الفصل الأول

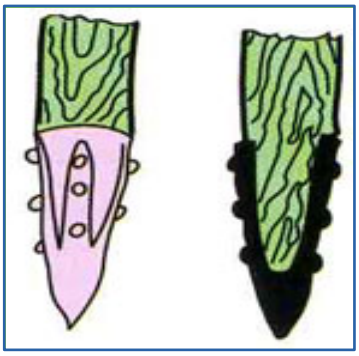
1-الأساسات الوتدية:

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، وتدق في التربة بآلات خاصة بعد أن تزوّد أطرافها بنعل مخروطي معدني يمنع تآكل رؤوسها عند الدق الشكل (1-1).

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 تُدق في التربة أو توضع في حفر للأوتاد وتصب الخرسانة حولها.



الشكل (1-1) 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.

أسباب استخدام الأساسات الوتدية:

1- عندما تكون **الطبقات الترابية العليا ذات قابلية للانضغاط عالية وضعيفة جدا** لنقل الحمولة من المنشأ إلى التربة بأمان، لذلك فان الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة إلى الطبقات الصخرية أو إلى الطبقة الترابية الأقوى الشكل رقم (1-2).

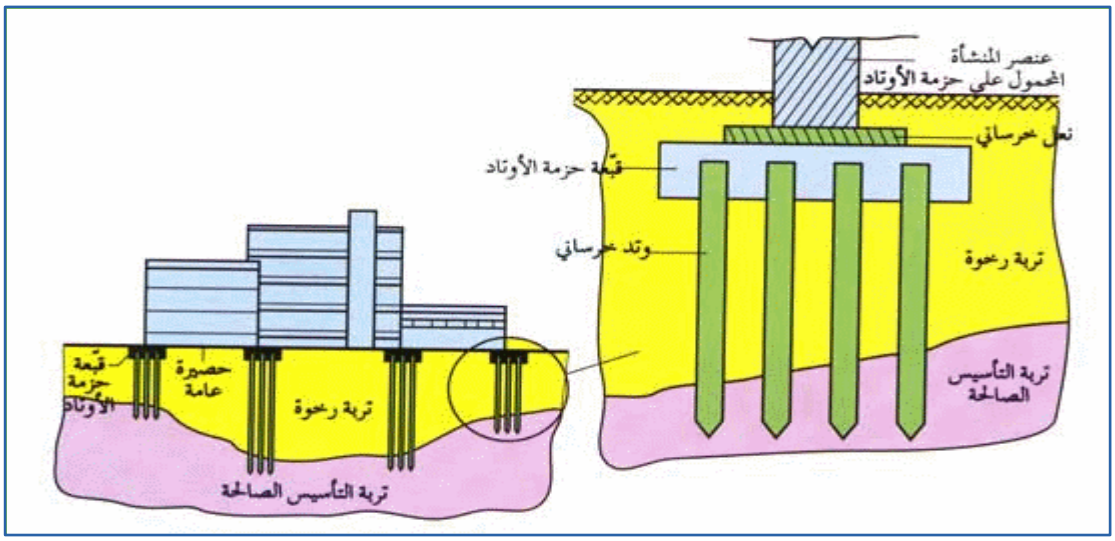
2- عندما **لا تقع الطبقة الصخرية على عمق مقبول أسفل سطح الأرض** ، فان الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة الإنشائية إلى التربة بشكل تدريجي، عندئذ المقاومة للحمولة الإنشائية المطبقة تنشأ بشكل رئيسي من مقاومة الاحتكاك على السطح الملامس بين التربة والوتد.

3- في حالات عديدة فانه عند إجراء السبور يمكن أن نلاحظ وجود **التربة القابلة للانهيار والقابلة للانتفاخ والتقلص في الموقع** ، يمكن لهذه التربة أن تمتد لعمق كبير تحت سطح الأرض، لذلك فإذا استُخدمت أساسات سطحية في مثل هذه الظروف فان المنشأ يمكن أن يتعرض لضرر كبير.

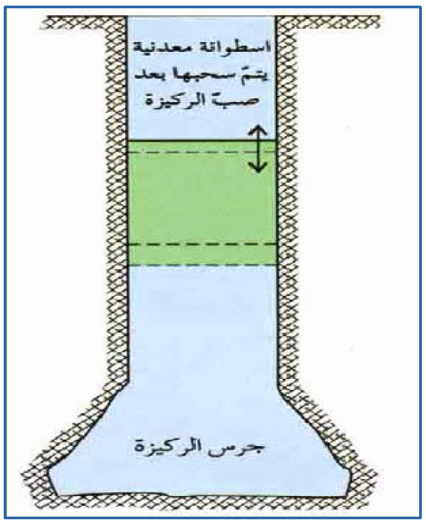
في مثل هذه الحالات فان الأساسات الوتدية يمكن أن تستخدم والتي تمتد فيها الأوتاد إلى طبقات تربة عميقة بعيداً عن المنطقة التي تتغير فيها الرطوبة.

