس الاستشاري
عماد درويش

مثال تطبيقي شامل حول تصميم الأوتاد الدقيقة

1.1 نص المثال التطبيقي:

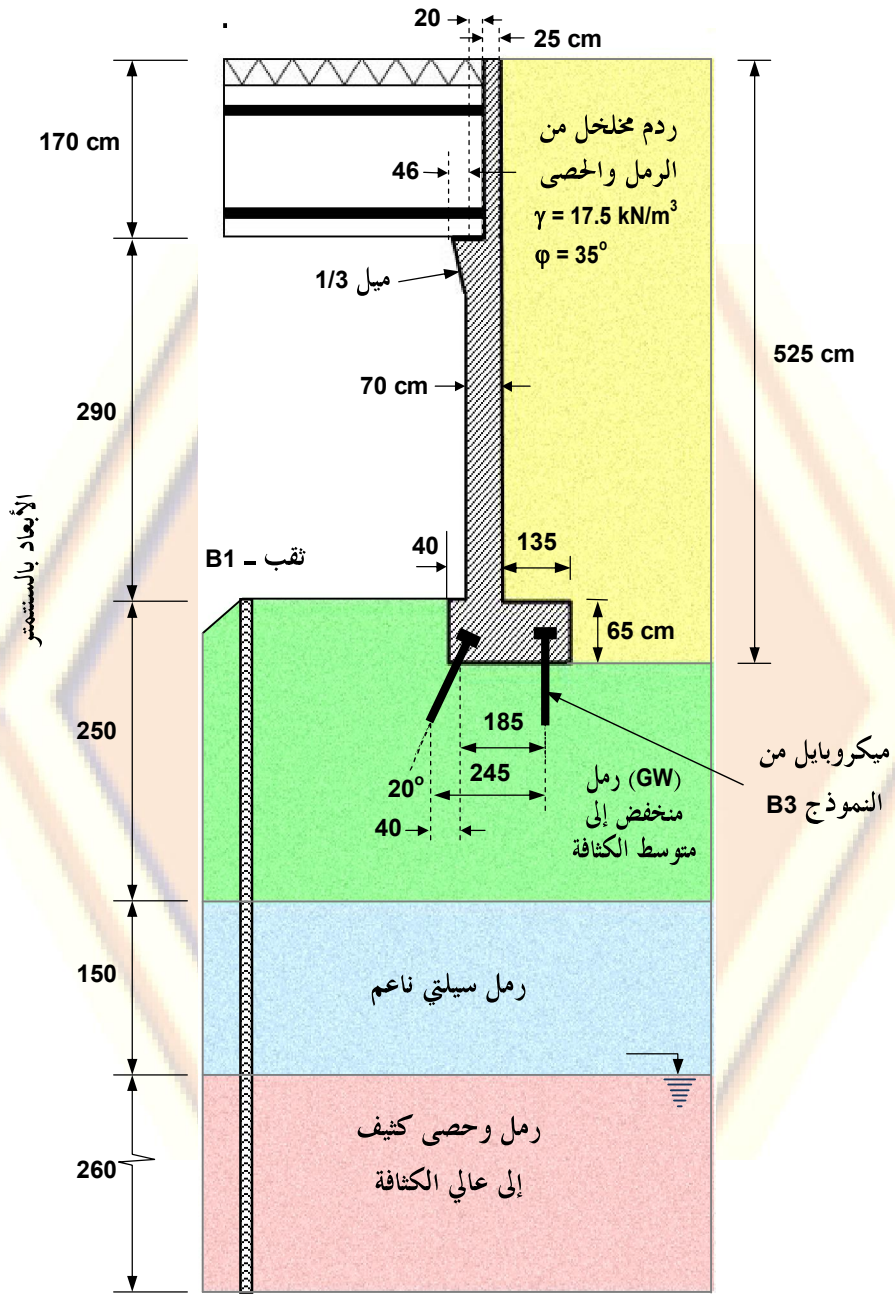
تقوية أساسات لدعامة جسر باستخدام الأوتاد الدقيقة

Bridge Abutment Foundation Support

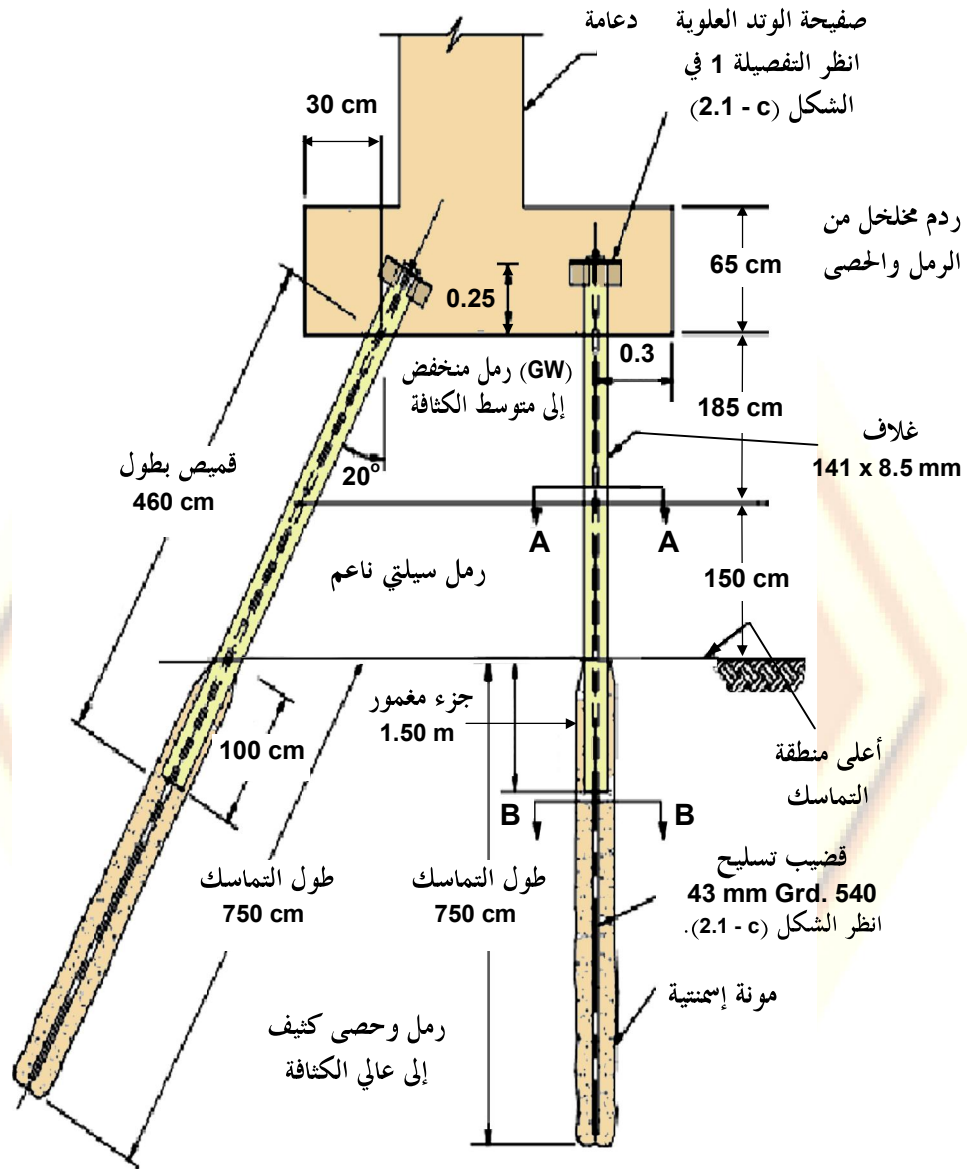
يشرح المثال العددي التالي كيفية تصميم ركيزة جسر باستخدام الأوتاد الدقيقة.

2.1 معطيات المثال:

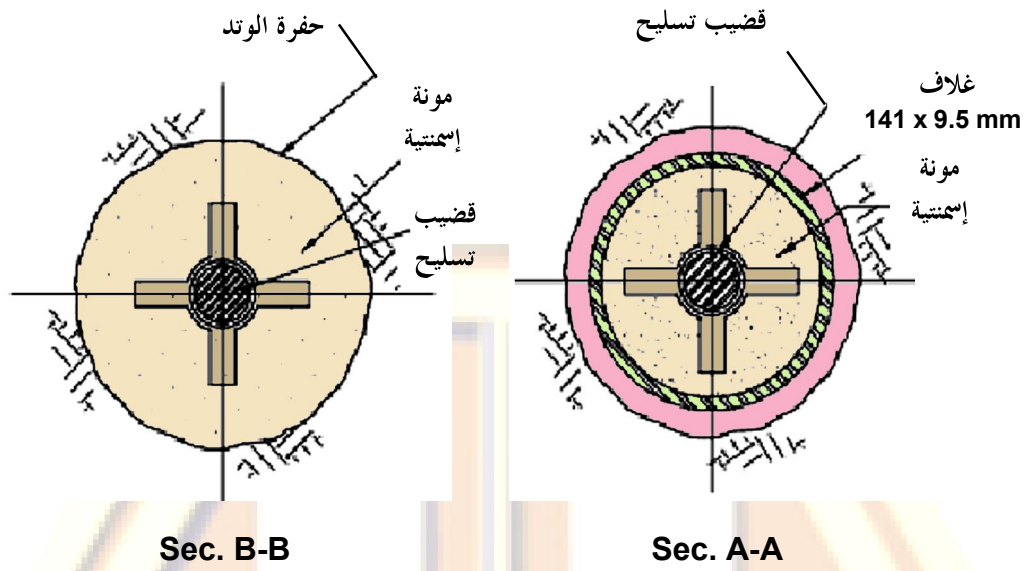
- يطلب تقوية ركائز حسر مؤلف من فتحة واحدة بمجاز طوله 30 m باستخدام الأوتاد الدقيقة، باعتبار أن الجسر يستند استناداً بسيطاً على ركيزة بيتونية طولها (10.5 m) بالاتجاه المعامد له.
- تعمل الركيزة على حجز التربة المردومة من الرمل متوسط الكثافة، ذي زاوية احتكاك داخلي فيه (35°)، ووزن حجمي له يساوي (17.5 kN/m^3).
- يعتبر الوزن الحجمي لمادة البيتون المطلوب لتقوية الركائز بالميكروبايل (23.6 Kn/m^3).
- قيمة التسارع الزلزالي للموقع (0.10 g).
- تبين الأشكال (1.1) أبعاد الركيزة.
- يبين الشكل (1, b, c - 2) تفصيلات الأوتاد الدقيقة.
- يوضح الشكل (3.1) الحمولات المطبقة على الركيزة في المتر الطولي.
- يبين الشكل (4.1) مخطط توضيحي لطبقات التربة التالية..... (راجع الفقرة 2.3.1 من الفصل الأول في الجزء 8 من هذه السلسلة).



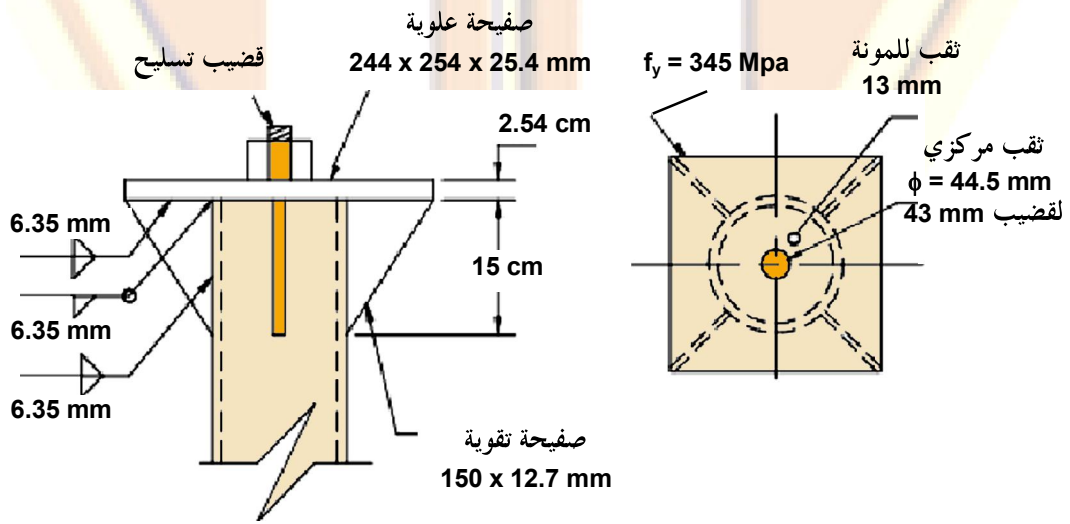
الشكل (1.1)



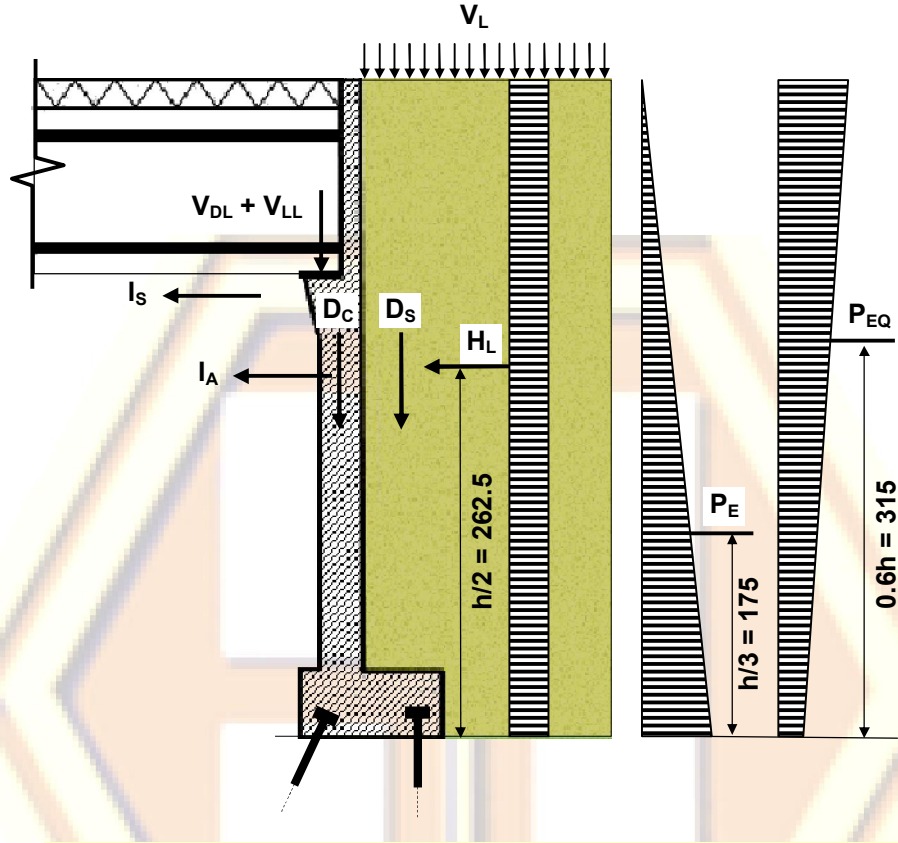
الشكل (2.1 - a)
انظر المقطعين (A-A) و (B-B) في الشكل (2.1 - b)



الشكل (2.1 - b)

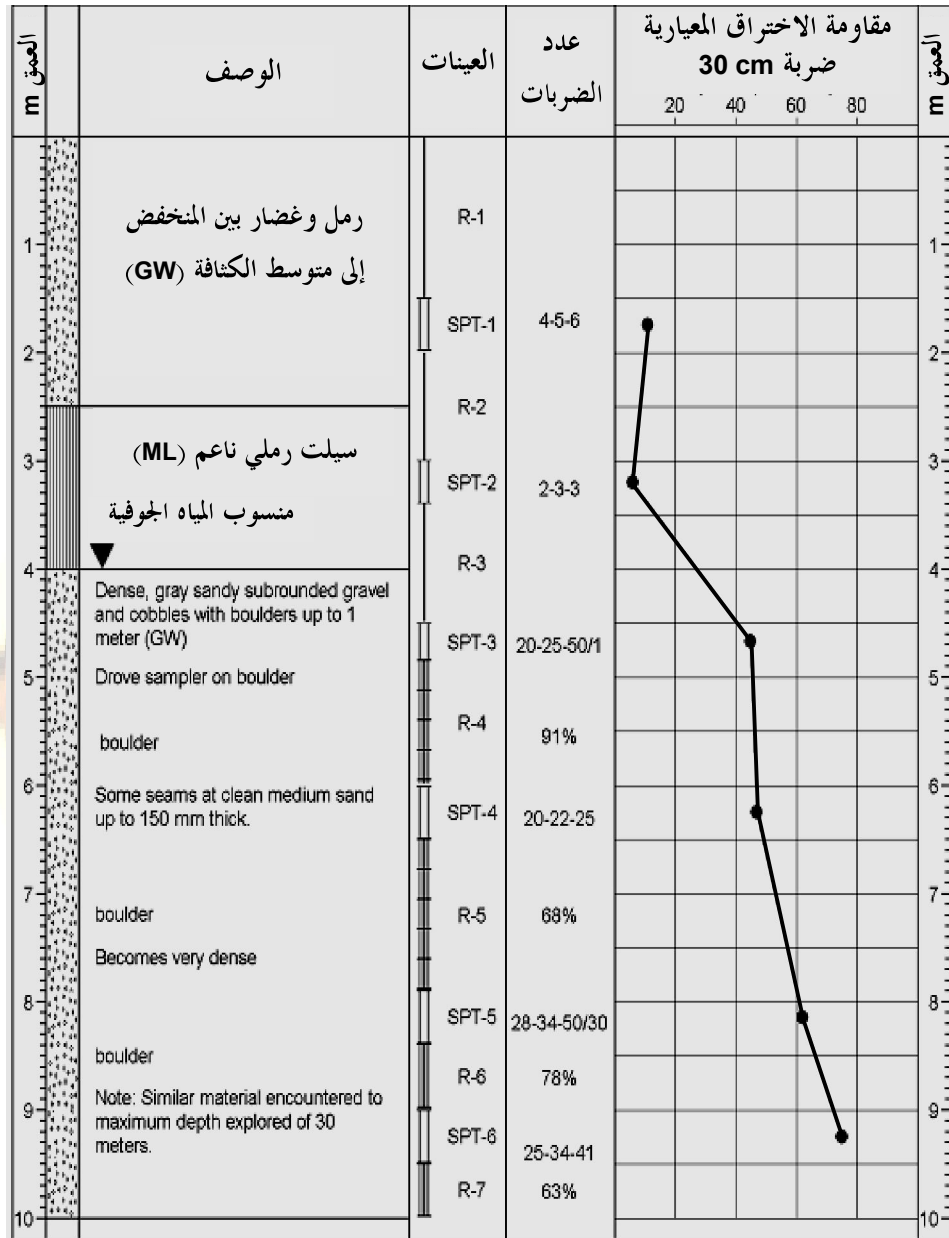


الشكل (2.1 - c)



الشكل (3.1)

- D_C : الحمولات الميتة على الركيزة البيتونية.
 D_S : الحمولة الميتة من وزن التربة.
 $V_{DL} = 178.70 \text{ Kn/m}$: الحمولة الميتة من وزن الجسر.
 $V_{LL} = 73.00 \text{ Kn/m}$: الحمولة الحية من الجسر.
 H_L : ضغط التربة الجانبي من الحمولة الحية على الجسر (V_L).
 V_L : الحمولة الحية على الجسر خلف الركيزة وهي تكافئ سماكة (60 cm) من التربة.
 P_E : ضغط التربة الفعال.
 P_{EQ} : ضغط التربة الفعال نتيجة الزلازل.
 $I_A = 30.9 \text{ Kn/m}$: قوى العطالة الزلزالية نتيجة وزن الركيزة والتربة خلف الركيزة.
 $I_S = 26.8 \text{ Kn/m}$: قوى العطالة الزلزالية نتيجة وزن الجسر.



الشكل (4.1)

1. طبقة بسماكة (2.5 m) من الرمل المنخفض إلى متوسط الكثافة (GW).
 2. طبقة بسماكة (1.5 m) من الرمل السيلتي الناعم (ML) قابلة للانضغاط.
 3. طبقة كثيفة إلى عالية الكثافة تمتد إلى (26 m) من الرمل والحصى (GW).
- يقع منسوب المياه الجوفية على عمق (4 m) أسفل أعلى الأساس.
 - يعتبر طول التماسك للمايكروبايل في طبقة الحصى الكثيفة.
 - يتم استخدام الصنف التنفيذي (B3) من أجل إنشاء الأوتاد الدقيقة (راجع الفصل الثاني - أنظمة التصنيف التنفيذي للأوتاد الدقيقة).

3.1 الخطوات الرئيسية للحل:

- يمكن تلخيص الحل بشكل عام بما يلي:
 - تحديد محصلة القوى الأفقية والשאقولية وعزم الانقلاب على الركيزة وذلك لكل حالة تحميل من حالات التحميل غير الزلزالية، ويتم ذلك بحسب الكود الأمريكي (AASHTO- Section 3.22)، وحالة تحميل من حالات التحميل الزلزالية وفق (AASHTO- Division I-A). ثم تحديد الحمولة التصميمية (SLD) والمقاومة المطلوبة (LFD).
 - استكمال تصميم الوتد وذلك من خلال:
 - ✓ تحديد الحمولة المسموحة بطريقة (SLD) أو المقاومة التصميمية بطريقة (LFD) للقسم العلوي المغلف من الوتد الدقيق... راجع الجزء (8) من هذه السلسلة.
 - ✓ تحديد الحمولة المسموحة بطريقة (SLD) أو المقاومة التصميمية بطريقة (LFD) للقسم السفلي غير المغلف من الوتد الدقيق.
 - ✓ تحديد الحمولة المسموحة بطريقة (SLD) أو المقاومة التصميمية بطريقة (LFD) للطول العامل بالاحتكاك.
 - ✓ التحقق من أن الحمولات المطبقة لا تزيد عن الحمولة المسموحة بطريقة (SLD) أو أن المقاومة المطلوبة لا تزيد عن المقاومة التصميمية بطريقة (LFD).
 - تحديد الانتقالات المتوقعة تحت تأثير حمولات الاستثمار.
 - تصميم وصلة الوتد مع الأساس ووضع تفصيلات ملائمة لها.

■ رسم المخططات التنفيذية من خلال تطبيق نتائج تصميم الأوتاد، ومن ثم رسم وصلة الوتد مع قبعته (Cap)، وتدوين الملاحظات العامة المتعلقة بالمواد المستخدمة وطريقة التنفيذ.

■ من أجل تبسيط هذا المثال سنعتمد حالات التحميل من الحمولات التالية:

- الحمولات الميتة.
 - الحمولات الحية.
 - حمولات ضغط التربة.
 - الحمولات الزلزالية.
- توضح في البنود التالية كيفية إنجاز الحل عبر مراحل أكثر تفصيلاً، مع الإشارة إلى أن هذه المراحل تتضمن الخطوات السبعة المذكورة أعلاه.

4.1 حساب قيمة ومركز محطة القوى على ركيزة الجسر:

نحدد في البداية شدة ونقطة تطبيق القوى المؤثرة على ركيزة الجسر.
إن القوى المؤثرة هي ضغط التربة الفعال وضغط التربة من الحمولات الحية خلف الركيزة وضغط التربة نتيجة الظاهرة الزلزالية.

1.4.1 حساب ضغط التربة الفعال (PE):

لدينا من نص المسألة:

- زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ($\varphi = 35^\circ$).
- الوزن الحجمي للتربة (17.5 kN/m^3).
- يكون معامل ضغط التربة الفعال:

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 0.27$$

- ضغط التربة الفعال:

$$k_a \cdot \gamma_{\text{soil}} = 4.74 \text{ kN/m}^2/\text{m}$$

بالتالي تكون الحمولة الناتجة عن ضغط التربة:

$$P_E \cdot \gamma_{\text{soil}} = 0.5 \times 4.74 \times 5.25^2 = 65.32 \text{ kN/m}$$

- العزم حول مركز الركيزة من ضغط التربة الفعال:

$$M_{\text{base-P}} = 65.32 \times \frac{5.25}{3} = 114.31 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

2.4.1 حساب ضغط التربة من الحمولة الحية السطحية خلف الركيزة (HL):

تكافئ شدة الضغط الناتجة عن الحمولة الحية والموزعة بانتظام، سماكة طبقة من التربة بعمق (0.6 m) ... اي:

$$K_a \cdot \gamma_{\text{soil}} \cdot 0.6 = 2.84 \text{ kN/m}$$

إذاً فالحمولة المكافئة:

$$H_L = 2.84 \times 5.25 = 14.96 \text{ kN/m}$$

العزم حول مركز الركيزة من ضغط التربة الناجم عن الحمولات السطحية:

$$M_{\text{base-L}} = 14.96 \cdot (5.25/2) = 39.27 \text{ kN.m/m}$$

3.4.1 حساب ضغط التربة الناتج عن الحمولات الزلزالية (PEQ):

لدينا معامل التسارع الزلزالي ($A = 0.10$). ولدينا ($k_h = 1.5 \cdot A$) ... وسنفترض أن ($k_v = 0$) ... ولدينا:

- زاوية ميل التربة خلف الجدار: $\beta = 0^\circ$

- زاوية ميل الردم خلف الركيزة: $i = 0^\circ$

- زاوية الاحتكاك بين التربة والركيزة: $\delta = \varphi/2 = 17.5^\circ$

- زاوية العطالة الزلزالية (Seismic inertia angle) ... يمكن أن تؤخذ من (AASHTO- Sec. 6.4.3-A):

$$\theta = \text{atan} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right] = 8.53^\circ$$

- معامل ضغط التربة الزلزالي :

$$\psi = \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)} \right]^2 = 2.65$$

$$k_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\psi \cdot \cos \theta \times \cos(\theta + \delta)} = 0.34$$

- ضغط التربة الناتج عن الزلازل:

$$K_{AE} \cdot \gamma_{\text{soil}} = 5.95 \text{ kN/m}^2/\text{m}$$

- إذاً فمحصلة القوى الزلزالية على الركيزة:

$$P_{EQ} = 0.5 \times 5.95 \times (5.25)^2 = P_E = 16.68 \text{ kN/m}$$

تميل هذه المحصلة عن الأفق بزاوية (δ)، لذلك تكون المركبة الأفقية لهذه القوة كما يلي:

$$P_{EQ} = 16.68 \cdot \cos(\delta=17.5) = 15.91 \text{ kN/m}$$

وتهمل عادةً المركبة الشاقولية للقوة الزلزالية.

قوى العطالة الزلزالية:

يتم التعبير عن قوى العطالة الزلزالية لأي منشأ من جداء الوزن الذاتي لهذا المنشأ بالتسارع الزلزالي... أي:

$$I_A = k_h (D_C + D_S) = 0.15 \times (97.0 + 108.68) = 30.9 \text{ kN/m}$$

$$I_S = k_h (V_{DL}) = 0.15 \times 178.70 = 26.8 \text{ kN/m}$$

- العزم حول مركز الركيزة من القوى الزلزالية:

$$M_{\text{base-S}} = 16.68 \times 0.6 \times 5.25 = 52.54 \text{ kN.m/m}$$

4.4.1 خلاصة نتائج القوى:

يوجز الجدول التالي (1.1) نتائج القوى المختلفة المطبقة الركيزة، وذلك من حيث شدتها وقيمة العزم حول مركز الركيزة.

الجدول (1.1) - نتائج القوى المختلفة المطبقة الركيزة						
العزم kN.m	ذراع العزم m		الحمولات kN		النوع	الوصف
	Y	X	F _Y	F _X		
26.19	-	0.27	97.0	-	D	الوزن الذاتي للركيزة
- 59.77	-	- 0.55	108.7	-	E	الحمولة الميتة من التربة
103.65	-	0.58	178.7	-	D	الحمولة الميتة (وزن الجسر)
42.34	-	0.58	73.0	-	L	الحمولة الحية من وزن الجسر
39.27	2.63	-	-	14.96	L	ضغط التربة من الحمولات الحية
114.31	1.75	-	-	65.32	E	ضغط التربة
50.12	3.15	-	-	15.91	EQ	الضغط الناجم عن الزلازل
72.50	2.35	-	-	30.9	EQ	قوى العطالة الزلزالية للتربة والوزن الذاتي للركيزة
95.14	3.55	-	-	29.8	EQ	قوى العطالة الزلزالية للجسر

يجري بعد ذلك تصميم الأوتاد الدقيقة للركيزة كما يلي:

5.4.1 التصميم بطريقة حمولات الاستثمار (SLD):

يتم استخدام هذه الطريقة لتصميم الأوتاد الدقيقة على الحمولات غير الزلزالية وفق الخطوات في بداية هذا المثال، ثم تعاد نفس هذه الخطوات بطريقة معاملات الحمولة (LFD) لأخذ التأثيرات الزلزالية في التصميم.

1.5.4.1 حساب الحمولة التصميمية للأوتاد بطريقة (SLD):

من الحمولات التي تتعرض لها الركيزة والموضحة في الجدول السابق يكون:

$$F_y = D_c + D_s + V_{DL} + V_{LL}$$

$$F_y = 97.0 + 108.7 + 178.7 + 73.0 = 457.4 \text{ kN/m}$$

$$F_x = H_L + P_E$$

$$F_x = 15.0 + 63.3 = 80.3 \text{ kN/m}$$

$$M = \sum M_{\text{From } (D_c + D_s + V_{DL} + V_{LL} + H_L + P_E)}$$

$$M = 26.2 - 59.8 + 103.7 + 42.3 + 39.3 + 114.3 = 266.0 \text{ kN.m/m}$$

حيث:

(F_y) مجموع الحمولات الشاقولية.

(F_x) مجموع الحمولات الأفقية.

(M) مجموع العزوم حول مركز أساس الركيزة.

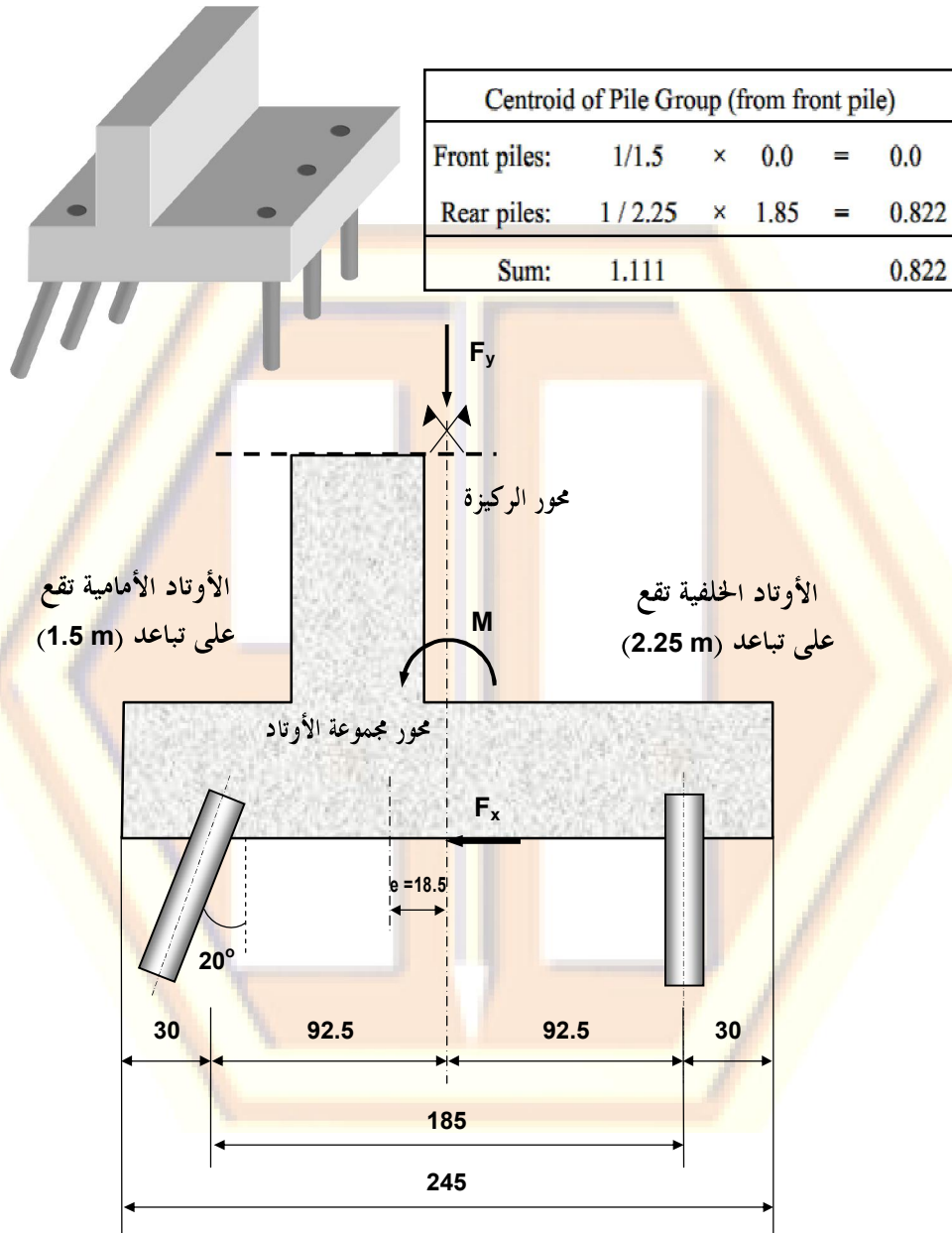
يتم حساب مركز ثقل مجموعة الأوتاد الدقيقة كما يلي... (الشكل 5.1):

إن تباعد الأوتاد الأمامية من جهة الجسر (1.50 m) وتباعد الأوتاد الخلفية (2.25 m)، وهذا يعني أن عدد الأوتاد الأمامية في المتر الطولي من الركيزة يساوي (1/1.5 = 0.67 pile / m) وب نفس الطريقة يكون تباعد الأوتاد الخلفية في المتر الطولي من الركيزة هو (2/2.25 = 0.44 pile/m). باعتبار أن النقطة المرجعية لحساب مركز الثقل تقع في مركز الوتد الأمامي فإن المحصلة تقع على المسافة التالية من الأوتاد الأمامية:

$$x = \frac{0.67 \times 0 + 0.44 \times 1.85}{0.67 + 0.44} = 0.74 \text{ m}$$

إذا فقيمة اللامركزية بين مركز ثقل مجموعة الأوتاد ومركز الركيزة هي:

$$e = \frac{185}{2} - 74 = 18.5 \text{ cm}$$



الشكل (5.1)

(I) لمجموعة الأوتاد حول المركز:

$$I = \frac{1}{1.5} (0.74)^2 + \frac{1}{2.25} (1.111)^2 = 0.9127$$

- قيمة الحمولة الشاقولية على الأوتاد الخلفية في المتر الطولي:

$$\text{Rear pile } V_L = \left[\frac{F_y}{1.111} - \frac{(M - F_y \cdot e) 1.111}{0.9127} \right]$$

$$\text{Rear pile } V_L = \left[\frac{457.4}{1.111} - \frac{(266 - 457.4 \times 0.185) 1.11}{0.9127} \right] = 191 \text{ kN}$$

قيمة الحمولة على الأوتاد الأمامية في المتر:

$$\text{Front pile } V_L = \left[\frac{F_y}{1.111} + \frac{(M - F_y \cdot e) 0.74}{0.9127} \right]$$

$$\text{Front pile } V_L = \left[\frac{457.4}{1.111} + \frac{(266 - 457.4 \times 0.185) 0.74}{0.9127} \right] = 559 \text{ kN}$$

بما أن الأوتاد الأمامية تميل بزاوية (20°) عن الشاقول تكون الحمولة المحورية على هذه الأوتاد هي:

$$\text{Front pile axial load} = \frac{559}{\cos 20^\circ} = 595 \text{ kN} \dots \text{ compression}$$

2.5.4.1 حساب الحمولات الإنشائية والجيو تكنولوجية المسموحة للأوتاد بطريقة (SLD):

نحدد في هذه الخطوة الحمولة المسموحة للجزء العلوي من الوتد (الجزء المغلف) والحمولة المسموحة للجزء السفلي من الوتد (الجزء غير المغلف، كما نحدد الحمولة الجيو تكنولوجية المسموحة (أي حمولة التماسك).

