

2 الفصل الثاني: منشأ التربة وحجم الحبيبات

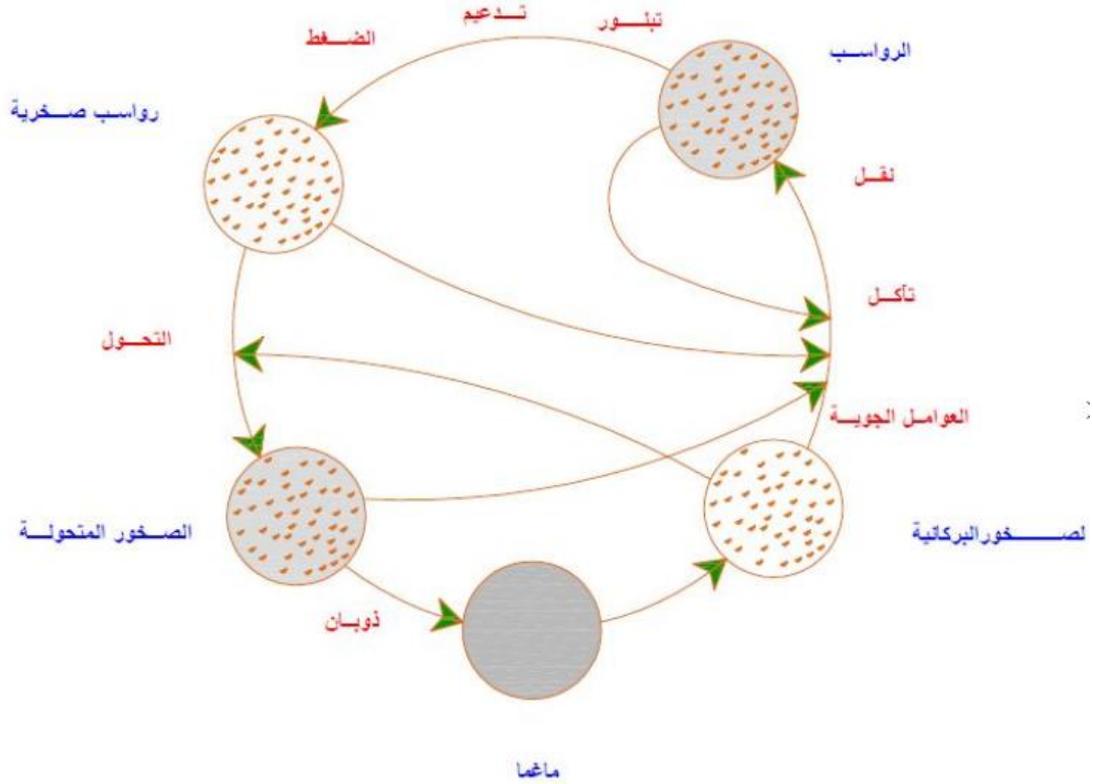
تتشكل التربة عموماً عن طريق عوامل الحت على الصخور. وتلعب الفلزات التي تشكل حبيبات التربة دور أساسي في تحديد خصائصها الفيزيائية.

الفصل سيناقدش دورة تشكل الصخور ومنشأ التربة وتوزع حجم الحبيبات في كتلة التربة.

1.2 دورة تشكل الصخور ومنشأ التربة

تتشكل الحبيبات الفلزية والتي تشكل الطور الصلب في التربة نتيجة عوامل الحت على الصخور، ويمتد حجم الحبيبات ضمن هذا التشكل على مجال واسع. ويجب أن نعلم أن العديد من الخواص الفيزيائية للتربة يتم تحديدها من خلال حجم، شكل، والمكونات الكيميائية للحبيبات. ولفهم أفضل لهذه المكونات لابد من معرفة الأنواع الأساسية للصخور والتي تشكل القشرة الارضية، الفلزات المكونة للصخور، وعمليات الحت.

تقسم الصخور حسب المنشأ إلى ثلاثة أنواع رئيسية: اندفاعية، رسوبية ومتحولة. الشكل (1.2) يظهر مخطط لدورة تشكل أنواع مختلفة من الصخور والعمليات المرتبطة بها وهذا ما يسمى بدورة تشكل الصخور، في الفقرات التالية، سنقدم مناقشة ملخصة لكل عنصر من دورة تشكل الصخور.



الشكل (1.2) : دورة الصخور

1.1.2 الصخور الاندفاعية

تتشكل الصخور الاندفاعية من عملية تصلب الماغما المنصهرة الخارجة من باطن نواة الارض، وكذلك من تبرد الماغما المنصهرة الخارجة من باطن الأرض عن طريق الاندفاعات البركانية أو الصدوع. أحيانا تتوقف الماغما المنصهرة عن الاندفاع تحت القشرة الأرضية وتبرد وتشكل ما يسمى بالصخور النارية الجوفية. وقد تظهر هذه الصخور والتي تشكلت على مر الزمن على السطح نتيجة العمليات المستمرة من الحت والتآكل والتي تغطيها لاحقاً.

يعتمد تحديد نوع الصخر الاندفاعي الذي تشكل نتيجة تبرد الماغما المنصهرة على عدة عوامل مثل تركيب الماغما وسرعة التبريد الموافقة. بعد إجراء العديد من التجارب في المخبر، وضع العالم (1922) Bowen العلاقة بين سرعة تبريد الماغما وتشكل الأنواع المختلفة من الصخور. هذا التوضيح يعرف باسم مبادئ بوين الأساسية (Bowen's reaction principle). هذه المبادئ بينت التسلسل الذي تتشكل فيه المواد عندما تبرد الماغما. وشرح بوين أن بلورات الفلز تنمو لتصبح بشكل أكبر وفي بعض الاحيان تستقر. وباقي الفلزات المعلقة التي بقيت في السائل تتفاعل مع

المصهور المتبقي لتشكل فلز جديد عندما تنخفض درجة الحرارة. تستمر هذه العملية حتى يتصلب كامل الجزء المصهور.

صنف Bowen هذه التفاعلات إلى مرحلتين:

(1) discontinuous ferromagnesian reaction series المرحلة الأولى والتي

تتشكل فيها الفلزات مع اختلاف في المكونات الكيميائية والبنية البلورية .

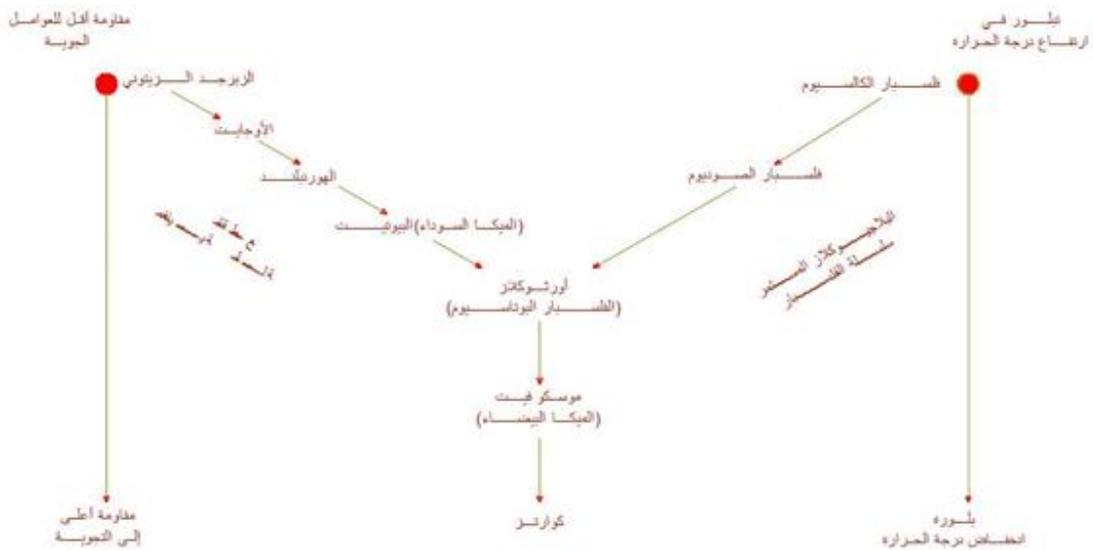
(2) continuous plagioclase feldspar reaction series المرحلة الثانية والتي

تتشكل فيها فلزات تختلف فيما بينها بالمكونات الكيميائية ولكن لها نفس البنية البلورية.

الشكل (2.2) يظهر Bowen هذين التفاعلين.

المكونات الكيميائية للفلزات معطاة في الجدول رقم 1.2 أما الشكل (3.2) يوضح ماسح ضوئي ميكروغرافي لأجزاء من سطح الكوارتز التي تظهر كشكل الزجاج من دون أي مستويات شقوق أو انفصال. في حين أن الشكل (4.2) يقدم صورة لماسح ضوئي ميكروغرافي يظهر التقسيم الأساس لحبيبات الميكا المفردة.

بناءً على خواص الفلزات الموجودة، تشكلت أنواع عديدة من أنواع الصخور الاندفاعية. من هذه الصخور : الغرانيت، الغابرو، البازلت، والجدول 2.2 يظهر الخواص العامة لبعض الصخور الاندفاعية .



الشكل (2.2) : سلاسل تفاعلات بوين

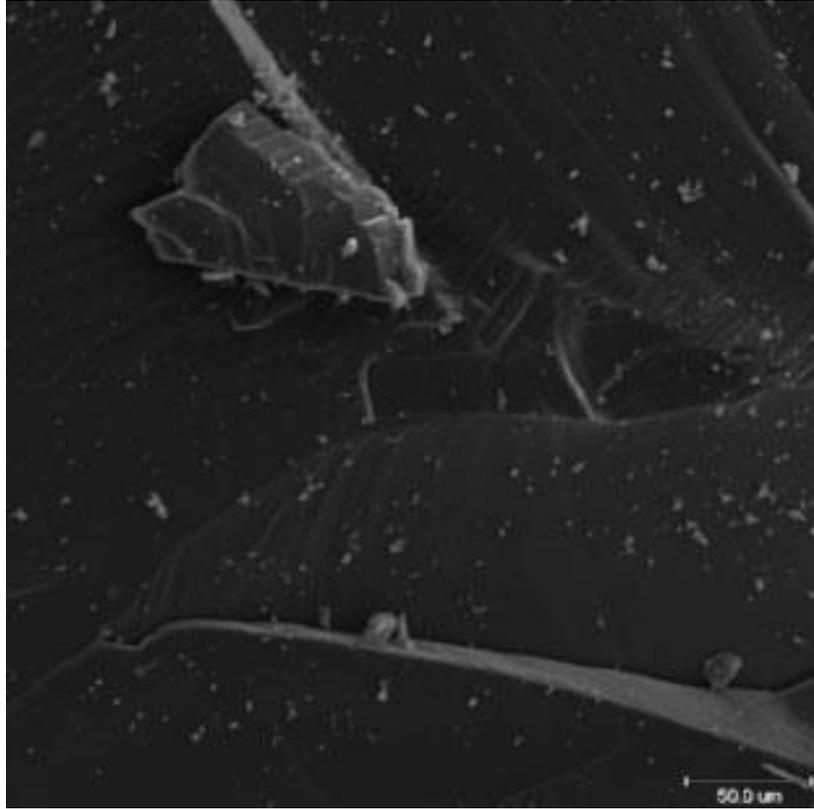
الجدول (1.2) : تراكيب الفلزات حسب بوين

Mineral	Composition
Olivine	$(Mg, Fe)_2SiO_4$
Augite	$Ca, Na(Mg, Fe, Al)(Al, Si_2O_6)$
Hornblende	Complex ferromagnesian silicate of Ca, Na, Mg, Ti, and Al
Biotite (black mica)	$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
Plagioclase	{ calcium feldspar sodium feldspar
Orthoclase (potassium feldspar)	$Ca(Al_2Si_2O_8)$ $Na(AlSi_3O_8)$
Muscovite (white mica)	$K(AlSi_3O_8)$
Quartz	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ SiO_2

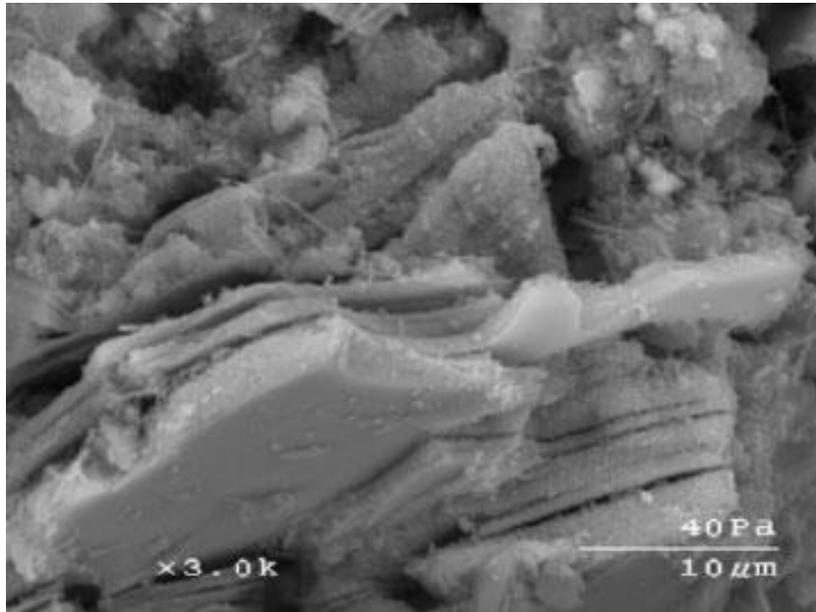
الجدول (2.2) : خواص وتراكيب الصخور الإندفاعية

Name of rock	Mode of occurrence	Texture	Abundant minerals	Less abundant minerals
Granite	Intrusive	Coarse	Quartz, sodium feldspar, potassium feldspar	Biotite, muscovite, hornblende
Rhyolite	Extrusive	Fine	Plagioclase, pyroxines, olivine	Hornblende, biotite, magnetite
Gabbro	Intrusive	Coarse	Plagioclase, hornblende	Biotite, pyroxenes (quartz usually absent)
Basalt	Extrusive	Fine	Potassium feldspar	Sodium feldspar, biotite, hornblende
Diorite	Intrusive	Coarse	Olivine, pyroxenes	Oxides of iron
Andesite	Extrusive	Fine		
Syenite	Intrusive	Coarse		
Trachyte	Extrusive	Fine		
Peridotite	Intrusive	Coarse		

(ملاحظة : عرضت الجداول باللغة الإنكليزية للمحافظة على دقة التعبير)



الشكل (3.2) : ماسح ضوئي ميكروغرافي لأجزاء من سطح الكوارتز التي تظهر كشكل الزجاج من دون أي مستويات شقوق أو انفصال



الشكل (4.2) : صورة لماسح ضوئي ميكروغرافي يظهر التقسيم الأساس لحبيبات الميكا المفردة

نواتج أخرى مثل hematite and limonite. مع العلم أن الكوارتز له مقاومة عالية للحت كما أنه قليل الانحلال في الماء.

