## المحـــــــــــــــــاضرة الاولى والثانيـــــــــــــــــة

### الامتحان القبلي

**١.ماهو تعريف التربة بصورة عامة ؟**

**٢.لماذا الاهتمام بموضوع ميكانيك التربة ؟**

**٣.كيف تتكون التربة ؟**

**٤.عدد انواع الصخور وما هي صفاتها ؟**

---

**الموضوع**:- ( تعريف التربة _ اصلها وتكوينها _تصنيفها حسب وجودها في الطبيعة)

- ما المقصود **بالتربة( soil) ؟**

للتربة تعاريف عدة كل منها يعتمد على الاساس الذي تعرف التربة لاجله

١) التربة (من الناحية الزراعية ):
هي الطبقة التي يتمكن النبات من النمو قيها (تصلح لانبات النبات).

٢) التربة (من الناحية الجيولجية ):
هي الطبقة الرخوة الناعمة الناتجة من عملبات التعرية والتجويه الطبيعية والكيمياوية والفيزياوية للصخور والغير منقولة من اماكن تكوينها.

٣) التربة (من الناحية الهندسية ):
هي الطبقة الرخوة الناعمة الخارجة من القشرة الارضية والتي تغطي طبقة الصخور بغض النظر ان كانت منقولة او غير منقولة من اماكن تكوينها والتي تستخدم في الاعمال الهندسية .

---

## (لماذا الاهتمام بالتربة )

هنالك عدة اسباب تجعلنا نهتم بدراسة التربة منها :-

١)التربة هي من اهم المواد الاولية المستخدمة في صناعة المواد الانشائية مثل ..

الطابوق الطيني –الطابوق الجيري –السمنت .....الخ .

٢)تستعمل كمادة بنائية كما في تبليط الطرق –بناء السدود الركامية .

٣)تعتبر التربة اساس لكافة انواع المنشاة المدنية كالابنية ،الطرق ، المطارات ،السدود ،حيث ينتقل الثقل المسلط من المنشات الى طبقة الصخور من خلال التربة.

لذا اهتم المهندسون بدراستها والتعرف على خواصها الهندسية .

- كيف تتكون **التربة** :-

تتكون التربة نتيجة تفتت صخور طبقة القشرة الارضية نتيجة تعرضها لمؤثرات مختلفة مثل (الامطار ،الثلوج ،الرياح،البراكين ، الانفجارات،امتداد الجذور ، احياء مجهرية ،....الخ من العوامل المؤثرة ).

هذه المؤثرات تدعى عوامل (تجويه) منها الفيزياوية – الكيمياوية –والطبيعية .

وهذه الصخور التي تتكون منها التربة تكون على انواع منها : _

١) الصخور النارية **igneous rocks**

وهي التي تتصلب من الحمم البركانية المنصهرة ،وتتصلب في باطن الارض او على السطح .وتعد تلك الصخور المصدر الاساسي لبقية الانواع حيث تغطي حوالي ٢٥%من سطح الارض ،ويمثل الصوان granite احد انواع هذه الصخور .

٢) الصخور الرسوبية **sedimentary rocks**

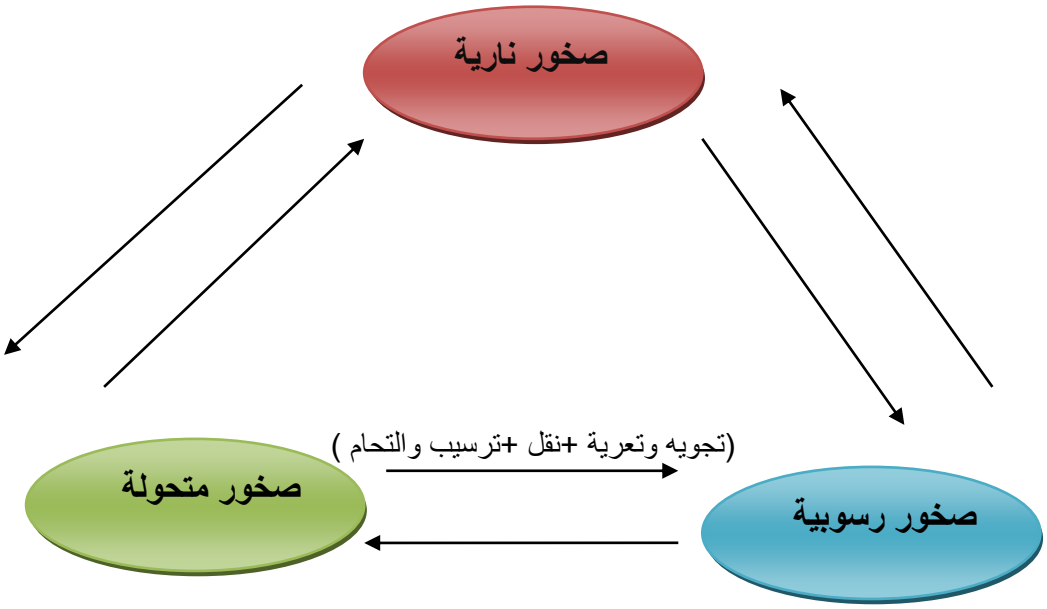
وهي التي ترسبت من صخور اقدم بسبب عوامل التعرية ،وتكون تلك الصخور حوالي ٧٥% من سطح الارض .وتتوزع الصخور الرسوبية على منطقة واسعة في كل العالم .فمثلا جبال الهملايا تتكون من صخور رسوبية ،وغالبية تربة العراق هي تربة رسوبية .ولتلك الصخور اهمية اقتصادية كبيرة وذلك لتواجد المياه الجوفية والنفط والغاز الطبيعي في مساماتها .

٣) الصخور المتحولة **metamorphic rocks**

وهي التي تتكون من النوعين السابقين من الصخور او الصخور المتحولة القديمة نتيجة تاثيرها بالضغط والحرارة و المرمر _marble مثال على هذا النوع من الصخور .

ويمثل الشكل (١-١)
كيية تحول احد انواع الصخور الى الانواع الاخرى بتاثير العوامل المختلفة .

شكل (١-١)




- **تصنيف التربة حسب وجودها في الطبيعة**

يمكن تقسيم التربة حسب وجودها في الطبيعة ثلاث انواع :-

١) التربة الغير المنقولة **(Residual soil )**

وهي التربة الي تتكون بواسطة التجوية الطبيعية (حرارة ،امطار ،....)وتبقى في اماكنها لاتنتقل بعد التكون .

٢) التربة المنقولة (الرسوبية) **(Sedimentary soil )**

وهي التربة التي تكونت بفعل عوامل التجويه الكيمياوية او الفيزياوية للصخور ثم انتقلت الى اماكن اخرى بطرق مختلفة منها(الماء ،الهواء ،الثلج،الجاذبية

،العوامل الحياتية ) بعدها تترسب في اماكن مختلفة كما ان طرق الانتقال هذه تؤثر بالتالي على (شكل الحبيبات shape،حجمهاsize ،تصنيفهاtexture ).

**٣)** تربة الاملائيات (الدفن) **(Fill soil)**

وهي التربة التي تتكون بتدخل العامل البشري حيث يختار الانسان نوع التربة التي يحتاجها وتنقل بواسطة عربات خاصة وقد تحدل او تترك كما هي .

- **تركيب التربة**

تتكون التربة بصورة عامة من :-

١. دقائق معدنية صلبة (ناتجة من تفتت الصخور )
٢. الماء في مختلف الحالات
٣. الشوائب الغازية (من الجو)
٤. المركبات العضوية (من تفسخ الاحياء)

---

## صفات التربة الطبيعية

التربة من المواد المعقدة التركيب كما ان صفاتها وخصائصها حساسة جدا لاي تغيير يطرا عليها ويمكن تلخيص ذلك بما يلي

١. لاتملك علاقة خطية ثابتة للجهد مع الاجهاد كما في الكونكريت _الحديد ولايمكن التحكم بخواصها كما يحصل مع المواد المصنعة .
٢. يختلف تركيب التربة في المنطقة الواحدة في المواقع المختلفة وفي الاعماق المختلفة .
٣. التربة حساسة جدا لاي اضطراب ناتج عن حدوث اهتزاز مثل (انفجار _هزة ارضية _تسرب ماء _حتى لاخذ النماذج ).
٤. التربة موجودة في منطقة لايمكن مشاهدتها باستمرار ومراقبة خصائصها الاباخذ نماذج واجراء الفحوصات والتي تقسم الى قسمين :-

١.فحوصات للتعرف على نوعية التربة وتصنيفها .
٢.فحوصات للتعرف على خصائص التربة الهندسية .

اولا:-الفحوصات الاولي ويتم التعرف على نوعية التربة وتصنيفها اعتمادا على حجم ذرات التربة والانواع الرئيسية للتربة هي
(الحصى gravle –الرملsand –الغرينsilt –الطينclay ).
ثانيا :-اما فحوصات الخصائص الهندسية فتشمل

| | |
|---|---|
| ١.تحمل التربة | bearing capacity |
| ٢.تماسك التربة | cohesion |
| ٣.الهبوط | settlement |
| ٤.الانتفاخ | swelling |
| ٥.التغير في الشكل | deformation |
| ٦.القص | |
| ٧ الرص | (compaction) |
| ٨.الاندماج | |

## الامتحان البعدي :-

**١ .ماهو التعريف الهندسي للتربة ؟**

**٢.ماهي العوامل التي تؤدي الى تكوين التربة ؟**

**٣.وضح برسم تخطيطي دورة الصخور في الطبيعة ؟**

**٤.ماهو تصنيف التربة حسب وجودها في الطبيعة ؟**

# المحاضرة التاسعـــــة

**(حدود اتربرغ)**

## السؤال القبلي:-

**س١ـ ماهو تأثير الرطوبة على خواص التربة ؟**

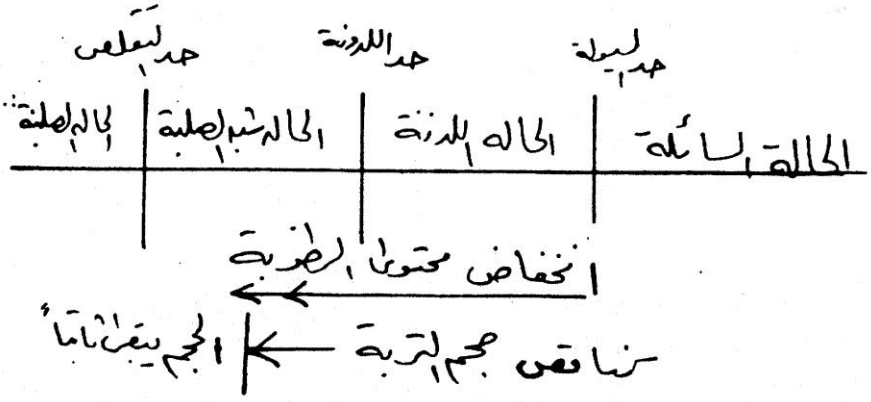
**س٢ ـ ماهو تأثير زيادة الرطوبة على خواص كل من الطين والرمل ؟**

# لدونة التربة وحدود اتربيرغ

# Soil Plasticity & Atterberg's limits

تختلف خواص التربة الناعمة (وخصوصاً الطين) كثيراً باختلاف محتوى الرطوبة ، فيكون الطين بشكل سائل liquid او يكون صلباً جداً (قاسياً – stiff) وذلك اعتماداً على محتوى الرطوبة.

اذا تم مزج التربة بنسبة كبيرة من الماء فانها تكون بحالة سائلة . وعندئذٍ لاتظهر التربة أية مقاومة ضد المؤثرات الخارجية وتكون مقاومة القص صفراً. واذا تناقص محتوى الرطوبة تدريجياً فان التربة تبدأ بامتلاك بعض المقاومة ، وهكذا تزداد المقاومة مع تناقص الماء. واعتماداً على نسبة الماء الموجودة في التربة فإن هناك حدوداً فاصلة بين حالات التربة تسمى حدود اتربيرغ Atterberg's limits ، وهي حدود فاصلة بالنسبة لمحتوى الرطوبة خاصة بالتربة المارة من منخل رقم ٤٠ ، وتشمل تلك الحدود كلاً من حد السيولة liquid limit وحد اللدونة plastic limit وحد التقلص shrinkage limit ، والمخطط في الشكل رقم (٤ – ١) يوضح العلاقة بين تلك الحدود.



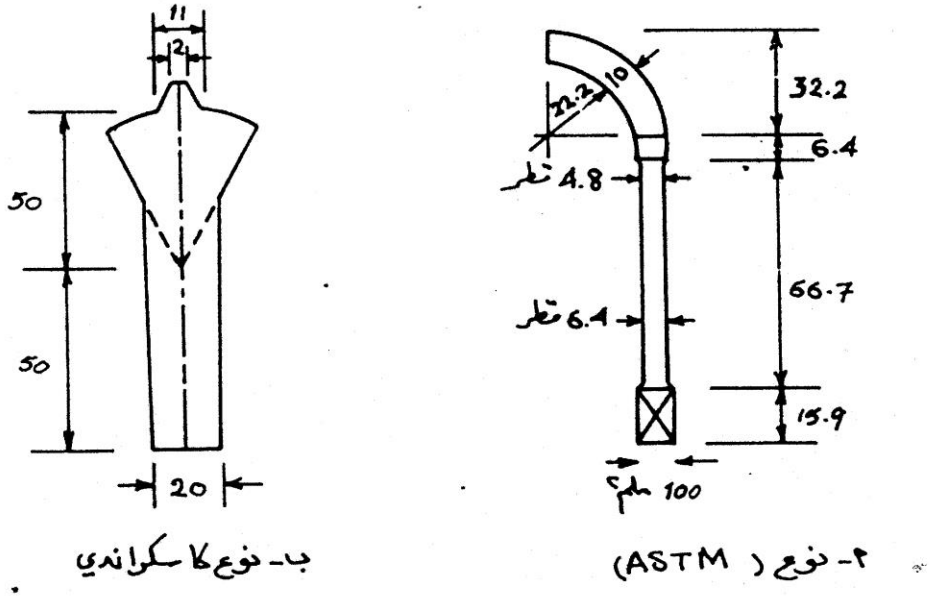

شكل (٤–١) العلاقة بين حدود اتربيرغ للتربة

## ٤ – ١ – ١ – حد السيولة liquid limit

وهو محتوى الرطوبة الذي يفصل بين حالة التربة السائلة والحالة اللدنة ، وتظهر التربة هنا مقاومة قص قليلة. ويعرف ايضاً بانه محتوى الرطوبة الذي يمكن عنده غلق شق قياسي بتلامس جانبيه لعينة تربة موضوعة في صحن جهاز كاسكراندي Casagrande liquid limit device وعندما يتم التلامس بمسافة اكبر من ١٣ ملم وعند ٢٥ ضربة من جهاز الفحص ، ويرمز لحد السيولة بالرمز (LL). تستخدم هنا عينة من التربة بوزن (١٥٠ – ٢٠٠) غم وتمزج مع الماء المقطر حيث يسجل عدد ضربات الجهاز لكل محاولة ، ويحسب محتوى الرطوبة. وتجرى التجربة عادة لاربع محاولات على الاقل. والشكل رقم (٤ – ٢) يوضح رسماً تخطيطياً لجهاز الفحص.

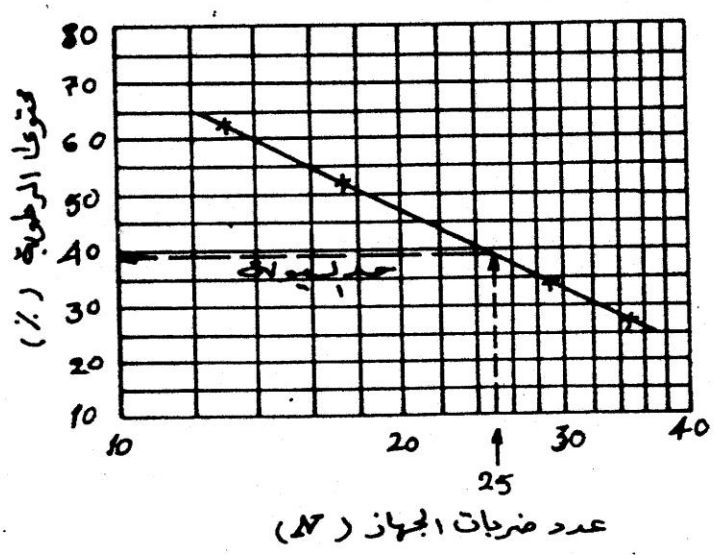
شكل (٤-٢) جهاز كاسكراندي لفحص حد السيولة

ويعد الفحص مقبولاً اذا كان عدد الضربات التي تم الحصول عليها خلال التجربة بين ١٠ و ٤٠ ضربة لعينات الفحص بمحاولاته الاربع. وتستخدم أداة قطع قياسية لاحداث الشق القياسي في العينة ، والاداة على نوعين وكما موضح في الشكل رقم (٤ – ٣).




شكل (٤-٣) أداة استحداث الشق القياسية

تثبت قراءات التجربة في جدول وتشمل عدد الضربات N للجهاز ومحتوى الرطوبة $W_c$ المقابل لكل محاولة ، ثم ترسم القراءات على ورقة نصف لوغارتمية. يتم رسم عدد الضربات على المحور الافقي وبمقياس لوغارتيمي بينما يرسم محتوى الرطوبة على المحور العمودي وبمقياس طبيعي. وتثبت النقاط التي تم الحصول عليها خلال التجربة ويمرر بها خط مستقيم ويسمى هذا الشكل بمنحني السيولة flow curve وكما في الشكل رقم (٤ – ٤). ويطلق على ميل الخط المستقيم تسمية دليل السيولة flow index. ويحسب حد السيولة من المنحني وذلك بتقاطع عدد الضربات الذي يساوي ٢٥ ضربة مع الخط المستقيم ثم يسجل محتوى الرطوبة المقابل لها حيث يمثل حد السيولة.




شكل (٤-٤) منحني السيولة

ويمكن استخدام معادلة منظمة الجيش الامريكي (١٩٤٩ – waterways Enperiment station)) لحساب حد السيولة من محاولة واحدة فقط في جهاز الفحص وحسب المعادلة التالية :

$$LL = \omega_n \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{حد السيولة} \quad \ldots (٤ - ١)$$

حيث :

$\omega_n$ محتوى الرطوبة

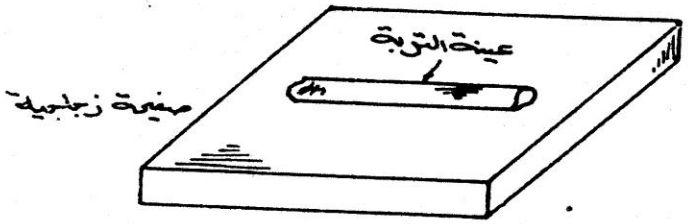
N عدد ضربات الجهاز المقابل لمحتوى رطوبة يساوي $\omega_n$ على شرط ان تكون قيم N من ٢٠ الى ٣٠ عند تطبيق المعادلة.

## ٤ – ١ – ٢ – حد اللدونة Plastic limit

وهو محتوى الرطوبة الذي يفصل بين حالة التربة اللدنة وحالتها عندما تكون شبه صلبة. وحد اللدونة كقيمة أقل من حد السيولة ، وفي هذه الحالة تمتلك التربة لدونة قليلة. ويعرف حد اللدونة على انه محتوى الرطوبة الذي تبدأ عنده التربة بالتشقق عندما تدحرج على شكل خيط قطره حوالي ٣ ملم. ويرمز لحد اللدونة بالرمز (PL). ويتم حساب حد اللدونة

بدحرجة عينة من التربة على صفيحة زجاجية جافة بحيث تصبح العينة على شكل خيط بقطر 3ملم والى ان تبدأ بالتشقق حيث تكون التربة عندئذٍ بمحتوى رطوبة يساوي حد اللدونة.

اما اذا تقطعت خيوط التربة بقطر اقل من 3 ملم فان محتوى الرطوبة اكبر من حد اللدونة وفي هذه الحالة يجب تجفيف العينة قليلاً بعجنها بين الاصابع عدة مرات ثم اعادة التجربة. وفي حالة تقطع خيوط التربة بقطر اكبر من 3 ملم فان محتوى الرطوبة اقل من حد اللدونة ويجب أضافة قليلاً من الماء المقطر وعجن العينة واعادة التجربة ثانية. والشكل رقم (٤ – ٥) يوضح كيفية إجراء الفحص.

