



مَشُورَاتُ جَامِعَةِ دِمَشَقِ
كُلِيَّةِ الزَّرَاعَةِ الثَّانِيَةِ

أَسَسُ عِلْمِ التَّرْبَةِ

الدُّكْتُورُ

حَسَنُ سَلِيمَانَ حَبِيبٍ

أَسْتَاذٌ فِي كَلِيَّةِ الزَّرَاعَةِ - قِسْمُ عُلُومِ التَّرْبَةِ

١٤٣٤ - ١٤٣٥ هـ

جَامِعَةُ دِمَشَقِ

٢٠١٣ - ٢٠١٤ م



محتويات الكتاب

٩	المقدمة
١١	الفصل الأول: لمحة جيولوجية عن الأرض والقشرة الأرضية
١٣	١ - مقدمة.
١٤	٢ - معلومات عامة عن الأرض.
١٨	٣ - التركيب المعدني للقشرة الأرضية.
٣٣	٤ - الصخور .
٤٦	٥ - تجوية الصخور والمعادن.
٥٧	الفصل الثاني: عوامل تكوين التربة .
٥٩	١ - مقدمة.
٥٩	٢ - عوامل تكوين التربة.
٦٣	٣ - المناخ.
٦٨	٤ - الكائنات الحية
٧١	٥ - المادة الأم.
٧٤	٦ - التضاريس.
٧٨	٧ - الزمن.
٨١	الفصل الثالث: التركيب المعدني للتربة (معادن الطين).
٨٣	١ - مقدمة.
٨٣	٢ - مفهوم معادن الطين.
٨٤	٣ - منشأ معادن الطين.
٨٥	٤ - الاستبدال المتماثل.
٨٦	٥ - سيليكات الطين الورقية أو الطبقيّة.
٩١	٦ - المسافة القاعدية.
٩١	٧ - المجموعات الرئيسة لمعادن الطين.
١٢٣	الفصل الرابع: غرويات التربة.

١٢٥	١ - مقدمة.
١٢٦	٢ - أشكال الغرويات في التربة.
١٢٩	٣ - أنواع غرويات التربة بالعلاقة مع الشحنات الكهربائية.
١٣٠	٤ - بنية غرويات التربة وخواصها الكهربائية.
١٣١	٥ - بعض الخصائص المهمة لغرويات الطين في التربة.
١٣٤	٦ - الطبقة الكهربائية المزدوجة.
١٣٩	الفصل الخامس: المادة العضوية في التربة.
١٤١	١ - مقدمة.
١٤٣	٢ - خواص المادة العضوية في التربة.
١٤٤	٣ - المجموعات الوظيفية الفعالة.
١٤٤	٤ - سعة التبادل الكاتيوني.
١٤٥	٥ - السعة الموجبة أو التنظيضية.
١٤٦	٦ - استخلاص المادة العضوية.
١٤٨	٧ - خصائص المكونات الهيومية (الدبال).
١٥١	٨ - تكوين المكونات الهيومية.
١٥٣	٩ - أشكال الدبال في التربة.
١٥٥	١٠ - ارتباط المكونات الهيومية مع الجزء المعدني.
١٥٨	١١ - العوامل التي تؤثر في تطور المادة العضوية في التربة.
١٥٩	١٢ - دور المادة العضوية في التربة.
١٦١	الفصل السادس: الصفات المورفولوجية للتربة.
١٦٣	١ - لون التربة.
١٦٦	٢ - بنية التربة.
١٧٥	٣ - التركيب الحبيبي للتربة (نسيج التربة).
١٨٥	الفصل السابع: الخواص الكيميائية للتربة.
١٨٧	١ - الامصاص والتبادل الأيوني في التربة.

٢٠٢	٢- تفاعل التربة.
٢١٠	٣ - محلول التربة.
٢١٩	الفصل الثامن: الخواص الفيزيائية للتربة.
٢٢١	١ - كثافة التربة.
٢٢٥	٢ - مسامية التربة.
٢٢٩	٣ - هواء التربة.
٢٣٦	٤ - حرارة التربة.
٢٤٥	الفصل التاسع: الخواص المائية للتربة.
٢٤٧	١ - مقدمة.
٢٤٧	٢ - بعض المفاهيم.
٢٥٥	٣ - تصنيف ماء التربة.
٢٥٩	٤ - بعض الثوابت المائية المهمة في التربة.
٢٦٢	٥ - قوة امتصاص التربة للماء.
٢٦٤	٦ - معامل الذبول.
٢٦٦	٧ - حركة الماء في التربة.
٢٧١	٨ - الماء المتبخر في التربة.
٢٧٣	الفصل العاشر: تصنيف التربة.
٢٧٥	١- مقدمة.
٢٧٧	٢ - أنظمة تصنيف التربة.
٣٢١	الفصل الحادي عشر: الترب السورية.
٣٢٣	١- مقدمة.
٣٢٣	٢- عوامل تكوين التربة في سورية.
٣٢٧	٣- أنواع الترب في سورية.
٣٣٥	المصطلحات العلمية.
٣٤٥	المراجع.



المقدمة:

تعد التربة أحد أهم العوامل الأساسية التي تقوم عليها عمليات الإنتاج الزراعي، وبقدر ما تكون معرفتنا عنها متينة وراسخة وعلمية، بقدر ما يكون الاستثمار الزراعي أكثر فائدة ومنفعة. وإذا كان الغذاء والكساء هما أساس الحياة، فإن التربة هي أصل الحياة، لأنها تؤمن متطلباتها الأساسية، والحاجة اليوم أكثر إلحاحاً من أي وقت مضى لاستثمار التربة بالشكل المناسب والمستدام، نظراً لزيادة الحاجة على متطلبات الإنتاج الزراعي.

يتناول هذا الكتاب الأسس العامة لعلم التربة، التي تشكل الخطوة الأولى في فهمها كجسم طبيعي، مشكلاً بذلك مقدمة شبيه متكاملة في هذا المجال، وقد روعي في تأليفه أن يكون، قدر الإمكان، مواكباً لما هو جديد في علم التربة، أخذين بالحسبان السلاسة والبساطة في عرض مواضيعه المختلفة، بما يتناسب مع الطالب غير المتخصص.

يضم كتاب أسس علم التربة موضوعات عديدة، منها مقدمة جيولوجية، وعوامل تكوين التربة، والتركيب المعدني للتربة، بالإضافة إلى فكرة عن غرويات التربة والمادة العضوية، وموضوعات أخرى تتعلق بالخواص الكيميائية والفيزيائية والمائية للتربة، وكذلك فصل عن تصنيف التربة، وآخر يعطي فكرة عن الترب السورية. وذلك تماشياً مع مفردات مقرر أسس علم التربة لطلاب السنة الثانية في كليات الزراعة بجامعة دمشق.

هذا وإن غاية ما نرجوه أن نكون قد قدمنا عملاً ينفع به طلابنا الأعزاء والمهتمين بهذا الموضوع، وأن يمد هذا الكتاب بما يضم بين يديه، ثغرة في المكتبة العلمية العربية.

دمشق في تشرين الأول ٢٠١٢

والله ولي التوفيق

المؤلف





الفصل الأول
لمحة جيولوجية عن الأرض والقشرة الأرضية



الفصل الأول

٢- لمحة جيولوجية عن الأرض والقشرة الأرضية

1-1- مقدمة: Introduction:

- يهدف علم الجيولوجيا Geology إلى دراسة الظواهر والتغيرات التي طرأت على الكرة الأرضية وتفسيرها، والكائنات الحية التي تسكنها، من بداية تشكلها حتى العصر الحالي، لذلك فإن علم الجيولوجيا (علم الأرض) يهتم بدراسة الأرض من جوانبها كافة .
- وعلى حساب أن القشرة الأرضية أو الغلاف الصخري Lithosphere، هو الأقرب لمتناول اليد، فقد انصب جل الاهتمام عليه بكل ما هو متوافر من تقنيات العصر.
- تتألف الأرض من مكونات عدة، كالهواء والماء والجليد والكائنات الحية والصخور والمعادن، وتعد الأرض في حالة تغير وتطور مستمرين، لما تتعرض له من تأثيرات خارجية على سطحها، كحركة الرياح والأمطار والجليديات وغيرها. أو تأثيرات داخلية كحركة المواد المنصهرة والزلازل والنشاطات البركانية، كل هذه العوامل تؤدي إلى /تكوين/ صخور جديدة من القديمة، توزع جديد لليابسة والبحار والمحيطات والجبال والسهول وغير ذلك.
- لقد تطور علم الجيولوجيا واتسع وازداد شمولية مع تطور العلوم الأخرى، حيث أصبح من الضروري تقسيم هذا العلم إلى فروع أكثر تخصصية، ونذكر من هذه الفروع ما يلي:
- علم الصخور Petrography: الذي يهتم بدراسة الصخور، التي تشكل المادة الأساسية لمختلف الدراسات الجيولوجية، أنواعها، أشكالها، توزيعها، وصفاتها.
 - علم المعادن Mineralogy: يدرس هذا الفرع المعادن بأنواعها المختلفة، التي تعد المادة الأساسية لتكوين الصخور.
 - علم البلورات Crystallography: يختص هذا الفرع بدراسة بنية البلورات التي تتكون منها المعادن، خواصها الفيزيائية والضيائية وأشكالها وتركيبها البلوري.
 - علم التضاريس Geomorphology: يهتم هذا العلم بدراسة شكل سطح القشرة الأرضية، والعمليات المختلفة الفاعلة في تكوين هذا السطح.
 - علم المياه الجوفية Hydrogeology: يدرس هذا الفرع حركة المياه الجوفية وتأثيراتها الجيولوجية.

وهناك العديد من فروع الجيولوجيا الأخرى، مثل الجيولوجيا الحركية Geodynamics وهندسة الأرض Tectonic والكيمياء الجيولوجية Geochemistry، وعلم الطبقات Stratigraphy... إلخ.

١-٢- معلومات عامة عن الأرض General information on the Earth:

الأرض هي إحدى كواكب المجموعة الشمسية، التي تتألف من الشمس ومجموعة أخرى من الكواكب، وتضم المنظومة الشمسية الكواكب التالية بحسب قربها من الشمس: عطارد Mercury، الزهراء Venus، الأرض Earth، المريخ Mars، المشتري Jupiter، زحل Saturn، أورانوس Uranus، نبتون Neptune، وأخيراً بلوتو Pluto.

٢- شكل الأرض Earth form:

يدعى شكل الأرض بالجيونيد Geoid وهو عبارة عن جسم كروي مفلطح عند القطبين، ويختلف القطر الاستوائي عن القطر القطبي للأرض بحوالي 42 كم، حيث يبلغ الأول 12756 كم والثاني 12714 كم، يبلغ محيط الأرض عند خط الاستواء 40077 كم، ويبلغ محيطها عند القطبين 40000 كم، تشكل اليابسة 29.2% من مساحة سطح الأرض البالغة 510 مليون كيلو متر مربع، بينما تشغل المياه حوالي 70.8% من سطح الكرة الأرضية.

٢- بنية الأرض Earth structure:

الأرض جسم غير متجانس التركيب، تتألف من عدة أغلفة تختلف فيما بينها بمجمل صفاتها الفيزيائية والكيميائية، وهذه الأغلفة هي: القشرة الأرضية، الغلاف المتوسط، النواة المركزية، الغلاف المائي والغلاف الجوي. (الشكل رقم 1) وفيما يلي وصف موجز لكل منها:

أ- النواة المركزية Earth core:

تشكل النواة مركز الكرة الأرضية وتقسّم قسمين: النواة الخارجية: وتقع بين عمق 2900 - 5100 كم، والنواة الداخلية أو المركزية، وتمتد من عمق 5100 كم حتى مركز

الأرض، تبلغ كثافة النواة حوالي 12 غ/سم³ ، وهذا يفسر الضغط الهائل التي تتعرض لها،
وتتراوح درجة حرارة النواة بين 2500 - 3000 م°.

يفترض بعض العلماء أن مواد النواة تتألف بشكل رئيسي من الحديد والنيكل، لذلك
تدعى اختصاراً بالـ Nil'c أي (Ni و Fe) ، ويعتقد بعضهم الآخر أن المواد المشكلة للنواة
لا تختلف في تركيبها الكيميائي عن مواد الغلاف المتوسط.

ب- الغلاف المتوسط Mantle:

يمتد هذا الغلاف بين 8 - 80 كم من سطح الأرض وحتى عمق 2900 كم، وهو يحيط
بالنواة المركزية، تبلغ كثافة الصخور المكونة لهذا الغلاف 3.3 غ/سم³ تحت القشرة الأرضية
مباشرةً وتصل إلى 6.5 غ/سم³ عند السطح الخارجي للنواة، يتم التعرف على تركيب هذا
الغلاف من خلال دراسة الحمم البركانية والنيازك الحجرية والصبات البركانية، يعتقد بأن أكثر
العناصر وجوداً في هذا الغلاف هي: السيليكون والمغنيزيوم. لذلك أطلق عليه اسم Sima
أي (Si و Mg).

ج- القشرة الأرضية Earth crust أو الغلاف الصخري Lithosphere:

يتألف هذا الغلاف من مواد صخرية غنية بالسيليسيوم والألمنيوم وقد أطلق عليها اسم
سيال Sial ، تبلغ سماكة القشرة الأرضية حوالي 100 كم وتتألف من ثلاث طبقات رئيسية
هي:

1- طبقة الصخور البازلتية، وهي متوضعة في الأسفل وتبلغ سماكتها حوالي 30 كم،
وتتراوح كثافتها بين 2.8 - 2.9 غ/سم³.

2- طبقة الصخور الغرانيتية في الوسط وسماكتها 50 - 70 كم تحت المناطق الجبلية، ويمكن
أن تنعدم في بعض المواقع، كثافتها بين 2.6 - 2.7 غ/سم³.

3- طبقة الصخور الرسوبية في الأعلى، وتتشكل عادة في قيعان المحيطات والبحار وأماكن
تجمع المياه الأخرى، وتتفاوت في سماكتها وكثافتها، وبشكل عام كثافتها أقل من الطبقتين
السابقتين وتتراوح بين 0.8 - 2.7 غ/سم³ وسماكتها من 10 - 10 كم، الجدول رقم
(1) يبين التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية.

د- الغلاف المائي Hydrosphere :

يضم هذا الغلاف كل أشكال الماء الموجودة في الطبيعة، سواء في حالته السائلة كما في البحار والمحيطات والأنهار والمياه الجوفية، أو في حالته الصلبة كالجليديات والثلوج أو على شكل بخار ماء، يشكل الغلاف المائي نحو 70.8 % من مساحة الأرض، أي حوالي 361 كم³ من المساحة الإجمالية للكرة الأرضية، تبلغ سماكة الغلاف المائي حوالي 4 كم ويمكن أن يصل أقصاه إلى 10.5 كم.

هـ- الغلاف الجوي Atmosphere :

ويمثل الطبقة الغازية التي تحيط بالقشرة الأرضية والغلاف المائي، يوجد الجزء الأعظم من الكتلة الغازية (90%) ، بالقرب من الكرة الأرضية وتصل إلى ارتفاع لا يزيد عن 16 كم فوق سطحها.

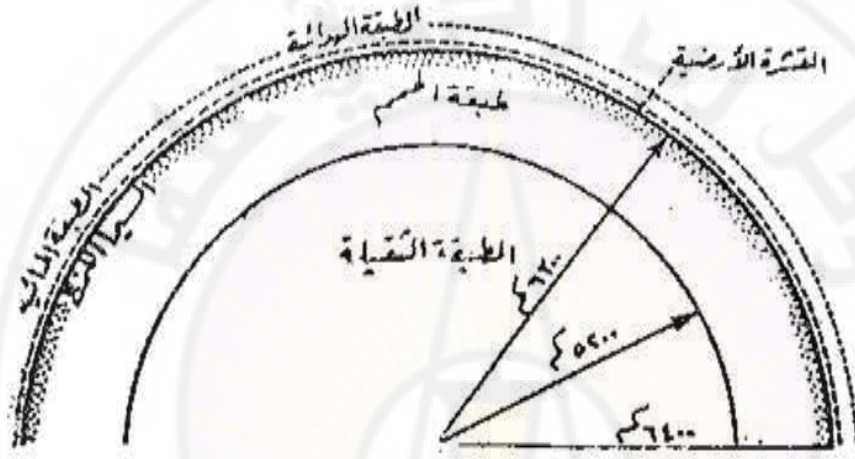
يدخل في تركيب الغلاف الجوي مجموعة كبيرة من الغازات، تتفاوت كميتها بشكل كبير، أهمها الأزوت الذي يشكل 78% من حجم الغلاف الجوي يليه الأوكسجين 21% منه أما غاز ثاني أكسيد الكربون فيشكل نحو 0.03 % .

جدول رقم (1)، يبين متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

العنصر	%	الأوكسيد	%
O	46.5	SiO ₂	59.07
Si	27.6	Al ₂ O ₃	15.22
Al	8.1	Fe ₂ O ₃	3.10
Fe	5.1	FeO	3.71
Ca	3.6	CaO	5.10
Mg	2.1	MgO	3.45
Na	2.8	Na ₂ O	3.71
K	2.6	K ₂ O	3.11
Ti	1.6	TiO ₂	1.03
P	0.12	P ₂ O ₅	0.30
Mn	0.09	MnO	0.11
S	0.06	H ₂ O	1.30
Cl	0.05		
C	0.04		

و - الغلاف الحيوي Biosphere :

يعرف الغلاف الحيوي بأنه ذلك الجزء من الكرة الأرضية الذي تجمعه الكائنات الحية، لذلك فهو يشمل أجزاء من الغلاف الجوي والغلاف المائي والقشرة الأرضية، يمكن أن يصل ارتفاع الغلاف الحيوي في الغلاف الجوي حوالي 5 كم، ويصل عمق هذا الغلاف في القشرة الأرضية حوالي 3 - 4 كم، يعد هذا الغلاف أي الحيوي بما يحويه من كائنات حية، عاملاً أساسياً من عوامل التجوية وتكوين الترب.



الشكل (1) بنية الكرة الأرضية

1-3- التركيب المعدني للقشرة الأرضية

Mineralogical composition of the earth crust

1-3- معادن القشرة الأرضية:

1-1- مقدمة Introduction :

يمكن تعريف المعادن Minerals على أنها أجسام طبيعية صلبة غير عضوية، نشأت بفعل عوامل جيولوجية طبيعية مختلفة داخل الأرض أو على سطحها الخارجي، وهي تتميز بصفات كيميائية وفيزيائية وبلورية ثابتة ومحددة، والمعادن هي المكونات الأساسية لصخور القشرة الأرضية بأنواعها المختلفة والتي تتشكل منها التربة فيما بعد.

لقد تم التعرف على عدد كبير من المعادن في الطبيعة، وبلغ هذا العدد نحو 2500 معدن، لكن ما يصادف منها بشكل واسع يتراوح بين 25 - 30 معدناً. يختلف منشأ المعادن عن بعضها بعضاً، بعضها ينشأ من المagma أو الصهار، وهي عبارة عن كتلة لزجة معقدة التركيب ثقيلة الغوام، تسمح بتحريك العناصر المكونة لها بحرية في درجات الحرارة العالية، توجد المagma عادة على أعماق محيطية تحت سطح القشرة الأرضية.

تتكون المagma من مواد غير طيارة ذات درجات انصهار عالية تزيد عن 1000 درجة مئوية، وتتكون المواد غير الطيارة في معظمها من مجموعة من الأكاسيد، أهمها أكسيد السيليسيوم SiO_2 الذي يشكل ما بين 35 - 75 % يأتي في الدرجة الثانية أكسيد الألمنيوم، ثم أكسيد الحديد بشكله الثلاثي والثاني، وأكاسيد المغنيزيوم والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، وليس من الضروري أن توجد هذه الأكاسيد كلها مجتمعة في مagma واحدة.

أما مكونات المagma الطيارة فأهمها الفلور والكلور والكبريت وغاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء الذي يعد أهمها، ولا تشكل المواد الطيارة أكثر من 1 % من مكونات المagma. تتكون بعض المعادن أيضاً من المواد الذائبة في مياه الأنهار والبحار والمحيطات، وذلك بسبب تبخر السائل المنيب وترسب الأملاح، مثل أملاح الكربونات ($CaCO_3$) وأملاح الكبريتات ($CaSO_4$) وأملاح الكلور $NaCl$.

كما تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة العالية المصحوبة بضغط مرتفع، فتغير هذه المعادن تغيراً جزئياً أو كلياً في بنيتها وتركيبها الكيميائي وخواصها الفيزيائية، كتغير المعادن المائية بفعل عمليات الاستحالة إلى معادن لا مائية مثل الهيماتيت والمغنتيت.

٣-١-٢ - تصنيف المعادن Classification of minerals

تصنيف المعادن تبعاً لمجموعة من المعايير، منها : البناء البلوري، تركيبها الكيميائي، منشأها، الصخور التي تدخل المعادن في تركيبها وغيرها من المعايير، وسوف تعتمد التصنيف التالية:

أ - بحسب منشئها Genetic Classification

تقسم المعادن بحسب منشئها إلى:

١- معادن أولية Primary minerals: وهي عبارة عن المعادن الموجودة أصلاً في الصخور، وفي حبيبات التربة الخشنة، وهي معادن لم تتعرض إلى أي تغيير في تركيبها الكيميائي أو البلوري، وقد تتعرض إلى تجوية فيزيائية، تؤدي إلى تغيير في حجمها فبحسب.

٢- معادن ثانوية Secondary minerals: وهي معادن تكونت نتيجة لتشكلات حديثة Neoformation أو تحولت من المعادن الأولية، وذلك بسبب عمليات التجوية الكيميائية والإذابة.

لا يقصد بكلمة معادن ثانوية للدلالة على الأهمية، بل على منشأ هذه المعادن علماً أن المعادن الثانوية تشكل معظم مكونات الترب في الكثير من الحالات.

ب - تصنيف المعادن بحسب البنية البلورية Crystallographic classification:

١- معادن متبلورة Crystalline minerals: يقصد بها المعادن التي تملك بنية بلورية محددة وثابتة بالنسبة للنوع الواحد، وهي السائدة تقريباً في الطبيعة.

٢- معادن غير متبلورة Amorphous minerals: وهي معادن لا تملك بنية بلورية محددة، بمعنى أن توزع الذرات ضمن الوحدة الخلوية، لا يتبع نظاماً محدداً.

ج - التصنيف بحسب التركيب الكيميائي Chemical classification:

تصنف المعادن بحسب تركيبها الكيميائي إلى:

١- المعادن وحيدة العنصر: يضم هذا الصف المعادن التي تتكون من عنصر واحد مثل الذهب والفضة.

٢- المعادن الكبريتية: وهي المعادن التي تحتوي في تركيبها على الكبريت بالإضافة إلى عنصر معدني، ومن هذه المعادن البيريت (FeS_2) و الغالينا PbS

٣- المعادن الهالوجينية: وتسمى أيضاً الهاليدات، وهي أملاح لأحماض (HCl ، HF ، HI) ومثالها: الهاليت $NaCl$ و الفلوريت CaF_2 وغيرها.

٤- صف الأكاسيد: تعد معادن هذا الصف من المعادن الواسعة الانتشار في الطبيعة، وتلعب دوراً مهماً في تكوين القشرة الأرضية وبالتالي التربة، ويضم هذا الصف، أكاسيد السيليسيوم مثل الكوارتز والكالسيوم، وأكاسيد الحديد مثل الهيماتيت والغوليت، وأكاسيد الألمنيوم كالجبسيت والبيكسيت وغيرها.

٥- صف الأملاح ويضم المجموعات التالية:

- الكربونات وهي أملاح لحمض الكربون، مثالها الكالسيت CaCO_3 والدولوميت $(\text{Mg,Ca}) (\text{CO}_3)_2$

- الكبريتات: وهي أملاح لحمض الكبريت ومثالها الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

- الفوسفات: وهي أملاح لحمض الفوسفور، مثالها الأباتيت.

- النترات: ومثالها نترات الصوديوم ونترات البوتاسيوم وهي أملاح لحمض الأزوت.

٤- صف السيليكات: تعد معادن هذا الصنف الأكثر وجوداً في القشرة الأرضية، وتشكل نحو 85 % من وزنها، وتنتشر انتشاراً كبيراً في معظم القرب.

تتميز معادن هذا الصف ببنية وتركيب كيميائي معقدين، يدخل في تركيبها بشكل أساسي رباعيات الوجوه السيليسية، وتضم سيليكات بسيطة مثل الأولفين والبيروكسين والفلسبار، وسيليكات أكثر تعقيداً تحتوي إضافة إلى رباعيات الوجوه، ثنائيات الوجوه، وتدعى السيليكات الألومينية مثل الميكا والكاؤولينيت.

- البنية البلورية Crystal structure:

تحتوي الصخور والتربة على حد سواء، على نوعين من المعادن بالعلاقة مع حالة التبلور، معادن غير متبلورة وهي الأقل انتشاراً، ومعادن متبلورة وهي واسعة الانتشار.

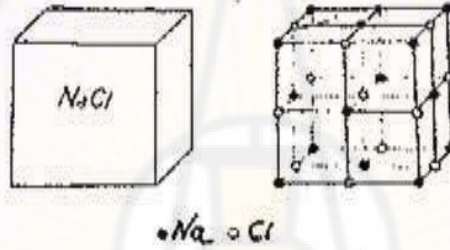
تلعب البنية البلورية للمعادن دوراً مهماً في تحديد خواصها الكيميائية والفيزيائية والصلابة، ومدى مقاومتها للتجوية. وتعد البنية البلورية ثابتة بالنسبة للمعدن الواحد.

ولأهمية الخلية البلورية، كوحدة أساسية في بناء المعادن، لابد من إعطاء فكرة موجزة

عن البلورة .

- البلورة Crystal:

تعرف البلورة Crystal على أنها جسم صلب له تركيب ذري معين ومحدد بواسطة سطوح طبيعية مستوية تدعى الوجوه، تتكفي مع بعضها بواسطة حروف وزوايا، إن ذرات هذا الجسم مرتبطة مع بعضها بعضاً بشكل هندسي يعيد نفسه في اتجاهات الفراغ الثلاثة. لعل أبسط مثال على بنية البلورة وتوضع الذرات فيها، هو بلورة كلور الصوديوم NaCl (الشكل 2)، حيث يبين توزيع ذرات الصوديوم والكلور في الشبكة البلورية، كما يلاحظ من الشكل أن كل ذرة صوديوم محاطة بست ذرات من الكلور، وكذلك كل ذرة كلور محاطة بست ذرات صوديوم، ويلاحظ أيضاً أن الذرات الداخلية متعادلة كهربائياً، بينما تكون الذرات السطحية غير مشبعة وبالتالي تكتسب البلورة شحنة موجبة أو سالبة.



