الفصل الخامس

ميكانيكا التربة

التعرية فى الصخور

طبيعة التعرية:

تعرف التعرية بأنها العمليات التى تؤثر على الصخور عند تعرضها لسطح الأرض من تجوية ونقل وترسيب بالعوامل المختلفة وينتج عن ذلك تغير الصخور من كتل متماسكة إلى مواد مفككة حصوية، وتشمل التعرية جميع عمليات إعادة التكوين الصخرى التى تحدث على سطح الأرض أو بالقرب منه.

وهناك نوعان أساسيان من التجوية هما:

١ - التجوية الطبيعية والميكانيكية.

٢ - التجوية الكيميائية.

وتشمل التجوية الطبيعية جميع عمليات التفتيت دون تغير فى التركيب المعدنى وبزيادة عمليات التكسير والطحن تزداد سطوح التفاعلات وهذا يسهل عملية تحليل الصخور بالتفاعل مع الماء والأكسجين وثانى أكسيد الكربون الموجودة بكثرة فى الغلاف الجوى وهذا ما يعرف بالتجوية الكيميائية. وغالبا ما تحدث التجوية الميكانيكية والكيميائية جنبا إلى جنب. ويشارك النشاط الحيوى للكائنات الحية بالطريق المباشر وغير المباشر فى هذه العمليات التى تتوقف شدتها ونوعيتها على الظروف الجوية فمثلا فى الأحوال الجوية المتطرفة فى الأجواء القارية أو القطبية والمناطق الجبلية تكون عمليات التعرية الطبيعية هى السائدة بينما تحت الظروف الجوية الأخرى تلعب التجوية الكيميائية الدور الرئيسى.

التجوية الطبيعية والميكانيكية:

أولى خطوات تأثير عوامل التجوية على الصخور هى حدوث شروخ وفواصل بالكتل الصخرية تزداد اتساعات بالقرب من القشرة السطحية للغلاف الصخرى وبزيادة الإجهادات الناتجة عن قوة الجاذبية. تحدث انفصالات خلال أوجه الحبيبات المعدنية المكونة لكتلة الصخر كذلك فإن التمدد والانكماش الناتجين عن التغيرات فى درجة حرارة الجو كثيرًا ما تعمل على تفتيت

الصخور المكونة من معادن لها معاملات تمدد وانكماش متباينة. كما تؤثر قوة سقوط الأمطار على الصخور فتؤدى إلى تفتيتها. وفى الأجواء الباردة التي يزيد فيها معدل سقوط المطر فإن تمدد الماء الذى يملأ الشقوق نتيجة تحوله إلى جليد (٩٪ زيادة فى الحجم) ينتج عنه إجهادات ضغطية داخلية مرتفعة تؤدى إلى تفكك الصخور وتفتيتها. وتحت الظروف الملائمة فإن نمو بلورات بعض المعادن من المحاليل التى تحتويها الفواصل والشروخ فى الصخر قد يساعد كذلك على التفتيت.

التجوية الكيميائية:

بالمقارنة بعوامل التجوية الطبيعية فإن التجوية الكيميائية تكون أكثر شدة فى تأثيرها على الصخور ومكوناتها المعدنية وتحت الظروف الملائمة يمكن أن تتغير معادن السليكات وخاصة الفلسبارات إلى معادن طينية دقيقة، بينما تتغير الصخور الجيرية والدولوميتية إلى محاليل ذائبة وقليل من المواد غير القابلة للذوبان. كما قد تنشأ طبقات ذات سمك كبير من هيدروكسيدات الحديد والألومونيوم (اللاتريت والبوكسيت) أو كربونات الكالسيوم (الكلسيت والكاليش) على حسب نوعيات الصخور المختلفة.

وتعتمد التجوية الكيميائية على وجود الماء والمواد الصلبة والغازية الذائبة أو غير الذائبة فى الصخور وتختلف قابلية المعادن للذوبان فى الماء ولكن وجود الأكسيجين الذائب وثانى أكسيد الكربون والمركبات العضوية الأخرى فى الماء تزيد من قدراته على تفتيت الصخور وتآكلها.

نواتج التجوية فى الصخور:

تكون نواتج عمليات التجوية على ثلاثة صور:

أولاً: المعادن الأولية الثابتة والمقاومة لظروف التعرية مثل الكوارتز.

ثانيًا: معادن ثانوية ثابتة تحت ظروف التعرية المختلفة مثل معادن الطين.

ثالثًا: مواد ذائبة أو غروية تحملها المياه الجارية.

أولاً: المعادن الأولية المقاومة للتعرية:

تنشط عمليات التعرية على سطح الأرض حيث ظروف الضغط والحرارة المنخفضتين وتوفر المياه المذاب فيها ثانى أكسيد الكربون والأكسجين هى السائدة فتتكون المعادن التى تستطيع مقاومة هذه الظروف مثل بعض المعادن الطينية والسيليكا وربما بعض معادن الكلوريت. ويمكن اعتبار مجموعة معادن الميكا البيضاء (المسكوفيت) من أكثر المعادن مقاومة للتعرية وأطولها زمنًا قبل التغير بدليل بقائها بوفرة بعد عمليات التعرية، كذلك المعادن الثقيلة كالمجنتيت والروتيل والزركون.

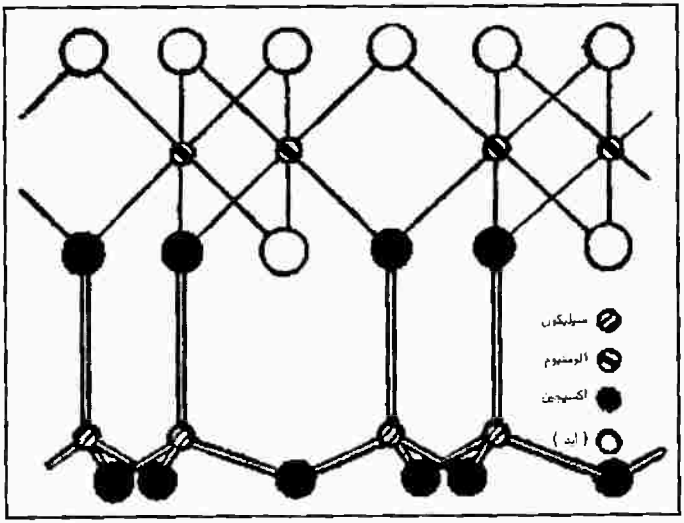
ثانيًا: المعادن الثانوية:

عندما تتعرض معادن السيليكات الأولية مثل الفلسبارات والفلسباثويدات والأليفين والبيروكسين والأمفيبول لعوامل التجوية يحدث بها تغيرات كيميائية أساسية لتعطى المعادن الثانوية مثل المعادن الصلصالية وهيدروكسيدات الحديد والألومنيوم بالإضافة إلى ترسيب بعض الغرويات مثل السليكا الجلاتينية وأكاسيد الحديد المائية مثل الليمونتت وكربونات الكالسيوم. وتتميز جميع المعادن الثانوية الناتجة بصغر أقطار الحبيبات التى غالبًا ما تكون أقل من ٠,٠٢مم.

وتتكون المعادن الصلصالية الطينية أساسًا من السيليكات المائية للألومونيوم والحديد والمغنسيوم وتصنف هذه المعادن تبعًا لخواصها الطبيعية وتركيبها الشبكى الداخلى إلى ثلاث مجموعات رئيسية هى الكاولينيت - المونتموريلينيت - والأليت (أو الميكا المائية) بالإضافة إلى بعض المعادن الأخرى غير الشائعة وفيما يلى وصف لمعادن الطين الرئيسية.

الكاولينيت (شكل ٤٦):

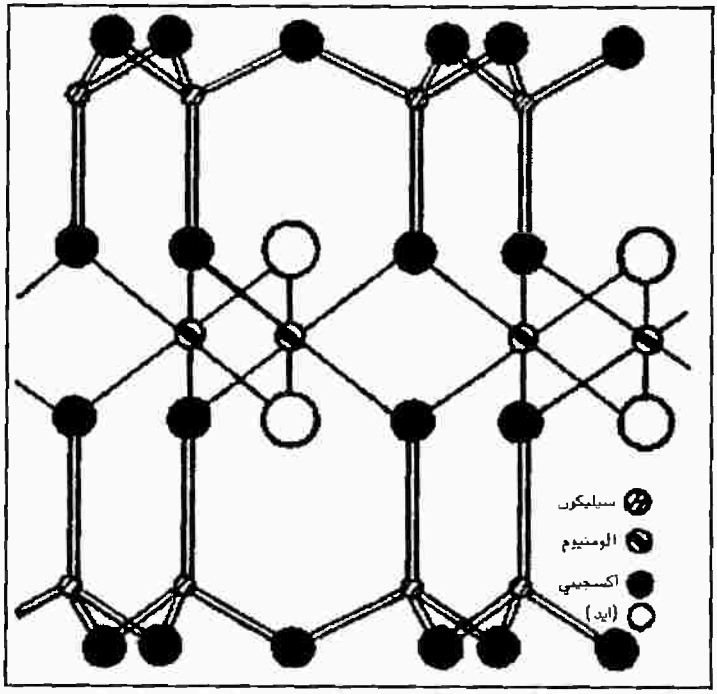
وتركيبه الكيميائى $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$، ويتكون من سيلكات الألومونيوم المائية بنسبة $\frac{Sio_2}{Al_4o_8} = \frac{٢}{١}$ يتركب من طبقات متبادلة من السليكا والألومينا على شكل شرائح سداسية، ويتكون الكاولينيت فى الأوساط الحمضية تحت ظروف مناخية تتميز برطوبتها العالية حيث يتعدى معدل الأمطار معدلات البخر وتنشط حركات تخلل المياه لطبقات الغلاف الصخرى وتزيد الحركة الجانبية للمياه الأرضية. ويعتبر معدن الكاولينيت من المعادن الطينية الشائعة بمناطق التجوية الكيميائية.



شكل رقم (٤٦): التركيب البلورى لمعدن الكاولينيت.

