تقنيات تدعيم جدران المنشآت الترابية

- إن تنفيذ الأبنية والمنشـآت الهندسـية بكافة أشـكالها ووظائفها يتطلب القيام في جزء منها بمعالجة تربة الموقع، مثل تنفيذ حفرة الأساسات وإعادة ردمها بعد الانتهاء من أعمال التأسيس أو تسوية الموقع العام أو استصلاح الأراضي أو أي عمل آخر له علاقة بتنفيذ الأعمال الترابية.
- تنقسـم هذه الأعمال بشـكل رئيسـي إلى أعمال حفر وردم، ترافقها غالباً عمليات التسـوية والرص والنقل وأحياناً أعمال التفجير.

♣ س/: ما هي العوامل والظروف المؤثرة من الناحية التكنولوجية في كلفة واختيار الآلية المناسبة لتنفيذ الأعمال الترابية واشرح إحدى هذه العوامل.

◄ **يتم تنفيذ الأعمال الترابية بواسـطة آليات مناسـبة لطبيعة كل عمل، إلا أن اختيار الآلية المناسـبة والطريقة الأكثر فعالية لمعالجة التربة وكلفتها يتطلب أخذ الخواص والعوامل التالية بعين الاعتبار، وهي:**

- ✓ الخواص الميكانيكية والتكنولوجية لتربة الموقع ونوعيتها (كالوزن الحجمي، الرطوبة النسبية، التماسك، المتانة، خلخلة التربة وخواص أخرى أيضاً).
- ✓ ظروف موقع العمل، وتشمل المياه الجوفية وطبوغرافية الأرض وحدود موقع العمل.
- ✓ حجم الأعمال المراد تنفيذها.
- ✓ تقنية نقل التربة.
- ✓ الآليات المتوفرة لدى الشركة المنفذة.

الخواص الميكانيكية والتكنولوجية للتربة ونوعيتها:

تؤثر بشكل مباشر في استقرار جدران الحفريات وفي صعوبة وكلفة معالجتها، كما تؤثر في تقدير الحجوم بشكل أقرب إلى الواقع، هذه الخواص هي:

1. الوزن الحجمي:

- هو وزن $1m^3$ من التربة في حالتها الطبيعية ويقاس عادة بال T/m^3 وتحسب قيمته من العلاقة:

$$\gamma = \frac{(W_s + W_w)}{V_1 + V_2 + V_3}$$

حيث:

$(W_s + W_w)$: على التوالي، وزن الجزيئات الصلبة الجافة ووزن الماء الموجود في مسامات التربة.

$V_1 + V_2 + V_3$:على التوالي، حجم الجزيئات الصلبة وحجم الغاز وحجم الماء.

- يتراوح الوزن الحجمي للتربة الرملية والغضارية ما بين $1.5 - 2\ T/m^3$ وللتربة الصخرية حتى $3.3\ T/m^3$.

◄ قيمة الوزن الحجمي للتربة تفيد في اختيار آليات الحفر والنقل ذات الاستطاعة المناسبة، حيث أنه كلما زادت هذه القيمة، تطلب الأمر اختيار آليات ذات استطاعات أكبر.

2. الرطوبة النسبية للتربة:

- وهي تمثل نسبة ملء الفراغات المتواجدة في جسم التربة بالماء، وتحسب من العلاقة:

$$\omega = \left(\frac{g_n - g_d}{g_d}\right) * 100\%$$

حيث:

g_n : وزن التربة بحالتها الطبيعية. g_d : وزن التربة الجافة.

- وتعتبر التربة:
  - جافة إذا كانت $\omega \leq 5\%$.
  - طبيعية إذا كانت $5\% < \omega \geq 30\%$.
  - عالية الرطوبة إذا كانت $\omega \geq 30\%$.

تؤثر قيمة الرطوبة النسبية على استقرار وطريقة معالجة التربة وعلى قدرة التربة على الارتصاص، وتبين مدى الحاجة إلى أعمال تدعيم لجدران الحفريات.

