

الفصل الأول

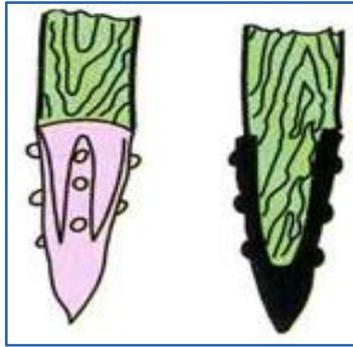
١- الأساسات الوتدية:

١-١- تعريف الأوتاد:

الأوتاد هي عناصر إنشائية تصنع من الفولاذ أو البيتون أو الخشب وتستخدم لبناء الأساسات الوتدية العميقة، يتم اللجوء إليها عندما لا تستطيع طبقات التربة السطحية من تحمل الحمولات الثقيلة المنقولة إليها من المنشآت الضخمة المشادة فوقها ونقلها بأمان إلى طبقات التربة الأعمق، تصنع الأوتاد من الخشب أو المعدن أو الخرسانة، وتكون الأوتاد الخشبية من خشب الزان أو الأرز، وتدفق في التربة بآلات خاصة بعد أن تزود أطرافها بنعل مخروطي معدني يمنع تآكل رؤوسها عند الدق الشكل (١-١).

تكلفة الأوتاد عادة أكثر من الأساسات السطحية، ولكن بالرغم من التكلفة فإن استخدام الأوتاد يصبح ضرورياً لنضمن بأن المنشأ المشاد آمن.

أما الأوتاد المعدنية فتكون فولاذية على شكل أنابيب أو يكون لها مقاطع ضخمة على شكل حرف H تدق في التربة أو توضع في حفر للأوتاد وتصب الخرسانة حولها.



الشكل (١-١) النعل المعدني لوتد خشبي

أما الأوتاد الخرسانية فقد تكون من الخرسانة العادية أو المسلحة أو قد تكون مسبقة الصنع أو مصبوبة في الموقع نفسه أو من الخرسانة المسبقة الإجهاد.

تحفر أماكن الأوتاد الخرسانية المصبوبة في المكان نفسه بحفارات خاصة، وتوضع أحياناً قمصان حماية معدنية حول الأوتاد عندما تكون التربة رخوة أو مشبعة بالمياه ومن ثم يتم إنزال هيكل التسليح المعدني للوتد وبعد ذلك تصب خرسانة الوتد ويسحب قميص الحماية إن وجد.

١-٢ أسباب استخدام الأساسات الوتدية:

١- عندما تكون الطبقات الترابية العليا ذات قابلية للانضغاط عالية وضعيفة جداً لنقل الحمولة من المنشأ إلى التربة بأمان، لذلك فإن الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة إلى الطبقات الصخرية أو إلى

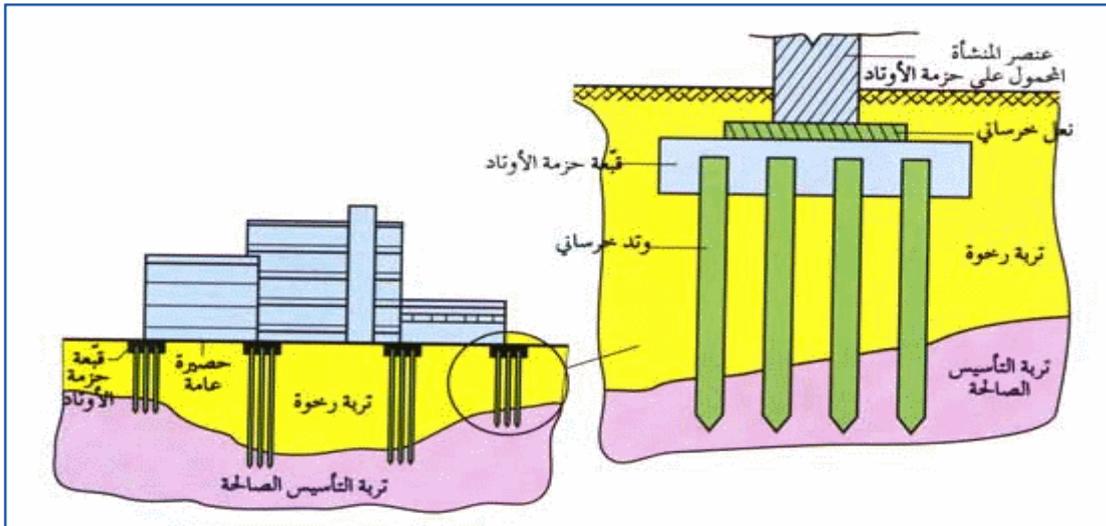
الطبقة الترابية الأقوى الشكل رقم (٢-١).