الشكل (2)، بنية بلورة كلور الصوديوم

ولفهم طبيعة البنية البلورية لابد من الإشارة إلى أنواع الروابط التي تربط الذرات مع بعضها بعضاً.

إن الروابط متعددة ومتباينة، ومنها الروابط الأيونية Ionic bond، حيث تخسر إحدى الذرتين إلكترونات أو أكثر وتصبح موجبة، بينما تكتسب الذرة الثانية إلكترونات أو أكثر وتصبح سالبة، كما هو الحال في اتحاد الصوديوم مع الكلور.



وهناك أيضاً الرابطة المشتركة Covalent bond ، حيث تشترك ذرات من مادة واحدة بعدد من الالكترونات، مثل اتحاد ذرتين من الكلور Cl :

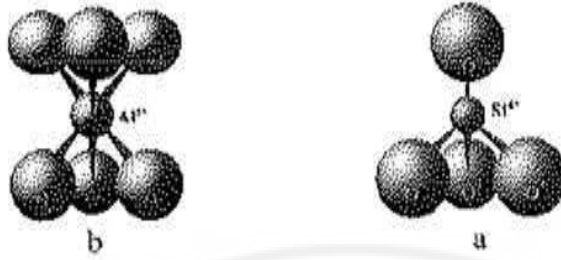


وهناك أيضاً الروابط المعدنية والهيدروجينية وغيرها.

يعتمد توضع الذرات ضمن الوحدة البلورية عموماً على حجم هذه الذرات، والفراغ الذي تتركه بينها لتتوضع فيها ذرة ذات شحنة معاكسة، ويدعى ذلك برقم التناسق Coordination number ، ويعني عدد الذرات التي تحيط بذرة مركزية ذات شحنة مخالفة، يحدد رقم التناسق بناء على ذلك، فإذا أحيطت ذرة مركزية بأربع ذرات محيطية، يقال عنها رباعية التناسق كما هو الحال بالنسبة لكاتيون السيليكون الذي يحاط بأربع ذرات من الأوكسجين، ويقال رقم تناسق سداسي، عندما تحيط ست ذرات بذرة مركزية مخالفة لها بالشحنة، كما هو الحال بالنسبة لكاتيون الألمنيوم الذي يحاط بست ذرات من الأوكسجين، ويبين الجدول التالي عدد التناسق لبعض الكاتيونات المهمة:

عدد التناسق	الكاتيون
4	Si ⁴⁺
4,6	Al ³⁺
4,6	Fe ³⁺
6	Mn ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Li, Ti
12	Ca ²⁺ , K, Na

وابتداءً من ذلك، فإن ذرات الأوكسجين التي تحيط بكاتيون معين، تشكل وحدة هندسية يتوقف شكلها على عدد التناسق، فالتناسق الرباعي كما في SiO₄ يعطي وحدة هندسية رباعية الوجوه (هرم) تدعى Tetrahedron، حيث يشكل السيليكون مركز التناسق، والتناسق السداسي يعطي وحدة هندسية لها شكل ثمانية وجوه Octahedron (هرمين مشتركين بقاعدة واحدة كما في Al³⁺OH₆) (الشكل 3).



الشكل (3)، رسم تخطيطي: a رباعية وجوه، b - ثنائية وجوه

تعد كل من رباعية الوجوه وثنائية الوجوه من أكثر الوحدات البلورية انتشاراً في الصخور أو التربة.

يمكن لرباعيات الوجوه أن تتشارك بزواياها فقط، إلا أن عدد الزوايا المشتركة وطريقة المشاركة، تحدد إلى درجة كبيرة طبيعة السيليكات الناتجة وشكلها. (الشكل 4) ... رباعيات وجوه معزولة Orthosilicates، وفيها تبقى الزوايا غير مرتبطة، وصيغتها العامة SiO_4^{4-} ومثالها الأولفين $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_4$.

وقد ترتبط رباعيتا وجوه معاً لتشكل رباعية مزدوجة مثل معدن الهيمومورفيت. أو تتجمع رباعيات الوجوه على شكل حلقة وتدعى بالسيليكات الحلقية Ring-silicates مثل معدن التورمالين.

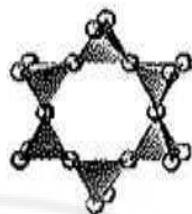
- رباعيات وجوه تشترك بزواياها، وتدعى بالسيليكات الشريطية أو السلمية Chain-silicates، وقد تكون سلسلة بسيطة مثل البيروكسينات، أو سلسلة مزدوجة مثل الأمفيبولات.

- رباعيات وجوه تشترك بثلاث زوايا؛ لتشكل صفائح أو رقائق ثنائية الأبعاد، صيغتها العامة $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ ، وتدعى هذه البنية بالسيليكات الورقية أو الطباقية Layersilicates، وتنضم هذه معظم معادن الطين المهمة في التربة.

- رباعيات وجوه تشترك بأربع زوايا، لتشكل بنية متعادلة كهربائياً، صيغتها العامة SiO_2 وتدعى بالسيليكات الهيكلية Framework silicates، ومثالها الكوارتز.



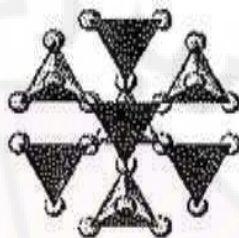
شريحة رباعية وجوه معزولة



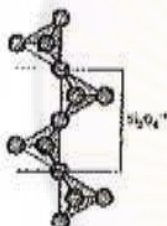
البنية الحلقية



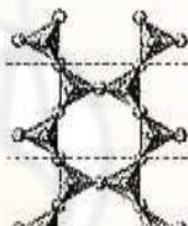
رباعية وجوه مزدوجة



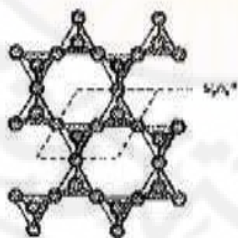
البنية الهيكلية



البنية الشريطية البسيطة



البنية الشريطية المزدوجة



شريحة رباعيات وجوه

الشكل (4)، يبين أشكال البنى الناتجة عن اتحاد رباعيات الوجوه السيليكاتية

1-3-3 معادن الغطاء الأرضي Minerals of pedological cover

1-3-1 مقدمة:

تحتوي التربة أو الغطاء الأرضي من حيث المنشأ على نوعين من المعادن، معادن أولية وهي معادن موروثية من الصخرة الأم ولم تتعرض إلى أي تغيير في تركيبها الكيميائي أو البلوري، بل تعرضت إلى تغييرات ميكانيكية فبحسب، ومعادن ثانوية، وهي تلك التي تكونت في التربة من عناصر تحررت بسبب تجوية المعادن الأولية، أو تكونت بسبب تحول بعض المعادن الأولية نتيجة لإضافة أو طرح عناصر منها.

تتباين نسبة المعادن الأولية والثانوية في التربة أو الغطاء الأرضي، تبعاً للظروف المناخية السائدة وظروف التجوية، ودرجة تطور التربة. فعادة تسود المعادن الثانوية في تربة المناخات الرطبة، وتسود الأولية في تربة المناخات الجافة.

تختلف المعادن الأولية والثانوية في مدى مقاومتها للتجوية، تحت تأثير عوامل تكوين التربة المختلفة، وغالباً، تتهدم معظم المعادن تحت تأثير عوامل التجوية المختلفة، ويشذ عن ذلك بعض المعادن شديدة المقاومة مثل الكوارتز، وعصوماً تساهم المعادن في البحث عن العلاقة بين منشأ التربة والصخور الأم، ودرجة تطور التربة وعمرها، إلى غير ذلك.

1-3-2 المعادن الأولية Primary minerals

سنعرض فيما يلي لأهم المعادن الأولية التي لها انتشار واسع في كل من الصخور والتربة.

أ- مجموعة الفلدسبارات:

تعد الفلدسبارات من أكثر المعادن انتشاراً في الصخور والتربة، حيث تشكل نحو ٥٠-٦٠% من وزن الصخور و ١٠-١٥% من وزن التربة.

تتألف البنية البلورية لهذه المعادن من رباعيات وجوه السيلسيوم والألمنيوم، وتشبع الشحنت السالبة فيها والنتيجة عن استبدال الألمنيوم للسيليكون بوساطة كاتيونات الـ Ca , Na , K ، مكونة بنية هيكلية متعادلة كهربائياً، تتميز بعض هذه المعادن بمقاومة عالية نسبياً للتجوية، ولها ألوان فاتحة تتراوح بين الأبيض والأصفر والزهري والأحمر، تبلغ

كثافة هذه المعادن نحو 2.7 غ/سم³ ، وتبعاً لنوع الكاتيون المشبع للشحنة يمكن تمييز المعادن التالية:

١- الألبيت (الفلدسبار الصودي) $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$: يتبلور في فصيلة ثلاثي الميل، وزنه النوعي 2.61 - 2.64 يشترك الألبيت مع معدن الأثورثيت ليشكل مجموعة من الفلدسبارات الصودية - الكلسية، تدعى بالبلاجيوكلاز Plagioclase.

٢- الأثورثيت (الفلدسبار الكلسي) $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

٣- الأورثوكلاز (الفلدسبار البوتاسي) KAlSi_3O_8 ، وهو أكثر الأنواع انتشاراً، حيث يكثر في الصخور الاندفاعية، وزنه النوعي 2.5 - 2.54 ، يتبلور في فصيلة أحادي الميل. هناك معدن آخر يماثل الأورثوكلاز وهو الميكروكلين، ويختلف عنه في كونه يتبلور في فصيلة ثلاثي الميل.

تنتمي الفلدسبارات في التربة غالباً إلى مجموعتي الرمل والملت، وعند تجويتها فإنها تحرر عناصر، تعد على قدر كبير من الأهمية في تغذية النبات، وتساهم إلى درجة كبيرة في تكوين معادن الطين من خلال عناصرها التي تحررت خلال عملية التجوية.

ب - مجموعة البيروكسين والأمفيبول Pyroxenes and amphiboles group:

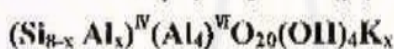
١- البيروكسين: تتكون معادن البيروكسين من ارتباط رباعيات الوجوه جانبياً بواسطة كاتيونات $\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}$ ، تحتوي معظم معادن البيروكسين على كميات عالية من الحديد والمغنسيوم، حيث تصل نسبة MgO و FeO إلى نحو 30 %، لهذه المعادن وزن نوعي يتراوح بين 3.1 - 3.5، تتبلور معادن البيروكسين في أكثر من نظام بلوري (المعيني القاتم، أحادي الميل وثلاثي الميل).

يعد معدن الأوجيت Augite $[(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3] [\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{SiO}_3)_2]$ من أهم معادن هذه المجموعة، ويتميز بمحتواه العالي من CaO فنسبته قد تصل إلى 20 %، ومن مجموعة البيروكسين أيضاً الإنستاتيت MgSiO_3 Enstatite ،

٢- الأمفيبول Amphiboles: تتألف معادن هذه المجموعة من سلاسل مزدوجة ترتبط بواسطة مستويات من الكاتيونات موجودة في رباعيات وجوه (Fe, Mg) ، من معادن الأمفيبول المهمة معدن الهوربلند وصيغته $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe, Al})_5(\text{OH})_2[(\text{Si, Al})\text{O}_{11}]_2$ تعد معادن الأمفيبول والبيروكسين ضعيفة المقاومة نسبياً للتجوية، لذلك فإن وجودها يقتصر غالباً على التربة الفتية نسبياً، والمتكونة على صخور اندفاعية، وتندعم هذه المعادن تقريباً في التربة القديمة التي تعرضت لدرجات تجوية متقدمة.

ج- مجموعة الميكا Micas:

تنتشر هذه المجموعة بشكل واسع نسبياً في التربة وصخور القشرة الأرضية وأهم معادنها، المسكوفيت والبيوتيت والأليت والغلوكونيت وغيرها، لهذه المجموعة بنية طبقية، حيث تتألف كل طبقة من ثلاث شرائح، شريحتان من رباعيات الوجوه تحصران بينهما شريحة من ثمانية الوجوه، ولهذه المجموعة الصيغة البذائية:



تتميز هذه المعادن بانفصام كامل وواضح، وخاصة المسكوفيت، وتعد معادن الميكا مصدراً مهماً لعنصر K الضروري لتغذية النبات.

يتبلور كل من المسكوفيت والبيوتيت في فصيلة أحادي الميل، قساوتهما ٢-٣، ووزنهما النوعي نحو 3.10، للمسكوفيت لون أبيض وتسمى بالميكا البيضاء، والبيوتيت لون أسود أو داكن وتسمى بالميكا السوداء.

د - الأولفين Olivine:

يوجد هذا المعدن في الصخور الاندفاعية، وخاصة البازلتية منها، يحتوي على كميات كبيرة من Fe و Mg، صيغته $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_4$ ، ويمكن تمييز نوعين من الأولفين، أولفين حديدي $(\text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ، وأولفين مغنيزي $(\text{Mg})_2\text{SiO}_4$ يتبلور الأولفين في فصيلة المعيني القائم، قساوته 6.5 - 7، ووزنه النوعي 3.3، ولونه يتراوح بين الأخضر والأصفر المخضر، يتميز هذا المعدن بقابليته العالية للتجوية، لذا فإنه غالباً ما يوجد في مجموعتي الرمل وأحياناً السلت.

هـ - الكوارتز (SiO₂) Quartz:

يعد الكوارتز من أكثر المعادن انتشاراً في الصخور والتربة على حد سواء، ويعد من أكثرها مقاومة للتجوية، وهو متوازن كهربائياً.

يتبلور الكوارتز في النظام البلوري ثلاثي الميل، قساوته 7، ووزنه النوعي 2.65، تتصف سطوح بلوراته بعدم استوائها، وله ألوان متعددة وذلك بحسب نوع الشوائب الداخلة في تركيبه، فقد يكون عديم اللون، أبيض، دخانياً، زهرياً،... الخ.

يوجد الكوارتز في الترب في مجموعة الرمل غالباً، وقد يشكل أكثر من 70 % من وزن الترب الرملية، إن وجد الكوارتز في التربة بنسبة كبيرة، يكسبها خصوبة ضعيفة جداً، وذلك بسبب خلو هذا المعدن من العناصر المغذية.

و - الأباتيت Apatite:

لهذا المعدن الصيغة $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$ ، يعد من المعادن شديدة الثبات، يتبلور في الفصيلة السداسية، وزنه النوعي 3.2 قساوته 5، ألوانه تتراوح بين عديم اللون، أو أخضر وقد يصادف بلون أصفر، انفصامه غير تام.

عدد تجوية معدن الأباتيت يتحرر منه عنصر الفوسفور الذي يعد من أهم العناصر المغذية للنبات.

هناك عدد آخر من المعادن الأولية التي تدخل في تركيب الصخور والتربة، والتي تتميز بثباتها الشديد ومقاومتها العالية للتجوية، تساهم هذه المعادن في دراسة منشأ التربة وعمرها ومن أهمها التورمالين، الإبيدوت، الروتيل والزركون، وغيرها.

3- المعادن الثانوية (Secondary minerals):

يقصد بالمعادن الثانوية تلك التي تتكون على حساب نواتج تجوية المعادن الأولية، أو عن طريق التحول من معدن إلى آخر.

توجد المعادن الثانوية عادة على حالتين، متبلورة أو عديمة التبلور، وحالة عدم التبلور هذه ليست دائمة، فالعديد من المعادن غير المتبلورة، تتحول إلى معادن متبلورة مع الزمن وتقدم عمليات التجوية، وغالباً ما تترافق عمليات التحول هذه بتغير في طبيعة المعدن. ومن أهم المعادن الثانوية:

أ - الأكاسيد Oxides:

1- أكاسيد الحديد Iron oxides:

يكون معظم الحديد في الصخور مرتبطاً مع السيليكا على شكل Fe^{+2} ، وعندما يتحرر يتعرض لتفاعل أكسدة (يتحول إلى Fe^{+3}) وتميه في الوقت نفسه، يترسب الحديد الثلاثي في التربة على شكل أكاسيد أو ماءات حديد، وقد يدخل جزء صغير من الحديد المتحرر في بناء بعض سيليكات الطين و/ أو يرتبط مع المعقدات العضوية.

تختلف أكاسيد الحديد فيما بينها، على الرغم من تماثل طريقة تشكيلها، ويعود هذا الاختلاف لدخول أو اندماج بعض الأيونات ضمن الشبكة البلورية، مما يؤثر في درجة تطور الشبكة البلورية، وفيما يلي أهم أكاسيد الحديد:

- الغوثيت $FeOOH$: من الأكاسيد المنتشرة في التربة، ويتميز بدرجة ثبات عالية، ويعد هذا المعدن مسؤولاً عن اللون البني المصفر لكثير من التربة، ولهذا المعدن شكل إبري. الهيماتيت Fe_2O_3 : يعد هذا الأوكسيد واسع الانتشار في التربة، ويضافي على التربة اللون الأحمر، وتأثيره كبير على تلوّن التربة حتى عند وجوده بكميات قليلة. ليس لبلورات الهيماتيت نموذج واضح، وغالباً ما تسود منه حبيبات متساوية الأبعاد أقطارها أقل من 0.1 ميكرون، لونه يماثل الحديد الأسود أو يكون محمراً، كثافته 5 - 5.2 غ/سم³، وقساوته بين 5.5 - 6.

- المغنيتيت Fe_3O_4 : يختلف هذا المعدن عن الهيماتيت بخواصه المغناطيسية، كثافته 4.9 - 5.2 غ/سم³، وقساوته 5.5 - 6.

- الليمونيت $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$: يطلق اسم الليمونيت لوصف أكسيد الحديد المميه، لهذا المعدن بنية بلورية ضعيفة التطور، ويمكن عد هذا الشكل من أكاسيد الحديد الأكثر انتشاراً في الطبيعة. يتغير لون الليمونيت من البني إلى البني المصفر.

تلعب أكاسيد الحديد دوراً مهماً في تكوين بناء التربة، حيث تلعب كموا لاجمة ومجموعة للحبيبات، ويمكن للحديد في بعض أنواع التربة الغنية به، أن يتراكم ليشكل طبقة صلبة وكثيفة.

2- أكاسيد الألمنيوم Aluminum oxides:

توجد أكاسيد الألمنيوم غالباً في التربة التي خضعت لعمليات تجوية شديدة، ويمكن عدّ أكاسيد الألمنيوم نواتج تجوية متقدمة لسيليكات الألمنيوم، تقسم أكاسيد الألمنيوم من حيث تركيبها الكيميائي إلى مجموعتين: مجموعة الأكاسيد ثلاثية المرات وصيغتها $Al(OH)_3$ وتضم الجبسيت والباريت، ومجموعة الأكاسيد أحادية المرات وصيغتها Al_2O_3 ومثلها الدياسبور والبهيميت، وكذلك يوجد من أكاسيد الألمنيوم الكوريندوم Al_2O_3 :

- الجبسيت $Al(OH)_3$: من أهم أكاسيد الألمنيوم، يوجد في التربة التي تعرضت لعمليات تجوية شديدة، ويتميز بدرجة تبلور عالية وكبر حجم حبيباته أو بلوراته، وزنه النوعي 2.43 غ/سم³، وقساوته تتراوح بين 2.5-3.5، لونه أبيض أو أصفر شاحب.
- البهيميت Al_2O_3 : وجدت هذه المعادن في تربة البوكسيت، التي تعرضت لعملية غسل شديدة، للبهيميت بلورات صغيرة جداً، ومن الصعب الحصول على بلورة مفردة منه، عديم اللون أو أبيض مصفر، قساوته 3.5 ووزنه النوعي نحو 3 غ/سم³.
- الدياسبور Al_2O_3 : يوجد هذا المعدن في أماكن وجود البهيميت، بلوراته كبيرة الحجم نسبياً مقارنة مع البهيميت، يوجد بعدة ألوان، بني مصفر أو أبيض أو بنفسجي فاتح أو رمادي مخضر، للدياسبور قساوة تتراوح بين 6-7 ووزنه النوعي 3.3-3.5 غ/سم³.
- ... الكوريندوم Al_2O_3 : معدن لامائي متبلور، بلوراته هرمية أو على شكل تجمعات حبيبية، لونه رمادي أزرق غامق (سفير)، أو أحمر (ياقوت) أو أسود (أسيري)، قساوته 9، ووزنه النوعي 3.9-4.1 غ/سم³.

3- أكاسيد السيليكا Silica oxides:

تصانف هذه المعادن، وهي غالباً غير متبلورة، في الصخور وقشور التجوية والتربة. ومن هذه المجموعة:

- الأوبال $SiO_2 \cdot nH_2O$ Opal: معدن غير متبلور، شفاف أبيض ذو صبغات مختلفة وزنه النوعي يتراوح بين 1.9-2.3، يوجد الأوبال في الصخور الرسوبية والتربة على شكل هلامات صلبة تحتوي على كميات مختلفة من الماء، وقد يحتوي الأوبال على بعض الشوائب من الحديد والألمنيوم والكالسيوم والمغنيزيوم.

يتميز الأوبال الحديث بانخفاض وزنه النوعي وارتفاع نسبة الماء فيه، إذ تصل إلى نحو 20 % ومع مرور الزمن وارتفاع الضغط والحرارة، يتخلى الأوبال عن مائه ويصبح أكثر ترصصاً ويتحول إلى صوان.

- الكالسيدوني SiO_2 : أكسيد سيليكات خالٍ من الماء، وبنية البلورية دقيقة، ووزنه النوعي 2.59-2.61 غ/سم³، يوجد الكالسيدوني على شكل أغشية في شقوق الصخور الاندفاعية وفي فراغات الصخور الرموبية، كما يلاحظ وجود الكالسيدوني على شكل عقد أو تجمعات كروية، ويصادف أحياناً على شكل تجمعات ناعمة في التربة، يتحدد لون الكالسيدوني بلون الشوائب التي يحويها.

ب - المعادن الذوابة Soluble minerals:

يقصد بهذه المعادن تلك التي تذوب بالماء، على الرغم من أن لهذه المعادن درجات ذوبان مختلفة، وهي عبارة عن أملاح للكلوريدات، والسلفات، والكربونات، والنترات، ويمكن تقسيمها من حيث درجة ذوبانها إلى ثلاث مجموعات: معادن ذات درجة عالية أو ذوابة في الماء، مثل الهاليت والسلفيت، معادن متوسطة الذوبان مثل الجبس، ومعادن منخفضة الذوبان مثل الكالسيت والدولوميت.

توجد هذه المعادن بكميات كبيرة في ترب المناطق الجافة، وذلك بسبب ظروف التجوية والغسل الضعيفة، ومن هذه المعادن:

أ- الهاليت Halite (NaCl): يوجد الهاليت على شكل بلورات مكعبية أو كتلية ويتبلور في فصيلة المكعب، عادة، عديم اللون وقد يتلون بالون مختلفة عندما يحتوي على شوائب، قساوته 2 ووزنه النوعي 2.2 غ/سم³.

ب- السلفيت Silvite KCl : يتبلور في الفصيلة المكعبية، ويتألف من 42.5 % بوتاسيوم، و47.5 % كلور، قساوته 1.5-2 ووزنه النوعي 1.97-1.99 غ/سم³، يحتوي غالباً على شوائب، ويوجد السلفيت في عروق الرواسب المائية الحارة، وتستخدم الأنواع الجيدة منه في صناعة الطلاء، وبعد السلفيت مصدراً مهماً للبوتاسيوم.

ث- الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Gypsum: يتبلور الجبس في فصيلة أحادي الميل، بلوراته مغزلية أو عدسية Lenticular متطاولة، وقد يوجد على شكل ليفي أو مساحيق ترابية، لونه أبيض، قساوته 1.5 ووزنه النوعي 2.3 غ/سم³، ينتشر الجبس عادة في ترب المناطق الجافة، عندما تتوفر مصادره الأولية، ويمكن للجبس أن يفقد ماءه ويتحول عندها إلى جبس لامائي يدعى الانهدريت CaSO_4 .

ا) الكالسيت CaCO_3 Calcite: يوجد الكالسيت بكثرة في ترب المناخات الجافة، تأخذ بلوراته شكل تجمعات حبيبية مختلفة الحجم، عديم اللون وقد يأخذ ألواناً متعددة بحسب الشوائب التي تدخل فيه، يتبلور الكالسيت في فصيلة ثلاثي الميل، قساوته 3، ووزنه النوعي 2.6-2.8 غ/سم³، يعطي الكالسيت فوراناً قوياً عند معاملته بحمض كلور الماء بسبب انطلاق غاز CO_2 ، يمكن أن يكون الكالسيت أولياً وهو كالسيت الصخور الكلسية، ويمكن أن يكون ثانوياً وهو الناتج عن الصخور الكلسية بسبب عمليات تكوين التربة (إذابة وإعادة ترسيب).

ب) الدولوميت $(\text{Ca,Mg})(\text{CO}_3)_2$ Dolomite: يتبلور الدولوميت في فصيلة ثلاثي الميل، يوجد على شكل بلورات حبيبية أو معينية، لونه أبيض رمادي، قساوته 3.5-4، ووزنه النوعي 2.9-1.8 غ/سم³، لا يتفاعل مع HCl . هناك عدد آخر من الأملاح الذوابة التي يمكن مصادفتها في التربة، لكنها لا تشكل في كثير من الحالات أي انتشار واسع، أو أهمية في تكوين التربة قياساً بالمعادن التي سبق ذكرها، ومن هذه المعادن: الميرابيليت $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ، التينارديت NaSO_4 ، والكارناليت $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$ ، والمغنيزيت Mg CO_3 ، والسيدريت FeCO_3 وغيرها، سوف يتم الحديث عنها في فصل التركيب المعدني للتربة.

ث- سيليكات الطين: سوف يتم التحدث عنها في فصل التركيب المعدني للتربة.

١-٤-١- الصخور Rocks

١-٤-١-١ مقدمة:

تتألف القشرة الأرضية Earth crust من مجموعة مواد تدعى الصخور، والصخور عبارة عن أجسام صلبة مكونة من مواد بلورية أو غير بلورية، يطلق عليها اسم المعادن، يختلف عدد المعادن التي تدخل في تركيب الصخور، فبعضها يتألف من معدن واحد مثل الصخور الكلسية، وبعضها الآخر يتألف من عدد كبير من المعادن مثل الغرانيت والبازلت. إن عدد الصخور التي تدخل في تركيب القشرة الأرضية كبير جداً، ويمكن تقسيمها من حيث منشأها أو طريقة تكوينها إلى ثلاث مجموعات:

أ- الصخور الاندفاعية Eruptive rocks: وتدعى أيضاً بالصخور النارية Igneous rocks، يفترض أن هذه الصخور قد تكونت نتيجة لتبرّد وتصلب المagma، المتدفقة من باطن الأرض، والمagma عبارة عن صهارة Melt (مواد لزجة)، مؤلفة من مواد سيليسية، توجد تحت سطح الأرض على درجات حرارة مرتفعة وضغط عالٍ، وتدعى الصخور الاندفاعية أيضاً بالصخور الداخلية المنشأ Endogenic، ومنها الغابرو والبازلت والغرانيت وغيرها.

