

1-Introduction

Soil is an important ingredient material used in building roads, buildings, airports, bridges, railways, embankments, retaining structures, and earth dams. In all these cases soil is used as either supporting material or construction material. In the case of retaining structures, soil supports the structure and is also supported by the structure. Engineers and technicians who undertake the construction of massive structures must understand the nature of the soil.

Soil *investigation, analysis, design, and quality control* measures are the related aspects of soil studies. These are desirable if multi-core projects such as building a network of roads and highways, skyscrapers in urban areas, dams, and river valley projects are to be executed economically. This requires a well-trained technical man fully conversant with the nature of the soil. Here lies the importance of soil studies.

ان التربة تعتبر مادة بنائية تستخدم في بناء الطرق والابنية والمطارات والجسور والسكك الحديدية والسواتر الترابية والجدران الساندة والسدود الترابية. في كل الحالات السابقة تستعمل التربة اما كمادة ساندة او مادة اساسية وفي حالة المنشآت الساندة فان التربة تعتبر مادة ساندة وفي نفس الوقت تسند بواسطة المنشآت الساندة او مادة اساسية كما في الطرق والمطارات. ان المهندسين والتقنيين اللذين يتناولون المنشآت الكبيرة في عملهم يفهمون جيدا اهمية التربة في مجال الانشاء.

ان دراسة التربة تبدأ ب ١- التحريات ٢- التحليل ثم ٣- التصميم ٤- السيطرة النوعية في حالة المنشآت الكبيرة والمهمة مثل شبكة طرق المدن والطرق السريعة وناطحات السحاب والسدود الترابية ووديان الانهار والتي يتطلب انشائها تنفيذ اقتصادي. ان هذا يتطلب ايدي تقنية على اعلى مستوى من الاطلاع على طبيعة التربة وهنا تكمن اهمية دراسة التربة.

2-Geotechnics

It is a science concerned with studying everything related to the physical and chemical properties of soil and rocks for different construction sites such as buildings, tunnels, municipal works, dams, mines etc. Thus, an estimate of its engineering behavior is reflected in the proposed designs for those sites.

الجيوتكنيك: هو علم يختص بدراسة كل مايتعلق بالخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة والصخور لمواقع الانشاءات المختلفة مثل : الابنية ، الأنفاق ، الاعمال البلدية ، السدود، المناجم الخ. وبالتالي تقدير التصرف الهندسي لها والذي ينعكس على التصاميم المقترحة لتلك المواقع.

2-a: Rock mechanics

It is the science concerned with the study of rock and the way it behaves when exposed to loads and stresses.

وهو العلم المختص بدراسة الصخور وطريقة تصرفها عند تعرضها للأحمال والإجهادات.

2-b: Soil mechanics

It is the science concerned with the study of soil and the way it behaves when exposed to loads and stresses.

وهو العلم المختص بدراسة التربة وطريقة تصرفها عند تعرضها للأحمال والإجهادات.

3-Soil Formation

Soil with which the civil technicians are mainly concerned is 10 – 20 m from the top mantle of the earth. This is the soil depth that is used in dealing with all the small and medium projects. However, in the construction of high dams, bridge foundations on rivers... etc., greater depths are required.

All types of soils are derived from either **Igneous Rocks**, sedimentary rocks, or metamorphic rocks because of the processes of mechanical disintegration, chemical decomposition, and solution. Since chemical composition varies from one type of rock to another, this results in the different properties of different types of soil.

The process of rock weathering is affected by climatic and other conditions surrounding a rock undergoing alterations. This also affects the properties of soil. A certain soil may have the same mineral composition as the parent. Rock or new minerals may be formed because of the association of water, carbon dioxide, and organic materials. The partial size of the weathered rock i.e. soil may vary from large size boulders to small crystals of clay minerals.

ان التربة التي يتعامل بها التقني في الهندسة المدنية بشكل رئيسي تنحصر في الاعماق بين ١٠-٢٠ م من سطح الارض. ان هذه الاعماق تستعمل في المشاريع الصغيرة والمتوسطة الحجم. على اية حال في المشاريع كبيرة الحجم كالسدود الترابية وجسور الانهار الكبيرة اعماق اكثر يجب التعامل معها.

ان جميع انواع الترب مشتقة اساسا اما من الصخور النارية او الصخور الرسوبية او الصخور المتحولة والناجمة من عمليات التحلل الميكانيكي او التفسخ الكيماوي والمحاليل. بما ان التفسخ الميكانيكي يختلف من نوع لآخر من الصخور فان الاخير سوف ينتج ترب ذات انواع مختلفة الخواص.

ان عملية تجوية الصخور تتاثر بالمناخ والتاثيرات المتغيرة الاخرى المحيطة بالصخور. ان تربة معينة قد تحمل نفس الخواص الفيزيائية والكيميائية للصخور الام او تكتسب خواص اخرى بسبب وجود ماء او ثاني اوكسيد الكربون ومواد عضوية. ان التربة الناتجة من عمليات التجوية تتراوح في الحجم بين صخور ذات حجوم تصل الى ٣ اقدم وحببيات الطين الصغيرة.

4-Geologic Origin of Soils

Soil is thought of as an Incidental material in the vast geological cycle. The geological cycle consists mainly of three phases i.e. Earth movement, erosion, transportation & deposition.

Exposed rocks are eroded and degraded by many processes of nature and the resulting products are picked up by various agencies of transportation. The shifting of material disturbs the equilibrium of forces in the structure of the earth. Therefore, it causes the earth's movements. Fig (1) shows the geological cycle.

ان التربة تعتبر مادة اولية في الدائرة الجيولوجية الواسعة. ان الدائرة الجيولوجية تتألف بشكل رئيسي من ثلاثة مراحل هي: الحركة الارضية , التعرية او التجوية , النقل والترسيب وكما موضح في الشكل رقم (1).

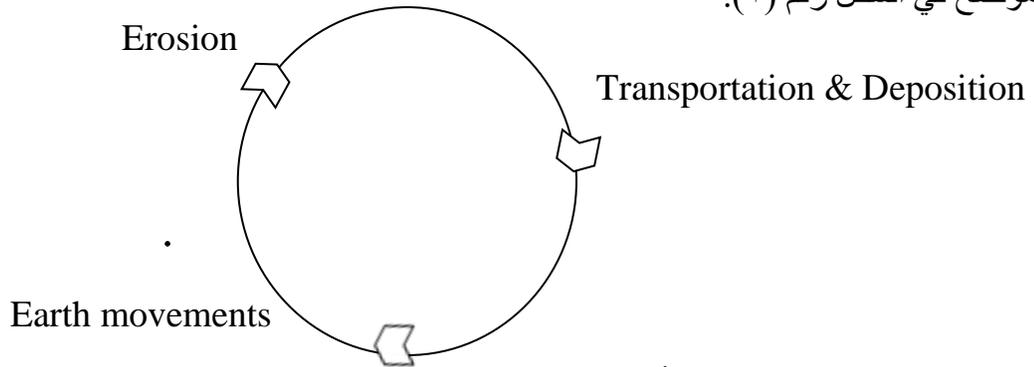


Fig.(1) Geologic Cycle (الدورة الجيولوجية)

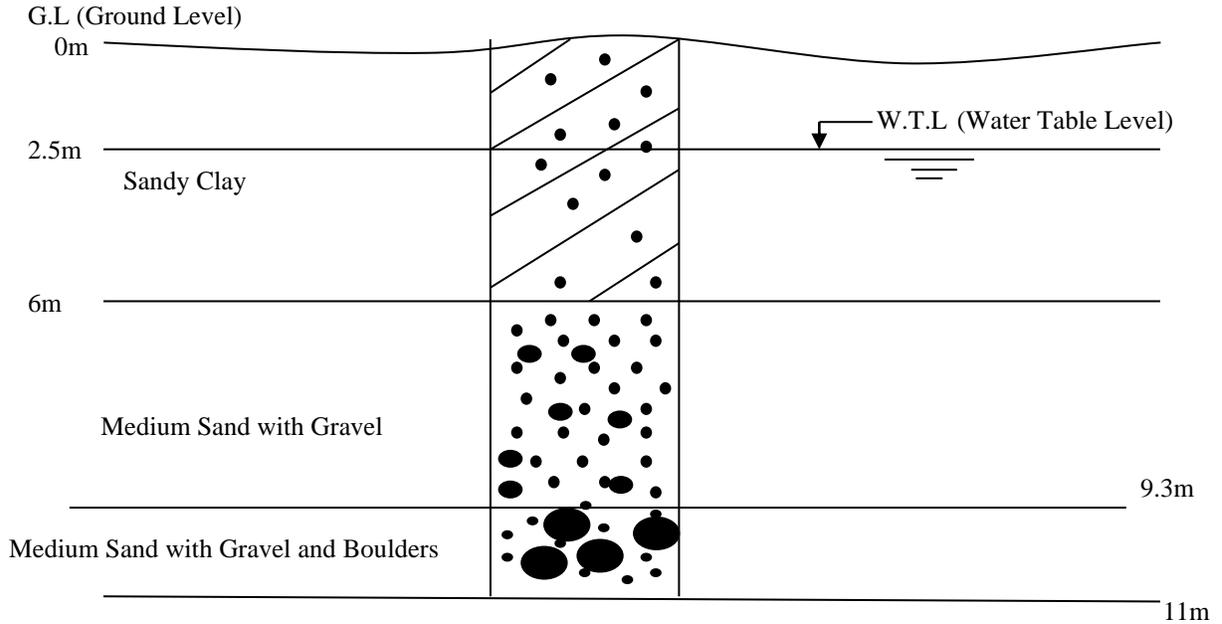


Fig.(2) Geological Section or Soil Profile (مقطع التربة)

1. Weathering:

Weathering is the process of cracking or disintegration of rocks on the Earth's surface by the action of rainwater, extreme temperatures, and biological activity.

تعريف التجوية

يمكن تعريف عملية التجوية (Weathering) بأنها عملية تكسير أو تفكك الصخور على سطح الأرض بفعل مياه الأمطار، ودرجات الحرارة الشديدة، والنشاط البيولوجي. وهناك ثلاثة أنواع من التجوية

أ- التجوية الميكانيكية

تحدث التجوية الميكانيكية (Mechanical weathering) أو التجوية الفيزيائية (Physical Weathering) عادة بسبب القوى الطبيعية مثل الرياح، والرمل، والأمطار، والتجمد، والذوبان، وغيرها مسببة تغير الصخور فيزيائياً، وهي تسبب تفتت الصخور فقط دون تغيير تركيبها، ويعتبر الماء في صورته السائلة أو الصلبة العامل الرئيسي لحدوثها؛ فمثلاً يمكن أن تتسرب المياه السائلة إلى شقوق الصخور، وعند انخفاض درجات الحرارة يتجمد الماء فيها ويتمدد مسبباً توسع الشقوق، وتصدع الصخر وانكساره، وعند ذوبان الجليد فإن الماء السائل الناتج يحمل فتات الصخور الصغيرة وينقلها إلى أماكن أخرى ليُعرف هذا النوع من التجوية باسم التجوية الصقيعية (Frost weathering).

يمكن للتغيرات في درجات الحرارة أن تساهم كذلك في التجوية الميكانيكية عبر عملية الإجهاد الحراري (Thermal stress)؛ إذ تؤدي التغيرات في درجة الحرارة إلى تمدد الصخور مع الحرارة وتقلصها مع البرودة، ليؤدي ذلك عند حدوثه لمرات عديدة إلى إضعاف الصخر، وانهيائه مع مرور الوقت. يمكن أن تحدث التجوية الميكانيكية كذلك عندما يمتص الطين القريب من الصخور الماء، ويزداد حجمه، مسبباً تجوية الصخور المحيطة والأكثر صلابة، كما يمكن للملح أيضاً أن يسبب تجوية الصخور عبر عملية تبلور الملح (Haloclasty)؛ إذ قد تدخل المياه المالحة إلى شقوق ومسامات الصخور، ثم تتبخر المياه تاركة وراءها بلورات الملح، وعند نمو هذه البلورات، فإنها قد تضغط على الصخور، مسببة تفككها ببطء.

ب- التجوية الكيميائية

التجوية الكيميائية تحدث تفكك الصخور ينتج عنه التغيير الكيميائي لبنيتها المعدنية؛ وهي تحدث غالباً بسبب وجود أحماض ضعيفة في المياه الملامسة للصخور؛ إذ ينتج عن تفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع مياه الأمطار مثلاً إنتاج حمض الكربونيك الذي يسبب إذابة بعض المعادن، وخاصة الحجر الجيري، كما أن المطر الحمضي الناتج عن التلوث يعتبر كذلك من عوامل التجوية الكيميائية، كما تحدث التجوية الكيميائية أيضاً عند تأكسد أو صدأ الحديد في الصخور، وكذلك قد تُفرز أنواع معينة من الأشنيات والفطريات التي تنمو على الصخور أحماضاً تسبب ظهور الحفر على الأسطح الحجرية.

ت- التجوية البيولوجية

يمكن للنباتات والحيوانات أن تساهم أيضاً في عملية التجوية؛ فقد تنمو بذرة الشجرة في تربة قد تجمعت سابقاً داخل إحدى الصخور المتشققة، ومع نمو جذورها فإنها تسبب توسع الشقوق، وتفتت الصخر إلى قطع في النهاية، كما أن الحيوانات التي تحفر أنفاقاً تحت الأرض قد تسبب تفكك الصخور والتربة، مسببة ما يُعرف بالتجوية البيولوجية (Biological weathering).

2. Erosion:

It is the process of transferring weathering products from one place to another by transport factors such as water, air, gravity....etc.

التعرية:
هي عملية نقل نواتج التجوية من مكان الى آخر بواسطة عوامل النقل مثل الماء والهواء والجاذبية الارضية .

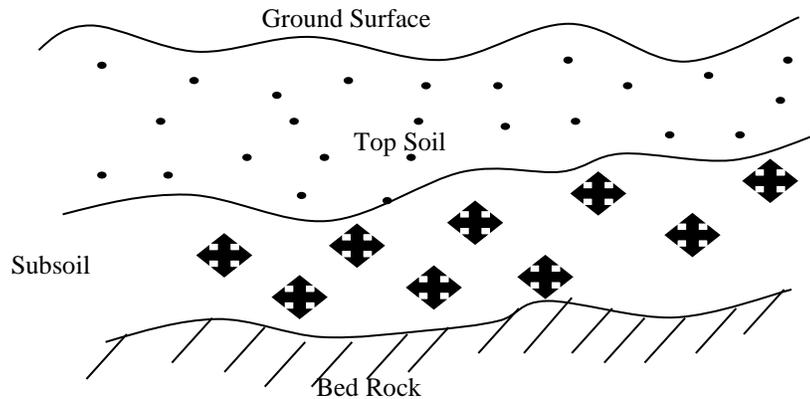


Fig.(3) Soil beds (طبقات التربة)

The products of weathering and erosion lead to the formation of soil, They are often classified into two types, depending on where they form:

نواتج التجوية والتعرية يؤدي الى تكوين التربة، وهي تصنف الى نوعين غالباً اعتماداً على مكان تشكلها:

A. **Residual Soil:** Soil that remains in the place of weathering and is not subject to transport factors is called residual soil.

التربة المتبقية في مكان التجوية تسمى تربة متبقية.

B. **Transported Soils.** If soils are carried away by force of gravity, water, wind, and ice and deposited at another location, then these are called transported soils.

التربة المنقولة اذا نقلت من مكان التكوين بعيدا بواسطة قوى الطبيعة وترسبت في مكان اخر فانها تسمى التربة المنقولة.

ويمكن ان تصنف اعتمادا على حجم جزيئاتها (حببياتها) الى:

1) Gravelly soil:

حببياتها ممثلة للصخور الام ويتراوح حجمها اكبر من ٢ ملم.

2) Sandy soil:

حببياتها في الغالب من الكوارتز (SiO_2) وحجمها اكبر من ٠,٠٧٤ ملم.

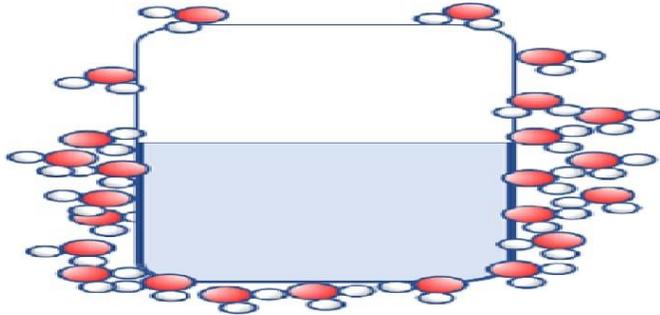
3) Silty soil:

حببياتها مصدرها الكوارتز تسمى هذه المادة أيضاً الطين الخشن. حجمها اكبر من ٠,٠٢ ملم.

4) Clayey soil:

جسيمات صغيرة جداً أقل من ٠,٠٠٢ ملم صفائحية الشكل من الألومينا والسليكا مرتبطة معاً بالماء مكونة سيليكات الألمنيوم المائية تتشكل عادة كمنتجات للتجوية الكيميائية ، تعمل معادن الطين كإسفنج كيميائي الذي يحتفظ بالماء ، ويمتاز بوجود شحنات كهربائية غير متوازنة على سطح

حبيبات الطين ، بحيث تكون بعض الأسطح مشحونة إيجابياً وبالتالي تجذب أيونات سالبة الشحنة ، بينما الأسطح الأخرى مشحونة سالبة تجذب أيونات موجبة الشحنة ، وتتمتع معادن الطين أيضاً بالقدرة على جذب جزيئات الماء ، ولأن هذا الانجذاب هو ظاهرة سطحية يطلق عليه اسم الامتزاز Adsorption وهو يختلف عن الامتصاص Absorption لأن الأيونات والماء لا ينجذبان بعمق داخل حبيبات الطين .



الشكل رقم (٤) عملية الامتصاص

ساعدت التقنيات التحليلية الحديثة مثل التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء ، وتحليل حيود النيوترونات ، والتحليل الطيفي لموسباور ، والتحليل الطيفي بالرنين المغناطيسي النووي على تعزيز المعرفة العلمية بالكيمياء البلورية.

يتم تصنيفها تبعاً لتركيبها البلوري و الذي يتרכب بشكل اساسي من نوعين من الوحدات البلورية و التي تترابط لتشكل معا طبقات او صفائح المعادن الطينية وهي tetrahedral layer من السيليكات و octahedral layer من alumina أو اكسيد الالومنيوم .

فهناك معادن تتרכب من طبقتين السيليكات مع الالومنيوم تسمى two layered clays مثل معادن الكاولينيت و ال serpentinite و ال greenalite و اخرى تتרכب من طبقتين من الالومنيوم و طبقة بينهم من السيليكات تسمى Three layered clays مثل ال smectite و ال talc و ال illite و ال montmorillonite و الفيرميكيوليت و غيرها و هناك ما يتרכب من العديد من الطبقات الالومينا مع السيليكات و لكن بغير ترتيب معين تسمى Mixed layer

و كما نعلم المعادن الطينية تتميز بخاصية الامتصاص اي انها لها قدرة امتصاص او ابقاء الكاتيونات الموجبة على سطحها او تدخلها الى تركيبها الداخلي حتى تتركز تلك الكاتيونات في المسافات البينية بين الصفائح تسمى... inter-layer distance

و سبب تفاعلات الامتصاص هو ان سطح المعادن الطينية دائما ما يكون مشحون بشحنة سالبة و ذلك لوجود نقص في الشحنات الموجبة بتركيبه البلوري غير المتزن و كي يصل للاتزان الكهربائي يقوم بجذب الكاتيونات الموجبة داخل تركيبه او يقوم بعمل تبادل ايوني بين الايونات التي يملكها و

بين ايونات الوسط المحيط ما يسمى بال... Ion exchange

او يقوم بسحب جزيئات المياه الى داخل تركيبه و ذلك لان المياه تحمل شحنة جزئية موجبة على

ذرات الهيدروجين و لكن لتصل للاتزان ستحتاج كميات كبيرة من المياه لذلك يتميز ال Clay بخاصية الانتفاخ Swelling عندما ينشرب الماء و عند تسخينه يفقد الماء dewatering و ينكمش و يعود لحالته الاصلية ... و من هنا يمكن التمييز بين معادن الطين و بعضها من خلال قياس طول المسافة بين الطبقات قبل الانتفاخ و بعده و التي تعد مميزه مثل البصمة لكل معدن و تقاس بواسطة

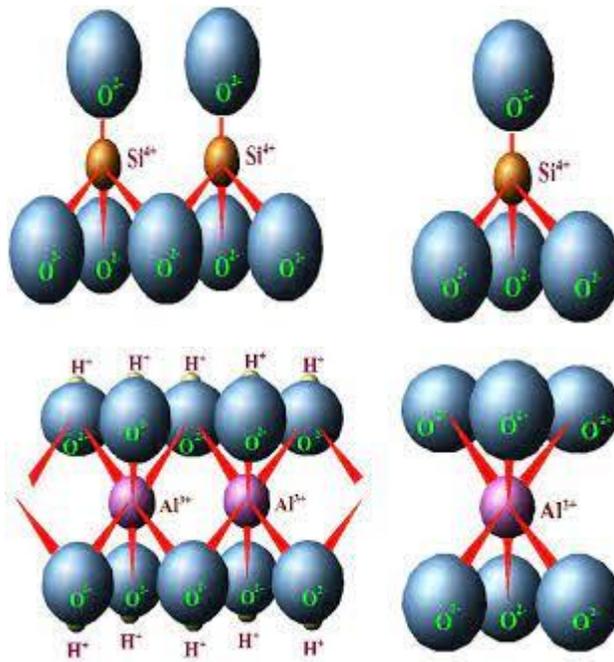
X-ray diffraction technique بالانجستروم و من اشهر معادن الانتفاخ معادن montmorillonite، لا تنتفش جميع المعادن بنفس الكيفية و لكن لكل معدن قدر معين للانتفاخ حتى حد معين تسمى swelling capacity يتم حسابها و هناك معادن اخرى لا تنتفش مطلقا مثل illite لان المسافة بين الصفائح يشغلها عنصر البوتاسيوم وهو عنصر كبير الحجم يمنع دخول كاتيونات اخرى او اي جزيئات الى ذلك النطاق بالتالي لا ينتفش.

وان الترب العراقية التي تسود فيها ظروف الجفاف تكون غنية بالمعادن الحاوية على البوتاسيوم وعند تشبع التربة بالبوتاسيوم تظهر دليل لدانة واطئة كذلك حد السيولة يكون واطئ وعند تشبع التربة بالكالسيوم والمغنيسيوم تكون لها قيم اعلى لحدي اللدونة والسيولة عند مقارنتها بحالة التشبع بالصوديوم والبوتاسيوم وفي حالة المغنيسيوم يكون دليل لدانة اكبر من الكالسيوم .

5-Crystal structures of the most important Iraqi lands

الهياكل البلورية لأهم الأطيان العراقية:

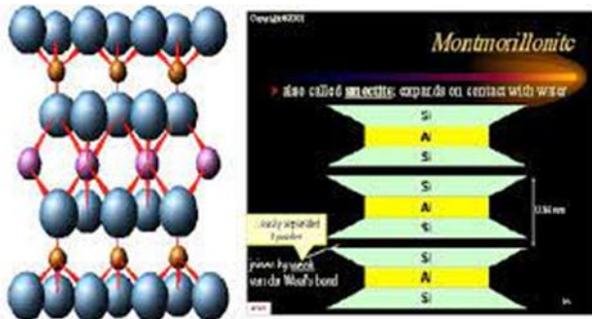
(a) الوحدات البلورية Crystal Units



Tetrahedral

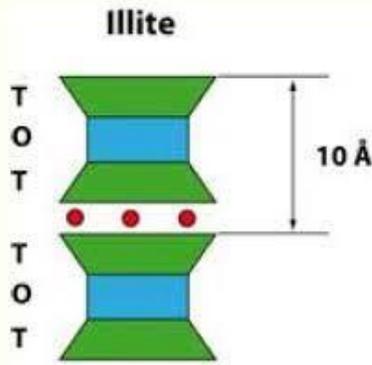
octahedral

(b) الهيكل البلوري Crystal Pattern

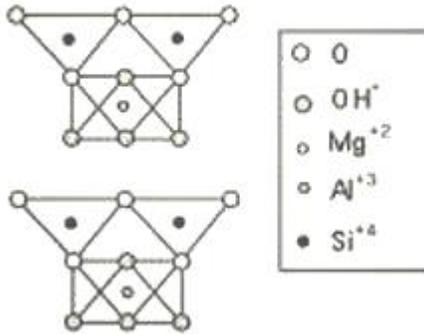
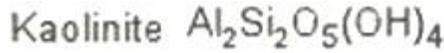


أطيان المونيمورلينات

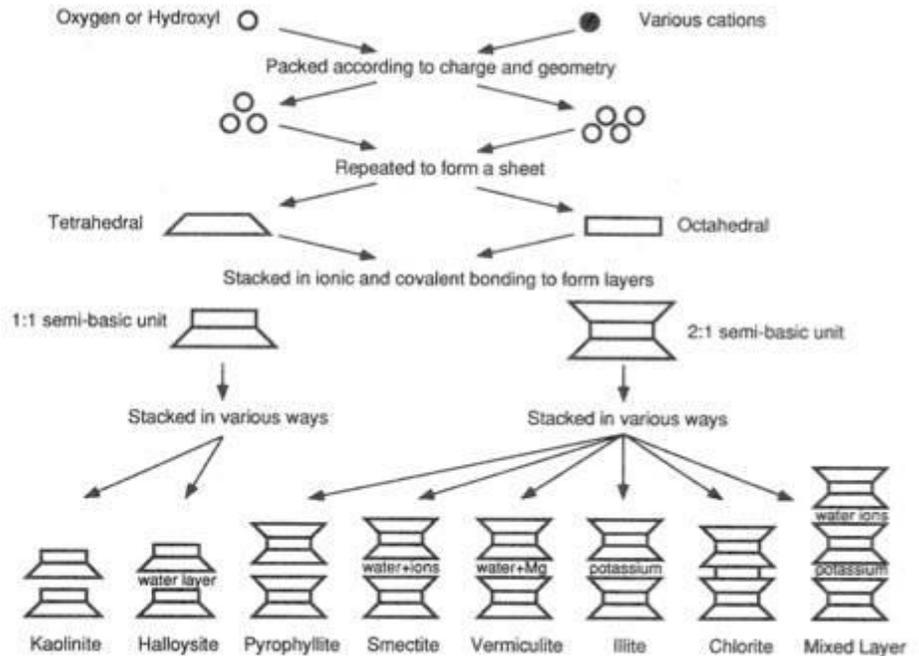
Montmorillonite



اطيان الألايت Illite



أطيان الكاولين Kaolinite



6-Soil Definition

It is defined as the natural aggregates of mineral grains, loose, inorganic, or organic in nature. Moreover, these grains have the property of being separated using simple mechanical processes.

