# جامعة المنصورة
# كلية الزراعة
# قسم الهندسة الزراعية

# ميكانيكا التربـة والميـاه

# Soil Mechanics and Water

## الجزء الأول

# دكتور/الشحات بركات البنا

أستاذ ورئيس قسم الهندسة الزراعية


## الفرقة الثالثة

## هندسة زراعية

# أساسيـات التربـة والميـاه
# Principles of Soil and Water

"ومن آياته أنك ترى الأرض خاشعة فإذا أنزلنا
عليها الماء اهتزت وربت إن الذي أحياها
لمحي الموتى إنه على كل شئ قدير.
" صدق الله العظيم.

# مقدمـــــــــــة

- علم ميكانيكا التربة والمياه هو العلم الذي يبحث في تكوين التربة وحركة حبيباتها ومساميتها وصلاحيتها للزراعة أو للإنشاءات، ويشمل مكونات التربة وحركة الماء الديناميكية بين حبيباتها، وحجم الجزء الصلب (الحبيبات) وحجم الفراغات (الحجم الذي يشغل بالمياه والهواء)

ويعد هذا العمل مدخلا لحركة المياه، والاتزان المائي بالتربة، وكمية المياه المتوفرة بداخل قطاع التربة ومدى إمكانية امتصاصها بجذور النبات للنمو الخضري والإثمار، وأيضا احتياجات النبات من مياه الري اللازمة، والتخلص من المياه الزائدة عن حاجة النبات في منطقة الجذور (الصرف الزراعي)، للمحافظة على الاتزان المائي بالتربة الزراعية في منطقة المجموع الجذري للمحاصيل المختلفة.

- ويرتبط هذا العلم بعدد من فروع العلم والمعرفة مثل علم التربة والمياه، ميكانيكا التربة، الحركة الميكانيكية للمياه بمسام التربة، هندسة الري والصرف، والري والصرف الزراعي). فعلم ميكانيكا التربة هو العلم الذي يبحث في مكونات التربة وتحليلها ومدى تحملها للضغوط والأحمال الواقعة عليها سواء المتمثلة في القوى الداخلية بالتربة، أو القوى الخارجية الواقعة عليها

بينما علم هندسة الري والصرف، والري والصرف الزراعي أهم تلك الفروع التي تبحث في أفضل الطرق والوسائل العلمية لتوصيل مياه الرى من مصادرها الطبيعية إلى الأراضي، وكيفية استخدامها بكفاءة، لتحقيق التوسع الزراعي، وسد احتياجات التغذية، كما يختص بتطوير وترشيد وتنمية الموارد المائية وبتنظيم استخدام المياه الجوفية، والحد من الفاقد المائية، ومقاومة الحشائش المائية ويتضمن دراسة أنسب الوسائل الخاصة للتخلص من المياه، الزائدة عن احتياجات النبات من المياه حتى يمكن زيادة إنتاجية الأرض الزراعية.

- بينما علم هندسة الصرف هو العلم الذي يبحث في أفضل الطرق والوسائل العلمية المتمثلة في التخلص من المياه الزائدة عن حاجة النبات سواء كانت ماء أرضى أو مياه صرف فوق سطح الأرض أو في مسام الطبقة العليا من سطح الأرض والتي تنمو فيها جذور النبات لتحسين بناء التربة مما يزيد من التهوية اللازمة لتنفس النبات، وحساب مقننات الصرف والأعمال الإنشائية من مصارف بدرجاتها المختلفة، والحقليان والزواريق اللازمة لصرف المياه الزائدة عن الاحتياجات النباتية، وتصميم وإنشاء فتحات الصرف، وكذا طلمبات الرفع اللازمة لرفع مياه الصرف إلى البحار، وحساب مقنناتها.

- والري إما طبيعياً أو صناعياً، فالري الطبيعي هو الذي تهيئه الأمطار في مناطق سقوطها وهو متوفر في مناطق كثيرة من القارة الأفريقية ولا يتكبد الإنسان مشقة في استغلاله بصورة أو أخرى في إنتاج المحاصيل الزراعية غير وضع البذور في التربة الزراعية. ويكون الرى طبيعياً إذا ما توفرت الظروف الملائمة مثل سقوط الأمطار بكميات كافية للنمو وسقوطه على أراضى قابلة للزراعة، وملائمة سقوطه مع مواعيد الزراعة للمحاصيل الحقلية.

- بينما الرى الصناعي، هو النظام الذي يتدخل فيه الإنسان للتغلب على الظواهر الطبيعية، ومنها الأمطار والأنهار والمياه الجوفية المخزونة في باطن الأرض، وأيضا مياه البحار المالحة حيث يعمل الإنسان على تنظيم استخدام هذه المصادر والتحكم فيها، ومعالجتها بشتى الطرق المختلفة حتى تصل إلى الحقول الزراعية في مواعيد مناسبة للزراعة وبكميات مناسبة لنمو النبات

- مما لاشك فيه، أن مصر تدين بحياتها لنهر النيل، فلولاه لكانت صحراء جرداء شاسعةً كتلك الصحراوات الشاسعة الممتدة في شمال أفريقيا من المحيط الأطلسي غرباً إلى البحر الأحمر شرقاً. حيث أن حوض النيل يعتبر من الناحية الهيدرولوجية كوحدة واحدة، بمعنى أن أي مشروع يقام في أي حبس من أحباسه إنما يؤثر على الآخر،

كما أن أي مشروع يقام عليه بداخل جمهورية مصر العربية يعتمد على الدراسة الهيدرولوجية لأحباس حوضه، فكان لزاما قبل أن نتعرض لمشروعات النيل أن نلم إلماماً تاماً بمعالم حوضه وموارده من منابعه الاستوائية إلى مصبه في البحر الأبيض المتوسط.

- **الأرض والماء والنبات Soil, Water and Plant :**

- **إن اختيار أراضى جديدة لوضعها تحت نظام الزراعة بالري يشتمل على مراحل طبيعية واقتصادية واجتماعية تستدعى تعاون تام بين المشتغلين في علوم الأراضي، المحاصيل، الهندسة الهيدرولوجية والجيومورفولوجيا، الاجتماع، الاقتصاد وصفات الأرض الطبيعية والطبوغرافية والصرف والمناخ السائد إلا بعضاً من العوامل العديدة الواجب دراستها عند تقدير مدى إمكانية وضع أراضى جديدة تحت الزراعة بالري.**

- من الضروري أن تمتاز الأراضي المختلفة بقدرتها الإنتاجية المستديمة عندما تتغير الظروف نتيجة للري، إذ أنه من الطبيعي غالبا ما يطرأ تغير في الخواص الطبيعية والكيماوية والحيوية بعد الرى. حيث يتأثر بناء التربة بالأملاح، زيادة الصوديوم المتبادل، المحتوى العضوي، التحول في معادن الطين. غير أن استخدام مياه الرى محملة بالمواد العالقة سوف يؤدى إلى تغير في نسب مكونات مجاميع الحبيبات وما يتبع ذلك من تغير في خواص المسام ووظائفها.