الشكل (2.2) يظهر حساسية الفلزات المشكلة للصخور لعوامل الحت. الفلزات المشكلة عند درجات حرارة عالية في سلسلة تفاعلات Bowen لها مقاومة أقل للحت من التي تشكلت عند درجات حرارة منخفضة.

عوامل الحت لا تتوقف عند الصخور الاندفاعية فقط. وكما نرى من دورة تشكل الصخور (الشكل 1.2)، الصخور الرسوبية والمتحولة أيضا تتعرض للحت في ظروف مشابهة.

لذلك، ومن خلال المناقشة السابقة، نرى أن عمليات الحت تغير كتل الصخور الصلبة الكبيرة لتصبح قطع أصغر ضمن مجال حجم حبيبات مختلف يتراوح من قطع صخور كبيرة Boulder وصولاً حتى حبات الغضار الصغيرة.

الفلزات الغضارية والتي هي ناتج عمليات الحت الكيميائية للفلدسبار والفيرومغنيز والميكا، تعطي خواص اللدونة للتربة. وهناك ثلاث فلزات غضارية هامة :

(1) الكاولينيت،

(2) الإليبت،

(3) المونتموريللونيت.

وسوف نناقش هذه الفلزات لاحقاً ضمن هذا الفصل.

انتقال نواتج الحت :

قد تبقى نواتج الحت في مكانها أو تنتقل إلى أماكن أخرى عن طريق : الجليد، الماء، الرياح، الجاذبية.

الترب التي تشكلت نتيجة عوامل الحت وبقيت في مكانها تسمى بالترب المتبقية. هناك صفة هامة موجودة ضمن هذه الترب وهي تدرج حجم الحبيبات حيث الترب الناعمة توجد على السطح وكلما زاد العمق كلما زاد حجم الحبيبات وعند أعماق كبيرة قد نجد قطع صخرية ذات زوايا حادة.

اما الترب المنقولة يمكن تصنيفها إلى عدة مجموعات بناءً على كيفية انتقالها وترسبها :

1. الترب الجليدية : والتي تشكلت نتيجة عمليات نقل وترسب الجليد.

2. الترب النهرية : وهي الترب التي انتقلت نتيجة الماء الجاري والترسب على طول المجرى.

3. ترب البحيرات : وهي الترب المشكلة نتيجة الترسيب ضمن البرك الهادئة.
4. الترب البحرية : وهي الترب التي تشكلت نتيجة الترسيب ضمن البحار.
5. الترب الريحية : وهي الترب التي انتقلت وترسبت نتيجة الرياح.
6. الترب الثقالية : وهي الترب التي تشكلت نتيجة حركة الترب من مكانها الأصلي نتيجة الجاذبية كالتالي تتشكل نتيجة حصول الانزلاقات الأرضية.



الشكل (5.2) : ميكانيكية الجرف

2.1.2 الصخور الرسوبية

إن البحص والرمل والسلت والغضار المتشكل نتيجة عوامل الحت قد ترتص نتيجة ضغط الطمر الناتج عن الوزن الذاتي للمواد وتتماسك نتيجة عدة عوامل مثل أكسيد الحديد، كالكسيت، دولوميت وكوارتز. مواد التماسك تكون عادة منحلة في المياه الجوفية. تملئ هذه المواد الفراغات بين الحبيبات وتشكل صخر رسوبي. وتسمى الصخور المشكلة بهذه الطريقة بالصخور الرسوبية الحتية. كل الصخور الرسوبية الحتية لها بنية مفككة، والأمثلة التالية هي لصخور رسوبية حتية ذات بنية مفككة :

Particle size	Sedimentary rock
Granular or larger (grain size 2 mm–4 mm or larger)	Conglomerate
Sand	Sandstone
Silt and clay	Mudstone and shale

- الكونغلوميرا: عندما تكون للحبيبات زوايا حادة فإنها تسمى بريش: breccia. وعندما تكون للحبيبات زوايا مدورة تسمى بوندغ.
 - الصخر الرملي : يتراوح حجم الحبيبات ما بين 0.06 مم و 2 مم. وعندما تكون كل الحبيبات في الرمل الصخري عبارة عن كوارتز يسمى عندها orthoquartzite.
 - الحجر الطيني والسحيل : فإن حجم الحبيبات يكون عموماً أقل من 0.06 مم حيث له جانب Blocky بينما في حالة السحيل فإن الصخر ينقسم إلى ألواح صفائحية.
- إعادة صياغة الصخر الرسوبي يمكن تشكيله بعملية الحت الكيميائية وتصنف مثل هذه الصخور بالصخور الرسوبية الكيميائية. هذه الصخور قد تكون لها بنية مفككة أو غير مفككة.

Composition	Rock
Calcite (CaCO ₃)	Limestone
Halite (NaCl)	Rock salt
Dolomite [CaMg(CO ₃) ₂]	Dolomite
Gypsum (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	Gypsum

وهذه بعض الأمثلة عن الصخور الرسوبية الكيميائية :

✓ الحجر الكلسي يتشكل غالباً نتيجة ترسب كربونات الكالسيوم مع أو بدون مواد عضوية ومعظم الحجر الكلسي له بنية قابلة للتفكك. الشكل (6.2) يظهر المسح الالكتروني الميكروغرافي لسطح قطع من الحجر الكلسي. تظهر الحبيبات المنفصلة من الكالسيت على شكل سداسي منتظم.

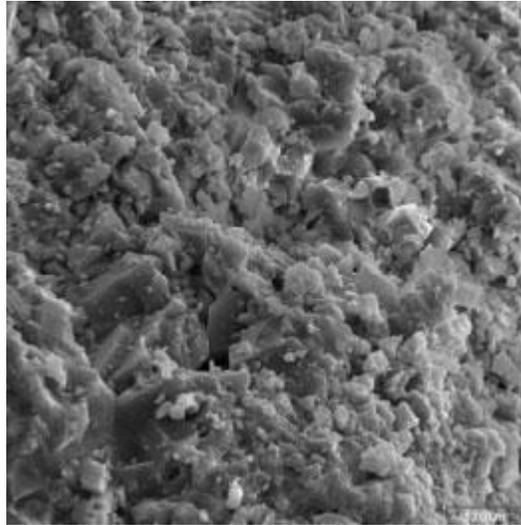
✓ الحوار هو عبارة عن صخر رسوبي تكون نتيجة عمليات بيوكيميائية على الكالسيت. والتي هي عبارة عن قطع ميكروسكوبية من هياكل النباتات والحيوانات.

✓ الدولوميت يتشكل نتيجة تفاعلات كيميائية لخليط من الكربونات أو نتيجة التفاعل بين المغنيزيوم مع الحجر الكلسي في الماء .

✓ يتشكل الجبس والأنهدريت نتيجة تكثف كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ المنحل في مياه البحار بفعل التبخر .

وهناك صخور تصنف بالصخور المتبخرة مثل الملح الصخري $NaCl$ والتي تشكل نتيجة ترسب الملح الموجود في مياه البحر .

الصخور الرسوبية قد تخضع لعمليات الحت لتشكل الرواسب أو قد تتعرض لعمليات تحويلية لتصبح صخور متحولة.



الشكل (6.2) : المسح الالكتروني الميكروغرافي لسطح قطع من الحجر الكلسي.

تظهر الحبيبات المنفصلة من الكالسيت شكل سداسي منتظم

3.1.2 الصخور المتحولة

هي عملية تحول مكونات وبنية الصخور (من دون الانصهار) نتيجة الحرارة والضغط المرتفعين. أثناء التحول تتشكل فلزات جديدة وحبيبات الفلزات المتشكلة يتم إعادة تشكيلها لتعطي بنية ورقية للصخور المتحولة. وأهم الصخور المتحولة :

الغنايس: يتكون نتيجة عمليات تحول عند درجات حرارة عالية للصخور الاندفاعية والرسوبية القديمة ومثال عليها : الغرانيت، الغابرو والديوريت.

عمليات التحول عند درجات حرارة منخفضة للسحيل والاحجار الطينية يعطي Slate. الفلزات الغضارية في السحيل تصحب كلورايت وميكا نتيجة الحرارة لذلك Slate مكون بشكل أساسي من رقائق الميكا والكلورايت .

الفيليت: والذي تشكل من Slate مع عمليات تحول إضافية نتيجة التعرض لحرارة أكبر من 250 C° إلى 300 C° .

الشيست: تكون من عدة صخور اندفاعية، رسوبية وصخور ذات درجة تحول منخفضة ذات بيئة جيدة للتطبيق ورقائق ظاهرة من منرالات Platy و Micaceous.

تحتوي عادة الصخور المتحولة على كميات كبيرة من الكوارتز والفلدسبار. أما المرمر (الرخام) يتشكل من الكالسيت والدولوميت نتيجة إعادة التبلور. حجم حبيبات الفلز في المرمر (الرخام) أكبر من التي تكون في التربة الأصلية. ففي حالة المرمر الأخضر نجد أن تلونه يكون نتيجة hornblends, serpentine, or talc، أما المرمر الأسود فنجده يحوي على فلزات البيتومين والمرمر البني يحوي أكسيد الحديد والحجر الكلسي.

الكوارتز: تشكل من الأحجار الرملية الغنية بالكوارتز. السيليكا تدخل ضمن الفراغات بين الكوارتز وحبيبات الرمل وتشكل عامل تماسك بينهم. الكوارتز هو واحد من أقسى فلزات الصخور.

قد تنصهر الصخور المتحولة تحت ضغط وحرارة عاليين لتشكل الماغما وتعود لتبدأ الدورة من جديد.

2.2 حجم حبيبات التربة

إن أقطار الحبيبات التي تشكل التربة تتغير ضمن مجال واسع. وتسمية التربة يكون عموماً بناءً على حجم الحبيبات المسيطر في تكوين التربة : بحص، رمل، سلت، غضار .
 لوصف التربة وفقاً لحجم حبيباتها، قامت عدة منظمات بتطوير عدة تصانيف بناءً على حجم الحبيبات في التربة. الجدول 3.2 يبين نظام تصنيف الترب حسب حجم الحبيبات وفق : معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، المديرية الأمريكية للزراعة، الجمعية الأمريكية لتطوير الطرق والمواصفات الرسمية، رابطة الجيش الأمريكي للمهندسين، الدائرة الرسمية الأمريكية للإستصلاح. وفي هذا الجدول، تمّ ذكر نظام MIT فقط لأسباب توضيحية حيث يعتبر نظام هام في تاريخ تطوير أنظمة تصنيف حدود حجم الحبيبات الموجودة في الترب. ويعتبر نظام تصنيف الترب الموحد من أكثر الأنظمة المقبولة عالمياً وتم إعتماده من قبل الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM). الشكل (7.2) يظهر حدود حجم الحبيبات على شكل رسم تخطيطي.

البحص : عبارة عن قطع من الصخر مع بعض حبيبات الكوارتز، الفلدسبار، وفلزات أخرى.

حبيبات الرمل : تتشكل معظمها من الكوارتز والفلدسبار، مع بعض الفلزات المختلفة.

الشكل (8.2) يظهر المسح الالكتروني الميكروغرافي لبعض حبيبات الرمل . حيث نلاحظ وجود حبيبات ذات حواف دائرية وذلك نتيجة التآكل أثناء الانتقال بفعل الرياح أو الماء .

الشكل (9.2) هو تكبير للحبيبات المشار لها في الشكل (8.2)، حيث يظهر الشكل حبيبات غضارية قليلة ملتصقة بحبيبات رملية أكبر .

السلت : يتألف من حبيبات الكوارتز الناعمة جداً وبعض الحبيبات ذات الشكل الرقائقي والتي تشكل أجزاء من فلزات الميكاسوز micaceous.

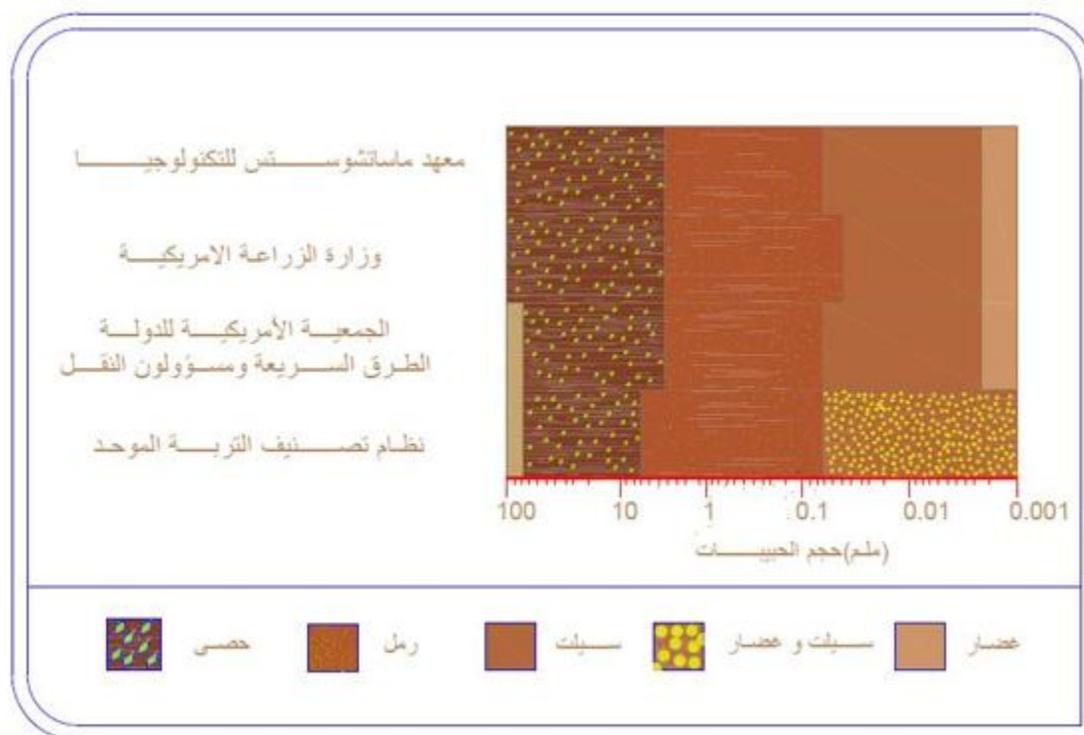
الغضار : حبيباته ذات شكل صفائحي ميكروسكوبي وأصغر من حبيبات الميكا، فلزات الغضار ومنرالات أخرى يظهرها الجدول 3.2 والشكل (7.2)، إن قطر حبيبات الغضار تكون أصغر من 0.002 مم. وفي بعض الحالات يكون قطر حبيبات الغضار محصورة ما بين 0.002 مم و 0.005 مم. الحبيبات المصنفة غضار بناءً على حجمها ليس من الضرورة أن تحوي فلزات الغضار . حبيبات

الغضار هي التي تعطي لدونة عند مزجها بنسبة محددة من الماء. (Grim, 1953). (الدونة في الغضار هي عبارة عن خاصية مشابهة للمعجون عند احتوائه على كمية محددة من الماء).

