**محاضرات تكنولوجيا الإنشاء (1)**

إعداد الدكتور المهندس شكري بابا

**الفصل الثالث**

# تقنيات تنفيذ الأعمال الترابية وتدعيم جدران الحفريات

## (جميع المعلومات الواردة باللون الأزرق هي للاطلاع فقط)

إن تنفيذ الأبنية والمنشآت الهندسية بكافة أشكالها ووظائفها يتطلب القيام في جزء منها بمعالجة تربة الموقع، مثل تنفيذ حفرة الأساسات وإعادة ردمها بعد الإنتهاء من أعمال التأسيس أو تسوية الموقع العام أو استصلاح الأراضي أو أي عمل آخر له علاقة بتنفيذ الأعمال الترابية. تنقسم هذه الأعمال بشكل رئيسي إلى أعمال حفر وردم، ترافقها غالباً عمليات التسوية والرص والنقل وأحياناً أعمال التفجير. يتم تنفيذ الأعمال الترابية بواسطة آليات مناسبة لطبيعة كل عمل. إلا أن اختيار الآلية المناسبة والطريقة الأكثر فعالية لمعالجة التربة وكلفتها يتطلب أخذ الخواص التالية للتربة بعين الاعتبار، وهي:

- خواص تربة الموقع ( الوزن الحجمي، الرطوبة النسبية، التماسك، المتانة، الخلخلة 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.

<u>الخواص الميكانيكية والتكنولوجية للتربة ونوعيتها:</u> تؤثر بشكل مباشر في استقرار جدران الحفريات وفي صعوبة وكلفة معالجتها، كما تؤثر في تقدير الحجوم بشكل أقرب إلى الواقع، هذه الخواص هي:

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

$$\gamma=(W_S+W_W)/V_1+V_2+V_3$$

حيث:

$W_S+W_W$ - على التوالي، وزن الجزيئات الصلبة الجافة والماء 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 $T/m^3$ 1.5-2 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.**

**الرطوبة النسبية للتربة:** تؤثر على استقرار وطريقة معالجة التربة وعلى قدرة التربة على الارتصاص، وهي تمثل نسبة ملء الفراغات المتواجدة في جسم التربة بالماء، وتحسب من العلاقة:

$$W=(g_n-g_d/g_d).100\%$$

**حيث:** $g_n$ – وزن التربة بحالتها الطبيعية. $g_d$– وزن التربة الجافة، وتعتبر التربة:

- جافة إذا كانت $W \leq 5\%$
- طبيعية إذا كانت $5\% < W \geq 30\%$
- عالية الرطوبة إذا كانت $W> 30\%$

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

**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…0.3MPa للتربة الغضارية
- 0.3…4MPa للكونغلوميرات
- وأكبر من 4MPa 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.**

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

$$\eta_{L=} V_L / V_n$$

حيث: $V_L$- 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)**

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:

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

حيث:

$V_C$ - 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..... $\eta_{L.R = 1.01-1.025}$

للتربة الغضارية..... $\eta_{L.R = 1.015- 1.05}$

للتربة السكنية..... ..... $\eta_{L.R = 1.1- 1.2}$

قيمة $\eta_{L.R}$ تكون عادة أصغر من قيمة $\eta_L$ بحدود 15-20%

**<u>الحماية من الانهيارات وتثبيت جدران الحفريات والخنادق</u>**

إن تنفيذ الأبنية والمنشآت بمختلف أشكالها 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 الشكل (3-1- a)، أو نلجأ إلى تثبيت وتدعيم الجدران الشاقولية للحفريات بواسطة هياكل تدعيم متعددة الأشكال، الشكل (3-1- b) ، اختيار الشكل المناسب يتعلق بالأبعاد الهندسية للحفرية وبالظروف الهيدرولوجية للموقع (نوع التربة، رطوبتها، تواجد المياه الجوفية).

(a)

(b)

الشكل (3-1): استقرار جدران الحفريات، (a) ميول جانبية، (b) هيكل تدعيم.