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

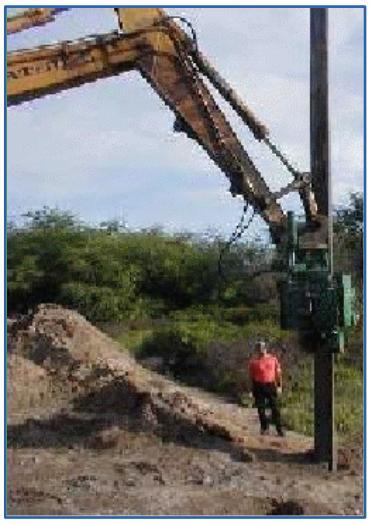
5-**تُنشأ دعائم الجسور والركائز** [وهي أساسات عميقة تتألف من كتل خرسانية كبيرة تقوم بنقل حمولات المنشأة إلى التربة الشكل رقم (1-3)] عادة فوق أساسات وتدية لتجنب فقدان محتمل لقدرة التحمل التي يمكن أن يعاني منها الأساس السطحي بسبب تعرية التربة عند سطح الأرض، وتنفذ الركائز غالباً للتأسيس في قيعان الأنهار والبحار، أو عندما تكون تربة التأسيس الصالحة مغمورة بالمياه.



الشكل (1–2) مبنى يرتكز على مجموعات حزممن الأوتاد



الشكل (1–3)دعائم الجسور والركائز



الشكل (1–4)أوتاد إزاحـة

أذياغ الأوتاد:

أولاً:أوتاد الإزاحة: سميت كذلك لأننا نقوم بدفع الجسم داخل التربة ويقوم الجسم بإزاحة التربة الشكل(1–4).

- **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 التسويس والرطوبة.
- عند الدق تكون عرضه للاصطدام ببعض الأجسام الصلبة مثل الأحجار مما يؤدى إلى تفتيت القمة المدببة فنقوم بعملية تلبيسه 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(1-5).

الشكل (1-5) 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 40-80 سم أطوالها متعددة وسمك جدارها لا يقل عن 2 سم تستعمل عدة مرات حتى ينتهي عمرها وتسد من أسفل بقدم (نعلة) من الحديد

الشكل رقم (1-6).

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

ثانياً: أوتاد التفريغ: تكون كلها مصبوبة بالمكان ولا تكون مسبقة الصنع، يتم عمل حفره 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 (1-7).

الشكل (1-7) أوتاد بنوتو

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:

1- أوتاد فولاذية 2- أوتاد بيتونية 3- أوتاد خشبية 4- أوتاد مختلطة

الأوتاد الفولاذية:

تُستخدم 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 نهايتيها مفتوحتين أو مغلقتين.

الجوائز الفولاذية ذات الجناح العريض والجوائز ذات مقطع حرفIيمكن أن تستخدم أيضا كأوتاد.

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

يبين الجدول رقم (1–1) مقطع لأنابيب معدنية وتدية ممتازة[8].

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

الجدول (1–1) مقطع لأنابيب معدنية وتدية ممتازة

القطر الخارجي (ملم)	سماكة الجدار (ملم)	مساحة الفولاذ (سم^2)
219	3.17	21.5
219	4.78	32.1
219	5.56	37.3
219	7.92	52.7
254	4.78	37.5
254	5.56	43.6
254	6.35	49.4
305	4.78	44.9
305	5.56	52.3
305	6.35	59.7
406	4.78	60.3
406	5.56	70.1
406	6.35	79.8
457	5.56	80
457	6.35	90
457	7.92	112
508	5.56	88
508	6.35	100
508	7.92	125
610	6.35	121
610	7.92	150
610	9.53	179
610	12.7	235

القدرة الإنشائية المسموحة من أجل أوتاد فولاذية:

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

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

يمكن أن تركب 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 7 أي أن التربة تملك خواص الوسط الحمضي فإنه يقترح أخذ سماكة إضافية للفولاذ فوق مساحة المقطع العرضي التصميمي الفعلي وتغطى الأوتاد بطبقة من الإيبوكسي الذي يشكل عازل ضد التآكل.

□ـ الأوتاد المصنعة:

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 شدها وبعدها يصب البيتون حول الكابلات، عندها فإن الكابلات تقطع وهذا ما يولد قوة ضاغطة على مقطع الوتد.

يعطي الجدول (1–2) بعض المقاطع لأوتاد مسبقة الصب مع تسليح عادي والطول الأعظمي لها.

الشكل (1–8): 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 (1–9)يمكن تقسيم الأوتاد المصبوبة في المكان.

1– الأوتاد المغلفة.

2– 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 أولا دق المغلف حتى العمق المناسب وبعدها يتم صب البيتون ويسحب المغلف تدريجياً وبخطوات منتظمة أثناء صب البيتون.