ب- الصخور الرسوبية Sedimentary rocks: تتكون الصخور الرسوبية نتيجة لتراكم البقايا الصخرية الناتجة من عمليات التجوية، والتي يتم نقلها بواسطة عمليات النقل المختلفة (ماء، رياح، جليديات)، وتتكون أيضاً من ترسب المواد الذائبة في المياه بسبب التبخر، وتعد الصخور الرسوبية صخوراً خارجية المنشأ Exogenic أي أنها تكونت نتيجة لعوامل فاعلة على سطح الأرض، ومن الصخور الرسوبية نجد الحجر الكلسي، الحجر الرملي، الطين وغيرها.

ج- الصخور المتحولة أو الامتحالية Metamorphic rocks: وهي ناتجة من صخور موجودة أصلاً (اندفاعية، رسوبية، متحولة)، نتيجة لتغيرات كيميائية أو معدنية أو بنيائية (بشكل أساسي في الحالة الصلبة)، وذلك بسبب حدوث تغيرات في الحرارة والضغط والظروف الكيميائية على أعماق كبيرة نسبياً تحت سطح الأرض، ومن هذه الصخور: الميكاشيست والغنيس وغيرها.

1- الصخور الاندفاعية:

يمكن تقسيم الصخور الاندفاعية من حيث توزيعها بالنسبة لسطح الأرض إلى:

- صخور عميقة Plutonic rocks: وهي صخور تشكلت بسبب التبريد والتصلب على أعماق كبيرة تحت سطح الأرض، وغالباً ما يكون التصلب بطيئاً.
- صخور بركانية Volcanic rocks: وهي الصخور الناتجة عن تصلب المagma فوق سطح الأرض، وتعرض إلى تبريد وتصلب سريع نسبياً.
- المجموعة الثالثة وتقع بين المجموعتين السابقتين من حيث مكان توزيعها وخواصها، وتدعى بالصخور الوسطية وتوضع على أعماق متوسطة وتسمى Hypabyssal rocks.

أ- التركيب الكيميائي للصخور الاندفاعية:

من الناحية الكيميائية يختلف تركيب الصخور الاندفاعية عن المagma التي تشكلت منها، وهذا يعتمد على عدة عوامل منها: مصدر المواد، درجة الانصهار، شروط الضغط والحرارة، درجة مزج المagma وغير ذلك.

يعد الأوكسجين من أكثر العناصر انتشاراً في الصخور الاندفاعية، ويشكل نحو 47% من حجم هذه الصخور، لذلك يعبر عن التركيب الكيميائي للصخور بأوكسيد العناصر (الجدول 2).

جدول (2)، يبين متوسط التركيب الكيميائي لبعض الصخور الاندفاعية

المكون	متوسط التركيب الكيميائي للصخور الاندفاعية %	الغرانيت %	الديوريت %	البازلت %
SiO ₂	59.12	72.08	51.68	48.36
Al ₂ O ₃	15.34	13.86	16.40	16.84
Fe ₂ O ₃	3.08	0.86	2.73	2.55
FeO	3.80	1.67	6.97	7.92
CaO	5.08	1.33	8.40	11.07
MgO	3.49	0.52	6.12	8.06
Na ₂ O	3.84	3.08	3.36	2.26
K ₂ O	3.13	5.46	1.33	0.56
TiO ₂	1.05	0.37	1.50	1.32
MnO	0.12	0.06	0.18	0.18
P ₂ O ₅	0.30	0.18	0.35	0.24
H ₂ O	1.15	0.53	0.80	0.64

ب- بنية الصخور الاندفاعية:

تعد بنية الصخور الاندفاعية من الخواص المهمة التي يمكن أن تساهم في التعرف عليها. وتعتبر البنية عن بعض السمات مثل المسامية Porosity، والتطبّق Layering، وحجم الحبيبات ووضعها البلوري، وتصنف الصخور الاندفاعية بحسب بنيتها إلى :

١- صخور كاملة التبلور **Holocrystalline R**: تكون مكونات هذه الصخور متبلورة بشكل كامل، وتُسود هذه الحالة في الصخور العميقة مثل الغرانيت، وذلك بسبب التبرّد والتصلب البطيء، مما يعطي الوقت الكافي للتبلور بشكل واضح.

٢- صخور غير كاملة التبلور **Hypocrystalline R**: يحتوي هذا النوع على بلورات وزجاج في الوقت نفسه، بمعنى أنه يحوي معادن متبلورة وأخرى غير متبلورة مثل البازلت.

٣- صخور غير متبلورة **Holphyline R**: تتألف هذه الصخور من مواد غير متبلورة مثل الزجاج البركاني، ويعود ذلك إلى أن فترة التبريد والتصلب كانت قصيرة جداً. ويمكن تصنيف الصخور الاندفاعية كذلك بحسب حجم بلوراتها إلى:

- صخور ذات بنية بلورية كبيرة **Macrocrystalline R**: تكون البلورات كبيرة إلى درجة يمكن تمييزها وفصل بعضها عن بعضها الآخر بالعين المجردة.
- صخور ذات بنية بلورية مجهرية **Microcrystalline R**: تكون البلورات في هذه الحالة دقيقة (Microletes) حيث يمكن تمييزها باستخدام المجهر العادي فحسب.
- صخور ذات بنية بلورية خفيفة **Cryptocrystalline R**: تتألف بنية هذه الصخور من دقيقات صغيرة جداً **crystallites**، حيث يصعب تمييزها أو فصلها حتى بالمجهر العادي.

ج- قوام الصخور الاندفاعية:

يعبر القوام عن المظهر الفيزيائي للصخرة، ويتضمن الجوانب الهندسية والعلاقات المتبادلة بين الحبيبات أو البلورات التي تتكون منها الصخرة، مثل الحجم، الشكل، درجة التباور، التحبيب وغيرها. وهناك عدة معايير يصنف على أساسها قوام الصخور نذكر منها:

بحسب شكل البلورات:

- بلورات كاملة الشكل: كامل البلورة محاطة بالوجوه البلورية، التي تطورت بانتظام.
 - بلورات شبه كاملة الشكل: جزء من البلورة محاط بسطوح البلورة نفسها.
 - بلورات غير كاملة الشكل: غير محاطة بسطوحها البلورية.
- يعد شكل البلورة من القرائن المهمة للدلالة على مرتبة تبلور المعادن خلال عملية تصلب المغما.

د- أهم أنواع الصخور الاندفاعية:

تصنف الصخور الاندفاعية بحسب مجموعة من القرائن، منها بحسب مكان وجودها بالنسبة لسطح الأرض، بحسب محتواها من السيليسيوم، بحسب نوع المعادن الداخلة في تركيبها..... إلى غير ذلك.

بالنسبة لتصنيف الصخور بحسب موقعها من سطح الأرض، فقد تم استعراضها في فقرة سابقة، أما بالنسبة لمحتواها من أكسيد السيليسيوم، وهو التصنيف الأكثر شيوعاً، فتقسم الصخور الاندفاعية إلى المجموعات التالية:

- صخور اندفاعية سيليسية أو حامضية، وهي الصخور التي تحتوي على أكثر من 66% من أكسيد السيليسيوم في تركيبها (وزنياً).
 - صخور اندفاعية معتدلة: وتحتوي على كمية من أكسيد السيليسيوم تتراوح بين 52-66%.
 - صخور اندفاعية قاعدية: محتواها من أكسيد السيليسيوم بين 45-52%.
 - صخور اندفاعية فوق قاعدية: محتواها من أكسيد السيليسيوم أقل من 45%.
- هذا ومنوف نستعرض فيما يلي أهم أنواع هذه الصخور.

الصخور الحامضية Acidic Rocks:

تتصف هذه الصخور باحتوائها على كمية عالية من SiO_2 تزيد عن 66%، وألوانها الفاتحة، وتبلورها الجيد، وأهم المعادن التي تدخل في تركيبها هي الكوارتز والفلسبارات والميكا، ومن أهم أنواع صخور هذه المجموعة: الغرانيت والريوليت.

٢- الغرانيت Granite:

الغرانيت من الصخور العميقة وهو تام التبلور، يحتوي على كمية عالية من أكسيد السيليسيوم، وكمية منخفضة من أكاسيد الحديد والمغنيزيوم، ومن أهم معادن الغرانيت: الكوارتز، الميكروكلين، الأورثوكليز، إضافة للميكا وقليلًا من الهورنبلند والأوجيت، كما يحتوي الغرانيت على كمية قليلة من البلاجيوكليز الحامضي، وهناك معادن توجد بكميات ضئيلة مثل الأباتيت، الزركون، المغنيتيت والبيريت.

يتوقف لون الغرانيت على ألوان المعادن الداخلة في تركيبه، وعموماً يتغير لونه من الرمادي الفاتح إلى الزهري أو الأحمر.

يتصف الغرانيت ببنية بلورية حبيبية، ويوجد منه ثلاثة أنواع بحسب حجم الحبيبات: دقيق، متوسط، كبير.

يختلف الغرانيت من حيث محتواه من القلويات، واعتماداً على ذلك يقسم إلى نوعين: غرانيت عادي عندما يحتوي على قلويات بنسبة 6-8%، وغرانيت قلوي عندما يحتوي على نسبة 11-12% من وزنه قلويات.

٢- الريوليت Rhyolite:

من الصخور الحامضية السطحية، يماثل الغرانيت من حيث تركيبه المعدني، لونه عادة رمادي فاتح أو زهري فاتح، ويتميز ببنية بلورية مجهرية.

3- البغماتيت Pegmatite:

لهذا الصخر نفس تركيب الغرانيت. إلا أن أحجام بلورات معادله كبيرة نسبياً، ويوجد صخر البغماتيت عادة بشكل عروق بالقرب من صخور الغرانيت.

الصخور المعتدلة Neutral Rocks:

وهي صخور معتدلة في احتوائها على أكسيد السيليسيوم (52-66%) ومن أهم صخورها:

❖ الديوريت Diorite:

صخر عميق رمادي اللون، يمتد فيه معدن البلاجيوكليز بنسبة تتراوح بين 65-70%، ويأتي كل من الهورنبلند والبيوتيت في المرتبة الثانية بعد البلاجيوكليز، كما يحتوي على نسبة أقل من البيروكسين.

❖ الأنديزيت Andesite:

الأنديزيت من الصخور السطحية، يشبه في تركيبه الديوريت، ويتألف من البلاجيوكليز والهورنبلند والزجاج البركاني، وقد يحتوي في كثير من الأحيان على بعض الخامات الاقتصادية مثل الحديد والنحاس والرصاص.

الصخور القاعدية Basic Rocks :

تضم هذه المجموعة عدداً من الصخور المهمة، التي تتميز بمحتواها المنخفض نسبياً من أكسيد السيليسيوم (45-52%)، ومن أهم صخورها:

❖ الغابرو Gabbro:

صخر قاعدي عميق، لونه رمادي أو أسود، يدخل في تركيبه معدنان أساسيان بنسبة متقاربة وهما اللابرادور والبيروكسين، ويحتوي هذا الصخر أيضاً على عدد آخر من المعادن، لكن بنسب قليلة مثل: الأمفيبول، البيوتيت، الأولفين، يتميز الغابرو ببنية بلورية واضحة.

❖ البازلت Basalt:

البازلت صخر سطحي قاعدي أسود اللون، يتكون بشكل أساسي من الأوجيت والبلاجيوكليز الأساسي والزجاج البركاني، كما يحتوي على معادن أخرى بنسب أقل من السابقة، مثل الأولفين والمغنيتيت، للبازلت بنية بلورية مجهرية، يستعمل البازلت في البناء لمقاومته الجيدة لعوامل التعرية، وقد يحتوي على بعض المعادن الاقتصادية مثل النحاس والنيكل والتيتانيوم والحديد.

الصخور فوق القاعدية Ultrabasic Rocks:

تحتوي هذه الصخور على نسبة منخفضة من أكسيد السيليسيوم (أقل من 45%)، وتعد قليلة الانتشار نسبياً، ومن أهم أنواعها، صخور البيريدونيت التي تتكون بشكل أساسي من الأولفين والبيروكسين، وتتميز بعدم احتوائها على الكوارتز والميكا، ومن الصخور فوق القاعدية أيضاً، صخر البيروكسيت الذي يتكون برمته من البيروكسين. تشكل الصخور الحامضية نحو 47% من مجموع الصخور الاندفاعية، يأتي بعدها من حيث الانتشار، صخر الأنديزيت (24%)، وثالثاً البازلت ليشكل نحو 21% من الصخور الاندفاعية.

2 - الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks:

تنشأ الصخور الرسوبية من تراكم مواد تشكلت بفعل عمليات خارجية Exogenic processes ، تتكون هذه المواد من تجوية صخور موجودة سابقاً، تتحرك وتقل بواسطة عمليات النقل المختلفة، من جاذبية، رياح، مياه، جليديات، وتتجمع بواسطة الجذب الأرضي أو الترسيب الكيميائي وبعضها يثبت بواسطة الكائنات الحية. وذلك في شروط من الحرارة والضغط المنخفضين السائدة في سطح الأرض. تغطي الصخور الرسوبية القسم الأكبر من سطح الأرض، لذلك فإن عمليات تكوين التربة تجري غالباً على هذه الصخور.

من أهم مميزات الصخور الرسوبية انخفاض كثافتها مقارنة بالصخور الاندفاعية، ألوانها المتنوعة والفاخرة غالباً، يسود الألوان الطيني على غيره من الصخور الرسوبية من حيث درجة الانتشار، إذ يشكل نحو 77%، يأتي في المرتبة الثانية الحجر الرملي Sandstones ليشكل نحو 11.3%، وثالثاً الحجر الكلسي Limestone ليشكل 5.9%. أما الباقي من الصخور الرسوبية وهو نحو 5.8% فهو عبارة عن أسلح صخرية مختلفة.

يمكن تمييز نوعين من الصخور الرسوبية من حيث المنشأ:

أ- صخور رسوبية ذات منشأ بحري: وتضم الحجر الكلسي والحجر الرملي والكونغلوليرات والطين والغضار وغيرها، وتتميز هذه المجموعة بارتفاع كثافتها، واحتوائها على مخلفات الفلورة والفودة البحريتين.

ب- صخور رسوبية قارية المنشأ: وهي تغطي التضاريس المنبسطة والانحدارات الخفيفة بتوضعات قارية المنشأ مثل الرصيص والحجر الرملي والحجر الكلسي واللوم والطين والأملاح وغيرها، وقد انتقلت هذه الرسوبيات وانتشرت بفعل الرياح والتيارات المائية والجليديات، لذلك فهي لا تحتوي على مخلفات الفلورة والفونة البحرية. كذلك يمكن تقسيم الصخور الرسوبية من حيث طريقة تكوينها إلى ثلاث مجموعات

هي :

- أ- الرواسب الميكانيكية: وهي عبارة عن رواسب تفتتية، نقلت وتجمعت بفعل الجاذبية الأرضية أو حركة الجليديات والمياه والتيارات الريحية، ومن هذه الرواسب نجد:
 - الأنقاض الحطامية الضخمة: وهي عبارة عن صخور وحجارة وحصى بمختلف أحجامها، تجمعت بواسطة الجاذبية الأرضية والجليد وتزيد أقطارها غالباً عن 2 مم.
 - الرمال: وهي عبارة عن توضعات ناتجة عن الجريان الشاطئ للبحار والبحيرات، وأقطار حبيبات الرمل تتراوح بين 0.05 إلى 2 مم.
 - اللوم: ويعد أيضاً من الرواسب الميكانيكية، أقطار حبيباته يتراوح بين 0.01-0.1 مم، يتوضع اللوم بفعل الجليديات والتيارات المائية، وقد يحتوي على أوراق صخرية من أكاسيد الحديد والمغنزيوم تدعى 'Concretions'، ويضم اللوم أيضاً اللوم Loess الذي يلعب دوراً مهماً في تكوين التربة التي تعرضت للتيارات الجليدية.
 - الرواسب الطينية أو الغضارية: وتشكل أكثر من 50% من الصخور الرسوبية، تتكون هذه الرواسب بشكل أساسي من معادن الطين ذات الأقطار الأقل من 0.002 مم، وتشكل نحو 40% من وزن هذه الصخور، توجد الصخور الغضارية كرواسب متوضعة في قيعان المياه الراكدة والبحيرات النهرية والأهوار البحرية والخلجان، ويمكن أن تحتوي هذه الرواسب على الأملاح أو الجبس وتجمعات لمركبات الحديد والألمنيوم والمنغنيز.
- ب- الرواسب الكيميائية: وهي عبارة عن مركبات كيميائية ترسبت من مياه البحار والبحيرات والأنهار والمستقعات بفعل عملية التبخر الشديد، حيث تتكون طبقة ضخمة من الصخور الكيميائية، يرتبط تركيبها بشكل أساسي بالظروف الجيوكيميائية للمنطقة والظروف الطبيعية السائدة، يمكن أن تكون هذه الصخور نقية تماماً أو تحتوي على كميات متباينة من الشوائب، ومن هذه الصخور الجبس، المارل، الصخر الملحي.

ج- الرواسب الحيوية: تتكون هذه الرواسب من طبقات قد تصل سماكتها إلى عشرات الأمتار من المواد العضوية، ذات المنشأ النباتي غالباً، ويمكن لهذه المخلفات العضوية أن تتجمع في مياه البحيرات التي تنمو فيها النباتات كما هو الحال في دلتا أنهار البحيرات والجزر في المناطق الاستوائية حيث الغابات الكثيفة والمسطحات المتشابهة، وكذلك النباتات المستنقعية. ومع مرور الزمن يمكن أن تتراكم كميات كبيرة من هذه المواد وتطمر، وبفعل الحرارة المرتفعة والضغط العالي والتحلل اللاهوائي، عندها يمكن أن تتحول إلى فحم حجري.

أنواع الصخور الرسوبية **Kinds of sedimentary rocks**:

يوجد عدد كبير من الصخور الرسوبية، وسنتعرض في الفقرات التالية إلى وصف موجز لأهم أنواعها:

أ- **الصخور الكربوناتية Carbonatic rocks**:

- **الصخور الكلسية أو الحجر الكلسي Limestone**:

تتألف هذه الصخور من كربونات الكالسيوم، غالباً على شكل كالسيت **Calcite**، وقد تكون أحياناً قليلة على شكل أراغونيت، تحتوي الصخور الكلسية غالباً على بقايا القواقع، وقد تحتوي أحياناً على خلأط من الرمال والطين والمركبات السيليسية وبعض البقايا العضوية. تتصف هذه الصخور ببنية حبيبية، متفاوتة من حيث الحجم، قد تكون مفككة أو كتيمة، وغالباً يسهل خدشها بالسكين، وتعطي فوراناً عند معاملتها بحمض كلور الماء، يتغير لون الصخور الكلسية تبعاً لنوع وكمية الشوائب التي تحتويها، فقد يكون لونها أبيض، مصفراً، رمادياً وحتى أسود.

- **الصخور الحوارية أو الطباشيرية Chalk**:

تتميز هذه الصخور بلعومتها وسهولة تفككتها، وألونها الفاتحة، تفور بشدة عند معاملتها بحمض كلور الماء، وتحتوي على 60-70% من المخلفات الكلسية للعضويات الدقيقة. مثل المنخربات والأشنيات، ممزوجة مع الكالسيت والطين، يحتوي الحواري على كميات مختلفة من المواد السيليسية، عضوية المنشأ.

• صخور الدولوميا Dolomia:

تتكون هذه الصخور بشكل أساسي من معادن الدولوميت، وهو عبارة عن كربونات كالسيوم ومعنزيوم $(Ca,Mg)(CO_3)_2$ ، وقد تكون صخور الدولوميا كتامة أو مفككة، ألوانها متعددة ويغلب عليها اللون الرمادي والأصفر، وهي تشبه الصخور الكلسية بشكل كبير، إلا أنها لا تتفاعل مع حمض كلور الماء، وانتشارها أقل قياساً بالصخور الكلسية.

- المارل Marl:

صخر كلسي ناعم القوام (طيني)، متباين التركيب، وغالباً ما ينتسب إلى الصخور المختلطة، يتكون من الكالسيت والغضار بنسب متفاوتة، وقد يكون كالسيت هذه الصخور، حيويًا أو ميكانيكيًا، وغالباً ما يحتوي المارل على الدولوميت إلى جانب الكالسيت، يدخل في تركيب المواد الغضارية العديد من المعادن مثل: المونتموريللونيت، الغلوكونيت، الكاؤولينيت وأحياناً الجبس والكوارتز، ألوان المارل متباينة وغالباً ما يكون مبرقشاً (رمادي، مصفر، أحمر، أصفر)، يمكن تمييز المارل عن الصخور الكلسية عند المعاملة بحمض كلور الماء، حيث يترك عند معاملة المارل بحمض كلور الماء بقعاً غامقة، وهي عبارة عن المواد الغضارية، يعد المارل من الصخور الرسوبية واسعة الانتشار.

ب - الصخور السيليسية Silisium rocks:

تتكون هذه الصخور نتيجة لتراكم المواد السيليسية من العضويات، وتعد هذه الصخور أقل انتشاراً من الصخور الكربونائية، ومن هذه الصخور:

• الصخور التجمعية أو الكونغلوميرات: تضم هذه المجموعة نوعين من الصخور:

• **البودنغ Pouding:** تتكون من قطع صخرية أو حصى ملساء ومدورة الحواف، متماسكة بعضها مع بعضها الآخر بوساطة مواد ملاطية مختلفة (كربونات، سيليس، حديد، طين)، الشكل الأمثل والحواف المدورة تدل على أنها نقلت من مكان لآخر بوساطة المياه.

• **البريش Breches:** تماثل صخور البودنغ من حيث تركيبها وموادها الملاطية، لكنها تختلف عنها في كون حواف القطع المكونة لها حادة وليس ملساء، مما يدل على عدم مشاركة الماء بنقلها.

- الحجر الرملي Sandstones:

يتكون الحجر الرملي من حبيبات الرمل التي ترتبط فيما بينها بواسطة مواد لاحمة أو ملاطية من السيليس أو الكربونات أو الحديد، تتراوح أقطار حبيبات الرمل بين 0.05-2 مم، يمكن أن يكون الحجر الرملي وحيد المعدن أو متعدد المعادن، وفي كل الأحوال بشكل الكوارتز الجزء الأساسي والمائد في هذه الصخور، ويمكن أن يوجد إلى جانب الكوارتز كل من الميكا والفانديتات وبعض أكاسيد الحديد وأحياناً الكالسيت، لكن بكميات قليلة، يضاف الحجر الرملي في الطبيعة على شكل تجمعات مفككة أو مترصة، ويتكون في الظروف القارية أو البحرية. (جدول 3).

الجدول (3)، يبين التركيب الكيميائي لبعض الصخور الرسوبية

نوع الصخر	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	H ₂ O
الحجر الكلسي	5.2	0.8	0.5	0.0	42.60	7.9	0.3	0.1	0.8
الحجر الرملي	77.8	7.3	2.1	0.3	3.3	0.8	1.4	1.2	2.2
الإردواز الطيني	58.9	15.6	4.1	2.5	3.15	2.5	3.3	1.3	3.7
اللويس	51.0	11.7	5.6	0.0	12.2	2.7	1.4	2.0	1.2
الزئبق	93.3	1.9	1.8	0.0	0.9	0.5	0.5	0.8	0.0

3- الصخور الاستحالية أو المتحولة Metamorphic rocks:

تتشأ الصخور الاستحالية عند تعرض الصخور الرسوبية والاندفاعية لتأثير حرارة مرتفعة و/ أو ضغط عالي ومحاليل كيميائية مختلفة، تؤدي هذه التأثيرات إلى تغيير في صفات وخواص الصخور السابقة، إلى درجة يصعب عندها التعرف على الشكل الأصلي للصخر، يمكن أن يشمل هذا التغيير التركيب الكيميائي أو المعدني أو البنية أو القوام. وعموماً يمكن القول أن الصخور الاستحالية، تشبه الصخور الاندفاعية في بعض صفاتها، مثل البنية البلورية، وتشبه الصخور الرسوبية في صفات أخرى مثل التهللق. وتتتشأ الصخور المتحولة بإحدى طرق الاستحالة التالية:

أ- الاستحالة الحركية **Dynamic metamorphism**: تظهر بسبب حدوث الحركات التكتونية في الطبقات السطحية من القشرة الأرضية، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات في ترتيب المعادن، ولا تطرأ تغيرات كبيرة على المعادن.

ب- الاستحالة التماسية **Contact metamorphism**: تحدث الاستحالة في مواقع تماس تيارات من الصخور الاندفاعية مع صخور أخرى، مما يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة الصخور المغلفة واستحالتها.

ج- الاستحالة الإقليمية **Regional metamorphism**: تحصل هذه الاستحالة بسبب ارتفاع الضغط والحرارة في أعماق كبيرة داخل الأرض، وتؤدي إلى إعادة تبلور تامة.

أنواع الصخور الاستحالية:

أ- الشيست **Schist**: وهي عبارة عن مجموعة واسعة من الصخور الاستحالية ومنها:
1- الشيست الغضاري: يتألف من طبقات رقيقة سهلة إلى صفائح متوازية، يتميز هذا النوع بألوانه القاتمة.

2- الشيست الميكاي: يتألف من الميكا والكوارتز، له بنية بلورية وتطبق واضح، يتميز هذا الصخر بخلوه من الفلدسبار، ويطلق عليه عادة أسماء مثل الشيست الببوتيتي والشيست المسكوفيتي وغيرها.

ب- المرمر أو الرخام **Marble**: صخر كامل التبلور ينتج عن تحول الصخور الكلسية (غالباً الحجر الكلسي)، له عدة ألوان أبيض، أخضر، أحمر، أسود، وذلك بحسب نوع الشوائب الداخلة في تركيبه، ويسهل خدشه بالسكين، ويفور بشدة عند معاملته بحمض كلور الماء.

ج- الغنيس **Gneiss**: يتكون هذا الصخر من معادن المرو والميكا والفلدسبار الحامضية وخاصة الغرانيت، للغنيس بنية بلورية حبيبية، تقوضع فيها المعادن بشكل صفائح أو شرائط متوازية، لون الغنيس متباين بحسب المعادن المكونة له، فقد يكون أبيض أو رمادياً أو أخضراً أو بنياً أو حتى أسود.