- **تثبيت جدران الحفريات بواسطة هيكل الدعامات المائلة**

تتوضع الدعامات داخل الحفريات مما يسبب إعاقة لتنفيذ الأعمال اللاحقة في الحفرية، لذلك فإن استخدام مثل هذا الهيكل محدود نوعاً ما. أنظر الشكل (3-2) (a). سطح الهيكل، هو عبارة عن دفوف خشبية سماكتها بحدود 5 سم، يتم جمعها على أعمدة خشبية كما هو مبين على الشكل (3-2). في حال كانت التربة متماسكة ولا وجود للمياه الجوفية وعلى عمق لا يتجاوز 3 م عندئذ يمكن ترك فراغات بين الدفوف مساوية لعرض الدف، وبخلاف ذلك يجب عدم ترك أي فراغات.

- **التثبيت بواسطة الهيكل الوتدي:**

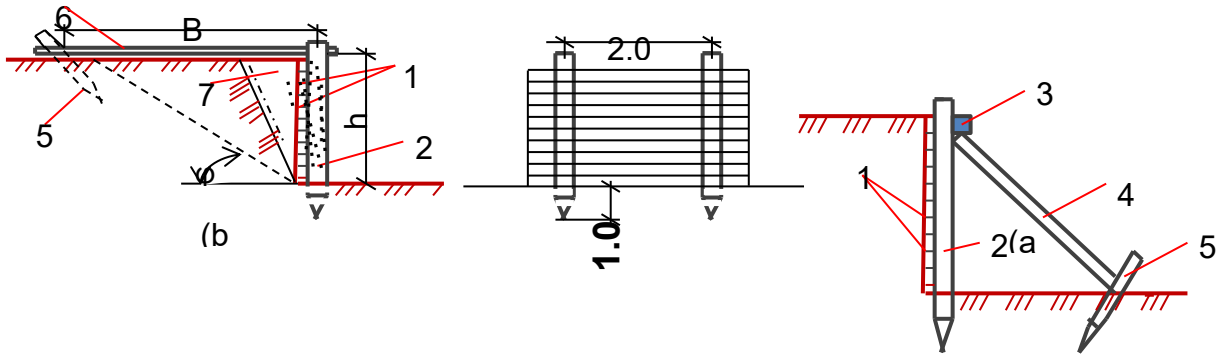
يتألف الهيكل الوتدي من دفوف أفقية وأعمدة شاقولية بشكل مشابه تماماً لهيكل الدعامات المائلة إلا أنه في هذا الهيكل نستعيض عن الدعامات المائلة بشدَاد من دفوف خشبية أو كابلات معدنية تتوضع خارج الحفرة، أنظر الشكل(3-2) (b). طول الشداد يجب أن يحقق العلاقة:

$$B \geq h / tg\varphi$$

حيث:

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

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

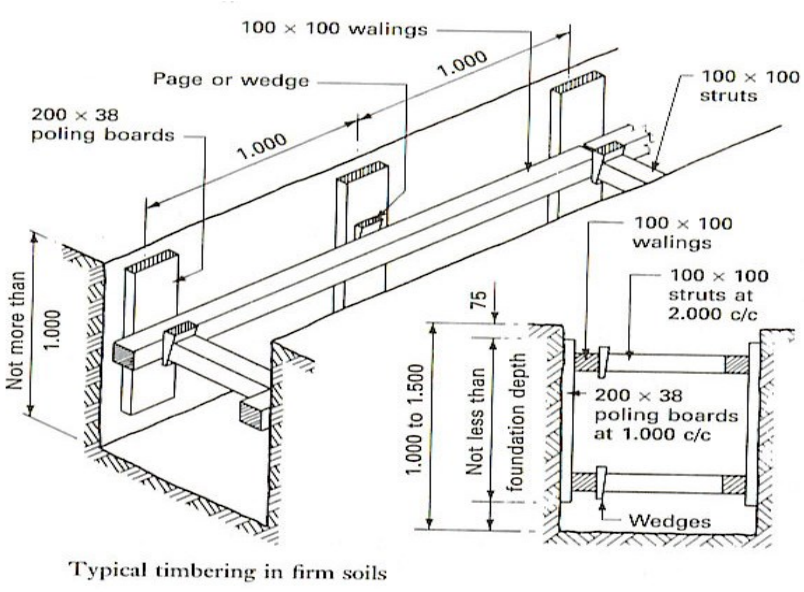



الشكل (3-2): تثبيت جدران الحفريات بالطريقتين: (a) الدعامات المائلة (b)الهيكل الوتدي