لنستخدم فولاذ القالب المعدني من النوع ذي إجهاد الخضوع (241 Mpa) كما نستخدم قضبان التسليح من ماركة (Grade 520)، وذلك لتحقيق توافق نوعي الفولاذ للقالب والقضبان، كما نستخدم في تصميم المقطع المختلط القيمة الدنيا لإجهاد الخضوع كما هو موضح أدناه.

لحساب الحمولة المسموحة ضمن الطول المغلف، نقوم بتحديد خصائص المواد والأبعاد كما يلي:

- نستخدم القالب المعدني ذي القطر الخارجي (141 mm) وسماكة الجدران (9.5 mm).

- من أجل أخذ الحيلة ضد ظاهرة التآكل مع الزمن في القالب المعدني نخفض القطر الخارجي الحسابي بمقدار (1.6 mm) من كل جهة فيصبح:

القطر الخارجي للقالب بعد أخذ التآكل بالاعتبار:

$$OD_{casing} = 141 - 2 \times 1.6 = 137.8 \text{ mm}$$

القطر الداخلي للقالب:

$$ID_{casing} = 141 - 2 \times 9.5 = 122 \text{ mm}$$

مساحة القالب المعدني:

$$area_{casing} = \frac{\pi}{4} (OD_{casing}^2 - ID_{casing}^2) = 3224 \text{ mm}^2$$

- إجهاد خضوع مادة القالب:

$$f_{y-casing} = 241 \text{ Mpa}$$

نصف قطر العطالة:

$$r_{casing} = \sqrt{\frac{OD^2 + ID^2}{4}} = 46 \text{ mm}$$

- تتمتع قضبان التسليح قطر (43 mm) من ماركة (Grade 520) بالخصائص التالية:

$$area_{rebar} = 1452 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 520 \text{ Mpa}$$

- تتمتع المونة الإسمنتية بالخصائص التالية:

$$area_{grout} = \frac{\pi}{4} ID^2 - area_{bar} = 10240 \text{ mm}^2$$

مساحة المونة:

$$f_{c-grout} = 34.5 \text{ Mpa}$$

المقاومة المميزة للمونة على الضغط (f_{c-grout} = 34.5 Mpa). ولتحقيق توافق التشوهات بين القالب المعدني وقضبان التسليح في المقطع المختلط، نستخدم في التصميم القيمة الأدنى لإجهاد الخضوع... أي:

$$f_{y-steel} = \min. of (f_{y-bar}, f_{y-casing}) = 241 \text{ Mpa}$$

- تصبح الحمولة المسموحة على الشد إذا:

$$P_{t-allowable} = 0.55 f_{y-steel} (area_{bar} + area_{casing}) = 620 \text{ kN}$$

- الحمولة المسموحة على الضغط مع الأخذ بالاعتبار الاستقرار الجانبي

للوئد بسبب التحنيب، حيث (L) الطول غير المسند جانبياً للوئد (L = 0):

$$F_a = \frac{f_{y-steel}}{FS} = \frac{241}{2.12} = 113.7 \text{ Mpa}$$

$$P_{c-allowable} = \left[0.40 f_{c-grout} \cdot Area_{grout} + \frac{F_{y-steel}}{FS} (Area_{bar} + Area_{casing}) \right] + \frac{F_a}{\frac{F_{y-steel}}{FS}} = 673 \text{ kN}$$

3.5.4.1 حساب الحمولة المسموحة في الطول غير المغلف:

خصائص المواد والأبعاد:

الحفر من أجل صب الوتد الدقيق يجب أن يكون قطر الثقب المحفور أكبر من قطر قالب الصب المعدني الخارجي ، وسنعتبر في هذا المثال أن قطر الحفرة يزيد عن قطر القالب بمقدار (50 mm)، فيكون:

$$OD = 141 \text{ mm}$$

$$grout \text{ DIA}_{bond} = 141 + 50 = 191 \text{ mm}$$

إذاً فمساحة المونة:

$$area_{grout} = \frac{\pi}{4} DIA_{bond}^2 - area_{bar} = 27200 \text{ mm}^2$$

نفرض قيمة الحمولة المنقولة عبر الطول المغروز هي ($P_{t-allow} = 50 \text{ kN}$)، ونتحقق من هذه القيمة لاحقاً.

إذاً تكون الحمولة المسموحة على الشد:

$$P_{t-allowable} = 0.55 f_{y-bar} \cdot area_{bar} + P_{transfer-allowable} = 465 \text{ kN}$$

الحمولة المسموحة على الضغط:

$$P_{c-allowable} = 0.4 f_{c-grout} \cdot area_{grout} + 0.47 f_{y-bar} \cdot area_{bar} + P_{transfer-allowable}$$

$$P_{c-allowable} = 780 \text{ kN}$$

4.5.4.1 حساب الحمولة الجيوتكنيكية المسموحة بطريقة (SLD):

لكي يكون التماسك فعالاً يجب أن يقع طول التماسك من الوتد الدقيق في التربة الرملية الحصوية الكثيفة أو المتوسطة الكثافة، وذلك أسفل مقطع أساس الركيزة بحوالي (3.35 m)، ويتم إهمال التماسك المتولد بين الوتد والتربة المحيطة فوق هذا الطول.

يجب أن يتم تنفيذ الاوتاد وفق النموذج (Type B) المشروح في الفصل الثاني، حيث يتم ضخ المونة الاسمنتية تحت الضغط.

يتم استنتاج واحدة التماسك بين بيتون الوتد والتربة المحيطة بحسب الفقرة (3.4) من هذا الفصل، حيث نجد من الجدول (2.4) أن:

$$a_{\text{bond nominal strength}} = 335 \text{ kPa}$$

وجدنا سابقاً من تحليل الحمولات، أن حمولة الوتد من أجل بدون التأثيرات الزلزالية هي (595 kN)، وبالتالي يجب أن تكون مقاومة التماسك ($P_{g\text{-allowable}}$) أكبر أو تساوي هذه القيمة. أي يجب أن يتحقق الشرط التالي:

$$P_{g\text{-allowable}} \geq 595 \text{ kN/pile}$$

$$P_{g\text{-allowable}} \geq \left[\frac{\alpha_{\text{bond nominal strength}}}{FS} \right] \times 3.14 \times \text{DIA}_{\text{bond}} \times (\text{bond length})$$

$$\geq 595 \text{ kN (design load)}$$

$$\text{bond length} = \left[\frac{595}{\left[\frac{\alpha_{\text{bond nominal strength}}}{FS} \right] \times 3.14 \times \text{DIA}_{\text{bond}}} \right]$$

$$\text{bond length} = \frac{595}{\frac{335}{2.5} \times 3.14 \times 0.191} \geq 7.4$$

نختار إذاً طول التماسك (7.5 m)، ثم نعيد حساب مقاومة التماسك وفق الطول المختار كما يلي:

$$P_{g\text{-allowable}} = \frac{335}{2.5} \times 3.14 \times 0.191 \times 7.5 = 603 \text{ kN} > 595 \text{ kN} \quad \text{ok}$$

نختار طول إرساء ($L_p = 1 \text{ m}$)، ونتحقق من الحمولة المنقولة عبر هذا الطول (راجع الجزء 8) حيث اعتبرنا أن هذه الحمولة تساوي (50 kN) وبالتالي يكون:

$$P_{\text{transfer-allowable}} = \frac{335}{2.5} \times 3.14 \times 0.191 = 80 > 50 \text{ kN}$$

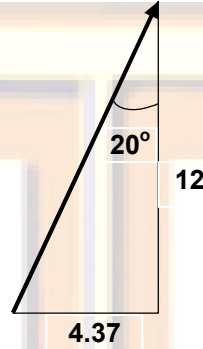
5.5.4.1 تحقيق الحمولات المحورية المسموحة بطريقة (SLD):

لدينا الحمولة المحورية التي يتعرض لها الوتد الأمامي (595 kN)، وقد سبق ووجدنا القيم التالية:

- قدرة تحمل الضغط الإنشائية للطول العلوي غير المغلف من الوتد (673 kN).
- قدرة التحمل الإنشائية على الضغط للطول السفلي المغلف (780 kN).
- قدرة التحمل الجيوتكنيكية على الضغط أو مقاومة التماسك (603 kN)، وبالتالي كل الحمولات المسموحة أكبر من الحمولات الفعلية. إذاً فالوتد محقق لمقاومة الحمولات المحورية.

6.5.4.1 تحقيق الحمولات الجانبية المسموحة بطريقة (SLD):

وجدنا أعلاه أن القوى الجانبية التي يتعرض لها الوتد تساوي (80.3 kN/m)، وبما أن الأوتاد الأمامية تميل بزاوية (20°) عن الشاقول، نجد أن الحمولة الشاقولية في الأوتاد المائلة الأمامية تقاوم القوى الجانبية بسبب وجود الميل بنسبة (4.37 / 12) كما في الشكل (6.1).



الشكل (6.1)

إذاً نجد من إسقاط القوى أن:
- القوى المقاومة الجانبية:

$$\text{lateral resisting load} = 595 \left(\frac{4.37}{12} \right) = 204 \text{ kN / pile}$$

- الحمولة الجانبية في المتر الطولي (نحولها إلى حمولة على الوتد):

$$\text{lateral design load / pile} = 80 \text{ kN} \times 1.5 \text{ m} = 120 \text{ kN / pile}$$

بالنتيجة تكون مقاومة الوتد للحمولات الجانبية أكبر من الحمولات التي يتعرض لها الوتد.

6.4.1 حساب حمولات الاختبار:

لدينا العلاقة التالية:

حمولة اختبار التحقق = الحمولة التصميمية المحورية × معامل الأمان الخاص بالتجربة
أي أن:

$$\text{vertical test load} = 2.5 \times \text{design load}$$

$$\text{vertical test load} = 2.5 \times 595 = 1500 \text{ kN}$$

كذلك لدينا العلاقة:

حمولة اختبار المتانة = الحمولة التصميمية المحورية × معامل الأمان الخاص بالتجربة

أي أن:

$$\text{Proof Test Load} = 1.67 \times 595 = 1000 \text{ kN}$$

7.4.1 التصميم الإنشائي للوتد من أجل تجارب التحميل:

يلخص الجدول التالي مواصفات الوتد المصمم لكل من الطول المغلف والطول غير المغلف بقلاب معدني.

الجدول (2.1)	
الفطر الخارجي للقلاب المعدني (141 mm) وسماكة الجدران (9.5 mm)	
الطول غير المغلف uncased length	الطول المغلف cased length
-	OD* = 141 mm
-	ID = 122 mm
-	area casing = 3925 mm ²
-	f _y - casing = 241 MPa**
area bar = 1425 mm ²	area- bar = 1452 mm ²
f _y - bar = 520 MPa	f _y -bar = 520 MPa**
area grout = 27200 mm ²	area- grout = 10240 mm ²
f _c - grout = 34.5 Mpa	f _c - grout = 34.5 Mpa
* لا تخفض المسافة (1.6 mm) في هذا التصميم، والتي تأخذ التآكل في القالب المعدني بالاعتبار، كما في حالة تصميم الأوتاد الدائمة.	
** تستخدم (f _y - casing) للقلاب والقضبان.	

8.4.1 حساب حمولة الضغط المسموحة بالطول المغلف للوتد (LFD):

بما أن طول الوتد غير المسنود جانبياً هو (L = 0) و (f_a = f_y-casing / 1.25) يكون... (راجع الجزء 8):

$$P_{C-allowable} =$$

$$\left[0.68 f_{c-grout} \cdot area_{grout} + \frac{f_{y-casing}}{1.25} (area_{bar} + area_{casing}) \right] \times \left[\frac{F_a}{\frac{f_{y-casing}}{1.25}} \right]$$

$$P_{C-allowable} = 1277 \text{ kN}$$

1.8.4.1 حساب حمولة الوتد المسموحة على الضغط في الطول غير المغلف:

$$P_{\text{transfer-allowable}} = \left[\frac{\alpha_{\text{bond nominal strength}}}{FS} \right] \times 3.14 \times \text{DIA}_{\text{bond}} \times (\text{puling length})$$

$$P_{\text{transfer-allowable}} = \frac{335 \text{ kPa}}{1.25} \times 3.14 \times 0.191 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 160 \text{ kN}$$

$$P_{\text{c-allowable}} = 0.68 f'_{\text{c-grout}} \cdot \text{area}_{\text{grout}} + 0.80 f_{\text{y-bar}} \cdot \text{area}_{\text{bar}} + P_{\text{transfer-allowable}}$$

$$P_{\text{c-allowable}} = 0.68 \times 34500 (27.2 \times 10^{-3}) +$$

$$0.80 (520 \times 10^{-3}) (1.452 \times 10^{-3}) + 160 \text{ kN}$$

$$P_{\text{c-allowable}} = 1402 \text{ kN}$$

نجد بالتالي أن الوتد الذي تم تصميمه محققاً على حمولة اختبار المتانة، والتي تفترض مقاومة محورية قدرها (1000 kN)، ولكنه غير محقق على حمولة اختبار التحقق، والتي تفترض مقاومة محورية قدرها (1500 kN).

إذاً نزيد الأبعاد والتسليح لتصبح كما يلي:

- القالب المعدني: 141 mm x 12.7 mm

- قضبان التسليح بقطر (57 mm) ومن النموذج (grade 520).

تصبح إذاً مواصفات الطول المغلف الجديدة كما يلي:

$$\text{OD} = 141 \text{ mm}$$

$$\text{ID} = 141 - 2 \times 12.7 = 115.6 \text{ mm}$$

$$\text{area}_{\text{casing}} = \frac{\pi}{4} [141^2 - 115.6^2] = 5119 \text{ mm}^2$$

$$f_{\text{y-casing}} = 241 \text{ MPa} \quad \text{for casing \& bars}$$

$$\text{area}_{\text{bar}} = 2581 \text{ mm}^2$$

$$\text{area}_{\text{grout}} = \frac{\pi}{4} 115.6^2 - 2581 = 7915 \text{ mm}^2$$

$$f'_{\text{c-grout}} = 34.5 \text{ MPa}$$

كما تصبح مواصفات الطول غير المغلف الجديدة كما يلي:

$$\text{DIA}_{\text{bond}} = 141 + 50 = 191 \text{ mm} = 0.191 \text{ m}$$

$$\text{area}_{\text{grout}} = \frac{\pi}{4} (191)^2 - 2581 = 26071 \text{ mm}^2$$

$$\text{area}_{\text{bar}} = 2581 \text{ mm}^2$$

$$f_{\text{y-bar}} = 520 \text{ MPa}$$

2.8.4.1 إعادة حساب حمولة الضغط المسموحة في الطول المغلف للوتد:

بما أن $(F_a = f_{y-casing} / 1.25)$ ، وأن الطول غير المسنود جانبياً من الوتد هو $(L = 0)$ يكون:

$$P_{C-allowable} =$$

$$\left[0.68 f_{c-grout} \cdot area_{grout} + \frac{f_{y-casing}}{1.25} (area_{bar} + area_{casing}) \right] \times \left[\frac{F_a}{\frac{f_{y-casing}}{1.25}} \right]$$

$$P_{C-allowable} = 1670 > 1500 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

3.8.4.1 حساب حمولة الوتد الجديدة المسموحة على الضغط في الطول غير المغلف:

$$P_{transfer-allowable} \geq \left[\frac{\alpha_{bond \text{ nominal strength}}}{FS} \right] \times 3.14 \times DIA_{bond} \times (\text{bond length})$$

$$P_{transfer-allowable} = \frac{335}{1.25} \times 3.14 \times 0.191 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 160 \text{ kN}$$

$$P_{C-allowable} = 0.68 f_{c-grout} \cdot area_{grout} + 0.80 f_{y-bar} \cdot area_{bar} + P_{transfer-allowable}$$

$$P_{C-allowable} = 1845 > 1500 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

نستخدم إذاً مواصفات الوتد بالتسليح الجديد من أجل إجراء تجربة التحقق.

9.4.1 حساب الانتقالات المحورية بطريقة (SLD):

لا يطلب عادةً في مثل هذه المسائل التحقق من صلابة الأوتاد الساندة لركيزة الجسر أو من انتقالاتها المحورية، ولكن سنقوم بحساب الانتقالات المحورية فقط لتوضيح كيفية حسابها من أجل الحمولات الزلزالية.

من أجل تبسيط الحل، نعتبر أن الوتد مرناً (أي لا يدخل في حالة اللدونة) بدءاً من ركيزة الجسر البيتونية إلى رأس القالب الدائم (نهاية طول الإرساء).

لحساب طول القالب لدينا ميل الأوتاد الأمامية عن الشاقول $(\phi=20^\circ)$ والطول الكلي للقالب المعدني هو مجموع طول إرساء القالب المعدني والطول الأعظمي للأوتاد الأمامية... إذاً:

- طول إرساء القالب المعدني $(L_{insert} = 1.00 \text{ m})$.

- طول إرساء القالب المعدني من الركيزة إلى أعلى الطبقة الحصوية:

$$L_{upper} = \frac{3.35 \text{ m}}{\cos \phi_{batter}} = 3.60 \text{ m}$$

casing insertion into bond length $L_{insert} = 1.00 \text{ m}$

pile casing length $L_{casing} = L_{upper} + L_{insert} = 4.60 \text{ m}$

1.9.4.1 صلابة الوتد:

لدينا:

معامل مرونة مادة الفولاذ ($S_{steel} = 200000 \text{ MPa}$).

معامل مرونة المونة الإسمنتية ($S_{grout} = 31000 \text{ MPa}$).

مساحة المونة الإسمنتية ($\text{area-grout} = 10240 \text{ mm}^2$).

مساحة الفولاذ الكلية ($\text{area-steel} = \text{area-bar} + \text{area-casing} = 4676 \text{ mm}^2$).

بالتالي يكون:

- صلابة الوتد على الشد:

$$A \cdot E_{tension} = A_{steel} \cdot E_{steel} = 935000 \text{ kN}$$

- صلابة الوتد على الضغط:

$$A \cdot E_{compression} = (A_{grout} \cdot E_{grout}) + (A_{steel} \cdot E_{steel}) = 1250000 \text{ kN}$$

2.9.4.1 حساب الانتقالات المرنة:

نحسب الانتقالات المرنة بتأثير الحمولات الزلزالية التالية:

$$P_{tension} = 56.4 \text{ kN}$$

$$P_{compression} = 614.3 \text{ kN}$$

- الانتقالات المرنة من حمولة الشد:

$$\Delta t_{elastic} = \frac{P_{tension} \cdot L_{casing}}{A \cdot E_{tension}} = 0.3 \text{ mm}$$

- الانتقالات المرنة من حمولة الضغط:

$$\Delta c_{elastic} = \frac{P_{compression} \cdot L_{casing}}{A \cdot E_{compression}} = 2.2 \text{ mm}$$

3.9.4.1 حساب الانتقالات اللدنة (غير مرنة أو الدائمة أو المتبقية):

يتم حساب الانتقالات المتبقية من تجارب التحميل السابقة وبحسب الخبرة وذلك من خلال الطول الكلي للوتد ونوع التربة والحمولات المطبقة، فيكون:
- الانتقالات المتبقية على الشد:

$$\Delta_{tension} = 0.2 \text{ mm tension}$$

- الانتقالات المتبقية على الضغط:

$$\Delta_{residual} = 2.5 \text{ mm compression}$$

- الانتقالات الكلية على الشد:

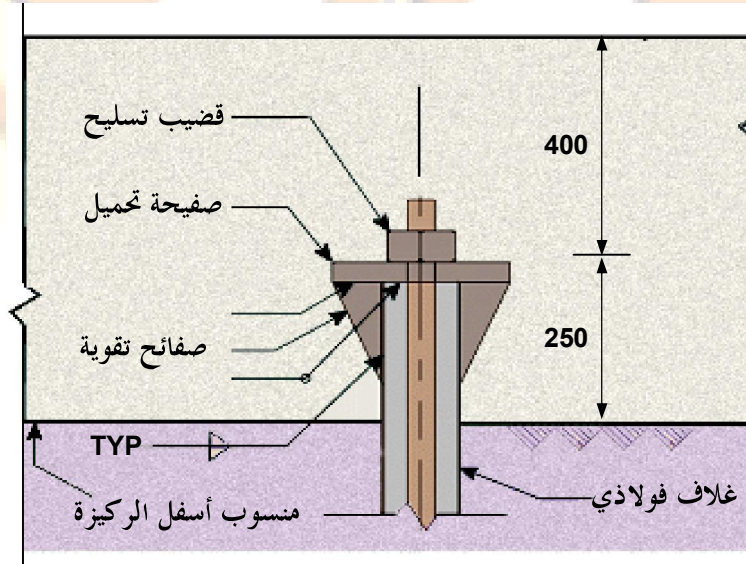
$$\Delta t_{total} = \Delta t_{elastic} + \Delta t_{residual} = 0.5 \text{ mm}$$

- الانتقالات الكلية على الضغط:

$$\Delta c_{total} = \Delta c_{elastic} + \Delta c_{residual} = 4.7 \text{ mm}$$

10.4.1 تصميم وصلة الوتد مع القبة أو القاعدة (Cap) بطريقة (SLD):

يبين الشكل (7.1) نموذج الوصلة بين الوتد الدقيق وقاعدة الركيزة، حيث يتم إرساء الوتد بطول (250 mm) ضمن هذه القاعدة ويتم تثبيته بصفيحة تحميل ملحومة في نهاية القالب المعدني.



الشكل (7.1)

لحساب الحمولات التصميمية والأبعاد لدينا:

- حمولات الاستثمار على الضغط: ($P_{c-service} = 594.6 \text{ kN}$).
- المقاومة المميزة على الضغط في بيتون الأساس ($f_c = 27.6 \text{ MPa}$).
- القطر الخارجي للقلب المعدني ($OD_{casing} = 141 \text{ mm}$).
- مساحة مقطع الوتد ($area_{pile} = \pi \cdot OD_2/4 = 15.615 \text{ mm}^2$).
- نختار صفيحة التحميل مربعة ($254 \times 254 \text{ mm}$) فتكون مساحة الصفيحة:

$$area_{plate} = plate_{width}^2 = 64.516 \text{ mm}^2$$

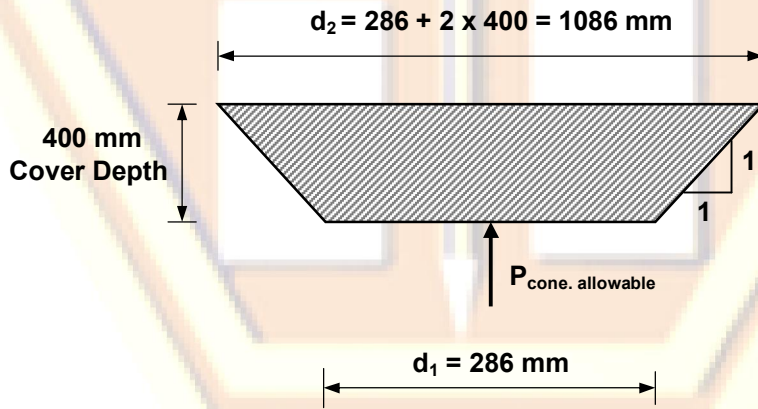
11.4.1 حساب الثقب غير المباشر:

نحسب القطر المكافئ للصفيحة المربعة بالعلاقة من مساواة مساحة الصفيحة المربعة التي بعدها (254 mm) مع مساحة صفيحة دائرية قطرها (d_1):

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 254^2}{\pi}} = 286 \text{ mm}$$

نحسب المساحة (A_{cp}) من العلاقة التالية... (الشكل 8.1):

$$A_{cp} = \frac{\pi}{4} \times (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} \times (1086^2 - 286^2) = 862053 \text{ mm}^2$$



الشكل (8.1)

تكون مقاومة الثقب وفق الكود (ACI- 349) كما يلي:

$$P_{cone \text{ design strength}} = 4 \phi \sqrt{f_c (P_{si})} \times A_{cp}$$

$$P_{cone \text{ design strength}} = 10.5 \phi \sqrt{f_c (\text{KPa})} \times A_{cp}$$

$$P_{\text{cone design strength}} = 10.5 \phi \sqrt{27.6 \text{ (MPa)} \left[\frac{1000 \text{ kPa}}{\text{MPa}} \right] \times A_{cp} \times 10^6}$$

$$P_{\text{cone design strength}} = 1504 \text{ kN}$$

وبحسب التصميم بطريقة (SLD)، يجب أن نقسم هذه المقاومة على معامل أمان (FS) يحسب كما يلي:

$$P_{\text{cone allowable}} = \frac{P_{\text{cone nominal strength}}}{FS}$$

$$FS = \frac{LF}{\phi}$$

$$LF = \text{combined load factor} = \frac{\gamma [B_D \cdot Q_D + B_L \cdot Q_L + B_E \cdot Q_E]}{Q_D + Q_L + Q_E}$$

ولدينا:

$$\gamma = 1.3, B_D = 1, B_L = 1.67, B_E = 1.3$$

$$Q_D = 0.62, Q_L = 0.16, Q_E = 0.22$$

$$\frac{Q_D}{Q_D + Q_L + Q_E} = 0.62$$

$$\frac{Q_L}{Q_D + Q_L + Q_E} = 0.16$$

$$\frac{Q_E}{Q_D + Q_L + Q_E} = 0.22$$

$$LF = 1.3 [1.0 \times 0.62 + 1.67 \times 0.16 + 1.3 \times 0.22] = 1.53$$

وبحسب الكود (ACI 349) تعتبر ($\phi=0.65$) من أجل الحساب مع عدم وجود تسليح خاص للثقب في الأساس. إذاً فمعامل الأمان المطلوب هو:

$$FS = \frac{1.53}{0.65} = 2.35$$

وتكون مقاومة الثقب كما يلي:

$$P_{\text{conc. allowable}} = \frac{1504}{2.35} = 640 > 594.6 \text{ kN}$$

12.4.1 تصميم صفيحة التحميل:

إن قيمة الاجهادات الفعلية المطبقة على الصفيحة هي:

$$\text{bearing}_{\text{copresion}} = \frac{P_{\text{c- service}}}{\text{area}_{\text{plate}}} = 9.22 \text{ Mpa}$$

نوجد العزم الأعظمي في شريحة عرضها (10 mm) من الصفيحة:

$$M_{\text{max}} = 10 \text{ mm} \times \frac{1}{2} \left[\frac{P_{\text{plate width}} - \text{OD}_{\text{casing}}}{2} \right]^2 \times \text{bearing}_{\text{copresion}}$$

$$M_{\text{max}} = 0.147 \text{ kN.m}$$

نحسب سماكة الصفيحة اللازمة بطريقة الاجهادات المسموحة:

لدينا إجهاد الخضوع للفلاد (f_y = 345 Mpa).

من أجل التصميم بطريقة الاجهادات المسموحة تخفض هذه القيمة لتصبح (f_b = 0.55 f_y = 189.75 Mpa)

لدينا العزم المرن المقاوم:

$$S_{x\text{-req}} = \frac{M_{\text{max}}}{f_b} = 775 \text{ mm}^3$$

تكون سماكة الصفيحة المطلوبة:

$$t_{\text{req}} = \sqrt{\frac{6 S_{x\text{-req}}}{10 \text{ mm}}} = 21.6 \text{ mm}$$

نستخدم إذاً صفيحة علوية مربعة بأبعاد (254 x 254 - t = 25.4 mm).

13.4.1 حساب مقاس اللحام (weld size):

نستخدم إلكتروادات (أو قضبان اللحام) من النموذج (E70)، والمدرج في المواصفات (ASTM A53 Grade B-Casing) والتي لها مقاومة على الشد تساوي (F_{u-weld} = 483 Mpa) ... إن مقاومة الشد الدنيا للعناصر الموصولة باللحام في القالب المعدني هي (F_{u-part} = 414 Mpa).

تكون مقاومة اللحام التصميمية بحسب الكود المذكور:

$$\Phi F = 0.27 F_{u\text{-part}} = 111.8 \text{ Mpa}$$

مقاس اللحام المطلوب في منطقة وصل القالب مع الصفيحة:

$$t_{\text{weld-top}} = 6.35 \text{ mm}$$

14.4.1 تصميم صفائح التقوية (stiffener plates):

نستخدم أربع صفائح تقوية مثلثية.

$$t_{\text{stiff.}} = 12.70 \text{ mm} , W_{\text{stiff.}} = 110 \text{ mm} , L_{\text{stiff.}} = 150 \text{ mm}$$

الطول الكلي لشريط اللحام العلوي:

$$L_{\text{weld}} = \pi \text{OD}_{\text{casing}} - 4 t_{\text{stiff.}} + 8 w_{\text{stiff.}} = 1190 \text{ mm}$$

وتكون مقاومة اللحام:

$$P_{\text{weld-top}} = 0.707 \cdot t_{\text{weld-top}} \cdot \Phi \cdot F \cdot L_{\text{weld}} \dots \text{ kN}$$

$$P_{\text{weld-top}} = 598 > 595 \dots \text{ kN OK}$$

مقاس اللحام الجانبي لصفائح التقوية (لحام الصفائح مع القالب):

$$t_{\text{weld-side}} = 6.35 \text{ mm}$$

طول شريط اللحام الجانبي:

$$L_{\text{weld-side}} = 8 L_{\text{stiff}} = 1200 \text{ mm}$$

تكون بالتالي مقاومة اللحام الجانبي بين الصفائح الأربعة والقالب المعدني:

$$P_{\text{weld-side}} = 0.707 \cdot t_{\text{weld-side}} \cdot \Phi \cdot F_{\text{weld}} \cdot L_{\text{weld}} = 606 \text{ kN}$$

$$P_{\text{weld-side}} > 0.707 \cdot t_{\text{weld-top}} \cdot \Phi \cdot F \cdot 8 W_{\text{stiff.}} = 402 \text{ kN} \dots \text{ OK}$$

نلاحظ أن مقاومة اللحام الجانبي بين صفائح التقوية والقالب أكبر من مقاومة اللحام بين هذه الصفائح والصفحة... وهو المطلوب.

15.4.1 التصميم بطريقة معامل تصعيد الحمولة (LFD):

1.15.4.1 حساب مقاومة الوتد بطريقة (LFD):

حددنا في الجدول (2.1) الحمولات التي تتعرض لها الركيزة بطريقة (SLD)، أما في طريقة (LFD) فتكون الحمولات التصميمية كما يلي:

$$F_y = \gamma (B_D \cdot D_C + B_D \cdot D_S + B_D \cdot V_{DL} + B_L \cdot V_{LL})$$

$$F_y = 1.3 (1 \times 97 + 1 \times 108.7 + 1 \times 178.7 + 1.67 \times 73) = 658.2 \text{ kN/m}$$

$$F_x = \gamma (B_E \cdot H_E + B_E \cdot P_E)$$

$$F_x = 1.3 (1.3 \times 14.96 + 1.3 \times 65.2) = 135.7 \text{ kN/m}$$

$$M = \gamma (B_D \cdot D_C + B_D \cdot D_S + B_D \cdot V_{DL} + B_L \cdot V_{LL} + B_E \cdot H_L + B_E \cdot P_E)$$

$$M = 1.3 (1 \times 26.2 - 1 \times 59.8 + 1 \times 103.7$$

$$+ 1.67 \times 42.3 + 1.3 \times 39.3 + 1.3 \times 114.3) = 442.5 \text{ kN.m/m}$$

حيث:

(F_y): مجموع الحمولات الشاقولية.