التربة هي ركام طبيعي من حبيبات معدنية ذات طبيعة مفتته ولحبيباتها خاصية الفصل بواسطة عمليات ميكانيكية بسيطة.

Questions

- 1) Define Soil, Geotechnics, and Soil Mechanics: classify the soil according to the deposit's site and granular size.
- 2) Define Residual & Transported Soil.
- 3) Draw and explain the geological cycle.
- 4) Draw a typical soil profile.
- 5) Draw a typical soil strata
- 6) Explain the Geological phases.
- 7) Explain briefly the crystal units and crystal patterns of Iraq's clays.
- 8) What are silicon, silica, and quartz?

تثبيت التربة (Soil stabilization)

ان تثبيت التربة مصطلح واسع المعنى ويتضمن عمليات ميكانيكية وفيزيائية وكيميائية وبايولوجية تستخدم لتحسين خواص معينة في التربة لكي تخدم غرض معين في المشاريع الهندسية . ان تثبيت التربة يمكن تقسيمه الى قسمين رئيسيين:-

أ- **التثبيت للتربة السطحية** لتحسين قوة تحمل التربة (Bearing capacity) وتقليل انضغاطيتها Soil compressibility كما هي الحال في حالة انشاء مدارج المطارات والطرق السريعة واسس الابنية الضحلة. ان الطرق التقليدية لتثبيت التربة السطحية هي:-

1- التثبيت بالحدل (الطريقة الميكانيكية)

2- التثبيت بالاسمنت.

3- التثبيت بالكلس.

4- التثبيت بالقيصر.

ب- **التثبيت للتربة العميقة** لتقليل النفاذية وتحسين قوتها وتقليل الانضغاطية وكمثال على ذلك انشاء السدود وانفاق المترو والمنشآت تحت مستوى سطح الارض. بشكل عام ان تثبيت التربة يستعمل بشكل واسع ليجعل الانشاء في التربة الضعيفة ممكنا وكذلك لتقليل هبوط سطح التربة والذي يؤثر على المنشآت المجاورة والفوائد التي يعطيها لتقليل النفاذية. ان الطرق التقليدية لتثبيت التربة العميقة هي:-

1- التثبيت بحقن الاسمنت

2- التثبيت الحراري

3- التثبيت الكهروكيميائي

4- التثبيت بتخفيض مستوى الماء الارضي

5- التثبيت الكيميائي

التثبيت بالحدل (الطريقة الميكانيكية)

هي عملية تكثيف التربة وتقليل مساميتها بواسطة الطرق الميكانيكية وتتطلب العملية تغيير المحتوى الرطوبي وفي بعض الاحيان تدرج حبيبات التربة. ويتم الحدل موقعا باستخدام حادلات ثقيلة الوزن لهذا الغرض موقعا. اما مختبريا فتتم عملية الحدل بواسطة اثقال ومطارق تسقط بشكل حر لانتاج طاقة قياسية

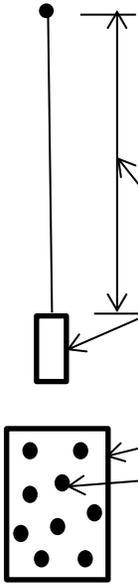
الحدل مختبريا

يتم هذا النوع من الحدل بنظامين

1- Standard proctor compaction test

2- Modified proctor compaction test

ان فحص الحدل القياسي يتم كما يلي



	SI units	Fps units
Hammer	24.5 N	5.5 lb
Height of fall	0.305 m	12 in
Number of layers		3
Blows/layer		25
Mold volume (105-mm-diameter)	0.000 942 2 m ³ †	1/30 ft ³
Soil	(-) No. 4‡ sieve	

$$CE = \frac{24.5N * 0.305m * 3layers * 25blows/layer}{0.0009422m^3} = 594.94KJ/m^3$$

ملاحظة: إن طريقة الفحص والحسابات تجرى في المختبر

ملاحظة: في فحص الحدل المعدل تجرى نفس خطوات العمل السابقة مع التغيير التالي:

Hummer = 44.5N
 Height of fall = 0.457m
 Layer and blows=5 at 25

$$CE=2698KJ/M^3$$

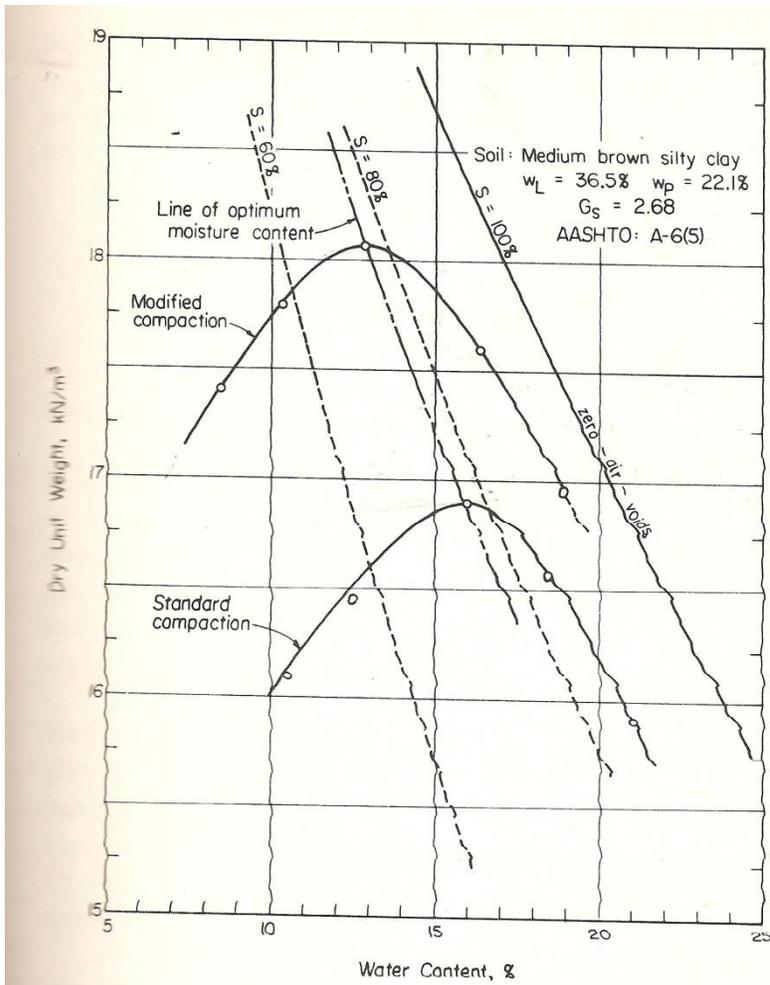


Figure 7-1 Standard and modified compaction test curves for a clayey glacial soil from near Peoria.

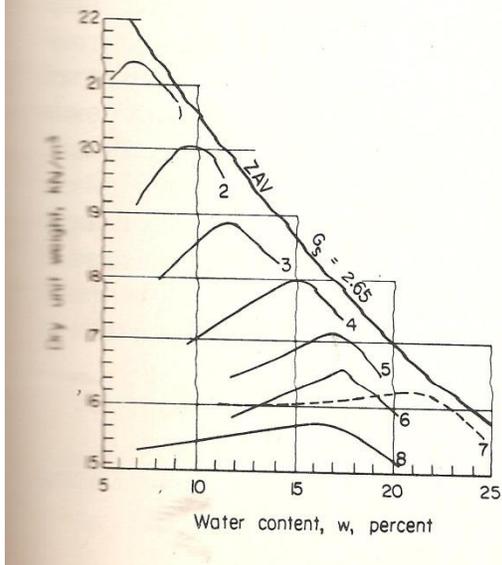


Figure 7-2 Typical standard compaction test curves for soils shown. (After Johnson and Sallberg, 1960.)

التثبيت بالاسمنت

يتم بخلط الاسمنت و التربة مع كمية قليلة من الماء وتفرش التربة وتحدل. ان التربة الناتجة ذات كثافة عالية وقوة اكثر ومقاومة للتغيرات الحجمية(قليلة الانضغاطية) . ان الترب الناعمة تحتاج الى كمية قليلة من السمنت تقريبا 7% في حين الترب الرملية الخشنة التي لا تحتوي على حبيبات ناعمة تحتاج الى كمية اكبر من الاسمنت تصل الى 9%.

التثبيت بالكلس

CaO quick lime
Ca(OH)₂ hydrated lime

ان التثبيت بالكلس بنوعيه له تاثيرا كبيرا في تحسين خواص الترب الطينية والترب المدورة الحبيبات والمتشابه كثيرا. وقد اثبتت التجارب ان التثبيت بالكلس فعال

- 1- لتثبيت الترب الطينية الحصوية لطبقات الاساس في تبيط الطرق بنسبة خبط 2-4%.
- 2- لتثبيت الترب الطينية لطبقات الاساس بنسبة خبط 5-10% و 1-3% لطبقة تحت الاساس

فوائد التثبيت بالكلس

- 1- يقلل معامل اللدونة ب 3 او اكثر
- 2- يقلل حد المرونة ويزيد حد اللدونة
- 3- يقلل التقلص والانتفاخ
- 4- يزيد قوة انضغاط التربة الغير محصورة
- 5- يقلل الى حد كبير نفاذية وانضغاطية التربة

التثبيت بالقيير

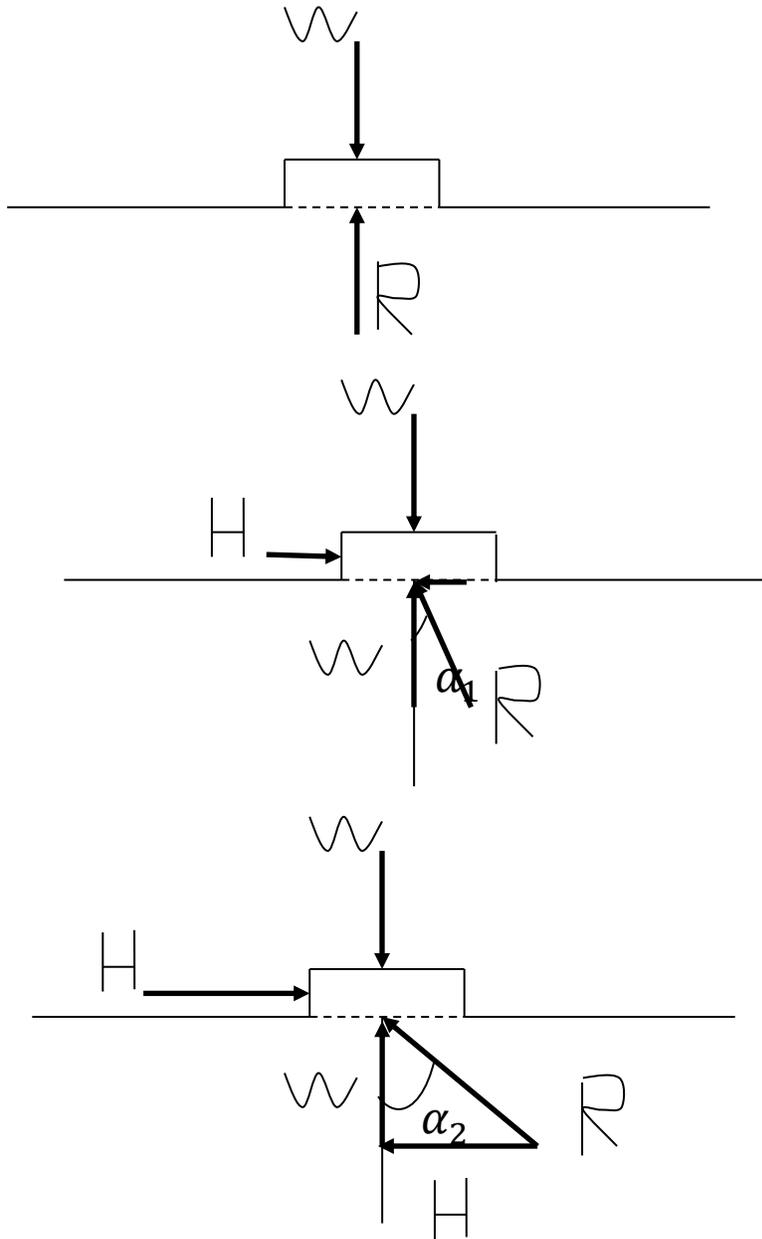
يمثل هذا النوع من التثبيت بواسطة خلط التربة بالقيير بتكوين طبقة الاساس والتي تتحمل حركة المرور تحت كل الظروف الاعتيادية من رطوبة وحرارة. ان الهدف من مزج القير بالتربة المتماسكة وهو لعمل مزيج باقل محتوى رطوبي. اما بالنسبة للترب الغير متماسكة (الرملية) فان القير يؤدي وظيفة المادة الرابطة.

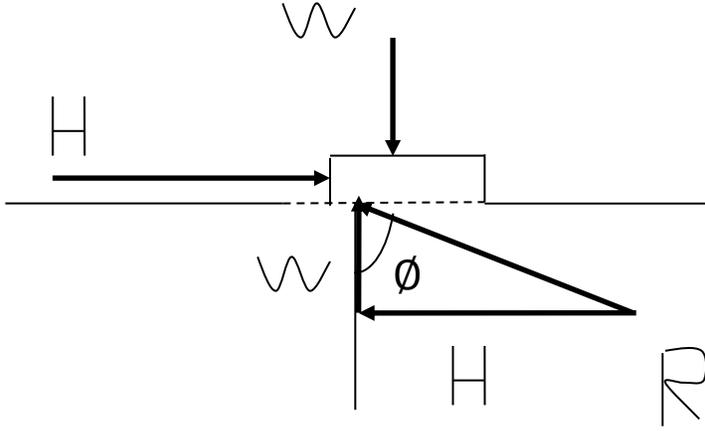
التثبيت بالحقن

ان عملية حقن التربة تعتبر من اهم طرق التثبيت العميق للتربة. ان الحقن هو العملية التي يتم فيها حقن الاسمنت داخل مسامات التربة بحالته السائلة تحت تأثير ضغط ثم يترك ليتصلب في مسامات التربة مؤديا الى زيادة قوة التربة وتقليل مساميتها وانضغاطيتها وبذلك سوف ينتج منشأ اقتصادي التصميم والتنفيذ. ان تغلغل الاسمنت يعتمد على مسامية التربة وعمق شقوقها والاهم من ذلك سيولة المادة المحقونة

Shear Strength of Soil

قوة قص التربة





$$H = R \sin \phi$$

$$W = R \cos \phi$$

$$\tau = \frac{R \sin \phi}{A}, \text{ Shear stress, KN/m}^2$$

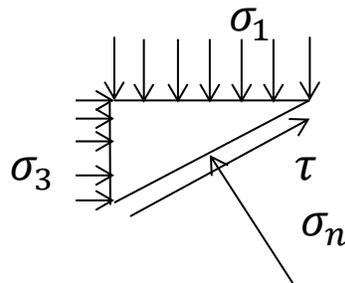
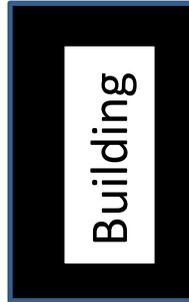
$$\sigma = \frac{R \cos \phi}{A}, \text{ Normal stress, KN/m}^2$$

المستوي الاساسي Principle Plane

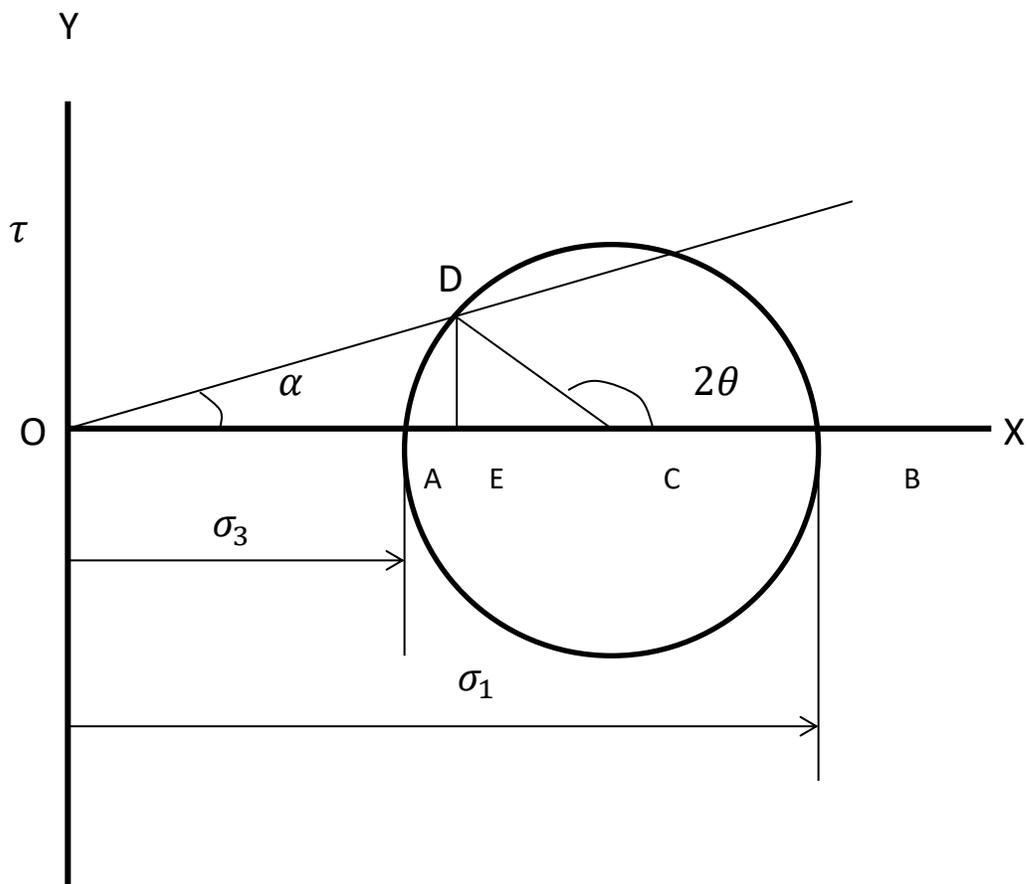
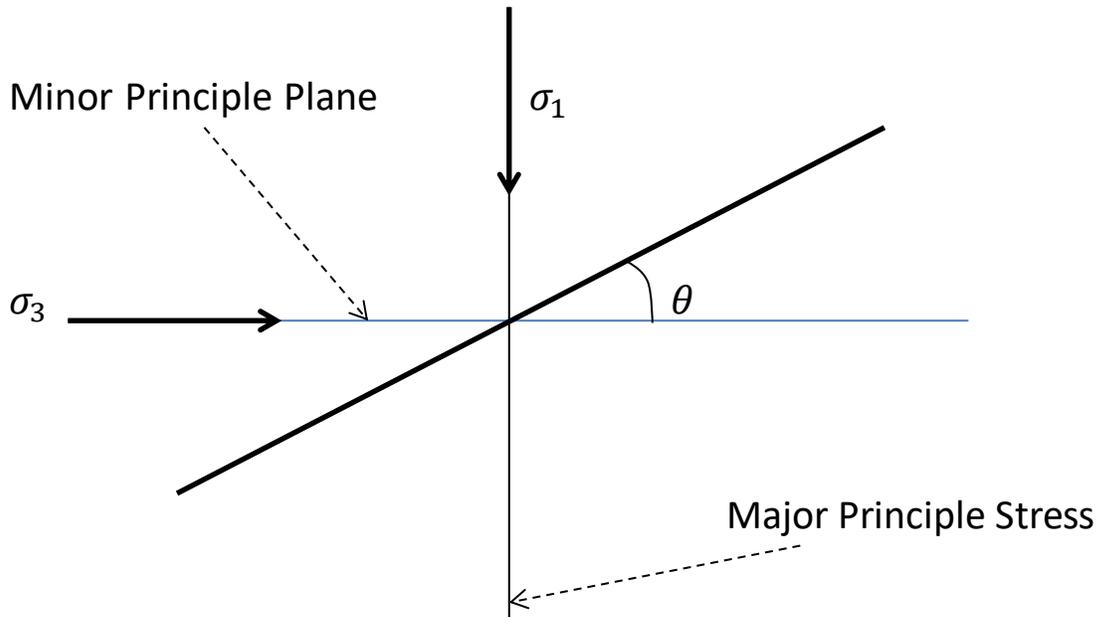
ان المستوي الذي يؤثر فيه الاجهاد العمودي يعرف بالمستوي الاساسي

الاجهاد الاساسي Principle Stress

ان الاجهاد العمودي الذي يؤثر في المستوي الاساسي يعرف بالاجهاد الاساسي. في اي نقطة في جسم التربة يتكون نظام الاجهادات من ثلاثة اجهادات اساسية قطرية التاثير وبشكل متبادل. ان هذه الاجهادات الاساسية تسمى الرئيسي والثانوي



Mhor Circle Diagram



$$\text{Normal stress} = \sigma_n = OE = OA + AE = \sigma_3 + AD\cos\theta$$

$$= \sigma_3 + AB\cos^2\theta$$

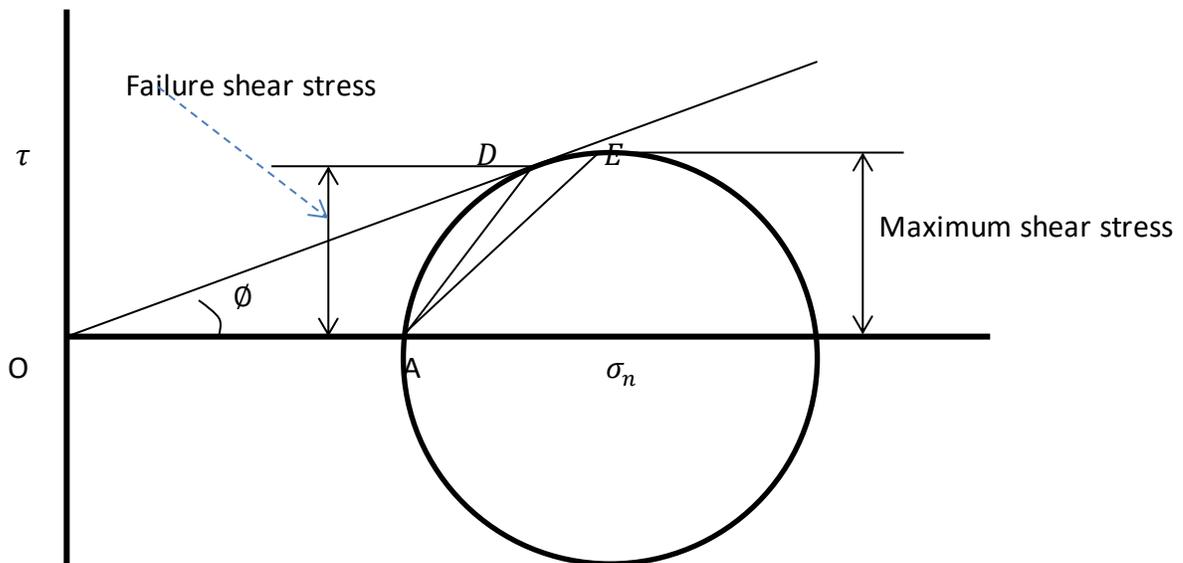
$$= \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)\cos^2\theta$$

$$\text{Shear stress} = \tau = DE$$

$$= DC\sin(180 - 2\theta)$$

$$= DC\sin 2\theta$$

$$= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$



Mohr circle diagram for limit shear resistance

Relationship between ϕ & θ

In the figure below $\angle DOC = 180 - 2\theta$

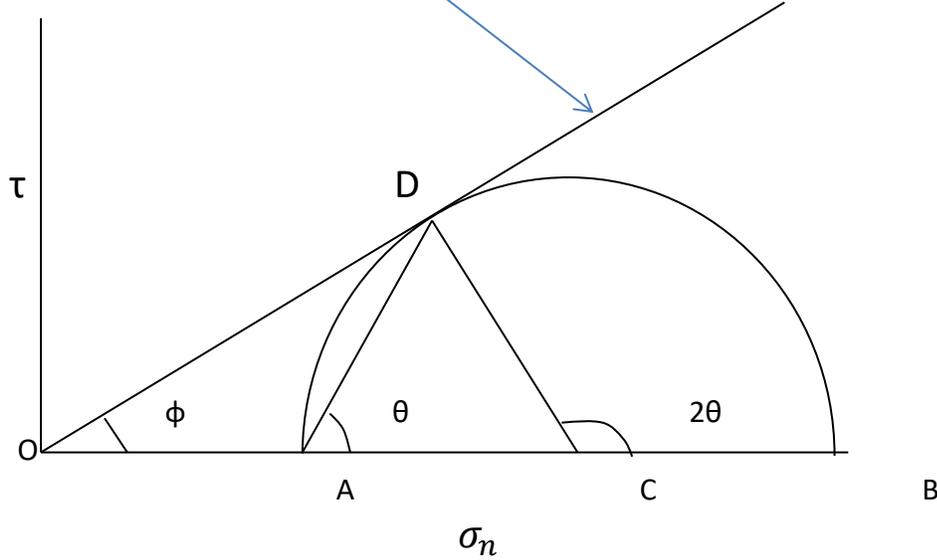
In triangle ODC: $\angle DOC = \phi$, $\angle ODC = 90$, $\angle OCD = 180 - 2\theta$

The angles summate to 180

$$\phi + 90 + x = x + 2\theta = 180$$

Hence $\theta = \frac{\phi}{2} + 45$

Strength envelope ظرف القوة

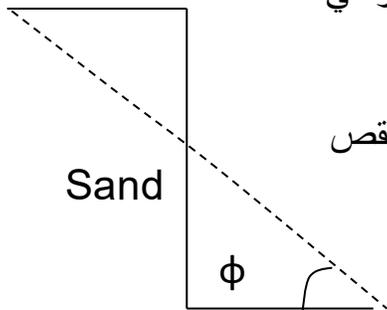


Relationship between ϕ & θ

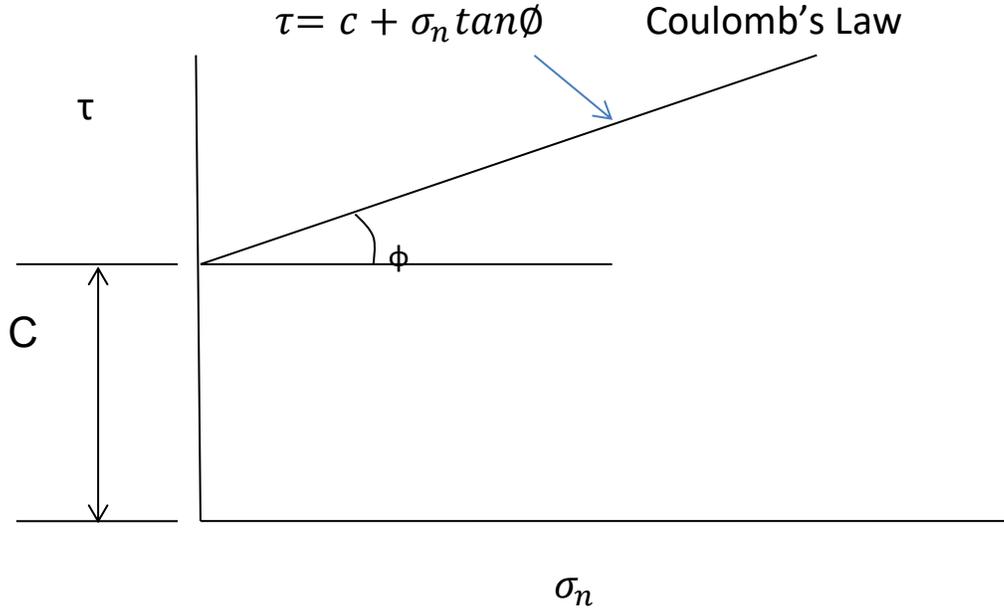
Cohesion التماسك

من الممكن عمل قطع عمودي في الغرين والطين كما في الشكل التالي نلاحظ ان القطع يبقى واقفا بدون اسناد لبعض الوقت. ان قطع مثل هذا لا يمكن اجراءه في تربة رملية جافة فعند ازالة تربة القطع الرملية فان التربة تبدأ بالركود (الجريان) الى ان تستقر بميل مساوي لزاوية الاحتكاك الداخلي (وهي الزاوية التي تمثل قوة الاحتكاك بين حبيبات التربة).

