

الجيولوجيا الهندسية

Engineering geology

علم الجيولوجيا الهندسية: هو احد فروع علم الأرض ، يهتم بتطبيقات العلوم الجيولوجية في أعمال الهندسة المدنية وتحديد العوامل الجيولوجية المؤثرة في السلوك الهندسي للترب والصخور في المواقع المقترحة لبناء المنشآت الهندسية المختلفة للمساعدة في إعداد التصاميم الصحيحة للأسس لغرض إقامة مشاريع آمنة من مخاطر الهبوط والتصدع والانهيال وبكف اقتصادية كما في مشاريع الطرق والجسور والسدود والأنفاق والبنائات المختلفة.

دور الجيولوجي في المشاريع الهندسية:

أ- الكشف عن المواقع الملائمة لإقامة المشاريع المختلفة.

ب- التقويم الهندسي للصخور والتراكيب الجيولوجية بالموقع.

ج- دراسة استقرارية الطبقات والتكوينات الجيولوجية والمخاطر المحتملة.

د- تحديد المواقع المناسبة لتجهيز مواد البناء الأولية للمشروع.

هـ- إعداد الخارطة الجيولوجية الهندسية لمنطقة المشروع.

للقيام بهذا الدور، يجب أن يكون الجيولوجي ملما بـ:

أ- طبيعة الترب والصخور والتراكيب الجيولوجية المختلفة لتحديد التتابع الطباق في المنطقة.

ب- تحديد الخواص الجيوتكنيكية للمواد الجيولوجية لمعرفة سلوكها الهندسي بعد إقامة المشاريع بواسطة

الفحوص الموقعية والمختبرية.

ج- عمق المياه الجوفية والتذبذب في مستواها وخواصها الكيميائية.

الأصل الجيولوجي للتربة: التربة (Soil) هي خليط معقد لنواتج التجوية يوجد عادة فوق الصخور، مكون من حبيبات معدنية قد تكون سائبة أو على درجات مختلفة من التماسك، مع كمية مختلفة من المواد العضوية تكوّن عادة الطبقة العليا للتربة. يوجد بين حبيبات التربة فراغات أو مسامات تحوي على الهواء أو الماء أو كلاهما.

تتعرض الصخور في الطبيعة لعوامل التعرية والتجوية المختلفة مما يؤدي إلى تفتت وتحلل مكوناتها مكونة التربة. قد تبقى نواتج التجوية في محلها فوق الصخور الأم وتعرف حينها بالتربة المتبقية (Residual soils)، أو تقوم عوامل النقل المتمثلة بالجاذبية والرياح والمياه والجليد بنقل النواتج وترسيبها في مناطق أخرى لتعرف عندها بالتربة المنقولة (Transported soils) مثل التربة الريحية (Aeolian soils) والتربة المائية (Aqueous soils) والتربة الجليدية (Glacial soils) وغيرها.

تمتاز التربة المتبقية بما يأتي: أ- وجود قطاع متدرج للتربة. ب- معادن التربة المتبقية لها علاقة مباشرة بالصخرة الأم. ج- تكون حبيبات التربة حادة غالبا. د- تحوي التربة فتات الصخر الأصلي ويكثر بالطبقات السفلى منها. هـ- يعتمد سمكها على عمق التجوية والمناخ وطبيعة الصخر والزمن وغيرها.

التركيب المعدني للتربة (Mineralogy of soil): لأنواع المعادن أهمية في تحديد خواص التربة الهندسية. في الرمل (Sand) تكون المعادن ذات مقاومة عالية لعوامل التجوية الميكانيكية مثل الكوارتز. في الطين يكون التركيب المعدني أكثر تعقيدا وتأثيرا في الخواص الهندسية. تتكون المعادن الطينية بفعل التجوية الكيميائية للصخور، وهي سليكات الألمنيوم المائية تتمثل بعدد من المعادن منها الكاؤولينايت والمونتمورلينايت والايلايت.

خصائص تربة العراق:

تختلف تربة العراق باختلاف المناطق والأعماق. توجد في المناطق الشمالية والشمالية الشرقية تربة صلبة جدا مثل الطين المتحجر والمارل مخلوط جزء منها بالجبس. في وسط العراق وجنوبه، تكون التربة السطحية متماسكة من الطين والغرين بنسب مختلفة تليها في العمق تربة غير متماسكة رملية وحصوية.

كذلك في مناطق أقصى جنوب العراق مثل البصرة والفاو فان التربة المتماسكة تمتد من سطح الأرض لعمق ٢٤م تمثل الرواسب النهرية الحديثة وتكوين الحمّار، تليها التربة الرملية والرملية الغرينية التي تمثل سطح تكوين الدببة.

تعد تربة السهل الرسوبي تربة منقولة من تجوية الصخور في شمال العراق، حيث نقلت مياه الأنهار تلك المفتتات ورسبتها فيه، وهي تتصف بارتفاع نسب الطين والغرين وقلّة نسبة الرمل، وهي تربة حديثة التكوين تغطيها في السابق مياه البحر، وبسبب عمليات التبخير والترسيب اللاحقة فقد تراكمت فيها أنواعا مختلفة من الأملاح تتمثل بالكبريتات والكاربونات والكلوريدات، كما تحوي هذه التربة المواد العضوية بنسب متغيرة.

التحريات الجيوتكنيكية (Geotechnical investigations):

يحتاج المهندسون عند وضع التصاميم الصحيحة لأسس المنشآت الهندسية المختلفة إلى المعلومات الأساسية التالية عن الظروف الجيولوجية تحت سطح المواقع المقترحة لهذه المنشآت:

أ - التتابع الطباقى والامتداد الأفقى وعمق طبقات التربة والصخور وسمكها في حدود الأعماق المتأثرة بثقل المنشأ المزمع إقامته.

ب- العمق إلى سطح المياه الجوفية ومدى تأثره بالتغيرات الفصلية وأعمال البناء.

ج- الخواص الجيوتكنيكية للتربة والصخور في الموقع ونوع المياه الجوفية ويتعرف عليها بواسطة الفحوص المختبرية والموقعية وكما مبين في جدول ١.

د- العوامل الخطرة المؤثرة على المنشأ مثل المنحدرات غير المستقرة، والفوالق النشطة، والزلازل الإقليمية، والفيضانات، والتخسفات الأرضية، والانهيارات المحتملة وجهد الانتفاخ.

هـ- مدى استجابة الأرض لتغير الظروف الطبيعية بسبب التحميل الناتج عن أعمال البناء واللاتحميل الناتج عن أعمال الحفر وإزالة التربة.

و- ملائمة المواد الجيولوجية بالموقع للاستخدام في أعمال البناء وعمل الأرصفة والتعلبات الترابية.

يتم الحصول على هذه المعلومات بواسطة التحريات الجيوتكنيكية والتي تعرف أيضاً بتحريات التربة (Soil investigations) أو التحريات الاستكشافية، وهي تهدف إلى:

أ - تحديد ملائمة الموقع لبناء المنشأ الهندسي المقترح.

ب- تمكين المهندسين من أعداد تصاميم متكاملة، آمنة واقتصادية للأسس.

ج- التنبؤ بالمشاكل الجيوتكنيكية التي قد تحدث أثناء وبعد العمل.

د- إعطاء صورة واضحة عن طبيعة المواد الإنشائية الواجب استعمالها في البناء.

تجرى التحريات الجيوتكنيكية بطرق مباشرة وغير مباشرة. تستحصل المعلومات بالطرق غير المباشرة من مراجعة البحوث وتقارير التحريات السابقة والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والصور الجوية والفضائية، وباستطلاع الموقع لفحص الترب والصخور الظاهرة على السطح نتيجة التعرية أو فعل الإنسان في بعض المواقع مثل ضفاف الأنهر والمنحدرات المقطوعة والمقالع والأنفاق والمناجم.

أما في طرق الاستكشاف المباشرة فيتم الحصول على المعلومات بواسطة:

أ- حفر الجسات الاختبارية (Boreholes) والحفر الاختبارية (Test pits) والخنادق (Trenches) إذ

يمكن الحصول منها على نماذج مخلخلة وغير مخلخلة لترب الموقع.

ب- الاستكشاف الجيوفيزيائي (Geophysical exploration) وسبر الأعماق (Sounding) أو ما

يعرف بفحص الاختراق بالمخروط (Cone penetration test).

ج- إجراء بعض الفحوص الموقعية مثل فحص الاختراق القياسي (Standard penetration test)

وفحص القص المروحي (Vane shear test) وفحوص المياه الجوفية (Groundwater tests).

جدول ١ : قياس الخواص الجيوتكنيكية للصخور والترربة .

الفحص المختبري				Property الخاصية	
الفحص الموقعي		صخور ترربة		صخور ترربة	
Basic properties الخواص الأساسية					
		X	X	Specific gravity	الوزن النوعي
		X	X	Porosity	المسامية
		X		Void ratio	نسبة الفراغات
X	X	X	X	Moisture content	المحتوى الرطوبي
X	X	X	X	Bulk density	الكثافة الظاهرية
		X		Saturated density	الكثافة المشبعة
		X		Dry density	الكثافة الجافة
X		X		Relative density	الكثافة النسبية
			X	Hardness	الصلابة
			X	Durability	التحمل
		X	X	Reactivity	المفاعلية
X	X	X	X	Sonic-wave char.	خواص الموجات الصوتية
Index properties الخواص الدالة					
		X		Grain size dis.	التوزيع الحجمي للحبيبات
		X		Liquid limit	حد السيولة
		X		Plastic limit	حد اللدونة
		X		Shrinkage limit	حد الانكماش
		X		Organic content	المحتوى العضوي
			X	Point-load index	معامل الحمل النقطي
Engineering properties الخواص الهندسية					
X	X	X	X	Permeability	النفاذية
X		X		Consolidation	الانضمام
X	X	X	X	Expansion	التمدد
		X	X	Unconfined strength	مقاومة الانضغاط غير المحصور
		X		Confined strength	مقاومة الانضغاط المحصور

مراحل التحريات الجيوتكنيكية ..

تجرى التحريات الجيوتكنيكية لمشروع ما على وفق المراحل الآتية ..

أولاً.. التحريات الاستطلاعية (Reconnaissance investigations): تعطي التحريات الاستطلاعية، والتي تعرف أيضاً بالتحريات المكتبية، معلومات عامة عن طبيعة المنطقة يستفاد منها لغرض الدراسات الأولية وأعداد برنامج التحريات للمشروع، وهي تتضمن جمع المعلومات عن جيولوجية المنطقة، وجيولوجية صخور القاعدة (Bed rocks) واهم المظاهر التركيبية فيها كالقوالق، والجيولوجيا السطحية لمعرفة أنواع الترب وامتدادها، والظروف المناخية السائدة وتأثيرها على جيومورفولوجية المنطقة، وتذبذب مستوى المياه الجوفية والتعرية والفيضانات واستقرارية المنحدرات، والزلزالية الإقليمية وتاريخ الهزات الأرضية والمخاطر الجيولوجية المحتملة الإقليمية والموقعية مثل التخسفات الارضية والانهيارات وغيرها.

نحصل على هذه المعلومات من دراسة البحوث السابقة عن المنطقة المنشورة في المجالات العلمية وتقارير تحريات التربة للمشاريع القريبة الصادرة عن المختبرات الانشائية والتقارير التي تصدرها المؤسسات الحكومية مثل دوائر النفط والمسح الجيولوجي والتحري المعدني واطروحات طلبة الدراسات العليا في اقسام علم الارض والهندسة المدنية والجغرافية، كما نحصل على المعلومات من دراسة الخارطة الجيولوجية للمنطقة وخرائط مسوحات التربة والخرائط التكتونية والخرائط الزلزالية لوضع تصور كامل عن جيولوجية المنطقة. كذلك، من تحليل الصور الجوية والفضائية. نحصل على المعلومات المناخية من دائرة الأنواء الجوية.

فضلا عن ذلك فإنه يجب زيارة الموقع المقترح للمشروع واستطلاع بصوره مباشرة للحصول على اقصى المعلومات الاضافية الممكنة عن حالة السطح وما تحت السطح لتعزيز الخارطة الجيولوجية - الهندسية قبل المباشرة بأعداد برنامج التحريات التفصيلية، إذ يتم فحص مكاشف التربة والصخور عند السطح وفي المناطق المقطوعة التي تمر بها الطرق السريعة والسكك الحديد وحفريات الاسس والمقالع وضفاف الانهر وغيرها، مع ملاحظة مناطق تسرب المياه الجوفية (Groundwater seepage)، وفحص المنحدرات (Slopes) ومدى استقرارها، وفحص المنشآت المقامة قرب الموقع وملاحظة وجود أي مشاكل هندسية فيها، وملاحظة مستويات الفيضان السابقة بالمناطق القريبة من الأنهار، والاستفسار عن طبيعة الأسس للمنشآت المقامة

وظروف التربة الموقعية، وملاحظة ظروف الموقع لتحديد نوع المكائن الملائمة للعمل بالموقع وإمكانية وصولها الى مناطق الفحص المختلفة والاستخدامات الحالية للأرض المخصصة للموقع.