(F_x): مجموع الحمولات الأفقية.

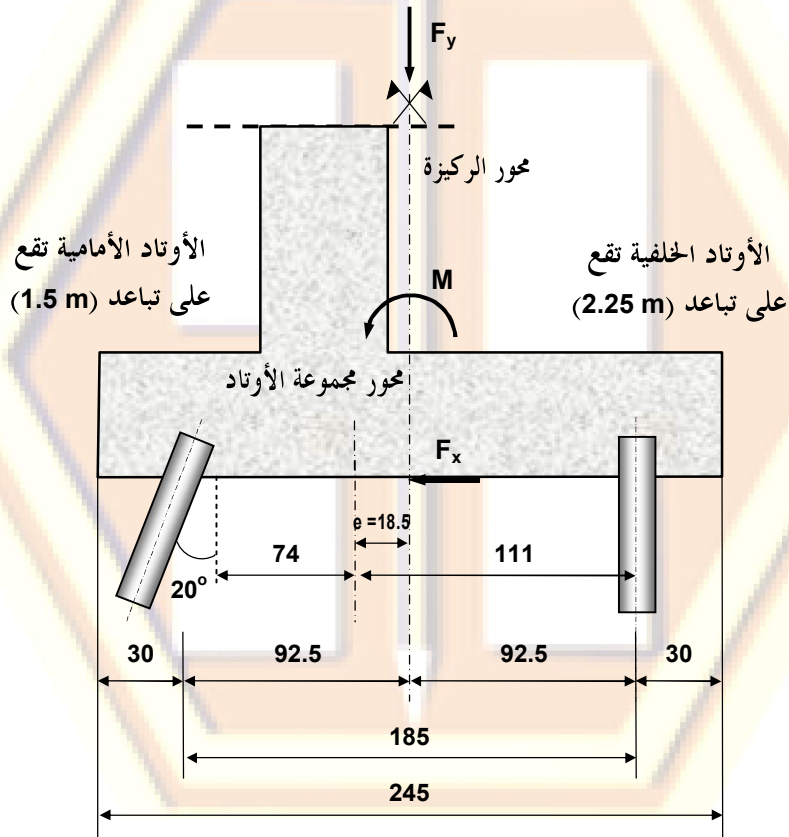
(M): مجموع العزوم حول مركز أساس الركيزة.

وجدنا سابقاً أن محصلة القوى تقع على المسافة التالية من الأوتاد الأمامية. انظر الشكل (10.1) المكرر عن الشكل (9.1).

$$x = \frac{0.67 \times 0 + 0.44 \times 1.85}{0.67 + 0.44} = 0.74 \text{ m}$$

وأن قيمة اللامركزية بين مركز ثقل مجموعة الأوتاد ومركز الركيزة هي:

$$e = \frac{185}{2} - 74 = 18.5 \text{ cm}$$



الشكل (9.1)

نوجد عزم عطالة مجموعة الأوتاد حول مركز الثقل:

$$I = \frac{1}{1.5} (0.74)^2 + \frac{1}{2.25} (1.11)^2 = 0.9127 \text{ m}^4$$

تكون قيمة الحمولة على الأوتاد الخلفية في المتر الطولي:

$$\text{rear pile } V_L = \frac{F_y}{1.11} - \frac{(M - F_y \cdot e) \times 1.11}{0.9127}$$

قيمة الحمولة على الأوتاد الأمامية في المتر:

$$\text{front pile } V_L = \frac{F_y}{1.11} + \frac{(M - F_y \cdot e) \times 0.74}{0.9127}$$

وبالتبديل بحسب مجموعة الحملات الزلزالية وغير الزلزالية نجد أن:

- حمولة مجموعة الأوتاد من الأفعال غير الزلزالية:

1. حمولة مجموعة الأوتاد الخلفية:

$$\text{rear pile } V_L = \frac{658.2}{1.11} - \frac{(442.5 - 658.2 \times 0.185) \times 1.11}{0.9127}$$

$$\text{rear pile } V_L = 202.4 \text{ kN}$$

2. حمولة مجموعة الأوتاد الأمامية:

$$\text{front pile } V_L = \frac{658.2}{1.11} + \frac{(442.5 - 658.2 \times 0.185) \times 0.74}{0.9127}$$

$$\text{front pile } V_L = 852.7 \text{ kN}$$

بما أن الأوتاد الأمامية تميل عن الشاقول بزاوية (20°)، تكون الحمولة المحورية على تلك الأوتاد:

$$\text{front pile axial load} = \frac{852.7}{\cos 20^\circ} = 907.4 \text{ kN compression}$$

- حمولة مجموعة الأوتاد من الأفعال الزلزالية:

1. حمولة الأوتاد الخلفية:

$$\text{Rear pile vert. load} = \frac{384.4}{1.11} - \frac{(402 - 384.4 \times 0.185) \times 1.11}{0.9127}$$

$$\text{Rear pile vert. load} = - 56.4 \text{ kN}$$

2. حمولة مجموعة الأوتاد الأمامية:

$$\text{front pile } V_L = \frac{384.4}{1.11} + \frac{(402 - 384.4 \times 0.185 \times 0.74) \times 1.11}{0.9127}$$

$$\text{front pile } V_L = 614.3 \text{ kN}$$

بما أن الأوتاد الأمامية تميل عن الشاقول بزاوية (20°)، تكون الحمولة المحورية على هذه الأوتاد:

$$\text{front pile } V_L = \frac{614.3}{\cos 20^\circ} = 654 \text{ kN compression}$$

3.15.4.1 المقاومة التصميمية الجيوتكنيكية والإنشائية للأوتاد الدقيقة بطريقة

(LFD):

يتم في هذه الخطوة تحديد خصائص المواد وأبعاد الوتد التصميمية وأقطار التسليح للأوتاد المختارة، وتصميم الطولين المغلف وغير المغلف بالإضافة إلى تحديد مقاومة التماسك الجيوتكنيكية وفق طريقة (LFD).
سنقوم بتصميم وتد منفرد من الأوتاد المائلة الأمامية التي تقاوم الحمولات الضاغطة ومن الأوتاد الخلفية التي تقاوم القوى الشادة الناتجة عن الحمولات الزلزالية. نستخدم قوالب معدنية ذات إجهاد خضوع (241 Mpa) ... ولتحقيق توافق التشوهات بين القالب المعدني وقضبان التسليح في المقطع المختلط نستخدم في التصميم القيمة الأدنى لإجهاد الخضوع وهي (241 Mpa).

ملاحظة:

يمكن في حال وجود عدد كبير من الأوتاد في المشروع، تصميم الأوتاد الأمامية بشكل منفصل عن الأوتاد الخلفية. فمثلاً يمكن تخفيض حجم القالب المعدني وطول التماسك للأوتاد الخلفية نظراً للحمولة الصغيرة التي تتعرض لها مقارنة مع تلك الأمامية.

أولاً - تحديد المقاومة التصميمية بطريقة (LFD) للطول المغلف:

خصائص المواد والأبعاد:

نستخدم القالب المعدني من القطر الخارجي (141 mm) وسماكة الجدران (9.5 mm)، ولكن من أجل أخذ التآكل في القالب المعدني مع الزمن نخفض القطر الخارجي بمقدار (1.6 mm) من كل جهة فيصبح:
القطر الخارجي للقالب بعد أخذ التآكل بالاعتبار:

$$OD_{\text{casing}} = 141 - 2 \times 1.6 = 137.8 \text{ mm}$$

القطر الداخلي للقالب المعدني:

$$ID_{\text{casing}} = 141 - 2 \times 9.5 = 122 \text{ mm}$$

مساحة القالب المعدني:

$$area_{\text{casing}} = \frac{\pi}{4} (OD_{\text{casing}}^2 - ID_{\text{casing}}^2) = 3224 \text{ mm}^2$$

إجهاد خضوع مادة القالب ($f_{y-\text{casing}} = 241 \text{ Mpa}$):

نصف قطر العطالة:

$$r_{\text{casing}} = \frac{\sqrt{OD^2 + ID^2}}{4} = 46 \text{ mm}$$

تمتلك قضبان التسليح قطر (43 mm) وماركة (Grade 520) المواصفات التالية:

مساحة القضيب (area-bar = 1452 mm²).

إجهاد الخضوع (f_{y-bar} = 520 Mpa).

أما المونة الإسمنتية فلها المواصفات التالية:

مساحة المونة area-grout = π.ID² casing/4 - area-bar = 10240 mm².

المقاومة المميزة للمونة على الضغط (f_{c-grout} = 34.5 Mpa).

لتحقيق توافق التشوهات بين القالب المعدني وقضبان التسليح في المقطع المختلط نستخدم في التصميم القديمة الأدنى لإجهاد الخضوع:

$$f_{y\text{-steel}} = \min. \text{ of } (f_{y\text{-bar}}, f_{y\text{-casing}}) = 241 \text{ Mpa}$$

وتكون المقاومة التصميمية على الشد:

$$P_{t\text{-nominal}} = f_{y\text{-steel}} (\text{area}_{\text{bar}} + \text{area}_{\text{casing}}) = 1127 \text{ kN}$$

$$\phi_t = 0.90 \Rightarrow$$

$$P_{t\text{-design}} = \phi_t P_{t\text{-nominal}} = 1014 \text{ kN}$$

تصبح المقاومة التصميمية على الضغط:

$$P_{c\text{-nominal}} = \left[0.85 f_{c\text{-grout}} \cdot \text{area}_{\text{grout}} + f_{y\text{-steel}} (\text{area}_{\text{bar}} + \text{area}_{\text{casing}}) \right] \frac{F_a}{F_{y\text{-steel}}}$$

$$P_{c\text{-nominal}} = 1427 \text{ kN}$$

حيث:

$$\phi_c = 0.85, P_{c\text{-design}} = \phi_c \cdot P_{c\text{-nominal}} = 1213 \text{ kN}$$

$$f_a = f_{y\text{-steel}} = 241 \text{ Mpa}$$

ثانياً - تحديد المقاومة التصميمية بطريقة (LFD) للطول غير المغلف:

خصائص المواد والأبعاد:

يجب أن يزيد قطر الثقب عند تنفيذ الحفريات من أجل صب الوتد الدقيق عن قطر القالب المعدني، وسنعتبر في هذا المثال أن قطر الحفرة يزيد عن قطر القالب

المعدني الخارجي بمقدار (50 mm) وبالتالي:

لدينا (OD = 141 mm).

$$\text{Grout DIA}_{\text{bond}} = 141 + 50 = 191 \text{ mm} = 0.191 \text{ m}$$

وبالتالي تكون مساحة المونة:

$$\text{area}_{\text{grout}} = \frac{\pi}{4} (\text{DIA}_{\text{bond}}^2) - \text{area}_{\text{bar}} = 27200 \text{ mm}^2$$

سنفرض أن الحمولة المنقولة عبر الطول المغروز (p_{trans.design} = 110 kN) مع الإشارة إلى أن هذه القيمة تفترض حسب الخبرة، ثم يجري التحقق منها لاحقاً. تكون المقاومة التصميمية على الشد إذاً:

$$P_{t-\text{design}} = 0.9 f_{y-\text{bar}} \cdot \text{area}_{\text{bar}} + P_{\text{transfer design}} = 790 \text{ kN}$$

المقاومة التصميمية على الضغط:

$$P_{c-\text{design}} = 0.75 (0.85 f_{c-\text{grout}} \cdot \text{area}_{\text{grout}} + f_{y-\text{bar}} \cdot \text{area}_{\text{bar}}) + P_{\text{transfer design}}$$

$$P_{c-\text{design}} = 1275 \text{ kN}$$

16.4.1 تحديد مقاومة التماسك الجيوتكنيكية بطريقة (LFD):

لكي يكون التماسك فعالاً، يجب أن يتوضع طول التماسك للوتد الدقيق في تربة ذات طبيعة رملية حصوية كثيفة أو متوسطة الكثافة، وذلك أسفل مقطع أساس الركيزة بحدود (3.35 m)، ويتم إهمال التماسك بين الوتد والتربة المحيطة فوق هذا الطول. يجب أن يتم تنفيذ الأوتاد وفق النموذج (Type B) المشروح في الفصل الثاني، حيث يتم ضخ المونة الاسمنتية تحت الضغط. يتم استنتاج واحدة التماسك بين بيتون الوتد والتربة المحيطة كما يلي (الجزء

8)، حيث نجد أن: $\alpha_{\text{bond nominal strength}} = 335 \text{ kPa}$ وجدنا من التحليل أعلاه أن حمولة الوتد المائل على الضغط تحت الأفعال غير الزلزالية هي (907 kN) لذا يجب أن تكون مقاومة التماسك (PG-design strength) أكبر أو تساوي هذه القيمة... وهذا يعني أنه يجب أن يتحقق الشرط التالي:

$$P_{G-\text{design strength}} \geq 907 \text{ kN/pile} \Rightarrow$$

$$P_{G-\text{design strength}} = \phi_G (\alpha_{\text{bond nominal strength}}) \times 3.14 \times \text{DIA}_{\text{bond}}$$

$$x (\text{bond length}) \geq 907 \text{ kN (required strength)}$$

$$\text{bond length} \geq \frac{907}{\phi_G (\alpha_{\text{bond nominal strength}}) \times 3.14 \times \text{DIA}_{\text{bond}}}$$

$$\text{bond length} \geq \frac{907}{0.6 (335 \text{ kPa}) \times 3.14 \times 0.191 \text{ m}} \geq 7.5 \text{ m}$$

نختار بعد ذلك طول التماسك يساوي: $\text{bond length} = 7.50 \text{ m}$

نعيد حساب مقاومة التماسك وفق الطول المختار فيكون:
من أجل مجموعة الحمولات غير الزلزالية ($\phi G = 0.60$):

$$P_{G\text{-design strength}} = 0.6 \times 335 \times 3.14 \times 0.191 \times 7.5 \text{ m} = 901 \approx 907 \text{ kN}$$

من أجل الحمولات الزلزالية ($\phi G = 1.00$):

$$P_{G\text{-design strength}} = 1.00 \times 335 \times 3.14 \times 0.191 \times 7.5 \text{ m} = 1507 \text{ kN}$$

نختار طول الإرساء ($L_p = 1 \text{ m}$) حيث نتحقق من قيمة الحمولة المنقولة عبر هذا الطول (انظر الجزء 8) مع التذكير بأن أن هذه الحمولة هي (110 kN)، وبالتالي يكون:

من أجل مجموعة الحمولات غير الزلزالية ($\phi G = 0.60$):

$$P_{\text{transfer design}} = 0.60 \times 335 \times 3.14 \times 0.191 \times 1 \text{ m}$$

$$P_{\text{transfer design}} = 120 \text{ kN} > 110 \text{ kN} \dots \text{ OK}$$

من أجل الحمولات الزلزالية ($\phi G = 1.00$):

$$P_{\text{transfer design}} = 1 \times 335 \times 3.14 \times 0.191 \times 1$$

$$P_{\text{transfer design}} = 200 \text{ kN} > 110 \text{ kN} \dots \text{ OK}$$

17.4.1 تحقيق مقاومة الحمولات المحورية بطريقة (LFD):

إن الحمولات المحورية التي يتعرض لها الوتد المائل الأمامي هي:

$$\text{Group}_{\text{non seismic}} = 907 \text{ kN compression}$$

$$\text{Group}_{\text{seismic}} = 654 \text{ kN compression and } -56 \text{ kN tension}$$

وقد وجدنا أن المقاومات التصميمية للوتد تساوي وفق مجموعة الحمولات وأقسام الوتد القيم التالية:

الجدول (3.1)		
الحمولات الزلزالية	الحمولات غير الزلزالية	المقاومات التصميمية
1213 kN (C) 1014 kN (T)	1213 kN (C)	الطول العلوي الإنشائي المغلف Structural Upper Cased Length
1275 kN (C) 790 kN (T)	1275 kN (C)	الطول السفلي الإنشائي المغلف Structural Lower Cased Length
1507 kN (C) 1507 kN (T)	904 kN (C)	طول التماسك الجيو تكنولوجي Geotechnical Bond Length

باعتبار أن (907 kN ≈ 904)، نجد بالمقارنة أن المقاومة التصميمية أكبر من الحمولات المطبقة، وبالتالي فالوحد محقق لمقاومة الحمولات المحورية.

18.4.1 تحقيق المقاومة الجانبية بطريقة (LFD):

وجدنا من التحليل أن الحمولات الجانبية التي يتعرض لها الوحد هي:

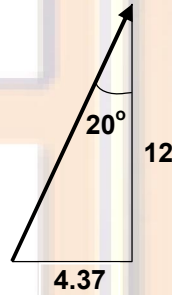
$$\text{Group}_{\text{non seismic}} = 135.7 \text{ kN/m}$$

$$\text{Group}_{\text{seismic}} = 138.9 \text{ kN/m}$$

بما أن الأوتاد الأمامية تميل عن الشاقول بزاوية (20°)، أي بنسبة ميل (4.37/12) فالحمولة الشاقولية في الأوتاد تقاوم القوى الجانبية... ومن إسقاط القوى نجد:

1. المقاومة الجانبية التصميمية لمجموعة الحمولات غير الزلزالية:

$$\text{Lateral design strength} = 853 \text{ kN} \times \frac{4.37}{12} = 311 \text{ kN/pile}$$



الشكل (10.1)

نحول الحمولة الجانبية في المتر إلى حمولة على الوحد فيكون:

$$\text{Lateral required / pile} = 135.7 \times 1.5 \text{ m} = 204 \text{ kN/pile}$$

إذاً فمقاومة الوحد للحمولات الجانبية أكبر من الحمولات التي يتعرض لها.

2. مجموعة الحمولات الزلزالية:

المقاومة الجانبية التصميمية:

$$\text{Lateral design strength} = 614 \times \frac{4.37}{12} \text{ m} = 224 \text{ kN/pile}$$

نحول أيضاً القوى الجانبية الزلزالية من الحمولة على المتر إلى الحمولة على الوحد فنجد:

$$\text{Lateral required strength/pile} = 138.9 \times 1.5 \text{ m} = 208 \text{ kN/pile}$$

إذا فالوئد محقق لمقاومة القوى الجانبية.

19.4.1 حساب حمولات تجارب التحميل بطريقة (LFD):

وجدنا أن الحمولات المحورية التي يتعرض لها الوئد تساوي:

$$\text{Group}_{\text{non seismic}} = 907 \text{ kN compression}$$

$$\text{Group}_{\text{seismic}} = 654 \text{ kN compression \& - 56 kN tension}$$

وبالتالي تكون حمولة تجربة التحميل هي... راجع الفقرة (1.6.4):

$$\text{vertical test load} = \frac{\text{LF} \times \text{DL}}{\phi_G}$$

مع التنكير بأن (DLxLF = 907 kN) وأن ($\phi_G = 0.60$) من أجل التصميم على حالة عدم وجود زلازل. إذا:

$$\text{nominal strength} = \frac{907}{0.6} = 1500 \text{ kN}$$

حمولة تجربة المتانة القياسية... انظر الفصل الخامس.

$$\text{nominal strength} = \frac{907}{0.6} = 1500 \text{ kN}$$

$$\text{Proof test load} = \frac{1.67}{2.5} \times (\text{verification load or nominal strength})$$

وبالتالي تكون حمولة اختبار المتانة القياسية تساوي:

$$\text{Proof test load} = \frac{1.67}{2.5} \times 1500 = 1000 \text{ kN}$$

20.4.1 التصميم الإنشائي بطريقة (LFD) من أجل تجارب التحميل:

إن التصميم المتبع بطريقة (SLD) مماثل لما هو في طريقة (LFD)... انظر الفقرة (6.4) من هذا الفصل.

21.4.1 حساب الانتقالات المحورية بطريقة (LFD):

نتبع نفس طريقة الحساب المذكورة في الفقرة (8.19.4).

22.4.1 تصميم وصلة الوئد مع الأساس بطريقة (LFD):

يبين الشكل (7.1) السابق نموذج الوصلة المقترحة بين الوتد الدقيق وأساس الركيزة حيث يتم إرساء الوتد بطول (250 mm) ضمن هذا الأساس، وتثبيتته بصفيحة تحميل ملحومة في نهاية القالب المعدني.

المقاومة التصميمية والأبعاد:

لدينا المعطيات التالية:

- المقاومة المطلوب تحقيقها على الشد من أجل مجموعة الحمولات الزلزالية $(P_{t-required} = 56 \text{ kN})$.

- المقاومة المطلوب تحقيقها على الضغط من أجل مجموعة الحمولات غير الزلزالية $(P_{c-required} = 907 \text{ kN})$.

- المقاومة المميزة على الضغط لبيتون الأساس $(f'_c = 27.6 \text{ Mpa})$.

$$\text{nominal strength} = \frac{907}{0.6} = 1500 \text{ kN}$$

- القطر الخارجي للقالب المعدني:

$$OD_{\text{casing}} = 141 \text{ mm}$$

- مساحة مقطع الوتد:

$$\text{area}_{\text{pile}} = \frac{\pi}{4} OD_{\text{casing}}^2 = 15615 \text{ mm}^2$$

نختار صفيحة التحميل بشكل مربع $(254 \times 254 \text{ mm})$ فتكون مساحتها:

$$\text{area}_{\text{plate}} = \text{plate width}_{\text{plate}}^2 = 64516 \text{ mm}^2$$

1.22.4.1 حساب الثقب غير المباشر من أجل الحمولات الضاغطة:

نحسب القطر المكافئ للصفيحة المربعة بالعلاقة (من مساواة مساحتها مع مساحة صفيحة دائرية قطرها (d_1) ... أي:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 254^2}{\pi}} = 286 \text{ mm}$$

نحسب المساحة (A_{cp}) من العلاقة (انظر الشكل 11.1):

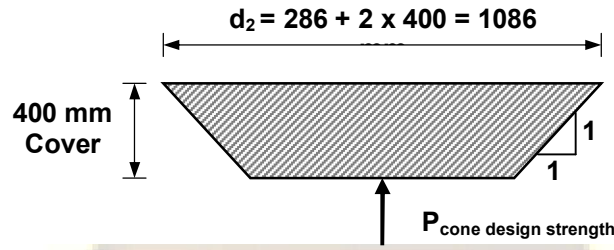
$$A_{cp} = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} (1086^2 - 286^2) = 862053 \text{ mm}^2$$

تكون مقاومة الثقب بحسب الكود الأمريكي (ACI 349):

$$P_{\text{con design strength compression}} = 10.5 \times 0.65 \sqrt{27.6 \times 1000 \times A_{cp} \times 10^6}$$

$$P_{\text{con design strength compression}} = 977 > 907 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

حيث $(\phi = 0.65)$ عند عدم وجود تسليح خاص بالثقب. ولا حاجة هنا لتخفيض هذه المقاومة كما في طريقة (SLD).



الشكل 11.1

2.22.4.1 اختبار الثقب غير المباشر من أجل الحمولات الشادة:

نحسب المساحة (A_{cp}) من العلاقة التالية... انظر الشكل (12.1):

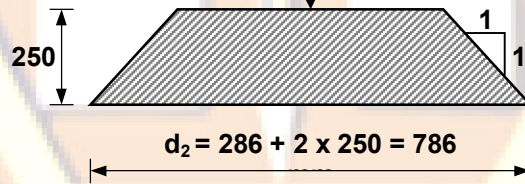
$$A_{CP} = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = 536000 \text{ mm}^2$$

تكون مقاومة الثقب بحسب (ACI- 349):

$$P_{\text{cone design strength compression}} = 10.5 \times 0.65 \times \sqrt{27.6 \times 1000 \times A_{CP} \times 10^{-6}}$$

$$P_{\text{cone design strength compression}} = 608 > 56 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

$P_{\text{cone design strength tension}}$



الشكل 12.1

3.22.4.1 حساب سماكة صفيحة التحميل المطلوبة:

نحسب الإجهادات الفعلية المطبقة على الصفيحة في حالة الحمولة الشادة كما يلي:

$$\text{bearing}_{\text{tension}} = \frac{P_{t\text{-required}}}{\text{area}_{\text{plate}} - \text{area}_{\text{pile}}} = 1.15 \text{ MPa}$$

كما نحسب قيمة الإجهادات الفعلية المطبقة على الصفيحة في حالة الحمولة الضاغطة:

$$\text{bearing}_{\text{compression}} = \frac{P_{\text{c-required}}}{\text{area}_{\text{plate}}} = 14.06 \text{ Mpa}$$

يكون إذا العزم في شريحة من الصفيحة عرضها (10 mm) يساوي:

$$M_{\text{max}} = 10 \text{ mm} \times \frac{1}{2} \left(\frac{\text{plate wide}_{\text{plate}} - \text{OD}_{\text{casing}}}{2} \right)^2 \times \text{bearing}_{\text{compression}}$$

$$M_{\text{max}} = 0.224 \text{ kN.m}$$

نحسب سماكة الصفيحة بطريقة الإجهادات المسموحة:
لدينا:

- إجهاد خضوع الفولاذ ($F_y = 345 \text{ Mpa}$).
- العزم المقاوم المرن:

$$S_{\text{x-required}} = \frac{M_{\text{max}}}{f_y} = 649.3 \text{ mm}^2$$

تكون سماكة الصفيحة المطلوبة:

$$t_{\text{required}} = \sqrt{\frac{6 S_{\text{x-required}}}{10 \text{ mm}}} = 19.7 \text{ mm}$$

نستخدم إذا صفيحة مربعة بأبعاد (254 x 254 x 25.4 mm).

4.22.4.1 حساب مقاس اللحام:

نستخدم قضبان اللحام (إلكتروادات) من النموذج (E70) ذات مقاومة الشد ($F_u = 483 \text{ Mpa}$) ... ولدينا مقاومة الشد الدنيا للعناصر الموصولة باللحام من القالب المعدني تساوي (ASTM- A53- Grade B):

$$F_{u\text{-part}} = 414 \text{ Mpa}$$

مقاومة اللحام التصميمية بحسب الكود المذكور:

$$\Phi F = 0.45 F_{u\text{-part}} = 186 \text{ Mpa}$$

مقاس اللحام المطلوب في منطقة وصل القالب مع الصفيحة:

$$t_{\text{weld-top}} = 6.35 \text{ mm}$$

5.22.4.1 تصميم صفائح التقوية (stiffener plates):

نستخدم أربع صفائح تقوية مثلثية.

$$t_{stiff.} = 12.70 \text{ mm} , W_{stiff.} = 100 \text{ mm} , L_{stiff.} = 150 \text{ mm}$$

الطول الكلي لشريط اللحام العلوي:

$$L_{weld} = \pi OD_{casing} - 4 t_{stiff.} + 8 w_{stiff.} = 1190 \text{ mm}$$

وتكون مقاومة اللحام:

$$P_{weld-top} = 0.707 \cdot t_{weld-top} \cdot \Phi \cdot F \cdot L_{weld} > 995 > P_{c-required} \text{ kN... OK}$$

مقاس اللحام الجانبي لصفائح التقوية (لحام الصفائح مع القالب):

$$t_{weld-side} = 6.35 \text{ mm}$$

طول شريط اللحام الجانبي:

$$L_{weld-side} = 8 L_{stiff} = 1200 \text{ mm}$$

تكون بالتالي مقاومة اللحام الجانبي بين الصفائح الأربعة والقالب المعدني:

$$P_{weld-side} = 0.707 \cdot t_{weld-side} \cdot \Phi \cdot F_{weld} = 1004 \text{ kN}$$

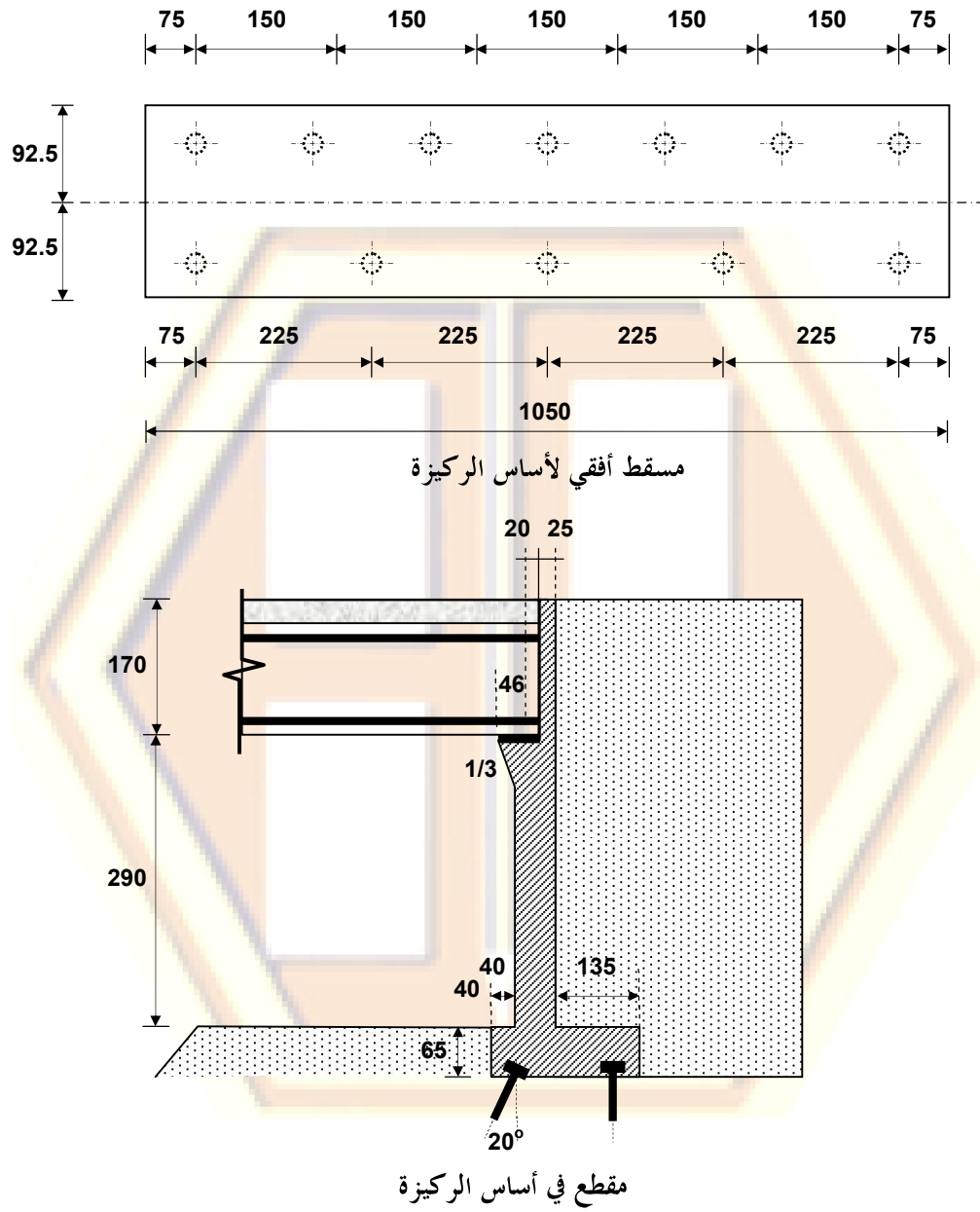
$$P_{weld-side} > 0.707 \cdot t_{weld-top} \cdot \Phi \cdot F \cdot 8 W_{stiff.} = 669 \text{ kN... OK}$$

نلاحظ أن مقاومة اللحام الجانبي بين صفائح التقوية والقالب أكبر من مقاومة اللحام بين هذه الصفائح والصفحة... وهو المطلوب.
أهمنا في الحساب إجهادات الانعطاف الناتجة على شريط اللحام والتي تعتبر محققة من أجل هذا النوع من الوصلات وللاوتاد الخاضعة للضغط بشكل رئيسي. أما في الحالات الأخرى يجب اعتبار هذه الإجهادات في التحليل.