في التربة الطينية هناك قوة قص تضاف الى قوة الاحتكاك الداخلي ان هذه القوة تسمى قوة التماسك والنتيجة من التجاذب بين الحبيبات الصغيرة والتي تحاول ان تكتل التربة على شكل كتل صلبة بدون تأثير قوى خارجية ان التربة المتماسكة تتميز بقوة قص بالرغم من عدم وجود اجهادات عمودية وبمنطق دائرة مور فان ظرف القوة لا يمر بنقطة الاصل وانما يقطع محور القس بمسافة تسمى قوة التماسك C



وكما مبين في الصورة التالية:



Total stresses الاجهادات الكلية

- ان الاجهادات في التربة المقاومة لقوى القص تتكون من جزئين :
- 1- الاحتكاك الداخلي (هو المقاومة المتكونة بسبب تشابك حبيبات التربة)
 - 2- التماسك (المقاومة المتكونة من القوة التي تجعل حبيبات التربة تلتصق ببعضها البعض مكونة كتلة صلبة).

Chapter 3: Weight-Volume Relationships (Phase Relationships)

Partially saturated soil (three-phase soil) is composed of solids (soil particles), liquids (usually water), and gases (usually air). The spaces between the solids are called voids. The soil water is commonly called pore water and it plays a very important role in the behavior of soils under load. If all voids are filled with water, the soil is saturated (two-phase). Otherwise, the soil is unsaturated. If all the voids are filled with air, the soil is said to be dry (two-phase).

3.1 Weight-Volume Relationships

Figure (3.1a) shows an element of soil of volume V and weight W as it would exist in a natural state. To develop the weight–volume relationships, we must separate the three phases (that is, solid, water, and air) as shown in Figure (3.1b). Thus, the total volume of a given soil sample can be expressed as

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (3.1)$$

where V_s = volume of soil solids

V_v = volume of voids

V_w = volume of water in the voids

V_a = volume of air in the voids

Assuming that the weight of the air is negligible, we can give the total weight of the sample as

$$W = W_s + W_w \quad (3.2)$$

where W_s = weight of soil solids

W_w = weight of water

The *volume relationships* commonly used for the three phases in a soil element are *void ratio*, *porosity*, and *degree of saturation*. *Void ratio* (e) is defined as the ratio of the volume of voids to the volume of solids. Thus,

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.3)$$

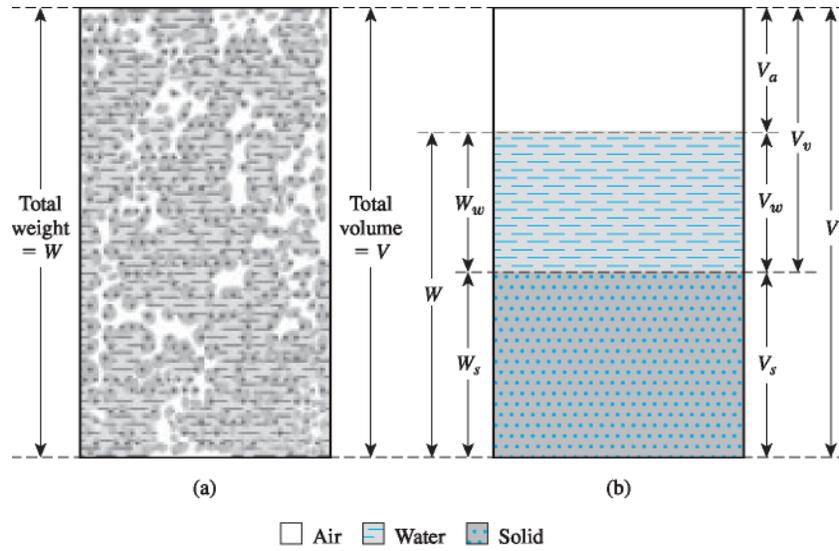


Figure (3.1a) Soil element in natural state; (b) three phases of the soil element

Porosity (n) is defined as the ratio of the volume of voids to the total volume, or

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.4)$$

The degree of saturation (S) is defined as the ratio of the volume of water to the volume of voids, or

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (3.5)$$

It is commonly expressed as a percentage.

The relationship between void ratio and porosity can be derived from Eqs. (3.1), (3.3), and (3.4) as follows:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} = \frac{n}{1 - n} \quad (3.6)$$

Also, from Eq. (3.6),

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (3.7)$$

The common terms used for *weight relationships* are *moisture content* and *unit weight*. *Moisture content* (w) is also referred to as *water content* and is defined

as the ratio of the weight of water to the weight of solids in a given volume of soil:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (3.8)$$

Unit weight (γ) is the weight of soil per unit volume. Thus,

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.9)$$

The unit weight can also be expressed in terms of the weight of soil solids, the moisture content, and the total volume. From Eqs. (3.2), (3.8), and (3.9),

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s [1 + (\frac{W_w}{W_s})]}{V} = \frac{W_s (1 + w)}{V} \quad (3.10)$$

Soils engineers sometimes refer to the unit weight defined by Eq. (3.9) as the *moist unit weight*.

Often, to solve earthwork problems, one must know the weight per unit volume of soil, excluding water. This weight is referred to as *the dry unit weight*, γ_d . Thus,

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.11)$$

From Eqs. (3.10) and (3.11), the relationship of unit weight, dry unit weight, and moisture content can be given as

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (3.12)$$

Sometimes it is convenient to express soil densities in terms of mass densities (ρ). The SI unit of mass density is kilograms cubic meter (kg/m^3). We can write the density equations [similar to Eqs. (3.9) and (3.11)] as

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.13)$$

and

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \quad (3.14)$$

where ρ = density of soil (kg/m^3)

ρ_d = dry density of soil (kg/m^3)

M = total mass of the soil sample (kg)

M_s = mass of soil solids in the sample (kg)

The unit of total volume, V , is m^3 .

The unit weight in kN/m^3 can be obtained from densities in kg/m^3 as

$$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)} = \frac{g\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{1000}$$

and

$$\gamma_d \text{ (kN/m}^3\text{)} = \frac{g\rho_d \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{1000}$$

where g = acceleration due to gravity = 9.81 m/sec^2 .

Note that unit weight of water (γ_w) is equal to 9.81 kN/m^3 .

3.2 Relationships among Unit Weight, Void Ratio, Moisture Content, and Specific Gravity

To obtain a relationship among unit weight (or density), void ratio, and moisture content, let us consider a volume of soil in which the volume of the soil solids is one, as shown in Figure 3.2. If the volume of the soil solids is one, then the volume of voids is numerically equal to the void ratio, e [from Eq. (3.3)]. The weights of soil solids and water can be given as

$$W_s = G_s \gamma_w$$

$$W_w = wW_s = wG_s \gamma_w$$

where G_s = specific gravity of soil solids

w = moisture content

γ_w = unit weight of water

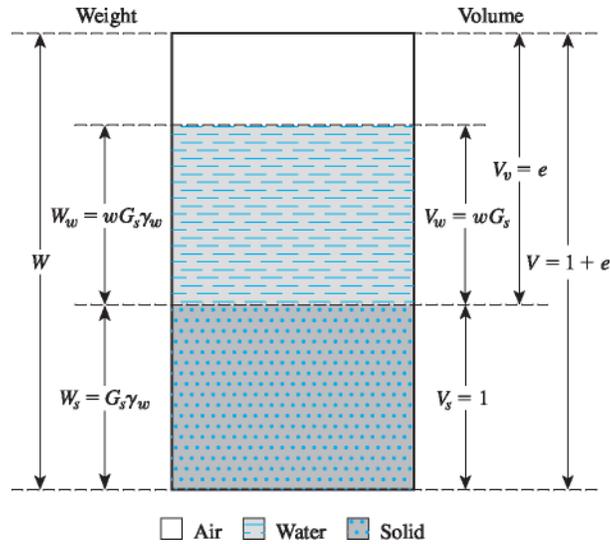


Figure 3.2 Three separate phases of a soil element with volume of soil solids equal to one

Now, using the definitions of unit weight and dry unit weight [Eqs. (3.9) and (3.11)], we can write

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + w G_s \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w) G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (3.15)$$

and

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (3.16)$$

or

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (3.17)$$

Because the weight of water for the soil element under consideration is $w G_s \gamma_w$, the volume occupied by water is

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w G_s \gamma_w}{\gamma_w} = w G_s$$

Hence, from the definition of degree of saturation [Eq. (3.5)],

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w G_s}{e}$$

or

$$Se = wG_s \quad (3.18)$$

This equation is useful for solving problems involving three-phase relationships.

If the soil sample is saturated—that is, the void spaces are completely filled with water (Figure 3.3)—the relationship for saturated unit weight (γ_{sat}) can be derived in a similar manner:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \quad (3.19)$$

Also, from Eq. (3.18) with $S=1$,

$$e = wG_s \quad (3.20)$$

As mentioned before, due to the convenience of working with densities in the SI system, the following equations, similar to unit-weight relationships given in Eqs. (3.15), (3.16), and (3.19), will be useful:

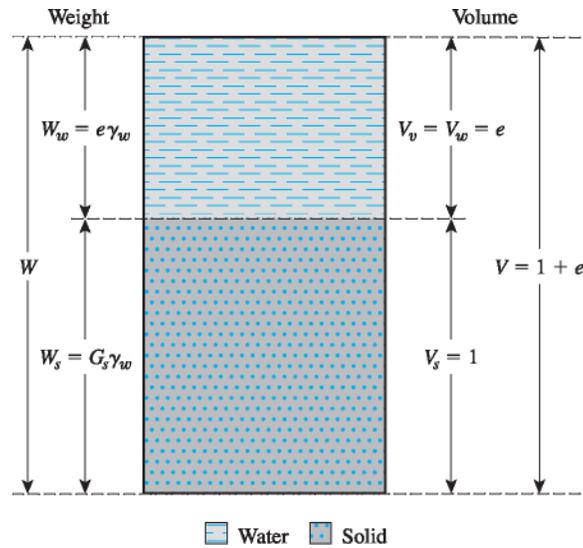


Figure (3.3) Saturated soil element with volume of soil solids equal to one

$$\text{Density} = \rho = \frac{(1+w)G_s\rho_w}{1+e} \quad (3.21)$$

$$\text{Dry density} = \rho_d = \frac{G_s\rho_w}{1+e} \quad (3.22)$$

$$\text{Saturated density} = \rho_{sat} = \frac{(G_s+e)\rho_w}{1+e} \quad (3.23)$$

where ρ_w = density of water = 1000 kg/m³.

Equation (3.21) may be derived by referring to the soil element shown in Figure 3.4, in which the volume of soil solids is equal to 1 and the volume of voids is equal to e .

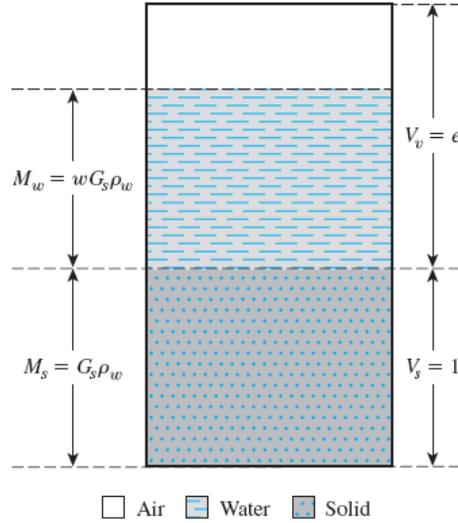


Figure (3.4) Three separate phases of a soil element showing mass–volume relationship

Hence, the mass of soil solids, M_s , is equal to $G_s\rho_w$. The moisture content has been defined in Eq. (3.8) as

$$\begin{aligned} w &= \frac{W_w}{W_s} = \frac{(\text{mass of water}).g}{(\text{mass of soil}).g} \\ &= \frac{M_w}{M_s} \end{aligned}$$

where M_w = mass of water.

Since the mass of soil in the element is equal to $G_s\rho_w$, the mass of water

$$M_w = wM_s = wG_s\rho_w$$

From Eq. (3.13), density

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V_s + V_v} = \frac{G_s\rho_w + wG_s\rho_w}{1 + e} \\ &= \frac{(1+w)G_s\rho_w}{1+e} \end{aligned}$$

Equations (3.22) and (3.23) can be derived similarly.

3.3 Relationships among Unit Weight, Porosity, and Moisture Content

The relationship among *unit weight, porosity, and moisture content* can be developed in a manner similar to that presented in the preceding section. Consider a soil that has a total volume equal to one, as shown in Figure 3.5. From Eq. (3.4),

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

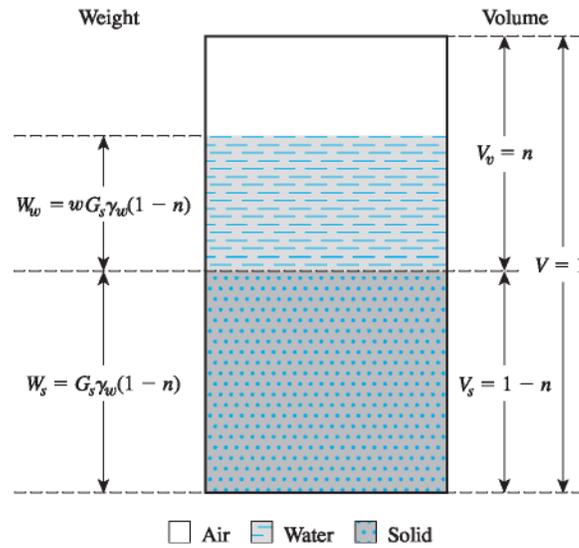


Figure (3.5) Soil element with total volume equal to one

If V is equal to 1, then V_v is equal to n , so $V_s = 1 - n$. The weight of soil solids (W_s) and the weight of water (W_w) can then be expressed as follows:

$$W_s = G_s \gamma_w (1 - n) \quad (3.24)$$

$$W_w = w W_s = w G_s \gamma_w (1 - n) \quad (3.25)$$

So, the dry unit weight equals

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w (1 - n)}{1} = G_s \gamma_w (1 - n) \quad (3.26)$$

The moist unit weight equals

$$\gamma = \frac{W_s + W_w}{V} = G_s \gamma_w (1 - n)(1 + w) \quad (3.27)$$

Figure (3.6) shows a soil sample that is saturated and has $V = 1$. According to this figure,

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{(1-n)G_s\gamma_w + n\gamma_w}{1} = [(1-n)G_s + n]\gamma_w \quad (3.28)$$

The moisture content of a saturated soil sample can be expressed as

$$W = \frac{W_w}{W_s} = \frac{n\gamma_w}{(1-n)\gamma_w G_s} = \frac{n}{(1-n)G_s} \quad (3.29)$$

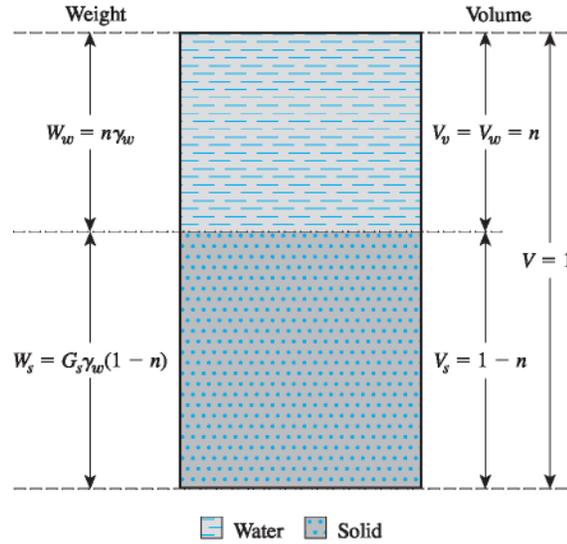


Figure (3.6) Saturated soil element with total volume equal to one

3.4 Various Unit-Weight Relationships

In Sections 3.2 and 3.3, we derived the fundamental relationships for the moist unit weight, dry unit weight, and saturated unit weight of soil. Several other forms of relationships that can be obtained for γ , γ_d , and γ_{sat} are given in Table (3.1). Some typical values of void ratio, moisture content in a saturated condition, and dry unit weight for soils in a natural state are given in Table (3.2).

Table 3.1 Various Forms of Relationships for γ , γ_d , and γ_{sat}

Moist unit weight (γ)		Dry unit weight (γ_d)		Saturated unit weight (γ_{sat})	
Given	Relationship	Given	Relationship	Given	Relationship
w, G_s, e	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+e}$	γ, w	$\frac{\gamma}{1+w}$	G_s, e	$\frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$
S, G_s, e	$\frac{(G_s+Se)\gamma_w}{1+e}$	G_s, e	$\frac{G_s\gamma_w}{1+e}$	G_s, n	$[(1-n)G_s+n]\gamma_w$
w, G_s, S	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+\frac{wG_s}{S}}$	G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)$	G_s, w_{sat}	$\left(\frac{1+w_{sat}}{1+w_{sat}G_s}\right)G_s\gamma_w$
w, G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)(1+w)$	G_s, w, S	$\frac{G_s\gamma_w}{1+\left(\frac{wG_s}{S}\right)}$	e, w_{sat}	$\left(\frac{e}{w_{sat}}\right)\left(\frac{1+w_{sat}}{1+e}\right)\gamma_w$
S, G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)+nS\gamma_w$	e, w, S	$\frac{eS\gamma_w}{(1+e)w}$	n, w_{sat}	$n\left(\frac{1+w_{sat}}{w_{sat}}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{sat}-\frac{e\gamma_w}{1+e}$	γ_d, e	$\gamma_d+\left(\frac{e}{1+e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{sat}-n\gamma_w$	γ_d, n	$\gamma_d+n\gamma_w$
		γ_{sat}, G_s	$\frac{(\gamma_{sat}-\gamma_w)G_s}{(G_s-1)}$	γ_d, S	$\left(1-\frac{1}{G_s}\right)\gamma_d+\gamma_w$
				γ_d, w_{sat}	$\gamma_d(1+w_{sat})$

Table 3.2 Void Ratio, Moisture Content, and Dry Unit Weight for Some Typical Soils in a Natural State

Type of soil	Void ratio, e	Natural moisture content in a saturated state (%)	Dry unit weight, γ_d	
			lb/ft ³	kN/m ³
Loose uniform sand	0.8	30	92	14.5
Dense uniform sand	0.45	16	115	18
Loose angular-grained silty sand	0.65	25	102	16
Dense angular-grained silty sand	0.4	15	121	19
Stiff clay	0.6	21	108	17
Soft clay	0.9–1.4	30–50	73–93	11.5–14.5
Loess	0.9	25	86	13.5
Soft organic clay	2.5–3.2	90–120	38–51	6–8
Glacial till	0.3	10	134	21

Example 3.1

For a saturated soil, show that

$$\gamma_{\text{sat}} = \left(\frac{e}{w} \right) \left(\frac{1+w}{1+e} \right) \gamma_w$$

Solution

From Eqs. (3.19) and (3.20),

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

and

$$e = wG_s$$

or

$$G_s = \frac{e}{w} \quad (\text{b})$$

Combining Eqs. (a) and (b) gives

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\left(\frac{e}{w} + e \right) \gamma_w}{1 + e} = \left(\frac{e}{w} \right) \left(\frac{1 + w}{1 + e} \right) \gamma_w \quad \blacksquare$$

Example 3.2

For a moist soil sample, the following are given.

- Total volume: $V = 1.2 \text{ m}^3$
- Total mass: $M = 2350 \text{ kg}$
- Moisture content: $w = 8.6\%$
- Specific gravity of soil solids: $G_s = 2.71$

Determine the following.

- a. Moist density
- b. Dry density
- c. Void ratio
- d. Porosity
- e. Degree of saturation
- f. Volume of water in the soil sample

Solution

Part a

From Eq. (3.13),

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{2350}{1.2} = 1958.3 \text{ kg/m}^3$$

Part b

From Eq. (3.14),

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} = \frac{M}{(1+w)V} = \frac{2350}{\left(1 + \frac{8.6}{100}\right)(1.2)} = 1803.3 \text{ kg/m}^3$$

Part c

From Eq. (3.22),

$$\rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1+e}$$

$$e = \frac{G_s \rho_w}{\rho_d} - 1 = \frac{(2.71)(1000)}{1803.3} - 1 = 0.503$$

Part d

From Eq. (3.7),

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.503}{1+0.503} = 0.335$$

Part e

From Eq. (3.18),

$$S = \frac{wG_s}{e} = \frac{\left(\frac{8.6}{100}\right)(2.71)}{0.503} = 0.463 = 46.3\%$$

Part f

Volume of water:

$$\frac{M_w}{\rho_w} = \frac{M - M_s}{\rho_w} = \frac{M}{\rho_w} - \frac{M}{(1+w)\rho_w} = \frac{2350}{1000} - \left(\frac{2350}{1 + \frac{8.6}{100}}\right) = 0.186 \text{ m}^3$$

Alternate Solution

Refer to Figure 3.7.

Part a

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{2350}{1.2} = 1958.3 \text{ kg/m}^3$$

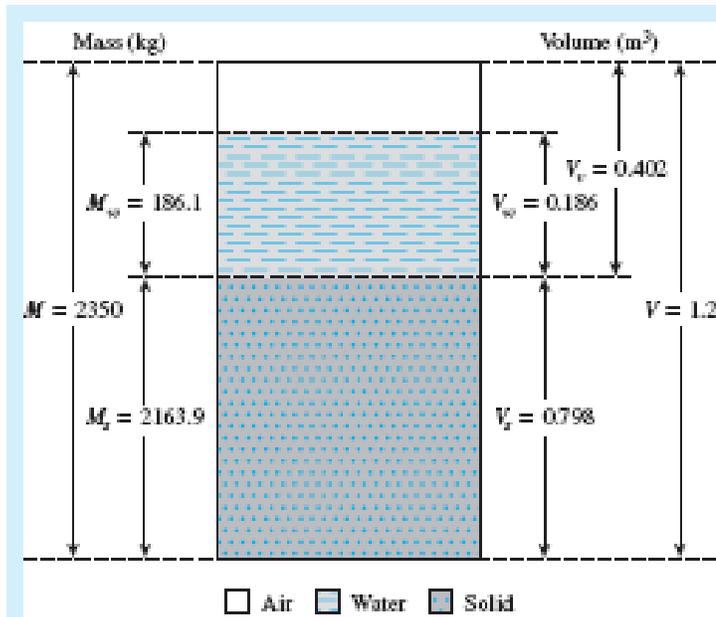


Figure 3.7

Part b

$$M_s = \frac{M}{1 + w} = \frac{2350}{1 + \frac{8.6}{100}} = 2163.9 \text{ kg}$$

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} = \frac{M}{(1 + w)V} = \frac{2350}{\left(1 + \frac{8.6}{100}\right)(1.2)} = 1803.3 \text{ kg/m}^3$$

Part c

$$\text{The volume of solids: } \frac{M_s}{G_s \rho_w} = \frac{2163.9}{(2.71)(1000)} = 0.798 \text{ m}^3$$

$$\text{The volume of voids: } V_v = V - V_s = 1.2 - 0.798 = 0.402 \text{ m}^3$$

$$\text{Void ratio: } e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.402}{0.798} = 0.503$$

Part d

$$\text{Porosity: } n = \frac{V_v}{V} = \frac{0.402}{1.2} = 0.335$$

Part e

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

$$\text{Volume of water: } V_w = \frac{M_w}{\rho_w} = \frac{186.1}{1000} = 0.186 \text{ m}^3$$

Hence,

$$S = \frac{0.186}{0.402} = 0.463 = 46.3\%$$

Part f

From Part e,

$$V_w = 0.186 \text{ m}^3$$

Example 3.3

The following data are given for a soil:

- Porosity: $n = 0.4$
- Specific gravity of the soil solids: $G_s = 2.68$
- Moisture content: $w = 12\%$

Determine the mass of water to be added to 10 m^3 of soil for full saturation.

Solution

Equation (3.27) can be rewritten in terms of density as

$$\rho = G_s \rho_w (1 - n)(1 + w)$$

Similarly, from Eq. (3.28)

$$\rho_{sat} = [(1 - n)G_s + n]\rho_w$$

Thus,

$$\rho = (2.68)(1000)(1 - 0.4)(1 + 0.12) = 1800.96 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{sat} = [(1 - 0.4)(2.68) + 0.4](1000) = 2008 \text{ kg/m}^3$$

Mass of water needed per cubic meter equals

$$\rho_{sat} - \rho = 2008 - 1800.96 = 207.04 \text{ Kg/m}^3$$

So, total mass of water to be added equals

$$207.04 \times 10 = 2070.4 \text{ kg}$$

Example 3.4

A saturated soil has a dry unit weight of 16.2 kN/m^3 . Its moisture content is 23%

Determine:

- Saturated unit weight, γ_{sat}
- Specific gravity, G_s
- Void ratio, e

Solution**Part a: saturated Unit Weight**

From Eq. (3.12),

$$\gamma_{sat} = \gamma_d(1 + w) = (16.2) \left(1 + \frac{23}{100}\right) = 19.93 \frac{kN}{m^3}$$

Part b: Specific Gravity, G_s

From Eq. (3.16),

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

Also from Eq(3.20) for saturated soils, $e = wG_s$. Thus,

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

So,

$$16.2 = \frac{G_s(9.81)}{1 + (0.23)(G_s)}$$

or

$$16.2 + 3.726G_s = 9.81G_s$$

$$G_s = 2.66$$

Part c: Void Ratio, e

For saturated soils,

$$e = wG_s = (0.23)(2.66) = 0.61$$

3.5 Relative Density

The term relative density is commonly used to indicate the *in situ* denseness or looseness of granular soil. It is defined as

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (3.30)$$

where D_r = relative density, usually given as a percentage

e = in situ void ratio of the soil

e_{max} = void ratio of the soil in the loosest state

e_{min} = void ratio of the soil in the densest state

The values of D_r may vary from a minimum of 0% for very loose soil to a maximum of 100% for very dense soils. Soils engineers qualitatively describe the granular soil deposits according to their relative densities, as shown in Table (3.3). In-place soils seldom have relative densities less than 20 to 30%. Compacting a granular soil to a relative density greater than about 85% is difficult.

