الفصل الأول

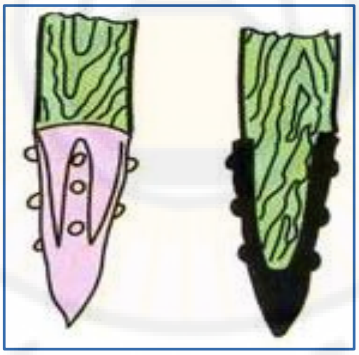
١-الأساسات الوتدية:

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، وتدق في التربة بآلات خاصة بعد أن تزوّد 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 حرفH تُدق 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.

١-٢أسباب استخدام الأساسات الوتدية:

١- 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 (١-٢).

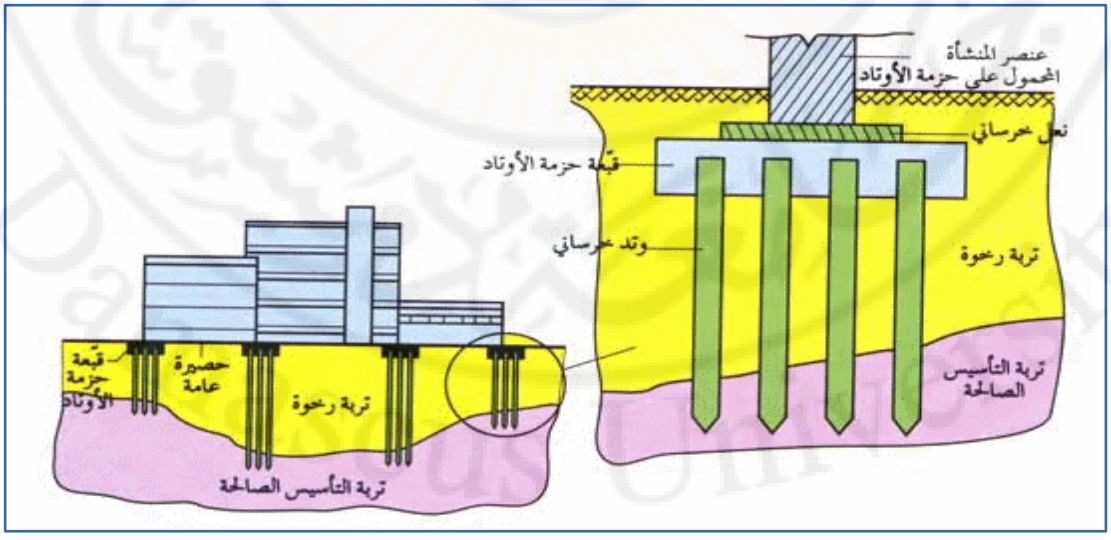
٢- عندما **لا تقع الطبقة الصخرية على عمق مقبول أسفل سطح الأرض**، فان الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة الإنشائية إلى التربة بشكل تدريجي، عندئذ المقاومة للحمولة الإنشائية المطبقة تنشأ بشكل رئيسي من مقاومة الاحتكاك على السطح الملامس بين التربة والوتد.

٣- 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.

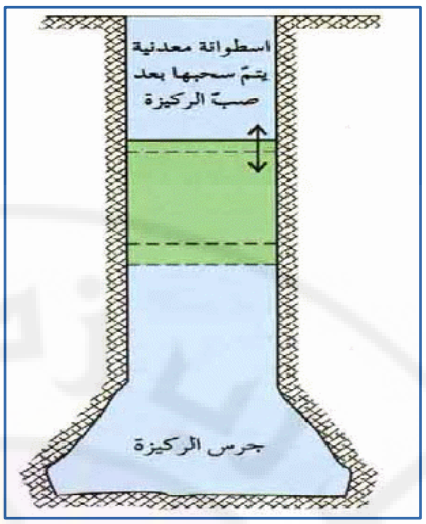
في مثل هذه الحالات فان الأساسات الوتدية يمكن أن تستخدم والتي تمتد فيها الأوتاد إلى طبقات تربة عميقة بعيداً عن المنطقة التي تتغير فيها الرطوبة.

٤-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.

٥-**تُنشأ دعائم الجسور والركائز** [وهي أساسات عميقة تتألف من كتل خرسانية كبيرة تقوم بنقل حمولات المنشأة إلى التربة الشكل رقم(١-٣)] 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 (١-٢) مبنى يرتكز على مجموعات حزممن الأوتاد



الشكل(١-٣)دعائم الجسور والركائز



الشكل (١-٤)أوتاد إزاحـة

أنواع الأوتاد:

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

- **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(١-٥).



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 ٤٠-٨٠ سم أطوالها متعددة وسمك جدارها لا يقل عن ٢ سم تستعمل عدة مرات حتى ينتهي عمرها وتسد من أسفل بقدم (نعلة) من الحديد

الشكل رقم (١-٦).



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 (١-٧).



الشكل (1-7) 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:

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 حرف Iيمكن 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 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 تُملئ بالبيتون بعد دقها فتسمى عندئذ أوتاد بيتونية مصبوبة مغلفة.

الجدول (١-١) مقطع لأنابيب معدنية وتدية ممتازة

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

٣٠٥	٤.٧٨	٤٤.٩
٣٠٥	٥.٥٦	٥٢.٣
٣٠٥	٦.٣٥	٥٩.٧
٤٠٦	٤.٧٨	٦٠.٣
٤٠٦	٥.٥٦	٧٠.١
٤٠٦	٦.٣٥	٧٩.٨
٤٥٧	٥.٥٦	٨٠
٤٥٧	٦.٣٥	٩٠
٤٥٧	٧.٩٢	١١٢
٥٠٨	٥.٥٦	٨٨
٥٠٨	٦.٣٥	١٠٠
٥٠٨	٧.٩٢	١٢٥
٦١٠	٦.٣٥	١٢١
٦١٠	٧.٩٢	١٥٠
٦١٠	٩.٥٣	١٧٩
٦١٠	١٢.٧	٢٣٥

القدرة الإنشائية المسموحة من أجل أوتاد فولاذية:

$$A_s \times \sigma_{all} = Q_{all} \qquad (١)$$

A_s: مساحة المقطع العرضي للفولاذ $-\sigma_{all}$: 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 ٧ 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.

٢- الأوتاد البيتونية:

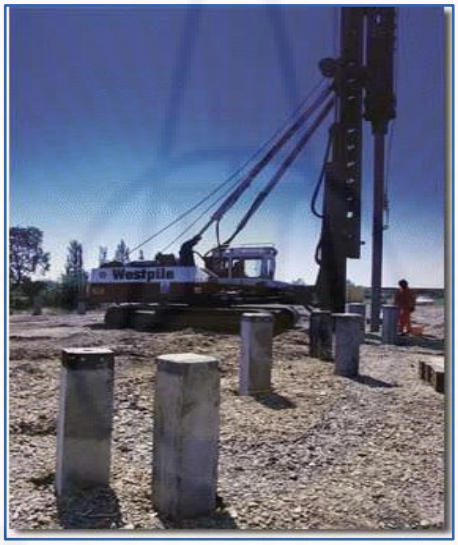
تقسم إلى قسمين رئيسيين:

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

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



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

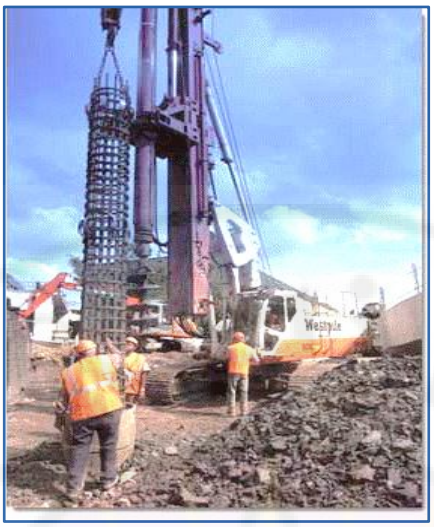
ب- الأوتاد البيتونية المصبوبة في المكان: هي أوتاد تُنشئ بعمل حفرة في الأرض وبعدها تُملئ بالبيتون الشكل رقم (١-٩)يمكن تقسيم الأوتاد المصبوبة في المكان.

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 أولا 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 (١-٢) 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	٣٠- ٤٠
D	أنبوب فولاذي مستقيم	٥٠
E	أنبوب صفيحي رقيق	٣٠- ٤٠
F	أنبوب صفيحي رقيق	١٥- ٢٠
G	أنبوب صفيحي رقيق	٣٠- ٤٠

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

١ -الوتد المغلف:

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

حيث:

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

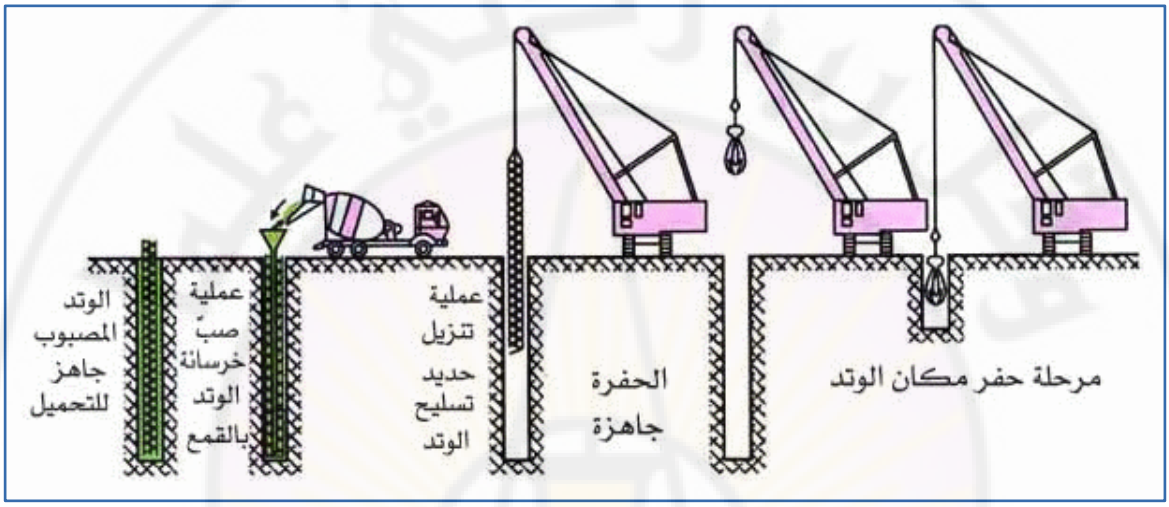
A_c: مساحة المقطع العرضي للبيتون. f_c:الإجهاد المسموح للبيتون

٢- الوتد غير المغلف:

$$A_c \times f_c = Q_{all} \qquad (٣)$$

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



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

٣- الأوتاد الخشبية:

هي جذوع الأشجار التي قُصت عنها الفروع والغصون 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 النوعA: 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 من٢٠- 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 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:

$$A_P \times f_W = Q_{all} \qquad (٤)$$

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(١-٣) مقارنة بين الميزات والمساوئ لأنواع مختلفة من المواد بالاعتماد على مادة الوتد[8].

الجدول (١-٣)مقارنة بين أنواع الأوتاد

نوع الوتد	الطول العادي للأوتاد(متر)	الطول الأعظمي للأوتاد	الميزات	المساوئ
فولاذي	١٥- ٦٠	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	١٠- ١٥	٣٠	يمكن أن يتحمل قوى دق عالية	صعبة الحصول على القطع
	١٠- ٣٥ إذا كان مسبق الإجهاد	٦٠	يقاوم التآكل	صعبة النقل
			يوصل مع المنشأة بسهولة	صعوبة التنفيذ
بيتون مصبوب في المكان	٥- ١٥	١٥- ٤٠	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	١٠- ١٥	٣٠	اقتصادية	مقاومة منخفضة للحمولات الشادة عند التراكب
			سهلة المعالجة	قدرة تحمل للحمولة ضعيفة
			الأوتاد المغمورة تكون مقاومة للتسوس	يمكن أن تتضرر بالدق القاسي

١-٢-٤تقدير 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 السبور المنفذة، فان الأوتاد يمكن أن تمتد لتستند على الطبقة الصخرية الصلبة كما في الشكل رقم (١-٢).

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 ((3-4)D) حيث D قطر الوتد.

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

$$Q_U = Q_P + Q_S \qquad (٥)$$

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.

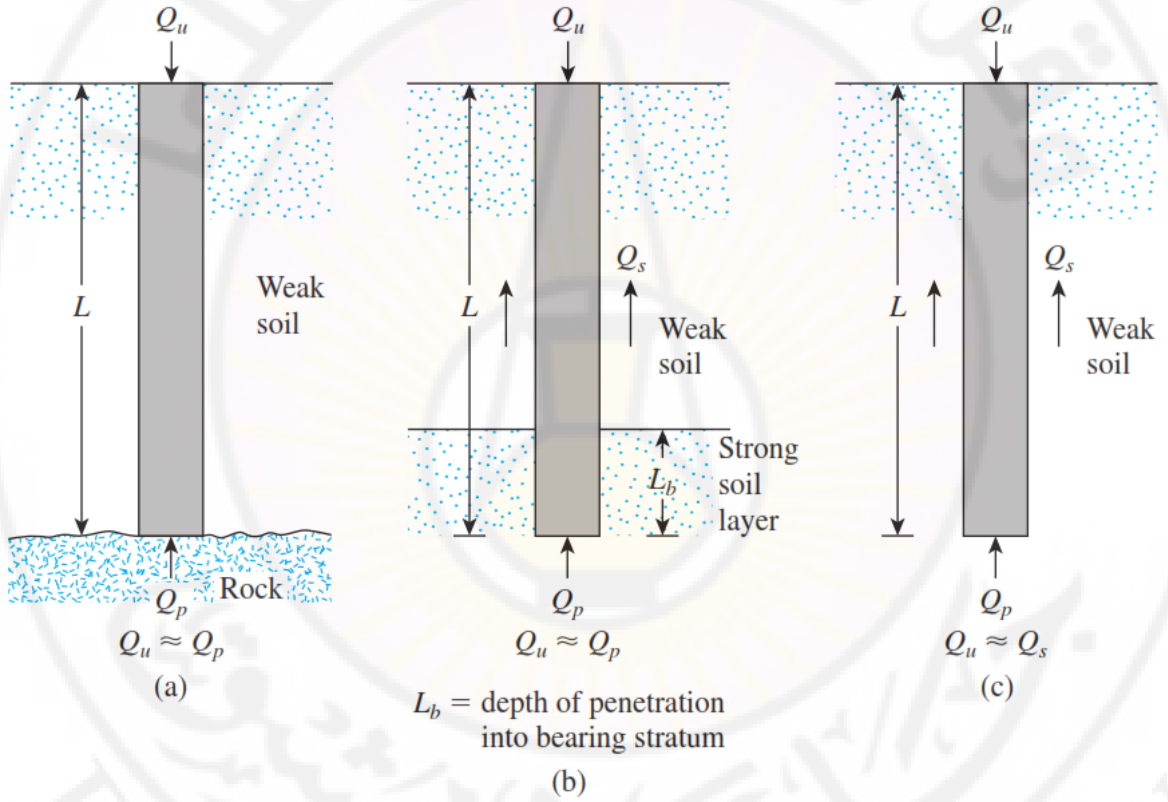
ب-أوتاد الاحتكاك:

عندما لا توجد طبقة صخر أو طبقة شبيهة بالصخر متوضعة بشكل معقول في الموقع المعطى، 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 (١-١١) تقدير أطوال الأوتاد

الفصل الأول

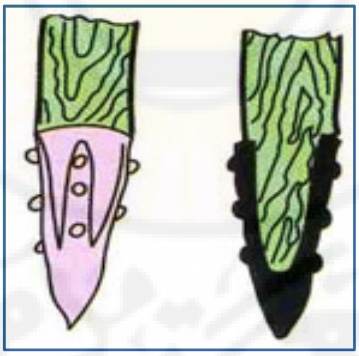
1-الأساسات الوتدية:

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).

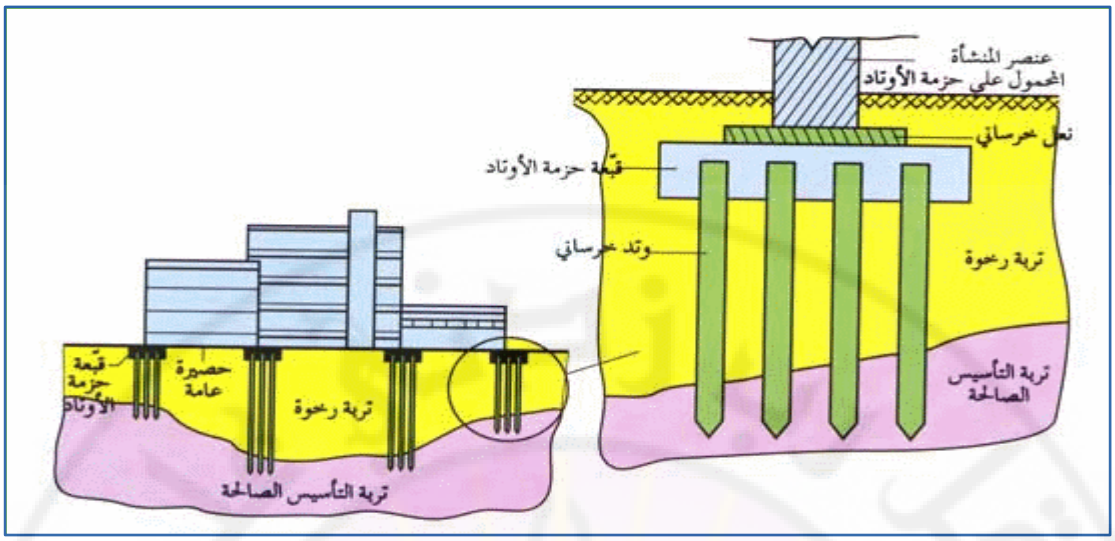
2- عندما **لا تقع الطبقة الصخرية على عمق مقبول أسفل سطح الأرض** ، فان الأوتاد تُستخدم لنقل الحمولة الإنشائية إلى التربة بشكل تدريجي، عندئذ المقاومة للحمولة الإنشائية المطبقة تنشأ بشكل رئيسي من مقاومة الاحتكاك على السطح الملامس بين التربة والوتد.

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.

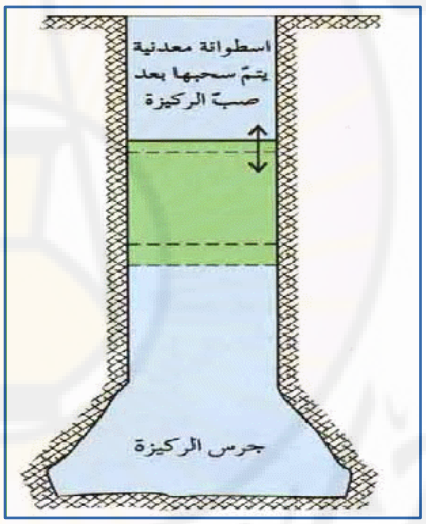
في مثل هذه الحالات فان الأساسات الوتدية يمكن أن تستخدم والتي تمتد فيها الأوتاد إلى طبقات تربة عميقة بعيداً عن المنطقة التي تتغير فيها الرطوبة.

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.

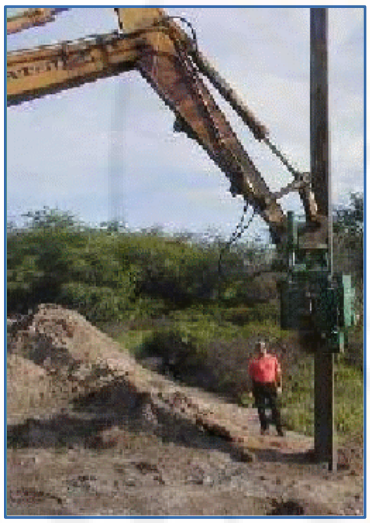
5-**تُنشأ دعائم الجسور والركائز** [وهي أساسات عميقة تتألف من كتل خرسانية كبيرة تقوم بنقل حمولات المنشأة إلى التربة الشكل رقم (1-3)] عادة فوق أساسات وتدية لتجنب فقدان محتمل لقدرة التحمل التي يمكن أن يعاني منها الأساس السطحي بسبب تعرية التربة عند سطح الأرض، وتنفذ الركائز غالباً للتأسيس في قيعان الأنهار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

أذياع 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 $-\sigma_{all}$: 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:

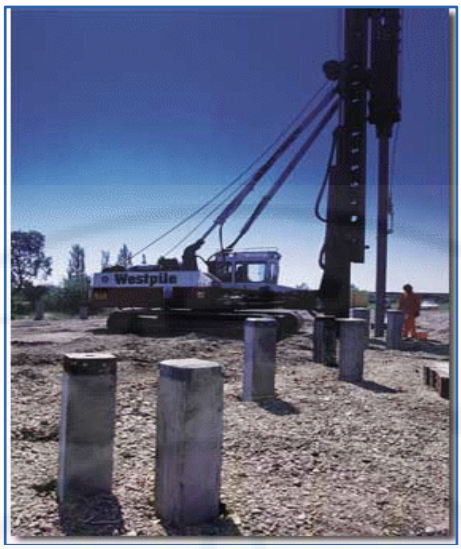
تقسم إلى قسمين رئيسيين:

- 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	30- 40
d	أنبوب فولاذي مستقيم	50
e	أنبوب صفيحي رقيق	30- 40
f	أنبوب صفيحي رقيق	15- 20
g	أنبوب صفيحي رقيق	30- 40

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

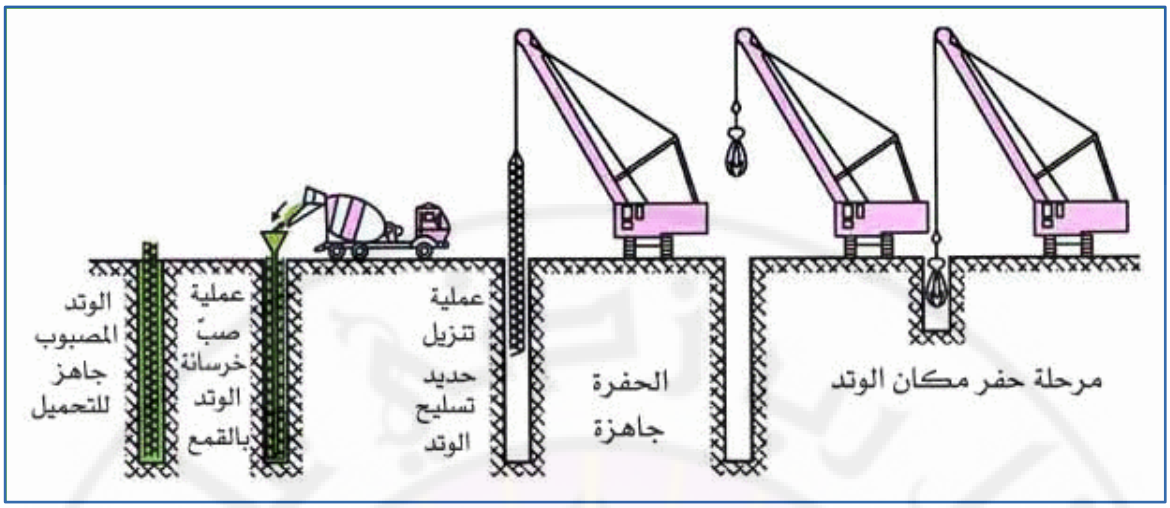
A_c: مساحة المقطع العرضي للبيتون. f_c:الإجهاد المسموح للبيتون

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 ((3-4)D) 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.

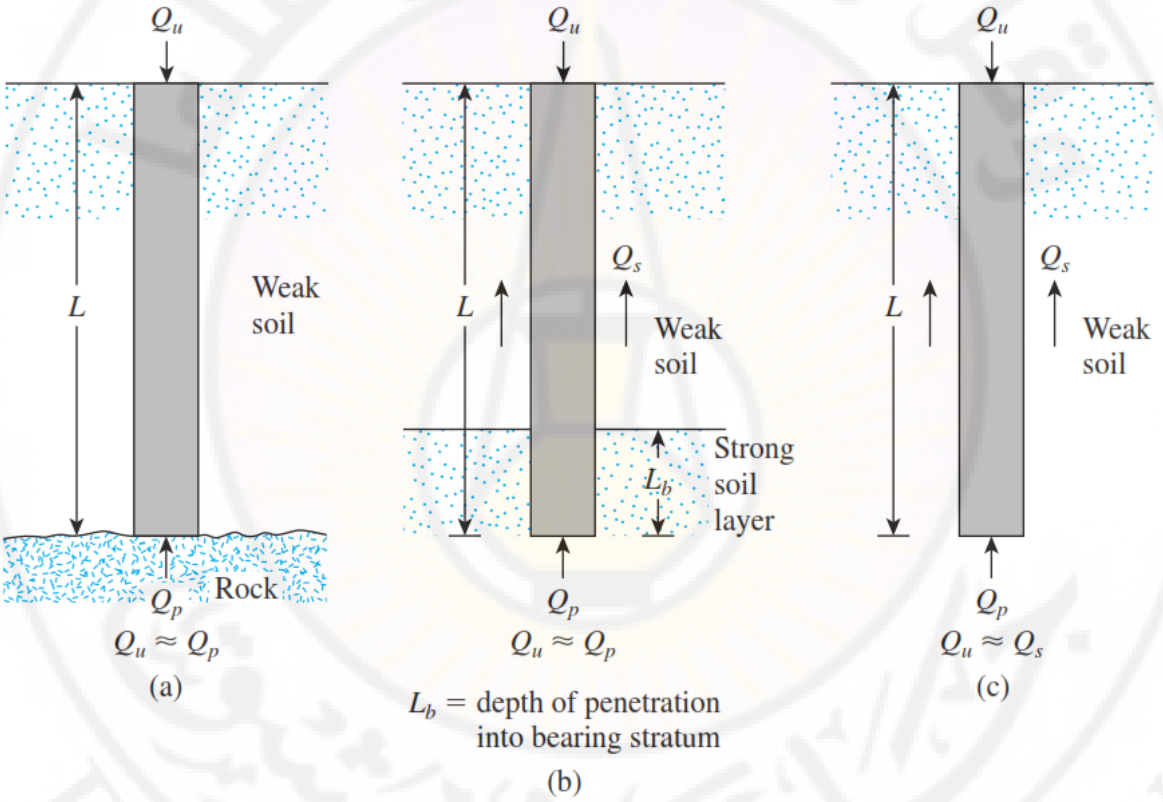
ب-أوتاد الاحتكاك:

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

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

$$Q_U = Q_P + Q_S \quad (6)$$ 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:

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

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

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

$$q_u = 1.3cN_c F_{cs} F_{cd} + qN_q F_{qs} F_{qd} + 0.5\gamma BN_\gamma F_{qd} F_{\gamma s} \quad (9)$$

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

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

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**

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

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

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

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:

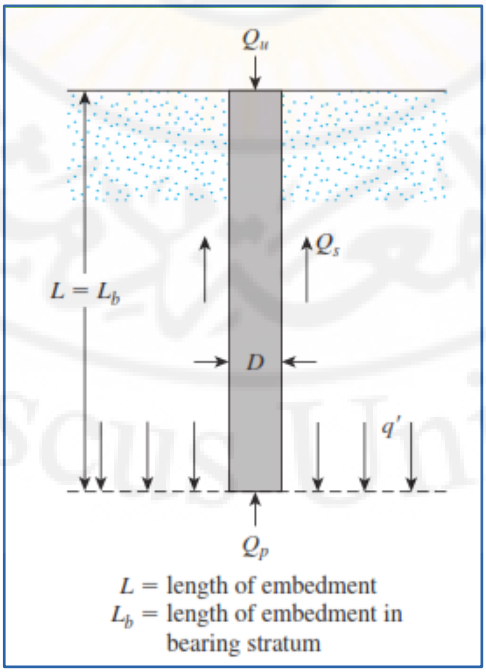
تعرف قدره تحمل الوتد الحديةQ_u بأنها:

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

Q_U:قدرةتحمل الوتد الحدية.