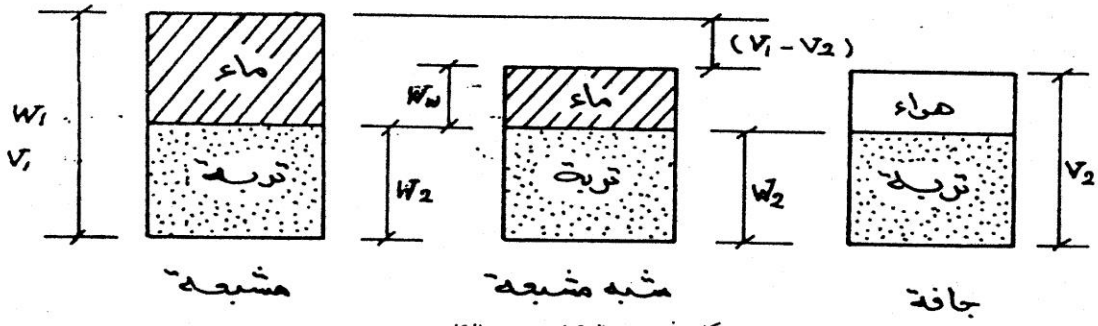



شكل (٤–٥) فحص حد اللدونة

**Shrinkage limit**

**٤ – ١ – ٣ – حد التقلص**

يعرف حد التقلص بانه محتوى الرطوبة لعينة من تربة مشبعة لايحدث بعده نقصان في الحجم بسبب التجفيف. ويتم اجراء الفحص وذلك بقياس وزن وحجم العينة خلال عملية التجفيف، وتستخدم طريقة الازاحة بالزئبق لحساب الحجم. ويمكن تلخيص نظرية الفحص في الشكل رقم (٤– ٦)، ويرمز لذلك الحد بالرمز (SL).




شكل (٤–٦) نظرية فحص حد التقلص

ثم يحسب حد التقلص من المعادلة التالية :

$$SL = \frac{(W_1 - W_2) - \gamma_w \times (V_1 - V_2)}{W_2}$$

$$SL = \frac{W_w}{W_2}$$

**١. معامل اللدونة** **Plasticity index**

وهو محتوى الرطوبة الذي تكون عنده التربة لدنة ويساوي الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة ويرمز له بالرمز (PI) ويسمى ايضاً مؤشر اللدونة او دليل اللدونة :

معامل اللدونة : $PI = (LL - pL)$ ... (٤ – ٤)

٢ . معامل السيولة liquidity index

يحدد معامل السيولة حالة التربة بالنسبة لمحتوى الرطوبة الطبيعي ومقارنته بكل من حد السيولة وحد اللدونة ، ويستفاد منه في تحديد قوام التربة consistency ويرمز له بالرمز (LI) :

$$\text{معامل السيولة : } LI = \frac{(W_c - PL)}{PI} \quad \ldots\ldots(٤-٦)$$

حيث يمثل ($W_c$) محتوى الرطوبة الطبيعي للتربة. عندما يكون معامل السيولة يساوي (١) فان محتوى الرطوبة يساوي حد السيولة ، بينما يكون معامل السيولة يساوي (صفر) عندما يكون محتوى الرطوبة يساوي حد اللدونة.

## السؤال البعدي:-

**س١ - أجب( بنعم) أو(لا) وصحح الخطأ أن وجد في كل مما يأتي :**

**١- قيمة حد السيولة لأية تربة هي أكبر من حد اللدونة.**

**٢- للرمل معامل لدونة اكبر من الطين .**

**٣- معامل السيولة للتربة يساوي صفرعندما يكون محتوى الرطوبة لها يساوي حد اللدونة .**

**٤- حد السيولة هو محتوى الرطوبةالذي يمكن عندهغلق شق قياسي لعينة من التربة في جهاز فحص حد السيولة وعند ١٥ ضربة من الجهاز .**

١- احسب معامل اللدونة لتربة ناعمة ذات حد سيولة ٢٢٪ وحد لدونة ٩٪ ، ثم عين حالة تماسكها اعتماداً على الجدول رقم (٤- ٦).

الحل

معامل اللدونة (PI)= حد السيولة (LL)- حد اللدونة (PL)

$PI = (٢٢٪ - ٩٪)$

$PI = ١٣٪$

ومن جدول (٤- ٦) يتبين بان التربة متماسكة.

٢- تربة طينية لها حد سيولة ٦٠٪ وحد لدونه ٢٥٪ ، فاذا كان محتوى الرطوبة يساوي ٣٥٪ احسب معامل اللدونة ومعامل السيولة.

الحل

معامل اللدونة= حد السيولة- حد اللدونة

$PI = (٦٠٪ - ٢٥٪)$

$PI = ٣٥٪$

$$\text{معامل السيولة} = \frac{W_c - PL}{PI}$$

$$LI = \frac{(٣٥٪ - ٢٥٪)}{٣٥٪}$$

$LI = ٠,٢٩$

٣- اثناء تجربة حد السيولة لتربة طينية سجلت المعلومات التالية :

| محتوى الرطوبة (٪) | ٣٥ | ٤٦ | ٦٥ | ٨٢ |
|---|---|---|---|---|
| عدد ضربات الجهاز | ٣٩ | ٣٢ | ٢٢ | ١٦ |

احسب مايلي

١. حد السيولة من الرسم.

٢. دليل السيولة.

٣. معامل اللدونة ، اذا علمت بان حد اللدونة يساوي ٢٨٪.

الحل

١. يرسم منحني السيولة ويحسب حد السيولة من الرسم في الشكل (٤-١٣) : (LL) حد السيولة = ٥٨٪ .

٢. يمثل دليل السيولة (FI) ميل منحني السيولة في الشكل (٤-١٣) :

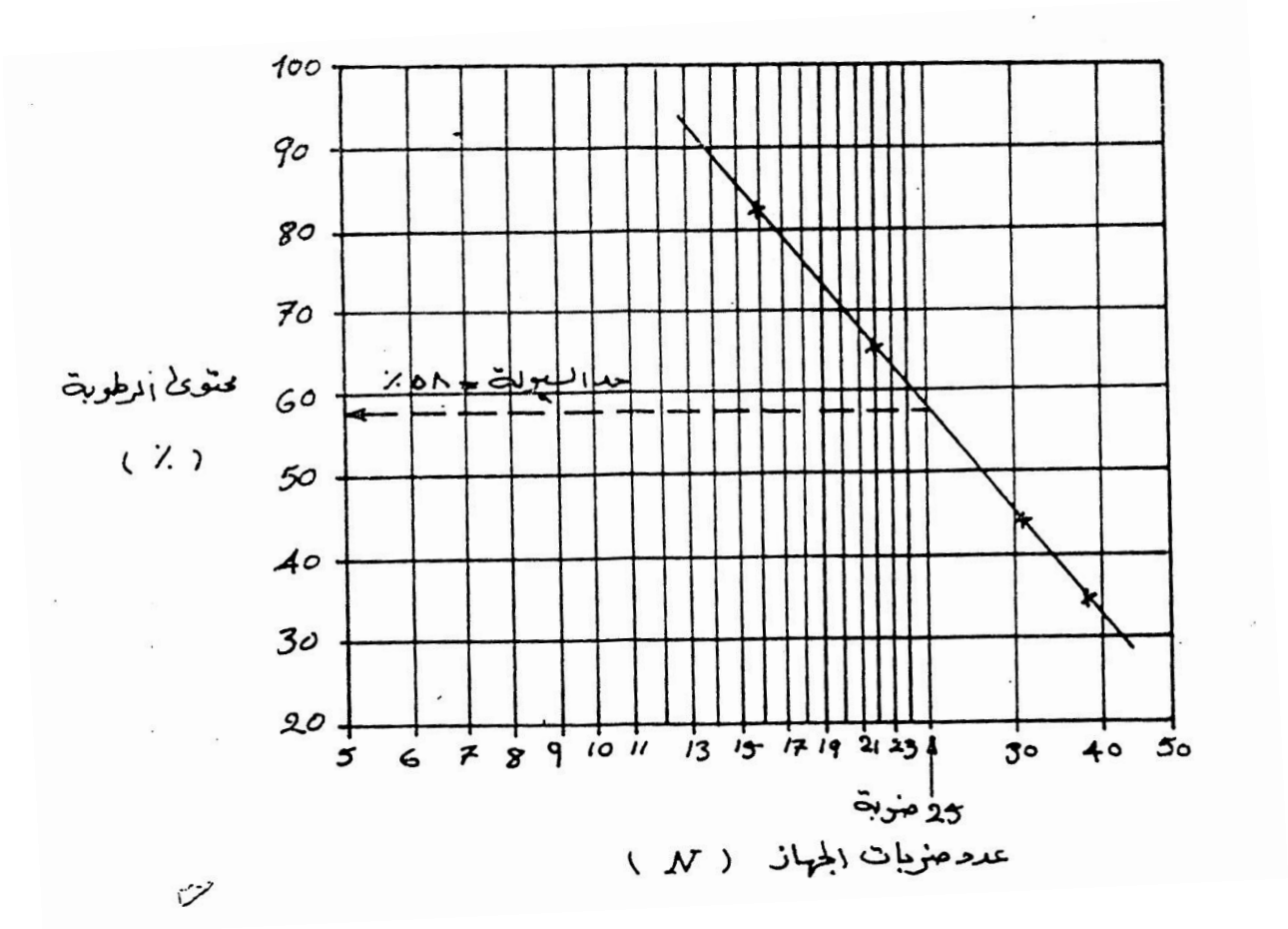
$$\text{دليل السيولة} = \frac{(\text{٨٢٪} - \text{٣٥٪})}{(\text{لوغاريتم ٣٩} - \text{لوغاريتم ١٦})}$$

$$FI = \text{١٢١,٤٦٪}$$

٣. معامل اللدونة (PI) = حد السيولة (LL) – حد اللدونة (PL) .

$$PI = (\text{٥٨٪} - \text{٢٨٪})$$

$$PI = \text{٣٠٪}$$



**المحاضرة الثالثة عشر**

# نفاذية التربة

يمكن تعريف نفاذية اي مادة بانها مدى سهولة مرور الموائع خلال تلك المادة ويتم ذالك عبر الفجوات التي تحتويها المادة والتي تكون عادة متصلة مع بعضها

نفاذية التربة : عبارة عن قابلية التربة لامرار السوائل عبر المسامات التي تحتويها والتي تشكل شبكة من القنوات الصغيرة داخل جسم التربة تعتمد بدرجة كبيرة على نوعيتها فالتربة الخشنة عالية النفاذية بينما تكون التربة الناعمة كالطين ذات نفاذية واطئة جدا .

## العوامل المؤثرة على نفاذية التربة :

١- حجم الحبيبات :تزداد نفاذية التربة بزيادة حجم الحبيبات وذلك لزيادة حجم الفراغات الموجودة في كتلتها.

٢- نسبة الفراغات : تزداد نفاذية التربة بزيادة نسبة الخلل (اي الفراغات):

٣- خواص الماء النافذ :تتاثر النفاذية بتغير كثافة الماء ولزوجته حيث تزداد النفاذية بزيادة الكثافة وتقل بزيادة اللزوجة .

٤- ترتيب حبيبات التربة : تختلف نفاذية التربة بالاتجاهين الافقي والعمودي نتيجة لاختلاف ترتيب الحبيبات كما تتغير النفاذية عند تخلخل التربة .

٥- وجود الهواء والمواد العضوية : ان وجود الهواء والمواد العضوية في فراغات التربة تعمل علي اعاقة مرور الماء وتقليل النفاذية .

٦- درجة الاشباع : تزداد نفاذية التربة بزيادة درجة الاشباع وذلك لزيادة الماء في فراغاتها وتناقص الشد السطحي فيها .

# قـيـــــــاس النفاذية

يتم قياس النفاذية للتربة بعدة طرق وتشمل

١- طرق مختبرية وتشمل

أ- طريقة شحنة الماء الثابتة .

ب- طريقة شحنة الماء المتغيرة .

٢- طرق قياس النفاذية في الموقع وتشمل حالتين :

أ- المكمن المائي المحصور .  ب- المكمن المائي الغير محصور .

# المحاضرة الثالثـــــــــة

## الامتحان القبلي:

١.مالمقصود بمسامية التربة ،نسبة االفراغات،درجة الاشباع؟

# مكونات التربة والعلاقات الفيزياوية بينها

# Soil Constituents & their Physical relations

### ٢ – ١ – حالات التربة

تتكون كتلة التربة من ثلاثة عناصر هي:

**١. المادة الصلبة** Solid

وتشمل حبيبات التربة Soil grains المكونة من معادن صخرية اضافة الى المعادن الطينية. ويدخل ضمن المادة الصلبة ايضاً الماة الرابطة بين الحبيبات وكذلك المواد العضوية أذا كانت موجودة.

**٢. المادة السائلة** liquid

غالباً مايمثل الماء الموجود في فراغات التربة المادة السائلة في الكتلة. وقد يوجد النفط او الغاز السائل.

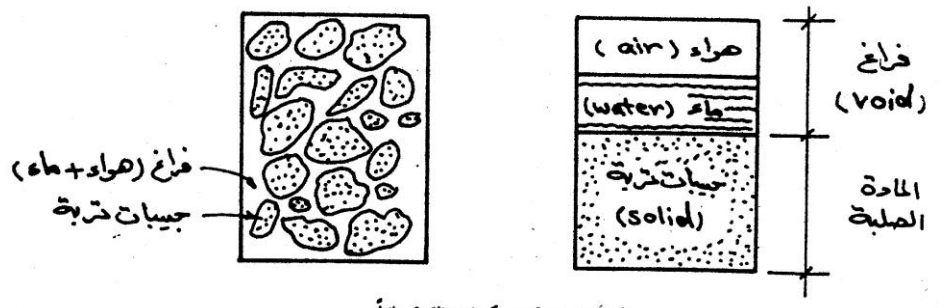
**٣. المادة الغازية** gaseous

وتتضمن الهواء او أي غاز آخر يحتل فراغات التربة غير المشغولة بالماء.

والشكل رقم (٢–١) يوضح العلاقة بين المكونات المختلفة لكتلة التربة.

شكل (٢-١) مكونات كتلة التربة

ولفهم العلاقة بين مكونات التربة ووصف حالتها ثم فهم التغيرات التي تطرأ عليها اثناء استخدامها كمادة هندسية يتم تمثيل حالات التربة بيانياً وبصورة مبسطة وكما يوضحه الشكل رقم (٢–٢).




شكل (٢-٢) تمثيل مكونات التربة بيانياً

اعتماداً على وجود المكونات الثلاثة للتربة (هواء ، ماء ، حبيبات التربة) ونسبة كل منها ، فان التربة تكون بثلاث حالات وكمايلي :-

**Natural condition**

١. الحالة الطبيعية

تحتوي كتلة التربة في هذه الحالة على الهواء والماء والحبيبات الصلبة. وتسمى تلك الحالة ايضاً بشبه المشبعة او الرطبة ، وهي الحالة العامة للتربة ويمثل الشكل (٢-٢) تلك الحالة.

**Saturated condition**

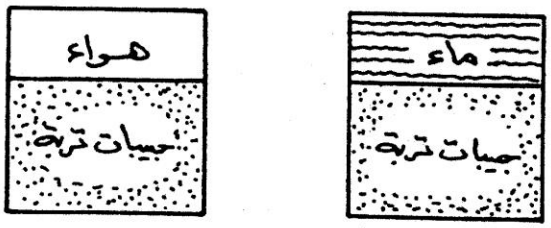
٢. الحالة المشبعة

حيث تكون فراغات التربة في تلك الحالة مشغولة بالماء تماماً ، اي ان تلك الحالة ثنائية اذ تحوي التربة هنا الماء والحبيبات الصلبة فقط وكما يمثلها الشكل رقم (٢-٣-أ).

**Dry condition**

٣. الحالة الجافة

تكون التربة في تلك الحالة جافة أي ان فراغاتها خالية من الماء ، وتتكون كتلة التربة في هذه الحالة من حبيبات التربة والهواء الموجود في الفراغات ، ويمثل الشكل رقم (٢-٣-ب) هذه الحالة.



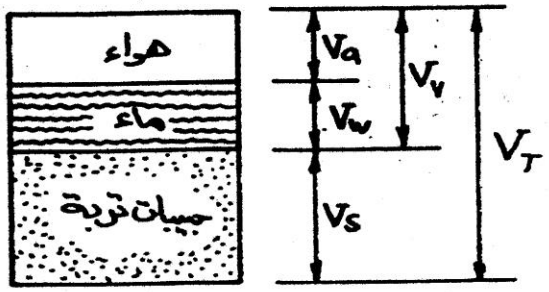

٢-٣-أ- الحالة المشبعة

٢-٣-ب- الحالة الجافة

شكل (٢-٣) حالات التربة

## ٢-٢- العلاقات الحجمية لمكونات التربة

يستخدم التمثيل البياني في الشكل رقم (٢-٤) لفهم واشتقاق العلاقات الحجمية بين مكونات التربة.




شكل (٢-٤) تمثيل حجوم مكونات التربة بيانياً

حيث:

$V_T$ الحجم الكلي للتربة

$V_v$ الحجم الكلي لفراغات التربة (ماء+ هواء)

$V_s$ حجم حبيبات التربة (المادة الصلبة)

$V_a$ حجم الفراغات الهوائية في التربة

$V_w$ حجم الفراغات المملوءة بالماء فقط (حجم الماء الموجود في الفراغات الهوائية)

ومن ذلك نستنتج مايلي :-

(٢-١) ..... $V_T = V_v + V_s$ الحجم الكلي للتربة

(٢-٢) ..... $V_v = V_a + V_w$ الحجم الكلي للفراغات

وتشمل العلاقات الحجمية لمكونات التربة مايلي:-

### ٢-٢-١- المسامية porosity

وهي النسبة بين الحجم الكلي للفراغات الموجودة في التربة الى الحجم الكلي للتربة ، ويرمز لها بالرمز(n) وتساوي:

(٢-٣) .... $n = \frac{V_v}{V_T} \times 100\ \%$ المسامية

### ٢-٢-٢- نسبة الفراغات Void ratio

وهي النسبة بين الحجم الكلي للفراغات الموجودة في التربة الى حجم حبيبات التربة (المادة الصلبة) ، ويرمز لها بالرمز (e) وتساوي:

(٢-٤) ... $e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\ \%$ نسبة الفراغات

### ٢ – ٢ – ٣ – درجة التشبع degree of staration

وهي النسبة المئوية لحجم الماء الموجود في التربة الى الحجم الكلي للفراغات ، ويرمز لها بالرمز (S) وتساوي:

$$\text{درجة التشبع } S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\ \% \quad \ldots (٢ - ٥)$$

ويبين الجدول (٢–١) العلاقة بين درجة التشبع وحالة التربة.

**جدول (٢–١) وصف حالة التربة اعتماداً على درجة التشبع**

| درجة التشبع(٪) | وصف حالة التربة |
|---|---|
| صفر | جافة (dry) |
| صفر – ٢٥ | ندية (damp) |
| ٢٦ – ٥٠ | رطبة (moist) |
| ٥١ – ٧٥ | رطبة جداً (very moist) |
| ٧٦ – ٩٩ | مبتلة ، مبلولة (wet) |
| ١٠٠ | مشبعة (saturated) |

### ٢ – ٢ – ٤ – المحتوى الهوائي air content

وهو النسبة المئوية لحجم الهواء الى الحجم الكلي للتربة ، ويرمز له بالرمز (A) ويساوي:

$$\text{المحتوى الهوائي } A = \frac{V_a}{V_T} \times 100\ \% \quad \ldots (٢ - ٦)$$

### ٢ – ٢ – ٥ – العلاقة بين مسامية التربة ونسبة الفراغات

من المعادلة (٢–٣) : $n = \frac{V_v}{V_T} \times 100\ \%$ المسامية

ومن المعادلة (٢ – ١) : $V_T = V_v + V_s$ : الحجم الكلي للتربة وبذلك فان المسامية تساوي:

$$n = \frac{V_v}{V_v + V_s}$$

$$n = \frac{V_v}{V_v + V_s} \times \frac{V_s}{V_s} \times 100\ \%$$

$$n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{1}{V_s}(V_v + V_s)} \times 100\ \%$$

$$n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\left(\frac{V_v}{V_s} + \frac{V_s}{V_s}\right)} \times 100\ \%$$

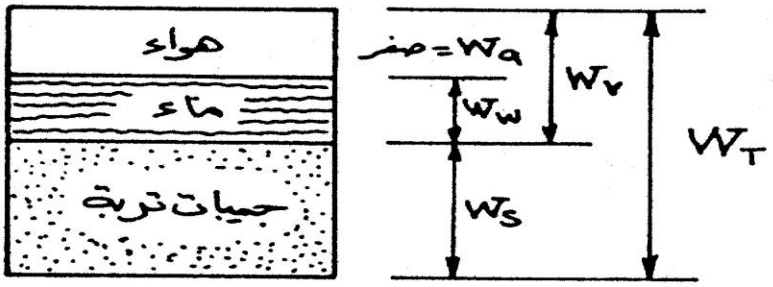
ومن ملاحظة المعادلة (٢-٤): $e = \frac{V_v}{V_s}$ نسبة الفراغات

فان المسامية تساوي:

$$n = \frac{e}{(1+e)} \times 100\ \% \quad \ldots\ldots (٢-٧)$$

## ٢-٣- العلاقات الوزنية لمكونات التربة

يتم ملاحظة الشكل رقم (٢-٥) لايجاد وتوضيح العلاقة الوزنية بين مكونات التربة.