Table 3.3 Qualitative Description of Granular Soil Deposits

Relative density (%)	Description of soil deposit
0–15	Very loose
15–50	Loose
50–70	Medium
70–85	Dense
85–100	Very dense

The relationships for relative density can also be defined in terms of porosity, or

$$e_{max} = \frac{n_{max}}{1-n_{max}} \quad (3.31)$$

$$e_{min} = \frac{n_{min}}{1-n_{min}} \quad (3.32)$$

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (3.33)$$

where n_{max} and n_{min} = porosity of the soil in the loosest and densest conditions, respectively. Substituting Eqs. (3.31), (3.32), and (3.33) into Eq. (3.30), we obtain

$$D_r = \frac{(1-n_{min})(n_{max}-n)}{(n_{max}-n_{min})(1-n)} \quad (3.34)$$

By using the definition of dry unit weight given in Eq. (3.16), we can express relative density in terms of maximum and minimum possible dry unit weights. Thus,

$$D_r = \frac{\left[\frac{1}{\gamma_{d(min)}} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_d} \right]}{\left[\frac{1}{\gamma_{d(min)}} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_{d(max)}} \right]} = \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(min)}}{\gamma_{d(max)} - \gamma_{d(min)}} \right] \left[\frac{\gamma_{d(max)}}{\gamma_d} \right] \quad (3.35)$$

where $\gamma_{d(min)}$ = dry unit weight in the loosest condition (at a void ratio of e_{max})

γ_d = in situ dry unit weight (at a void ratio of e)

$\gamma_{d(max)}$ = dry unit weight in the densest condition (at a void ratio of e_{min})

In terms of density, Eq. (3.35) can be expressed as

$$D_r = \left[\frac{\rho_d - \rho_{d(min)}}{\rho_{d(max)} - \rho_{d(min)}} \right] \frac{\rho_{d(max)}}{\rho_d} \quad (3.36)$$

ASTM Test Designations D-4253 and D-4254 (2007) provide a procedure for determining the maximum and minimum dry unit weights of granular soils so that they can be used in Eq. (3.35) to measure the relative density of compaction in the field. For sands, this procedure involves using a mold with a volume of 2830 cm³ (0.1 ft³). For a determination of the *minimum dry unit weight*, sand is poured loosely into the mold from a funnel with a 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ in.) diameter spout. The average height of the fall of sand into the mold is maintained at about 25.4 mm (1 in.). The value of $\gamma_{d(min)}$ then can be calculated by using the following equation

$$\gamma_{d(min)} = \frac{W_s}{V_m} \quad (3.37)$$

Where W_s = weight of sand required to fill the mold

V_m = volume of the mold

The *maximum dry unit weight* is determined by vibrating sand in the mold for 8 min. A surcharge of 14 kN/m² (2 lb/in²) is added to the top of the sand in the mold. The mold is placed on a table that vibrates at a frequency of 3600 cycles/min and that has an amplitude of vibration of 0.635 mm (0.025 in.). The value of $\gamma_{d(max)}$ can be determined at the end of the vibrating period with knowledge of the weight and volume of the sand.

Example 3.5

For a given sandy soil, $e_{max}=0.75$ and $e_{min}=0.4$. Let $G_s=2.68$. In the field, the soil is compacted to a moist density of 17.63 kN/m³ at a moisture content of 12%. Determine the relative density of compaction.

Solution

From Eq. (3.21)

$$\rho = \frac{(1+w)G_s\rho_w}{1+e}$$

or

$$e = \frac{G_s\gamma_w(1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{(2.68)(9.81)(1+0.12)}{17.63} - 1 = 0.67$$

From Eq. (3.30),

$$D_r = \frac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}} = \frac{0.75-0.67}{0.75-0.4} = 0.229 = 22.9\%$$

Problems

3.1- For a given soil, show that

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + n\gamma_w$$

3.2- For a given soil, show that

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + \left(\frac{e}{1+e}\right)\gamma_w$$

3.3 - For a given soil, show that

$$\gamma_d = \frac{eS\gamma_w}{(1+e)w}$$

3.4 - A 0.4 m³ moist soil sample has the following:

* Moist mass = 711.2 Kg

* Dry mass = 623.9 Kg

* Specific gravity of soil solids = 2.68

Estimate:

a-Moisture content

b-Moist density

c-Dry density

d-Void ratio

e-Porosity

Ans: (a) 13.99% (b) 1778 kg/cm³ (c) 1559.75 kg/cm³ (d) 0.72 (e) 0.42

3.5- The moist weight of 5600 cm³ of a soil is 102.3N. The moisture content and the specific gravity of the soil solids are determined in the laboratory to be 11% and 2.7, respectively. Calculate the following:

a- Moist unit weight

b- Dry unit weight

c- Void ratio

d- Porosity

e- Degree of saturation (%)

f- Volume occupied by water

Ans: (a) 18.27 kN/m³ (b) 16.46 kN/m³ (c) 0.61 (d) 0.38 (e) 48.7% (f) 0.297

3.6 - The saturated unit weight of a soil is 19.8 kN/m³. The moisture content of the soil is 17.1%. Determine the following:

a- Dry unit weight

b- Specific gravity of soil solids

c-Void ratio

Ans: (a) 16.91 kN/m³ (b) 2.44 (c) 0.417

3.7 - The unit weight of a soil is 14.84 kN/m³. The moisture content of this soil is 19.2% when the degree of saturation is 60%. Determine:

a-Void ratio

b-Specific gravity of soil solids

c-Saturated unit weight

Ans: (a) 0.68 (b) 2.13 (c) 16.41 kN/m³

3.8 - For a given soil, the following are given: $G_s = 2.67$; moist unit weight, $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$; and moisture content, $w = 10.8\%$. Determine:

- a- Dry unit weight
- b- Void ratio
- c- Porosity
- d- Degree of saturation

Ans: (a) 15.8 kN/m^3 (b) 0.658 (c) 0.397 (d) 44%

3.9 - The moist density of a soil is 1680 kg/m^3 . Given $w = 18\%$ and $G_s = 2.73$, determine:

- a- Dry density
- b- Porosity
- c- Degree of saturation
- d- Mass of water, in kg/m^3 , to be added to reach full saturation

Ans: (a) 1423.7 kg/cm^3 (b) 0.479 (c) 53.5% (d) 222.06 kg

3.10 - The dry density of a soil is 1780 kg/m^3 . Given $G_s = 2.68$, what would be the moisture content of the soil when saturated?

Ans: 19%

3.11 - The porosity of a soil is 0.35. Given $G_s = 2.69$, calculate:

- a- Saturated unit weight (kN/m^3)
- b- Moisture content when moist unit weight = 17.5 kN/m^3

Ans: (a) 20.59 kN/m^3 (b) 2%

3.12 - A saturated soil has $w = 23\%$ and $G_s = 2.62$. Determine its saturated and dry densities in kg/m^3 .

Ans: $\rho_{\text{sat}} = 2012.5 \text{ kg/m}^3$, $\rho_d = 1637.5 \text{ kg/m}^3$

3.13 - A soil has $w = 18.2\%$, $G_s = 2.67$, and $S = 80\%$. Determine the moist and dry unit weights of the soil.

Ans: 19.23 kN/m^3 , 16.27 kN/m^3

3.14 - The moist unit weight of a soil is 17.55 kN/m^3 at a moisture content of 10%. Given $G_s = 2.7$, determine:

- a- e
- b- Saturated unit weight

Ans: (a) 0.66 (b) 19.86 kN/m^3

3.15 - For a given sand, the maximum and minimum void ratios are 0.78 and 0.43, respectively. Given $G_s = 2.67$, determine the dry unit weight of the soil in kN/m^3 when the relative density is 65%.

Ans: 16.87 kN/m^3

3.16 - For a given sandy soil, $e_{\text{max}} = 0.75$, $e_{\text{min}} = 0.46$, and $G_s = 2.68$. What will be the moist unit weight of compaction (kN/m^3) in the field if $D_r = 78\%$ and $w = 9\%$?

Ans: 18.8 kN/m^3

3.17 - The moisture content of a soil sample is 18.4%, and its dry unit weight is 15.63 kN/m^3 . Assuming that the specific gravity of solids is 2.65,

a- Calculate the degree of saturation.

b- What is the maximum dry unit weight to which this soil can be compacted without change in its moisture content?

Ans: (a) 74% (b) 17.5 kN/m^3

3.18 - A loose, uncompacted sand fill 1.83m in depth has a relative density of 40%. Laboratory tests indicated that the minimum and maximum void ratios of the sand are 0.46 and 0.90, respectively. The specific gravity of solids of the sand is 2.65.

a- What is the dry unit weight of the sand?

b- If the sand is compacted to a relative density of 75%, what is the decrease in thickness of the 1.83m fill?

Ans: (a) 15.1 kN/m^3 (b) 16.1cm

4.1 Introduction

The physical and mechanical behavior of fine-grained soils is linked to four distinct states: solid, semi-solid, plastic, and liquid in order of increasing water content. If soil initially is in a liquid state, it locates at point A in Figure (1). As the soil dries, its water content reduces and consequently, its volume.

يكون السلوك الفيزيائي والميكانيكي للتربة ذات الحبيبات الدقيقة بأربع حالات متميزة: صلابة وشبه صلابة ولدنه وسائلة، التربة في البداية في حالة سائلة، عند النقطة (A) في الشكل (1). عندما تجف التربة، يقل محتواها المائي وبالتالي حجمها.

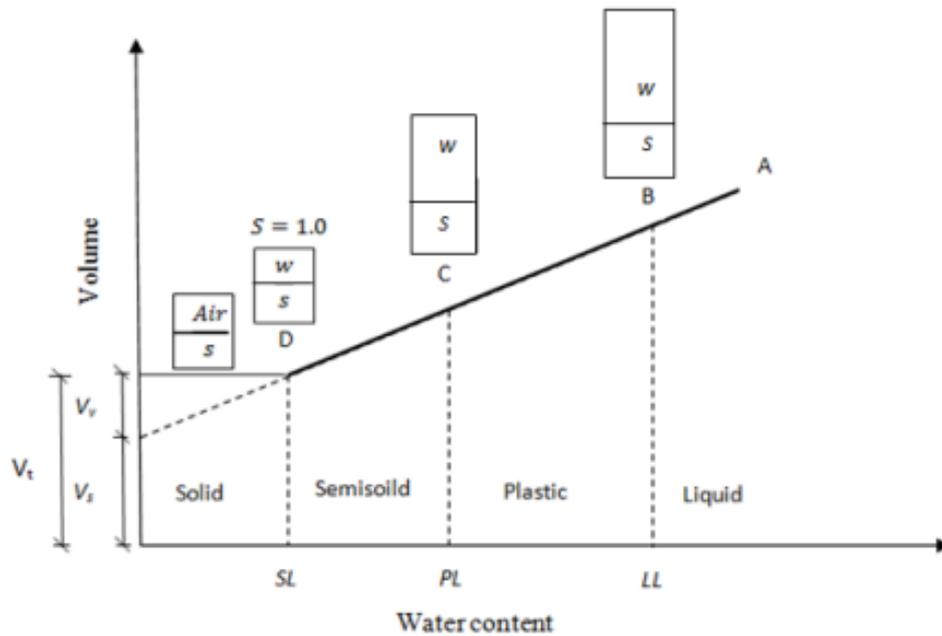


Figure (1) soil states as a function of water content

الشكل (١) حالات التربة كدالة للمحتوى المائي

At point B, the soil becomes so stiff that it can no longer flow as a liquid. The boundary water content at point B is called the liquid limit (LL). As the soil continues to dry, there is a range of water content at which the soil can be molded into any desired shape without rupture. The soil in this state is said to exhibit plastic behavior-the ability to deform continuously without rupture. But if drying is continued beyond the range of water content for plastic behavior, the soil becomes semisolid. The soil cannot be molded now without visible cracks appearing. The water content at which the soil changes from plastic to semisolid is known as the plastic limit (PL). The range of water contents over which the soil deforms plastically is known as the plasticity index, (PI);

عند النقطة B، تصبح التربة أشد صلابة بحيث لا يمكن أن تتدفق كسائل. يسمى محتوى الماء الحدودي عند النقطة B بحد السائل (LL). مع استمرار جفاف التربة، هناك مجموعة من محتوى الماء يمكن من خلاله تشكيل التربة في أي شكل مرغوب دون تمزق. يقال إن التربة في هذه الحالة تظهر سلوكًا بلاستيكيًا - القدرة على التشوه باستمرار دون تمزق. ولكن إذا استمر التجفيف خارج

نطاق المحتوى المائي للسلوك البلاستيكي ، فإن التربة تصبح شبه صلبة. لا يمكن تشكيل التربة الآن دون ظهور تشققات مرئية. يُعرف محتوى الماء الذي تتغير فيه التربة من مادة بلاستيكية إلى شبه صلبة بالحد البلاستيكي (PL). ويُعرف بأنه نطاق المحتويات المائية التي تتشوه التربة عليها بشكل بلاستيكي بمؤشر اللدونة (PI) :

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (1)$$

As the soil continues to dry, it comes to a final state called the solid state. At this state, no further volume change occurs since nearly all the water in the soil has been removed. The water content at which the soil changes from a semisolid Soil 2 to a solid state is called the shrinkage limit (SL). The shrinkage limit is useful for the determination of the swelling and shrinkage potential of soils. At one extreme, the liquid state, the soil has the lowest strength and the largest deformation. At the other extreme, the solid state, the soil has the largest strength and the lowest deformation. A measure of soil strength using the Atterberg limits is known as the liquidity index (LI) and is expressed as:

مع استمرار جفاف التربة ، تصل إلى الحالة النهائية تسمى الحالة الصلبة. في هذه الحالة ، لا يحدث أي تغيير آخر في الحجم حيث تمت إزالة كل المياه الموجودة في التربة تقريباً. يُطلق على المحتوى المائي الذي تتغير فيه التربة ذات الحبيبات الدقيقة ٢ من الحالة شبه الصلبة إلى الحالة الصلبة حد الانكماش (SL). يعتبر حد الانكماش مفيداً لتحديد إمكانية الانتفاخ والانكماش للتربة. في أحد الأطراف (الحالة السائلة) تتمتع التربة بأقل قوة وأكبر تشوه. في الطرف الآخر ، (الحالة الصلبة) تتمتع التربة بأكبر قوة وأقل تشوه. يُعرف مقياس قوة التربة باستخدام حدود Atterberg باسم مؤشر السيولة (LI) ويتم التعبير عنه على النحو التالي:

$$LI = \frac{W-PL}{PI} \dots \dots \dots (2)$$

The liquidity index is the ratio of the difference in water content between the natural or in-situ water content of a soil and its plastic limit to its plasticity index. The table below shows a description of soil strength based on the values of (LI).

مؤشر السيولة هو نسبة الاختلاف في المحتوى المائي بين المحتوى المائي الطبيعي أو في الموقع للتربة وحد البلاستيك إلى مؤشر اللدونة. يوضح الجدول أدناه وصفاً لقوة التربة بناءً على قيم (LI).

Table (1) soil strength states

Values of LI	Description of soil strength
LI < 0	Semisolid state – high strength , brittle , (sudden) fracture is expected
0 < LI < 1	Plastic state – intermediate strength, soil deforms like a plastic material
LI > 1	Liquid state – low strength , soil deforms like a viscous fluid

4.2 Liquid Limit (LL)

The liquid limit is determined from apparatus Figure (2) which consists of a semispherical brass cup that is repeatedly dropped onto a hard rubber base from a height of 10 mm by a cam-operated mechanism. The apparatus was developed by A. Casagrande (1932) and the procedure for the test is called the Casagrande cup method. A dry powder of the soil is mixed with distilled water into a paste and placed in the cup to a thickness of about 12.5 mm. The soil surface is smoothed and a groove is cut into the soil using a standard grooving tool. The crank operating the cam is turned at a rate of 2 revolutions per second and the number of blows required to close the groove over a length of 12.5 mm is counted and recorded. A specimen of soil within the closed portion is extracted for determination of the water content. The liquid limit is defined as the water content at which the groove cut into the soil will close over a distance of 12.5 mm following 25 blows. This is difficult to achieve in a single test. content at which the groove cut into the soil will close over a distance of 12.5 mm following 25 blows. This is difficult to achieve in a single test.

يتم تحديد حد السائل من جهاز الشكل (٢) الذي يتكون من كوب نحاسي نصف كروي يتم إسقاطه بشكل متكرر على قاعدة مطاطية صلبة من ارتفاع ١٠ مم بواسطة آلية ميكانيكية. تم تطوير الجهاز بواسطة Casagrande (١٩٣٢) ويطلق على إجراء الاختبار طريقة Casagrande Cup. يتم خلط مسحوق جاف من التربة مع الماء المقطر في عجينة ويوضع في كوب بسمك حوالي ١٢,٥ ملم. يتم تنعيم سطح التربة ويتم قطع الأخدود في التربة باستخدام أداة الحز القياسية. يتم تشغيل الكرنك الذي يعمل بمعدل دورتين في الثانية ويتم عد وتسجيل عدد الضربات المطلوبة لإغلاق الأخدود بطول ١٢,٥ مم. يتم استخراج عينة من التربة داخل الجزء المغلق للكشف عن محتوى الماء. يتم تعريف (حد السائل $L.L$) على أنه محتوى الماء الذي سيغلق عنده الأخدود المقطوع في التربة على مسافة ١٢,٥ مم بعد ٢٥ ضربة. من الصعب تحقيق ذلك في اختبار واحد.

ملاحظة / اذا صادف أن حصل غلق للأخدود بطول ١٢,٥ ملم عند ٢٥ ضربة ... هل يستمر الفحص؟

ماهي مصادر الخطأ في فحص السيولة؟

- عدم انتظام المحتوى المائي في العجينة paste (عدم انتظام الالتصاق في طاسة كاسكراندي بسبب الانزلاق بدون تشوه، عدم تمثيل المحتوى الرطوبي لذا يجب توزيع مناطق أخذ العينة من الطاسة ، ارباك مواقع النقاط على المخطط الشبة لوغارتيمي)
- عدم وضع الماء الكافي كذلك بسبب الانزلاق بدون تشوه.
- تعدد مرات التحضير للعينة الاصلية للتربة في كل محاولة حيث تضاف كميات الماء المتزايدة الى جزء جديد في كل مرة (الأفضل يضاف الماء الى كامل نموذج التربة (الذي يوضع في كيس بلاستيكي) المستخدم للفحص ومن ثم يضاف مقادير محددة لإنجاز العمل)

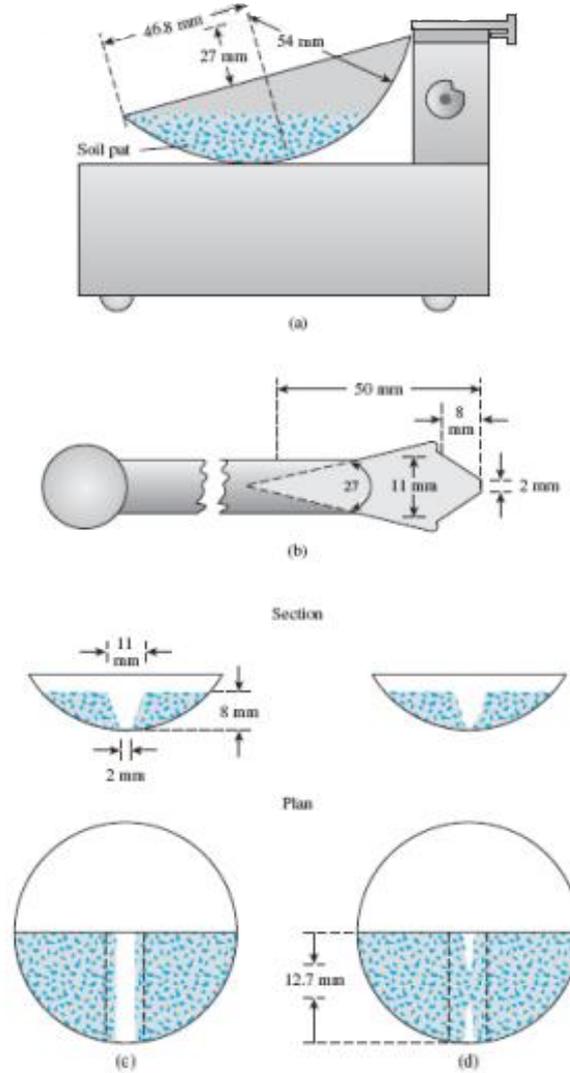


Figure (2) Liquid limit test: (a) Liquid limit device; (b) grooving tool; (c) soil pat before test; (d) soil after test

Four or more tests at different water contents are usually required for terminal blows (number of blows to close the groove over a distance of 12.5 mm) ranging from 10 to 40. The results are presented in a plot of water content (ordinate, arithmetic scale) versus terminal blows (abscissa, logarithm scale) as shown in Figure (3). The best-fit straight line to the data points, usually called the flow line, is drawn. The liquid limit is read from the graph as the water content on the liquid state line corresponding to 25 blows.

عادةً ما تكون هناك حاجة إلى أربعة اختبارات أو أكثر بمحتويات مائية مختلفة من أجل الضربات النهائية (عدد الضربات لإغلاق الأخدود على مسافة 12,5 مم) تتراوح من 10 إلى 40 وهناك حدود مقترحة (10-35) يتم عرض النتائج في مخطط شبة لوغاريتمي محتوى مائي مقابل الضربات كما هو موضح في الشكل (3). يمرر الخط المستقيم الأنسب لنقاط البيانات ، والذي يُطلق عليه عادةً خط التدفق أو الجريان. تتم قراءة حد السائل من الرسم البياني كمحتوى الماء على خط الحالة السائلة المقابل لـ 25 ضربة.

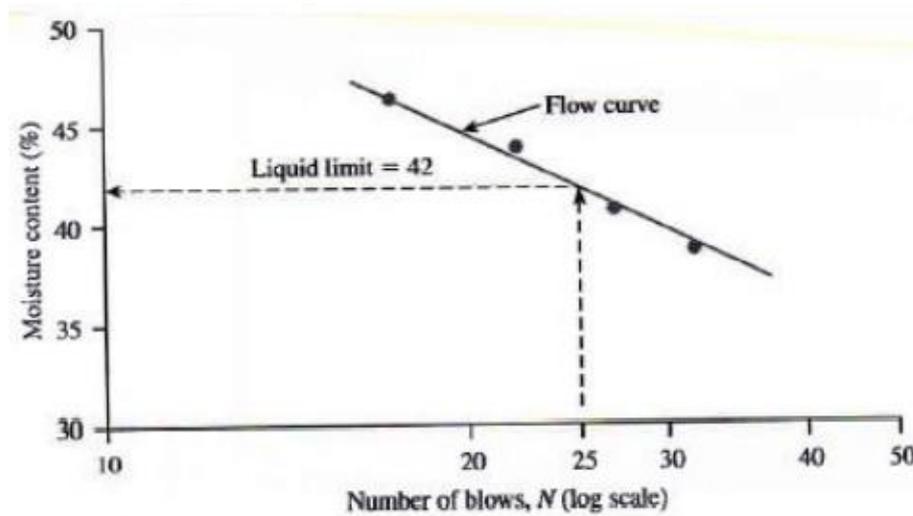


Figure (.3) Flow curve for liquid limit determination of a clayey silt

4.3 Plastic Limit (PL)

The plastic limit is determined by rolling a small clay sample [Figure (4)] into threads and finding the water content at which threads approximately 3 mm in diameter will just start to crumble. Two or more determinations are made and the average water content is reported as the plastic limit.

يتم تحديد حد البلاستيك من خلال درجة عينة صغيرة من الطين [الشكل (٤)] في خيوط وإيجاد محتوى الماء الذي سيبدأ عنده خيوط قطرها ٣ مم تقريباً في الانهيار (القطع). يتم إجراء فحصين أو أكثر ويتم تسجيل متوسط محتوى الماء كحد للبلاستيك.



Figure (4) Rolling of soil mass on the ground glass plate to determine a plastic limit

4.4 Shrinkage Limit (SL)

The shrinkage limit is determined as follows. A mass of wet soil, m_1 , is placed in a porcelain dish 44.5 mm in diameter and 12.5 mm high and then oven-dried. The volume of oven-dried soil is determined by using mercury to occupy the vacant spaces caused by shrinkage. The mass of the mercury is determined and the volume decrease caused by shrinkage can

be calculated from the known density of mercury. The shrinkage limit is calculated from the:

يتم تحديد حد الانكماش على النحو التالي. يتم وضع كتلة من التربة الرطبة ، م ١ ، في طبق من الخزف يبلغ قطره ٤٤,٥ مم وارتفاعه ١٢,٥ مم ثم يُجفف بالفرن. يتم تحديد حجم التربة المجففة بالفرن باستخدام الزئبق لشغل المساحات الشاغرة الناتجة عن الانكماش. يتم تحديد كتلة الزئبق ويمكن حساب انخفاض الحجم الناتج عن الانكماش من الكثافة المعروفة للزئبق. يتم حساب حد الانكماش من:

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{V_1 - V_2 \gamma_w}{m_2 g} \right) \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

Where m_1 is the mass of the wet soil, m_2 is the mass of the oven-dried soil, V_1 is the volume of wet soil, V_2 is the volume of the oven-dried soil, and g is the acceleration due to gravity (9.8 m/s^2). The range of water content from the plastic to the shrinkage limits is called the shrinkage index (SI).

حيث m_1 هي كتلة التربة الرطبة ، و m_2 هي كتلة التربة المجففة بالفرن ، و V_1 هو حجم التربة الرطبة ، و V_2 هو حجم التربة المجففة بالفرن و g هو التسارع بسبب الجاذبية $9,8 \text{ م / ثانية}^2$. نطاق محتوى الماء من البلاستيك إلى حدود الانكماش يسمى مؤشر الانكماش (SI).

$$SI = PL - SL \dots\dots\dots (4)$$

4.5 Plasticity Chart

Experimental results from soils tested from different parts of the world were plotted on a graph of plasticity index (ordinate) versus liquid limit (abscissa). It was found that clay, silt, and organic soils lie in distinct regions of the graph. A line defined by the equation:

تم رسم النتائج التجريبية من التربة التي تم اختبارها من أجزاء مختلفة من العالم على رسم بياني لمؤشر اللدونة مقابل حد السائل . لقد وجد أن التربة الطينية والطينية والعضوية تقع في مناطق متميزة من الرسم البياني. خط محدد بالمعادلة:

$$PI = 0.73 (LL - 20) \% \dots\dots(5)$$

called the "A-line", delineates the boundaries between clays (above the line) and silts and organic soils (below the line). A second line, the U-line expresses as:

يسمى "الخط A" ، يرسم الحدود بين الطين (فوق الخط) والطيني والتربة العضوية (تحت الخط). السطر الثاني ، يعبر الخط U على النحو التالي:

$$PI = 0.9 (LL - 8) \dots\dots\dots(6)$$

Defines the upper limit of the correlation between the plasticity index and liquid limit. If the results of your soil tests fall above the U-line, you should be suspicious of your results and repeat your tests.