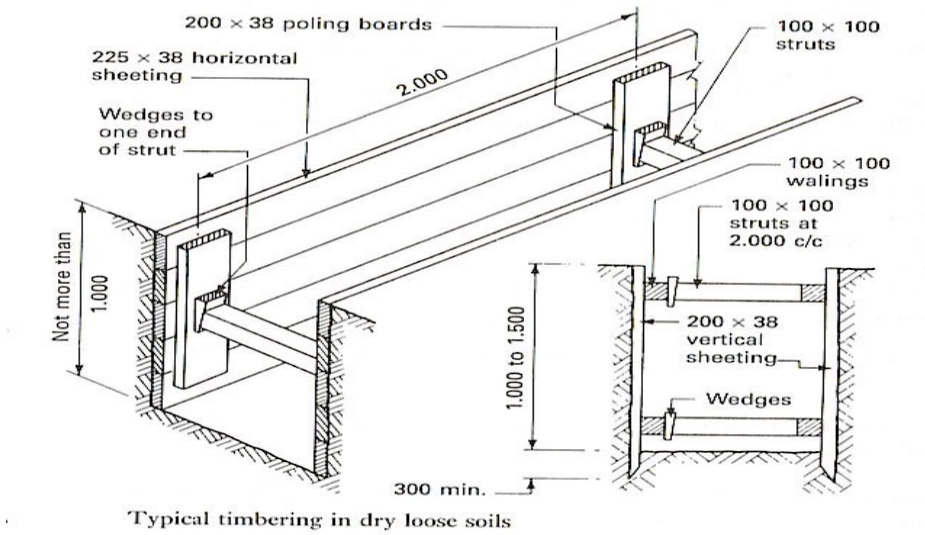
1- دفوف خشبية، 2- وتد، 3- عارضة ارتكاز، 4- دعامة مائلة، 5- وتد ارتكاز، 6- شدَاد (دف خشبي أو كابل معدني)، 7- تربة محلية أو رمل

- **التثبيت بواسطة المثبتات الجائزية:**

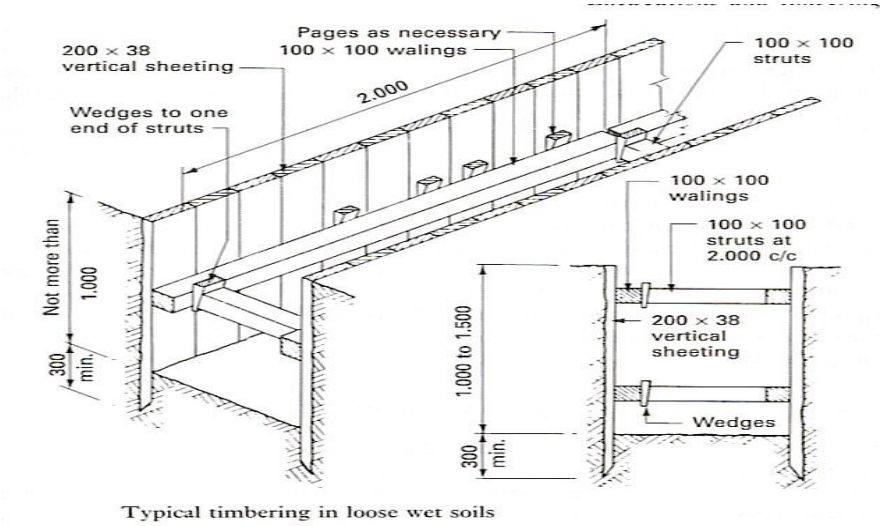
تستخدم هذه الهياكل في تدعيم جدران الخنادق، حيث تلعب الجدران الجانبية دور الحواجز فقط وتقوم بنقل الحمولة إلى الجوائز العرضية. الجوائز يمكن أن تتوضع على مستو واحد أو مستويين وذلك بحسب مواصفات التربة وعمق الحفرية. كما هو مبين.