المنتموريلينيت (شكل ٤٧):

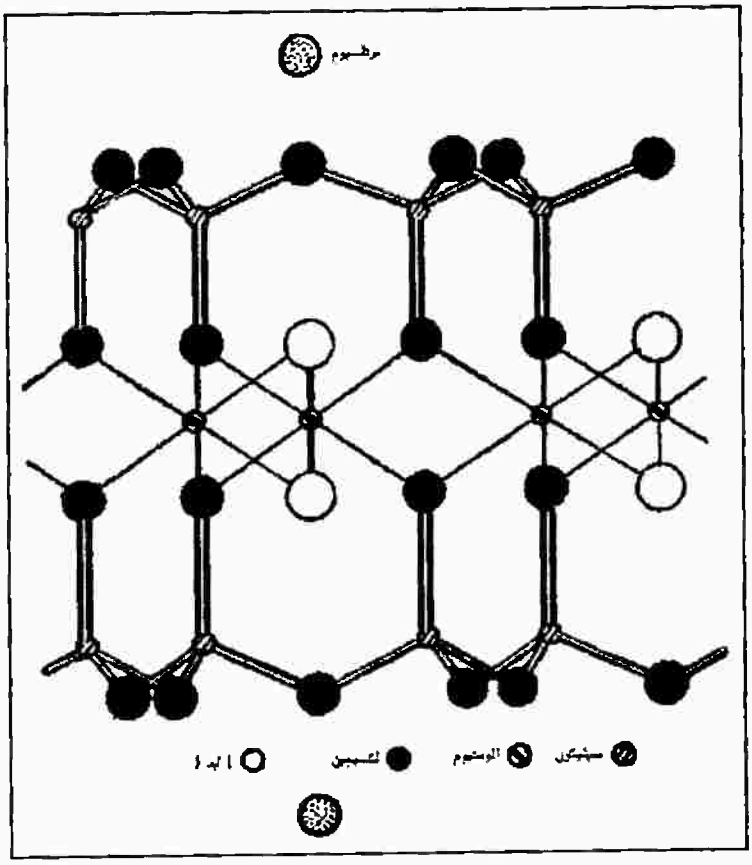
وتركيبه الكيميائى $(OH)_4 Al_4Si_8O_{20} n H_2 O$، ويوجد إحلال جزئى للألومنيوم بالمغنسيوم أو الحديد بنسبة سليكا إلى ألومينا س أ$_٢$ / لـ$_٢$ أ$_٢$ = $\frac{٤}{١}$ وبالمقارنة بالكولينيت فالمونتموريلينيت يتركب من طبقتين من السليكا بينهما طبقة من الألومينا مما يساعد على قابلية احتواء مثل هذا التركيب للماء بين شرائحه. ويتكون المونتموريلينيت فى وسط قاعدى أو متعادل، ويعتبر زيادة تركيز الحديد والمغنسيوم من العوامل المثبتة التى تقلل من زيادة حجم المونتموريلينيت عند ملامسته للماء ويمكن تغيير المونتموريلينيت إلى كاولينيت بتحسين ظروف الصرف بالتربة.



شكل رقم (٤٧): التركيب البلورى لمعدن المونتموريلينيت.

الأليت (شكل ٤٨):

وتركيبه الكيميائى $(OH)_4 K x (Al, Fe, Mg)_4 (Si_8, Al_8 - X) O_{20}$، ويعرف أيضًا بالميكا المائية، وتتراوح قيمة (X) بين ١ ، $\frac{٣}{٢}$ ويتركب الأليت من طبقتين من السليكا بينهما طبقة من الألومينا كما فى المونتموريلينيت.



شكل رقم (٤٨): التركيب البلورى لمعدن الأليت.

وتختلف المعادن الطينية اختلافا كبيرًا فى تركيبها البلورى وخواصها الطبيعية والكيميائية مثل امتصاص الماء واللدونة والانتفاخ والنشاط السطحى والشحنة الكهربية والتبادل الأيونى الذى يعتمد على حجم حبيبات الطين.

ثالثًا: المواد الذائبة:

إن النواتج الذائبة لعمليات التجوية تنتج من تحلل بعض المعادن الأولية. وتدل تحاليل المياه السطحية والأرضية (جدول ٢٢) بأن معظم هذه المواد تكون فى صورة محاليل من مناطق تكوينها وتعكس المكونات الذائبة التركيب المعدنى لصخور المصدر فمثلا يمثل أيونات (كا + +)، (مغ + +)، (ك أ$_{٣}$)$^{-}$ النواتج الرئيسية لتعرية الصخور الجيرية وبالمقارنة فإن معظم صخور السيليكات تعطى أملاحًا قاعدية وسيليكا غروية وتختلف نسب هذه المكونات للصخور

القاعدية حيث تعطى الصخور الحمضية نسبا عالية من الصوديوم والبوتاسيوم بينما تعطى الصخور القاعدية نسب مرتفعة من الكالسيوم والمغنسيوم.

جدول رقم (٢٢) التركيب الكيميائى لبعض المياه الطبيعية

الأيـون	نسبته فى مياه المطر (جزء من مليون)	نسبته فى المياه الأرضية (جزء من مليون)	نسبته فى المياه الحارة (جزء من مليون)
كا ++	٠,١ – ١٠	١٠ – ١٢	٤
مغ ++	أكبر من ٠,١	٥,١ – ٣١	٢
ص +	أكبر من ٠,٤	٠,٠٣ – ٢٧٩	٤٨
يو +	أكبر من ٠,٠٣	١,٢ – ٢٧٩	٣٠
س أ	–	٨,٤ – ٣٨	٣٠٣
(ك أ٢)$^{--}$	أقل من ٠,١	٢٩ – ٤٤٥	–
(كب أ٤)$^{--}$	٢,٠	٤,٤ – ٣٠٣	١١٠٠
(كل)$^{-}$	٠,٥	١,٢ – ٨٠	٥
أيونات أخرى	٠,٧	٠,٧ – ١٨	٣٤٨
الملوحة	حوالى ٠,٩	١١٥ – ٩٧٣	١٨٠

تكوين التربة

يطلق لفظ (التربة) على الطبقة العليا المفككة من القشرة الأرضية الناتجة عن تفتيت الصخور بعوامل التعرية والتجوية وتعنى بالنسبة للدارسين لعلومها تجمع طبيعى لمعادن ومركبات عضوية متفاضلة إلى طبقات متغيرة السمك تختلف فى شكلها وطبيعة تركيبها وخواصها الكيميائية والحيوية عن صخور الأساس التى تحتها. وتصنف التربة تبعًا للعلاقة الوراثية بين مكونات التربة وصخور الأساس إلى نوعين هما:

١ – التربة المتبقية. ٢ – التربة المنقولة.

بينما تصنف طبقًا للوسط الذى تكونت فيه إلى ثلاثة أنواع هى:

١ – التربة الهوائية. ٢ – التربة التثاقلية.

٣ – التربة النهرية.

التربة المتبقية والتربة المنقولة:

التربية المتبقية هى تلك التى تظل فى موضع تكونها الأصلى فوق صخور الأساس التى نتجت عنه بعوامل التجوية. وفى هذه الحالة تحتوى التربة على نفس المعادن الأولية الثابتة الموجودة بصخور الأساس. أما التربة المنقولة فهى التى نقلت من موضع تكوينها وترسبت فى مكان آخر وبذلك تختلف معادنها الأولية الثابتة عن تلك الموجودة بصخور الأساس. وعوامل نقل التربة قد تكون بفعل الرياح فتعرف بالتربة الهوائية مثل تربة الكثبان الرملية وتربة اللويس، وتعرف التربة بالنهرية إذا نقلت أو ترسبت بفعل المياه مثل الحصى والزلط والرمال الشاطئية. أما إذا كانت الجاذبية هى القوة المؤثرة لتجمع الفتات الصخرى أسفل المنحدرات والمناطق ذات التضاريس الوعرة فتعرف التربة بالتناقلية.

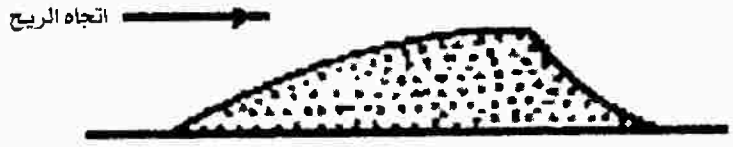
التربة الهوائية:

وتشمل:

(أ) الكثبان الرملية. (ب) تربة اللويس.

الكثبان الرملية:

وتنشأ فى المناطق الصحراوية الجافة قليلة أو منعدمة الأمطار حيث تنقل الرمال الناتجة من الفتات الصخرى دقيقة الحبيبات بفعل الرياح والتيارات الهوائية حتى إذا اعترض حركتها عائق توقفت ورسبت حملها من الرمال على شكل كثبان. وخلال الفترة الأولى لتكوين الكثيب يزداد ارتفاعه تدريجيًا إلى أن يصل حدًا يكون فيه مقدار ما يتراكم من الرمال مساويا لمقدار ما تحمله الرياح فى سريانها. ويحدث فى هذه الحالة أن ذرات الرمال تتطاير لتهبط فوق قمة الكثيب، ثم لا تلبث أن تنزلق ولهذا فإن الكثيب يتحرك من موضعه. وعادة ما توجد الكثبان الرملية فى مجموعات تتراوح من ٤٠ إلى ٥٠ كثيبًا فى الكيلومتر المربع الواحد ويتراوح ارتفاع الكثيب من عدة أمتار إلى مائة متر. ويتراوح ميل جانبه المواجه للرياح بين ٥، ١٢° بينما الجانب الآخر يكون أكثر ميلا إذ يبلغ ما يقرب من ٣٥° (شكل ٤٩).



شكل رقم (٤٩): علاقة الكثيب الرملى باتجاه الرياح.