ثانياً.. التحريات التفصيلية (Detailed investigations) ..

تهدف التحريات التفصيلية الى تعزيز الخارطة الجيولوجية - الهندسية لبيان التتابع الطباقى للترب والصخور المختلفة التي تتأثر نتيجة لبناء المنشآت وضمن الاعماق المحددة للتحريات بالموقع. تقسم المنشآت الهندسية على ثلاثة انواع رئيسة نسبة الى طبيعة المعلومات المراد التحري عنها وهي:

أ- المنشآت التي يكون فيها الغرض الأساس من التحري دراسة التأثير المتبادل بين المنشأ والأرض المحيطة به كما في الأسس (Foundations)، والجدران الساندة (Retaining Walls)، وبطانات الانفاق (Tunnel linings)، والأنابيب المدفونة (Buried pipes) وغيرها.

ب- المنشآت المشيدة من التراب (Earth) مثل املايات الطرق العامة (Highway fills)، والسداد الترابية والصخرية، وقواعد الأرصفة وتراب الردم بجانب الجدران الساندة والتي تحتاج ايضا الى معرفة خواص المواد الإنشائية.

ج- المنشآت الترابية والصخرية مثل المنحدرات الطبيعية (Natural slopes) والمنحدرات المقطوعة (Cut slopes) ويكون الغرض الأساس من التحريات معرفة خواص التربة والصخور المكونة لهذه المنشآت.

يعتمد اختيار طرق التحريات التفصيلية المناسبة على طبيعة المشاريع المختلفة، وحجم منطقة الدراسة، وطبيعة التصاميم، والظروف الجيولوجية، وإمكانية الوصول للمشروع، والإمكانات المادية والبشرية، وعامل الزمن وغيرها. يتضمن برنامج التحريات التفصيلية المراحل الآتية:

أ- تحديد تسلسل عمليات التحري بما يؤمن انجاز العمل بطريقة منتظمة.

ب- اختيار فريق العمل والإشراف الموقعي.

ج- اختيار المعدات العاملة بالموقع التي تتناسب مع حاجة وظروف الموقع.

د- تحديد عدد نقاط التحري ونوعها وعمقها والمسافة بينها ومواقعها.

ثالثاً.. التحريات أثناء البناء (Explorations during construction)..

تعطي كل مرحلة من التحريات نتائج يستفاد منها في التعرف على المعلومات الأساسية المطلوبة لوضع التصاميم الصحيحة للأسس، وقد تظهر بعض الاستفسارات التي تحتاج إلى تحريات أخرى أكثر تفصيلاً فننتقل بذلك إلى مرحلة أخرى من التحريات للإجابة عليها. تكون التحريات أثناء البناء ضرورية عند بروز بعض المشاكل في أثناء البناء كما في بعض المشاريع الممتدة وفي الصخور.

يعتمد نوع وموقع وحجم وعمق التحريات على طبيعة وحجم المشروع وطبيعة المنطقة المراد إقامته عليها ومدى التعقيد الحاصل فيها. هناك قاعدة عامة تقول أن كلفة التحريات بحدود (٠,٥-١%) من الكلفة الكلية المقدره للمشروع. تكون النسبة الصغيرة للمشاريع الكبيرة التي تكون فيها ظروف ما تحت السطح اقل تعقيداً، أما النسبة الكبيرة فهي للمشاريع الصغيرة ذات ظروف التربة المعقدة. تمثل كلفة التحريات الكلفة الكلية لتخطيط عمليات التحري الموقعية والإشراف على تنفيذها وأجراء الفحوص المختبرية وإعداد التقرير النهائي، ومن الأفضل صرف هذه المبالغ لغرض تأمين المنشأ والمحافظة عليه من أخطار الهبوط والتصدع والانهيال.

حفر الجسات الاختبارية (Boreholes)

تعرف الجسة بأنها حفرة عمودية او مائلة او افقية حفرت داخل الارض لغرض اساس هو الحصول على نماذج للترب او الصخور للاستفادة منها في تحديد التتابع الطباقى ومعرفة خواصها الجيوتكنيكية المختلفة، واجراء بعض الفحوص الموقعية.

يتطلب حفر الجسات تجزئة المواد الجيولوجية (الترب والصخور) وازالتها خارجاً ودعم جدران الجسة منعاً لحدوث الانهيار فيها. تجزأ المواد لغرض ازالتها من الجسة بواسطة الحفر الدوار، والماء الدوار، والتكسير (Chopping)، والتفجير بحسب نوع الترب والصخور. وتزال من داخل الجسة بواسطة المتقب الناقل المستمر (Continuous flight auger)، والمتقب المجوف الجذع (Hollow steam auger)، والسوائل الدوارة كالماء النظيف أو عالق الطين أو الهواء المضغوط عند الحفر بالصخور عالية التكسر.

المحاضرة الثالثة

نماذج التربة (Samples of soils) ..

تستخرج نماذج التربة بوسائل ومعدات مختلفة للاستفادة منها في الفحوص المختبرية، التصنيفية والهندسية والكيميائية، ولتعزير نتائج الفحوص الموقعية والتحريات الجيوفيزيائية وسبر الأعماق. تصنف النماذج بحسب نوعها على ما يأتي:

١- نماذج مخلخلة كلياً (Totally disturbed samples): تتميز بالتحطيم الكلي للأنسجة والتراكيب وخط المواد كما في النماذج المجترفة أو المستخرجة من المثاقب (Wash & auger samples).

٢- النماذج المخلخلة جزئياً (Partially disturbed samples): وهي نماذج تتغير فيها الخواص الهندسية (المقاومة والانضغاطية والنفاذية) لكنها تحتفظ إلى حد ما بالنسيج الأصلي والتراكيب فيها متزاوجة ما بين المحطمة إلى غير المتغيرة كما في النماذج المستخرجة في فحص الاختراق القياسي. يستفاد من هذه النماذج في الفحوص التصنيفية (Classification tests) والكيميائية (Chemical tests).

٣- النماذج غير المخلخلة (Undisturbed samples): تستخرج هذه النماذج بواسطة معدات متخصصة تحافظ على بنية التربة وأنسجتها كما هي في حالتها الطبيعية مثل أنبوب (شليبي) ويستفاد منها في الفحوص الهندسية إضافة للفحوص الأخرى.

عوامل خلخلة النماذج (Factors affecting samples quality) ..

تتعرض نماذج التربة للخلخلة نتيجة عوامل مختلفة تؤثر عليها أثناء عمليات الحفر وعند اخذ النماذج وبعد استخراجها من الجسة.

أولاً.. الخلخلة الناتجة عن عمليات الحفر: تتعرض نماذج التربة للخلخلة أثناء عمليات الحفر بسبب العوامل الآتية:

أ - زيادة الإجهاد على التربة (Overstressing of soil): تبرز هذه المشكلة في الترب التماسكية عند استعمال المثقب الناقل المستمر والمثقب المجوف الجذع إذا كانت سرعة تقدمهما إلى الأسفل تفوق سرعة صعود نواتج الحفر إلى الأعلى، كما إن هذه المثاقب صممت لتحل محل التربة أثناء التقدم مما يؤدي إلى زيادة الإجهاد على التربة. يمكن تلافي ذلك باسترجاع المثقب قليلاً إلى الأعلى وإعادة تنزيله ليستمر بالحفر بمقاطع قصيرة تكون عادة بحدود نصف متر، ثم يترك المثقب مستمراً بالدوران في نفس العمق حتى التأكد من عدم صعود نواتج أخرى من الداخل إلى أعلى الجسة.

ب- تخفيف الإجهاد وارتفاع قاعدة الجسة بسبب الضغط الهيدروستاتيكي: في الترب التماسكية الطرية والترب العضوية، تؤدي إزالة التربة من قاعدة الجسة إلى خلخلة كبيرة في المنطقة المراد نمذجتها بسبب تخفيف الإجهاد، إذ يؤثر ضغط الغطاء التراي المحيط بقوة على التربة في قاعدة الجسة ويدفعها للأعلى داخل أنابيب التغليف بسبب ضعف تماسكها مسبباً تشويهاً كبيراً في تركيبها. كذلك، في التربة الرقائقية الطرية (Soft laminated soil) يكون ضغط الماء في الطبقات الغرينية أو الرملية أسفلها كافياً لدفعها للأعلى مسبباً تشويهاً كبيراً في التربة. يمكن تجنب هذه المشاكل بترك الجسة مملوءة بالمياه دائماً أثناء الحفر لضمان سريان المياه منها إلى التربة المحيطة الأمر الذي يمنع تفككها.

ج- غليان التربة الرملية في قاعدة الجسة: في الترسبات الحبيبية (Granular deposits) وحين يكون مستوى المياه الجوفية عالياً فإن حفر الجسة فيها وإزالة التربة يؤدي إلى دخول الماء من قاعدة الجسة واندفاع هذه الرواسب بسرعة إلى الأعلى مما يضعف تراصها ويؤثر على قيم مقاومة الاختراق القياسي. تعالج هذه الحالة أيضاً بترك الجسة مملوءة بالماء أثناء الحفر كما يجب استعمال اصغر قطر ممكن للحفر لان قطر الجسة يؤدي إلى تقليل عمق المسافة المعرضة للخلخلة والتفكك تحت قاعدة الجسة.

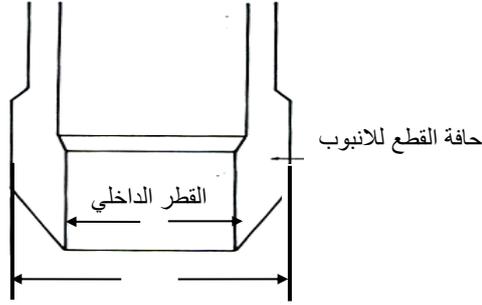
د- انتفاخ التربة الطينية نتيجة لوجود الماء: يؤدي استخدام الماء في تنظيف الجسات أو حفرها بطريقة الحفر الاجترافي أو حركة المياه من الطبقات الخازنة إلى الطبقات الأخرى عند الحفر إلى امتصاصه من قبل الترب الطينية مما يؤدي إلى انتفاخها (Swelling) وتغير خواصها الهندسية. لمعالجة ذلك، يستخدم الهواء المندفع لتنظيف الجسة بدلاً من الماء كما يستخدم طين الحفر لتغليف جوانب الجسة ومنع نضوح الماء من الطبقات إلى داخلها .

هـ. إعادة ترتيب التربة نتيجة لعملية التغليف: إذا اخترقت أنابيب التغليف قعر الجسة فإن سداداً من التربة يتكون في قاعدة الأنابيب يؤدي إلى الضغط على التربة الموجودة أسفل قاعدة الجسة وخلخلتها لدرجة كبيرة ولعمق يعادل ٣ مرات بقدر قطر أنبوب التغليف. كما تؤثر القوى الديناميكية المستخدمة لدفع أنابيب التغليف على الترب المختزقة نتيجة للضغط أو الاهتزاز، لذا يجب الحرص على إبقاء أنابيب التغليف على ارتفاع لا يقل عن ٣٠ سم عن قعر الجسة.

و- عوامل أخرى: يؤثر الماء المندفع بضغط عالي على الترب المختزقة فيؤدي إلى إضعاف الترب التماسكية وتقليل تراص الترب غير التماسكية. بعد غسل الجسة تبقى أحيانا قطع من المواد الخشنة يجب إزالتها خارجاً باستخدام مثقب التنظيف أو أخذ النماذج (شلبي). يؤدي اختراق طبقات الحصى أو الاملاشيات الحاوية على الرماد (Cinders) إلى تلوين النماذج أسفل الجسة. وتبقى الأطيان اللدنة ملتصقة على جدران أنابيب التغليف إذا لم يكن التنظيف دقيقاً وغيرها.

ثانياً.. الخلخلة الناتجة عن عمليات اخذ النماذج: تعتبر الخلخلة إثناء أخذ النماذج أكثر أهمية وتأثيراً وتحصل بسبب العوامل الآتية:

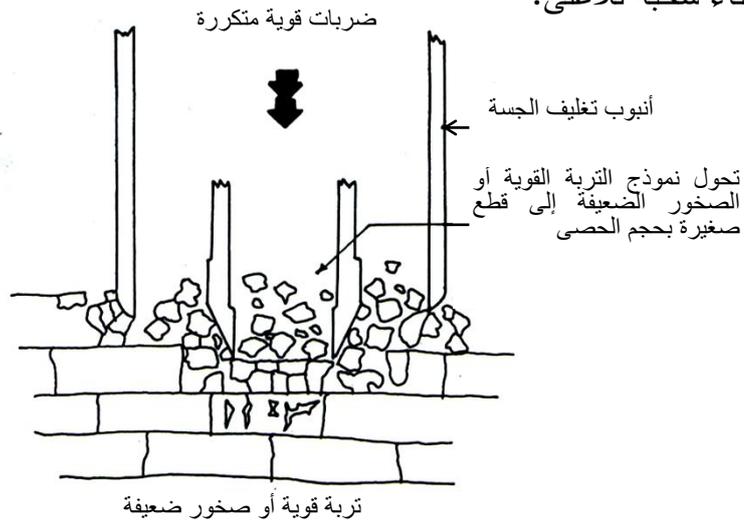
أ- انضغاط وإعادة ترتيب التربة (Soil compression & remolding): عند دفع أنبوب أخذ النماذج إلى داخل التربة فإنه يزيح الجزء الذي يسمح لسمك الأنبوب أو حافة القطع بالنزول إلى الأسفل . لذلك فإن التربة الواقعة مباشرة تحت قاعدة الأنبوب تتعرض للانضغاط ، كما إن التربة الملاصقة سيعاد تشكيلها (Remolded) ولعدة مرات.



