



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية العلوم

علوم الارض التطبيقية

مقالة بعنوان

" مقدمة في ميكانيك التربة "

يتقدم بها الطالب

ليث إخلاص صلاح

ماجستير جيولوجيا هندسية

المرحلة التحضيرية

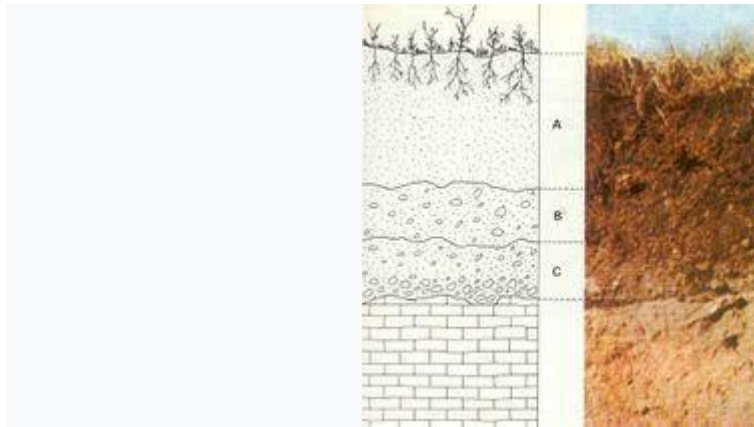
2019-2020

ميكانيك التربة : Soil Mechanics هو فرع من العلوم الهندسية وهو مختص بدراسة التربة وطريقة تصرفها عند تعرضها للأحمال والإجهادات.

وهو العلم المتعلق بميكانيك الأجسام الطبيعية المشتتة (المؤلفة من أجزاء دقيقة أو ناعمة) ويعتبر فرعاً من فروع علم ميكانيك الأرض العام الذي تدخل ضمنه العلوم الخاصة التالية : ديناميك الأرض في المجالين العالمي والمناطقى ، ميكانيك الصخور الصلدة أو المصمتة ، ميكانيك الصخور الرخوة أو الهشة (التربة الطبيعية) وميكانيك الكتل العضوية والعضوية المعدنية (الطمي ، الفحم وغير ذلك).

ويعتبر علم ميكانيك التربة في نفس الوقت ، فرعاً من فروع علم الميكانيك الإنشائية المبني على أساس قوانين الميكانيك النظرية (ميكانيك الأجسام الصلبة الغير قابلة للانضغاط مطلقاً) وكذلك على أساس قوانين الأجسام القابلة للتشوه أيضاً ، أي القابلة للانضغاط وتغير الشكل (قوانين اللدونة ، المرونة ، الزحف) ، التي ستكون بالنسبة لتكوين وصياغة علم ميكانيك التربة - كعلم مستقل - بمثابة قوانين ضرورية فقط ولكنها ليست من الشروط الكافية بحد ذاتها . وإذا أضفنا إلى علاقات (معادلات) الميكانيك النظرية والميكانيك الإنشائية للأجسام المصمتة القابلة للتشوه ، إذا أضفنا لهم القوانين التي تشرح الخواص المتعلقة بتفتت التربة (الإنضغاطية ، النفاذية ، مقاومة القص التماسية ، التشوه التركيبي الطوري) عندئذ نبحثنا للتربة باعتبارها اجساماً طبيعية مشتتة وثيقة الاتصال بظروف تكوينها وتامة التفاعل مع البيئة الطبيعية الجيولوجية المحيطة بها ، يمكن في هذه الحالة صياغة أو تكوين ميكانيك التربة كعلم من العلوم.

نشوء وتاريخ علم ميكانيك التربة



Example soil horizons. A) top soil and colluvium B) mature residual soil C) young residual soil D) weathered rock.

قام المهندس الفرنسي كولون عام 1773 بأول بحث أساسي في مجال ميكانيك التربة وهو المتعلق بنظرية الأجسام أو المواد السائبة الذي كان يعتبر على مدى سنوات طويلة بمثابة النظرية الهندسية الوحيدة في هذا المجال التي استخدمت أو طبقت بنجاح عند حساب ضغط التربة على الجدران الساندة.