وتتكون الكثبان الرملية من حبيبات منظمة من الكوارتز وبعض معادن الميكا (المسكوفيت) وتتدرج الحبيبات فى القطر لتصل إلى أقل من ٠,١٥ مم، مكونة بين ٢، ١٥٪ من الحجم الكلى للكثيب وتتميز التربة الهوائية باستدارة حبيباتها نتيجة لما تعانيه من احتكاك أثناء نقلها.

تربة اللويس:

هى تربة هوائية تنشأ فى الظروف القارية صحراوية أو جليدية وتتميز بأنها خليط من المعادن الناعمة من الرمال والطين والطمى مثل معادن المونتموريلنيت ذات الشراهة العالية لامتصاص الماء وتكوين تربة اللويس ذات أصل أولى أو ثانوى إذا كانت ناتجة مباشرة من صخور الأساس فى الحالة الأولى ومنقولة بواسطة الرياح أو الثلاجات فى الحالة الثانية. وتختلف التربة الأولية عن الثانوية بأن معدن المونتموريلنيت الموجود فى التربة الأولية يتحول إلى معدنى الأليت والكاولينيت فى التربة الثانوية، فإذا امتزجت تربة اللويس الأولية بالماء سرعان ما ينتفخ فإذا تأثرت بالضغط الناتج عن المنشآت المقامة عليها تصلدت وانكمشت لدرجة كبيرة مما يسبب انهيار هذه المنشآت. وتتميز تربة اللويس بمساميتها العالية فى الاتجاه الرأسى أكثر منها فى الاتجاه الأفقى مخالفة أنواع التربة الأخرى حيث تكون المسامية فى الاتجاه الرأسى بالإضافة إلى خاصية التصلد واللدونة.

التربة التثاقلية:

وتتكون فى المناطق الصحراوية الجافة المعقدة فى تضاريسها وأصلها الجيولوجى والمتباينة فى ارتفاعها حيث تنشط عوامل التعرية الميكانيكية القادرة على تفتيت قمم الجبال والمرتفعات ليتدحرج الفتات الصخرى تحت تأثير قوى الجاذبية إلى الوديان والمنخفضات وقد يستمر سيل فتات الصخور مكونا ما يسمى بالأنهار الصخرية ويختلف قطر حبيبات التربة التثاقلية من عدة مليمترات إلى كتل قد تصل إلى عدة أمتار تعرف بالركام الصخرى (Boulders).

التربة النهرية:

تتدرج الرواسب المنقولة بواسطة مياه الأنهار فى خشونتها من المنبع إلى المصب حيث تترسب المواد الخشنة مثل الحصى والزلط قريبة من المنبع بينما تترسب المواد الأكثر نعومة مثل الرمال على بعد عدة كيلومترات وهكذا حتى تصل المياه المحملة بالرواسب دقيقة الحبيبات مثل الطين والطمى إلى المصب. وتترسب التربة النهرية فى الوديان وعلى ضفاف الأنهار مكونة طبقات يختلف سمكها تبعا لكثرة أو قلة الفتات الصخرى ونوع صخور الأساس.

رواسب الرمال:

تتكون رواسب الرمال عادة فى المياه الضحلة قليلة العمق قرب الشاطئ أو فى مجارى الأنهار وتختلف الرمال عن بعضها فى شكل حبيباتها وأحجامها ويعزى ذلك إلى مصدرها وعوامل نقلها، فالرمال التى تتكون فى مجارى الأنهار أو على الشواطئ تتميز بأنها حادة غير مستديرة وذلك لأن احتكاكها ببعضها يكون غالبا فى اتجاه واحدٍ وقد تختلط بالرمال حبيبات صغيرة من الأحجار الجيرية والمحارية وتكتسب الرمال ألوانا تختلف عن المواد الداخلة فى تكوينها مثل أكسيد الحديد الأحمر (الهيماتيت) أو الأصفر (الليمونيت).

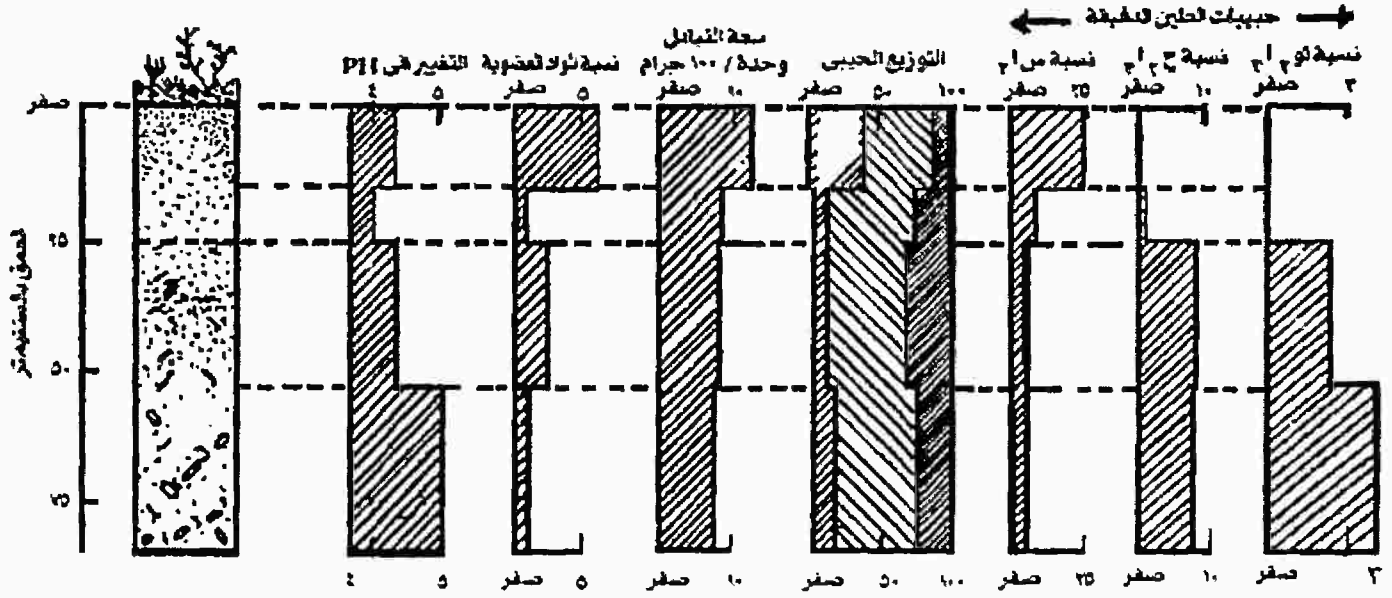
رواسب الحصى:

تطلق رواسب الحصى على فتات الصخور التى يزيد قطرها على ٢ مليمتر وتتكون هذه القطع عادة من الصوان والجرانيت، وتنشأ رواسب الحصى البحرية من تفتت صخور الشواطئ التى تتعرض للتآكل فتفقد الأجزاء اللينة منها تاركة الصلبة. وقد يتكون الحصى على هيئة عدسات مختلفة بالتربة ويترسب الحصى عادة بفعل الأنهار وتتميز رواسب الحصى بماسميتها المرتفعة لذلك لا تصلح كأساس للمنشآت المائية كالسدود والخزانات ولكنها تصلح كخزان طبيعى للمياه الأرضية والبترول والغاز الطبيعى.

قطاع التربة:

تتميز التربة بتكويناتها الطبقية المختلفة عن بعضها وعن صخور الأساس فى الخواص والتركيب حيث يتضح فرق اللون والنسيج والتركيب المعدنى وتركيز أيون الإيدروجين (pH) والمكونات العضوية والمعادن الطينية وتجمعات الأكاسيد (شكل ٥٠) ويعرف قطاع التربة من الوجهة الهندسية بأنه قطاع رأسى فى الرواسب المكونة للتربة من منسوب سطح الأرض حتى عمق كاف، فإن تعدى ذلك القطاع طبقة التربة ليصل إلى صخور الأساس عرف بالقطاع الجيولوجى. ويبين قطاع التربة تتابع وسمك الطبقات المكونة لها. ويختلف تكوين قطاع التربة اختلافًا كبيرًا تبعًا للظروف الوراثية والبيئية التى تشمل جيولوجية المنطقة وتضاريسها ومقدار المياه الأرضية بالمنطقة وظروفها المناخية والجغرافية.

ويقسم القطاع عادة إلى ثلاثة مناطق يعرف الجزء العلوى منها باسم التربة العلوية ويعرف الجزء الثانى باسم طبقة ما تحت التربة أما الجزء الثالث فيطلق عليه الطبقة السفلى أو صخور الأساس المتماسك. وقد لا يمثل التتابع الطبقى بصورة كاملة فمثلا فى حالة التربة غير الناضجة (المراحل المتوسطة من التعرية والتجوية) قد لا توجد طبقة تحت التربة أو قد تعمل عوامل النقل فى إزالة جزئية أو كلية لبعض طبقات قطاع التربة. بينما فى الدراسات التفصيلية لقطاع التربة قد تقسم كل من طبقاتها الأساسية الثلاثة إلى عدد أكبر من رقائق الطبقات تتوقف حدودها على اختلاف مكوناتها المعدنية وتغير صفاتها فى الاتجاه الرأسى.

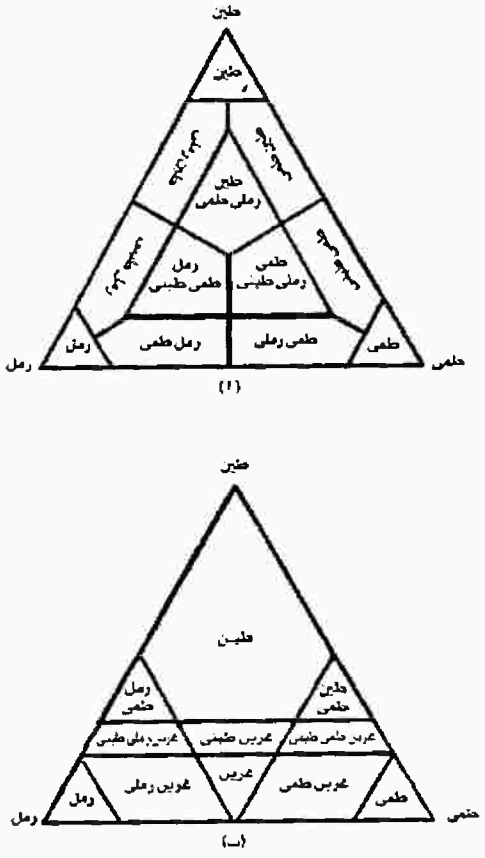


شكل رقم (٥٠): بعض التغيرات الطبيعية والكيميائية فى قطاع التربة.