الشكل (1–9) الأوتاد البيتونية المصبوبة في المكان

الجدول (1−2) بعض أنواع الأنابيب والطول الأعظمي لها[8]

رمز الوتد	اسم الوتد	عمق الوتد (متر)
A	أنبوب اسطواني متدرج المقطع	30
b	أنبوب فولاذي مدبب	40
c	أنبوب صفيحي رقيق	40 −30
d	أنبوب فولاذي مستقيم	50
e	أنبوب صفيحي رقيق	40 −30
f	أنبوب صفيحي رقيق	20 −15
g	أنبوب صفيحي رقيق	40 −30

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

1 −الوتد المغلف:

$$A_s \times f_s + A_c \times f_c = Q_{all} \qquad (2)$$

حيث:

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

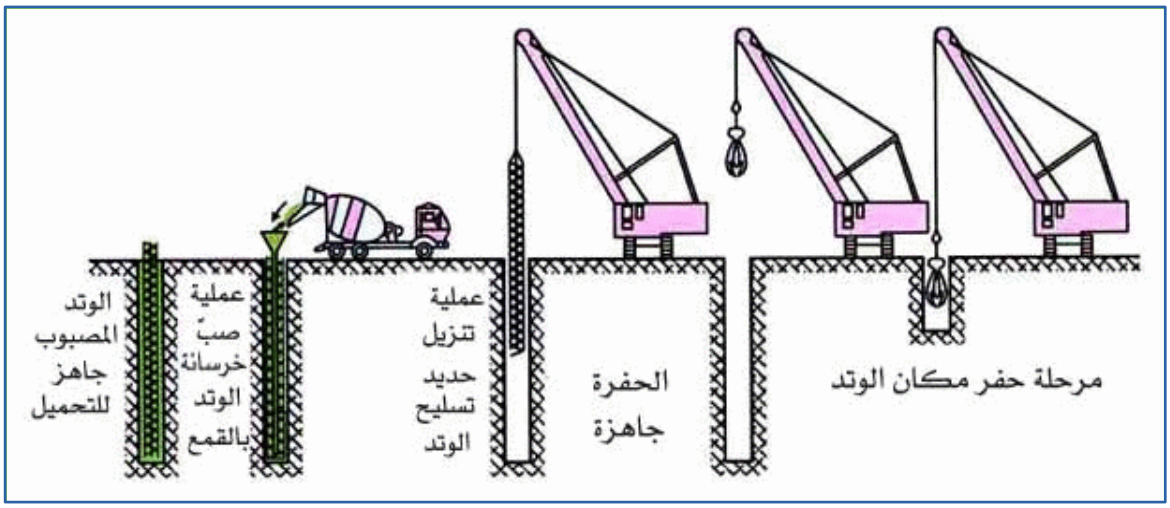
A_c: مساحة المقطع العرضي للبيتون. f_c:الإجهاد المسموح للبيتون

2− الوتد غير المغلف:

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

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(1−10) مراحل تنفيذ الوتد المصبوب في المكان.



الشكل (1-10): مراحل تنفيذ الوتد المصبوب في المكان

☐ الأوتاد الخشبية:

هي جذوع الأشجار التي قُصت عنها الفروع والغصون بشكل جيد.يصل الطول الأعظمي للأوتاد الخشبية إلى 10- 20 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 14 أنش.

ب -أوتاد النوع B: هذه الأوتاد تحمل حمولات متوسطة، القطر الأصغري يجب أن لا يقل عن 12 - 13 أنش.

ت أوتاد النوع C: هذه الأوتاد من أجل الاستخدام في أعمال إنشائية مؤقتة، القطر الأصغري يجب أن لا يقل عن 12 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 6 أنش، لا يمكن للأوتاد الخشبية أن تتحمل اجهادات الدق العالية لذلك فان قدرة تحمل الوتد محددة من 20– 30 طن، يمكن استخدام رؤوس حديدية توضع على رأس الوتد من الأسفل لتجنب الضرر الناجم أثناء اختراق الوتد لطبقات التربة الشكل رقم (1–1)، 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 أكمام أنبوبية 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 يزاد عمر الأوتاد الخشبية عندما يتم معالجتها بمواد حافظة، قدرة التحمل للحمولة المسموحة للأوتاد الخشبية يمكن أن تعطى كالتالي:

$$A_P \times f_W = Q_{all} \qquad (4)$$

حيث: A_P المساحة الوسطية للمقطع العرضي للوتد– f_W: الإجهاد المسموح من أجل الخشب

□ 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 (1–3) مقارنة بين الميزات والمساوئ لأنواع مختلفة من المواد بالاعتماد على مادة الوتد[8].

الجدول (1-3)مقارنة بين أنواع الأوتاد

نوع الوتد	الطول العادي للأوتاد(متر)	الطول الأعظمي للأوتاد	الميزات	المساوئ
فولاذي	15- 60	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	10- 15	30	يمكن أن يتحمل قوى دق عالية	صعبة الحصول على القطع
	10- 35 إذا كان مسبق الإجهاد	60	يقاوم التآكل	صعبة النقل
			يوصل مع المنشأة بسهولة	صعوبة التنفيذ
بيتون مصبوب في المكان	5- 15	15- 40	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	10- 15	30	اقتصادية	مقاومة منخفضة للحمولات الشادة عند التراكب
			سهلة المعالجة	قدرة تحمل للحمولة ضعيفة
			الأوتاد المغمورة تكون مقاومة للتسوس	يمكن أن تتضرر بالدق القاسي

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 (1-11).

أ- أوتاد ارتكاز ب-أوتاد احتكاك

أ- أوتاد الارتكاز:

إذا كان الصخر أو المادة الشبيهة بالصخر متوضعة في موقع ما على عمق معقول من خلال السبور المنفذة، فان الأوتاد يمكن أن تمتد لتستند على الطبقة الصخرية الصلبة كما في الشكل رقم (1-2).