شكل ١: حافة القطع لأنبوب شلبي

ب- استعصاء النموذج (Sample Jamming): عند استعمال أنابيب طويلة جداً ونحيفة لأخذ النماذج، أو عند استعمال أنابيب معرضة للصدأ أو غير نظيفة فمن المحتمل وصول قوة التصاق التربة على الجوانب الداخلية للأنبوب إلى حد كبير يؤدي إلى استعصاء وانحشار النموذج داخل الأنبوب مكوناً ما يشبه المكبس، والذي يؤدي استمرار دفعه للأسفل إلى فشل التربة (Failure) تحت القاعدة وإعادة تشكيلها لدرجة كبيرة مما يعني دخول نموذج مخلخل داخل الأنبوب يكون قليل الفائدة للفحوص المختبرية.

ج- التفتت (Shattering): إن أفضل وسيلة للحصول على نماذج غير مخلخلة نسبياً من التربة هي بدفع أنبوب اخذ النماذج دفعه واحدة سريعة ومستمرة لان الدفع المتقطع يعطي نماذج اقل جودة ولكنها أفضل من تلك المستخرجة بواسطة الطرق خصوصاً في التربة الصلبة إذ يؤدي الاهتزاز المتكرر إلى جعل أنبوب أخذ النماذج يخترق التربة بواسطة تقنيته مما ينتج عنه نمودجا مكوناً من قطع شبيه بالحصى حاد الزوايا، شكل ٢، كما تؤدي عملية الطرق في الترب الضعيفة إلى عزل مكونات التربة داخل الأنبوب واحتمال سقوطها منه إثناء سحبه للأعلى.



د- عوامل أخرى: يجب ملاحظة وجود أي تشويه في حافة القطع لان ذلك يؤدي إلى تشويه النموذج، والتأكد من اشتغال صمام الأمان الكروي أو التقنيات الأخرى البديلة بصورة صحيحة قبل إنزال أخذ النماذج إلى الجسة. يجب إنزال أخذ النماذج إلى القعر مباشرة بعد تنظيف الجسة والتأكد من استقراره على العمق الذي حفرت ونظفت فيه الجسة لتحاكي نمذجة التكسرات وذلك من خلال قياس الطول الكلي لأنابيب التوصيل وأخذ النماذج.

ثالثاً.. **الخلخلة الحاصلة بعد اخذ النماذج**: تتعرض نماذج التربة للخلخلة بعد استخراجها من التربة بسبب عدد من العوامل الآتية:

أ- حفظ النماذج في أوعية مصنوعة من مواد ثابتة كيميائياً لا تتأثر بعوامل الأكسدة كالنحاس أو سبيكة الألمنيوم أو الأوعية البلاستيكية، واستعمال سدادات لأنابيب من نفس معدن الأنبوب أو مواد لا تتأثر بالكهربائية مثل البلاستيك لمنع الفعل الاليكتروليتي الناتج عن الاختلاف في المعادن والمؤثر بشدة في تآكل الأنابيب (Corrosion).

ب- التأكد من إحكام غلق النماذج المستخرجة أو تغليفها أو تغليف فتحات الأنابيب والأوعية بالشمع دقيق التبلور .

ج- العناية بنقل النماذج إلى المختبر وتحاكي الرجات القوية والحر الشديد والصقيع الذي يؤدي إلى انجماد النماذج وتلف أنسجتها .

د- حفظ النماذج داخل المختبر في غرف خاصة مهئية لحفظ النماذج بعيدة عن تأثير الظروف المناخية.

المحاضرة الرابعة

الفحوص المختبرية (Laboratories tests):

تجرى الفحوص المختبرية على نماذج التربة المستخرجة من الموقع لقياس الخواص الجيوتكنيكية (الخواص الجيولوجية المؤثرة في السلوك الهندسي للتربة) المبينة في جدول ١ وكما يأتي:

١- الخواص الأساسية (Basic properties): وهي الكثافة بأنواعها (الظاهرية، والجافة، والمشبعة، والنسبية، والغطاسة)، والوزن النوعي، والمحتوى الرطوبي، والمسامية، ونسبة الفراغات، وخواص الموجات الصوتية.

٢- الخواص الدالة (Index properties): وهي التوزيع الحجمي للحبيبات، وحدود اتربرغ (حد السيولة، وحد اللدونة، وحد الانكماش)، والمحتوى العضوي.

٣- الخواص الهندسية (Engineering properties): وهي الانضمام، ومقاومة الانضغاط المحصور، والانضغاط غير المحصور، ومقاومة القص، والنفاذية.

٤- الخواص الكيميائية (Chemical properties): حساب محتوى التربة من الكبريتات، والكلوريدات، والكاربونات، والأملاح القابلة للذوبان، والمحتوى الجبسي، والمحتوى العضوي، ودالة الحامضية.

تجرى الفحوص المختبرية على وفق المواصفات القياسية العالمية مثل المواصفات القياسية الأمريكية (A.S.T.M) والبريطانية (BS) وغيرها.

الخواص الهندسية المهمة للتربة: لإقامة منشأ آمن، يجب حساب ما يأتي:

أ- التغيير الحجمي في التربة بسبب تغير الأحمال المسلطة أو تغيير مستوى المياه الجوفية وتسمى الخصائص الانضمامية التي يمكن من خلالها حساب الهبوط (Settlement).

ب- حساب سعة التحميل للتربة (Bearing capacity) ومعاملات القص.

ج- نفاذية التربة (Permeability).

أولاً- الخواص الأساسية (الخصائص الفيزيائية للتربة):

ذكرنا سابقاً إن التربة تتكون من ثلاثة مكونات أساسية هي الحبيبات الصلبة (Solid particles) والفراغات بين هذه الحبيبات (Voids) والماء أو الهواء أو كلاهما داخل هذه الفراغات. تكون التربة جافة (Dry) إذا كانت فراغاتها مليئةً بالهواء وحده، ومشبعة جزئياً بالماء (Partially saturated) إذا تقاسم الهواء والماء فراغاتها، ومشبعة تماماً بالماء (Fully saturated) إذا ملأ الماء كل فراغاتها.

العلاقات الوزنية - الحجمية للتربة (Weight - volume relationships):

١- محتوى الرطوبة (Water or moisture content): هو النسبة بين وزن الماء في فراغات التربة

ووزن الحبيبات الصلبة معبراً عنه بنسبة مئوية:

$$W = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \%$$

يقاس محتوى الرطوبة عن طريق تجفيف عينة من التربة في فرن التجفيف الخاص (Drying oven) على درجة حرارة قياسية تتراوح ما بين ١٠٠-١٠٥°م، ومقارنة وزنها قبل وبعد عملية التجفيف كما تحدد المواصفات المتعلقة بإجراء هذا الفحص.

٢- درجة التشبع بالماء (Degree of saturation): هي النسبة بين حجم الماء في فراغات التربة إلى

الحجم الكلي للفراغات:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \%$$

تكون درجة التشبع صفراً للعينات الجافة (Sr = 0) و ١٠٠% للعينات المشبعة تماماً بالماء (Sr = 100%).

٣- نسبة الفراغات (Voids ratio): وهي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في التربة إلى حجم الجزء

الصلب (الحبيبات الصلبة):

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

٤- المسامية (Porosity): هي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في التربة إلى الحجم الكلي للتربة:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

ترتبط المسامية (n) بنسبة الفراغات (e) بالعلاقة الآتية:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \text{أو} \quad e = \frac{n}{1-n}$$

٥- محتوى الهواء (Air Content): وهو النسبة بين حجم الهواء الموجود في فراغات التربة إلى الحجم الكلي للتربة:

الكلي للتربة:

$$A = \frac{V_A}{V}$$

٦- الكثافة (Bulk density): هي النسبة بين الكتلة الكلية للتربة إلى حجمها الكلي:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

تقاس الكثافة بوحدات كيلوغرام/ متر مكعب (Kg/m^3) أو غرام/ سنتيمتر مكعب (g/cm^3) أو طن/ متر مكعب

(t/m^3). أما كثافة الماء فيرمز لها بـ (ρ_w) وقيمتها تساوي ١ غم/ سم^٣ أو ١٠٠٠ كغم/ م^٣.

٧- الكثافة الوزنية (Unit weight): هي النسبة بين الوزن الكلي إلى الحجم الكلي للتربة:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \gamma = \frac{W}{V} = \frac{M \cdot g}{V}$$

٨- الوزن النوعي للحبيبات الصلبة (Specific gravity of solid particles): ويعرّف بأنه النسبة بين كتلة

الحبيبات الصلبة إلى وزن كمية من الماء تشغل نفس الحجم:

$$G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w}$$

يمكننا أيضاً اشتقاق المعادلات الآتية:

$$S_r = \frac{W \cdot G_s}{e} \quad \text{درجة التشبع بالماء}$$

وعندما تكون ($S_r = 1$)، أي عندما تكون التربة مشبعة تماماً بالماء، فإن نسبة الفراغات تساوي:

$$e = W.G_s$$

$$\rho = \frac{G_s(1+W)}{1+e} \rho_w \quad \text{والكثافة الكتلية تساوي}$$

$$\rho = \frac{(G_s + S_r.e)}{1+e} \rho_w \quad \text{أو}$$

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e} \rho_w \quad \text{وعندما تكون } (S_r = 1) \text{، فإن الكثافة الكتلية المشبعة تساوي:}$$

$$\rho_d = \frac{G_s}{1+e} \rho_w \quad \text{وعندما تكون } (S_r = 0) \text{، فإن الكثافة الكتلية الجافة تساوي:}$$

$$\gamma = \frac{G_s(1+W)}{1+e} \gamma_w \quad \text{وبطريقة مماثلة، نستنتج أن الكثافة الوزنية تساوي:}$$

$$\gamma = \frac{G_s(1+S_r.e)}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w$$

وعندما تكون التربة مشبعة تماماً بالماء في الظروف الموقعية فإن الكثافة الغاطسة تكون مساوية لـ:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1)}{1+e} \gamma_w \quad \text{والتي تكون مساوية بعد الاختصارات لـ:}$$

حيث γ_w هي وزن وحدة الحجم للماء (= ٩,٨ كيلو نيوتن/م^٣).

أمثلة محلولة:

مثال (١) - عينة من التربة تزن بحالتها الطبيعية ٢٢٩٠ غراماً وحجمها ٠,٠٠١١٥ م^٣. بعد تجفيف العينة

في الفرن أصبح وزنها ٢٠٣٥ غراماً. أحسب الكثافة (ρ)، الكثافة الوزنية (γ)، محتوى الرطوبة (W)، نسبة

الفراغات (e)، المسامية (n)، درجة التشبع بالماء (Sr) ومحتوى الهواء (A) إذا علمت أن الوزن النوعي للحبيبات الصلبة (Gs) = 2.68.

$$\rho = \frac{M}{W} = \frac{2.290}{1.15 \times 10^{-3}} = 1990 \text{ kg/m}^3 = 1.99 \text{ g/cm}^3 \quad \text{الحل:}$$

$$\gamma = \frac{M}{V} g = 1990 \times 9.8 = 19500 \text{ N/m}^3 = 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$W = \frac{M_w}{M_s} = \frac{2290 - 2035}{2035} = 0.125 \text{ or } 12.5 \%$$

$$\rho = \frac{G_s(1+W)}{1+e} \rho_w \quad \text{نسبة الفراغات (e) من المعادلة}$$

نعوض،

$$1990 = \frac{2.68(1+0.125)}{1+e} 1000$$

ومنها،

$$e = (2.68 \times 1.125 \times \frac{1000}{1990}) - 1 = 0.52$$

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.52}{1+0.52} = 0.34 = 34\%$$

$$S_r = \frac{WG_s}{e} = \frac{0.125 \times 2.68}{0.52} = 0.645 = 64.5\%$$

$$A = n(1 - S_r) = 0.34(1 - 0.645) = 0.121 = 12.1\%$$

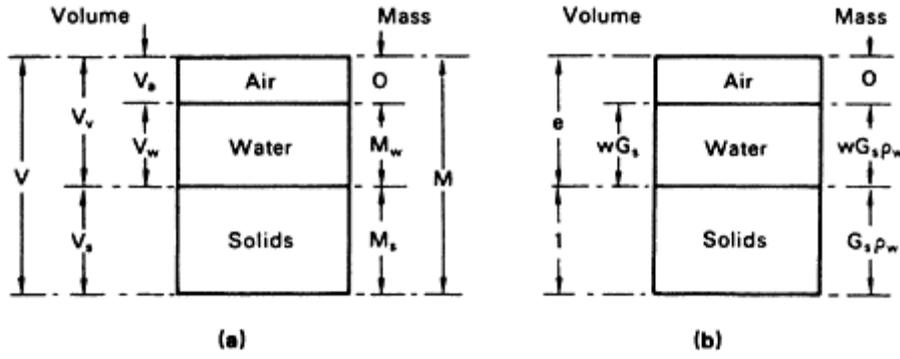
مثال (٢) - إذا كان محتوى الرطوبة (W) لعينة من التربة ٢٧% وكثافتها (ρ) ١,٩٧ غم/سم^٣. احسب

الكثافة الجافة للتربة (pd) ونسبة الفراغات (e) والوزن النوعي للحبيبات الصلبة (Gs). واحسب قيمة الكثافة

(ρ) لهذه التربة عند نفس نسبة الفراغات ولكن عندما تكون درجة التشبع بالماء مساوية ٩٠%.