الخواص الطبيعية للتربة

التركيب المعدنى للتربة:

تأخذ نواتج عمليات التعرية والتجوية أحد صور ثلاث هى معادن أولية ثابتة مثل الكوارتز، ومعادن ثانوية مثل الكاولينيت والمعادن الطينية الأخرى، ومواد ذائبة على هيئة محاليل الكتروليتية أو غروية تتكون عادة من المعادن الأولية والثانوية دقيقة الحبيبات مثل الغرين أو الطمى. ويتضح من ذلك أن التربة تتكون من خليط من الرمل والطمى أو الغرين ويوضح شكل (٥١) بعض الطرق (نظام إدارة الطرق العامة الأمريكية) المتبعة فى تصنيف التربة تبعا لمكوناتها الأساسية حيث تمثل المكونات المعدنية الثلاث للتربة وهى الطين والطمى والرمل برءوس مثلث تمثل أضلاعه خليط من معدنين بينما تمثل أية نقطة داخل المثلث خليطا من المعادن الثلاثة ومبين على الشكل حدود مكونات الأنواع المختلفة والمعروفة من التربة.

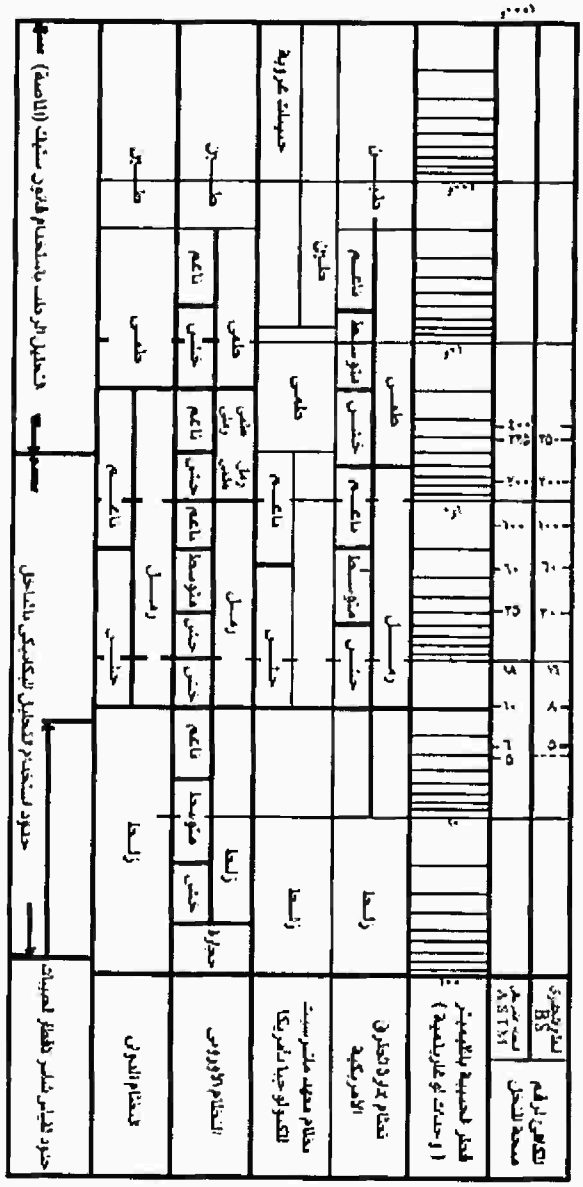


شكل رقم (٥١): بعض طرق تصنيف التربة.

التصنيف الحبيبى للتربة:

كثيرًا ما يلجأ الدارسون لعلوم التربة لوضع معاملات إحصائية لقياس التدرج الحبيبى للتربة فى محاولة لربط هذه المعاملات بالخواص الطبيعية لها واستنتاج ثوابت لها دلالات وراثية وبيئية وطبيعية ويعرف حجم حبيبات التربة بأنه أكبر بعد طولى للحبيبات المكونة لها. وتختلف طريقة قياس حجم الحبيبات (التحليل الميكانيكى) للتربة تبعًا لخشونة أو نعومة مكوناتها فبينما تقاس حجم حبيبات الزلط (أكبر من ٢ مم) قياسًا مباشرًا باستخدام ورنية طويلة لكل حبيبة على حدة، ويستخدم التحليل الميكانيكى باستخدام مجموعة قياسية من المناخل

مختلفة الفتحات لتعيين حجم التربة متوسطة الحبيبات (بين ٢ سم - ١ مم) فى حين تستخدم طريقة التحليل الرطب بطريقة الايدروميتر أو الماصة فى حالة التربة ذات الحبيبات متناهية الصغر (أقل من ٠,١ مم) وبين شكل (٥٢) الحدود والعلاقة بين طرق التصنيف الحبيبى المختلفة ومجال تطبيق كل طريقة.



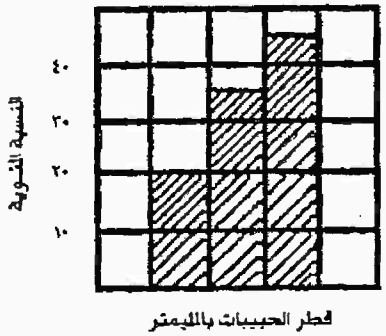
شكل رقم (٥٢): النظم المختلفة لتصنيف التربة.

وتوجد عدة طرق بيانية لتمثيل التحليل الميكانيكى للتربة نذكر منها:

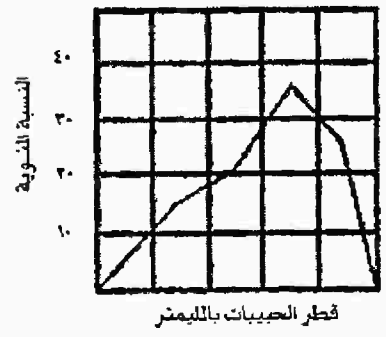
١ - التمثيل البيانى العمدانى والتذبذبى.

٢ - التمثيل البيانى التراكمى.

وفى هذه الطرق تمثل العلاقة بين حجم حبيبات التربة (المحور الأفقى) ونسبة وجود كل حجم فى العينة (محور رأسى) ويوضح شكل (٥٣) طريقة التمثيل البيانى العمدانى لنتائج التحليل الميكانيكى للتربة وهى تعتبر من أبسط طرق التمثيل البيانى وتظهر على أعمدة قاعدتها حجم الحبيبات (بمقياس لوغاريتمى أو عادى) وارتفاع العمود هو النسبة المئوية لتواجد الأحجام المختلفة فى عينة التربة ويوضح شكل (٥٤) التحليل الميكانيكى للتربة على شكل منحنى تذبذبى.

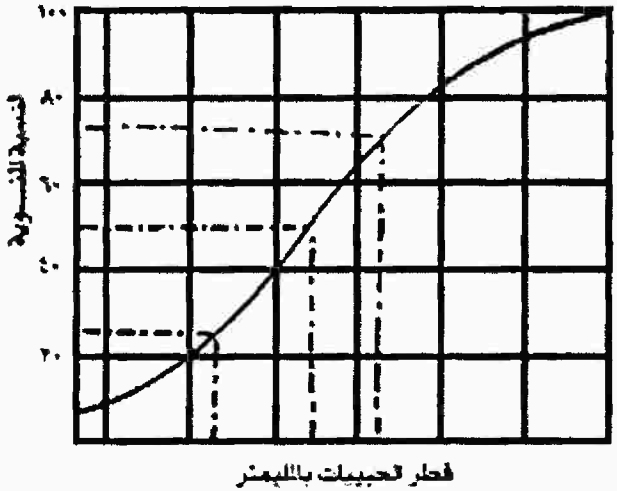


شكل رقم (٥٣): التمثيل العمدانى للتحليل الميكانيكى للتربة.



شكل رقم (٥٤): التمثيل التذبذبى للتحليل الميكانيكى للتربة.

وتعتمد الطريقة الثانية على تمثيل نتائج التحليل الميكانيكى للتربة على شكل منحنى مستمر يمثل العلاقة بين حجم معين من الحبيبات والنسبة المئوية لتواجد الأحجام الأكبر أو الأصغر منه فى عينة التربة. وتعتبر هذه الطريقة (شكل ٥٥) من أكثر طرق التصنيف الميكانيكى للتربة



شكل رقم (٥٥): التمثيل التراكمى للتربة.

استخداما حيث يسهل الحصول على قيم إحصائية تستخدم كأسس للتصنيف مثل:

- القطر الأوسط (Median) ق٥٠ ويمثل حجم الحبيبات التى نسبتها الأدق ٥٠٪.
- القطر الأول (Ist quartile) ق٧٥ ويمثل حجم الحبيبات التى نسبتها الأدق ٧٥٪.
- القطر الثانى (2nd quartile) ق٢٥ ويمثل حجم الحبيبات التى نسبتها الأدق ٢٥٪.
- القطر الفعال (effective diameter) ق١٠ ويمثل حجم الحبيبات التى نسبتها الأدق ١٠٪.