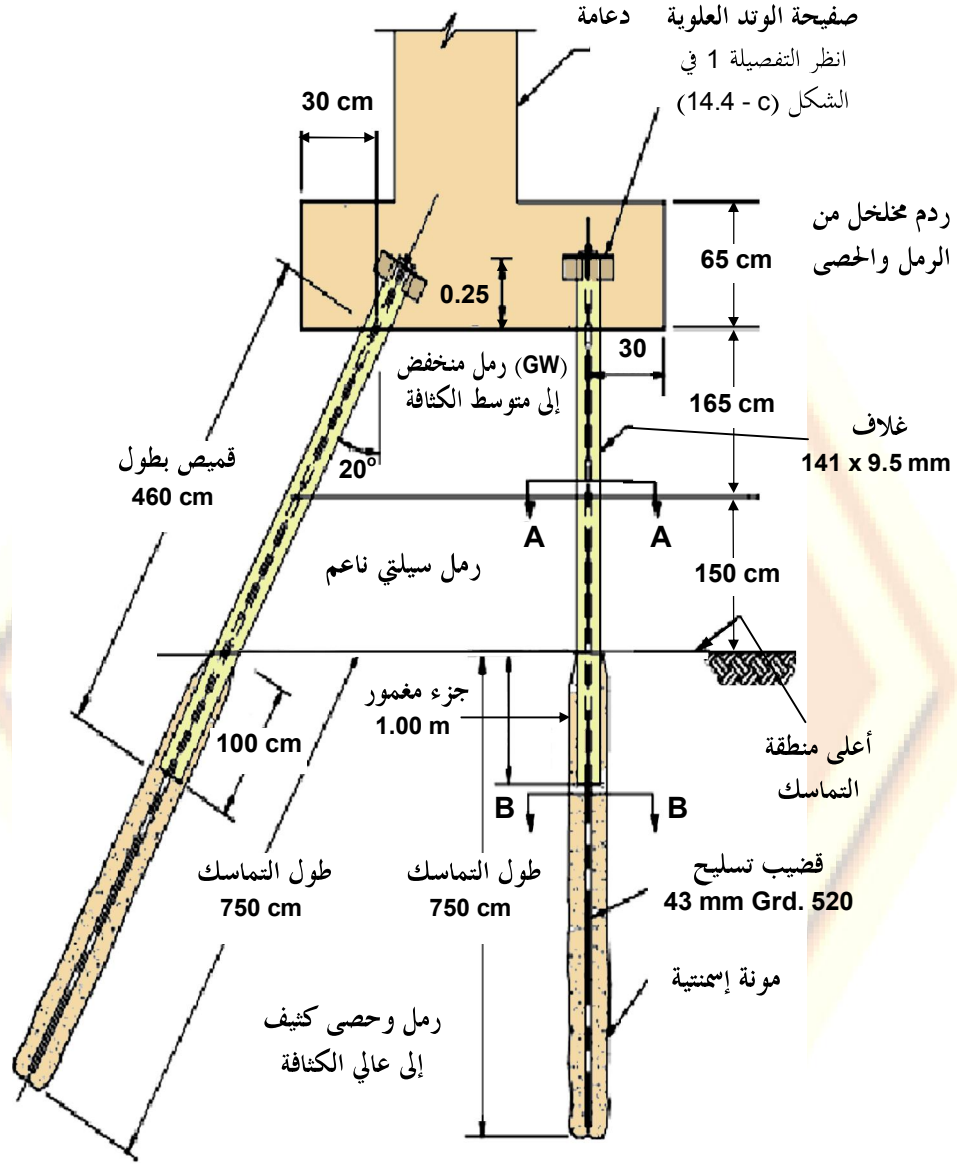
23.4.1 المخططات والتفاصيل التنفيذية:

1.23.4.1 نماذج المخططات:

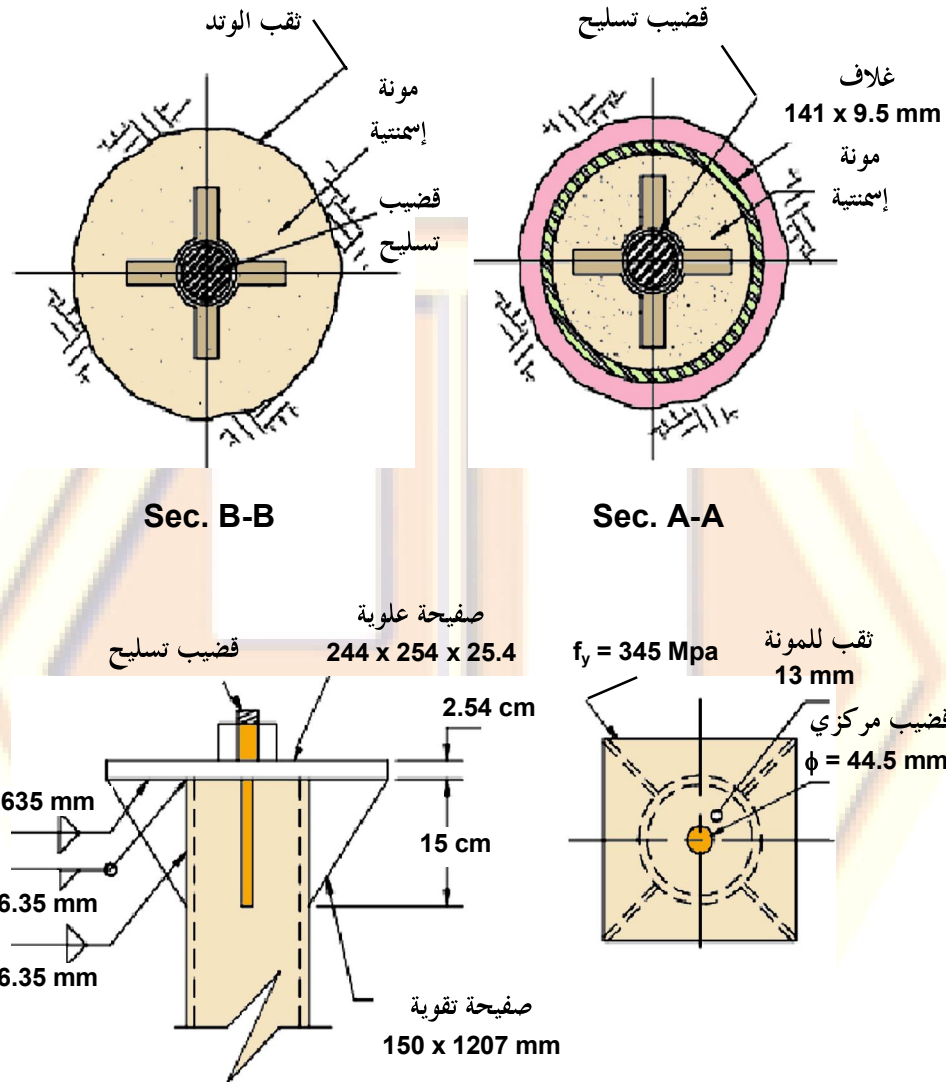
تبيين الأشكال التالية المخططات التنفيذية للأوتاد تحت أساس ركيزة الجسر.



الشكل 13.1



الشكل 14.1
انظر المقطعين (A-A) و (B-B) في الشكل (15.1)



الشكل 15.1

يتم قص أعلى القالب ضمن الطول المطلوب بحسب المخطط ويتم لحام
صفحة التحميل وصفائح التدعيم المطلوبة.
يتم أخذ عينات من المونة الإسمنتية من أجل اختبارها وقياس الوزن
الحجمي لهذه العينات، وذلك من كل خلطة جديدة.

2.23.4.1 مراحل تنفيذ الأوتاد الدقيقة:

يجب التحقق باستخدام الأجهزة المساحية من مساحة الموقع المطلوبة لتوقيع أماكن الأوتاد.

يتم الحفر باستخدام الحفارات الدورانية مع إدخال القالب المعدني من القطر (141 mm) لمسافة تساوي (7.50 m)، في التربة الحصوية أو لمسافة قدرها (11.20 m) من أسفل الأساس أيهما أكبر.

يتم وضع قضيب تسليح من قطر (43 mm) بشكل مركزي ضمن القالب المعدني.

يجري رفع رأس الحفر إلى أعلى القالب ثم ضخ المونة الإسمنتية ضمن طول التماسك (7.5 m) باستخدام مضخة ذات ضغط لا يقل عن (0.35 Mpa). بعد ضخ المونة الإسمنتية على الطول المطلوب ورفع القالب، يعاد إدخال القالب لمسافة (1.5 m) من أعلى طول التماسك.

يجب تسجيل البيانات المتعلقة بعملية التنفيذ والتي تتضمن ما يلي:

- الطول الكلي للوتد وتفاصيل ضخ المونة الإسمنتية وطبيعة التربة أثناء الحفر.
- تغيرات طبيعة أثناء الحفر، ومطابقتها مع ما هو وارد في تقرير الجيوتكنيك،
- المشاكل التي تظهر أثناء عملية التنفيذ وأية متغيرات أخرى تطرأ على التنفيذ.

3.23.19.4 تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة:

يجب اتباع الإجراءات المنصوص عليها في الفصل الثاني بشأن عملية الاختبار.

3.22.4.1 خواص المواد المستخدمة في التنفيذ:

يجب أن توافق المونة الإسمنتية كافة الاشتراطات المنصوص عليها في الكود المعتمد، ومنها مثلاً الكود الأمريكي (ASTM C150) الذي يعتمد المونة من النوع (Type I / II)، بحيث تكون نسبة الماء إلى الاسمنت تساوي (0.45). كما يجب ألا تقل المقاومة الاسطوانية المميزة للمونة الإسمنتية بعمر (28) يوم عن (34.5 Mpa).

يجب استخدام قضبان تسليح وفق الكود المعتمد، فمثلاً تشترط المواصفات (ASTM - 615) استخدام القطر (43 mm) من الصنف (Grade 520)، حيث (fy = 520 MPa).

يجب أن تحقق صفيحة التحميل وصفائح التدعيم المواصفات القياسية المعتمدة، ومنها مثلاً مواصفات (AASHTO- M270) التي تشترط صفائح من الصنف (Grade 350) حيث (fy = 345 Mpa).

يجب أن يحقق القالب المعدني الدائم ذي الأبعاد (141 mm x 9.5 mm) أحد المواصفات القياسية العالمية مثل (ASTM).



تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة Micropile load testing

1.2 إجراءات تجارب التحميل: Procedures of load test

يمكن إجراء تجارب التحميل على نماذج من الأوتاد، إما تكون مخصصة للاختبار، أو على نماذج من الأوتاد الإنشائية العاملة بحسب ما تتضمنه الشروط الفنية الخاصة للمشروع.

تحدد مواقع الأوتاد المطلوب اختبارها عادةً من قبل المهندس المشرف حيث تكون الأوتاد المذكورة مصممة مسبقاً، ويجري الاختبار قبل تنفيذ الأوتاد العاملة إذا كانت الأوتاد مخصصة لذلك فقط، أما إذا كانت أوتاد الاختبار من ضمن الأوتاد العاملة فتجرى التجارب أثناء أو بعد تنفيذها.

غالباً ما يقوم المقاول بهذه التجارب لأن عقود التنفيذ تشتمل عادةً على توصيف فني لطريقة التحميل ولعملية الاختبار بالإضافة إلى الآليات والمعدات المطلوبة، كما تشتمل العقود على عدد التجارب وعلى أسعار خاصة بها.

يتم اختبار الأوتاد الدقيقة لتحديد صلاحية الوتد المنفرد أو مجموعة الأوتاد للحمولات المحورية الستاتيكية بحسب الأهداف المذكورة في الفقرة التالية.

يجري تنفيذ هذه التجارب عادةً بتطبيق حمولة أولية تتزايد تدريجياً حتى الوصول إلى قيمة محددة مسبقاً في التصميم، أو حتى الوصول لحالة انهيار الوتد أو هبوطه بمقدار معين يفوق القيمة المقبولة، وعلى ضوء نتائج الاختبار تتم إعادة النظر بتصميم الأوتاد.

بطريقة أخرى تجرى بعض التجارب بتطبيق حمولات ستاتيكية متناوبة بين تطبيق وإزالة الحمولة، وقياس هبوطات رأس الوتد في كل مرحلة تتغير فيها الحمولة. تحدد كل من عدد زيادات التحميل والوقت الذي تتم فيه كل زيادة لحمولة الاختبار وعدد القراءات لكل زيادة، بحسب نوع الاختبار الذي يجري تنفيذه بحسب وثائق العقد.

تؤخذ قراءات أو قياسات الهبوط عند رأس الوتد المختبر قبل كل زيادة في التحميل، وقبل كل إزالة للحمولة بحسب طريقة الاختبار، ويتم ذلك بواسطة مشعرات قياس خاصة (ساعة قياس) تثبت على منصة تطبيق الحمولات. إذا لم ينهار الوتد خلال الاختبار، يمكن إنهاء التجربة بعد استقرار الوتد وثبات الهبوط تحت حمولات التجربة. تتفاوت فترات التحميل عادةً بين مشروع وآخر وفقاً لمعايير عديدة من أهمها نوع الأوتاد ومهمتها وطبيعة كل من المنشأ والتربة. يمكن إجراء اختبارات التحميل وفقاً للعديد من الكودات، منها مثلاً المواصفات الأمريكية (ASTM- D 3689) للاختبارات البطيئة و (ASTM- D 1143) للاختبارات السريعة.

2.2 الهدف من تجارب التحميل: Purpose of load test

يختلف عدد التجارب اللازمة على المايكروبايل، تبعاً لكل من حجم المشروع وطبيعة التربة والمهمة المطلوبة من هذه العناصر (تأسيس أو تدعيم). أما الأهداف من تجارب التحميل فتتلخص بما يلي:

1. التحقق من صحة تصميم الأوتاد الدقيقة ومن الافتراضات التي بني عليها هذا التصميم ومن كفاية معاملات الأمان المفترضة.
2. التحقق من قدرة تحمل الوتد المنفرد الدقيق، أو التحقق من قدرة تحمل مجموعة الأوتاد، ومن استقرارها دون أي انزلاقات أو هبوطات في مرحلة الاستثمار.
3. إذا كانت التربة غضارية متماسكة (أي طينية)، تختبر الأوتاد الدقيقة لمعرفة مقاومة الوتد للزحف الناجم عن هذه التربة، ويسمى هذا الاختبار (تجربة زحف التربة creep test).
- يستفاد من تجارب التحميل في الحصول على تأثير الحمولات الساتاتيكية على حركة الوتد أو المجموعة خلال مدة محددة من الزمن تتراوح بين (100 - 75) سنة، ويجب ألا تتسبب الحركات الممكن حدوثها في الأوتاد على سلامة المنشأ. تتأثر المنشآت عادةً بالحركة المفرطة للأوتاد والتي تحدث عندما يتجاوز ميل المنحني الذي يربط الحمولة بالهبوط (0.15 mm/kN).
4. التحقق من هبوط الوتد في أي نوع من أنواع التربة ومقارنته مع الهبوط المفترض في التصميم.
5. التحقق من تركيب التربة وخصائصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية من خلال اختبارات تجرى على العينات المستخرجة من الموقع أثناء الحفر.

6. التحقق من صلاحية المعدات والتجهيزات اللازمة للتنفيذ والتي تناسب طبيعة التربة وتغير الطبقات فيها.
7. التحقق من قدرة المقاول على الحفر بالدقة المطلوبة ومن عمليات الحقن والتنفيذ بحسب المواصفات والشروط العامة والخاصة بالمشروع.
- إذا دلت نتائج تجارب التحميل على عدم صلاحية طريقة الحفر والحقن أو على عدم ملائمة التربة للتأسيس أو للتدعيم بهذه الطريقة، فيجب تغيير أساليب التنفيذ.
- إذا كانت طريقة التنفيذ صحيحة والمعدات المستعملة مقبولة، وفشلت التجربة بسبب فقدان الوند لقدرة التحميل أو حصول هبوط أكبر من المفترض أو عدم الوصول إلى طبقة استناد مقبولة، فلا بد من إعادة النظر في التصميم.
- يمكن في المشاريع الصغيرة الاكتفاء بتجربة واحدة أو اثنتين، أما في المشاريع الكبيرة فيجب ألا يقل عدد التجارب عن ثلاث.

3.2 أنواع تجارب التحميل: Types of Test

1.3.2 التجربة الحدية: Ultimate test

- يقصد بمصطلح التجربة الحدية (ultimate test) الاختبار حتى انهيار مادة الوند أو انهيار تربة الاستناد.
- يجب أن تؤمن لنا نتائج التجربة في هذه الحالة ما يلي:
1. تحديد قدرة التحمل الحدية لكل من المونة المحقونة وتربة استناد الوند عند انهيار الأخير.
 2. قياس معامل الأمان الفعلي في كل منهما ومقارنته مع معامل الأمان التصميمي.
 3. تحديد الحمولة التي تسبب الزحف المفرط في التربة الطينية.
 4. التحقق من عدم حدوث حركات مفرطة في الوند.

2.3.2 تجربة التحقق: Verification Test

تجرى تجارب التحقق على أوتاد خاصة بالاختبار وليس على الأوتاد العاملة (المصممة)، وذلك قبل المباشرة بتنفيذ الأوتاد الأخيرة، وتنفذ غالباً في التربة القاسية أو الصخرية، والهدف من هذا النوع من التجارب هو التأكد من أن طريقة تنفيذ الأوتاد الدقيقة مقبولة لتوفير الاستناد اللازم لتلك الأوتاد على التربة الحاملة، مع عوامل الأمان المناسبة، حيث يمكن أن يصل (أو قد لا يصل الوند) إلى حالة الانهيار في مادته.

تطبق الحمولات على الوتد المختبر تدريجياً، وتسجل القراءات في كل زيادة على أنه يجب ألا يقل معامل الأمان المطلوب في هذه التجربة عن (2.5)، أي أن الحمولة التجريبية العظمى لا تقل عن مثلي ونصف حمولة التماسك التصميمية لمونة (لمادة) الوتد العامل ($2.5 \times \text{Design Load}$).

3.3.2 تجربة المتانة القياسية: Proof Test

تجرى تجارب المتانة القياسية على عدد محدد من أوتاد تختار عشوائياً من تلك العاملة الفعلية (المصممة) تحت المنشأ أثناء تنفيذه وليس على أوتاد خاصة بالاختبارات، وتطبق حمولة محددة خلال دورة واحدة تقدر عادةً بنسبة (1.67) مرة من الحمولة التصميمية ($1.67 \times \text{Design Load}$).

تعتبر تجربة المتانة القياسية دليل لتوفير المعلومات اللازمة لتقييم تنفيذ الأوتاد الدقيقة لتحمل حمولات الاستثمار التصميمية دون حركة مفردة أو زحف طويل الأجل، ومع معامل أمان مقبول على مدى حياة خدمة المنشأ.

4.3.2 تجربة الزحف: Creep Test

تجرى هذه التجارب عندما تكون الأوتاد الدقيقة معرضة للخطر بسبب زحف التربة المتماسكة، ويتم تنفيذ التجربة تحت حمولة اختبار ثابتة ولمدة محددة من الزمن. تسجل الحركات (الهبوطات والانحرافات) خلال فترات معينة من زمن التجربة على أجهزة قياس مخصصة لذلك، وتؤخذ قراءات الهبوط أو الانحراف عند تزايدها كل (2 mm)، على أنه يجب أن تكون أجهزة القياس قادرة على قراءة الهبوطات والانزياحات الدقيقة وقياس قوى الاحتكاك المتولدة بين الوتد والتربة أثناء هذه الحركات.

4.2 متطلبات تجارب التحميل: Load test requirements

تثبت تجارب التحميل التي تجرى على الأوتاد الدقيقة بما لا يقبل الشك، مدى دقة وصحة التصميم، وتعطي فكرة واضحة عن قدرة التحمل الفعلية لكل من مادة الوتد والتربة، وعن الحركات الممكن حدوثها سواء أكانت هبوطات أو انحرافات، إضافة إلى كيفية إنتاج وتنفيذ هذه العناصر الإنشائية.

ينبغي عند إجراء تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة مراعاة العوامل التالية:

1. العدد الكلي للأوتاد العاملة المطلوب تنفيذها.
2. عمق الأوتاد والطريقة المقترحة لتنفيذها.
3. نوع تجربة التحميل ومدى الحاجة إليها بحسب العمل المطلوب تأديته من الأوتاد الدقيقة.
4. تغير طبقات التربة التي تخترقها الأوتاد الدقيقة.

5. أهمية المنشأ وحساسيته للأوتاد الدقيقة إذا كانت مستخدمة للتدعيم.
 6. الجملة الإنشائية لأساسات المنشأ.
 7. خبرة المقاول في تنفيذ واختبار الأوتاد الدقيقة.
- يجب أن تحتوي الشروط الخاصة بالمشروع على توصيف للأوتاد الدقيقة، وخاصة تلك التي ستستخدم كعناصر للتدعيم، بالإضافة إلى توصيف أوتاد الاختبار إذا كانت مغايرة للأوتاد العاملة، حيث يجب أن يشمل هذا التوصيف على البيانات التالية والمتعلقة بتجارب التحميل:
1. عدد التجارب المطلوبة ومقدار حمولة الاختبار في كل تجربة.
 2. طريقة تنفيذ الأوتاد وكيفية تطبيق حمولات الاختبار (دورة واحدة أو عدة دورات تحميل).
 3. مدة بقاء حمولة الاختبار في كل تجربة وفي كل دورة تحميل.
 4. الهبوط الأعظمي المسموح لكل وتد وفي كل تجربة وتحت حمولة اختبار محددة مسبقاً.
 5. معايير قبول النتائج المستنتجة من كل تجربة تحميل.
- تتناول الفقرة التالية البند الأول أعلاه بشكل أكثر تفصيلاً.

1.4.2 عدد تجارب التحميل ودليل الاختبار:

Number of tests & Micropile load- testing guidelines

كما ذكرنا أعلاه تجرى تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة للتحقق من البيانات المذكورة في الفقرات الجزئية التابعة للفقرة الرئيسية (3.2) بحسب الهدف من التجربة.

1.1.4.2 دليل الاختبار النظري: Theoretical load- testing guideline

تقترح بعض المراجع التخصصية الجدول التالي الذي يبين العدد اللازم لتجارب التحميل المطلوبة على الأوتاد الدقيقة، وذلك بحسب حجم المشروع الذي يُقِيم من خلال عدد هذه الأوتاد التي ستنفذ فيه. مع الإشارة إلى أن هذا الجدول يستخدم في حال عدم امتلاك المقاول أو المهندس المشرف الخبرة الواسعة في هذا المجال.

الجدول (1.2)			
عدد تجارب التحميل المطلوبة		عدد الأوتاد العاملة في المنشأ	توصيف المنشأ
تجارب المتانة القياسية proof test	تجارب التحقق verification test		
تجربة واحدة لكل 5%	1	$1 < N < 250$	صغير
من العدد الكلي للأوتاد العاملة.	2	$250 < N \leq 500$	متوسط
	3	> 500	كبير

- يعتمد الجدول المذكور على الاعتبارات التالية:
- تجرى اختبارات المتانة القياسية للأوتاد الدقيقة في اتجاه التحميل الحرج.
 - تعتبر الاختبارات مطلوبة وضرورية وهامة في مشاريع تدعيم أساسات الجسور أو أساسات المنشآت النوعية.
 - تتطلب اختبارات الأوتاد الدقيقة معرفة مسبقة من المتعهد بمعدات إجراء الاختبارات على الأوتاد.
- يجب أخذ العوامل الإضافية الموضحة في الجدول (2.2) بالاعتبار عند إجراء تجارب التحقق من أجل التأكد من مقاومة التماسك قبل تنفيذ الأوتاد العاملة، حيث يتم ضرب المعامل المعطى في الجدول المذكور بعدد التجارب المشار لها في الجدول (1.5) وذلك بحسب نوع التجربة وحجم المشروع.
- يكون عدد تجارب التحقق الكلية المطلوبة يساوي مجموع عدد التجارب المطلوبة من الجدول (1.5) مضافاً لها عدد التجارب المبينة في الجدول (2.5). انظر الفقرة (5.2) أدناه.
- من أجل تحقيق الاقتصاد في العمل يتم تدوير الرقم الناتج إلى أدنى رقم صحيح.
- يمكن أيضاً أن تجرى تجارب التحقق للأوتاد الدقيقة على الأوتاد العاملة شريطة ما يلي:
1. تصمم الأوتاد إنشائياً باعتبار معامل أمان لا يقل عن (1.25). أي أن حمولة الاختبار لا تقل عن مرة وربع الحمولة التصميمية.
 2. يجب ضمان عدم انهيار الأوتاد الدقيقة أثناء التجربة.
 3. يجب استبدال الوتد الدقيق المجرب في حال حدوث الانهيار.

الجدول (2.2)	
معامل التضخيم n	تجربة التحميل على الأوتاد الدقيقة
أوتاد تدعيم منشآت حرجة أو هامة	
2.0	منشآت هامة جداً يجب الحفاظ على استثمارها بعد حدوث الزلازل.
0.0	منشآت خلاف السابق.
بحسب قدرة تحمل الأوتاد الدقيقة	
0.0	1 – 1300 kN
0.5	> 1300 kN
بحسب طبيعة منطقة التماسك في الوتد	
0.0	تربة صخرية
0.0	تربة رملية أو حصوية

0.5	ترربة غضارية أو سلتية
	بحسب التفاوت في شروط التربة (اختلاف طبيعة طبقات التربة)
0.0	تفاوت صغير (شبه تجانس)
0.5	تفاوت معتدل (تجانس بسيط)
1.0	تفاوت كبير (عدم تجانس)

في حال وجود نتائج سابقة لتجارب على أوتاد دقيقة مشابهة، يمكن تخفيض عدد التجارب المطلوبة بشرط:

- وجود ظروف مشابهة لطبيعة التربة.
- ظروف إنشاء الوتد مشابهة لتلك للأوتاد المصممة.
- الحمولات والإجهادات قريبة من حمولات الأوتاد العاملة.

2.1.4.5 دليل الاختبار العملي أو المبني على الخبرة:

Micropile load- testing guidelines for experienced users

تقبل العديد من الكودات ودفاتر الشروط الفنية العامة المتخصصة بأعمال الأوتاد الدقيقة، أن يوضع دليل اختبار خاص من قبل المنفذ أو المقاول إذا كان يمتلك الخبرة الكافية والمقنعة في إنجاز هذا العمل. كما يمكن تخفيض عدد التجارب عما هو وارد في دليل الاختبار النظري، وقد استخدمت مثل هذه الأدلة في العديد من المشاريع الشهيرة في العالم منها مثلاً مشروع جسر (Williamsburg) ومشروع طرق (Brooklyn- Queens) السريعة.

يمكن اعتماد الدليل العملي الموضوع على أساس خبرة المقاول في اختبار وتنفيذ الأوتاد الدقيقة، إذا كان كل من أبعاد وحمولات الأوتاد الدقيقة وشروط الحفر والحقن أو الصب (drilling and grouting) وشروط التصميم من حيث الحمولات والتماسك المفترض، مماثلة أو مشابهة لأوتاد قد نفذها المقاول من قبل في مشاريع سابقة.

يمكن القبول بدليل الاختبار العملي بشكل عام إذا تحقق ما يلي:

1. إذا كانت التربة التي تستند عليها الأوتاد الدقيقة صخرية التكوين.
2. إذا لم تفشل تجارب أي من الاختبارات أثناء التجربة، ففي حالة الفشل يرفض الدليل العملي ويعتمد الدليل النظري، أو يستبدل الوتد المختبر وذلك بحسب رأي المهندس المشرف.
3. ألا تقل حمولة الاختبار في الدليل العملي عن مرة وربع الحمولة التصميمية.

5.2 مثال بسيط لمتطلبات تجربة تحميل:

Sample problem for Pile load test requirements

تم اختبار وتنفيذ مجموعة من أوتاد التدعيم الدقيقة تحت هيكل جسر بيتوني يتألف من مجاز واحد (single span) ويقع على مسافة (125 km) شمال غرب مدينة (دنفر Denver) الواقعة في ولاية (كولورادو Colorado) بأمريكا. اعتمد التدعيم على (24) مجموعة وتدنية كل منها يتألف من (12) وتد دقيق بعمق (12 m)، وكانت الحمولة التصميمية للوتد على الضغط المباشر (595 kN). يوجز الجدول التالي متطلبات دليل اختبارات التحقق التي أجريت على الأوتاد في هذا المشروع:

الجدول (3.2)		
معامل التضخيم Amplification factor	عدد تجارب التحقق Number of verification tests	معامل تجربة التحميل Load test factor
n/a	1	(24) مايكروبايل
0.0	$1 \times 0.0 = 0$	منشآت غير مصممة للعمل بعد الزلزال.
0.5	$1 \times 0.5 = 0.5$	قدرة التحمل الحدية 1500 kN
0.0	$1 \times 0.0 = 0$	رمل وحصي.
0.0	$1 \times 0.0 = 0$	تفاوت الشروط تحت السطحية بسيط.
1.5	1.5	المجموع

تلعب قدرة التحمل التصميمية لكل من التربة والعناصر الإنشائية دوراً هاماً في المعاملات المستخدمة في تجربة التحميل، والتي تؤثر بدورها على تصميم الأوتاد.

6.2 طرق وإجراءات تجارب التحميل:

Micropile Load Testing Methods and Procedures

1.2.6 طريقة تطبيق الحمولة: Method of load application

تختلف تجارب التحميل بحسب اتجاه تطبيق حمولات الاختبار، فإذا كانت الأوتاد الدقيقة مصممة على تحمل قوى الشد والضغط، فيجب إجراء تجربتين على وتدين مختلفين، واحدة على الشد وأخرى على الضغط. أو إجراء تجربتين على وتد تجريبي واحد على أن تجرى تجربة الشد أولاً. الأمر الذي يسمح بإعادة الوتد إلى مكانه الأصلي بسبب الضغط، إذا ما تحرك نتيجة تجربة الشد.

يمكن تطبيق حمولة الاختبار على دورة واحدة أو على دورات متعددة، حيث تزداد الحمولة تدريجياً وإزالتها حتى يتم بلوغ قدرة التحمل القصوى ثم تزال تدريجياً أيضاً. غير أنه يفضل التطبيق التدريجي لحمولة الاختبار. يجب قياس الهبوط المرن في كل دورة تحميل وقياس الهبوط الكلي المتبقي في نهاية التجربة، لأن هذه النتائج تعتبر مؤشراً لأداء الأوتاد وسلوكها أثناء العمل.

7.2 مدة التحميل: Load- Hold Duration

تعتبر مدة تطبيق حمولة الاختبار أثناء دورات التحميل وصولاً إلى الحمولة العظمى من الأمور الهامة في نجاح التجربة، فإذا تم مثلاً إجراء تجربة التحميل على الأوتاد الدقيقة لقياس الزحف في تربة غير حساسة لهذه الظاهرة (كالتربة الرملية أو البحصية أو الصخرية) فيكفي تطبيق حمولة الاختبار في كل دورة تحميل لمدة (10) دقائق كحد أدنى. أما في تجربة التحميل لقياس الزحف في تربة حساسة له (كالتربة الغضارية أو السيلتية) فيجب تطبيق حمولة الاختبار الحمولة المذكورة لمدة تتراوح بين (100) دقيقة و (24) ساعة، وذلك بحسب نوع التصميم ونوع التربة ومدى تأثير الهيكل الإنشائي بظاهرة الزحف.

8.5 معايير قبول نتائج تجربة التحميل:

Load Test Acceptance Criteria

قبل إجراء أية تجربة تحميل، يجب أن يكون التصميم متضمناً مقدار واتجاه حمولة الاختبار العظمى بالاعتماد على الحمولة التصميمية، بالإضافة إلى الانتقال الأعظمي المسموح للوند الدقيق. وتعطى هذه البيانات مع الأخذ بالاعتبار حساسية المنشأ لتناوب الحركة تحت تأثير الزلازل أو بتأثير هبوط الأساسات. يمكن على سبيل المثال الاعتماد على المعايير الواردة في النورم القياسي (standard criteria for ground- anchor testing PTI) من أجل تحديد القيم المسموحة للهبوط بسبب زحف التربة، مع الإشارة إلى هذا الكود مخصص لتجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة والشدادات (موضوع الأجزاء التالية من هذه السلسلة). يسمح النورم المذكور بهبوط أعظمي لا يتجاوز (2 mm) في كل دورة تحميل، حتى الوصول إلى الهبوط الكلي المحدد في التصميم. تتضمن معايير قبول تجربة التحميل عادةً ما يلي:

1. يجب أن يتحمل وتد الاختبار ما لا يقل عن مثلي ونصف حمولة الضغط (أو الشد) الميئة التصميمية دون أن ينهار.. أي (2.5 DL).
2. يجب أن يتحمل وتد الاختبار على الضغط (أو الشد) في تجربة المتانة القياسية ما لا يقل عن (1.67) من حمولة الاستثمار الكلية التصميمية دون أن ينهار.

3. يعتبر الوتد خارج حدود القبول إذا تجاوز الهبوط تحت حمولات الاختبار القيمة المسموحة.
4. يعتبر الوتد مقبولا إذا لم يتجاوز الهبوط الكلي تحت حمولات الاستثمار قيمة يحددها دفتر الشروط الخاص بالمشروع.
5. يقاس الانتقال الكلي في اختبار الشد المترافق مع اختبار الضغط بالنسبة لرأس الوتد وعند بداية التجربة.
6. إذا لم يتجاوز فرق الهبوط المقاس والناجم عن ظاهرة زحف التربة في كل دورة تحميل المقدار (1 mm)، وذلك عندما يتم اختبار الوتد الدقيق على (1.33) من حمولة الاستثمار التصميمية وإذا كانت مدة تطبيق الحمولة في الدورة المذكورة بين (10 - 1) دقيقة، فيجب إبقاء الحمولة في هذه الدورة لمدة (60) دقيقة.
7. يتم قبول نتائج تجربة التحميل إذا طابق إجراؤها ما هو موصف في وثائق المشروع، شريطة أن يتم التحقق من التصميم على ضوء هذه النتائج، مع الإشارة إلى ضرورة الأخذ بالاعتبار بأن الأفعال الزلزالية يمكن أن تسبب هبوطات أعلى من تلك المقدرة تحت الحمولات العادية.

9.2 إعداد تجربة التحميل والتجهيزات اللازمة:

Load-Test Setup and Instrumentation

هناك العديد من الأنظمة التي يمكن من خلالها تطبيق حمولات التجربة على الوتد المراد اختباره تعتمد في تجهيزاتها على ضاغط هيدروليكي (jack) يطبق الحمولة عن طريق رد الفعل.

يتوضع الضاغط المذكور فوق وتد الاختبار الدقيق، حيث تسهم أوتاد مساعدة مجاورة (مراسي أو شدادات) في توليد رد الفعل المذكور والذي يساوي في قيمته حمولة الاختبار.