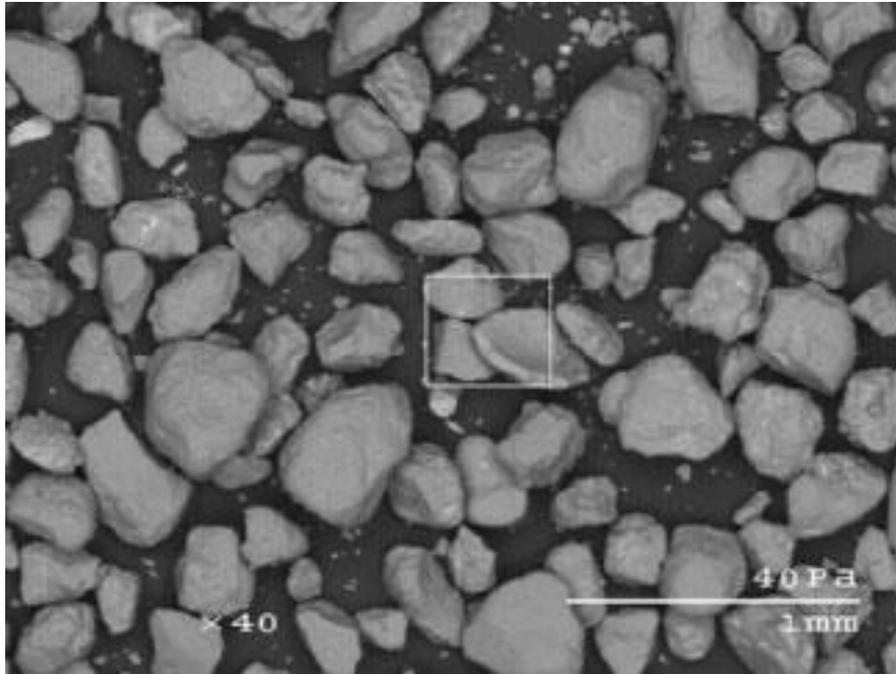
الجدول (3.2) : تصنيف التربة حسب أبعاد الحبيبات المشكلة لها

Name of organization	Grain size (mm)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 to 0.06	0.06 to 0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 to 0.05	0.05 to 0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 to 2	2 to 0.075	0.075 to 0.002	<0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, and American Society for Testing and Materials)	76.2 to 4.75	4.75 to 0.075	Fines (i.e., silts and clays) <0.075	

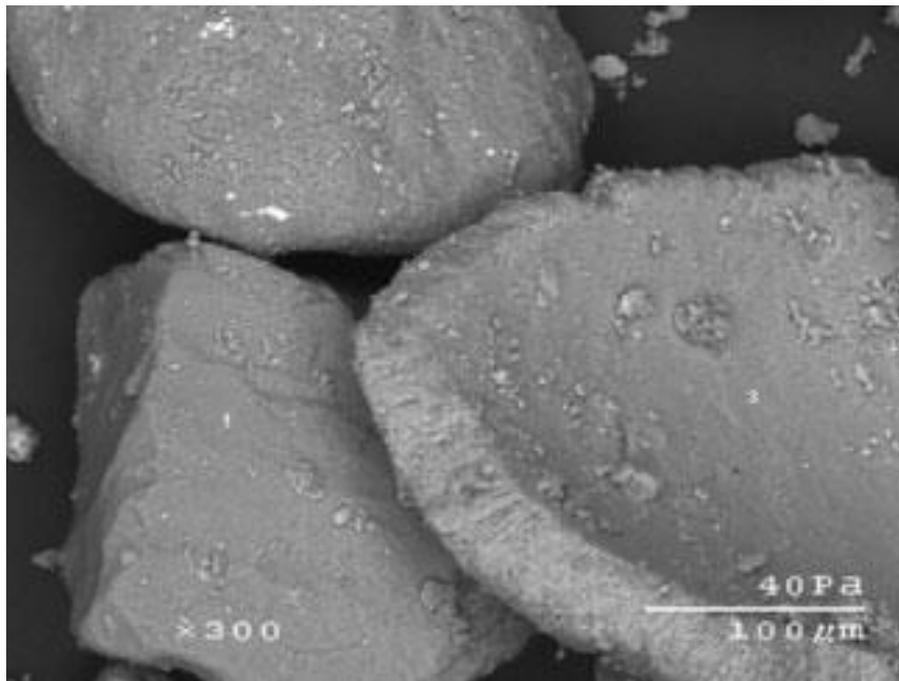
Note: Sieve openings of 4.75 mm are found on a U.S. No. 4 sieve; 2-mm openings on a U.S. No. 10 sieve; 0.075-mm openings on a U.S. No. 200 sieve. See Table 2.5.



الشكل (7.2) : تصنيف حجوم حبيبات التربة حسب أنظمة التصنيف المختلفة



الشكل (8.2) : المسح الالكتروني الميكروغرافي لبعض حبيبات الرمل



الشكل (9.2) : تكبير للحبيبات المشار لها في الشكل 2.8 ،
حيث يظهر الشكل حبيبات غضارية قليلة ملتصقة بحبيبات رملية أكبر

الترب اللاغضارية يمكن أن تحوي حبيبات صغيرة من الكوارتز، الفلدسبار أو الميكا والتي يمكن تصنيفها ضمن الغضار. لذلك من الملائم أن نسمي التربة التي قطر حبيباتها ذات الأقطار أقل من 2 ميكرون أو 5 ميكرون كما هي معرفة ضمن التصانيف المختلفة بتربة ذات حجم حبيبات غضارية بدلاً من الغضار . حبيبات الغضار بالحجم الغروي تتراوح من 2 إلى 1 ميكرون وهي الحدود العليا.

3.2 فلزات الغضار

فلزات الغضار هي عبارة عن سليكات الألمنيوم المعقدة، وهي عبارة عن خليط من مكونين رئيسيين هما :

(1) رباعي وجوه السيليكا.

(2) ثماني وجوه الألومينا.

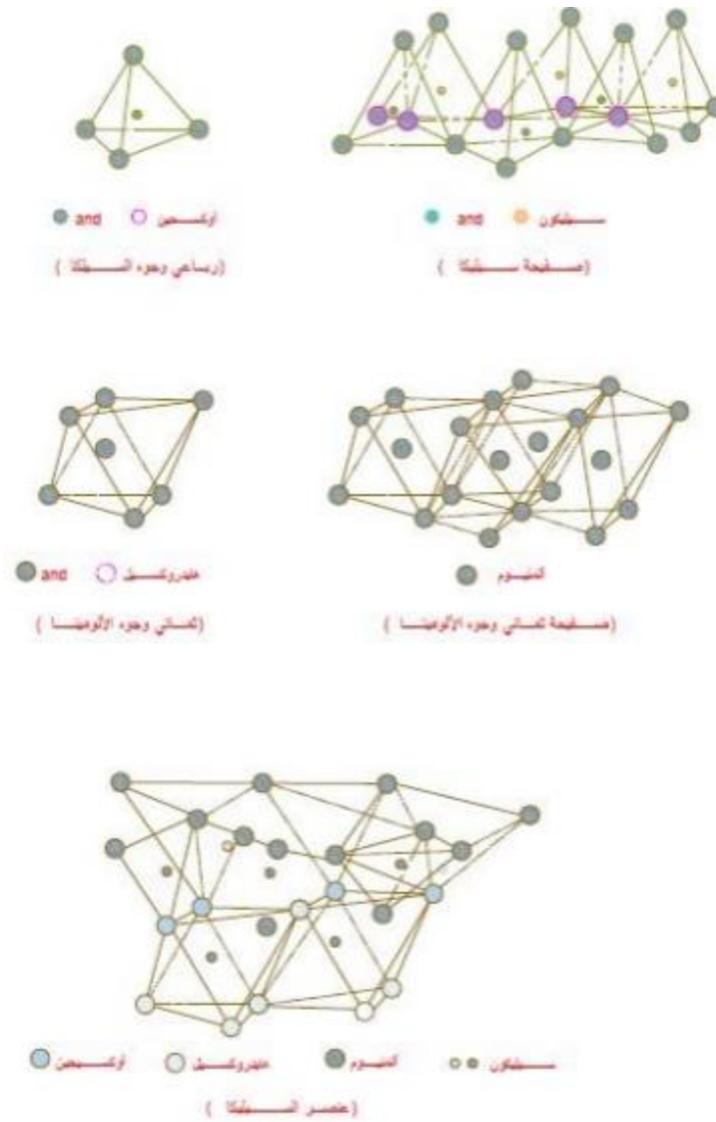
كل عنصر رباعي وجوه يتألف من أربع ذرات أكسجين محيطة بذرة سيليكا (الشكل 10.2 a).
تركيبية عناصر رباعي وجوه السيليكا تعطي صفيحة سيليكا (الشكل 10.2 b). يتم تشارك ثلاث ذرات من الأكسجين مع الرباعي الوجوه المجاور.

أما العنصر ثماني وجوه الألومينا يتألف من ست ذرات هيدروكسيل محيطة بذرة ألمنيوم (الشكل 2.10 c)، وتركيبية عناصر ثماني وجوه الألمنيوم الهيدروكسيل تعطي صفيحة ثمانية الوجوه. (وهذا ما يسمى أيضاً بصفيحة الغينسايت _ الشكل 10.2 d). في بعض الأحيان يتم استبدال ذرات الألمنيوم في عنصر الثماني الوجوه بذرات المغنيزيوم وتسمى في هذه الحالة صفيحة الثماني الوجوه بصفيحة البروسايت.

في صفيحة السيليكا، كل ذرة سيليكون مشحونة بشحنة موجبة قيمتها 4^+ ترتبط مع أربع ذرات أكسجين بقيمة شحنة سالبة 8^- . ولكن كل ذرة أكسجين في قاعدة العنصر رباعي الوجوه ترتبط مع ذرتين سيليكون. هذا يعني أنه عند أعلى ذرة الأكسجين عند كل عنصر رباعي وجوه له قيمة سالبة 1 للحصول على التوازن. عندما تصبح صفيحة السيليكا فوق صفيحة العنصر ثماني الوجوه كما في الشكل (10.2 e) فإن ذرات الأكسجين هذه تبادل الهيدروكسيل من أجل توازن الشحنات.

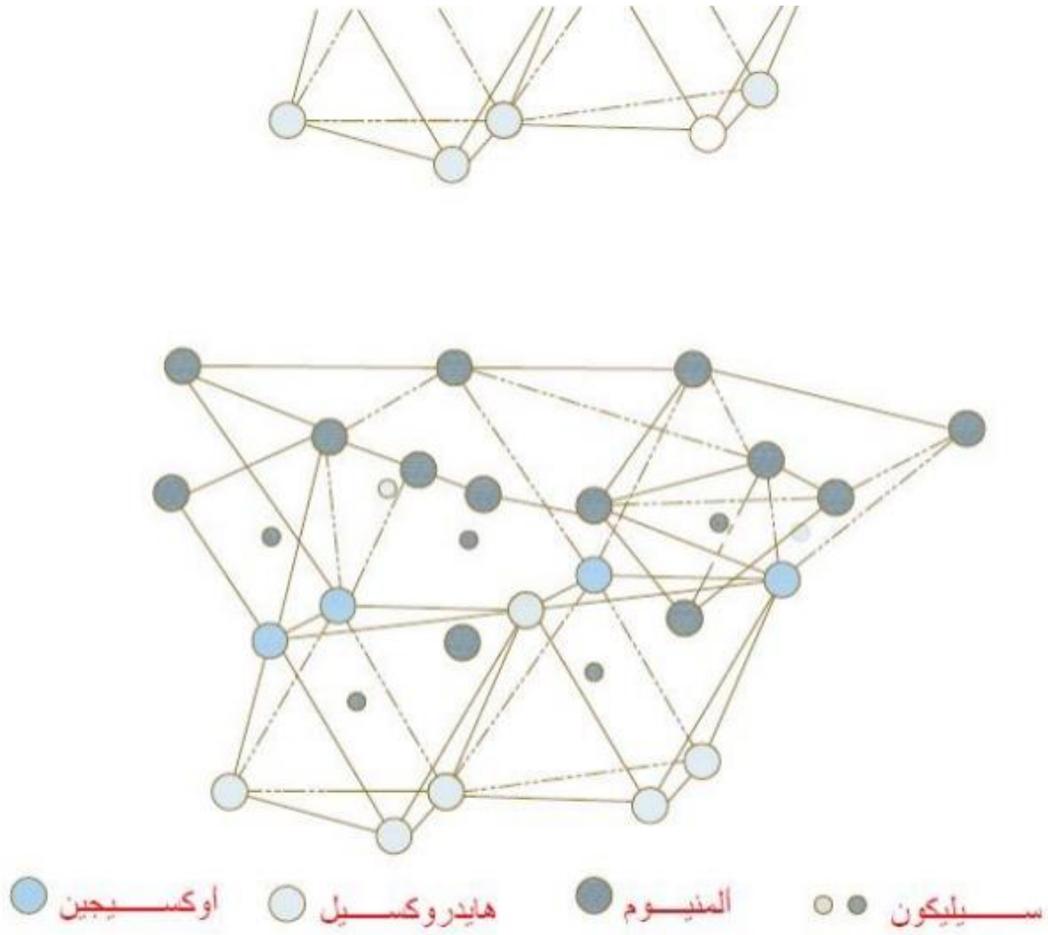
من الفلزات الغضارية الهامة الثلاثة :