ويعرف أيضًا باسم القطر العشرى الأول (First percentile)

- القطر العشرى الثانى ق٩٠ ويكافى قطر الحبيبات التى نسبتها الأدق ٩٠٪ وتستخدم هذه القيم فى حساب بعض المعادلات مثل:

- معامل التصنيف (Sorting Coefficient) م ت = $\sqrt{\frac{\text{ق}_{٢٥}}{\text{ق}_{٧٥}}}$

- معامل التماثل أو الانبعاج (Skewness Coefficient) م ص = $\frac{\text{ق}_{٢٥} \times \text{ق}_{٧٥}}{\text{ق}_{٥٠}}$

- معامل التجمع (Kurtosis Coefficient) م تج = $\frac{(ق_{٢٥} - ق_{٧٥})}{٢(ق_{١٠} \times ق_{٩٠})}$

- معامل الانتظام (Uniformity Coefficient) م ن = $\frac{ق_{٦٠}}{ق_{١٠}}$

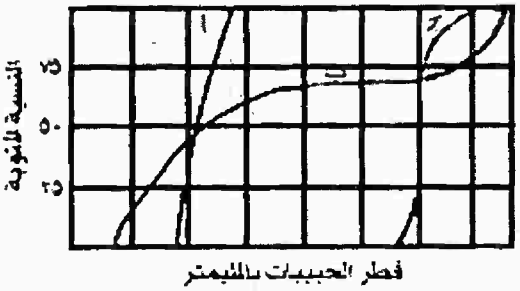
ويبين شكل (٥٦) التمثيل البيانى التراكمى لمنحنيات التحليل الميكانيكى لثلاثة رواسب مختلفة:

(أ) رمال شاطئية حسنة التصنيف والتدرج.

(ب) تربة اللويس حسنة التصنيف غير جيدة التدرج.

(جـ) تربة ثلجية رديئة التصنيف.

ويمكن تلخيص أهمية دراسة منحنيات التحليل الميكانيكى للتربة فيما يلى:



شكل رقم (٥٦): منحنيات التوزيع الجينى فى التربة.
(أ) رمال شاطئية حسنة التصنيف والتدرج.
(ب) تربة اللويس حسنة التصنيف رديئة التدرج.
(جـ) تربة ثلجية رديئة التدرج.

١ - تساعد فى تحديد الأصل الجيولوجى للتربة كذلك تستخدم للربط والمقارنة بين التربة فى المناطق المختلفة.

٢ - التعرف على العمليات الجيولوجية التى أدت إلى نشأة التربة.

٣ - دراسة خواصها الطبيعية مثل المسامية والنفاذية.

٤ - دراسة العلاقة بين ديناميكا تدفق الأنهار والبحار ونوع الرواسب الفتاتية النهرية أو البحرية مما يساعد على اختيار أنسب الطرق لحماية الشواطئ من النحر والتآكل.

٥ – يمثل ميل المنحنى تقارب حبيبات التربة فكلما كان قطر الحبيبات منتظمًا ومتساويًا كان ميل المنحنى أكبر فإذا كان المنحنى خطًا رأسيًا دل ذلك على تربة مكونة من حبيبات لها نفس القطر تقريبًا حيث يكون معامل التصنيف مساويًا للواحد الصحيح. وتعتبر التربة ذات تصنيف جيد إذا كان م ت = أقل من ٢,٥ وتكون ذات تصنيف عادى إذا كان م ت = ٣,٥ تكون التربة ذات تصنيف ردىء إذا كان م ت أكبر من ٤,٥.

٦ – يمثل معامل التماثل أو الانضغاط لمنحنى التوزيع الحبيبى النسبة بين الحبيبات الخشنة إلى الحبيبات الناعمة فى التربة ويساوى لوغاريتم (لو١٠ م ض):

= صفرًا فى حالة التربة المتماثلة التوزيع الحبيبى.

= مقدارًا موجبًا إذا كانت الحبيبات الخشنة فى عينة التربة هى الغالبة.

= مقدارًا سالبًا إذا كانت الحبيبات الناعمة فى عينة التربة هى الغالبة.

٧ – يمثل معامل التجمع (م تـج) الاندفاع الموجنى الأعظم (peakodness) ويكون الحيود المعيارى (Standard Deviation) عن المتوسط الحسابى لقطر التربة صغيرًا كلما كان (م تج) كبيرًا والعكس صحيح.

٨ – تتوقف نفاذية التربة على مقدار معامل الانتظام (م ن) حيث تقل النفاذية بكبر معامل الانتظام وقد وجد أن معامل الانتظام فى التربة الطينية أكبر منه فى التربة الرملية.

مسامية التربة (porosity)

تعرف مسامية التربة (م) بأنها النسبة بين الحجم الكلى للفجوات والفراغات الموجودة بالتربة إلى الحجم الكلى للتربة، أما نسبة الفراغات (ف) (Viod ratio) فهى النسبة بين حجم الفراغات الموجودة بالتربة إلى الحجم الكلى لحبيبات المعادن المكونة للتربة فإذا فرضنا أن وحدة الحجوم هى المتر المكعب وكان حجم الفجوات والفراغات هى (م) مترًا مكعبًا، يكون حجم حبيبات التربة = (١ – م) مترًا مكعبًا.

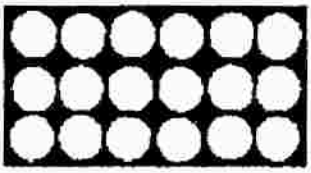
وتكون نسبة الفراغات (ف) = $\frac{م}{١ - م}$ ومنها يمكن حساب المسامية بدلالة

نسبة الفراغات كالتالى المسامية م = $\frac{ف}{١ + ف}$

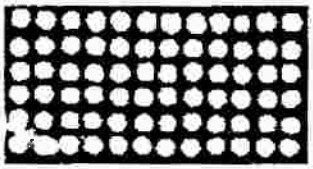
فمثلا إذا كانت مسامية التربة الرملية الجافة هى ٣٣٪ تكون نسبة الفراغات:

$$ف = \frac{٠,٣٣}{١ - ٠,٣٣} = \frac{٠,٣٣}{٠,٦٧} = ٥٠٪ \text{ تقريبًا.}$$

ولا تتوقف المسامية على قطر حبيبات المعادن الداخلة فى تكوين التربة (شكل ٥٧).



حبيبات خشنة



حبيبات دقيقة

شكل رقم (٥٧): المساميات وقطر الحبيبات.

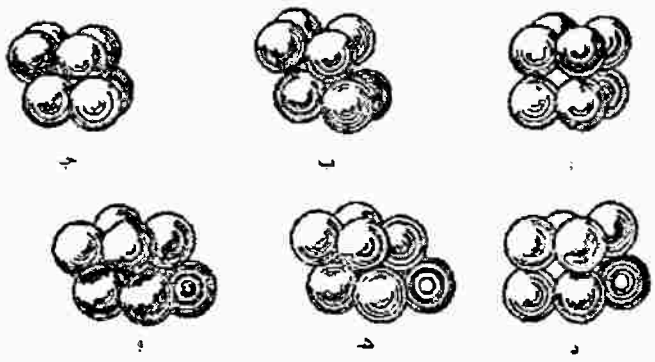
ويبين جدول (٢٣) مسامية الأنواع المختلفة من التربة

جدول رقم (٢٣) مسامية التربة

نوع التربة	المسامية ٪
رملية خشنة	٣٠ - ٤١
رملية متوسطة	٤١ - ٤٨
رملية ناعمة	٤٤ - ٤٩
غرين رملى دقيق	٥٥ - ٥٤

ترتيب حبيبات التربة (Soil packing)

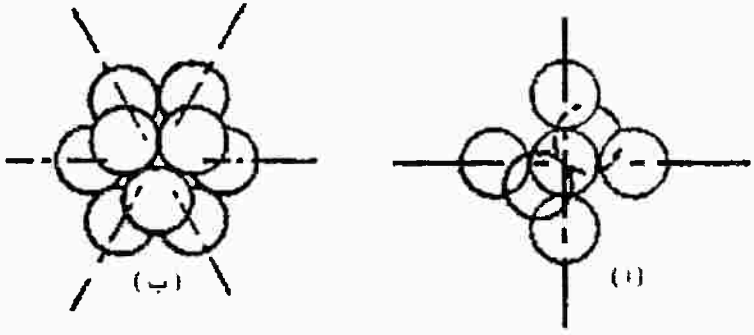
يؤثر ترتيب حبيبات التربة على مساميتها ويقصد بترتيب الحبيبات الطريقة التى ترص بها الوحدات البنائية المكونة للتربة لتستقر فى مكانتها تحت قوى الجاذبية بالتماس بينها وبين وحدات البناء المجاورة.والوحدات البنائية للتربة والرواسب الفتاتة والتى تشمل الحصى والرمال والزلط والجلاميد وحدات مختلفة الشكل والحجم وغير منتظمة، ولكى يمكن تفهم الطرق المختلفة لترتيب حبيبات التربة وتأثيرها على المسامية تمثل وحدات البنائية بكرات متساوية الأقطار كما هو موضح بالشكل (٥٨) الذى يبين ستة نظم مختلفة لترتيب حبيبات التربة،



شكل رقم (٥٨): نظم ترتيب حبيبات التربة.

(أ) مكعبى. (ب إلى و) معينى.

وتبين الحالة الأولى النظام المكعبى وهو أكثر الأنواع مسامية (م = ٤٧.٦٤٪) بينما يمثل الترتيب المعينى أقلها مسامية (م = ٢٥.٩٥٪) ويلاحظ أنه فى حالة الترتيب المكعبى تمس كل حبيبة الحبيبات المجاورة فى ستة نقاط فقط (شكل ٥٩ – أ) بينما فى حالة التصنيف المعينى تمس كل حبيبة الحبيبات المجاورة فى ١٢ نقطة (شكل ٥٩ – ب).



شكل رقم (٥٩)

(أ) عدد نقاط التماس فى النظام المكعبى.

(ب) عدد نقاط التماس فى النظام المعينى.

تماسك التربة (Compaction)

تكون حبيبات التربة الجافة كالرمل والحصى نسيجًا غير ثابت يمكن بالضغط عليها جعلها أكثر تماسكًا وقد تتحد حبيبات التربة بالضغط التماسى فى وجود الماء وهو ما يعرف بالتماسك الظاهرى ولكنها تعود لتصبح غير متماسكة إذا ما جفت وقد تلتحم حبيباتها مع بعضها بترسب

مواد لاحمة، وتزداد قوة تماسك التربة الطينية بزيادة الضغط الواقع عليها خاصة فى الأعماق البعيدة.