وفي عام 1885 نشر في فرنسا أيضا بحث العالم بوسينسك حول " توزيع الأجهادات الناجمة عن تأثير القوة المركزة في التربة المرنة الذي أصبح فيما بعد أساسا لتحديد الأجهادات في التربة عند تعرضها لمختلف أنواع الأحمال . وفي عام 1923 وضع العالم السوفييتي بوزيرفسكي " النظرية العامة لإجهاد التربة الأرضية " باستخدامه لنظرية المرونة في حساب القواعد الأرضية.

أهمية علم ميكانيك التربة

إن ميكانيك التربة هي عبارة عن نظرية قواعد التربة الطبيعية ، وإن دور ميكانيك التربة كعلم هندسي هو دور عظيم ، ولا يمكن مقارنته إلا بعلم " مقاومة المواد " Strength of Materials ، وبدون معرفة مبادئ ميكانيك التربة ، لا يمكن تصميم المنشآت الصناعية الحديثة ، العمارات السكنية (لا سيما المتعددة الطوابق) ، إنشاءات إصلاح الأرض وإنشاءات الطرق ، الإنشاءات الترابية ، إنشاءات الهندسة الهيدروليكية) مثل السدود الترابية ، سدود المياه مبانى المحطات الهيدروليكية لتوليد الطاقة وغيرها) ، كل هذا لا يمكن إنشاؤه بصورة سليمة بدون معرفة مبادئ ميكانيك التربة.

إن استخدام ميكانيك التربة يساعده على الاستفادة أكثر ما يمكن من السعة الحملية للتربة ، الحساب الدقيق لتشوهات قواعد التربة أو القواعد الترابية تحت تأثير الأحمال الناجمة عن الإنشاءات الأمر الذي يعتمد ليس على وضع الحلول الأكثر سلامة فحسب ، بل وعلى الحلول الأكثر اقتصادية أيضا. وفي المستقبل ستزداد أهمية علم ميكانيك التربة في الأعمال الهندسية وذلك بمساعدته في الحصول على أوسع وأحسن استفادة من المنجزات العلمية لهذا العلم في التطبيقات الإنشائية الهندسية.

الخواص الأساسية للتربة

- **انضغاطية التربة** : تتلخص هذه الخاصية في قابلية التربة (إلى درجة كبيرة أحيانا) لتغيير بنيتها تحت تأثير المؤثرات الخارجية إلى بنية أكثر دموجا أو تراصا على حساب تقليل مسامية التربة.
ويرتبط بهذه الخاصية قانون مهم هو قانون الدموج أو التراص
- **نفاذية التربة للماء** : الخاصية الثانية للتربة هي خاصية نفاذية الماء ، أي قابلية ترشيح الماء والترشيح في التربة يعتمد على درجة الدموج أو التراص للتربة ، وفي الأطياف شديدة اللدونة وشبه الصلبة يعتمد الترشيح على وجود التدرج الابتدائي للضغط ، الذي تبدأ حركة الماء عند التغلب عليه فقط.
ويرتبط بهذه الخاصية قانون الترشيح الطبقي.

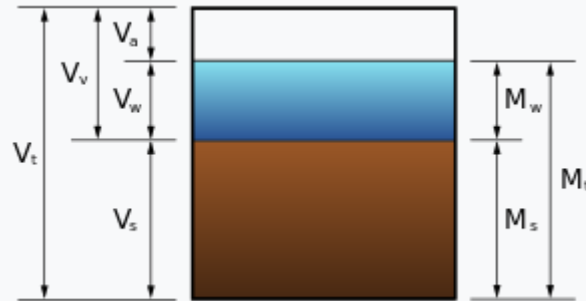
▪ **مقاومة التربة للقص :** تحت تأثير الحمل الخارجي ، يمكن للضغوط الفعالة في بعض النقاط أن تتفوق على الأربطة الداخلية بين دقائق التربة ، وتنشأ إنزلاقات (زحزحات) لبعض الدقائق ويمكن هنا أن يختل اتصال التربة في إحدى المناطق أي يتم التغلب على مقاومة التربة في تلك المنطقة.