٢- عندما لا تقع الطبقة الصخرية على عمق مقبول أسفل سطح الأرض، فإن الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة الإنشائية إلى التربة بشكل تدريجي، عندئذ المقاومة للحمولة الإنشائية المطبقة تنشأ بشكل رئيسي من مقاومة الاحتكاك على السطح الملامس بين التربة والوتد.

٣- في حالات عديدة فانه عند إجراء السبور يمكن أن نلاحظ وجود التربة القابلة للانقيار والقابلة للانتفاخ والتقلص في الموقع، يمكن لهذه التربة أن تمتد لعمق كبير تحت سطح الأرض، لذلك فإذا استخدمت أساسات سطحية في مثل هذه الظروف فان المنشأ يمكن أن يتعرض لضرر كبير. في مثل هذه الحالات فان الأساسات الوتدية يمكن أن تستخدم والتي تمتد فيها الأوتاد إلى طبقات تربة عميقة بعيداً عن المنطقة التي تتغير فيها الرطوبة.

٤- أساسات بعض المنشآت مثل أبراج التحويل، الأرصفة البحرية، حوائط الأقبية تحت البساط المائي تتعرض إلى حمولات رفع، تستخدم الأوتاد في بعض الأحيان لهذه الأساسات لمقاومة الرفع.

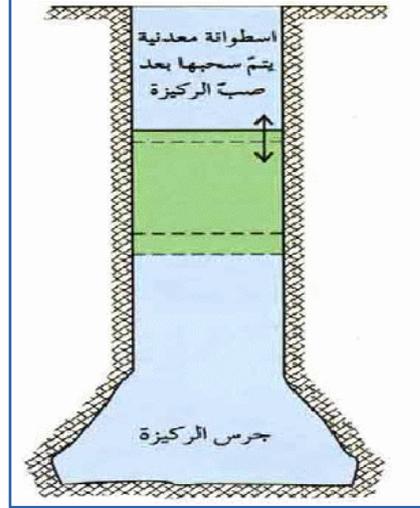
٥- تُنشأ دعائم الجسور والركائز [وهي أساسات عميقة تتألف من كتل خرسانية كبيرة تقوم بنقل حمولات المنشأة إلى التربة الشكل رقم (٣-١)] عادة فوق أساسات وتدية لتجنب فقدان محتمل لقدرة التحمل التي يمكن أن يعاني منها الأساس السطحي بسبب تعرية التربة عند سطح الأرض، وتنفذ الركائز غالباً للتأسيس في قيعان الأنهار والبحار، أو عندما تكون تربة التأسيس الصالحة مغمورة بالمياه.



الشكل (٢-١) مبنى يرتكز على مجموعات حزم من الأوتاد



الشكل (٤-١) أوتاد إزاحة



الشكل (٣-١) دعائم الجسور والركائز

أنواع الأوتاد:

أولاً: أوتاد الإزاحة: سميت كذلك لأننا نقوم بدفع الجسم داخل التربة ويقوم الجسم بإزاحة التربة الشكل (٤-١).