شكل (٢-٥) تمثيل أوزان مكونات التربة بيانياً

حيث:

$W_T$ الوزن الكلي للتربة

$W_s$ وزن حبيبات التربة (المادة الصلبة)

$W_w$ وزن الماء الموجود في فراغات التربة

ويهمل وزن الهواء لان قيمته قليلة جداً ومن ذلك نستنتج:

$W_v = W_w$ ... (٢-٨): (وزن فراغات التربة)

وبذلك فان الوزن الكلي للتربة يساوي:

$W_T = W_s + W_w$ ... (٢-٩)

وتشمل العلاقات الوزنية لمكونات التربة بمايلي:

# الامتحان البعدي

١. نموذج من التربة له نسبة فجوات مقداره (٠,٣) جد مسامية التربة ؟

٢. اذاكانت مسامية التربة(٠,٣٨)جد نسبةالفجوات في التربة ؟

٣. الوزن النوعي لتربة(٢,٦) ونسبة الخلل(٠,٦) فاذا كانت كثافةالتربة الرطبة(١٧,٥كيلونيوتن/ م$^{٣}$) احسب درجة الاشباع ، ومسامية التربة؟

# المحاضرة الرابعـــــــــة

الامتحان القبلي:-

١.مالمقصود بكثافة التربة ؟

٢.هل تتساوى كثافة الترب المختلفة ؟

٣.هل تختلف كثافة التربة أذا أختلفت حالتها ؟

٤.ماهي حالات التربة ؟

**Water content**

**٢ – ٣ – ١ – محتوى الرطوبة**

وهي النسبة بين وزن الماء الموجود داخل فراغات التربة الى وزن حبيبات التربة (المادة الصلبة) ، ويرمز لها بالرمز ($W_c$) وتساوي :

$$\omega_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100\ \% \quad \text{محتوى الرطوبة} \quad \ldots\ldots (٢-١٠)$$

**Grain specific gravity**

**٢ – ٣– ٢ الكثافة الوزنية لحبيبات التربة الصلبة**

وهو نسبة وزن حجم معين من التربة الى وزن نفس الحجم من الماء عند درجة حرارة (٤) درجة مئوية ، ويرمز لها بالرمز ($G_s$) او $\gamma$ solid وتسمى ايضاً بالوزن النوعي ، وتكون بغير وحدات dimensionles

$$G_s = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\gamma_w} \quad \text{الكثافة الوزنية لحبيبات التربة الصلبة (الوزن النوعي)} \quad \ldots (٢-١١)$$

حيث تمثل $\gamma_w$ كثافة الماء وهي تساوي ١ غم / سم$^3$) او (١٠٠٠) كغم /م$^3$ أو (١٠) كيلونيوتن / م$^3$.

العلاقة بين $W_c, G_s, S, e$

يلاحظ في المعادلات (٢ – ٤) و (٢ – ٥) ان :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\ \%$$

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

وعند ضرب $e \times s$ تصبح المعادلة :

$$e \times s = \frac{V_v}{V_s} \times \frac{V_w}{V_v}$$

$$e \times s = \frac{V_w}{V_s}$$

وذلك بضرب المعادلة في ($W_w$)

$$e \times s = \frac{V_w}{V_s} \times \left(\frac{W_w}{W_w}\right)$$

وقسمتها على نفس المقدار:

$$e \times s = \frac{W_w}{V_s} \times \left(\frac{1}{\frac{W_w}{V_w}}\right)$$

وبما ان كثافة الماء $\frac{W_w}{V_w}$ ، فان المعادلة تصبح بالشكل التالي:

$$e \times s = \frac{W_w}{V_s \times \gamma_w}$$

ويضرب المعادلة في ($W_s$) وقسمتها على نفس المقدار تصبح :

$$e \times s = \frac{W_w}{V_s \times \gamma_w} \times \left( \frac{W_s}{W_s} \right)$$

$$\therefore e \times s = \frac{W_w}{W_s} \times \left[ \frac{W_s}{V_s} \times \frac{1}{\gamma_w} \right]$$

ومن ملاحظة المعادلة (٢ – ١٠) و (٢ – ١١) الخاصة بتعريف محتوى الرطوبة والوزن النوعي وهي :

$$\omega_c = \frac{W_w}{W_c} \quad \text{و} \quad G_s = \frac{W_s / V_s}{\gamma_w}$$

تصبح المعادلة كالآتي :

$$e \times s = W_c \times G_s$$

## ٢ – ٣ – ٣ – كثافة التربة

**unit weight of Soil**

تعرف الكثافة بانها وزن حجم معين من التربة ، وتعتمد قيمة الكثافة على حالة التربة ، وهي الكثافة الوزنية للتربة ($\gamma$) ويجب ان تفرض عن الكثافة الكتلية ($\rho$) .
وتشمل مايلي :

### ١ . الكثافة الوزنية الرطبة

**Wet unit weight**

وهي نسبة الوزن الكلي للتربة الى حجمها ، ويرمز لها بالرمز ($\gamma_m$) وتساوي :

$$\text{الكثافة الرطبة} : \gamma_m = \frac{W_T}{V_T} \quad \ldots (٢ - ١٢)$$

ومن المعادلة (٢ – ١) : $V_T = V_v + V_s$ : الحجم الكلي للتربة
ومن المعادلة (٢ – ٩) : $W_T = W_s + W_w$ : الوزن الكلي للتربة
وبذلك فان الكثافة الرطبة تساوي :

$$\gamma_m = \frac{W_s + W_w}{V_v + V_s}$$

$$\gamma_m = \frac{W_s \left( 1 + \frac{W_w}{W_s} \right)}{V_s \left( 1 + \frac{V_v}{V_s} \right)}$$

من ملاحظة المعادلة (٢ – ١٠) :

$$\omega_c = \frac{W_w}{W_s}$$

والمعادلة (٢ – ٤) :

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

وبذلك فان الكثافة الرطبة تساوي :

$$\gamma_m = \frac{W_s\ (1 + \omega_c)}{V_s\ (1 + e)}$$

ومن المعادلة (٢ – ١١) :

$$G_s = \frac{W_s}{V_s} / \gamma_m$$

وبذلك نحصل على :

$$\text{الكثافة الرطبة} : \gamma_m = \frac{G_s\ (1 + \omega_c)}{(1 + e)} \times \gamma_w \quad \ldots (٢ - ١٣)$$

حيث :

$\gamma_m$ الكثافة الرطبة للتربة كيلو نيوتن / م$^3$

$G_s$ الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$\omega_c$ محتوى الرطوبة ويفضل كتابة المعادلة (٢ – ١٣) بالشكل التالي :

e نسبة الفراغات

$\gamma_w$ كثافة الماء

$$\gamma_m = \frac{(G_s + s \times e)}{(1 + e)} \times \gamma_w \ kN/m^3$$ _

**٢ . الكثافة الوزنية الجافة** **drg unitweight**

وهي كثافة التربة عندما تكون جافة اي ان محتوى الرطوبة يساوي صفراً (صفر= $W_c$) ، ويرمز لها بالرمز ($\gamma_d$) وتساوي :

$$\text{الكثافة الجافة} : \gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad \ldots (٢ - ١٤)$$

وبالتعويض في المعادلة (٢ – ١٣) بقيمة (صفر= $W_c$) نحصل على :

$$\gamma_d = \frac{G_s}{(1 + e)} \times \gamma_w \quad \ldots (٢ - ١٥)$$

ويمكن كتابة المعادلة (٢ – ١٥) بالصورة التالية :

$$\gamma_d = \frac{G_s}{(1+e)} \times \frac{(1+\omega_c)}{(1+\omega_c)} \times \gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{G_s\,(1+\omega_c)}{(1+e)} \times \frac{\gamma_w}{(1+\omega_c)}$$

ومن ملاحظة المعادلة (٢-١٣) تكون الكثافة الجافة :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{(1+\omega_c)} \quad \ldots(٢-١٦)$$

### ٣. الكثافة الوزنية المشبعة saturated density

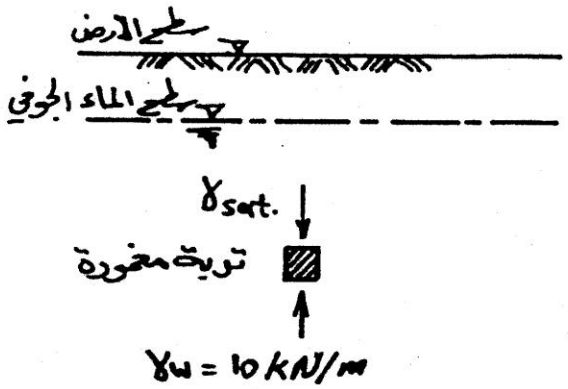
وهي كثافة التربة عندما تكون مشبعة بالماء اي ان درجة التشبع تساوي (١٠٠٪) ، ويرمز لها بالرمز ($\gamma_{sat.}$) ، ويمكن استخدام المعادلة العامة (٢-١٣) للكثافة الرطبة في حساب الكثافة المشبعة على شرط استخدام محتوي الرطوبة($W_c$) عند درجة تشبع (S) تساوى ١٠٠٪ عند التعويض فيها.

$$\gamma_{sat.} = \frac{G_s + e}{1+e} \times \gamma_w$$

### ٤. الكثافة الوزنية المغمورة submerged density

وهي كثافة التربة عندما تكون مغمورة بالماء اي ان التربة تكون تحت سطح الماء الجوفي . وفي هذه الحالة فان كثافة التربة تساوي الكثافة المشبعة ويطرح منها دفع الماء للاعلى والمتمثل هنا بكثافة الماء ($\gamma_w$) ، ويرمز للكثافة المغمورة بالرمز $\gamma_{sub}$. واعتماداً على الشكل رقم (٢-٦) فانها تساوي :

الكثافة المغمورة : $\gamma_{sub.} = (\gamma_{sat.} - \gamma_w)$ ... (٢-١٧)




شكل (٢-٦) الكثافة المغمورة للتربة

## ٢ – ٤ – ١ – محتوى الرطوبة Water content

يمثل فحص محتوى الرطوبة احد الفحوصات المهمة في ميكانيك التربة لتعيين حالة التربة بالنسبة لوجود الماء . وتعد قيمة محتوى الرطوبة مهمة ومكملة للعديد من فحوصات التربة مثل فحص الرص compaction وفحص الانضمام consolidation وفحص حد السيولة liquid limit وغيرها . وعند القيام بتحريات التربة لموقع مشروع هندسي معين فانه يتم عادة حساب محتوى الرطوبة لتحديد بعض خواص التربة . وبالرغم من كون محتوى الرطوبة احد ابسط خواص التربة من ناحية القياس فانه من اكثرها اهمية . وقد اكدّ العديد من البحوث ان لمحتوى الرطوبة علاقة واضحة بمقاومة القص للطين المشبع .

يعرّف محتوى الرطوبة بانه النسبة بين وزن الماء الموجود في فراغات التربة الى وزن التربة الجافة .
ويتم الحصول على ذلك بتجفيف عينة من التربة في فرن كهربائي بدرجة حرارة (١٠٥) درجة مئوية ولمدة (٢٤) ساعة حيث توزن العينة قبل التجفيف وبعده (بعد طرد الماء بالتجفيف) وكما يوضح ذلك الشكل رقم (٢ – ٧) .

شكل (٢ – ٧) قياس محتوى الرطوبة للتربة بالتجفيف

ويتم حساب محتوى الرطوبة باستخدام المعادلة التالية :

$$\text{محتوى الرطوبة } (\%) = \frac{\text{وزن الماء}}{\text{وزن التربة الجافة}} \times 100\%$$

$$W_c = \frac{W_3 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100\% \quad \cdots (٢ - ١٨)$$

حيث يمثل وزن الماء الفرق بين وزن العينة قبل التجفيف وبعده .
يجب تنظيم درجة حرارة فرن التجفيف وتثبيتها بدقة ، كما يجب القيام بالوزن بدقة ايضاً حيث ، تتغير خواص بعض انواع التربة عند التجفيف بدرجات حرارة عالية مثل التربة العضوية organic soil والتربة الحاوية على الجبس gypsum [٤].

الامتحان البعدي:-

١. مالفرق بين الكثافة الجافة والكثافة الرطبة للتربة ؟
٢. ماهي حالات التربة مستعينا بمخطط توضيحي لكل حالة ؟
٣. عرف محتوى رطوبة التربة ؟
٤. تربة مشبعة كليامحتوى الرطوبة فيها(٤٠%) الوزن النوعي للتربة(٢,٦٥) جد نسبة الفراغات، المسامية، كثافة التربة في حالة الاشباع ؟
٥. جد الكثافة الجافة والكثافة المشبعه لتربة وزنها النوعي (٢,٦٦) ومساميتها (٣٥%).

# المحاضرة الثامنـــــــة

## تحليل المكثاف

هناك صعوبة كبيرة في ايجاد حجم الحبيبات الناعمة للتربة باستخدام المناخل ، وتعد تلك المواد الناعمة عالقة وقابلة للترسيب ، وعليه يستخدم المكثاف لمعرفة تدرج التربة الناعمة .

يقوم المكثاف بقياس كثافة التربة وذلك بعد مزج وزن معين منها في حجم معين من الماء ثم تسجل قراءة المكثاف مع الوقت ، كما يتم تسجيل درجة حرارة المحلول عند قراءة المكثاف ، وتستمر التجربة حوالي ٤٨ ساعة . هناك نوعان من المكثاف هما (151H) و (152H) وفيما يلي عرض للطريقة من النوع الاول (151H).

ترسب الحبيبات ذات الحجوم الكبيرة اولاً ، وبمرور الوقت ترسب الحبيبات الاصغر. وتعتمد سرعة الترسيب على حجم الحبيبات والوقت ودرجة الحرارة ، ويجري الفحص على المواد المارة من منخل رقم ٢٠٠ فقط ، ويستخدم قانون ستوكس stock's law لتنظيم علاقة بين وزن الحبيبات وقراءة المكثاف وكثافة الماء بدرجة حرارة معينة وكذلك الكثافة النوعية لذرات التربة . وتتناسب هنا سرعة الترسيب مع حجم الذرات العالقة وكثافتها مع الزمن وكما يلي :

$$D = \sqrt{\frac{18\ \mu \times Zr}{t \times (\gamma_s - \gamma_w)}} \quad \text{: قطر الحبيبة المترسبة (سم)} \qquad \ldots\ldots (٣-١)$$

حيث :

$\mu$ لزوجة الماء (غم . ثا / سم$^2$) وتعتمد على درجة الحرارة ويمكن الاعتماد على الجدول رقم (٣ – ٢) لتثبيت قيمة $\mu$ .

Zr قراءة المكثاف بعد التصحيح (سم).

t الوقت من بداية التجربة وحتى قراءة المكثاف (ثانية).

$\gamma_s$ الكثافة الوزنية لحبيبات التربة .

$\gamma_w$ كثافة الماء (غم / سم$^3$) وتؤخذ من الجدول (٢ – ٢) عند درجات حرارة مختلفة .

ويمكن كتابة المعادلة (٣ – ١) بدلالة المتغيرين Zr و t فقط وكما يلي :

$$D = K \times \sqrt{\frac{Zr}{t}} \qquad \ldots\ldots (٣-٢)$$

حيث :

$$K = \sqrt{\frac{18\ m}{(\gamma_s - \gamma_w)}} \qquad \ldots\ldots (٣-٣)$$

• ان درجة الحرارة المذكورة في تعريف $\mu$ و $\gamma_w$ هي المعدل من البداية وحتى الوقت t . ويتم حساب نسبة المواد المارة من حجم معين مقابل قطر الحبيبة المترسبة (D) كما يلي :

$$\text{النسبة المارة (٪)} \quad N = \frac{G_s}{1000\ (G_s - 1)} \times \frac{V}{W_s} \times \gamma_w \times (r - rw) \times 100\% \qquad \ldots\ldots (٣-٤)$$

حيث :

V حجم الخليط (تربة + ماء) في الاسطوانة المدرجة ويساوي حجم الاسطوانة (١٠٠٠) سم$^3$ عادة اذا استخدمت اسطوانة بهذا الحجم.

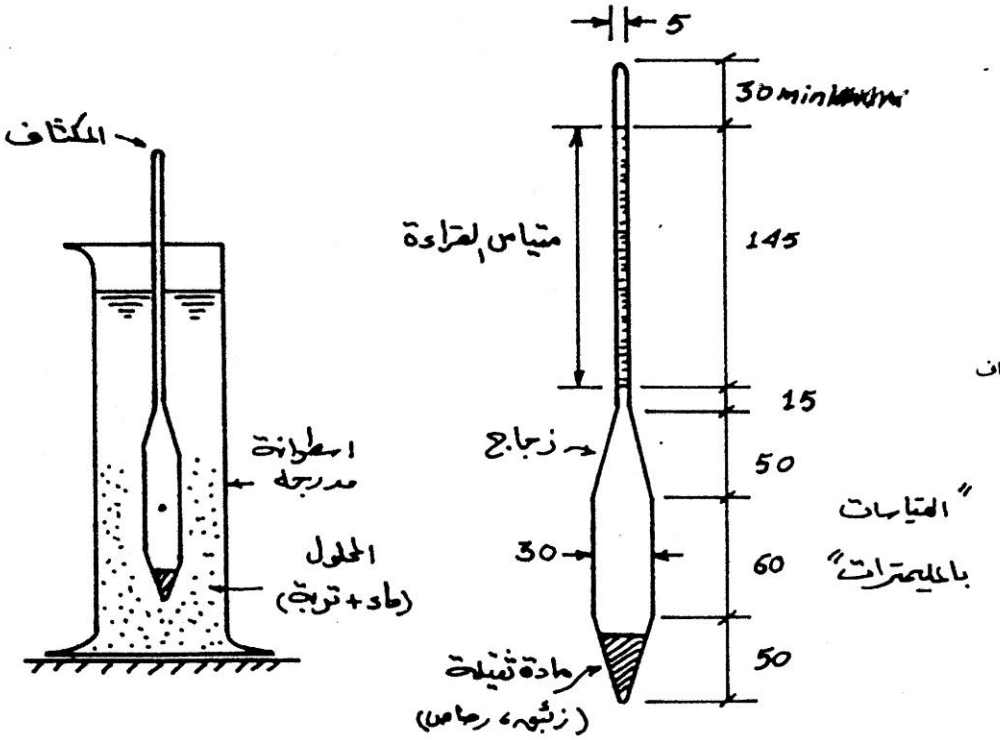
Ws وزن عينة التربة المستخدمة في التجربة ويساوي عادة (٥٠) غم كوزن جاف.

r قراءة المكثاف وتحسب من المعادلة التالية :

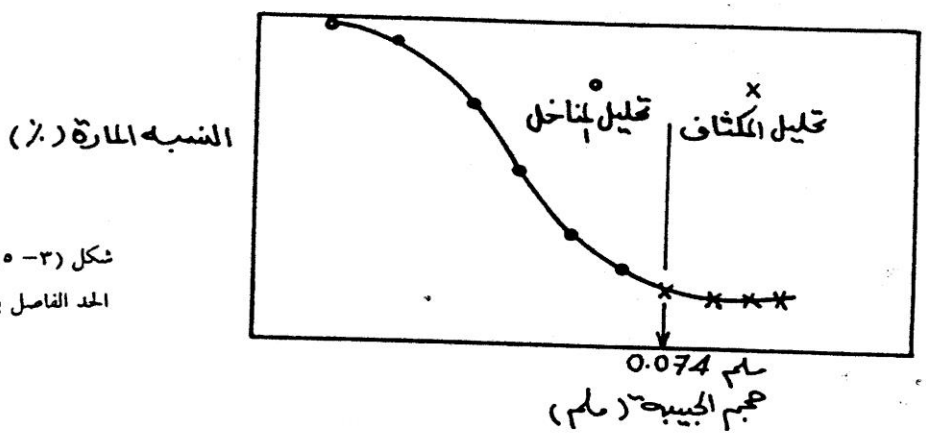
$$r=(R_H + 1 - rw) \quad .... \quad (٣- ٥)$$

حيث يمثل ($R_H$) قراءة المكثاف في المحلول عند درجة حرارة معينة.

rw قراءة المكثاف في الماء المقطر عند درجة الحرارة التي تسجل فيها القراءة ($R_H$). يبين الشكل رقم (٣– ٤) رسماً توضيحياً للمكثاف، كما ان الشكل رقم (٣– ٥) يبين الفرق بين تحليل المناخل وتحليل المكثاف.




شكل (٣– ٤) رسم تخطيطي للمكثاف مع المكثاف داخل الاسطوانة.