ويمكن إجمال الخواص والعوامل التي يجب دراستها عند زراعة أراضى جديدة بالري فيما يلي:

- ١- خواص الأراضي الطبيعية والكيماوية والحيوية: وتشمل معرفة القوام، البناء، المسامية، عمق قطاع الأرض وتجانسه، معدل تسرب المياه، النفاذية، بعد مستوى الماء الأرضي، الخواص المائية للأراضي، ملوحة وقلوية الأرض، موقف العناصر الغذائية والخصوبة والنشاط الميكروبيولوجى.

- ٢- خواص مياه الرى : ونتناول التركيب الكيماوي لها من ناحية تركيز ونوع الأملاح الموجودة بها وتحديد مدى صلاحيتها للري.

- ٣- طبوغرافية السطح : من حيث درجة الميل ومدى استواء السطح وارتفاعه عن سطح البحر.

- ٤- مناخ المنطقة : إذ يؤثر المناخ في الاحتياجات المائية الكلية للنباتات المنزرعة وكذا أنواع هذه النباتات.

- ٥- القرب أو البعد عن المدن وخطوط المواصلات ومدى توفير الأيدي العاملة وتلك العوامل لها الصلة الوثيقة بالنواحي الاجتماعية والاقتصادية للاستغلال الزراعي.

- ٦- اقتصاديات الاستغلال الزراعي لمشاريع الرى : هذا العامل من أهم العوامل التي يجب دراستها قبل تنفيذ برامج الاستغلال الزراعي المعتمدة على الرى حيث تعتبر قيمة الفائدة بالنسبة لوحدة المياه المستغلة في الرى من العوامل الهامة المحددة لنوع المحاصيل المنزرعة.

# الفـــصـــل الأول

- **تعريف علم ميكانيكا التربة :**

- **ميكانيكا التربة Soil Mechanics هو العلم الذي يبحث في الخواص الطبيعية وسلوكيات التربة وأداء التربة كمادة زراعية أو إنشائية وتأسيسية ، وعلم ميكانيكا التربة والمياه هو العلم الذي يختص بدراسة خواص التربة الطبيعية والمائية وتطبيقاتهما سواء للأعمال الإنشائية للقطاع الزراعي و الصناعي.**

- أهداف دراسة علم ميكانيكا التربة :

- ١- تعيين ودراسة الخواص الهندسية للتربة المراد تنفيذ أعمال هندسية أو زراعية عليها أو فيها.

- ٢- استخدام خواص التربة بأسلوب علمي وعملي في تصميم وتنفيذ الأعمال المتعلقة بالتربة.

- ٣- تطوير وتقدم دراسة ميكانيكا التربة من خلال الأبحاث والخبرة العملية.

- تشمل دراسة ميكانيكا التربة :

- (أ) دراسة نظريات رياضية وعددية للتعرف على الخواص الطبيعية المختلفة للتربة.

- (ب) دراسات معملية وموقعيه لخواص التربة الطبيعية ومكوناتها .

- تاريخ ميكانيكا التربة :

- تعتبر الطبقة السطحية من التربة ذات أهمية لا يبكر فضلها كائن حي حيث عرفت الزراعة وتعايشت عليها الكائنات من قدم العصور أو منذ بداية الحياة لأي كائن. وتعتبر التربة من أقدم المواد الإنشائية التي عرفها الإنسان فلقد صنع منها الإنسان البدائي أدواته ومستلزماته سواء في العمل أو في الأكل أو في المسكن.

وحينما عرف الإنسان المباني سواء كانت سكناً أو مقابراً أو معابداً تعامل مع التربة على أنها مادة تأسيس، فكان يختار التربة المناسبة لتحمل المبنى الذي يريده، ومنذ خمسة آلاف عام بنى المصريون القدماء الأهرام واختاروا موقع البناء على أرض قوية هي هضبة الأهرام وكذلك فعلوا في بناء معابدهم ومقابرهم. ورغم قدم التعامل مع التربة سواء كانت مادة إنشائية أو مادة تأسيس إلا أن التربة كعلم لم يظهر إلا في بداية القرن العشرين .

- في السنوات الخمسة والعشرين الأولى من القرن العشرين ظهرت الطرق البسيطة لتصنيف التربة الناعمة المتماسكة من خلال قوامها لدونتها ويرجع ذلك إلى اتربرج Aterberg الذي ابتكرها عام ١٩١١ ومازالت تستخدم حتى الآن.

- في سنة ١٩١٣ تكونت لجنة ميكانيكا التربة لسكك حديد السويد والتي توصلت إلى طرق حساب اتزان الميول وبرز في هذه اللجنة العالم ويلر فللنيس W. Fellenius.

- في السنوات من ١٩٢٠ إلى ١٩٢٥ تطورت الأبحاث الهندسية الخاصة بالتربة بفضل تطور إنشاء الطرق في الولايات المتحدة الأمريكية والتقدم الهائل في استخدام تكنولوجيا الهندسة الزراعية وتطور المعدات الزراعية . ويرجع الفضل في ظهور ميكانيكا التربة كعلم للعالم الألماني كارل ترزاجي Terzaghi بعد ظهور مؤلفه عام ١٩٢٥ والذي تناول فيه موضوعان هامة في مجالات التربة لأغراض الإنشاءات الهندسية، وآخرون وصفوها للأغراض الزراعية البنا ١٩٨٦-٢٠٠٥ ، وأبو حباجه ١٩٧٨-٢٠٠٥.

- ثم تطور علم ميكانيكا التربة بعد ذلك تطوراً كبيراً بفضل جهود وأبحاث ومؤلفات العديد من العلماء. كما عقدت المؤتمرات والندوات الدولية المتلاحقة لبحث العديد من الموضوعان الحيوية في هذا العلم .