الحل: بما أن كثافة التربة معلومة، نعتبر أن حجمها مساوياً لمتر مكعب واحد ونرسم مخطط حالة التربة

الموضح في الشكل



$$W = \frac{M_w}{M_s} = 0.27 \text{ or } 27 \%$$

$$\therefore M_w = 0.27 M_s$$

$$\rho = M_w + M_s = 1970 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore 0.27 M_s + M_s = 1970 \Rightarrow M_s = 1550 \text{ kg.}$$

وبما أن الحجم قد اعتُبر مساوياً لمتر مكعب واحد، تكون الكثافة الجافة

$$\rho_d = 1550 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore M_w = 0.27 \times 1550 = 420 \text{ kg}$$

$$V_w = \frac{M_w}{\rho_w} = \frac{420}{1000} = 0.420 \text{ m}^3$$

$$\therefore V_s = 1 - 0.420 = 0.580 \text{ m}^3$$

$$e = \frac{V_w}{V_s} = \frac{0.420}{0.580} = 0.724$$

من المعادلة نجد الوزن النوعي للحبيبات الصلبة :

$$G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w} = \frac{1550}{0.580 \times 1000} = 2.68$$

وإذا كانت الفراغات مشبعة بنسبة ٩٠ %

$$M_w = 420 \times 0.9 = 378 \text{ kg,}$$

$$M_s = 1550 \text{ kg, } M_A = 0$$

$$M_w + M_s + M_A = 378 + 1550 + 0 = 1928 \text{ kg/m}^3$$

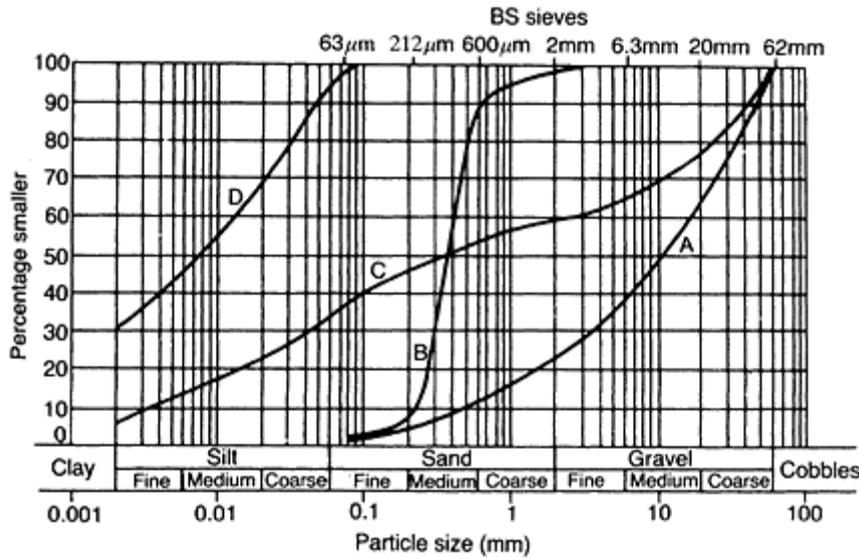
$$\therefore \rho = 1928 \text{ kg/m}^3 \text{ (لأن الحجم مساو لمتر مكعب واحد)}$$

المحاضرة الخامسة

ثانياً- الخصائص الدالة (Index properties):

يمكن تقسيم الخصائص الدالة للتربة إلى قسمين رئيسيين هما:

أ- الخصائص الحبيبية (Grain properties): وتتعلق بخصائص الحبيبات التي تتشكل منها التربة وتدرس عادة من خلال فحص التدرج الحبيبي (Particle size distribution) باستعمال مناخل قياسية (Standard sieves) لتصنيف حبيبات الحصى (Gravel) والرمل (Sand) الخشنة أو بالتحليل الحجمي بالهيدروميتر (Hydrometer analysis) للحبيبات ذات القياسات الناعمة من الغرين (Silt) والطين (Clay)، وهما الطريقتان الأكثر شيوعاً لهذا الغرض. يتم تمثيل نتائج التدرج الحبيبي على منحنيات خاصة شبه لوغارتمية تسمى منحنيات التدرج الحبيبي (Particle size distribution curves)، يكون قياس الحبيبات على المحور السيني لهذه المنحنيات، والنسبة المئوية للمار من كل غربال على المحور الصادي.



شكل ٣ : منحنى التحليل الحجمي للحبيبات

ب- خصائص القوام (Consistency properties): وتعتبر عنها حدود أتبرغ (Atterberg limits)

نسبة إلى العالم السويدي أتبرغ الذي كان أول من أشار إليها سنة ١٩١١. تعتمد الفكرة على أساس أن الترب الحبيبية الدقيقة يمكن أن تتواجد في أربع حالات نسبة إلى محتواها المائي وهي الصلبة، وشبه الصلبة، واللينة والسائلة. تؤدي إضافة الماء إلى تقليل الترابط بين الحبيبات وإضعاف التربة. تعرف الحدود بين هذه الحالات كما يأتي:

• حد السيولة [(Liquid Limit (LL)]: هو محتوى الرطوبة الذي تتحول عنده التربة من حالة اللدونة إلى حالة السيولة.

• حد اللدونة [(Plastic Limit (PL)]: هو محتوى الرطوبة الذي تفقد عنده التربة خاصية اللدونة وتكون بحالة جافة نسبياً لا تسمح بتشكيلها إلى خيوط.

• حد الانكماش [(Shrinkage Limit (SL)]: هو محتوى الرطوبة الذي تنتقل عنده التربة من الحالة شبه الصلبة (Semi-solid state) إلى الحالة الصلبة (Solid state).

• دليل اللدونة [(Plasticity Index (PI)]: وهو الفرق العددي بين قيمتي حدي السيولة اللدونة للتربة:

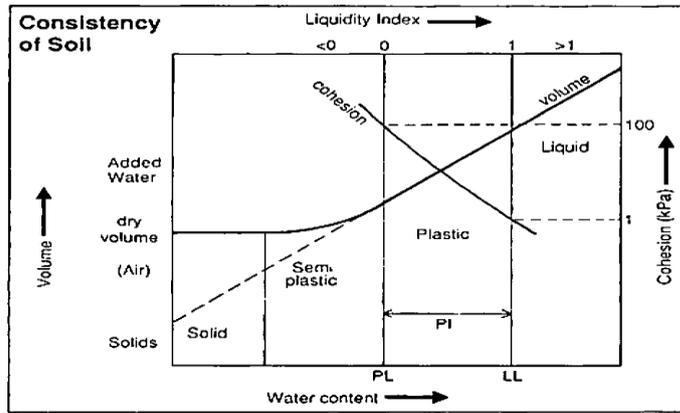
$$PI = LL - PL$$

• دليل السيولة [(Liquidity Index (LI)]: ويبين مدى قابلية التربة لمقاومة التغير في شكلها، ويمكن إيجاده من العلاقة:

$$LI = \frac{W - PL}{PI}$$

• دليل القوام [(Consistency Index (I_c)]: وتعبّر عنه المعادلة:

$$I_c = \frac{LL - W}{PI}$$



شكل ٤: حدود أتبرغ

تكمّن الضرورة العملية لمعرفة التدرج الحبيبي للتربة في:

أ- أن التدرج الحبيبي للتربة هو المفتاح الأول لتصنيف التربة للأغراض الإنشائية، إذ تقسم التربة إلى أشكال مختلفة بحسب مقاسات الحبيبات التي تحتويها (حصى ورمل وجرين وطين). يساعد منحنى التدرج

الحبيبي للتربة في تحديد كون التربة منتظمة التركيب (Uniform) (أي تتكون من حبيبات متشابهة القياس)، أو جيدة التدرج (Well-graded) (تتوزع فيها مقاسات الحبيبات من الصغير إلى الوسط إلى الكبير)، أو سيئة التدرج (Poorly- graded) (لا تحتوي على قياسات وسطية، أي أنها تتكون من حبيبات كبيرة وصغيرة دون ما هو بينهما).

ب- تُساعد معرفة التدرج الحبيبي للتربة في تقرير فاعلية تحسين خصائصها بواسطة الحدل.

ج- اختيار مواد الردميات أو المواد المألثة (Fill material).

د- اختيار مواد الطبقات الترابية لأعمال الطرق، مثل طبقة ما تحت الأساس والأساس وغيرها.

هـ- اختيار المواد المناسبة للعمل كمرشحات (Filters).

و- اختيار المواد المناسبة للاستعمال في الخلطات الخرسانية، كالرمل والركام.

ز- اختيار الطريقة الأنسب لأعمال التقوية والحقن الكيميائي للتربة (Chemical injection).

نظام معهد ماساشوستس للتكنولوجيا لتصنيف التربة (M.I.T Soil Classification System): يعتمد

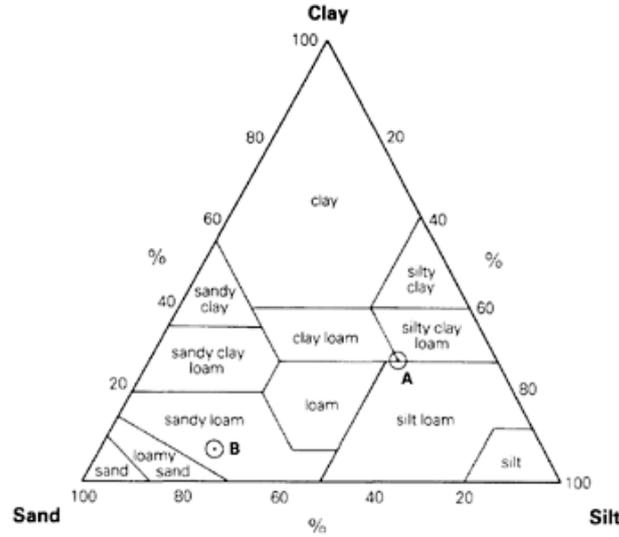
هذا النظام على قياس حبيبات التربة كأساس لتقسيمها إلى مجموعات مختلفة وكما مبيّن في الجدول الآتي:

جدول ٢: نظام معهد ماساشوستس لتصنيف التربة

قياس الحبيبات (مم)	نوع التربة
٠,٦-٢,٠٠	رمل خشن (Coarse sand)
٠,٢٠-٠,٦٠	رمل متوسط (Medium sand)
٠,٠٦-٠,٢	رمل ناعم (Fine sand)
٠,٠٢-٠,٠٦	غرين خشن (Coarse silt)
٠,٠٠٦-٠,٠٢	غرين متوسط (Med. silt)
٠,٠٠٢-٠,٠٠٦	غرين ناعم (Fine silt)
٠,٠٠٢ >	طين (Clay)

يمكن استخدام نتائج التحليل الحجمي في تصنيف التربة بواسطة مثلثات التصنيف المختلفة والمبين احدها

في الشكل الآتي:



شكل ٥: احدى مثلثات تصنيف التربة

النظام الموحد لتصنيف التربة (Unified Soil Classification System- USCS): يعتبر النظام

الموحد لتصنيف التربة واحداً من أكثر النظم انتشاراً في أوساط المهندسين الذين يتعاملون مع التربة. وقد تم اعتماده من قبل الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد (ASTM) كنظام لتصنيف التربة للأغراض الإنشائية.

١- **تصنيف التربة الخشنة** - وتقسّم بموجب هذا النظام إلى المجموعتين:

أ- حصى وترب حصوية (Gravel and gravelly soils) ويرمز لها بالحرف (G).

ب- رمل وترب رملية (Sand and sandy soils) ويرمز لها بالحرف (S).

ويقسّم كل من الحصى والرمل إلى أربع مجموعات:

- مواد جيدة التدرج (Well-graded) ويرمز لها بالحرف (W).

- مواد جيدة التدرج مع رابط طيني ممتاز (Excellent clay binder) ويرمز لها بالحرف (C).

- مواد سيئة التدرج (Poorly-graded) ويرمز لها بالحرف (P).

- مواد خشنة (Coarse materials) تحتوي على مواد ناعمة (Fines) ويرمز لها بالحرف (M).

٢- **تصنيف التربة الناعمة** - وتقسّم التربة بموجب هذا النظام إلى ثلاث مجموعات:

أ- التربة الغرينية والرملية الناعمة جداً (Silty and very fine sandy soils) ويرمز لها بالحرف (M).