- الكاؤولينيت يتألف من تكرر لصفائح السيليكا - الغنيسيت بشكل شبكي 1:1، كما يظهر الشكل (11.2) و a12.2. كل طبقة سمكها حوالي 7.2 A. الطبقات متماسكة مع بعضها عن طريق الروابط الهيدروجينية. يظهر الكاؤولينيت بشكل صفائحي. بتباعد عرضي حوالي 1000 إلى 20,000 A وسماكة حوالي 100 إلى 1000 A. المساحة السطحية لحبيبات الكاؤولينيت لوحد الكتل : هي عبارة عن $15 \text{ m}^2/\text{g}$ ، المساحة السطحية لوحد الكتل تعرف بالسطح النوعي. الشكل 13.2 يظهر المسح الإلكتروني الميكروغرافي لعينة كاؤولينيت.
- الإيليت يتألف من صفيحة غيبسيت مربوطة مع صفيحتي سيليكا - واحدة في الأعلى والآخرى في الأسفل - (الشكل 14.2 و 12.2 b). تسمى عادة بغضار الميكا. طبقات الإيليت متماسكة عن طريق أيونات البوتاسيوم. الشحنة السالبة لتعادل أيونات البوتاسيوم تأتي من استبدال الألمنيوم ببعض السيليكون في صفيحة رباعي الوجوه. يتم تعويض عنصر في آخر من دون تغيير في البنية البلورية يعرف بالتعويض المتماثل. حبيبات الإيليت عموماً لها أبعاد عرضية بحوالي 1000 إلى 5000 A وسماكة حوالي 50 إلى 500 A. السطح النوعي للحبيبات هو حوالي $80 \text{ m}^2/\text{g}$.
- المونتموريللونيت له بنية مشابهة لبنية الإيليت ولكن صفيحة الغيبسايت متوضعة بين صفيحتي سيليكا. (الشكل 15.2 و 12.2 c). في المونتموريللونيت هناك تعويض تماثلي في المغنيزيوم والحديد بالألمنيوم في صفائح ثماني الوجوه. شوارد البوتاسيوم غير موجودة في الإيليت وتتوضع كمية كبيرة من الماء في المسافة الفاصلة بين الطبقات. حبيبات المونتموريللونيت لها أبعاد عرضية من 1000 إلى 5000 A وسماكة حوالي 10 إلى 50 A. السطح النوعي حوالي $800 \text{ m}^2/\text{g}$. الشكل (16.2) هو مسح الكتروني ميكروغرافي يظهر بنية المونتموريللونيت.



(a) Silica tetrahedron; (b) silica sheet; (c) alumina octahedron; (d) octahedral (gibbsite) sheet; (e) elemental silica-gibbsite sheet (After Grim, 1959. With permission from ASCE.)

الشكل (10.2) : منيرالات الغضار



الشكل (11.2) : التركيب الذري لمادة لمونتموريللونيت

Atomic structure of montmorillonite (After Grim, 1959. With permission from ASCE.)

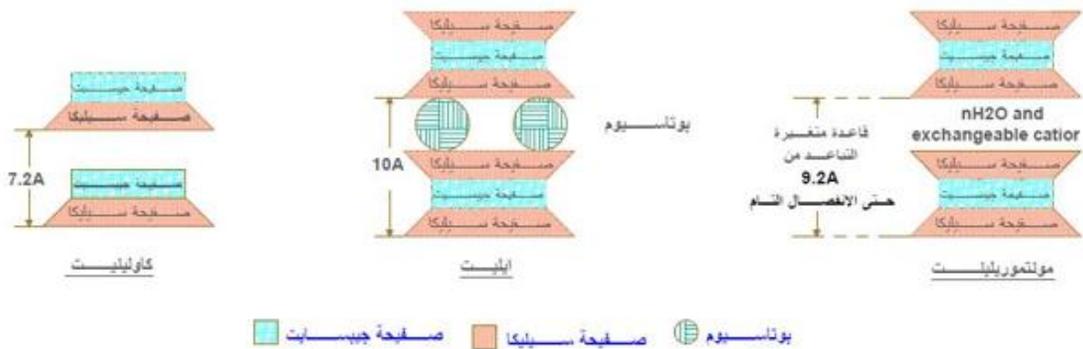
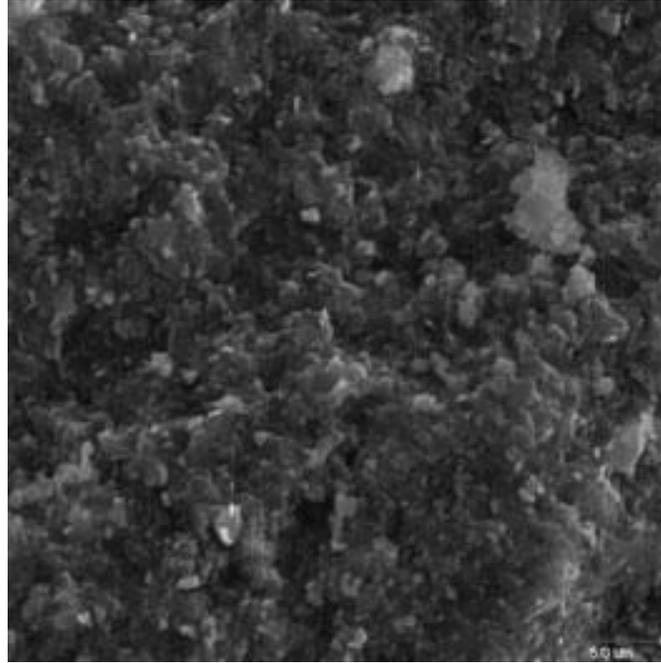
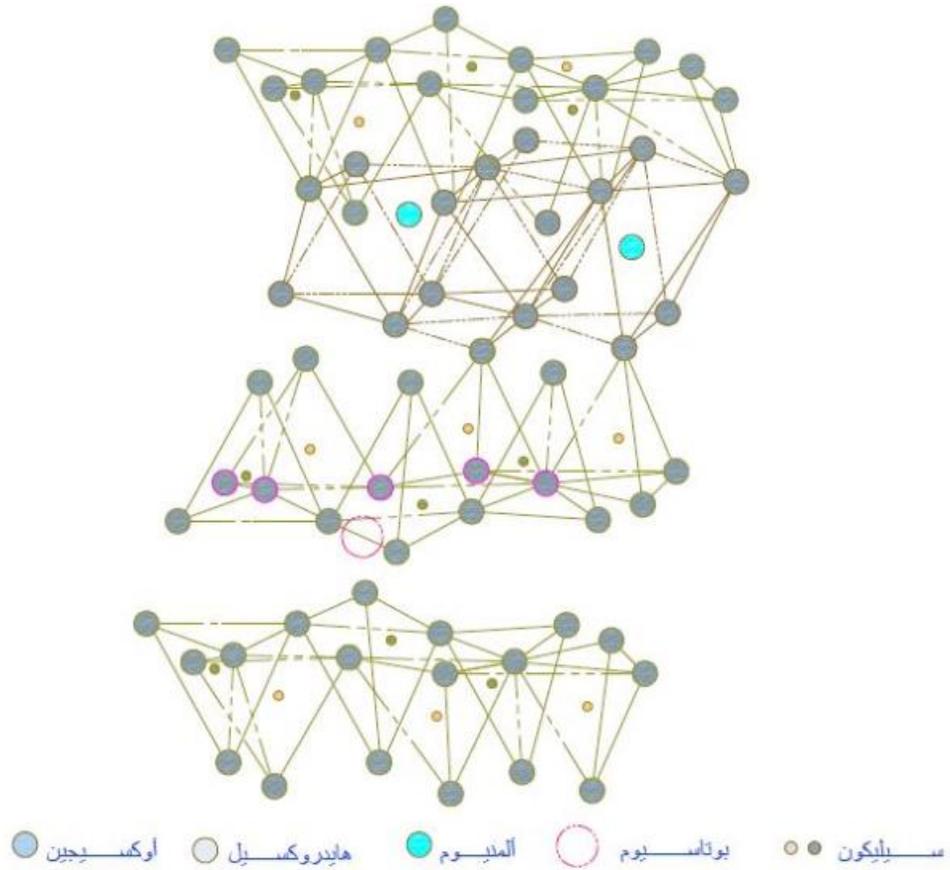


Diagram of the structures of (a) kaolinite; (b) illite; (c) montmorillonite

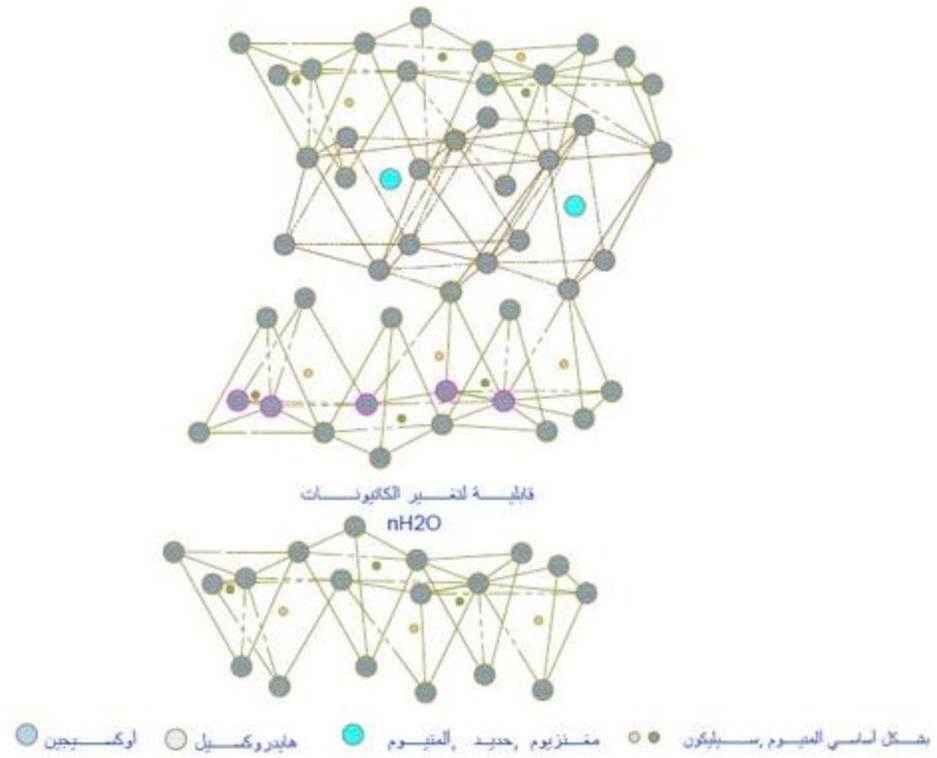
الشكل (12.2) : مخطط لبيئة أنواع الغضار المختلفة



الشكل (13.2) : يظهر المسح الالكتروني الميكروغرافي لعينة كاؤولينيت

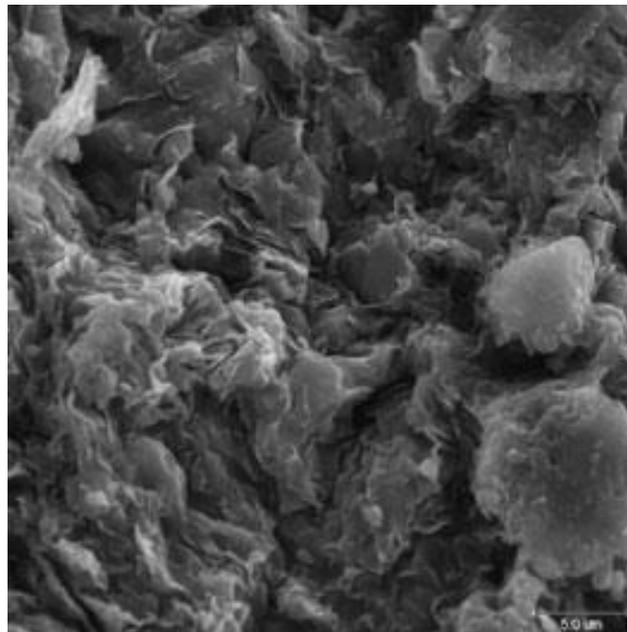


الشكل (14.2) : التركيب الذري للإيليت



الشكل (15.2) : التركيب الذري للمونتموريللونيت

Atomic structure of montmorillonite (After Grim, 1959. With permission from ASCE.)



الشكل (16.2) : مسح الكتروني ميكروغرافي يظهر بنية المونتموريللونيت

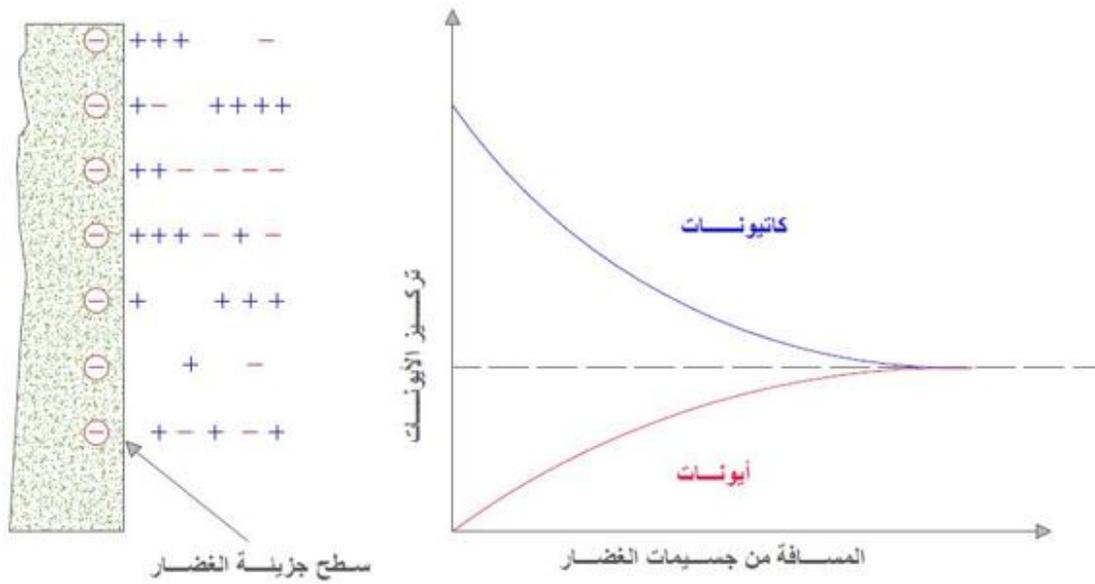
بالإضافة للكاوؤلينييت، الإيليت والمونتموريللونيت هناك فلزات غضارية أخرى موجودة هي الكلورايت، الهالوسيت، فيرميكوليت والأتابولجيت .