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

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

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

$$Q_U = Q_P + Q_S \qquad (5)$$

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.

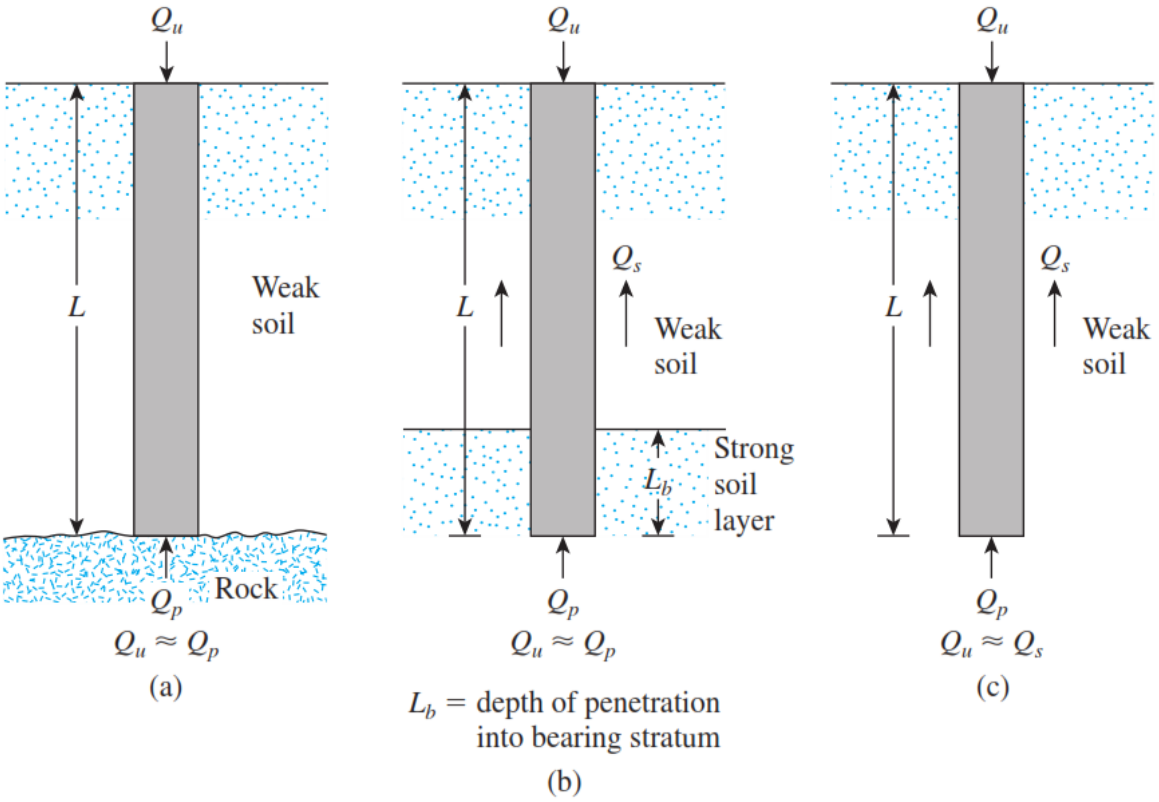
ب-أوتاد الاحتكاك:

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

من أجل هذا النوع فان الحمولة الحدية 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 (1-11) تقدير أطوال الأوتاد

الفصل الثاني

معادلات قدرة تحمل الوتد:

تعطى قدرة تحمل الحمولة الحدية للوتد بمعادلة بسيطة.الحمولة الحدية هي مجموع الحمولة المطبقة عند رأس الوتد بالإضافة إلى مقاومة الاحتكاك السطحي الناشئة من تماس الوتد والتربة

$$Q_U = Q_P + Q_S \qquad (6)$$ قدرة الوتد الحدية

Q_P: الحمولة التي يتحملها رأس الوتد

Q_S:الحمولة التي يتحملها الاحتكاك الناتج على جوانب الوتد

تعطى قدرة التحمل الحدية للأساسات السطحية اعتماداً على معادلات ترزاكي:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \qquad (7)$$

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \qquad (8)$$ من أجلأساسات دائرية سطحية

وبشكل مشابه فان معادلة قدرة التحمل العامة من أجل أساسات سطحية ومن أجل حمولة شاقولية هي كالتالي:

$$q_u = 1.3cN_cF_{cs}F_{cd} + qN_qF_{qs}F_{qd} + 0.5\gamma BN_\gamma F_{qd}F_{\gamma s} \qquad (9)$$

من أجل أساسات مربعة سطحية، لذلك وبشكل عام فإن قدرة تحمل الحمولة الحدية يمكن أن يعبر عنها بالشكل:

$$q_u = 1.3cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \qquad (10)$$

وذلك من أجل أساسات مربعة سطحية

حيث N_c^*،N_q^*،N_γ^* هي عوامل قدرة التحمل التي تتضمن عوامل العمق والشكل الضرورية باعتبار أساسات الوتد هي أساسات عميقة، **فإنه يمكن التعبير عن المقاومة الحدية بواحدة المساحة**

$$q_u = q_P = cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \qquad (11)$$