ب- التربة الطينية غير العضوية (Inorganic clays)، ويرمز لها بالحرف (C).

ج- الغرين والطين العضويين (Organic silts and clay)، ويرمز لها بالحرف (O).

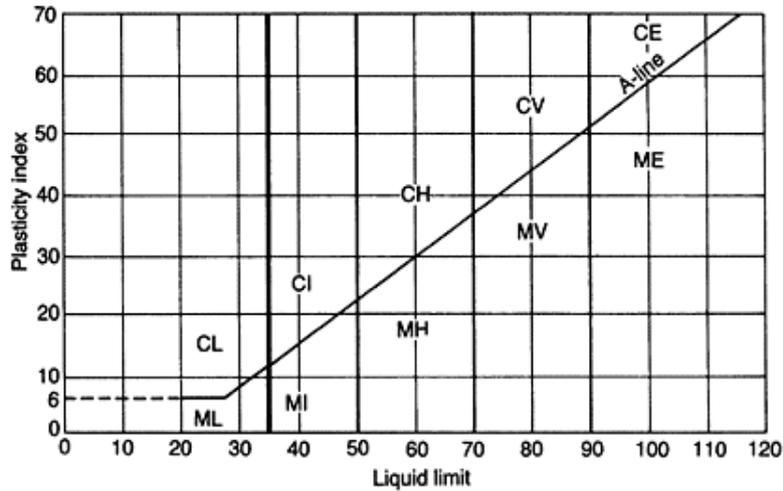


Figure 1.7 Plasticity chart: British system (BS 5930:1999).

شكل ٦: مخطط اللدونة المستخدم في تصنيف التربة التماسكية.

Unified Soil Classification System (ASTM designation D-2487)					
Major Division	Group Symbol	Typical Names	Classification Criteria		
Coarse-grained soils More than 50% retained on 75 µm (No. 200) sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on 4.75 mm (No. 4) sieve	Clean Gravels	GW (Well-graded) gravels and gravels-sand mixtures, litter or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	
			GP (Poorly graded) gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting both criteria for GW	
			GM Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4	
			GC Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits plot above "A" Line and plasticity index greater than 7	
	Sands More than 50% of coarse Fraction passes 4.75 mm (No. 4) sieve	Gravels with fines	SW Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	
			SP Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines	Not meeting both criteria for SW	
		Sands With fines	SM Silty sands, sand- silt mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4	
			SC Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits plot above "A" Line and plasticity index greater than 7	
			Classification on basis of percentage of fines Less than 5% pass 75 µm sieve GW, GP, SW, SP More than 12% pass 75 µm sieve M, GC, SM, SC 5% to 12% pass 75 µm sieve Borderline classification		

المحاضرة السادسة

ثالثا- الخصائص الهندسية للتربة (Engineering properties of soil):

أ- الخصائص الميكانيكية للتربة (Mechanical properties of soil): هي تلك الخصائص التي تعبر عن سلوك التربة تحت تأثير الأحمال المختلفة. فعندما تتعرض التربة لتأثير الأحمال الناتجة من وزن المبنى فوقها فإنها تتضغط وتتراص حبيباتها أكثر، على حساب الفراغات الموجودة فيها، وهي العملية التي تدعى بالانضغاط (Compression). بما أن حجم الفراغات الموجودة في تركيب التربة محدود ويتناقص مع زيادة الحمل الضاغط، فإن الذي يحدث عندما تتلاشى الفراغات مع ازدياد الحمل العمودي هو أن حبيبات التربة تبدأ بالانزلاق الواحدة فوق الأخرى ويحصل ما يدعى بالقص (Shear)، وإذا استمرت زيادة الحمل المؤثر على التربة بعد مرحلة القص، فيحصل الانهيار (Failure).

مقاومة التربة للقص (Shear strength of soil): من المعروف أن أساس المنشأ يقوم بعملية نقل وتوصيل الأحمال إلى التربة التي يرتكز إليها. يؤدي تأثير هذه الأحمال إلى ظهور اجهادات (Stresses) في التربة تنتج عنها تشوهات (Deformations)، تكون إما مرنة (Elastic) لحبيبات التربة، أو حجمية نتيجة لخروج الماء من الفراغات، وينتج عنها تغير في حجم التربة (Volume change). أما الشكل الثالث للتشوهات التي يمكن أن تظهر في التربة تحت تأثير الحمل الخارجي فهو انزلاق حبيبات التربة الواحدة فوق الأخرى (Slippage of soil particles) والذي قد يؤدي إلى انزلاق كتلة ترابية فوق أخرى مما يعني الانهيار (Failure)، وهذا الشكل من التشوهات هو ما يعرف بالقص (Shear). إن تحميل التربة حتى حد معين ينتج عنه تراص حبيباتها تحت تأثير الحمل على حساب الفراغات بين هذه الحبيبات، أي أن التربة تتضغط بتقارب حبيباتها من بعضها البعض، وبالتالي تتحسن خصائصها، وتدعى هذه المرحلة من مراحل التحميل بمرحلة الانضغاط (Compaction phase).

لدراسة مقاومة التربة للقص، يتم إجراء أحد فحوصات القص في المختبر، وذلك لتحديد المركبين الرئيسيين لهذه المقاومة، وهما:

أ- التماسك بين الحبيبات وتعبّر عنه قوة التماسك (Cohesion) ويُرمز لها بالحرف (c).

ب- الاحتكاك بين الحبيبات الصلبة للتربة، وتعبّر عنه زاوية الاحتكاك الداخلي (Angle of internal friction) ويُرمز لها بالحرف اللاتيني (ϕ).

وقد كان العالم الفرنسي كولوم (Columb) أول من ربط بين زاوية الاحتكاك والتماسك بين الحبيبات، وذلك

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

سنة ١٧٧٣ في معادلته:

حيث: τ - مقاومة التربة للقص، C - قوة التماسك بين الحبيبات، σ - إجمالي الإجهاد العمودي عند مستوى القص، ϕ - زاوية الاحتكاك الداخلي.

أما الفحوصات المخبرية التي تؤدي إلى إيجاد معاملات القص فهي فحص القص المباشر (Direct shear test)، وفحص القص ثلاثي المحاور (Triaxial compression test)، وفحص الانضغاط اللامحصور (Unconfined compression test).

تصنف الترب الهندسية على نوعين نسبة إلى معاملات القص فيها:

١- **الترب المتماسكة (Cohesive soils):** هي الترب التي تكون حبيباتها متماسكة بصورة طبيعية نظرا لصغر حجمها مثل الطين والغرين.

٢- **الترب غير المتماسكة (Noncohesive soils):** هي الترب التي تكون حبيباتها غير متماسكة نظرا لكونها خشنة مثل الرمل والحصى وتعتمد مقاومة القص فيها على الاحتكاك بين الحبيبات.

كذلك، تصنف الترب على ثلاثة أنواع نسبة إلى معاملات القص وكما يأتي:

١- c-soil وهي الترب الطينية

٢- Φ - soil وهي الترب الرملية

٣- c - Φ soil وهي الترب الغرينية

الانضغاطية والانضمام (Compressibility and Consolidation):

انضغاطية التربة هي نقصان حجم التربة حين تتعرض لتأثير إجهاد انضغاطي (Compressive stress) وذلك على حساب تضاؤل فراغاتها وإعادة ترتيب الحبيبات الصلبة فيها. تحدث بالترب الرملية والطينية غير المشبعة.

أما انضمام التربة فهو عملية تقارب الحبيبات الصلبة للتربة الطينية المشبعة من بعضها البعض خلال فترة زمنية قد تكون طويلة وتحت تأثير إجهادات متزايدة. تترافق هذه العملية مع خروج الماء من الفراغات الموجودة في التربة.

أساس نظرية الانضمام: من المعروف أن التربة تتكون من حبيبات صلبة (Solid particles) تتواجد بينها فراغات (Voids) تكون مملوءة بالغاز (الهواء غالباً)، أو الماء، أو كليهما معاً. عندما تتعرض التربة لإجهاد ضاغط فإن حجمها ينقص، ويكون هذا النقص بالنسبة للتربة الطينية المشبعة بالماء عائداً إلى أحد العوامل الثلاثة الآتية:

- أ- انضغاط الحبيبات الصلبة.
 ب- انضغاط الماء الموجود بين الحبيبات
 ج- "فرار" أو إفلات الماء من الفراغات .

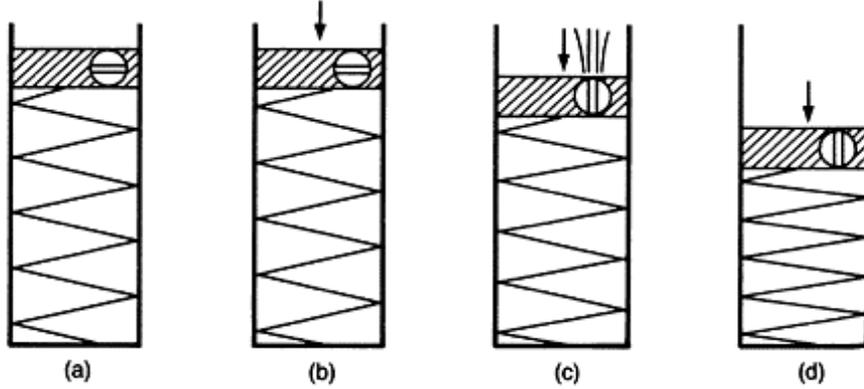


Figure 3.2 Consolidation analogy.

شكل ٧: شرح عملية الانضمام

وبما أن تأثير العامل الأول (أ) للتربة غير العضوية ضئيل الاحتمال، فإن هذا العامل يُهمل في نظرية الانضمام، كما يُهمل العامل الثاني (ب) لأن انضغاط الماء لا يكاد يُذكر. يبقى العامل الثالث الذي يقضي بأن انضمام التربة يحصل كنتيجة لإفلات أو خروج الماء من فراغات التربة تحت تأثير الضغط الخارجي، وهو العامل الذي ترتكز إليه نظرية الانضمام. أما تغير الحجم (Volume change) الناتج عن انضمام التربة، فإنه يتم ببطء، وكذلك الهبوط (Settlement) الناتج عن هذه العملية فإنه يستغرق وقتاً طويلاً في العادة حتى يصل إلى نهايته القصوى، والتي تدعى من الناحية الكمية بالهبوط الحدي (Ultimate settlement).

الأهمية العملية لدراسة تضاعف التربة:

يمكن تلخيص هذه الأهمية بما يأتي:

أ. معرفة مدى قابلية التربة للانضغاط تحت تأثير الأحمال الخارجية، ويعبر عن هذه القابلية معامل الانضغاط الحجمي (Coefficient of volume compressibility) ويرمز له (m_v) ، والذي يقيس الكمية التي تتضغط إليها التربة تحت تأثير الحمل الخارجي.

ب. دراسة سلوك التربة وهبوطها تحت تأثير الحمل الخارجي وربط ذلك بعامل الزمن، من خلال معامل الانضمام (Coefficient of consolidation) ويرمز له (C_v)، والذي يعبر عن سرعة الانضمام (Rate of consolidation)، وكذلك تحديد الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى قيمة الهبوط الكلي.

ج- تساعد معرفة خصائص الانضمام للتربة الطينية في معرفة نفاذيتها.
ب- الخصائص الهيدروليكية للتربة (Hydraulic properties of soil):

نفاذية التربة (Soil permeability): هي قدرة التربة على السماح للسوائل بالجريان خلال فراغاتها. ويقصد بالسوائل هنا الماء. ينص قانون دارسي (Darcy's law) على أن سرعة جريان الماء عبر التربة تتناسب طردياً مع الميل الهيدروليكي (Hydraulic gradient) وكما يأتي:

$$q = A.K.i$$

$$V = \frac{q}{A} = K.i$$

حيث: q - حجم الماء النافذ عبر التربة خلال وحدة الزمن. A - مساحة المقطع العرضي. K - معامل النفاذية (Coefficient of permeability). i - الميل الهيدروليكي. V - سرعة جريان الماء.

إن عملية نفاذية الماء خلال التربة تتأثر بعدة عوامل أهمها التدرج الحبيبي للتربة، ونسبة الفراغات في التربة، ودرجة تشبع التربة بالماء، ونوع السائل، وشكل الجريان، ودرجة حرارة الوسط والتركيب المعدني للتربة. أما الأهمية العلمية لدراسة نفاذية التربة فيمكن تلخيصها بما يأتي:

- ١- تحديد سرعة ترشح وتصرف الماء (Seepage) عبر التربة.
- ٢- تحديد ضغط الترشح (Seepage pressure).
- ٣- تفادي حصول ظواهر خطيرة مثل غليان الرمل (Sand boiling) والتعرية السطحية (Subsurface erosion) وتكوين الأنابيب (Piping) وغيرها.
- ٤- حساب مخزون المياه الجوفية.
- ٥- حساب كمية الماء المفقود من مستودعات تخزين المياه (Storage reservoirs).
- ٦- المساعدة في تصميم نظم التصريف حول أساسات المباني (Drainage system).