- ❖ خطوات تجهيزه: يتم تثبيت الأوتاد في التربة ثم يتم الدق عليه باستخدام ثقل معدني، نلاحظ أن عملية الدق على رأس الوتد قد يسبب تهشماً في الرأس ولذلك يوضع طربوش على رأس الوتد.
- ❖ أوتاد مدقوقة مسبقة الصنع من الخشب: نوعية قوية معالجة ضد التسوس والرطوبة.
- ❖ عند الدق تكون عرضه للاصطدام ببعض الأجسام الصلبة مثل الأحجار مما يؤدي إلى تفتيت القمة المدببة فنقوم بعملية تليسه بأسواره معدنية في الطرف السفلي.
- ❖ أوتاد مدقوقة مسبقة الصنع من الفولاذ: توضع أوتاد على شكل مجموعات أسفل الأعمدة تستعمل في إنشاء المحطات أو المنصات البحرية للبحث عن البترول الشكل رقم (٥-١).



الشكل (5-1) أوتاد مدقوقة مسبقة الصنع من البيتون المسلح

أوتاد مصبوبة في الموقع بطريقة فبرو: عبارة عن ماسورة من الصلب مفرغة بأقطار مختلفة ولها شفة حديد من أعلى أقطارها من ٤٠-٨٠ سم أطوالها متعددة وسمك جدارها لا يقل عن ٢ سم تستعمل عدة مرات حتى ينتهي عمرها وتسد من أسفل بقدم (نحلة) من الحديد

الشكل رقم (٦-١).



الشكل (6-1) أوتاد مصبوبة في الموقع بطريقة فبرو

ثانياً: أوتاد التفريغ: تكون كلها مصبوبة بالمكان ولا تكون مسبقة الصنع، يتم عمل حفرة في التربة بوسائل متعددة مثل تدخيل ماسورة بالضغط الهيدروليكي ثم تفريغها ثم يتم صب الخرسانة داخلها مثال أوتاد بيتونية مصبوبة بالمكان مع استخدام قمصان حماية الشكل (٧-١).



الشكل (7-1) أوتاد بنوتو

١-٢-٣ أنواع الأوتاد وخواصها الإنشائية:

تستخدم أنواع مختلفة من الأوتاد في العمل الإنشائي وذلك يعتمد على نوع الحمولة التي سوف تقاوم ظروف التربة التحتية والبساط المائي الجوفي.

يمكن تقسيم الأوتاد حسب مادة صنعها إلى الأقسام التالية:

١- أوتاد فولاذية ٢- أوتاد بيتونية ٣- أوتاد خشبية ٤- أوتاد مختلطة

١- الأوتاد الفولاذية:

تستخدم عادة أما أوتاد أنبوبية أو أوتاد ذات مقطع حرف H فولاذية مدلفنة (معالج بمواد كيميائية كي لا يتأثر بالظروف الجوية وبرطوبة التربة) يمكن دق الأوتاد الأنبوبية بالأرض سواء كانت نهايتها مفتوحة أو مغلقتين.

الجوائز الفولاذية ذات الجناح العريض والجوائز ذات مقطع حرف I يمكن أن تستخدم أيضا كأوتاد.

من ناحية ثانية، فإن الأوتاد ذات المقطع حرف H هي المفضلة بسبب كون سماكتي الجناح والجذع متساوية، أما الجوائز الفولاذية ذات الجناح العريض والجوائز ذات مقطع حرف I فإن سماكات الجذع هي أصغر من سماكات الجناح.

يبين الجدول رقم (١-١) مقطع لأنابيب معدنية وتدية ممتازة [8].

بالنسبة للأوتاد الفولاذية التي تكون على شكل أوتاد أنبوبية يمكن أن تملأ بالبيتون بعد دقها فتسمى عندئذ أوتاد بيتونية مصبوبة مغلقة.