يحدد الحد الأعلى للعلاقة بين مؤشر اللدونة وحد السائل. إذا كانت نتائج اختبارات التربة الخاصة بك تقع فوق خط U ، فيجب أن تشك في نتائجك وتكرر اختبارك.

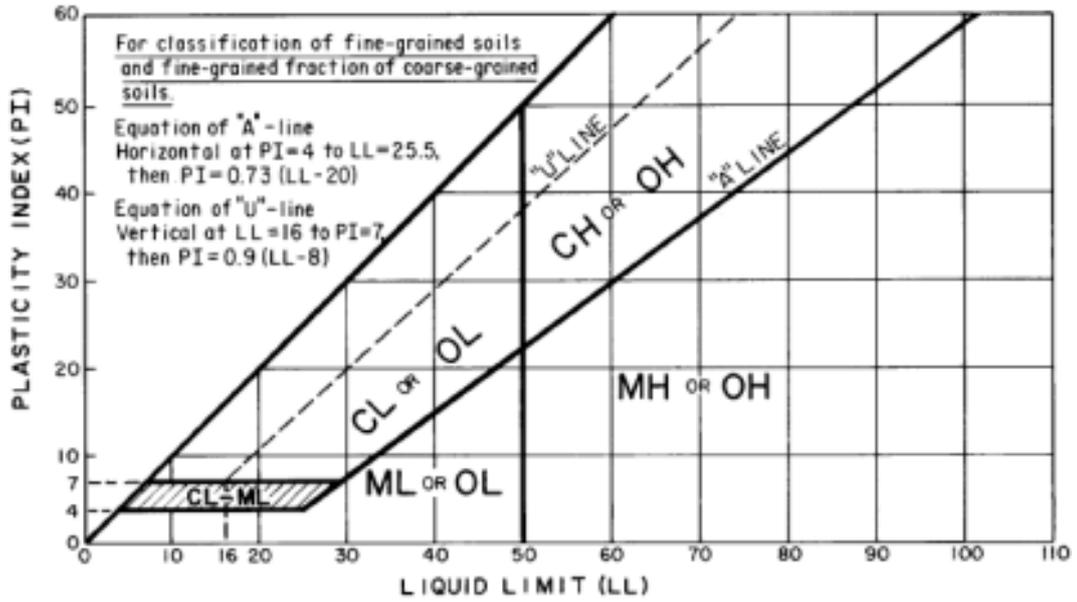
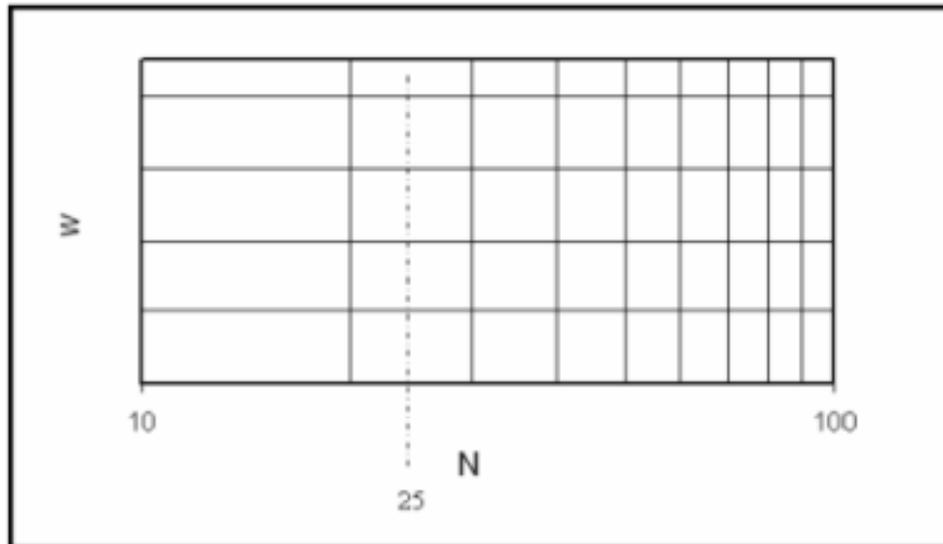


Figure (5) Plasticity chart for fine-grained soils

					رقم الوعاء
					وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)
					وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)
					وزن الوعاء (جم)
					وزن التربة الجافة (جم)
					وزن التربة الرطبة (جم)
					المحتوى المائي (%)
					عدد الضربات (N)



٥- التحليل الحبيبي (الحجمي) (Particle Analysis)

التحليل الحجمي لجزيئات التربة (التدرج الحبيبي) من أهم الطرق لتصنيف التربة، حيث يتم فصل حبيباتها عن بعضها تبعاً لحجمها، وهو عملية مهمة جداً لتوقع تصرف التربة المحملة انشائياً، ويتم بطريقتين الجافة والرطبة:

Fine-grained soils (hydrometer analysis)		Coarse-grained soils (sieve analysis)				
		clay	silt	sand	gravel	stone
US-standard	(Diameter)	0.002	0.075	4.75	75mm	
(ASTM D422)	(Sieve No.)		#200	#4	3"	
BS-Standard	(Diameter)	0.002	0.06	2.0	60mm	
	(BS 1377)					

٥-١ اختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test

ويسمى أيضاً التحليل الجاف (Dry Analysis)

يجري هذا الاختبار للجزء الخشن من التربة (الحصى، الرمل) والذي تزيد فيه أقطار الحبيبات عن ٠,٠٧٤ ملم (راجع المحاضرة الأولى - تصنيف التربة) وتشمل طريقة تحليل الحبيبات على مرور التربة من مناخل (sieves) متعددة ومختلفة الحجم وتدرج بطريقة تكون المناخل ذات الفتحات الأكبر في الأعلى وتنتهي بالمنخل الذي يكون قطره أصغر وتمرر التربة خلال هذه المناخل تحت تأثير الرج الميكانيكي أو اليدوي، الشكل رقم (١). ثم يحسب وزن التربة المتبقية على كل منخل ويتم بعدها حساب نسبة الوزن المتراكم الذي يمر من كل منخل والنسبة المئوية العابرة على أي منخل كالآتي:-

وزن التربة المتبقية على ذات المنخل

$$١- \text{النسبة المئوية المتبقية على أي منخل} = \frac{\text{الوزن الكلي للتربة}}{\text{مجموع النسب المئوية المتبقية على المناخل الأكبر}}$$

الوزن الكلي للتربة

٢- النسبة المئوية التراكمية على أي منخل = مجموع النسب المئوية المتبقية على المناخل الأكبر

٣- النسبة المئوية العابرة على أي منخل = ١٠٠٪ - النسبة المئوية التراكمية

ترسم النسبة المئوية العابرة من كل منخل مقابل مقاس الحبيبات (فتحة المنخل) على ورق نصف لوغاريتمي يمكن إيجاد قطر الحبيبات الكبيرة (الحصى) gravel والرمل (sand)، أما بالنسبة للغرين (silt) والطين (clay) والعبارة من منخل رقم ٢٠٠ يمكن معرفتها بواسطة فحص المكثاف .Hydrometer Test

طريقة التحضير للفحص:

١. يجب أن تكون العينة (النموذج) ممثل الى التربة في الموقع حيث كلما زاد حجم الحبيبات في الموقع زاد حجم النموذج المأخوذ للفحص والعكس ، وحين الوصول الى المختبر نستخدم الهاون او اي طريقة لضمان عدم تكتل التربة ، وبعدها ندخل مرحلة الفحص والتي تبدأ
٢. بتهيئة النموذج الكامل (نموذج الحقل) لغرض أخذ نموذج الفحص والبالغ ١٠٠٠غم وهو أفضل وزن بالحسابات وتمثيل التربة في الحقل أو الموقع وتتم بطريقتين :

(a) طريقة الأرباع المتعكسة Reverse Quarters Method

يتم فيها وضع النموذج الحقلي على سطح مستوي مناسب وتقسب بعد الخلط الجيد الى أربعة أرباع ويستبعد ربعين متقابلين قطرياً ويجمع القطرين الآخرين وتعاد العملية حتى الوصول الى الوزن المطلوب وهو ١٠٠٠غم/ (١كغم).



(b) طريقة قاطعة النماذج Samples Cutter Method

يتم فيها إفراغ كامل النموذج الحقلي أو الموقعي في حوض يشبه الساقية له فتحات تسمح للركام المرور خلالها وتقسيمه الى أربع أقسام وتعاد نفس الخطوات في الفقرة

الشكل رقم (١) مجموعة المناخل مع الهزاز الكهربائي

٢-٥ التحليل بالمكثاف Hydrometer

طريقة المكثاف تعتمد على قانون ستوك (Stokes Law) الذي يتحكم بسرعة الأجسام الكروية في الموائع حيث:

(١) تكون سرعة ترسيب الحبيبات الكبيرة أكبر من الحبيبات الصغيرة والعكس صحيح.
(الحبيبات العابرة من منخل ٢٠٠ تعتبر مادة عالقة قابلة للترسيب قطر حبيباتها أقل من 0.074mm).

يعبر عن قانون ستوك بالمعادلة التالية:

$$V = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\mu} D^2 \dots\dots\dots(1)$$

V = سرعة ترسيب الحبيبات (سم/ثا) السرعة الحدية.

γ_s = كثافة التربة (غم/سم^٣)

γ_w = كثافة الماء (غم/سم^٣)

μ = لزوجة الماء (غم.ثا/سم^٢)

D = قطر الحبيبات (سم)

(٢) يعتبر قانون ستوك ان سرعة ترسيب الأجسام الكروية تتناسب طردياً مع العمق وعكسياً مع الزمن ويمكن تمثيل ذلك كما يلي:

$$V = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(2)$$

يمكن كتابة المعادلة رقم (١) بالشكل التالي، والتي يكون فيها (L) العمق الفعال Effective depth:

$$\frac{L(cm)}{t(min)} \frac{(\rho_s - \rho_w)g/cm^3}{18\mu(\frac{g.sec}{cm^2})} \left(\frac{D(mm)}{10}\right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

Where $\rho_s = G_s \rho_w \dots\dots\dots(4)$

$$D(mm) = \frac{10}{\sqrt{60}} \sqrt{\frac{18\mu}{(G_s - 1)\rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}} \dots\dots\dots(4)$$

$$K = \sqrt{\frac{1800\mu}{60(G_s - 1)\rho_w}} = \sqrt{\frac{30\mu}{(G_s - 1)\rho_w}}$$

L: المسافة بين سطح العالق ومركز حجم المكثاف وتعتمد على قراءة المكثاف المصححة وتؤخذ من جدول خاص الجدول (٢).

$$RL = R + 0.5$$

القراءة المصححة RL

القراءة الحقيقية : R نوع 152 H

K: ثابت يعتمد على درجة حرارة العالق والوزن النوعي للتربة المترسبة جدول رقم (٣).

t: الزمن منذ بدء الترسيب لغاية أخذ قراءة المكثاف بالدقائق.

D: قطر الجزيئة بالمليمتر.

تحسب النسبة المئوية العابرة للمكثاف من نوع 152 H

$$P = \left(Rc * \frac{a}{w} \right) \times 100$$

W: وزن التربة الجافة بالغرامات

Rc: قراءة المكثاف المصححة للعامل المفرق ودرجة الحرارة

$$Rc = R - CT + \text{تصحيح العامل المفرق}$$

CT: تصحيح درجة الحرارة ويمكن إيجادها من جدول رقم (٥)

a: عامل تصحيح للوزن النوعي يستخدم مع المكثاف من نوع 152 H جدول رقم (٤)

ويستخرج من جدول رقم () لأن المكثاف معايير في درجة حرارة 20°.

إذا كان الفحص يجمع بين الفحصين (المكثاف والمناخل) لنموذج واحد يرسم في رسم بياني واحد

وتحسب النسبة المئوية العابرة التي حجم حبيباتها أقل من ٧٥ مايكرون كالاتي:

$$P' = P * S$$

S : النسبة المئوية العابرة من منخل رقم ٢٠٠ في فحص التدرج بواسطة المناخل

P : النسبة المئوية العابرة للمكثاف.

P' : النسبة المئوية العابرة لتلائم دمج الفحصين الجاف والرطب.

جدول رقم (٢) يمثل العلاقة بين L, RL

Hydrometer reading	L (cm)	Hydrometer reading	L (cm)
0	16.3	26	12.0
1	16.1	27	11.9
2	16.0	28	11.7
3	15.8	29	11.5
4	15.6	30	11.4
5	15.5	31	11.2
6	15.3	32	11.1
7	15.2	33	10.9
8	15.0	34	10.7
9	14.8	35	10.6
10	14.7	36	10.4
11	14.5	37	10.2
12	14.3	38	10.1
13	14.2	39	9.9
14	14.0	40	9.7
15	13.8	41	9.6
16	13.7	42	9.4
17	13.5	43	9.2
18	13.3	44	9.1
19	13.2	45	8.9
20	13.0	46	8.8
21	12.9	47	8.6
22	12.7	48	8.4
23	12.5	49	8.3
24	12.4	50	8.1
25	12.2	51	7.9

جدول (٣) قيم K حسب الوزن النوعي ودرجة الحرارة

G _s	Temperature (°C)						
	17	18	19	20	21	22	23
2.50	0.0149	0.0147	0.0145	0.0143	0.0141	0.0140	0.0138
2.55	0.0146	0.0144	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
2.60	0.0144	0.0142	0.0140	0.0139	0.0137	0.0135	0.0134
2.65	0.0142	0.0140	0.0138	0.0137	0.0135	0.0133	0.0132
2.70	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0133	0.0131	0.0130
2.75	0.0138	0.0136	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128
2.80	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126

G _s	Temperature (°C)						
	24	25	26	27	28	29	30
2.50	0.0137	0.0135	0.0133	0.0132	0.0130	0.0129	0.0128
2.55	0.0134	0.0133	0.0131	0.0130	0.0128	0.0127	0.0126
2.60	0.0132	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126	0.0125	0.0124
2.65	0.0130	0.0129	0.0127	0.0126	0.0124	0.0123	0.0122
2.70	0.0128	0.0127	0.0125	0.0124	0.0123	0.0121	0.0120
2.75	0.0126	0.0125	0.0124	0.0122	0.0121	0.0120	0.0118
2.80	0.0125	0.0123	0.0122	0.0120	0.0119	0.0118	0.0117

جدول (٤) العامل المصحح (a) مع الوزن النوعي

G_s	a
2.50	1.04
2.55	1.02
2.60	1.01
2.65	1.00
2.70	0.99
2.75	0.98
2.80	0.97

جدول (٥) تصحيح درجة الحرارة

C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CT	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.00	0.2	0.4	0.7	1	1.3	1.65	2	2.5	3.05	3.8

٣-٥ منحنى التوزيع الحجمي

يمكن من خلال استخدام منحنى التدرج الحصول على ثلاث معاملات مهمة لخصائص التربة وهي :

١- الحجم الفعال (D_{10} Effective Size)

مهم في خواص التربة المتعلقة بالمسامية $K=C+(D_{10})^2$ التوصيلية الهيدروليكية

٢- معامل الانتظام (D_u Uniformity Coefficient)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

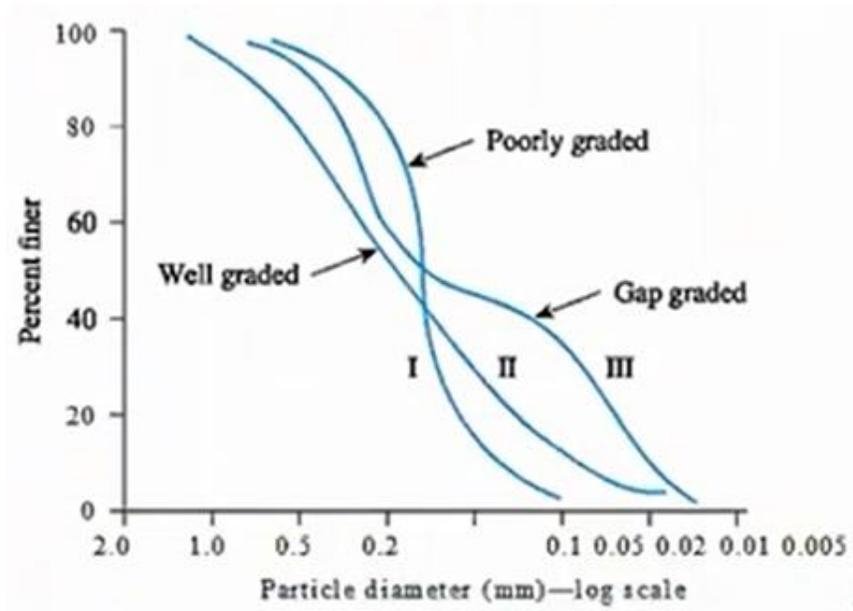
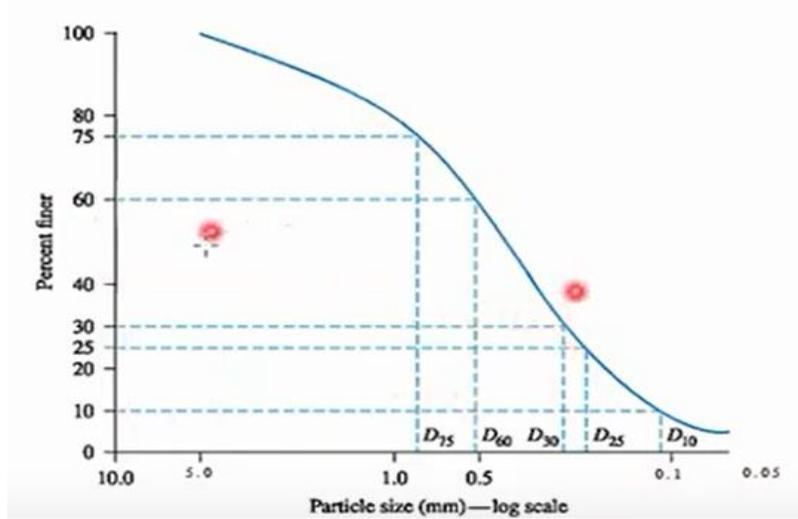
يكون التدرج جيد للترب الخشنة حينما يكون معامل الانتظام ٤ للحصى و٦ للرمل واقل من ٢ يكون منتظم التدرج (المنحني العمودي تقريباً)

٣- معامل التدرج (C_c Coefficient of Gradation)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

يكون التدرج جيد حينما يكون معامل التدرج بين ١-٣

اذن التربة جيدة التدرج حينما تحقق المعامل الثاني والثالث اعلاه.



شكل (٢) أنواع منحنيات التدرج.

٥-٢ نظام تصنيف التربة الموحد Unified Soil Classification System

There are many classification systems used according to the purpose for which the soil is used, in the case of soil used for the purpose of engineering works, the unified system for soil classification is the most used, and this system was proposed by the scientist Casagrande (1942) during World War II for the benefit of the US Air Force, this system was developed in 1952 and put Under ASTM D-2487, Figures 1, 2, and 3.

هنالك العديد من أنظمة التصنيف المستخدمة حسب الغرض الذي تستخدم من أجله التربة ، في حالة التربة المستخدمة لغرض الأعمال الهندسية يكون النظام الموحد لتصنيف التربة هو الأكثر استخداماً ، وهذا النظام أقترحه العالم كازغراندني خلال الحرب العالمية الثانية لصالح سلاح الجو الأمريكي، طور هذا النظام عام ١٩٥٢ ووضع تحت المواصفة للمعهد الأمريكي (ASTM D-2487) الأشكال (١ و٢ و٣).

هذا النظام صنف التربة الى فئتين (مجموعتين):

١. **مجموعة خشنة (Coarse Group)** تتألف من الحصى Gravel و الرمل Sand

وتكون نسبة الطين Clay المار من منخل ٢٠٠ أقل من ٥٠٪.

ويبدأ رمز المجموعة Group Symbol بـ (G) للتربة الحصوية و الرمز (S) للتربة الرملية.

٢. **مجموعة ناعمة (Fine Group)** حينما يكون المواد الناعمة السلت Silt والطين Clay

(العابر من منخل ٢٠٠) تساوي أو أكثر من ٥٠٪.

ويبدأ رمز المجموعة Group Symbol بـ (M) للتربة السلتية غير الضوية و الرمز (C)

للتربة الطينية غير العضوية ، أما لترب السلت والطين العضوي يرمز لكليهما بالرمز O.

وهناك رموز أخرى تستخدم في هذا التصنيف وهي:

- تدرج جيد يرمز له W

- تدرج ضعيف يرمز له P

- لدونه واطئة حينما يكون L.L أقل من ٥٠ يرمز له L

- لدونه عالية حينما يكون L.L أكثر من ٥٠ يرمز له H

من الجدير بالذكر بالإضافة الى الرموز المستخدمة في هذا التصنيف يجب معرفة مايلي :

١- نسبة الحصى (المار من منخل رقم ٣ انج (٧٥ ملم) – والمتبقية على منخل

رقم ٤ (٤,٧٥ ملم)

٢- نسبة الرمل (المار من منخل ٤,٧٥ ملم ملم – والمتبقية على منخل رقم ٢٠٠ (٢٠٠,٧٥ ملم)

٣- نسبة السلت والطين (المار من منخل رقم ٢٠٠)

٤- معامل النظام (C_U) ومعامل التدرج (C_C)

٥- حد السيولة ومعامل اللدونه للجزء المار من منخل رقم ٤٠ (No.40)

في نهاية العمل من التصنيف للترب المدروسة يجب أن تثبت (رمز المجموعة Group Symbol

و أسم المجموعة (Group Name) .

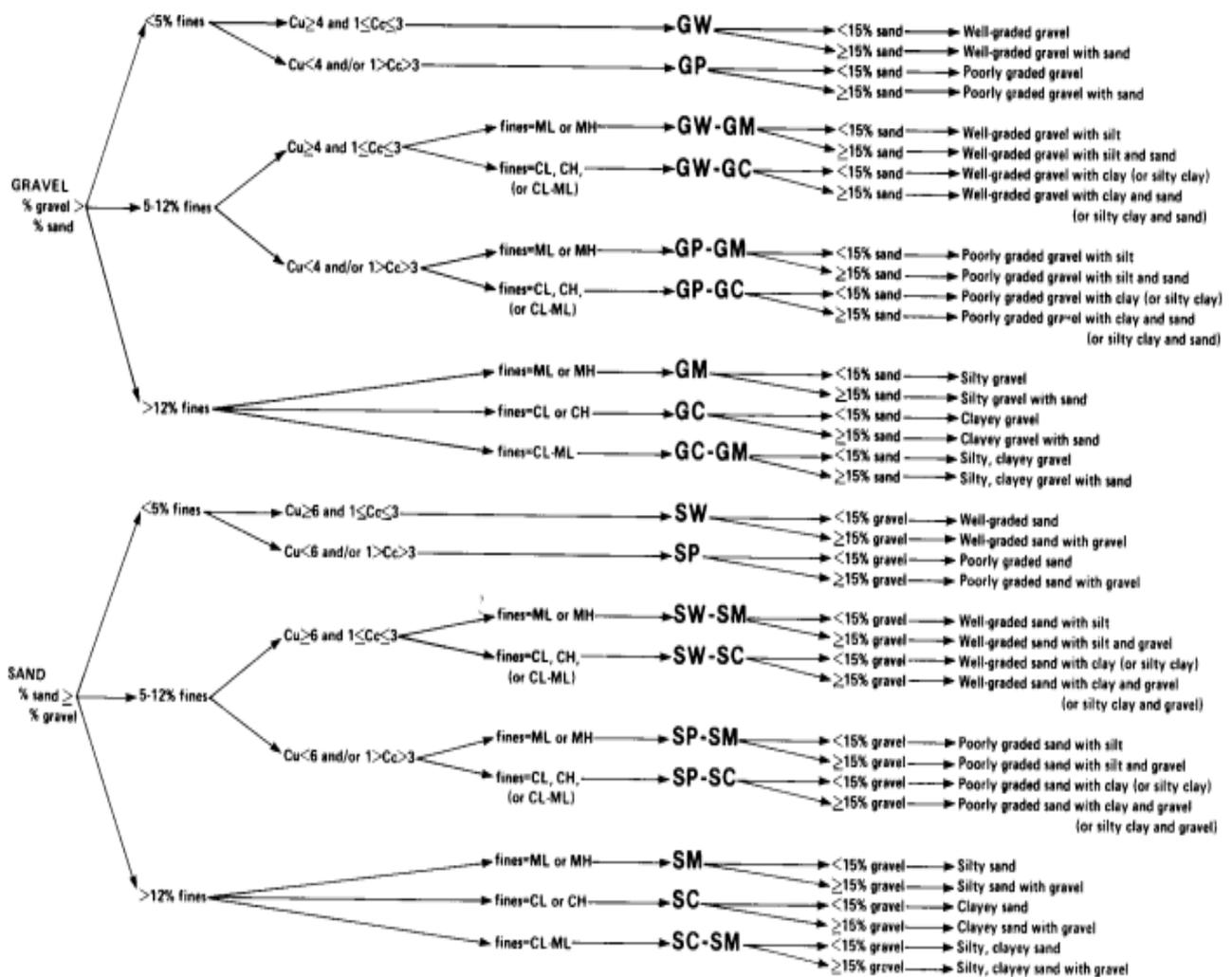
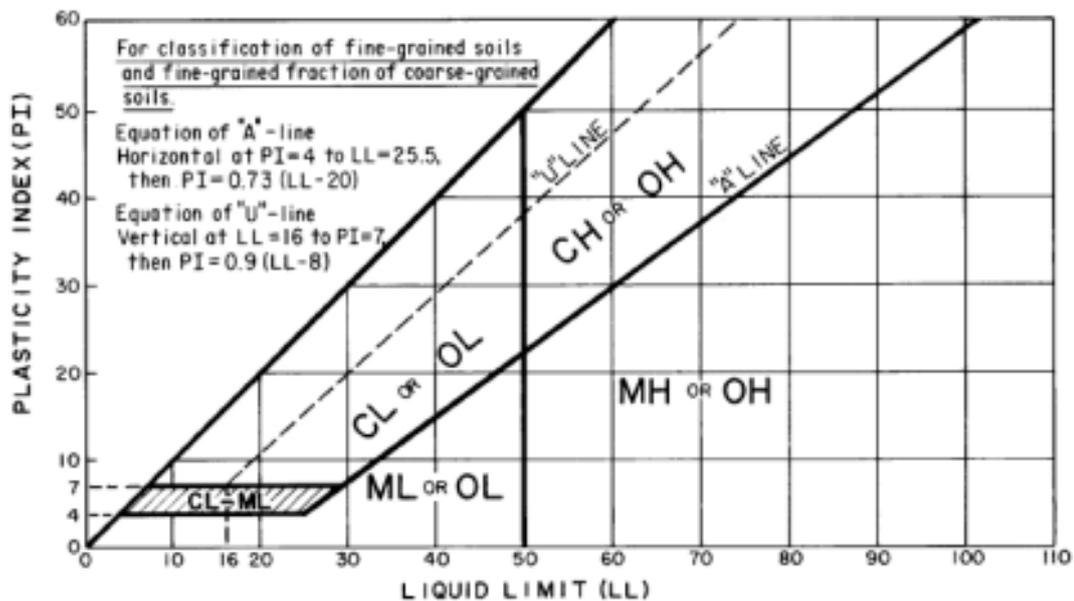


FIG. 3 Flow Chart for Classifying Coarse-Grained Soils (More Than 50 % Retained on No. 200 Sieve)



American Standard Sieve Series					
ASTM E11 Sieve Designation					
Standard	Altern.	Standard	Altern.	Standard	Altern.
125.00 mm	5.00	9.50 mm	3/8	425 µm	No.40
106.00 mm	4.24	8.00 mm	5/16	355 µm	No.45
100.00 mm	4	6.70 mm	0.265	300 µm	No.50
90.00 mm	3 ½	6.30 mm	¼	250 µm	No.60
75.00 mm	3	5.60 mm	No. 3 ½	212 µm	No.70
63.00 mm	2 ½	4.75 mm	No. 4	180 µm	No.80
53.00 mm	2.12	4.00 mm	No. 5	150 µm	No.100
50.00 mm	2	3.35 mm	No. 6	125 µm	No.120
45.00 mm	1 ¾	2.80 mm	No. 7	106 µm	No.140
37.50 mm	1 ½	2.36 mm	No. 8	90 µm	No.170
31.50 mm	1 ¼	2.00 mm	No.10	75 µm	No.200
26.50 mm	1.06	1.70 mm	No.12	63 µm	No.230
25.00 mm	1	1.40 mm	No.14	53 µm	No.270
22.40 mm	7/8	1.18 mm	No.16	45 µm	No.325
19.00 mm	¾	1.00 mm	No.18	38 µm	No.400
16.00 mm	5/8	850 µm	No.20	32 µm	No. 450
13.20 mm	0.530	710 µm	No.25	25 µm	No. 500
12.50 mm	½	600 µm	No.30	20 µm	No. 635
11.20 mm	7/16	500 µm	No.35		

مثال ١: أجريت الفحوصات المختبرية على نموذج من التربة وكانت النتائج كما يلي:

١- حد السيولة L.L = ٣٠ %

٢- حد اللدونة P.L = ١٢ %

٣- التحليل المنخلي:

رقم المنخل	المار % (P)
٨/٣ إنج	١٠٠
٤	٧٦,٥
١٠	٦٠
٤٠	٣٩,٧
٢٠٠	١٥,٢

صنف التربة حسب التصنيف (USCS).