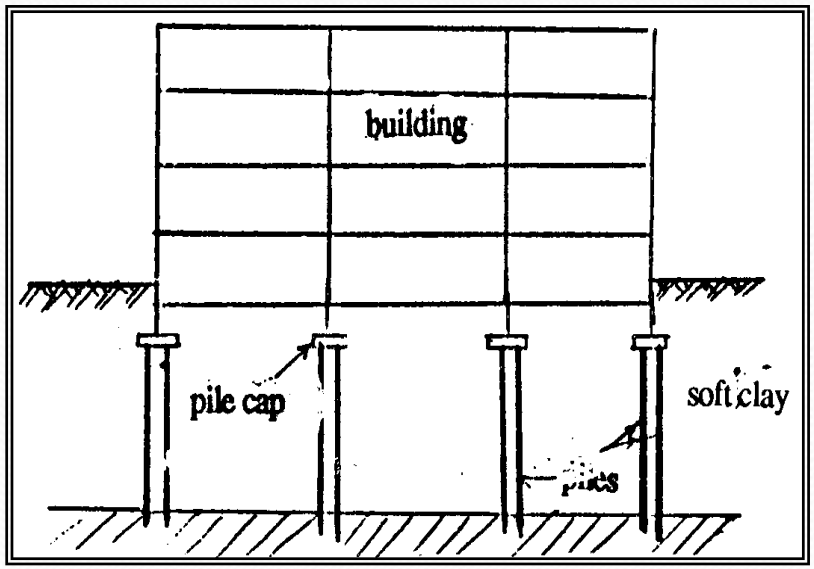
- بعض التطبيقات الهندسية لعلم ميكانيكا التربة :

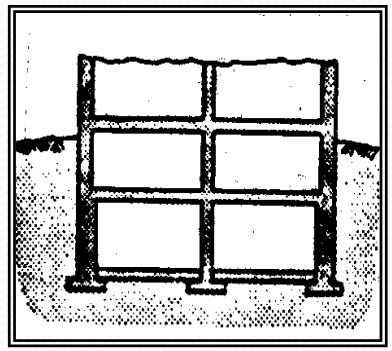
- يقابل المهندسون في أعمالهم الكثير من المسائل الهامة التي ترتبط وتخص التربة،

- ومن هذه المسائل أو التطبيقات في هندسة التربة سواء المدنية أو الزراعية ما يلي:

- ١- الأساسات :

- كل أنواع المنشآت في مباني وكباري وطرق وأنفاق وقنوات وسدود يجب أن تؤسس على أو في التربة لضمان استقرارها وأمانها، وتصميم الأساسيات أو المنشآت على الأرض أو في الأرض يحتاج لمعرفة صفات التربة وقدرة تحملها ومقاومتها (شكل١) .



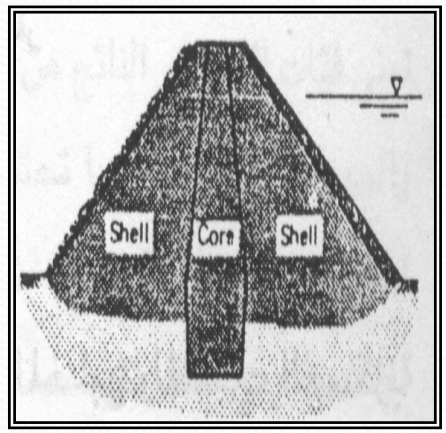
ب) مبنى مؤسس على خوازيق

أ) مبنى على أساسات سطحية

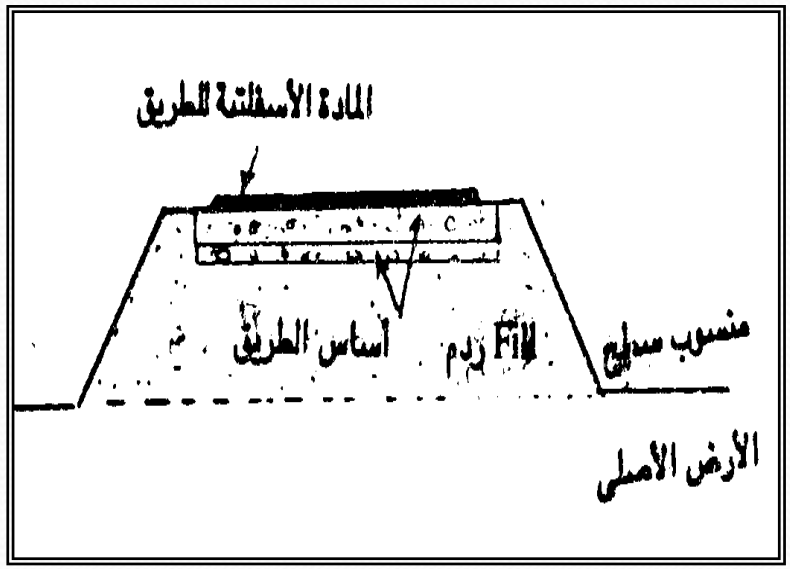
**شكل (١) الأساسات**

- **٢- التربة كمادة إنشائية :**

**تستخدم التربة كمادة ردم fill كما أنها تستخدم كمادة إنشائية في السدود الترابية (شكل٢أ). كما أنها تستخدم كمادة إنشائية في الطرق بأساساتها وجسورها.واختبار هذه التربة يعتمد على طبيعة المنشأ والأحمال عليه (شكل ٢ب)**



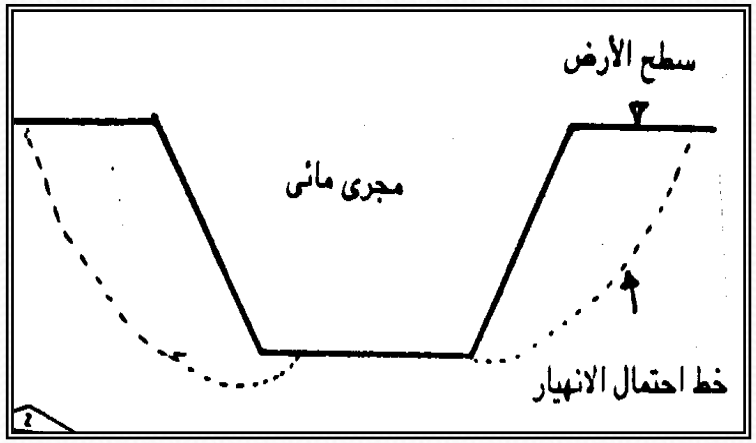

شكل (٢أ) السدود الترابية



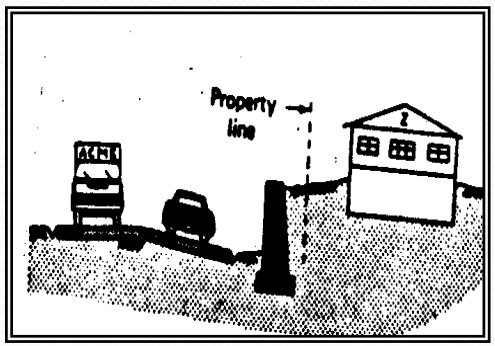

شكل (٢ب) التربة كمادة إنشائية في الطرق ردم ، أساس

- ٣- الميول والحفر :

- حينما لا تكون التربة أفقية فهنا تنشأ بعض المشاكل الخاصة بالميول كما أن هناك بعض الأعمال مثل الترع والمصارف والأنفاق تحتاج إلى حفر في التربة وقد ينشأ عن الحفر بعض المشاكل التي يجب معالجتها كما أن أحد طرق علاج هذه المشاكل هو سند جوانب الحفر إن كان رأسياً أو عمل ميول بجوانب الحفر كما في الشكل(٣) ويستلزم ذلك معرفة صفات التربة ومقدرتها على الاتزان عند الحفر بدرجة آمنة واقتصادية.