تبين الأشكال (1.2) وحتى (3.2) مع الصور الفوتوغرافية المرافقة، كيفية توليد هذه الحمولات على كل من الضغط والشد والتحميل الجانبي على التوالي.

يتم تطبيق حمولات الاختبار في كافة أنواع التجارب من خلال الضاغط حيث تجري قراءة كل من الضغط والهبوط من خلال مشعرات القياس الخاصة.

تتم معايرة الضاغط الهيدروليكي قبل التجربة بفترة طويلة وتضبط هذه المعايرة من خلال رسم مخطط بياني يربط الحمولة والضغط كما في الشكل (4.2).

1.9.2 طرق قياس الانزياح:

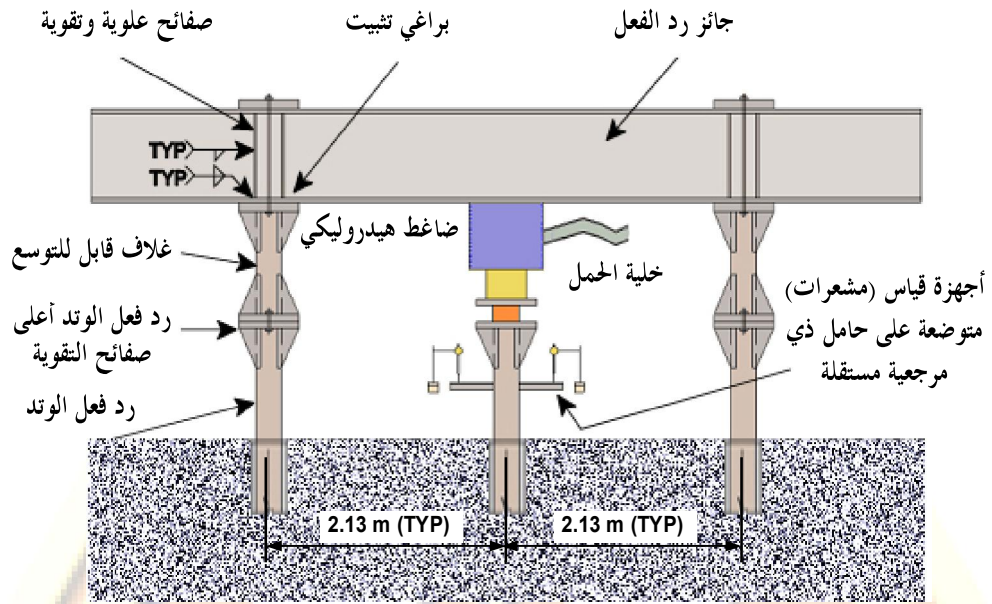
Methods of measuring displacement

1.1.9.2 أجهزة القياس أو المشعرات: Dial Gauges

تقيس المشعرات الانزياحات الأفقية والشاقولية بدقة تصل إلى (0.025 mm) فإجراء الاختبار على التحميل المحوري، تثبت أجهزة القياس على جائر مرجعي مستقل يقع الوند المختبر عند منتصفه، ويقع وتدان مساعدان على مسافة من جانبي الوند المذكور قدرها (2.13 m) كما هو مبين في الشكل (1.2) السابق. تثبت في العادة ثلاثة مشعرات للقياس على محيط الوند المختبر، وعلى مسافة واحدة من مركزه. في بداية كل مرحلة تحميل تؤخذ ثلاث قراءات لموضع رأس الوند ويحسب الوسطي لها لقياس الهبوط.

2.1.9.2 السلك والمرآة والمقياس: Wire with Mirror and Scale

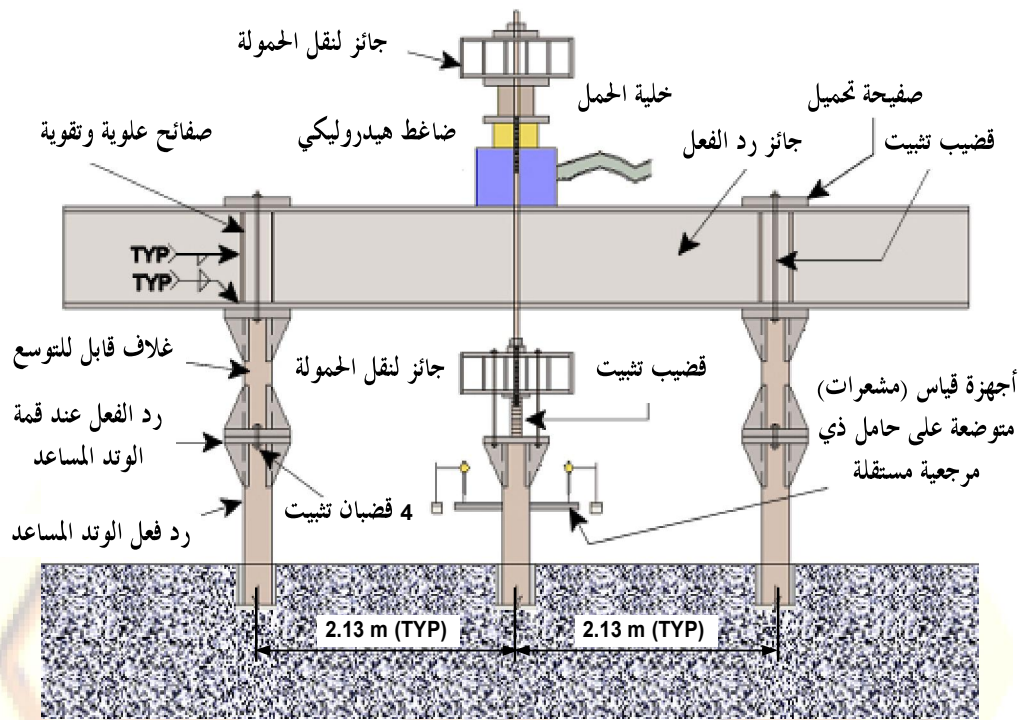
يمكن استخدام طريقة أخرى لقراءة الهبوطات كبديل عن المشعرات، حيث يتم تحديد انتقال رأس الوند المختبر باستخدام مرآة مع مقياس مدرج مثبت أعلى الوند، وسلك مواجه للمقياس يوضع في منطقة مرجعية. تتم قراءة المقياس بعد انطباق خطوط الأسلاك المنعكسة على المرآة على خط المؤشر... إلا أن هذه الطريقة أقل دقة من استخدام المشعرات.



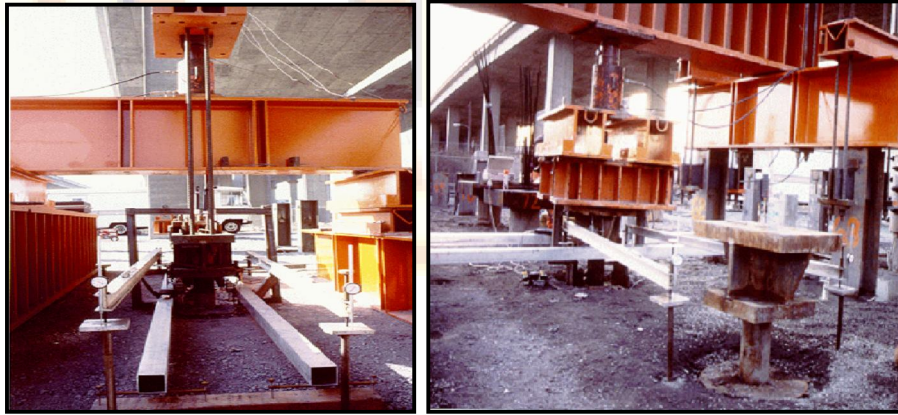
الشكل (1.2) - ترتيبات اختبار وتد دقيق على الضغط
وفق (ASTM - D1143).



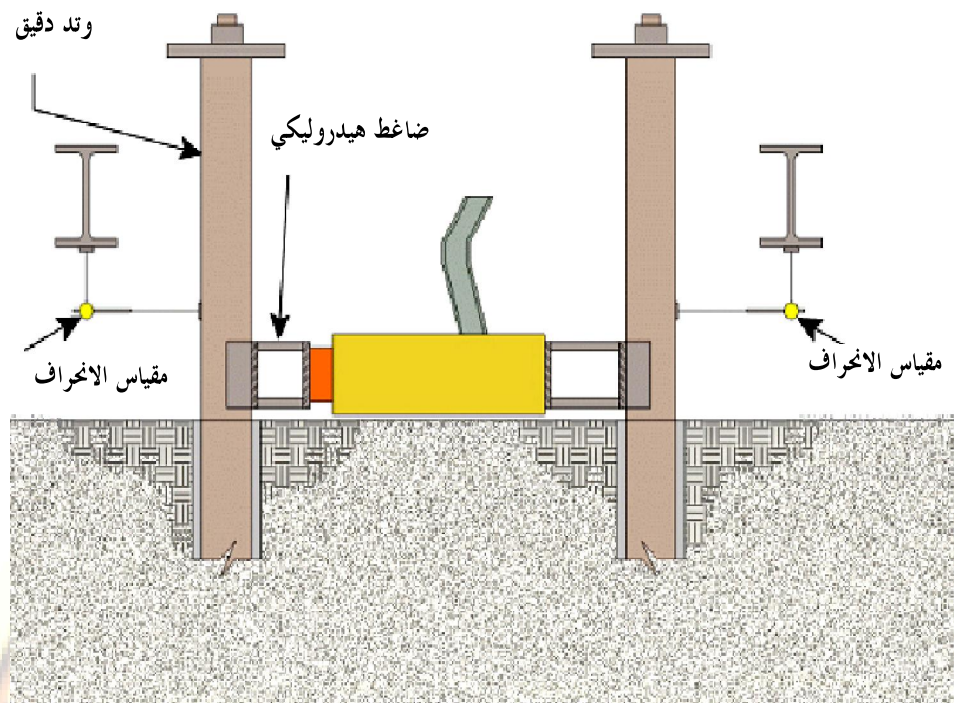
الصورة المرافقة للشكل (1.2)



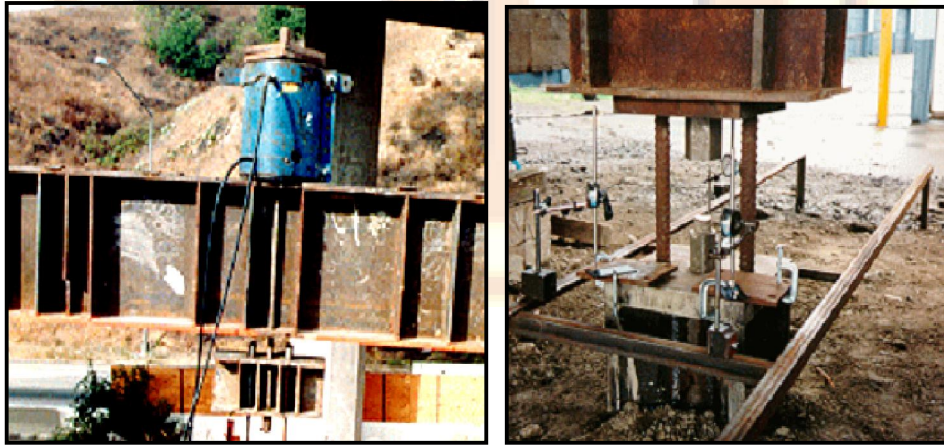
الشكل (2.2) - ترتيبات اختبار وتد دقيق على الشد
وفق (ASTM - D3689).



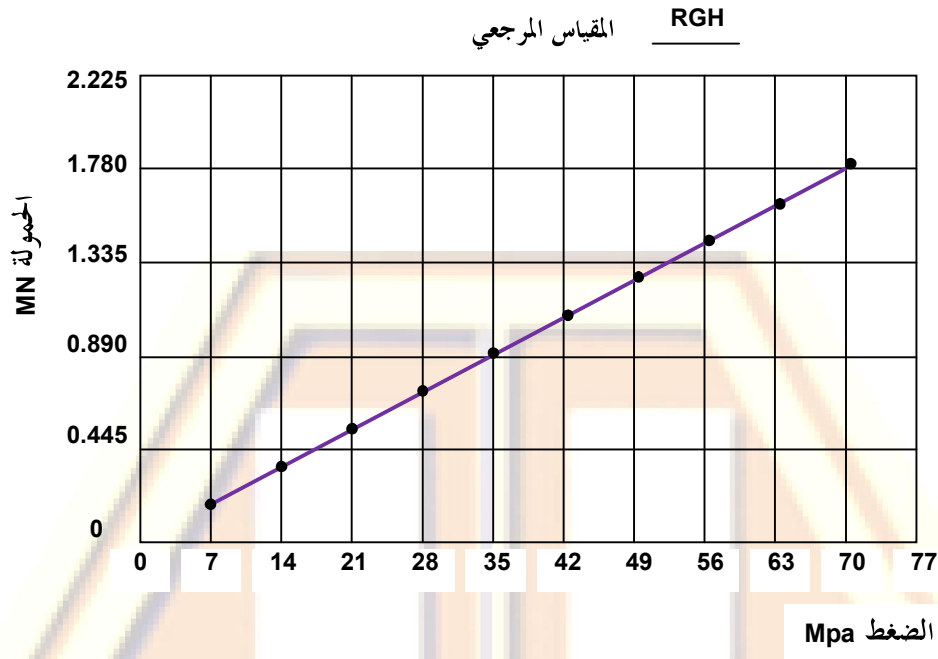
الصور المرافقة للشكل (2.2)



الشكل (3.2) - ترتيبات اختبار التحميل الجانبي على وتد دقيق.



الصور المرافقة للشكل (3.2)



الشكل (4.2) - مخطط بياني لمعايرة ضاغط نموذجي

3.1.9.2 الطريقة المساحية: Survey Method

يمكن قياس الانزياحات بطريقة ثالثة تسمى الطريقة المساحية أو طريقة

قياس

المنسوب بجهاز (التيوليدوليت) المساحي (level & theodolite)، ويمكن اعتبار هذه الطريقة كوسيلة داعمة للقياس عن طريق المشعرات.

4.1.9.2 خلية الحمل: Load Cell

يمكن استخدام خلايا الحمل كوسيلة احتياطية إضافية لقياس حمل الاختبار على الوتد، والحفاظ على قيمته ثابتة طوال فترة تجربة التحقق المذكورة في الفقرة (2.3.2) أو تجربة الزحف المذكورة في الفقرة (4.3.2) من هذا الفصل. ينبغي الحرص عندما استخدام خلايا التحميل على ضمان أن ينطبق محور الحمولة بشكل دقيق على محور كل من الوتد المختبر والضاغط.

تعمل خلايا التحميل أيضاً على تصحيح قيمة الحمولة وطريقة تطبيقها، ومن الضروري صيانة هذه الخلايا أثناء تجربة الزحف. فإذا افترضنا كمثال على ذلك أن الوصول إلى حمل اختبار الزحف يكون بعد (200) قراءة لخلية الحمل، فمن المهم هنا أن يتم الحفاظ على هذه القراءات من خلال تعديلات التحميل التي يولدها الضاغطة، الأمر الذي يضمن ثبات واستمرار مقدار الحمولة على مدى فترة التجربة.

5.1.9.2 الدلالات: Telltales

الدلالات هي قضبان معدنية أو مصنوعة من الألياف الزجاجية لها رأس مستدق يتم إدخالها في مونة الوند على ارتفاعات محددة لقياس الإزاحة المحورية في هذه النقاط في رأس الوند. يثبت الطرف المستدق للقضيب في مونة الوند عند نقطة تسمح له بحرية الحركة، ويمكن تركيب عدة قضبان على الوند الواحد. يتم بعد كل مرحلة تحميل قياس الحركة في الجزء العلوي من قضيب الدلالة بواسطة جهاز قياس إلكتروني أو المشعرات أو بواسطة مقياس من ضمن الضاغطة. يجب توخي الحذر لتجنب الأضرار التي يمكن أن تلحق بهذه القضبان أثناء تنفيذ وتد الاختبار، إذ أنه يمكن أن تلتف قضبان الدلالة بسب دوران ذراع الحفر أو تنشوه أثناء حقن الوند.

6.1.9.2 مقياس التشوه (أو الضغط): Strain Gauge

يمكن تثبيت مقاييس الضغط على حديد التسليح، مما يسمح بقياس مستوى الإجهادات في هذا التسليح عند مناسيب مختلفة من الوند المختبر. وتحتاج هذه العملية إلى خبرة ودقة في عملية التثبيت.

7.1.9.2 مقياس الميل: Inclinator

في تجارب التحميل الجانبي يركب عادةً على الوند جهاز خاص لقياس الميل أثناء تطبيق حمولة الاختبار يسمى (Inclinator).

10.2 تسجيل واستعراض البيانات:

Data Recording And Presentation

1.10.2 تنظيم جداول نتائج التجارب:

تبين الجداول التالية نماذج عن البيانات والنتائج المختلفة لبعض تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة.

تبين الجداول التالية نماذج لنتائج تجارب التحقق (verification test)، على الشد والضغط المحوري موضوع الفقرة (2.3.2) كما يلي:

يبين الجدول (4.2) تحميل الشد لوتد دقيق على تناوب الشد والضغط من تأثير الزلازل، وتحت حمولة استثمار تصميمية قدرها (322 kN) ... كما يبين الجدول (5.2) نتائج تجربة تحميل الضغط المحوري لوتد دقيق بدون زلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (721 kN).

الجدول (4.2) تحميل وتد دقيق على الشد المتناوب من الزلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (322 kN).									
الانتقال الوسطي nt	قراءات الضاغط الثالث mm	قراءات الضاغط الثاني mm	قراءات الضاغط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضاغط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
-	-	-	-	0	2.64	45.0	AL	T1	322
-	-	-	-	1	4.72	80.5	25%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	9.44	-161	50%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45.0	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	4.72	80.5	25%	T2	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	9.44	161	50%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	14.7	241.5	75%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-

الجدول (4.2) تحميل وتد دقيق على الشد المتناوب من الزلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (322 kN).									
الانتقال الوسطي nt	قراءات الضاغط الثالث mm	قراءات الضاغط الثاني mm	قراءات الضاغط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضاغط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	18.89	322	100%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	4.72	80.5	25%	T3	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	9.44	161	50%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	14.17	241.5	75%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	18.89	322	100%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	28.61	483	150%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	3	28.34	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
-	-	-	-	15*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	20*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	25*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	30*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	45*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	60*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45.0	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-

الجدول (4.2) تحميل وتد دقيق على الشد المتناوب من الزلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (322 kN).									
الانتقال الوسطي nt	قراءات الضاغط الثالث mm	قراءات الضاغط الثاني mm	قراءات الضاغط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضاغط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
ملاحظة: ليس من الضروري التقيد بمدد التحميل المرحلية إذا لم يتجاوز الزحف 1mm خلال 10 دقائق.									

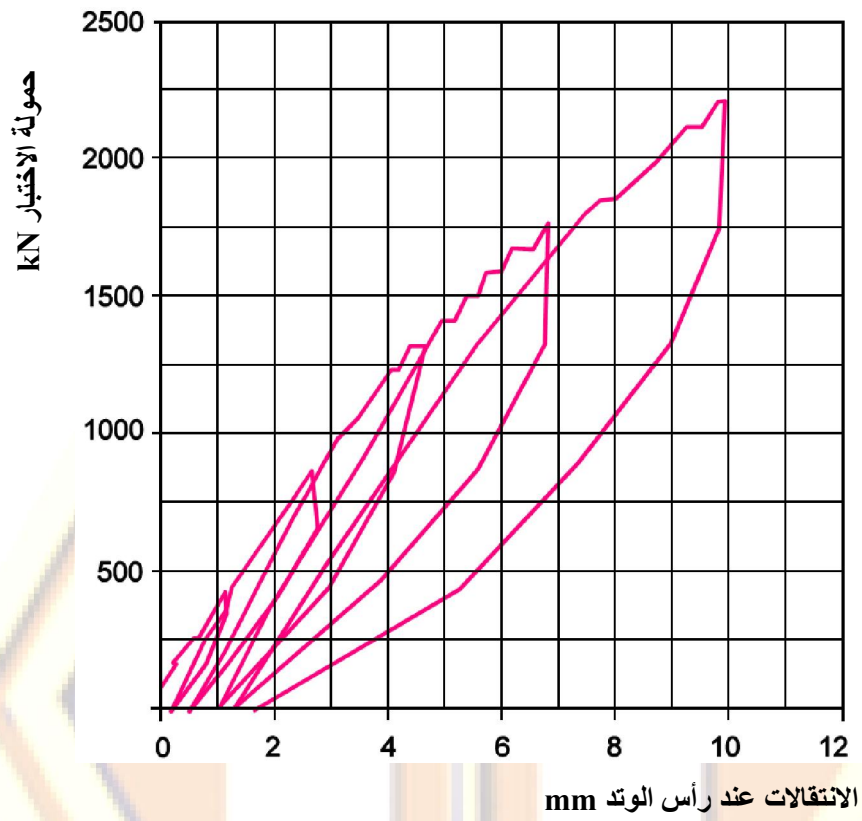
الجدول (5.2) تحميل وتد دقيق على الضغط بدون زلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (721 kN).									
الانتقال الوسطي nt	قراءات الضاغط الثالث mm	قراءات الضاغط الثاني mm	قراءات الضاغط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضاغط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
-	-	-	-	0	2.64	45	AL	C1	721
-	-	-	-	1	10.57	180.3	25%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	21.15	360.5	50%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	10.57	180.3	25%	C2	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	21.15	360.5	50%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	31.72	540.8	75%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-

الجدول (5.2) تحميل وتد دقيق على الضغط بدون زلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (721 kN).									
الانتقال الوسطي n_t	قراءات الضغوط الثالث mm	قراءات الضغوط الثاني mm	قراءات الضغوط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضغوط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
-	-	-	-	1	42.3	721	100%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	10.57	180.3	25%	C3	721
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	21.15	360.5	50%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	31.72	540.8	75%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	42.3	721	100%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	52.87	901.3	125%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	52.87	1081.5	150%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	10.57	180.3	25%	C4	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	21.15	360.5	50%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	31.72	540.8	75%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	42.3	721	100%	C4	721
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	52.87	901.3	125%	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	63.45	1081.5	150%	-	-

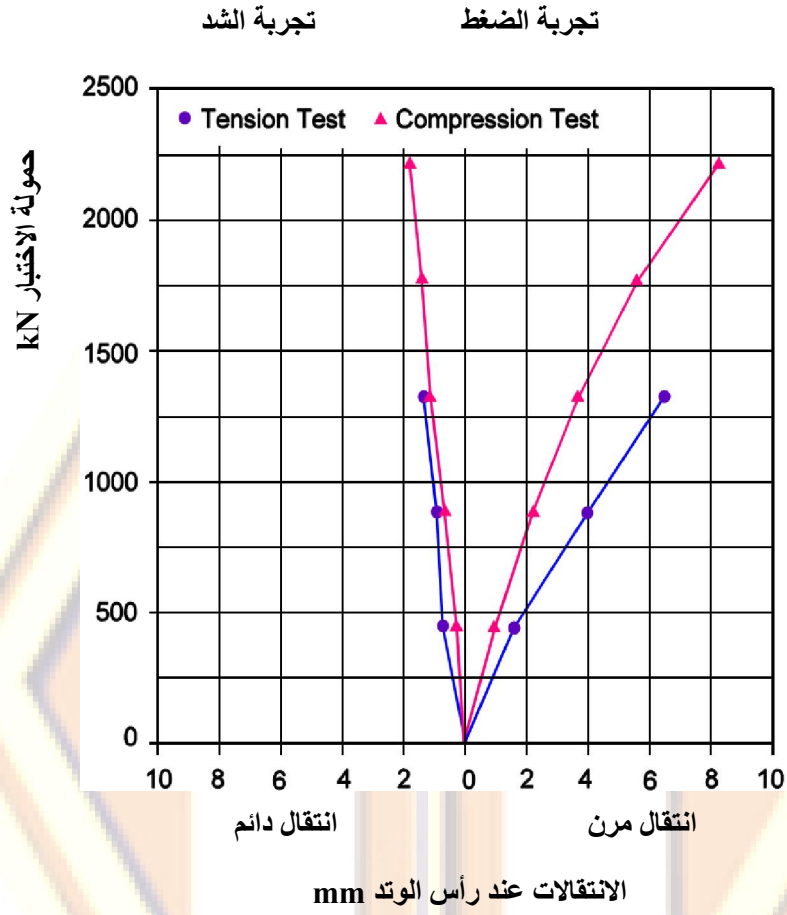
الجدول (5.2) تحميل وتد دقيق على الضغط بدون زلازل حتى حمولة استثمار تصميمية (721 kN).									
الانتقال الوسطي n_t	قراءات الضاغط الثالث mm	قراءات الضاغط الثاني mm	قراءات الضاغط الأول mm	مدة دورة التحميل minutes	إجهاد الضغط في الضاغط Mpa	حمولة الاختبار المطبقة kN	نسبة حمولة الشد التصميمية %	دورات التحميل	حمولة الاستثمار التصميمية kN
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	74.02	1261.8	175%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	1	84.6	1442	200%	-	-
-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
-	-	-	-	10*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	15*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	20*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	60*	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2.64	45	AL	-	-
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
ملاحظة: ليس من الضروري التقيد بمدد التحميل المرحلية إذا لم يتجاوز الزحف 1mm خلال 10 دقائق.									

2.10.2 رسم المنحنيات البيانية للنتائج:

يوضح الشكل (5.2) نتائج الهبوط المحوري والانتقال الجانبي لاختبار وتد دقيق نموذجي على الضغط لخمس دورات تحميل، كما يوضح الشكل (6.2) نتائج تجربة الانتقالات المرنة والمتبقية (أو اللدنة) لتجربة أخرى من خمس دورات تحميل أيضاً على الضغط.



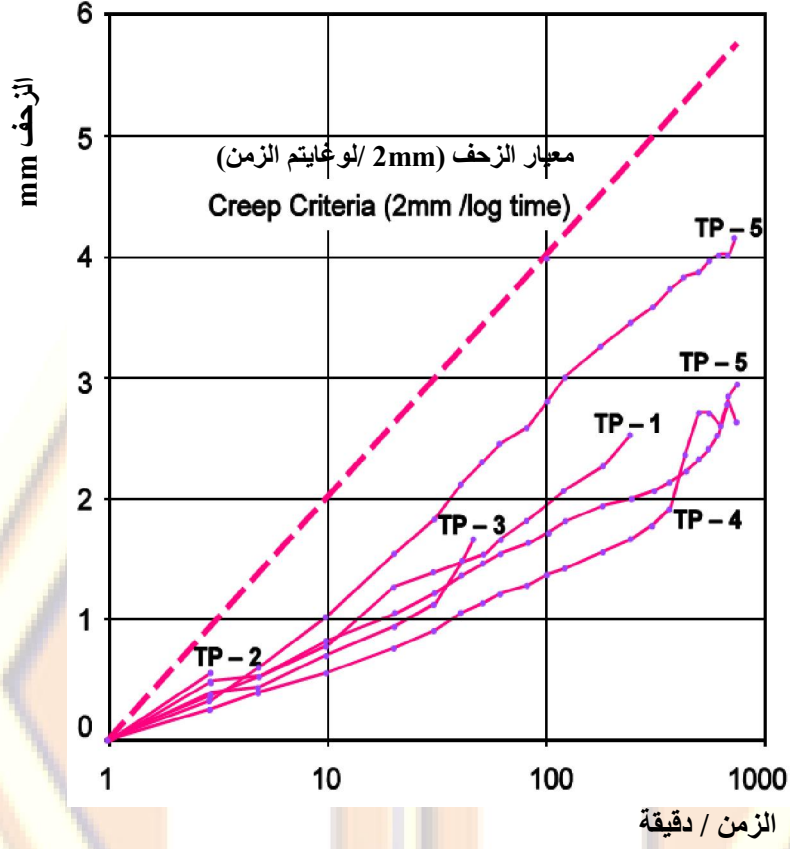
الشكل (5.5)
تجربة التحقق على الضغط



الشكل (6.2)

تجربة التحقق على تناوب الشد والضغط لإيجاد الانتقالات المرنة والمتبقية

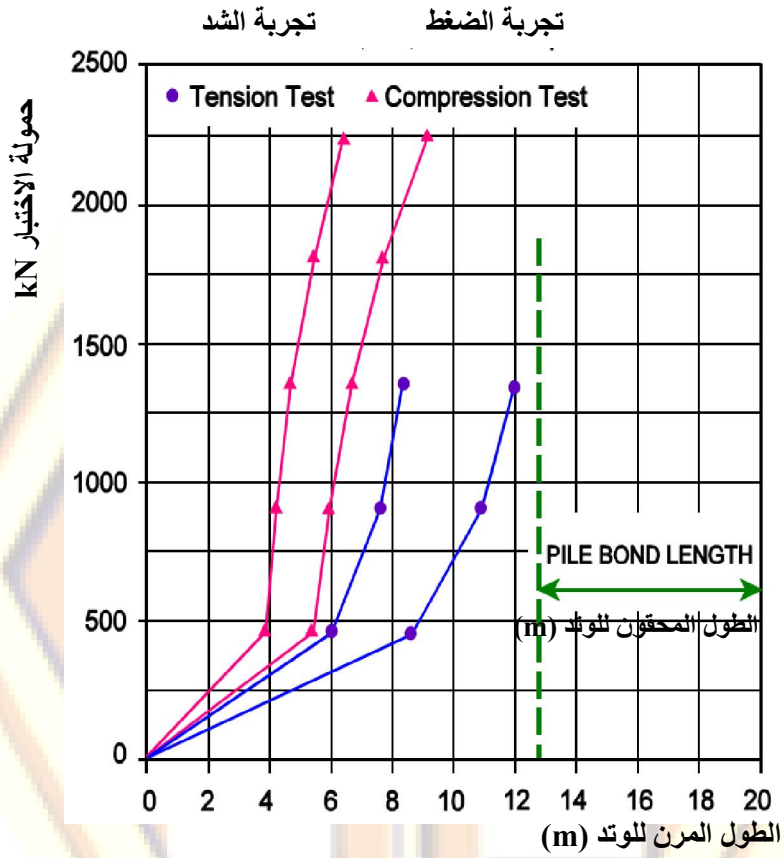
يبين الشكل (7.2) نتائج اختبار الزحف نتيجة تطبيق حمولة ثابتة مع الزمن وذلك على مقياس لوغاريتمي، حيث يعتبر الزحف بمقدار (2 mm) معياراً لقياس التجربة.



الشكل (7.2)
الانتقالات الناتجة عن الزحف

يبين الشكل (8.2) نتائج اختبار الطول المرن للوتد (Elastic Length) بتأثير تناوب حمولات الشد والضغط.

EA = 1,723,000 kN tension
2,448,000 kN compression



الشكل (7.2)
اختبار الطول المرن للواء

3.10.2 تقديم وثائق نتائج تجارب التحميل:

يقوم المقاول عادةً بتقديم نتائج تجارب التحميل خلال (48 - 24) ساعة من انتهائها متضمناً المعلومات التالية:

1. وصف موجز للمشروع.
2. وصف الموقع وتركيب التربة على عمق الأوتاد المطلوبة، وذلك من أجل المطابقة مع افتراضات التصميم.
3. أسماء العناصر الفنية (مشغل آلة الحفر والمهندس المنفذ والشخص الذي أجرى التجارب والمهندس المشرف وغيرهم من عاملين رئيسيين في المشروع).
4. البيانات المتعلقة بحفر الأوتاد وتجهيزها وحققها، مع كل التفاصيل التي تتعلق بذلك من جداول ومخططات بيانية وحسابات.
5. نتائج التجارب وفق البيانات الموضحة في الجداول والأشكال السابقة.
6. حمولات التجارب ومعايير القبول ومقارنة بين هذه الحمولات والمعايير.
7. بيان موجز عن نتائج التجارب.
8. تقرير معايرة الضواغط وخلية الحمل.
9. بيانات نوع وكميات المواد المستخدمة.
10. نتائج اختبارات المواد المستخدمة كالمونة والحديد.

4.10.2 فشل تجارب التحميل:

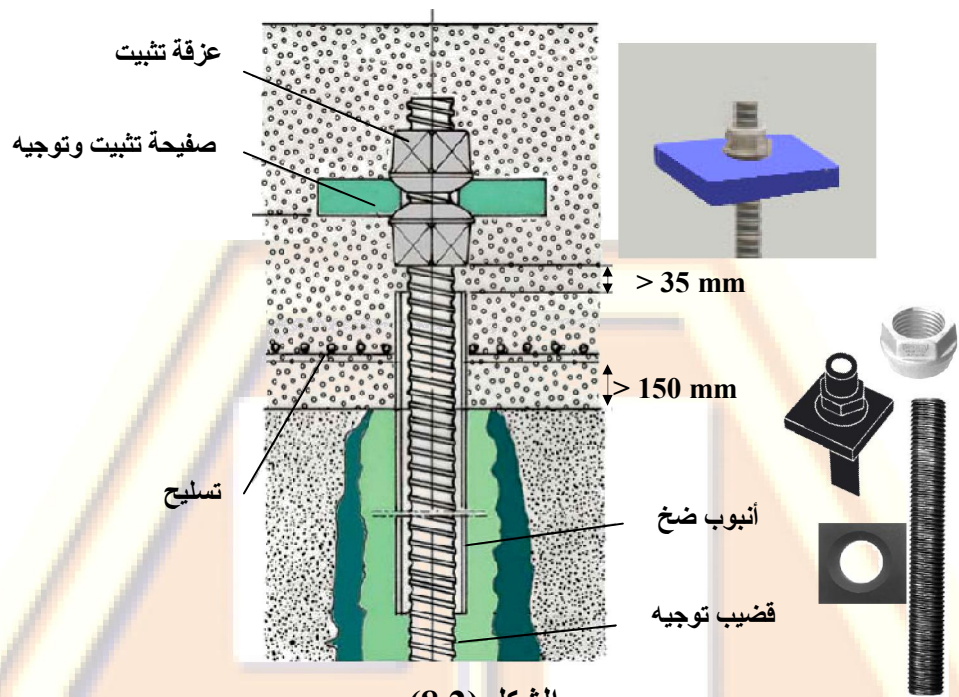
في حال فشل تجارب التحميل لتلبية معايير القبول المذكورة في الفقرة (8.2)، يمكن للمقاول تكليف مهندس خبير لتعديل تصميم الأوتاد الدقيقة بغية تحقيق المتطلبات الإنشائية اللازمة.