يمكن إهمال الحد الأخير مقارنة مع الحدين الأول والثاني بسبب كون القطر D للوتد صغير نسبياً بدون أن يشكل ذلك خطأ كبير.

$$q_u = q_P = cN_c^* + q'N_q^* \qquad (12)$$

ويمكن تبديل الرمز q بالرمز q'لتمييز الإجهاد الشاقولي الفعال، لذلك فان قدرة تحمل الرأس للوتد يمكن أن يعبر عنه كالتالي:

$$Q_P = A_P\, q_P = A_P\,(cN_c^* + q' N_q^*) \quad (13)$$

حيث: A_Pمساحة رأس الوتد

cالتماسك للتربة عند رأس الوتد

q_Pمقاومة رأس الوتد الحدية

q'الإجهاد الشاقولي **الفعال** عند منسوب رأس الوتد

N_γ^*، N_q^*، N_c^*عوامل قدرة التحمل

□□ الدراسات التحليلية لحساب قدرة التحمل والهبوط للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان:

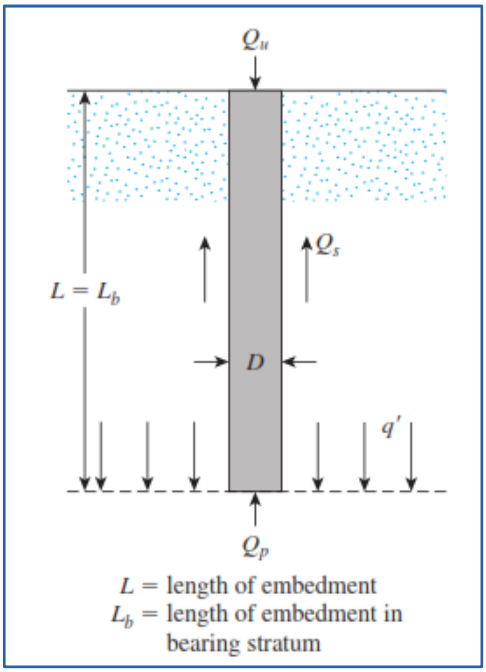
تعرف قدره تحمل الوتد الحدية Q_u بأنها:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (14)$$

Q_U:قدرةتحمل الوتد الحدية.

Q_s:قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك.

Q_p:قدره تحمل الوتد الحدية على الارتكاز.



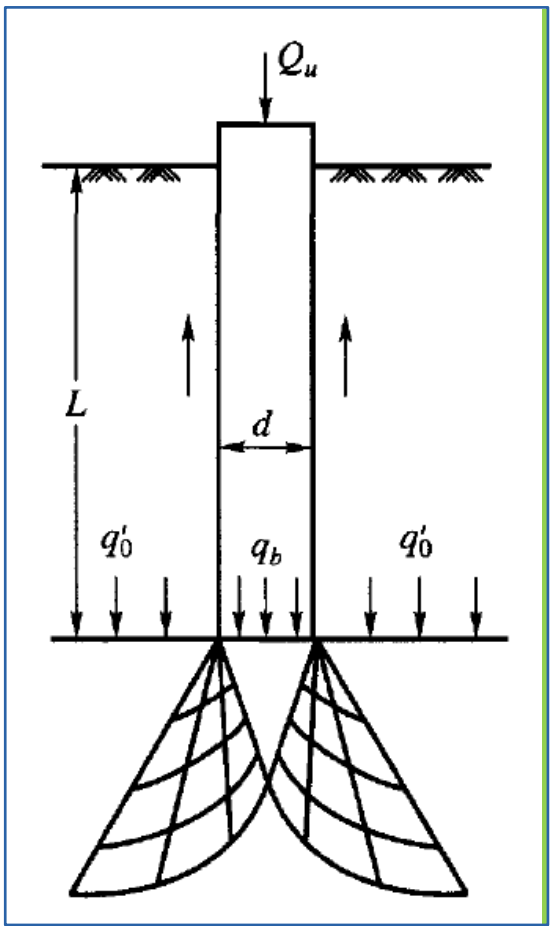
الشكل (2-1) ميكانيكية نقل الحمولة

2-3-1 قدرة تحمل الوتد الحدية على الارتكاز:

يتم حسابها بثلاثة طرق مختلفة:

2-3-1-1 طريقه فيسك:

اقترح العالم فيسك عام 1977 طريقة مطورة لحساب قدرة تحمل الوتد الحدية على الارتكاز بفرض أن ميكانيكية الانهيار تحدث بتشكل نواة متراصة تحت رأس الوتد تقوم بدفع الوتد للأسفل