الجدول (١-١) مقطع لأنابيب معدنية وتدية ممتازة

مساحة الفولاذ (سم ^٢)	سماكة الجدار (مم)	القطر الخارجي (مم)
٢١.٥	٣.١٧	٢١٩
٣٢.١	٤.٧٨	٢١٩
٣٧.٣	٥.٥٦	٢١٩
٥٢.٧	٧.٩٢	٢١٩
٣٧.٥	٤.٧٨	٢٥٤
٤٣.٦	٥.٥٦	٢٥٤
٤٩.٤	٦.٣٥	٢٥٤

٤٤.٩	٤.٧٨	٣٠.٥
٥٢.٣	٥.٥٦	٣٠.٥
٥٩.٧	٦.٣٥	٣٠.٥
٦٠.٣	٤.٧٨	٤٠.٦
٧٠.١	٥.٥٦	٤٠.٦
٧٩.٨	٦.٣٥	٤٠.٦
٨٠	٥.٥٦	٤٥٧
٩٠	٦.٣٥	٤٥٧
١١٢	٧.٩٢	٤٥٧
٨٨	٥.٥٦	٥٠.٨
١٠٠	٦.٣٥	٥٠.٨
١٢٥	٧.٩٢	٥٠.٨
١٢١	٦.٣٥	٦١.٠
١٥٠	٧.٩٢	٦١.٠
١٧٩	٩.٥٣	٦١.٠
٢٣٥	١٢.٧	٦١.٠

القدرة الإنشائية المسموحة من أجل أوتاد فولاذية:

$$A_s \times \sigma_{all} = Q_{all} \quad (1)$$

A_s : مساحة المقطع العرضي للفولاذ - σ_{all} : الإجهاد المسموح به في الفولاذ

يمكن أن تركيب الأوتاد الفولاذية لزيادة طولها إذا كان ذلك ضرورياً بواسطة اللحام أو البراشيم.

عندما نتوقع حالات صعبة لدق الأوتاد المعدنية في التربة الحصوية الكثيفة، أو في الغضار

القاسي فإن الأوتاد الفولاذية يمكن أن تثبت عليها رؤوس موجهة للحركة تمنع حدوث تشوهات فيها.

يمكن أن تتعرض الأوتاد الفولاذية إلى التآكل. على سبيل المثال المستنقعات والترب العضوية

والترب التي لديها BH (دليل الحموضة) أصغر من ٧ أي أن التربة تملك خواص الوسط الحمضي

فإنه يقترح أخذ سماكة إضافية للفولاذ فوق مساحة المقطع العرضي التصميمي الفعلي وتغطي الأوتاد

بطبقة من الإيبوكسي الذي يشكل عازل ضد التآكل.

٢- الأوتاد البيتونية:

تقسم إلى قسمين رئيسيين:

- أوتاد مسبقة الصب.

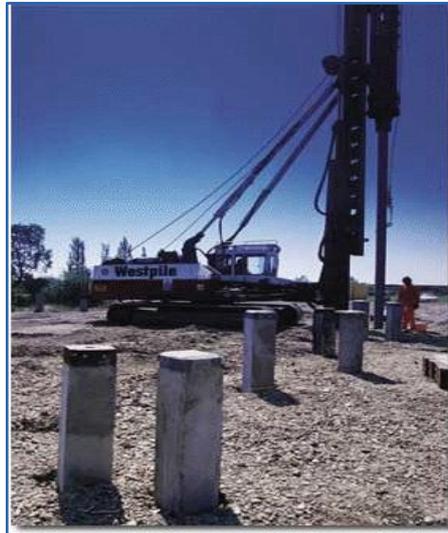
- أوتاد مصبوبة في الموقع.

أ- الأوتاد مسبقة الصب: تحضر باستخدام فولاذ عالي المقاومة لكابلات مسبقة الإجهاد.

لإنشاء هذه الأوتاد فإن الكابلات يتم شدّها وبعدها يصب البيتون حول الكابلات، عندها فإن الكابلات تقطع وهذا ما يولد قوة ضاغطة على مقطع الوتد.

يعطي الجدول (٢-١) بعض المقاطع لأوتاد مسبقة الصب مع تسليح عادي والطول الأعظمي

لها.



الشكل (١-٨): مقاطع مربعة لأوتاد مسبقة الصب مع تسليح عادي

ب- الأوتاد البيتونية المصبوبة في المكان: هي أوتاد تُنشئ بعمل حفرة في الأرض وبعدها تُملئ

بالبيتون الشكل رقم (١-٩) يمكن تقسيم الأوتاد المصبوبة في المكان.