قد تشمل هذه التعديلات استبدال إجراءات التنفيذ وتعديل أساليب التثبيت وقد يضطر إلى زيادة العمق، شريطة أن تجرى تجارب جديدة على الأوتاد المعدلة.

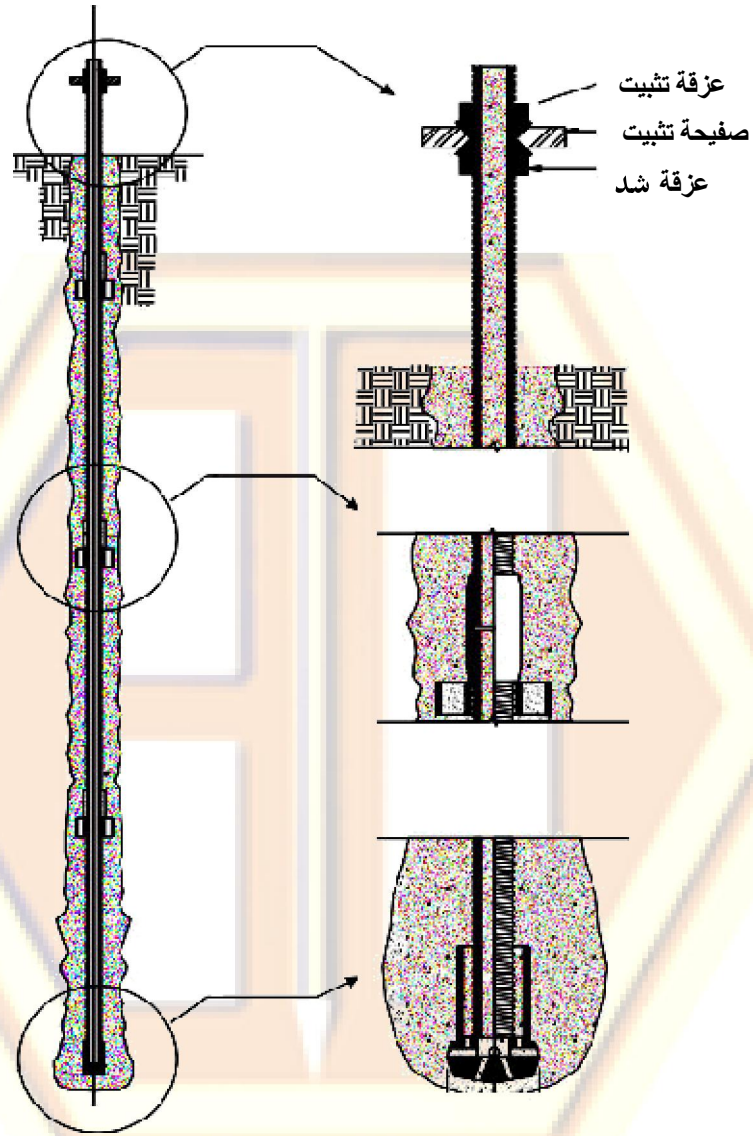
يشار أخيراً إلى إمكانية استخدام تقنيات سيق الإجهاد في الأوتاد الدقيقة.

أخيراً :

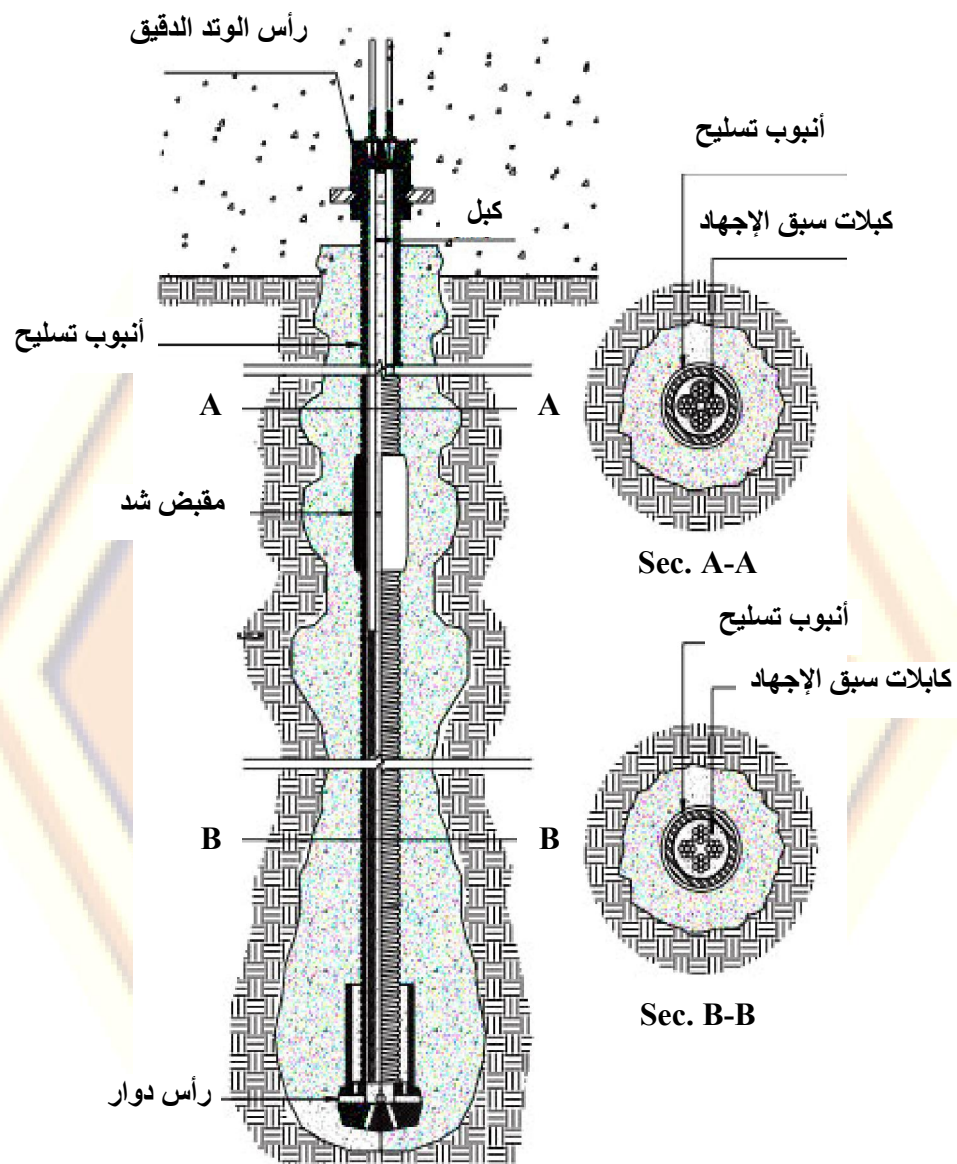
تبين الأشكال التالية بعض التفاصيل المتعلقة بتحميل الأوتاد الدقيقة، بهدف زيادة توضيح إجراءات إجراء التجارب عليها.



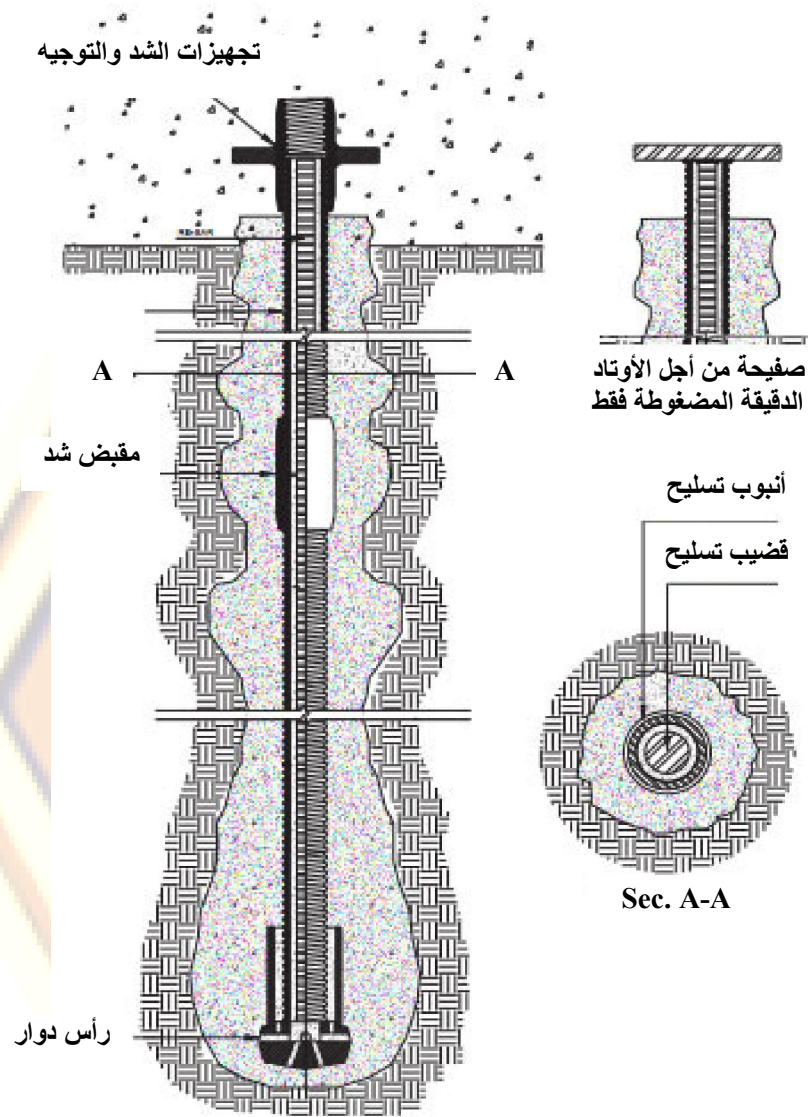
الشكل (8.2)



الشكل (9.2)
تجهيزات التحميل على الشد والضغط



الشكل (10.2)
تجهيزات التحميل مع سبق إجهاد داخلي.



الشكل (11.2)
تجهيزات التحميل مع قضيب تسليح داخلي.

استخدام الأوتاد الدقيقة

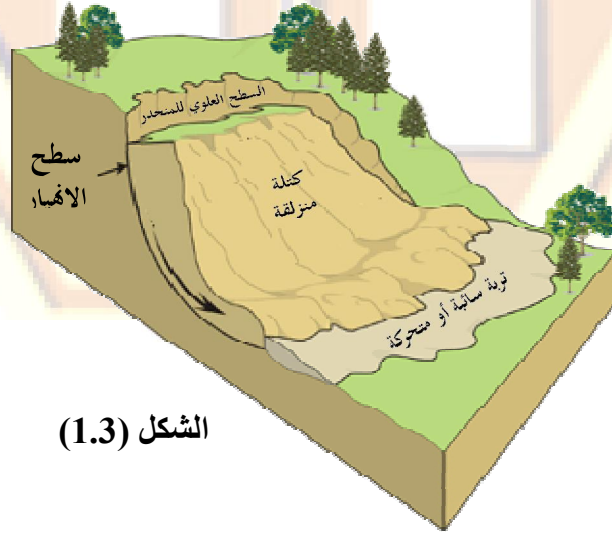
لتوازن المنحدرات وسند التربة

Micropiles for Slope Stabilization and Earth Retaining

1.3 مقدمة حول توازن المنحدرات:

Introduction For Slope Stabilization

تحدث الانزلاقات في المنحدرات عموماً حين يكون المنحدر كتلة مائلة مكونة من تربة ضعيفة أو مفككة، تتوضع فوق كتلة مائلة أخرى متماسكة قوية، ويفصل بين الكتلتين سطح الانزلاق كما هو مبين في الشكل (1.3).



الشكل (1.3)

يعتبر موضوع توازن المنحدرات من المسائل الهامة في هندسة الجيوتكنيك، حيث استحوذت دراسة هذا الموضوع بكل تفصيلاته على اهتمام المهندسين بغية إيجاد حلول عملية لمقاومة الانزلاق. وتزداد صعوبة الحلول إذا كانت الكتلة المطلوب مقاومة انزلاقها كبيرة، وتلعب التكاليف الاقتصادية والعوامل البيئية دوراً هاماً في ذلك.

لقد اختلفت نتائج دراسات الحلول الهندسية لمقاومة الانزلاق، إلا أن معظم هذه الحلول اعتمد على أحد المبادئ التالية:

1. تخفيض القوى المسببة للانزلاق.

2. زيادة القوى المقاومة للانزلاق.

3. استبدال التربة المعرضة للانزلاق.

لقد أثبتت الأوتاد الدقيقة فعالية كبيرة في توازن المنحدرات، حيث تم استخدامها وذلك بسبب كلفتها المنخفضة نسبياً وفعاليتها العالية وسهولة تنفيذها في الظروف المختلفة.

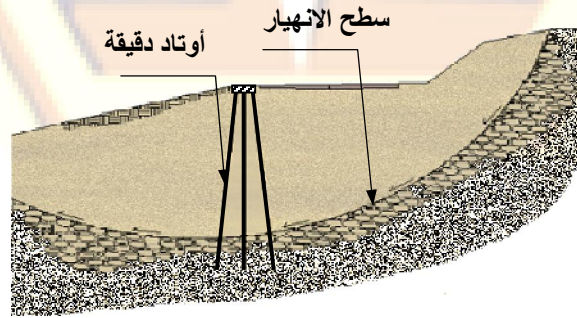
2.3 تصنيف الأوتاد الدقيقة المستخدمة في توازن المنحدرات:

Classification of micropiles for slope stabilization

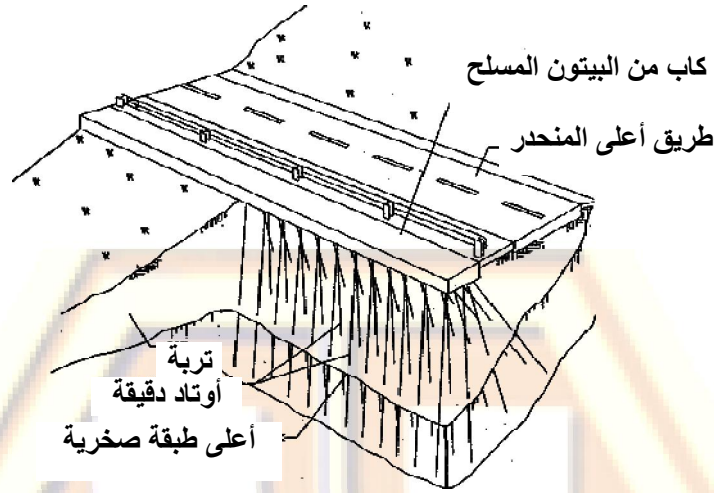
يمكن استخدام الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات وفقاً للتصنيف التصميمي التالي بنوعيه الأول والثاني، والمذكور في الفقرة (1.1.2) من الفصل الثاني.

1.2.3 النوع التصميمي الأول: Type 1 ... راجع الجزء 8

يعتمد هذا النموذج على تصميم الأوتاد باعتبارها تتلقى الحمولات مباشرة، حيث تتم مقاومة حمولات الكتلة المنزلقة عن طريق الأوتاد التي تعمل كجدار استنادي كما هو موضح في الشكلين (2.3) و (3.3).



الشكل (2.3)



الشكل (3.3)

تطبيقات النوع الأول من الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات

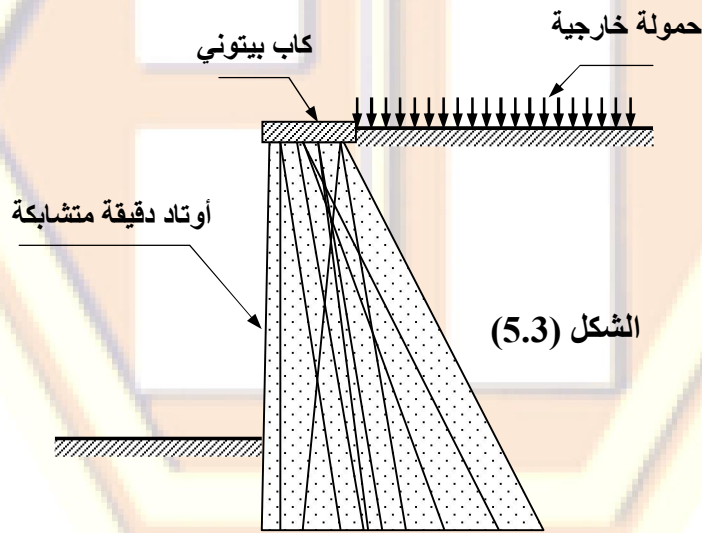
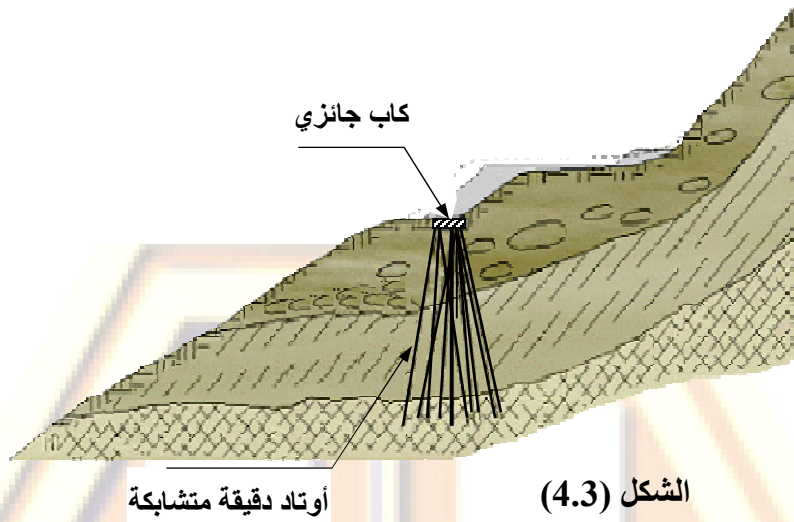
يعتبر هذا الأسلوب الأكثر انتشاراً، وتسمى مجموعة الأوتاد في هذه الحالة بالأوتاد الدقيقة غير متشابكة (non- reticulated micropile).

2.2.3 النوع التصميمي الثاني: Type 2

يعتمد هذا النموذج في تصميم الأوتاد باعتبارها عناصر تقوية للتربة، أي كتسليح لطبقة التربة الحاملة، وتكون قضبان وأقطار قضبان فولاذ تسليح الأوتاد في هذه الحالة أقل من النوع الأول نظراً لأن الحمولة تنتقل إلى كتلة التربة المقواة، وليس إلى الأوتاد بشكل مباشر، كما في الشكلين (4.3) و (5.3)، وينتمي هذا النوع إلى فئة الأوتاد الدقيقة المتشابكة (reticulated micropile).

تتطلب دراسة وتصميم النوعين (A , B) من الأوتاد الدقيقة أسلوباً يختلف عن تلك المخصصة لأساسات المنشآت (انظر المثال في الفصل الأول)، كما يتطلب تنفيذها تقنيات مختلفة.

تتصل الأوتاد الدقيقة في النوع التصميمي (A) مع قاعدة بيتونية (cap) تشكل معها إطاراً يعمل على مقاومة الحمولات المركبة وعزوم الانحناء، الأمر الذي يحتاج إلى ما يلي:



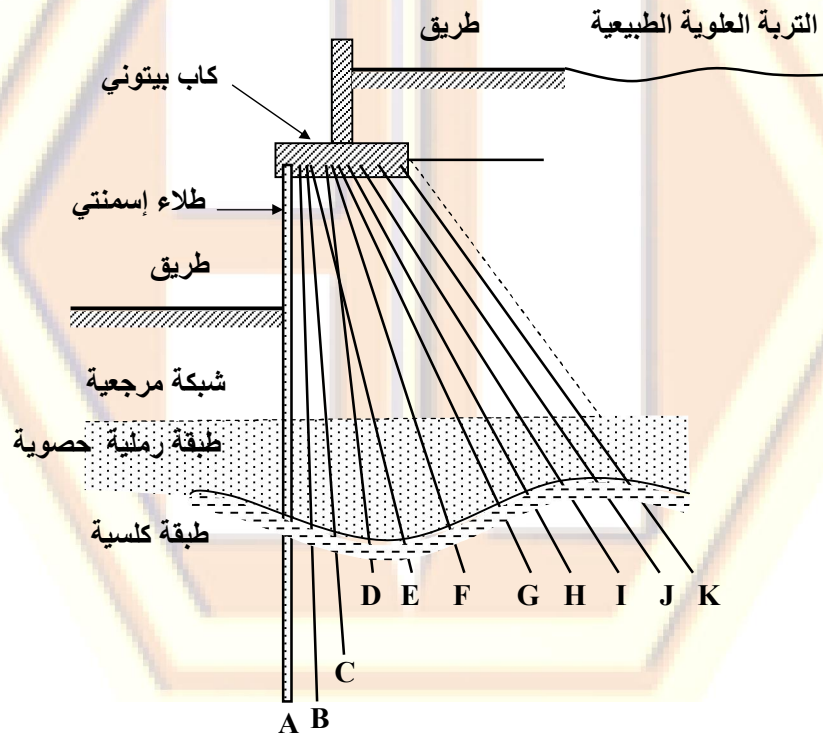
- تصميم كل وتد من المجموعة بشكل منفصل.
- اختيار نمط التنفيذ... فمثلاً هناك النوع التنفيذي (A)، المذكور الجزء (8) حيث يتم صب الوتد بواسطة الحقن دون استخدام الضغط، والاعتماد في عمل الوتد على طول التماسك الواقع ضمن الطبقة الصخرية فقط. أو النوع التنفيذي (B) الذي

يتم فيه الحقن بالضغط من الأعلى، أو النوع التنفيذي (D) الذي يعتمد على الحقن المسبق للأوتاد مع استخدام فولاذ عالي المقاومة. يمكن في بعض الحالات استخدام النوعين (A , B) من الأوتاد معاً في مقاومة الحمولات كما في الشكل (6.3).

3.3 تكنولوجيا الأوتاد الدقيقة لاستقرار المنحدرات:

Current Micropile Slope Stabilization Techniques

تكمّن فكرة استخدام الأوتاد الدقيقة كعناصر تدعيم لمقاومة انزلاق المنحدرات في وضع عناصر تقوية عمودية على سطح الانزلاق الموجود أو المتوقع لمقاومة القوى القاصة، والتي يمكن أن يتم تحليلها إلى قوى شد وضغط وعزم انعطاف على الوتد.



الشكل (6.3)

استخدام التنفيذ وفق النوعين (A , B) معاً.

تستخدم الأوتاد الدقيقة غير المتشابكة من النوع (1) لمقاومة انزلاق المنحدرات في الحالتين التاليتين:

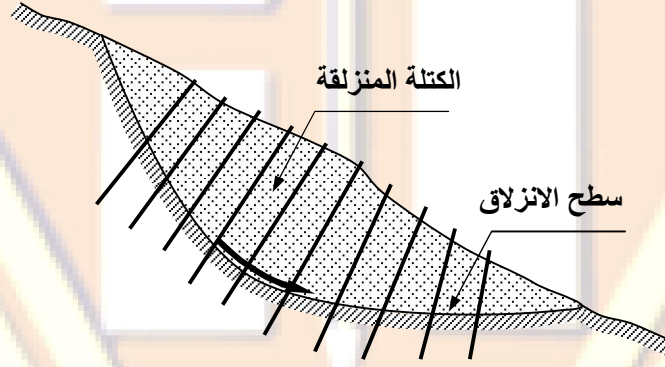
1. الحالة الأولى:

عندما يكون سطح الانزلاق افتراضياً (أي لا يوجد انزلاق فعلي في المنحدر) ولكن من المتوقع حدوث هذا الانزلاق مع الزمن، لكون عوامل الأمان التصميمية لتوازن المنحدر غير محققة، وهنا يستخدم النوع (1) الأوتاد الدقيقة لزيادة معامل الأمان إلى القيمة المقبولة.

تمر الأوتاد في هذه الحالة عبر الكتلة المنزلقة ليتم إرساؤها في الطبقة المستقرة كما في الشكل (7.3)، ويمكن اعتبار الأوتاد في هذه الحالة كنتسليح للمنحدر أو عناصر تقوية له.

ملاحظة:

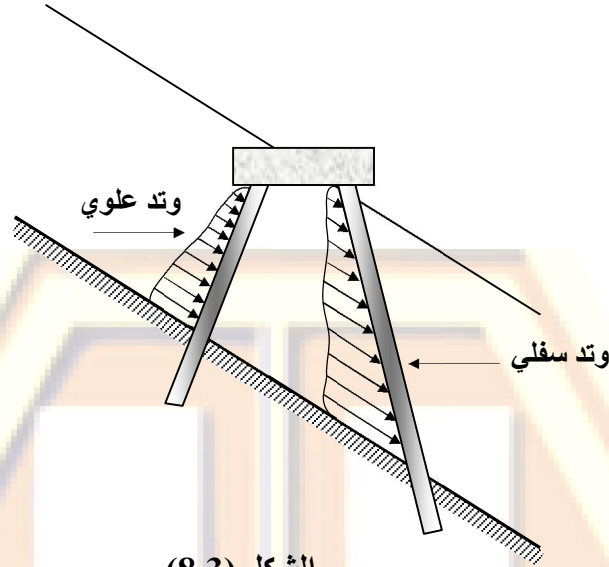
هناك عناصر تثبيت أخرى للمنحدرات مثل الشدادات والأوتاد المتناوبة والصفائح الوتدية (nail, anchors, secant pile and sheet pile)



الشكل (7.3)

2. الحالة الثانية:

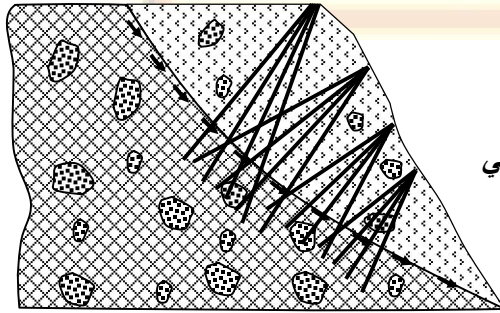
عندما يكون سطح الانزلاق فعلياً. أي يوجد انزلاق أو حركة أو زحف في المنحدر، تستخدم الأوتاد من النوع (1) لمقاومة هذه الحركة. يتم إرساء الأوتاد في هذه الحالة إما بشكل موزع كما في الحالة الأولى أو عند نهاية المنحدر، حيث تلتقي في قبعة بيتونية (cap) لتقاوم قوى الانزلاق على هيئة شد وضغط وعزم انعطاف كما في الشكل (8.3).



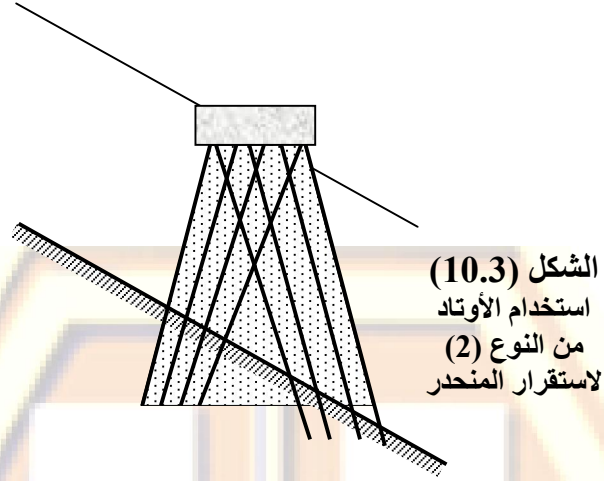
الشكل (8.3)
استخدام الأوتاد من النوع (1) لاستقرار المنحدر

يعتمد اختيار الأوتاد الدقيقة وطريقة تنفيذها على عوامل عديدة كطبيعة الموقع ونوع التربة وميل المنحدر ودرجة الزحف والصلابة النسبية بين الوتد والتربة المحيطة. تستخدم الأوتاد الدقيقة المتشابكة من النوع (2) لتقوية التربة ولزيادة صلابتها بحيث تقاوم الانزلاقات. وهذا يعني أن أسلوب مقاومة الحمولات يعتمد على التربة مع الأوتاد الدقيقة كجسم واحد يقاوم الانزلاق.

يبين الشكل (9.3) تسليح التربة بمجموعة فراغية من الأوتاد الدقيقة المتشابكة كما يبين الشكل (10.3) أوتاد دقيقة متشابكة تجتمع ضمن القبة البيتونية بحيث تشكل هرمًا وتجمع كتلة التربة مع بعضها بحيث تكون الكتلة المجمع لها خصائص جديدة لمقاومة الانزلاق.



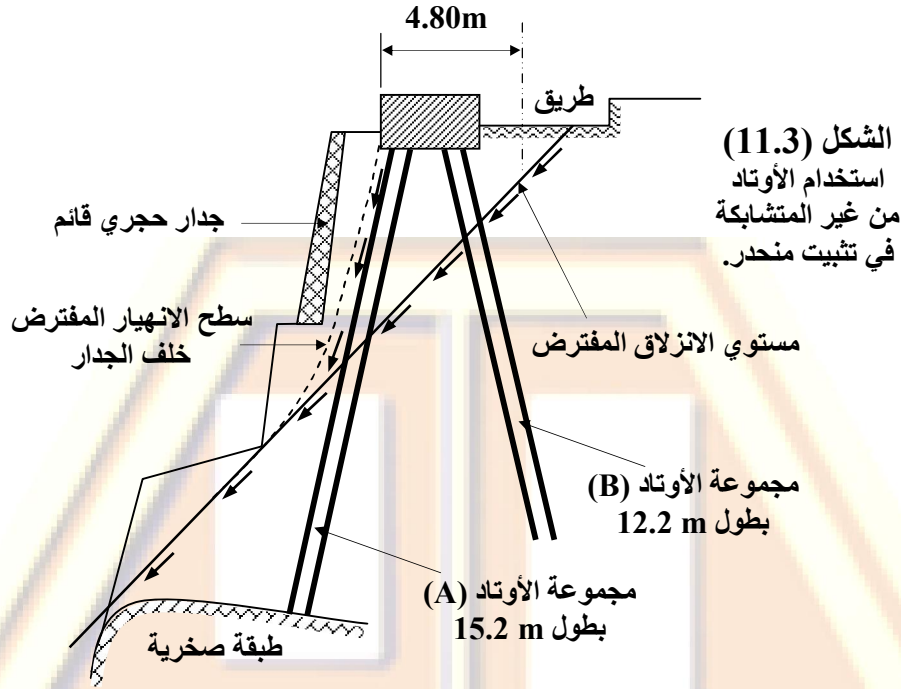
الشكل (9.3)
استخدام الأوتاد من النوع الثاني
كتسليح للمنحدر



4.3 تطبيقات الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات:

1.4.3 تطبيق أول:

لقد تم استخدام الأوتاد الدقيقة غير المتشابكة (النوع الأول) بهدف تثبيت المنحدرات في العديد من دول العالم، فعلى سبيل المثال نفذت العناصر المذكورة في مدينة نيويورك لتثبيت منحدر بطول (75 m) يقع فوقه طريق كما في الشكل (11.3).



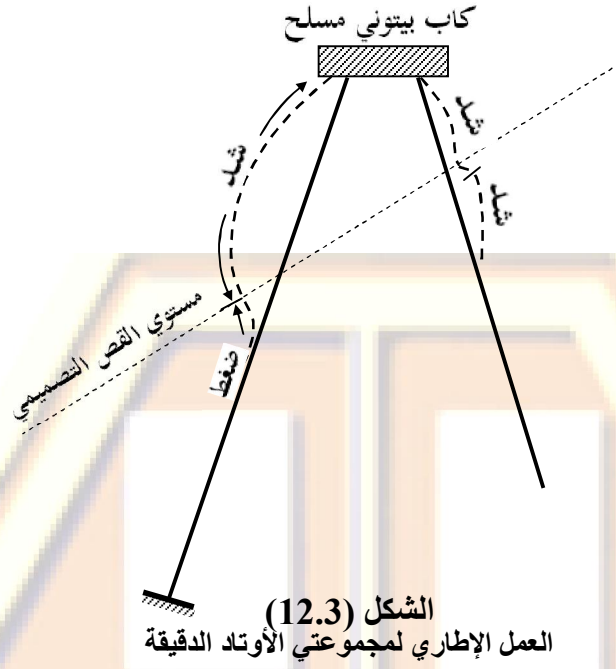
بيّنت الدراسات التي أجريت على المنحدر أنه كان قابلاً للانزلاق، وأن كلفة استخدام هذا النوع من الأوتاد في التثبيت، تقارب نصف كلفة استخدام الأوتاد من المتشابكة النوع الثاني.

لقد صمم الجدار الحجري كجدار استنادي لسند كتلة التربة المعرضة للانزلاق خلف الجدار. وبعد أن ظهرت بعض التشققات مع بداية انزلاق في الجدار، تم اقتراح التدعيم باستخدام الأوتاد الدقيقة.