Q_s:قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك.

Q_p:قدره تحمل الوتد الحدية على الارتكاز.



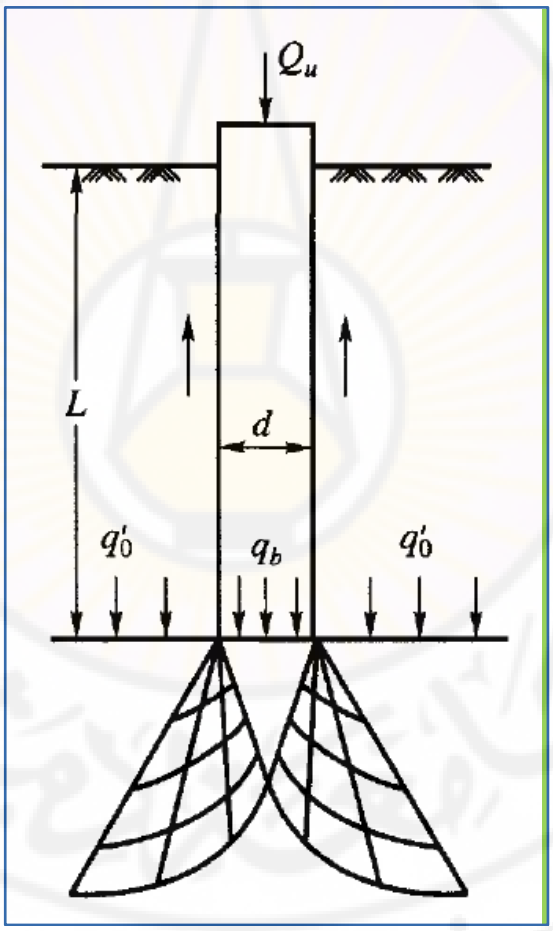
الشكل (2-1) ميكانيكية نقل الحمولة

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:

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

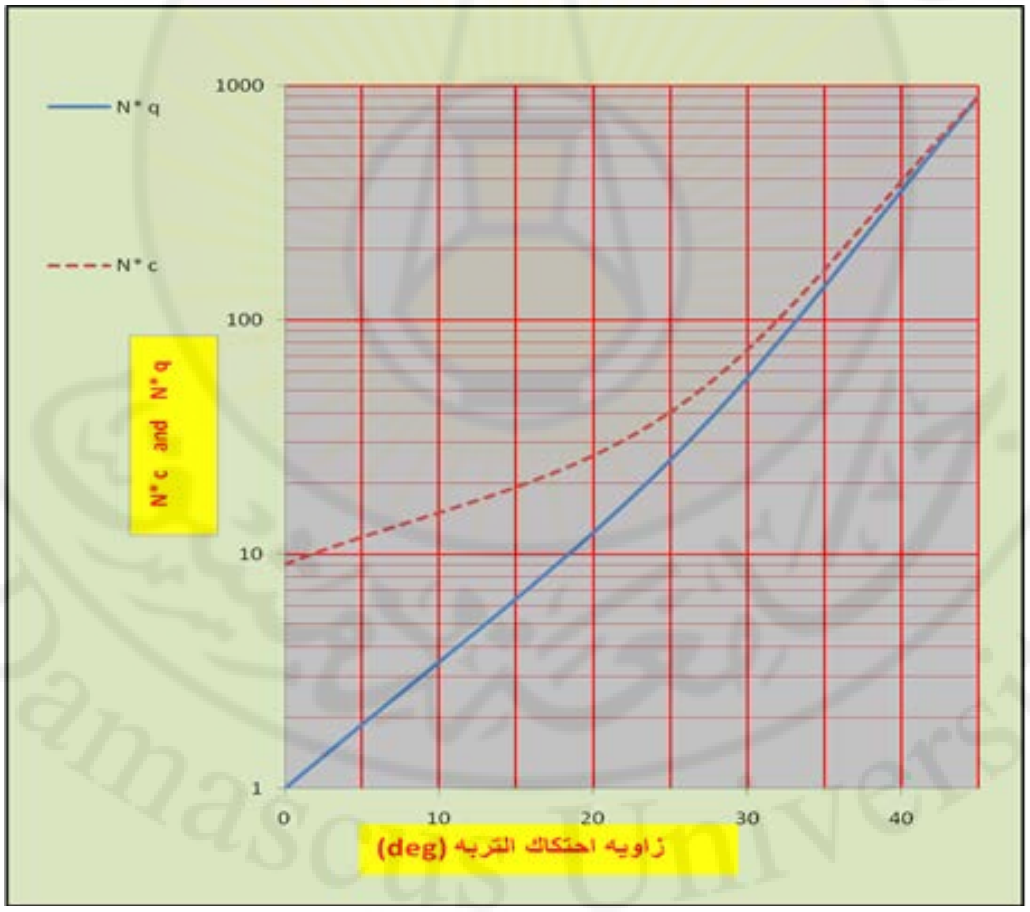
C:تماسك طبقه الارتكاز للوتد q': الإجهاد الشاقولي الفعال

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

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

$h1, h2, h3\ldots$ سماكة طبقات التربة

نحدد N^*_c ,N^*_q من الشكل (2−3)



الشكل:(2-3)قدرة تحمل الوتد حسب ميرهوف

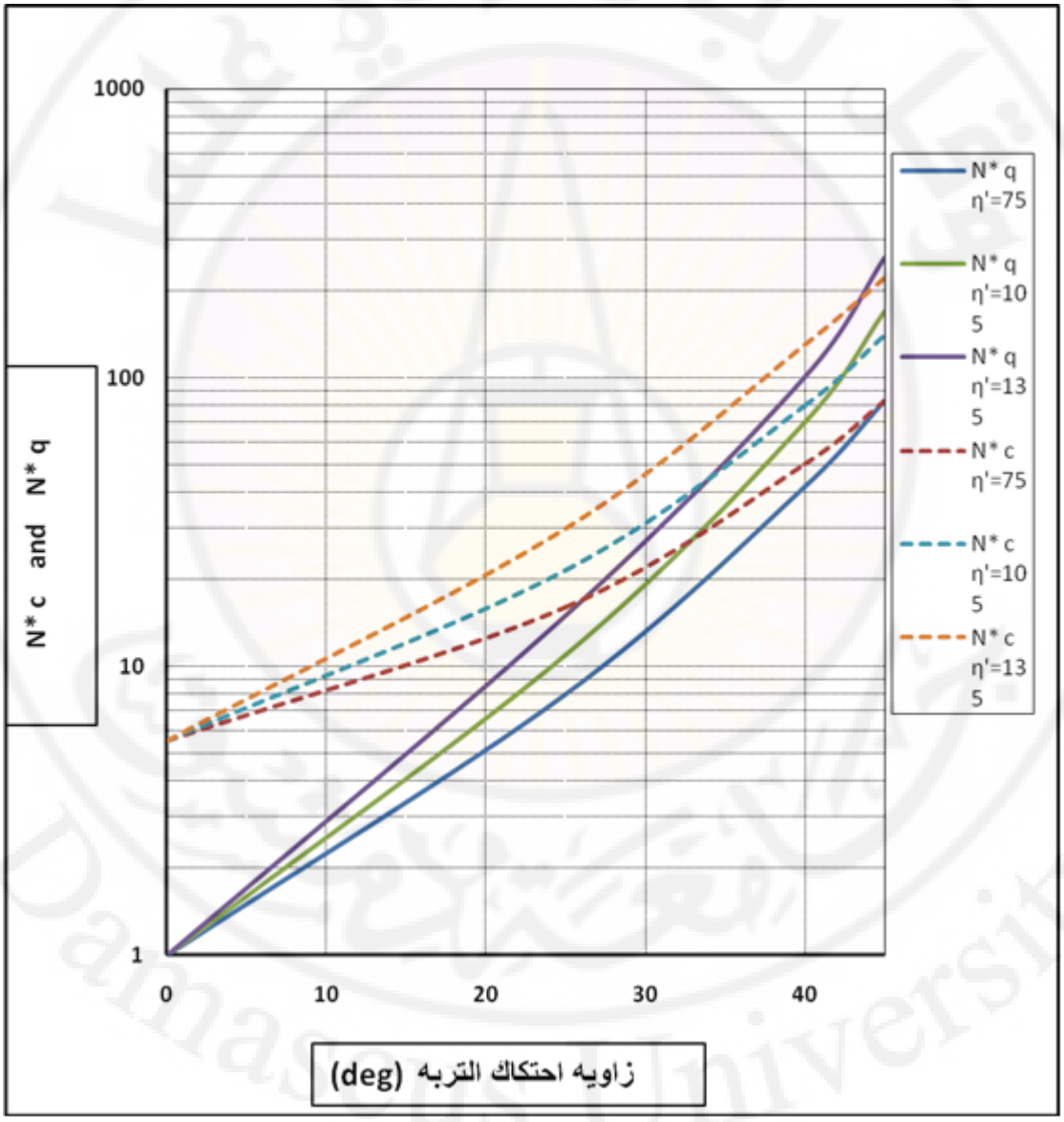
3-1-3-2 طريقه جانبو:

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

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

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

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



الشكل:(4-2)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

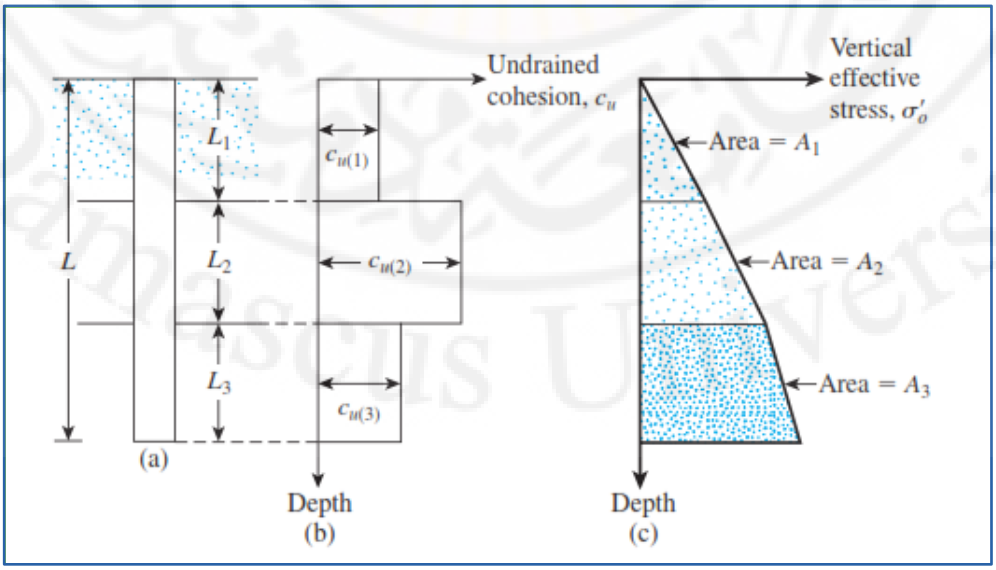
تؤخذ قيمة λ من الشكل (2−18)

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

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.

$$f = \boldsymbol{\sigma_v'} \times \beta \qquad (41)$$

$$\beta = k \times tan\emptyset_R'$$

$\boldsymbol{\sigma_v'}$: 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

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

3-2-3-2 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 $(2-3)$,

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

٢-١معادلات 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

$$Q_U = Q_P + Q_S \qquad (٦)$$ 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:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \qquad (٧)$$ من أجل أساسات مربعة سطحية

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \qquad (٨)$$ من أجلأساسات دائرية سطحية

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

$$q_u = 1.3cN_cF_{cs}F_{cd} + qN_qF_{qs}F_{qd} + 0.5\gamma BN_\gamma F_{qd}F_{\gamma s} \qquad (٩)$$

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

$$q_u = 1.3cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \qquad (١٠)$$

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**

$$q_u = q_P = cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \qquad (١١)$$

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

$$q_u = q_P = cN_c^* + q'N_q^* \qquad (١٢)$$

ويمكن تبديل الرمز q بالرمز q'لتمييز الإجهاد الشاقولي الفعال، لذلك فان قدرة تحمل الرأس للوتد

يمكن أن يعبر عنه كالتالي:

$$Q_P = A_P\, q_P = A_P\,(cN_c^* + q'N_q^*) \quad (١٣)$$

حيث: A_P مساحة رأس الوتد

c التماسك للتربة عند رأس الوتد

q_P مقاومة رأس الوتد الحدية

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

N_γ^*، N_q^*، N_c^* عوامل قدرة التحمل

٢-٣ الدراسات التحليلية لحساب قدرة التحمل والهبوط للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان:

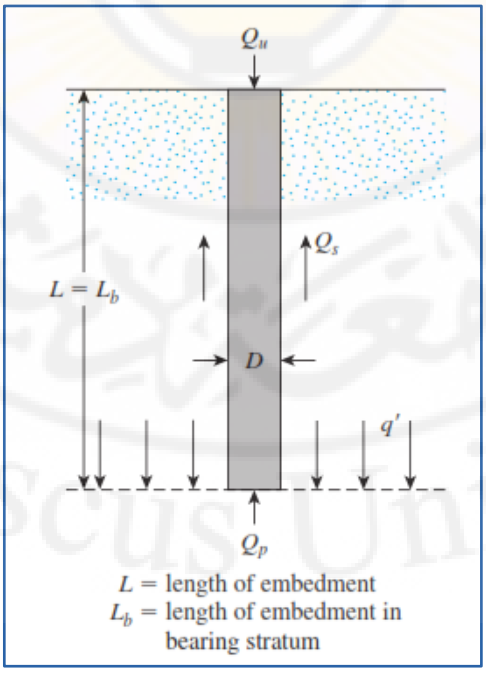
تعرف قدره تحمل الوتد الحدية Q_u بأنها:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (١٤)$$

Q_U: قدرةتحمل الوتد الحدية.

Q_s: قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك.

Q_p: قدره تحمل الوتد الحدية على الارتكاز.



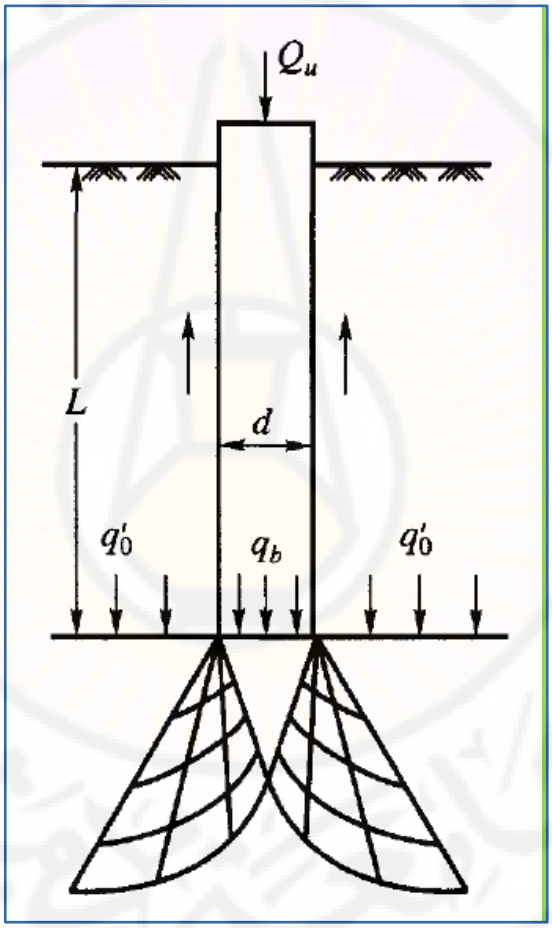
الشكل (٢-١) ميكانيكية نقل الحمولة

٢-٣-١ قدرة تحمل الوتد الحدية على الارتكاز:

يتم حسابها بثلاثة طرق مختلفة:

٢-٣-١-١ طريقه فيسك:

اقترح العالم فيسك عام ١٩٧٧ 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

$$Q_p = A_p * q_p \qquad (١٥)$$

q_p:مقاومه الارتكاز للوتد في وحده المساحة

A_p:،مساحه مقطع الوتد

$$q_p = C \times N^*c + q' \times N^*q \qquad (١٦)$$

$$Ir = \frac{E_S}{2(1+\mu_s)(C+0.1q'\tan(\varphi))} \qquad (١٧)$$

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

$$q' = \gamma 1h1 + \gamma 2h2 + \gamma 3h3 + \ldots \qquad (١٨)$$

$\gamma_1\gamma_2\gamma_3$الوزن الحجمي للتربة

$h_1h_2h_3$سماكه طبقات التربة

$$Irr = \frac{Ir}{1+Ir\Delta} \qquad (١٩)$$

Irr دليل الصلابة المخفض

φ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة

$$\Delta = 0 \rightarrow Ir = Irr \qquad (٢٠)$$

$$N^*_\sigma = \alpha 1\, N_\varphi\, Irr^{\alpha 3} e^{\alpha 2} \qquad (٢١)$$

$$N_\varphi = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (٢٢)$$

$$\alpha_1 = \frac{3}{3-\sin(\varphi)} \qquad (٢٣)$$

$$\alpha_2 = (\pi/2 - \varphi)\tan(\varphi) \qquad (٢٤)$$

$$N^*c = (N^*q - 1)\cot(\varphi) \qquad (٢٥)$$

$$\alpha_3 = \frac{1.33\sin(\varphi)}{1+\sin(\varphi)} \qquad (٢٦)$$

$$N^*_q = N^*_\sigma \frac{(1+2k_o)}{3} \qquad (٢٧)$$

معامل الدفع الجانبي للتربة عند الراحة حيثK_0

$$k_o = 1 - SIN(\varphi) \qquad (٢٨)$$

$$\sigma'_o = \frac{(1+2k_o)q'}{3} \qquad (٢٩)$$

N^*_c , N^*_σ ،N^*_qعوامل قدره التحمل

$$q_p = C \times N^*_c + \sigma'_o \times N^*_\sigma \qquad (٣٠)$$ **معادلة حمولة الارتكاز الحدية الواحدية حسب فيسك**

$$A_p = \pi(D)^2/4 \qquad (٣١)$$

$$Q_p = A_p * q_p \qquad (٣٢)$$

٢-٣-١-٢ طريقه ميرهوف:

$$Q_p = A_p (C N^*_c + q' N^*_q) \qquad (٣٣)$$

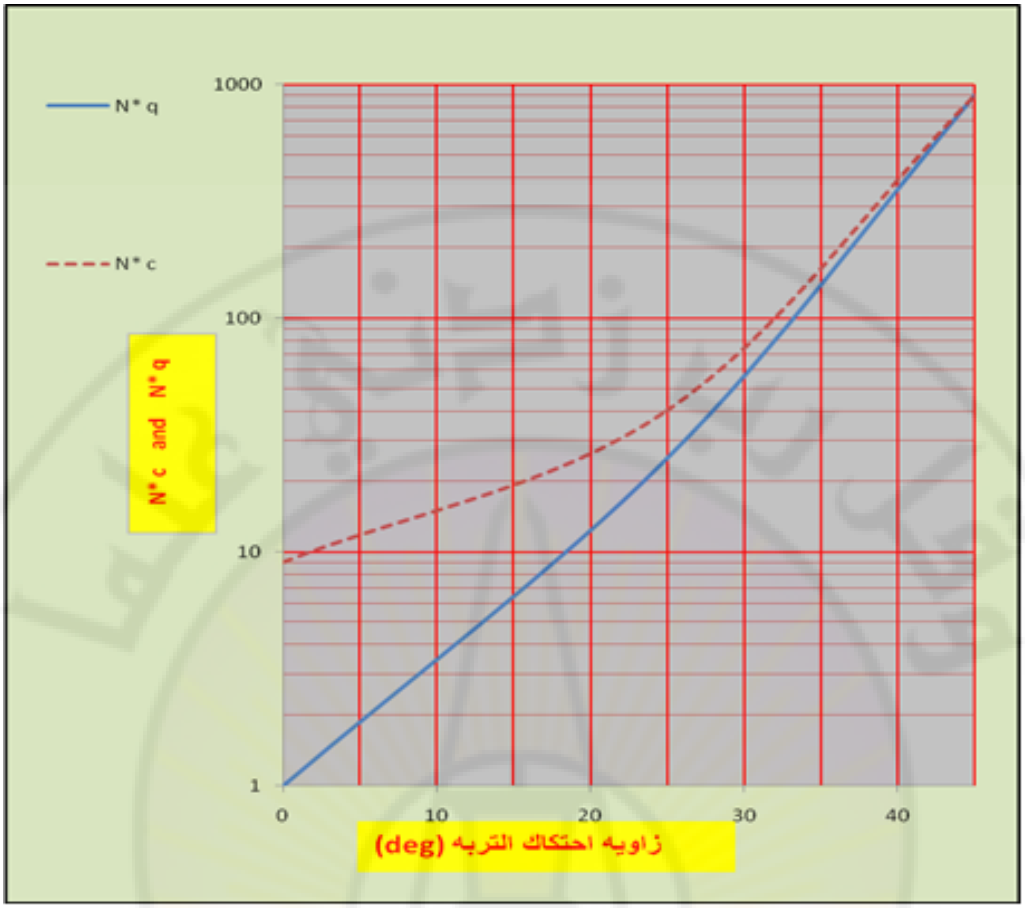
C:تماسك طبقه الارتكاز للوتد 'q: الإجهاد الشاقولي الفعال

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

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

h1, h2, h3…سماكة طبقات التربة

نحدد N^*_c, N^*_q من الشكل (٢-٣)



الشكل:(2-3)قدرة تحمل الوتد حسب ميرهوف

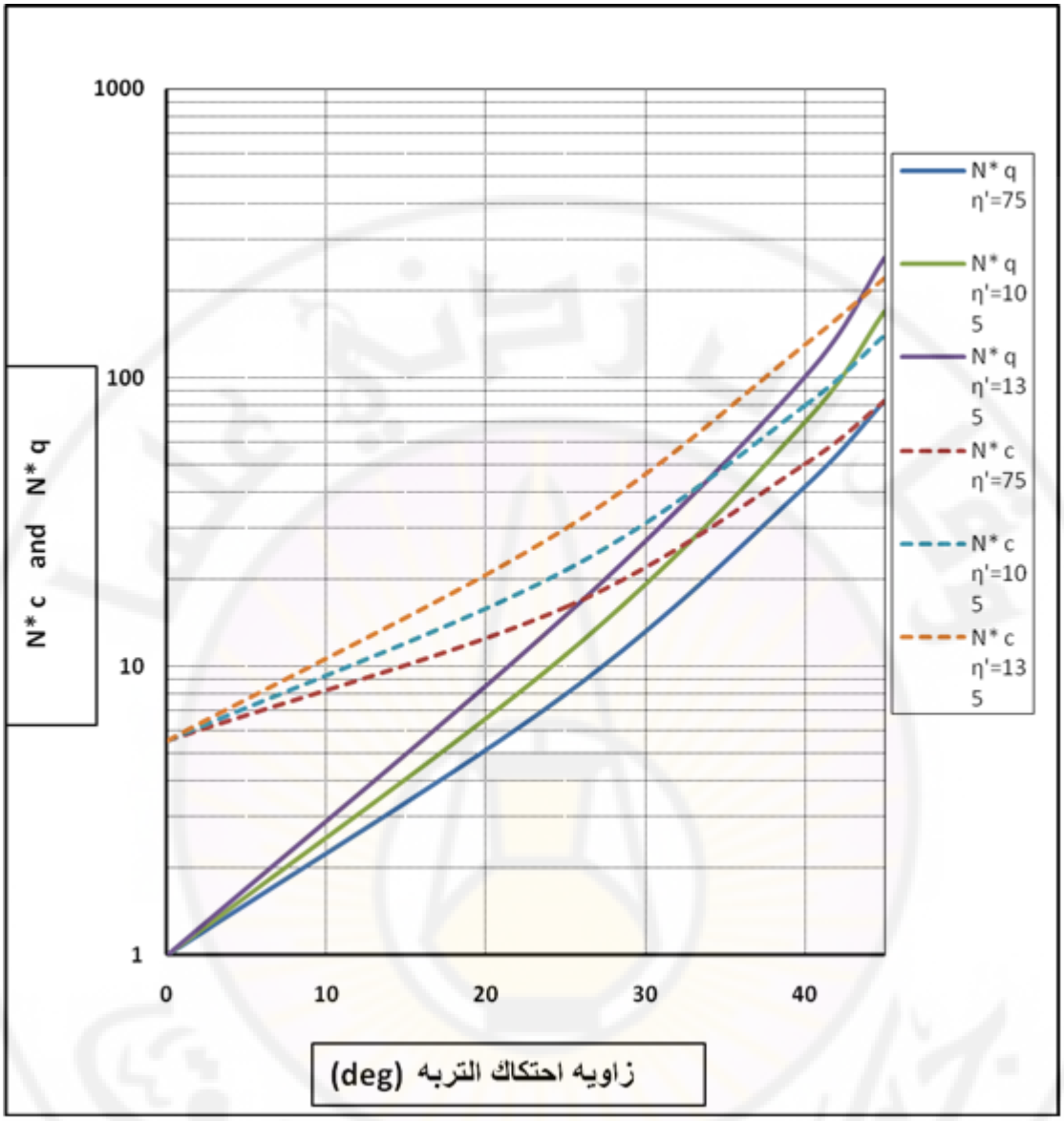
٢-٣-١-٣ طريقه جانبو:

$$Q_p = A_p\,(C\,N^*c + q'\,N^*q) \qquad (٣٥)$$

$$N_q^* = e^{2\eta'\tan(\emptyset)}\left(\tan\emptyset + \sqrt{1+\tan^2\emptyset}\right)^2 \qquad (٣٦)$$