شكل (٣– ٥) منحني تدرج حبيبات التربة موضحاً عليه الحد الفاصل بين تحليل المناخل والمكثاف.

جدول (٣– ٢) لزوجة الماء $\mu$ عند درجات حرارة مختلفة
بوحدات (غم. ثانية/ سم$^{٢}$ × ١٠$^{-٢}$).

| درجة الحرارة (م°) | صفر | ١٠ | ٢٠ | ٣٠ | ٤٠ |
|---|---|---|---|---|---|
| صفر | ١,٨٣ | ١,٣٤ | ١,٠٣ | ٠,٨٣ | ٠,٦٧ |
| ١ | ١,٧٧ | ١,٣٢ | ١,٠٠ | ٠,٨٠ | ٠,٦٦ |
| ٢ | ١,٧١ | ١,٣٠ | ٠,٩٨ | ٠,٧٨ | ٠,٦٤ |
| ٣ | ١,٦٥ | ١,٢٣ | ٠,٩٦ | ٠,٧٧ | ٠,٦٣ |
| ٤ | ١,٦٠ | ١,٢٠ | ٠,٩٣ | ٠,٧٥ | ٠,٦٢ |
| ٥ | ١,٥٥ | ١,١٧ | ٠,٩١ | ٠,٧٤ | ٠,٦١ |
| ٦ | ١,٥٠ | ١,١٤ | ٠,٨٩ | ٠,٧٢ | ٠,٦٠ |
| ٧ | ١,٤٦ | ١,١١ | ٠,٨٧ | ٠,٧١ | ٠,٥٩ |
| ٨ | ١,٤٢ | ١,٠٨ | ٠,٨٥ | ٠,٦٩ | ٠,٥٨ |
| ٩ | ١,٣٨ | ١,٠٦ | ٠,٨٣ | ٠,٦٧ | ٠,٥٧ |

النسبة المارة المحسوبة من المعادلة (٣– ٤) تستخدم لتحليل المكثاف فقط ، وعند رسم منحني تدرج الحبيبات باستخدام النتائج المشتركة لفحص المناخل وفحص المكثاف فان النسبة المارة تصبح كما يلي :

(٣– ٥) ..... $N' = N \times m$ : النسبة المارة (٪)

حيث : N النسبة المارة المحسوبة من المعادلة (٣– ٤).

m النسبة المارة من منخل رقم (٢٠٠) والمحسوبة من فحص المناخل.

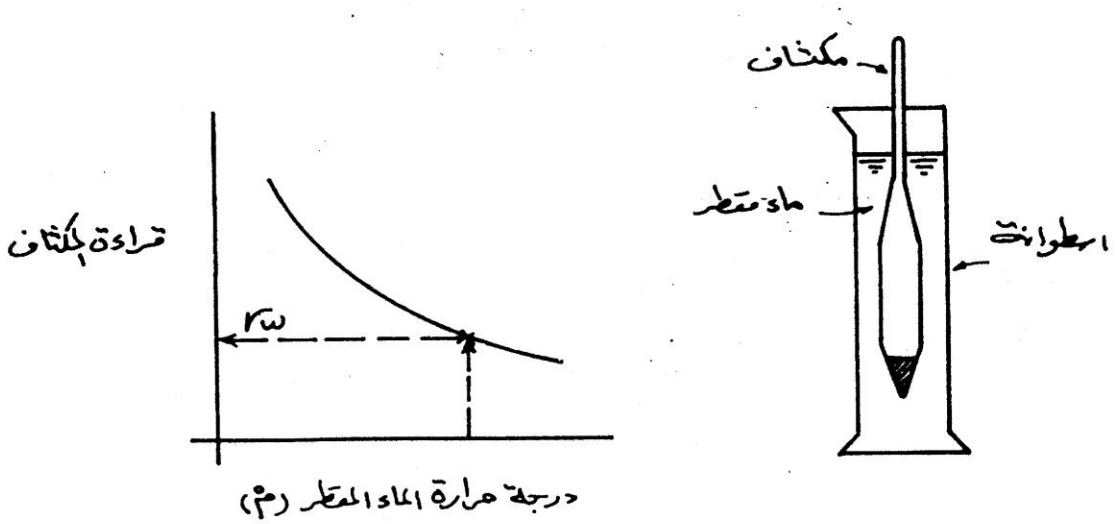
ويتم اجراء الحسابات الخاصة بتحليل المكثاف كما يلي :

١. تصحح قراءة المكثاف في الماء المقطر فقط للحصول على قيمة (rw) ، ويتم رسم علاقة بين درجة الحرارة وقراءة المكثاف وكما في الشكل رقم (٣– ٦).

٢. تسجل قراءة المكثاف في المحلول (ماء + تربة) مع اخذ قراءة لدرجة الحرارة ايضاً في الوقت نفسه ، فتكون قراءة المكثاف ($R_H$). يجرى تصحيح لتلك القراءة للحصول على القراءة المصححة (r) التي تساوي :

(٣– ٦) .... $r = (R_H + 1 - rw)$ : القراءة المصححة

حيث (rw) قراءة المكثاف في الماء المقطر عند درجة الحرارة نفسها التي تؤخذ عندها القراءة ($R_H$) في المحلول. ونحصل على (rw) من الشكل (٣– ٦).

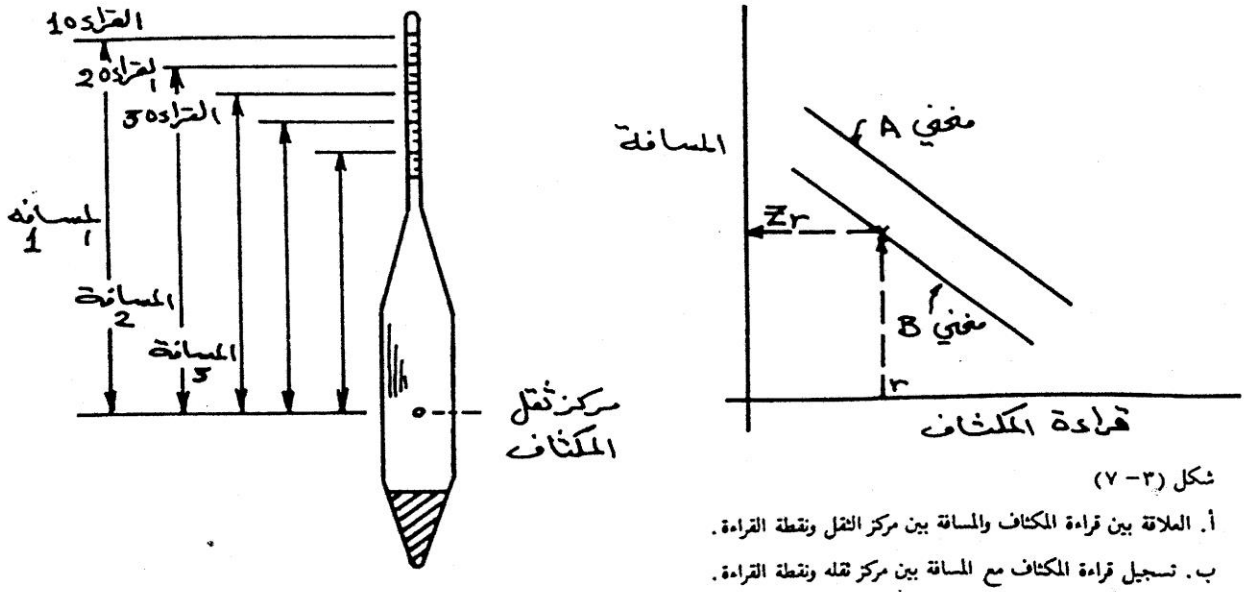



شكل (٣– ٦) تصحيح قراءة المكثاف بالنسبة لدرجات الحرارة في الماء المقطر.

٣. يجري تصحيح لمركز ثقل المكثاف وذلك لان مركز الثقل يتغير عند غمس المكثاف في الماء او المحلول ، ويتم ذلك التصحيح بوضع المكثاف على ورقة كبيرة حيث يثبت مركز ثقله عليها ثم تؤخذ قراءة للمكثاف مع قياس المسافة من مركز الثقل ولحد القراءة المسجلة وهكذا تسجل قراءتان على الاقل. ويتم رسم علاقة بين قراءة المكثاف والمسافة بين مركز ثقله ونقطة القراءة وكما في الشكل رقم (٣– ٧) ، ويلاحظ مايلي :

أ– المنحني (B) = المنحني (A) – [ $\frac{H}{2}$ ] .... (٣– ٧)

ب– يستخدم المنحني (A) لاول (٤) قراءات للمكثاف في المحلول فقط اي عند الاوقات : ٤ / ١ ، ٢ / ١ ، ١ ، ٢ دقيقة ، بينما يستخدم المنحني (B) لباقي القراءات لان المكثاف يغمر في المحلول قبل وقت القراءة بقليل.




شكل (٣– ٧)

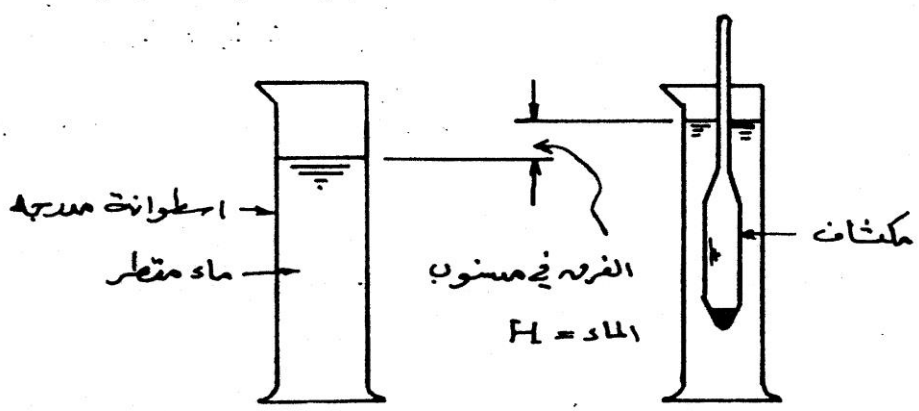
أ. العلاقة بين قراءة المكثاف والمسافة بين مركز الثقل ونقطة القراءة.

ب. تسجيل قراءة المكثاف مع المسافة بين مركز ثقله ونقطة القراءة.

جـ. قياس الارتفاع (H) المطلوب في المعادلة (٣– ٧).

جـ – يتم قياس الارتفاع (H) الوارد في المعادلة (٣– ٧) وذلك بتسجيل حجم الماء قبل غمس المكثاف فيه وبعده وكما موضح في الشكل رقم (٣– ٨).

د– يستخدم الشكل (٣– ٨) : (العلاقة بين قراءة المكثاف والمسافة بين مركز ثقله ونقطة القراءة) للحصول على قراءة المكثاف النهائية بعد التصحيح (Zr) وذلك باستخدام القراءة (r) الواردة في المعادلة (٣– ٦) وتسجيل (Zr) المقابلة لها وكما في الشكل (٣– ٧).




شكل (٣– ٨) تصحيح قراءة المكثاف بالنسبة لمركز ثقله للحصول على القراءة النهائية (Zr).

٤. يتم تنظيم جدول القراءات الخاصة بالتجربة والنتائج المحسوبة منها كما يلي :

| التاريخ | الوقت (ثانية) | درجة حرارة المحلول (م°) | قراءة المكثاف في المحلول ($R_H$) | قراءة المكثاف في الماء المقطر ($r_w$) | القراءة المصححة (r) | القراءة النهائية ($Z_r$) سم | لزوجة الماء μ غم. ثا/ سم٣ | كثافة الماء $\gamma_w$ غم/سم٣ | قطر الحبيبة المترسبة (D) ملم | $(r-r_w)$ | النسبة المارة (N) ٪ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | صفر | | | | | | | | | | |
| | ١٥ | | | | | | | | | | |
| | ٣٠ | | | | | | | | | | |
| | ٦٠ | | | | | | | | | | |
| | ١٢٠ | | | | | | | | | | |
| | ٣٠٠ | | | | | | | | | | |
| | ٦٠٠ | | | | | | | | | | |
| | ١٢٠٠ | | | | | | | | | | |
| | ١٨٠٠ | | | | | | | | | | |
| | ٢٦٠٠ | | | | | | | | | | |
| | ١٧٢٨٠٠ | | | | | | | | | | |

## ٣-٣- اهمية تحليل حبيبات التربة

ان تحليل حبيبات التربة ذو اهمية كبيرة في مجالات هندسة الاسس وانشاء الطرق والسدود والقنوات وغيرها وذلك لان خواص التربة وسلوكها يعتمدان كثيرا على حجم حبيبات التربة وطريقة توزيعها ضمن كتلة التربة . كما ان لها اهمية في تصميم المرشحات المستخدمة في انابيب الري والبزل وسحب المياه عند تخفيض سطح المياه الجوفية، وكذلك عند بزل التربة المدفونة بجانب الجدران المسندة. ويمكن فصل التربة الى ناعمة وخشنة اعتمادا على حجم منفذية التربة الخشنة تتناسب طرديا مع حجم معين من حبيباتها.

يمكن التعرف على بعض خصائص التربة عندما يكون تدرج حبيباتها معلوما وتشمل تلك الخواص المنفذية permeability والكثافة وطبيعة التدرج.

**يمكن تصنيف التربة اعتمادا على تدرجها الى مايلي:**

**١. تربة جيدة التدرج** **well – graded soil**

وهي التربة التي تحوي على كل حجوم الحبيبات تقريبا بحالتها الطبيعية.
وهي ذات كثافة عالية ومسامية قليلة ، وتكون حجوم الحبيات هنا نسب شبه متساوية.

**٢. تربة رديئة التدرج** **poorly – graded soil**

وهي خلاف التربة جيدة التدرج، ومنها

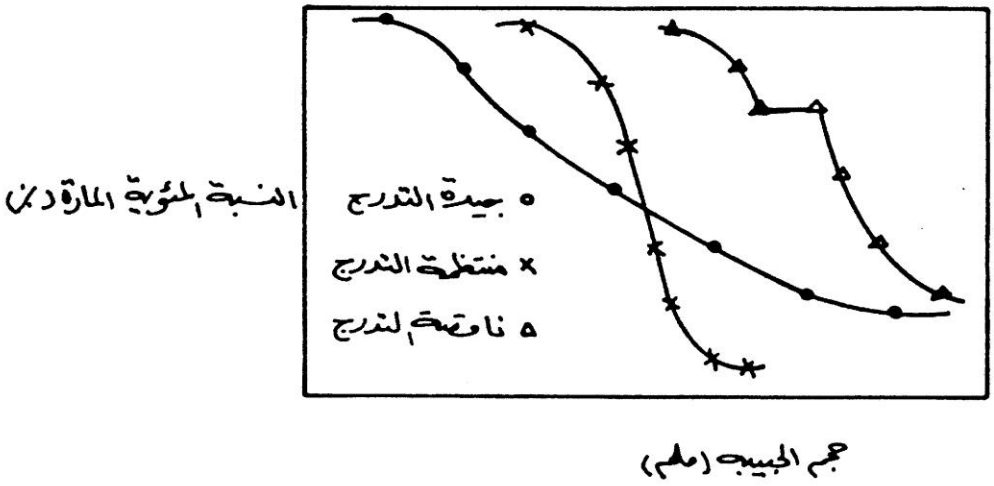
**آ- تربة منتظمة التدرج** **uniform soil**

وهي تربة تحوي على حجم واحد تقريبا من الذرات فقط دون غيره مثل الرمل النظيف. وتكون مكونات التربة حاوية على نسبة كبيرة لحجم معين.

**ب- تربة ناقصة التدرج** **gap – graded soil**

وهي التربة الحاوية على كل حجوم الذرات تقريبا ماعدا حجم واحد مفقود مما يسبب عدم استمرارية في منحني تدرج الذرات لتلك التربة . والشكل رقم (٣- ٩) يبين منحني تدرج الذرات لكل من تربة جيدة التدرج وتربة منتمية واخرى ناقصة التدرج .

ويعتمد على منحني تدرج الحبيبات في تصنيف التربة الى جيدة اورديئة التدرج. ويتم ذلك بحساب بعض المعاملات التي تحدد طبيعة تدرج التربة، وهذه المعاملات تشمل :




شكل (٣– ٩) منحني تدرج الحبيبات لتربة ذات تدرجات مختلفة

### ١. معامل الانتظام coefficient of uniformity

ويستخدم لقياس انتظام تدرج التربة ويتم حسابه كما يلي:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{: معامل الانتظام} \qquad \ldots(٣-٨)$$

حيث تكون التربة جيدة التدرج عندما يكون معامل الانتظام ($C_u$) اكبر من (٤) للحصى واكبر من (٦) للرمل. بينما تعتبر التربة منتظمة التدرج عندما يكون معامل الانتظام ($C_u$) اصغر من (٢).

### ٢. معامل التدرج coefficient of gradation

ويحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$Cg = \frac{[D_{30}]^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{: معامل التدرج} \qquad \ldots(٣-٩)$$

وتكون التربة جيدة التدرج اذا كان معامل تدرجها ($C_g$) بين (١) الى (٣).

وتعرف الرموز الواردة في المعادلتين (٣– ٨) و (٣– ٩) كما يلي وكذلك باستخدام الشكل رقم (٣– ٩):

$D_{10}$ حجم حبيبة التربة المقابل لنسبة مارة تساوي ١٠٪.

$D_{30}$ حجم حبيبة التربة المقابل لنسبة مارة تساوي ٣٠٪.

$D_{60}$ حجم حبيبة التربة المقابل لنسبة مارة تساوي ٦٠٪.

ومما سبق يتبين بان التربة تكون جيدة التدرج اذا تحقق الشرطان التاليان:

١. للحصى $C_u > ٤$

للرمل $C_u > ٦$

٢. $C_g$: (١– ٣)

وخلاف ذلك فان التربة رديئة التدرج.

## الامتحان البعدي :-

س ١ -اكمل الفراغات التالية :-

١-تقسم التربة أعتماداعلى حجم الحبيبات الى ـــــ و ـــــــ

٢ ـ يتم فصل التربة الى حجوم مختلفة بأستخدام ـــــ و ـــــــ

٣ ـ يستخدم المكثاف لفصل الحبيبات ـــــ و المناخل ـــــــ

٤ ـ تقسم التربة اعتمادا على تدرجهاالى تربة ـــــ وتربة ـــــــ

٥ ـالتربة الجيدة التدرج هي ـــــــــــــــــ

٦ـ تقسم التربة الردئية التدرج الى ـــــ و ـــــــــــ

٧ ـالتربة الناقصة التدرج هي ـــــــــــــــــ

٨ ـالقطر الفعال هو ـــــــــــــــــ

٩ ـالتربة الناعمة تشمل ـــــــ و التربة الخشنة تشمل و ـــــــ

١٠ ـ تمتاز التربة الجيدة التدرج بكثافة ـــــ و مسامية ـــــــ

س٢ ـ مالفرق بين التربة الجيدة التدرج والتربة الرديئة التدرج ؟

١- تم اجراء تحليل المناخل لتربة رملية ، تم الحصول على النتائج التالية . بين هل تكون التربة جيدة التدرج ، ام لا ، ولماذا؟

| حجم الحبيبة (ملم) | النسبة المارة (٪) |
|---|---|
| ٠,١٠ | ١٠ |
| ٠,٢٨ | ٣٠ |
| ٠,٤٨ | ٥٠ |
| ٠,٧٠ | ٦٠ |
| ٢,٠٠ | ٩٠ |

**الحل**

لاحاجة لرسم منحنى تدرج الحبيبات لان القيم المطلوبة في الحسابات واضحة في الجدول. يكون الرمل جيد التدرج اذا بتحقق الشرطين التاليين:

١ . معامل الانتظام $C_u$ اكبر من ٦.

٢ . معامل التدرج $C_g$ من ١ الى ٣.

ولذلك نحسب كلا من $C_u$ و $C_g$ وكما يلي:

معامل الانتظام : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

$$C_u = \frac{\text{ملم } ٠,٧٠}{\text{ملم } ٠,١٠}$$

$$\therefore C_u = ٧$$

معامل التدرج : $C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$

$$C_g = \frac{\text{ملم}^2\ (٠,٢٨)^2}{\text{ملم}^2\ (٠,٧٠)\ (٠,١٠)}$$

$$\therefore C_g = ١,١٢$$

ونلاحظ بان $C_u = ٧$ وهي اكبر من ٦ ، وان $C_g = ١,١٢$ والرقم يقع بين ١ و ٣.

∴ التربة جيدة التدرج.

٢- تربة معينة اجري عليها فحص المناخل حيث استخدمت عينة ذات وزن ٢٠٠ غم . كانت النتائج كما يلي والمطلوب :

آ. رسم منحني تدرج الذرات.

ب. حساب نسب مكونات التربة باعتماد تصنيف منظمة التربة الامريكية.

ج. حساب معامل الانتظام والتدرج.