وتوجد علاقة رياضية عملية تربط بين المسامية وبعد التربة عن سطح الأرض

$$م_ع = م_{،} (e - جـ ع)$$

حيث: $م_ع$ = مسامية التربة عند العمق ع

$م_{،}$ = مسامية التربة عن السطح (أى العمق صفر)

جـ = مقدار ثابت يتوقف على نوع التربة

النفاذية (Permeabiliy)

النفاذية هى مدى قابلية التربة لمرور السوائل خلال مسامها دون هدم أو زحزحة أو تغير لأبعاد هذه المسام وتعتمد النفاذية على عدة عوامل أهمها طبيعة التربة ونوع السوائل التى تمر بها وفرق علو الضغط الهيدروليكى للسائل. ويعبر عن النفاذية بسرعة تدفق حجم (ح) سم^{٣} من السائل فى وحدة زمنية (ثانية) خلال عينة أسطوانية من التربة ذات مقطع مساحته (س) سم^{٢} وطول مقداره (١) سم كما أن سرعة تدفق السائل خلال حبيبات التربة يتوقف على فرق علو الضغط خلال طول العينة (ل). (ض) ضغط جوى كذلك لزوجة السائل (ز) مقدرة بالسنتبواز وهناك علاقة رياضية تربط بين هذه المقادير يمكن التعبير عنها كما يلى:

$$ح = ن \left(\frac{س\ ض}{ز\ ل} \right)$$

حيث ن = ثابت التناسب وهو معامل النفاذية مقدرًا بالدارسى

ويقال إن نفاذية التربة دارسى واحد إذا سمحت لواحد سم^{٣} من سائل ذى لزوجة مقدارها واحد سنيتواز للمرور فى ثانية واحدة خلال مقطع مساحته واحد سم^{٢} تحت ضغط هيدروليكى مقداره واحد ضغط جوى لكل سم طولى ويعتمد معامل النفاذية للتربة على قطر حبيباتها ومعامل التصنيف (م ت) وعلى شكل الحبيبات وطريقة ترتيبها. وتوجد علاقة بين هذه المتغيرات كالآتى:

$$ن = ب\ ق^{٢}_{،} (e - أ\ \sigma)$$

حيث ن = معامل النفاذية مقدار بالدارسى.

أ ، ب = مقدار ثابت

σ = الانحراف المعيارى لشكل الحبيبات ويتوقف على معامل التصنيف (م ت).

ويتبين من هذه العلاقة أن النفاذية تتناسب طرديًا مع مربع القطر الأوسط وعكسيًا مع لوغاريتم الانحراف المعيارى لشكل الحبيبات وتزداد النفاذية بتحسين معامل التصنيف. وقد أمكن للربط بين معاملى النفاذية والمسامية والتوزيع الحبيبى طبقًا للمعادلة التالية:

$$ن = ٢ \times ١٠^{٢} \left(\frac{م^{٣}}{(١ - م)^{٢}} \times \frac{١}{س^{٢}} \right)$$

حيث س المساحة النوعية (Specific Area) سم^{٢} / سم^{٣} وهى دالة لشكل وقطر حبيبات التربة يحصل عليها من نتائج التوزيع الحبيبى للتربة بفرض أن الحبيبات كروية الشكل. وعند استخدام هذه المعادلة لحساب قيمة المتغير (س) للرواسب المتماسكة (الصخور الرسوبية) من التوزيع الحبيبى ومقارنتها بالقيمة المحسوبة بمعلومية المسامية والنفاذية وجدت أنها لا تتفق وقد استخدم الفرق بين القيمتين كمعامل لدرجة تلاحم الحبيبات بالمواد التى تقلل من نفاذية ومسامية الصخر المتماسك.

وقد وجد أن نفاذية التربة تكون عادة فى اتجاه التطابق الأفقى أكبر منه فى الاتجاه الرأسى. وعلى الرغم من أن المسامية والنفاذية متغيران مرتبطان بعلاقات رياضية إلا أنه من البديهى أن تكون التربة غير المسامية غير منفذة وعلى العكس من ذلك فإن التربة عالية المسامية لا تعنى بالإلزام أنها منفذة فمثلا التربة الطينية دقيقة الحبيبات تكون ذات مسامية عالية إلا أنها قليلة أو عديمة النفاذية.

الرطوبة فى التربة:

يعبر عن النسبة المئوية للرطوبة فى التربة بأنها نسبة وزن الماء الذى يحتويه حجم معين من التربة إلى وزن حبيبات التربة المعدنية الصلبة فى هذا الحجم ويرمز لنسبة الرطوبة بالرمز (ر).

حيث: $ر = \frac{و_م}{و_ص} \times ١٠٠$

حيث: $و_م$ = وزن الماء الذى تحتويه التربة.

$و_ص$ = وزن الحبيبات المعدنية الصلبة = وزن العينة الجافة تمامًا.

$و$ = وزن عينة التربة المشبعة بالماء.

وتتأثر خواص التربة بمقدار ما تمتصه من الماء، ويتسرب الماء، خلال التربة بما يعرف بالخاصة الشعرية وهى خاصية سريان الماء من التربة المبللة إلى التربة الجافة خلال المسام المتصلة للتربة والتى تعمل عمل أنبوبة شعرية وقد يبلغ ارتفاع الماء تبعًا للخاصية الشعرية حوالى

٢٠ مترًا فى التربة الرملية المكونة من الرمال والحصى الخشن نظرًا لاتساع المسام ويتوقف ارتفاع الماء خلال حبيبات التربة على الخاصية الشعرية وما يلازمها من قوى التوتر السطحى للماء النافذ خلال المسام المتصلة وتقدر القوة الناشئة من الخاصية الشعرية بحوالى ٠,٠٧٢ جم/سم طولى (عند ٣٠° مئوية) وتحت هذه تنضغط حبيبات التربة إلى بعضها وعندما تلتصق حبيبات التربة تحت هذا الضغط تنشأ ظاهرة الضغط التماسى فتشغل حبيبات التربة حجمًا أكبر من حجمها وهى جافة وتعرف هذه الظاهرة بالانبعاج فى التربة الرملية والحصوية (Sand Buckling) وتعرف بظاهرة الانتفاخ (Swelling) فى التربة الطينية والطميية.

العلاقة بين الوزن النوعى ونسبة الرطوبة:

يتوقف الوزن النوعى للتربة على الوزن النوعى للمعادن المكونة لها فإذا كانت التربة رملية فإن وزنها النوعى يكون قريبًا من الوزن النوعى للكوارتز المكون الرئيسى لها أى حوالى ٢,٦٥ جم/سم وإذا كانت تربة طينية كان وزنها النوعى قريبًا من الوزن النوعى لكاولينيت أى ٢,٨ جم/سم^{٣} وهكذا غير أن الوزن النوعى يختلف للتربة الجافة عنه للتربة المشبعة، كما يتوقف على درجة مسامية التربة، ويعرف الوزن النوعى للتربة الجافة بأنه وزن الحبيبات المعدنية الصلبة الموجودة فى حجم معين من التربة مقسومًا على الحجم الكلى للتربة ويرمز له بالرمز ($ك_ح$) حيث:

$$ك_ح = \frac{و_س}{ح}$$ ، حيث $و_س$ = وزن الحبيبات المعدنية، ح = الحجم الكلى للتربة (سم^{٣}).

ويعرف الوزن النوعى الكلى (Bulk Density) بأنه الوزن الكلى لحجم معين من التربة بما فى ذلك الماء الموجود بداخل مسام التربة مقسومًا على الحجم الكلى ويرمز لها بالرمز (ك) حيث:

$$ك = \frac{و}{ح} = \frac{و_س + و_م}{ح} = \frac{و_س}{\frac{ح}{و_س}} = \frac{١ + \frac{و_م}{و_س}}{\frac{١}{ك_ح}} = \frac{١ + \frac{ر}{١٠٠}}{\frac{١}{ك_ح}}$$

$$\therefore \quad ك = ك_ح \left(١ + \frac{ر}{١٠٠}\right)$$

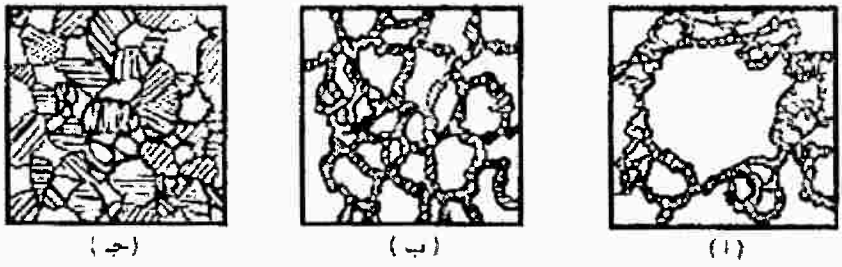
أما إذا كانت التربة مغمورة فى الماء فإنها واقعة تحت قوة دفع من أسفل إلى أعلى مقدارها طن متري للمتر المكعب من حجم التربة. وبذلك تكون الكثافة المغمورة (ك) أقل من كثافتها الشاملة بمقدار قوة الدفع أى وزن الماء المزاح.

$$ك = \frac{و - ح\ ك\ م}{ح} = ك - ك\ م$$

حيث: ك م = ١٠٠٠ كجم للمتر المكعب فى التربة.

التركيب البنائى للتربة:

تتجمع الحبيبات المعدنية المكونة للتربة على إحدى ثلاث صور تركيبية طبقًا لدرجة نضوجة التربة ومدى تعرضها للإجهادات فتكون على شكل تركيبى متجمع (شكل ٦٠ - أ) نتيجة ترسيب حبيبات التربة من المحاليل الغروية بوجود وسط الكتروليتى فى المعلق (Flocculent Structure) فإذا وقع هذا التجمع الحبيبى تحت قوى ضغط الإحمال متوسطة القيمة انضغطت الفجوات والمسام المتسعة مكونة للتركيب المتجمع الشكل لتصبح على شكل تجميع خلايا (Honeycomb Structure) سداسية المقطع (شكل ٦٠ - ب) فإذا تعرض هذا التركيب لضغوط متزايد تحطمت الفجوات والمسام وصار التركيب على شكل حبيبات متراصة (شكل ٦٠ - حـ) تشبه الوحدات البنائية الصخور الرسوبية ويعرف هذا بالتركيب أحادى الحبيبات (Single Grain).