η'عامل يتراوح من ٧٠للتربة الغضارية الطرية حتى ١٣٥للتربة الرملية الكثيفة

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



الشكل:(2-4)قدرة تحمل الوتد حسب جانبو

٢-٣-٢ حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S:

٢-٣-٢-١ حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S حسب طريقة λ

$$Q_s = p\,L\,f_{av} \qquad (٣٧)$$

L: طول الوتد

P محيط الوتد: $p = \pi D$

$$f_{av} = \lambda(\sigma'_v + 2C_u) \qquad (٣٨)$$

σ'_v: الإجهاد الوسطي الشاقولي الفعال

C_u: القيمة الوسطية لمعامل التماسك غير المصرف لكل الطبقات

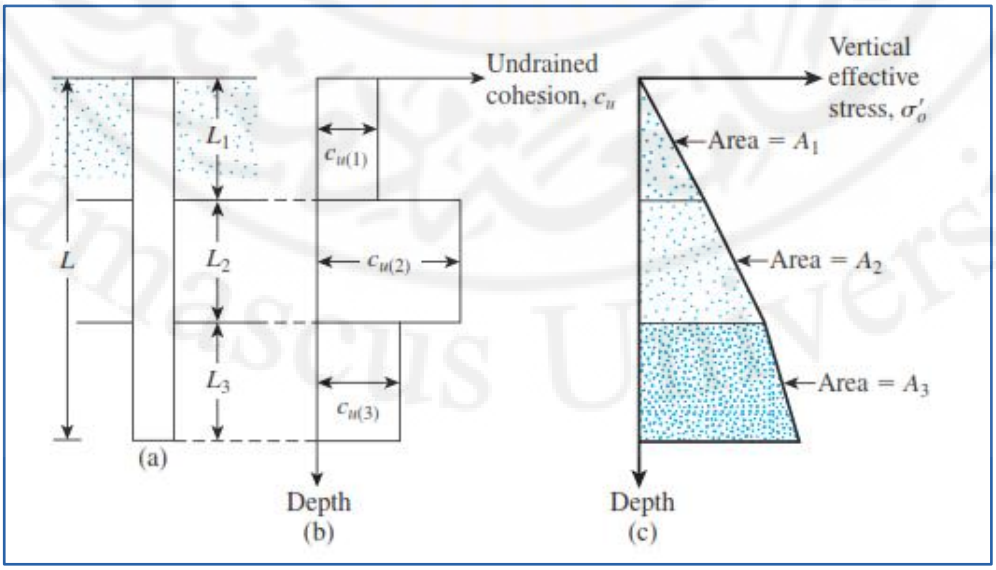
تؤخذ قيمة λ من الشكل (٢-١٨)

$$C_u = \frac{C_{u1}L_1 + C_{u2}L_2 + C_{u3}L_3 \ldots}{L} \qquad (٣٩)$$

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

$$\sigma'_v = \frac{A1+A2+A3+\cdots}{9L} \qquad (٤٠)$$

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



الشكل (٢-٥)حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاك Q_S حسب طريقة λ

٢-٣-٢-٢ حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاكQ_Sحسب طريقة β:

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.

$$f = \boldsymbol{\sigma'_v} \times \beta \qquad (٤١)$$

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

$\boldsymbol{\sigma'_v}$: 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.

$$f = (1 - sin\emptyset_R)tan\emptyset_R\sigma'v \qquad (٤٢)$$

بعد أن نحدد المقاومة الواحدية f نحسب المقاومة الاحتكاك الكلية Q

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

٢-٣-٢-٣ حساب قدره تحمل الوتد الحدية على الاحتكاكQ_Sحسب طريقةα:

بالاعتماد على طريقة α

فإن المقاومة الواحدية السطحية في التربة الغضارية تعطى بالمعادلة التالية:

$$f = \alpha\, C_u$$

α:عامل التلاصق التجريبي.

$$Q_S = \sum fp\Delta L = \sum \alpha\, C_u p\Delta L \qquad (٤٣)$$

٢-٣-٣ 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.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} \qquad (٤٥)$$

F_s:عامل الأمان يتراوح في المجال (٤-٢.٥)

Q_{all}:قدرة التحمل الحمولة المسموحة للوتد

F_s:عامل الأمان على الارتكاز يتراوح في المجال (٣-٤),

F_s:عامل الأمان على الاحتكاك يتراوح في المجال (٢-٣),

Damascus University

حساب الهبوط الكلي للوتد:

$$\boldsymbol{S = S_1 + S_2 + S_3 (46)}$$

$\boldsymbol{S_1}$:هبوط جذع الوتد

$\boldsymbol{S_2}$: الهبوط للوتد المسبب من الحمولة عند رأس الوتد

$\boldsymbol{S_3}$: الهبوط عند رأس الوتد المنقولة على طول جذع الوتد

تحديد قيمةS_1

$$= \frac{(Q_{WP} + \xi\, Q_{WS})L}{A_p E_P} S_1 \qquad (47)$$

Q_{WP}حمولة الارتكاز المسموحة

Q_{WS} حمولة الاحتكاك المسموحة

$A_p = \frac{\pi (D_P)^2}{4}$مساحة المقطع العرضي للوتد

E_P:عامل المرونة لمادة الوتد

L: طول الوتد

$$= QP/FS_1 Q_{WP}$$

$$Q_{WS} = QS/FS_2$$

$$E_P = 2 * 1000000 \frac{ton}{m^2}$$

ξ:عامل توزيع المقاومة الاحتكاكية

تحديد قيمةS_2

$$S_2 = \frac{q_{wp}}{E_s} * D(1 - \mu_s^2) \times I_{wp} \qquad (48)$$

$$q_{WP} = \frac{Q_{WP}}{A_p}$$

Q_{WP}:حمولة الارتكاز المسموحة.

I_{WP}عامل التأثير

E_Sمعامل يونغ

μ_sمعامل بواسون

اقترح فيسك عام 1977 طريقة تقريبية تجريبية للحصول على قيمة هذا الهبوط

$$I_{ws} = C_p(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L}{D}})$$

C_pمعامل تجريبي يحدد قيمته من الجدول: (2−3)

q_p :المقاومة الرأسية الحدية للوتد

الجدول(2−3) تحديد قيمةCp

نوعية التربة	وتد مدقوق	وتد مصبوب
رمل كثيف أو مخلخل	0.02-0.04	0.018−0.09
غضار كثيف أو رخو	0.02-0.03	0.03-0.06
سلت كثيف أو مخلخل	0.03-0.05	0.09-0.12

تحديد قيمةS_3:الهبوط للوتد المسبب بالحمولة المحمولة على جذع الوتد

$$S_3 = \frac{D}{E_S}(1 - \mu_s^2)\, I_{Ws}\, \frac{Q_{Ws}}{pL} \qquad (49)$$

محيط الوتد:$P P = \pi * D$

μ_sمعامل بواسون

Q_{WS} حمولة الاحتكاك المسموحة

L: طول الوتد المطمور بالتربة

I_{ws}: عامل التأثير يمكن أن يعبر عنه بعلاقة تجريبية بسيطة:

$$I_{ws} = 2 + 0.35\sqrt{\frac{L}{D}}$$

اقترح فيسك طريقة بسيطة للحصول علىS3:

$$S3 = \frac{C_s Q_{ws}}{L \times q_p}$$

C_s: معامل تجريبي يحدد من العلاقة:

$$I_{ws} = C_p(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L}{D}})$$

يتم حساب قيمة C_p من الجدول (2−8)

4-2 مقاومة السحب للوتد:

تتعرض الأوتاد لقوى رافعة ناتجة عن قوة الرياح التي تؤثر على المنشآت العالية مسببة بقوى سحب للأوتاد باتجاه الأعلى.

يمكن أن تحسب المقاومة الكلية الحدية للوتد المعرض لقوى رافعة:

$$T_{ug} = T_{un} + W \qquad (50)$$

T_{ug}:قدرة الرفع الكلية

T_{un}:قدرة الرفع الصافية

W: الوزن الفعال للوتد

$$T_{un} = L \times P \times \alpha' \times C_u \qquad (51)$$

L :طول الوتد.

P:محيط مقطع الوتد.

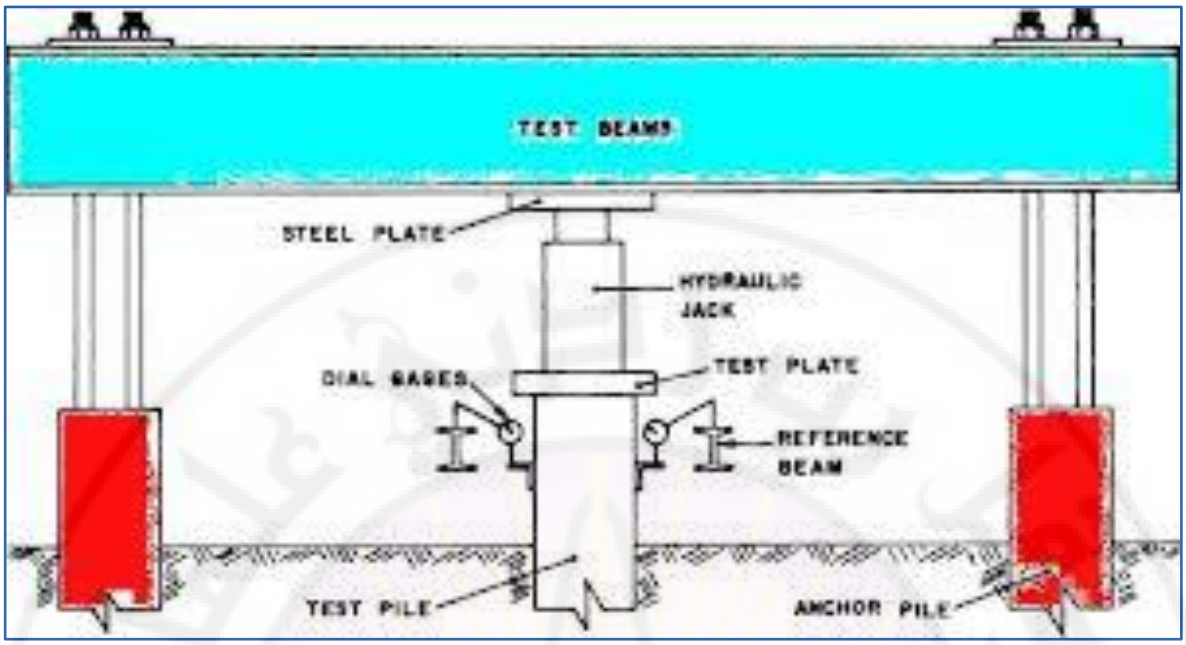
$C_u C_u$: التماسك غير المصرف للغضار.

α':معامل التماسك عند منطقة التماس بين الوتد والتربة المحيطة به.

تجارب تحميل الوتد:

في معظم المشاريع الكبيرة، يجب إجراء عدد محدد من تجارب تحميل على الأوتاد، مبدئيا بسبب عدم واقعية طرق التخمين، يمكن تجريب قدرة تحمل الحمولة الشاقولية للوتد في الحقل يظهر الشكل رقم (2-6) رسم بياني تخطيطي لتنظيم تجربة تحمل الوتد في الحقل، هذا التنظيم هو من أجل إجراء تجربة الضغط للوتد حيث تطبق الحمولة على الوتد بواسطة مكابس هيدروليكية، تطبق الحمولة على خطوات ويترك وقت كافي بعد كل خطوة لقياس الهبوط مع الزمن عند تطبيق كل حمولة يسجل الهبوط بالواسطة آلات القياس، تعتمد قيمة الحمولة التي ستطبق في كل مرحلة على كودات الأبنية المحلية المطبقة، بعد الوصول إلى حمولة الوتد المرغوبة، فإن حمولة الوتد تفرغ بالتدريج. يبين الشكل رقم (2-7) تجربة تحميل حقلية على الضغط منفذة بواسطة أحمال ستاتيكية (مكعبات بيتونية).

يمكن إجراء تجارب التحميل للأوتاد في الرمل مباشرة بعد دق الأوتاد، من ناحية ثانية فانه يجب اتخاذ الحذر وتقدير الوقت اللازم بين دق الأوتاد وتحميل الأوتاد عندما تطمر الأوتاد في الغضار يتراوح هذا الوقت اللازم بين 30- 60 يوم أو أكثر لان التربة تتطلب بعض الوقت لتحصل على مقاومة استرداد القوام، يمكن استخدام تقنية أخرى في تجربة تحميل الوتد هي تجربة المعدل الثابت للاختراق في هذا النوع من التجربة فان الحمولة على الوتد تزداد بشكل مستمر للحفاظ على معدل ثابت للاختراق، أشكال أخرى من تجارب تحميل الوتد تتضمن التحميل الدوري الذي هو حمولة متغيرة تطبق وتفرغ بشكل متكرر.



الشكل (2–6): رسم بياني تخطيطي لتنظيم تجربة تحمل الوتد في الحقل





الشكل (2–7): تجربة تحميل حقلية على الضغط منفذة بواسطة (مكعبات بيتونية)

2-5-1 تنفيذ تجارب التحميل على الضغط:

تجارب التحميل على الضغط للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد ASTM المواصفة D1143–81 الفصل 2.4

- أجهزة تطبيق الحمولة: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D1143-81(modified 1995) الفصل 2.4
- أجهزة قياس الحركة: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D1143-81 الفصل 3.1 - 3.2.1-3.2.3
- إجراءات التحميل: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D1143-81 الفصل 4.2 و/أو إجراءات التحميل النظامية.

2-5-2 تنفيذ تجارب التحميل على الشد:

- ❖ تجارب التحميل على الشد للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد ASTM المواصفة D 3689−87
- ❖ أجهزة تطبيق الحمولة: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D 3689-87 الفصل 2.4
- ❖ أجهزة قياس الحركة: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D 3689-87 الفصل 4.3 - 4.4 - 4.5.
- ❖ إجراءات التحميل: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة D 3689-87 −D الفصل 4.2 إجراءات التحميل النظامية.

الفصل الثالث

تجارب التحميل الحقلية للأوتاد

3-1 مقدمة:

لابد في البداية من متابعة أعمال التأكيس والحفر والصب للأوتاد بعد ذلك يتم تنفيذ التجارب الحقلية في التحميل على الضغط بحسب إجراءات الجمعية الأمريكية لفحص المواد ASTM المواصفة D1143-81.

على الشد أُجريت تجارب التحميل للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب إجراءات الكود الأمريكي ASTMD 3689 – 87.

تم لكل تجربة من تجارب التحميل الحقلية تحديد نتائج القياس لكل مرحلة من مراحل التحميل وذلك لقيم الهبوط مع الزمن لكل حمل جزئي حسب التزايد المطلوب حتى الوصول للحمل الكلي للتجربة وتحديد نتائج القياس لكل مرحلة من مراحل نزع التحميل وذلك لقيم الهبوط مع الزمن لكل حمل جزئي حسب التناقص المطلوب حتى رفع كامل الحمولة والرجوع للصفر وبعد ذلك تم تحليل نتائج التجارب من خلال رسم البرنامج الزمني لتطبيق الحمولات ثم رفعها بشكل تدريجي ثم رسم منحني العلاقة بين الحمولة والهبوط لكل مرحلة من مراحل التحميل ونزع التحميل.

4-2 الإجراءات العملية لتنفيذ التجارب الحقلية للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان:

4-2-1 يتم في البداية حفر الوتد ويوضع الحديد ويُصب الوتد بالقطر المطلوب والارتفاع المطلوب:



الشكل (4-1): مراحل تنفيذ الأوتاد

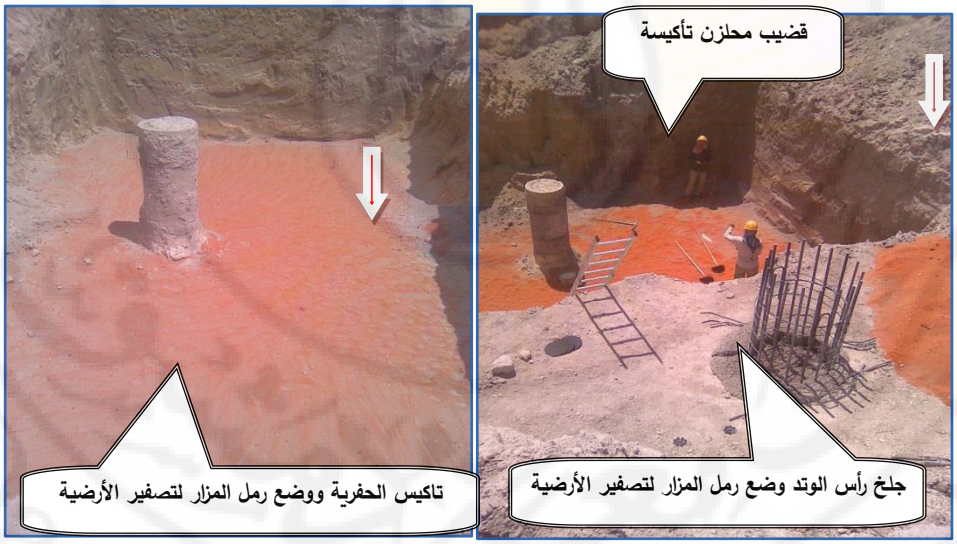
بعد تصلب الوتد لمدة 56 يوم بسبب صب الوتد بالبيتون المقاوم للكبريتات[63] وبعد اختبار المكعبات البيتونية المأخوذة من صب الوتد ومعرفه مقاومه الوتد الفعلية للبيتون المصبوب يتم تجهيز الوتد لتجربة الضغط وذلك بقص الحديد الزائد بحالة وتد غير عامل ثم تكسير رأس الوتد حوالي 50سم المصبوبة أصلاً زيادة فيه كما في الشكل رقم (4-2).

إن تنفيذ الحفر على جوانب الوتد لكشفه ومتابعة عمليات تكسير رأس الوتد بحاجة لدقة وخبرة ويتم وضع طبقة رقيقه من رمل المزار فوق النظافة لزيادة الاحتكاك وتثبت المكعبات.



الشكل (4-2): حفر وتكسير رأس الوتد

يتم جلخ رأس الوتد وتفريغ التربة من جوانبه وهذا عمل فني وبحاجه لدقة كبيرة في تنفيذه لأن زيادة الحفر ممكن أن تؤدي إلى زيادة في طول رأس الوتد عند الاختبار مما ينعكس سلبيا على التجربة أي أننا نقوم بحفر 90 سم ثم باليد العاملة نقوم بحفر 10 سم الأخيرة ويمكن صب طبقة بيتون نظافة تأكيسه أو وضع رمل المزار و تصفيره سماكه 10 – 15 سم عيار 200 كغ/سم^2 لتصفير الأرضية.



الشكل (4-3): تأكيس الحفرية

4-2-2 طريقة التنفيذ:

بعد تأكيس الحفرية وشد الخيطان تنزل المكعبات في كل زاوية مكعبان ومكعب فوقهما في مركزهما مع ملاحظة أن لكل مكعب خطاف من الأعلى أو خطافان للحمل والتنزيل،يوضع على رأس الوتد صفيحة معدنية سماكتها 5 سم تتمركز في منتصف الوتد تماماً ولها مقبضان حديديان لرفعها وتثبيتها من خلالهما ويوضع صفيحة ثانية فوقها أيضاً وذلك لملئ الفراغ بين الوتد والطاولة بعد وضع صفيحتين فوق بعضهما البعض على رأس الوتد مع ملاحظة أن يكون رأس الوتد أفقي لذلك يتم جلخه

بالصاروخ بشكل تام ودقيق ثم مراقبته بالنيفو قبل التجربة لتامين الارتكاز الكامل للصفيحة فوق رأس الوتد.

في كل زاوية نضع مكعبين في الأسفل ثم يوضع رمل المزار ثم مكعب مركزي فوقهما ثم رمل مزار وهذه العملية في النقاط الزاوية للوتد.

كل مكعب وزنه طن2.2أبعاد المكعب [1 * 1 * 1]متر وله في رأسه إما حلقة واحدة أو حلقتين وهذه الحلقة تكون متمفصلة بحيث تثنى عند وضع مكعب فوق الآخر لكي يحصل الاستناد الكامل.



الشكل (4-4): تركيب المكعبات

يثقب الوتد بأربع أماكن متناظرة على محيطة وتبعد عن رأس الوتد مسافة 75 سم ويوضع فيها قضيب حديد قطر 8 مل محلزن تلحم عليه زاوية معدنية صغيرة 6 * 6سم ليوضع عليها مؤشرات التشوه.



الشكل (4-5): تثبيت الزوايا في وتد الاختبار

ويوضع رمل المزار فوق المكعب لاستناد الصفيحة بشكل كامل على المكعب ومنع الالتقاء الرأسي (بين رأس الوتد) مثل المسند أو المخدة.

بعد وضع الصفيحتين السفليتين نضع أربع جكات للضغط،ثم نضع فوق الجكات صفيحة معدنية ثانية

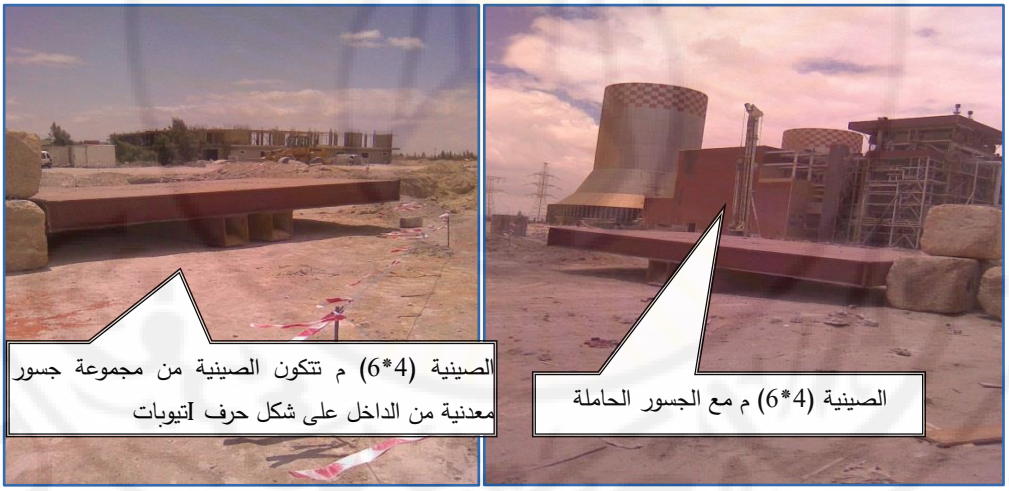
فوق رؤوس الجكات وتُعاير الأفقية بواسطة النيفو.



الشكل (4-6): تركيب الصفائح المعدنية و الجكات الهيدروليكية على رأس الوتد

4-2-3 الصينية(طاولة تحميل المكعبات البيتونية):

تتكون الصينية من مجموعة جسور معدنية من الداخل على شكل حرفI تيوبات ارتفاع الصفيحة 45 سم ارتفاع الجسور 55 سم ارتفاع الصفيحة مع الجسور 100 سم كل جسر مؤلف من أربع صفائح ملحومة والجسر مفرغ من داخله وموصولة من الجانبين بجسرين معدنيين طوليين الشكل رقم (4-7)

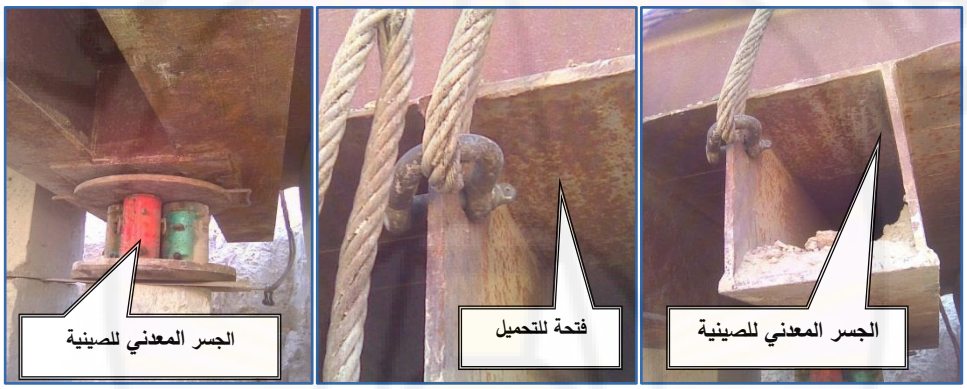


الشكل (4-7): الطاولة المعدنية

يوجد فتحة واحدة جانبيه من الداخل ملحومة مع حلقة للتحميل والتنزيل سماكه الصفائح المكونة للجوائز 2.5 سم من كل طرف و3 سم من الأسفل والأعلى، سماكات للجسور 2.5 إلى 3 سم جاهزة بالسوق لذلك صنعت الجسور من صفائح معدنية 2.5 إلى 3 سم بالورشة لإجراء التجارب وتحمل ثقل المكعبات البيتونية،إن الصدئ قد يؤدي إلى تأكل الصينية والجسور الحاملة لذلك كان يفضل دهانها بعده طبقات لحمايتها من الصدئ الشكل رقم (4-8) والشكل رقم (4-9).



الشكل (4-8): أبعاد الطاولة المعدنية



الشكل (4-9): تفاصيل الصينية المعدنية



الشكل (4-10): جسور الطاولة المعدنية

يصنع حوامل عدد أربعة مكونة من قضبان تسليح قطر 18 ملم تُلحم على شكل حرف Xالهدف منها تحميل المجاري المعدنية وهي على شكل(beamI) طول الواحدة 8 متر كما في الشكل رقم (4-11).