(أ) الميول في مجرى مائي

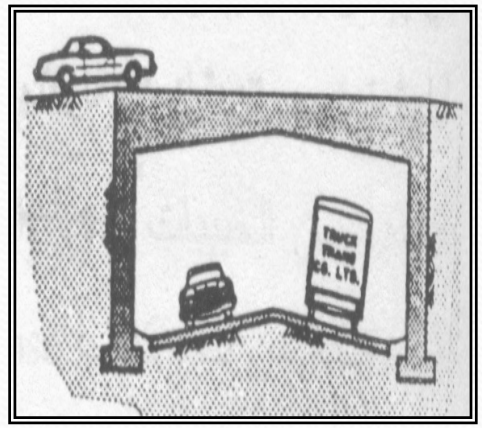



(ب) سند جوانب حفر بحائط سائد

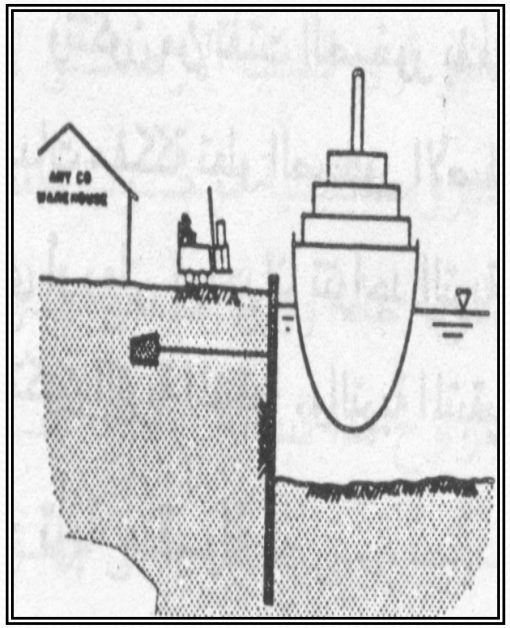
شكل (٣) الميول وسند جوانب الحفر

- **٤- المنشآت تحت الأرض والمنشآت السائدة :**

هناك من المنشآت ما ينفذ تحت الأرض مثل المخابئ والمنشآت العسكرية والخزانات الاستراتيجية والأنفاق. وهناك من المنشآت ما ينفذ بجانب التربة مباشرة مثل سند جوانب أرصفة الموانى وقواعد ودعامات الجسور والكباري. وكل هذه المنشآت تتعامل مع التربة مباشرة ولذا يجب دراسة التربة المحيطة بهذه المنشآت وتأثير التربة عليها والقوى الناتجة عنها... (شكل ٤).



(أ) دعامات كوبري



(ب) سند جوانب رصيف في ميناء

**شكل (٤) المنشآت السائدة**

- تعريف التربة :

- التربة Soil ترجع تسميتها إلى كلمة لاتينية قديمة هي Solum والتربة هندسياً تعني فتات الصخور الناتج عن عوامل التعرية والمواد العضوية الناتجة عن تحلل النباتات والحيوانات والرطوبة وما تحتويه من محاليل ومعلقات عضوية ومعدنية وكذلك الهواء المتواجد داخل التربة . كما يشمل تعريف التربة سمك الطبقة المفتتة من قشرة الكرة الأرضية وهي بذلك خليط معقد من مادة صبة تحتوي على سوائل وغازان ومكونات عضوية.

- منشأ التربة :

- التربة تنشأ من التفتت الطبيعي للصخور وتنتقل بواسطة الأنهار والأمطار والرياح والثلوج، والتربة تتكون خلال تغيرات فيزيائية وكيماوية وعضوية للصخور . والتربة تنقسم من حيث النشأة إلى نوعين :

- ١- تربـة متبقيـة : وتتكون من تفتت الصخور بفعل الحرارة والرطوبة والتجمد وينتج عن ذلك تكون حبيبات مفككة تعلو الصخور الأصلية (نارية أو رسوبية) : جرانيت وبازلت أو حجر جيري أو رملي، وأحيانا تتواجد التربة المتبقية أسفل تربة منقولة تكون قد ترسبت فوقها بعد تكون التربة المتبقية.
والتربة المتبقية عادة ما تكون أساسا جيداً.

- ٢- تربة منقولة : تكون غالبية التربة وهي تربة منقولة إما بالثلوج أو المياه أو الفيضانات أو الرياح. التربة المنقولة بالثلوج تكون المصدر الأول لمواد الإنشاء الجيدة والمستخدمة في صناعة الخرسانيات وأعمال التربة والأساسيات حيث تكون التربة من النوع العالي المقاومة .

- التربة المنقولة بالمياه والفيضانات تكون طبقة سميكة من حبيبات ناعمة متماسكة في دلتا الأنهار وفي الأودية وتكون هذه التربة أكثر صلاحية للزراعة نظرا لقابليتها للانضغاط وضغطها النسبي.

التربة المنقولة بالرياح وهي إما ناعمة وهي غير مرغوب فيها إنشائياً أو زراعيا لفقدها مقاومتها عند زيادة المحتوى المائي فيها وقابله للانضغاط، وإما تربة خشنة تكون الرمال المفككة قليلة المقاومة كالتي على شواطئ البحر والأنهار .