شكل رقم (٦٠): التركيب البنائى للتربة.

(أ) تركيب متجمع.

(ب) تركيب حلقى.

(جـ) تركيب حبيبى.

الخواص الميكانيكية للتربة

يتوقف الكثير من الخواص الميكانيكية للتربة مثل القوام وسلوك اللدونة والانتفاخ على طبيعة تركيبها الحبيبى فقد لوحظ مثلا أن إعادة تشكيل التربة بالضغط يؤدى إلى نقص قوة تماسكها ويعزى هذا إلى تحطيم تركيبها الحبيبى بالإضافة إلى التغيرات التى تتعرض لها الحبيبات نتيجة الانضغاط وتأثير العامل الأول مؤقت تسترده التربة بعد فترة زمنية حيث تستعيد التربة قوامها وتعرف هذه بخاصية الثيوكسيتروبى (Thioxtropy) أما التغيرات التى تعانيها الحبيبات بالانضغاط فلا يمكن استعادتها إلا بانخفاض نسبة الرطوبة المحتوية فى التربة ويتخذ من تأثير إعادة تشكيل التربة على قوامها عند نسبة رطوبة ثابتة معامل القياس حساسية التربة (م ح) حيث:

$$\text{م ح} = \frac{\text{قدرة تحمل العينة للإجهاد الضغطى قبل تكشيلها}}{\text{قدرة تحمل العينة للإجهاد الضغطى بعد تشكيلها}}$$

وتصنف التربة تبعًا لمعامل حساسيتها إلى:

(أ) تربة طينية عادية ويكون معامل حساسيتها بين ٢ – ٤.

(ب) تربة طينية حساسة ويكون معامل حساسيتها بين ٤ – ٨.

(جـ) تربة طينية شديدة الحساسية ويكون معامل حساسيتها أكبر من ٨.

ويقاس قوام التربة بمقدار الإجهاد الضغطى أحادى المحور اللازم لكسر عينة أسطوانية من التربة. ويبين جدول (٢٤) تصنيف التربة تبعًا لتحملها للإجهادات الضغطية.

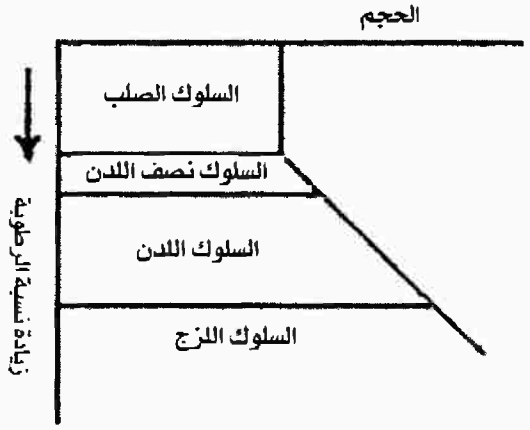
جدول (٢٤) قوام التربة

تبعًا لقدرات تحملها للإجهادات الضغطية

القوام	الإجهاد الضغطى كجم/سم^2
لين جدا	أقل من $\frac{1}{4}$
لين	$\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$
متوسط	$\frac{1}{2}$ – ١
جامد	١ – ٢
جامد جدا	٢ – ٤
صلب	أكبر من ٤

حدود الاستقرار (Consisteney Limits)

تعرف حدود الاستقرار بحدود (أتربرج) نسبة إلى العالم الذى ابتكر طريقة لتعين حدود قوام التربة. وقد لوحظ أن معلق الطين يتبع سلوكًا لزجًا (Viscous) مثل السوائل ذات معامل اللزوجة العالية ولا تكون له فى هذه الحالة قدرات تحمل قوى القص، ولكن عند جفاف المعلق فإنه يتحول تدريجيًا من السلوك اللزج إلى السلوك الصلب اللدن (Plastic) إلى السلوك نصف اللدن (Semi-plastic) وأخيرًا إلى الصلابة التامة (True solid). وتعرف حدود الانتقال من نوع من السلوك إلى نوع آخر بحدود الاستقرار وتشمل حد السيولة، وحد اللدونة وحد الانكماش ويعبر عن هذه الحدود بنسبة الماء الموجود بالمعلق عند انتقاله من مرحلة إلى مرحلة أخرى (شكل ٦١) فعندما تكون التربة فى مرحلة اللدونة مثلا فإنها تتبع سلوكًا لدنًا إذا ما وقع عليها إجهاد ويتميز السلوك بالتغير فى الشكل دون التغير فى الحجم.



شكل رقم (٦١): حدود القوام فى التربة.

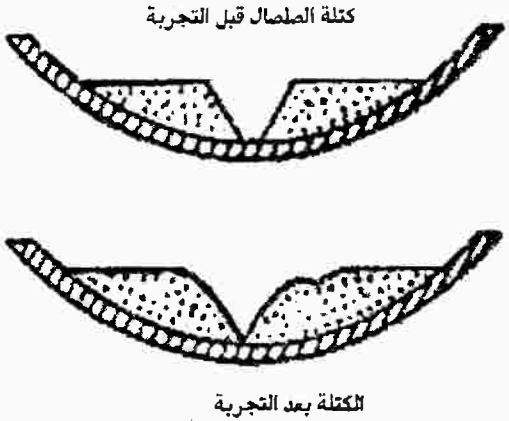
ويوضح جدول رقم (٢٦): قيم حدود اتربرج لمعادن الطين:

جدول (٢٦) قيم حدود اتربرج

المعدان	حد الانسياب	حد اللدونة	عدد اللدونة
مونتموريللينت	٤٠ – ١٥٠	١٠٠ - ٤٠	٥٨٠ – ١٠٠
كاولينيت	٨٠ – ٣٠	٤٠ – ٢٠	٣٠ – ٨٧
الاليت	١٠٠ – ٧٠	٤٥ – ٣٠	٦٠ – ٣٠

حد السيولة:

هو نسبة الماء الموجود فى عينة التربة عندما تسيل تحت تأثير وزنها وعند هذه النسبة تتلامس كعكتين متجاورتين من التربة (شكل ٦٢).



شكل رقم (٦٢): حد السيولة فى عينة التربة.

حد اللدونة:

ويعرف بأنه أقل نسبة مئوية للماء التى يمكن عندها عمل اسطوانة رفيعة من التربة قطرها أقل من نصف سم دون أن تنقطع هذه الأسطوانة.

حد الانكماش:

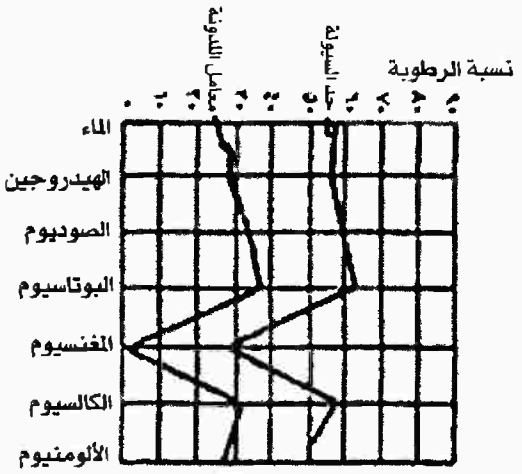
هو أقل نسبة مئوية للماء الذى لا يحدث بعدها أى نقص فى حجم التربة نتيجة فقد الرطوبة ويصاحبه تغير فى اللون من الداكن إلى الفاتح ومن الواضح أن حد الانكماش هو نسبة الرطوبة فى حالة التشبع.

معامل اللدونة أو عدد اللدونة:

يعرف الفرق بين نسبة الماء فى حالة السيولة وحالة اللدونة باسم معامل أو عدد اللدونة (م$_{ل}$) ولهذا المعامل أهمية فى استخدام التربة للأغراض الهندسية فهو يحدد المدى الذى تكون فيه التربة ذات خواص لدنة.

تأثير التأين فى حدود الاستقرار:

لوحظ أن للمحاليل الإلكترونية المتأينة تأثيرًا هامًا على قيم حدود الاستقرار ويبين شكل (٦٣) تأثير زيادة أيونات العناصر المختلفة على كل من حد السهولة ومعامل اللدونة.

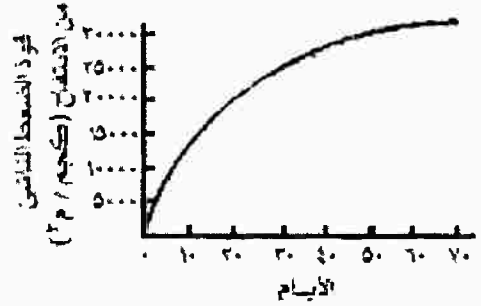


شكل رقم (٦٣): تأثير التأين على حدود الاستقرار.

ومن الأمثلة الواضحة أن الماء المالح يقلل من نفاذية التربة.

انتفاخ التربة (Swelling)

يرجع انتفاخ التربة إلى عدة أسباب منها التشوه المرن لحبيبات التربة وقدرة بعض أنواع المعادن الطينية على امتصاص الماء والاحتفاظ به خاصة معدن، المونتموريلنيت وبذلك يزداد حجمه بامتصاص الماء ويكون انتفاخ التربة، تدريجيا ويستمر لمدة طويلة قبل أن يتوقف ويقل معدل امتصاص الماء بزيادة الانتفاخ. ويمكن تعيين نسبة التربة بوضع حجم معين من التربة (١٠ سم^3 مثلا) فى مخبار مدرج به ماء (١٠٠ سم^3) وتركها فى المخبار لمدة ٢٤ ساعة وملاحظ الزيادة فى الحجم بالنسبة للحجم الأصلى. ويطلق على هذا النوع من الاختبار بالانتفاخ الحر وقد لوحظ أن الكاولين ينتفخ بنسبة تصل إلى ٨٠٪ من حجمه الأصلى. وقد ثبت بالدراسة أن الطين إذا تعرض لضغط شديد قبل أن يبلل فإن مقدار الانتفاخ يكون كبيرًا بدرجة غير عادية ويبين شكل (٦٤) العلاقة بين الجهد الضغطى الناتج عن انتفاخ التربة مع الزمن.