الشكل (4-11): المجاري المعدنية الحاملة للمؤشرات

بعد تجهيز الحوامل المعدنية نقوم بتلحيم المجاري المعدنية عليها بحيث يتم تثبيتها بشكل تام ولا يسمح بالحركة للمجاري المعدنية التي سوف تحمل مؤشرات الهبوط،يتم فك الارتباط بين الجسور الحاملة على الحوامل مع المكعبات الحاملة للصفيحة بحيث لا تتأثر قراءة التشوهات لهبوط المكعبات الحاملة نتيجة تطبيق الحمولات لذلك يتم تثبيت الجملة الحاملة للمؤشرات التي تقوم بقراءة الهبوط أثناء التجربة بعيدة عن مكان إجراء التجربة بحيث لا تؤثر على قراءات الهبوط أن نقطة تثبيت الجملة الحاملة للمؤشرات التي تقوم بقراءة الهبوط أثناء التجربة بعيدة عن مكان إجراء التجربة بمسافة أكبر من (3- 2.5 D)[35]-[65] الشكل رقم (4-14).



الشكل (4-12): تثبيت المجاري المعدنية على الحوامل



الشكل (4-13): صور للجملة الخارجية الحاملة للمؤشرات



الشكل (4-14) المجاري المعدنية

عمليه تنزيل الصفيحة عملية صعبة ودقيقة بحاجة لفنيين مدربين لتوجيه الرافعة الدوارة التي قد لا تكفي لوحدها لذلك قد نحتاج لرافعة أخرى للتنزيل ويجب التأكيس الصفيحة المعدنية على القاعدة العلوية للصفيحة المعدنية الموضوعة على رأس الوتد كما في الشكل رقم (4-15).



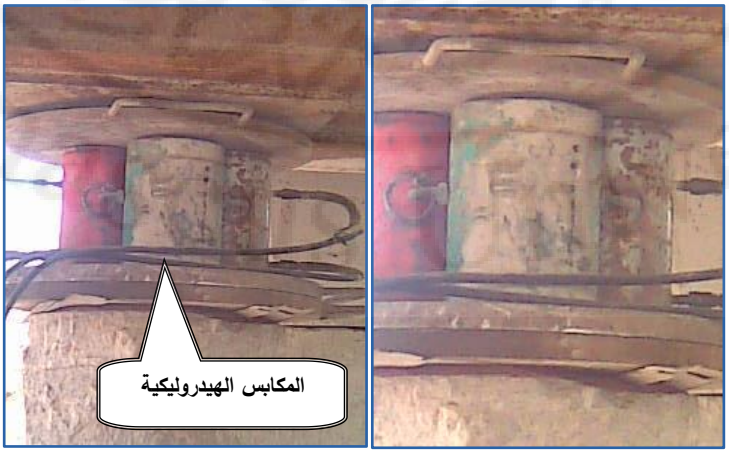
الشكل (4-15): تنزيل الصينية على المكعبات

حيث يوجد بين الجسرين صفيحة معدنية متمركزة لنقل الحمولة من الصفيحة عبر الجسرين إلى الصفيحة المعدنية العلوية الموضوعة على رأس الوتد كما في الشكل رقم (4-16).



الشكل (4-16): الصفائح المعدنية والجكات الهيدروليكية

وهذا التمركز عملي صعبة ودقيقة وبحاجة لدقة لذلك يجب أن تتمركز الصفيحة الموضوعة على رأس الوتد حول مركز الوتد بشكل دقيق وكذلك يجب أن تتمركز الصفيحتين السفليتين الموضوعتين فوق رأس الوتد بشكل دقيق مع جسم الوتد بحيث يكون بروزها نفسه من أطراف الوتد كما في الشكل رقم (4-17).



الشكل (4-17): المكابس الهيدروليكية

بعد تنزيل الصينية يبقى حوالي 6 إلى 7 سم بين الصفيحة الرابطة للجسرين مع الصفيحة العلوية فوق رأس الوتد هذه المسافة يتم رفع الكريكويات الأربعة حتى التلامس الشكل رقم (4-18).



الشكل (4-18): تركيب الجكات الهيدروليكية

طريقة تركيب المكعبات: كما في الشكل في حال كون الصينية خفيفة حوالي 8 طن يتم تركيب المكعبات على الزوايا الأربعة ثم يعبئ المنتصف كل صف في صفه.

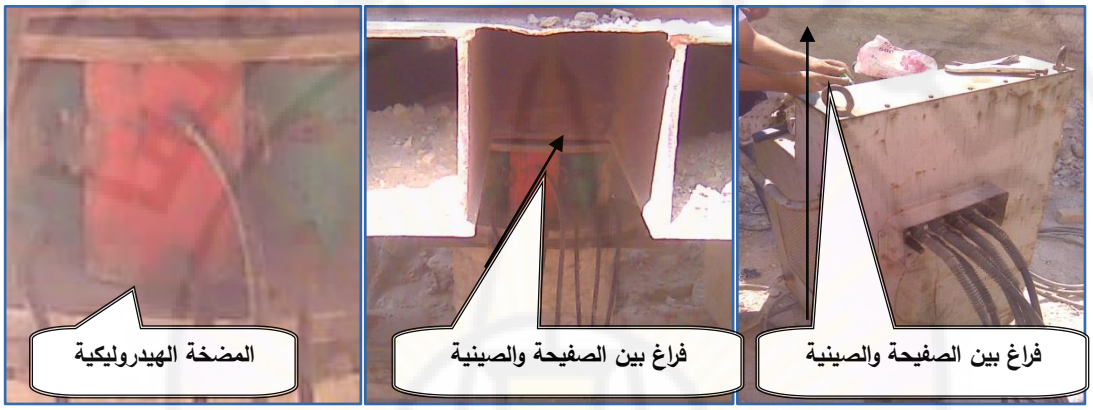


الشكل (4-19): توضع المكعبات البيتونية على الطاولة المعدنية

تستند الصفيحة على المكعبات الأرضية بحيث يبقى ظفرين متناظرين من الأطراف،تكون الصينية زئبقيه ومستوية تماما حتى لا تميل المكعبات مع الحمولة حيث المسافات مع المكعبات في الاتجاهين متناظرة إن ترك ظفرين متقابلين ومتساويين للصفيحة من كل طرف لتحقيق عدم تحنيب الصفيحة وعدم حدوث سهم في منتصف الصينية كما في الشكل رقم (4-20).

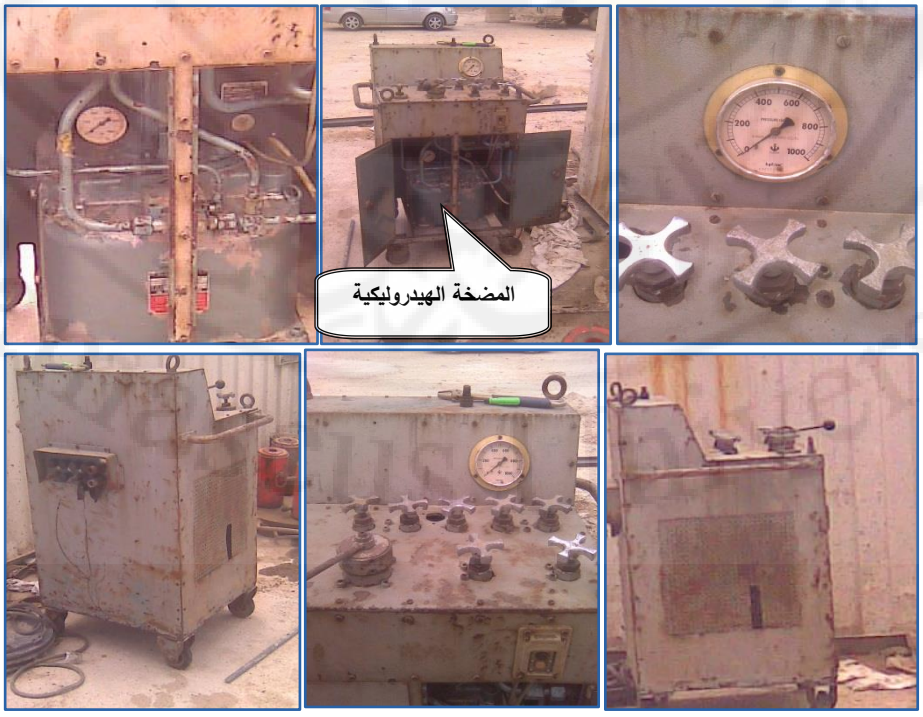


الشكل (4-20): المكعبات الحاملة للصينية



الشكل (4-21): فراغ بين الصفيحة والصينية

قبل بدء التجربة تتم معايرة الساعات مؤشرات الضغط للمضخة الهيدروليكية ثم تتم معايرة المؤشرات لحساب الهبوط حيث توضع المؤشرات الأربعة لقياس الهبوط تُركب على الجسور المعدنية وتُوضع رؤوسها على الزوايا المعدنية المثبتة بجسم الوتد.



الشكل (4-22): المضخة الهيدروليكية

بعد معايرة لساعات قراءة الضغوط تعاير الساعة على طرنبة الضغط الموصولة مع المكابس الهيدروليكية عدد أربعة.



الشكل (4-23):المكابس الهيدروليكية

4-2-4 مرحله تركيب مؤشرات قياس الهبوط:

زاوية 6 * 6 سماكه 5 ملم مثبته على الوتد بواسطة قضيب معدني محلزن قطر 8 مم يدخل لجسم الوتد لمسافة 10 سم تثبت المؤشرات على الجسور المعدنية الحديدية المحمولة على الحوامل المعدنية، المؤشر مؤلف من علبه وحامل له ذراعان وساعة لقياس التشوه تثبت العلبة على الجسر الحامل المعدني (beamI) وتثبت ساعة قراءة التشوه على الزاوية المعدنية الملحومة على الوتد البيتوني المختبر يجب أن تكون ساعة المؤشر شاقوليه يجب تصفير المؤشرات قبل البدء بالتجربة الشكل رقم (4-24).





الشكل (4-24): المؤشرات الالكتروني

بعد الانتهاء من التحضيرات لإجراء التجربة ومعايرة مؤشرات قياس الهبوط وتجهيز المكابس الهيدروليكية تصبح التجربة جاهزة للتنفيذ.

4-3 مثال تطبيقي لتجربة تحميل حقلية على الضغط:

4-3-1 تجربة الضغط وتد قطر 60 سم وتد عامل (WORKING PILE):

1-تم كشف 100 سم فقط من رأس الوتد طبعاً بعد تكسير وقص وجلخ رأس الوتد بشكل أفقي تماماً.

2-تم قص 50 سم إضافية من رأس الوتد وذلك لكون التربة سلتية عضوية مفككة، وخشية اختلاط البيتون مع التربة المفككة والمنهارة أثناء الصب لذلك تم قص 100 سم من رأس الوتد لضمان أن البيتون المصبوب نظيف ولا يحتوي أتربه مخلوطة مع البيتون وذلك ليضمن أن البيتون نظيف ومقاوم تم حساب مقاومه المكعبات البيتونية المصبوبة لهذا الوتد وذلك لتحقق من مقاومة البيتون قبل إجراء التجربة لتفادي ظهور شقوق مما يؤدي لانهيار الوتد بسبب طبيعة مادة جسم الوتد.

3-تم الحفر للمنسوب المطلوب ثم نضع رمل المزار في أرضيه الحفرة لوتد الاختبار.

4- يتم تأكيس الحفرية حسب أبعاد الطاولة بخيطان أفقي وطولي من جوانبها الأربعة ووضع المكعبات المحيطة بالوتد بشكل منتظم وعلى زوايا الخيطان.



الشكل (4-25): تجهيز الحفرية حول الوتد




الشكل (4-26): تكسير رأس الوتد



الشكل (4-27): تأكيس الحفرية وفرش رمل المزار

جدول (4–1) مواصفات وتد التجربة– تجربة الضغط وتد عامل قطر 60 سم

نوع الوتد	قطر الوتد [سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	الحمولة النهائية [طن]
وتد مصبوب بالمكان	60	18	130	195=1.5*130

نقوم بتشغيل الكريكويات بعد توصيل الكهرباء إلى الطرنبه لرفع الكريكويات حتى يتم التلامس بين الصفيحة العلوية والصينية بحيث لا يحدث تشوه في المؤشرات عندما يتم التلامس ولا يحدث تغير في قراءة المؤشرات للتشوه عندها تكون الطاولة أصبحت ملامسة للصفيحة العلوية، تجهز الاستمارات الخاصة بالتجربة وترقم المؤشرات بـ 1.2.3.4 مع جهة دوران عقارب الساعة من الشمال للجنوب وتبدأ الطرنبه بالضغط ونبدأ بأخذ القراءات، يجب مراقبة المؤشرات بشكل دائم ومراقبة الضغط في ساعة الضغط في الطرنبه ليكون الضغط مستقر بشكل دائم أثناء إجراء التجربة وفي كل مرحلة من مراحل تطبيق الحمولات.

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة:

تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25%من الحمولة التصميمية[130 ton] في كل مرحلة وصولاً

للحمولة النهائية التي تساوي مرة ونصف الحمولة التصميمية جدول (4-2).

جدول (4-2) ترتيب تطبيق الحمولات على الوتد المختبر تجربة الضغط وتد 60 سم وتد عامل

النسبة المئوية	25%	50%	75%	100%	125%	150%
الحمولة المحسوبة نظرياً[طن]	0.25×130 =32.5	=0.50×130 65	=0.75×130 97.5	=1.00×130 130	=1.25×130 162.5	=1.50×130 195
الحمولة المطبقة فعلياً[طن]	35	70	105	140	175	195

مراحل رفع الأحمال للتجربة:

تناقص الحمولة لوتد الاختبار يساوي % 25في كل مرحلة حتى نزع كامل الحمولة المطبقة يتم تفريغ الحمولة بشكل عكسي لتطبيق الحمولة نأخذ قراءات المؤشرات كما أخذت في السابق للمؤشرات الأربعة في كل مرحله من مراحل تفريغ الحمولة جدول (4-3).

جدول (4-3) ترتيب رفع الحمولات عن الوتد المختبر تجربة الضغط وتد 60 سم وتد عامل

النسبة المئوية	125%	100%	75%	50%	25%	0%
الحمولة المحسوبة نظرياً[طن]	1.25×130 =162.5	=1.00×130 130	=0.75×130 97.5	=0.50×130 65	=0.25×130 32.5	0=0×130
الحمولة المرفوعة فعلياً [طن]	175	140	105	70	35	0

5- يتم وضع مكعبين في كل زاوية ونضع عليهما وفي مركزهما مكعب آخر وتُحمل عليه الطاولة المعدنية الحديدية التي بدورها تحمل المكعبات البيتونية نلاحظ أن الطاولة ترتفع فوق رأس الوتد بعد قصه وجلخه مسافة متر واحد هذا المتر يستفاد منه بوضع صفيحة معدنية سماكتها بحدود 5 سم لها حلقتين لحملها بالرافعة عدد اثنان فوق رأس الوتد مباشرة ثم توضع الجكات الأربعة فوق الصفيحة المعدنية ويجب الانتباه والملاحظة أن الصفيحة المعدنية السفلية يجب أن تكون زئبقية 100% فوق رأس الوتد لذلك يجب التأكد أن رأس الوتد بعد قص الحديد وتكسير البيتون يجب جلخه بدقة بحيث يكون أفقي100% لأن عند وضع الصفائح المعدنية يجب أن تكون أفقية فوق رأس الوتد ونلاحظ في هذه التجربة أنه تم جلخ رأس الوتد بشكل جيد ونلاحظ أن الصفيحة المعدنية تستند على رأس الوتد بشكل كامل وهذا ما يؤكد زئبقية رأس الوتد أثناء جلخه.



الشكل (4-29): المكعبات الحاملة للطاولة الفولاذية

6- توضع الجكات وهنا يجب التحقق من المركزية الكاملة للجكات في منتصف الوتد فوق الصفائح المعدنية أي بعد وضع الصفيحتين المعدنيتين السفليتين توضع الجكات الأربعة في مركز الصفائح بحيث تكون متمركزة فوق منتصف الوتد بشكل دقيق منعاً من عدم اللامركزية حيث تؤدي اللامركزية بعدم تطبيق الضغط بشكل منتظم على الوتد عند وصول الضغط لحد معين حيث لا يؤدي زيادة الضغط في الطرنبة إلى الضغط على الوتد بسبب وجود اللامركزية التي لا تؤدي إلى تطبيق الضغط بشكل تام ومركزي في رأس الوتد.



الشكل (4-30): تركيب الصفائح والمكابس الهيدروليكية على رأس الوتد

7- بعد التأكد من المركزية في وضع الجكات الأربعة يتم وضع الصفيحة العلوية ذات نفس السماكة للصفيحتين السفليتين وتكون متمركزة أيضاً في منتصف الجكات بشكل متناظر مع الصفيحتين السفليتين سماكه الصفيحة العلوية مثل سماكه الصفيحة السفلية.

بعد وضع الصفيحتين السفليتين و الجكات والصفيحة العلوية فوق الجكات يبقى مسافة عشرة سم فراغ بين الصفيحة العلوية والطاولة التي تحمل المكعبات وبالتالي لحد هذه اللحظة لم يتم التحميل على الطاولة (للمكعبات) والطاولة محمولة على المكعبات التي تنقل الحمل بدورها إلى التربة.



الشكل (4-31)الفراغ بين الصفيحة العلوية والطاولة الحاملة للمكعبات

إذاً في بداية التجربة وقبل البدء بتطبيق الحمولة يكون الحمل بشكل كامل محمول على المكعبات الأربعة العلوية التي تنقلها على المكعبات الثمانية السفلية التي تنقلها على الأرض لذلك فان الضغط المنقول قبل بدء التجربة يكون مساوياً إلى وزن المكعبات الموضوعة فوق الطاولة + وزن الطاولة التي تقدر بـ 18 طن.

عدد المكعبات فوق الطاولة 4*6*6 حيث يوجد ستة صفوف =144 مكعب + 18 طن وزن الطاولة

وزن المكعب الواحد بأبعاد 1*1*1 = 2.2طن

يكون الجمع مساوياً 144*2.2 = 316.8 + 18 طن للطاولة = 334.8 طن>195طن



الشكل (4-32): صورة لتجربة تحميل حقلية على الضغط

عند تركيب المكعبات فوق الطاولة يمكن وضع حشرات خشبية بين المكعبات كما في الشكل وذلك بسبب عدم استوائية المكعبات المصبوبة أو انكسارها عند نقلها لأكثر من مرة مما يتوجب علينا دقة النقل والحذر والانتباه الجيد أثناء التركيب والنقل حرصاً على عدم انكسارها وهذه الحشرات تساعد على رصف المكعبات فوق بعضها وتمنع حركتها كما يمكن وضع طبقة من رمل المزار فوق كل مكعب قبل وضع المكعب الذي يعلوه لضمان تنزيل المكعب واستقراره بشكل كامل فوق المكعب الذي يعلوه.



الشكل (4-33) المكعبات البيتونية مع الحشرات الخشبية بين المكعبات

8- **مرحلـه تحضـير الجكـات وتوصـيل الكـبلات:** بـين الطرنبـة والجكـات حيـث يـتم فتـح الصـبابات فـي الطرنبـه الهيدروليكيـة حيـث تكـون مغلقـة بسـده بلاسـتيكية منعـاً لـدخول الغبـار والأوسـاخ وانسـداد الصـبابات بعـد فـك السـدادة البلاسـتيكية تركـب البرابيش بـين الطرنبـه والجكـات وتلـف بشـكل كامـل بالتفلون لضـمان عـدم تسـرب الزيـت وأخـذ كامـل الضـغط المطبـق بـين الطرنبـة والجكـات وبـالطرف الآخـر للبرابيش يفـك الغطـاء البلاسـتيكي لرأس الصـباب الآخـر الـذي يوضـع عـادة لمنـع امتـلاء رأس البربيش بالغبار والأوساخ مما يمنع وصوله للمكابس الهيدروليكية، يفك الغطاء البلاستيكي وينظف جيداً ويوصل مع البربيش السابق ويلف عليه التفلون أيضاً وهكذا يكون قد تم وصل برابيش الزيت بين الجكات(المكابس الهيدروليكية و الطرنبه الهيدروليكية)(مضخة توليد الضغط).



الشكل (4-34): المضخة الهيدروليكية والمكابس الهيدروليكية

9- مرحله تركيب الجسور المعدنية الحاملة للمؤشرات

تؤخذ شقله من رأس الوتد للأسفل بمقدار 10 إلى 15 سم على محيط الوتد وتُعلم بواسطة طبشورة أو قلم علام خاص حتى يتحقق بنفس المنسوب على كامل محيط الوتد ثم يتم ثقب الوتد بواسطة مثقب خاص عدد أربعه يوضع فيه قضيب 8 مم محلزن في كل ثقب يوضع قضيب محلزن بحيث يدخل لداخل الوتد مسافة 10 سم ويخرج 10 سم منه يثبت على هذا القضيب زاوية معدنية6*6 سم وتلحم على القضيب عدد أربع زوايا في الزوايا الأربعة المقابلة لزوايا المكعبات الأربعة المحيطة بالوتد

هذه الزوايا الحديدية الأربعة بعد تثبيتها على القضيب المعدني المثبت داخل الوتد ملاحظة (يجب أن يكون القضيب المعدني داخل الوتد ثابت بشكل تام منعاً لحركته إثناء التجربة مما يؤدي لظهور نتائج غير دقيقه للتجربة ناتجة عن حركة القضيب المعدني داخل الوتد ويتم تثبيته بواسطة الإيبوكسي أو بواسطة مواد خاصة.



الشكل (4-35): الزاوية الملحومة على الوتد

10- طول الجسور المعدنية الحاملة للمؤشرات 8 متر أو أكثر تثبت بواسطة حوامل لكل جسر عدد 2 من كل طرف وهذا الحامل للجسر المعدني يجب دقه بالأرض بشكل جيد لمنع حركته أثناء التجربة لذلك يجب أن يكون ثابت تماماً ولا يسمح له بالحركة نهائياً لا بالاتجاه الأفقي ولا بالاتجاه الشاقولي كما يجب أن يكون بعيدا عن منطقه الاختبار هذا الحامل يمكن أن يصنع بالورشة بواسطة قضيب أو قضبان حديد محلزن قطر 18 مم يصنع بشكل حرف اكس الشكل رقم (4-36)



الشكل (4-36): الجسور المعدنية الحاملة للمؤشرات

11- يوضع الجسم الحامل للمؤشر جسم مغناطيسي على الجسور الحاملة الايبيمات الشكل رقم (4-39) وتوضع ساعة المؤشر على الزاوية المعدنية المثبتة على الوتد المختبر قبل بداية التجربة نقوم بأخذ زئبقية ووضعها على الصفيحة السفلية الحاملة للجكات الأربعة ونتأكد من الزئبقية على الصفيحة العلوية أيضاً كما نتأكد من الزئبقية للجسور الحاملة ومن الطاولة الحاملة للمكعبات.

12- طريقة صف المكعبات فوق الطاولة بعد تنزيل الطاولة على المكعبات الأربعة الحاملة ووضع رمل المزار على هذه المكعبات حيث تكون الطاولة أفقية والتحقق بواسطة النيفو من أفقيه الطاولة تماما يتم تنزيل المكعبات عليها بصورة دقيقه نبدأ من الزاوية ونضع مكعب بالاتجاه القصير لكل طبقة من الطبقة الأولى وحتى الطبقة الأخيرة.

4-3-2 تجربة الضغط لوتد عامل قطر 90 سم (WORKING PILE):

يلاحظ في هذا الوتد أن الحديد العامل لم يقص بالمقص وتم ثني الحديد للخارج الشكل رقم (4-38) بشكل يسمح بوضع الجكات والمكابس الهيدروليكية في قلب الوتد، لتحقيق هذا الغاية تم وضع تسميكة عدد 2 سماكه كل منها حوالي خمسة سم وقطرها حوالي 80 سم تقع في قلب الوتد وعلى سطحه العلوي كما في الشكل رقم (4-37).

بحيث يتم جلخ السطح العلوي بالصاروخ وتسويته بشكل أفقي تماماً ثم صب طبقة بيتون تسويه عيار 350 كغ/م^3 لضمان استوائية رأس الوتد ثم توضع التسميكات فوقها ثم توضع الصفيحة العلوية فوق الجكات وهنا عدد الجكات أربعة.

جدول (4-4)مواصفات وتد التجربة- تجربة الضغط وتد عامل قطر 90 سم

نوع الوتد	قطر الوتد [سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	الحمولة النهائية [طن]
وتد مصبوب بالمكان	90	18	250	375=1.5*250

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي25%من الحمولة التصميمية[ton 250] في كل مرحلة وصولاً للحمولة النهائية التي تساوي مرة ونصف الحمولة التصميمية جدول (4-5).

جدول (4-5)ترتيب تطبيق الحمولات على الوتد المختبر تجربة الضغط وتد 90 سم وتد عامل

النسبة المئوية	25%	50%	75%	100%	125%	150%
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=0.25×250 62.5	=0.50×250 125	=0.75×250 187.5	=1.00×250 250	=1.25×250 312.5	=1.50×250 375
الحمولة المطبقة فعلياً [طن]	62.5	125	187.5	250	312.5	375

مراحل رفع الأحمال للتجربة:تناقص الحمولة لوتد الاختبار يساوي % 25في كل مرحلة حتى نزع كامل الحمولة المطبقة جدول (4-6).

جدول (4-6)ترتيب نزع الحمولات على الوتد المختبر تجربة الضغط وتد 90 سم وتد عامل

النسبة المئوية	125%	100%	75%	50%	25%	0%
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=1.25×250 312.5	=1.00×250 250	=0.75×250 187.5	=0.50×250 125	=0.25×250 62.5	0=0×250
الحمولة المرفوعة فعلياً [طن]	312.5	250	187.5	125	62.5	0



الشكل (4-37): صب رأس الوتد



الشكل (4-38): تجربة عامل وتد قطر 90 سم



الشكل (4-39): المؤشرات الإلكترونية

4-4 تجارب التحميل على الضغط:

تعد هذه التجارب من أفضل الطرق في تقدير الحمولة التصميمية للأوتاد حيث تُجرى هذه التجارب في معظم المشاريع الكبيرة على عدد محدد من الأوتاد للتحقق الفعلي من قدرة تحمل الوتد المتوضع في تربة الموقع نفسه وتحليل سلوك الوتد الفعلي عند تطبيق الحمولات الخارجية عليه.