# تركيب التربة

**Coarse grained Soil**

تربة خشنة الحبيبات وهي ذات قطر أكبر من ٠,٠٧٤ وتسمى أيضا تربة مفككة

**Cohesion less Soil**

مثل : الدقشوم – الزلط – الرمل

**Fine grained Soil**

تربة ناعمة الحبيبات وهي ذات قطر أقل من ٠,٠٧٤ وتسمى أيضا تربة متماسكة

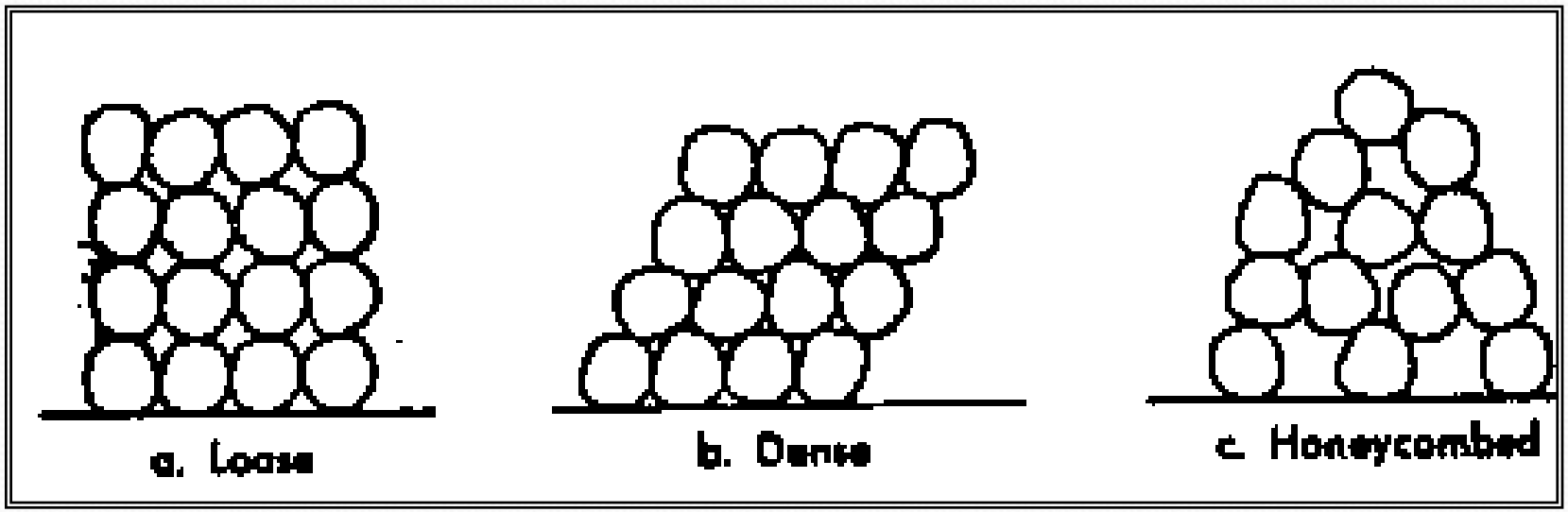
**Cohesive Soil**

مثل : الطمي – الطين

- **البناء الحبيبي للتربة Particle Arrangement :**

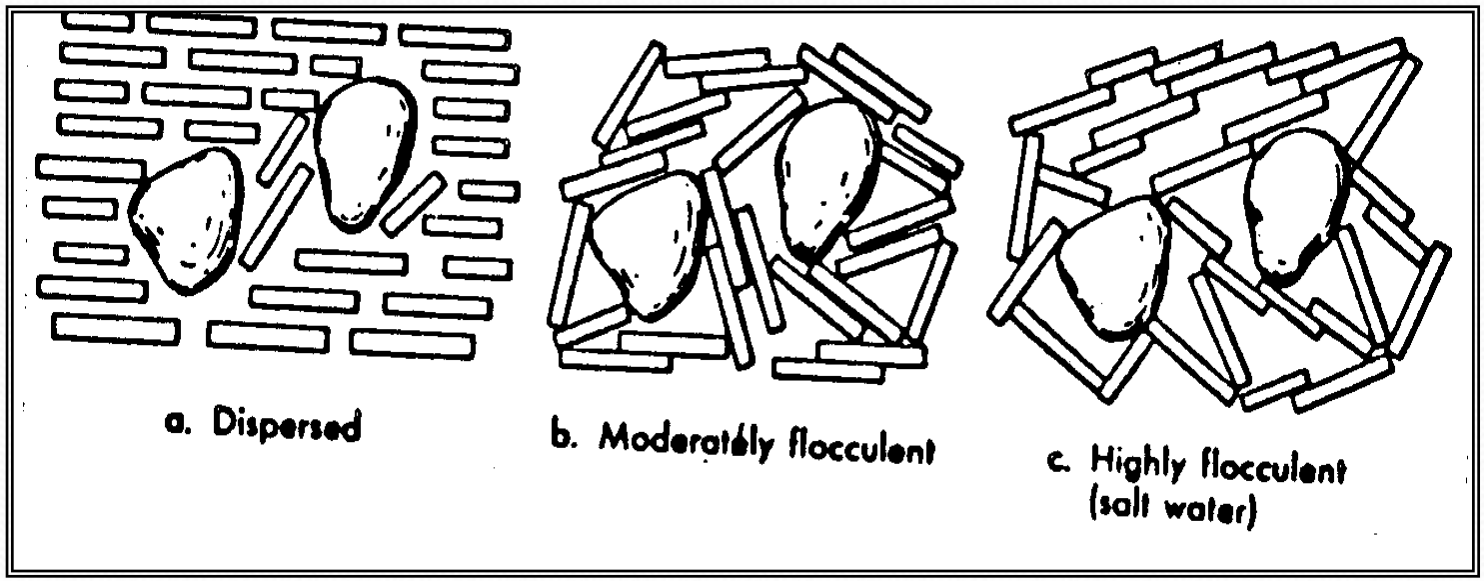
- **(أ) البناء الحبيبي للتربة الخشنة :**

**البناء الحبيبي لهذه التربة يتكون تحت تأثير قوى الجذب الأرضي لأن وزن الحبيبات هو العامل المؤثر وأي شحنات كهرومغناطيسية موجودة على أسطح الحبيبات يكون تأثيرها مهمل إذا كانت التربة جافة ويزيد تأثير قوى الجذب بين الحبيبات بسبب (التوتر السطحي) ، ويتراوح هذا البناء في التربة غير المتماسكة من بناء كثيف Dense إلى بناء سائب إلى Loose إلى خلوي Honeycombed كما في الشكل (٥) .**