إن المقاومة الداخلية ، المعارضة أو المانعة لإزاحة أو زحزحة الدقائق الصلبة في الأجسام السائبة المثالية تكمن فقط في الاحتكاك الناشئ في نقاط تلامس أو اتصال الدقائق ، أما في التربة المتماسكة المثالية مثل الأطيان اللزجة ستقوم بمقاومة زحزحة الدقائق فيها الأربطة البنيوية الداخلية ولزوجة الأغلفة المائية للدقائق فقط وليس في الاحتكاك الناشئ في نقاط تلامس.

التحليل المنخلي



علاقة الكتلة - الحجم



الرسم التخطيطي الطوري للتربة يشير إلى كتل وأحجام الهواء والحبيبات الصلبة والماء والفراغات .

هناك مجموعة متنوعة من المعايير المستخدمة لوصف الاجزاء النسبية للهواء والماء والحبيبات الصلبة في التربة. يحدد هذا القسم هذه المعايير وبعض علاقاتها المتبادلة الرموز الأساسية وهي كما يلي :

V_w, V_a, V_s : تمثل أحجام الماء والهواء والمواد الصلبة في خليط التربة.

W_w, W_a, W_s تمثل أوزان الماء والهواء والمواد الصلبة في خليط التربة .

M_w, M_a, M_s تمثل كتل الماء والهواء والمواد الصلبة في خليط التربة

p_s, p_a, p_w تمثل كثافة المكونات (الصلبة والهواء والماء) في خليط التربة

لاحظ أن الأوزان ، W ، يمكن الحصول عليها بضرب الكتلة ، M ، عن طريق

$$W_s = M_s g \quad ; \quad g \text{ التسارع بسبب الجاذبية ، } (\rho_w = 1g/cm^3)$$

– الوزن النوعي هو نسبة وزن حجم معين من التربة في الهواء الى وزن نفس الحجم من الماء

وحدة الوزن لحبيبات التربة :

لاحظ أنه يمكن الحصول على أوزان الوحدة (الكثافة) ، التي يُشار إليها عادةً بالرمز γ عن طريق ضرب الكثافة بدلاً من التسارع بسبب الجاذبية ، $\rho \cdot g$

Bulk Density, or Wet Density, Density ، هي مصطلحات مختلفة لكثافة الخليط ، أي الكتلة الإجمالية للهواء والماء والمواد الصلبة مقسومة على الحجم الكلي لماء الهواء والمواد الصلبة (يفترض أن تكون كتلة الهواء صفراً للأغراض العملية):

$$\rho = \frac{M_s + M_w}{V_s + V_w + V_a} = \frac{M_t}{V_t}$$

Dry Density

هي كتلة المواد الصلبة مقسومة على الحجم الكلي للماء والهواء والمواد الصلبة (الحجم الكلي):

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_s + V_w + V_a} = \frac{M_s}{V_t}$$

Buoyant Density، تُعرف بأنها كثافة الخليط ناقصاً كثافة الماء مفيدة إذا كانت

التربة معتدلة تحت الماء:

$$\rho' = \rho - \rho_w$$

حيث p_w هي كثافة الماء .

Water Content ، ($\%W$) هي نسبة كتلة الماء إلى كتلة المادة الصلبة. يمكن قياسه بسهولة عن طريق وزن عينة من التربة وتجفيفها في الفرن وإعادة وزنها. يتم وصف الإجراءات القياسية من قبل ASTM.

$$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Void ratio (e) هي نسبة حجم الفراغات إلى حجم المواد الصلبة:

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_V}{V_T - V_V} = \frac{n}{1 - n}$$

Porosity ($\% n$) هي نسبة حجم الفراغات إلى الحجم الإجمالي ، وترتبط بنسبة الفراغات:

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{e}{1 + e}$$

Degree of saturation ($\% S$) هي نسبة حجم الماء إلى حجم الفراغات: $S = \frac{V_w}{V_v}$