الشكل:(2-2)قدرة تحمل الوتد حسب فيسك

$$Q_p = A_p * q_p \qquad (15)$$

q_p:مقاومه الارتكاز للوتد في وحده المساحة

A_p:،مساحه مقطع الوتد

$$q_p = C \times N^*c + \sigma'o \times N^*q \qquad (16)$$

$$Ir = \frac{E_S}{2(1+\mu_s)(C+0.1q' \tan(\varphi))} \qquad (17)$$

C: تماسك طبقة الارتكاز للوتد

q': الإجهاد الشاقولي الفعال

I_r: دليل الصلابة

μ_s: نسبه بواسون للتربة عند رأس الوتد

E_S: معامل يونغ للتربة عند رأس الوتد

$$q' = \gamma 1h1 + \gamma 2h2 + \gamma 3h3 + \ldots \qquad (18)$$

$\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$الوزن الحجمي للتربة

$h_1 h_2 h_3$سماكه طبقات التربة

$$Irr = \frac{Ir}{1+Ir\Delta} \qquad (19)$$

Irr دليل الصلابة المخفض

φ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة

$$\Delta = 0 \rightarrow Ir = Irr \qquad (20)$$

$$N^*_\sigma = \alpha 1 \, N_\varphi \, Irr^{\alpha 3} e^{\alpha 2} \qquad (21)$$

$$N_\varphi = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (22)$$

$$\alpha_1 = \frac{3}{3-\sin(\varphi)} \qquad (23)$$

$$\alpha_2 = (\pi/2 - \varphi)\tan(\varphi) \qquad (24)$$

$$N^*c = (N^*q - 1)\cot(\varphi) \qquad (25)$$

$$\alpha_3 = \frac{1.33\sin(\varphi)}{1+\sin(\varphi)} \qquad (26)$$

$$N^*_q = N^*_\sigma \frac{(1+2k_o)}{3} \qquad (27)$$

معامل الدفع الجانبي للتربة عند الراحة حيثK_0

$$k_o = 1 - SIN(\varphi) \qquad (28)$$

$$\sigma'_o = \frac{(1+2k_o)q'}{3} \qquad (29)$$

N^*_q ,N^*_σ , N^*_cعوامل قدره التحمل

معادلة حمولة الارتكاز الحدية الواحدية حسب فيسك $\mathbf{q_p = C \times N^*_c + \sigma'_o \times N^*_\sigma}$ (30)

$$A_p = \pi(D)^2/4 \qquad (31)$$

$$Q_p = A_p * q_p \qquad (32)$$

2-1-3-2 طريقه ميرهوف:

$$Q_p = A_p\ (C\ N^*_c + q'\ N^*_q) \qquad (33)$$

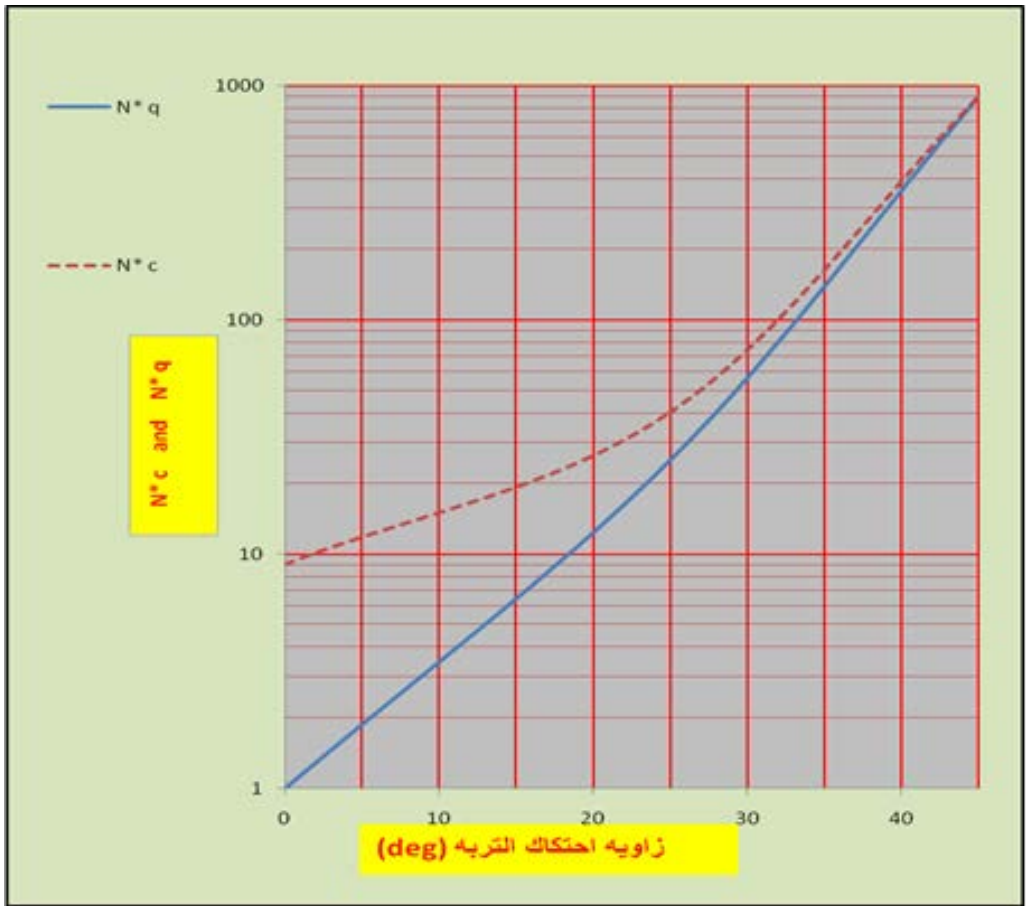
C:تماسك طبقه الارتكاز للوتد q': الإجهاد الشاقولي الفعال

$$q' = \gamma 1h1 + \gamma 2h2 + \gamma 3h3 + \ldots \quad (34)$$

$\gamma 1, \gamma 2, \gamma 3$ الوزن الحجمي للتربة

h1, h2, h3… سماكة طبقات التربة

نحدد N^*_c ,N^*_q من الشكل (2−3)