الشكل (3-3): هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في التربة المتماسكة




الشكل (3-4): هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في التربة الضعيفة الجافة



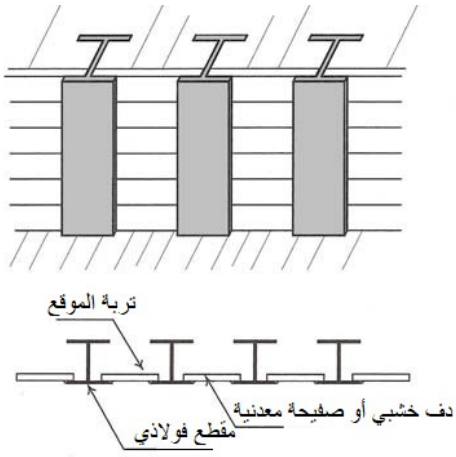

الشكل (3-5): هيكل تدعيم تقليدي للخنادق في التربة الضعيفة الرطبة

**- هياكل التدعيم الظفرية الجائزية**

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 الشكل



الشكل (3-6): **هياكل التدعيم الظفرية الجائزية**

**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**

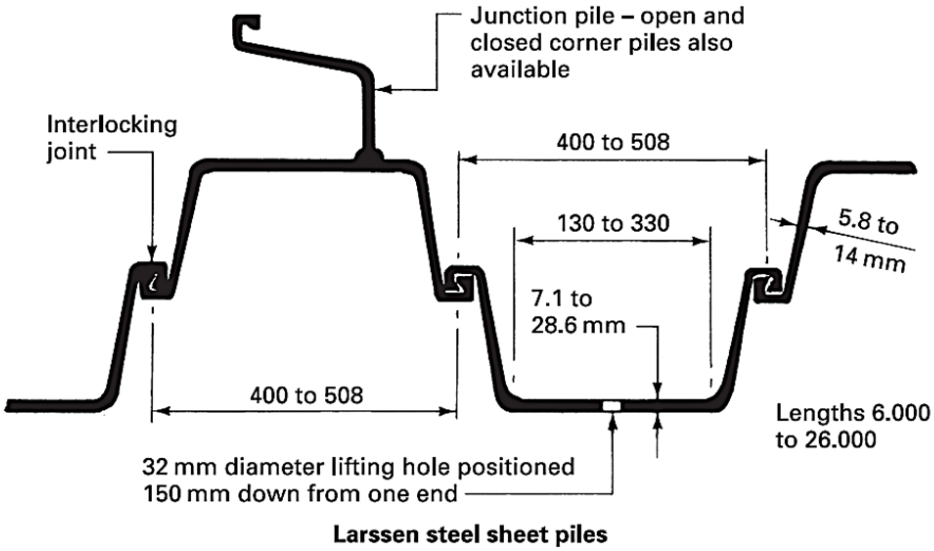
الأوتاد المعدنية الصفائحية هي الشكل الأكثر شيوعا المستخدم في تدعيم الحفريات بشكل مؤقت وذلك في التربة الناعمة و/ أو المشبعة بالمياه وفي بناء السدود.
ويمكن أيضا أن تستخدم لتشكيل جدران استنادية دائمة خاصة تلك المستخدمة في تدعيم ضفاف الأنهار وجوانب الطرق وفي بناء الأرصفة البحرية.

يوجد ثلاثة أشكال من الأوتاد المعدنية الصفائحية الأكثر شيوعا وهي:

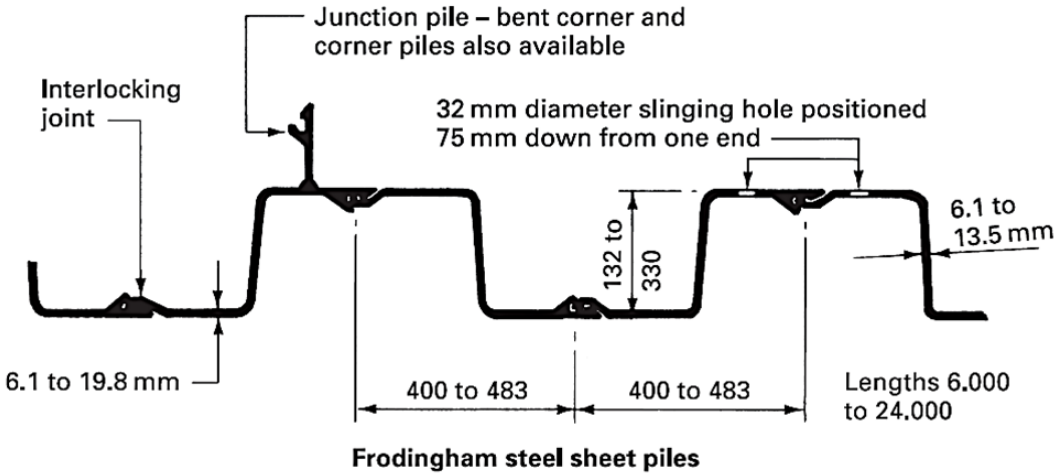
Larseen, Frodingham, straight-web piles

وهي جميعها متشابهة من حيث شكل مقطع السكة الجانبية التي تفيد في تأمين تشابكها مع بعضها البعض لتعمل كجدار واحد يفيد في تدعيم جدران الحفرية وكسد يمنع تدفق المياه إلى الحفرية.

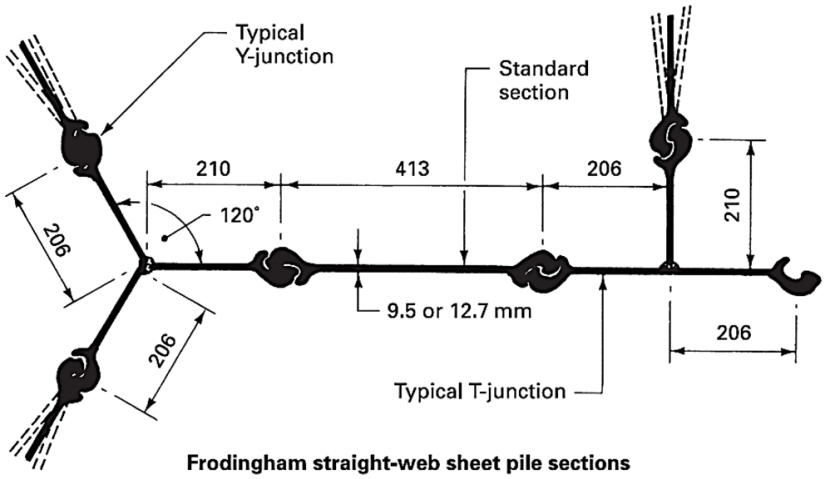
أنظر الأشكال (3-7)، (3-8)، (3-9)




الشكل (3-7): الأوتاد المعدنية الصفائحية Larsen steel sheet piles




الشكل (3-8): الأوتاد المعدنية الصفائحية frodingham steel sheet piles




الشكل (3-9): الأوتاد المعدنية الصفائحية straight-web sheet piles

## الجدران المطمورة (الحاجزة) DIAPHRAGM WALLS

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، وأيضا لحجز التربة على جانب الطريق. و في السياق ذاته يمكن أن يستخدم كحائط استنادي لتشكيل الجدار المحيطي من بنية طوابق القبو، الشكل (3-10).

الشكل (3-10): الجدران المطمورة

وتستخدم الجدران الحاجزة الخرسانية إلى حد كبير في أعمال البناء الحديثة، ويمكن أن تعطي المزايا التالية:

- يمكن تصميم وبناء الجدار بشكله النهائي وفق البنية الإنشائية الواردة في دراسة الجدار تماماً.

- هذه التقنية تسمح بتنفيذ الجدران المطمورة دون الحاجة إلى تنفيذ أعمال الحفر أولاً، مما ينفي الحاجة إلى تنفيذ أعمال مؤقتة مثل التدعيم وأعمال القوالب.

- لا تعتبر هذه التقنية مرتفعة الضجيج والاهتزاز الناجم عنها ضئيلٌ أو يكاد يكون معدوماً.

- يمكن العمل بهذه الطريقة بشكل متاخم 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.

**ما هو الأسلوب الشائع في تنفيذ الجدران المطمورة؟**

الأسلوب الأكثر استخداماً لبناء الجدران المطمورة هو الأسلوب الذي يعتمد على نظام طين البنتونايت في التنفيذ. يتم تصنيع طين البنتونايت من غضار المونتموريلونيت، الذي بنتيجة مزجه مع الكمية الصحيحة من المياه نحصل على بنتونايت متغير الإنسيابية بحيث يكون على شكل سائل ثقيل عند تحريكه وتدويره بشكل مستمر وعلى شكل بنية هلامية عندما يرقد.