تحمل حبيبات الغضار شحنة سالبة صافية على سطحها، نتيجة التعويض التماثلي ونتيجة الانقطاع في استمرارية البنية عند الحواف. تكون الشحنات السالبة كبيرة كلما كبر السطح النوعي. وفي بعض المناطق المشحونة بشحنات موجبة أيضاً تظهر عند حواف الحبيبات. والقائمة التالية توضح وسطي التشاركية لكثافة الشحنات السالبة للسطح لبعض الفلزات الغضارية (Yong and Warkentin 1966)

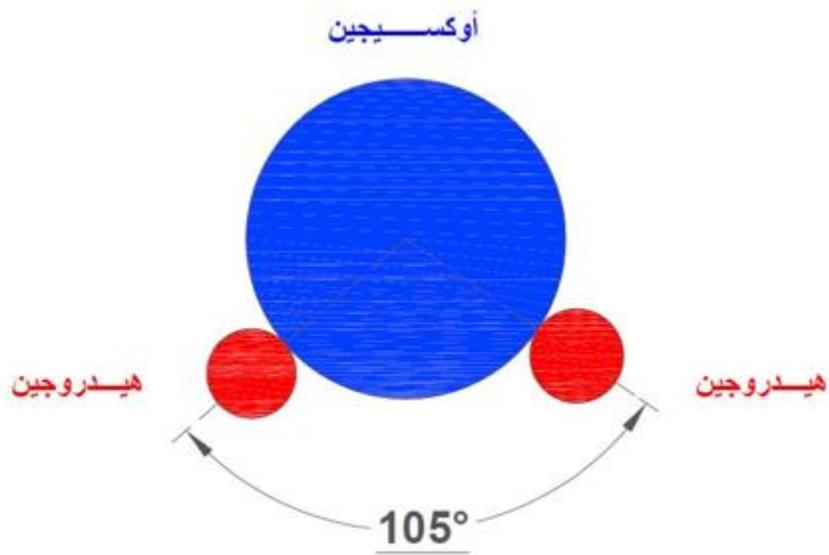
Clay mineral	Reciprocal of average surface density of charge ($\text{\AA}^2/\text{electronic charge}$)
Kaolinite	25
Clay mica and chlorite	50
Montmorillonite	100
Vermiculite	75

تتوازن الشحنة السالبة في الغضار الجاف نتيجة تبادل الشحنات الموجبة مثل Ca^+ ، Mg^{2+} ، Na^+ ، K^+ and المحيطة بالحبيبات المترابطة نتيجة التجاذب الاكتروني. عندما يضاف الماء للغضار فإن هذه الشحنات الموجبة والقليل من الأيونات تحيط حول حبيبات الغضار. هذا العملية تسمى بتشتت الطبقات المضاعفة (الشكل 17.2 a). تركيز الأيونات يتناقص مع زيادة المسافة عن وجه الحبيبات (الشكل 17.2 b) .

جزيئات الماء مختلفة القطبية حيث ذرات الهيدروجين ليست متناظرة حول ذرة الأكسجين ولكنها توجد بزاوية تماسك 105 درجات (الشكل 18.2) . وكننتيجة لذلك فإن جزيئات المياه لها شحنة موجبة من طرف وشحنة سالبة من الطرف الآخر وهذا ما يعرف بثنائية القطب .

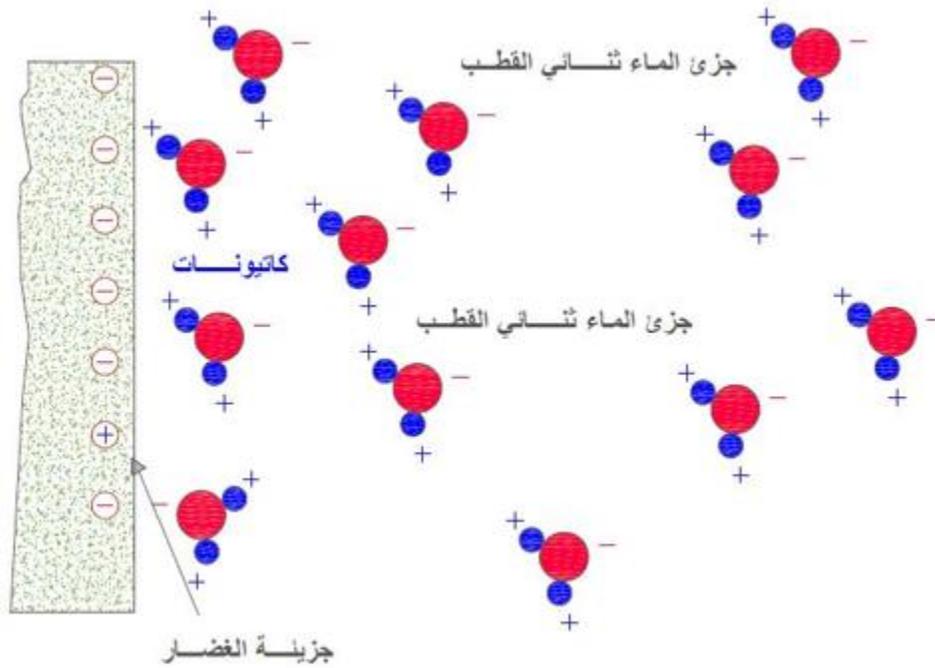


الشكل (17.2): تشتت الطبقات المضاعفة عند إضافة الماء للغضار



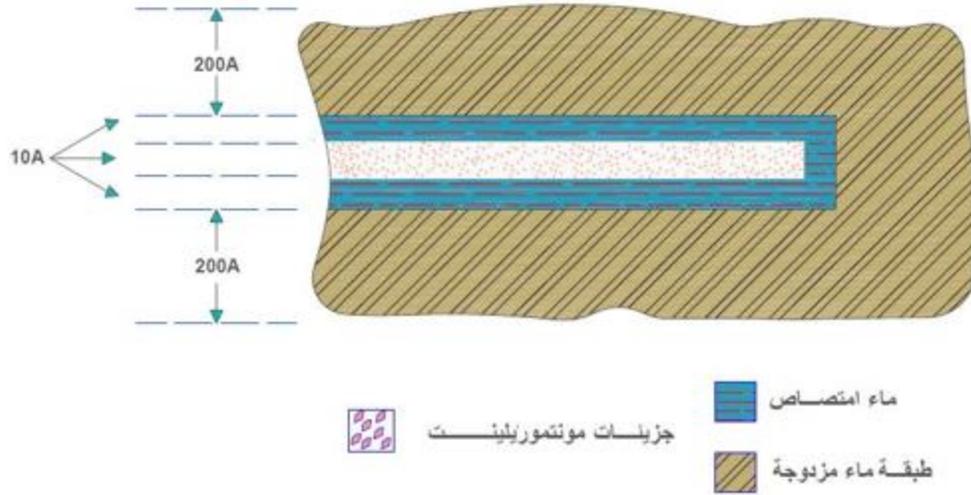
الشكل (18.2) : جزئ ثنائي القطب من الماء

ينجذب قطبي الماء للشحنات السالبة لسطح جزيئات الغضار وأيضاً الأيونات الموجبة في الطبقات المزدوجة. الأيونات الموجبة في دورها تنجذب لحبيبات التربة وأيضاً هناك آلية ثالثة حيث ينجذب الماء لحبيبات التربة وتشكل الرابطة الهيدروجينية حيث ذرات الهيدروجين في الماء ضمن جزيئات الماء تتشارك مع جزيئات الأكسجين على سطح الغضار. بعض الأيونات الموجبة التي توجد ضمن مسامات الماء تنجذب أيضاً لسطح حبيبات الغضار وهذه الأيونات الموجبة تجذب جزيئات الماء ثنائية القطب. كل هذه الآليات لانجذاب الماء للغضار موضحة بالشكل (19.2). قوة التجاذب بين الماء والغضار تتناقص بالبعد عن سطح الجزيئات. كل الماء المرتبط مع جزيئات الغضار بفعل قوة التجاذب تسمى بطبقة المياه المزدوجة. الطبقة الداخلية لطبقات المياه المزدوجة والتي ترتبط بشكل قوي مع الغضار تسمى بالماء المتصل حيث هذا الماء له لزوجة أكبر من الماء الحر.

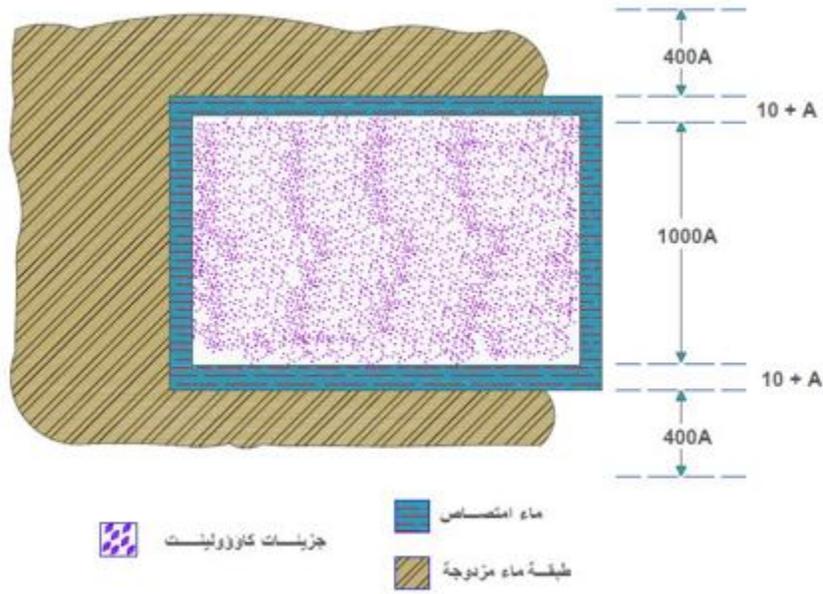


الشكل (19.2) : تفاعل بين جزيئات ثنائية القطب عند الانتشار في الطبقات المزدوجة

يظهر الشكل (20.2) طبقة المياه المزدوجة والمتصلة لجزيئات من المونتموريللونيت والكاؤولينيت. اتجاه الماء المحيط بجزيئات الغضار تعطي للترب الغضارية خاصية اللدونة.



جزيئة مونتوريلونيت مثالية 1000A by 10A



جزيئة الكاؤولينيت مثالية 10.000A by 1000A

الشكل (20.2): يظهر طبقة المياه المزدوجة والامتصّة لجزيئات من المونتوريلونيت والكاؤولينيت.

اتجاه الماء المحيط بجزيئات الغضار تعطي للترب الغضارية خاصية اللدونة.

Clay water (Redrawn after Lambe, 1958. With permission from ASCE.)

إن وجود فلزات الغضار في التركيب الحبي للتربة يؤثر بشكل كبير على الخواص الهندسية للتربة. وعند وجود الرطوبة فإن السلوك الهندسي للتربة سوف يتغير بشكل كبير كلما زادت نسبة فلزات الغضار في التربة. ولأغراض عملية في حال كانت نسبة الغضار 50% أو أكبر يمكن اعتبار أن جزيئات السلت والرمل تحيط بذرة الغضار وتكون فلزات الغضار هي المحددة بشكل أساسي للخواص الهندسية للتربة .

4.2 الوزن النوعي النسبي G_s

يعرف الوزن النوعي النسبي بأنه النسبة ما بين الوزن الحجمي لمادة معطاة إلى الوزن الحجمي للماء. الوزن النوعي النسبي للأجزاء الصلبة في التربة نحتاجه للعديد من الحسابات في ميكانيك التربة. يمكن تحديده بدقة في المختبر والجدول 4.2 يظهر الوزن النوعي النسبي لبعض الفلزات المعروفة والموجودة في الترب. قيم الوزن النوعي النسبي تتراوح بين ما بين 2.6 إلى 2.9 . الوزن النوعي النسبي للجزيئات الصلبة للرمل الخفيف الملون والذي يتألف بمعظمه من الكوارتز يكون بحدود 2.65، ومن أجل الترب الغضارية والصلبية، تتراوح قيم الوزن النوعي النسبي ما بين 2.6 إلى 2.9 .

الجدول (4.2) : يبين قيم الوزن النوعي النسبي لبعض الفلزات المعروفة

Mineral	Specific gravity, G_s
Quartz	2.65
Kaolinite	2.6
Illite	2.8
Montmorillonite	2.65–2.80
Halloysite	2.0–2.55
Potassium feldspar	2.57
Sodium and calcium feldspar	2.62–2.76
Chlorite	2.6–2.9
Biotite	2.8–3.2
Muscovite	2.76–3.1
Hornblende	3.0–3.47
Limonite	3.6–4.0
Olivine	3.27–3.7

5.2 التحليل الحبي للتربة (تحليل ميكانيكي)

التحليل الحبي للتربة، هو عبارة عن تحديد حجم الحبيبات الموجودة في التربة، ويعبر عنه كنسبة مئوية من الوزن الجاف الكلي. هناك طريقتين يمكن استخدامهما لتحديد توزيع حجم الحبيبات في التربة حسب أبعاد الحبيبات وهما :

(1) التحليل الحبي للتربة بطريقة التحليل المنخلي، وتستخدم هذه الطريقة للحبيبات ذات الأقطار الأكبر من 0.075 mm.