١- الأوتاد المغلفة.

٢- الأوتاد غير المغلفة.

كلا النوعين يمكن أن يكون لهما قاعدة في الأسفل تصنع الأوتاد المغلفة بدق مغلف الفولاذ في

الأرض، عندما تصل الأوتاد إلى العمق المناسب يملئ المغلف بالبيتون.

لصنع الأوتاد غير المغلفة يتم أولاً دق المغلف حتى العمق المناسب وبعدها يتم صب البيتون

ويسحب المغلف تدريجياً وبخطوات منتظمة أثناء صب البيتون.



الشكل (١-٩) الأوتاد البيتونية المصبوبة في المكان

الجدول (٢-١) بعض أنواع الأنابيب والطول الأعظمي لها [8]

رمز الوتد	اسم الوتد	عمق الوتد (متر)
A	أنبوب اسطواني متدرج المقطع	٣٠
B	أنبوب فولاذي مدبب	٤٠
C	أنبوب صفيحي رقيق	٤٠ - ٣٠
D	أنبوب فولاذي مستقيم	٥٠
E	أنبوب صفيحي رقيق	٤٠ - ٣٠
F	أنبوب صفيحي رقيق	٢٠ - ١٥
G	أنبوب صفيحي رقيق	٤٠ - ٣٠

يمكن أن تعطى الحمولة المسموحة من أجل أوتاد بيتونية مصبوبة بالمكان بالعلاقة التالية:

١- الوتد المغلف:

$$A_s \times f_s + A_c \times f_c = Q_{all} \quad (٢)$$

حيث:

A_s : مساحة المقطع العرضي للفولاذ. f_s : الإجهاد المسموح للفولاذ

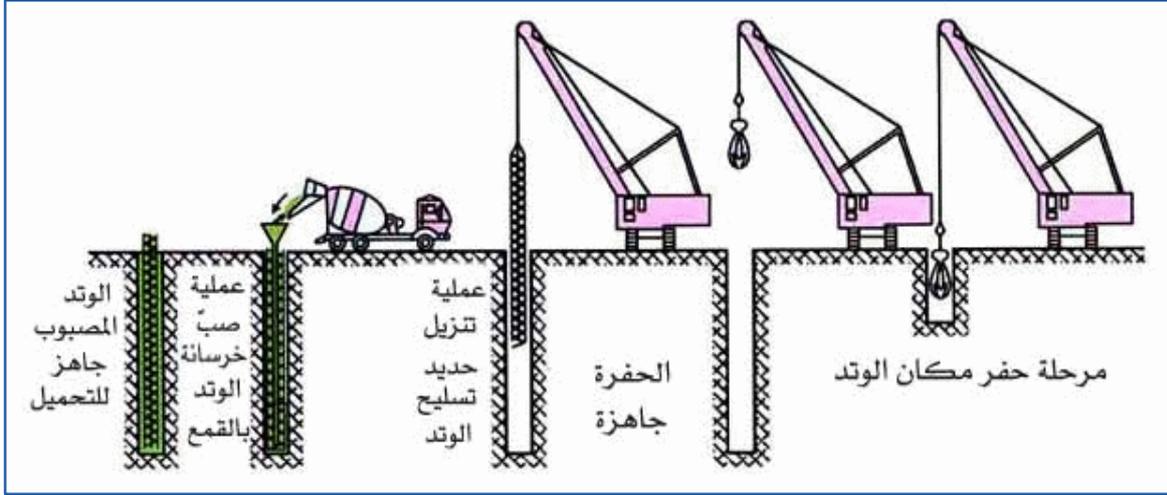
A_c : مساحة المقطع العرضي للبيتون. f_c : الإجهاد المسموح للبيتون

٢- الوتد غير المغلف:

$$A_c \times f_c = Q_{all} \quad (3)$$

تحفر أماكن الأوتاد الخرسانية المصبوبة في المكان نفسه بحفارات خاصة، وتوضع أحياناً قمصان حماية معدنية حول الأوتاد عندما تكون التربة رخوة أو مشبعة بالمياه ومن ثم يتم إنزال هيكل التسليح المعدني للوتد وبعد ذلك تصب خرسانة الوتد ويسحب قميص الحماية إن وجد.