المرحلة الأولى:

تنفيذ أوتاد بيتونية مصبوبة بالمكان: تنفيذ أوتاد بأقطار وأطوال مختلفة حسب الجدول (4-7).

جدول (4-7)نوع وقطر و طول الأوتاد المختبرة

نوع الوتد	طول الوتد(م)	قطر الوتد(سم)	طول الوتد(م)	قطر الوتد(سم)
أوتاد عاملة (WORKING PILE)	18	90	18	60
أوتاد غير عاملة (NON WORKING PILE)	18	90	18	60

المرحلة الثانية:

إجراء تجارب تحميل حقلية بعد تنفيذ كسر للمكعبات البيتونية الخاصة بهوية الوتد المذكور للتحقق من مقاومة الكسر المطلوبة.

أوتاد غير عاملة: الحمولة الكلية المطبقة = 250% من الحمولة التصميمية.

أوتاد عاملة:الحمولة الكلية المطبقة = 150% من الحمولة التصميمية.

وتجارب التحميل بنوعيها تلك تتم لكل قطر من أقطار الأوتاد المنفذة وحسب الطول المدروس لحالات مختلفة لتجارب التحميل الحقلية:على الضغط – على الشد.

سنقوم بهذه المحاضرة باستعراض تجارب التحميل للأوتاد المذكورة آنفاً حيث نستعرض المرجع المستخدم لتنفيذ تجارب التحميل – أجهزة تطبيق الحمولة–أجهزة قياس الحركة –إجراءات التحميل.

4-4-1 المرجع المستخدم لتنفيذ تجارب التحميل على الضغط والإجراءات المتخذة:

أجريت تجارب التحميل على الضغط للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد ASTM المواصفة D1143–81الفصل 2.4

4-4-2 أجهزة تطبيق الحمولة:

حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفة(modified 1995)D1143- 81الفصل 2.4

4-4-3أجهزة قياس الحركة:

حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفةD1143 -81الفصل 3.2.3-3.2.1 - 3.1

إجراءات التحميل: حسب الجمعية الأمريكية لفحص المواد المواصفةD1143- 81 –الفصل 4.2و/أو إجراءات التحميل النظامية.

تجهيزات الاختبار:

1– مكابس هيدروليكية.

2– مضخة هيدروليكية: مزودة بمقياس لقراءة الضغط المطبق ومزودة بمنظم هيدروليكي.

3– طاولة فولاذية: سماكتها 4cm أبعادهاm(4*6) تُحمل عليها المكعبات البيتونية حتى الحمل المطلوب، تطبق الحمولة على الوتد بواسطة المكابس الهيدروليكية التي تنقل هذه الحمولة إلى رأس الوتد وهذه التجهيزات مناسبة فقط للحمولات الشاقولية.

4 –أجهزة قياس الانتقالات: تم تجهيز جسرين معدنيين مرجعيين غير مرتبطين بجملة تطبيق الحمولة على الوتد وكل منهما يتوضع على جانب الوتد ومتوجهين بشكل عمودي على الجسور المعدنية الحاملة للصفيحة الفولاذية.

5–مقياس التشوه: أربعة مشعرات الكترونية موضوعة بشكل متساوي البعد على جوانب الوتد ومثبتة بالجملة الخارجية لقياس الهبوط.

تم لكل تجربة من تجارب التحميل الحقلية على الضغط

- **تحديد نتائج القياس لكل مرحلة من مراحل التحميل وذلك لقيم الهبوط مع الزمن لكل حمل جزئي حسب التزايد المطلوب حتى الوصول للحمل الكلي للتجربة**
- **تحديد نتائج القياس لكل مرحلة من مراحل نزع التحميل، وذلك لقيم الهبوط مع الزمن لكل حمل جزئي حسب التناقص المطلوب حتى رفع كامل الحمولة والرجوع للصفر**

❖ **نرسم منحني العلاقة بين الحمولة والهبوط لكل مرحلة من مراحل التحميل مع الزمن.**

❖ **نرسم منحني العلاقة بين نزع الحمولة والهبوط لكل مرحلة من مراحل نزع التحميل مع الزمن.**

❖ **نرسم البرنامج الزمني لتطبيق الحمولات ثم رفعها بشكل تدريجي.**

❖ **نرسم منحني العلاقة بين الهبوط النهائي والحمولة النهائية لكل مرحلة من مراحل التحميل ونزع التحميل.**

المقارنة بين وتد عامل ووتد تجريبي:

جدول (4-10) المقارنة بين وتد عامل ووتد تجريبي

نوع الوتد	الحمولة	حديد التسليح	سهولة الحركة للعمال وللفنيين
وتد غير عامل	2.5*الحمولة التصميمية	قص حديد التسليح	الحركة سهلة لعدم وجود أوتاد بالموقع
وتد عامل	1.5* الحمولة التصميمية	بقاء حديد التسليح	الحركة صعبة بسبب وجود أوتاد بالموقع

التجربة الأولى: أُجريت حسب الكود الأمريكي المواصفة(D1143- 81(modified 1995 نورد فيما يلي نتائج التجربة جدول (4-11)

جدول (4-11) حمولة الاختبار لوتد عامل قطر 90 سم

نوع الوتد	قطر الوتد[سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	حمولة الاختبار [طن]
وتد عامل	90	18	250	375=1.5*250

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25 % من الحمولة التصميمية في كل مرحلة وصولاً لحمل الاختبار المطلوب جدول (4-12).

جدول (4-12) ترتيب تطبيق الحمولات على وتد الاختبار قطر90 سم وتد عامل

150%	125%	100%	75%	50%	25%
375	312.5	250	187.5	125	62.5

مراحل نزع الأحمال للتجربة:تناقص الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25 % في كل مرحلة حتى نزع كامل الحمولة المطبقة، جدول (4-13)

جدول (4-13)ترتيب رفع الحمولات عن وتد الاختبار قطر90 سم وتد عامل

0%	25%	50%	75%	100%	125%
0	62.5	125	187.5	250	312.5



الشكل (4-44): تسجيل القراءات



الشكل (4-45): متابعة التجربة وتسجيل القراءات للتجربة الأولى

التجربة الثانية:أُجريت حسب الكود الأمريكي المواصفة(1995 (modified 81 -D1143 نورد فيما يلي نتائج التجربة جدول (4-13)

جدول (4-13)مواصفات وتد الاختبار للتجربة الثانية

نوع الوتد	قطر الوتد [سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	حمولة الاختبار [طن]
وتد مصبوب بالمكان	60	18	130	195=1.5*130

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25 % من الحمولة التصميمية في كل مرحلة وصولاً لحمل الاختبار المطلوب جدول (4-14)

جدول (4-14)ترتيب تطبيق الحمولات على وتد الاختبار قطر60 سم وتد عامل

25%	50%	75%	100%	125%	150%
35	70	105	140	175	195

مراحل نزع الأحمال للتجربة:تناقص الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25 % في كل مرحلة حتى نزع كامل الحمولة المطبقة جدول (4-15).

جدول (4-15)ترتيب رفع الحمولات على وتد الاختبار قطر60 سم وتد عامل

0%	25%	50%	75%	100%	125%
0	35	70	105	140	175

- تجارب التحميل على الضغط للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب الكود الأمريكي المواصفة D1143- 81(modified 1995)

المرحلة الأولى:مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي % 25من الحمولة التصميمية في كل مرحلة وصولاً للحمل النهائي المطلوب 32.5 ton = (130*25/100)تزايد الحمولة في كل مرحلة(195 – 162.5 - 130 - 97.5 - 65 - 32.5)ton

جدول (4-16)ترتيب تطبيق الحمولات على وتد الاختبار قطر60 سم وتد عامل

150%	125%	100%	75%	50%	25%
195	162.5	130	97.5	65	32.5

- ❖ 25%►32.5 ton
- ❖ 50%►65ton
- ❖ 75%►97.5ton
- ❖ 100%►130to
- ❖ 125%►162.5ton
- ❖ 150%►195ton

المرحلة الثانية:مراحل رفع الأحمال للتجربة:يتم رفع الحمولة لوتد الاختبار بمعدل % 25من الحمولة التصميمية في كل مرحلة وصولاً لرفع كامل الحمولة وصولاً للصفرتزايد الحمولة في كل مرحلة (0 – 32.5 – 65 -97.5 - 130 -162.5)ton

0%	25%	50%	75%	100%	125%
0	32.5	65	97.5	130	162.5

- ❖ 125%►162.5 ton
- ❖ 100%►130ton
- ❖ 75%►97.5ton
- ❖ 50%►65 ton
- ❖ 25%► 32.5ton
- ❖ 0%►0ton



الشكل (4-50): متابعة التجربة وتسجيل القراءات للتجربة الثانية



الشكل (4-51): موقع إجراء التجربة و متابعة أخذ القراءات للتجربة



الشكل (4-52): متابعة التجربة ليلاً و أخذ القراءات

4-5تجارب التحميل على الشد:

تعد هذه التجارب من أفضل الطرق في تقدير الحمولة التصميمية للأوتاد حيث تُجرى هذه التجارب في معظم المشاريع الكبيرة على عدد محدد من الأوتاد للتحقق الفعلي من قوة الرفع للوتد المتوضع في تربة الموقع نفسه وتحليل سوك الوتد الفعلي عند تطبيق الحمولات الخارجية عليه.

4-5-1 تصميم وتنفيذ الجملة الإنشائية المقاومة لرد فعل المكابس الهيدروليكية نتيجة تطبيق حمولات الشد:

في البداية تم تصميم جائز معدني بشكل حرف (IB) عرض جناحه 22سم وارتفاعه 60 سم،وجد أن هذا الجائز غير قادر على تحمل الحمولات المنقولة له من المكابس الهيدروليكية والمقدرة 125 طن كما وجد أن الجائز يتعرض لانتقال شاقولي نحو الأعلى من مرتبة0.5 سم نتيجة تطبيق حمولات التجربة وهذا يؤثر على قياسات التشوهات لوتد الاختبار.

4-5-2 تعديل التصميم للجملة الإنشائية:

تم تصميم جملة إنشائية مركبة لمقاومة لرد فعل المكابس الهيدروليكية نتيجة تطبيق حمولات الشد على الوتد حيث تم تكبير المقطع بإضافة مقاطع أخرى ولتحقيق هذا الغرض تم إضافة جائزين معدنيين بشكل حرف (IB) عرض جناحه 22 سم وارتفاعه 60 سم.

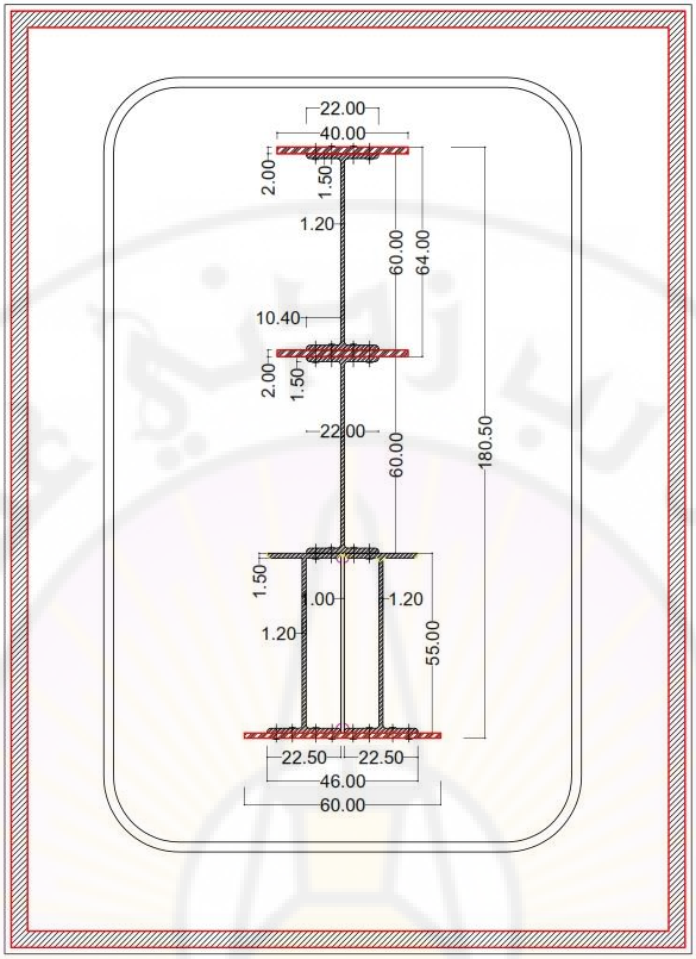
4-5-3 مراحل تنفيذ الجملة الإنشائية المركبة:

تم بناء مقطع مركب أصبحت معه التشوهات الشاقولية مهملة، تتكون الجملة بشكل رئيسي من ثلاثة أقسام رئيسية{ثلاثة جسور معدنية متمركزة فوق بعضها البعض}:

القسم الأول: تم إحضار جسر معدني طوله 12 متر تم قصه الى نصفين متساويين بطول 6 متر لكل جائز ووضع القسمين بجوار بعضهما البعض ووضع صفيحة سماكتها10 مم بطول 60 سم وتم لحام الجسرين على الصفيحة وصفيحة أخرى بينهما بشكل طولي سماكتها 10 ممليشكل الجسرين مع الصفيحتين جسم واحد.

القسم الثاني: تم إحضار جسر معدني طوله 365سمعرض الجناح 22 سم وارتفاعه 60 سم سماكة الجسم 12 ملم وسماكة الجناح 15 ملم تم تلحيمه مع القسم الأول بوضع صفيحة بينهما سماكتها 20 ملم بواسطة لحام اسباني نوعية بوهلر.

القسم الثالث: تم إحضار جسر معدني طوله 335 سم عرض الجناح 22 سم وارتفاعه 60 سم سماكة الجسم 12 ملم وسماكة الجناح 15 ملم تم تلحيمه مع القسم الثاني بوضع صفيحة بينهما سماكتها 20 ملم بواسطة لحام إسباني نوعية بوهلر ووضع صفيحة علوية طولها 40 سم سماكة 20 ملم وتلحيمها على الجناح العلوي للجائز.



الشكل (4-93)تفاصيل الجائز المركب المستخدم لتجربة الشد

بعد تنفيذ الجملة الإنشائية تم تركيب كيسنغ على القسم الأول بقطر 80 سم صفائح معدنية سماكة 10 مم لاستخدامها في تجربة الشد للوتد قطر 90 سم حيث يتم إدخال الكيسنغ داخل قضبان حديد التسليح لوتد الاختبار ثم تم اللحام لكل قضيب حديد تسليح على الكيسنغ بشكل كامل يوضح الشكل (4-94).



الشكل (4-94)تصميم وتلحيم الجوائز البسيطة الشكلة للجائز المعدني

كما تم تركيب كيسنغ على القسم الثالث بقطر 50 سم من صفائح معدنية بشكل برميل مفرغ سماكة 10 مم لاستخدامها في تجربة الشد للوتد قطر 60 سم حيث يتم إدخال الكيسنغ داخل قضبان حديد التسليح لوتد الاختبار على الشد ثم تم اللحام لكل قضيب حديد تسليح على الكيسنغ بشكل كامل.

4-5-4 ميزات الجملة الإنشائية المركبة:

يمكن الاستفادة من الجملة الإنشائية المركبة لتنفيذ تجارب التحميل الحقلية على الشد للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حيث تم بناء مقطع مركب أصبحت معه التشوهات الشاقولية مهملة يمكن استخدامه:

1- من جهة الكيسنغ الكبير[صفائح معدنية ملحومة بشكل برميل مفرغ سماكة 10 مم] ذوقطر الكبير 80 سم :تستخدم لأوتاد بأقطار مختلفة[100- 90 -80]سم

2- من جهة الكيسنغ الصغير[صفائح معدنية ملحومة بشكل برميل مفرغ سماكة 10 مم] ذوقطر الكبير 50 سم: تستخدم لأوتاد بأقطار مختلفة[70 -60- 50]سم



الشكل (4-95) التصميم النهائي للجائز المركب

4-5-5المرجع المستخدم لتنفيذ تجارب التحميل على الشد والإجراءات المتخذة :

أجريت تجارب التحميل على الشد للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان حسب الكود الأمريكي ASTMالمواصفة87 – D 3689.

أجهزة تطبيق الحمولة:حسب الكود الأمريكي المواصفة 87 – D 3689.

أجهزة قياس الحركة:حسب الكود الأمريكي المواصفة 87 – D 3689الفصل 4.3-4.4 – 4.5.

إجراءات التحميل:87 – D 3689–الفصل 4.2و– أو إجراءات التحميل النظامية.

4-5-6تجهيزات الاختبار:

1- مكابس هيدروليكية.

2- مضخة هيدروليكية: مزودة بمقياس لقراءة الضغط المطبق ومزودة بمنظم هيدروليكي.

3-جملة إنشائية مركبة: تطبق الحمولة على الوتد بواسطة المكابس الهيدروليكية التي تنقل هذه الحمولة إلى رأس الوتد وهذه التجهيزات مناسبة فقط للحمولات الشاقولية.

4-مقياس التشوه: مشعرين الكترونيين موضوعة بشكل متساوي البعد على جوانب الوتد ومثبتة بالجملة الخارجية لقياس الهبوط.

4-5-7 الإجراءات العملية لتنفيذ تجارب الشد للأوتاد البيتونية المصبوبة بالمكان:

4-5-7-1 يتم في البداية حفر الوتد ويوضع الحديد ويُصب الوتد بالقطر المطلوب والارتفاع المطلوب الشكل (4-96).



الشكل (4-96) متابعة أعمال الحفر و التأكيس و الصب للأوتاد البيتونية و موقع المحطة

بعد تصلب الوتد لمدة 56 يوم بسبب صب الوتد بالبيتون المقاوم للكبريتات[63] وبعد اختبار المكعبات البيتونية المأخوذة من صب الوتد ومعرفه مقاومه الوتد الفعلية للبيتون المصبوب يتم تجهيز الوتد لتجربة الضغط وذلك بترك الحديد التشاريك ليتم تلحيمه لاحقاً مع الجملة الإنشائية المركبة ثم تكسير رأس الوتد حوالي 50سم المصبوبة أصلاً زيادة فيه كما في الشكل رقم (4-97) يتم جلخ رأس الوتد وتفريغ التربة من جوانبه وتنظيف الحفرية بشكل تام بأبعاد مناسبة للحفرية بأبعاد حوالي3 ×4متر بحيث يكون منسوب الحفرية أخفض من منسوب سطح الوتد حوالي 10-15 سم ثم تفرش طبقة رمل مزار لتصفير الأرضية ويتم جلخ الوتد من الداخل وتسوية السطح تماماً.



الشكل (4-97) تكسير رأس الوتد وجلخ رأسه وتنظيف الحفرية للتجيز لتجربة الشد

2-7-5-4 طريقة التنفيذ:

يتم تنزل مكعبين مكعب واحد من كل طرف بحيث يبعد المكعب عن طرف الوتد حوالي 25 سم مع ملاحظة أن لكل مكعب خطاف من الأعلى أو خطافان للحمل والتنزيل ويوضع رمل المزار فوق المكعب لاستناد الصفيحة بشكل كامل ومنع الالتقاء الرأسي (بين رأس الوتد) مثل المسند أو المخدة بعد وضع الصفيحتين السفليتين نوضع المكبس الهيدروليكي،يتم تنزيل الجملة الإنشائية المركبة على الوتد المختبر بحيث يدخل الكيسنغ داخل الوتد وتكون قضبان التسليح المحلزنة من الخارج يتم معايرة الجملة الانشائية المركبة بالاتجاهين بواسطة الزئبقية لتصبح الجملة شاقولية تماما باتجاه المحور z وأفقية تماماً باتجاه المستوي الأفقي x, y

بعد ضمان استوائية الجملة الانشائية المركبة يبدأ تثبيتها على وتد الاختبار بواسطة اللحام بين الجملة الانشائية المركبة وقضبان الحديد المحلزن لوتد الاختبار بحيث يتم لحام كل القضبان على الكيسنغ لتصبح بعد اللحام الوتد مع الجملة الحاملة جسم واحد.



الشكل (4-98) طريقة تركيب الجائز المعدني باخل قضبان التسليح للوتد المختبر على الشد

طريقة تركيب المكعبات:الشكل رقم (4-99) بعد تنزيل المكعبين وتأكيسها على البعد حوالي 20–25 سم عن طرف الوتد يتم التحقق من استوائها تماماً ثم يتم وضع قليل من رمل المزار وتوضع فوقه صفيحة معدنية متمركزة في منتصف المكعب الذي يكون مستوي تماماً، نركب المكبس الهيدروليكي فوق الصفيحة المعدنية بحيث تبقى مسافة حوالي 5–10 سم بين الجك الهيدروليكي والجملة الإنشائية المركبة لذلك نضع صفيحة علوية فوق الجك.



الشكل (4-99) تثبيت الجائز المعدني المركب بواسطة اللحام على الوتد المختبر على الشد

تستند الصفيحة على المكعبات الأرضية بحيث يبقى ظفرين متناظرين من الأطراف، تكون الصفيحة زئبقيه ومستوية تماما حتى لا تميل الجكات مع الحمولة حيث المسافات مع المكعبات في الاتجاهين متناظرة كما في الشكل رقم (4-100)



الشكل (4-100) تركيب الكريكويات و تجهيز المؤشرات

قبل بدء التجربة تتم معايرة الساعات مؤشرات الضغط للمضخة الهيدروليكية ثم تتم معايرة المؤشرات لحساب الهبوط حيث توضع المؤشرات لقياس الهبوط تُركب على الجسور المعدنية وتُوضع رؤوسها على جسم الوتد بعد معايرة لساعات قراءة الضغوط تعاير الساعة على طرنبه الضغط الموصولة مع المكابس الهيدروليكية.

مرحلة تركيب مؤشرات قياس الهبوط:تثبت المؤشرات على الجسور المعدنية الحديدية المحمولة على الحوامل المعدنية، المؤشر مؤلف من علبه وحامل له ذراعان وساعة لقياس التشوه تثبت العلبة على الجسر الحامل المعدني (beamI) وتثبت ساعة قراءة التشوه على جسم الوتد البيتوني المختبر يجب أن تكون ساعة المؤشر شاقوليه يجب تصفير المؤشرات قبل البدء بالتجربة الشكل رقم (4-101) بعد الانتهاء من التحضيرات لإجراء التجربة ومعايرة مؤشرات قياس الهبوط وتجهيز المكابس الهيدروليكية تصبح التجربة جاهزة للتنفيذ.

4-5-8 مثال تطبيقي لتجربة تحميل حقلية على الشد:

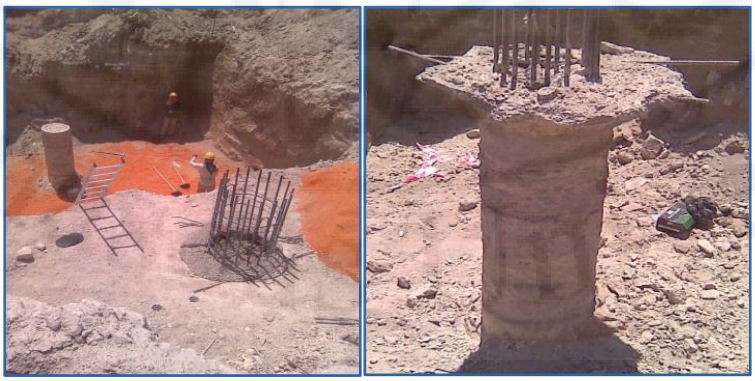
4-5-8-1 تجربة الشد وتد 60 سم وتد غير عامل جدول (4-40)

1- تم كشف 100 سم فقط من رأس الوتد وطبعاً بعد تكسير وقص وجلخ رأس الوتد بشكل أفقي تماماً.

2- تم قص 50 سم إضافية من رأس الوتد وذلك لكون التربة سلتيه عضويه مفككه وخشيه اختلاط البيتون مع التربة المفككة والمنهارة أثناء الصب لذلك تم قص 100 سم من رأس الوتد لضمان أن البيتون المصبوب نظيف ولا يحتوي أتربه مخلوطة مع البيتون وذلك ليضمن أن البيتون نظيف ومقاوم تم حساب مقاومه المكعبات البيتونية المصبوبة لهذا الوتد وذلك لتحقق من مقاومة البيتون قبل إجراء التجربة لتفادي ظهور شقوق مما يؤدي لانهيار الوتد بسبب طبيعة مادة جسم الوتد يبقى ظاهر من جسم الوتد حوالي 10-15 سم.

3-تم الحفر للمنسوب المطلوب ثم نضع رمل المزار في أرضيه الحفرة لوتد الاختبار لضمان الاستوائية للحفرية.

4- يتم تأكيس الحفرية حسب أبعاد3×4 م



الشكل (4-101)تأكيس الحفرية و فرش رمل المزار

جدول (4-40)مواصفات وتد الاختبار على الشد قطر60 سم غير عامل

نوع الوتد	قطر الوتد [سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	الحمولة النهائية [طن]
وتد مصبوب بالمكان	60	18	30	40

نقوم بتشغيل الكريكويات بعد توصيل الكهرباء إلى الطرنبه لرفع الكريكويات حتى يتم التلامس بين الصفيحة العلوية والجملة الإنشائية المركبة بحيث لا يحدث تشوه في المؤشرات عندما يتم التلامس ولا يحدث تغير في قراءة المؤشرات للتشوه عندها تكون الجملة الإنشائية المركبة أصبحت ملامسة للصفيحة العلوية، تجهز الاستمارات الخاصة بالتجربة وترقم المؤشرات بـ 1.2.3.4 مع جهة دوران عقارب الساعة من الشمال للجنوب وتبدأ الطرنبه بالضغط ونبدأ بأخذ القراءات يجب مراقبه المؤشرات بشكل دائم ومراقبه الضغط في ساعة الضغط في الطرنبه ليكون الضغط مستقر بشكل دائم أثناء إجراء التجربة وفي كل مرحلة من مراحل تطبيق الحمولات.

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي 25%من الحمولة التصميمية[ton] في كل مرحلة وصولاً للحمولة النهائية التي تساوي مرة ونصف الحمولة التصميمية جدول(4-2).