د. تعيين تدرج التربة.

| رقم المنخل | حجم فتحة المنخل (ملم) | وزن التربة المتبقية (غم) |
|---|---|---|
| رقم ٤ | ٤,٧٦ | صفر |
| ١٠ | ٢,٠٠ | ٢,٨٤ |
| ٢٠ | ٠,٨٤ | ٥,٦٦ |
| ٤٠ | ,٤٢ | ٤٦,٠٤ |
| ٦٠ | ٠,٢٥ | ٤٤,٠٠ |
| ١٠٠ | ٠,١٤٩ | ٢٣,٦٤ |
| ١٤٠ | ٠,١٠٥ | ١١,٢٦ |
| ٢٠٠ | ٠,٠٧٤ | ٦٣,١٦ |
| الصحن | — | ٣,٤٠ |

الحل

يكمل جدول الحسابات الخاصة بالتحليل لحساب النسبة المارة:

| حجم فتحة المنخل (ملم) | وزن التربة المتبقية (غم) | النسبة المتبقية (٪) | النسبة المتجمعة (٪) | النسبة المارة (٪) |
|---|---|---|---|---|
| ٤,٧٦ | صفر | صفر | صفر | ١٠٠ |
| ٢,٠٠ | ٢,٨٤ | ١,٤٢ | ١,٤٢ | ٩٨,٥٨ |
| ٠,٨٤ | ٥,٦٦ | ٢,٨٣ | ٤,٢٥ | ٩٥,٧٥ |
| ٠,٤٢ | ٤٦,٠٤ | ٢٣,٠٢ | ٢٧,٢٧ | ٧٢,٧٣ |
| ٠,٢٥ | ٤٤,٠٠ | ٢٢,٠٠ | ٤٩,٢٧ | ٥٠,٧٣ |
| ٠,١٤٩ | ٢٣,٦٤ | ١١,٨٢ | ٦١,٠٩ | ٣٨,٩١ |
| ٠,١٠٥ | ١١,٢٦ | ٥,٦٣ | ٦٦,٧٢ | ٣٣,٢٨ |
| ٠,٠٧٤ | ٦٣,١٦ | ٣١,٥٨ | ٩٨,٣٠ | ١,٧٠ |
| الصحن- | ٣,٤٠ | ١,٧٠ | ١٠٠,٠٠ | صفر |

ب. من شكل رقم (٣– ١٤) نحسب نسب المكونات وكما يلي :

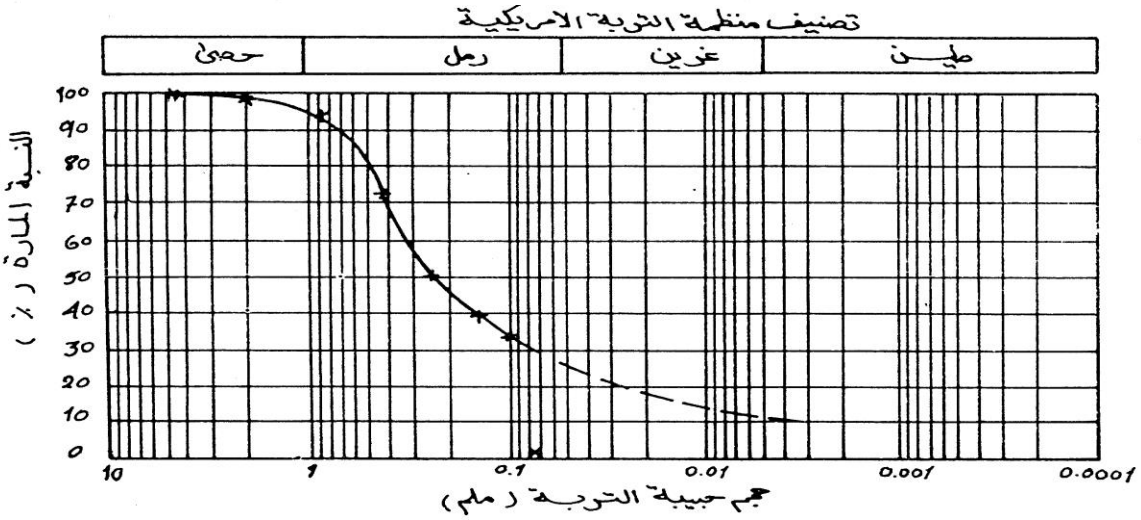
الحصى= (١٠٠ – ٩٥) ٪= ٥٪

الرمل= (٩٥– ٢٦) ٪= ٦٩٪

الغرين والطين= (٢٦ – صفر) ٪= ٢٦٪

---

المجموع= ١٠٠٪




وبما ان الرمل له اعلى نسبة فتكون التربة رملية.

جـ. لحساب معامل الانتظام والتدرج نحسب كلاً من:

$D_{10}$= ٠,٠٠٣ ملم

$D_{30}$= ٠,٧٢ ملم

$D_{60}$= ٠,٣٣ ملم  من شكل (٣– ١٣)

معامل الانتظام : $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{٠,٣٣ \text{ ملم}}{٠,٠٠٣ \text{ ملم}} = ١١٠$

معامل التدرج : $C_g = \frac{[D_{30}]^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(٠,٠٧٢)^{٢} \text{ ملم}^{٢}}{(٠,٣٣) \times (٠,٠٠٣) \text{ ملم}^{٢}} = ٥,٢٤$

د. كي يكون الرمل جيد التدرج يجب ان يكون:

$C_u$ اكبر من ٦.

$C_g$ بين ١ و ٣.

ونلاحظ ان الشرط الاول متوفر لكن الثاني غير متوفر، وعليه فالتربة رديئة التدرج.

# المحاضرة الثانية عشـــــــــــر

## الماء والخاصية الشعرية للتربة

### وجود الماء في التربة

تتكون كتلة التربة من حبيبات صلبة solid grains وفراغات هوائية air voids وماء يشغل قسماً من الفراغات أو كلها. وتكون التربة في حالة جافة dry اذا كانت الفراغات مملوءة بالهواء فقط بينما تكون في حالة رطبة اذا كان الماء يشغل قسماً من فراغاتها، ويطلق على التربة أسم مشبعة saturated اذا كان الماء يحتل كل الفراغات الهوائية الموجودة.

أن وجود الماء في التربة له علاقة بالكثير من خواصها الهندسية مثل المنفذية وتصميم المرشحات والأنضمام، كما أن تلامس التربة مع الماء يؤثر كثيراً على أستقرار المنشآت الترابية مثل السدود والتعليات والمنحدرات. أن تنافذ الماء خلال طبقات الطرق بسبب الأمطار وغيرها يؤدي الى أنهيار أو تصدع أجزاء من الطريق، كما أن وجود الماء داخل التربة يساعد في أتمام عملية الرص لغرض الحصول على كثافة عالية للتربة وبالتالي ضمان وجود تربة ذات خواص هندسية جيدة.

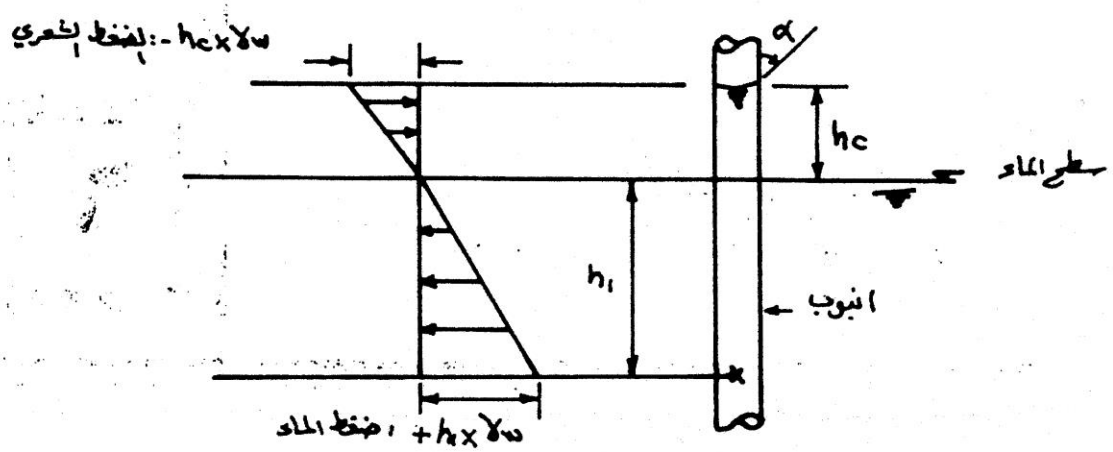
### ٦ – ٢ – الخاصة الشعرية Water capillarity

من المعلوم أن التربة فوق سطح الماء الجوفي تكون مشبعة بالماء ولأرتفاع أضافي معين، ويكون هذا الأرتفاع ناجماً عن التأثير الشعري. أن الماء الشعري لاتقتصر فائدته للنبات فقط وانما له تأثير على حالة الأجهاد داخل التربة.

عندما تجف التربة يقل حجمها بسبب ضغط الماء السالب الذي يعمل على سحب الجزيئات نحو بعضها عند تبخره، وتسمى هذه الظاهرة بالتجفيف desiccation. وتسبب هذه الظاهرة حدوث أنضمام للتربة وبالتالي زيادة مقاومتها للقص.

تحدث الخاصة الشعرية في التربة الناعمة خصوصاً والتي يتراوح حجم ذراتها من ٠,٠١ ملم الى ٠,١٠ ملم حيث يصل الأرتفاع الشعري capillary rise في هذه الحالة الى ٥٠٠ ملم ولحد ١٠٠٠ ملم خلال فترة ٢٤ ساعة. ويتم توضيح الخاصية الشعرية في الأنابيب لفهمها في التربة بالشكل رقم (٦–١) حيث يكون الماء في الأنبوب تحت ضغط أوطأ من الضغط الجوي مما يسبب ضغطاً سالباً فيه، وتكتب معادلة الأرتفاع الشعري بالشكل التالي:

$$h_c = \frac{2\,T_s \times \cos\alpha}{r \times \gamma_w} \qquad \ldots(٦-١)$$




شكل (٦-١) الأرتفاع الشعري في الأنابيب

حيث :

$h_c$ الارتفاع الشعري (ملم).

$T_s$ الشد السطحي للماء ( نيوتن / ملم).

r نصف قطر الأنبوب (ملم)

$\gamma_w$ كثافة الماء (نيوتن / ملم$^3$) وتساوي ٠,٠٠٩٨١

$\alpha$ زاوية التماس بين سطح الماء في الأنبوب وجدار الأنبوب (درجة) ، ولأنبوب من الزجاج نظيف كيمياوياً والماء فأن $\alpha$ = صفر.

ويتم أشتقاق المعادلة (٦-١) من موازنة عمود الماء في الأنبوب مع المركبة العمودية للشد السطحي وكما يلي :

$$\pi \times r^2 \times h_c \times \gamma_w = 2\pi \times r \times T_s \times \cos\alpha \quad \ldots(٦-١)$$

$$\therefore h_c = \frac{2\,T_s \times \cos\alpha}{r \times \gamma_w}$$

كما يمكن كتابة معادلة الأرتفاع الشعري للتربة كما يلي :

$$h_c = \frac{c}{e \times D_{10}} \quad \ldots(٦-٢)$$

حيث :

c ثابت ذو قيمة (١٠ – ٥٠) ملم$^2$ ويعتمد على شكل الحبيبات

e نسبة الفراغات للتربة

$D_{10}$ القطر الفعال للتربة (ملم).

أن التربة ذات المنفذية الواطئة مثل الطين لايرتفع فيها الماء بسهولة بل يستغرق ذلك وقتاً طويلاً لذلك تستخدم تلك التربة في المناطق المتجمدة ، بينما لايفضل أستخدام التربة ذات المنفذية العالية مثل الرمل والغرين هنا لأن ذوبان الماء عند أرتفاع درجات الحرارة ويجعلها في حالة رخوة وسائلة liquid state مما يقلل من مقاومتها للانقال.

## ٦ – ٣ – الضغط المؤثر والكلي في التربة Effective & Total stress in soil

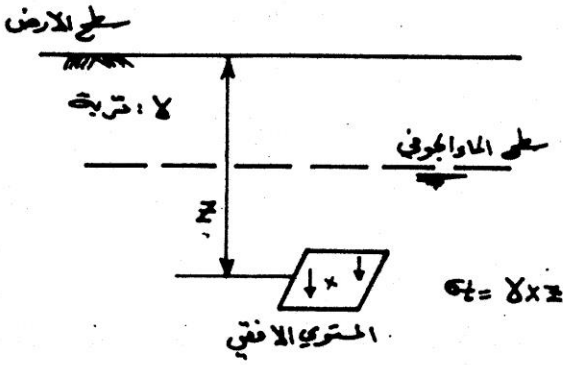
أن القوى المؤثرة على التربة عند مستوى أفقي تساوي وزن التربة على ذلك المستوي وكما في الشكل رقم (٦ – ٢) :

الأجهاد الكلي : $\sigma_t = \gamma \times Z$ .... (٦ – ٣)

حيث :

$\gamma$ كثافة التربة

Z العمق تحت سطح الأرض




شكل (٦-٢) الضغط الكلي على التربة

وتمثل كثافة التربة $\gamma$ وزن كل من حبيبات التربة والماء على وحدة المساحة عند المستوي ، ويمكن تمثيل ضغط ماء المسام بالمعادلة التالية :

$u = \gamma_w \times Z$ ... (٦ – ٤)

وبذلك يكون الأجهاد المؤثر

$\sigma' = \sigma_t - u$ .... (٦ – ٥)

وتكون التربة في حالات مختلفة وكما يلي :

### آ. حالة جافة Dry

وتستخدم هنا الكثافة الجافة ($\gamma_d$) ويكون ضغط ماء المسام هنا يساوي صفراً.

### ب. حالة رطبة أوكلية Partially saturated

وتستخدم هنا الكثافة الكلية للتربة ($\gamma_m$)

### ج. حالة مشبعة Saturated

وتستخدم هنا الكثافة المشبعة للتربة ($\gamma_{sat}$)

### د. حالة مغمورة Submerged

وتكون التربة هنا تحت سطح الماء الجوفي وتكون كثافتها مغمورة ($\gamma_b$) .

مع العلم أن :

$$\text{الكثافة الرطبة} \quad \gamma_m = \frac{G_s\,(1+\omega_c)\times\gamma_w}{(1+e)}$$

$$\text{الكثافة الجافة} \quad \gamma_d = \frac{G_s}{(1+e)}\times\gamma_w$$

$$\text{الكثافة المشبعة} \quad \gamma_{sat.} = \frac{(G_s+e)}{(1+e)}\times\gamma_w \qquad \dots (٦-٦)$$

$$\text{الكثافة المغمورة} \quad \gamma_b = \gamma_{sat.} - \gamma_w$$

مع العلم أن هذه المعادلات ذكرت في فصل سابق وتعرف رموزها كما يلي :

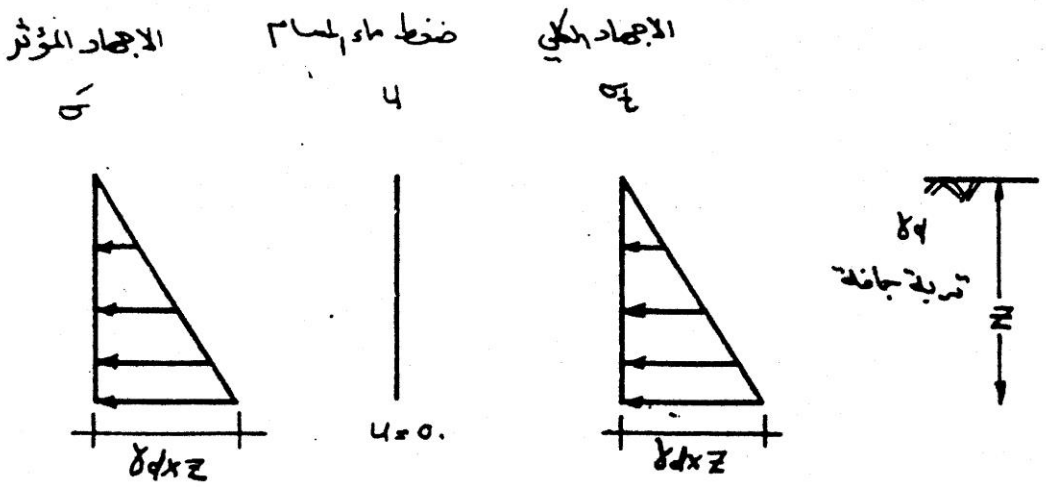
$G_s$ الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$\omega_c$ محتوى الرطوبة

e نسبة الفراغات

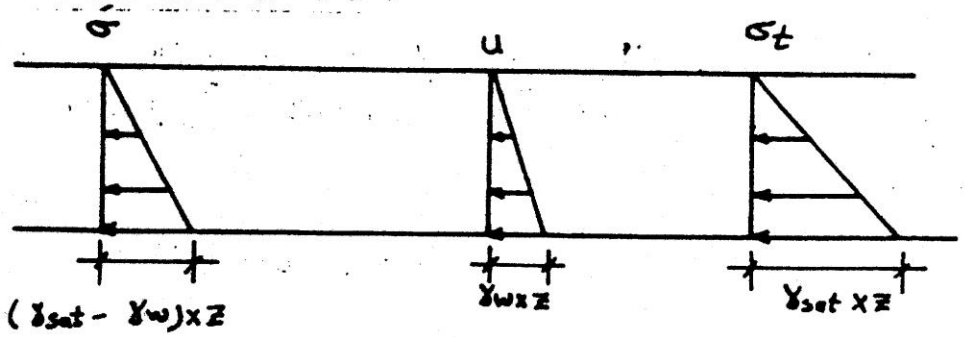
ويتم حساب كل من الأجهاد الكلي الأجهاد المؤثر وضغط ماء المسام للتربة وكما يلي :

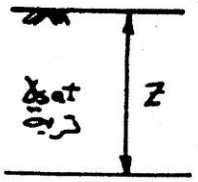
آ. الحالة الجافة Dry



ب . الحالة المشبعة

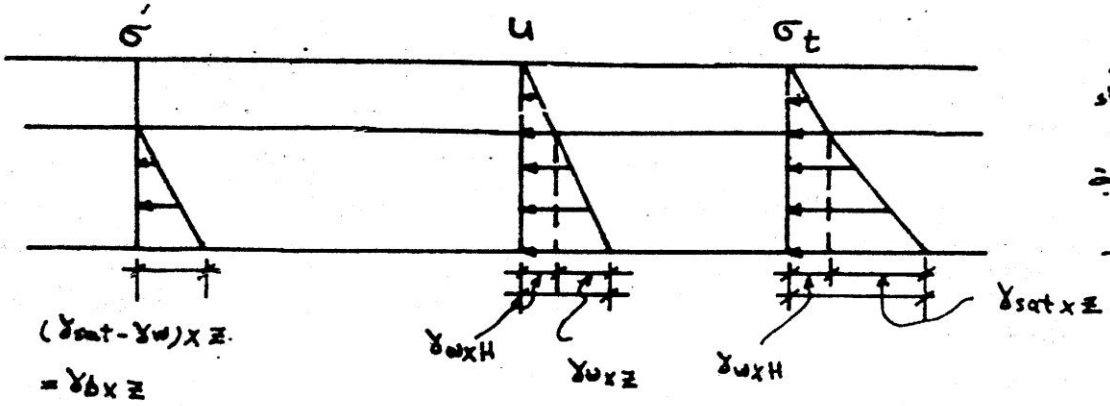
Saturated

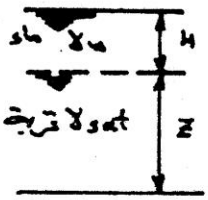



ج . تحت سطح الماء

Under water

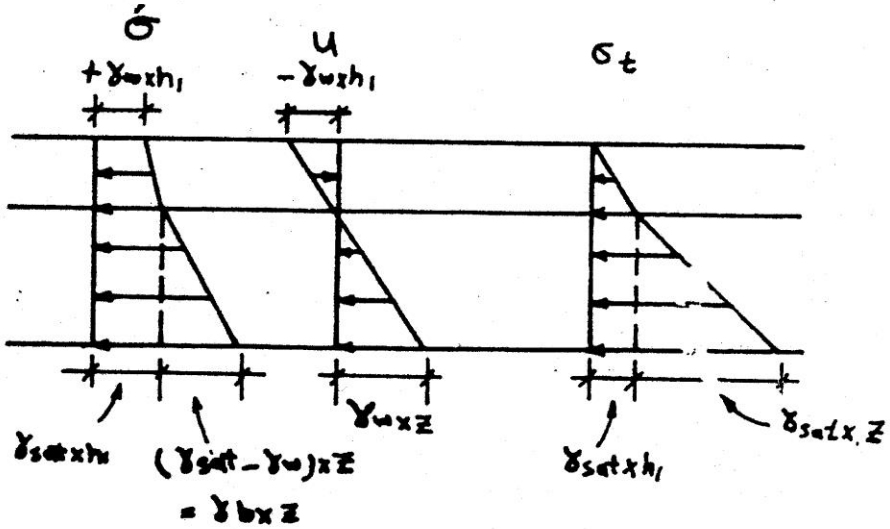


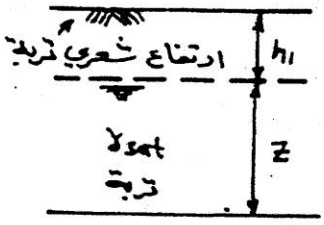




د . الخاصة الشعرية التامة

Full capillarity

يجب ملاحظة كون ضغط ماء المسام سالباً في الحالة الشعرية.