تختلف أنواع الترب المتكونة تبعاً لاختلاف الصخور التي نشأت منها، ولأنواع الصخر وطبيعته المعدنية، أهمية كبيرة في تحديد نوع الترب ومواصفاتها وخصوبتها، وعموماً يمكن القول إن الترب التي تكونت على صخور اندفاعية قاعدية أو معتدلة، تكون محتوية على كمية

عالية من الطين وذات خصوبة جيدة، على عكس تلك التربة التي تكونت على صخور
اندفاعية حامضية، حيث تكون غالباً خشنة القوام وضعيفة الخصوبة. وتتميز التربة المتكونة
على صخور رسوبية بخواص وصفات جيدة، وخاصة تلك التي تتكون على صخور كلسية،
أما التي تكونت على حجر رملي فتكون على العكس، أما التربة المتكونة على صخور
متحولة، فتعتمد في خواصها على الصخر الأصلي التي تتكون منه والصخر المتحول.



١-٥-٥- تجوية الصخور والمعادن Weathering of Rocks and minerals

١-٥-٥-١ مقدمة: Introduction

التجوية عبارة عن مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية، التي تغير الحالات الفيزيائية والكيميائية لكل من الصخور والتربة على سطح القشرة الأرضية أو قريباً منها. تتجوى الصخور والتربة فيزيائياً من خلال التفتت breakdown وكيميائياً من خلال التحلل Decomposition، يدخل الماء تقريباً في معظم عمليات التجوية؛ مثل التفتت بالتجمد والبلل والجفاف، ذوبان الأملاح، وجميع عمليات التجوية الكيميائية.

إن المحرك الأساسي للتجوية هو المناخ Climate، ويظهر تأثير التجوية والمناخ بوضوح على سطح الأرض ويتناقص تأثيرها أو فعاليتها مع العمق، (تكون أكثر وضوحاً على عمق 1 متر أو أقل من سطح القشرة الأرضية).

وبشكل أساسي، يمكن عذ التجوية عملية تحطيم وتصنيع في الوقت نفسه، وتعد الصخور نقطة بداية عملية التجوية، حيث تتعرض أولاً للتفتت إلى أحجام أصغر، وباستمرار العملية تصل مرحلة التفتت إلى فرز المعادن التي تتكون منها الصخور، وفي الوقت نفسه تتعرض القطع الصخرية الصغيرة والمعادن المتحررة إلى مهاجمة قوى التجوية المختلفة، لتتغير إلى معادن جديدة، سواء كان ذلك للتغير طفيفاً أم كلياً، ويتبع هذا التغير تناقص في حجم الحبيبات وتحرير العناصر الذوابة.

وبشكل عام يمكن القول إن عملية التجوية، هي إحدى أهم العوامل التي تؤدي في النهاية إلى تكوين الترب، كما يمكن عذها مرحلة تحضيرية لعمليات تكوين التربة وتطورها . يمكن تمييز ثلاث مجموعات رئيسية من أنواع التجوية وهي: التجوية الفيزيائية والتجوية الكيميائية والتجوية الحيوية، وعلى الرغم من محاولة الفصل بين أنواع التجوية، إلا أنها تحدث في الطبيعة بأن واحد، وقد يكون هناك سيادة لنموذج معين من التجوية على نموذج آخر، وهذا يتبع الظروف الطبيعية التي تسود في منطقة معينة.

١- التجوية الفيزيائية Physical Weathering :

تعني التجوية الفيزيائية، تحطيم الصخور إلى قطع صغيرة (Small Fragments)، بواسطة مجموعة من العمليات الفيزيائية، دون حدوث أي تغير في تركيبها الكيميائي بمعنى أن التجوية الفيزيائية لا تتضمن إضافة أي عنصر أو طرح أي عنصر إلى أو من الصخور. إن أهم نماذج التجوية الفيزيائية هي:

١- الحك Abrasion : يحمل الماء عند جريانه بعض قطع الصخور ، التي تنتج عن عملية كنس للسطوح التي ترتطم بها. ومن الأمثلة على ذلك فعل السحج أو السحن لكسل من الأجسام الجليدية، الحصى، والصخور الصغيرة التي تتحرك بشكل دائم وثابت وتتعرض لعملية الحت، خاصة عندما تكون سرعة تدفق المياه في المجرى المائي عالية، وتقوم الحبيبات المحملة بالرياح بنفس الفعل.

٢- البلل والجفاف Wetting and drying : خلال فترة البلل، يمكن لبعض المكونات، سواء كانت الصخرة نفسها، أو من المواد الأخرى الموجودة ضمن شقوق الصخور، أن تتمدد أو أن يزداد حجمها، بسبب دخول الماء، إلى شقوق الصخور، وكذلك يمكن لها أن تنقلص في حالة الجفاف، وفي كلا الحالتين، سيؤدي ذلك إلى تفتت القشرة السطحية من الصخور.

أيضاً يمكن للماء، عند دخوله إلى شقوق الصخور أن يذيب بعض الأملاح المعدنية أو أن يغير من حجم بعضها الآخر مثال: تحول الانهدريت CaSO_4 إلى جبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، يزد حجمه بمقدار الثلث.

٣- التجمد والذوبان Freezing and thawing : عندما يتعرض الماء المحبوس في الصخور أو الماء الذي يدخل في الشقوق إلى عملية التجمد بسبب انخفاض درجة الحرارة، ثم الذوبان عند ارتفاع الحرارة، وذلك بشكل متكرر ينتج عن ذلك قوة تمسدد وتقلص expansion and contraction ومن المعروف أن الماء عندما يتجمد، يزداد حجمه بنسبة 9-10%، وهذا يؤدي إلى ممارسة ضغوط عالية، ينتج عنها تشقق الصخور، خاصة عند سطوح الالتصاق الضعيفة، حيث يحدث ضغط على جدران الشقوق الصخرية يصل نحو 900 كغ/سم²

٨- التمدد والتقلص الحراري للمعادن Thermal expansion and contraction of Minerals:

تحتوي الصخور على أنواع مختلفة من المعادن، ولكل معدن منها عامل تمدد يختلف عن الآخر، فعند تعرض هذه الصخور إلى حرارة عالية نسبياً، تبدأ هذه المعادن بالتمدد، وتعود للتقلص عند انخفاض درجة الحرارة، على سبيل المثال: عامل التمدد للكوالرتز 0.00031 و للأورثوكليز 0.00017 وللهورنبلند 0.00028 ، تتعرض الصخور التي تحتوي على هذه المعادن (مثال البازلت)، نتيجة للاختلاف في عامل التمدد، إلى تفتتها أو تشققها أو حتى تحطيمها، طبعاً بنسب و معدلات مختلفة.

٩- الماء الشعري Capillary Water: يعمل الماء عند دخوله في الشقوق الدقيقة للصخور ومسامها على إحداث ضغط شعري يبلغ نحو 1.5 كغ/سم² في سم قطره 1 ميكرو ميتر، ويمكن أن يرتفع هذا الضغط إلى 500 كغ/سم² عندما ينخفض قطر السم إلى 1 ميليكروميتر، وهذا بطبيعة الحال يعمل على تنشيط عملية التجوية ودفعها قدماً.

١٠- تحرير الضغط Pressure release: تقع الصخور العميقة تحت ضغط عالٍ، وعند إزالة المواد الموجودة فوقها، يحدث خفض للضغط، هذه العملية تسمح للصخور بالتشقق أو الانفصال على طول السطوح الضعيفة، وهذه العملية تدعى بالتمفصل Joints أو التصفح.

١١- التبلور Crystallization: في الظروف البيئية الجافة، يتبخّر الماء من على سطح الصخور وتتكون بعض البلورات، من المعادن الذائبة في الماء، مع مرور الزمن، وتكرر العملية، تنمو هذه البلورات (يزداد حجمها)، وعندها يمكن لهذه البلورات أن تمارس قوة كافية لفصل الحبيبات المعدنية عن بعضها، وتحدث تحطيماً جزئياً للصخور.

١٢- الكائنات الحية Living organisms: من أهم عمليات التجوية الفيزيائية التي تمارسها الكائنات الحية هي تغلغل جذور النباتات في شقوق الصخور وكذلك العمليات الميكانيكية الأخرى من حفر أنفاق وضغط ميكانيكي، جميعها يمكن أن تسهم في التجوية الفيزيائية بشكل مباشر أو غير مباشر.

١٣- حشر الجليد Ice wedging: يدخل الماء في شقوق الصخور (سواءً كان مصدره المطر أم ذوبان الثلج) — ويتجمد فيها عند انخفاض درجة الحرارة — ويأخذ الجليد عندها شكل الإسفين، مؤدياً بسبب زيادة حجمه، إلى ممارسة ضغط كافٍ لتحطيم الصخور إلى قطع مزواة، والتي تتحرك باتجاه أسفل المنحدر بواسطة الجاذبية الأرضية، وتتجمع في قاعدة

الجرف Cliff لتشكل ما يشبه Talus cones (منحدر متشكل من قطع صخرية له شكل مخروط).

ب- التجوية الكيميائية Chemical Weathering :

بما أن عدداً كبيراً من الصخور والمعادن تشكلت تحت ظروف معينة في أعماق الأرض، وعندما تتكشف هذه الصخور على سطح الأرض أو قريبة منه، نتيجة لعمليات التعرية Erosion والنهوض Uplift متواجه ظروفاً جديدة تختلف عن تلك الموجودة في باطن الأرض، ومن هذه الظروف الجديدة الموجودة على سطح الأرض والتي تختلف عن مثيلاتها في باطن الأرض نجد:

- حرارة منخفضة (قرب السطح تتراوح بين 0 - 5 م).
 - ضغط منخفض (قرب السطح الضغط يتراوح بين 1 - بضعة مئات ضغط جوي).
 - ... توافر الماء الحر بكميات أكبر بكثير مما هو عليه في باطن الأرض.
 - توافر كميات كبيرة من O_2 الحر على سطح الأرض مقارنة مع باطن الأرض.
- فنتيجة لاختلاف هذه الشروط، فإن معادن الصخور تتفاعل مع البيئة الجديدة لتكوين معادن ثانوية، غالباً ما تكون مستقرة ضمن الشروط السائدة بالقرب من سطح الأرض.
- فالتجوية الكيميائية هي عبارة عن عملية تحطيم للصخور والمعادن نتيجة لتفاعلات كيميائية Chemical reactions مع الغلاف الجوي Atmosphere والغلاف المائي Hydrosphere حيث تتحطم الصخور أو تتفكك Decompose ويتهدم البنية الداخلية للمعادن من جراء ذلك وتتكون معادن جديدة، لذلك، هناك تغير واضح سواء كان في التركيب الكيميائي أم المظهر الفيزيائي للصخور والمعادن، قد يكون هذا التغير في التركيب الكيميائي كلياً أو جزئياً، والمعادن الجديدة المتشكلة قد تتشابه مع السابقة أو تتغير معها كلياً.

عمليات التجوية الكيميائية:

- ٨- الإماهة Hydration: تعبر عن ارتباط جزيئات الماء، من خلال شوارد الهيدروجين والهيدروكسيل، مع المعادن مكونة مركبات أو معادن جديدة تختلف قليلاً عن الحالة الأصلية لها، وتصبح الشوارد المذكورة، في كثير من الأحوال جزءاً ثابتاً في الشبكة البلورية للمعدن. ومن المعادن الأولية التي تتعرض للإماهة المباشرة، البيوتيت، إذ يمتص

الماء بين طبقاته مؤدياً إلى انتاج تلك الطبقات وبالتالي يصبح المعدن أكثر مسامية، وتضعف القوى التي تربط بين تلك الطبقات، ويصبح أكثر قابلية للتجوية من خلال مشاركة عوامل التجوية الأخرى. وتنتشر الإماهة بدرجة واسعة في أكاسيد الحديد الالامائية، وأهمها الهيماتيت الذي يتحول إلى غوثيت ثم إلى ليمونيت مع استمرار عملية الإماهة بحسب المعادلتين التاليتين:



كما يتميه الأنهدريت غير الذواب في الماء إلى جبس أكثر قابلية للذوبان بحسب المعادلة التالية:

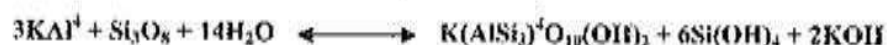


ولابد من الإشارة إلى أن الإماهة تعمل على زيادة نسبة الماء في المعادن إذ يمكن أن تتضاعف 10 مرات، ويؤدي هذا إلى زيادة حجم المواد المميهة بنسبة تتراوح بين 50-150% من حجمها الأصلي، وغني عن القول ما لهذه الزيادة في الحجم من أهمية في تجوية المعادن.

2- التحلل المائي **Hydrolysis**: تعد عملية التحلل المائي، من أهم عمليات التجوية الكيميائية، وأكثرها فعالية في تهديم المعادن. وهي من أكثر العمليات تعقيداً، رغم بساطتها ووضوحها بحسب المفهوم الكيميائي.

يحصل لجزيئات الماء الموجودة على سطح المعادن، تأين **Dissociation** إلى H^+ و OH^- ، يقوم الهيدروجين المتحرر (عملياً هو جزيء الهيدرونيوم H_3O^+)، باختراق الشبكة البلورية، و يخلق نوعاً من عدم التوازن الكهربائي (خلق شحنات غير مشبعة)، مما يدفع بعض الكاتيونات (خاصة القواعد والقواعد الأرضية) مثل Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ، للخروج أو الانتشار في المحلول حيث يمكن لبعضها أن يشكل بعض الأسس القوية **Strong bases**، مثال: الفلدسبار البوتاسي (الأورثوكلاز) عند تحلله مائياً ينتج حمض

ضعيف (حمض السيليس (Silicic acid)، وأساساً هـي KOH، ويترك خلفه معدناً ثانوياً جديداً هو الإليت illite، وذلك بحسب التفاعل التالي:

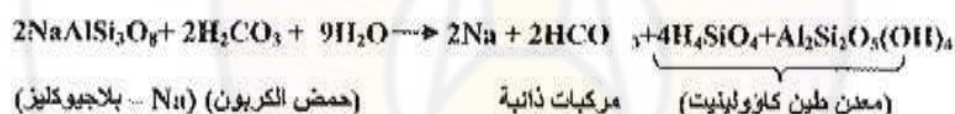


يجب الأخذ بالحسبان أيضاً في تفاعلات التحلل المائي، أهمية الدور الذي يلعبه ذوبان CO_2 ، وهذا يمكن توضيحه من خلال التحلل المائي للأولفين المغنيزومي Mg-olivine:



يستهلك هذا التفاعل حمض الكربونيك H_2CO_3 ، لذلك يصبح المحلول قلوياً بالتدريج عند إتمام هذا التفاعل.

ومن الأمثلة على التحلل المائي: عندما يصبح البلاجيوكليز (وهو من أكثر المعادن انتشاراً في القشرة الأرضية) على احتكاك مع الماء الحار على حمض الكربون، يحصل التفاعل التالي:



3- الأكسدة والإرجاع Oxidation – Reduction:

يحتوي العديد من المعادن الأولية على عنصري الحديد والمغنيز، وعند زيادة الظروف التي تساعد على الأكسدة، خاصة عند وجود الأوكسجين، يتأكسد الحديد الثاني Fe^{+2} إلى حديد ثلاثي Fe^{+3} ، (ويترسب على شكل أكاسيد أو ماءات حديد غير ذوابة غالباً (حديد مسائي أو غوثيت) بحسب التفاعل التالي:



وكذلك يتأكسد Mn^{+2} إلى Mn^{+3} أو Mn^{+4} جزئياً داخل المعادن، والذي ينتج عنه شحنة موجبة، ويصبح عندها المعدن أقل استقراراً وأكثر عرضة للتجوية، إضافة إلى التأثير المباشر لزيادة تركيز H^+ الناتج من الأكسدة وخفض درجة pH الوسط، مما يسرع في عملية التجوية.

تعد عملية الأكسدة من العمليات المهمة في التجوية الكيميائية، خاصة بالنسبة للمعادن التي تحتوي على كميات عالية من الحديد، مثل الأولفين والبيروكسين والأمفيبول، مثال في حالة الأولفين:



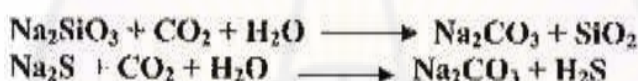
هذه العملية التي تؤدي إلى اتحاد الحديد مع الأوكسجين، لتكوين معدن الهيماتيت (إعطاء اللون الأحمر، وعند تكوين الليمونيت يسود اللون الأصفر. لذلك فإن ظهور الألوان الصفراء أو البنية أو الحمراء عند تجوية الصخور، هي دلالة على عملية الأكسدة. بالنسبة للإرجاع فإنها تلعب دوراً بارزاً في تجوية الصخور والمعادن، وخاصة الغنية بالعناصر المعدنية ذات التكافؤات المتعددة، مثل الحديد والمنغنيز والكوبالت والكبريت، فعند سوء التهوية وغياب الأوكسجين، تنشط عمليات الاختزال، التي تؤدي إلى تكوين الكثير من مركبات الحديد القابلة للحركة، وخاصة بيكربونات الحديد والمغنيزي، التي تتحد غالباً مع نواتج التفسخ العضوية مكونة أنواعاً متعددة من الشبيلات (المخاليبات).

٤- الكربنة **Carbonation**: تحتوي المياه في الطبيعة على غاز الكربون بنسب متفاوتة تبعاً لموقع تلك المياه ودرجة حرارتها. إذ يراوح تركيز CO_2 في المياه السطحية بين 2-5 مغ/ل، يرتفع هذا التركيز ليصل إلى 90-180 مغ/ل في المياه الجوفية. ويزداد انحلال غاز الكربون في الماء مع الزيادة تركيزه (ضغطه الجزئي) وانخفاض درجة الحرارة. ينحل غاز CO_2 في الماء مكوناً حمض الكربون الذي يساعد على انحلال كثير من المعادن وخاصة الكربونات محولاً إياها إلى بيكربونات سهلة الانحلال في الماء.

يبلغ انحلال الكالسيت CaCO_3 في الماء الخالي من CO_2 عند الحرارة 25 م° نحو 14 مغ/ل، أما تحت الهواء الجوي فيمكن أن يصل هذا الانحلال إلى نحو 45 - 60 مغ/ل ويرتفع هذا الرقم كثيراً عند تشبع الماء بغاز CO_2 ، ويمثل تفاعل الكربنة بالمعادلة التالية:



إن بيكربونات الكالسيوم المتكونة أكثر قابلية للانحلال في الماء مقارنة بالملح الأصلي. والتفاعل السابق عكوس، إذ أنه مع انخفاض تركيز CO_2 يتجه التفاعل إلى اليسار لتترسب كربونات الكالسيوم وهي عكس الكربنة، وبهذه الآلية تتكون الصواعد والنوازل. ولا يقتصر تفاعل الكربنة على معادن الكربونات وبحسب، وإنما يتعداها حتى إلى السيليكات أو غيرها، وذلك بحسب المعادلتين التاليتين:



٥- **الاحلال dissolution** : يوجد عدد محدود من المعادن القابلة للانحلال في الماء، من أهمها الهاليدات والنترات وبعض الكبريتات والكربونات. وتزداد مقدرة الماء على إذابة المعادن أو الأملاح الأكثر تعقيداً إذا احتوى هذا الماء على بعض الأملاح أو الحموض أو القلويات، وهذا ما يميز المياه في الطبيعة، لذلك فإن دور هذه المياه في إذابة المعادن شديد التباين، فالمياه المتسربة عبر الصخور الغرانيتية تكون حامضية غنية بالسيليكا والقلويات بينما تكون المياه المتسربة عبر الصخور البازلتية قلوية غنية بالقواعد الترابية. فمثلاً يذوب الجبس في الماء النقي بمقدار 2.5 غ/لتر، أما إذا احتوى هذا الماء على تركيز عالٍ من كلوريد الصوديوم فإن ذوبان الجبس فيه يصل إلى نحو 7 غ/لتر.

٤- **التمخبط أو الرطب Complication**: تقوم بعض العناصر المتحررة من المعادن بسبب عملية التجوية، مثل الحديد والألمنيوم والمنغيز، بتكوين معقدات مع بعض الأحماض العضوية، وخاصة حمض الفولفيك وحمض الهيوميك، وعادة ما تكون هذه المعقدات العضوية المعدنية من النوع الثابت أو المستقر، وأهمية هذا الموضوع بالنسبة للتجوية

الكيميائية، هو خسارة بعض الكاتيونات من المنظومة الفعالة Active system ، مما يسبب عدم توازن بين الكاتيونات والأيونات، وبالتالي عدم استقرار المعادن، وتصبح أكثر عرضة للتجوية.

ج- التجوية الحيوية Biological weathering :

تعود التجوية الحيوية إلى النشاطات المختلفة التي تقوم بها الكائنات الحية، حيث تساهم هذه الكائنات الموجودة في الطبيعة في عملية التجوية، من خلال تأثيرها الميكانيكي، الناتج عن حركة هذه الكائنات وجذور النباتات، أو الكيميائي من خلال مفرزاتها ومخلفاتها. ويتم عمليات التجوية الحيوية بشكل أساسي في الطبقات السطحية للأرض، حيث تتوفر الشروط الملائمة لنمو الكائنات الحية.

تأخذ الأحياء من الصخور ما تحتاج إليه من العناصر المعدنية لبناء خلاياها، وتجمعها بعد موتها في الطبقة السطحية للصخور، مثال على ذلك نمو الأشنات Lichens التي تعيش على سطح الصخور، حيث تتغذى بشكل بطيء من سطح الصخور، وبالتالي يؤدي إلى تحطيم بعض المعادن يضاف إلى ذلك غنى الأشنات بالمركبات المخيلية Chelating agents ، التي تستطيع من خلالها ربط العناصر الناتجة من تجوية الصخور وتكوين معقدات عضوية معدنية. لذلك تساهم التجوية الحيوية بشكل فعال في تكوين التربة.

تطرح الأحياء في الوسط الذي تعيش فيه، كميات لا بأس بها من الأحماض وغاز CO_2 ، وكلاهما يعمل على تخریب الصخور وتفتيتها، فمثلاً خلال عملية النترجة يتكون حمض الأزوت. إن نشاط البكتريا الكبريتية يؤدي إلى تكوين حمض الكبريت، وفطر البنيسيليوم يطرَح مواد شبيهة بـ حمض الفوليك.

مقاومة الصخور والمعادن للتجوية Weathering Resistance of Rocks and Minerals

تعود عملية المقاومة للتجوية أو عدمها إلى عدة نقاط أهمها:

أ- التركيب المعدني للصخور، حيث تختلف المعادن في مقاومتها للتجوية، ويعود ذلك إلى تركيبها البلوري من جهة والكيميائي من جهة أخرى.

ب- مساحة سطح الصخرة المعرضة للعوامل الجوية.

ج- مسامية الصخور، حيث تضعف مقاومة الصخور للتجوية مع زيادة المسامية فيها

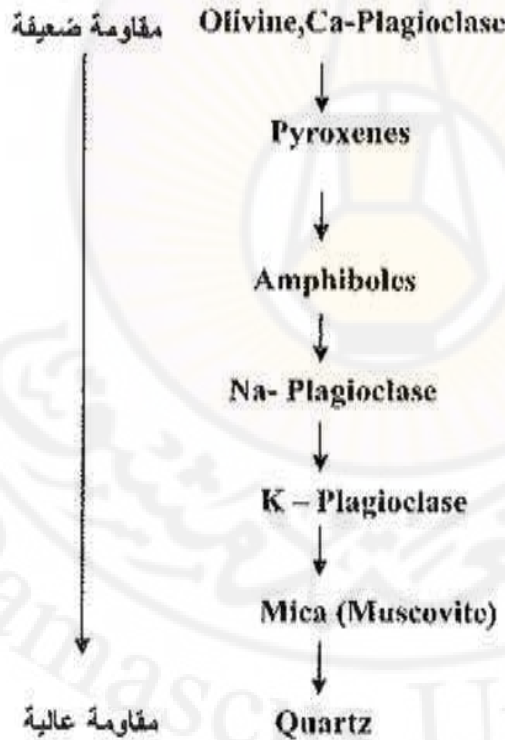
عموماً، إن مقاومة المعادن الأولية للتجوية تزداد مع درجة التشراك ما بين الأوكسجين

وشريحة رباعيات وجوه السيليكات Si في الشبكة البلورية، تميز الرابطة Si-O بأنها تملك

طاقة تشكل عالية، تأتي بعدها الرابطة Al-O، ثم الرابطة الضعيفة المتشكلة بين M-O

(M تعني العناصر المعدنية K, Na, Mg, Ca)، بناء على ذلك يمكن ترتيب بعض

المعادن بحسب مقاومتها للتجوية كما يلي:



يلاحظ من الشكل السابق أن الأولفين هو الأقل مقاومة للتجوية، بسبب أن رباعية وجوه السيليكات مرتبطة مع M-O بينما في الكوارتز. وهو الأكثر مقاومة لأن الأوكسجين مرتبط كلياً مع رباعية الوجوه السيليكات. أما في السيليكات السلسلية chain (أمفيبول وبيروكسين) وكذلك الأمر بالنسبة للسيليكات الورقية، فإن نقاط الضعف هي عدد الروابط O-M.

لذلك تصنف السيليكات بحسب مقاومتها للتجوية كما يلي:



وهنا يمكن القول إنه، كلما ارتفع عدد ذرات الأوكسجين بالنسبة للسيليكون كلما ضعفت المقاومة للتجوية.

أما بالنسبة لمعدل التجوية فإنه يتأثر بعدة عوامل منها: درجة الحرارة، معدل دخول الماء ضمن الصخور، حالة الأكسدة في نطاق التجوية. (جدول 4)

جدول (4)، يبين تأثير المناخ على عمر التجوية لبعض أنواع الصخور

نوع الصخر	المناخ	عمر الصخر بالمئة
الصخور الحامضية Acid Rocks	استوائي شبه جاف	200-65
	استوائي رطب	70-20
	معتدل رطب	250-41
	بارد رطب	35
الصخور المتحولة Metamorphic Rocks	معتدل رطب	33
الصخور القاعدية Basic Rocks	معتدل رطب	68
	استوائي رطب	40

الفصل الثاني
عوامل تكوين التربة
Factors of Soil Formation



الفصل الثاني

عوامل تكوين التربة

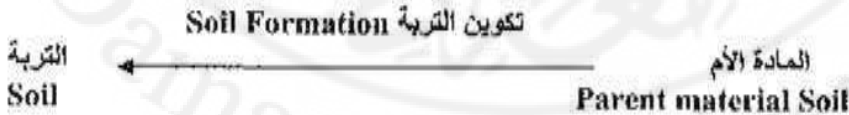
Factors of Soil Formation

٢-١ - مقدمة Introduction:

قبل الحديث عن عوامل تكوين التربة، لا بد من تعريفها، لقد وضعت العديد من التعاريف منذ نشأة علم التربة في في نهاية القرن التاسع عشر و بداية القرن العشرين، لقد كانت هذه التعاريف متقاربة أحياناً و متباعدة أحياناً أخرى، وذلك بحسب الهدف من التعريف. وأحدث هذه التعاريف وأكثرها شمولية ما ورد في كتاب مسح التربة عام 1993، (soil survey manual 1993): التربة عبارة عن تجمع لأجسام طبيعية على سطح لأرض، في المكان أو تم تعديلها أو تكوينها بواسطة الإنسان، تتكون هذه الأجسام من مواد أرضية، كما تحتوي على مواد حية تزود أو تستطيع أن تزود النباتات في الطبيعة. حدودها العليا الهواء أو طبقة رقيقة من الماء، حدودها الجانبية ماء عميق أو صخور. متكشفة أو طبقة من الجليد، أما الحدود السفلى فهي إلى العمق الذي لا يعتبر تربة.