تم تقسيم الأوتاد الدقيقة المستخدمة في التثبيت إلى مجموعتين، تقع أولاهما أعلى مستوى انزلاق المنحدر وتعرض إلى ضغط التربة من القسم العلوي من تربة هذا المنحدر، وتقع الأخرى أسفله حيث تتعرض إلى ضغط التربة المتمثل بقوى القص على سطح الانزلاق.

تم افتراض أن مجموعتا الأوتاد تعملان معاً كإطار واحد، حيث تربط القاعدة البيتونية (cap) بين عناصر هذا الإطار (أي الأوتاد)،

تعمل عناصر الإطار المذكورة على الشد (عبر التماسك مع التربة)، وعلى الضغط من خلال الاستناد على الصخر كما في الشكل (12.3).



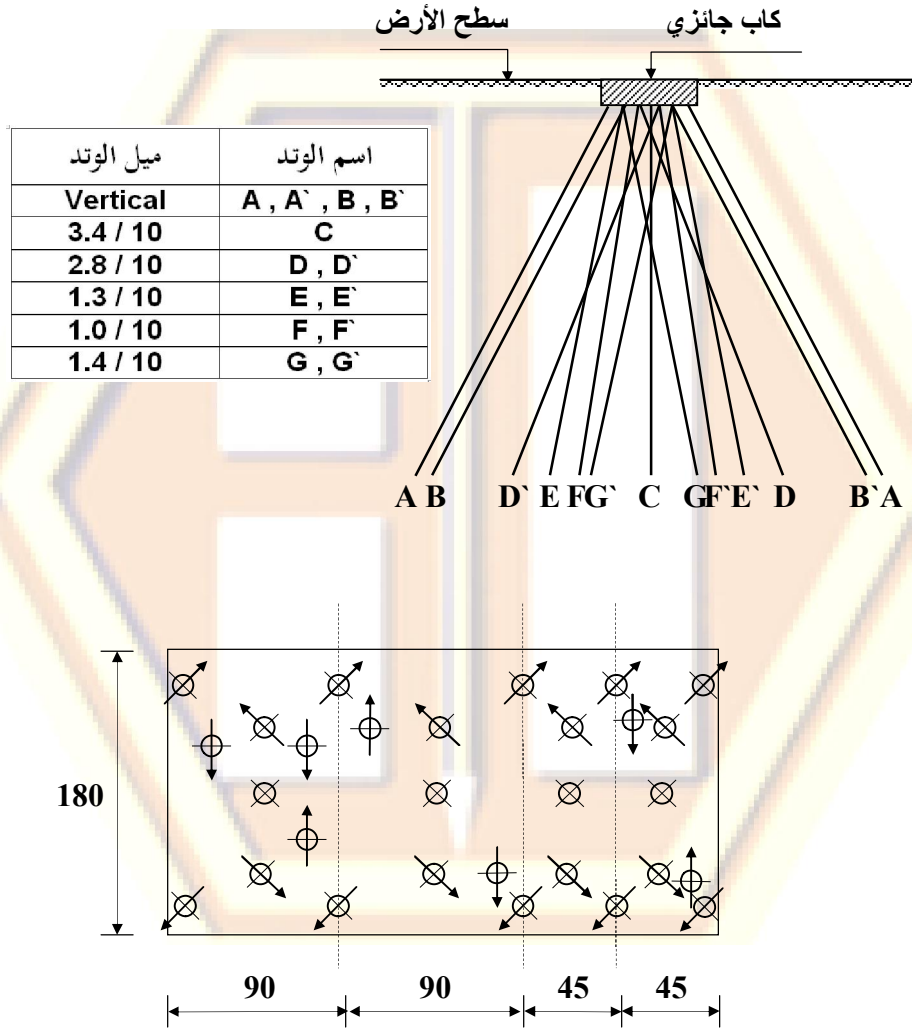
استخدام حوالي (700) وتد دقيق بقطر (9 cm) وبميل عن الشاقول بزاوية (32°) ، وتراوحت أعماق هذه الأوتاد بين (12 - 18 m)، حيث سلحت بقضيب واحد قطره (32 mm).

2.4.3 تطبيق ثاني:

لقد تم استخدام الأوتاد الدقيقة المتشابكة من النوع الثاني في مشروع تدعيم التربة تحت طريق دولي يقع على منحدر في ولاية كاليفورنيا. تراوح ميل هذه الأوتاد عن الشاقول بين $(0^\circ - 60^\circ)$ حيث تم استخدام (730) وتد بطول حوالي (21 m) لتأمين استقرار التربة، وقد نفذت الأوتاد الدقيقة بتباعدات بين مراكزها العلوية تراوحت بين (45 - 90 cm) كما في الشكل (13.3).

3.4.3 تصميم الأوتاد الدقيقة من النوع 1 (غير المتشابكة):

بالإضافة إلى تصميم الأوتاد الدقيقة غير المتشابكة من النوع (1) في توازن المنحدرات، يمكن أيضاً استخدام هذه العناصر في تدعيم الأنفاق وترتبة أساسات الطرق الواقعة على منحدرات كما في الشكل (13.3).



الشكل (13.3)

استخدام الأوتاد الدقيقة المتشابكة في تدعيم طريق سريع

يتم تصميم الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات وفق المراحل التالية:

1. إجراء تحليل للقوى المؤثرة على المنحدر لمعرفة المقاومة الواجب تحقيقها للأوتاد من أجل مقاومة الانزلاق، سواء كان سطح الانزلاق فعلياً أم افتراضياً.
2. التحقق من قدرة الأوتاد الدقيقة على مقاومة حمولة الكتلة المنزلقة.
3. التحقق من قدرة مقاومة الأوتاد الدقيقة للانهيال اللدن (أي حركة التربة حول الوتد) وتحديد تباعدات هذه الأوتاد.

يحدث الانزلاق في المنحدرات ضمن الطبقة الرقيقة من التربة والتي تتعرض لإجهادات قص كبيرة، ونظراً لكون الأوتاد الدقيقة عناصر مرنة نسبياً، فإن عزم الانعطاف الأعظمي يتولد عند السطح الفاصل بين الطبقة المنزلقة والطبقة المستقرة (أي عند سطح الانزلاق).

يتم تصميم الأوتاد بشكل أولي من خلال المخطط الموضح في الشكل (14.3) والذي تم تطويره اعتماداً على نظرية (FUKUOKA)، والتي وضعت أربعة نماذج قياسية للأوتاد الدقيقة.

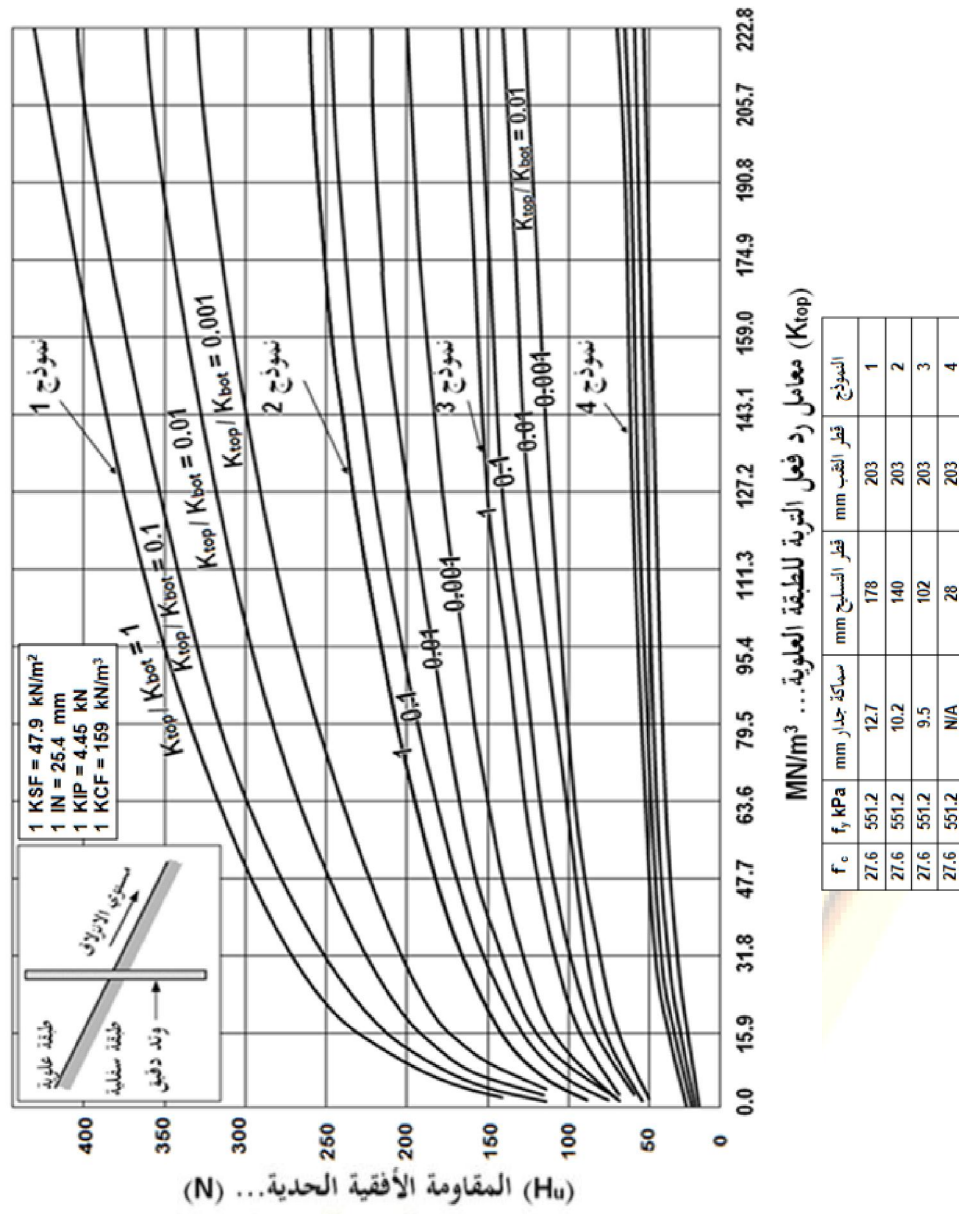
يتم من خلال هذا المخطط تحديد ما يلي:

- المقاومة الأفقية للأوتاد بحسب نموذج الوتد.
 - معامل رد فعل التربة للطبقتين العلوية والسفلية.
 - النسبة بين معاملي رد فعل التربة المذكورين.
- تؤخذ المقاومة الأفقية الحدية للأوتاد الدقيقة القيمة الأصغر بين الحمولة التي تسبب تلدن فولاذ تسليح الوتد، وبين الحمولة التي تسبب انهيار البيتون في الوتد.

5.3 الانهيال اللدن للتربة حول الوتد:

يمكن تحليل الانهيال اللدن للتربة حول الوتد باستخدام أية نظرية تعتبر تشوهات التربة محددة بشروط سطح الانزلاق حيث تحدث هذه الانهيارات عندما تكون التربة فوق مستوى الانزلاق طرية نسبة مع صلابة الوتد.

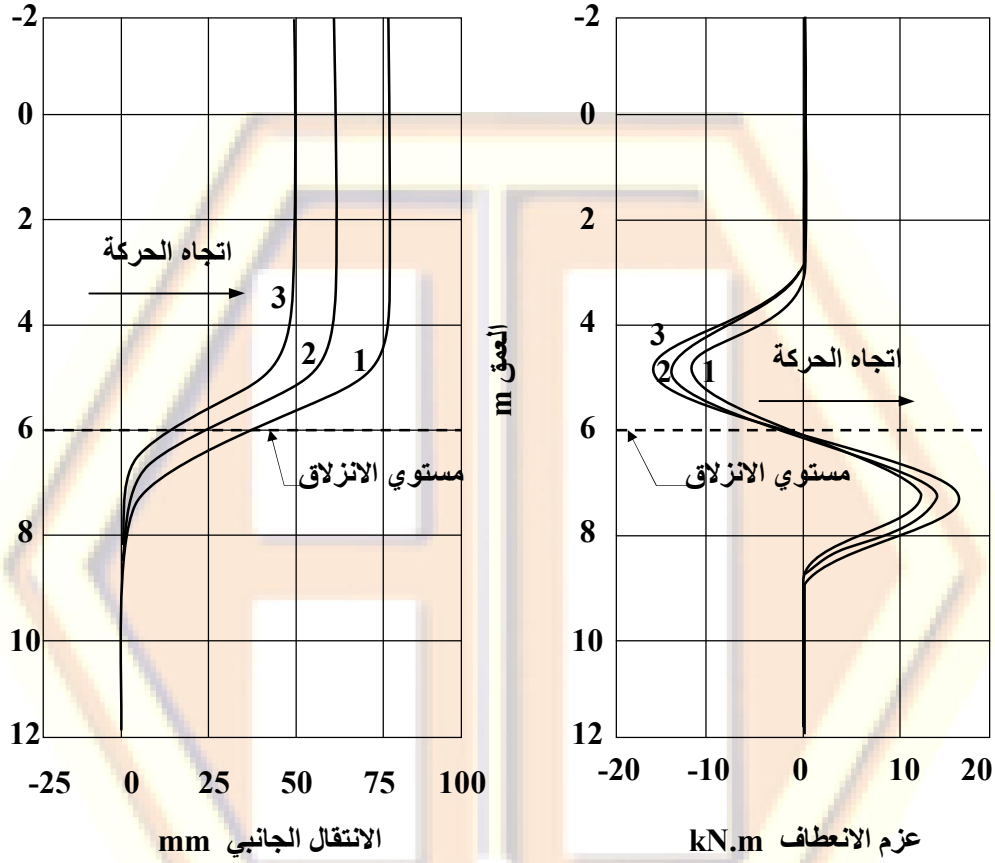
يبين الشكلان (16.3) و (17.3) الإجهادات الحدية المنقولة من التربة إلى الوتد، وذلك بحسب تباعد الأوتاد ونوع التربة.



الشكل (14.3)

التصميم الأولي للأوتاد الدقيقة غير المتشابكة من أجل توازن المنحدرات

يبين الشكل (15.3) التشوهات وإجهادات الانعطاف في الوتد كتتابع لكل من العمق ومعامل رد فعل التربة للطبقتين العلوية والسفلية من الوتد.



الشكل (15.3)

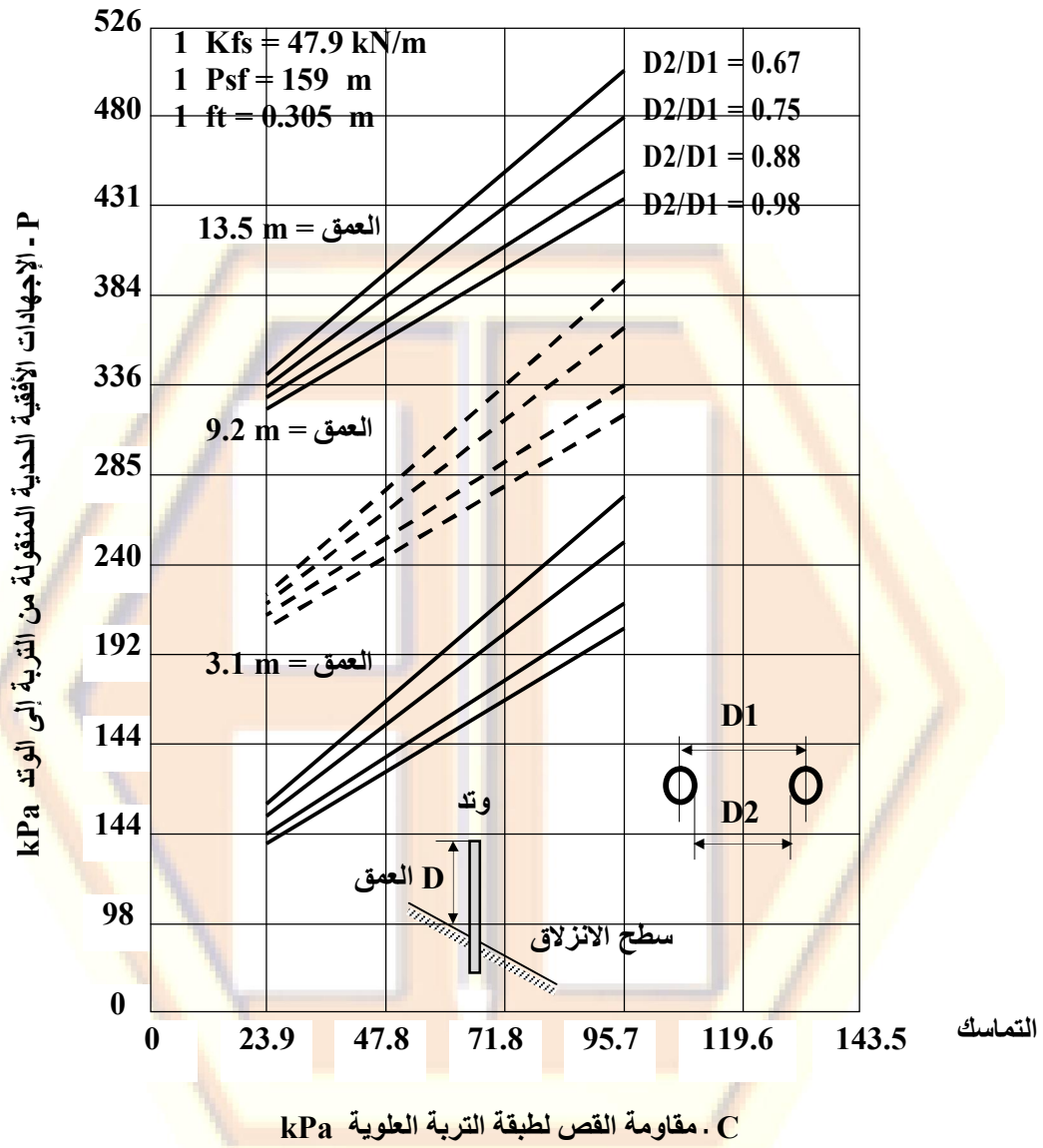
إجهادات الانعطاف والتشوهات في الوتد الدقيق

$$1 \text{ Pce} = 159 \text{ N/m}^3$$

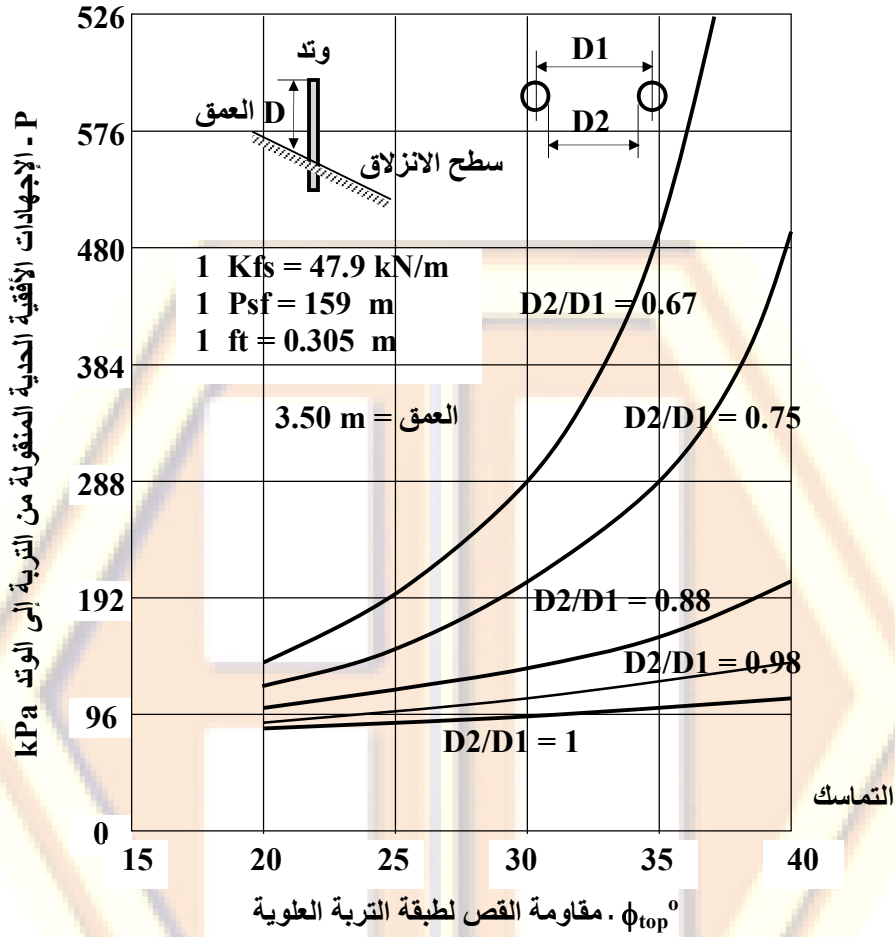
$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Kip} = 0.113 \text{ kN.m}$$

$$1 \text{ ft} = 0.305 \text{ m}$$



الشكل (16.3)
الاجهادات الحدية المنقولة من التربة إلى الوتد



الشكل (17.3)
الاجهادات الحدية المنقولة من التربة إلى الوتد

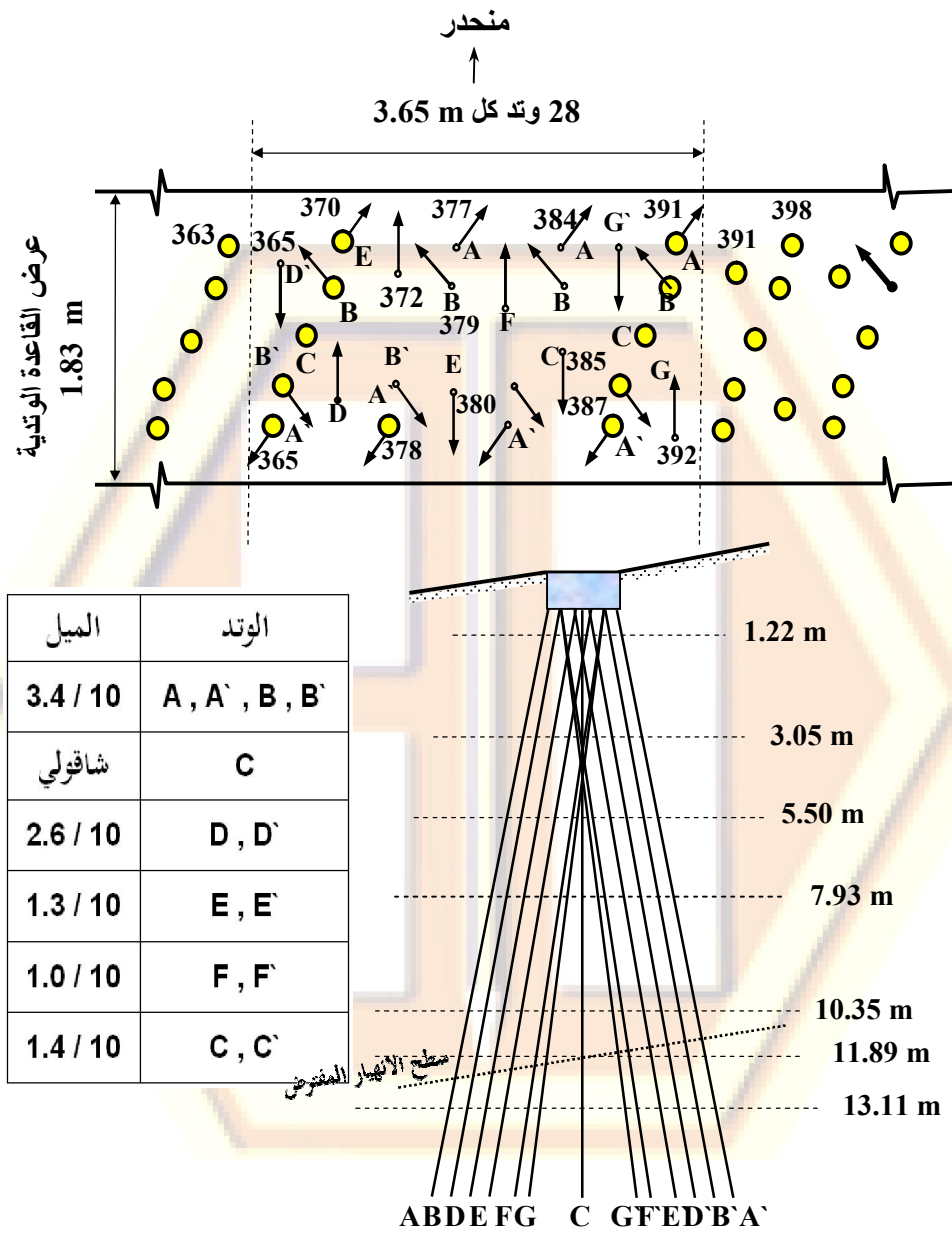
توجد نظريتان لتحليل الانهيار اللدن للتربة.. تُعتبر الأولى أن التربة حول الوتد فوق سطح الانهيار تامة اللدونة، وتستخدم هذه النظرية في الترب المتماسكة. أما الثانية فتعتبر أن التربة حول الوتد فوق سطح الانهيار تسلك سلوك لدن لزج. وفي الحالات العملية يمكن الاكتفاء بالمخطط (16.6) للحصول على نتائج مرضية.

لإيجاد محصلة القوى التي يخضع لها الوتد من جمع القوى الناتجة عن الانزلاق يتم اللجوء إلى حساب القوى الناتجة عن السلوك اللدن للتربة حول الوتد... وبالتالي يمكن تلخيص خطوات التصميم النهائي للأوتاد من النوع غير المتشابكة بما يلي:

1. تحليل المنحدر واستنتاج القوى المسببة للانزلاق.
2. حساب المقاومة المطلوب تحقيقها من الأوتاد لمقاومة الانزلاق.
3. حساب قدرة تحمل الأوتاد لمقاومة القوى الناتجة ويتضمن ما يلي:
 - تحديد خصائص الوتد الإنشائية.
 - تحديد قدرة تحمل الأوتاد الجيوتكنيكية في القسم السفلي من المنحدر.
 - تحديد المقاومة الإضافية للأوتاد الناتجة عن ميلان الوتد في حال الميلان.
4. تحديد تباعد الأوتاد النهائي والتباعد المطلوب لتجنب انهيار الوتد..

6.3 تصميم الأوتاد الدقبة من النوع 2 (المتشابكة):

يختلف تصميم الأوتاد الدقبة المتشابكة عن تلك غير المتشابكة بسبب اختلاف مفهوم عمل كل نوع منهما، فالأوتاد غير المتشابكة تحسب، حسبما وجدنا سابقاً، باعتبارها تقاوم الحمولات الناتجة عن انزلاق التربة. أما الأوتاد المتشابكة فتسلك سلوكاً مختلفاً، فهي تشكل مع التربة جملة مقاومة للحمولات المطبقة. أي أنها جزء من الجملة المقاومة، ولا تقاوم الحمولات بشكل رئيسي... انظر الشكل (18.3).



الشكل (18.3)
الأوتاد المتشابكة

يعتبر سلوك الأوتاد المتشابكة مع التربة معقداً جداً بسبب كثرة العوامل التي تؤثر على هذا الترابط، وصعوبة أخذها في العلاقات الحسابية، لذلك جرى افتراض العديد من التقريبات لتوصيف سلوك الأوتاد المتشابكة كاعتبار التربة مسلحة بالأوتاد المتشابكة ودراسة مقاومة التربة على هذا الأساس واعتبار أن التربة مع الأوتاد كتلة لها مواصفات جديدة تقاوم الضغط والشد والقص.

تتجلى وظيفة الأوتاد الدقيقة في هذه الحالة بما يلي:

- دعم التربة ومنع أي انزلاقات في الكتلة المقاومة القوى القاصة، والتي يمكن أن تسبب انقطاعاً في استمرارية وترابط، والتي تدعى هنا بالكتلة المختلطة (أي المؤلفة من مادتين مختلفتين... التربة والأوتاد).
- تعمل الأوتاد على مقاومة القص الناتج عند سطح الانزلاق.
- تعتبر نظرية (LIZZI) من أشهر النظريات المعتمدة في حساب الأوتاد الدقيقة المتشابكة، فهي تعتبر جملة الأوتاد مع التربة كجملة مقاومة تتعرض للضغط والقص فقط، ولا تعتبر وجود شد على الكتلة المقاومة.. ويكون دور الأوتاد كدور التسليح في المقاطع البيتونية.

يتم الحساب وفق هذه النظرية كما يلي:

- مساحة المقطع المكافئ للكتلة تساوي:

$$A_{trane} = A_{conc.} \cdot \frac{E_{conc.}}{E_{soil}} + A_{stlee} \cdot \frac{E_{stlee}}{E_{soil}}$$

حيث:

($A_{conc.}$): مساحة المقطع البيتوني.

(A_{stlee}): مساحة الفولاذ.

($E_{conc.}$): معامل مرونة مادة البيتون.

(E_{stlee}): معامل مرونة فولاذ التسليح.

(E_{soil}): معامل مرونة التربة.

- نحسب عزم عطالة للكتلة المدروسة (القاعدة) مع اعتبار المساحة الفعالة لكل من التربة والبيتون وفولاذ التسليح، حيث نحسب إجهادات الليف الأبعد عن مركز الكتلة بالعلاقة التالية:

$$\sigma = \frac{P}{A_{trans.}} \pm A_{stlee} \cdot \frac{P \cdot e}{I_{trans.}} \cdot \left(\frac{B}{2} \right)$$

حيث:

(P): المركبة الشاقولية للقوى التي تخضع لها الكتلة المدروسة.

(e): لامركزية القوة (P).

(Atrans.): مساحة المقطع المكافئ.
 (Itrans): عزم عطالة القاعدة.
 (B): عرض المقطع المدروس (عرض القاعدة).
 يتطلب تحليل الكتلة القيام بتحليل الاستقرار من أجل مقاومة ميكانزمات الانهيار المحتملة، ويشمل هذا التحليل على:

1 دراسة الاستقرار الخارجي:

- تحقيق الأمان ضد الانقلاب.
- تحقيق الأمان ضد الانزلاق.
- ويحدد الاستقرار الخارجي أبعاد الكتلة المقاومة والتباعد بين صفوف الأوتاد.

2 دراسة الاستقرار الداخلي:

- ضمان عدم حدوث الانهيار اللدن للتربة ضمن الأوتاد.
- ضمان المقاومة الإنشائية للأوتاد.
- ويحدد الاستقرار الداخلي المسافة الاسمية بين الأوتاد والتي تضمن عدم انهيار التربة، كما يحدد عدد الأوتاد المطلوب والتباعد النهائي لصفوف الأوتاد.
- من أجل التصميم النهائي للأوتاد الدقيقة المتشابكة نتبع الخطوات التالية:
- 1. تحليل المنحدر لتحديد القوى الداخلية المطلوب مقاومتها وتحديد معامل أمان المنحدر.
- 2. التصميم الأولي للأوتاد الدقيقة وتحديد التباعدات الأولية.
- 3. تأمين الاستقرار الخارجي ويشمل:
- معامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF_o = \frac{\sum M_{resisting}}{\sum M_{overturning}} \geq 2$$

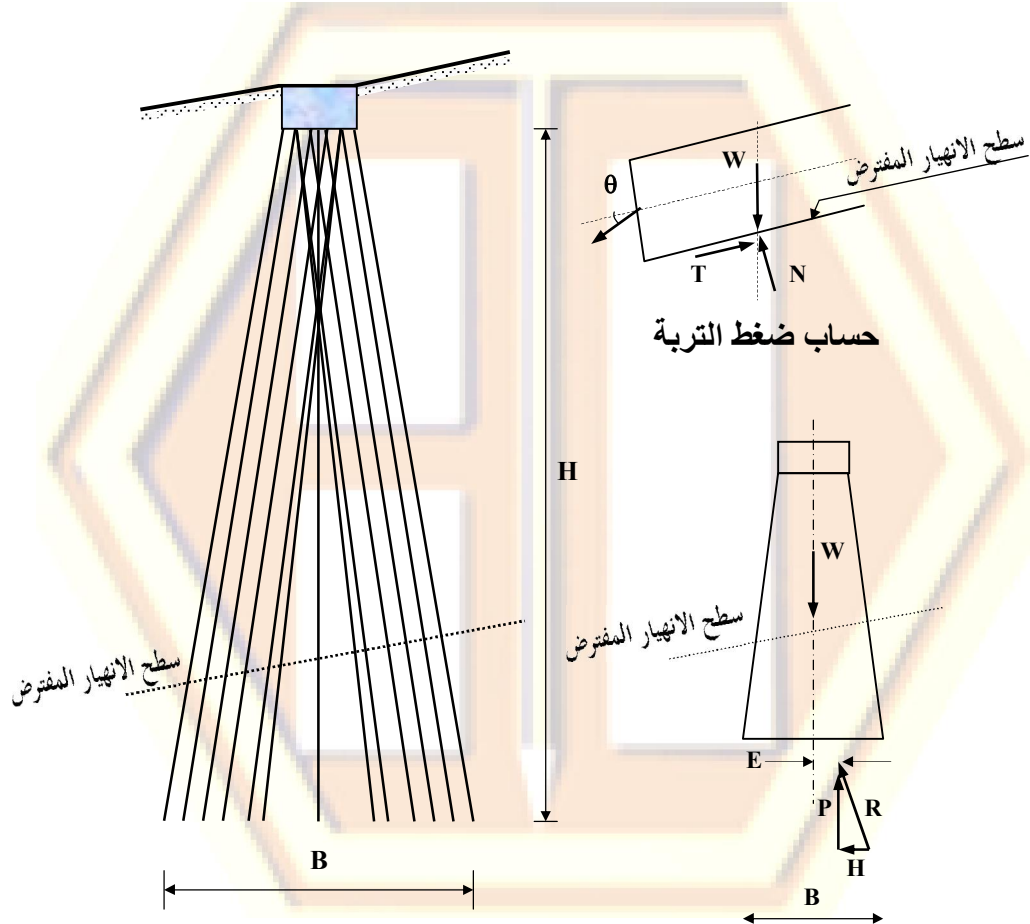
- معامل الأمان ضد الانزلاق:

$$SF_s = \frac{\sum V \cdot S + S_b}{\sum H} \geq 1.5$$

حيث:

- (V) مجموع الحمولات الشاقولية.
- (S) مقاومة القص لتربة القاعدة.
- (S_b) قدرة تحمل الأوتاد للقص.
- (H) مجموع الحمولات الأفقية
- 4. حساب القوى الداخلية في الكتلة المقاومة من خلال تحديد التباعد بين الأوتاد (يمكن استخدام المنحني في الشكل 16.3)

5. تحليل التشوهات اللدنة للتربة حول الوتد.
6. تحديد قدرة التحمل الإنشائية للأوتاد الدقيقة.
- أخيراً يبين الشكل (19.3) خطوات تصميم جملة الأوتاد الدقيقة المتشابكة في وضع التوازن من أجل تثبيت المنحدرات، وفق العلاقات التالية:



الشكل (19.6)
مراحل تصميم الأوتاد المتشابكة - الجملة جسم طليق متوازن

$$1- \sigma = \frac{P}{A_{trans.}} \pm \frac{P \cdot B / 2}{L_{trans.}} \cdot \frac{B}{2} \geq 0$$

$$2- SF = \frac{(S_s \times B) + S_p}{H}$$

$$3- C_p > \frac{B}{6} \times \sigma_{max} \cdot A_p$$

حيث:

(P): القوة الأفقية.