شكل (٥) البناء الحبيبي للتربة الخشنة

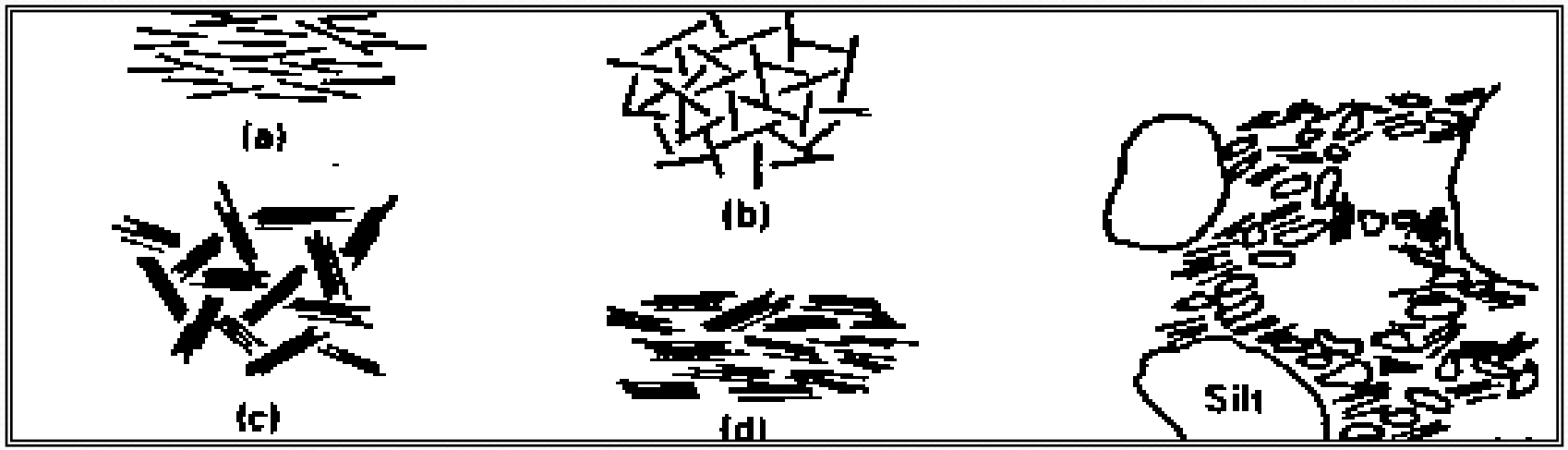
- (ب) البناء الحبيبي للتربة الناعمة : يتكون البناء الحبيبي للتربة الناعمة متأثرا بقوى التجاذب والتنافر بين الحبيبات نظرا لصغر الحبيبات المتناهي ووزنها ضئيل وتأثيره مهمل إذا ما قورن بمجموع الشحنات الكهروستاتيكية. وحيث أن المساحة السطحية للحبيبات كبيرة فإن ترتيب الحبيبات يعتمد على نوع تلك الشحنات وتنقسم التربة إلى : تربة ناعمة ذات بناء مرتب Dispersed or Oriented وهذا الترتيب ينتج عن التنافر بين الحبيبات لتشابه الشحنات على أسطحها ويحدث ذلك عند ترسب الحبيبات في مياه عذبة مثل : البحيرات العذبة (شكل ٦أ)




شكل (٦أ) البناء الحبيبي للتربة الناعمة عامة

- **تربة ناعمة ذات بناء عشوائي Flocculent :**

**وهو ما ينتج عن التجاذب بين الحبيبات لاختلاف الشحنات على أسطحها ويحدث ذلك عند ترسيب الحبيبات في مياه مالحة عند تكوين دلتا الأنهار (شكل ٦ب).**



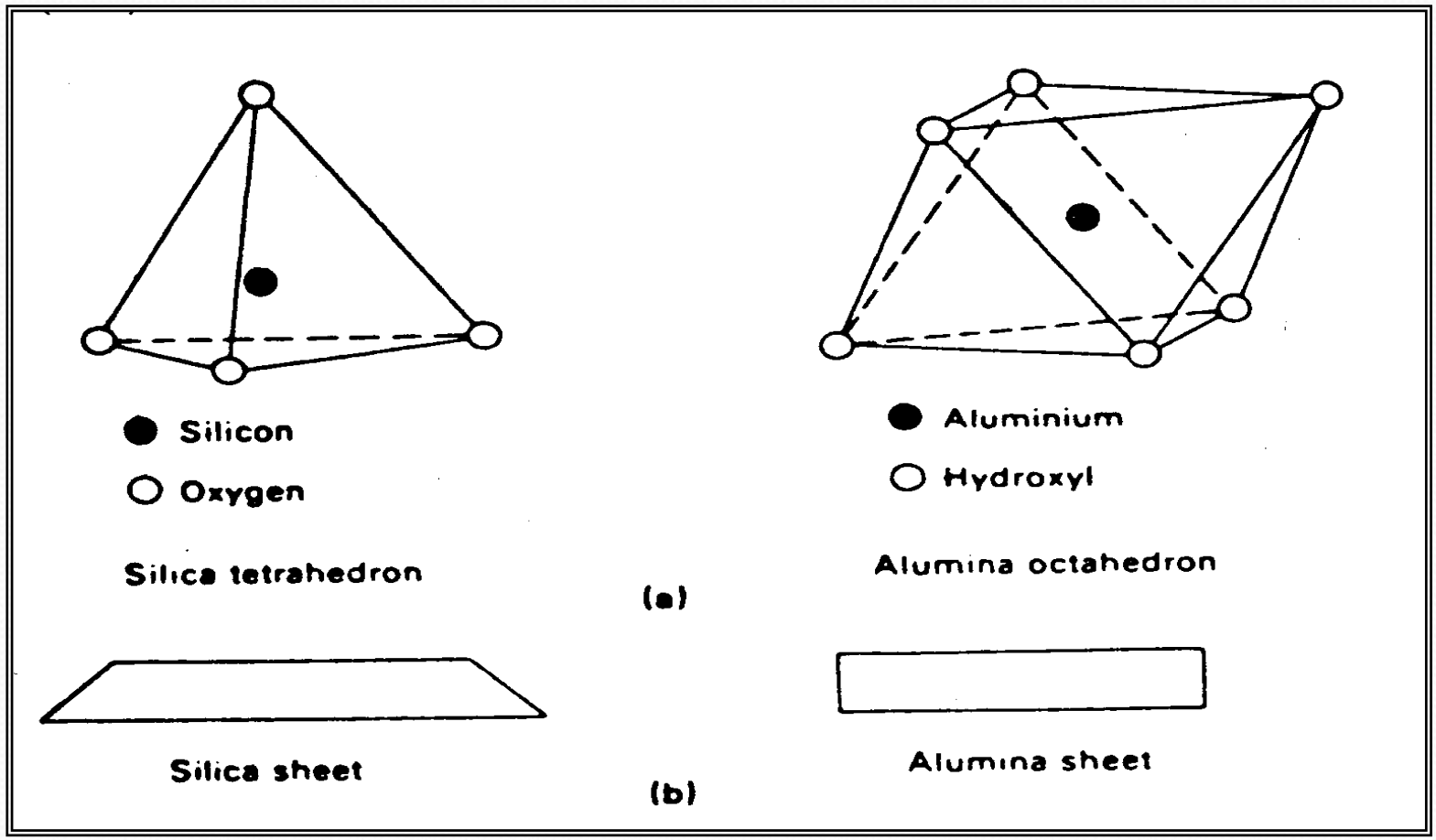

شكل ( ٦ب)  البناء الحبيبي للتربة الناعمة

- والتربة ذات البناء العشوائي تنقسم إلى قسمين :
  - عشوائي غير مالح non –salt flocculation
  - عشوائي مالح salt flocculation