وستأتي أهمية وتفصيل ذلك في الفصل التاسع (مقاومة القص) وضمن فقرة ضغط ماء المسام (٩-٧).

# المحاضرة الخامسة عشر

## ٧- ٩- ١- المرشحات الرملية Sand Filters

تستخدم المرشحات في المنشآت الهندسية المختلفة المتضمنة تسرب الماء خلال التربة مثل السدود الترابية وانابيب بزل واستصلاح التربة وبذلك لترشيح الماء المتسرب خلال التربة. ويمكن تعريف المرشح على انه طبقة من التربة ذات حبيبات أكبر حجماً من التربة الاصلية المطلوب ترشيح الماء منها ، ولها منفذية اعلى ايضاً. ويتم تصميم المرشحات بحيث تكون حبيباتها:

أ. ناعمة ومتدرجة كي لاتسمح بخروج حبيبات التربة الاصلية الناعمة مع الماء.
ب. خشنة كي تسمح للماء بالمرور خلالها.
وقد وضع العالم ترزاكي Terzaghi مواصفات خاصة لتكون جيدة الترشيح وتشمل مايلي:
أ. ان تكون :

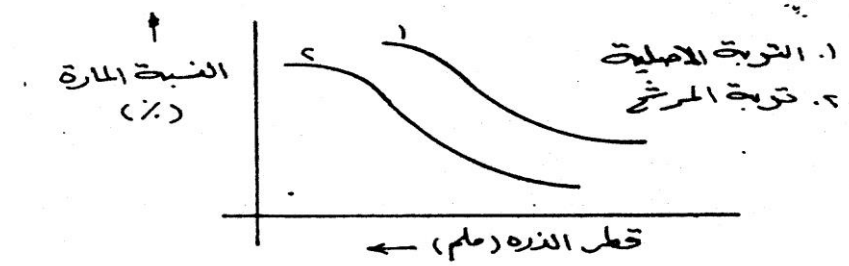
$$\frac{D_{15} \text{ لتربة المرشح}}{D_{15} \text{ للتربة الاصلية}} \text{ اكبر من ٤ واقل من ٢٠}$$

ب. ان تكون :

$$\frac{D_{15} \text{ لتربة المرشح}}{D_{85} \text{ للتربة الاصلية}} \text{ اقل من ٥}$$

جـ- ان تكون : $\frac{D_{50} \text{ لتربة المرشح}}{D_{50} \text{ للتربة الاصلية}}$ أقل من ٢٥ .

د. أعظم حجم للمجموع maximum aggregate size لتربة المرشح يساوي ٧٥ ملم.
هـ. ان يكون منحني توزيع الحبيبات لتربة المرشح موازياً لمنحني التربة الاصلية وكما في الشكل رقم (٧- ١٢).




## ٧- ٩- ٢- حالة وعساء التربة quick sand condition

عند جريان الماء خلال التربة فانه يولد ضغطاً على حبيباتها ، واذا كان الجريان من الاسفل الى الاعلى وكما في الشكل رقم (٧- ١٣) فان ضغط الماء تقاومه التربة بوزنها وكما يلي :

ضغط الماء على التربة للاعلى $= (h + L) \times \gamma_w \times A$

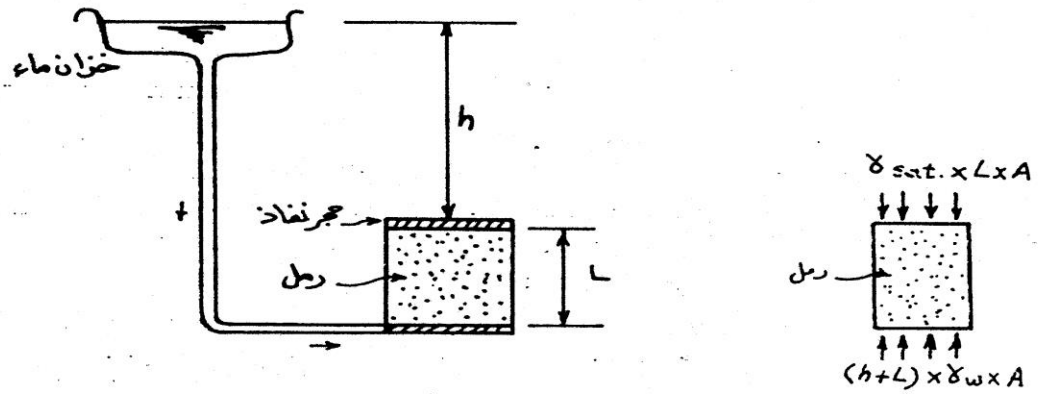
وزن التربة المشبعة للاسفل $= \gamma_{sat.} \times L \times A$

ولتوازن الحالة تكون :

$$(h + L) \times \gamma_w \times A = \gamma_{sat.} \times L \times A$$

لكن :

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




شكل (٧ – ١٣) حالة وعساء التربة Quick sand condition

فتكون الحالة :

$$\frac{h}{L} = \frac{G_s + e}{1 + e} - 1$$

$$\frac{h}{L} = [\gamma_w \times \frac{G_s + e}{1 + e} - \gamma_w] / \gamma_w$$

$$\frac{h}{L} = [\gamma_{sat.} - \gamma_w] / \gamma_w$$

$$\frac{h}{L} = \frac{\gamma_{sub.}}{\gamma_w}$$

$$i_c = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w} \quad \text{(الانحدار المائي الحرج)} \qquad (٧ - ١٩)$$

ان الانحدار المائي (i) هو النسبة بين ارتفاع شحنة الماء (ضغط الماء) وطول المسار الذي يتخلله الماء عند مروره خلال التربة. وعندما يكون المسار كبيراً فان قيمة (i) تكون منخفضة حيث يتشتت ضغط الماء خلال التربة ولكنه يكون ذا قيمة عالية وبحدود وحدة واحدة عندما يكون مسار الماء قصيراً مما يولد ضغطاً كبيراً على التربة في مؤخرة السدود ويولد حالات عدم استقرار هناك لذلك تكون قيمة الانحدار المائي حرجة ($i_c$) عند هذه الحالة. وتعالج هذه الحالة بوضع قطع كبيرة من الصخور rip – rap على مؤخرة السد down stream لمقاومة ضغط الماء العالي ولمنع انهيار السد وتكون قيمة $i_c$ تساوي 1 تقريباً.

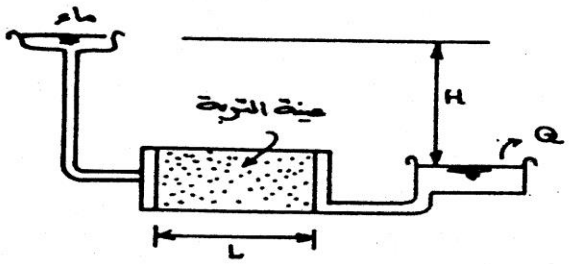
# المحاضرة الرابعة عشر

## ٧ – ٢ – قانون دارسي Darcy's law

نظم العالم دارسي علاقة تربط بين كمية الماء (Q) الساري خلال حبيبات التربة مع معامل المنفذية (K) والأنحدار المائي (i) ومقطع المساحة الكلية لعينة التربة (A) العمودي على أتجاه سريان الماء في وقت معين (t) وبالصيغة التالية وأعتماداً على الشكل رقم (٧–٤) :

تتناسب سرعة الماء النافذ مع الانحدار المائي :

$$v \alpha i \quad \ldots (٧-١)$$




شكل (٧–٤) تنافذ الماء خلال التربة

لكن الأنحدار المائي يساوي :

$$i = \frac{H}{L} \quad \ldots (٧-٢)$$

حيث يمثل H الفقدان في أرتفاع شحنة الماء الكلية و L طول مسار الماء .

ومن حل المعادلتين (٧–١) و (٧–٢) تصبح المعادلة كالاتي :

$$V = K \times i \quad \ldots (٧-٣)$$

حيث تمثل K معامل المنفذية أومايسمى بمعامل دارسي وتقاس بوحدات ملم / ثانية أوم / ثانية . لكن التصريف يساوي :

$$Q = A \times V \quad \ldots (٧-٤)$$

حيث تمثل A مساحة مقطع التربة المار من خلاله الماء .

وبحل المعادلة (٧–٣) والمعادلة (٧–٤) تصبح معادلة المنفذية كالاتي :

$$Q = A \times (K \times i)$$

$$Q = A \times K \times \frac{H}{L}$$

وبذلك يكون معامل المنفذية :

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H} \quad \ldots (٧-٥)$$ : معامل المنفذية

كما يمكن التعبير عن التصريف بالشكل التالي :

$$\text{التصريف (Q)} = \frac{\text{حجم الماء النافذ (ملم}^3\text{)}}{\text{الزمن (ثانية)}} \quad \ldots . (٧-٦)$$

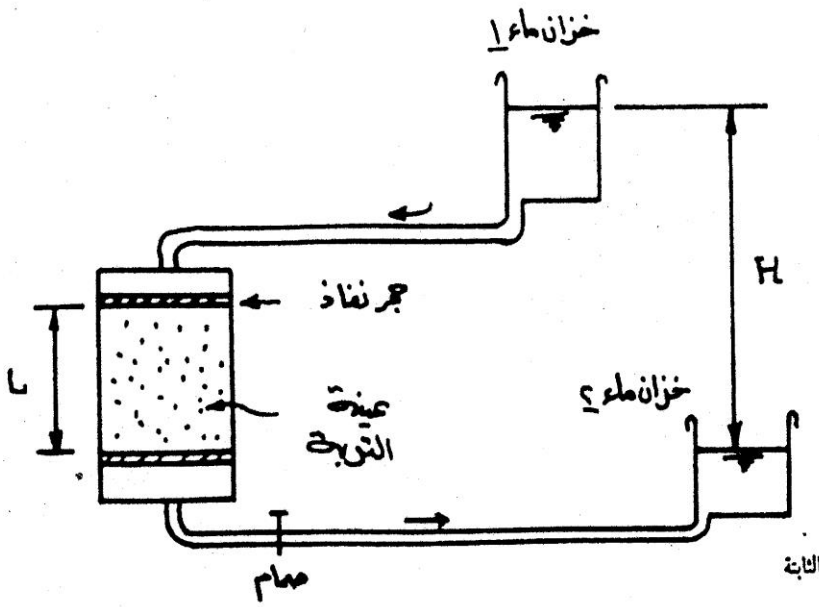
## ٧ – ٤ – قياس المنفذية في المختبر

يتم قياس منفذية التربة في المختبر بطرق بسيطة وسريعة حيث تختلف تلك الطرق أعتماداً على حجم حبيبات التربة. تستخدم طريقة شحنة الماء الثابتة لقياس منفذية التربة ذات الحبيبات الخشنة مثل الرمل والحصى بينما تستخدم طريقة شحنة الماء المتغيرة في حالة التربة ناعمة الحبيبات مثل الطين والغرين. ويجب أن تكون العينة في الحالتين مشبعة تماماً بالماء fully saturated قبل بدء الفحص لتجنب تأثير وجود الفقاعات الهوائية على التنافذ. وفيما يلي تفصيل كل طريقة، مع ملاحظة أن يكون قطر العينة أكبر من (١٥–٢٠) مرة من قطر أكبر حبيبة في التربة.

### ٧–٤–١– طريقة شحنة الماء الثابتة constant head test

تستخدم تلك الطريقة لقياس منفذية التربة ذات الحبيبة الخشنة مثل الحصى والرمل حيث تستخدم هنا عينة اسطوانية الشكل ذات قطر يساوي ٤٢,٥ ملم وطول (ارتفاع) يساوي ١٤١,٥ ملم.

وتوضع العينة في قالب الفحص الذي يتصل بخزان للماء وكما في الشكل (٧– ٥)، حيث يتم قياس الماء النافذ خلال العينة عند فترة زمنية معينة ويتم حساب المنفذية كالاتي:




شكل (٧– ٥) تجربة شحنة الماء الثابتة

ومن ملاحظة المعادلتين (٧– ٦) و (٧– ٥):

$$\text{التصريف (Q)} = \frac{\text{حجم الماء النافذ (ملم}^3\text{)}}{\text{الزمن (ثانية)}} \quad \ldots\ldots (٧-٦)$$

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad \ldots\ldots (٧-٩)$$

حيث

K منفذية التربة (ملم / ثا)

Q كمية الماء الجارية خلال فترة زمنية معينة وتساوي t (ملم$^3$)

L طول مسار الماء العينة (ملم)

A مساحة مقطع العينة العمودي على اتجاه الجريان (ملم$^2$)

H شحنة الماء (ملم)

t الزمن الذي يستغرقه الماء ليتنافذ بالمقدار (Q) ، (ثانية).

### ٧–٤–٢– طريقة شحنة الماء المتغيرة falling head test

تستخدم تلك الطريقة لقياس منفذية التربة ذات الذرات الناعمة وهي الطين والغرين ؛ ويستغرق الماء وقتا طويلا كي يتنافذ من خلال عينة التربة. يسمح للماء بالمرور خلال العينة ويقاس الوقت اللازم لهبوط شحنة الماء (ارتفاع عمود الماء) بمقدار معين. ويوضح الشكل رقم (٧– ٦) طريقة الفحص، ويتم حساب منفذية التربة من المعادلة التالية:

$$K = \frac{2.3\, a\, L}{A\, t_1} \log_{10}\left(\frac{h_0}{h_1}\right) \quad \ldots\ldots (٧-١٠)$$

حيث :

a مساحة مقطع الانبوب (ملم$^2$)

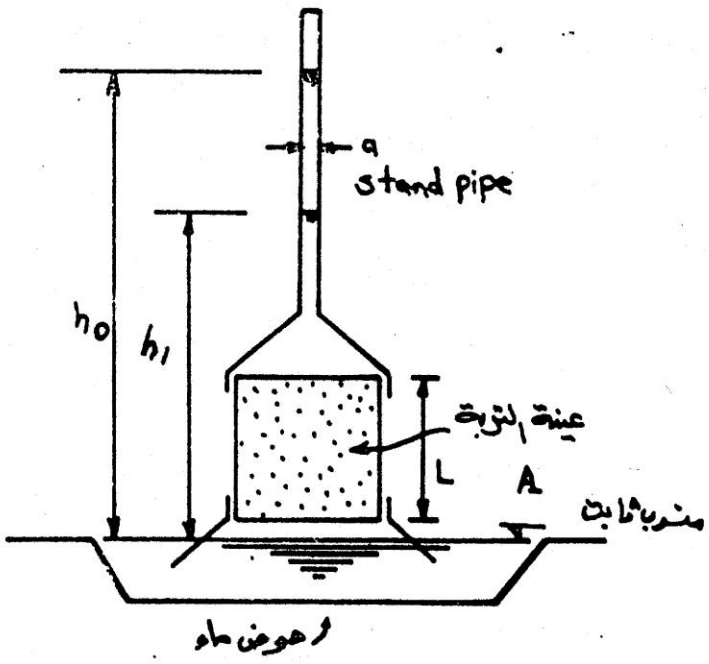
L طول العينة (ملم)

$h_0$ شحنة الماء عند بداية التجربة (ملم)

$h_1$ شحنة الماء عند نهاية التجربة (ملم)

A مساحة مقطع العينة (ملم$^2$)

$t_1$ الوقت اللازم لهبوط شحنة الماء من $h_0$ الى $h_1$ (ثانية).




شكل (٧– ٦) تجربة شحنة الماء المتغيرة

ويمكن اشتقاق المعادلة (٧– ١٠) بالشكل التالي:

عند زمن وسطي (t) يكون منسوب الماء في العمود المتغير فمثلا بالرمز (h) ومعدل تغيره ($-\frac{dh}{dt}$) وعند هذا الزمن (t) فأن الفرق في الشحنة الكلية بين قمة العينة يساوي (h) ، وعند تطبيق قانون دارسي:

$$-a\frac{dh}{dt} = A\,K\frac{h}{L}$$

$$-a\int_{h_0}^{h_1}\frac{dh}{h} = \frac{AK}{L}\int_{0}^{t_1}dt$$

$$-a\,[\ln h]_{h_0}^{h_1} = \frac{AK}{L}[t]_{0}^{t_1}$$

$$-a\,[\ln(h_1) - \ln(h_0)] = \frac{AK}{L}[t_1 - 0]$$

$$\therefore\ a\,[\ln(h_0) - \ln(h_1)] = \frac{A\,K\,t_1}{L}$$

$$a\,\ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right) = \frac{A\,K\,t_1}{L}$$

$$\therefore\ K = \frac{a\,L}{A\,t_1}\ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right)$$

$$\therefore\ K = \frac{2.3\,a\,L}{A\,t_1}\log_{10}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)$$

تتغير منفذية التربة بتغير درجة حرارة الماء وذلك لاختلاف كثافته ولزوجته ، واعتمادا على التجارب التي اجراها العالم دارسي فان معادلاته لحساب المنفذية كانت تستند على كون درجة حرارة الماء تساوي (٢٠ م°). اما اذا كانت مغايرة لذلك اثناء الفحص فيجب إن يتم تصحيح قيمة المنفذية باستخدام المعادلة التالية:

$$K_{20} = K_T \times w \qquad \ldots(٧ - ١١)$$

حيث:

$K_{20}$ منفذية التربة عند درجة حرارة ٢٠ م°

$K_T$ منفذية التربة عند الفحص بدرجة حرارة الماء تساوي(T) م°

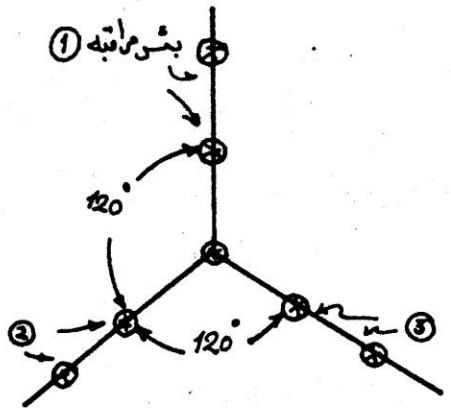
w معامل التصحيح وتؤخذ قيمته من الشكل رقم (٧– ٧).

## ٧- ٦- قياس المنفذية في الموقع

يتم قياس المنفذية للتربة موقعياً بواسطة ضخ الماء من بئر مركزي يحفر لعمق يصل الى نهاية الطبقة المطلوب قياس منفذيتها.

ويتم الضخ من البئر المركزي بمعدل ثابت ومحدد ويلاحظ انخفاض سطح الماء الجوفي في هذا البئر وفي ثلاثة آبار اخرى تحفر حول البئر المركزي للمراقبة observation wells حيث تكون على جوانب البئر المركزي وتصنع مع بعضها زاوية مقدارها (١٢٠) درجة على سطح الارض وكما في الشكل رقم (٧- ٨).

وهناك حالتان للآبار (المكامن المائية aquifers) اعتماداً على طبقة التربة التي يتطلب ايجاد منفذيتها وهي :




شكل (٧- ٨) طريقة حفر الآبار لقياس منفذية التربة موقعياً.

### ٧- ٦- ١- المكمن المائي المحصور Confined aquifer

وتمثل هذه الحالة طبقة تربة رملية مغطاة بطبقة طينية غير منفذة ، وكما في الشكل رقم (٧- ٩) حيث يتم حساب المنفذية باستخدام المعادلة التالية :

$$K = \frac{2.3\ Q \times \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \times H \times (h_2 - h_1)} \quad \ldots\ldots (٧-١٢)$$

حيث :

Q كمية الماء التي تضخ من البئر المركزي (ملم$^3$/ ثا).

$r_2$ المسافة الافقية من البئر المركزي الى البئر الثاني للمراقبة (ملم).