تطبيقات ميكانيك التربة

إن الممارسة الهندسية التي تطبق مبادئ ميكانيك التربة على تصميم المنشآت الهندسية تدعى بهندسة التربة التي تعتمد لاختيار نوع الأساسات وطريقة تنفيذها على دراسة المسائل الآتية:

- الضغوط والإجهادات التي تنقلها الأساسات.
- عمق التأسيس المقترح وإمكان الاستناد إلى التربة السطحية.
- الهبوطات المسموحة في المنشآت.
- ضرورة تدعيم الحفريات أثناء الإنشاء.
- تخفيض منسوب المياه الجوفية لتنفيذ أعمال الحفر والأساسات وخطره على الأبنية المجاورة.
- معالجة تربة التأسيس وتحسين خواصها.

- تعويم المنشأة واستعمال أساسات عائمة بزيادة عمق التأسيس بحيث يكون وزن التربة المزاحة معادلاً لوزن المنشأ.

- استعمال الأوتاد أو الركائز وتحديد عمق استنادها أو غرسها ونوعها والحمولة القصوى المسموحة للوتد.

وللحدس الهندسي دور مهم في ممارسة هندسة الأساسات، ويتطلب ذلك من مهندس الأساسات الحصول على مقطع للموقع ومعطيات عن خواص التربة ومعلومات جيولوجية كافية للتوصل إلى قرار عملي واقتصادي وأمين.

في حالات إنشاءات الجدران الحاملة من طابق واحد وحين تكون التربة متجانسة نسبياً فقد تكفي معلومات من مقاطع 4-5 سبور استطلاعية غير عميقة، بينما لبناء من 10 طوابق فإنه يتوجب أن تكون المعلومات اللازمة أكبر. عندما تكون المنشأة المعنية هي مبنى من 100 طابق فإن المعلومات اللازمة حينئذ ستكون كبيرة وقد يكلف الحصول عليها من 0.5 إلى 1 بالمئة من تكاليف الإنشاء الإجمالية. من المفيد لمهندس الأساسات أن يطلع على توصيات وتصاميم مشروعات سابقة في موقع قريب من موقع المشروع المدروس.

التصدعات الناشئة عن الهبوطات التفاضلية في التربة

يمكن تصنيف تشققات عناصر المنشآت الناتجة عن الهبوطات التفاضلية إلى:

- تشققات معمارية تظهر في الجدران غير الحاملة والأرضيات والدهان.

- تشققات إنشائية تظهر في العناصر الإنشائية الحاملة كالجسور والأعمدة.

يحدث الهبوط التفاضلي نتيجة لأسباب كثيرة منها:

- اختلاف تربة التأسيس.

- اختلاف الإجهادات المطبقة على الأساسات.

- اختلاف زمن تنفيذ أجزاء المنشأة.

- اختلاف شروط تحميل التربة.

- اختلاف منسوب المياه الجوفية أو اختلاف ترطيب التربة تحت قواعد الأساسات المختلفة.

إن الترب الحاوية على معادن المونتموريلونيت والكاؤولين الحساس للمياه هي ترب قابلة للانتفاخ عند زيادة رطوبتها، وتظهر فعالية الانتفاخ حين تكون نسبة المواد الناعمة (المارة من المنخل رقم 200) أكثر من نصف الوزن، وعند تناوب فترات زمنية طويلة من الرطوبة والجفاف وحين تكون ثخانة طبقة التربة القابلة للانتفاخ كافية لتتولد داخلها إجهادات وتشوهات محسوسة، وتكون درجة الانتفاخ عالية جداً عندما يكون تغير الحجم من الجاف إلى المشبع أكبر من 30 %.

المعلومات المطلوبة لدراسة تربة تحت منشأة

يجب التعرف على التربة ووصفها واختبارها في الحقل واستخراج عينات منها لدراسة خواصها الفيزيائية والميكانيكية في المخبر ولتحديد قدرة تحملها المسموحة ومقدار الهبوط المتوقع حصوله فيها تحت قواعد الأساسات، بحيث يمكن تصميم أساسات اقتصادية وأمنة في مدة استثمار المنشأة.