يطلق على عملية تحول الصخور إلى تربة عبارة، تكوين التربة أو تشكيلها Soil formation، من المعروف أن هناك العديد من أنواع الصخور التي تتكون منها التربة، ومن أهم هذه الصخور: الغرانيت - البازلت - الحجر الكلسي - الحجر الرملي - الشيست - الميكاشيست واللوم وغيرها، ولتجنب الخوض في تسميات أنواع الصخور التي تكونت منها التربة، فإنه يفضل أن يطلق على هذه الصخور مجتمعة أو مفردة تعبير المسادة الأم Parent material أو الصخرة الأم parent rock، دون التطرق إلى اسم الصخر.

يمكن التعبير عن العلاقة الموجودة بين المادة الأم والتربة، بالشكل المبسط التالي:



نحتم هذه المعادلة إضافة عامل جديد وهو عامل الزمن، لأن حالة التربة أو نظام حالة التربة State of soil system ، يختلف مع الزمن. إن عملية التحول هذه (أي تكوين التربة، تكتمل خلال فترة زمنية معينة، لتعطي تربة ناضجة (Mature soil)، هنا يمكن الإشارة إلى وجود مرحلة من عدم الاستقرار خلال عملية تكوين التربة، وهي مرحلة التحول، هذه المرحلة قد تقصر أو تطول تبعاً لعدد كبير من العوامل، وبناءً على ذلك يمكن تقسيم عملية تكوين التربة إلى المراحل التالية:



تعامل التربة في الحالة السابقة على أساس أنها نظام متحرك Dynamic system وفيها يتم التأكيد على تغير صفات التربة مع الزمن، وقد تكون هذه الفكرة عن تكوين التربة عامة بعض الشيء، وذلك بسبب وجود الكثير من العوامل التي يمكن أن تتدخل في عملية تكوين التربة.

٢-٢ - عوامل تكوين التربة Factors of soil formation:

يمكن القول إن التربة عبارة عن نظام معقد Complex system إلى حد بعيد، يملك عدداً كبيراً من الصفات التي يرتبط بعضها مع بعضها الآخر بشكل وثيق، لذلك فإن تثبيت أي صفة من هذه الصفات، سيؤدي بطبيعة الحال إلى تثبيت الصفة الأخرى المرتبطة بها، على سبيل المثال:

لا يمكن عزّ أيون الهيدروجين المسؤول عن حموضة التربة، وإيون الهيدروكسيل المسؤول عن قلوية التربة، عاملين مستقلين، لأن أي تغيير في تركيز أي منهما سوف يتبعه

تغيير في تركيز الآخر، وكذلك الأمر بالنسبة لبناء التربة والمادة العضوية. وأيضاً وجود أكاسيد الحديد ولون التربة.

إضافة لصفات التربة المتعددة، هناك أيضاً عوامل أخرى تدعى بالعوامل الشرطية أو عوامل تكيف Conditioning factors ، وهي عبارة عن عوامل قادرة على تحديد نظام التربة، حيث تسمح طبيعة هذه العوامل بالاختلاف أو التعبير بشكل مستقل، أي يمكن عدها متغيرات مستقلة independent variables، وهذه المتغيرات المستقلة هي التي تدعى بعوامل تكوين التربة (هذا الادعاء افتراضي إلى حد كبير). وهذه العوامل هي:

المناخ -	(C)	Climate
الطبوغرافيا -	(r)	Relief
المادة الأم -	(p)	Parent material
الكائنات الحية -	(O)	Organism
الزمن -	(t)	Time

تملك هذه العوامل صفة مشتركة وهي أنها مستقلة ومتغيرة، وتحدد نظام التربة، طبقاً أي تغيير في طبيعة أي عامل من العوامل السابقة، سوف يؤثر وبشكل أساسي على المنتج النهائي وهو التربة، ولكن (افتراضياً) ليس على طبيعة بعضها بعضاً. وهذا يمكن القول: إنه تحت تأثير منظومة معينة من المناخ والكائنات الحية والمادة الأم والتضاريس والزمن، يكون نظام التربة ثابتاً، ويكون تحت تأثير هذه المنظومة نوع واحد من التربة.

لقد وضعت عوامل تكوين التربة المذكورة سابقاً، بناءً على مجموعة من الأفكار الخاصة بتكوين التربة، التي تعود أساسها إلى المدرسة الروسية اعتماداً على الدراسات الأولية التي وضعها العالم ديكوتشاييف Dokuchaev .

وضمن Jenny 1941 هذه الأفكار في كتابه المعروف "عوامل تكوين التربة soil Forming factors"، واعتمدت فرضية Jenny على عد أن عوامل تكوين التربة هي عوامل متغيرة ومستقلة عن التربة نفسها، لكن ليس بالضرورة أن تكون هذه العوامل مستقلة بعضها عن بعض.

حاول Jenny أن يبين العلاقة بين صفات التربة وأهم عوامل تكوينها من خلال العلاقة التالية:

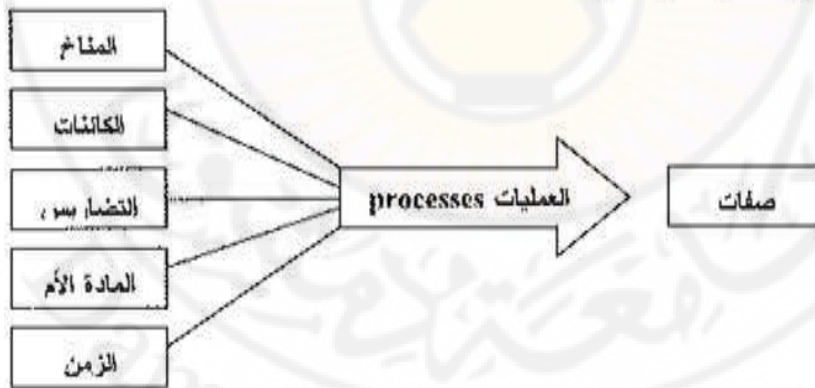
$$S = f (cl, o, r, p, t, \dots) \quad (1)$$

تدل النقاط في هذه المعادلة على إمكانية وجود عوامل أخرى أقل أهمية من العوامل الأساسية أو محدودة الانتشار كتأثير المعادن المرافقة من الجو، الحرائق، الفيضانات... الخ. أعاد Jenny (1980) النظر في تعريفه لعوامل تكوين التربة كحالة متغيرة وأضاف إليها صفات النظام البيئي ecosystem properties ، والخصائص الحيوانية والنباتية، إضافة إلى صفات التربة.

قسم Jenny فيما بعد، عوامل تكوين التربة الرئيسية إلى ثلاث مجموعات، وجعل كل مجموعة تحدد حالة معينة خلال مسار عملية تكوين التربة:

- أ- التضاريس والمادة الأم، تحددان الحالة البدائية أو الأولية لتطور التربة.
- ب- المناخ والكائنات الحية، فإنهما يحددان معدل ظهور التفاعلات الكيميائية والحيوية في التربة (أي العمليات المنشئية).
- ت- الزمن، افترض مقياساً يحدد إلى أي مدى يمكن للتفاعلات السابقة أن تستمر أو تتقدم.

ويمكن تمثيل ذلك بالشكل التالي:



كما يمكن وضع عوامل تكوين التربة من حيث فاعليتها في مجموعتين:

- عوامل فاعلة active factors وتشمل المناخ والكائنات الحية.
 - عوامل منفعة passive factors وتشمل التضاريس والمادة الأم.
- وفرما يلي استعراض موجز لكل عامل من عوامل تكوين التربة.

٢-٢-١- المناخ Climate:

بعد المناخ أحد أهم عوامل تكوين التربة، لتأثيره المباشر على عمليات تكسوين التربة، وكذلك تأثيره غير المباشر على فاعلية العوامل الأخرى، ويقسم المناخ عادة من حيث المقياس إلى مناخ محلي microclimate ومناخ شامل macroclimate، يتكون المناخ من عدة عناصر لكن هناك عنصران مهمان وبارزان يلعبان دوراً مهماً في تكوين التربة هما: الرطوبة moisture، والحرارة temperature.

- الرطوبة moisture :

تعتمد كمية الرطوبة التي يمكن أن نحصل عليها التربة وتخزينها على مجموعة من العوامل أهمها:

- شكل الأمطار وغازاتها (أمطار، ثلوج، ...).
- التغيرات الموسمية.
- معدل التبخر والنتح.
- ... الانحدار.
- نفاذية التربة.

لقد جرت محاولات عدة لتوصيف المناطق المختلفة في العالم بحسب كميات الهطول المطري، حيث عُذ بعضها مناطق جافة، وبعضها الآخر مناطق رطبة، وهناك مناطق أخرى تقع بين الحالتين، لكن هناك تباين كبير في كمية الأمطار الهائلة، فبعض المناطق قد لا تتلقى أمطاراً نهائياً أو تتلقى بضعمة ملليمترات، وبعضها الآخر تتجاوز فيها كمية الهطول السنوي 2000 مم.

يمكن تكوين فكرة أولية عن الخصائص الرطوبة لمنطقة معينة، من خلال معرفة متوسط كمية الهطل المطري السنوي فيها، لكن غالباً من الصعوبة بمكان البناء على هذه

الفكرة الأولية دون الأخذ بالحسبان العوامل المختلفة التي تؤثر على كمية الرطوبة التي يمكن للتربة الحصول عليها.

لقد وضعت العديد من الأفكار والمعادلات لتوصيف المناطق بحسب رطوبتها، واعتمد في معظمها على كمية الهطول precipitation والتبخر evapotranspiration والأخيرة تعني كمية المياه التي يمكن أن تفقد عن طريق التبخر والنتح، ومن أول هذه المحاولات، المعادلة التي وضعها Penck عام 1910 وهي P / E لتحديد المناطق المناخية وبناءً على ذلك قسم العالم إلى:

$$P < E \text{ - مناطق جافة.}$$

$$P = E \text{ = الحدود بين المنطقة الجافة والرطبة.}$$

$$P > E \text{ = المناطق الرطبة.}$$

$$P < E \text{ - كمية التبخر في المنطقة أكبر بكثير من كمية الهطول.}$$

اقترح بعد ذلك Long 1920، إدخال عامل الحرارة بدلاً من التبخر، وسماها بالعامل المطري Rain factor ووضع المعادلة التالية:

$$\text{Rain factor} = \frac{P}{T}$$

حيث P الهطول السنوي (مم) و T درجة الحرارة السنوية، وكانت هذه المعادلة موضوع نقاش، بسبب انعدام التبخر عند درجة حرارة منخفضة وتضاعفه عند درجة حرارة مرتفعة.

بعد ذلك وضع Thornthwaite عدة معادلات كان أولها عام (1931) وسماها دليل فاعلية الهطول.

ثم وضع Thornthwaite (1955) معادلة أخرى سماها معامل الرطوبة النسبي . Relative humidity index

$$Hr = 100 \left(\frac{P}{E} - 1 \right)$$

وصنف المناخ بموجب معامل الرطوبة النسبي إلى ثلاث درجات

مناخ جاف $Hr < 66.7$

مناخ شبه جاف $66.7 < Hr < 33.3$

مناخ رطب $20 < Hr < 100$

جميع المحاولات التصنيفية المسابقة للمناخ أغفلت بشكل أو بآخر عاملاً ثالثاً مهماً جداً، وهو العامل الطبوغرافي، الذي يلعب دوراً كبيراً في توزيع الأمطار الهامشية خاصة في المناطق التي تتباين فيها التضاريس، لذلك قام الأمريكيان باعتماد ما يسمى بنظام التربة الرطوبي Soil moisture regime ، أخذين بعين الاعتبار معظم العوامل التي يمكن أن تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على قدرة التربة للاحتفاظ بالرطوبة (كمحصلة نهائية لتوزيع الأمطار)، وبناءً على ذلك قسم النظام الرطوبي للتربة إلى:

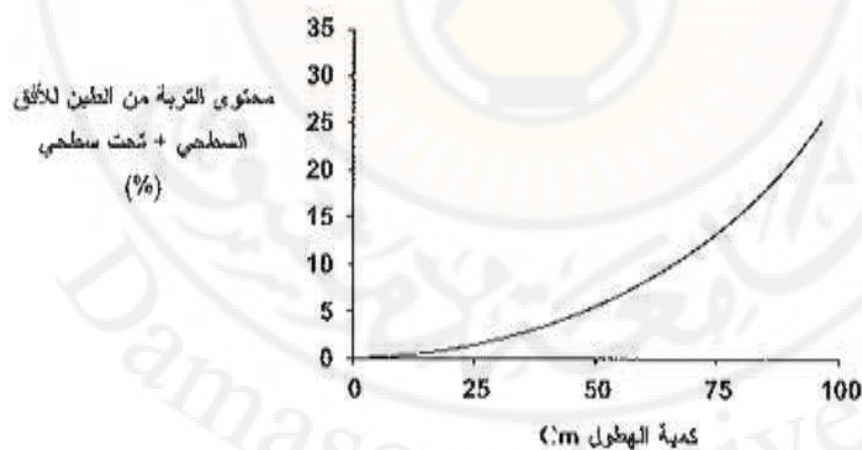
النظام الرطوبي للتربة	خصائصه
Dry الجاف	محتوى الرطوبة في التربة أقل من الكمية التي يمكن الاحتفاظ بها على 15 ضغط جوي (حد نقطة الذوبان) في ست سنوات من أصل عشرة.
Xeric المتوسطي	ترب المناطق المعتدلة التي تتصف بشتاء رطب وصيف جاف (المساخ المتوسطي).
Aridic / Torric جانف/جاف وحار	التربة جافة لأكثر من نصف الوقت (في المناطق المناخية الجافة)
Perudic فوق رطب	تكون كمية الأمطار لكل شهر من لشهر السنة أكبر من كمية البخار في معظم السنوات.
Udic رطب	لا تكون التربة جافة لفترة أكبر من 90 يوماً متتالياً (consecutive) في معظم السنوات.
Ustic شبه جاف	تكون التربة في معظم السنوات جافة لمدة 90 يوماً متتالياً، ورطبة في بعض أجزائها لمدة نصف الأيام التي تكون فيها درجة الحرارة أكبر من 5° مئوية (خلال موسم النمو).
Aquic مشبع	التربة مشبعة بشكل يكفي لتهيئة ظروفي الإرجاع، وظهور آثاره في مقطع التربة.

على كل حال ومهما تعددت أنظمة التصنيف الخاصة بالرطوبة، تبقى الرطوبة تلعب الدور المهم وأحياناً الأهم في تكوين التربة وتطورها، حيث تؤمن الرطوبة الوسط المناسب للتفاعلات الكيميائية المختلفة في التربة، وكذلك تؤمن الوسط الضروري للنشاط الحيوي، كما تلعب الرطوبة دوراً مهماً في نقل المواد المختلفة في مقطع التربة من الأعلى إلى الأسفل وذلك من خلال عملية الغسل Leaching ومنورد بعض الأمثلة على ذلك: جدول (5)، الشكل (5).

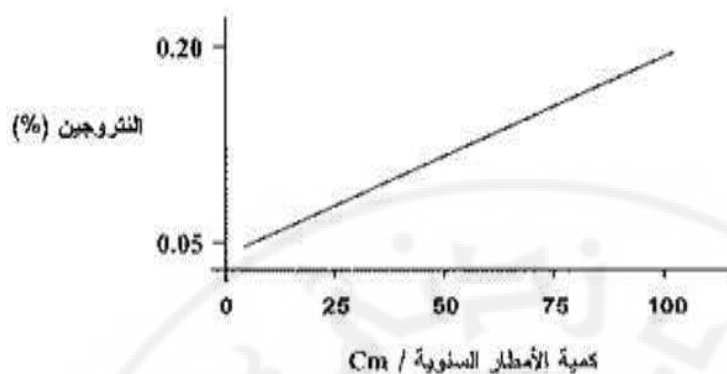
- التأثير على توزيع مجاميع حبيبات التربة:

جدول رقم (5): يبين تأثير الرطوبة على توزيع كل من السلت والرمل.

المنطقة	عدد العينات للتأخذ للتحليل	% للسلت عدا الكوارتز	% للرمل عدا الكوارتز
جافة	30	39	37
التقالية	40	29	20
رطبة (غابات)	160	12	8

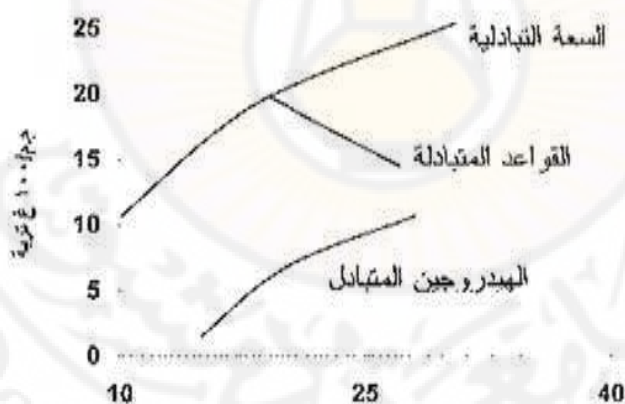


الشكل رقم (5)، يبين العلاقة بين محتوى التربة من الطين وكمية الأمطار.



الشكل رقم (6)، يبين تأثير كمية الأمطار على محتوى التربة من النيتروجين

الشكل رقم (7) والجدول رقم (6): يبينان العلاقة بين كمية الهطول السنوي من جهة والسعة التبادلية، والقواعد المتبادلة والهيدروجين المتبادل من جهة ثانية في الطبقة السطحية لتربة منملورة على اللوس.



الشكل (7) يبين العلاقة بين كمية الهطول (مم/سنة) وكل من السعة التبادلية والقواعد المتبادلة والهيدروجين المتبادل.

جدول رقم (6) يبين العلاقة بين كمية الهطول وبعض خواص التربة.

المتوسط السنوي لهطول للمطري إنش	السعة التبادلية	القواعد المتبادلة	الهيدروجين المتبادل	pH التريفة اللونية
50 - 25	29.5	24.0	5.5	6.8
75 - 50	26.2	15.9	10.3	6.3
100 - 75	22.9	8.2	14.7	5.95
125 - 100	22.3	5.4	16.9	5.7
150 - 125	20.6	4.0	16.6	5.6

2- الحرارة Temperature :

تتأثر كمية الحرارة التي تصل إلى التربة بعدة عوامل، أهمها الموقع الطبوغرافي، حالة الجو، الغطاء النباتي، لون التربة، رطوبة التربة، ...
ولعب الحرارة دوراً مهماً في تكوين التربة، ويعود هذا الدور إلى تأثير الحرارة المباشر على معدل وسرعة التفاعلات الكيميائية في التربة، وأيضاً تأثيرها الكبير على النشاط الحيوي والتفاعلات الكيميائية الحيوية في التربة، كما تمارس الحرارة دوراً مهماً في عمليات النجوية الفيزيائية المختلفة.

2-2-2- الكائنات الحية Organism :

تكون التربة مع الكائنات الحية، التي تعيش فيها أو عليها، نظاماً بيئياً متوازناً، حيث تؤثر الكائنات الحية (نباتات، كائنات دقيقة، ديدان، كائنات حية كبيرة)، على صفات التربة المختلفة، وفي الوقت نفسه تتأثر هذه الأحياء بصفات التربة التي تعيش فيها.
تؤثر الكائنات الحية على تكوين التربة، ويعتمد هذا التأثير على نوع الكائنات الحية التي تعيش في التربة أو عليها، وخاصة الأنواع النباتية المختلفة.
لقد وجد أن دراسة تأثير العامل الحيوي على تكوين التربة يمكن تبسيطه من خلال دراسة التعاقب الحيوي أو سلسلة حيوية biosequence، حيث تتضمن هذه الدراسة عدداً

من مقاطع التربة، يختلف فيها العامل الحيوي من مقطع إلى آخر، بينما تبقى عوامل تكوين التربة الأخرى ثابتة (مناخ، تضاريس، زمن، مادة أم):

$$S = f \{ (O), Cl, p, t, r, \dots \}$$

وفي سياق دراسة التعاقب الحيوي، فإنه يمكن إجراء تقييم لمدى تأثير العامل الحيوي على صفات التربة.

كذلك يجب الأخذ بالحسبان أن وضع مجموعة الكائنات الحية الموجودة في التربة، يعتمد بشكل كبير على خواص التربة، مثل كمية الرطوبة في التربة، التي تؤثر بدورها على مستوى الغطاء النباتي وتركيب التربة...

تعد الكائنات الحية كعامل من عوامل تكوين التربة متعددة الوجوه، والمهتمون بعلم التربة يرغبون بتقييم تأثير العامل الحيوي على تكوين التربة، من خلال التركيز على كل مجموعة على حدة، وذلك لتوضيح العمليات المترافقة مع كل من هذه المجموعات: مجموعة الكائنات الدقيقة (Om) microorganism، مجموعة النباتات (Ov) Vegetation، مجموعة الحيوانات (Oa) Animals، ومجموعة النشاط الإنساني (Oh) Human.

تؤثر النباتات على تكوين التربة، ويعتمد هذا التأثير على نوع النباتات وكثافتها (وتحدد غالباً من خلال الظروف المناخية ونوع المادة الأم)، وقد وجد أن سرعة تكوين التربة تحت الغابات المتساقطة الأوراق أسرع من تكوينها تحت غطاء نباتي من الأعشاب تحت نفس الظروف المناخية والمادة الأم.

إن اختلاف التركيب الكيميائي لأوراق النبات يمكن أن يساهم جزئياً في نوع التربة الناتجة أو المتكونة وعلى سبيل المثال: أوراق أشجار الصنوبر الحامضية يمكن أن تساهم في تكوين تربة حامضية مع قوام ضعيف، بينما أوراق الأشجار المتساقطة تساهم في تكوين تربة ذات قوام جيد، إضافة لذلك فإن طبيعة الغطاء النباتي أو طبيعة استعمال الأرض يمكن أن تؤثر على الكتلة الحيوية للكائنات الحية في التربة، الجدول (7)

جدول (7): كتلة ديدان الأرض في التربة تحت استعمالات مختلفة

الكتلة الحيوية لديدان الأرض	Kg / ha
أشجار خشبية	680 - 370
أشجار دائمة الخضرة	170 - 50
مراعي	1500 - 500
أراض زراعية	760 - 16

كما يبين الجدول (8) العلاقة بين النظام البيئي و كمية الأوراق النباتية في التربة.

جدول (8) الكتلة الحيوية السنوية لأوراق بعض النباتات

التمودج النباتي أو النظام البيئي	الإنتاج السنوي للكتلة الحيوية (جافة هوائية) كغ/م ² .
الصنوبر	0.12 - 0.04
أعشاب البراري الطويلة والقصيرة	0.5 - 0.16
أعشاب أرضية (شمال أمريكا)	0.9 - 0.09
أوراق الأشجار متساقطة الأوراق	0.85 - 0.40
غابات الصنوبر Conifer	3.00 - 0.80

ويجب أيضاً الأخذ بالحسبان أثر الجذور في عملية تكوين التربة، لما تمارسه هذه الجذور من فعل فيزيائي خلال تغللها وما يرافقه من زيادة تسرب المياه وحفز عملية الغسل، وكذلك الأثر الكيميائي لما تفرز من غاز CO_2 ودوره في زيادة معدل ذوبان بعض مكونات التربة، إضافة إلى كل ما ذكر سابقاً فإن الغطاء النباتي هو المصدر الأساسي للمادة العضوية في التربة، وما تلعبه هذه المادة من دور مهم في تكوين التربة.

أما بالنسبة للكائنات الحية الحيوانية، فالكبيرة منها تساهم في الإسراع فسي عملية تكوين التربة من خلال الأنفاق التي تحفرها وعملية المزج لمكونات التربة وما يتبع ذلك من تحسين بعض عمليات التجوية، أما الكائنات الحية الدقيقة، فلها دور كبير في تحليل المادة العضوية وإنتاج الأحماض العضوية التي تساهم في قسط كبير من الإسراع في تجوية العديد من مكونات المادة الأم وكذلك عملية التمعن وتحسين بعض الخواص الفيزيائية لمادة التربة.

3-2-2 - المادة الأم Parent material:

تلعب المادة الأم دوراً مهماً في تحديد العديد من خواص التربة، بعد أن مكونات التربة سوف تتأثر إلى حد بعيد بمكونات المادة الأم. ومن صفات التربة التي تتأثر إلى حد كبير جداً بطبيعة المواد الأم نجد القوام، التركيب المعدني، نوع الطين، السعة التبادلية، الخصوبة... إلى غير ذلك.

تعرف المادة الأم بحسب رأي أخصائي التربة على أنها مواد الأفق C أو R، لكن هذا التعريف وصفي فقط، على حساب أن القليل من الترب يتكون مباشرة من التجوية المباشرة للمادة الأم أو الصخر الموجود في المكان، وفي هذه الحالة تسمى الترب الناتجة من التجوية المكانية Insitu soil formation أو Residual soil، ومعظم التربة تتكون عادة من مواد منقولة بواسطة عوامل النقل المختلفة، بعيدة أو قريبة من مكان تكوين التربة وعندها تسمى بالترب المنقولة Transported soils.

ولتلافي ذلك فإن تعريف المادة الأم على أنها الحالة البدائية لنظام التربة، بغض النظر عن كون المادة الأم موجودة في المكان أو منقولة، وبناءً على ذلك يمكن أن تكون معادلة تكوين التربة من الشكل التالي:

$$S = f (P^0), Cl^0, t^0, r^0, O^0, S_1^0, S_2^0, \dots = O^0$$

إن إضافة الصفر في المعادلة السابقة يدل على أن عملية تكوين التربة بدأت من الزمن صفر.

التجوية وتكوّن التربة Weathering and soil formation:

يضع بعض أخصائيي التربة أهمية خاصة على التمييز بين عملية التجوية Weathering processes التي تأتي في سياق عوامل تكوين التربة، وبين عمليات تكوّن التربة Soil forming processes فالحالة الأولى تعد من العملية الجيولوجية، أما الحالة الأخيرة فهي من العمليات البيدولوجية.