3. تماسك التربة:

- هو مفهوم يعبر عن مقاومة الروابط الهيكلية في التربة لأي انتقال لجزيئات التربة المرتبطة بها. القيم التقريبية لتماسك التربة النوعي يتراوح ما بين:

$0.03 - 0.05\ Mpa$	للتربة الرملية.
$0.05 - 0.3\ Mpa$	للتربة الغضارية.
$0.3 - 4\ Mpa$	للكونغلوميرات.
أكبر من $4\ Mpa$	للتربة الصخرية.

- أما **متانة التربة:** فهي مفهوم يعبر عن قدرة التربة على مقاومة الحمولات الناجمة عن القوى الخارجية.
- تقييم متانة التربة الصخرية يتم من خلال اختبار الضغط المحوري، أما تقييم متانة التربة غير الصخرية فيتم من خلال قيم المواصفات الميكانيكية للتربة وهي التماسك C وزاوية الاحتكاك الداخلي φ .

تماسك ومتانة التربة يفيدان في اختيار آليات الحفر المناسبة وتبين مدى الحاجة إلى أعمال تدعيم لجدران الحفريات.

♣ س.د: ما هو مفهوم خلخلة التربة وبماذا يؤثر من الناحية التكنولوجية ؟

4. خلخلة التربة:

هي ميزة ازدياد حجم التربة بعد حفرها، وذلك بنتيجة فقدان قوى الترابط بين جزيئاتها، في هذه الحالة تنقص كثافة التربة. يُعبَّر عن زيادة حجم التربة بعامل خلخلة التربة البدائي والمتبقي.

A. عامل خلخلة التربة البدائي:

- قيمة عامل خلخلة التربة **البدائي** تؤخذ من العلاقة:

$$\eta_L = \frac{V_L}{V_n}$$

V_L: حجم التربة بعد خلخلتها(m^3) .

V_n: حجم التربة في وضعها الطبيعي(m^3).

- قيم عامل خلخلة التربة **البدائي** تختلف حسب نوع التربة:

للتربة الرملية :	$\eta_L = 1.08 - 1.2$
للتربة الغضارية:	$\eta_L = 1.2 - 1.3$
الكونغلوميرات:	$\eta_L = 1.4 - 1.6$

عامل خلخلة التربة البدائي يساعد في معرفة حجم التربة الذي يجب معالجته بعد الخلخلة، (نقل التربة على سبيل المثال).

B. عامل خلخلة التربة المتبقي:

- بعد ردم التربة المخلخلة في منطقة الردم ورصها بالشكل المطلوب، نلاحظ أنها لا تعود إلى نفس كثافتها التي كانت تتمتع بها قبل خلخلتها، أي لا تعود إلى نفس الحجم الأولي الذي كانت تشغله قبل الحفر، وبالتالي فهي تحتفظ ببعض الزيادة في الحجم، والذي يعبر عنه **بعامل خلخلة التربة المتبقي**.
- قيمة عامل خلخلة التربة **المتبقي** تؤخذ من العلاقة:

$$\eta_{L.R} = \frac{V_C}{V_n}$$

V_C: حجم التربة بعد رصها (m^3) .

V_n: حجم التربة في وضعها الطبيعي(m^3).

- قيم عامل خلخلة التربة **المتبقي** تختلف حسب نوع التربة:

للتربة الرملية:	$\eta_{LR} = 1.01 - 1.025$
للتربة الغضارية:	$\eta_{LR} = 1.015 - 1.05$
للتربة السكنية:	$\eta_{LR} = 1.1 - 1.2$

- **قيمة η_{LR} تكون عادة أصغر من قيمة η_L بحدود $15 - 20\%$.**

5. زاوية الميل الطبيعي:

- هي الزاوية الأعظمية للميول، التي يمكن أن تتشكل بنتيجة الانهيار الحر لتربة جدران الحفرية، بحيث تصل إلى حالة الاستقرار الحدي بالنسبة للمحور الأفقي.
- تتأثر زاوية الميل الطبيعي بشكل رئيسي بالتركيب الحبي للتربة وبشكل جزيئاتها أيضاً. كما أن لهذه الزاوية علاقة بالمواصفات الفيزياء–ميكانيكية للتربة.
- بالنسبة للتربة التي لا تتمتع بقوى احتكاك بين جزيئاتها (تربة انهيارية)، زاوية الميل الطبيعي تساوي زاوية الاحتكاك الداخلي.