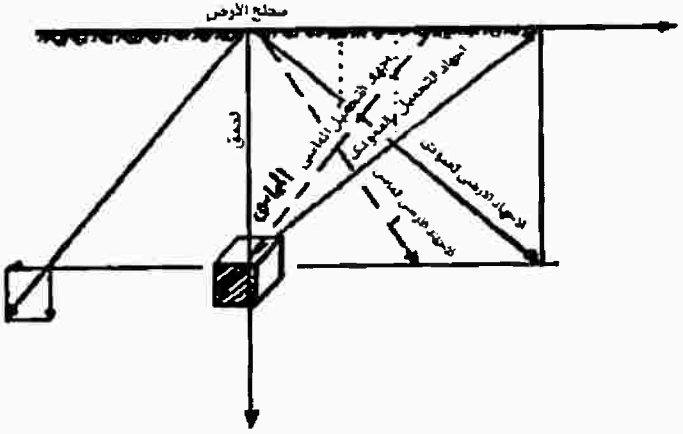


شكل رقم (٦٤): العلاقة بين الزمن وقوة الضغط الناشئ من الانتفاخ.

الإجهادات فى التربة:

يعتبر سطح الأرض فى الحسابات الهندسية تجاوزا سطحًا أفقيًا يمتد لا نهائيًا وتمثل القوة الواقعة عليه بأحمال مركزة عند نقطة تأثير أو بأحمال موزعة على وحدة المساحة.

فإذا تصورنا مكعبًا من التربة واقع على عمق مقداره (ع) تحت ضغط عمودى (ض$_{ع}$) فإنه يميل إلى الحركة أسفل حيث يقابل بضغط مساو ومضاد فى الاتجاه كذلك فإن مكعب التربة لديه ميل التمدد فى الاتجاه الأفقى فيقابل معا يجاوره من تربة بضغط أفقى (ض$_{ى}$) مساو ومضاد له فى الاتجاه حيث ينتج من مجالى الإجهادين الرأسى والأفقى إجهادات مماسة (ض $_{م}$) لأوجه مكعب التربة. ويكون مكعب التربة واقعًا تحت هذه المجالات من الإجهادات فقط إذا كانت التربة واقعة تحت تأثير وزنها فقط أى غير محملة (أى لا توجد فوقها منشآت أو مبانى ممثلة لأحمال (استاتيكية) بينما فى حالة تحميل التربة يكون مكعب التربة واقعًا بالإضافة إلى مجال الإجهادات السابقة تحت ضغط استاتيكى مقداره أحمال المبانى يمثل بضغط عمودى (ض ح ع) وضغط أفقى (ض ح ف) يكونان أكبر ما يمكن عند السطح ويقل تأثيرهما بزيادة العمق ليصل إلى الصفر عند العمق الحرج (ع حـ) بعكس تأثير مجال الإجهاد الأرضى (شكل ٦٥).

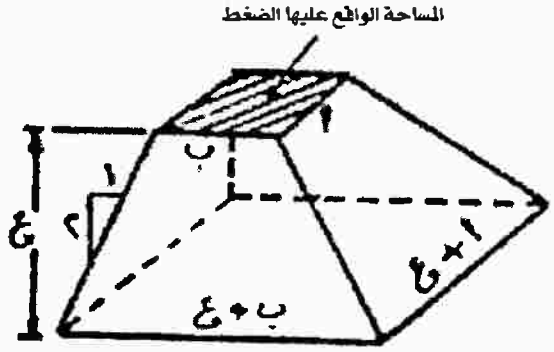


شكل رقم (٦٥): الإجهادات الأرضية العمودية والمماسة وعلاقتها بالإجهادات الناتجة عن المنشأة.

حساب الضغط العمودى فى التربة:

ولحساب الضغط العمودى فى التربة أثبتت المشاهدات على أن تأثير الحمل مع العمق يكون على هيئة هرم ميول جوانبه ٢ : ١ أى إنه إذا كانت مساحة سطح التحميل = أ × ب عند

السطح فإنه على عمق (ع) من السطح نجد أن الضغط ينتشر على مساحة مقدارها (أ + ع)، (ب+ع)؛ وتسمى هذه بطريقة ٢ : ١ الموضحة بشكل (٦٦).



شكل رقم (٦٦): طريقة حساب الضغط العمودى فى التربة.

العلاقة بين الإجهاد العمودى والمماسى:

الإجهاد هو الضغط الواقع على وحدة المساحات. وقد تمكن موهر من تمثيل العلاقة بين الإجهاد العمودى والمماسى باستخدام دائرة عرفت باسمه يمثل المماس لها من نقطة الأصل منحنى الانهيار وتقرأ المعادلة:

$$ج_م = ج_{ض} \text{ ظاس}$$

حيث:

$ج_م$ = الإجهاد المماسى

$ج_{ض}$ = الإجهاد الضغطى العمودى

س = زاوية الاحتكاك الداخلى

وتتوقف زاوية الاحتكاك (س) على نوع التربة وكثافة مكوناتها وشكل وحجم حبيباتها ويمكن حسابها من العلاقة.

$$\text{ظا ٢ س} = \frac{٢ ج_م}{ج_{ض} - ج_{ف}}$$

حيث $ج_{ن}$ = الإجهاد الأفقى

ويمكن تقريب العلاقة بين الإجهادين العمودى والمماسى لتمثل علاقة خطية مستقيمة تمر بنقطة الأصل ويؤثر وجود ماء بين مسام التربة على هذه العلاقة لتصبح:

$$ج_م = (ج_ض - ض) ظا س$$

حيث ض = مقدار ضغط الماء المحتوى بين مسام التربة

وتنطبق هذه المعادلات على التربة الحصوية المفككة أما فى حالة التربة الطينية التى تتميز بوجود مقدار من التماسك فإنه يمكن تطبيق نفس المعادلة التى سبق الإشارة إليها فى فصل ميكانيكا الصخور هى:

$$ج_ض = ج_ض ظا س + ك$$

حيث ك = قوة تماسك التربة.

المشاكل الهندسية للتربة

تختلف المشاكل التى تصادف المهندسين القائمين بتنفيذ المشروعات الهندسية والأعمال الإنشائية من تربة لأخرى حيث تعتمد على التتابع الطبقى لقطاع التربة ومكوناتها المعدنية ومنسوب المياه الأرضية بمنطقة المنشأة وعلى الظروف المناخية السائدة. ونذكر فيما يلى بعض مشاكل التربة.

مشاكل التربة الهوائية

يعتبر تثبيت الرمال المتحركة من أكبر مشكلات مناطق الكثبان الرملية. عند إنشاء وصيانة الطرق وخطوط السكك الحديدية عبر الصحارى إذ إن جوانبها تكون معرضة باستمرار للاختفاء تحت الرمال التى تنهال عليها وتعمل أثناء احتكاكها عمل الصنفرة فى إزالة الغطاء الأسفلتى. ومن الصعوبات الأخرى فى هذه المناطق تجمع الكثبان الرملية حول الأعمدة المعدنية والخرسانية لنقل القوى الكهربية والاتصالات السلكية حيث تعمل على زيادة الإجهادات حولها ثم عند تحركها يرفع الحمل عن قاعدة العمود تاركة بعض التشوهات المتبقية التى تؤدى عند تكرارها اليومى المستمر إلى تآكل هذه الأعمدة وانهيارها. كذلك فإن من المشكلات الهندسية عند شق ترع أو مصارف بمناطق الصحارى التسرب الكبير فى المياه نظرًا للمسامية العالية للرمال. وللتغلب على هذه الصعاب بمنطقة الكثبان الرملية نثبت الكثبان برشها بالزيوت الثقيلة مثل البترول الخام أو القار وعند شق منشآت مائية كالترع تبطن جدرانها بالخرسانة وتشجير جوانبها أو عمل أسوار انهيار الرمال بها أو اتباع وسائل الصرف المغطى.

تصلب التربة:

تعانى التربة عند تعرضها لإجهادات لا تتعدى قدرات تحملها الضغطية إحدى ثلاث صور من التشوهات هى التشوه المرن والتشوه اللدن والتشوه الضغطى.

وتسترد التربة التشوه لحظيًا بمجرد إزالة الحمل بينما لا تستعيد التربة تشوهها اللدنى استردادًا لحظيًا بل جزئيًا بينما التشوه الضغطى يكون نتيجة انضغاط الحبيبات المكونة للتربة وتعرضها لإجهادات تؤدى إلى نقص مساميتها وخروج الماء المحتوى بالتربة ويكون من نتيجة التغيير الكبير فى الحجم إذا ما تشربت بالماء انتفخت ثانية وتعرف هذه الخاصية بخاصة التصلب المائى وتظهر جلية فى التربة الطينية والطميية. ويمكن الإقلال من هذه الخاصية بإعادة تشكيل التربة بالدمك أو بالهز حيث تتغير خواصها الميكانيكية بشكل ملحوظ بزيادة قوة تحملها لإجهادات القص.

1. Duchaufour, P,. A Summary of Pedology: Paris, (1960).

2. Gillot, J.E., Clay in Engineering Geology: Elscvier, Amesterdam, (1968).

3. Grim, R, E., Applied Clay Mineralogy: Mc-Graw Hill, New York, (1962).

4. Polynov, B.B., The Cycle of Weathering: Thomas Murby, London, (1937).

5. Smolik, L., Soils: Prague, (1957).

٦ – مبادئ فى ميكانيكا التربة وهندسة الأساسات تأليف: د. فهيم حسين ثاقب (الجزء الأول): الناشر مطبعة سيد محمود على بالقاهرة، (١٩٧١).