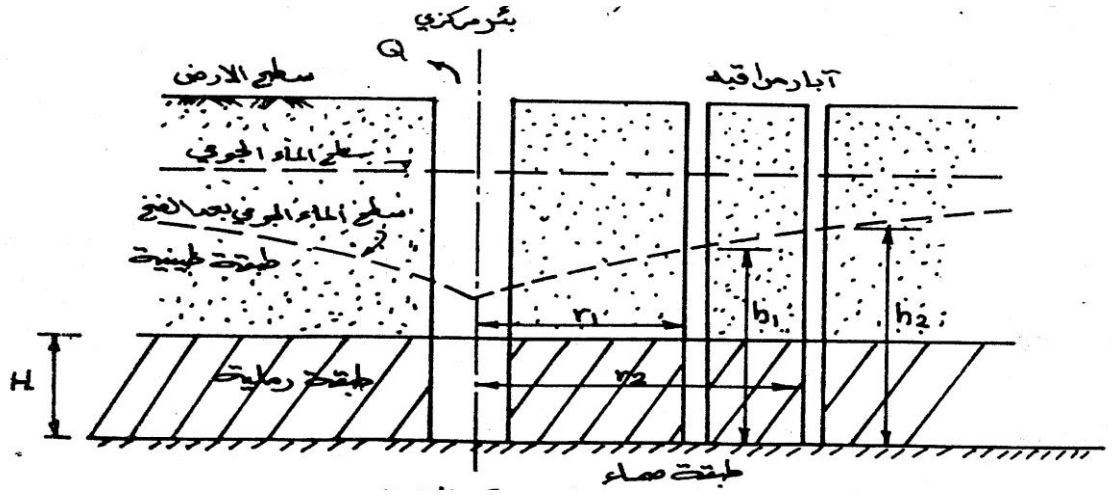
$r_1$ المسافة الافقية من البئر المركزي الى البئر الاول للمراقبة (ملم).

H سمك الطبقة الرملية المطلوب قياس منفذيتها (ملم).

$h_2$ ارتفاع سطح الماء الجوفي في بئر المراقبة الثاني (ملم).

$h_1$ ارتفاع سطح الماء الجوفي في بئر المراقبة الاول (ملم).

k منفذية التربة الرملية (ملم/ ثا).

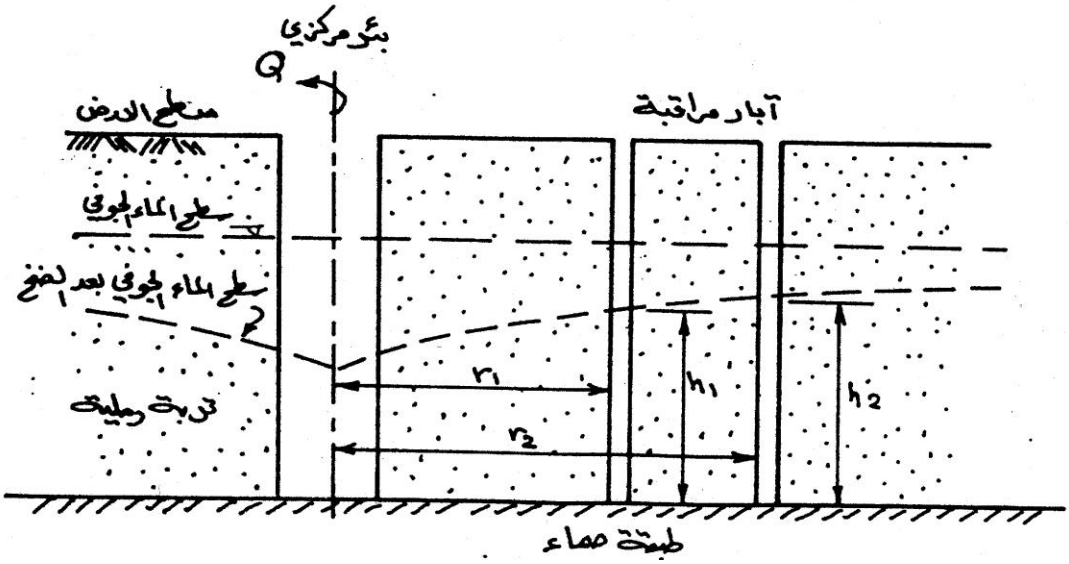



**Unconfined aquifer**

## ٧- ٦- ٢- المكمن المائي غير المحصور

حيث تمثل تلك الحالة طبقة تربة رملية متجانسة موجودة تحت السطح مباشرة وتحسب المنفذية كما يلي وكما يوضحه الشكل رقم (٧- ١٠) :

$$K = \frac{2.3\,Q \times \log 10\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi\,(h_2^2 - h_1^2)} \qquad \ldots\ldots (٧-١٣)$$



# المحاضرة السادســـــة والســـــابعة

**الامتحان القبلي :-**

١- ماهي العوامل التي تؤثر على خواص التربة ؟
٢- ما تاثير حجم حبيبات التربة على خصائص التربة ؟
٣- كيف يتم تحديد حجم حبيبات التربة ؟

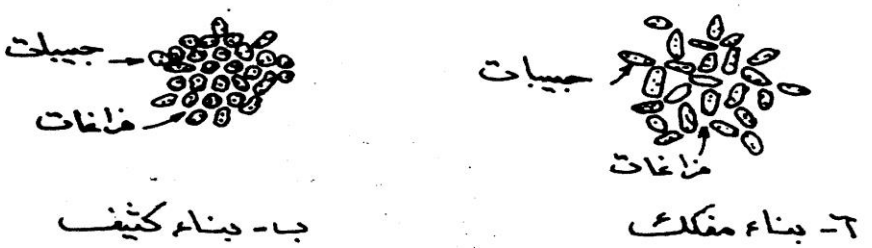
## تحليل الحبيبات والبناء التركيبي للتربة

### ١- تركيب التربة وبنائها

توجد التربة بثلاثة انواع من ناحية البناء اعتماداً على حجم الحبيبات ودرجة التقارب بين الحبيبات وبيئة الترسيب وكذلك على طبيعة القوى الرابطة بين الحبيبات ، وتشمل :

**١ – التربة الخشنة ذات البناء المفرد** **single grain structure**

وتشمل كلا من الحصى والرمل ، ويكون التقارب بين حبيبات التربة غالبا بتأثير قوى الجذب اي وزن الحبيبات . وتكون الحبيبات منفصلة عن بعضها البعض وفي تماس فقط ، ويتغير هذا البناء من كثيف جداً very dense الى مفكك جداً very loose اعتماداً على طريقة وضع التربة والشكل رقم (٣ – ١) يوضح هذا النوع من البناء.




شكل (٣-١) بناء حبيبات التربة الخشنة

**٢ – التربة الناعمة** **fine grain structure**

وتشمل كلاً من الغرين والطين وتتغير من قوي جدا very stiff الى ضعيف جدا very soft . وهناك شحنات كهربائية مسؤلة عن تقارب وتباعد الحبيبات اعتمادا على كون الشحنات مختلفة او متشابهة ، وتشمل الانواع التالية :

**آ– بناء مرتب** **oriented**

وينتج هذا البناء عن تنافر بين حبيبات التربة وذلك لتشابه الشحنات الكهربائية الموجودة على سطوحها. وتشمل ترسبات المياه العذبة كالبحيرات العذبة ، والشكل رقم (٣–٢ – آ) يوضح هذا النوع من البناء.

**ب – بناء ملبد** **flocculent**

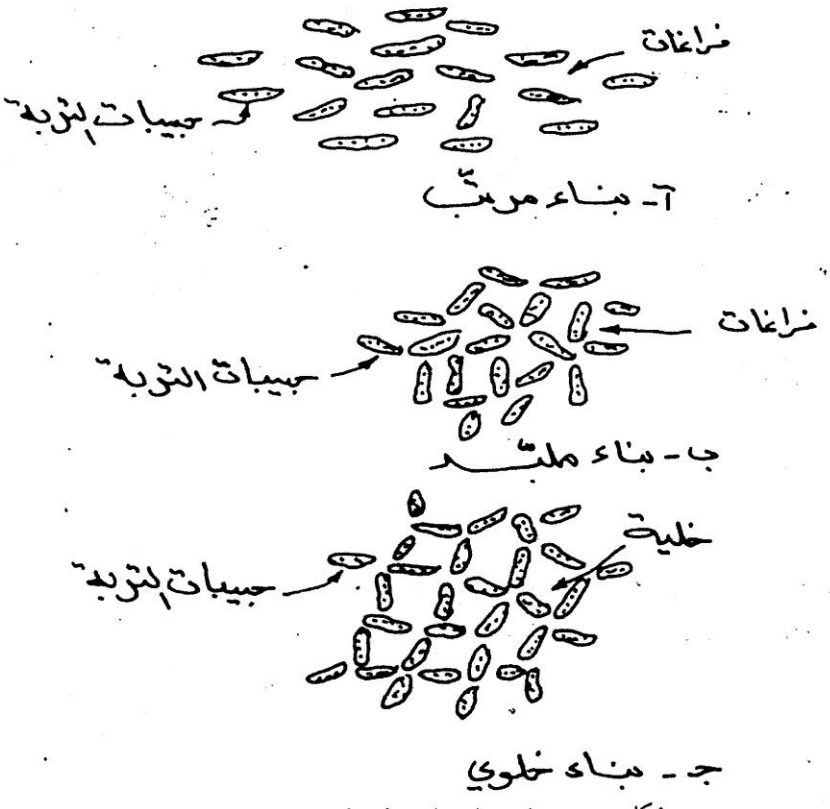
عندما ترسب التربة في المياه المالحة مثل البحار فانه يحدث تجاذب الحبيبات لوجود شحنات كهربائية مختلفة على سطوحها، عندئذ ينتج بناء حبيبات ملبد. واذا حدث ان سلطت احمال على تلك التربة بالانضمام او الرص فانه بالامكان تحول البناء الملبد الى مرتب.

البناء الملبد موضح في الشكل رقم (٣– ٢– ب).

**ج – بناء خلوي** **cellular**

تكون قوى التجاذب بين حبيبات التربة عالية جدا وتنتج من انواع معينة من ترسبات التربة المالحة. ويكون هذا البناء مستقراً وحجم الفراغات كبيراً، وكما يظهر في الشكل رقم (٣– ٢– ج).

ينهار البناء الخلوي بسرعة كبيرة في حالة تعرضه للاجهادات. ويصبح هذا البناء مستقرا في حالة واحدة فقط عندما تكون هنالك مواد سمنتية رابطة في نقاط الاتصال cementing material لاتتأثر بالماء كمواد الجبس.




شكل (٣– ٢) بناء حبيبات التربة الناعمة

## ٣- ٢- حجم الحبيبات والتدرج الحبيبي للتربة

تقسم التربة اعتماداً على حجم الحبيبات المكونة لها الى مايلي :-

**١- تربة خشنة** **coarse – grained**

وهي تربة غير متماسكة وتشمل كلاً من الحصى الذي تكون حبيباته ذات حجم اكبر من ٢ ملم ، والرمل الذي يتراوح حجم حبيباته من ٠,٠٦ الى ٢ ملم.

**٢- تربة ناعمة الحبيبات** **Fine – grained**

وهي ذات حبيبات بحجم أقل من ٠,٠٦ ملم حسب التصنيف العراقي والبريطاني والـ M.I.T..الخ. وهي تربة متماسكة وتشمل كلاً من الغرين والطين.

يتم فصل التربة الى حجوم مختلفة اعتماداً على حجم الحبيبات المكونة لها وذلك باستخدام عينة من تلك التربة ذات وزن معين ثم حساب تدرج الحبيبات لها ، وتتم تلك العملية باستخدام طريقتين هما :

١. تحليل المناخل Sieve analysis
٢. تحليل المكثاف hydrometer analysis

وفيما يلي عرض للطريقتين.

### تحليل المناخل

ان معرفة تدرج حبيبات التربة له أهمية كبيرة في المشاريع الهندسية كافة مثل السدود الترابية والطرق وخطوط السكك الحديدية وغيرها ، اذ ان خواص التربة المهمة وسلوكها الهندسي تعتمد على حجم حبيباتها وسنأتي الى ذلك في نهاية الفصل. تستخدم في هذا التحليل مناخل ذات فتحات قياسية معلومة وحسب نظام معين حيث تتدرج تلك المناخل في الحجم.

تستخدم هنا عينة من التربة ذات وزن معلوم حيث تنخل على مجموعة المناخل وتسجل أوزان التربة المتبقية على كل منخل بعد انتهاء عملية النخل ، والجدول رقم (٣- ١) يحصي المناخل القياسية المستخدمة مع قطر الفتحة الخاصة بكل منها. ويتم العمل حسب الخطوات التالية :

١. توزن المناخل فارغة ونظيفة.
٢. تنخل التربة ويسجل وزن التربة المتبقية على كل منخل.
٣. تحسب نسبة التربة المتبقية على كل منخل كما يلي :

$$\text{التربة المتبقية (٪)} = \frac{\text{وزن التربة المتبقية (غم)}}{\text{وزن العينة الكلية (غم)}} \times ١٠٠٪$$

٤ . تحسب النسبة المتبقية والمتجمعة على كل منخل ، وذلك بجمع النسب المتبقية على كل المناخل التي قطر فتحاتها اكبر من المنخل المطلوب ، مثلا :

| رقم المنخل | النسبة المتبقية (٪) | النسبة المتجمعة (٪) |
|---|---|---|
| ٤ | ٠,٠٠ | ٠,٠٠ |
| ١٠ | ٣,٢٠ | ٣,٢٠ |
| ٢٠ | ٥,٧٠ | ٨,٩٠ |
| ٥٠ | ٤٠,٥٠ | ٤٩,٤٠ |

٥ . تحسب نسبة التربة المارة من كل منخل كما يلي :

التربة المارة (٪) = [ ١٠٠ ٪ – التربة المتجمعة (٪) ]

**جدول (٣– ١) المناخل القياسية حسب المواصفات الامريكية والمواصفات البريطانية**
**(ASTM E – 11 – 70/41) و (BS – 410)**

| المواصفات البريطانية | | المواصفات الامريكية | |
|---|---|---|---|
| No. | opening (mm) | sieve No. | opening (mm) |
| | | | 100.0 |
| | | | 75.0 |
| | | | 63.0 |
| | | | 50.0 |
| | | | 45.0 |
| | | | 37.5 |
| | | | 31.5 |
| | | | 25.0 |
| | | | 19.0 |
| | | | 16.0 |
| | | | 12.5 |
| | | | 9.5 |
| | | | 8.0 |
| | | | 6.3 |

تابع جدول (٣- ١)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | 4.75 | | |
| 5 | 4.00 | | |
| | | 5 | 3.353 |
| 6 | 3.35 | | |
| 7 | 2.80 | 6 | 2.812 |
| | | 7 | 2.411 |
| 8 | 2.36 | | |
| 10 | 2.00 | 8 | 2.057 |
| 12 | 1.70 | 10 | 1.676 |
| 14 | 1.40 | 12 | 1.405 |
| | | 14 | 1.204 |
| 16 | 1.18 | | |
| 18 | 1.00 | 16 | 1.003 |
| 20 | 0.850 | 18 | 0.853 |
| 25 | 0.710 | 22 | 0.699 |
| 30 | 0.600 | 25 | 0.599 |
| 35 | 0.500 | 30 | 0.500 |
| 40 | 0.425 | 36 | 0.422 |
| 45 | 0.355 | 44 | 0.353 |
| 50 | 0.300 | 52 | 0.295 |
| 60 | 0.250 | 60 | 0.251 |
| 70 | 0.212 | 72 | 0.211 |
| 80 | 0.180 | 85 | 0.178 |
| 100 | 0.150 | 100 | 0.152 |
| 120 | 0.125 | 120 | 0.124 |
| 140 | 0.106 | 150 | 0.104 |
| 170 | 0.090 | 170 | 0.089 |
| 200 | 0.075 | 200 | 0.076 |
| 230 | 0.063 | 240 | 0.066 |
| 270 | 0.053 | 300 | 0.053 |
| 325 | 0.045 | —— | —— |
| 400 | 0.038 | —— | —— |

٦. يجب ملاحظة مايلي عند اجراء التحليل بالمناخل :

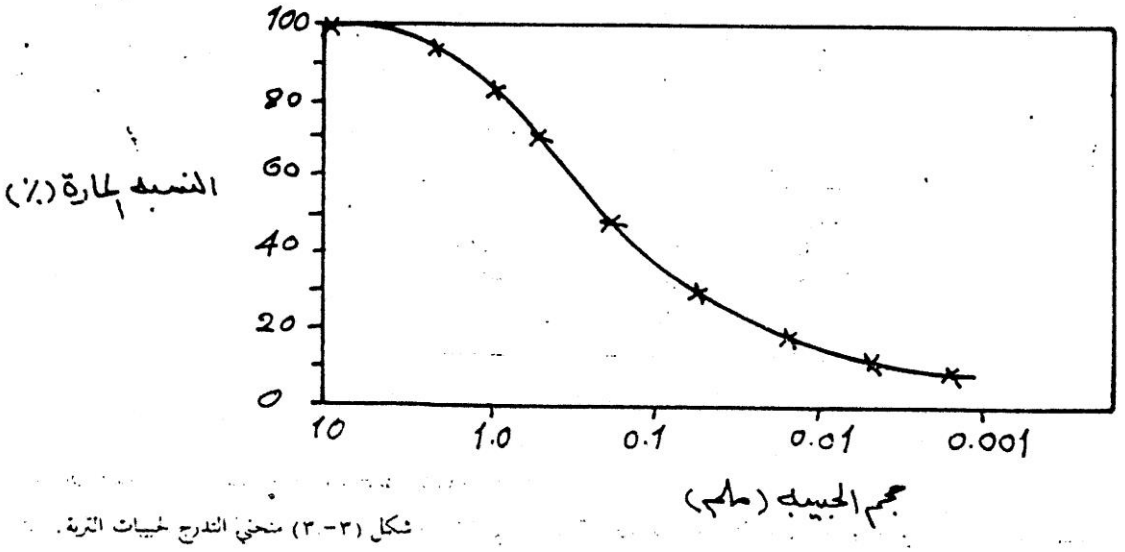
أ- اذا كانت النسبة المارة من منخل رقم ٢٠٠ لعينة التربة اكبر من ١٠٪ بعد اجراء التحليل فانه يتم غسل التربة washing على منخل رقم ٢٠٠ لحساب النسبة المارة منه بصورة مضبوطة.

ب- يجب ان يكون مجموع النسب المتبقية على المناخل المستعملة في التحليل مساوياً الى وزن العينة الاصلية وبفرق لايزيد عن ٢٪ والاّ يعاد التحليل.

٧. ينظم جدول القراءات والبيانات الخاص بالتحليل والنتائج المحسوبة كما يلي :-

| حجم اورقم المنخل | حجم فتحة المنخل (ملم) | وزن المنخل (غم) | وزن المنخل + التربة المتبقية (غم) | وزن التربة المتبقية (غم) | النسبة المتبقية (٪) | النسبة المتجمعة (٪) | النسبة المارة (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ عقدة | ٢٥,٤ | | | | | | |
| ٤/ ٣ عقدة | ١٩,١ | | | | | | |
| ٢/ ١ عقدة | ١٢,٧ | | | | | | |
| رقم ٤ | ٤,٧٦ | | | | | | |
| رقم ١٠ | ٢,٠٠ | | | | | | |
| رقم ٣٠ | ٠,٥٩ | | | | | | |
| رقم ٥٠ | ٠,٢٩٧ | | | | | | |
| ↓ | ↓ | | | | | | |
| رقم ٢٠٠ | ٠,٠٧٤ | | | | | | |
| الصجن (pan) | ——— | | | | | | |

٨. يرسم منحني التدرج الحبيبي للتربة وذلك بتعيين حجم الحبيبات (يمثله قطر فتحة المنخل) على المحور الافقي للرسم (قياس لوغاريتمي). ثم ترسم النسبة المارة من كل منخل على المحور العمودي (قياس أعتيادي) وتثبت النقاط ثم يمرر بها منحني يمثل تدرج التربة وبذلك فان الرسم يكون بقياس نصف لوغاريتمي وكما موضح في الشكل (٣-٣).




شكل (٣-٣) منحني التدرج لحبيبات التربة.

# المحاضرة العاشرة والحادية عشر

## تصنيف التربة

### ٥ – ١ – تصنيف التربة وحجم الحبيبات

ان تصنيف التربة يعني تسميتها واطلاق صفة لها وذلك بالاعتماد على خواصها الهندسية. ويتم ذلك بوضع حدود اختيارية يقترحها نوع التصنيف، فنقول مثلاً ان التربة رملية اذا كانت تحوي على نسبة عالية من الرمل ولها صفاته وخواصه. وهناك طرق عديدة ومختلفة لتصنيف التربة، وبصورة عامة فانه يمكن تصنيف التربة بطريقتين هما: –

١. الطريقة الاولى تعتمد على حجم حبيبات التربة فقط، وتستخدم لتصنيف التربة الحبيبات المفردة (التربة الخشنة) ذاتها والتي لاتمتلك قوى تلاصق وتماسك بين ذراتها وتسمى بالتربة غير المتماسكة cohesionless soil وتشمل الحصى والرمل.