الشكل:(2-3)قدرة تحمل الوتد حسب ميرهوف

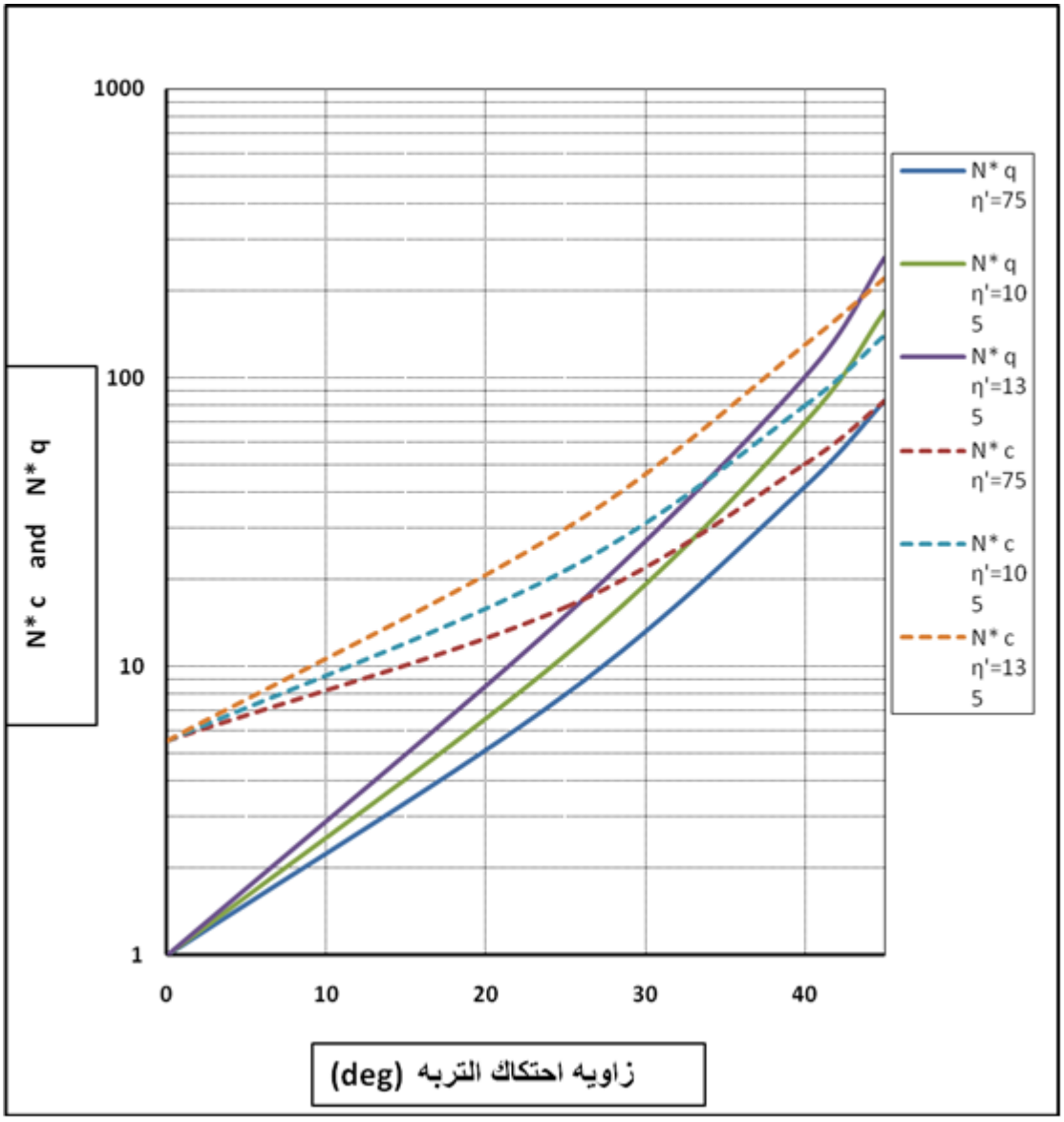
3-1-3-2 طريقه جانبو:

$$Q_p = A_p\,(C\,N^*c + q'\,N^*q) \qquad (35)$$

$$N_q^* = e^{2\eta' \tan(\emptyset)} \left(\tan\emptyset + \sqrt{1+\tan^2\emptyset}\right)^2 (36)$$

η'عامل يتراوح من 70للتربة الغضارية الطرية حتى 135للتربة الرملية الكثيفة

من الشكل رقم(2-4) نحدد قيمه η' بحسب N^*_c , N^*_q



الشكل:(2-4)قدرة تحمل الوتد حسب جانبو

2-3-2 حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S:

2-3-2-1 حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S حسب طريقة λ

$$Q_s = p\,L\,f_{av} \qquad (37)$$

L: طول الوتد

P محيط الوتد: $p = \pi D$

$$f_{av} = \lambda(\sigma'_v + 2C_u) \qquad (38)$$

σ'_v: الإجهاد الوسطي الشاقولي الفعال

C_u: القيمة الوسطية لمعامل التماسك غير المصرف لكل الطبقات

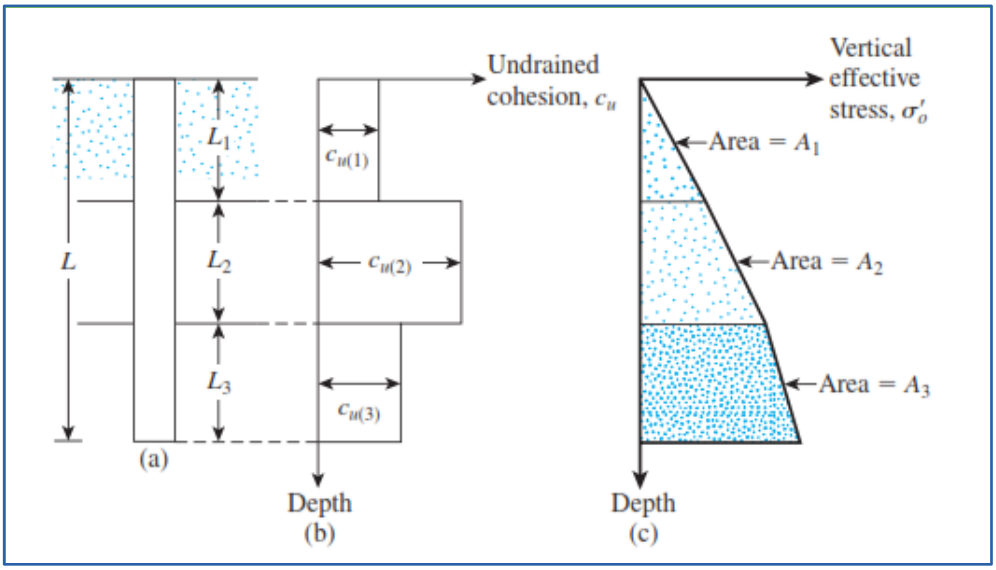
تؤخذ قيمة λ من الشكل (2−18)

$$C_u = \frac{C_{u1}L_1 + C_{u2}L_2 + C_{u3}L_3 \ldots}{L} \qquad (39)$$

L: الطول الكلي للوتد و L1, L2: سماكه كل طبقه

$$\sigma'_v = \frac{A1+A2+A3+\cdots}{9L} \qquad (40)$$

A1، A2، A3: المساحة لمخطط الإجهاد الشاقولي الفعال لكل طبقة.



الشكل (2−5)حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S حسب طريقة λ

2-2-3-2 حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاكQ_Sحسب طريقة ß:

عندما تدق الأوتاد في التربة الغضارية المشبعة، يزداد ضغط الماء المسامي في التربة حول الوتد، من ناحية أخرى فإنه خلال شهر تقريباً يختفي هذا الضغط تدريجياً حيث أن المقاومة الاحتكاكية الواحدية يمكن أن تحدد عندئذ على أساس ثوابت الإجهاد الفعال للغضار:

المقاومة الاحتكاكية الواحدية.

$$f = \boldsymbol{\sigma}'_{\boldsymbol{v}} \times \beta \qquad (41)$$

$$\beta = k \times tan\emptyset'_R$$

$\boldsymbol{\sigma}'_{\boldsymbol{v}}$: الإجهاد الشاقولي الفعال عند عمق معين.

$\emptyset'_R$: زاوية الاحتكاك المصرفة للغضار المعاد التشكيل.

K: معامل الدفع الجانبي للتربة عند الراحة$K = 1 - \sin\emptyset_R$من أجل غضار مرصوص طبيعياً.

$$f = (1 - sin\emptyset_R)tan\emptyset_R\sigma'v \qquad (42)$$

بعد أن نحدد المقاومة الواحدية f نحسب المقاومة الاحتكاك الكلية Q

$$Q_S = \sum fp\Delta L$$

2-3-2-3 حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S حسب طريقة α:

بالاعتماد على طريقة α

فإن المقاومة الواحدية السطحية في التربة الغضارية تعطى بالمعادلة التالية:

$$f = \alpha\, C_u$$

α:عامل التلاصق التجريبي.

$$Q_S = \sum f p \Delta L = \sum \alpha\, C_u p \Delta L \qquad (43)$$

□□□ حساب قدره تحمل الوتد المسموحة:

قدرة تحمل الحمولة الأعظمية(الحدية) للوتد بجمع قدرة التحمل للرأس مع مقاومة الاحتكاك السطحية، فإنه يجب استخدام عامل أمان مناسب للحصول على الحمولة المسموحة الكلية.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} \qquad (45)$$

F_s:عامل الأمان يتراوح في المجال $(2.5-4)$

Q_{all}:قدرة التحمل الحمولة المسموحة للوتد

F_s:عامل الأمان على الارتكاز يتراوح في المجال $(3-4)$,

F_s:عامل الأمان على الاحتكاك يتراوح في المجال $(2-3)$,