**ما هو الهدف من استخدام طين البنتونايت ? Why bentonite slurry**

الإجراء الأساسي المتبع في هذه الأسلوب هو استبدال التربة المحفورة مع طين البنتونايت بشكل يتناسب مع تقدم سير العمل. الطين يشكل مادة هلامية لينة أو 'filter cake'على السطوح الداخلية للجدران الجانبية للحفرية تتغلغل بشكل طفيف نسبيا في مسامات التربة السطحية لهذه الوجوه. الضغط 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 أخشاب و / أو ضخ المياه الجوفية في حال وجودها، ويمكن أن تستخدم بنجاح لعمق يصل إلى 36،000 متر.

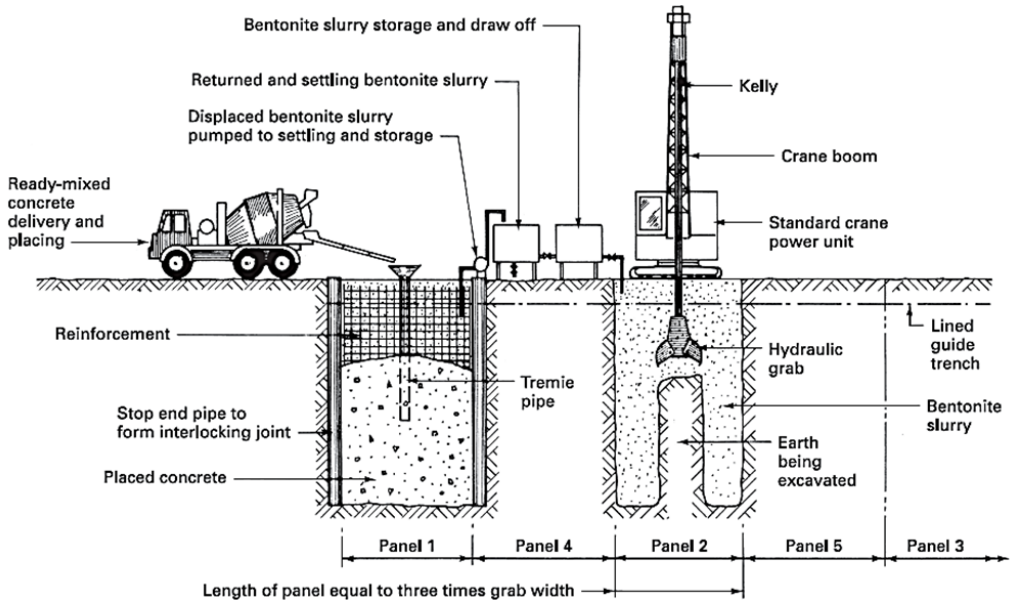


Figure 3.2.7 Diaphragm wall construction: bentonite slurry method

الشكل (3-11): إنشاء الجدار المطمور باستخدام طين البنتونايت

**تقنية تنفيذ الجدران المطمورة Diaphragm walls construction**

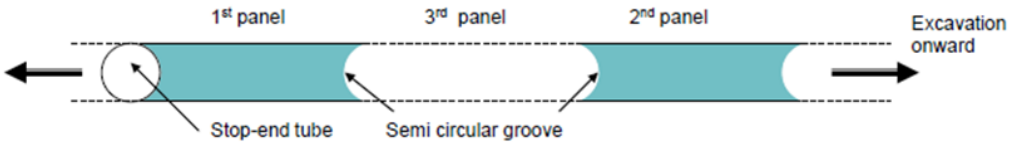
تنفيذ الجدران المطمورة بهذا الأسلوب يتم من خلال تجزئة الجدار إلى عدة أقسام تنفيذية يتم إنشاؤها بالتناوب، يتراوح عرض القسم الواحد من 4.5 إلى 7 متر مع سماكة تتراوح بين 50 حتي 90 سم وذلك باستخدام وعاء هيدروليكي لاقط ذو فكين مصمم خصيصا لمثل هذه الأعمال، يتم تعليقه على رافعة أو مجرفة آلية، كما يمكن استخدام آلية حفر مستمر. أنظر الشكل (3-11)

قبل البدء بحفر الخندق اللازم لصب الجدار نقوم أولاً بتنفيذ خندق دليل بعمق 1 م وفق مسار الجدار المزمع تنفيذه مع تحديده من الجهتين بجدارين من البيتون المسلح متباعدين عن بعضهما مسافة مساوية لعرض الجدار المطلوب. هذه الجدران تعمل كخط دليل لآلات الحفر، وتوفر خزان لطين البنتونايت، كما تمكن من إزالة كافة الخدمات المطمورة في موقع التنفيذ.