- **مفهوم زاوية الميل الطبيعي يتعلق فقط بالتربة الانهيارية والجافة**، أما بالنسبة للتربة الغضارية المتماسكة فهذا المفهوم ليس له مكان، لأن في مثل هذا النوع من التربة، زاوية الميل تتأثر برطوبة التربة وبارتفاع الجدران الجانبية للمنشـآت الترابية وبقيمة الحمولة التي تؤثر على الجدران، ويمكن لهذه الزاوية أن تتراوح بين$(0 - 90°)$.
- شـدة ميول جدران المنشـآت الترابية يعبر عنها بنسـبة ارتفاع هذه الجدران إلى قاعدة توضـعها (المسـقط الأفقي للميول):

$$h: a = 1: m$$

m : **عامل الميول**، وهو يختلف باختلاف : عمق الحفرية أو ارتفاع الردمية من جهة وبنوع التربة من جهة اخرى أيضاً.

- كودات البناء تحدد قيم شـدة الميول لجدران المنشـآت الترابية والمؤقتة بالاعتماد على ارتفاع أو عمق هذه المنشأة.
- شدة الميول الجانبية (زاوية الميل) لردميات المنشآت الترابية الدائمة تكون عادة أصغر منها للحفريات.

الحماية من الانهيارات وتثبيت جدان الحفريات والخنادق:

إن تنفيد الأبنية والمنشـآت بمختلف أشـكالها يرافقه تنفيذ حفريات ذات أعماق متفاوتة، مما يتطلب تأمين العمل الآمن ضمن هذه الحفريات، أي يجب تحقيق استقرار جدران هذه الحفريات عن طريق:

- إعطاء هذه الجدران الميول التي تحقق استقرارها إن كان يسمح الموقع بذلك. (كونها تحتاج لمساحة كبيرة)
- أو نلجأ إلى تثبيت وتدعيم الجدران الشـاقولية للحفريات بواسـطة هياكل تدعيم متعددة الأشـكال، اختيار الشـكل المناسـب يتعلق بالأبعاد الهندسـية للحفرية وبالظروف الهيدرولوجية للموقع (نوع التربة، رطوبتها، تواجد المياه الجوفية).

1. تثبيت جدران الحفريات بواسطة هيكل الدعامات المائلة:

- تتوضـع الدعامات داخل الحفريات مما يسـبب إعاقة لتنفيذ الأعمال اللاحقة في الحفرية، لذلك فإن اسـتخدام مثل هذا الهيكل محدود نوعاً ما. أنظر الشكل $(a)(4 - 1)$
- سـطح الهيكل، هو عبارة عن دفوف خشـبية سـماكتها بحدود 5 سـم، يتم جمعها على أعمدة خشـبية كما هو مبين على الشكل$(1 - 4)$.
- في حال كانت التربة متماسـكة ولا وجود للمياه الجوفية وعلى عمق لا يتجاوز $3m$ عندئذ يمكن ترك فراغات بين الدفوف مساوية لعرض الدف، وبخلاف ذلك يجب عدم ترك أي فراغات.

2. التثبيت بواسطة الهيكل الوتدي:

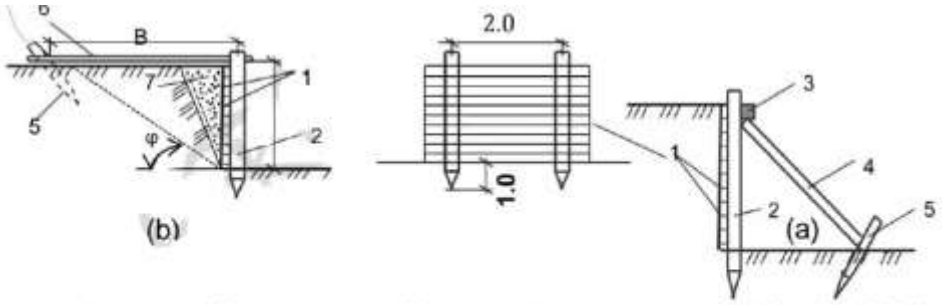
- يتألف الهيكل الوتدي من دفوف أفقية وأعمدة شاقولية بشكل مشابه تماماً لهيكل الدعامات المائلة إلا أنه في هذا الهيكل نستعيض عن الدعامات المائلة بشداد من دفوف خشبية أو كابلات معدنية تتوضع خارج الحفرة، أنظر الشكل$(1-4)(b)$.
- طول الشداد يجب أن يحقق العلاقة:

لاحظ أن الوتد يجب أن يكون خارج موشور الانهيار (المنقط)..

$$B \geq \frac{h}{tg\varphi}$$

حيث: φ: زاوية الميل الطبيعي للتربة. h: عمق الحفرية (m).

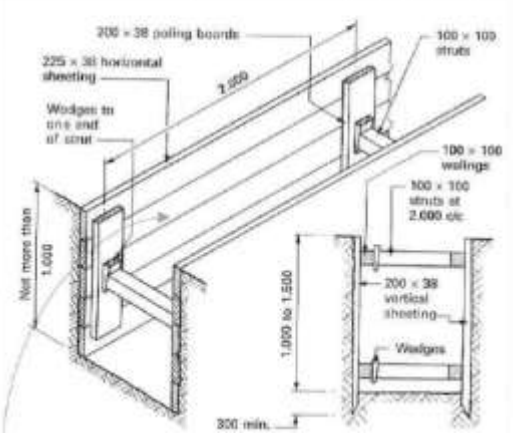
- لكيلا يعيق الشداد مرور الأشخاص، يجب أن يتوضع على عمق بسيط داخل التربة أو أن يتم ردمه.



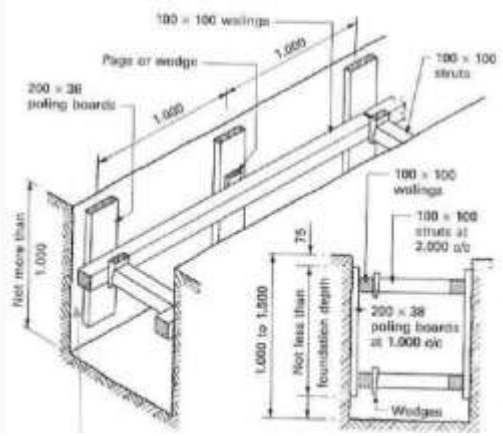
❖ **الشكل $(1-4)$**: تثبيت جدران الحفريات بالطريقتين: (a) الدعامات المائلة، (b) الهيكل المتدي
1- دفوف خشبية، 2- وتد، 3- عارضة ارتكاز، 4- دعامة مائلة، 5- وتد ارتكاز، 6- شداد (دف خشبي أو كابل معدني)، 7- تربة محلية أو رمل.

3. التثبيت بواسطة المثبتات الجاذبية:

تستخدم هذه الهياكل في تدعيم جدران الخنادق، حيث تلعب الجدران الجانبية دور الحواجز فقط وتقوم بنقل الحمولة إلى الجوائز العرضية. الجوائز يمكن أن تتوضع على مستو واحد أو مستويين وذلك بحسب مواصفات التربة وعمق الحفرية. كما هو مبين.

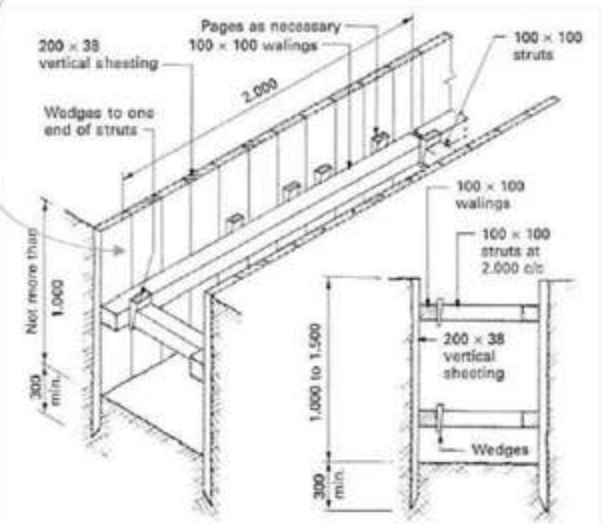


الشكل يبين هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في **التربة الضعيفة الجافة**.