(B): عرض المنشأ.

(S_s): مقاومة القص في التربة.

(S_p): مقاومة القص في الوتد.

(C_p): قدرة تحمل الوتد للقص.

(H): القوة الأفقية.

الإشراف على تنفيذ الأوتاد الدقيقة ومراقبة الجودة

1.4 مقدمة: Introduction

يتناول هذا الفصل موجزاً حول واجبات المهندس المشرف أو مالك المشروع والمتعلقة بتنفيذ أعمال الأوتاد الدقيقة، مع الإشارة إلى أن هذه العناصر تعتبر حديثة العهد في المشاريع الإنشائية، لذلك نجد أن الشروط والمواصفات العالمية المتخصصة بهذه الأعمال، تفرض شروطاً حقيقية وقاسية نسبياً في التنفيذ، كما تشترط استخدام التقنيات الحديثة والمعدات المتطورة وعالية الأداء، لتحقيق ضمان المراقبة وضمان الجودة (QA , QC = quality assurance and quality control) الأمر الذي يضاعف أهمية عمليات تنظيم التنفيذ.

تشير كافة المواصفات العالمية آنفة الذكر إلى ضرورة اختيار المقاولين المنفذين لأعمال الميكروبايل من ذوي الخبرة والكفاءة العالية، والفهم الواضح لما هو مطلوب من هذه العناصر، كما يجب اختيار المشرف على التنفيذ من المهندسين ذوي الخبرة بغية ضبط جودة التنفيذ، وتصحيح الأخطاء التي يمكن أن تقع أثناء ذلك.

تقع على عاتق المهندس المشرف ثلاث مهام أساسية هي:

- دقة المراقبة ومتابعة الأعمال.
 - توجيه الكادر المنفذ لخطوات العمل.
 - توثيق الاختبارات والأعمال المنفذة.
- تبدأ أعمال ضمان المراقبة وضمان الجودة (QA , QC) بوضع خطة للتنفيذ بعد دراسة المخططات والمواصفات بشكل دقيق، وتطويرها إن أمكن ذلك، ومتابعة الجهة المنفذة لضمان الالتزام بالشروط الفنية المطلوبة.

غالباً ما تفرض شروط العمل على المالك كيفية التعامل مع المؤهلات والخبرات لكل من متعهدي المايكروبايل والعاملين المتعاقد معهم لتنفيذ خطة العمل. إن عدم إدراج موضوع كفاءة وخبرة المقاول في الشروط والمواصفات الفنية لمشاريع المايكروبايل بهدف خفض التكاليف، يفتح الابواب أمام المقاولين قليلي الخبرة للدخول في هذه الأعمال، الأمر الذي يؤدي في كثير من الأحيان إلى نتائج سلبية، كسوء التنفيذ الذي يصعب إصلاحه، والتأخير في العمل والدعاوى القضائية وزيادة تكاليف المشروع، وغالباً ما تحبط مثل هذه النتائج همم أصحاب المشاريع لاستخدام تقنيات التنفيذ الجديدة، وتقودهم للعودة إلى أساليب أكثر تقليدية بأي ثمن. يمكن إذاً تجنب كل ذلك من خلال إدراج بند واضح وصريح في الشروط الفنية للمشروع، يتعلق بكفاءة وخبرة المقاول، حيث يضمن نجاح المشروع. بالإضافة إلى الخبرة التي يتمتع بها المقاول المؤهل، هناك علاقة مباشرة بين جودة تنفيذ الأوتاد الدقيقة وبين مقاوماتها، ويتم التحقق من ذلك من خلال تجارب التحميل. ليس من العملي أو الاقتصادي اختبار كل عنصر يتم تنفيذه، لذلك لابد من إيلاء نوعية المواد وطرق تخزينها اهتماماً خاصاً، وإعداد التثبيت المسبق.

2.4 مراقبة جودة المواد: Quality Control for Materials

1.2.4 التخزين والتعامل مع المواد: Storage and Material Handling

يعتبر الإسمنت من أهم المواد التي يجب الاهتمام بتخزينها لضمان الجودة العالية للمونة المحقونة أو للبيتون المصبوب. يشترط في تخزين الإسمنت الاختيار الصحيح للمخزن أو المستودع، بحيث يكون المكان جافاً ومعزولاً تماماً عن الرطوبة ومنع وصول الماء إلى الاسمنت بأي شكل كان، مع الحفاظ على الاسمنت جافاً. يتم توفير الاسمنت عادةً إما بأكياس بوزن (50 kg) أو بدون عبوات (فرط) حيث يخزن النوع الأخير ضمن سيلوهات تتحكم في حجمها ظروف الموقع. يجب أن يتم شحن الأسمنت المعبأ بأكياس على منصات خشبية، والتعامل معها وتخزينها على نفس هذه المنصات منعاً لوصول الرطوبة إليها. كما يجب تجنب تكديس الأكياس بارتفاعات عالية بشكل يعوق استخدام الأقدم منها قبل الأحدث. تبين الصور التالية كيفية تخزين الاسمنت بشكل مقبول.



الشكل
(1.7)

قبل استخدام مادة الإسمنت يجب التحقق من عدم وجود كتل أو أية مؤشرات أخرى تدل على وجود رطوبة أو تلوث بمواد غريبة، كما يجب أن يكون كل الاسمنت مطابقاً للمعايير القياسية المعتمدة كشروط عامة للمشروع.

2.2.4 خلطات المونة: Grout Mix

تنفذ المونة المعدة وفق التوصيات التالية:

- تنفذ المونة المعدة للحقن بعد إجراء تجارب مخبرية على خلطات مصممة مسبقاً لتحقيق المقاومة المطلوبة، على أنه يجب أن تكون الخلطة المصبوبة مطابقة لما هو مصمم.
- يجب إعطاء الأهمية لتوصيات المخبر في تصنيع الخلطات، كما لا يجوز استخدام الخلطات التي تجاوزت مدة الصلاحية.
- يجب أن يكون الماء المستخدم في الخلط صالحاً للشرب ولا يحوي على شوائب أو رواسب أو معادن. ويتم الحصول على المياه الصالحة للشرب من صنادير المياه المجاورة أو من مصادر أخرى تحقق هذه المتطلبات.

3.2.4 فولاذ التسليح: Reinforcement

- يجب الانتباه إلى الملاحظات التالية المتعلقة بقضبان فولاذ التسليح:
- الانتباه إلى شهادة المنشأ والمواصفات المطلوبة للفولاذ، بحيث يكون مطابقاً للشروط والمواصفات الفنية الخاصة بالمشروع، حيث يجب أن ترفق مع كل دفعة شهادة المصنع الخاصة بها. وفي حال عدم توفر ذلك (وخاصة لمواد الأنابيب) يجب التحقق من جودة الفولاذ من خلال تجارب ميكانيكية وكيميائية على عينات من الفولاذ.
- يجب فحص فولاذ التسليح بالعين المجردة فور وصوله وتسليمه إلى الموقع، وذلك للتحقق من القياسات ومن عدم وجود أية علامات تدل على بدء التآكل.
- الانتباه إلى التحميل والنقل والتخزين كي لا تتشوه القضبان.

- يجب أن تكون منطقة التخزين بعيدة عن حركة المرور وفي موقع محمي.
- يجب تخزين الفولاذ بشكل جيد لحمايته من التآكل والتلوث بالأوساخ والزيوت والشحوم والمواد العضوية، حيث توضع عادةً ألواح خشبية بين الأرض والحديد مما يحول دون صدأ الأخير.
- يجب رفض الحديد المتضرر بسبب الصدأ والتآكل العميق، كما يجب تسليمه لموقع العمل محمياً بحماية مضاعفة ضد التآكل، أو مطلياً بمادة الالايوكسي.
- تبيين الصور التالية في الشكل (2.4) كيفية تخزين فولاذ التسليح.



الشكل (2.7)

4.2.4 الحصويات: Aggregates

يتم إحضار حصويات إلى موقع العمل يكون تدرجها الحبي مطابقاً للشروط والمواصفات الفنية المعتمدة في المشروع، وذات خواص ميكانيكية مناسبة. وينصح بأن تكون مفصولة في حاويات خاصة، ومرفقة بشهادة من الكسارة. كما يجب عند تخزين الحصويات اتباع نفس الإجراءات السابقة لتخزين المواد السابقة من الإسمنت وفولاذ التسليح

يجب التحقق من المواصفات التالية للحصويات قبل توريدها للموقع:

- التحقق من نظافة الحصويات وخلوها من المواد الترابية أو أية مواد غريبة.
- التأكد نوع الحصويات ومن تركيبها الكيميائي.
- التحقق من مقاومة الحصويات الميكانيكية المطلوبة من خلال تجارب مخبرية.
- التحقق من المقاسات المناسبة المطلوبة.

3.4 الإنشاء أو التنفيذ: Construction

- يجب على المقاول قبل المباشرة بالعمل تقديم ما يلي:
1. برنامج زمني للتنفيذ، يوصف جميع الجوانب المتوقعة أثناء سير العمل، بما في ذلك أية صعوبات متوقعة.
 2. بيانات حول المهندس المشرف والعمال والذين يجب أن يتمتعوا بالخبرة والكفاءة الكافيتين.
 3. تقرير التربة المتوقع حفرها وبيان أية مشاكل محتملة أثناء الحفر.
 4. مواقع واتجاهات ومقاسات وأعماق الأوتاد الدقيقة.
 5. قدرة تحمل الأوتاد الدقيقة.
 6. بيانات تسوية سطح الأرض وأخذ الاحتياطات لتجنب انحراف الحفر.
 7. الأحمال المتوقعة على هيكل المنشآت المجاورة أثناء عملية التنفيذ.
 8. أنواع معدات الحفر والحقن وغيرها، بما في ذلك الشركات المصنعة.
 9. المخطط العام للتجهيزات بما في ذلك التسلسل المقترح للتركيب مع البرنامج الزمني لبقائها في العمل.
 10. تصميم الخلطات البيتونية ومراقبة عمليات الخلط وتقنيات الحقن.
 11. أنواع ومقاسات أنابيب وقضبان فولاذ التسليح بما فيه التوضع والحماية من التآكل.
 12. أساليب وإجراءات الحقن المسبق للمونة إن وجد.
 13. بيانات المرافق والمنشآت القائمة والعناصر الحساسة الأخرى المحيطة والتدابير المقترحة لحمايتها.
 14. كيفية التعامل مع الارتفاع المنخفض أو أي عوائق في الأماكن المجاورة.
 15. معايير قبول نتائج تجربة التحميل وفق ما ورد في الفقرة (8.5) من الفصل الخامس من هذا الكتاب، بما في ذلك تحقيق الحمولات القصوى والتشوهات المسموحة تحت حمولات الاختبار.
 16. أماكن التحميل ومقاييس المعايرة والمراقبة وأي تجهيزات اختبار أخرى.
 17. تفاصيل عقد اتصال العناصر الإنشائية.
 18. معايير تنفيذ الإجراءات التصحيحية للتنفيذ ولتجارب التحميل.
 19. نظام التعامل مع العمال مع الأخذ بالاعتبار حماية المنشآت المحيطة والمرافق تحت الأرض.

4.4 إجراءات الحفر: Excavation procedures

1. ينبغي على كل من المشرف والمقاول دراسة وتفهم الشروط الخاصة بنوع التربة والحفريات قبل المباشرة بالعمل. بالإضافة إلى الاختيار الحرفي لمعدات وتقنيات حفر الأوتاد الدقيقة، مع الإشارة إلى تعددها وتنوعها، إذ تعتبر معظم هذه التقنيات مقبولة شريطة أن تؤمن استقرار الحفرة والأبعاد المطلوبة دون الإضرار بالمناطق المحيطة بها.
2. يجب على المشرف التأكد من أن طريقة الحفر المزمع اتباعها، لا تعيق سحب القمصان، ولا تتطلب إزالة كمية كبيرة من التربة لإخراجه من مكانه، كما لا تسبب انهيار التربة المحفورة وردم الثقب.
3. من المهم أيضاً أن يدرك المهندس المشرف أن الطبيعة الفيزيائية للثقوب المحفورة قد تخلخل التربة المحيطة لبعض الوقت ولمسافة معينة، لذا عليه أن يتأكد من أن تجهيزات الحفر والحقن والأساليب والإجراءات التي يتبعها المنفذ ستحقق النتائج المرجوة.
4. يتم تنظيف ثقوب أو حفر الأوتاد الدقيقة باستخدام الضغط العالي وبغناية فائقة، لأن الحفاظ على عدم تخلخل الأرض هو من أهم القضايا التي تستوجب هذا العمل.
5. يمكن أثناء الحفر أن تميل ثقوب الأوتاد الدقيقة أو تنحرف عن موقعها على الأرضي عما هو وارد في المخططات التنفيذية، لذلك نبين حدود السماحية في هذه الانحرافات كما يلي:
 - (75 mm) في المسقط الأفقي.
 - (1/50) في شاقولية الثقب.
 - (1/25) بين الشاقولي وأصغر ميل... أو الميل الذي لا يزيد عن (1/6).
 - (1/15) بين الشاقولي وأصغر ميل... أو الميل الذي يزيد عن (1/6).
6. في جميع الحالات التي يكون فيها قميص الوتد مؤقتاً، ويتم إخراجه أثناء عملية الصب، يجب ألا يسمح بانهيار الثقب... وكما ذكرنا اعلاه ينبغي نزع القميص من حفرة الوتد بشكل لا يشوه فولاذ التسليح أو يعرضه للتماس مع التربة، ويحافظ على مكان ونظافة المونة المحقونة.
9. عند وجود مياه جوفية في موقع الحفر، يجب دوماً الحفاظ على منسوب المياه داخل الحفرة أعلى من منسوب المياه الجوفية، لكي يكون ضغط السائل الداخلي كافياً لموازنة كل من ضغط المياه الجوفية الخارجية، وضغط التربة الفعال في الترب غير المستقرة.
10. أثناء تنفيذ الأوتاد الدقيقة، يجب إنجاز كافة عمليات الحفر والتسليح والصب بأسرع وقت ممكن، لأن بعض أنواع التربة كالغضار القاسي والصخور الضعيفة

- مثلاً، يمكن أن تضعف وتنهار عند تعرضها للعوامل الجوية.. وينصح دوماً بأن يتم الحفر وتركيب التسليح والصب بنفس اليوم.
11. في الحالات التي يكون فيها عدد الأوتاد كبيراً أو يتعذر فيها تنفيذ كافة العمليات في يوم واحد، يجب تغطية ثقوب الوتد بشكل مؤقت لمنع تساقط الركام في الحفرة، ويوصى هنا بأن يبرز الغطاء عن سطح الأرض بما لا يقل عن (30 cm) لمنع تدفق الماء لداخل الحفرة.
12. يجب أخذ الحيلة من تسرب المياه الجارية إلى الثقوب المحفورة، لأن ذلك قد يسبب تآكلها وانهيارها.
13. يجب منع التربة في قاع حفرة الوتد من الانتفاخ قبل عملية الصب والتحقق من دقة أقطار ثقوب الأوتاد الدقيقة المحفورة بدون رأس حفر.
14. يجب الاحتفاظ بسجلات دقيقة وشاملة لعمليات حفر الأوتاد الدقيقة.

5.4 حقن المونة: Grouting

1. يجب واختيار الجبال القادرة على خلط الاسمنت ليصبح شبه غروي، مع خزان يسمح بمواصلة تفاعل الإسمنت واختيار المعدات التي تضمن استمرارية الصب.
2. قبل البدء بأي من أعمال الحقن يجب التأكد من جاهزية المعدات والتحقق من أنها موافقة لتصميم الخلطات المعتمدة.
3. يجب العناية بتنفيذ الخلطات وإتباع التوصيات والإرشادات المتعلقة بذلك، فهذا يرفع من قدرة تحمل الوتد.
4. يجب رج المونة المحقونة جيداً للتخلص من الهواء الموجود في الخلطة، والتحقق من خروج الهواء بشكل كامل.
5. يجب عدم سحب المونة أثناء الصب من خزان الضخ إذا كان منسوبه أخفض من منسوب أنابيب الضخ
6. يجب استبعاد أية مواد غريبة من المونة أثناء الصب.
7. يجب منع حدوث أي انتفاخ في طبقات التربة الأفقية عن طريق الحد من ضغط المونة والحد من زيادة كميتها المحقونة.
8. ينبغي من الناحية المثالية صب الأوتاد الدقيقة بعد عملية الحفر مباشرة.. وإذا لم يكن ذلك ممكناً، يجب أن يتم الصب قبل انهيار وتشوه الثقوب.
9. تنفذ عملية الصب الأساسية بحقن مونة الإسمنت بدءاً من أدنى نقطة من قاع الثقب، حيث يفترض أن تملأ المونة الثقب بشكل متدرج على كامل العمق دون مسامات أو فقاعات هوائية.
10. يجب أن تكون المونة من نوعية جيدة وذات قوام ثابت من بداية الصب وحتى نهايته. كما يجب أن يتم تنفيذ الصب دفعة واحدة وبشكل متواصل دون

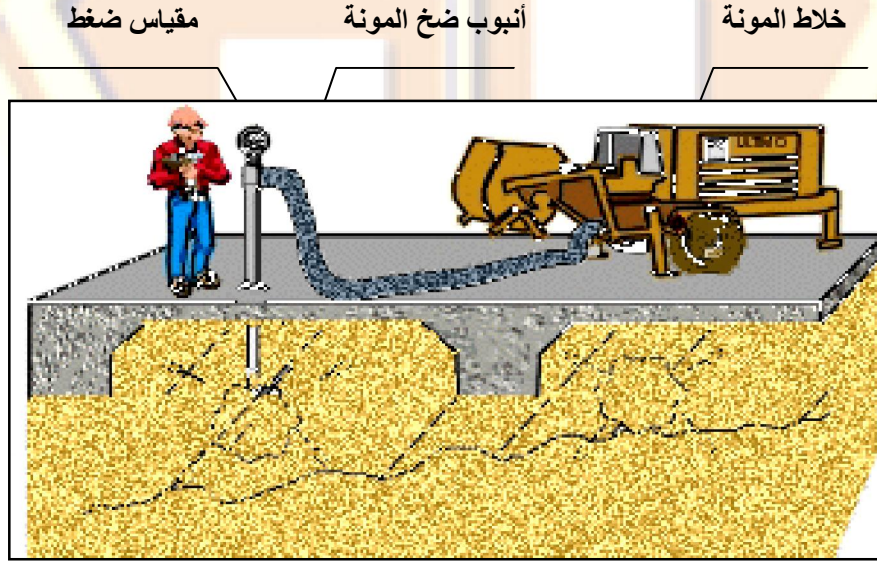
انقطاع، مع الحرص على رج المونة جيدا لتفريغ البيتون من الهواء، مع ضرورة الحذر خلال عملية الرج لكي لا تتخلخل التربة أو المنشآت المجاورة.

11. يتم ضخ المونة عادةً بربط أنبوب الحقن أو الضخ مع حديد التسليح قبل إدخال الأخير في ثقب الوتد، مع ضرورة توخي الحذر للتأكد من أن هذا الأنبوب محرر بما يكفي لنزعه من الثقب عند الانتهاء من عملية الحقن أو الصب. من أجل ذلك يستخدم عادة شريط لاصق لربط أنبوب الحقن وفولاذ التسليح معاً بشكل يمكن فصلهما بسهولة... وبعد وضع فولاذ التسليح والأنبوب يتم ضخ المونة من الأسفل حتى أعلى الثقب.

12. تتم إزالة الأنبوب من حفرة الوتد فور إنهاء عملية الحقن، ويمكن تطبيق الضغط على أعمال البيتون الأولية خلال عملية سحب الغطاء.

13. يجب أن تتوقف عملية الصب إذا لوحظ أي ارتشاح وهروب للمونة على سطح الأرض، حيث يتم قياس ضغط المونة وعلى مقربة من نقطة الحقن، لحساب فاقد أو ضياع بين المضخة وقاع الوتد، مع الإشارة إلى أن الحفارات تزود عادةً بمقياس ضغط تتم مراقبته من قبل العمل الفني... (الشكل 3.4).

14. يجب أن يتم ضخ المونة تحت ضغط ثابت ومستمر مع المحافظة على ضبط وتوجيه أنبوب الحقن.



الشكل (3.4)

15. من الضروري مراقبة كمية وضغط المونة على كامل عمق الوتد الدقيق الأمر الذي يمنع حدوث أخطاء الحقن، والتحقق بشكل تدريجي من جودة وفعالية العمل.
16. بتراوح الضغط النموذجي للحقن بين (6 – 4) ميجا باسكال. ويجب توثيق ضغط الحقن عندما يزيد عن (6.5) ميجا باسكال.
17. تعتبر سجلات الخلطات ذات أهمية قصوى وذات حيوية للمشروع وقد تم وصفها بالتفصيل في هذا الفصل أدناه.

6.7 تركيب التسليح: Installation of Reinforcement

1. يمكن تركيب التسليح (الذي يجب أن يكون محمياً ضد الصدأ والتأكسد من خلال طلائه بطبقة حماية مضاعفة) قبل الصب، أو بعد الصب بتنزيله في الثقب المصبوب قبل سحب القميص، في حال استخدام الأخير.
2. عند الاضطرار إلى سحب الفولاذ المطلي أو المحمي فوق السطوح الخشنة أو على سطح الأرض، فيجب أن يتم ذلك ببطء.
3. يجب أن يكون فولاذ التسليح خالٍ من المواد الضارة كالترربة السطحية والطين والزيوت والشحوم وبقايا المونة والبيتون.
4. يجب تكون قضبان التسليح قابلة لإدخالها ضمن الثقب على كامل الطول وبدون قوة، وفي حال عدم القدرة على تحقيق ذلك، فهذا يعني أن التربة المحيطة بالثقب قد انهارت ضمن الحفرة ومن الضروري عندئذٍ سحب التسليح.
5. على المشرف الاحتفاظ أثناء تركيب التسليح بسجلات تتضمن البيانات التالية:
 - الطول الكلي للأوتاد وأطوال التسليح.
 - طول مناطق التثبيت لكل وتد.
 - أية بيانات أخرى تتعلق بهذا العمل.
6. على المشرف أن يمنع المقاول من إنزال التسليح لعمق جزئي ومن ثم يقوم بقطعه أو بقصه، كما يجب الحرص على عدم إتلاف طبقة الحماية من التآكل أو التخريب أثناء التركيب.
7. ينبغي أن تكون كافة الوصلات في الأنابيب والقضبان منفذة بشكل صحيح.
8. يجب التأكد من مركزية وتباعدات القضبان ومن توضعها في أماكنها المبيّنة على المخططات التنفيذية... انظر الصورة في الشكل (4.4).



الشكل (4.4)

9. إذا وضعت أنابيب التسليح بعد تثبيت القضبان، فيجب التأكد من إيصالها إلى قاع الحفرة دون حدوث تداخل مع فولاذ التسليح المركزي.

6.4 وثائق مراقبة الجودة: Quality control documentation

1.6.4 تجارب التحميل:

- يبدأ ضمان الجودة غالباً مع التحقق من مراقبة تجارب تحميل الأوتاد الدقيقة ومتابعة تنفيذ التسليح فيها، ومراقبة إجراءات ونتائج هذه الاختبارات.
1. يجب على المشرف أن يفهم السبب الذي يتطلب الضبط الدقيق للتجربة، والمعنى العملي لمعايير القبول كما هو موصوف في الفصل الخامس.
 2. يجب على المشرف ضمان تنفيذ تجارب التحميل بنفس طريقة الأسلوب المقرر لتنفيذ الأوتاد العاملة لاحقاً.
 3. يجب أن تجرى تجارب التحميل وفقاً للمخططات التنفيذية المعتمدة وطبقاً للشروط والمواصفات الخاصة بالمشروع.
 4. تشمل بنود المراقبة لتحقيق الشروط والمواصفات المذكورة، التأكد مما يلي:
 - الارتفاعات المختلفة التي تشترك في إنجاز تجارب التحميل بدءاً من حفرها وحتى الانتهاء من تنفيذها.
 - معدات تركيب التسليح.
 - تجهيزات حقن وضخ المونة.
 - أجهزة الاختبار وتطبيق الأحمال.
 - أجهزة المعايرة.
 - أجهزة قياس الأعماق والأقطار والشاقولية والعمق والانحراف وغيرها.
 5. تقع على عاتق كل من المهندس المصمم والمهندس المشرف مسؤولية التقييم اللازم لنتائج التجارب، وذلك في حالتي النجاح والفشل.
 6. على المصمم تطوير حلول بديلة وتصاميم أخرى للأوتاد والدقيقة في حال فشلت نتائج التجارب، وذلك بأسرع وقت ممكن كل لا يتأخر البرنامج الزمني للعمل.

2.6.4 إنتاج الأوتاد الدقيقة: Production of micropile

1. من المهم جداً في مهام المراقبة وضبط الجودة الاحتفاظ بأرشيف شامل لعمليات التنفيذ.
2. يجب العناية بمراقبة عمليات الحفر، والتي تعتبر ذات أهمية قصوى لمعرفة شاقولية أو انحرافه الوند إن حصل ذلك، الأمر الذي يلعب الدور الأهم في تقييم كفاءة وسلوك الوند في مرحلة لاحقة.

3. يجب الاهتمام بسجل استهلاك الإسمنت وإنتاج المونة بشكل يومي، ومن المهم تسجيل حجم البيتون الذي تم ضخه لكل وتد، فإذا كانت كميات المونة في الأوتاد موزعة بشكل شبه متساوٍ بينها، فهذا يدل على نجاح التنفيذ.
4. يجب أن تحقق مقاومة المونة المصبوبة في الأوتاد شروط المشروع أو شروط أية مواصفات عالمية أخرى مثل (AASHTO T106/ASTM C-109).
5. يتم اختبار مقاومة الضغط في مونة الأوتاد من خلال ثلاث عينات مكعبية طول ضلعها (50 mm) تؤخذ من الخلطات المصبوبة بواقع (3) مكعبات لكل (10) أوتاد، وتختبر على الضغط بعد (3) أو (7) أو (28) يوماً من تاريخ الصب... الشكل (5.4).
6. يعتبر اختبار اليوم السابع هو الأكثر أهمية لعينات المونة، من حيث تكتمل مع هذا العمر الزمني عملية (الشك في المونة)، كما يفترض أن تتحقق المقاومة التصميمية المطلوبة خلال هذه الفترة الزمنية.



الشكل (5.7)
نماذج عن قوالب
العينات المكعبية

- تكون هذه المقاومات عادةً كبيرة، فقد تصل إلى (25 Mpa) بعد (24) ساعة فقط.
7. على المشرف أن يتحقق من أنه كسر عينات المونة سيجري وفق الشروط المطلوبة في المشروع.
أخيراً:
8. يعتبر كل من المحتوى المائي وكثافة المونة في الخلطات هو الحكم الأساسي في تحقيق المقاومة، لذلك يجب الانتباه لتحقيق أفضل مواصفات من خلال العناية بهاتين الخاصتين.
- أخيراً - يعطى الكود السوري للأساسات بعض الاشتراطات الخاصة بالأوتاد الدقيقة في الباب العاشر منه، وتحديداً في الفقرة 10-2/3/3 ج - 1 وتوابعها.

فهرس القسم الثاني

الفصل الأول... مثال تطبيقي شامل حول تصميم الأوتاد الدقيقة

- 1.1 نص المثال التطبيقي.
- 2.1 معطيات المثال.
- 3.1 الخطوات الرئيسية للحل.
- 4.1 حساب قيمة ومركز محصلة القوى على ركيزة الجسر.
- 1.4.1 حساب ضغط التربة الفعال (PE).
- 2.4.1 حساب ضغط التربة من الحمولة الحية السطحية خلف الركيزة (HL).
- 3.4.1 حساب ضغط التربة الناتج عن الحمولات الزلزالية (PEQ).
- 4.4.1 خلاصة نتائج القوى.
- 5.4.1 التصميم بطريقة حمولات الاستثمار (SLD).
- 6.4.1 حساب حمولات الاختبار.
- 7.4.1 التصميم الإنشائي للوتد من أجل تجارب التحميل.
- 8.4.1 حساب حمولة الضغط المسموحة بالطول المغلف للوتد (LFD).
- 9.4.1 حساب الانتقالات المحورية بطريقة (SLD).
- 10.4.1 تصميم وصلة الوتد مع القبعة (Cap) بطريقة (SLD).
- 11.4.1 حساب الثقب غير المباشر.
- 12.4.1 تصميم صفيحة التحميل.
- 13.4.1 حساب مقاس اللحام.
- 14.4.1 تصميم صفائح التقوية.
- 15.4.1 التصميم بطريقة معامل تصعيد الحمولة (LFD).
- 16.4.1 تحديد مقاومة التماسك الجيوتكنيكية بطريقة (LFD).
- 17.4.1 تحقيق مقاومة الحمولات المحورية بطريقة (LFD).
- 18.4.1 تحقيق المقاومة الجانبية بطريقة (LFD):
- 19.4.1 التصميم الإنشائي بطريقة (LFD) من أجل تجارب التحميل.
- 20.4.1 حساب الانتقالات المحورية بطريقة (LFD).
- 21.4.1 تصميم وصلة الوتد مع الأساس بطريقة (LFD).
- 22.4.1 المخططات والتفصيلات التنفيذية.

الفصل الثاني... تجارب التحميل على الأوتاد الدقيقة

- 1.2 إجراءات تجارب التحميل.
- 2.2 الهدف من تجارب التحميل.

- 3.2 أنواع تجارب التحميل.
- 1.3.2 التجربة الحدية:
- 2.3.2 تجربة التحقق.
- 3.3.2 تجربة المتانة القياسية:
- 4.3.2 تجربة الزحف:
- 4.2 متطلبات تجارب التحمي.
- 1.4.2 عدد تجارب التحميل ودليل الاختبار.
- 5.2 مثال بسيط لمتطلبات تجربة تحميل.
- 6.2 طرق وإجراءات تجارب التحميل.
- 1.2.6 طريقة تطبيق الحمولة.
- 7.2 مدة التحميل.
- 8.5 معايير قبول نتائج تجربة التحميل:
- 9.2 إعداد تجربة التحميل والتجهيزات اللازمة.
- 1.9.2 طرق قياس الانزياح.
- 10.2 تسجيل واستعراض البيانات.
- 1.10.2 تنظيم جداول نتائج التجارب.
- 2.10.2 رسم المنحنيات البيانية للنتائج.
- 3.10.2 تقديم وثائق نتائج تجارب التحميل.
- 4.10.2 فشل تجارب التحميل.
- الفصل الثالث... استخدام الأوتاد الدقيقة**
- 1.3 مقدمة حول توازن المنحدرات.
- 2.3 تصنيف الأوتاد الدقيقة المستخدمة في توازن المنحدرات.
- 3.3 تكنولوجيا الأوتاد الدقيقة لاستقرار المنحدرات.
- 4.3 تطبيقات الأوتاد الدقيقة في توازن المنحدرات.
- 1.4.3 تطبيق أول.
- 2.4.3 تطبيق ثاني.
- 3.4.3 تصميم الأوتاد الدقيقة من النوع 1 (غير المتشابكة).
- 5.3 الانهيار اللدن للتربة حول الوتد.
- 6.3 تصميم الأوتاد الدقيقة من النوع 2 (المتشابكة).
- الفصل الرابع... الإشراف على تنفيذ الأوتاد الدقيقة ومراقبة الجودة**
- 1.4 مقدمة.
- 2.4 مراقبة جودة المواد.

1.2.4 التخزين والتعامل مع المواد.

3.2.4 فولاذ التسليح.

4.2.4 الحصويات.

3.4 الإنشاء أو التنفيذ.

4.4 إجراءات الحفر.

5.4 حقن المونة.

6.4 وثائق مراقبة الجودة.

1.6.4 تجارب التحميل.

2.6.4 إنتاج الأوتاد الدقيقة.