- وهناك تقسيمات أخرى للبناء الحبيبي للتربة الناعمة ومبين أحد هذه التقسيمات في شكل (٦ب). وقد تختلط التربة الخشنة بالناعمة مما يكون بناء مختلط يعتمد شكله على نسب المكونات

- **طبيعة التركيب المعدني للطين Clay mineralogy :**

- **التركيب الجزئي المعدني لأغلب أنواع الطين يتكون من السيلكا الرباعية الأسطح Silica tetrahedron والألمونيوم الثمانية الأسطح Alumina octhedron وجزئ السيلكا الرباعية تتكون من أربع ذرات أوكسجين حول ذرة سيليكون. وجزئ الألومينا يتكون من ذرة ألمونيوم حولها ست ذرات من الهيدروكسيل Hydroxyl (شكل ٧)**

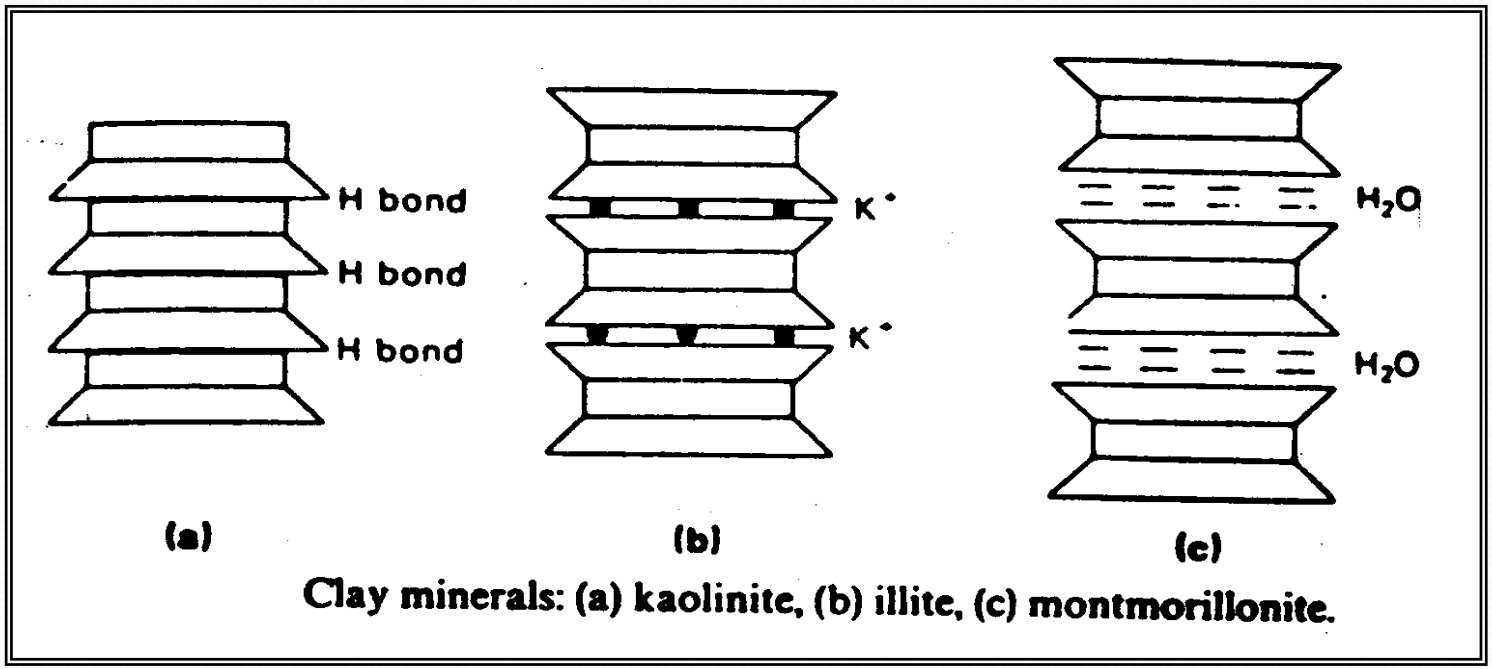

Silicon
Oxygen
Silica tetrahedron
Aluminium
Hydroxyl
Alumina octahedron
(a)
Silica sheet
Alumina sheet
(b)

- ويأخذ التركيب المعدني للطين الأشكال الآتية :

- (أ) الكاولينيت Kaolinite : ويتركب من شريحة مفردة من السيلكا الرباعية ملحق بها شريحة مفردة من الألومينا الثمانية.

- (ب) الأليت Illite : ويتركب من شريحة مفردة من الألومينا الثمانية الملتصق بها شريحتين من السيلكا الرباعية ويوجد بين هذه التركيبات أيون البوتاسيوم.

- **(جـ) المونتيموريلونيت Montmor-illonite : وله نفس تركيب الآليت ولكن طبقات الألومينا الثمانية تضم ذرات أي من الألومونيوم أو الحديد أو الماغنسيوم أو الثلاث معاً والفراغ بين طبقات الشرائح يشغل بالماء. والترابط بين الطبقات ضعيف مما يسمح لمياه إضافية بالتسرب بين الطبقات. وتجعل المونتيموريلونيت ينتفخ Swell ويبين الشكل (٩) أشكال التركيب المعدني للطين.**




Clay minerals: (a) kaolinite, (b) illite, (c) montmorillonite.

شكل (٨) أشكال التركيب المعدني للطين

- **الرمــوز المستخدمـة في علـم ميكانيكــا التربــة**

**Terms and symbols Relating to Soil Mechanics**

- **القائمة التالية من الرموز تستخدم في علم ميكانيكا التربة ولقد أقرت في المؤتمر التاسع للتجمع العلمي لميكانيكا التربة وهندسة الأساسيات المنعقد في طوكيو سنة ١٩٧٧ ، والقائمة في جدول (١-١) تشمل الرموز وما ترمز إليه ووحدات تلك الرموز طبقا للنظم الإنجليزية والمترية والدولية SI .**