الخاصية الشعرية (Capillarity): قابلية الترب التماسكية على رفع الماء الأرضي للأعلى لمستوى أعلى من مستواه الطبيعي خلال المسامات. كلما قل قطر المسامات زادت قابلية الرفع وتؤثر كثيراً على المنشآت.
تكوين الأنابيب (Piping): تتكون بفعل عمليات التعرية أو التآكل حيث تنتقل حبيبات الطين الناعمة مع الماء إلى خارج التربة وتبقى مكانها فراغات أنبوبية الشكل يزداد حجمها تدريجياً وتؤدي إلى هبوط المنشآت.

المحاضرة السابعة

رابعاً- الخصائص الكيميائية للتربة (Chemical properties of soil):

تتعلق الخصائص الكيميائية للتربة بما تحتويه من مواد يسبب وجودها أضراراً للأجزاء المظومة من المبنى أو المنشأ المتلامسة مع التربة مثل الأساسات بأشكالها، وجدران الاقبية، والأنابيب الخرسانية وأية أجزاء أخرى متلامسة مع التربة المحيطة. فيما يلي عرضاً موجزاً لأهم الفحوص المختبرية التي تتعلق بالخصائص الكيميائية للتربة:

١- محتوى الكبريتات في التربة (Sulphate content): تكون الكبريتات في التربة على شكل كبريتات الصوديوم (Sodium sulphate – Na₂SO₄) وكبريتات المغنيسيوم (Magnesium sulphate – MgSO₄) وكبريتات الكالسيوم (Calcium sulphate – CaSO₄) على شكل معدن الجبس (Gypsum). تكمن خطورة الكبريتات الذائبة في المياه الجوفية في مهاجمتها للخرسانة وأية مواد أخرى تحتوي الأسمت. يجري التفاعل بين الكبريتات ومركبات الألومينات (Aluminate compounds) الموجودة في الاسمت مما يتسبب في تبلور معدن الاتركايت الذي يؤدي الى تمدد تنشأ عنه اجهادات إضافية تتسبب في حدوث تشققات وتفتت. كما أن وجود الكبريتات في الترب المحيطة بالأنابيب المعدنية المظومة يؤدي إلى تآكل هذه الأنابيب (Corrosion) مما يتسبب في حدوث التسرب (Leakage). يفيد تحديد نسبة الكبريتات في التربة في تقدير حجم الضرر الذي قد ينجم عنها، وذلك لاتخاذ ما يلزم من احتياطات مضادة، كاستعمال الاسمت المقاوم للكبريتات (Sulphate resisting cement) أو زيادة نسبة الاسمت في الخلطة الخرسانية.

٢- محتوى المواد العضوية (Organic matter content): تتنوع المركبات العضوية التي قد توجد في التربة تنوعاً كبيراً تبعاً لتنوع مصادرها، وهي تتشكل من مخلفات الحيوانات والنباتات. يؤثر وجود المواد العضوية سلبياً على السلوك الهندسي للتربة إذ يؤدي إلى انخفاض قابلية تحمل التربة، وازدياد انضغاطيتها، كما يؤدي إلى ازدياد احتمالات الانتفاخ (Swelling) والانكماش (Shrinkage) بسبب التغير في محتوى الرطوبة. يمكن أن يؤدي وجود الغاز في فراغات التربة العضوية لهبوط فوري كما قد يؤثر على الدقة في اشتقاق معاملات الانضمام ومقاومة القص أثناء الفحص المختبري.

٣- محتوى الكلوريدات (Chloride content): تساعد معرفة محتوى الكلوريدات في المياه الجوفية أو في التربة على تحديد ما إذا كانت المياه الجوفية هي مياه بحرية أو إذا كانت التربة قد تعرضت لمياه البحر. لا يتفاعل الكلوريد مباشرة مع الاسمت كما هو الحال بالنسبة للكبريتات، ولكن تأثيره يقتصر على الأجزاء

المعدنية التي قد يصل إليها وأهمها حديد التسليح مما يؤدي إلى صدأ هذه الأجزاء وتلف الخرسانة المسلحة وحدوث التشققات فيها. تجدر الإشارة إلى أن الكلوريدات قد تكون موجودة في المكونات الأساسية للخرسانة، كالرمل والركام الخشن والماء، ووصولها لحديد التسليح ليس مقصوداً على نفاذها من التربة.

٤- حامضية أو قاعدية الوسط (Acidity or alkalinity –pH value): تؤثر قاعدية أو حامضية المياه الجوفية في التربة تأثيراً سلبياً على الخرسانة المطمورة في الأرض. فالوسط الحامضي، يؤدي إلى صدأ المعادن وهو ما يفسر ضرر الحامضية على الخرسانة المسلحة.

الإجهادات المسلطة على التربة:

الإجهاد (Stress) σ : القوة المسلطة على وحدة المساحة.

الانفعال (Strain): التشويه الحاصل بفعل الإجهاد.

• الاجهادات المسلطة على نقطة في مستوي يمكن تحليلها إلى إجهاد عمودي (Normal stress σ_n) وإجهاد قصي (Shear stress τ).

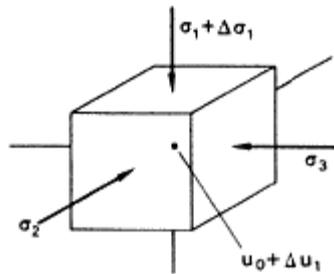
• كتلة صخرية بشكل مكعب تسلط عليها الاجهادات عبر ٣ مستويات هي:

أ- مستوى أفقي يكون الإجهاد الاعتيادي فيه أقصى ما يمكن وجه القص صفر.

ب- مستوى عمودي يكون الإجهاد الاعتيادي فيه بقيمة وسطى وجه القص صفر.

ج- مستوى عمودي يكون الإجهاد الاعتيادي فيه بأقل قيمة وجه القص صفر.

هذه المستويات تسمى المستويات الرئيسية (Principle planes) والاجهادات المسلطة عليها تسمى الإجهاد الرئيس الأكبر (σ_1) والإجهاد الرئيس المتوسط (σ_2) والإجهاد الرئيس الأصغر (σ_3).



الاجهادات الأرضية (Geostatic stresses):

تنتج عن ضغوط الغطاء العلوي (Overburden pressure) للمواد الجيولوجية وتتمثل بالاجهادات العمودية والجانبية كنتيجة لوزن التربة والصخور فوق مساحة تحت السطح. تتأثر هذه الضغوط بعوامل

عديدة منها التحميل بفعل المنشآت الهندسية، والحفر، وخفض مستوى الماء الجوفي، والظواهر الطبيعية كالتعرية والترسيب.

يمكن قياس الضغوط الأرضية العمودية (σ_v) من حساب مجموع أوزان المواد الجيولوجية العليا من العلاقة:

$$\sigma_v = \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3 \dots$$

حيث: γ : الكثافة الوزنية لكل طبقة، Z : سمك الطبقة.

الاجهاد الكلي والاجهاد المؤثر (Total and effective stresses):

ذكرنا أن الاجهاد الكلي المسلط على مكعب التربة عند العمق Z يقاس من العلاقة $\sigma_v = \gamma_t Z$. في الترب المشبعة، يتحمل الماء جزءا من الضغط المسلط يعرف بضغط الماء المسامي

$$[\text{Pore water pressure } (\mu)] \text{ يعمل باتجاه معاكس لاتجاه القوة الكلية وهو يساوي } \mu = \gamma_w h_w$$

حيث γ_w : كثافة الماء الوزنية، h_w : سمك عمود الماء

لذلك، فإن الاجهاد المؤثر في التربة (σ_v^-) يساوي $\sigma_v - \mu$

الاجهادات السابقة في التربة: تتضغط التربة بصورة طبيعية بفعل وزن الغطاء العلوي أو بسبب ائقال اضافية أخرى. نسبة لذلك فإن الترب في الطبيعة يمكن تصنيفها على ثلاثة انواع نسبة الى درجة الانضغاط الظاهرة فيها وكما يأتي:

أ- الترب المنضمة طبيعيا [Normally consolidated soils (NC)]: التربة لم تتعرض أبدا الى ضغط أعلى من ضغط الترب الموجودة فوقها.

ب- الترب مفرطة الانضمام [Over consolidated soils (OC)]: تعرضت التربة في احدى فترات وجودها الى اجهادات سابقة اعلى مما يسببه الغطاء الترابي الحالي بسبب مثلا ثقل الجليد أو انخفاض مستوى المياه الجوفية.

ج- الترب قليلة الانضمام [Under consolidated soils (UC)]: تتواجد التربة في حالة اجهاد أقل مما يسببه الغطاء الترابي الحالي بسبب مثلا ارتفاع مستوى الماء الارضي الذي يقلل ضغط الغطاء الترابي، كما يحصل اضعاف بالتربة بسبب ازالة المواد الرابطة بفعل المحاليل.

المحاضرة الثامنة

تحسين التربة (Soil improvement):

تكون التربة في بعض المواقع المراد إقامة المنشآت الهندسية عليها ذات مواصفات جيوتكنيكية غير ملائمة للبناء مثل التربة الجبسية والمنتفخة (Swelling soils) والطرية (Soft soils) والعضوية مما يضطر مهندسي التربة إلى اللجوء لواحد من الخيارات الآتية:

أ- تحاشي هذه التربة باختيار موقع آخر للبناء.

ب- استبدال التربة غير الملائمة بأخرى ذات مواصفات مقبولة.

ج- تقبل المواد الجيولوجية بالموقع كما هي، ووضع تصاميم للأسس تتناسب مع ظروف هذه المواد مثل الاستعانة بالأسس العائمة (Floating foundations) أو الأسس العميقة لتحاشي الهبوط ومشاكل عدم الاستقرار التي تسببها التربة الضعيفة.

د. تحسين مواصفات التربة أو ما يعرف أيضا ب تثبيت التربة (Soil stabilization)، والذي يقصد به تغيير خواص التربة لتطوير أدائها الهندسي مثل زيادة المقاومة وتقليل الانضغاطية وتقليل النفاذية وتنظيم الهبوط التفاضلي وتقليل ضغوط التربة الجانبية وزيادة سعة التحميل وتحاشي التسييل (Liquefaction) وتسريع الانضمام وتحسين استقرارية المنحدرات.

تصنف طرائق تحسين التربة على ثلاثة أنواع ميكانيكية و كيميائية وفيزيائية:

١- الطرائق الميكانيكية (Mechanical methods):

تعمل المثبتات الميكانيكية على تحسين التربة بأساليب ومواد لا تؤثر في نوع التربة ولكنها تؤدي إلى زيادة كثافتها ومن ثم استقراريتها وسعتها التحميلية وكما يأتي:

أ- الحدل (Compaction): يستخدم الحدل الضحل لمعالجة سطوح التربة المتماسكة الطرية أو غير

المتماسكة المفككة بواسطة حركة الحادلات المختلفة التي يمكن بواسطتها تحسين التربة لعمق لا يتجاوز

٥,٠م. تحدل أيضا أعماق تصل إلى ١٠ م بواسطة ما يعرف بالحدل الديناميكي أو الحدل العميق بإسقاط وزن ثقيل يتراوح من ٥-٢٠ طن سقوطا حرا ولمرات متكررة (٣-٦) من ارتفاعات تتراوح ما بين ٢-٣٠ م بواسطة رافعات كبيرة على الأرض المراد حدلها.

ب- تثبيت التربة بالإسمنت (Cement stabilization): يضاف الإسمنت إلى التربة بنسب مختلفة لتحسين المواصفات الهندسية. تنجز المعالجة بمرحلتين: إضافة الإسمنت بنشره على سطح التربة الرخوة وخلطه معها وترطيبه بالماء ومن ثم حدله مباشرة بالطرق الاعتيادية. عندما يتمياً الإسمنت، فإن التربة تصبح أقوى وأكثر مقاومة للماء.

ج- حقن المثبتات (Grouting): تستدعي العديد من المشاكل الهندسية معالجة المواد الجيولوجية بحقن مواد سائلة تعمل على ملء الفراغات والتشققات وتحسين الخواص الجيوتكنيكية مما يسمح بالتصميم والبناء على مواقع أكثر ملائمة. تعمل هذه المواد على زيادة المقاومة وتقليل المسامية والنفذية، كما تستخدم لتثبيت القابلات والمسامير الصخرية اللازمة لمنع تساقط الصخور. تتغلغل مواد الحقن بفعل الضغط عبر الفراغات والمناطق الضعيفة. توجد أنواع عديدة من مواد الحقن، ويعد محلول الإسمنت أكثرها شيوعاً لتحقيق العملية بضخ سائل الحقن عبر أنبوب فولاذي أو بلاستيكي مثقب ينزل بالأرض إلى الأعماق المراد تحسينها عبر الجسات المحفورة لهذا الغرض.

د- التثبيت بالقيير (Bituminous stabilization): استخدم القير منذ زمن بعيد لتحسين التربة، وأدى خلط القير الساخن أو المخفف بالمذيبات مثل النفط والغاز أو المستحلب معها إلى زيادة التماسك في التربة الرملية والحصى ووقاية التربة من الماء مما يقلل من فقدان المقاومة فيها مع زيادة المحتوى الرطوبي. يؤدي غلق المسامات بالقيير إلى منع الماء من التوغل في كتلة التربة.