الحل:

نسبة الحصى = المار من منخل رقم ٨/٣ - المار من منخل رقم ٤

$$= 100 - 76,5 = 23,5\%$$

نسبة الرمل = المار من منخل رقم ٤ - المار من منخل ٢٠٠

$$= 76,5 - 15,2 = 61,3\%$$

نسبة الناعم (السلت + الطين) = نسبة المار من منخل ٢٠٠ = ١٥,٢

الآن من نسبة المواد الناعمة نحدد المخطط المناسب للتصنيف:

- نسبة المواد الناعمة أقل من ٥٠ %

- نسبة الرمل < نسبة الحصى

- نسبة الناعم = ١٢ %

من المخطط يظهر عامل آخر يجب تحديده وهو معامل اللدونة
 = حد السيولة (L.L) - حد اللدونة (P.L) = 30-12=18

أذن التربة هي (clayey Sand with Gravel, SC)

مثال ٢: نموذج من التربة تم فحصه بالمختبر وكانت النتائج كمايلي:

١- L. L= NP (no plastic)

٢- P. L= NP (no plastic)

٣- التحليل المنخلي:

Sieve size حجم المنخل	Passing% المار %
١ انج	١٠٠
٨/٣ انج	٦٠
رقم ٤	٤٨
رقم ١٠	٣٠
رقم ٢٠٠	٢

- صنف التربة بإستخدام نظام USCS

الحل:

١- نسبة الحصى = $100 - 48 = P_3 - P_4 = 52\%$

٢- نسبة الرمل = $48 - 2 = P_4 - P_{200} = 46\%$

٣- نسبة الناعم = 2%

- اذن الناعم $> 50\%$ Fine

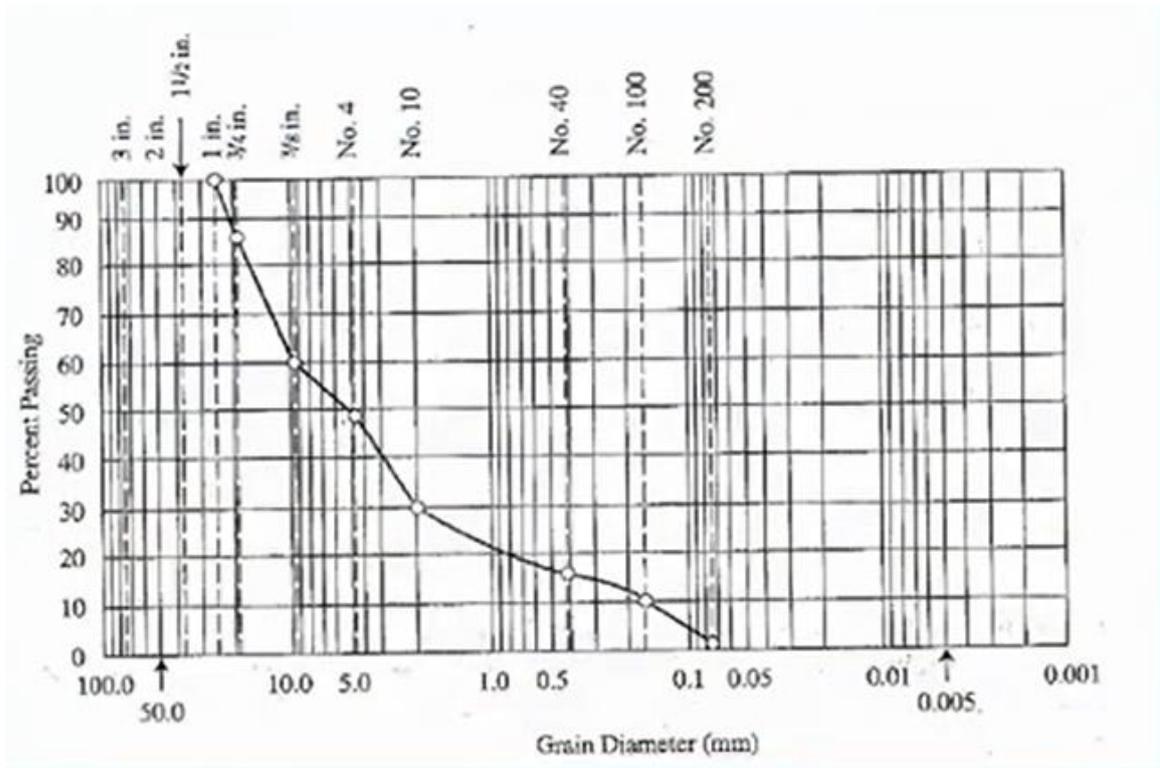
- الحصى $<$ الرمل Gravel

وبعد تحديد المخطط المناسب ، يتضح انه يحتاج معامل الانتظام والتدرج ، وعليه لابد من رسم منحنى التوزيع الحجمي:

$$C_U = D_{60}/D_{10} = 63.3$$

$$C_C = (D)^2/D_{60} * D_{10} = 2.8$$

$$C_U > 4, 1 <= C_C <= 3 \text{ (Group Symbol=GW)}$$



اذن التربة : تربة حصوية ذات تدرج جيد مع رمل

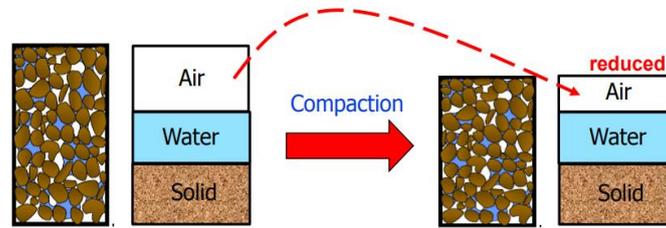
Well-graded gravel with sand(GW)

٧-١ حدل التربة Soil compaction

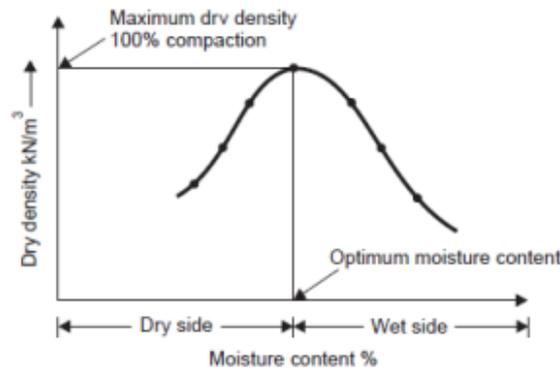
في منشآت الهندسة المدنية مثل: التعلية الترابية Embankment، السدود الترابية Earth dams وغيرها تحدل التربة لغرض زيادة كثافتها وتحسين خواص مقاومتها وبالتالي تزداد سعة تحملها Bearing capacity ويقلل هبوطها (التجسس) settlement.

٧-٢ مبادئ عامة عن الحدل

الحدل هو تكثيف التربة Densification عن طريق طرد الهواء في الفراغات باستخدام طاقة ميكانيكية (الحادلات Rollers) الشكل (١). ان درجة الحدل تقاس على أساس الكثافة الجافة . عندما نضيف الماء الى حبيبات التربة يعتبر كعامل منعم لتسهيل عملية انزلاقها فوق بعض باتجاه الفراغات الموجودة في نموذج التربة (يشبه عملية التزيت للاجزاء الميكانيكية) وبذلك تزداد الكثافة لهذه التربة. من ملاحظة الشكل (٢) فأن زيادة المحتوى المائي يرتبط بزيادة طردية مع الكثافة الجافة وتستمر العلاقة الطردية الى محتوى معين عنده تبدأ العلاقة تصبح عكسية هذا المحتوى يسمى المحتوى الرطوبي المثالي (optimum moisture content) والكثافة التي تقابله هي الكثافة الجافة العظمى (maximum dry density) .



الشكل رقم (١) يوضح تكثيف التربة



الشكل رقم (٢) تعيين الكثافة الجافة عملياً في المختبر.

٧-٣ فحص بروكتر Proctor Test أو الحدل المختبري Laboratory compaction

يقسم فحص بروكتر الى نوعين :

١. فحص بروكتر القياسي Standard Proctor Test
٢. فحص بروكتر المعدل Modified Proctor Test

١- فحص بروكتر القياسي Standard Proctor Test

المواصفات التي تناقش فحص بروكتر القياسي هي ASTM:D-698(2007) و AASHTO- 99(1982) في هذا الفحص يتم حدل التربة في قالب قياسي حجمة ٩٤٤ سم^٣ الشكل (٣) وبثلاث طبقات وفي كل مرة يتم تغيير المحتوى المائي وتطرق بما يسمى بمطرقة الرص (الحدل) بمعدل

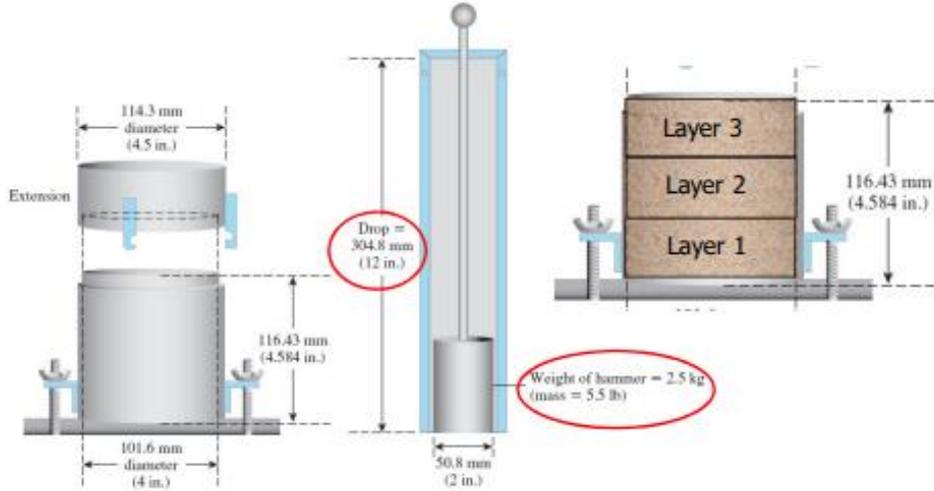
٢٥ ضربة، مواصفات هذه المطرقة (كتلتها ٢,٥ كغم وتسقط من على ارتفاع ٣٠٥ ملم). عادة كمية الماء المستخدم لترطيب التربة تتراوح بين ٥%-٢٠% .

في كل محاولة نحصل على مايسمى بالكثافة الرطبة :

$$\gamma = \frac{W}{V_m} \dots \dots \dots (7-1)$$

W=weight of compacted soil, V_m =Volume of mold (mould)

Standard Proctor Test



No. of blows = 25

الشكل رقم (٣) فحص الحدل القياسي

في هذا الفحص المطلوب الكثافة الجافة العظمى (maximum dry density) وليس الكثافة الرطبة لذا فإن الحصول عليها بالطريقة العملية يكون وفق المعادلة التالية :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{\gamma}{1+\frac{w}{100}} \dots \dots \dots (7-2)$$

من جانب آخر/ يمكن الحصول على الكثافة الجافة العظمى نظرياً. (نظرياً: نحصل على أعلى كثافة عن طريق إزالة جميع الهواء في التربة ويحصل هذا عندما تكون التربة مشبعة بنسبة ١٠٠٪ أي $S=1$) وبذلك يتم التعبير عن الكثافة الجافة العظمى عندما تكون الفراغات خالية من الهواء (Zero air void) γ_{zav} وكمايلي:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \dots \dots \dots (7-3)$$

ومما تم ذكره سابقاً في الفصل الثاني من:

$$Se = G_s w$$

$$e = \frac{G_s w}{S}$$

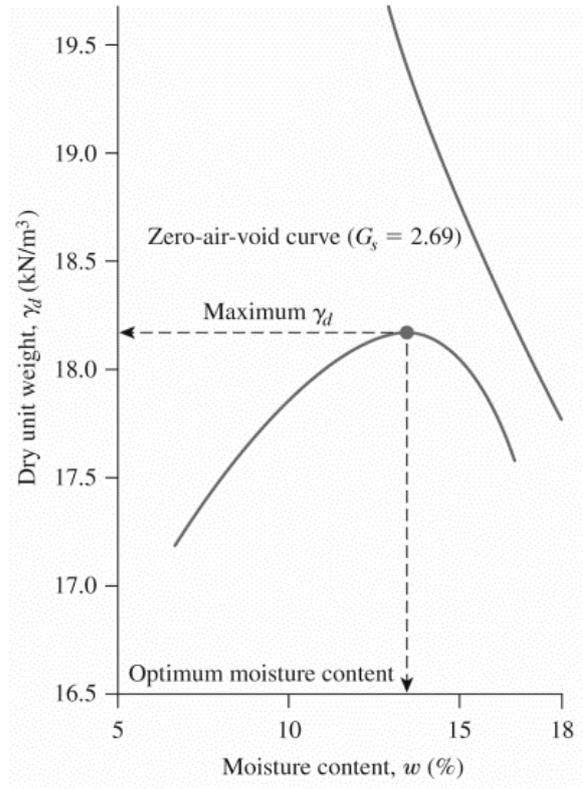
وبالتعويض بالمعادلة (٣-٧) نحصل :

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{G_s w}{S}} \dots \dots \dots (7-4)$$

وعندما تكون التربة مشبعة يعني $S=1$ فإن المعادلة (7-4) تصبح :

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + G_s w} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \dots \dots \dots (7-5)$$

هذه العلاقة ترسم كما في الشكل (٤). المتغير الوحيد هو المحتوى المائي حيث ان كثافة الماء والوزن النوعي للتربة ثابتين ، عندما يفرض مجموعة من المحتويات المائية بين ٥٪ الى ٢٠٪ سوف يلاحظ أن قيم γ_{zav} ترسم خط مستقيم ينحدر يمين منحنى الكثافة العملية (قيم الكثافة المختبرية) دائماً ولا يكون يساره مطلقاً ولا يتقاطع معه تحت كل الظروف . أهمية هذا الخط هو للتأكد من صحة العمل المختبري حيث (المنحني العملي والمنحني النظري لا يتقاطعان) ، كذلك إعطاء صورة عن مدى التكتيف الحالي(الحدل) .



الشكل رقم (٤) العلاقة بين الكثافة العملية والنظرية.

- العوامل التي تؤثر على الحدل

- (١) المحتوى الرطوبي .
- (٢) نوعية التربة.
- (٣) الجهد المبذول Apply Effort في الحدل . وبحسب وفق المعادلة التالية:

$$E = \frac{(NO. of blows) * (NO. of layers) * (W. of hammer) * (H. of drop)}{Volume of mold(mould)}$$

$$=(25) * (3) * (2.5 * 9.8 / 1000 \text{ kN}) * (0.305 \text{ m}) / 944 * 10^{-6} = 594 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}^3$$

$$\cong 600 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}^3}$$

٢- فحص بروكتر المعدل Modified Proctor Test

المواصفات التي تناقش فحص بروكتر المعدل هي ASTM:D-1557 و AASHTO-T-180

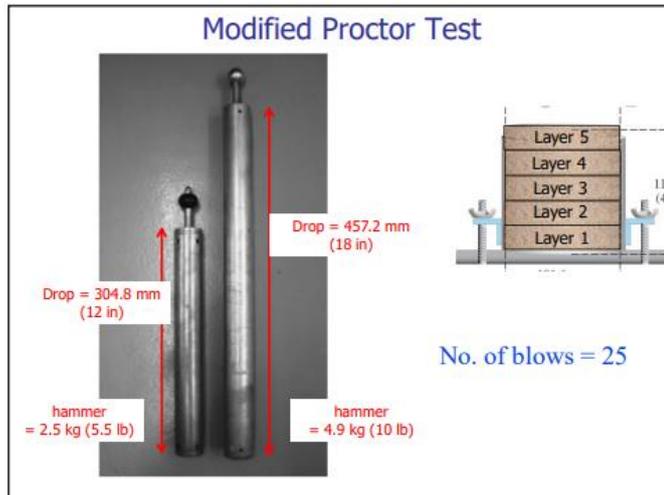
الفحصين تقريباً متطابقين الا في بعض الاختلافات أدناه :

	Standard Proctor Test	Modified Proctor Test
Volume of mold	944 cm ³	944 cm ³
# of layers	3	5
Mass of hammer	2.5 kg	4.54 kg
Drop of hammer	30.5 cm	45.7 cm
# of hammer blows	25	25

نشأت الحاجة الى فحص بروكتر المعدل نتيجة التطور بإمكانيات الحادلات المستخدمة حيث بدأ الشغل الميكانيكي الذي يمكن تسليطه أثناء الحدل على التربة يزداد بشكل كبير مما تطلب زيادة وزن المطرقة وعدد الطبقات . أما الجهد المبذول لهذا الفحص هو:

$$E = \frac{(NO. of blows) * (NO. of layers) * (W. of hammer) * (H. of drop)}{\text{Volume of mold(mould)}}$$

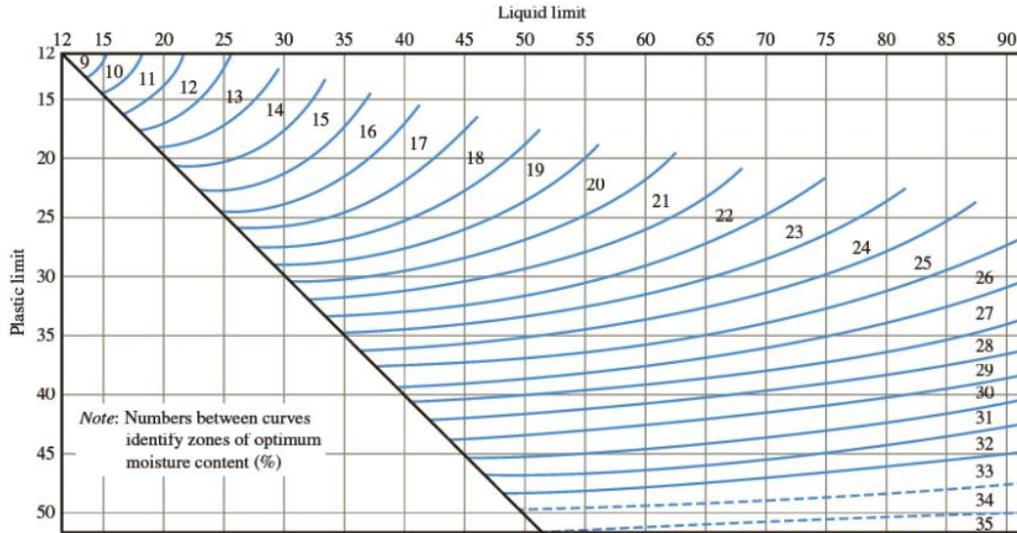
$$\cong 2700 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \text{ يساوي تقريباً}$$



الشكل رقم (٥) يمثل الحدل المعدل و مقارنته مع الحدل القياسي

للفائدة فقط:

عادة يستخدم أو يستعان في الكثير من الفعاليات العلمية ما يسمى بالنماذج النوعية أو المثالية (Type curve) للحصول على النتائج المطلوبة أو لفهم العلاقة بين مختلف العوامل و تأثيراتها الشكل رقم (٦).



الشكل رقم (٦) مخطط يربط حد السيولة وحد اللدونة والمحتوى المائي المثالي.

أدانة مكعب التوزيع النظري للحجوم عندما تستدعي الحاجة الى إملائيات تربة في حالات القلع العميق للتربة، الشكل رقم (٧)، حيث يوضح التتابع بإستخدام الحجوم من الأعلى في الاسفل ثم الأقل والأقل حتى نصل التربة جيدة التدرج في الأعلى.



الشكل (٧) يمثل التتابع الحجمي المطلوب في الحقل

مثال رقم (١)

نتائج فحص الرص القياسي لتربة ما:

١٣,٢	١٢,٣	١١,٥	٩,٨	٨,١	٦,٢	W%
٢٠,١	٢٠,٤	٢٠,٥	١٩,٥	١٨,٧	١٦,٩	γ

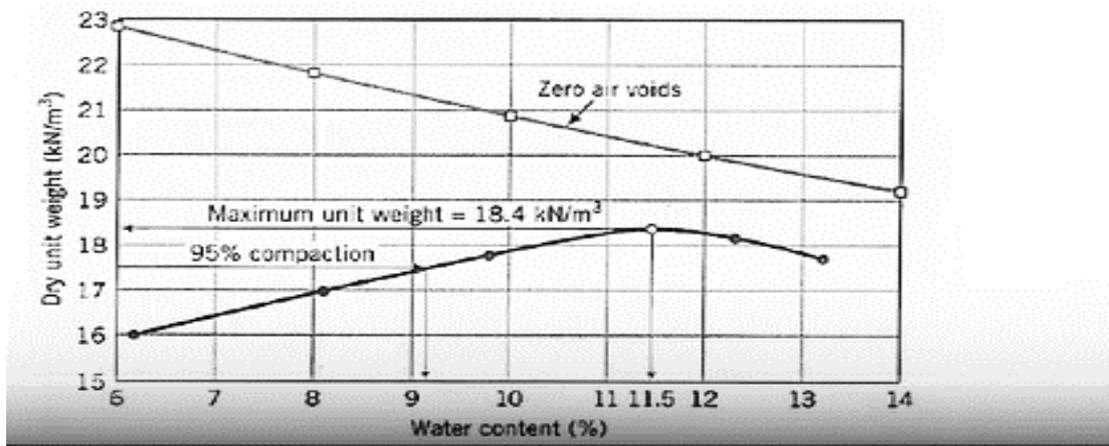
$\gamma_s = 27$

جد مايلي:

- (a) الكثافة الجافة العظمى γ_{dmax} والمحتوى الرطوبي المثالي $W\%$.
- (b) نسبة التشبع ($S\%$) عند الكثافة الجافة العظمى.
- (c) w و γ_d : عند نسبة ٩٥٪ من الحدل.
- (d) إرسم خط (zero-void curve or (line)).

الحل: a)

w %	γ (kN/m ³)	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \left(\frac{kN}{m^3}\right)$
6.2	16.9	15.9
8.1	18.7	17.3
9.8	19.5	17.8
11.5	20.5	18.4
12.3	20.4	18.2
13.2	20.1	17.8



b)

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{G_s w}{S}}$$

$$S = \frac{w G_s (\gamma_d)_{max} / \gamma_w}{G_s - (\gamma_d)_{max} / \gamma_w} = \frac{0.115 \times 2.7 \times \left(\frac{18.4}{9.8}\right)}{2.7 - \left(\frac{18.4}{9.8}\right)} = 0.71 = 71\%$$

c-

at 95% compaction:

$$\gamma_d = 18.4 \times 0.95 = 17.5 \text{ kN/m}^3$$

$$w = 9.2 \% \quad (\text{From the graph})$$

d-

zero air-void line:

w (%)	6	8	10	12	14
$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{G_s w}{S-1}}$	22.8	21.8	20.8	20.0	19.2

٧-٤ الحدل الموقعي Field compaction

يتم هذا الحدل عن طريق أنواع مختلفة من الحادلات Rollers:

١- الحادلات الملائمة لأعمال جميع الترب All soils هي :



1. Smooth wheel rollers



2. Pneumatic rubber-tired rollers

٢- الحادلة الخاصة بالترب الطينية Clay soils:



3. Sheepfoot roller

ملاحظة : الحادلة smooth wheel يتحدد استخدامها في التربة الطينية لتنعيم السطح (كوي الطبقة قليلة السمك smoothing) وحالة الطبقات قليلة السمك للحصى الخابط أو الحصى وكوي طبقات الاسفلت بعد أن تحدل بالحادلات المطاطية. الحادلة النوع sheepfoot يمكن استخدامها مع الطبقات الحصوية بمختلف الاحجام وذات السمك العالي ويكون عملها متداخل مع الأنواع سالفة الذكر وبما يضمن تكثيف التربة الى الحد المقبول أنشائياً.