تتضمن عملية التجوية، الحلمة، الإماهة، الكريفة، الأكسدة، الإرجاع... إلخ. أما عمليات تكوين التربة فتشمل إذابة الأملاح وترسيبها من جديد، البذلة، هجرة الطين، التملح والتغديق، القلوية، الانتفاخ والانكماش وغيرها من العمليات التي تؤدي إلى تطور التربة. عموماً يمكن تمثيل عملية التجوية كما يلي:

Rock → Weathered rock → parent material → immature soil → mature soil
صخور صخور متجوية مادة أم تربة غير ناضجة تربة ناضجة

إن صفات التربة المتكونة، تختلف باختلاف أنواع الصخور وتركيبها المعدني ومدى مقاومتها للتجوية.

وسنورد فيما يلي مثلاً يبين تأثير نوع الصخرة الأم على إحدى صفات التربة وهي القوام.

-- دلت الدراسات على أن المرحلة النهائية من تجوية الصخور الاندفاعية القاعدية (بازلت-غابرو) أدت إلى تكوين ترب حمراء غامقة، وكان توزيع الحبيبات كما في الجدول (9).

جدول (9): توزيع الحبيبات الناعمة للتربة بالعلقة مع المادة الأم (بازلت)

النسبة المئوية	الصف / ميكرومتر
87.9	2 - 0
2.8	20 - 2
3.0	50 - 20
3.6	200 - 50
2.7	2000 - 200

- بالنسبة للصخور الاندفاعية الحامضية (غرانيت - ريوليت)، فتكونت ترب جيدة الصرف لونها حمراء إلى حمراء مصفرة، وكان التوزيع الحبيبي كما هو وارد في الجدول (10).

جدول (10): توزيع الحبيبات الناعمة للتربة بالعلاقة مع المادة الأم (غرانيت)

النسبة المئوية	الصف / ميكرومتر
58.5	2 - 0
5.8	20 - 2
3.6	50 - 20
4.0	100 - 50
7.7	250 - 100
6.0	500 - 250
11.0	1000 - 500
3.7	2000 - 1000

- أما في حالة الصخور الرسوبية، الكلسية والدولوميتية، فقد توزعت حبيباتها كما يلي الجدول (11).

جدول (11): توزيع حبيبات التربة الناعمة بالعلاقة مع المادة الأم (صخور كلسية ودولومية)

النسبة المئوية	الصف / ميكرومتر
64.0	2 - 0
4.9	20 - 2
11.0	50 - 20
7.0	100 - 50
5.7	250 - 100
3.6	500 - 250
2.8	1000 - 500
10	2000 - 1000

علماً أن النتائج السابقة أخذت من ترب تقع تحت تأثير عمليات تجوية في ظروف مناخية رطبة.

عموماً، هناك اختلافات كبيرة في شدة وسرعة تجوية المادة الأم من جهة ونسائج التجوية من جهة ثانية، ويمكن القول أن ترب المناطق الجافة وشبه الجافة، تتأثر بدرجة ضعيفة بالتجوية الكيميائية، ومن ناحية التركيب المعدني فإنها تتمثل بالنالي:

- التركيب المعدني لحبيبات الرمل يماثل إلى حد كبير جداً التركيب المعدني للصخرة الأم، حيث نسبة الكوارتز الفلدسبار منخفضة مما يدل على مرحلة بدائية من التجوية.
- التركيب المعدني لحبيبات السلت مشابه للتركيب المعدني لحبيبات الرمل، وهذا يعود إلى أن عملية التجوية السائدة هي التحطيم الميكانيكي (تجوية فيزيائية).
- تسود معادن السمكتيت والإليت والباليفروسكيت (الأتاولغيت) في حبيبات الطين، مع احتمال وجود بسيط لكل من الكلوريت والفريميوليت.
- ... عملية تحرر الحديد Ferugination ، إذا وجدت، تتمثل في المناطق الجافة بوجود غلاف رقيق من الحديد على حبيبات الرمل.
- وجود الحديد في مجموعة حبيبات الطين، يكون موروثاً من عمليات مغشية سابقة.
- يتأثر التركيب الحبيبي للتربة في المناطق الجافة بوجود الأملاح مثل كربونات الكالسيوم والجبس.
- يكون عادة محتوى التربة من الطين منخفضاً، أما محتواها من السلت فهو عالٍ.

2-2-4- الطبوغرافيا Relief:

تعد التضاريس من عوامل تكوين التربة المهمة، لتأثيرها المباشر وغير المباشر على المناخ السائد (كمية الرطوبة)، والغطاء النباتي ونماذج التجوية وشدها، وتأثر عملية تكوين التربة وتطورها إلى حد كبير بعامل الطبوغرافيا، وذلك من خلال:

- التأثير المتعلق بالانحدارات، والتي تلعب دوراً مهماً في عملية نقل التربة وتراكمها وتطورها وكذلك عمق مقطع التربة (عمليات الانجراف والتراكم)، هذا التأثير قد يصل إلى مرحلة اقتطاع بعض الأفاق السطحية بشكل كامل وخسارتها، وفي حالات أخرى قد تصبح التربة معدومة وتتكشف عندها الصخور الأم، وعموماً تعمل عملية الانجراف على

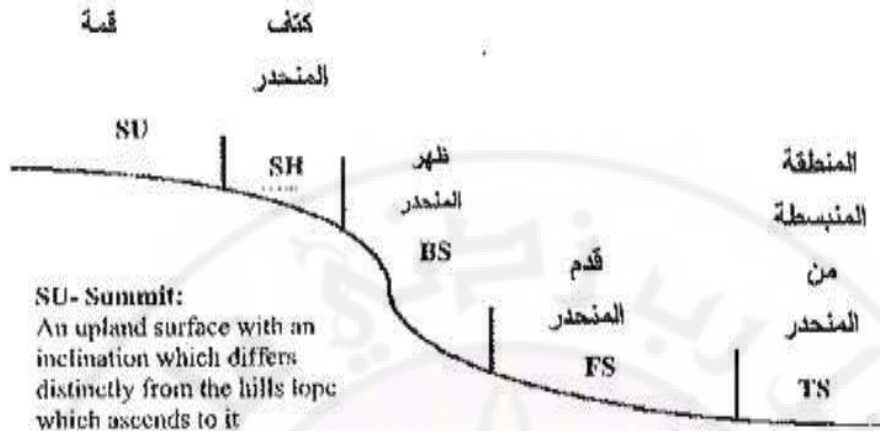
إبقاء التربة وكأنها حديثة التكوين، وبالتالي يمكن القول: إن حالة الانجراف هذه تشكل عنصراً مضاداً لإكمال تكوين التربة وتطورها.

التأثير المتعلق بحركة المياه، حيث تلعب دوراً مهماً في توزيع المياه على الوحدات التضاريسية المختلفة، مما يؤدي إلى تباين عدد من الصفات، منها حالة غسل التربة Soil leaching ، ومواقع تراكم المكونات المختلفة ومستوى الماء الأرضي، ومن الممكن أن يؤدي ذلك إلى تكوين بعض البيئات المحلية Local environments ، ومن أهم العمليات المتعلقة بحركة المياه هي عملية الغسل الجانبي Lateral leaching والتي تلعب دوراً مهماً في تكوين الترب وخصائصها وسنوضح ذلك بالأمثلة التالية:

1- شدة الانحدار: بينت بعض الدراسات أن الزيادة في شدة انحدار سطح ما يترافق في انخفاض في العمليات التالية:

- الغسيل.
- محتوى التربة من المادة العضوية.
- انتقال الطين وثرأكمه.
- تجوية المعادن.
- تمايز الآفاق.

ومن جهة أخرى نجد أن العناصر الطبوغرافية Topographic attributes والخلاء النباتي يؤثر على رطوبة التربة من خلال تحكمها بكمية المياه المفقودة بالجريان السطحي. والداخلة إلى التربة، فالترب التي تتكون من مواد تحت مسطحية غير نفوذة impermeable للماء وتلك الترب المتطورة على المنحدرات، تبدي جرياناً مائياً تحت سطحي مهم لذلك تكون الترب الموجودة على قمة المنحدر ذات صرف حر Freely drained مع وجود الماء الأرضي water table على عمق كبير نسبياً، بينما الترب الموجودة في المنطقة بين نهاية القمة وظاهر المنحدر Back slope تكون ذات صرف متوسط، أما الترب الواقعة في منطقة قدم المنحدر footslope فصرفها ضعيف ومستوى الماء الأرضي قريب من السطح، وترب أخفض المنحدر toeslope صرفها ضعيف جداً ومستوى الماء الأرضي قد يصل إلى سطح التربة. الشكل (8).



SU- Summit:

An upland surface with an inclination which differs distinctly from the hillslope which ascends to it

SH- Shoulder: The convex component between the summit and the backslope

BS- Backslope: Steepest slope gradient of the hillslope

FS- Footslope: The concave part of the hillslope (depositional area)

TS- Toeslope: The region which extends away from the of the hillslope (depositional area)

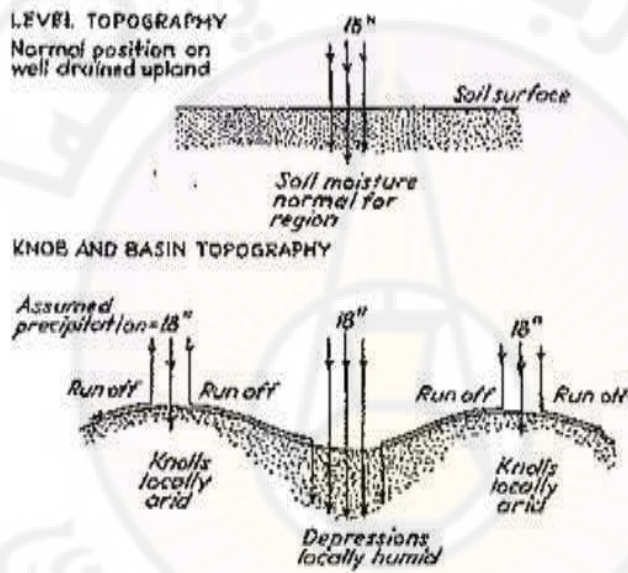
الشكل (8) يعطي فكرة عن أسماء بعض المواقع على المنحدر.

2- سماكة طبقة الأفاق Solum.

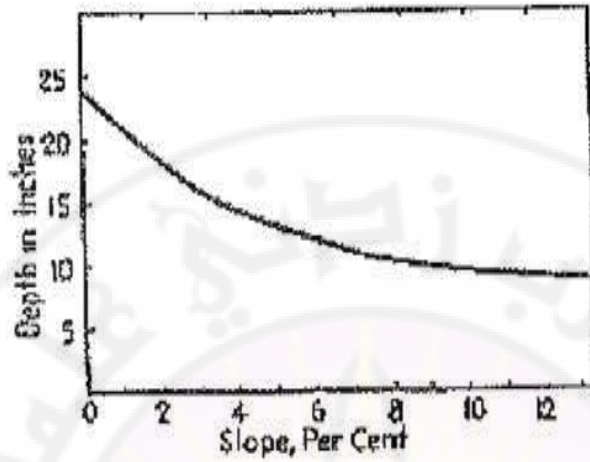
في حالة السفوح التلية hillslopes التي تسمح شدة انحدار سفوحها بنقل حبيبات التربة، نلاحظ أن عملية الانجراف تكون أعلى في المنحدرات الشديدة والمتعرجة Convex مقارنة مع المنحدرات الأقل شدة والمحدبة Concave ، وتكون التربة المتكونة على المنحدر المنحدر أقل عمقاً (ضحلة Shallow) بسبب التعرية erosion ، بينما تكون تربة قدم المنحدر footslope ونهاية المنحدر (خفس) toeslope أكثر عمقاً بسبب التراكم deposition ، وتكون عملية نقل حبيبات التربة متباينة أيضاً، فالحبيبات الخشنة مثل الرمل، تكون قليلة أما الحبيبات الناعمة والمتوسطة، الطين والسلت، على التوالي تنقل بكميات أكبر.

كذلك تلعب التضاريس دوراً مهماً في التأثير على المناخ المحلي والغطاء النباتي، كما تمارس التضاريس تأثيراً واضحاً على درجة الحرارة، حيث تنخفض درجة الحرارة بمقدار 0.5 درجة مئوية كلما زاد الارتفاع 100 م، كما تؤثر التضاريس على كمية وشكل الهطول المطري وشدة العواصف المطرية، وبالتالي تؤثر على العلاقات الرطوبية في التربة. (الشكل 9، 10).

تتفاعل العوامل السابقة بعضها مع بعضها الآخر. وتساهم في تحديد نموذج الغطاء النباتي السائد.



الشكل رقم (9)، تأثير التضاريس على نفاذ الماء في التربة



الشكل رقم (10)، العلاقة بين عمق مقطع التربة والانحدار.

5-2-2- الزمن Time: الأشكال (11،12،13)

ترتبط الخواص التغيرية للتربة بشكل أساسي مع عامل الزمن، الذي يعد العامل الأهم في التفريق والتمايز بين أنواع الترب المختلفة وخواصها المتعددة، ويمكن تقسيم تغيير خواص التربة بالعلاقة مع الزمن إلى ثلاث مجموعات:

- خواص سريعة التغير: أي يمكن لهذه الخواص أن تتغير من ساعة إلى أخرى، بمعنى آخر خلال فترة زمنية قصيرة، من هذه الخواص، درجة الحرارة، ضغط غساز ثاني أكسيد الكربون، التركيز الأيوني، النشاط الحيوي.
- خواص تتغير موسميًا، أي أن هذه الخواص تتأثر بالتغيرات الموسمية التي تتعرض لها التربة، مثل pH التربة، تركيز الملوحة، تركيز بعض العناصر الغذائية مثل الأزوت.
- هناك خواص تأخذ فترات زمنية طويلة قد تصل إلى مئات أو حتى آلاف السنين مثل تمايز الأفاق.

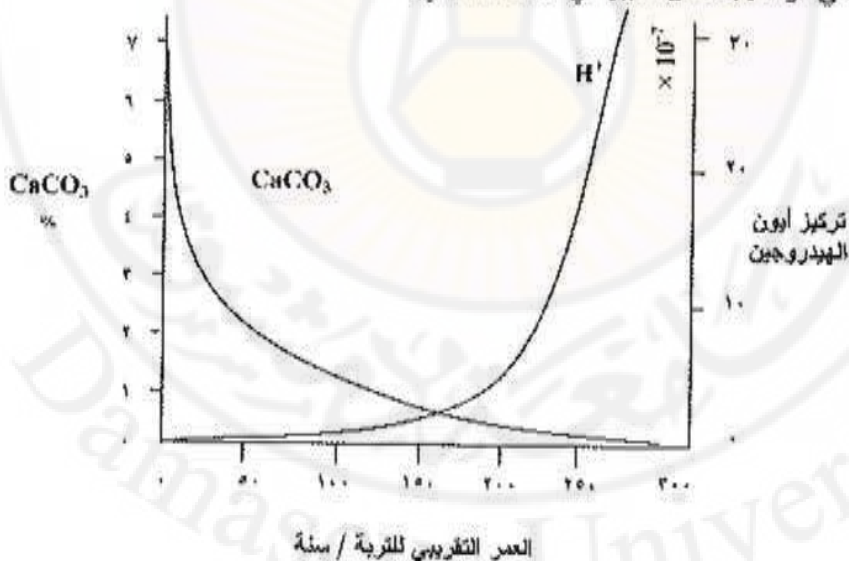
وعموماً تمر الترب من حيث تطورها بالعلاقة مع الزمن في ثلاث مراحل أساسية:

تربة حديثة أو غير ناضجة ← تربة ناضجة ← تربة قديمة

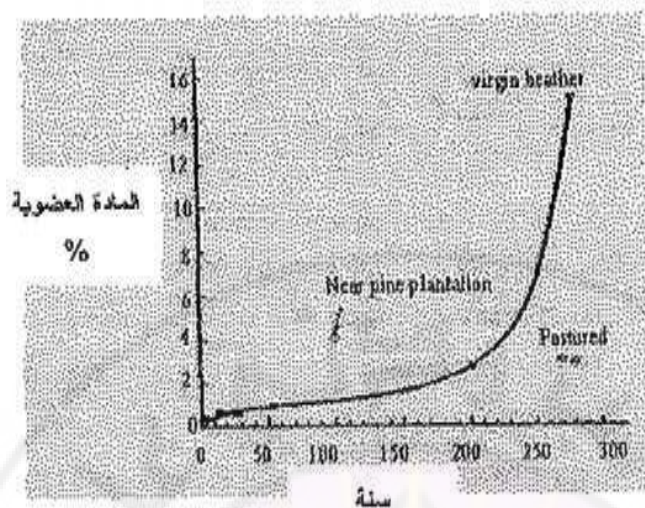
تحتاج الترب الحديثة مثل الترب البدائية إلى حوالي 100 سنة لتكوينها، بينما تحتاج الترب الناضجة مثل الترب الطينية Alfisols والبذولية spodosols إلى حوالي 1000 سنة أما الترب القديمة مثل ترب Oxisols و Ultisols فقد تحتاج إلى 10000 سنة أو أكثر لتكوينها.

- على العموم يمكن أن يؤثر عامل الزمن على تكوين التربة بطريقتين:
- التغيرات التي تطرأ على حالة عامل تكوين التربة مع الزمن، مثل التغيرات المناخية، إضافة مواد أم جديدة.
- يعتمد استمرار التفاعلات البيولوجية المنشئية على الزمن التي تبقى فيها هذه التفاعلات فعالة.

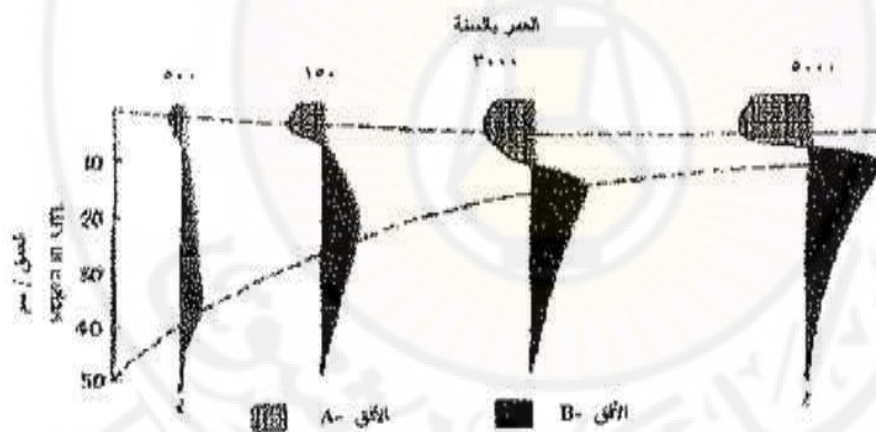
لذلك يمكن تمييز نوعين من الترب بالعلاقة مع الزمن والعمليات المنشئية، ترب وحيدة المنشأ Monogenetic soils، وهي الترب التي تكونت تحت مجموعة واحدة من عوامل تكوين الترب لمدة زمنية محددة. (حالة عوامل تكوين التربة مستقرة خلال تلك الفترة). وترب متعددة المنشأ Polygenetic soils، وهي ترب تكونت تحت تأثير عوامل تكوين التربة، لكن هذه العوامل (واحد منها أو أكثر) تعرضت للتغيير مرة أو أكثر مثل التغيير المناخي، وما يتبعه من تغيير في الغطاء النباتي.



الشكل (II)، تأثير الزمن على تركيز كل من كربونات الكالسيوم والهيدروجين



الشكل (12)، تأثير الزمن على محتوى التربة من المادة العضوية



الشكل (13)، تكوين الألق A و B في تربة بدزولية وعلاقته بالزمن

الفصل الثالث
التركيب المعدني للتربة

Mineralogical composition of the soil
(معادن الطين Clay minerals)



الفصل الثالث

التركيب المعدني للتربة

Mineralogical composition of the soil

(معادن الطين Clay minerals)

٣-١- مقدمة:

ثم الحديث سابقاً عن التركيب المعدني للغطاء الأرضي، وتناولنا فيه المعادن الأولية وسوف يخصص هذا الفصل للحديث عن المعادن الثانوية وخاصة معادن الطين. تعد معادن الطين من أكثر المعادن انتشاراً على سطح الأرض، حيث تشكل الجزء الأكبر من مكونات الصخور الرسوبية، وخاصة تلك التي تدعى الصخور الطينية Mud rocks ، حيث تشكل معادن الطين نحو 40 % من مجموع مكونات هذه الصخور (Nelson, 2006)، هذا وتوجد معادن الطين في معظم الترب وينسب مختلفة، حيث تشكل الجزء الأكبر من مكونات بعض الترب.

إن المعرفة الدقيقة والفهم الواضح للسيليكات الورقية Phyllosilicates بعد الخطوة الأساسية للانطلاق لفهم معادن الطين، تعد هذه المعرفة ضرورية جداً من الناحية الزراعية، لأنها تساعد في معرفة بناء التربة، عمليات التجوية التي تطرأ على هذه المعادن، العناصر الغذائية المتبادلة أو المستخلصة من هذه المعادن، على سبيل المثال، تعد معادن الميكا في التربة، مصدراً مهماً لعنصر البوتاسيوم الضروري لنمو النبات، مثال آخر، تحول الميكا إلى فيرميوكوليت وسمكتيت، يؤدي إلى زيادة كبيرة في السعة التبادلية الكاتيونية، كذلك صلبة الحرارة والتعامل مع التربة يرتبط غالباً بكمية الطين ونوعه الموجود فيها، يضاف إلى ذلك أهمية معادن الطين في مجال الهندسة المدنية والإنشاءات العمرانية وكذلك في الصناعة.

3-2- مفهوم معادن الطين Concept of clay minerals:

يختلف مفهوم كلمة الطين Clay، وذلك تبعاً للغرض المقصود من استعمالها، وبشكل عام يقصد بالطين ذلك الجزء الناعم من التربة الذي يتصف بالليونة وقابلية التشكل عند محتوى رطوبي معين، أما من الناحية الميكانيكية فتعني كلمة الطين تلك الحبيبات التي تقل أقطارها عن 1 ميكرون أو 2 ميكرون وذلك بحسب المدرسة المتبعة.

هذا وقد عرفت الرابطة العالمية لدراسة معادن الطين (AIPEA) معادن الطين على أنها تنبع الميلىكات الورقية، تتوضع فيها رباعيات الوجوه Tetrahedral (SiO_4^{4-}) في شرائح Sheets، ينجم كل منها عن اشتراك كل رباعي وجوه بثلاث زوايا، تبقى الزاوية الرابعة حرة للارتباط مع شريحة ثمانية الوجوه Octahedra ، حيث يسمح الوضع الجديد باستمرار رباعيات الوجوه بالنمو في الاتجاهين الأفقيين.

3-3- منشأ معادن الطين Genesis of clay minerals:

يعرف المعدن عموماً على أنه جسم صلب ومتجانس يوجد طبيعياً، وله تركيب كيميائي محدد (لكن ليس دائماً ثابتاً)، وله ترتيب ذري وبذية بلورية منتظمة. تنقسم معادن التربة عادة إلى معادن موروثية Inherited غالباً من المادة الأم (الصخور) ومعادن تشكلت خلال عمليات التجوية المختلفة للمواد الأولية وخلال العمليات المنشئية للتربة. ومعادن الحارث شأنها في ذلك شأن المعادن الأخرى في التربة، فهي تصنف في مجموعتين بحسب منشأها:

أ- معادن طين أولية Primary clay minerals : وهي معادن تدخل بالأصل في تركيب الصخرة الأم، حيث تشكلت تحت درجة حرارة عالية إبان تمايز الصخور الاندفاعية أو تشكل الصخور المتحولة، وتأثرت بعدئذ بالتجوية الفيزيائية التي أدت إلى تغيير أبعادها دون تغيير يذكر لا في تركيبها الكيميائي ولا في بنيتها البلورية، ومن هذه المعادن، الميكا والكلوريت.

ب- معادن طين ثانوية Secondary clay minerals: وهي معادن تشكلت في الترب أو الصخور الرسوبية تحت تأثير درجات حرارة منخفضة. ونتجت عن المعادن الأولية و عما تعرضت له هذه المعادن من تجوية كيميائية متنوعة في الشدة والشروط، الأمر الذي لابد من أن ينعكس على طبيعة هذه المعادن التي تتوقف إذاً على الظروف السائدة خلال عمليات التجوية، وتكون معادن الطين الثانوية على الأولية في معظم الترب، وتقل كميتها في ترب المناخ الجاف. ومن هذه المعادن نذكر مجموعة السمكتيت ومعادن الكاؤولينيت والبالغروسكيت وغيرها.

٣-٤ - الاستبدال المتماثل Isomorphous Substitution

الاستبدال المتماثل هو الحادث الفيزيا - كيميائي الذي يعين مقدرة عنصر على استبدال عنصر آخر في الشبكة البلورية، ويتم في المقام الأول وفقاً لقواعد غولد شميت المبنية على النموذج الأيوني للشبكة البلورية وهي:

١. عندما يدخل أيونان متماثلان في تكافئتهما وفي نصف قطرها الأيوني، في تنافس لشغل موقع كيميائي - بلوري، فإن محتوى المعنن منهما يتناسب طردياً مع نسبتهما في وسط التبلور، أي أن نسبتهما تبقى ثابتة في المركب.

٢. إذا ما كان الأيونان متماثلين في الشحنة ومختلفين في نصف القطر الأيوني، فالأصغر منهما يدخل البناء البلوري بسهولة أكبر، شريطة أن لا يتجاوز الفرق بينهما 15% (مقارنة مع الأيون الأصغر)، ذلك أن الاستبدال بينهما يصبح غير ممكن عندما يتجاوز الفرق هذه القيمة الحدية (الجدول 12).

٣. إذا ما كان الأيونان متماثلين بالقطر الأيوني ومختلفين بالشحنة فإن البناء البلوري يفضل أقواهما شحنة.

تعد القواعد السابقة أساساً لوضع الإطار العام لظاهرة الاستبدال المتماثل التي تقوم على الأسس التالية:

- التشابه في القطر الأيوني وفي رقم التنسيق.
- التشابه في التكافؤ وفي البنية الإلكترونية، ولكن على الرغم من أن هذا التشابه يسهل من الاستبدال، فإنه ليس شرطاً أساسياً، بسبب تعدد الأمثلة التي تخرج عن القاعدة، وربما كانت المسببات من أكثرها انتشاراً (استبدال Si بـ Al) في الشريحة الرابعة واستبدال Al بـ Mg) في معادن الطين الثلاثية)، ذلك على أن لا يتجاوز الفرق بين تكافؤي الاستبدال شحنة واحدة في غالب الأحيان.

- تشابه العنصرين بالكهراسلبية، وتشابه شكل متعددي الوجوه الناتجين عنهما أيضاً.
- يتأثر الاستبدال بدرجات الحرارة والضغط، فالاستبدال يمكن أن يكون تاماً على درجات حرارة وضغوط مرتفعة، في الوقت الذي يبقى فيه جزئياً على درجات حرارة وضغوط منخفضة.

- إن شدة الاستبدال وتكراره يتوقفان أيضاً على طبيعة البنية الكيميائية فبعض البنى تظهر قدرة متميزة على الاستبدال.