التجارب الحقلية

بسبب صعوبة أخذ عينات للترب حقلياً لاختبارها فقد طورت طرائق الاختبار الحقلية (في الموقع). إن التجارب الحقلية ذات فائدة كبيرة لتقدير مقاومة التربة وحساسيتها، إضافة إلى أنها تمكننا من تقدير الحاجة لزيادة عدد السبور وأعماقها، وأهم هذه التجارب الحقلية هي الآتية:

أ - تجربة الاختراق النظامية: standard penetration test: يجرى في هذه التجربة تحديد عدد الضربات اللازمة لتخترق أخذة عينات التربة مسافة 30 سم، وتنجز هذه التجربة بجهاز السبر ذاته حيث تستعمل مطرقة بوزن 63.5 كغ تسقط من ارتفاع 76 سم ويمكن من نتائج هذه التجربة ومن علاقات خاصة تقدير كثافة التربة النسبية وزاوية احتكاكها الداخلي ووزنها الحجمي وذلك بالنسبة للترب الرملية، كما يمكن تقدير قوة الانضغاط غير المحصور q_u وكثافة التربة بالنسبة للترب الغضارية المتماسكة cohesive soils، ومنها تحسب قدرة تحمل هذه التربة.

ب - تجربة التحميل بالصفحة: plate-load testing: ويتم بهذه التجربة محاكاة تحميل قواعد الأساسات، وذلك باستعمال صفحة بقطر 30 سم تطبق فوقها حمولات متزايدة ويقاس الهبوط الحاصل تحتها من تأثير هذه الحمولات، وتستمر هذه التجربة إلى أن يحصل هبوط قدره 25 مم، ويرسم منحنى الهبوط - لوغاريتم الزمن يمكننا منه تحديد الهبوط الأعظمي من زيادة حمولة معينة، ويرسم منحنى الحمولة - الهبوط يمكننا تقدير ضغط التصميم الأعظمي وعامل مرونة التربة.

ج - تجربة القص بالمروحة: vane-shear testing: ويتم في هذه التجربة غرس مروحة عيارية ضمن الترب المتماسكة إلى عمق محدد ويتم تدويرها لقص أسطوانة من التربة حولها ويقاس العزم اللازم لذلك، إذ يمكن أن نستخرج قوة القص المغلقة للتربة.

د - تجربة الضغط بالبالون: borehole pressuremeter testing: تعتمد هذه التجربة على مبدأ توسيع أسطوانة ضمن جذع سير محفور في التربة، وبملاحظة مقدار التوسع والضغط اللازم للحصول على هذا التثوه، وباستعمال نظرية أسطوانة

ثخينة لا نهائية خاضعة لضغط داخلي يمكن الحصول على الثوابت المرنة للتربة مثل معامل الإجهاد - التشوه E وعامل دفع التربة في حالة الراحة K0.

هـ - تجربة الاختراق بالمخروط أو اختبار الاختراق الساكن cone penetration test: يُغرس في هذه التجربة مخروط في طبقة التربة التي يُهتم بمعرفة خواصها ويُقاس بقياس المقاومة المقابلة لذلك الغرس، ولما كانت هذه التجربة سريعة نسبياً كان لا بد أن تتولد شروط قص تربة من دون تصريف الماء المسامي، ومن ثم ترتبط مقاومة التربة لاختراق المخروط بقوة القص المغلقة، إضافة للتجارب الحقلية المذكورة أعلاه هناك تجارب أخرى لتحديد الكثافة في الموقع بمخروط الرمل أو بالبالون أو بالطرائق النووية.

وصف التربة

إن تعرّف التربة أثناء الأعمال الحقلية يستلزم إجراء عملية وصف للعينات، ويتم ذلك بلغة مناسبة لكل مسألة هندسية، ولما كانت الخواص الهندسية للتربة محكومة إلى حد كبير بخواصها وسلوكها الفيزيائي، لذلك كان يمكن الحصول على التقييم الأولي لهذه التربة من فحص بصري لطبيعتها وتركيبها بمساعدة بعض التجارب الأولية، ويقدم الوصف المنهجي معلومات أساسية وفق مصطلحات محددة، ويمكن أن تشكل هذه المعلومات صورة عقلانية لدى القارئ كما يمكن أن تستخرج منها معلومات مناسبة.