الشكل يبين هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في **التربة المتماسكة**.

لاحظ أنه في التربة المتماسكة لم نضع دفوف خشبية على كامل جوانب الحفرية مقارنة بالتربة الضعيفة.

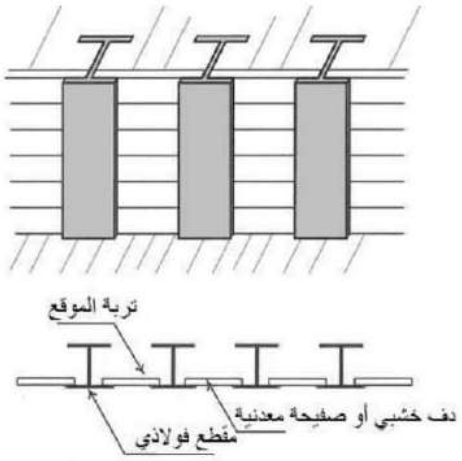


Typical timbering in loose wet soils

الشكل يبين هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في **التربة الضعيفة الرطبة**.

4. هياكل التدعيم الظفرية الجاتزية:

- وهي هياكل مؤقتة، تستخدم في الظروف التي تكون فيها ساحات موقع العمل ضيقة جداً ومحاطة بالأبنية والمنشآت وشبكات الخدمات المطمورة والطرقات.
- يعتبر هذا الشكل مجدياً من الناحية الاقتصادية والفنية حتى عمق عشرة أمتار، ويتألف من عناصر فولاذية شاقولية تعمل كأظفار وهي غالباً ما تكون عبارة عن أنابيب أو مقطع(I)، ودفوف خشبية أو صفائح معدنية (عناصر السطح) تعمل كجوائز.
- يتم أولاً دق الأظفار في التربة مباشرة أو ضمن آبار يتم تجهيزها مسبقاً على محيط الحفرية المطلوب إنشاؤها، وذلك حسب مواصفات تربة الموقع. يتم البدء بعد ذلك بأعمال الحفر وتنزيل الجوائز بين كل ظفرين متجاورين لتكون على تماس مباشر مع تربة جدران الحفرية وتمنعها من الانهيار. أنظر الشكل
- من مساوئ هذه الهياكل أنها غير كتيمة لتسرب المياه الجوفية، وبالتالي قد تكون هناك حاجة لتخفيض منسوب هذه المياه. كما أن هذه الهياكل لا تتمتع بمتانة عالية وذلك بسبب التشوهات التي يمكن أن تتعرض لها الدفوف الخشبية، لذلك لا يمكن اعتمادها لأعماق تزيد عن العشرة أمتار. أنظر للشكل



الشكل يبين هياكل التدعيم الظفرية الجائزة.

5. التدعيم بواسطة الهياكل الظفرية:

- هي عبارة عن صندوق أو جدار مؤقت أو دائم يتم دقه في الأرض أو الماء على محيط الحفرية وذلك لتشكيل الفراغ المناسب لأعمال البناء. وينفذ عادة للتمكن من تشكيل الأساس المطلوب في ظروف عمل آمنة.
- ومن الخبرات الشائعة في هذا المجال هو استخدام ألواح معدنية على شكل أوتاد صفائحية لتشكيل الفراغ المطلوب لكن يمكن استخدام أي مواد والتي سوف تؤدي الوظيفة نفسها، بما في ذلك الأوتاد الخشبية والبيتونية المسبقة الصنع. ويجب أن تكون آمنة واقتصادية وفعالة.