(2) التحليل الحبي للتربة بطريقة تحليل الهيدروميتر ويستخدم من أجل الحبيبات ذات الأقطار أصغر من 0.075 mm.

وبكلا الطريقتين نحصل على ما يسمى بمنحني التحليل الحبي للتربة. المبادئ الأساسية للطريقتين سوف يتم شرحها في الفقرات التالية.

1.5.2 التحليل الحبي للتربة بطريقة التحليل المنخلي

التحليل المنخلي هو عبارة عن عملية نخل للتربة عبر إمرارها بمجموعة من المهزات ذات الأقطار المتدرجة من الأكبر قطراً حتى الأصغر قطراً . المناخل النظامية الأمريكية مع أرقامها وأقطار فتحاتها (U.S. standard) موضحة في الجدول 5.2 .

لقيام بالتحليل الحبي بطريقة التحليل المنخلي للتربة، لابد أولاً من تجفيف التربة بالفرن ثم تحطيم كل الكتل الكبيرة إلى حبيبات أصغر . بعد ذلك يتم نخل التربة من خلال مجموعة من المهزات ذات الأقطار المتناقصة من الأعلى للأسفل (يتم وضع صينية أسفل هذه المهزات). الشكل (21.2) يظهر مجموعة من المهزات في هزاز مستخدم للقيام بالتجربة في المخبر. المهزات الأصغر الواجب استخدامها لهذا من النوع من التجارب حسب US هي المهزة رقم 200. عند تحليل الترب المتماسكة، فإن تحطيم القطع الكبيرة إلى أجزاء صغيرة قد يكون صعباً لذلك يمكن إضافة الماء ليصبح طينياً ومن ثم يتم غسله خلال هذه المهزات. الكميات المحجوزة من كل منخل يتم جمعها بشكل منفصل ويتم تجفيفها بالفرن قبل قياس العينات المحجوزة .

الجدول (5.2) : أرقام وأقطار المناخل النظامية (US)

رقم المهزة	قطر المهزة (mm)	رقم المهزة	قطر المهزة (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	50	0.355
7	2.80	60	0.25
8	2.36	70	0.212
10	2.00	80	0.180
12	1.70	100	0.150
14	1.40	120	0.125
16	1.18	140	0.106
18	1.00	170	0.09
20	0.850	200	0.075
25	0.710	270	0.053
30	0.600		



الشكل (21.2) : مجموعة من المهزات في هزاز مستخدم للقيام بالتجربة في المخبر

ويمكننا أن نلخص خطوات العمل كما يلي :

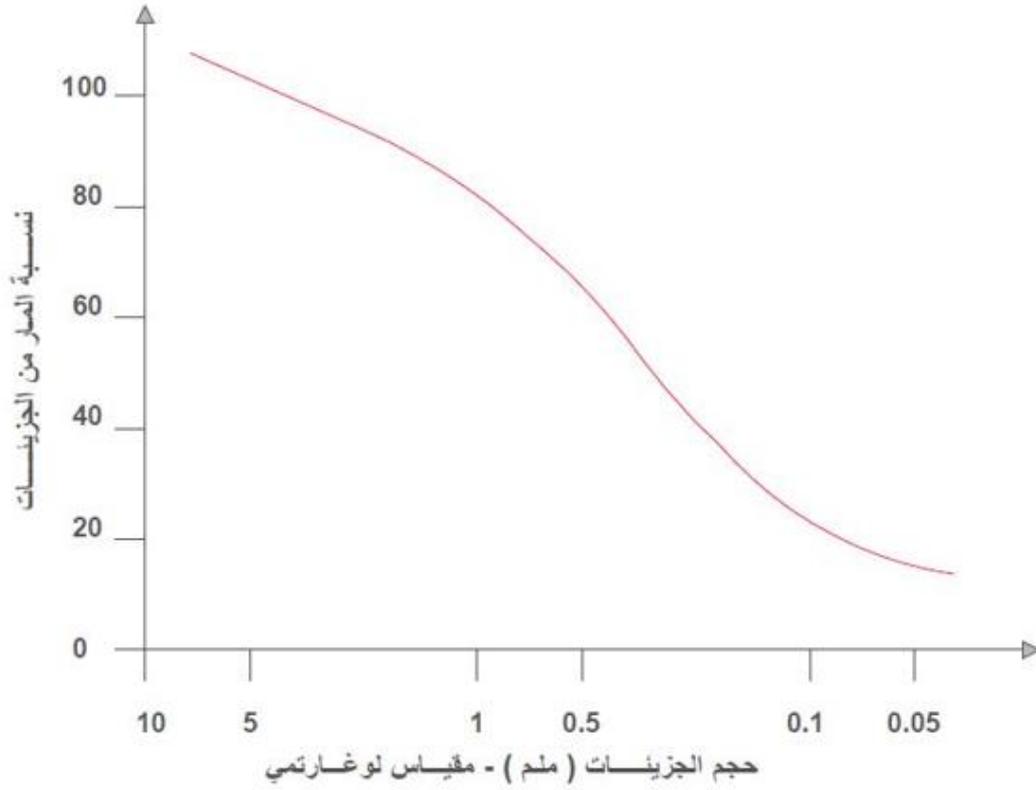
1. نقوم بقياس وزن المحجوز على كل مهزة M_1, M_2, \dots, M_n ، وأيضاً للصينية (M_p) .
2. يتم حساب الوزن الكلي للمحجوز $\Sigma M = M_1 + M_2 + \dots + M_i + \dots + M_n + M_p$.
3. حسب المحجوز التراكمي وهو وزن المحجوز على مهزة محددة M_i ومجموع أوزان المحجوز للمهزات التي فوقها $M_1 + M_2 + \dots + M_i$.
4. يتم حسب وزن التربة المارة من المهزة المحددة بطرح الوزن الكلي من المحجوز التراكمي:

$$\Sigma M - (M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i)$$

5. ثم يتم حساب النسبة المئوية للمار من كل مهزة i (نسبة المار):

$$F = \frac{\Sigma M - (M_1 + M_2 + \dots + M_i)}{\Sigma M} \times 100$$

وبعد أن نقوم بحساب نسبة المار لكل مهزة (الخطوة الخامسة)، نقوم برسم الناتج على ورق نصف لوغاريتمي (الشكل 22.2) حيث نسبة المار (مقياس حسابي) على المحور الشاقولي وأقطار فتحات المهزات على المحور الأفقي (مقياس لوغاريتمي). هذا المخطط يسمى بمحني التحليل الحبي لحبيبات التربة والناتج من طريقة التحليل الحبي المنخلي.



الشكل (22.2): منحنى التحليل الحبي

2.5.2 التحليل الحبي للتربة بطريقة تحليل الهيدروميتر

الطريقة الثانية لتحديد حجم حبيبات التربة هي التحليل الهيدروميتر. هذه الطريقة مبنية على مبادئ سرعة الترسيب لحبيبات التربة في الماء. عند وضع التربة الناعمة بالماء تتشتت عينة التربة، وتبدأ الذرات بالترسيب. تترسب حبيبات التربة بسرعات مختلفة بناءً على شكلها، حجمها، وزنها ولزوجة الماء. وللتبسيط يمكن افتراض أن شكل حبيبات التربة كروي وعندها فإن السرعة التي تترسب فيها جزيئات التربة نعبر عنها بقانون Stokes :

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2 \quad (1.2)$$

حيث :

v : السرعة .

ρ_s : كثافة حبيبات التربة .

. كثافة الماء : ρ_w

. لزوجة الماء : η

. قطر حبيبات التربة : D

وبالتالي من المعادلة السابقة نستطيع أن نكتب:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\rho_s - \rho_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (2.2)$$

حيث :

$$v = \frac{\text{Distance}}{\text{Time}} = \frac{L}{t}$$

ومن جهة ثانية، لدينا :

$$\rho_s = G_s \cdot \rho_w \quad (3.2)$$

ومن المعادلتين (2.2) و (2.3) نجد :

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (4.2)$$

$$\frac{D(\text{mm})}{10} = \sqrt{\frac{18\eta[(\text{g. sec/cm}^2)]}{(G_s - 1)\rho_w(\text{g/cm}^3)}} \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{min}) \times 60}}$$

$$D = \sqrt{\frac{30 \cdot \eta}{(G_s - 1)\rho_w}} \cdot \sqrt{\frac{L}{t}}$$

وباعتبار $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$:

$$D (\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L(\text{mm})}{t(\text{min})}} \quad (5.2)$$

$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{G_s - 1}} \quad (6.2)$$

مع العلم أن : $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$

لاحظ أن قيمة K هي تابعة لتغيرات قيم الوزن النوعي للتربة G_s ولزوجية الماء η والذي يعتمد على درجة حرارة التجربة. الجدول 6.2 يعطي قيم تغيير K مع تغير درجات الحرارة للتجربة والوزن النوعي النسبي للأجزاء الصلبة للتربة.

في المختبر، يتم إجراء تجربة الهيدروميتر في اسطوانة ترسيب، من خلال وضع 50 g من التربة الجافة وأحياناً 100g. ارتفاع اسطوانة الترسيب (18 in) 457 mm وقطرها 2.5 (63.5 mm in). الاسطوانة مدرجة حتى حجم 100 ml. يضاف هيكساميتاسولفات الصوديوم عادة كعامل تشتت. يتم زيادة حجم التربة المشتتة حتى 100 ml عن طريق زيادة الماء المقطر. الشكل 23.2 يظهر هيدروميتر حسب نظام ASTM 152H.

عندما يتم وضع الهيدروميتر ضمن عنية معلق التربة عند زمن معين t، مقياس من لحظة بدء عملية الترسيب فإنه يعطي الوزن النوعي بجوار الانتفاخ عند العمق L (الشكل 24.2). الوزن النوعي هو عبارة عن تابع لكمية جزيئات التربة الموجودة ضمن واحدة الحجم للمعلق عند ذلك العمق، وأيضاً عند الزمن t فإن جزيئات التربة ضمن المعلق عند العمق L سوف يكون لها قطر أقل من D كما تم حسابه في المعادلة (5.2) الجزيئات الأكبر سوف تترسب على مسافة بعيدة عن منطقة القياسات.

تصمم الهيدروميترات لتعطي كمية التربة مقدرة بالغرام والتي لا تزال بالمعلق، حيث يتم معايرتها حتى قيم وزن نوعي للترب 2.65. أما من أجل الترب ذات وزن نوعي مختلف فيجب الضرب بمعامل تصحيح عن طريق معرفة المتغيرات التالية : كمية التربة في المعلق، L و t .

يمكن حساب نسبة التربة عن طريق وزن النواعم بدلاً من معرفة القطر. لاحظ أن L هي المسافة المقاسة من سطح الماء وحتى مركز ثقل انتفاخ الهيدروميتر والتي تقاس عندها كثافة المعلق. قيمة L يمكن أن تتغير بناءً على الزمن t.

يعد تحليل الهيدروميتر فعال من أجل فصل حبيبات التربة حتى حجم $0.5 \mu\text{m}$. قيمة L (cm) من أجل هيدروميتر حسب المواصفة ASTM 152H يمكن إعطائه حسب المعادلة التالية (انظر الشكل 24.2).

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \left(L_2 - \frac{V_B}{A} \right) \quad (7.2)$$

حيث :

L1: المسافة على طول ساق الهيدروميتر من أعلى الانتفاخ وحتى علامة قراءة الهيدروميتر (cm).

L2: طول انتفاخ الهيدروميتر = 14 cm

V_B : حجم انتفاخ الهيدروميتر = 67 cm^3

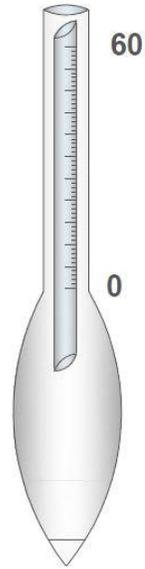
A: مساحة المقطع العرضي لاسطوانة الترسيب = 27.8 cm^2

حيث قيمة L1 هي 10.5 من أجل قراءة $R=0$ و 2.3 cm من أجل قراءة $R=50$ لذلك من أجل أي قراءة R:

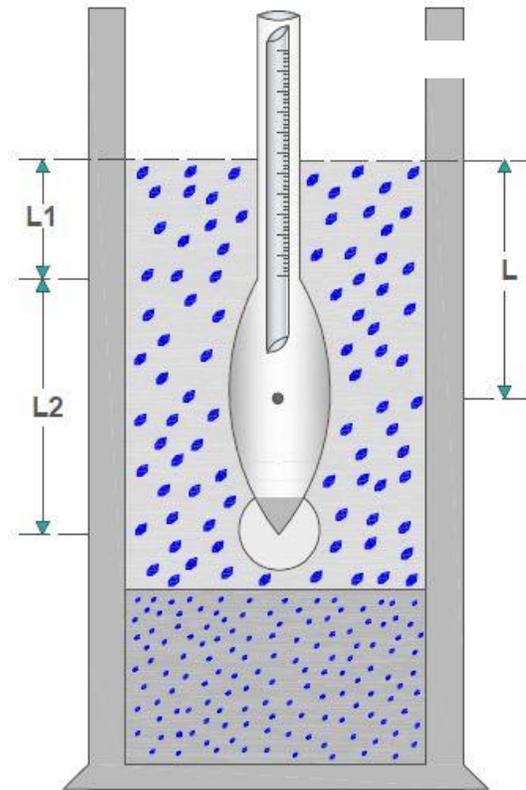
$$L_1 = 10.5 - \frac{(10.5 - 2.3)}{50} R = 10.5 - 0.164R \text{ (cm)} \quad (8.2)$$

حيث R = قراءة الهيدروميتر المصححة من السطح الهاللي .

وبناءً على المعادلة (8.2)، فإن تغيير طول L مع قراءة الهيدروميتر R تعطى بالجدول 7.2 .