**الشكل (3-12): الخندق الدليل**

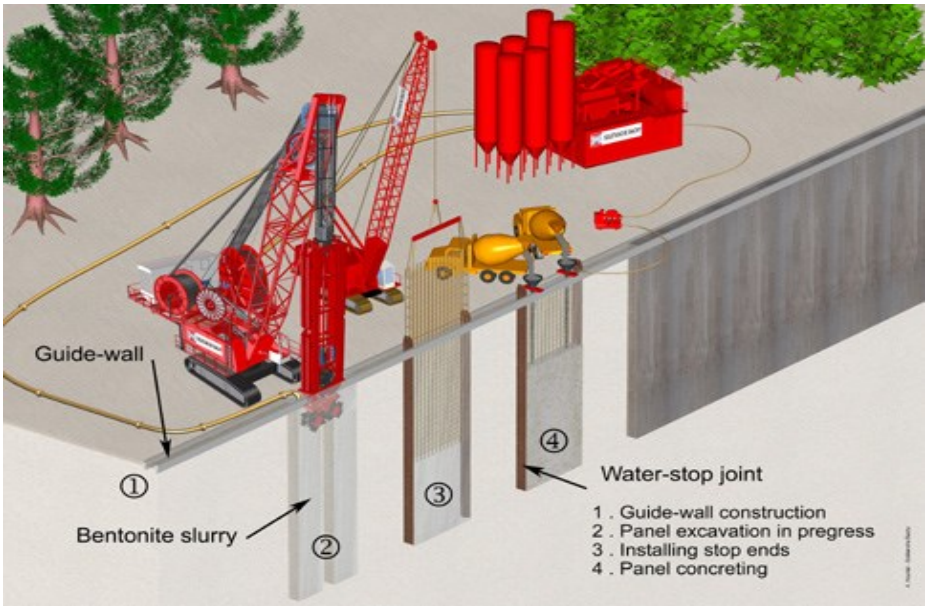
**صب الجدران المطمورة**

**صب الجدران المطمورة** يتطلب تكوين وصلات محكمة وكتيمة للماء، حيث يتم في نهاية كل قسم تنفيذي (جدار جزئي) وضع أنابيب دائرية في أطراف الخندق المملوء بالبنتونايت ومن ثم تسليح الجدار قبل صب البيتون. يتم تنفيذ عملية صب الجدار الجزئي باستخدام قمع وأنبوب tremie pipe مع الحفاظ على أن تبقى النهاية السفلية للأنبوب مغموسة في الخلطة البيتونية أثناء عملية الصب. مواصفات الخلطة يجب أن توفر قابلية تشغيل جيدة دون انفصال مكوناتها بنتيجة أعمال الصب. هذا يتطلب أن يكون هبوط المخروط للخلطة المستخدمة حوالي 200 مم على أن تتمتع بمتانة لا تقل عن (20 -40 /mm2).




الشكل (3-13): تنفيذ الوصلات

معدل الصب في مثل هذا النوع من الأعمال يتراوح عادة بين 15 إلى 20 م$^3$ في الساعة، حيث يقوم البيتون بنتيجة أعمال الصب بإزاحة طين البنتونايت الأقل كثافة منه ليأخذ مكانه، ومن ثم يصار إلى تخزين البنتونايت من أجل استخدامه لاحقاً أو أن يتم مباشرة نقله إلى قسم تنفيذي آخر من الجدار. الوضع المثالي هو تنفيذ العمليتين بشكل متزامن.




**الشكل (3-14): مصور عام لتنفيذ الجدران المطمورة وللتجهيزات المستخدمة في التنفيذ**

**المراجع:**

1- تكنولوجيا الإنشاء (1) لطلاب السنة الرابعة في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق

2- Construction Technology. Prof. Ataev.s.s MIR Publishers . Moscow 1985

3- Advanced construction tschnology, Roy Chudley. 2005