استناداً إلى ما تقدم يمكن لبعض الكاتيونات أن تستبدل كاتيونات أخرى من مواقعها وإن اختلفت عنها في التكافؤ شريطة اقترابهما في القطر ودرج التناسق .

ويعد استبدال Si ، Al في رباعيات الوجوه واستبدال Al ، Mg في ثمانية الوجوه أو العكس من الأمثلة الشائعة التي تعد مصدراً مباشراً لشحنات كهربائية سالبة أو موجبة، تظهر محصلتهما في معادن الطين على صورة شحنة كهربائية سالبة دائمة Permanent charge ، تعدل بادمصاص كاتيونات تتنظم لتشكّل ما يسمى بالطبقة الأيونية المزوجة Ionic double Layer .

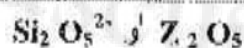
جدول (12)، يبين نصف قطر بعض العناصر المهمة في التربة، والنسبة بينها وبين O^{2-} والعنصر:

العنصر	نصف القطر nm	نسبة نصف القطر إلى نصف قطر الأكسجين
O^{2-}	0.140	-
Si^{+4}	0.039	0.278
Al^{+3}	0.051	0.364
Fe^{+3}	0.064	0.457
Mg^{+2}	0.066	0.471
Fe^{+2}	0.074	0.529
Mn^{+2}	0.080	0.571
Na^{+}	0.097	0.693
Ca^{+2}	0.099	0.707
K^{+}	0.133	0.950

٣-٥- سيليكات الطين الورقية أو الطبقيّة Layer or Phyllosilicates:

تشكّل سيليكات الطين الورقية الجزء الأكبر من معادن الطين في التربة، وهي رقائق

ثنائية البعد Bidimensional layers ولها الصيغة العامة التالية:



وتتميز بنيتها إلى العناصر التالية، وذلك بحسب CMS 1971 (ثبت في Dixon 1977):

- أ- المستوى Plane: للتعبير عن توضع الذرات المتماثلة جانبياً في رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه، مثال: ذرات الأوكسجين في رباعيات الوجوه.
- ب- الشريحة Sheet: تدل على مجموعة مستويات، مثال: مستوى الهيدروكسيل ومستوى الألومنيوم في ثمانيات الوجوه.
- ج- الطبقة Layer: للتعبير عن اتحاد شريحتين أو أكثر، لتشكل الوحدة البلورية للمعدن.
- د- الفراغ بين الطبقات Interlayer space أو الفراغ البيني: ويقصد به الفراغ الموجود بين طبقتين متتاليتين.

المبادئ الأساسية للبنية General principles of the structure:

أ- شريحة رباعيات الوجوه Tetrahedral sheet:

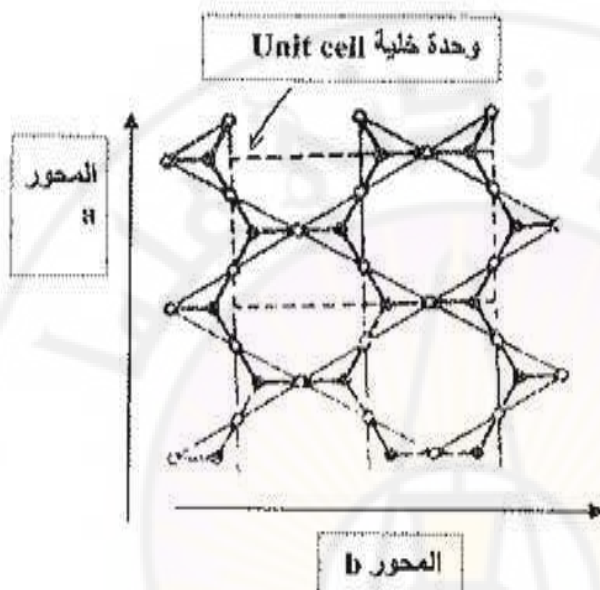
تتألف شريحة رباعيات الوجوه من رباعيات وجوه SiO_4 ، تتوضع هذه الرباعيات، حيث تشارك ثلاث ذرات من O^{2-} في رباعية الوجوه، مع ثلاث رباعيات وجوه مجاورة، الشكل (14)، تكون أنيونات الأوكسجين المشاركة جميعها في المستوى نفسه (المستوى a b من البناء البلوري)، وهذه الذرات من الأوكسجين تدعى بالأوكسجين القاعدي Basal Oxygen، يجب ملاحظة أن كل رباعي وجوه متجانسة تشارك بأوكسجين واحد. أما بالنسبة للأوكسجين الرابع في كل رباعية وجوه، فإنه لا يشارك في رباعية وجوه أخرى بل يبقى حراً ليرتبط مع متعدد وجوه آخر، الأوكسجين غير المشارك يطلق عليه اسم الأوكسجين الساند أو الداعم Apical Oxygen.

وهذا التجمع (التكاثف) Polymerization لرباعيات الوجوه، يأخذ مكانه في اتجاهين فحسب، ليعطي الشكل البنائي المميز لهذه المعادن.

وكما يظهر من الشكل (14) يتميز التجمع إلى وحدات سداسية تتألف كل منها من رباعيات وجوه ست، تتنظم فيما بينها لتشكل فجوات سداسية Hexagonal cavities.

ويسمى المستوى الذي يدخل في تشكيل رباعيات الوجوه بالمستوى a و b للبناء البلوري، حيث يعد a و b بعدين بلوريين يكافئ كل منهما في اتجاهه ما يسمى بالعقدة البلورية

التي تعرف على أنها المسافة الفاصلة بين ذرتين أو جزيئين، وإن المقاييس الأولية a و b هما أقصر مسافة على المحورين a و b حتى نجد O^{2-} أو Si آخر، ويساوي المحور a نحو 9 Å أما المحور b فيساوي 5.1 Å تقريباً.

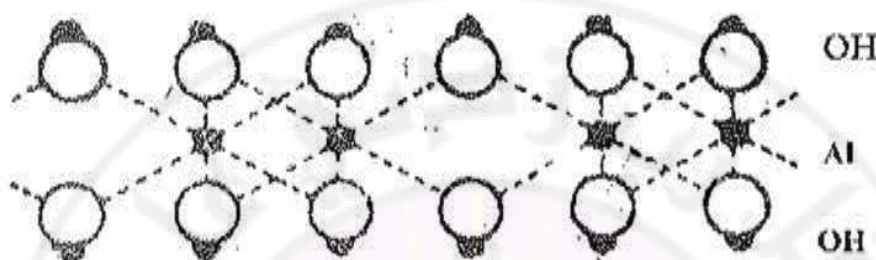


الشكل (14)، رسم تخيلي يبين تجمع رباعيات الوجوه وتشكل الفجوات السداسية

ب- شريحة ثمانية الوجوه Octahedral sheet:

يوجد في شريحة ثمانية وجوه منفصلة، مثل بلورة الجبسيت، ذات الصيغة العامة $Al(OH)_3$ ، كل Al^{3+} محاط بست ذرات من الأوكسجين O^{2-} ، ويوجد أيضاً عدد من ذرات الهيدروجين H^+ مساوٍ لعدد ذرات الأوكسجين، لذلك يفضل القول إن كل ذرة الألمنيوم محاطة بست جزيئات من الهيدروكسيل OH ، خاصة أن حجمها قريب جداً من حجم ذرة الأوكسجين، تتوضع كل ذرة الألمنيوم بين مستويين من الهيدروكسيل، كيف يتم التوازن الكهربائي في هذه الحالة ؟

تحاط كل ذرة Al^{+3} بستة جزيئات من OH^- ، وبما أن عدد شحنات الألومنيوم يساوي ثلاث شحنات موجبة، فإن التوازن الكهربائي يحصل عندما ترتبط كل ذرة الألمنيوم ثمانية وحسب، كي يعادل النصف المتبقي من الشحنة السالبة، بمعنى أن ترتبط كل جزيئة OH^- بذرتي Al^{+3} كما في الشكل (15).

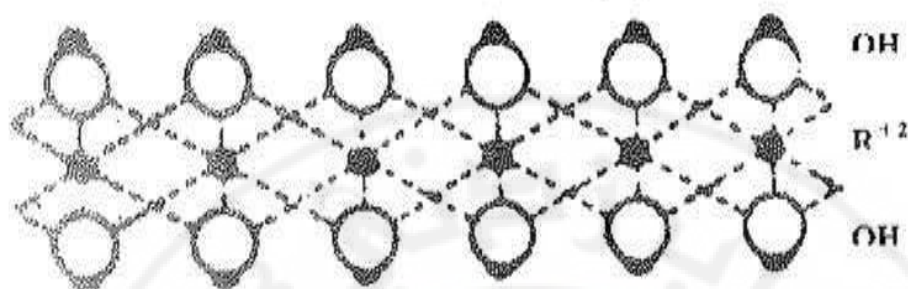


الشكل (15)، يبين بنية ثمانية وجوه الومينية

يلاحظ من الشكل السابق أن كل مستويين من OH^- ، يشكلان ثمانيات وجوه مستمرة، وليس كل زوايا ثمانيات وجوه OH^- مشغولة بالألمنيوم (أو أي كاتيون ثلاثي التكافؤ)، بل اثنتان فحسب من أصل كل ثلاث ثمانيات وجوه تكون مشغولة بالألمنيوم، كما هو واضح من الشكل السابق، يدعى هذا النموذج البنائي لثمانيات الوجوه، بثمانيات وجوه ثنائية DiOctahedra.

أما في شريحة منفصلة من ثمانيات وجوه المغنزيوم brucite sheet ذات الصيغة $Mg(OH)_2$ ، يوجد مستويان من OH^- متوضعان فوق بعضهما بعضاً، وكنتيجة لرقم التنسيق 6 للـ Mg^{+2} فإن كل ذرة مغنزيوم محاطة بستة جزيئات من الهيدروكسيل، إن محصلة توزيع الشحنات هي ست شحنات سالبة لجزيئات الهيدروكسيل مقابل شحنتين موجبتين للمغنزيوم، هذا يعني أن الشحنات الموجبة للمغنزيوم، تعادل ثلث الشحنات السالبة للهيدروكسيل فحسب، حتى يحصل التوازن الكهربائي، فإنه يجب أن ترتبط كل جزيئة OH^- بثلاث ذرات من Mg ، وبمقارنة هذه الحالة، مع حالة الألمنيوم السابقة، نلاحظ أنه في طبقة البروسيت، وحتى يحصل التعادل الكهربائي، يجب أن تكون المواقع الثلاثة في شريحة الثمانيات، مشغولة بذرات

المغنيزيوم، تدعى بنية ثمانية الوجوه المتشكلة، عند انشغال المواقع الثلاثة بثمانيات وجوه ثلاثية Trioctahedra الشكل (16).



الشكل (16)، رسم تخطيطي لشريحة ثمانية وجوه ثلاثية

ج- الارتباط بين شرائح ثمانية الوجوه وشرائح رباعيات الوجوه:

لقد لاحظنا أن الزوايا العليا لرباعيات الوجوه، غير مرتبطة برباعيات وجوه أخرى، وإذا افترضنا أنه قد أزيلت بعض شوارب الهيدروجين من شريحة ثمانية الوجوه، فإن الأوكسجين المتبقي يشكل قمة Δ رباعية الوجوه، وهذا الأوكسجين يعود أصلاً لثمانيات الوجوه، وبهذه الطريقة ترتبط رباعيات الوجوه مع ثمانية الوجوه.

اعتماداً على عدد الشرائح (من رباعيات وثمانيات وجوه) يمكن أن نميز البنى التالية: إذا تم ارتباط شريحة ثمانية الوجوه من جهة واحدة مع شريحة رباعيات الوجوه، نحصل على بنية مؤلفة من شريحتين ويرمز لها بـ 1:1 أي شريحة رباعيات وجوه وشريحة ثمانية وجوه.

إذا تم الارتباط على جهتي شريحة ثمانية الوجوه مع شريحتين من رباعيات الوجوه، تنتج بنية مؤلفة من ثلاث شرائح ويرمز لها بـ 1:2، أي: من شريحتي رباعيات وجوه مع شريحة ثمانية وجوه.

يوجد احتمال آخر لارتباط شرائح رباعيات الوجوه مع ثمانية الوجوه، كأن تتحدد طبقة من النموذج البنائي 1:2 مع شريحة ثمانية وجوه ثلاثية والتي تدعى بشريحة الماعات أو البروسيت، في هذه الحالة يعترض تتابع الطبقات 1:2 بدخول شريحة البروسيت، ينتج عن هذا النوع من الارتباط بنية يرمز لها بـ 1:1:2.

في حالة البنية 1:1، تتحدد الطبقة بمستوى من الأوكسجين من جهة ومستوى من OH من الجهة الثانية للطبقة.

بينما في البنية 1:2، يشكل مستوى الأوكسجين الحد الخارجي للطبقة من الجهتين. هناك صفة مهمة أخرى وهي وجود فجوات سداسية Hexagonal cavities هذا يعني أنه لا يمكن لثمانيات الوجوه أن ترتبط مع رباعيات الوجوه في هذه النقاط، لذلك تحتفظ ثمانيات الوجوه بذرة الهيدروجين H^+ في هذه المواقع، وبالتالي يوجد دائماً جزيء OH فوق هذه الفراغات.

3-6- المسافة القاعدية Basal spacing:

لقد مر سابقاً، أن ارتباط شريحة من رباعيات الوجوه مع شريحة من ثمانيات الوجوه، أو ارتباط شريحتين من رباعيات الوجوه على جانبي شريحة من ثمانيات الوجوه، يشكل طبقة من السيليكات، تبقى هذه الطبقة بشكل منفصل في حالات نادرة جداً، لكن الحالة العامة والسائدة هي ارتباط هذه الطبقة مع طبقة أخرى (جانبياً) عن طريق جسر هيدروجيني Protonic bridge، تدعى المسافة التي تفصل بين مستوى الأوكسجين الأسفل في الطبقة ومستوى الأوكسجين الأسفل من الطبقة التالية، المسافة القاعدية Basal spacing ، وتقاس عادة بالأنغستروم A° ($1 A^\circ = 10^{-8} \text{ cm}$)، ويفضل الآن استخدام النانومتر $1 A^\circ = 0.1 \text{ nm}$).

تستخدم المسافة القاعدية للتعرف على المعادن وتمييز بعضها من بعض، ويمكن أن تكون المسافة ثابتة (لا تتغير عند المعاملات المختلفة للمعدن)، أو متغيرة بحسب المعاملة التي يتعرض لها المعدن. وتستخدم أحياناً كثيرة لتصنيف المعادن وخاصة المعادن الورقية.

3-7- المجموعات الرئيسية لمعادن الطين Main group of clay minerals:

يمكن القول إن معادن الطين السيليكاتية ذات البنية الورقية، هي من أهم معادن الطين في التربة، ومرد ذلك إلى سيادة هذه المعادن من جهة وإلى الخواص الفيزيائية والكيميائية التي تملكها من جهة أخرى.

سنحاول في هذا الفصل، إلقاء الضوء على أهم معادن الطين الورقية، وبهدف تسهيل الدراسة فقط، سنعتمد التصنيف بحسب عدد الشرائح في الطبقة الواحدة عند هذه المعادن.

أولاً- مجموعة الكاؤولينيت والسرينتيت (معادن 1 : 1):

Kaolinite and Serpentine group (1:1 clay minerals)

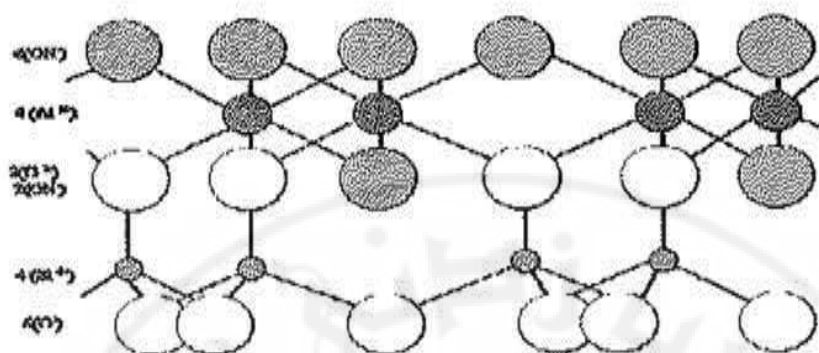
يعد معدن الكاؤولينيت من أكثر معادن الطين انتشاراً في التربة، وهو من المعادن السائدة في ترب المناطق ذات المناخ الحار والرطب، ويعد من أهم مكونات رسوبيات المحيطات Oceanic sediments في الحزام الاستوائي، أما بالنسبة لمعدن الهالوزيت Halloysite (وهو من مجموعة الكاؤولينيت)، فإنه يتشكل بسرعة في الترب المتطورة على مواد من أصل بركاني، يعد كل من الكاؤولينيت والهالوزيت من نواتج التجوية الحامضية (1977,Dixon).

معادن السرينتيت هي أيضاً سيليكات ألومنيوم ورقية من النموذج 1:1، لكن يمكن للألمنيوم أو الحديد أو المغنزيوم، أو أي كاتيون آخر، أن يحتل موقعاً في شريحة ثمانية الوجوه، مما يجعل الخواص المعدنية للسرينتيت أكثر تعقيداً من الكاؤولينيت والهالوزيت، يعد السرينتيت معدناً نموذجياً من حيث حجم حبيباته التي تكون دائماً أخشن من مجموعة الطين، وهو من المعادن النادرة في التربة.

1- معدن الكاؤولينيت Kaolinite :

أ- بنية الكاؤولينيت structure of Kaolinite $Si_4 Al_4 O_{10} (OH)_8$:

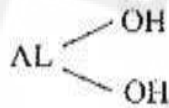
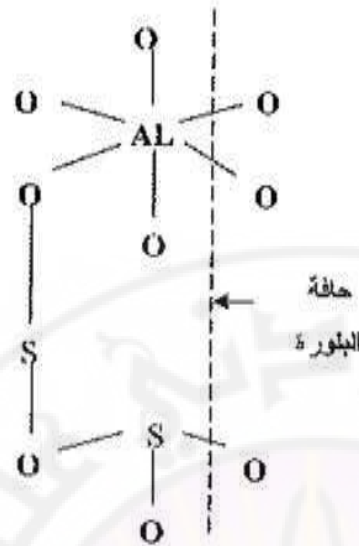
تتألف بنية الكاؤولينيت (الشكل 17)، من رباعية وجوه وثمانية وجوه، وهو من المعادن السيليكاتية الورقية ذات النموذج 1/1، والتي تكون ببعد قاعدي Basal spacing مقداره $7.2 \text{ \AA}$ أو 0.72 nm ، يعد تركيب الكاؤولينيت ثابتاً جداً لغياب ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل سواء في رباعية الوجوه أو في ثمانية الوجوه وبعد غياب الاستبدال الأيوني المتماثل، السبب في عدم وجود شحذات كهربائية على الشبكة البلورية، وللكاؤولينيت الصيغة البنائية التالية: $(Si_4)^{IV} (Al_4)^{VI} O_{10} OH_8$.



الشكل (17) ، رسم تخطيطي يبين بنية الكاولينيت

ب- شحنة الكاولينيت Charge of Kaolinite :

يتميز الكاولينيت بتركيبه الثابت، وبعدم وجود استبدال متماثل في أي من شريحة رباعيات الوجوه أو ثمانية الوجوه، وهذا يعني أن الشحنات في الكاولينيت متعادلة كهربائياً، لكن من الناحية العملية يمكن أن يحمل الكاولينيت شحنات كهربائية، تتكون هذه الشحنات على حواف البلورة فحسب وتدعى أثر الحافة Edge effect، وذلك بسبب تحطيم بعض روابط الشبكة البلورية وظهور نكافوات غير مشبعة على طول شرائح رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه كما يلي:



يلاحظ من الشكل السابق وجود مجموعتين فعاليتين هما مجموعة :

ومجموعة: $\text{Si} - \text{O}^-$ ، تنتجان بتأنيهما شحنة كهربائية متغيرة Variable charge تابعة لدرجة الـ pH والتركيز الأيوني للوسط.

ج- خواص الكاؤولينيت Specific surface:

1- السطح النوعي specific surface:

يتكون السطح النوعي للكاؤولينيت، غالباً من المبطوح الخارجية للمستويات المختلفة، إضافة إلى سطوح الحواف، لقد ذكر بعض الباحثين، أن السطح النوعي للكاؤولينيت يتراوح من 5-14.5 م²/غ لحبيبات مختلفة الأحجام، وذلك عند استخدام طريقة ادمصاص الغليسرول Glycerol adsorption، أما عند استخدام طرائق قياس أخرى، فإن السطح النوعي للكاؤولينيت قد اختلف بين 6-39 م²/غ، باستخدام طريقة N_2 BET وبين 8-25 م²/غ عند استخدام طريقة ادمصاص السالب Negative adsorption.

2- الكثافة Density:

لمعدن الكاولينيت كثافة تساوي 2.360 غ/سم³، سواء تم تقديرها حسابياً اعتماداً على المعطيات البلورية أم عند قياسها بالماء.

3- سعة التبادل الكاتيوني Cation exchange capacity (CEC):

يتميز الكاولينيت بسعة تبادل كاتيوني منخفضة، وذلك بسبب الغياب شبه التام لمظاهر الاستبدال الأيوني المتماثل، وتتراوح سعة التبادل الكاتيوني عادة بين 3-5 م.م/100 غ. ونادراً ما تصل إلى 20 م.م/100 غ.

4- الشكل Form: الشكل (17)

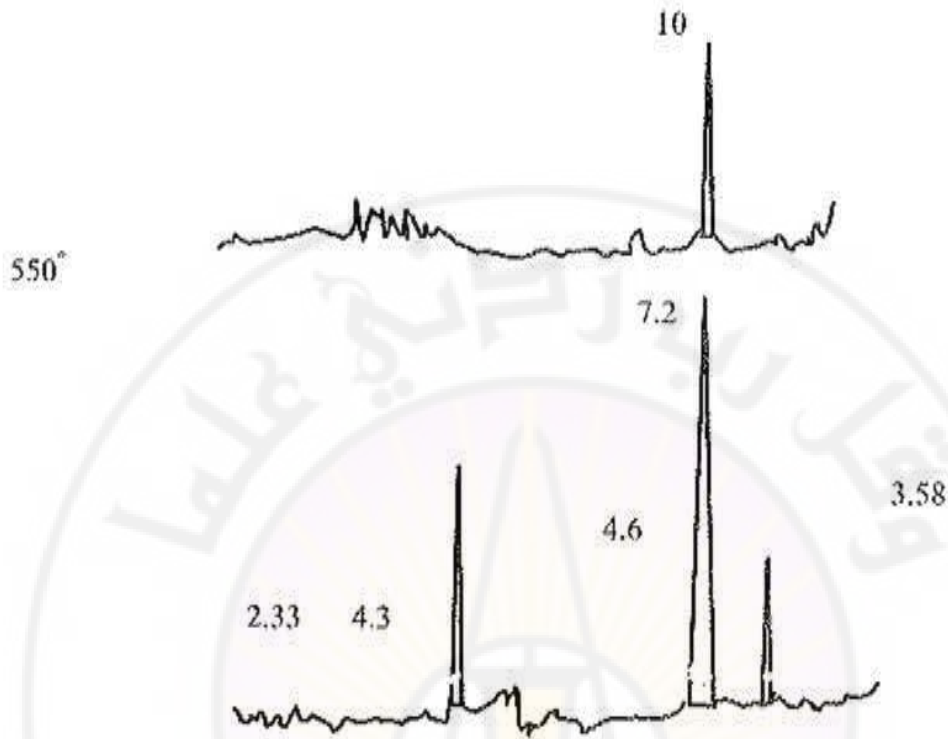
يأخذ الكاولينيت غالباً شكل صفائح سداسية، قد تصل أبعادها إلى 2 ميكرون أو أكثر، لذلك يمكن للكاولينيت أن يوجد في مجموعة السلت أيضاً، لكن لا يمكن اعتماد هذه الصفائح السداسية كبرهان قاطع على وجود الكاولينيت، لأن بعض المعادن الأخرى قد تأخذ الشكل نفسه، مثل الفرميكوليت والجيسيت.

5- المسافة القاعدية Basic spacing:

يعطي الكاولينيت سلسلة من الانعراجات أو القمم Peaks، عند معاملته بالأشعة السينية، تبدأ من 7.15 - 7.2 A° للمرتبة الأولى ثم 3.58 A° للمرتبة الثانية و 2.34 A° للمرتبة الثالثة، الشكل (18)، من الناحية العملية، إن أكثر القمم وضوحاً هي التي تعود للمرتبتين الأولى والثانية، تزول جميع الانعراجات عند تعريض الكاولينيت لدرجة حرارة 550°م قبل استعمال الأشعة السينية، وذلك عائد إلى تحطيم الوحدة البنائية، نتيجة نزاع مجموعات الهيدروكسيل Dehydroxylation.



الشكل (18)، صورة للكاولينيت مأخوذة بالمجهر الإلكتروني النفاذ TEM



الشكل (19) يبين انعكاسات الأشعة السينية لمعدن الكاولينيت

ج- تشكل الكاولينيت وأهميته Formation and importance of Kaolinite

إن الظروف المناسبة لتشكل الكاولينيت في التربة، هي توفر غسل سريع وشبه كامل للقواعد في التربة، أو عند وجود ظروف حامضية، وبذلك على ذلك زيادة الكاولينيت في ترب المناطق الرطبة والحارة التي تحقق الشروط السابقة.

يعد معدن الكاولينيت من أكثر معادن الطين انتشاراً في الترب، وهو معدن سائد في الترب المتطورة تحت ظروف تجوية شديدة، وقد يوجد كمعدن موروث Inherited في الكثير من الترب الموجودة في المناخ المعتدل، وتذكر الكثير من المصادر وجود معدن الكاولينيت، وينسب لا بأس بها، في ترب المناخ الجاف، ويمكن القول، إنه نادراً ما تخلو تربة من هذا المعدن.

2- معدن الهالوزيت Halloysite:

2-1- بنية الهالوزيت وخواصه:

يعد معدن الهالوزيت من حيث التركيب العنصري لعلبائه، مشابهاً تماماً للكاؤولينيت. لقد وجد الهالوزيت بداية في التربة المتطورة من الرماد البركاني، والذي يتجوى إلى كاؤولينيت، وإذا لم يتم التعامل بشكل مناسب في أثناء أخذ العينات أو التحاليل فإنه من الصعب التفريق بين الكاؤولينيت والهالوزيت، وقد ذكر أن الهالوزيت يمكن أن يقاوم ويستمر لفترة أطول تحت الظروف الرطبة.

ويختلف عن الكاؤولينيت، بأن كل وحدة خلوية من الهالوزيت تحتوي على أربع جزيئات من الماء، بين العلبات المتتالية، يمنع وجود جزيئات الماء في الهالوزيت، تكوين روابط مستقرة بين مستويات الأوكسجين والهيدروكسيل من جهة، وتعمل على زيادة المسافة القاعدية من جهة ثانية، حيث تصل إلى $10.15 \text{ \AA}$.