يوضح الشكل (١٠-١) مراحل تنفيذ الوتد المصبوب في المكان.



الشكل (١٠-١): مراحل تنفيذ الوتد المصبوب في المكان

٣- الأوتاد الخشبية:

هي جذوع الأشجار التي قُصت عنها الفروع والقصون بشكل جيد. يصل الطول الأعظمي للأوتاد الخشبية إلى ١٠ - ٢٠ متر من أجل استخدامه كوتد فان القطعة الخشبية يجب أن تكون مستقيمة وصماء ولها عدة أنواع.

أ- أوتاد النوع A: هذه الأوتاد تحمل حمولات ثقيلة، القطر الأصغري يجب أن لا يقل عن ١٤ أنش.

ب- أوتاد النوع B: هذه الأوتاد تحمل حمولات متوسطة، القطر الأصغري يجب أن لا يقل عن ١٢ - ١٣ أنش.

ت- أوتاد النوع C: هذه الأوتاد من أجل الاستخدام في أعمال إنشائية مؤقتة، القطر الأصغري يجب أن لا يقل عن ١٢ أنش، يمكن أن تستخدم من أجل منشآت على قاعدة دائمة عندما يكون كامل الوتد تحت منسوب البساط المائي.

وفي كل الحالات فإن أعلى الوتد يجب أن لا يقل قطر الوتد فيه عن ٦ أنش، لا يمكن للأوتاد الخشبية أن تتحمل اجهادات الدق العالية لذلك فان قدرة تحمل الوتد محددة من ٢٠ - ٣٠ طن، يمكن استخدام رؤوس حديدية توضع على رأس الوتد من الأسفل لتجنب الضرر الناجم أثناء اختراق الوتد لطبقات التربة الشكل رقم (١-١)، أما لتفادي الضرر عند أعلى الوتد يمكن استخدام طوق معدني أو غطاء معدني.

يجب تجنب التراكب للأوتاد الخشبية وخصوصاً عندما يُتوقع أن يحمل الوتد حمولة جانبية أو شاده، في حال كان التراكب ضرورياً فيجب أن تستخدم أكام أنبوية لا يقل طولها عن خمسة أضعاف قطر الوتد بحيث تقطع نهايتي عقب الوتد بشكل مربع للحفاظ على تماس تام.

ينصح بان تبقى الأوتاد الخشبية دائما محاطة بتربة مشبعة بالماء لان ظروف الجفاف في التربة تؤدي إلى تعرض الأوتاد إلى هجمات الحشرات التي تؤدي لتضرر الأوتاد الخشبية بشكل كبير خلال عدة أشهر.

يمكن أن يزداد عمر الأوتاد الخشبية عندما يتم معالجتها بمواد حافظة، قدرة التحمل للحمولة المسموحة للأوتاد الخشبية يمكن أن تعطى كالتالي:

$$A_p \times f_w = Q_{all} \quad (٤)$$

حيث: A_p المساحة الوسطية للمقطع العرضي للوتد - f_w : الإجهاد المسموح من أجل الخشب

٤- الأوتاد المركبة:

تصنع الأجزاء العلوية والسفلية للأوتاد المركبة من مواد مختلفة.

مثال: يمكن أن تُصنع الأوتاد المركبة من الفولاذ للقسم السفلي و البيتون المصبوب في المكان للقسم العلوي هذا النوع من الأوتاد هو النوع الذي يستخدم عندما يكون الطول المطلوب للوتد من أجل تحمل كاف يزيد على القدرة لوتد بيتوني مصبوب في المكان.

مقارنة بين أنواع الأوتاد:

تؤثر عدة عوامل لاختيار الأوتاد من أجل السلامة الإنشائية للمنشأة عند موقع معين، يعطي الجدول رقم (٣-١) مقارنة بين الميزات والمساوي لأنواع مختلفة من المواد بالاعتماد على مادة الوتد [8].