1-9 النفاذية permeability

خاصية واسعة الاستخدام لدى دراسة الخصائص الفيزيائية للمواد وتعني إمكانية نفاذ الموائع خلال مادة ما، أما في موضوع ميكانيك التربة يقصد بها إمكانية مرور (نفاذ) المياه خلال جسم التربة عبر المسامات المتصلة (المسامية الفعالة). وجود المياه في فراغات التربة ممكن بسبب مشاكل عديدة بالأسس فمثلاً إذا احتوى الماء الملامس لها (الأسس) على الأملاح يؤدي إلى تلف الخرسانة وبالتالي تلف حديد التسليح، كما يمكن أن يؤدي إلى مشاكل الهبوط في التربة أو التجلس للأسس. أو يحدث عكس التجلس وهو الأنتفاخ في الترب الطينية والذي يسلب أحمال رافعة للأسس، بالنسبة للترب الرملية خصوصاً مع المحتويات المائية العالية في حالة توفر الأمتزاز بالقرب من الأسس مثل أمتزاز الناتج من مولدات الكهرباء أو حادلات التربة ويكون على أشده في حالات الزلازل يؤدي ذلك إلى تميع التربة وتحولها من الحالة الصلبة إلى أشبه بالحالة السائلة، كذلك من ضمن المشاكل للمياه في التربة هي تأثيرها على أستقرارية الجدران الساندة أو جسم السد نفسه.

لذلك دراسة جريان المياه في التربة وتقدير سرعة وكمية المياه المتسربة تحت الأرض هي من المواضيع المهم دراستها وهو ما يسمى النضح (Seepage).

حركة المياه هذه تجري خلال المسامات المتصلة (المسامية الفعالة) والتي تشكل مايشبه الأنابيب تحت تأثير فرق الجهد بين نقطتين (من النقطة ذات الطاقة الأعلى إلى النقطة ذات الجهد الواطئ أو الطاقة الأوطأ بعبارة أخرى من نقطة ذات ضغط هيدروستاتيكي أعلى إلى نقطة ذات ضغط هيدروستاتيكي الأقل).

2-9 معادلة برنولي (Bernoulli's Equation)

من معادلة برنولي يمكن حساب طاقة عمود الماء، وكما يلي:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \dots\dots\dots (9-1)$$

Pressure head velocity head elevation head

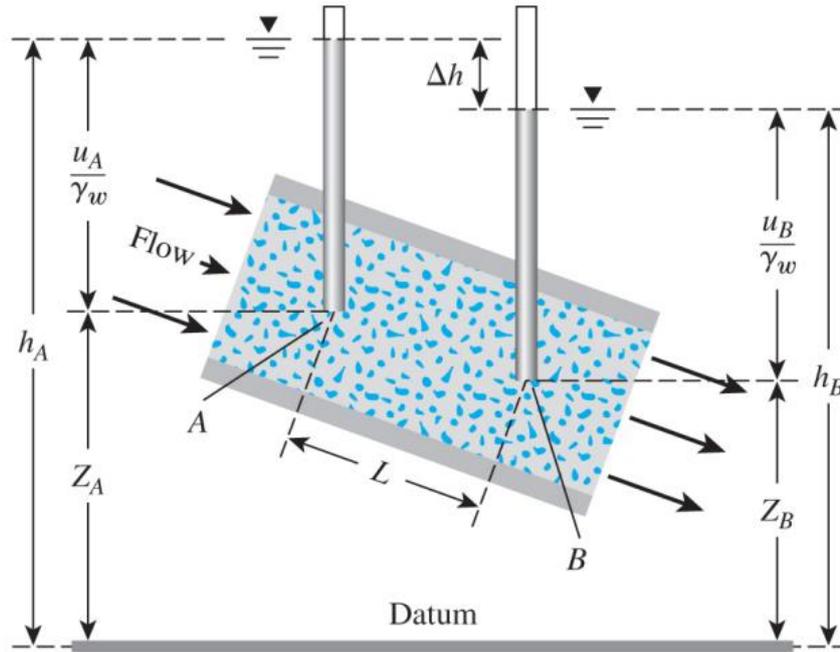
$h = \text{total head}$ الجهد الكلي, $U = \text{pressure}$ الضغط, $V = \text{velocity}$ السرعة

$g = \text{acceleration due to gravity}$, $\gamma_w = \text{unit weight of water}$

$Z = \text{Datum plane (vertical distance)}$ مستوى مرجعي

في المعادلة (9-1) تهمل السرعة كون سرعة المياه في التربة بطيئة جداً، لذا ستكون كمايلي:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + Z \dots\dots\dots (9-2)$$



الشكل رقم (1) يمثل جريان المياه في التربة

الآن حتى تتحرك المياه من نقطة (A) الى نقطة (B) يجب أن يكون هنالك فرق في الجهد بين نقطتين ما ، بمعنى أن الجهد الكلي عند النقطة A يجب أن يكون أعلى من الجهد الكلي عند النقطة B والفرق بين الجهدين يسمى بـ خسارة الجهد (Δh head loss) :

$$\Delta h = h_{A-} - h_B = \left(\frac{u_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{u_B}{\gamma_w} + Z_B \right) \dots \dots \dots (9-3)$$

ويمكن أن يعبر عن المعادلة أعلاه بـ :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots \dots \dots (9-4)$$

$i = Hydraulic\ gradient$ الميل الهيدروليكي , $L = Distance\ A,B$ المسافة بين النقطتين A,B

9-3 قانون دارسي Darcy's Law

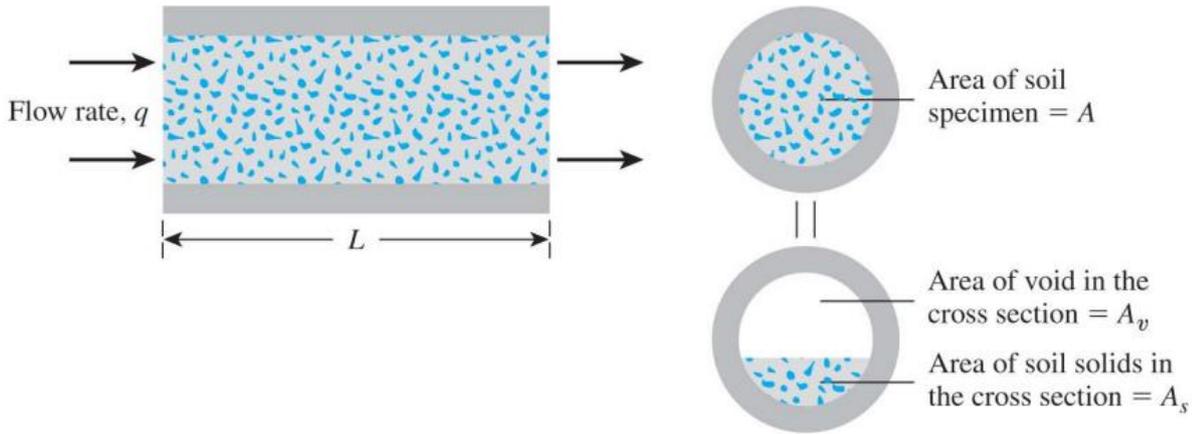
دارسي (1856) أقترح أن معدل سرعة الجريان خلال التربة تتناسب الأنحدار الهيدروليكي :

$$V = ki \dots \dots \dots (9-5)$$

$V = discharge\ velocity$

سرعة الجريان $discharge\ velocity$: وهي كمية المياه الجارية في وحدة الزمن خلال مساحة مقطع عرضي من التربة ويكون هذا المقطع عمودياً على إتجاه الجريان .

$K = hydraulic\ conductivity\ (coefficient\ of\ permeability)$



الشكل رقم (2) اشتقاق المعادلة (9-7)

المعادلة (9-5) تعتبر أن الجريان يحصل في كامل المقطع العرضي الا أن الحقيقة إن الجريان يحصل خلال الفجوات فقط دون جزيئات التربة الشكل رقم (2) ، وإذا كان الأمر هكذا الجريان يحصل فقط في الفراغات (الفجوات) يعني إن السرعة سوف تكون أعلى بسبب ضيق المقطع في حالة ثبات الكمية التي تجري بوحدة الزمن وتسمى حينئذ بسرعة النضح أو الترشيح Seepage Velocity.

$$q = VA = A_v V_s \dots\dots\dots (9-6)$$

q = flow rate معدل الجريان

v_s = seepage velocity سرعة الترشيح

A_v = area of void in the cross- section of the soil

مساحة الفجوات في المقطع العمودي للتربة

$$v_s = \frac{A}{A_v} V = \frac{LA}{LA_v} V = \frac{V}{V_v} V = \frac{V}{n} = V \left(\frac{1+e}{e} \right) \dots\dots\dots (9-7)$$

e = void ratio نسبة الفجوات

n = porosity المسامية

المعادلة تبين أن سرعة الترشيح أعلى من سرعة الجريان .

9-4 التوصيل الهيدروليكي Hydraulic conductivity

تعني حجم الماء المتحرك في الفجوات بوحدة الزمن تحت تأثير الأنحدار الهيدروليكي خلال مقطع تربة (1m/1m) عمودي على إتجاه الجريان وحداتها وحدات (طول / زمن).
وتعتمد على عدة عوامل وهي:

1. الحجم الحبيبي (ناعم أو خشن).
2. التدرج الحبيبي.
3. نسبة الفجوات.

4. لزوجة السائل.

5. درجة التشبع.

9-5 قياس التوصيلية الهيدروليكية Hydraulic conductivity measurements

A. القياس الحقلية : تحسب بالضح الأختباري وتعالج نتائج قراءات انخفاض-منسوب على

ورق لوغارتمي بطريقتة ثايس Theis,1935 أو طريقتة جاكوب Jacob,1946.

B. القياس المختبري :

a- طريقتة فحص المنسوب الثابت

b- طريقتة فحص المنسوب المتغير

a- المنسوب الثابت Constant head

اساس هذا الفحص أن الفرق بين منسوب الماء الداخل ومنسوب الماء الخارج يبقى ثابت خلال فترة الفحص والماء المترشح يجمع في قنينة مدرجة . يحصل الثبات عندما يكون معدل التغذية نفسة خلال كامل فترة الفحص ، كما هو واضح من الشكل رقم (3).

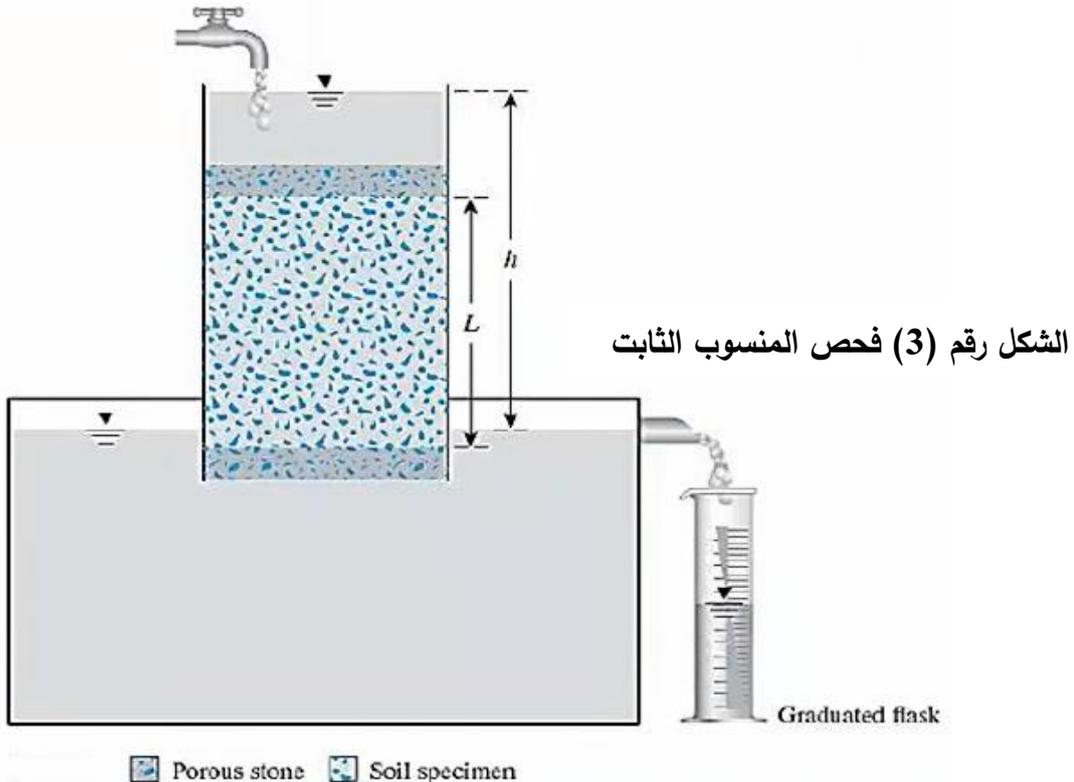
يستخدم مع الترب الخشنة، والحجم الكلي للمياة المتجمعة يعبر عنه كما في المعادلة :

$$Q = AVt = A(ki)t \dots\dots\dots(9-8)$$

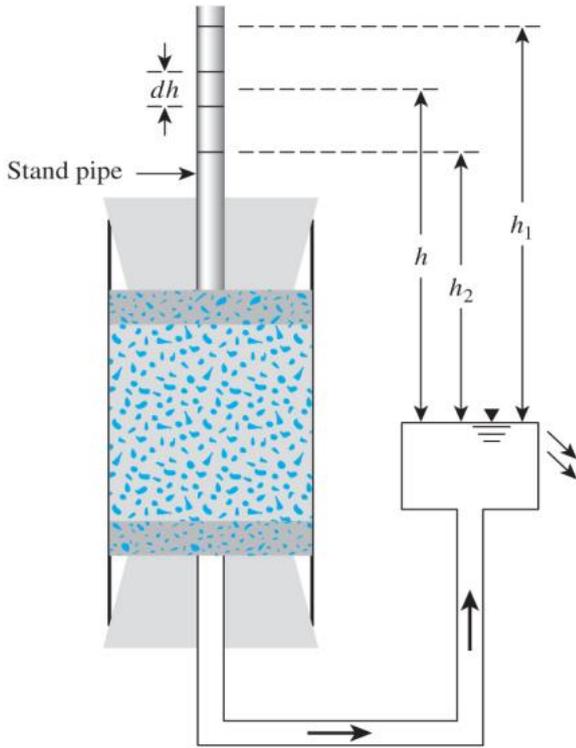
Q =volume of water collected حجم المياة المجمعة

A = area of cross section of the soil specimen مساحة مقطع نموذج التربة

t = duration of water collection مدة جمع الماء



$$\text{where, } i = \frac{\Delta h}{L} \longrightarrow \text{then, } Q = A \left(k \frac{\Delta h}{L} \right) t \longrightarrow k = \frac{QL}{Aht} \dots\dots(9-9)$$



b-فحص المنسوب المتغير Fallig-Head Test

اساس هذا الفحص أن الفرق بين منسوب الماء الداخل ومنسوب الماء الخارج يتغير خلال فترة الفحص . كما هو واضح من الشكل رقم (4).

يستخدم مع التربة الناعمة، والحجم الكلي للمياه المتجمعة يعبر عنه كما في المعادلات اسفل الصفحة :

الشكل رقم (4) فحص المنسوب المتغير

 Porous stone  Soil specimen

$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt}$$

where q = flow rate

a = cross-sectional area of the standpipe

A = cross-sectional area of the soil specimen

Rearrangement of Eq. (7.12) gives

$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

$$\int_0^t dt = \frac{aL}{Ak} \int_{h_1}^{h_2} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

or

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

This test is usually used to determine k for fine-grained soils.

Example 7.1

Refer to the constant-head permeability test arrangement shown in Figure (7.3). A test gives these values:

- $L = 30$ cm
- $A =$ area of the specimen $= 177$ cm²
- Constant-head difference, $h = 50$ cm
- Water collected in a period of 5 min $= 350$ cm³

Calculate the hydraulic conductivity in cm/sec.

Solution:

From eq. (7.11)

$$k = \frac{QL}{Aht}$$

Given $Q = 350$ cm³, $L = 30$ cm, $A = 177$ cm², $h = 50$ cm, and $t = 5$ min, we have:

$$k = \frac{(350)(30)}{(177)(50)(5)(60)} = 3.95 \times 10^3 \text{ cm/sec}$$

Example 7.2

For a falling-head permeability test, the following values are given:

- Length of specimen $= 20$ cm
- Area of soil specimen $= 10$ cm²
- Area of standpipe $= 0.4$ cm²
- Head difference at time $t_0 = 50$ cm
- Head difference at time $t_{180 \text{ sec}} = 30$ cm

Determine the hydraulic conductivity of the soil in cm/sec.

Solution:

From Eq. (7.14),

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

We are given $a = 0.4$ cm², $L = 20$ cm, $A = 10$ cm², $t = 180$ sec, $h_1 = 50$ cm and $h_2 = 30$ cm

$$k = 2.303 \frac{(0.4)(20)}{(10)(180)} \log_{10} \left(\frac{50}{30} \right) = 2.27 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

1- عملية النضح Seepage Process

تم التطرق آنفاً في موضوع النفاذية الى مصطلح أساسي وهو معدل الجريان (Flow rate) والذي أمكن حسابه باستخدام قانون دارسي وكان أبسط صورة حيث أفترض أن الجريان يحدث بإتجاه واحد وهذا الجريان منتظم على كامل مساحة مقطع الجريان ، الا أن الحقيقة الجريان يحدث بعدت إتجاهات داخل التربة وإن مساحة المقطع العمودي غير منتظم على طول مسار الجريان ، بمعنى إن الجريان له صورة أكثر تعقيدا ، ولحل هذا التعقيد تظهر لنا معادلة تحل الظروف المحيطة بالجريان في أي نقطة داخل جسم التربة تسمى معادلة لابلاس *Laplace equation* وفق هذا المستوى من الدراسة التعقيد لم ينتهي لأن حل معادلة لابلاس بذاته معقد .

2-1 حلول معادلة لابلاس Laplace equation Solution

1- الطرق التحليلية (analytical methods) حلول معقدة ونتائجها مضبوطة الا انها مناسبة لأبسط النماذج من الظروف المحيطة بالجريان لذلك هي غير عملية واقعاً لكثير من المشاكل الهندسية .

2- الطرق العددية (numerical methods) تستخدم برامج متخصصة تسمى الموديلات وهذه في تطور مستمر وتعطي حلول وتصورات متعددة ربما تبدو أقرب الى الحقيقة وحالياً هي الطريقة الرئيسية لأغلب المشاكل الهندسية .

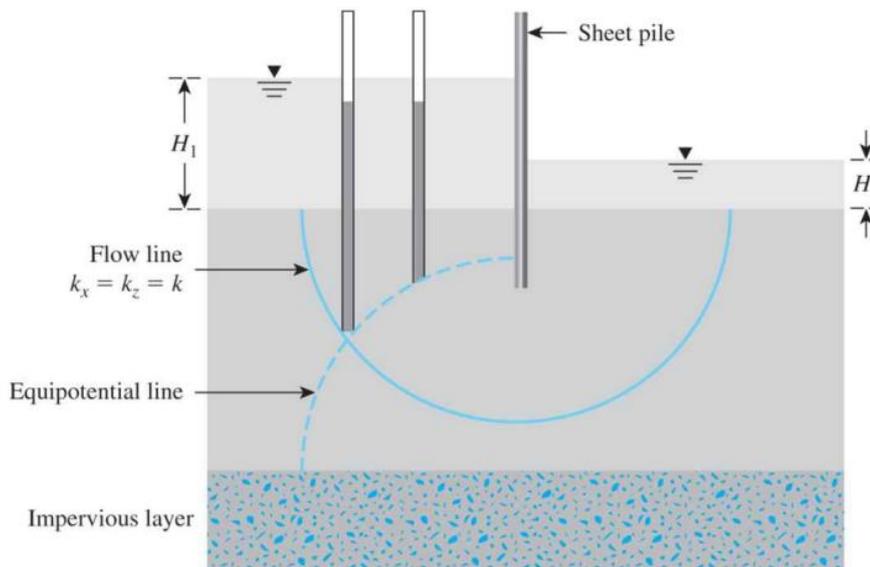
3- طرق الرسم (graphical methods) في هذه الطريقة نلجأ الى الحل البديل الأسهل لمعادلة لابلاس عن طريق رسم خطوط متقاطعة ومتعامدة في نقاط التقاطع على هيئة مربعات بمعنى ابعاد الطول والعرض تقريبااً متساوية تسمى شبكة الجريان (flow net)

3-1 شبكات الجريان Flow net

تتألف شبكة الجريان من نوعين من الخطوط :

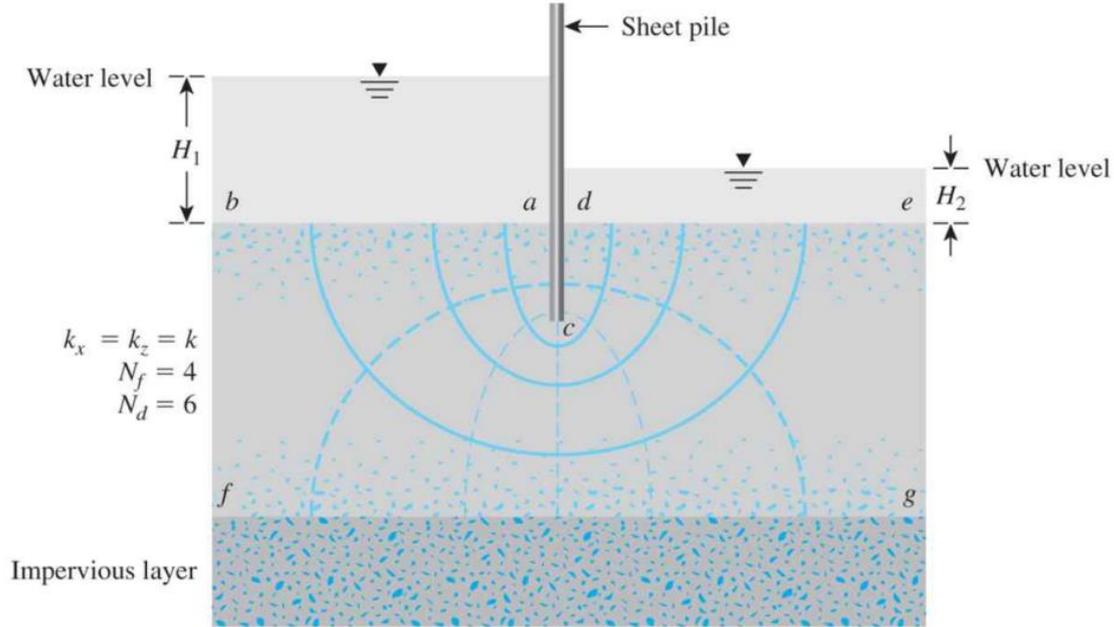
(a) خطوط الجريان (flow lines): وهي تمثل مسار انتقال المياه من مناطق الضغط العالي (upstream) الى مناطق الضغط الواطئ (downstream) في الوسط المسامي.

(b) خطوط تساوي الجهد (equipotential lines) : يكون ارتفاع عمود المياه (الجهد) متساوي عليها بمعنى عند حفر آبار على هذا الخط يكون إرتفاع الماء فيها جميعاً متساوي ، الشكل رقم (1).



الشكل رقم (1) خطوط الجريان وخطوط تساوي الجهد

الآن نبدأ برسم شبكة الجريان ، الشكل رقم (2) هنالك شرطين اساسيين هما : إن زوايا تقاطع خطوط الجريان وخطوط تساوي الجهد يجب أن تكون عمودية ، وخلايا الجريان (flow cells) هي تقريباً ذات أشكال مربعة (ملاحظة : أشكال خطوط الجريان رسمت بصورة دائرية أو بيضوية لم ترسم أعتباطاً بل تم من خلال مشاهدات عملية وبإستخدام صبغات استخدم فيها النموذج أعلاه لوحظ إن تصرف جزيئات الماء في حركتها تتبع مسارات محددة كما في الشكل رقم (2).