هـ- الإحلال الاهتزازي (Vibro-replacement): يمكن تقوية التربة المتماسكة الضعيفة والاملائيات غير المنضغطة بعمل عدد من الركائز الرملية أو الأعمدة الحجرية موزعة على مسافات محددة ضمن المنطقة المراد تحسينها. تقوم أجهزة دق الركائز بدفع أنابيب تغليف فولاذية وقتية يتراوح قطرها من ٥٠٠-٦٠٠ ملم وبطول يصل ٢٠م إلى داخل الأرض بواسطة المطرقة الساقطة. تزال التربة من داخل الأنابيب

وتنزل فيها شحنات من الأحجار أو الحصى والرمال تحدل بواسطة الحدل الاهتزازي بمعدل كل ١ م لتنتج عموداً كثيفاً من المواد الجيولوجية تدعمه الترب المحيطة. يؤدي الاختلاف في حجم الأعمدة والمسافة بينها (من ١,٢ - ٣ م) إلى خلق نظام متكامل ذي انضغاطية قليلة وسعة تحميل عالية، كما تعمل هذه الأعمدة كقنوات تصريف تسمح بتشتيت الضغوط الزائدة للماء المسامي مما يؤدي إلى تسريع الانضمام وتقليل التسيل.

و- مبازل المياه العمودية (Vertical drains): يمكن تعجيل العمليات الطبيعية لانضمام الرواسب العميقة من الترب المتماسكة ذات النفاذية القليلة بتحسين ظروف البزل بالتربة وتقصير طول طريق التصريف الطويل مما يساعد على هجرة الماء للخارج وذلك بواسطة المبازل الرملية أو المبازل ذات الفتيلة. تعمل المبازل الرملية إما بواسطة أجهزة دق الركائز التي تدفع أنابيب التغليف إلى داخل التربة أو بحفر التربة بواسطة أنبوب فولاذي مجهز بحافة قطع حادة تدفع التربة خارج الأنبوب ومن ثم تملأ بالرمال مع إزالة الأنابيب خارجاً. تربط رؤوس المبازل بطبقة من التربة النفاذة لتساعد في سحب المياه الصاعدة ودفعها بعيداً عن الموقع.

ح- الألياف (Fibers): اتجهت المفاهيم الحديثة نحو إدماج عناصر تقوية داخل كتلة التربة لتطوير خواصها الجيوتكنيكية. أجريت العديد من التجارب في أنحاء العالم تضمنت إضافة أنواع مختلفة من المواد كالألياف المنسوجة أو غير المنسوجة بشكل صفحات أو شبكات لزيادة دعم التراكيب وتقليل التمدد الحجمي وتثبيت وتقوية المنحدرات وقواعد الطرق، كما استخدم مطاط الإطارات المقطعة في أعمال الدفن للحصول على مواد خفيفة عالية النفاذية، والأشرطة المعدنية كمواد تقوية بالترب الحبيبية. أدت إضافة هذه المواد إلى زيادة مقاومة القص في التربة وهي تحتاج للحدل لتحقيق هدف التقوية.

ط- الشبكات (Meshes): يمكن استخدام شبكات بلاستيكية أو معدنية لتحسين مقاومة القص وتعزيز التماسك في الترب غير المتماسكة ويعتمد تأثير ذلك على معامل المرونة للشبكة.

ي- الأغشية والرغوات (Membranes and Geofoms): وهي مواد اصطناعية إما بوليميرية أو زجاجية تعد وسيلة حديثة لحل المشاكل الجيوتكنيكية تستخدم لقطع حركة الماء تماماً في التربة والحصول

على ترب جافة ذات مقاومة عالية. استخدمت رغوّة السليكا (Silica fume) في تطوير الخواص الكيميائية للترب الحبيبية الدقيقة وتطوير مقاومة الانضغاط والقص.

٢- الطرائق الكيميائية (Chemical methods) :

يمكن تحسين مواصفات التربة بإضافة بعض المثبتات الكيميائية الصلبة أو السائلة، اللاعضوية أو العضوية التي يمكنها تغيير الخواص الفيزيائية للتربة، وكما يأتي:

أ- تثبيت التربة بالكلس (Lime Stabilization): يخلط الكلس (الجاف أو العالق) مع التربة لتحسين مواصفاتها. يستخدم الكلس لتثبيت الترب المتماسكة وخصوصاً الترب الطينية متوسطة وعالية اللدونة، ويكون ذا تأثير قليل على الترب عالية المحتوى العضوي أو ذات المحتوى الطيني القليل أو المعدوم.

ب- حامض الفوسفوريك والفوسفات (Phosphoric acid & Phosphates): استعملت هذه المواد في معالجة قواعد الطرق إذ تتفاعل مع معادن الكلوريت الطينية التي يصعب تفاعلها مع الكلس والإسمنت. يؤدي دخول ايون الفوسفات في تركيب المعادن الطينية إلى تكثيف التربة وزيادة مقاومتها.

ج- حامض الهيدروفلوريك (Hydrofluoric acid): يعد هذا الحامض مثبتاً سريعاً ومؤثراً في جميع الترب عدا الأطيان الغنية بالألمنيوم (الكاولينات والبوكسايت) إذ يهاجم مركبات السليكا في الرمل والطين لتكوين فلوريدات سليكية غير ذائبة ذات مقاومة عالية.

د- كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم وهيدروكسيد الصوديوم وسيليكات الصوديوم: استخدمت هذه الأملاح في تثبيت الترب المختلفة سواء الملحية أو ذات المحتوى العضوي العالي كمادة مساعدة في أعمال الحدل للحصول على كثافة أعلى.

هـ- الراتنجات (Resins): تستخدم الراتنجات كعامل واق من الماء في الترب الحامضية ، كما إنها تزيد المقاومة من خلال زيادة التماسك. تمتاز بإمكانية دمج الألياف معها لتكوين حصيرة الألياف الراتنجية التي تدعم الخواص الميكانيكية للتربة.

و- اللكينين (Lignin): هو بوليمر عضوي طبيعي يتكون داخل النباتات والأشجار ويعد من مخلفات صناعة الورق بعد عزل السليلوز عن الخشب. يستخدم في تثبيت التربة التماسكية، وهو مركب سائل ذو قابلية نفاذ عالية يتحول إلى هلام بعد فترة من خلطه بالتربة. يستخدم لمعالجة التربة البركانية والغنية بمعدن الكلورايت، ويعطي مقاومة جيدة للماء.

ز- البوليمرات (Polymers): تستخدم العديد من البوليمرات كمنشآت للتربة تؤدي إلى زيادة مقاومة القص. يكون استخدام هذا النوع لتحسين خواص التربة على مساحات كبيرة محدود جداً نظراً للكلفة العالية وتقنية الخلط. أظهرت التجارب نجاح استخدام البوليمرات في تحسين خواص التربة لفترات محدودة من الزمن لأنها يمكن أن تزال من التربة وبإزالة تأثيرها.

٣- الطرق الفيزيائية (Physical methods) :

أ- التثبيت الحراري (Thermal methods): تظهر الدراسات إن تسخين التربة الطينية لدرجة حرارة ٤٠٠ °م يجعل إعادة تميؤها مستحيلاً ويكسبها مقاومة ضد الماء والانضغاط. تستخدم مخلفات الوقود في التثبيت الحراري للتربة الطينية متوسطة الرطوبة.

ب- التصليد الكهربائي (Electro hardening): يسبب مرور التيار الكهربائي في التربة الطينية المشبعة حركة المياه الجوفية والأيونات المذابة فيها والجزيئات الطينية مما يؤدي إلى تحسين خواص التربة. تستخدم هذه الطريقة لتحسين التربة الطينية الغرينية الطرية جداً بتقليل المحتوى الرطوبي فيها وزيادة مقاومة القص وتقليل الانضغاط والهبوط.

ج- التثبيت بالضغط (Pressure stabilization): تعتمد هذه الطريقة على اختلاف الحجم بين الجير الحي (الكلس) (Quick lime) والجير المطفأ (Hydrated lime) وذلك بسبب التمدد الحجمي الكبير بفعل التميؤ. عندما ينحصر هذا التمدد فإنه يولد ضغطاً عالياً (١٢ كغم/سم^٢) على التربة المحيطة يؤدي إلى الانضمام الجانبي. تستخدم في تحسين مواصفات التربة الغرينية المشبعة.

المحاضرة التاسعة

تخسف وتداعي وارتفاع الأرض (Ground Subsidence, Collapse & Heave) ..

هي حركات عمودية خطيرة للأرض تنتج غالبا بسبب الفعاليات الإنسانية التي تغير الظروف البيئية، لكنها تعتبر اقل خطورة من انهيار المنحدرات والهزات الأرضية.

- يمثل **تخسف الأرض** (Ground Subsidence) حركة سطح الأرض إلى الأسفل عبر مساحة واسعة تنتج عن الفعاليات الزلزالية واستخراج المياه الجوفية والنفط والغاز من باطن الأرض ويسبب حدوث الفيضانات وانهيار المنشآت.
- أما **تداعي الأرض** (Ground Collapse) فهو حركة مفاجئة لسطح الأرض إلى الأسفل عبر مساحة محددة تنتج عن فعاليات المناجم ونمو الفجوات داخل صخور الحجر الجيري وتكون الأنابيب (Piping) وإزالة العوامل الرابطة.
- أما **ارتفاع الأرض** (Ground Heave) فيمثل حركة سطح الأرض للأعلى بسبب تمدد الأطنان أو تخفيف الإجهاد أو الفعاليات التكتونية أو انجماد الأرض، وهي تؤدي إلى تحطم المنشآت وإضعاف المنحدرات الطينية.

العوامل المؤثرة في حصول هذه الفعاليات:

١- استخراج المياه الجوفية والنفط (Groundwater & oil extraction): يؤدي تخفيض مستوى المياه الجوفية إلى زيادة الإجهاد المؤثر على التربة مع العمق وبالتالي فإن مقدار الخسف يمثل دالة لمقدار انخفاض هذا المستوى والذي يتحدد بزيادة ضغط الغطاء العلوي (Overburden pressure) وانضغاطية الطبقات (Compressibility). كذلك، يؤدي استخراج النفط والغاز إلى تقليل ضغط السائل المسامي (Pore fluid pressure) وانتقال ضغط الطبقات العليا إلى التركيب الداخلي للطبقة (Intergranular skeleton of strata). يؤدي استخراج المياه و النفط إلى حصول خسف سطحي واسع للأرض كما حصل في لندن بسبب سحب المياه، وكاليفورنيا بسبب سحب النفط، واليابان بسبب سحب الغاز. كما يؤدي إلى فيضانات وفوالق وهبوط بالمنشآت وطرق السيارات وغيرها. لا يمكن السيطرة على حصول التخسفات إذا كانت كمية المياه المسحوبة أكبر من الكميات المغذية أي إذا اختلفت الموازنة المائية. في عمليات سحب

النفط يكون الضرر اقل تأثيراً وقلما يظهر تأثيرها على السطح لان التقنيات المستعملة لرفع مستوى النفط داخل الآبار عن طريق إعادة ضخ كميات من المياه تساوي النفط المسحوب.

٢- انحلال الصخور (Solution of rocks): تتعرض الصخور الجيرية والملحية مثل صخور اللايمستون والدولومايت والجبس والهالايت إلى الإذابة بالماء المطري أو المياه الجوفية مما يؤدي إلى عمل تكهفات بأشكال وأحجام مختلفة.

Rock solution → Cavities → Subsidence of ground surface → Collapse

هناك العديد من الشواهد الخطيرة لعمليات الانهيار الحاصلة نتيجة لإذابة الصخور الجيرية التي تنتشر بكثرة في العراق والعالم. تؤثر درجة نقاء اللايمستون على نمو الفجوات وتتناسب طردياً معها. أما اللايمستون المتداخل مع صخور الطفل (Shale) فيكون أكثر مقاومة للانحلال. يؤثر وجود الفواصل كثيراً على حركة المياه الأرضية بالطبقات الصخرية وانتشارها بالأعماق مما يساعد على حصول الانحلال.

Rain water → Groundwater → Weak acid → Attack the Limestone

تحصل التخسفات نتيجة لاتساع الفجوات وزيادة ضغط الغطاء العلوي. يؤدي سحب المياه الجوفية إلى تعجيل نمو الفجوات في الصخور القابلة للانحلال وزيادة الإجهاد المؤثر وزيادة الضغط المسلط على سطح الفجوة مما يؤدي إلى خسف الأرض.

المعالجة: ١- كشف الحفر القريبة من السطح بواسطة الحفر وتنظيفها من التربة وملئها بالخرسانة.

٢- ملئ الحفر العميقة بالخرسانة بعملية الحقن (Grouting) وان كان ذلك لا يضمن وصول الاسمنت إلى جميع الفجوات لكنه يمنع حركة المياه الجوفية.

الأسس (Foundations):

الأساس هو الجزء الأسفل من البناء الذي يقوم بنقل ثقل المنشأ إلى الطبقات التحميلية من التربة أو الصخور، ويتصف بما يأتي:

أ- أن يوفر الأساس الاستقرارية للمنشأ من مخاطر الانقلاب والزحف.