جدول (١-١) الرموز المستخدمة في علم ميكانيكا التربة

| Symbol | Nomenclature | Dimensions | Customary Units: English (Force) | Metric (Force) | SI |
|---|---|---|---|---|---|
| $a$ | acceleration | $L/T^2$ | ft/sec$^2$ | cm/sec$^2$, m/sec$^2$ | m/sec$^2$ |
| $A$ | area | $L^2$ | ft$^2$, in.$^2$ | cm$^2$, m$^2$ | mm$^2$, m$^2$ |
| $a_v$ | coefficient of compressibility | $L^2/F$ | ft$^2$/lb | m$^2$/kg | m$^2$/kN |
| $B$ | width | $L$ | ft | cm, m | mm, m |
| $C_c$ | compression index | dimensionless | | | |
| $C_u$ | uniformity coefficient | dimensionless | | | |
| $c$ | shear strength in undrained or quick shear or apparent cohesion | $F/L^2$, $M/LT^2$ | lb/ft$^2$ t/ft$^2$ | kg/cm$^2$ kg/m$^2$ | N/mm$^2$ kN/m$^2$ |
| $c_a$ | adhesion of soil to a surface | $F/L^2$ | lb/ft$^2$ | kg/m$^2$ | kN/m$^2$ |
| $c_v$ | coefficient of consolidation | $L^2/T$ | ft$^2$/min | cm$^2$/sec | m$^2$/sec |
| $C_\alpha$ | coefficient of secondary consolidation | dimensionless | | | |
| $d$ | diameter of tube, crack depth | $L$ | in., ft | mm, m | mm, m |
| $D$ | diameter of soil grain | $L$ | in. | mm | mm |
| $D_r^*$ | relative density (also $I_D$, $R_D$) | dimensionless | | | |
| $D_{10}$ | diameter of grain of which 10% by weight smaller | $L$ | in. | mm | mm |
| $D_{50}$ | median grain diameter | $L$ | in. | mm | mm |
| $E^*$ | modulus of elasticity (also modulus of deformation $M$) | $F/L^2$, $M/LT^2$ | lb/ft$^2$ | kg/cm$^2$ | kN/m$^2$ |
| $e$ | mechanical efficiency of a pile hammer | dimensionless | | | |
| $e$ | void ratio (express as decimal) | dimensionless | | | |
| $e_0$ | initial void radio before loading or deformation | dimensionless | | | |
| $F$ | force | $F$, $ML/T^2$ | lb | kg | N, kN |
| $F_s$ | factor of safety | dimensionless | | | |
| $G_s$ | specific gravity of solids | dimensionless | | | |
| $G_s^*$ | shear modulus of elasticity | $F/L^2$, $M/LT^2$ | lb/ft$^2$ | kg/cm$^2$ | kN/m$^2$ |
| $H$ | vertical depth of cut, height of wall, thickness of soil stratum | $L$ | ft | cm, m | mm, m |
| $h$ | head | $L$ | ft | cm, m | mm, m |
| $i$ | hydraulic gradient | dimensionless | | | |
| $K$ | coefficient of earth pressure | dimensionless | | | |
| $K_0$ | coefficient of earth pressure at rest | dimensionless | | | |
| $K_A$ | coefficient of active earth pressure | dimensionless | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $q_u$ | unconfined compressive strength | $F/L^2$, $M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² t/m² | kN/m |
| $r$ | radius | $L$ | ft | cm, in | mm, m |
| $S$ | degree of saturation | dimensionless | | | |
| $s$ | displacement of a structural element | $L$ | in., ft | cm, m | mm, m |
| $T$ | time factor | dimensionless | | | |
| $T_0$ | surface tension | $F/L$, $M/T^2$ | lb/ft | g/cm | N/mm, N/m |
| $t$ | time | $T$ | sec, min, year | sec, min, year | sec, min, year |
| $U\%$ | percentage consolidation | dimensionless | | | |
| $U$ | uplift force | $F$, $ML/T^2$ | lb, kip | kg | N, kN |
| $u$ | neutral stress | $F/L^2$, $M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $V$ | volume | $L^3$ | ft³ | cm³, m³ | mm³, m³ |
| $W$ | weight | $F$, $ML/T^2$ | lb, kip, ton | gm, kg | N, kN |
| $z$ | depth (positive down) | $L$ | ft | cm, m | mm, m |

| Symbol | Nomenclature | Dimensions | Customary Units: English (Force) | Customary Units: Metric (Force) | Customary Units: SI |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | rate of secondary consolidation | dimensionless | | | |
| $\beta$ | angle between a slope (earth dam face, wall backfill, or excavation face) and a horizontal plane | deg, radian | deg | deg | deg, radian** |
| $\gamma^*$ | shear strain | radian | | | |
| $\gamma^*$ | unit weight (see density) | $F/L^3$, $M/L^2T^2$ | lb/ft³ | g/cm³, kg/m³ | kN/m³ |
| $\gamma_w$ | unit weight of water | $F/L^3$, $M/L^2T^2$ | lb/ft³ | g/cm³, kg/m³ | kN/m³ |
| $\gamma'$ | unit weight of soil submerged in water | $F/L^3$, $M/L^2T^2$ | lb/ft³ | g/cm³, kg/m³ | kN/m³ |
| $\gamma_d$ | weight of soil solids in unit volume of soil | $F/L^3$, $M/L^2T^2$ | lb/ft³ | g/cm³, kg/m³ | kN/m³ |
| $\Delta$ | change or increment | | | | |
| $\delta$ | angle of wall friction | | deg | deg | deg, radian* |
| $\epsilon$ | linear strain | $L/L$ (dimensionless) | | | |
| $\theta$ | angle between planes | dimensionless | deg | deg | deg, radian** |
| $\nu$ | Poisson's ratio | dimensionless | | | |
| $\rho$ | density (also see $\gamma$) | $FT^2/L$, $M/L^3$ | slug/ft³ | g/cm² (mass) | kg/m³ |

تابع جدول (١-١) الرموز المستخدمة في علم ميكانيكا التربة

تابع جدول (١-١) الرموز المستخدمة في علم ميكانيكا التربة

| Symbol | Nomenclature | Dimensions | English (Force) | Metric (Force) | SI |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma$ | normal stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma', \bar{\sigma}$ | effective normal stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_f$ | normal stress on failure surface at time of failure | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ | principal stresses | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_c'$ | preconsolidation stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_v$ ($\sigma_z$) | vertical normal stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_h$, ($\sigma_x, \sigma_y$) | horizontal normal stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\sigma_\theta$ | normal stress on plane making angle of $\theta$ with major principal plane | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\tau$ | shear stress | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\tau_f$ | shear strength (shear stress at time of failure on failure plane) | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\tau_\theta$ | shear stress on plane making angle of with major principal plane | $F/L^2, M/LT^2$ | lb/ft², kip/ft² | kg/cm² | kN/m² |
| $\phi$ | angle of internal friction | | deg | deg | deg, radian** |
| $\psi$ | angle of asperities on rock surfaces | | deg | deg | deg, radian** |

- الوحدات وتحويلها : units :
- توجد ثلاث أنظمة من الوحدات يستخدمها المهندسون في كل العالم :

- نظام الوحدات الإنجليزي (القدم - الرطل)، ونظام الوحدات المتري (المتر – الكيلو جرام) والنظام الدولي SI (المتر – الكيلو جرام - النيوتن) . ومنذ عام ١٩٧٧ والعالم كله يتجه إلى نظام موحد للوحدات وهو النظام الدولي SI. والجداول التالية تبين التحولات بين هذه الأنظمة المختلفة للوحدات