الشكل 2-23 : ASTM 152H hydrometer

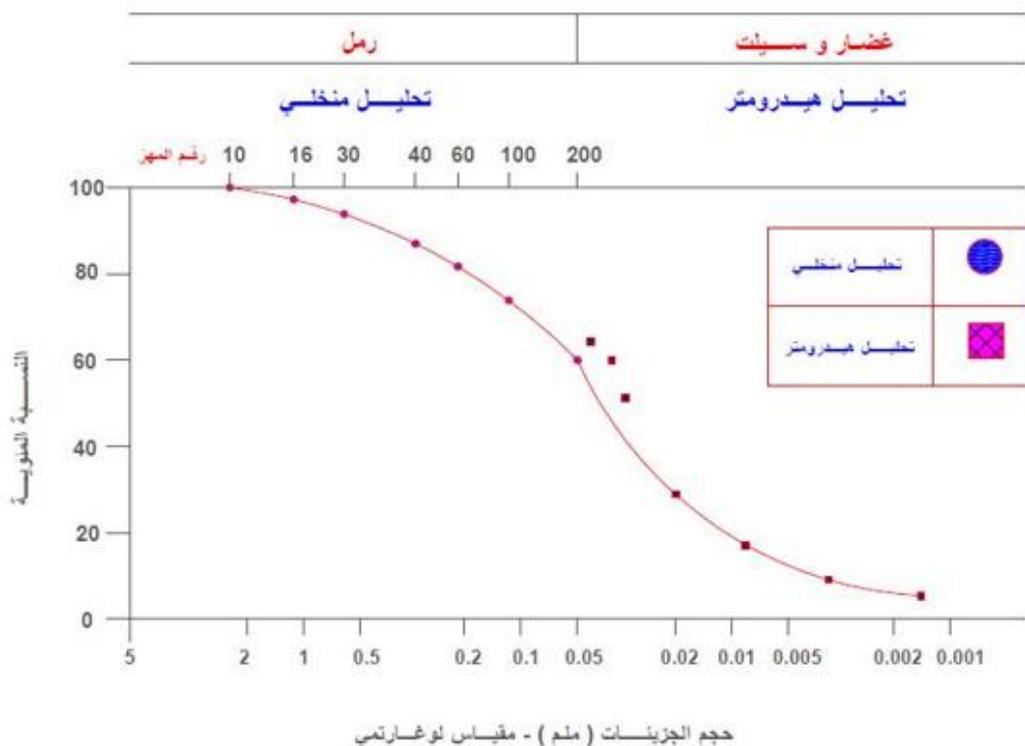


الشكل 2-24 : تحديد قيمة L في تجربة الهيدرومتر

الجدول (7.2) : تغيرات المسافة L في تجربة الهيدرومتر حسب نظام ASTM

Hydrometer reading, <i>R</i>	<i>L</i> (cm)	Hydrometer reading, <i>R</i>	<i>L</i> (cm)
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.6
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

Variation of *L* with Hydrometer Reading— ASTM 152H Hydrometer



الشكل (25.2): منحنى التحليل الحبي للتربة ناتج من : التحليل المنخلي -تحليل الهيدرومتر

في العديد من الحالات، يمكن دمج نتائج التحليل الحبي بطريقة التحليل الهيدروميتري والتحليل الحبي بطريقة التحليل المنخلي ضمن مخطط واحد كما في الشكل (25.2) وعند دمج هذه النتائج تظهر عدم استمرارية حيث يتراكب كلا المنحنيين. هذا التراكب في المنحني يكون نتيجة أن حبيبات التربة غير منتظمة الشكل.

يجب أن نفهم أن استخدام التحليل الحبي بطريقة التحليل المنخلي يعطي الأبعاد الوسطية للجزيئات أما استخدام التحليل الحبي بطريقة تحليل الهيدرومتر يعطي القطر المكافئ لكرة ممكن أن تترسب بنفس سرعة ترسب جزيئة التربة.

6.2 منحني التحليل الحبي

يمكن استخدام منحني التحليل الحبي للتربة لإيجاد أربعة متغيرات لتربة معينة (الشكل 26.2) وهي:

1. **القطر الفعال (D_{10})** : هو قطر الحبيبات في منحني التحليل الحبي الموافق لنسبة مار

10%. القطر الفعال للترب الحبيبية هو مقياس جيد لتقدير الخواص الهيدروليكية

والتصريف خلال التربة .

2. **معامل التجانس (C_u)** : هو معامل معرف كالتالي :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (9.2)$$

حيث D_{60} = القطر الموافق لنسبة مار 60% .

3. **معامل التدرج (C_z)** : هو معامل معرف كالتالي :

$$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad (10.2)$$

4. **معامل الفرز (S_0)** : هو عبارة عن معامل آخر للتعبير عن التجانس وهو عموماً يتم

استخدامه في الأعمال الجيولوجية وهو معرف كالتالي :

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \quad (11.2)$$

حيث معامل الفرز لا يتم استخدامه عادة من قبل مهندسي الجيوتكنيك.

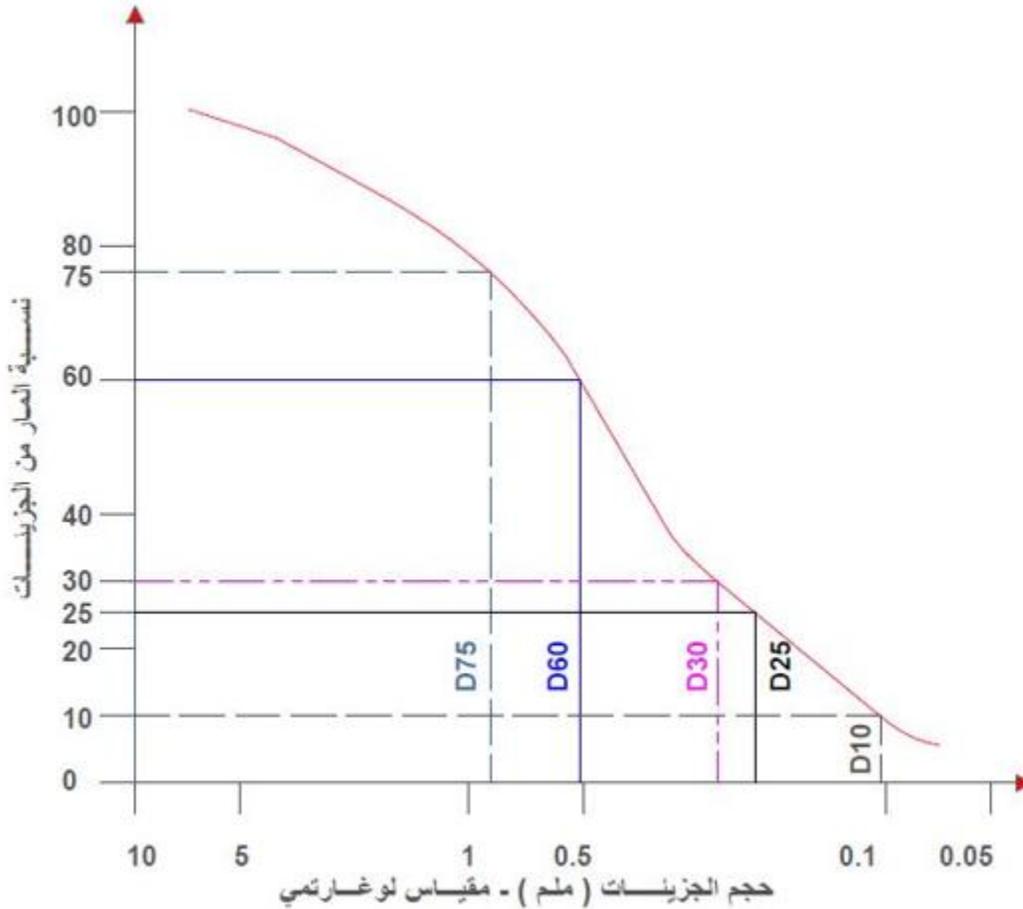
نسب البحص، الرمل،السلت، والغضار، نجدها من خلال أقطار الحبيبات التي نحصل عليها من

منحني التحليل الحبي. وكمثال على ذلك سوف نستخدم منحني التحليل الحبي كما في الشكل (25.2)

لتحديد أقطار حبيبات البحص، الرمل، السلست والغضار كالتالي (بناءً على نظام التصنيف العالمي

الموحد - انظر الجدول 3.2).

قطر المهزة (mm)	نسبة المار (%)		التسمية
76.2	100		
		$100 - 100 = 0 \%$	بحص
4.75	100		
		$100 - 62 = 38 \%$	رمل
0.075	62		
		$62 - 0 = 62 \%$	سيلت وغضار
-	0		



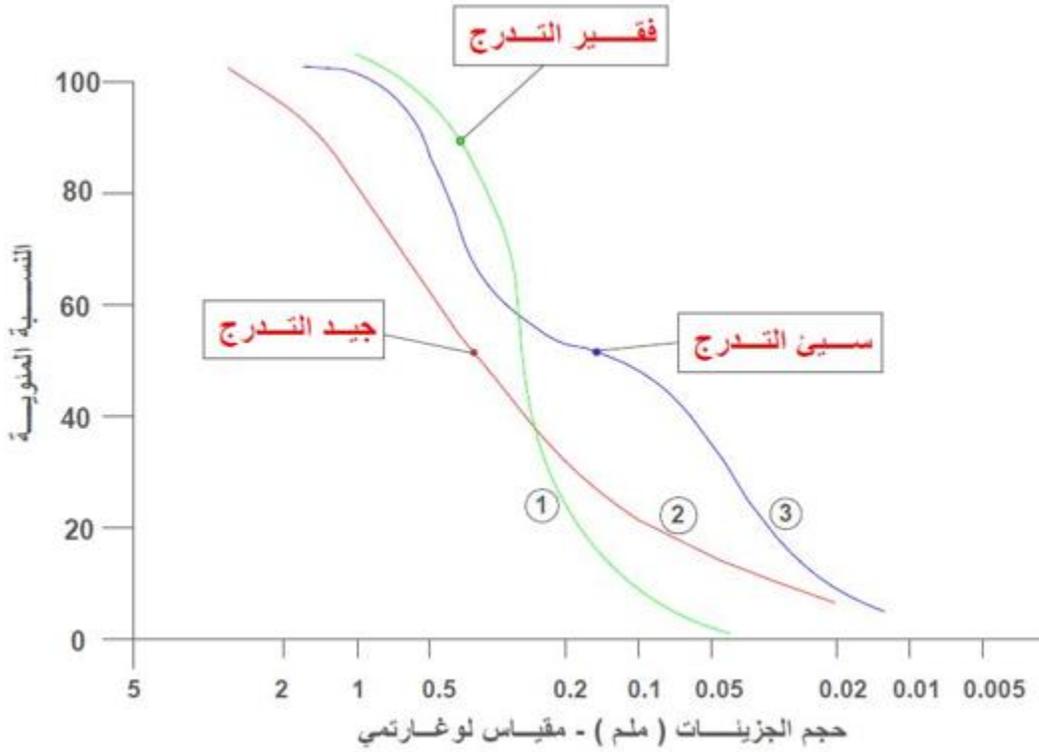
الشكل (26.2) : تحديد النسب D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} , D_{10}

منحني التحليل الحبي لا يظهر فقط مجال أقطار الحبيبات الموجودة في التربة ولكن يظهر أيضاً نوع التوزيع لحبيبات التربة. وهذه الأنواع موضحة في الشكل (27.2).

المنحني I : يظهر نوع من التربة التي حبيباتها ذات قطر واحد تقريباً وهذا ما يسمى بتربة فقيرة التدرج الحبي.

المنحني II : يظهر التربة التي تتوزع حبيباتها على مجال واسع وتسمى بجيدة التدرج الحبي حيث لها معامل تجانس أكبر من 4 للبحص و 6 للرمل ومعامل تدرج بين 1 و 3 (للبحص والرمل). قد تحوي التربة مزيج من اثنين أو أكثر من الجزيئات المتجانسة.

المنحني III : يظهر تربة معينة وتسمى الترب ذات الفجوة في التدرج.



الشكل (27.2): مختلف منحنيات التحليل الحبي للترب

- المنحني I يظهر نوع من التربة تسمى بتربة فقيرة التدرج الحبي.
- المنحني II يظهر التربة التي تسمى بجيدة التدرج الحبي.
- المنحني III يظهر تربة تسمى الترب ذات الفجوة في التدرج.

مثال 1.2:

أظهرت نتائج تجربة التحليل الحبي للتربة بطريقة التحليل المنخلي النتائج التالية :

رقم المهزة (US)	كتلة التربة المحجوزة على المهزة (g)
4	0
10	40
20	60
40	89
60	140
80	122
100	210
200	56
الصينية	12

قم بالحسابات اللازمة وارسم منحنى التحليل الحبي الناتج ؟

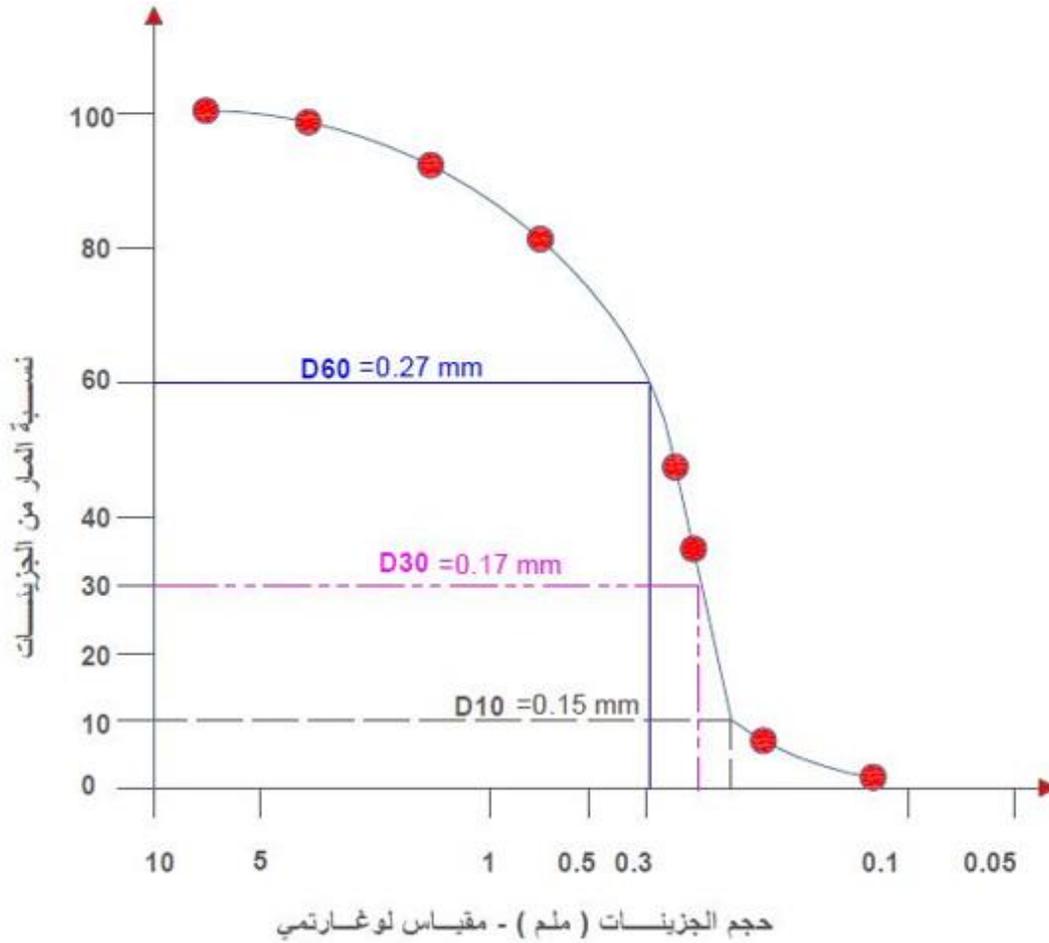
الحل :