يمكن أن تجزأ التربة إلى أنواع بحسب تركيب حبيباتها رئيسية كما يأتي:

أ - الترب الخشنة جداً: وتكون أبعاد الحبيبات فيها من 60 مم أو أكثر وتصنف كحجارة (حتى 200 مم).

ب - الترب الخشنة: وتكون أبعاد الحبيبات من 0.06-60 مم وترى جزيئاتها إفرادياً بالعين المجردة وتضم البحص والرمل، ونسبة هذه المواد الخشنة، بعد استبعاد الأجزاء الخشنة جداً، تزيد على 50٪.

ج - الترب الناعمة: وهي الغرين إضافة إلى معادن الاطيان، ولا ترى جزيئاتها بالعين المجردة، ويلتصق بعضها مع بعض لتكون قطعاً كاللدائن تتحكم فيها قوى الشد السطحي ما بين الذرات.

د - المواد العضوية: وتنتج من تفسخ النباتات عموماً.

هـ - مواد الردميات: وهي الترب المشكلة صناعياً وتعالج كحالة خاصة.

التجارب المخبرية

يمكن تصنيف التجارب المخبرية بحسب المجموعات الآتية:

أ - التجارب الفيزيائية: وتضم التجارب الآتية:

1- الوزن الحجمي الطبيعي: لتحديد وزن وحدة حجم التربة الطبيعية.

2- الرطوبة الطبيعية: وتحدد الرطوبة كنسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة المجففة في الفرن في درجة حرارة 105 مئوية وحسب نوع التربة.

3- التحليل الحبيبي: يرتبط بمسائل جريان المياه الجوفية والنفوذية والحقن بالإسمنت والحقن بالمواد الكيميائية واختيار مواد الردم للسدود ومواد أساسيات الطرق، ويحدد التدرج ونسبة البحص - الرمل - النواعم (السيلت والغضار) (بالمناخل العيارية بالنخل الجاف أو بالغسل. يُميز نوعا النواعم السيلت والغضار بتجارب الترسيب أو الهيدرومتر حيث يسمح لتربة مشبعة بالترسيب ويقاس تغير الوزن النوعي للمعلق مع الزمن وتحسب الأقطار المكافئة من قانون ستوك.

4- حدود أتربرغ: وتعين هذه الحدود تغير قوام الترب الطينية السيلتية بتغير رطوبة الجزء المار من المنخل رقم 40، وبإضافة الماء إلى التربة الجافة تزداد ثخانة الأغشية المائية المحيطة بالجزيئات الغضارية وتبقى التربة في حالة صلابة دون زيادة في الحجم إلى أن تصل رطوبتها إلى حد معين، حد الانكماش، وبإضافة المياه يبدأ ظهور الانتفاخ في التربة وتدخل التربة في المرحلة نصف الصلبة إلى أن تأخذ بعده خاصية اللدونة، حد اللدونة، ومع زيادة الرطوبة تبقى التربة في الحالة اللدنة إلى أن تبدأ التربة بفقدان خاصية اللدونة، حد السيولة، وأي زيادة بالرطوبة بعد هذا الحد تدخل التربة في طور السائل، ومن ثم لا تعود التربة تمتلك قوة قص.

5- الوزن النوعي: هو وزن وحدة حجم الجزيئات الصلبة فقط ويقاس في زجاجة كثافة مع احتياطات خاصة لمنع دخول الهواء.

6- عامل النفاذية K يستعمل في دراسة جريان المياه عبر الكتل الترابية، ويقاس في أجهزة ذات ضاغط ثابت أو أجهزة ذات ضاغط متغير حيث يقاس الجريان وفاقد الضاغط عند مرور الماء عبر التربة.