ب- أن لا يزيد الضغط الذي يسلطه الأساس عن قابلية التحميل (Bearing capacity) للتربة.

ج- يجب اختيار نوع وعمق الأساس بحيث لا يتجاوز مقدار هبوط المنشأ (Settlement) عن الحد المسموح به في المواصفات القياسية.

في هندسة الأسس، يجب الأخذ بنظر الاعتبار بما يأتي:

أ- تهيئة برنامج متكامل للتحريات الاستكشافية عن الموقع المراد إقامة المنشأ فيه.

ب- استخدام المعلومات الجيولوجية ونتائج التحريات الاستكشافية للحصول على صورة متكاملة عن تربة الموقع.

ج- في مرحلة التصميم يجب اختيار أنواع الأسس الملائمة مع مراعاة الناحية الاقتصادية.

د- عند اختيار نوع الأساس يجب دراسة الناحية التنفيذية وطرق الإنشاء المتوافرة واللازمة لتنفيذ الأساس.

تصنيف الأسس: تصنف الأسس على نوعين رئيسيين:

أ- الأسس الضحلة (Shallow foundation): يكون عمق الأساس قريبا من السطح بحيث إن النسبة $D/B < 1$ حيث D عمق الأساس و B عرض الأساس. تكون هذه الأسس على أنواع مثل الأسس المنفصلة والأسس المتصلة والأسس الحصرية.

ب- الأسس العميقة (Deep foundation): يكون عمق الأساس بعيدا من السطح بحيث إن النسبة $D/B > 5$ ، وتتمثل بالركائز .

أما الأسس التي لا تنطبق عليها النسب أعلاه فتعامل كحالة خاصة وتسمى (Special foundation).

الركائز: هي جزء من المنشأ يقوم بنقل أوزان المنشأ التي تكون كبيرة لا يمكن للتربة القريبة من سطح الأرض أن تتحملها إلى طبقة أعمق قابلة على تحمل الأوزان المسلطة. تنتقل الأوزان من الركيزة إلى التربة عن طريق قاعدة الركيزة و سطح الركيزة والاحتكاك الجانبي مع الترب المحيطة.

تصنف الركائز نسبة إلى ما يأتي:

أ- بحسب المواد التي تصنع منها: ١- خشبية ، ٢- خرسانية ، ٣- حديدية.

ب- بحسب طريقة التنفيذ: ١- ركائز خرسانية مسبقة الصب. ٢- ركائز خرسانية مسبقة الجهد. ٣- ركائز خرسانية مصبوبة موقعا.

المحاضرة العاشرة

التتابع الطباقى الهندسي في مدينة البصرة:

تظهر دراسة البيانات الخاصة بقيم مقاومة الاختراق القياسي والتوزيع الحجمي للحبيبات وحدود أتريغ ان رواسب العصر الرباعي في مدينة البصرة يمكن تقسيمها على عشر طبقات على وفق تصنيف (Terzaghi & Peck, 1967) (كتصنيف أساس) وكما يأتي:

١- طبقة الطين الغريني البني الصلبة (Hard brown silty CLAY)

٢- طبقة الطين الغريني او الغرين الطيني البني او البني الرمادي القوية جداً (Very stiff brown & brownish gray silty CLAY or clayey SILT)

٣- طبقة الغرين الطيني الرمادي القوية (Stiff gray clayey SILT)

٤- طبقة الغرين الطيني الرمادي المتطبق مع الغرين متوسطة القوة (Medium stiff gray clayey SILT laminated with SILT).

٥- طبقة الغرين الطيني الرمادي المتطبق مع الغرين الطرية (Soft gray clayey SILT laminated with SILT).

٦- طبقة الغرين الطيني الرمادي متوسطة القوة (Medium stiff gray clayey SILT)

٧- طبقة الغرين الطيني الرمادي القوية (Stiff gray clayey SILT)

٨- طبقة الغرين الطيني والغرين الطيني الرمي الرمادي القوية جداً (Very stiff gray clay SILT & clayey sandy SILT).

٩- طبقة الغرين الطيني البني الصلبة (Hard brown clayey SILT)

١٠- طبقة الرمل والرمل الغريني الرمادي الكثيف جداً (Very dense gray SAND & silty SAND)

يلاحظ في هذا التتابع ما يأتي :

١- إن رواسب العصر الرباعي في مدينة البصرة تنقسم على طبقتين، العليا طبقة الرواسب التماسكية (Cohesive sediment layer) المتمثلة بالرواسب الطينية والغرينية الحديثة ورواسب تكوين الحمّار، والسفلى

طبقة الرواسب غير التماسكية (Cohesionless sediment layer) المتمثلة بالرواسب الرملية لتكوين الدببة.

٢- تدرج قوام التربة .. إن طبقات الرواسب التماسكية تدرج بدءاً من سطح الارض تنازلياً نسبة إلى قوامها (تماسكها) حيث رواسب الطين الغريني الصلبة والقوية جداً نزولاً نحو الرواسب القوية والمتوسطة القوة والطرية في نهاية الربع الأول من التتابع الطباقى تقريباً ومن ثم تزداد قوة الرواسب تدريجياً لتبلغ ذروتها مع بداية طبقة الرواسب غير التماسكية المتمثلة بطبقة الرمل والرمل الغريني الكثيف جداً.

تعرض الرواسب للانضمام الطبيعي التدريجي مع الزمن كنتيجة للتراص الميكانيكي الحاصل بفعل زيادة ضغط الغطاء الترابي خلال عمليات الترسيب وهو العامل الأساس المؤثر في انضمام الترسبات بمدينة البصرة والمؤدي إلى زيادة مقاومة القص وقلة الانضغاطية والنفاذية . أما التدرج العكسي في مقدار التماسك بالطبقات العليا فيعتقد انه بسبب ظاهرة التجفيف الطبيعي وبخاصة بالمناطق الجافة إذ تؤدي معدلات التبخر العالية إلى تقليل السريع للمحتوى المائي وزيادة شد الحبيبات بعضها إلى بعض مما يؤدي إلى زيادة التماسك بسبب الانضمام وزيادة تجاذب الجزيئات الطينية ويعتقد أن ذلك جعل الرواسب في الأمتار السبعة الأولى من السطح مفرطة الانضمام واصلب قواماً بينما بقية الرواسب الممتدة نحو العمق هي رواسب منضمة طبيعياً.

٣- تغير السحنات الترسيبية .. يظهر من خلال دراسة التاريخ الرسوبي الحديث للمنطقة أنها شهدت العديد من البيئات الترسيبية بفعل التذبذب الدوري في مستوى سطح البحر والتغيرات المناخية والنشاط التكتوني في المنطقة. إذ غمرت مياه البحر الترسبات النهرية لتكوين الدببة المترسبة خلال البليستوسين المبكر والمكون من طبقات متعاقبة من الطين الصلب والرمل الكثيف جداً المتمثل بالطبقتين (٩ و ١٠). ونتج عن هذا الغمر ترسيب تكوين الحمّار في البيئات البحرية خلال عهد الهولوسين والمكون من طبقات من الطين الغريني الرملي او الحاوي على الرمل (بنسبة اقل من ١٠٪) المتمثل بالطبقات (٧ و ٨) ويعتقد أن تكوين الحمّار تمثله الطبقات (٣ و ٤ و ٥ و ٦ و ٧ و ٨)، وما يعزز هذا الرأي وجود نسبة عالية من الغرين والأصداف المتواجدة في هذه الطبقات. ثم أدى انحسار مياه البحر بعد ذلك إلى ظهور الأراضي الخصبة وتطور البيئة النهرية، إذ احتوت المنطقة السهل الفيضي لأنهر دجلة والفرات والكارون، كما احتوت شط العرب وتفرعاته العديدة ليجتمع فيها مختلف الرواسب النهرية الحديثة المتمثلة برواسب السهل الفيضي والأحواض الفيضية الحاوية على نسب مختلفة من الطين والغرين المترسبة بشكل طبقات متعاقبة مع الغرين

الخشن والمتمثلة بالطبقتين (٢١) التي تحوي أيضاً رواسب جوانب النهر والترسبات المائلة للقنوات. يعتقد ان هاتين الطبقتين قد ترسبتا خلال (٣٠٠٠) سنة الأخيرة وتأثرتا بشدة بالجفاف.

٤- تأثير النسب المختلفة للرمل والغرين والطين على السلوك الهندسي للرواسب: تؤثر نسبة الطين بدرجة كبيرة على السلوك الهندسي للتربة، اذ تؤدي الى تقليل نفاذية التربة وزيادة حركة المياه بفعل الخاصية الشعرية (Capillarity) إلى حد كبير جداً، كما تؤدي إلى زيادة انضغاطية التربة وقابليتها على الاندفاع (Heaving) الى حد كبير جداً وزيادة قابليتها للاحتفاظ بالماء مما يؤدي إلى زيادة كثافة التربة وحد السيولة. تكون قابلية التراص (Compactibility) فيها متوسطة تحتاج الى تنظيم دقيق للمحتوى المائي عند استخدامها في عمل التعلبات الترابية. تتأثر الاطيان بنوعية المعادن الطينية المكونة لها والتي تختلف خواصها الهندسية بحسب تركيبها الكيماوي والمحتوى المائي الذي يؤثر على الكثافة والتماسك والمقاومة كما يؤثر في عوامل الانتفاخ (Swelling) والانكماش (Shrinkage) والانضمام الذي يتأثر بدوره بالنفاذية وانتقال الماء المسامي. ان المعادن الطينية الشائعة في تربة مدينة البصرة هي الالايث - باليغورسكايت (Illite-Palygorskite) (٦١٪)، والكاؤولينايت (Kaolinite) (٢٥٪)، والكلورايت (Chlorite) (٨٪) والمونتمورلينايت (Montmorillonite) (٦٪). لعل من اهم الخواص الجديرة بالملاحظة ذات العلاقة بالسلوك الهندسي هي قابلية التربة الطينية على التغير الحجمي البطيء الذي يحصل (بغض النظر عن الحمل المسلط) بسبب قابلية الطين على امتصاص الماء مما يؤدي إلى انتفاخ التربة وزيادة حجمها بينما يؤدي الجفاف إلى انكماش التربة ونقصان حجمها وما لذلك من تأثير سيء على الأسس المقامة على هذه الترب. ويتغير حجم الترب الطينية أيضاً بفعل التحميل واللاتحميل (Loading & unloading) المؤدي إلى انضمام واندفاع التربة على التوالي. عندما يسלט ثقل على الترب الطينية يقل حجمها بفعل اختزال حجم الفراغات، نفس التربة إذا تشبعت بالماء فان ضغط الماء المسامي يؤدي إلى تقليل الإجهاد المؤثر ومن ثم اندفاع التربة.

تؤدي زيادة نسبة الغرين في الرواسب التماسكية إلى زيادة النفاذية وتقليل حد السيولة والخاصية الشعرية وقابلية الاندفاع إلى حد ما، وتؤدي إلى تقليل قابلية التربة الرملية على التسيل (Liquefaction) الى حد كبير. تزداد في الترب الغرينية القابلية على احتواء الفجوات الانبوية (Piping) الناتجة عن حركة المياه

الجوفية ذات الضرر الكبير على تحمل التربة واستقرارها. تستمد التربة الغرينية مقاومتها من الاحتكاك الداخلي (Intergranular friction) والتماسك الظاهري (Apparent cohesion) بين الحبيبات عندما تكون مشبعة جزئياً، غير أن هذه المقاومة تقل كثيراً عند التجفيف أو الإشباع الكلي وهذا ما يعكسه ضعف تماسك الرواسب في الطبقات الوسطى التي تتميز بالانضغاطية العالية ومقاومة القص القليلة. تعاني المناطق الظاهرة على السطح من هذه الطبقات من تغير كبير بالتماسك بسبب تغير المحتوى المائي مما يسبب مشاكل كبيرة بالأعمال الإنشائية والأسس وهي لا تستخدم للأغراض الإملاتية (Fills) بسبب صعوبة تراصها سواء كانت رطبة أو جافة.

في الرواسب الرملية، يؤثر حجم الحبيبات ودرجة الفرز (Sorting) على الخواص الهندسية إذ تزداد سعة التحميل مع زيادة حجم الحبيبات ومع احتواء الترسبات على خليط من الحبيبات ذات الحجم المختلفة بدلاً من التدرج المتجانس (Uniformly graded). تقل الكثافة النسبية بصورة عامة مع صغر حجم الحبيبات كما تتأثر أيضاً بمعدل سرعة الترسيب (Rate of deposition) وشكل الحبيبات، فإذا تضامت بكثافة (Densely packed) فإنها تكون غير انضغاطية (Incompressible). أن زيادة نسبة الرمل بالطبقات (٦ و٧ و٨) قد حصل بسبب قرب مصادر الرمل المتمثلة بسطح الدبدة والرواسب الريحية وطبيعة البيئة الترسيبية التي تكثر فيها الرواسب الرملية وقد أدت هذه النسبة الى زيادة نفاذية التربة وزيادة مقاومتها نسبياً إضافة الى عامل الانضمام الطبيعي.