الجدول (٣-١) مقارنة بين أنواع الأوتاد

نوع الوتد	الطول العادي للأوتاد (متر)	الطول الأعظمي للأوتاد	المميزات	المساوئ
فولاذي	٦٠ - ١٥	غير محدد	سهلة المعالجة بالنسبة للقطع وتحديد الطول المطلوب	مادة مكلفة نسبياً
			يمكن تحمل اجهادات دق عالية	ضجيج عالي أثناء الدق
			يمكنها اختراق طبقات قاسية	معرضة للتآكل
			قدرة تحمل حمولة عالية	يمكن أن تتضرر وان تتشوه عن الشاقول خلال عمليات الدق
البيتون مسبق الصب	١٥ - ١٠ ٣٥ - ١٠ إذا كان مسبق الإجهاد	٣٠ ٦٠	يمكن أن يتحمل قوى دق عالية	صعبة الحصول على القطع
			يقاوم التآكل	صعبة النقل
			يوصل مع المنشأة بسهولة	صعوبة التنفيذ
بيتون مصبوب في المكان	١٥ - ٥	٤٠ - ١٥	رخيص نسبياً	صعبة التركيب بعد صب البيتون
			إمكانية الفحص قبل صب البيتون	إمكانية حدوث فراغات داخل البيتون أثناء الصب
			سهولة التطويل عند الحاجة	اختلاط البيتون مع التربة
الخشبية	١٥ - ١٠	٣٠	اقتصادية	مقاومة منخفضة للحمولات الشادة عند التراكب
			سهلة المعالجة	قدرة تحمل للحمولة ضعيفة
			الأوتاد المغمورة تكون مقاومة للتسوس	يمكن أن تتضرر بالدق القاسي

١-٢-٤- تقدير طول الأوتاد:

اختيار نوع الوتد الذي سيستخدم واختيار طوله المناسب هي المهمتين الصعبتين اللتين تحتاجان محاكاة جيدة، يمكن أن تقسم الأوتاد إلى قسمين رئيسيين بالاعتماد على ميكانيكية نقل الحمولة إلى التربة الشكل (١-١١).

أ- أوتاد ارتكاز ب- أوتاد احتكاك

أ- أوتاد ارتكاز:

إذا كان الصخر أو المادة الشبيهة بالصخر متوضعة في موقع ما على عمق معقول من خلال السور المنفذة، فإن الأوتاد يمكن أن تمتد لتستند على الطبقة الصخرية الصلبة كما في الشكل رقم (١-٢).

في هذه الحالة فإن القدرة الحديدية لهذه الأوتاد تعتمد بشكل كامل على قوة تحميل ونقل الحمولة للمادة الصخرية الصلبة، لذلك فإن هذه الأوتاد تدعى أوتاد ارتكاز.

في معظم الحالات فإن الطول اللازم يمكن أن يحسب بشكل جيد بما يؤمن عمق اختراق مقبول للطبقة القوية، إذا كانت طبقة التربة صلبة ومرصوفة بشكل معتدل وواقعة على عمق مقبول، فإن الأوتاد يمكن أن تمتد بعض الأمتار في الطبقة الصلبة (3-4)D حيث D قطر الوتد.

من أجل هذه الأنواع من الأوتاد، فإنه يمكن التعبير عن مقاومة الوتد الحديدية كالتالي:

$$Q_U = Q_P + Q_S \quad (٥)$$

Q_P : الحمولة التي يتحملها رأس الوتد

Q_S : الحمولة التي يتحملها الاحتكاك الناتج على جوانب الوتد

إذا كانت Q_S صغيرة جداً في هذه الحالة فإن: $Q_P \approx Q_U$

في هذه الحالة يمكن تحديد طول الوتد اللازم بشكل دقيق إذا كانت تقارير التحريات الجيوتكنيكية متوفرة.