ب - التجارب الميكانيكية: تنفذ هذه التجارب لتحديد وسائط التربة المستخدمة في حساب قدرة تحمل التربة والهبوط المتوقع فيها، وتضم التجارب الرئيسية الآتية:

1- تجربة القص ثلاثي المحاور triaxial لدراسة سلوك الحمولة - التشوه لعينة تربة، وتتم في جهاز الانضغاط الثلاثي إذ تخضع عينة أسطوانية من التربة مغلفة في غشاء مطاطي وموضوعة في خلية مملوءة بالسائل (الماء الذي يوفر الضغط الجانبي) لضغط σ_3 أي حالة إجهاد هو الضغط الهيدروستاتيكي σ_3 ، بينما يطبق محورياً إجهاد شاقولي إضافي ($\sigma_1 - \sigma_3$) يدعى إجهاد الفرق deviator stress ، وتستخرج منها أيضاً تماسك التربة C وزاوية احتكاكها الداخلي لحساب قدرة تحمل التربة.

2- تجربة القص المباشر: بسبب صعوبة استعمال جهاز الاختبار الثلاثي لاختبار عينات الترب غير المتماسكة يستعمل لها اختبار القص المباشر، ويتألف من نصفي علبة أبعادها الأفقية هي 6×6 سم وارتفاعها 2 سم ويتباعد النصفان مسافة صغيرة ويطبق الإجهاد الناظمي عن طريق حامل hanger ويطبق إجهاد القص T ليسبب انهيار العينة على سطح أفقي، ومن عيوب هذا الاختبار - تركيزات الإجهاد - عدم

معرفة قيمة σ_2 صعوبة التحكم بالصرف، التعرف السيئ على حالة الإجهاد أثناء الاختبار، عدم تناظر الجهاز عند حدوث تشوهات كبيرة. بإنجاز ثلاثة اختبارات أو أكثر على ضغوط ناظرية مختلفة يمكن استخراج مغلف لقوة القص نستطيع منه أن نقيم زاوية مقاومة القص. إن هذا الاختبار في الواقع هو اختبار «زاوية الاحتكاك angle of friction»، ويمكن منه معرفة تماسك التربة C وزاوية الاحتكاك الداخلي Φ ومن هذين الوسيطتين وباستعمال عدد من العلاقات الهندسية المعروفة (تيرزاكي مثلاً أو مايرهوف) يمكننا حساب قدرة تحمل التربة إضافة إلى حساب عامل مرونتها E .

3- تجربة الضغط البسيط: **unconfined compression test** تنفذ هذه التجربة على جميع أنواع الترب بقص عينة ارتفاعها ضعف قطرها بتطبيق ضغط محوري ونحصل منها على قوة قص التربة q التي يمكن منها أيضاً، باستعمال بعض العلاقات، استخراج قدرة تحمل التربة.

4- تجربة الانضغاط مع الزمن (الانضمام: **consolidation**) (يتم في هذه التجربة صرف قليل من الماء الموجود في المسامات بين الجزيئات الصلبة للتربة بتأثير تطبيق الضغط المستمر، ويتناقص حجم التربة تدريجياً من إعادة تنظيم جزيئاتها عندما ينتقل تدريجياً تطبيق الحمولة من الماء المسامي إلى الهيكل الصلب لجزيئات التربة وتستمر هذه العملية إلى أن يصير ضغط الماء المسامي مساوياً للصفر).

تنفذ التجربة على الترب الطينية بوجه رئيسي إذ يلاحظ التغير الحجمي لعينة تربة عند إخضاعها لحمولات متزايدة بين حجرين مساميين مع قياس الحركة الشاقولية، وتستعمل ثوابت التربة المستخرجة منها، مثلاً دليل الانضغاطية **compressibility index C_c** ، في حساب الهبوط المتوقع للأبنية.

ج - التجارب الكيميائية: إن احتواء التربة على مواد عضوية تتفسخ يولد هبوطات تفاضلية قد تؤدي لحدوث تصدعات في المنشأة، ومن الضروري أحياناً معرفة احتواء التربة على مركبات كيماوية ذات تأثير تخريبي أو ضار على البيتون والأساسات، ومن هذه التجارب:

1- تحديد احتواء المواد العضوية: إن وجود المواد العضوية يسبب هبوطات عالية في المنشآت عند تفسخ المادة العضوية، وإذا كان هناك شك بوجود نسبة ذات أهمية من المادة العضوية نحدد نسبتها بتحطيم المادة العضوية بالعوامل المؤكسدة ونقيس خسارة الوزن.