1- يتم وضع مكعب في كل زاوية ونضع عليهما وتُحمل عليه الصفيحة المعدنية التي بدورها تحمل الجك الهيدروليكي نلاحظ الصفيحة لها حلقتين لحملها بالرافعة يوضع صفيحتين فوق رأس الوتد مباشرة ثم يوضع الجكات فوق الصفيحة المعدنية ويجب الانتباه والملاحظة أن الصفيحة المعدنية السفلية يجب أن تكون زئبقية 100% فوق رأس الوتد لذلك يجب التأكد أن ورأس الوتد بعد قص الحديد وتكسير البيتون يجب جلخه بدقة بحيث يكون أفقي100% لأن عند وضع الصفائح المعدنية يجب إن تكون أفقيه فوق رأس الوتد ونلاحظ في هذه التجربة أنه تم جلخ رأس الوتد بشكل جيد ونلاحظ أن الصفيحة المعدنية تستند على رأس الوتد بشكل كامل وهذا ما يؤكد زئبقيه رأس الوتد أثناء جلخه.



الشكل (4-102) تجهيز لتجربة الشد

2- توضع الجكات وهنا يجب التحقق من المركزية الكاملة للجكات في منتصف الوتد فوق الصفائح المعدنية أي بعد وضع الصفيحتين المعدنيتين السفليتين توضع الجكات في مركز الصفائح بحيث تكون متمركزة فوق منتصف الوتد بشكل دقيق منعاً من عدم اللامركزية.

3- بعد التأكد من المركزية في وضع الجكات يتم وضع الصفيحة العلوية ذات نفس السماكة للصفيحتين السفليتين وتكون متمركزة أيضاً في منتصف الجكات بشكل متناظر مع الصفيحتين السفليتين سماكه الصفيحة العلوية مثل سماكه الصفيحة السفلية.

بعد وضع الصفيحتين السفليتين والجكات والصفيحة العلوية فوق الجكات يبقى مسافة 5-10سم فراغ بين الصفيحة العلوية الجملة الإنشائية المركبة وبالتالي لحد هذه اللحظة لم يتم التحميل على الوتد.



الشكل (4-103) تركيب الجكات وتوصيل الطرنبة لتجربة الشد

4- مرحلة تحضير الطرنبات وتوصيل الكبلات:كما وردت لتجربة الضغط.

5- مرحلة تركيب الجسور المعدنية الحاملة للمؤشرات تؤخذ شقله من رأس الوتد للأسفل بمقدار 10 إلى 15 سم على محيط الوتد وتُعلم بواسطة طبشورة أو قلم علام خاص حتى يتحقق بنفس المنسوب على كامل محيط الوتد.

6- طول الجسور المعدنية الحاملة للمؤشرات 3 متر أو أكثر تثبت بواسطة حوامل لكل جسر عدد 2 من كل طرف وهذا الحامل للجسر المعدني يجب دقة بالأرض بشكل جيد لمنع حركته أثناء التجربة لذلك يجب أن يكون ثابت تماماً ولا يسمح له بالحركة نهائياً لا بالاتجاه الأفقي ولا بالاتجاه الشاقولي كما يجب أن يكون بعيداً عن منطقة الاختبار الشكل رقم (4-104)



الشكل (4-104)متابعة وتسجيل القراءات لتجربة الشد

7- يوضع الجسم الحامل للمؤشر جسم مغناطيسي على الجسور الحاملةالايبيمات وتوضع ساعة المؤشر جسم الوتد المختبر قبل بداية التجربة نقوم بأخذ زئبقية ووضعها على الصفيحة السفلية الحاملة للجكات ونتأكد من الزئبقية على الصفيحة العلوية أيضاً كما نتأكد من الزئبقية للجسور الحاملة.

4-5-8-2 تجربة الشد وتد 90 سم وتد غير عامل:

يلاحظ في هذا الوتد أن الحديد العامل لم يقص بالمقص وتم فتحه الحديد للخارج بشكل يسمح بوضع الكيسنغ في قلب الوتد بحيث يتم جلخ السطح العلوي بالصاروخ وتسويته بشكل أفقي تماماً استوائيه رأس الوتد ثم توضع التسميكات فوقها ثم توضع الصفيحة العلوية فوق الجكات وهنا عدد الجكات اثنان.

جدول (4-41)مواصفات وتد الاختبار على الشد قطر 90 سم غير عامل

نوع الوتد	قطر الوتد [سم]	طول الوتد [م]	الحمولة التصميمية [طن]	الحمولة النهائية [طن]
وتد مصبوب بالمكان	90	18	50	125=2.5*50

مراحل تطبيق الأحمال للتجربة: تزايد الحمولة لوتد الاختبار يساوي % 25من الحمولة التصميمية [50 ton] في كل مرحلة وصولاً للحمولة النهائية التي تساوي مرتين ونصف الحمولة التصميمية جدول (4-42).

جدول (4-42)ترتيب تطبيق الحمولات على وتد الاختبار قطر90 سم غير عامل على الشد

النسبة المئوية	25%	50%	75%	100%	125%
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=0.25×50 12.5	=0.50×50 25	=0.75×50 37.5	=1.00×50 50	=1.25×50 62.5
الحمولة المطبقة فعلياً [طن]	12	24	36	48	60
النسبة المئوية	150%	175 %	200 %	225 %	250 %
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=1.50×50 75	=1.75×50 87.5	=2×50 100	=2.25×50 112.5	=2.5×50 125
الحمولة المطبقة فعلياً [طن]	72	84	96	108	125

مراحل رفع الأحمال للتجربة:تناقص الحمولة لوتد الاختبار يساوي % 25في كل مرحلة حتى نزع كامل الحمولة المطبقة جدول (4-43).

جدول (4-43)ترتيب نزع الحمولات على وتد الاختبار قطر90 سم غير عامل على الشد

النسبة المئوية	225%	200%	175%	150%	125%
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=2.25×50 112.5	=2×50 100	=1.75×50 87.5	=1.00×50 75	=1.25×50 62.5
الحمولة المطبقة فعلياً [طن]	108	96	84	72	60
النسبة المئوية	100%	75 %	50 %	25 %	0 %
الحمولة المحسوبة نظرياً [طن]	=1.00×50 50	=0.75×50 37.5	=0.50×50 25	=0.25×50 12.5	=0.0×50 0
الحمولة المطبقة فعلياً [طن]	48	36	24	12	0

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

17/3/2019

أوتاد سائلية محمّلة جانبياً

أ.د.

تعريف (مفككة) محصورة أو رملية

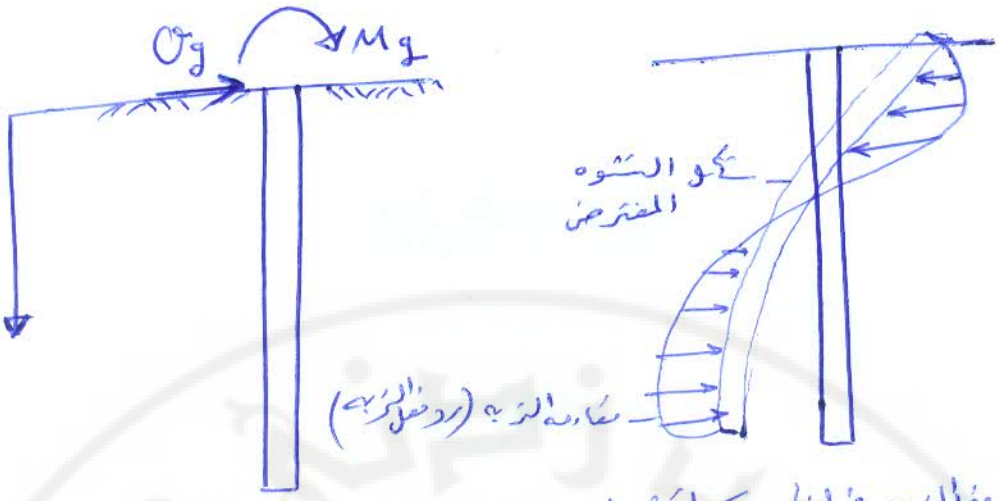
اذا فرضنا الوتد طوله L معرض لحمولة جانبية (أفقية) Q_g وعزم M_g عند سطح التربة حيث ($z=0$)



"rigid Pile"



"elastic Pile"



ملاحظات رد فعل التربة في اتجاه معاكس لشوه الوتد ".

مقاومة التربة هي وتد مسببة من الحمولة الجانبية والعزم

عند سطح التربة وتد محمل بحمل جانبي أفقي Q_g وعزم M_g

١- تربة نقدية Granular

استنادا إلى نظرية وينكلر (باعتبار الوسط مرن) (تربة في هذه الحالة)

تعوض عن التربة بسلسلة لا متناهية من نوابض مرنة مستقلة عن بعضها البعض ومتقاربة

حيث $k = \frac{P'}{x}$ (معامل رد فعل التربة) ، مصطلح جديد

k معامل رد فعل التربة - P' الضغط على التربة - x الشوه

استنادا إلى نظرية الجوائز المستندة على أساس مرن

E_p معامل يوثق لمادة الوتد

I_p عزم القطاع لمقطع الوتد

P' الضغط على التربة

$$E_p \cdot I_p \frac{d^4x}{dz^4} = P' \quad (1)$$

$$P' = -kx \quad (2)$$

رد فعل التربة في اتجاه معاكس لشوه الوتد

(1) من (2) نعوض

معادلة تفاضلية من الدرجة الرابعة

$$E_p \cdot I_p \frac{d^4x}{dz^4} + kx = 0$$

حل المعادلة التفاضلية ينتج لدينا المعادلات التالية، 5 معادلات

ويعرف $k = \frac{P}{x}$: $k_z = h_h \cdot z$

k_z رد فعل الطابق الترابي من أجل تربة حصوية على المحور z

h_h ثابت المعامل لرد فعل الطابق الترابي الأفقي

$$P'_z(z) = A_{P'} \frac{O_g}{T} + B_{P'} \frac{M_g}{T^2} \quad (1)$$ $[P'_z(z)]$ رد فعل التربة في أي عمق

$$V_z(z) = A_v \, O_g + B_v \frac{M_g}{T} \quad (2)$$ $[V_z(z)]$ هبوط القص للوتد عند أي عمق

$$M_z(z) = A_m \, O_g \cdot T + B_m \cdot M_g \quad (3)$$ $[M_z(z)]$ العزم للوتد عند أي عمق

$$\theta_z(z) = A_\theta \frac{O_g \cdot T^2}{E_p I_p} + B_\theta \frac{M_g \cdot T}{E_p \cdot I_p} \quad (4)$$ $[\theta_z(z)]$ الميل للوتد عند أي عمق

$$X_z(z) = A_x \frac{O_g \cdot T^3}{E_p \cdot I_p} + B_x \frac{M_g \cdot T^2}{E_p \cdot I_p} \quad (5)$$ $[X_z(z)]$ تشوه الوتد عند أي عمق

حيث يتصف بالمزايا المتباينة

ثوابت المعادلات التفاضلية $A_{P'}, B_{P'}, A_v, B_v, A_m, B_m, A_x, B_x, A_\theta, B_\theta$

T (العامل المميز لنظام الوتد التربة) : $T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{n_h}}$

n_h هو ثابت العامل رد فعل التربة الأفقي

n_h القيم النموذجية للعامل

$$n_h = \frac{K}{Z}$$

n_h		طبيعة التربة
2200 - 1800	مخلخل	رمل جاف أو رطب
7000 - 5000	متوسط	
18000 - 15000	كثيف	
1400 - 1000	مخلخل	رمل مغمور بالماء
4500 - 3500	متوسط	
12000 - 9000	كثيف	

ثانياً : الرتب المتماسكة : أوتار مصنوعة من مواد متماسكة

نفس العلاقة للرتب الحصوية بدل $R = T J$

$$\underset{(Z)}{X}\ Z = A'_x \frac{Q_g R^3}{E_p I_p} + B'_x \frac{M_g \cdot R^2}{E_p \cdot I_p}$$

$$\underset{(Z)}{M}\ Z = A'_m Q_g R + B'_m M_g$$

حيث A'_x ، B'_x ، A'_m ، B'_m ثوابت حيث

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot I_p}{k}}$$ الطول المميز

حيث k

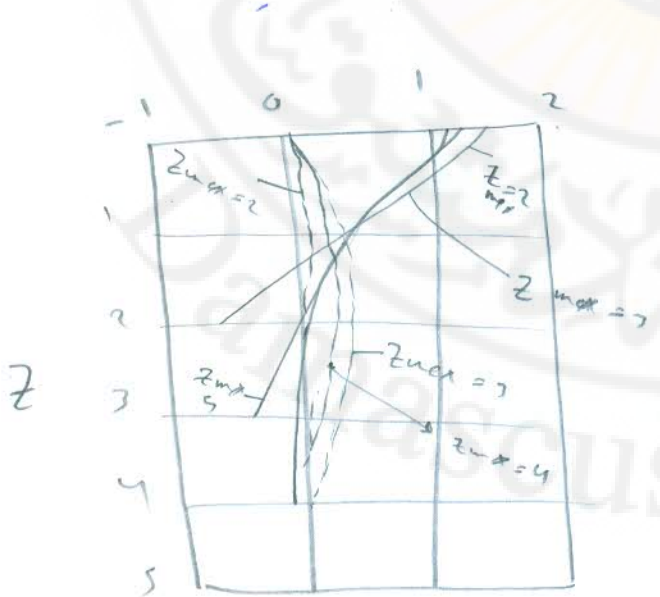
$$k = 0{,}65 \sqrt[12]{\frac{E_s D^4}{E_p \cdot I_p}} \frac{E_s}{1 - \mu_s^2}$$

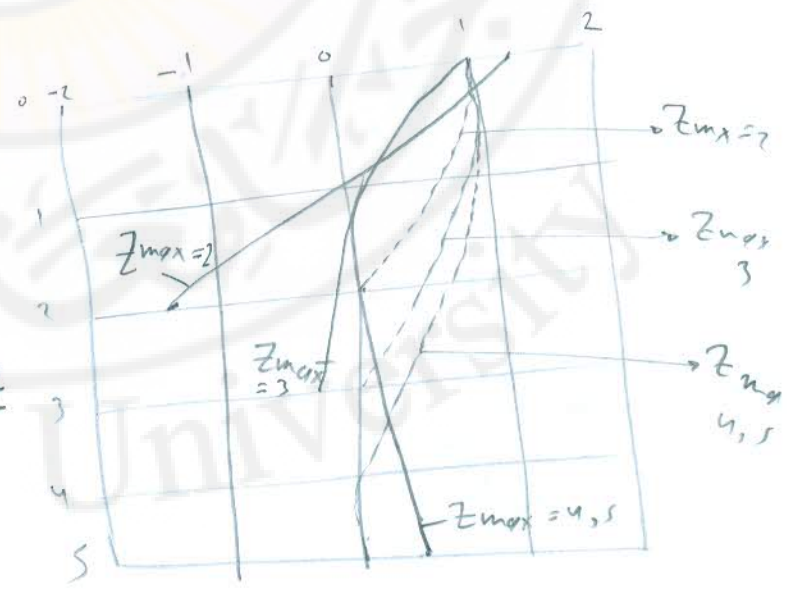
E_s معامل يونغ للتربة

D - قطر الوتد (عرضه)

μ_s - معامل بواسون

الثوابت A'_x ، B'_x ، A'_m ، B'_m من خلال المخططات التالية





A'_x ——

A'_m - - -

B'_x ——

B'_m - - -

حيث $Z = \frac{z}{R}$ ، $Z_{max} = \frac{L}{R}$

Uplift Resistance of Pile

مقاومة السحب للأوتاد

في بعض الحالات يصبح تعرض الأوتاد لقوى جاذبة نحو الأعلى (قوى شد) ممكن أن تنشأ من الرياح وغيرها وخصوصاً لأبراج الخطوط الكهربائية

حسب ما يكون التالي

$T_{insion\ Ug} = T_{uh\ net} + W$

T_{ug} قدرة الرفع الجذبية الكلية

T_{uh} قدرة الرفع الجذبية الصافية

W : وزن الوتد (صب مادته) [الوزن الفعال للوتد]

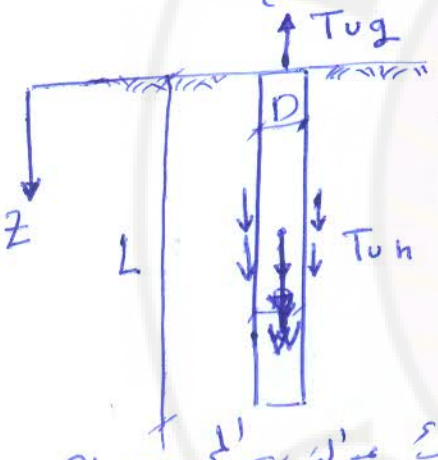
وزن الوتد معروف حسب مادته

T_{un} قدرة الرفع الصافية

نلاحظ أن قدرة الرفع الجذبية الصافية تتعلق بمقاومة الوتد الحديد لقوى الاحتكاك

ما هو الشيء الذي يمنع الوتد من الانتقال للأعلى : الاحتكاك مع التربة المحيطة به

لذلك يمكن بشكل بسيط أن نعود المسألة إلى حساب مقاومة الاحتكاك



شكل رقم

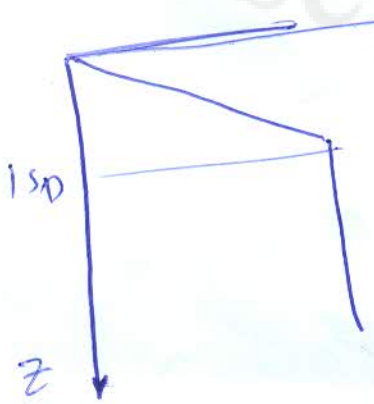
$$Q_s = \Sigma . P . \Delta L . f_s$$

P محيط الوتد - ΔL طول الوتد - f_s المقاومة الاحتكاكية الواحدية

أولاً : مقاومة الاحتكاك في الرمل (سيطرف)

الرمل

$f_s = k \sigma'_v \tan\delta$



تغير قيمة اجتهاد رمل

$$Dr = \left(\frac{e_{max} - e_{normal}}{e_{max} - e_{min}}\right) \times 100\%$$

$0 < D < \frac{1}{3}$ فضفاض

$\frac{1}{3} < D < \frac{2}{3}$ متوسط

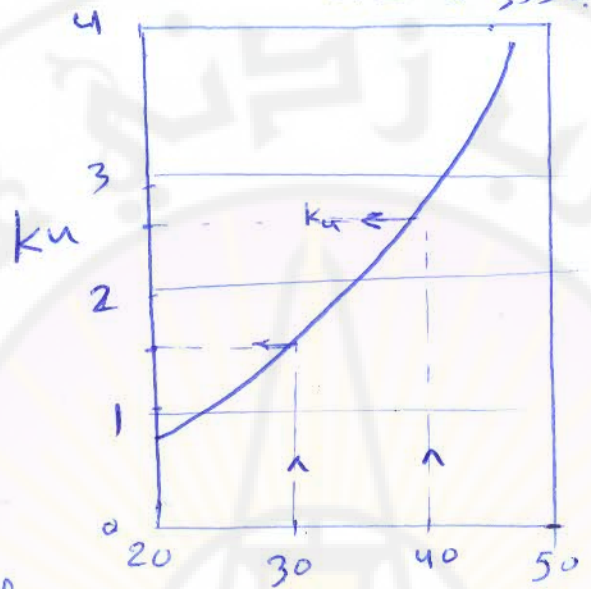
$\frac{2}{3} < D < 1$ متراص

$$f_u = k_u \cdot \frac{\sigma}{\gamma} \cdot \tan\delta$$

f_u احتكاك معدني واحد خلال الوسط

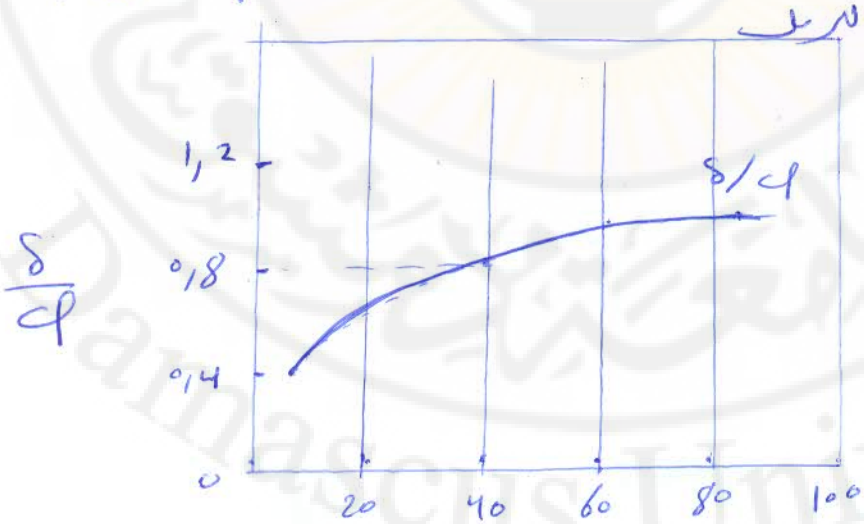
δ زاوية الاحتكاك بين التربة والوتد

k_u معامل الرفع ويعطى من خلال الشكل ونلاحظ أنه تابع لطبيعة الحل حيث D_r هي



زاوية الاحتكاك الداخلي للحل φ

δ زاوية الاحتكاك بين الوتد والتربة تعطى بالشكل بدلالة الكثافة النسبية للحل



$P_r(\%)$ الكثافة النسبية للتربة

δ يعطى بدلالة φ موضحا بالمثال

$\Leftarrow \varphi = 30^\circ$ مثلا

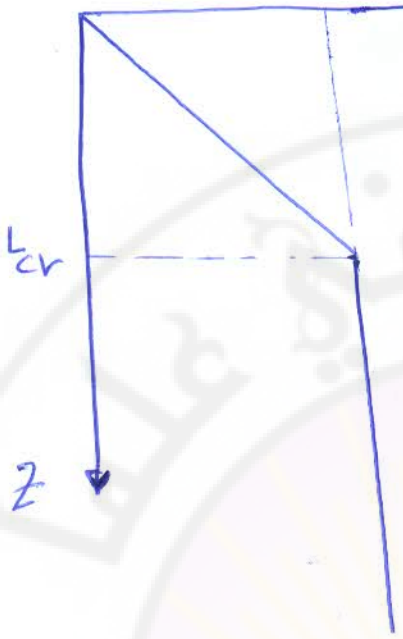
$\Leftarrow$ كثافة نسبية 40%

$$\begin{cases} 20\% = P_r & 0,60 = \frac{\delta}{\varphi} \\ \%40 = D_r & 0,8 = \frac{\delta}{\varphi} \end{cases}$$

$$\frac{\delta}{\varphi} = 0,8 \Rightarrow \frac{\delta}{30} = 0,8 \Rightarrow \boxed{\delta = 24^\circ}$$

نلاحظ أن $\frac{L_{cr}}{V}$ تبقى حساب $\frac{L_{cr}}{V}$ مثل بالحرف يرمز فتحة حدية لـ

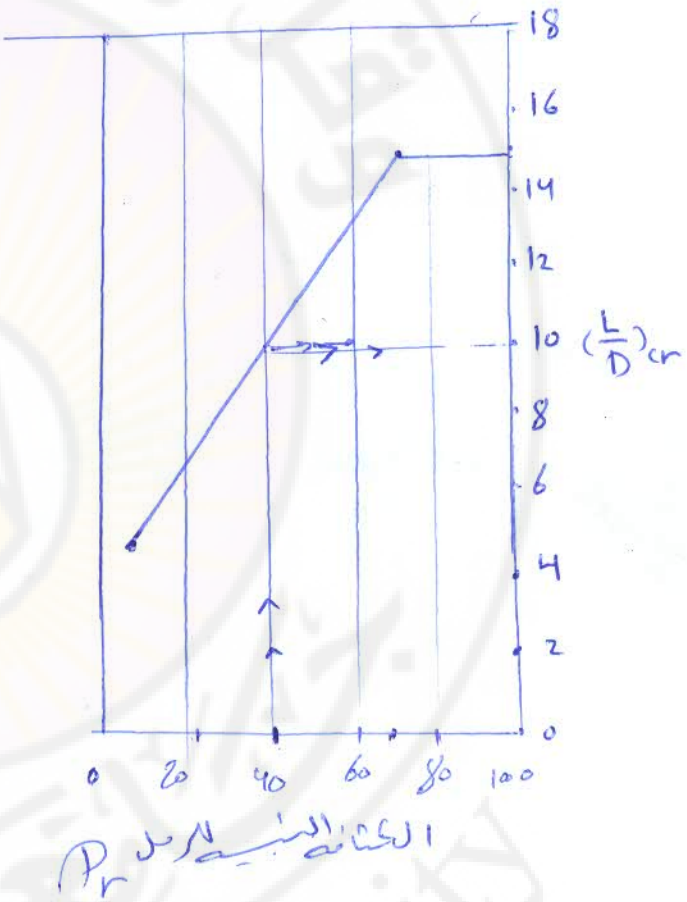
$\frac{L_{cr}}{V}$ لـ (fu)



نلاحظ أن $\frac{L_{cr}}{V}$ يزداد لحد معين

فتحة حدية L_{cr} ثم يصبح ثابت

مع العلم أن ما هي فتحة $\frac{L}{cr}$



الكثافة النسبية لـ P_r

مثلاً: $P_r = 40^\circ$ فيه $(\frac{L}{D})_{cr} = 10$

بفرض $D = 90$ cm $\Leftarrow$

$$(\frac{L}{D})_{cr} = 10 \Rightarrow \frac{L}{0,9} = 10$$

$$\frac{L}{cr} = 9 \text{ m}$$

$$f_u = K_u \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot \tan\delta$$

حالة (1)

إذا كان طول الوتد أقل أو يساوي L_{cr}

$$T_{un} = p \int_0^L f_u \cdot dz = p \int_0^L \left(\frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot K_u \cdot \tan\delta\right) dz$$

في التربة الغائصة حيث: $\frac{\gamma_n}{\gamma} = \gamma_z$ الوزن الحجمي للتربة

$$T_{un} = p \int_0^L \left(\frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot K_u \cdot \tan\delta\right) dz = p \int_0^L (\gamma_z \cdot K_u \cdot \tan\delta) dz$$

$$= \frac{1}{2} p \cdot \gamma \cdot L^2 K_u \cdot \tan\delta$$

حالة (2)