٢. الطريقة الثانية عامة وتستخدم لتصنيف كل انواع التربة الخشنة والناعمة، حيث يعتمد التصنيف هنا على حجم الحبيبات اضافة الى الخواص الدالة الاخرى للتربة مثل حدود اتربيرغ Atterberg's limits.

ولتصنيف التربة اهمية كبيرة في ميكانيك التربة وهندسة الاسس حيث يشمل التصنيف وينفع في: –

١. تسمية التربة
٢. معرفة خواصها الهندسية
٣. معرفة ملائمتها للاعمال الهندسية المختلفة.

### ٥ – ٢ – طريقة معهد ماساشويتس للتكنلوجيا M.I.T classification

(يعتمد هذا التصنيف على حجم الحبيبات المكونة للتربة فقط، وبذلك فان منحني تدرج الحبيبات يكون مطلوباً في هذا التصنيف) ويمكن تلخيص هذا التصنيف بالجدول رقم (٥ – ١) حيث يفصل بين انواع التربة اعتماداً على حجم الحبيبات

جدول (٥– ١) تصنيف معهد ماساشويتس للتكنلوجيا

| تصنيف التربة | حجم الحبيبة (ملم) |
|---|---|
| – رمل خشن الحبيبات | ٢ – ٠,٦ |
| متوسط الحبيبات | ٠,٦ – ٠,٢ |
| ناعم الحبيبات | ٠,٢ ٠,٠٦ |
| – غرين خشن الحبيبات | ٠,٠٦ – ٠,٠٢ |
| متوسط الحبيبات | ٠,٠٢ – ٠,٠٠٦ |
| ناعم الحبيبات | ٠,٠٠٦ – ٠,٠٠٢ |
| – طين | اقل من ٠,٠٠٢ |

وهناك طريقة أخرى تعتمد ايضاً على حجم الحبيبات وتسمى بطريقة منظمة التربة الامريكية U.S.Bureau of Soil classification ويمكن تلخيصها بالجدول رقم (٥– ٢)

جدول (٥– ٢) تصنيف منظمة التربة الامريكية

| تصنيف التربة | حجم (ملم) |
|---|---|
| – حصى ناعم الحبيبات | ٢ – ١ |
| – رمل خشن الحبيبات | ١ – ٠,٥٠ |
| متوسط الحبيبات | ٠,٥٠ – ٠,٢٥ |
| ناعم الحبيبات | ٠,٢٥ – ٠,١٠ |
| ناعم جداً | ٠,١٠ – ٠,٠٥ |
| – غرين | ٠,٠٥ – ٠,٠٠٥ |
| – طين | اقل من ٠,٠٠٥ |

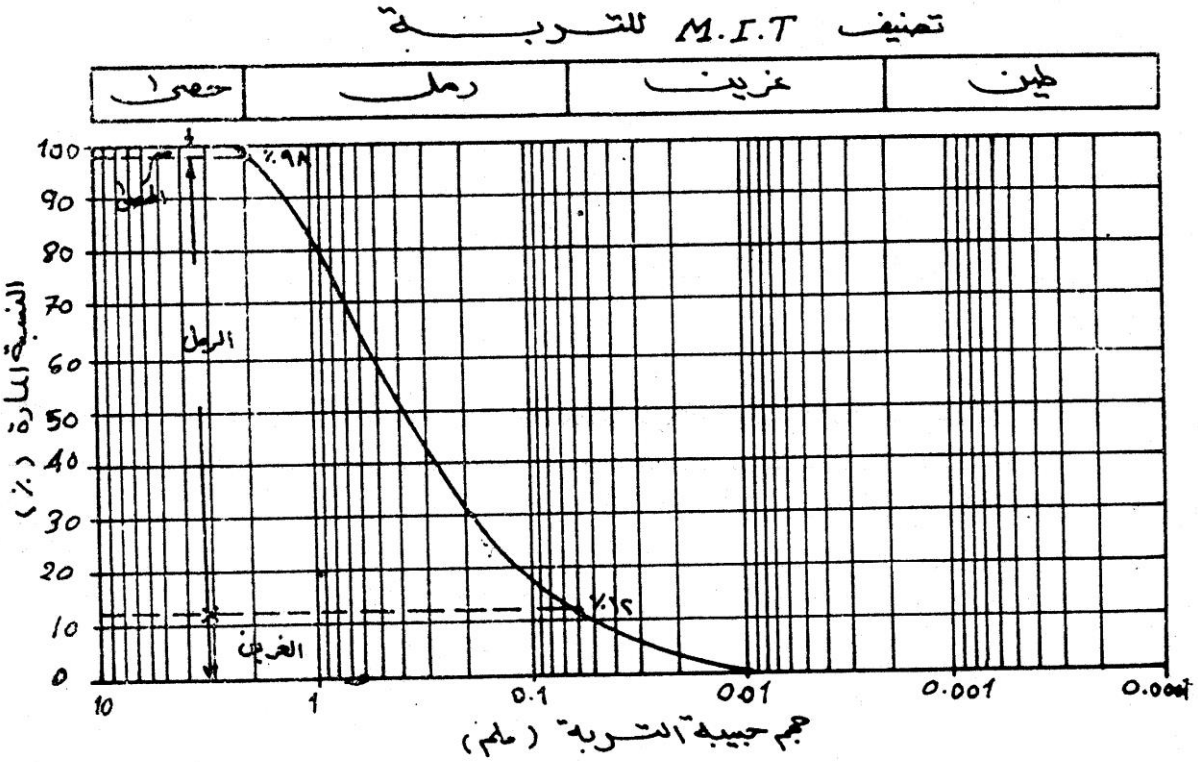
ويتم التصنيف بوضع تلك الحدود حسب نوع التصنيف المستخدم على منحني تدرج الحبيبات للتربة ومن ثم حساب نسب المكونات المختلفة وعلى هذا الاساس يحدد نوع التربة وكما يلي مع استخدام المنحني في الشكل رقم (٥– ١) :

نسبة الحصى= (١٠٠ – ٩٨) ٪= ٢ ٪
نسبة الرمل= (٩٨ – ١٢) ٪= ٨٦ ٪
نسبة الغرين= (١٢ – صفر) ٪= ١٢ ٪
نسبة الطين= صفر٪

---

المجموع = ١٠٠ ٪

وبما ان نسبة الرمل هي الغالبة فتصنف التربة حسب نظام (M.I.T) على انها تربة رملية.




شكل (٥–١) توزيع حجوم حبيبات التربة

## ٥ – ٣ – طريقة منظمة الطرق الامريكية (AASHTO classification

يستخدم هذا التصنيف غالباً في اعمال الطرق والمدارج ويتم فيه تقسيم التربة الى مجاميع يرمز لكل منها بالحرف (A) ، وتتكون من ($A_1$) الى ($A_7$) ، كما ان هناك مجاميع فرعية مثل ($A_{2-3}$). اذا كانت التربة تحتوي على نسبة معينة من المواد الناعمة (المارة من منخل رقم ٢٠٠) فانه يتم حساب مايسمى بـ : معامل المجموعة Group Index وحسب المعادلة التالية :

$$G.I = (F - 35) \times [\ 0.2 + 0.005\ (L.L - 40)\ ] + 0.01\ (F - 15) \times (P.I - 10) \quad \ldots\ (٥ - ١)$$ معامل المجموعة

حيث :

F النسبة المئوية المارة من منخل رقم ٢٠٠

L.L حد السيولة (%)

P.I معامل اللدونة (%)

وعند استخدام المعادلة (٥ – ١) فإن قيمة معامل المجموعة المحسوبة تقرب الى اقرب اكبر عدد صحيح ، أما إذا كانت القيمة سالبة فنعدها تساوي صفراً.

ويلاحظ بانه كلما زادت قيمة معامل المجموعة فإن التربة تصبح غير ملائمة للاعمال الهندسية.

إن هذا التصنيف يستخدم لكل أنواع التربة ويعتمد على الجدول رقم (٥ – ٣) ، حيث تكتب التربة بعد التصنيف بالرمز وكما في المثال التالي:

تصنيف التربة = $A_{7-6}$(22)

فإن ذلك يعني إن التربة من الصنف ($A_{7-6}$) ولها معامل مجموعة يساوي قيمة (٢٢).

* تصنيف منظمة الطرق الامريكية (AASHTO CLASSIFICATION)

جدول رقم (٥ - ٣)

| التصنيف العام | التربة الخشنة - (حصى - رمل) (اكثر من ٣٥ ٪ متبقية على منخل رقم ٢٠٠) | | | | | | | التربة الغرينية - الطينية (اكثر من ٣٥ ٪ مارة من منخل رقم ٢٠٠) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تصنيف المجاميع | $A_1$ | | $A_3$ | $A_2$ | | | | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | |
| | $A_1$ - a | $A_1$ - b | | $A_2$ - 4 | $A_2$ - 5 | $A_2$ - 6 | $A_2$ - 7 | | | | $A_7$ - 5 | $A_7$ - 6 |
| تحليل المناخل : | | | | | | | | | | | | |
| النسبة المارة من منخل : | | | | | | | | | | | | |
| رقم ١٠ (٢ ملم) | 50 max | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| رقم ٤٠ (٤٢ر٠ ملم) | 30 max | 50 max | 51 min | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| رقم ٢٠٠ (٧٤ر٠ ملم) | 15 max | 25 max | 10 max | 35 max | 35 max | 35 max | 35 max | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| خواص المادة الناعمة المارة من منخل رقم ٤٠ : | | | | | | | | | | | | |
| حد السيولة (L.L) | - | - | - | 40 max | 41 min | 40 max | 41 min | 40 max | 41 min | 40 max | 41 min | 41 min |
| معامل اللدونة (P.I) | 6 max | 6 max | NP | 10 max | 10 max | 11 min | 11 min | 10 max | 10 max | 11 min | 11 min | 11 min |
| اسم التربة | قطع من الصخور حصى ورمل | | رمل ناعم | رمل طيني - رمل غريني - حصى طيني حصى غريني | | | | تربة غرينية | | تربة طينية | | |
| مؤشر المجموعة (G.I) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 max | 4 max | 8 max | 12 max | 16 max | 20 max | 20 max |
| ملائمة التربة كطبقة طبيعية للطرق | ممتازة جيدة | | | | | | | مقبولة - غير صالحة | | | | |

١- اعتماداً على اعتمادات المختبرية يتم التصنيف ويبدأ من اليسار نحو اليمين .

٢- يتم الفصل في التربة $A_7$ الى $A_5$-5 اذا كان : ($P.I \leq LL - 30$) ، الى $A_7$ - 6 اذا كان : ($P.I > L.L - 30$) .

٣- كلما كان موشر المجموعة اقل من قيمة (نحو اليسار) فان التربة ملائمة اكثر للاعمال الهندسية .

٤- التربة $A_3$ غير لدنه NP وهذا يعني ان المحتوى المائي للتربة = حد اللدونة .

## ٥ - ٤ - طريقة التصنيف الموحد Unified Classification

يستخدم هذا التصنيف لكل انواع التربة وهو الاكثر استخداماً في ميكانيك التربة حيث يعتمد على حجم الحبيبات وحدود اتربيرغ للتربة. ويسمى هذا التصنيف ايضاً بتصنيف كاسكراندي Cassagrande Classification ويستخدم الرموز التالية للتربة كما في الجدول رقم (٥ - ٤) :

| اسم التربة | | الرمز حسب التصنيف |
|---|---|---|
| حصى | gravel | G |
| رمل | Sand | S |
| غرين | silt | M |
| طين | clay | c |
| عضوية | organic | o |
| تربة عضوية | peat | Pt |

| اسم التربة | الرمز حسب التصنيف |
|---|---|
| التدرج للتربة الخشنة : | |
| جيدة التدرج well – graded | W |
| رديئة التدرج Poorly – graded | P |
| حد السيولة للتربة الناعمة : | |
| شد سيولة عالي high L.L | H |
| حد سيولة منخفض low L.L | L |

وعند التصنيف يجب حساب كل من معامل الانتظام ومعامل التدرج للتربة وذلك من منحني تدرج الذرات :

معامل الانتظام $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ ... (٥ – ٢)

معامل التدرج $C_g = \frac{[D_{30}]^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ... (٥ – ٣)

وتكون التربة جيدة التدرج عندما يكون:

للحصى $C_u > 4$

للرمل $C_u > 6$

$C_g = (1 - 3)$

وعند عدم توفر احد الشرطين اعلاه اوكليها فان التربة رديئة التدرج.

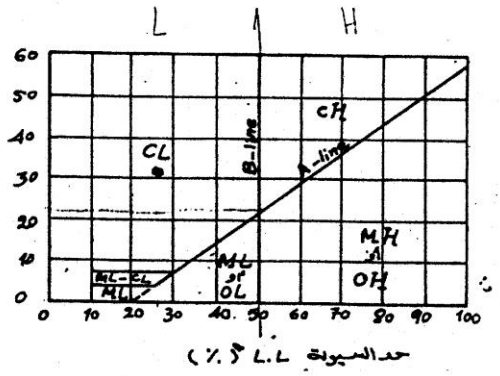
عند تصنيف التربة الناعمة فان حدود اتربيرغ تكون مطلوبة وهي حد السيولة وحد اللدونة ، ويستخدم هنا منحني اللدونة (الشكل رقم (٥ – ٢) plasticity chart لتحديد موقع التربة مع ملاحظة مايلي:

١ . التربة فوق A – line تربة طينية C

٢ . التربة تحت A – line تربة غرينية M

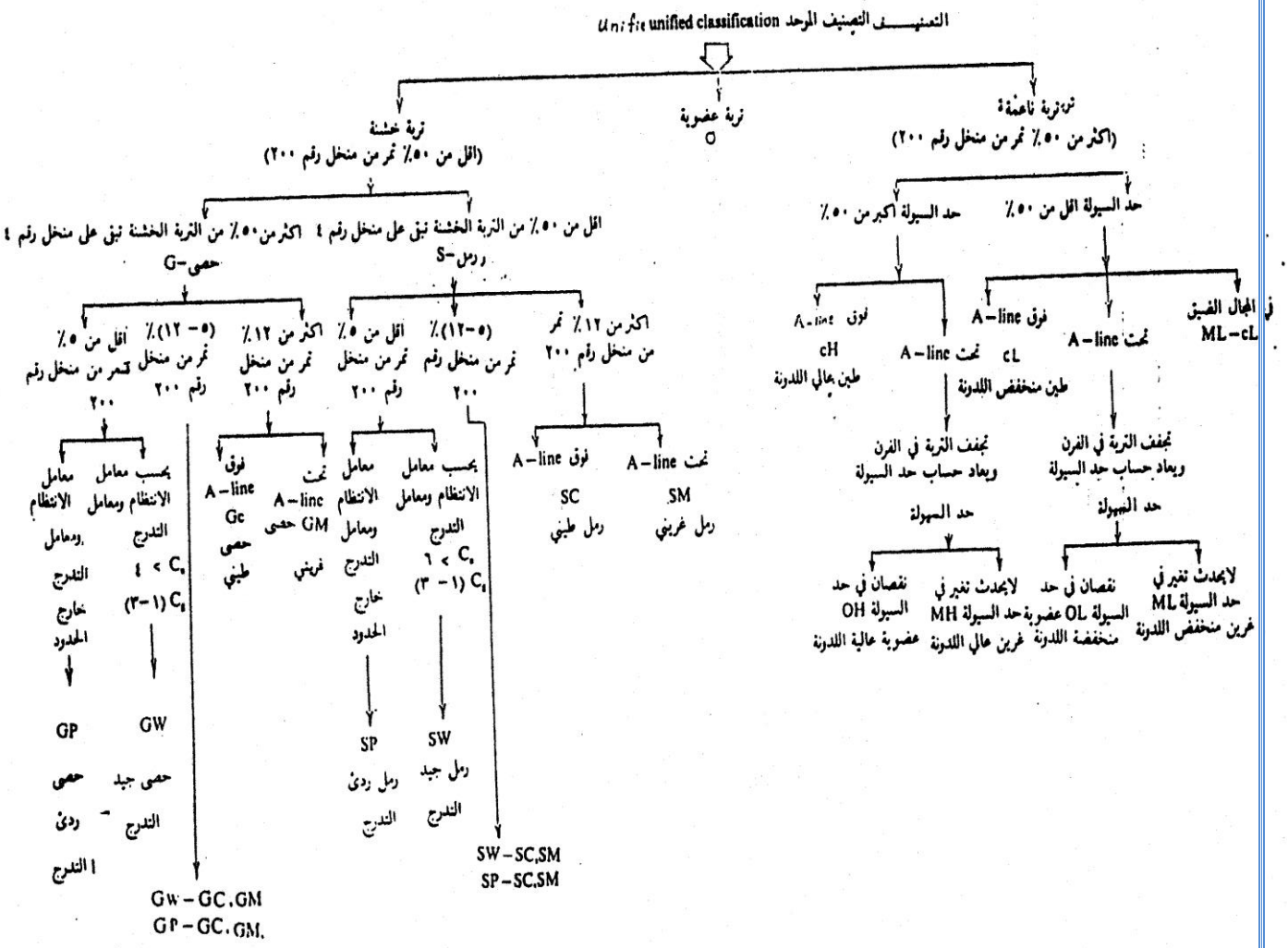
٣ . التربة يمين B – line لها لدونة عالية H

٤ . التربة يسار B – line لها لدونة منخفضة L




شكل (٥-٢) منحني اللدونة (A – line) التصنيف الموحد

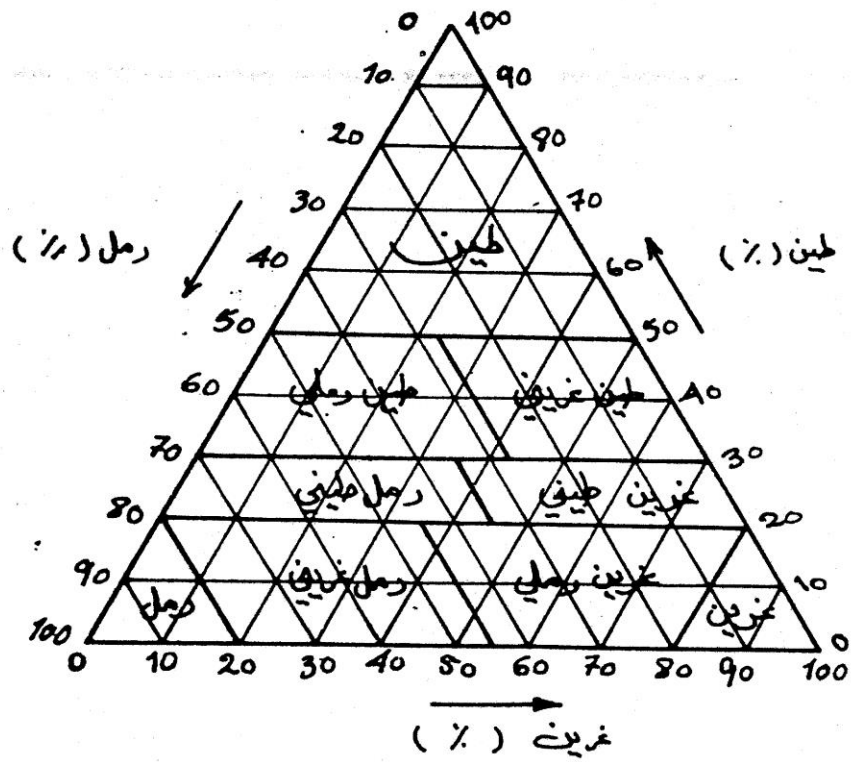
ويتم التصنيف باستخدام الجدول (٥-٤).




جدول (٥-٤) التصنيف الموحد للتربة (unified classification)

## ٥-٥- التصنيف الثلاثي textural classification

يعتمد هذا التصنيف على حجم حبيبات التربة فقط وكان يستخدم للاغراض الزراعية ويستخدم حاليا في هندسة الاسس. يشمل هذا التصنيف التربة التي تحوي على رمل وغرين وطين فقط بحيث يكون مجموع نسب المكونات الثلاثة الداخلة في التصنيف مساويا الى (١٠٠) ٪، اي ان مجموع نسب كل من : الرمل+ الغرين+ الطين= ١٠٠ ٪ ، وبذلك يجب ان تكون التربة خالية من الحجوم اكبر من حجم ذرات الرمل (٢ ملم). اما اذا كانت التربة المطلوب تصنيفها حاوية على الحصى اضافة الى المكونات الثلاثة المذكورة اعلاه فان نسبة الحصى تطرح خارجاً ثم يتم التصنيف. يستخدم في هذا التصنيف المثلث الموضح في الشكل رقم (٥ – ٣) حيث يمثل كل ضلع من المثلث نسبة احد المكونات الثلاثة الداخلة في التصنيف ويتم التصنيف من اي ضلع كبداية ويرسم خطان موازيان للضلعين الاخرين فتتقاطع في نقطة تحدد موقع التربة في مجال معين.




شكل (٥-٣) التصنيف الثلاثي Textural classification