2- تحديد احتواء الكبريتات: SO_3 مثل كبريتات المغنيسيوم والصوديوم، وبذوبانها بالمياه الجوفية أو السطحية تتفاعل مع الإسمنت في بيتون قواعد الأساسات لتتشكل مركبات مثل كبريتات الكلسيوم مع زيادة في الحجم تؤدي إلى تخريب البيتون ونخره، وتتم تجربة تحديد نسبة الكبريتات بترسيبها بمركب كبريتات الباريوم ثم الوزن لتقدير خسارة الوزن.

تحليل نتائج التجارب والتوصيات الفنية

يتضمن التقرير الفني عادة معلومات عن المشروع الذي يتم سبر التربة من أجله والوظيفة المطلوبة له، كما يتحدث عن التحريات والمشاهدات الحقلية وعن منسوب المياه الجوفية وعن التجارب المخبرية للتربة بما يوضح خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، كما تحدد الوسائط الهندسية التي تستعمل في التصميم والعلاقات والصيغ المستعملة في الحساب لاستخراج قدرة تحمل التربة والهبوط المتوقع مع جميع العوامل اللازمة وخاصة عامل الأمان المقترح.

يجب أيضاً تحديد تأثير المياه السطحية والمياه الجوفية، في حال وجودها، على القاعدة الترابية مع الحلول الفنية المناسبة إذا لزم الأمر، وتحدد التوصيات الفنية لكل نوع من أنواع الأساسات كما يأتي:

ا - فيما يتعلق بالأساسات السطحية: يجب تحديد طبقة التأسيس وعمقه وقدرة تحمل التربة والهبوط المتوقع والهبوط التفاضلي.

ب - فيما يتعلق بالأساسات العميقة (الأوتاد والركائز): يجب تحديد طول الوتد ونوعه والأقطار المقترحة والحمولات التصميمية للوتد والهبوط المتوقع وطريقة التنفيذ، وتحدد بشكل مفصل طريقة إجراء تجارب التحميل من حيث الحمولات ومراحلها ومددها وغيره.

ج - فيما يتعلق بالجدران الاستنادية: تحدد المعلومات اللازمة لتصميم الجدران الاستنادية مثل خصائص التربة خلف الجدار التي تشمل: زاوية الاحتكاك الداخلي - التماسك - الوزن الحجمي - وزاوية احتكاك التربة مع وجه الجدار الخلفي، وعامل الدفع الفعال لكتلة التربة خلف الجدار واحتكاك قاعدة الجدار مع تربة التأسيس وتماسك قاعدة الجدار مع تربة التأسيس، كذلك بالنسبة لكتلة التربة أمام قدم الجدار التي تشمل: زاوية الاحتكاك الداخلي والوزن الحجمي وعامل دفع التربة المنفعل لهذه الكتلة، إضافة التوصيات اللازمة لصرف المياه من كتلة التربة خلف الجدار، كما تحدد الوسائط المستخدمة في تصميم الجدران الاستنادية مع التحقيقات اللازمة لتأمين توازنها ضد الانقلاب والانزلاق وضغط التربة في مستوى القاعدة.

د - فيما يتعلق بتوازن المنحدرات: تحدد الحلول المناسبة لتأمين استقرار المنحدرات .

- 2- الحجاوي ، سامي أحمد (2003) :فحوصات التربة للأغراض الانشائية ، نابلس- فلسطين ، ص 299 .
- 3- ASTM,D3080 (1983). Standard Test Method for Direct Shear of Soil.
- 4- ASTM, D422-63 (2002) . Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soil .
- 5- ASTM, D2216-05 (2005). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- 6- ASTM, D2166. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive.
- 7- Mitchell, James K. & Soga, K. (2005), *Fundamentals of Soil Behavior* 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-471-46302-3
- 8- Terzaghi, K., Peck, R.B., and Mesri, G. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. Article 18, page 135.