الأوتاد المعدنية الصفائحية:

- الأوتاد المعدنية الصفائحية هي الشكل الأكثر شيوعاً والمستخدم في تدعيم الحفريات بشكل مؤقت وذلك في التربة الناعمة و/ أو المشبعة بالمياه وفي بناء السدود.
- ويمكن أيضاً أن تستخدم لتشكيل جدران استنادية دائمة خاصة تلك المستخدمة في تدعيم ضفاف الأنهار وجوانب الطرق وفي بناء الأرصفة البحرية.
- يوجد ثلاثة أشكال من الأوتاد المعدنية الصفائحية الأكثر شيوعاً وهي:

Larseen straight – web piles Frodingham

◈ الجدران المطمورة الحاجزة: *Diaphragm Walls*

➤ التعريف & الاستخدام:

يمكن تعريفها على أنها جدران فاصلة تنفذ مسبقاً على أعماق مختلفة في التربة من أجل حجز التربة في إحدى جهات الجدار ليكون بمثابة جدار حاجز لنهر أو لسدود ترابية، وأيضاً لحجز التربة على جانب الطريق.

و في السياق ذاته يمكن أن يستخدم كحائط استندي لتشكيل الجدار المحيطي من بنية طوابق وتستخدم الجدران الحاجزة الخرسانية إلى حد كبير في أعمال البناء الحديثة.

➢ المزايا:

ويمكن أن تعطي المزايا التالية:

- يمكن تصميم وبناء الجدار بشكله النهائي وفق البنية الإنشائية الواردة في دراسة الجدار تماماً.
- هذه التقنية تسـمح بتنفيذ الجدران المطمورة دون الحاجة إلى تنفيذ أعمال الحفر أولاً، مما ينفي الحاجة إلى تنفيذ أعمال مؤقتة مثل التدعيم وأعمال القوالب.
- لا تعتبر هده التقنية مرتفعة الضجيج والاهتزاز الناجم عنها ضئيل أو يكاد يكون معدوماً.
- يمكن العمل بهذه الطريقة بشكل مُتاخِم لأبنية قائمة.
- يمكن تصميمها لمقاومة الأحمال الشاقولية و/أو الأفقية.
- يمكن تنفيذ أي شكل مفترض على المسقط.
- عموماً تعتبر هذه التقنية اقتصادية لبناء الطوابق السفلية أو الجدران الاستنادية.

♣ س.د: ما هو الأسلوب الشائع في تنفيذ الجدران المطمورة؟ وبين ما الهدف من الاعتماد على هذا الأسلوب في تنفيذ هذه الجدران؟

ما هو الأسلوب الشائع في تنفيذ الجدران المطمورة؟

- الأسـلوب الأكثر اسـتخداماً لبناء الجدران المطمورة هو الأسـلوب الذي يعتمد على نظام طين البنتونايت في التنفيذ.
- يتم تصـنيع طين البنتونايت من غضـار المونتموريلونيت، الذي بنتيجة مزجه مع الكمية الصـحيحة من المياه نحصـل على بنتونايت متغير الانسـيابية بحيث يكون على شـكل سـائل ثقيل عند تحريكه وتدويره بشـكل مستمر وعلى شكل بنية هلامية عندما يرقد.

ما هو الهدف من استخدام طين البنتونايت ؟

- الإجراء الأساسي المتبع في هذه الأسلوب هو استبدال التربة المحفورة بطين البنتونايت بشكل يتناسب مع تقدم سير العمل.
- الطين يشكل مادة هلامية لينة أو "$filter\ cake$" على السطوح الداخلية للجدران الجانبية للحفرية تتغلغل بشكل طفيف نسبياً في مسامات التربة السطحية لهذه الوجوه.
- الضـغط الهيدروليكي الناجم عن طين البنتونايت على جدران الحفرية يكفي لمنع انهيار جدران الحفرية، ولمنع تدفق المياه الجوفية التي قد تكون موجودة، هذا يخفف من الحاجة إلى أخشـاب و/ أو إلى ضـخ المياه الجوفية في حال وجودها.
- ويمكن أن تستخدم بنجاح لعمق يصل إلى 36 متر.

((نهاية المحاضرة الثالثة))))))))))))))))))))))))))))))))))))))