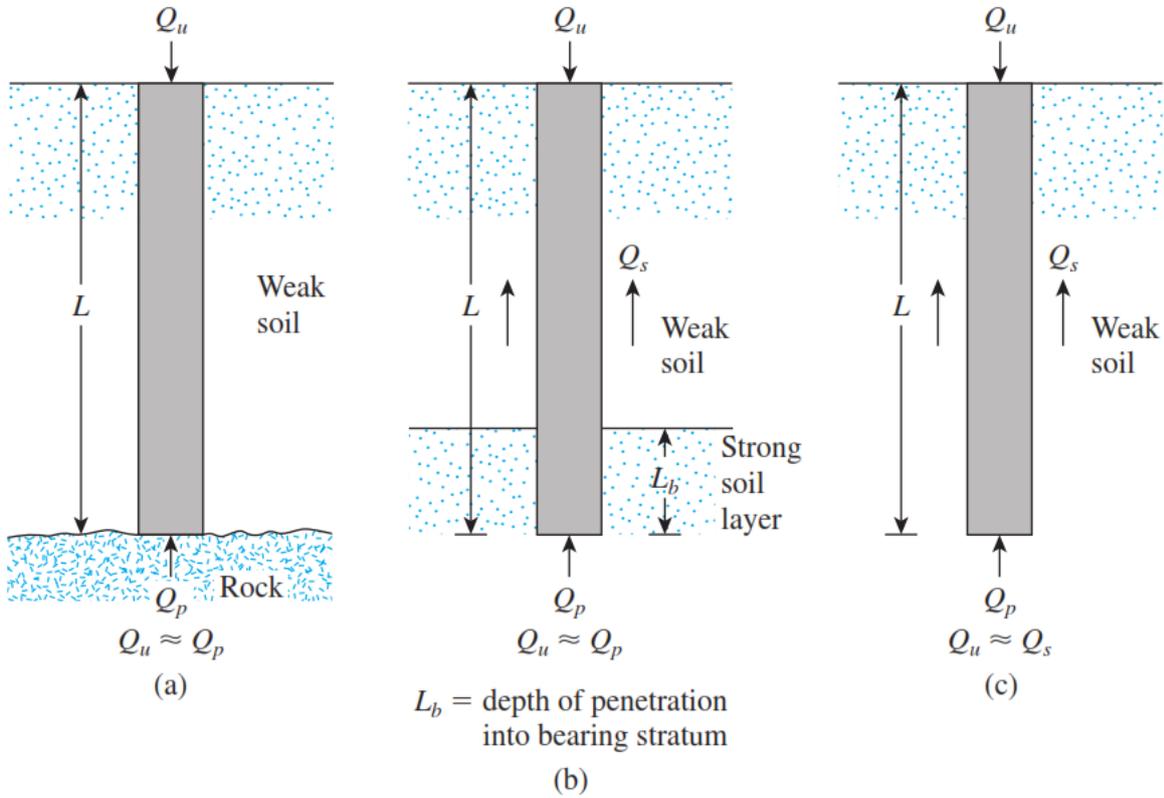
ب- أوتاد الاحتكاك:

عندما لا توجد طبقة صخر أو طبقة شبيهة بالصخر متوضعة بشكل معقول في الموقع المعطى، فإن الأوتاد تصبح طويلة جداً وغير اقتصادية.

من أجل هذا النوع فإن الحمولة الحديدية تعبر عنها العلاقة:

$$Q_S \approx Q_U$$

لأن Q_p صغيرة نسبياً، يطلق على هذه الأوتاد اسم أوتاد احتكاك لأن معظم المقاومة تأتي من الاحتكاك المحيطي، من ناحية أخرى فإن وتد الاحتكاك يعمل كذلك بواسطة قوى الالتصاق مع التربة الغضارية المحيطة به، يعتمد طول أوتاد الاحتكاك على مقاومة القص للتربة والقوى المطبقة وحجم الوتد، لتحديد الأطوال الضرورية لهذه الأوتاد نحتاج لفهم جيد للتفاعل بين الوتد والتربة وإعطاء حكم جيد وخبرة في تقدير حمولات الأوتاد، تعطى الطرق النظرية لحساب قدرة تحمل الحمولة للأوتاد في الفصل الثاني.



الشكل (١١-١) تقدير أطوال الأوتاد