باتباع الخطوات السابقة يمكن تنظيم الجدول التالي :

1	2	3	4	5
رقم المهزة	قطر المهزة (mm)	كتلة التربة المحجوزة على المهزة (g)	المجموع التراكمي لكتلة التربة المحجوزة على المهزات (g)	نسبة المار من المهزة
4	4.75	0	0	100
10	2.00	40	40 = 0+40	94.5
20	0.850	60	100 = 60+40	86.3
40	0.425	89	189 = 89 + 100	74.1
60	0.250	140	329 = 140 + 189	54.9
80	0.180	122	451 = 122 + 329	38.1
100	0.150	210	661 = 210 + 451	9.1
200	0.075	56	717 = 56+ 661	1.7
الصينية	-	12	729 = 12 + 717	0

$$\text{العمود رقم 5} = \frac{\sum M - \text{العمود (4)}}{\sum M} \times 100 = \frac{729 - \text{العمود (4)}}{729} \times 100$$

ثم نقوم برسم منحنى التحليل الحبي حسب الجدول السابق :



الشكل (28.2): نتائج منحنى التحليل الحبي للتربة المختبرة وتحديد الأقطار D_{60} , D_{30} , D_{10}

مثال 2.2 :

من أجل منحنى التحليل الحبي المبين بالشكل (28.2)، أحسب :

- D_{60} ، D_{30} ، D_{10} .
- معامل التجانس C_u .
- معامل التدرج C_z .

الحل :

من الشكل -28.2- نلاحظ أن :

$$D_{10} = 0.15 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.27 \text{ mm}$$

وبالتالي حسب القوانين السابقة، يكون لدينا :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.27}{0.15} = 1.8$$

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0.17)^2}{(0.27)(0.15)} = 0.71$$

مثال 3.2 :

لمنحني التحليل الحبي المبين بالشكل (28.2) حدد نسبة كل من البحص والرمل والسلت والغضار باستخدام تصنيف USCS ؟

الحل :

من منحني التحليل الحبي يمكن استنتاج التالي وذلك حسب الجدول 28.2 :

قطر الحبيبات (mm)	النسبة المارة	
76.2	100	
		$100 - 100 = 0.0$ % حصى
4.75	100	
		$100 - 1.7 = 98.3$ % رمل
0.075	1.7	
		$1.7 - 0.0 = 1.7$ % سيلت وغضار
-	0	

7.2 شكل الحبيبات

يعد شكل الحبيبات في كتلة التربة بذات أهمية أقطارها لأن لها تأثير كبير على لخواص الفيزيائية لتربة معطاة. ولكن ليس هناك اهتمام كبير بشكل الجزيئات لأنه من الصعب قياسها. يمكن تقسيم شكل حبيبات التربة إلى ثلاث مجموعات رئيسية :

1. كتلية.

2. رقائقية.

3. إبرية.

الحبات تتشكل عادة نتيجة عوامل الحت على الصخور والفلزات. يستخدم الجيولوجيون مصطلحات مثل زاوي، شبه زاوي، شبه مدور، مدور لشرح أشكال الحبات. تظهر هذه الأشكال ضمن الشكل (29.2).

جزيئات الرمل الصغيرة المتوضعة بالقرب من منشأها تكون عادة زاوية. تحمل جزيئات الرمل بفعل الرياح والماء لمسافات كبيرة لتصبح شبه زاوية أو مدورة. إن شكل الحبيبات في كتلة التربة له تأثير كبير على الخواص الفيزيائية مثل معامل المسامية الأعظمي والأصغري، متغيرات مقاومة القص، الانضغاطية، إلخ.....

الزاوية A يمكن تعريفها بالعلاقة :

$$A = \frac{\text{نصف القطر الوسطي للزوايا و الحواف}}{\text{نصف قطر الكرة}}$$

كروية الأجزاء الصلبة يمكن تعريفها كالتالي :

$$S = \frac{D_e}{L_p} \quad (13.2)$$

حيث :

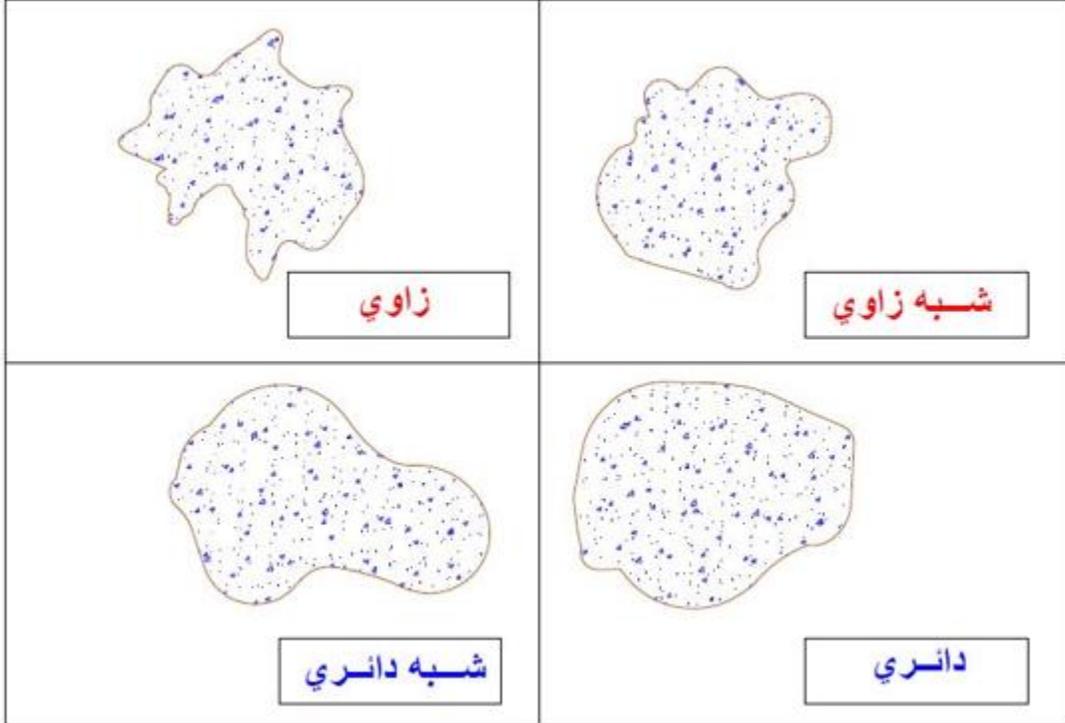
D_e : القطر المكافئ للجزيئة.

V: حجم الحبيبات.

L_p : طول الجزيئات.

أما القطر المكافئ فيعطى بالعلاقة :

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$$



الشكل (29.2): أشكال الجزيئات : زاوي، شبه زاوي، شبه مدور، مدور

الجزيئات الرقائقية لها كروية منخفضة جداً عادة 0.01 أو أقل، هذه الجزيئات عادة هي فلزات الغضار .

الجزيئات إبرية الشكل هي اقل شيوعاً مقارنة مع النوعين السابقين.

أمثلة على ترب تحوي جزيئات إبرية الشكل هي بعض رواسب coral وعضار attapulgite .

8.2 ملخص

في هذا الفصل تم مناقشة دورة تشكل الصخور، منشأ التربة نتيجة الحت، التحليل الحبي للجزئيات في كتلة التربة، شكل الحبيبات وفلزات الغضار. بعض النقاط الهامة هي :

1. يمكن تصنيف الصخور إلى ثلاث مجموعات رئيسية : (1) اندفاعية، (2) رسوبية، (3) متحولة.
2. تتشكل الترب نتيجة عوامل الحت الكيميائية والميكانيكية على الصخور.
3. بناءً على حجم حبيبات التربة يمكن تصنيف التربة إلى بحص، رمل، سلت، غضار.
4. الغضار عادة له شكل صفائح ميكروسوبية وتحت ميكروسكوبية من جزئيات الميكا. فلزات الغضار وفلزات أخرى.
5. فلزات الغضار هي عبارة عن مركبات سليكات الألمنيوم التي تعطي اللدونة عندما يتم مزجها مع نسبة معينة من الماء.
6. التحليل الحبي للتربة هي عملية يتم فيها تحديد توزع أقطار الحبيبات المتواجدة ضمن كتلة التربة.
7. التحليل الحبي بطريقة التحليل المنخلي والتحليل الحبي بطريقة الهيدروميتر هما تجربتان تستخدمان لرسم منحي التحليل الحبي للتربة.

2.9 الأمثلة غير المحلولة

1. من أجل تربة معينة، افترض أن :

$$D_{60} = 0.41 \text{ mm} \text{ و } D_{30} = 0.22 \text{ mm} \text{ و } D_{10} = 0.08 \text{ mm}$$

احسب معامل التجانس ومعامل التدرج .

2. أعد المسألة 1 مع فرض : $D_{10} = 0.24$ و $D_{30} = 0.82$ و $D_{60} = 1.81 \text{ mm}$

3. أعد المسألة 1 مع فرض : $D_{10} = 0.18$ و $D_{30} = 0.32$ و $D_{60} = 0.78 \text{ mm}$

4. التالي هو نتائج التحليل الحبي بطريقة التحليل منخلي :

رقم المهزة US	كتلة التربة المحجوزة (g)
4	0
10	18.5
20	53.2
40	90.5
60	81.8
100	92.2
الصينية	26.5

والمطلوب :

a. حدد نسبة المار لكل منخل وارسم منحنى التحليل الحبي .

b. حدد D_{10} ، D_{30} ، D_{60} من منحنى التحليل الحبي .

c. احسب معامل التجانس C_u .

d. احسب معامل التدرج C_z .

5. أعد المسألة 4 ولكن استخدم النتائج التالية:

رقم المهزة US	كتلة التربة المحجوزة (g)
4	0
10	44
20	56
40	82
60	51
80	106
100	92
200	85
الصينية	35

6. أعد المسألة 4 ولكن استخدم النتائج التالية:

رقم المهزة US	كتلة التربة المحجوزة (g)
4	0
10	41.2
20	55.1
40	80.0
60	91.6
100	60.5
200	35.6
الصينية	21.5

7. أعد حل المسألة 4 ولكن باستخدام النتائج التالية :

رقم المهزة US	كتلة التربة المحجوزة (g)
4	0
6	0
10	0
20	9.1
40	249.4
60	179.8
100	22.7
200	15.5
الصينية	23.5

8. التالي هو نتائج للتحليل الحبي للتربة بواسطة بطريقة التحليل المنخلي وطريقة تحليل هيدروميتر.

والمطلوب :

التحليل	رقم المهزة	نسبة المار %
المهزات	40	100
	80	97
	170	82
	200	90
الهيدروميتر	0.04 mm	74
	0.015 mm	42
	0.008 mm	27
	0.004 mm	17
	0.002 mm	11

- a. ارسم منحنى التحليل الحبي .
 b. حدد نسبة البحص، الرمل، السلت، الغضار وفقاً لنظام MIT .
 c. أعد الطلب b وفقاً لنظام USDA .
 d. أعد الطلب b وفقاً لنظام AASHTO .
 9. من أجل أقطار الحبيبات للتربة المعطاة في الجدول . ارسم منحنى التحليل الحبي .

نسبة المار %	قطر المهزة (mm)
100	0.425
90	0.033
80	0.018
70	0.01
60	0.0062
50	0.0035
40	0.0018
35	0.001

ثم حدد نسبة البحص، الرمل، السلت، الغضار :

- a. وفقاً لنظام USDA .
 b. وفقاً لنظام AASHTO .
 10. أعد المسألة 9.2 مع أخذ المعطيات التالية :

نسبة المار %	قطر المهزة (mm)
100	0.425
92	0.1
84	0.052
62	0.02
46	0.01
32	0.004
22	0.001

11. في تجربة التحليل الحبي للتربة بطريقة تحليل الهيدروميتر كانت النتائج كالتالي :
 $G_s = 2.6$ ودرجة حرارة الماء = 24° و $R = 43$ و $t = 60$ دقيقة بعد بداية الترسيب (انظر الشكل 24.2).

ما هو القطر D الأصغر للحبيبات التي ترسبت بعد منطقة القياس عند ذلك الوقت (والذي هو $t=60$ دقيقة) ؟

12. أعد المسألة 11 مع أخذ المعطيات التالية :
 $G_s = 2.7$ ودرجة حرارة الماء = 23° و $R = 25$ و $t = 120$ دقيقة .

10.2 المراجع

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2007).
2. ASTM Book of Standards, Sec. 4, Vol. 04.08, West Conshohocken, Pa. BOWEN, N. L. (1922). "The Reaction Principles in Petrogenesis," Journal of Geology, Vol. 30, 177–198.
3. GRIM, R. E. (1953). Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York.
4. GRIM, R. E. (1959). "Physico-Chemical Properties of Soils: Clay Minerals," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 85, No. SM2, 1–17.
5. LAMBE, T. W. (1958). "The Structure of Compacted Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, 1655-1 to 1655–35.
6. YONG, R. N., and WARKENTIN, B. P. (1966). Introduction of Soil Behavior, Macmillan, New York.