إذا كان طول الوتد أكبر من الطول الحرج L_{cr}

$$T_{un} = p \int_0^L f_u \cdot dz = p \left[\int_0^{L_{cr}} f_u \, dz + \int_{L_{cr}}^L f_u \cdot dz \right]$$

$$= p \left\{ \int_0^{L_{cr}} \left(\frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot K_u \cdot \tan\delta\right) dz + \int_{L_{cr}}^L \left(\frac{\gamma_n}{\gamma}_{at\ z = L_{cr}} \cdot K_u \cdot \tan\delta\right) dz \right\}$$

$$T_{un} = \frac{1}{2} p \cdot \gamma \cdot L_{cr}^2 K_u \tan\delta + p \cdot \gamma \cdot L_{cr} K_u \tan\delta (L - L_{cr})$$

صولة الرفع المسموحة

$$T_{u(all)} = \frac{T_{ug}}{F_s} \quad (2 \rightarrow 3)$$

ويؤخذ عادة 2

تتمة البحث

ثانياً **المقاومة**

Cu متماسك غير المصرف للتربة

درست من قبل العالم داس 1982

$$T_{un} = L \cdot P \cdot \alpha' \cdot C_u$$

تتبع طريقة α لحساب مقاومة الاحتكاك الجانبي الواحدي

الحدي وتعرض α حيث $f_c = \alpha \cdot C_u$ و $f'_c = \alpha' \cdot C_u$

L طول الوتد المغمور بالتربة - P محيط الوتد

أصبح الفكر تقدير قيمة α بدلالة Cu مثل الاحتكاك

$C_u \leq 80\ kPa \Leftarrow \alpha' = 0,9 - 0,00625 C_u$

$C_u > 80\ kPa \Leftarrow$ و.ط.أ $\alpha' = 0,4$

$C_u = 80\ kPa \Leftarrow$ في الحالة الحدية

$C_u = 70\ kPa \Leftarrow$ في الحالة الحدية

$C_u = 50\ kPa \Leftarrow$ في الحالة الحدية

$\alpha' = 0,9 - 0,5 = 0,4$

$\alpha' = 0,46$

$\alpha' = 0,587$

10/3/2019

"الاحتكاك السلبي"
Negative skin friction

هناك ثلاث حالات مختلفة لتشكل ظاهرة الاحتكاك السلبي على محيط الوتد

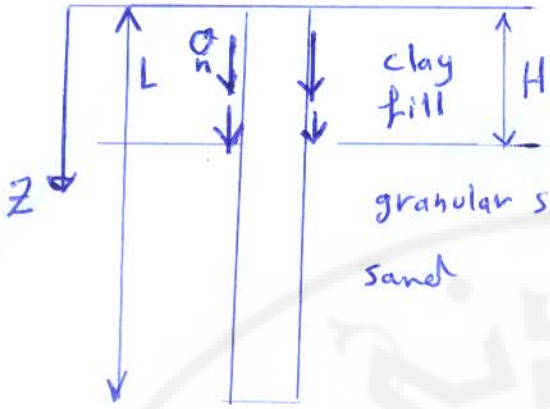
وهي قوة شد الوتد نحو الأسفل بما يعاكس قوى الاحتكاك الناجمة عن التربة حول محيط الوتد، وتعمل قوة الاحتكاك السلبي على تخفيض قدرة تحمل الوتد بشكل كبير

ويمكن تلخيص حالات تشكل ظاهرة الاحتكاك السلبي د

١- ردم تربة غضارية طرية فوق تربة صلبة خشنة توضع ع الوتد
أن الردم الغضاري سوف يتعرض لهبوط ويتشكل تدريجي وتتشكل نتيجة ذلك قوى تسحب الوتد للأسفل خلال زمن التصلب تسمى هذه القوى قوى احتكاك السلبي وجهتها نحو الأسفل

٢- ردم تربة صلبة فوق تربة غضارية طرية سوف يؤدي إلى بدء تصلب وانضغاط الطبقة الغضارية الطرية مما يؤدي لتشكل قوة تسحب الوتد للأسفل وهي قوة الاحتكاك السلبي المتشكلة الطبقة الغضارية
٣- ان انقطاع منصوبة المياه الجوفية باتجاه الأسفل يؤدي لزيادة الاجهاد الفعال مما يؤدي لزيادة هبوط الانضغاطي للتربة الغضارية حول الوتد مما يؤدي لشد الوتد نحو الأسفل

case I : clay Fill over Granular Soil



في طريقة β

$Q_s = P \cdot L \cdot f_c$

$f_c = \beta \cdot \bar{\sigma}_v$

f_c مقاومة الاحتكاك الجانبي

$\bar{\sigma}_v$ الاجهاد الشاقولي الفعال على أي عمق Z

friction remolded sample ϕ_R : $\beta = k \tan \phi_R$

$k = k_0 = 1 - \sin \phi_R$ (NC)

$k = (1 - \sin \phi_R) \sqrt{OCR}$ (OC)

حساب negative skin friction Q_n

~~$Q_n = f_n \cdot A$~~

$Q_n = P \cdot z \, f_n$:

$f_n = k' \bar{\sigma}_0 \tan \delta'$

k' = earth pressure coefficient $= K_0 = 1 - \sin \phi'$

$\bar{\sigma}_0$ vertical effective stress at any depth $z = \gamma'_f z$

γ'_f effective unit weight of fill

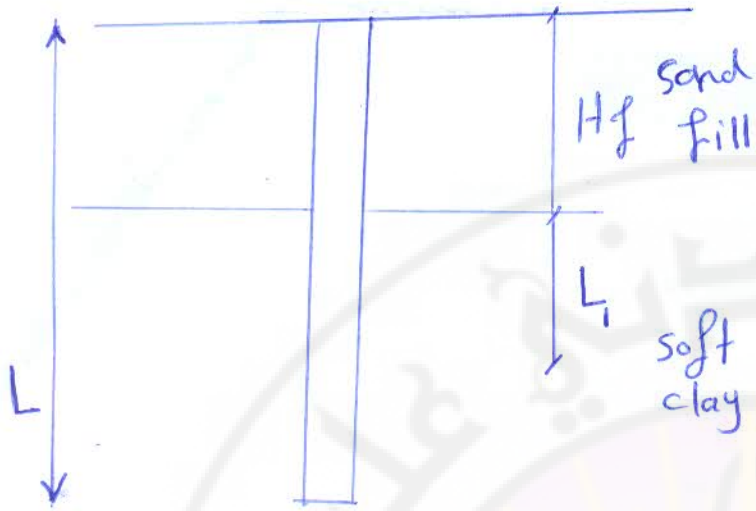
δ' soil - pile friction angle $\approx 0{,}5 - 0{,}8 \, \phi'$

$$Q_{negative} = \int_0^{H_f} P k' \gamma'_f z \tan \delta' \, dz = \int_0^{H_f} (P k' \gamma'_f \tan \delta') z \, dz$$

$$Q_n = \frac{1}{2} P k' \gamma'_f \tan \delta' H_f^2$$

Case II

Granular soil Fill over clay



$$L_1 = \frac{L - H_f}{L_1}\left[\frac{L - H_f}{2} + \frac{\gamma'_f \cdot H_f}{\gamma'}\right] - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'}$$

حيث: L_1: neutral depth (العمق الحيادي)

γ'_f effective unit weight of the fill

γ' : " " " clay

يمكن فرض أن $L_1 = L - H_f$ عندما يكون العمق الحيادي كبير

$$k' = k_0 = 1 - \sin\varphi'$$

$$f_n = k' \sigma'_0 \tan\delta' \quad ; \quad \sigma'_0 = \gamma'_f H_f + \gamma' \cdot z$$

$$\delta' = (0{,}5 - 0{,}7)\varphi'$$

$$Q_n = \int_0^{L_1} P f_n \, dz = \int_0^{L_1} P k' (\gamma_f H_f + \gamma' z) \cdot \tan\delta' \cdot dz$$

negative

$$Q_n = (P k' \gamma_f H_f \tan\delta')L_1 + P k' \gamma' \tan\delta' \cdot \frac{L_1^2}{2}$$

مناقشة

يمكن التخلص من ظاهرة الانكماك السلبي
إذا دهنا الوتد المدقوق بمواد اسفلتية تضع بذلك
حمل الوتد تنزلق داخل التربة القضاء العربي بسهولة ويكون
الانكماك من التربة والوتد بأصغر ما يمكن عندها تكون القوى
المسببة الانكماك السلبية مصدرها حول الوتد وتدهن
المنطقة العلوية تنشأ الانكماك السلبي عندها من حول
الوتد الكلي .

جامعة دمشق
Damascus University

Pile-Driving Formula

١- يمكن الوصول إلى قدرة تحمل الوتد الحدية الكلية يجب أن يخترق رأس الوتد طبقات التربة الكثيفة أو القاسية أو يرتكز على طبقة صخرية كتيمة وقاسية، كما يمكن أن تخترق هذه الطبقة بعمق حوالي (3D ، D) قطر الوتد

٢- لا يمكن أن نحقق هذا الشرط دائماً لأن مقطع التربة متغيرة من موقع المشروع ذاته بينما الأوتاد المدقوقة لها طول ثابت لذلك لا يمكن أن يتحقق هذا الشرط دائماً من أجل الأوتاد المدقوقة إلى عمق محدد

٣- لذلك لابد من إيجاد آلية لتقييم قدرة تحمل الوتد من خلال عمليات الدق للوتد أثناء إدخاله بالتربة

٤- من أهم أنواع هذه المعادلات هي المعادلات الديناميكية التي تستخدم بشكل واسع في المشاريع الهندسية لتحديد حمولة الوتد عند العمق المحدد.

٥- أهم هذه المعادلات هي (الأخبار الهندسية) Engineering News (EN)
اشتقت هذه المعادلات على مبدأ نظرية عمل - طاقة:
القدرة (الطاقة) المنقولة من المطرقة بكل ضربة (دقة) = مقاومة الوتد × الاختراق بكل ضربة للمطرقة
لذلك يمكن التعبير عن الحمولة الحدية Q_u

$$Q_u = \frac{W_R \cdot h}{S + C}$$

W_R: وزن المطرقة - h ارتفاع السقوط
S : القيمة الوسطية لاختراق الوتد عند طرقات الدق الأخيرة.
C ثابت حسب نوع المطرقة $C = 2,54\ cm$ مطرقة سقوط حر ومتأرجحة
$C = 0,254\ cm$ = بخارية

يمكن أن نعوض عن الحد $W_R \cdot h$ بالحد $E H_E$ حيث E مقاومة المطرقة و H_E تقييم طاقة المطرقة

$$\sigma_u = \frac{E H_E}{S + C}$$

تم تعديل هذه المعادلة عدة مرات عبر السنين وتم اقتراح معادلات أخرى أكثر واقعية من خلال التجارب المنفذة على الأوتاد

١ -

Modified EN formula

$$\sigma_u = \frac{E W_R h}{S + C} \cdot \frac{W_R + h^2 W_P}{W_R + W_P}$$

W_P وزن الوتد - h عامل ارتداد بين المكبس ومقدمة الوتد (ليس له وحدة)

ويؤخذ حسب آلية الدق

مطرقة حديدية تدق وتد بيتوني بدون غطاء لرأس الوتد $h = (0,4 - 0,5)$

" " " " " " $h = (0,3 - 0,4)$ بوجود غطاء خشبي

" " " " " " $h = (0,3 - 0,25)$

نوع المطرقة

مطرقة ساقطة (سقوط حر) ⇐ E مقاومة المطرقة $(0,7 - 0,85)$

مطرقة ديزل ⇐ E $(0,9 - 0,8)$

مطرقة أهلية أو ثنائية ⇐ E $(0,85 - 0,7)$

٢ -

Michigan State Highway

$$\sigma_u = \frac{1,25\ E H_E}{S + C} \cdot \frac{W_R + h^2 W_P}{W_R + W_P}$$

٣ - الدانماركية وتعطى تبعاً لمعادلة

Danish formula

$$\sigma_u = \frac{E H_E}{S + \sqrt{\frac{E H_E \cdot L}{2 E_P \cdot A_P}}}$$

E_P عامل يوقع للوتد

A_P مساحة مقطع عرضي للوتد

L طول الوتد

٤- علاقة جانبو

Jambu's formula

$$\sigma_u = \frac{EHE}{Ku \cdot S} \quad ; \quad Ku = Cd\left(1+\sqrt{1+\frac{\lambda'}{Cd}}\right)$$

$$C_d = 0{,}75 + 0{,}15\left(\frac{wp}{wR}\right)$$

$$\lambda' = \frac{EH_E \cdot L}{Ap \cdot E_p \cdot S^2}$$

يتقرع اعتماد عامل أمان $[F_s = 4]$ للعلاقات السابقة 1- 2- 3- 4

مثال :

جامعة دمشق Damascus University

أساسات (2)

✷ الجدران الاستنادية ✷

✦ مقدمة:

الجدران الاستنادية هي منشآت تستخدم لحجز التربة أو أية مواد أخرى ، عندما لا تسمح الظروف للمواد بأن تأخذ ميلها الطبيعي .

تستخدم الجدران الاستنادية أيضاً كعناصر إنشائية حاملة ، تنقل الحمولات المؤثرة عليها إلى التربة ، مثل « الركائز الجانبية للجسور ، جدران الأقبية التي تنقل حمولة البلاطات المستندة عليها إلى التربة » .

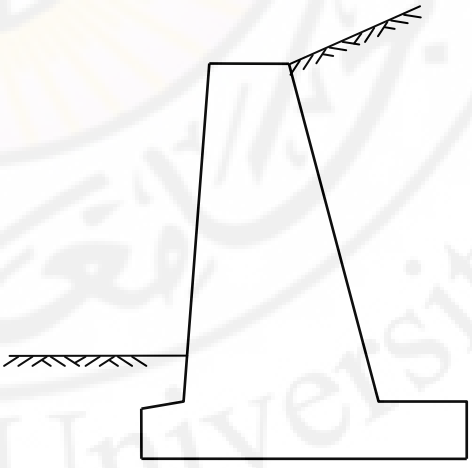
تصنف الجدران الاستنادية بالاعتماد على طريقة تأمين الاستقرار ، ومن أصنافها:

١- الجدران الاستنادية الكتلية:

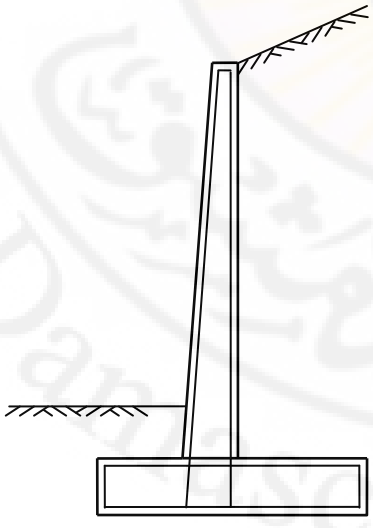
يعتمد هذا النوع من الجدران على كتلته لتأمين التوازن .

٢- الجدران الاستنادية الظفرية:

هي جدران من البيتون المسلح ، تعتمد على العمل الظفري لجسم الجدار من أجل حجز التربة .



الشكل (١- أ) الجدران الاستنادية الكتلية



الشكل (١- ب) الجدران الاستنادية الظفرية

وهناك أنواع أخرى ...

✦ تعاريف

سنورد فيما يلي بعض التعاريف الخاصة بالجدران الاستنادية:

١- بلاطة القاعدة أو القاعدة أو الأساس: وهي القاعدة التي يرتكز عليها الجدار الاستنادي .

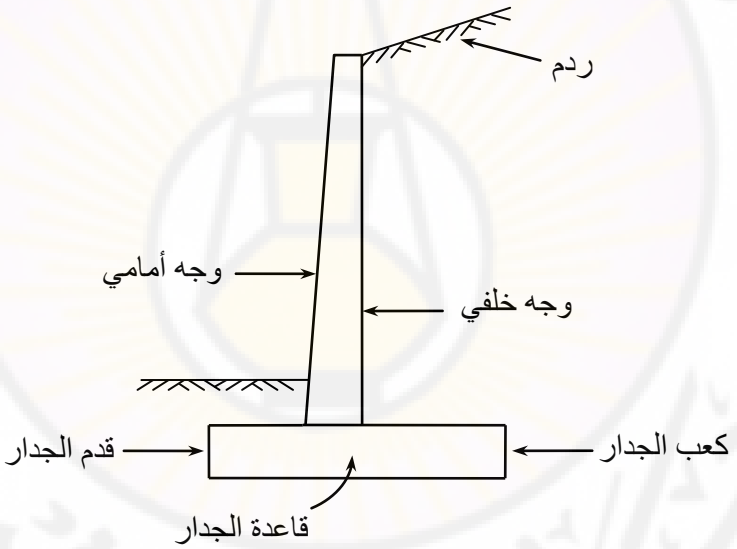
٢- البلاطة الشاقولية: هي الجزء الشاقولي من الجدار ، المعرَّض لدفع التربة .

٣- وجه الجدار: قد يكون الوجه الظاهر أو الوجه المردوم حسبما يُشار إلى ذلك .

٤- قدم الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه الظاهر .

٥- كعب الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه المردوم .

٦- السن: هو بروز في قاعدة الجدار ، يستخدم لتحقيق شرط الانزلاق عندما يكون سطح القاعدة غير كافٍ لمقاومة الانزلاق .



الشكل (٢)

✷ مراحل تصميم الجدران الاستنادية

١- فرض الأبعاد المناسبة للجدار .

٢- دراسة الجدار كجسم طليق من أجل تحديد القوى المؤثرة عليه .

٣- دراسة توازن الجدار: أ- تحقيق شرط الانزلاق .

ب- تحقيق شرط الانقلاب .

٤- تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة .

٥- التصميم الإنشائي للجدران الاستنادية .

✷ مراحل تصميم الجدران الاستنادية

١- فرض الأبعاد المناسبة للجدار

هنالك أبعاد تقريبية لكل نوع من أنواع الجدران الاستنادية ، سنوردها عند دراسة كل نوع .

٢- حساب القوى المؤثرة على الجدار:

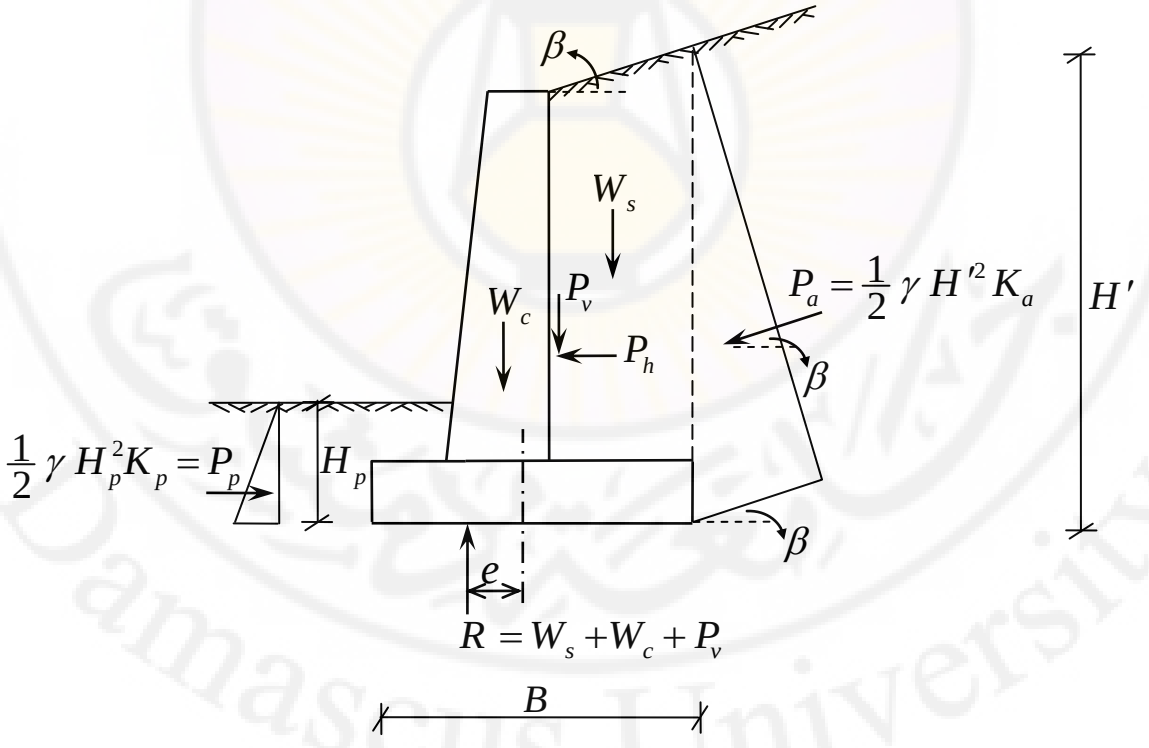
يوضح الشكل (٣) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي عند دراسته كجسم طليق ، وهي كما يلي:

أ- ضغط التربة الفعال على الجدار P_a .

ب- وزن الجدار W_c .

ج- وزن التربة فوق بلاطة الكعب W_s .

د- ضغط التربة السلبي المؤثر على مقدمة الجدار ، عند وجود ردم فوق بلاطة القدم .



الشكل (٣) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي

٣- دراسة توازن الجدار:

يتضمن: أ- تحقيق شرط الانزلاق .

ب- تحقيق شرط الانقلاب .

◉ أ- تحقيق شرط الانزلاق:

يجب تأمين عامل أمان مناسب ضد الانزلاق وذلك من أجل تأمين استقرار الجدار ضد الانزلاق .

عند حساب الانزلاق نهمل غالباً الردم الموجود فوق بلاطة القدم ، وذلك لاحتمال إزالة الردم بعد إنشاء الجدار .

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى جداء مجموع كافة القوى الشاقولية بمعامل الاحتكاك بين التربة و الجدار .

يعطى معامل الاحتكاك بين التربة و الجدار بالعلاقة:

$$f = tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة التأسيس .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{مجموع القوى الزالقة}} = \frac{f\ \sum V}{\sum H} \geq 1.5$$

حيث:

$\sum V$ مجموع القوى الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum H$ مجموع القوى الأفقية المؤثرة على الجدار .

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانزلاق أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، إلا أنه يفضل أخذ قيمة مساوية إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتمال وجود مياه والتي تقوم بتخفيض زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

◉ ب- تحقيق شرط الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية بلاطة القدم .

يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانقلاب أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

٤- تحقيق الإجهادات في مستوي القاعدة:

تعطى الإجهادات المطبقة على التربة بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{\substack{max\\min}} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \leq \sigma_{all}$$

حيث:

A مساحة قاعدة الجدار لشريحة عرضها $1\,m$ من الجدار:

$$A = (B \times 100)\,cm^2$$

$\sum V$ مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum M$ المجموع الجبري لعزوم جميع القوى المؤثرة على الجدار حول المحور المار من منتصف القاعدة $(B/2)$.

W العزم المقاوم لشريحة عرضها $1\,m$ من الجدار:

$$W = \frac{100 \times B^2}{6}$$

B عرض قاعدة الجدار .

باعتبار أن توزع الإجهادات خطي أسفل الجدار ، يمكننا أن نكتب قانون الإجهادات بعد وضع $\sum M = e \cdot \sum V$ كما يلي:

$$\sigma_{\substack{max\\min}} = \frac{\sum V}{B \times 100}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \leq \sigma_{all}$$

حيث e لامركزية محصلة القوى $\sum V$ بالنسبة للمحور المار من منتصف القاعدة .

لحساب اللامركزية e نأخذ عزوم جميع القوى حول نهاية بلاطة القدم O فيكون:

$$\overline{X} = \frac{\text{المجموع الجبري لعزوم جميع القوى حول } O}{\sum V}$$

حيث $\overline{X}$ بعد محصلة القوى $\sum V$ عن النقطة O .

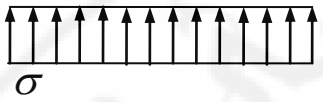
ومنه نجد:

$$e = \frac{B}{2} - \overline{X}$$

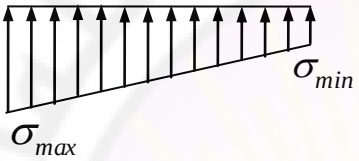
◊ الحالات المختلفة للاجهادات المطبقة على التربة:

هناك أربع حالات للاجهادات المطبقة على التربة ، موضحة على الأشكال التالية:

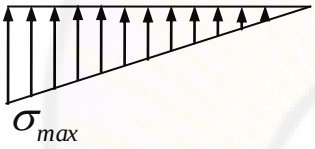
- تنتج الحالة الأولى عندما $e = 0$



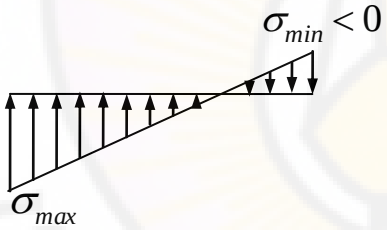
- تنتج الحالة الثانية عندما $e < \frac{B}{6}$

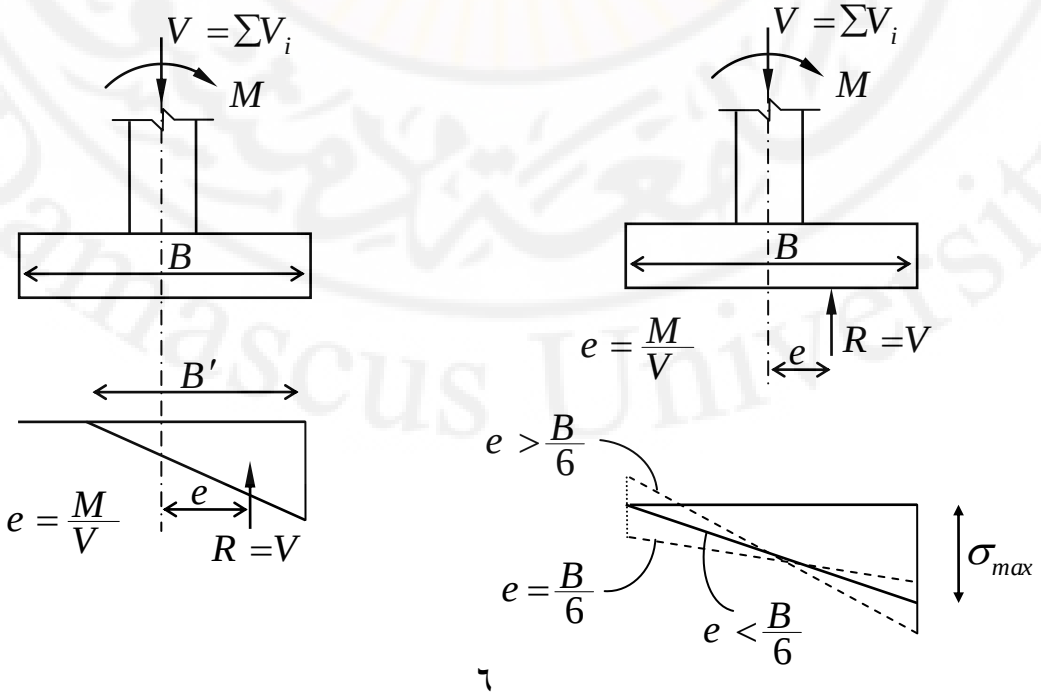


- تنتج الحالة الثالثة عندما $e = \frac{B}{6}$



- تنتج الحالة الرابعة عندما $e > \frac{B}{6}$





الشكل (٤) حالات الإجهادات المطبقة على التربة

بالنسبة للحالة الرابعة يجب ألا يقل الجزء المضغوط من القاعدة عن:

$$B' \geq (\frac{2}{3} \rightarrow \frac{3}{4})\, B$$

من التوازن ، انظر الشكل (٤) $\sum V = \frac{B'\,\sigma_{max}}{2}$

$$\Rightarrow \quad \sigma_{max} = \frac{2\sum V}{B'} \leq \sigma_{all}$$

٥- تحقيق الجدار على المتانة

يتم تحقيق الجدار على المتانة بتصميم مقاطع الجدار إنشائياً من أجل تحقيق متطلبات:

١- العزم

٢- القص

٣- التماسك

يمكن الاعتماد على ملحق البيتون المسلح من أجل التصميم وتحقيق المتطلبات المذكورة .