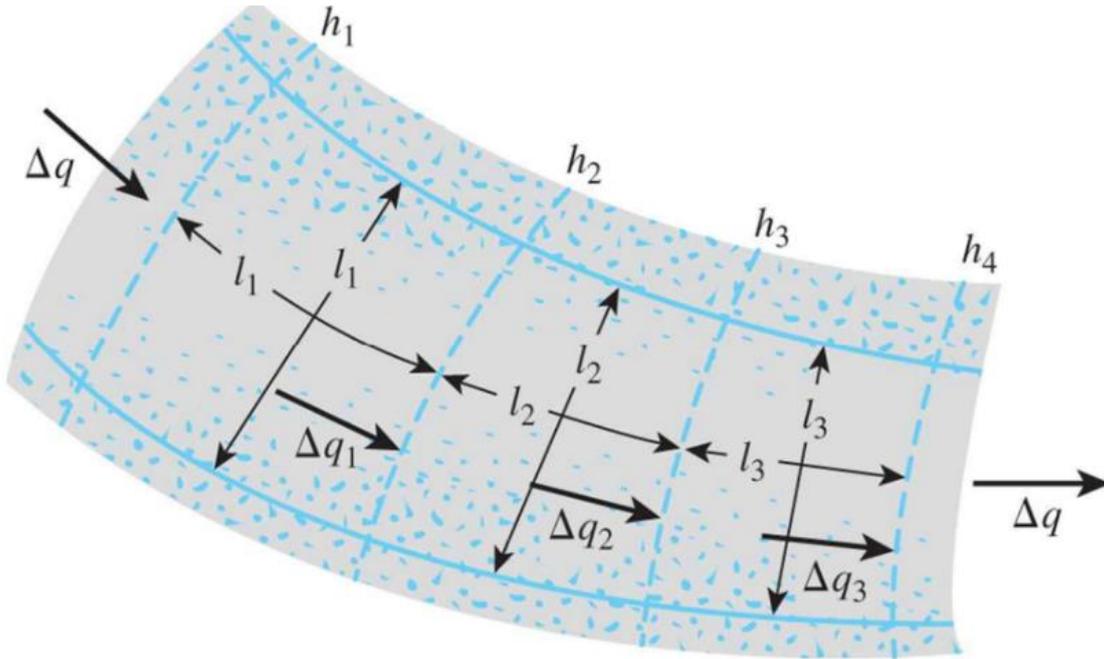
الشكل رقم (2) شبكة الجريان

*بالإضافة الى الشرطين اعلاة هناك ظروف محيطية (حدودية) (boundary conditions) تأخذ بنظر الاعتبار عند الرسم منها : (1) إن سطح الجهد العالي (ab) و سطح الجهد الواطئ (de) يمثل خط تساوي الجهد (equipotential lines) وبما انهما أعتبروا خطوط تساوي الجهد إذن لا بد أن تصنع خطوط الجريان زوايا عمودية معهما ، كذلك من الأعتبارات المهمة إن (3) الأسطح الخارجية للمنشاءات الهيدروليكية مثل (sheet pile or Dam) تمثل خط الجريان الأول يعني أول خط جريان بالشبكة هو الخط (acd) (4) آخر خط جريان هو سطح الطبقة غير المنفذة أسفل الشكل ، والذي تصنع معه خطوط تساوي الجهد زوايا تقاطع عمودية كذلك هذه الأربعة ظروف (boundary conditions) يجب أن تأخذ بنظر الأعتبار في حسابات كمية التسرب (seepage)

4-1 حسابات التسرب من شبكة الجريان Seepage Calculation from Flownet

في شبكة الجريان ، الشريط بين أي خطي جريان متجاورين تسمى قناة الجريان (flow channel). الشكل رقم (3) ، يظهر قناة الجريان ويكون فيها خطوط تساوي الجهد (equipotential lines) بهيئة قريبة إلى شكل المربعات مع خطي الجريان. يكون فيها h_1, h_2, h_3, h_4 مناسبة للمياة في الآبار المحفورة على طول خط الجريان . معدل الجريان في قناة الجريان بوحدة الطول (عمودي على المقطع العرضي خلال الطبقة المنفذة) ممكن أن يحسب كمايلي:

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3 = \dots = \Delta q \dots \dots \dots (10-1)$$



الشكل رقم (3) حساب التسرب من شبكة الجريان

من خلال معادلة دارسي (Darcy's flow) ، معدل الجريان يساوي ($q = kiA$) و عليه يمكن إعادة كتابة المعادلة بالصورة التالية:

$$\Delta q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{l_1} \right) l_1 = k \left(\frac{h_2 - h_3}{l_2} \right) l_2 = k \left(\frac{h_3 - h_4}{l_3} \right) l_3 = \dots \quad (10-2)$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = h_2 - h_3 = h_3 - h_4 = \dots = \frac{H}{N_d} \quad \dots \quad (10-3)$$

$$\Delta q = k \frac{H}{N_d} \dots \quad (10-4)$$

H = الفرق بين منسوب الماء بين (upstream و downstream)

N_d = عدد مرات الانخفاض بالجهد (number of drop)

واعتبار مساحة المقطع وحدة واحدة

المعادلة (10-4) تمثل معدل الجريان لقناة جريان واحدة ، في حالة حساب المعدل لجميع القنوات

للطبقة المنفذة تصبح المعادلة كمايلي:

$$q = k \frac{HN_f}{N_d} \dots \quad (10-5)$$

q = معدل التسرب

N_f = عدد قنوات الجريان

5-1 الميل الهيدروليكي Hydraulic gradient

عرفنا من المحاضرة السابقة أن الميل الهيدروليكي هو:

$$i = \frac{\Delta h}{l} \dots\dots\dots (10-6)$$

where,

$$\Delta h = \frac{H}{Nd}$$

بما إن الخلايا غير متساوية في الطول واقع الأمر يعني (l) متغير لذلك سوف يكون الميل الهيدروليكي غير ثابت ، عند هذه المرحلة نحن نحتاج اعلى إنحدار هيدروليكي ممكن (i_{maxum}) ويحصل هذا فقط عندما تكون (l) في أدنى قيمها (لأنها تمثل المقام في المعادلة 10-6) أعلاه ، وإن (l_{min}) تعرف على أنها المسافة العمودية (م) بين آخر خطين لتساوي الجهد في منطقة *downstream* وحسب مقياس الرسم المتوفر، لذا فإن :

$$i_{max} = \frac{\Delta h}{l_{min}} \dots\dots\dots (10-7)$$

OR,

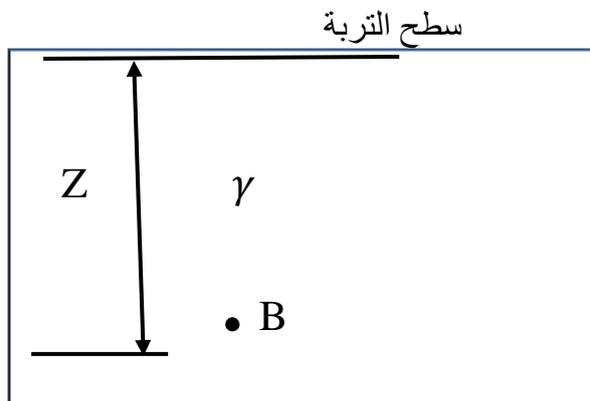
$$i_{exit} = \frac{\Delta h}{l_{exit}}$$

5-1 جهد التسرب و قوة التسرب Seepage stress and seepage Force

الأجهاد الفعال effective stress في نقطة معينة داخل جسم التربة على عمق معين (z) يرمز له (σ_z^-) ، الشكل رقم (4) ، ويحسب من :

$$\sigma_z^- = \sigma_z - u_z = \gamma * Z - \gamma_w * Z = Z (\gamma - \gamma_w) = \gamma^- * Z = \gamma_{submerge} * Z$$

σ_z^- = الأجهاد الفعال effective stress



الشكل رقم (4) الأجهاد الفعال عند نقطة معينة داخل التربة

قيمة الاجهاد الفعال اعلاة على اعتبار أن الماء ساكن ، وحيث إن التسرب يرافقة حركة ينتج عنها قوة تسرب وهي $(\gamma_w * i)$ هذه القوة تنتج إجهاد في التربة على عمق $(Z) = (\gamma_w * i * Z)$ لذا فإن الأجهاد الفعال سوف يكون :

$$\sigma_z^- = \gamma^- * Z \mp \gamma_w * i * Z \dots\dots\dots (10-8)$$

γ = wet density

Z = depth of point within soil عمق النقطة داخل التربة

γ_w = water density كثافة الماء

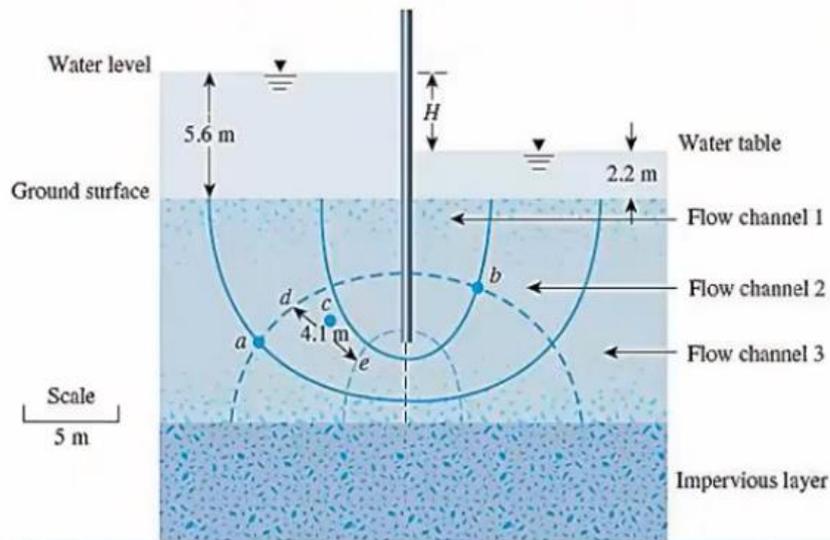
i = Hydraulic gradient الميل الهيدروليكي

من ملاحظة المعادلة (6-10) يتضح أن الأجهاد الفعال (σ_z^-) إما أن تحصل له زيادة (+) أو يحدث له نقصان (-) حسب إتجاه التسرب seepage إذا كان إتجاهه للأسفل تزداد قيمته (σ_z^-) أو للأعلى تقل قيمته (σ_z^-) .

Example 8.1

A flow net for flow around a single row of sheet piles in a permeable soil layer is shown in Figure (8.4). Given that $k = 5 \times 10^{-3}$ cm/sec, determine

- How high (above the ground surface) the water will rise if piezometers are placed at points *a* and *b*.
- The total rate of seepage through the permeable layer per unit length
- The approximate average hydraulic gradient at *c*.

**Solution: Part a**

From Figure (8.4), we have $N_d = 6$, $H_1 = 5.6$ m, and $H_2 = 2.2$ m. So the head loss of each potential drop is

$$H = H_1 - H_2 = 5.6 - 2.2 = 3.4 \text{ m}$$

$$\Delta h = \frac{H}{N_d} = \frac{3.4}{6} = 0.567 \text{ m}$$

At point *a*, we have gone through one potential drop. So the water in the piezometer will rise to an elevation of

$$(5.6 - 0.567) = \mathbf{5.033 \text{ m above the ground surface}}$$

At point *b*, we have five potential drops. So the water in the piezometer will rise to an elevation of

$$(5.6 - 5 \times 0.567) = \mathbf{2.765 \text{ m above the ground surface}}$$

Part b

From Eq. (8.4),

$$q = k \frac{HN_f}{N_d} = (5 \times 10^{-5})(3.4) \frac{2.38}{6} = 6.74 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$$

Part c

The average hydraulic gradient at *c* can be given as

$$i = \frac{\text{head loss}}{\text{average length of flow between d and e}} = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{0.567 \text{ m}}{4.1 \text{ m}} = 0.138$$

(Note: The average length of flow has been scaled)

نسبة التحمل الكاليفورني California Bearing Ratio (CBR)

الهدف: هي لتعريف الطالب طريقة تقييم نوعية طبقات التربة وطبقة الاساس وطبقة تحت الاساس

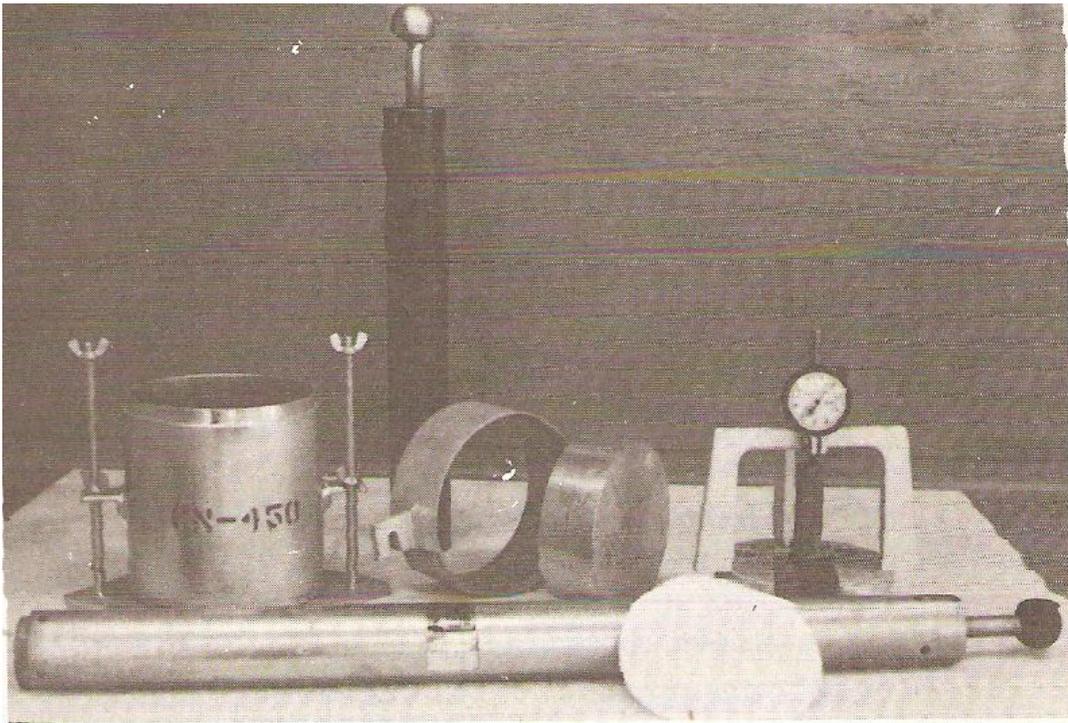
Pavement	(طبقة التبليط بالاسفلت)
Base Coarse	(طبقة الاساس)
Sub-base Coarse	(طبقة تحت الاساس)
Subgrade	(طبقة التربة)

Mold= 15.24cm diameter x 17.8cm height

Collar = 15.24 x 5cm

Compaction hammer = 4.5 kg

Compression machine = 19.35cm² and penetration rate = 0.127cm/min



ان فحص CBR هو قياس مقاومة قص التربة عند محتوى رطوبي معين وكثافة معينة. ان الفحص يعطي رقم نسبة التحمل وهو رقم غير ثابت بالنسبة لتربة معينة. ان هذا الرقم يستحصل كنسبة من وحدة القوة اللازمة لتغلغل مكبس مساحة مقطعه 19.35 سم^2 في نموذج محمول من التربة برطوبة معينه وكثافة و عمق معين الى وحدة قوة قياسية المطلوبة لاحداث نفس العمق من التغلغل في نموذج قياسي من الصخور المكسرة وكما مبين في المعدلة التالية:

$$CBR = \frac{\text{test unit load}}{\text{standard unit load}} * 100$$

من المعادلة يبين ان CBR هو نسبة مئوية من القوة القياسية. في الحياة العملية ان رمز النسبة المئوية يهمل والنسبة بكل بساطة تؤخذ كرقم مثل 3، 45، 98

ان وحدة القوة القياسية مع التغلغل القياسي مبينة في الجدول التالي

Penetration, cm التغلغل	Standard unit load, KN/m ² وحدة القوة القياسية
0.25	6910
0.50	10365
0.75	13129
1.0	15893
1.25	17966

ان CBR عادة يعتمد على التغلغل 0.25 سم ولكن اذا تبين ان قيمة CBR في حالة التغلغل 0.5 سم اكثر يجب ان يعاد الفحص واذا تبين ان قيمة CBR في الفحص الثاني اكثر مرة اخرى ففي هذه الحالة تعتمد قيمة CBR في حالة التغلغل 0.5 سم.

ان فحص CBR عادة يجرى على نماذج بمحتوى رطوبي مثالي وكثافة عظمى مستحصلة من فحص الحدل القياسي او المعدل ومن ثم استخدام الطريقة B او D من نظام الفحوصات ASTM بطاقة حدل معينة بموجب الجدول التالي:

Method	Blows	Layers	Hammer, kg
D698 B (fine-grained soil)	56	3	2.5
D698 D (Coarse-grained soil)	56	3	2.5
D1557 B (fine-grained soil)	56	5	4.54
D1557 D (Coarse-grained soil)	56	5	4.54

ان التغلغل في فحص CBR يتم بسرعة مقدارها 0.127 cm/min . ان القراءات للقوة مع التغلغل تؤخذ كل 0.0635 mm تغلغل الى ان نصل الى تغلغل كلي مقداره 0.5cm وبعد ذلك تؤخذ القراءات كل 0.25cm الى ان نصل الى نهاية الفحص في تغلغل كلي مقداره 1.25cm .

ان CBR يستخدم لتقدير انجاز التربة ابتداء لاستخدامها في طبقات التربة والاساس تحت التبليط للطرق والمطارات. ان الجدول التالي هو جدول لقيم ال CBR .

CBR	general rating التقدير العام		unified
0-3	Very poor	Subgrade	OH,CH,MH,OL
3-7	Poor to fair	subgrade	OH,CH,MH,OL
7-20	Fair	Subbase	OL,CL,ML,SC,SM,SP
20-50	Good	Base, subbase	GM,GC,SW,SM,SP,GP
>50	Excellent	Base	GW,GM

العمل المختبري:

- 1- يجلب 4.5 كلغم من التربة الناعمة المارة من منخل رقم 4 وتخلط التربة مع نسبة مثالية من المحتوى الرطوبي (بعد استخراجها في فحص الحدل المعدل) وتترك في كيس من النايلون او اناء محكم الغلق لكي تتوزع الرطوبة فيه بالتجانس قبل بداية الفحص.
- 2- يوضع القرص على قاعدة القالب المثقب من الاسفل وورقة من الفلتر ومن ثم القالب

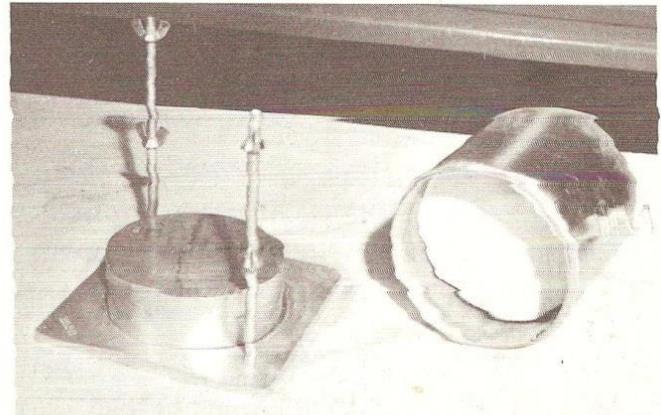


Figure 19-2

Place mold over 2-in. spacer disk on perforated baseplate and securely fasten to baseplate.

- 3- يتم الحدل تبعا لمواصفة ASTM D698 or D1557 بطريقة B او D للتربة المستعملة وكما يوجه المدرس ويؤخذ نموذج قليل من التربة المتبقية لغرض فحص الرطوبة.
- 4- يزال النموذج ويسوى بملئ الفراغات الناقصة ومن ثم يوزن لايجاد الكثافة الرطبة وكما في الصورة اعلاه.

5- يوضع في ماكينة فحص الانضغاط وكما في الصورة التالية

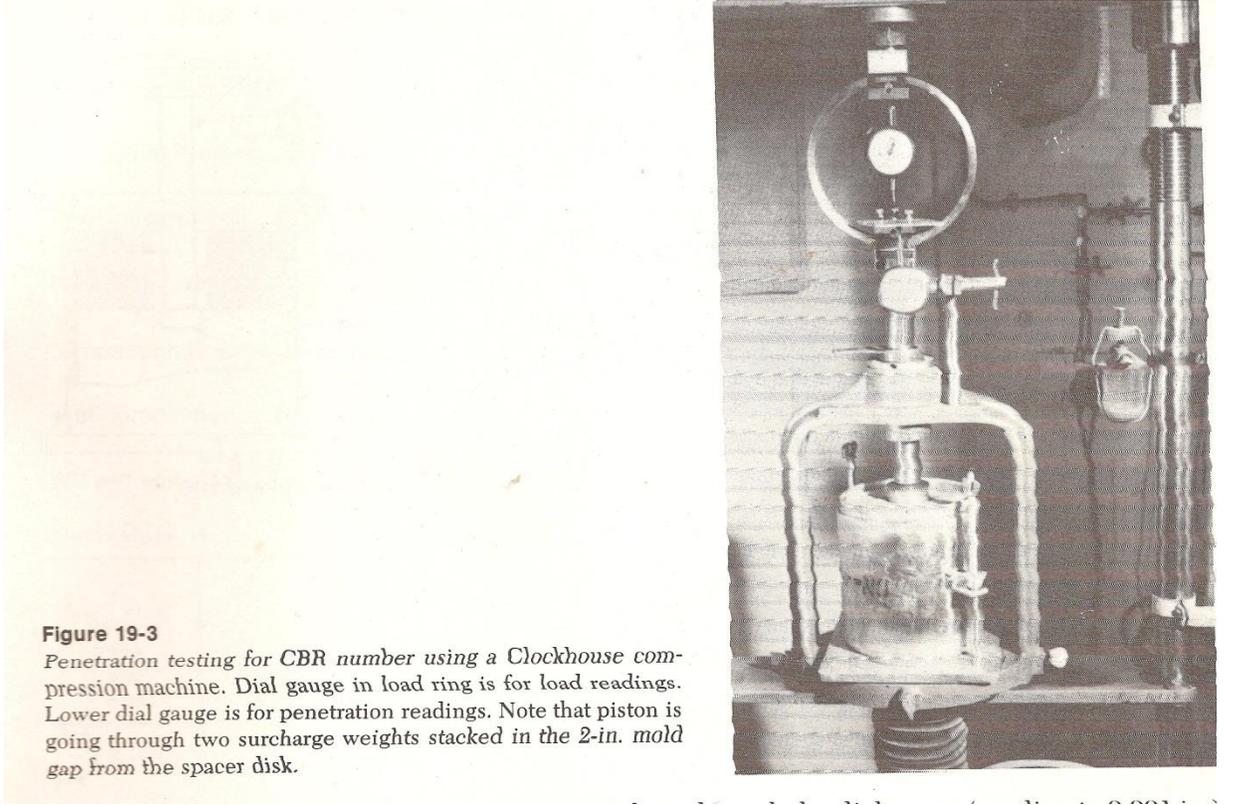
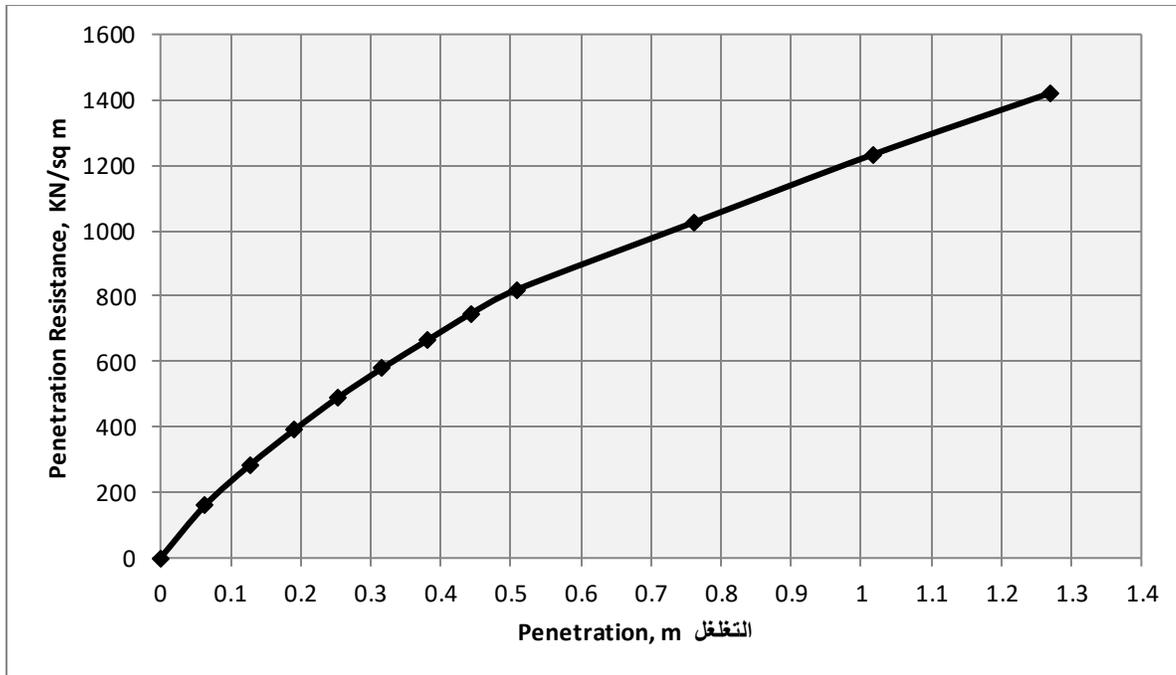


Figure 19-3

Penetration testing for CBR number using a Clockhouse compression machine. Dial gauge in load ring is for load readings. Lower dial gauge is for penetration readings. Note that piston is going through two surcharge weights stacked in the 2-in. mold gap from the spacer disk.

6- يتم اخذ القراءات وكما في الجدول التالي:

Penetration, cm	Load, kN/m ²	CBR
0	0	
0.0635	160.5	
0.127	282.7	
0.190	389.8	
0.250	491	7.1
0.317	580.4	
0.381	665.4	
0.444	747.6	
0.50	819.5	7.9
0.75	1026	
1.00	1232	
1.25	1420.6	



$$\text{CBR} = \frac{491}{6910} * 100 = 7$$

To determine the California Bearing Ratio value of the subgrade soil.

APPARATUS:

Loading machine-any compression machine can operate at constant rate of 1.25mm per minute can be used. Cylindrical moulds- moulds of 150mm diameter and 175mm height provided with a collar of about 50mm length and detachable perforated base. Compaction rammer, surcharge weight- annular weights each of 2.5kg and 147mm diameter. IS sieve 20mm, Coarse filter paper, balance etc.

THEORY:

The California Bearing Ratio(CBR) test was developed by the California Division of Highways as a method of classifying and evaluating soil- subgrade and base course materials for flexible pavements. CBR is a measure of resistance of a material to penetration of standard plunger under controlled density and moisture conditions. CBR test may be conducted in remoulded or undisturbed sample. Test consists of causing a cylindrical plunger of 50mm diameter to penetrate a pavement component material at 1.25mm/minute. The loads for 2.5mm and 5mm are recorded. This load is expressed as a percentage of standard load value at a respective deformation level to obtain CBR value.

PROCEDURE:

Sieve the sample through 20mm IS sieve. Take 5kg of the sample of soil specimen. Add water to the soil in the quantity such that optimum moisture content or field moisture content is reached. Then soil and water are mixed thoroughly. Spacer disc is placed over the baseplate at the bottom of mould and a coarse filter paper is placed over the spacer disc. The prepared soil water mix is divided into five. The mould is cleaned and oil is applied. Then fill one fifth of the mould with the prepared soil. That layer is compacted by giving 56 evenly distributed blows using a hammer of weight 4.89kg. The top layer of the compacted soil is scratched. Again second layer is filled and process is repeated. After 3rd layer, collar is also attached to the mould and process is continued. After fifth layer collar is removed and excess soil is struck off. Remove base plate and invert the mould. Then it is clamped to baseplate.

Surcharge weights of 2.5kg is placed on top surface of soil. Mould containing specimen is placed in position on the testing machine. The penetration plunger is brought in contact with the soil and a load of 4kg(seating load) is applied so that contact between soil and plunger is established. Then dial readings are adjusted to zero. Load is applied such that penetration rate is 1.25mm per minute. Load at penetration of 0.5,1,1.5,2,2.5,3,4,5,7.5,10 and 12.5mm are noted.

Standard Load Values

Penetration(mm)	Standard Load(kg)	Unit Standard Load(kg/cm ²)
2.5	1370	70
5	2055	105
7.5	2630	134
10.0	3180	162
12.5	3600	183

RESULT:

California Bearing Ratio at 2.5mm penetration =

California Bearing Ratio at 5.0mm penetration =

California Bearing Ratio of subgrade soil =

OBSERVATION:

Weight of soil taken =

Weight of surcharge =

**CALIFORNIA BEARING RATIO
STRESS - PENETRATION CURVE**

Project: EXAMPLE		Location: Springfield, Virginia	
Project Number: B23234			
Sample Location: B13 S1 - Bulk			
Description of Soil: Light brown silty SAND			
* Sample compacted according to AASHTO T.99 Surcharge = 125 psf			
TEST RESULTS		AS MOLDED	AFTER SOAK
Dry Unit Weight (pcf)		105.3	105.3
Moisture Content (%)		14.8	18.6
Percent Compaction		93.5	93.5
Percent Swell		---	0.9
CBR at 0.1"		5.6	
CBR at 0.2"		6.2	