أما إذا كان الجدار من البيتون العادي فيمكننا اعتبار مادة الجدار متجانسة ثم نطبق العلاقة:

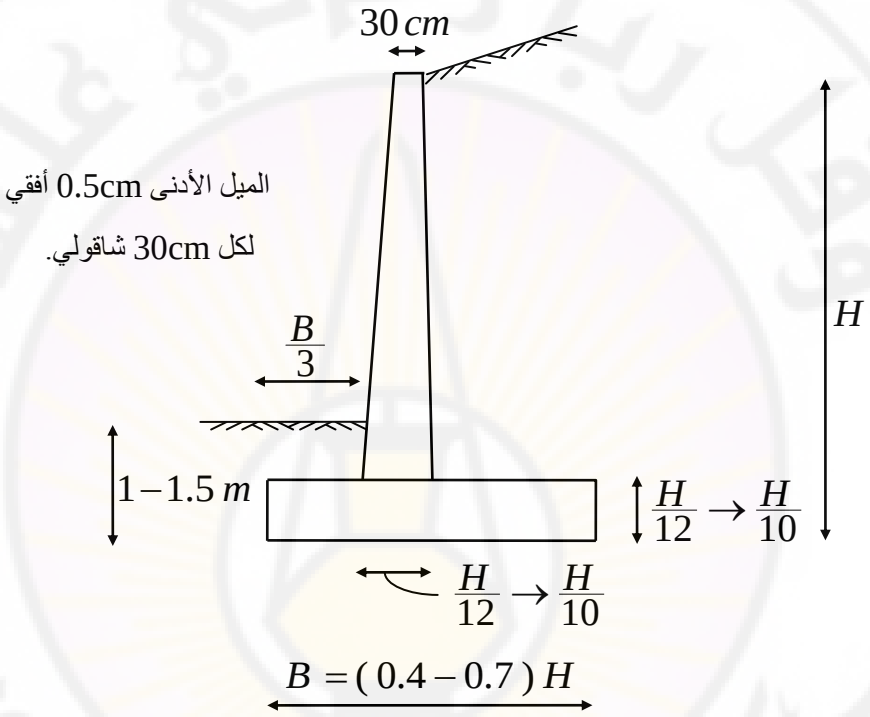
$$\sigma_{\substack{max \\ min}} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \leq \sigma_{all}$$

وذلك لحساب الاجهادات المتولدة في مختلف مقاطع الجدار .

✷ الجدران الاستنادية الظفرية ✷

✷ تحديد الأبعاد الأولية للجدران الظفرية

يوضح الشكل (١٦) الأبعاد الأولية المقترحة للجدران الاستنادية الظفرية.



الشكل (١٦) الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الظفرية

يوضح الشكل (١٧) مخططاً لإيجاد أبعاد القاعدة $(a\ ,b)$ بحيث تقع محصلة القوى تقريباً ضمن الثلث الأوسط من القاعدة.

◉ توازن الجدران الاستنادية الظفرية

◉ أ- التوازن ضد الانزلاق:

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى $R \cdot f$:

حيث: R مجموع كافة القوى الشاقولية

f معامل الاحتكاك بين القاعدة والتربة ، ويؤخذ من العلاقة:

$$f = tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{القوى الزالقة}} \geq 1.5$$

ويؤخذ مساوياً إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتمال وجود الماء الذي يخفض زاوية الاحتكاك والتلاصق.

إن وجود سن أسفل القاعدة يساعد على تحقيق التوازن ضد الانزلاق ، ونختار عملياً عمق السن D من المنحنيات الموضحة على الشكل (١٨) . (حيث نجد زاوية السن θ من الشكل)

ويكون: $$D = B \cdot tan\,\theta$$

ثم نحسب قوة الضغط السلبي المؤثرة P_p ، وندخلها في حساب التوازن ضد الانزلاق ، وإن لم يتحقق عامل الأمان يجب زيادة ارتفاع السن.

◉ ب- التوازن ضد الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية قدم الجدار .

يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

✦ مثال:

المطلوب تصميم جدار استنادي ظفري وفقاً للمعطيات التالية:

إجهادات الشد المسموحة في الحديد المستخدم: $f_s = 1400\ Kg/cm^2$

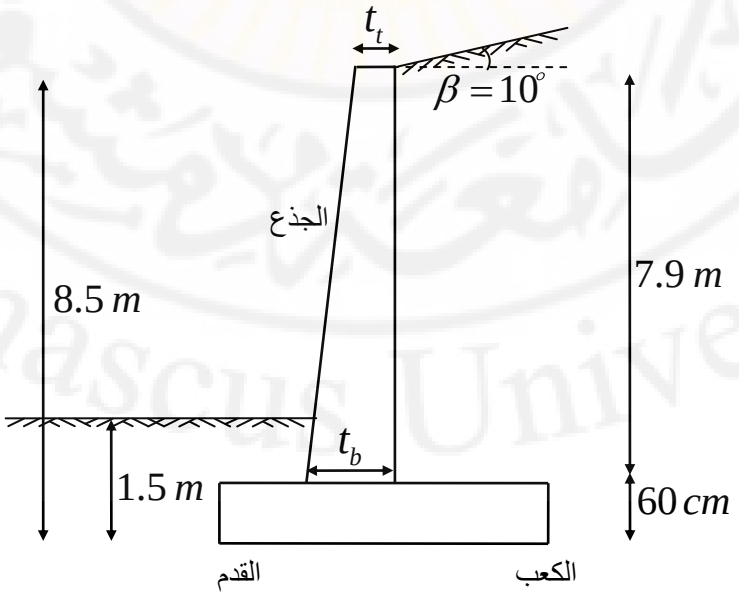
المقاومة المميزة للبيتون: $f_c' = 200\ Kg/cm^2$

الوزن الحجمي للبيتون: $\gamma_c = 2.4 t/m^3$

ارتفاع الجدار: $H = 8.5\ m$

مواصفات التربة المردومة: $\phi = 34\ ,\ \gamma = 1.84 t/m^3$

مواصفات تربة القاعدة: $\phi = 34\ ,\ \gamma = 1.76 t/m^3$



الشكل (١٩)

✦ **الحل**:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0.289$$

نفرض $t_b = 75\,cm$ حيث $t_b = H/12$ ، كما نفرض عرض الجدار من الأعلى $t_t = 30\,cm$.

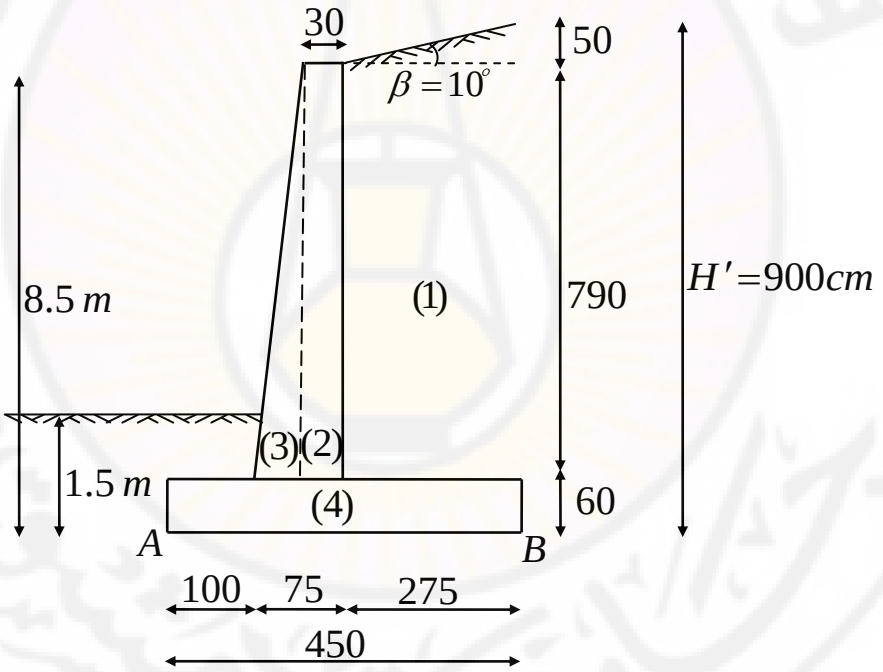
حساب عرض القاعدة B :

نختار:

طول القدم :تتراوح من 50-100 سم ،نختارها $100\,cm$

عرض الجدار:من الأسفل يتراوح من 50-100 سم نختارها $75\,cm$

يبقى طول الكعب $275\,cm =$ 450-100-75=275



الشكل (٢٠)

$$H' = 60 + 790 + 275 \cdot tan\,(10) = 900\,cm$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H'^2 \cdot K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 1.84 \times (9)^2 \times 0.289 = 21.54\,t$$

المركبة الأفقية $P_h = P_a \cos 10 = 21.21$

المركبة الشاقولية $P_v = P_a \sin 10 = 3.74t$

♦ **حساب عامل الأمان ضد الانقلاب:**

نأخذ عزوم جميع القوى المثبتة حول النقطة A ثم ننظم النتائج في الجدول التالي:

رقم الجزء	اسم الجزء	الوزن (t)	الذراع (m)	العزم ($t.m$)
1	التربة فوق الكعب	$\frac{(8.4+7.9)}{2} \times 2.75 \times 1.84 = 41.94$	3.125	131.063
2	الجزء المستطيل من الجذع	$7.9 \times 0.3 \times 2.4 = 5.69$	1.6	9.1
3	الجزء المثلثي من الجذع	$\frac{1}{2} \times 7.9 \times 0.45 \times 2.4 = 4.27$	1.3	5.55
4	القاعدة	$4.5 \times 0.6 \times 2.4 = 6.48$	2.25	14.58
5	المركبة الشاقولية لـ P_a	3.74	4.5	16.83
	المجموع	$\sum V = 62.12$	$\sum M = 177.1$	

وبالتالي يكون:

- العزم المثبت:

$$M_f = 177.1 t.m$$

- العزم القالب الناتج عن P_h :

$$M_0 = 21.21 \times \frac{9}{3} = 63.63 t.m$$

عامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF_{(o)} = \frac{177.1}{63.63} = 2.78 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

العزم الصافي:

$$M_n = 177.1 - 63.63 = 113.47\, t.m$$

- حساب بعد نقطة تطبيق محصلة القوى عن النقطة A :

$$\bar{x} = \frac{M_n}{\sum V} = \frac{113.47}{62.12} = 1.827\, m$$

اللامركزية $e = \frac{B}{2} - \bar{x}$

$$e = \frac{450}{2} - 182.7 = 42.3\, cm \; < \; \frac{B}{6} = \frac{450}{6} = 75\, cm$$

أي أن محصلة القوى تقع ضمن الثلث الأوسط للقاعدة.

♦ **تحقيق الانزلاق عند مستوي القاعدة:**

بإهمال الضغط السلبي P_p عند القدم نجد:

$$F = f \cdot \sum V = \tan(2\phi/3) \times \sum V$$
$$= 0.418 \times 62.12 = 25.97\, t$$

$$SF_{(S)} = \frac{\text{القوى الممانعة لحركة الجدار}}{\text{القوى الزالقة}} = \frac{25.97}{21.21} = 1.22 < 1.5 \quad not\ ok$$

بما أن عامل الأمان غير محقق ، نضع سن في نهاية الكعب ، الهدف منه توليد قوة جديدة ممانعة لحركة الجدار هي قوة ضغط التربة السلبي P_p المؤثرة على السن.

✓ اختيار عمق السن تحقيق عامل أمان مناسب:

نأخذ ارتفاع السن مساوياً إلى $D = 60\, cm$.

ثم نقوم بحساب الضغط السلبي المتولد:

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$
$$K_p = tan^2(45 + \phi/2)$$
$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.6)^2 \times 3.5 = 4.44\, t$$

$$\Rightarrow SF_{(S)} = \frac{4.44 + 25.97}{21.21} = 1.43 < 1.5 \quad not\ ok$$

نزيد ارتفاع السن: $D = 90\,cm$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6+0.9)^2 \times 3.5 = 6.93t$$

$$\Rightarrow SF_{(S)} = \frac{6.93 + 25.97}{21.21} = 1.54 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

✷ إيجاد قدرة تحمل التربة:

نطبق المعادلة التالية:

$$\sigma_{ult} = \gamma\, D\, N_q\, (1+0.35\frac{D}{B'})\,(1-0.5\frac{H}{V}) + \frac{1}{2}\,\gamma\, B'\, N_\gamma\, (1-0.5\frac{H}{V})^2$$

حيث:

σ_{ult} قدرة تحمل التربة الحدية.

D عمق التأسيس.

V مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على الجدار.

B' : $B' = B - 2e$

e لامركزية محصلة القوى الشاقولية بالنسبة لمحور B .

N_q , N_γ عاملا قدرة تحمل التربة ، وتؤخذ القيم من الجدول الوارد في بحث قدرة تحمل التربة بدلالة ϕ .

$$D = 1.5\,m \;,\; B' = 4.5 - 2 \times 0.423 = 3.654$$

من الجداول ومن أجل $\phi = 34^\circ$ نجد:

$$N_q = 30.3 \;,\; N_\gamma = 36.2$$

$$\frac{H}{V} = \frac{21.21}{62.12} = 0.341 \;,\; \frac{D}{B'} = \frac{1.5}{3.644} = 0.412$$

$$0.412 < \tan(2\phi/3) = 0.418 \quad ok$$

$$\sigma_{ult} = 1.76 \times 1.5 \times 30.3\,(1 + 0.35 \times 0.411)\,(1 - 0.5 \times 0.341) +$$
$$+ \frac{1}{2} \times 1.76 \times 3.654 \times 36.2\,(1 - 0.5 \times 0.341)^2$$
$$\sigma_{ult} = 155.99\, t/m^2 = 15.6\, Kg/cm^2$$

بالتقسيم على عامل أمان يساوي (3) نحصل على قدرة التحمل المسموحة.

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_{ult}}{3} = \frac{15.60}{3} = 5.2\, Kg/cm^2$$

ملاحظة: في حالة إزالة التربة عن القدم يصبح عمق التأسيس:

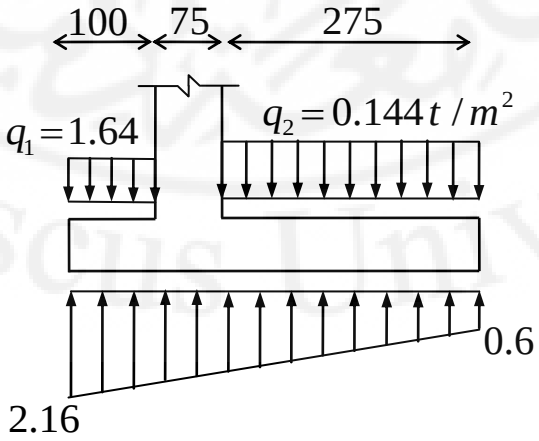
$$D = 1.5 - 0.6 = 0.9$$

$$\sigma_{ult} = 9\, Kg/cm^2 \;\Rightarrow\; \sigma_{all} = \frac{9}{3} = 3\, Kg/cm^2$$

وهذا يدل على مدى تأثير عمق التأسيس على قدرة تحمل التربة.

✷ حساب الاجهادات أسفل قاعدة الجدار:

$$\sigma_{\max} = \frac{V}{B \cdot L}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{62.12}{4.5 \times 1}\left(1 + \frac{6 \times 0.423}{4.5}\right)$$
$$\sigma_{\max} = 21.6\, t/m^2 = 2.16\, Kg/cm^2 < 5 \quad \underline{\underline{ok}}$$
$$\sigma_{\min} = \frac{V}{B \cdot L}\left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{62.12}{4.5 \times 1}\left(1 - \frac{6 \times 0.423}{4.5}\right)$$
$$\sigma_{\min} = 6.02\, t/m^2 = 0.6\, Kg/cm^2$$



الشكل (٢١)

- حساب الحمولة الموزعة فوق القدم:

نهمل وزن التربة فوق القدم وبذلك تكون الحمولة الموزعة تساوي إلى وزن البيتون فقط.

$$q_1 = 0.6 \times 2.4 = 1.44\, t/m^2 = 0.144\, Kg/cm^2$$

الحمولة الموزعة فوق الكعب:

$$q_2 = 0.6 \times 2.4 + 1.84\,(7.9 + 0.25) = 16.44\, t/m^2 = 1.644\, Kg/cm^2$$

- معادلة القوى الموزعة بالنسبة لقدم الجدار:

$$q_x = 21.14 - 1.44 - \frac{(21.4 - 5.8)}{4.5}\, x$$
$$= 19.7 - 3.467\, x$$

تقدر x بالأمتار.

- معادلة القوى القاصة بالنسبة لقدم الجدار:

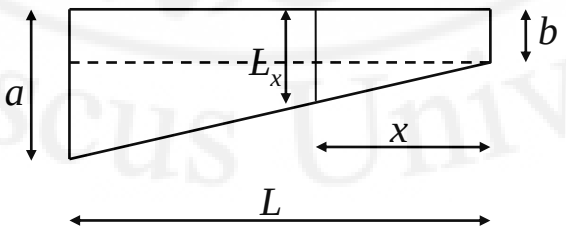
$$Q_x = \int q_x\, dx = 19.7\, x - 3.467\, \frac{x^2}{2}$$
$$= 19.7\, x - 1.734\, x^2$$

- معادلة العزم بالنسبة لقدم الجدار:

$$M_x = \int Q_x\, dx = 19.7\, \frac{x^2}{2} - 1.734\, \frac{x^3}{3}$$
$$= 9.85\, x^2 - 0.578\, x^3$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية القدم نضع $(x = 1\, m)$

تحسب معادلة القوى الموزعة للكعب كما يلي:



الشكل (٢٢)

$$L_x = b + \frac{(a-b)}{L} x$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية الكعب نضع ($x = 2.75\,m$)

$$Q_{(x=2.75\,m)} = 16.04\,t \quad , \quad M_{(x=2.75\,m)} = 28.1\,t.m$$

- حساب الاجهادات القاصة عند الكعب:

$$d = 60 - 10 = 50\,cm$$

$$\tau = \frac{16.04}{1 \times 0.5} = 32.08\,t/m^2 = 3.21\,Kg/cm^2$$

$$\bar{\tau} = 0.55\sqrt{f_c'} > 3.21 \quad \underline{\underline{ok}}$$

◊ تصميم المقاطع البيتونية لقاعدة الجدار:

١- المقطع الواقع عند نهاية القدم:

$$M = 9.27\,t.m$$

أبعاد المقطع: $50 \times 100\,cm$

$$W_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 9.27 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.04$$

من الجداول وبدلالة wa نجد:

($W_b = 0.119$, $\gamma_z = 0.913$)سوف يكون معطى ضمن جداول

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.913 \times 1400 \times 50} = 14.5\,cm^2$$

التحقق من الاجهادات في البيتون:

$$\sigma_c' = \frac{M}{W_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.119 \times 100 \times 50^2} = 31.2$$

$$\bar{\sigma}_c' = 0.4\,f_c' = 0.4 \times 200 = 80 > 31.2\,Kg/cm^2 \quad \underline{\underline{ok}}$$

١- المقطع الواقع عند نهاية الكعب:

$$M = 28.1 t.m$$

أبعاد المقطع: $50 \times 100\, cm$

$$W_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 28.1 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.12$$

من الجداول وبدلالة wa نجد: $\Rightarrow \; W_b = 0.177 \;,\; \gamma_z = 0.864$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.864 \times 1400 \times 50} = 46.5\, cm^2$$

التحقق من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma'_c = \frac{M}{W_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.177 \times 100 \times 50^2} = 63.2$$

$$\Rightarrow \; \sigma'_c = 63.2 \; < \; \bar{\sigma}'_c = 80 \quad \underline{\underline{ok}}$$

◊ تصميم المقاطع البيتونية للجذع:

بإهمال المركبة الشاقولية P_v والوزن الذاتي للجدار ، نكتب معادلات الحمولة الموزعة والقص والعزم عند أي نقطة من الجذع بالشكل التالي:

شدة الحمولة الموزعة:

$$q_h = \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos\beta$$

$$Q_h = \int_0^H q_h \cdot dh \; = \int_0^H \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos\beta \cdot dh$$

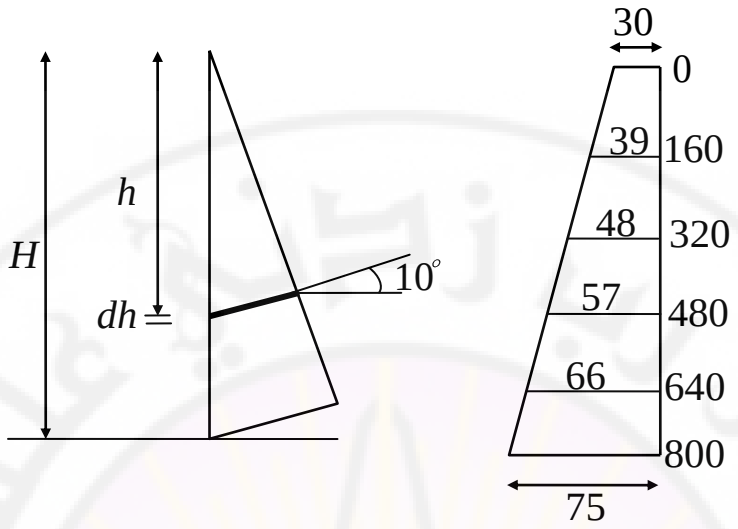
$$M_h = \int_0^H Q_h \; = \int_0^H \gamma \cdot K_a \cdot \cos\beta \cdot \frac{h^2}{2}$$

$$M_h = \; \gamma \cdot K_a \cdot \cos\beta \cdot \frac{h^3}{6} \Big|_0^H$$

$$K_a = 0.29 \;,\; \cos 10 = 0.99 \;,\; \gamma = 1.844\, t/m^3$$

$$\Rightarrow \; M_h = 0.088\, h^3$$

ثم ننظم النتائج في جدول ، حيث يتم حساب التسليح على مختلف الارتفاعات والتأكد من الإجهادات في البيتون.

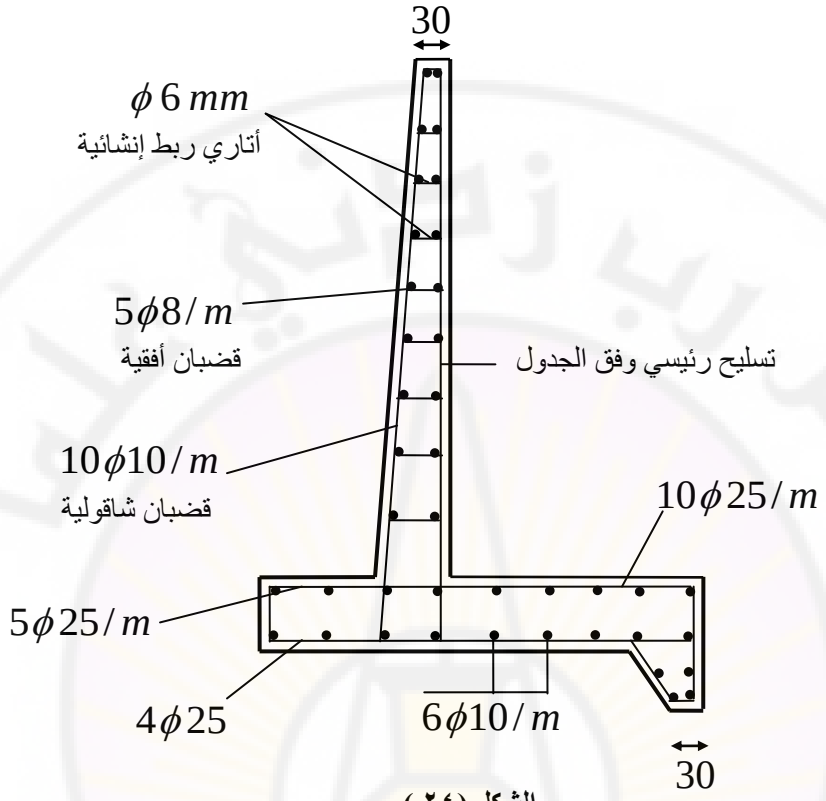


الشكل (٢٣) أبعاد مقاطع الجذع

h (cm)	M (t.m)	b (cm)	d (cm)	W_a	W_b	z	A_s (cm^2)	σ'_c
0	-	30					تسليح إنشائي	
160	0.361	39	32				تسليح إنشائي	
320	2.885	48	40	0.019	0.087	0.938	تسليح إنشائي	20.8
480	9.737	57	47	0.047	0.125	0.908	16.3	35.3
640	23.1	66	56	0.079	0.151	0.886	33.3	48.8
800	45.1	75	65	0.114	0.173	0.867	57.2	61.7

تعطى نسبة التسليح الدنيا مقطع ما من البلاطة الشاقولية بالعلاقة التالية:

$$\mu = 0.025 \cdot b \cdot d$$



الشكل (٢٤)