ثانياً- معادن الطين الورقية 2 : 1 Phyllosilicates 1 :

1- مقدمة Introduction:

تتميز معادن هذه المجموعة ببناء مؤلف من ثلاث شرائح، شريحتين من رباعيات الوجوه بينهما شريحة من ثمانية الوجوه، تحتوي الخلية البلورية لهذه المعادن على عشرين ذرة أوكسجين، وأربعة جزيئات من الماء، حيث يكون عدد الشحنت السالبة في كل وحدة خلية 44 شحنة. تضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من المعادن، التي تختلف فيما بينها بما يلي:

أ- قد تكون هذه المعادن ذات ثمانية الوجوه ثنائية Dioctahedra أو ثمانية الوجوه ثلاثية Trioctahedra.

ب- تختلف هذه المعادن من حيث وجود ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل، أو عدم وجودها.

ج- يختلف عدد الشحنت في الوحدة الخلوية، فبعضها تكون شحنته صفراً كما هو الحال في معدن البيروفيليت، وتصل في بعضها الآخر إلى 2 شحنة سالبة لكل وحدة خلية كما في معادن الميكاء، في الحالة الأخيرة تصل سعة التبادل الكاتيوني النظرية، محسوبة على أساس عدد الشحنت، إلى $220 - 240$ ميلي مكافئ / 100 غ .

د- قد تحصل ظاهرة الاستبدال الأيوني المتبادل في رباعيات الوجوه و / أو ثمانية الوجوه.

هـ- في بعض هذه المعادن، يمكن أن تتعادل الشحنات السالبة في شريحة بالشحنات الموجبة في الشريحة الأخرى.

و- تختلف معادن هذه المجموعة في ثبات المسافة القاعدية أو تغييرها.

ز- يمكن أن تتعادل الشحنات، في بعض معادن هذه المجموعة، بواسطة كاتيونات مثبتة في الشبكة البلورية أو أن تكون جزءاً منها، وقد تكون هذه الكاتيونات قابلة للتبادل أو غير قابلة للتبادل، وتبعاً لقابلية هذه الكاتيونات للتبادل، تتحدد حالة المسافة القاعدية من ثابتة ومتغيرة.

٢- مجموعة معادن الميكا Mica minerals group:

2-1- مقدمة:

معادن الميكا هي سيليكات ورقية من النموذج 2 : 1 ، تتعادل الشحنات العالية على طبقاتها بواسطة كاتيونات مثبتة بشكل محكم بين الطبقات (غالباً K^+).

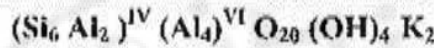
تعد معظم معادن الميكا، معادن أولية، وهذا يعني أن الميكا في التربة موروثية Inherited من المواد الأم، ولا يعتقد بأن الميكا الثانوية تشكل أي انتشار مهم في التربة، تدخل الميكا بشكل واسع في التركيب المعدني للكثير من الصخور مثل الغارنيت والغنيس والشيسيت والفيليت وغيرها، وفي الرسوبيات المشتقة من هذه الصخور، تعطي حبيبات الميكا الكبيرة لمعادناً عند تعريضها لأشعة الشمس، وذلك بسبب انعكاس الضوء عنها وقد يكون ذلك سبب تسميتها الميكا (من اللاتيني Micare ، أي تشع To shine).

تعد الميكا مصدراً مهماً لمعادن الطين 2 : 1 وخاصة الفيرميكلوليت، وتعد الميكا من أهم مصادر الطبيعة لعنصر البوتاسيوم الضروري لنمو النباتات في معظم الترب.

أما من ناحية البنية، تتألف معادن الميكا من ثلاث شرائح: رباعية وجوه وشريحة ثمانية وجوه وشريحة رباعية وجوه، ومن أهم معادن الميكا ذات ثمانية الوجوه الثنائية:

أ- معدن المسكوفيت Muscovite:

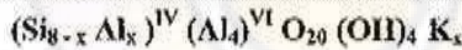
يتميز هذا المعدن باستبدال بتركز في شريحة رباعيات الوجوه، تزاوج فيه ذرة سيليكون من أصل أربعة ويستعاض عنها بذرة الألمنيوم، ينتج عن ذلك شحنتان سالبتان في كل وحدة خلية /أو/ طاقة كلية تساوي تقريباً 220 - 250 سنتمول/كغ، مما يعطي للمسكوفيت الصيغة البنائية التالية:



لمعدن المسكوفيت مسافة قاعدية ثابتة وتتراوح عادة بين 10 - 10.2 Å، والشحنت السالبة في المسكوفيت معادلة تماماً بكاتيون البوتاسيوم غير قابل للتبادل، لذلك فإن السعة التبادلية للمسكوفيت منخفضة جداً، وإن وجدت فإن التبادل يحدث على السطوح الخارجية فحسب.

ب - معدن الإليت Illite:

يمثل معدن الإليت في بنيت العامة معدن المسكوفيت إلى حد كبير، الشكل (20)، ويمكن عد الإليت ناتجاً عن المسكوفيت بعد تعرض الأخير إلى بعض التحولات الميكانيكية، يملك معدن الإليت الصيغة البنائية التالية:



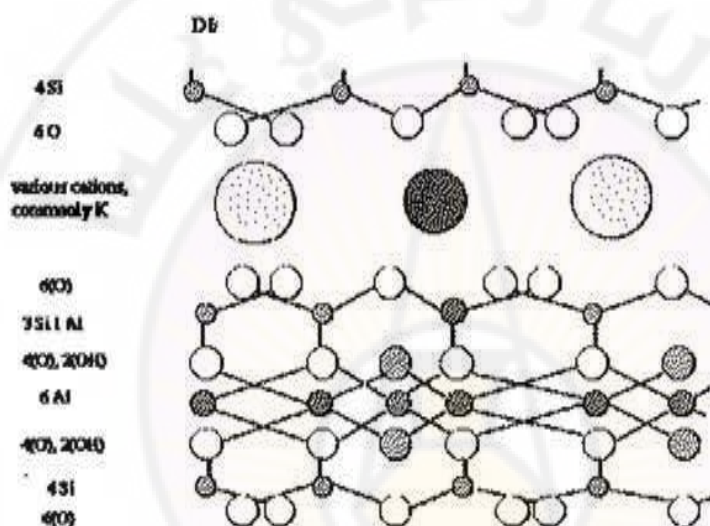
رغم تماثل البناء العام للإليت مع المسكوفيت، هناك بعض الاختلافات منها:

- ٢- إن الاستبدال بين الألمنيوم والسليكون في الإليت أقل مما هو عليه في المسكوفيت (1 : X)، ومتغير، لذلك يكون عدد الشحنت السالبة وكمية البوتاسيوم في الإليت أقل من المسكوفيت، يتراوح محتوى الإليت من البوتاسيوم بين 6 - 8 %، ومحتواه من SiO_2 أعلى من المسكوفيت، بينما كمية Al_2O_3 في المسكوفيت أعلى منه في الإليت.

٢- التنوع في التركيب الكيميائي في الإليت أكبر منه في المسكوفيت، ويعود ذلك لاستبدال بعض الألمنيوم في ثمانية الوجوه بالمغنزيوم والحديد، أو استبدال الصوديوم أو الكالسيوم ببعض البوتاسيوم.

٣- سعة التبادل الكاتيوني في الإليت أعلى من المسكوفيت وتبلغ قرابة 25 ميلي مكافئ/100 غ وقد تصل إلى 40 ميلي مكافئ.

٤- يحتوي الإليت على كمية أكبر من الماء وتتراوح بين 9 - 10 %.



الشكل (20) رسم تخطيطي يبين بنية معدن الإليت

ج - معدن الغلوكونيت Glauconite:

لمعدن الغلوكونيت بنية مماثلة لبنية معدني المسكوفيت والإليت، ولكنه يتميز عنهما بامتداد ظاهرة الاستبدال المتماثل لتشمل ثمانية الوجوه أيضاً، ولهذا المعدن حبيبات متفاوتة الحجم، فقد تختزل إلى حجم حبيبات الطين وقد تصل إلى أحجام حبيبات الرمل، ويمكن لها أن تتحطم ميكانيكياً بسهولة دون حدوث أي تغيير في تركيبها الكيميائي.

يظهر التركيب الكيميائي للغلوكونيت احتواءه على نسبة عالية من الحديد تتراوح بين 15-30%، يسودها الحديد الثلاثي فيما تبقى نسبة الحديد الثلاثي قليلة (2 - 4 %)، يشكل الألمنيوم نحو 10 %، MgO 3 - 4 %، K_2O 4 - 6 %، كما يمكن وجود كميات قليلة من الكالسيوم والصوديوم.

د - معدنا البيوتيت والفلوغوبيت:

وهما من معادن الميكا ذات ثمانية الوجوه الثلاثية ثابتة المسافة القاعدية وتشكل سلسلة تقع بين مركبين، الفلوغوبيت Phlogopite (أو المعدن الحامل للمغنزيوم (Mg-bearing minerals)، والبيوتيت Biotite (أو المعدن الحامل للحديد (Fe-bearing minerals). إلا أنه من النادر مصانفة هذين الشكلين الحديدين في التربة، والمألوف هو أن تتوب عنهما معادن انتقالية في تركيبها. لصطلح على أن تطلق كلمة البيوتيت على المعادن ذات نسبة Mg/Fe أقل من 2، وفلوغوبيت على المعادن ذات نسبة Mg/Fe أكبر من 2.

3- الخواص الفيزيائية والكيميائية لمعادن الميكا

Physic-chemical properties of micas:

أ- سعة التبادل الكاتيوني:

إذا ما استثنى معدن الإليت والذي قد تصل سعته التبادلية إلى 40 ميلي مكافئ/100 غ، فإن معادن الميكا تتميز بسعة تبادلية منخفضة جداً (وخاصة إذا ما قورنت بمعادن أخرى مثل معادن الممكتيت) وذلك على الرغم من الشحنة العالية التي تحملها طبقاتها، الأمر الذي يرجع إلى جملة الخواص الكهروكيميا بلورية التي تحكم ضم طبقات الميكا وتمنع مبادعتها وتجعل من البوتاسيوم غير تبادلي. وإذا كان لهذه المعادن قليل من القدرة التبادلية، فإن ذلك يرجع إلى تدخل السطوح الخارجية وإلى مواقع الأطراف والحواف، مما يجعل من مساهمة الميكا في السعة التبادلية للنزيرة مساهمة محدودة، تزداد قليلاً مع انخفاض حجم الحبيبات، وعموماً يمكن القول إن مساهمة الميكا في السعة التبادلية لا تتعدى 10 سنتمول/كغ.

ب- التركيب الكيميائي:

يعد التركيب الكيميائي لمجموعة الميكا معقداً جداً، بسبب تعدد نماذج الاستبدال الأيوني المتمثل في بنائها، عموماً، اليوتاسيوم هو الكاتيون السائد المشبع للشحنة مع إمكانية وجود كاتيونات أخرى مثل Ca^{+2} , Na^{+} .

إن العناصر الأساسية التي تدخل في تركيب الميكا هي: Fe, Mg, K, Al, Si وقليل من H_2O ، وقد تحتوي معادن الميكا على كميات ضئيلة من بعض العناصر مثل: Ni, Zn التي يمكن أن تصبح في متناول النباتات بعد التجوية.

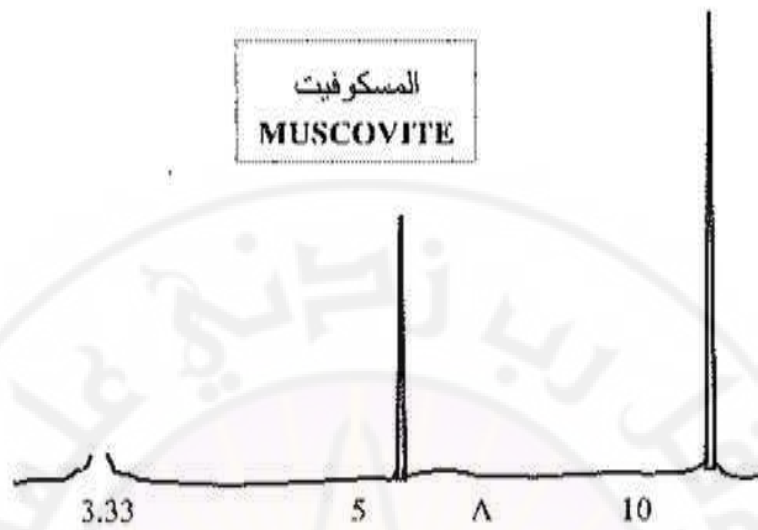
ج- الخواص الفيزيائية:

تعد ظاهرة الانقسام Cleavage من أهم الخواص التي تكاد تميز معادن الميكا دون غيرها، لوضوحها وتكرارها، ويعد اتجاهها موازياً للمستوى البلوري القاعدي على شكل شرائح أو رقائق Flakes.

تتميز الميكا وخاصة المسكوفيت بأنها غير ناقلة Non-conductor للحرارة والكهرباء، لذلك فإنها تستخدم تجارياً كمواد عازلة، كذلك تتميز الميكا بأنها مرنة وقابلة للتشكل Flexible.

د- المسافة القاعدية:

يمكن التعرف على معادن الميكا باستخدام الأشعة السينية على عينات موجهة أو عشوائية، حيث تعطي هذه المعادن انعراجات أو قمماً تبدأ بالمرتبة الأولى $10^{\circ} A$ ثم الثانية $5^{\circ} A$ ثم الثالثة $3.33^{\circ} A$ والرابعة $2.5^{\circ} A$ الشكل (21)، تعد هذه القمم ثابتة بالنسبة لمعادن الميكا.



الشكل (21)، انعراجات الأشعة السينية لعينات موجهة من المسكوفيت

٣- السطح النوعي:

يتراوح السطح النوعي لحبيبات غير مجواة من المسكوفيت والبيوتيت والغلوكونيت بين 20 - 30 م²/غ وهو يزداد مع ازدياد الحبيبات نعومة، أما السطح النوعي لللايت فقد يصل إلى 100 - 120 م²/غ، وهي تعود للسطوح الخارجية فحسب.

4- وجود معادن الميكا Occurrence of micas:

تعد معادن الميكا في التربة، إلى حد كبير، معادن أولية موروثية من المادة الأم، ولا يعرف لها أصول ثانوية تبلغ درجة التقويم.

تنتشر الميكا في صخور الغرانيت خاصة، وفي الصخور الحامضية عامة، وهي نادرة في انتشارها في هذه الصخور كلاً من مجموعتي الفلدسبار والكوارتز، أما في الصخور المعتدلة أو السوداء فإن انتشارها قليل نسبياً، ولكن ذلك لا يمنع من الإشارة إلى أن بعض الدراسات التي أجريت على ترب من هاواي Hawaii تروي إمكان تشكل الميكا في الأفق السطحي لبعض هذه الترب، ويستند هذا الرأي في افتراضه إلى خلو الصخرة الأم من الميكا

ثم إلى تناقصها مع العمق، وقد يكون تركيز البوتاسيوم في الأفق السطحي بوساطة النشاط الحيوي المتكرر، قد ساهم في خلق الظروف المواتية لتصنيع Synthesis الميكا في هذه التربة، وقد يكون في هذه الدراسة تفسير لانتشار الميكا في بعض تربة جنوب سوريا (Habib 1986).

ثالثاً- معادن مجموعة السمكتيت والفرميكيوليت

Minerals group of smectites and Vermiculites:

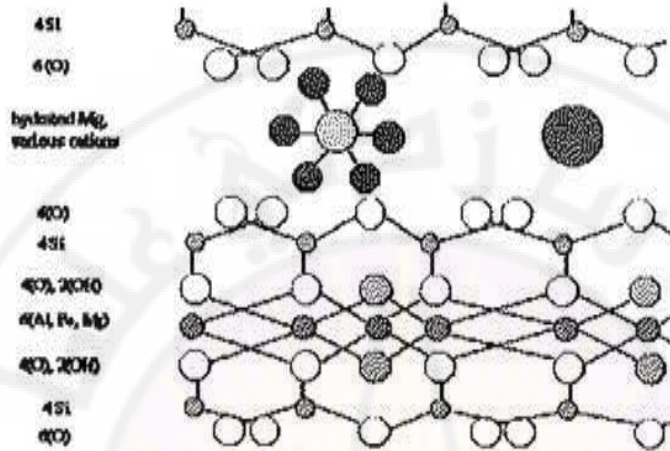
تتمثل هذه المعادن من حيث بنيتها مع المعادن ذات البنية 2 : 1 ثابتة المسافة القاعدية، أي أنها تتألف من ثلاث شرائح - رباعيات وجوه - ثمانية وجوه - رباعيات وجوه، وتختلف عنها في أن الشحنت الزائدة في الخلية البلورية والناجمة عن عملية الاستبدال الأيوني المتبادل، تتعادل بوساطة كاتيونات مميهة Hydrated Cations، الموجودة في محلول التربة، غالباً ما تكون هذه الكاتيونات قابلة للتبادل Exchangeable يمكن تقسيم معادن هذه المجموعة تبعاً لكثافة الشحنة إلى قسمين:

- 1- معادن ذات شحنة عالية > 1.2 شحنة في الوحدة الخلوية، وتنتمي إلى هذا القسم معادن الفرميكيوليت Vermiculites، لكنها وسطياً تكون نحو 0.9 شحنة في الوحدة الخلوية.
- 2- معادن ذات شحنة منخفضة من 0.4 - 1.2 شحنة في الخلية البلورية، وتنتمي لهذا القسم معادن السمكتيت Smectites، لكن غالباً ما تتراوح هذه الشحنة بين 0.7 - 1.0. يعد الاختلاف في كمية الشحنت في هاتين المجموعتين سبباً رئيساً في اختلاف سلوك كل منهما، حيث نجد أن زيادة عدد الشحنت في معادن الفرميكيوليت، يؤدي إلى تماسك Cohesion أو التصاق قوي بين الطبقات المتتالية Successive layers، مما يؤدي إلى منع دخول جزيئات قطبية بكمية كافية لتمدد المسافة القاعدية، الأمر الذي يبقى على ظاهرة الانتفاخ أو الانتفاخ ضعيفة جداً وغير واضحة، قياساً بفلات السمكتيت ذات الشحنة المنخفضة نسبياً.

1- معدن الفرميكيوليت Vermiculite mineral:

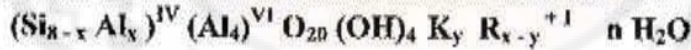
إن بنية الفرميكيوليت ذات ثمانية الوجوه الثلاثية معروفة تماماً، وذلك بسبب تواجد بعض البلورات بحجم كافٍ يسمح بدراستها بشكل مفرد، ومطابقة البناء والتركيب الكيميائي لهذه البلورات الكبيرة مع البناء والتركيب الكيميائي للفرميكيوليت طيني الحجم.

يتألف البناء Structure للفرميكيوليت كما هو الحال في الميكا ذات ثمانية الوجوه الثلاثية، من شريحة رباعيات وجوه - ثمانية وجوه - رباعيات وجوه، الشكل (22).

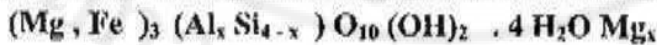


الشكل (22)، يبين البنية البلورية لمعدن الفرميكيوليت

أما بالنسبة للفرميكيوليت ذات ثمانية الوجوه الثلاثية، فإن بنيته أقل وضوحاً من سابقة، ومع ذلك فالتحليل بالأشعة السينية مستعيناً بالتحليل الكيميائي لعينات مسحوقة منه يبين أنه يماثل تماماً معدن المسكوفيت منزوع البوتاسيوم ، يمكن كتابة الصيغة البنائية للفرميكيوليت ذات ثمانية الوجوه الثلاثية على الشكل التالي:



أما الصيغة العامة للفرميكيوليت الثلاثي فهي بحسب (1977, Douglas):

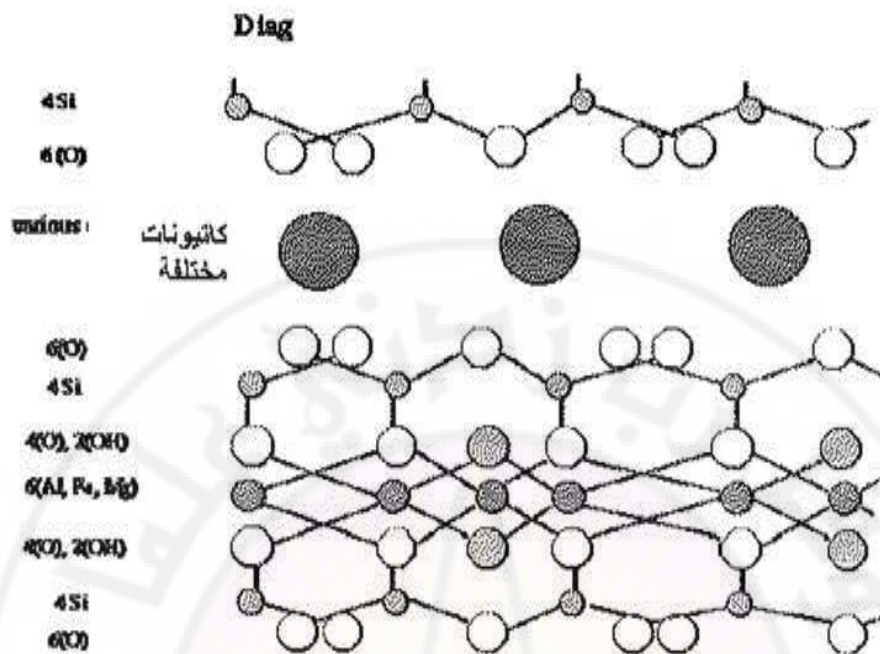


ب- معادن السمكتيت Smectite minerals:

تمثل معادن السمكتيت في بنيتها الشكل (23)، كلاً من الميكا والفروميكوليت، تتألف خليتها البلورية من ثلاث شرائح: رباعيات وجوه - ثمانية وجوه - رباعيات وجوه، إلا أن معادن السمكتيت تختلف فيما بينها من حيث مواقع الاستبدال المتبادل، وكاتيون الاستبدال، وتضم مجموعة السمكتيت ذات ثمانية الوجوه الثلاثية ثلاثة معادن واسعة الانتشار هي: المونتموريلونيت والبيديليت والنونترونيث، والجدول (13) يبين التركيب الكيميائي وبعض نقاط الاختلاف بين هذه المعادن.

الجدول (13)، يبين بعض خواص معادن السمكتيت المهمة في التربة:

المعدن	ثمانيات الوجوه	موقع للتبادل الأيوني المتبادل	المحتوى من H_2O %	السعة التبادلية سينتمول / كغ	الصفة الوزنية غ / مول
المونتموريلونيت	Al, Mg	ثمانية الوجوه	4.88	135.5	369
البيديليت	Al	رباعية الوجوه	4.87	135.2	370
النونترونيث	Fe	رباعية الوجوه	4.21	117.0	428



1- خواص معادن السمكتيت properties of smectites :

أ- السعة التبادلية:

تتميز معادن السمكتيت بسعة تبادلية عالية قياساً بمعادن الطين الأخرى (باستثناء الفرميكوليت) وتصل 110 سنتيمول/100 غ ، وتذكر بعض المراجع أن بعض أنواع السمكتيت لها سعة تبادلية قد تصل إلى 160 سنتيمول/ كغ، (وسطياً 80 ميليمكافى/100 غ)، وهذه السعة تنشأ عن الاستبدال المتماثل في الشرائح الرباعية والثمانية، وتبلغ 0.6 شحنة لكل خلية بلورية وسطياً.

ويعزى للسمكتيت في الكثير من الأحيان، بسبب سعته التبادلية العالية، هسط من خصوبة بعض الترب، وذلك لقدرته العالية على حفظ بعض الكاتيونات مثل K و NH₄ ومنعها من الغسل خارج مقطع التربة.

ويمكن لمعادن السمكتيت أن تبدي سعة تبادل أنيوني *Anion exchange capacity*، لكنها لا تتجاوز في أحسن الحالات 5 ميلي مكافئ/100 غ، وتعود هذه الظاهرة إلى ما يسمى بآثر الحافة *Edge effect*.

ب- ظاهرة التمييه *Hydration phenomenon*:

يمكن لمعادن السمكتيت أن تحتفظ بكميات مختلفة من الماء بين طبقاتها، ويعود ذلك إلى وجود الكاتيونات الممييه المعدلة للشحنة التي تعمل على جذب جزيئات الماء حولها، تعود ظاهرة التمييه هذه إلى وجود فرق في التركيز الأيوني بين الطبقات ومحلول التربة الخارجي *Outer soil solution* أو ظاهرة الضغط الحلولي *Osmatic pressure* الناتج عن التركيز العالي للمحلول الموجود بين الطبقات مقابل التركيز المنخفض لمحلول التربة الخارجي، وتعتمد كمية الماء المدمصة بين الطبقات على العوامل التالية.

1- الشحنتات الموجودة على الطبقات: عندما يكون عدد الشحنتات أقل، فإن عدد الكاتيونات يكون أقل أيضاً، وبالتالي يكون الارتباط بين الطبقات أضعف، مما يسمح بدخول كمية أكبر من جزيئات الماء بين الطبقات.

لذلك يمكن لمعادن السمكتيت أن تسمح بدخول كميات كبيرة من جزيئات الماء، إلى درجة يمكن للطبقات عندها أن تتفصل عن بعضها بعضاً، بينما نجد أن معادن الفرميكولايت ذات الشحنة العالية، تسمح بتشكيل طبقتين من جزيئات الماء في كل فراغ.

2- تعتمد الطاقة التي تثبت بها جزيئات الماء على نوع الكاتيون المعادل للشحنة، فالكاتيونات أحادية التكافؤ مثل Na^+ لها طاقة ادمصاص منخفضة *Low adsorption energy*، على عكس الكاتيونات الثنائية مثل Mg ، Ca التي تتميز بطاقة تمييه عالية، بمعنى أنها تحتفظ بجزيئات الماء بقوة أكبر من السابقة.

3- عند كل درجة حرارة يحصل توازن بين كمية الماء الموجودة بين طبقات المعدن والماء الموجود في الجو المحيط، والذي يعبر عنه بالرطوبة النسبية *Relative humidity*، لذلك هناك تناسب طردي بين درجة تمييه المعدن والرطوبة النسبية في الجو.

ج- الانتفاخ في وجود الماء (الانتهاج) Swelling in the presence of water :

يعود سبب تمدد المعادن ذات النموذج البلّائي 2 : 1 عند أخذ الماء إلى حادثة الضغط الحلولي، حيث يميل الماء المدمص إلى تشكيل الطبقة الكهربائية المزدوجة وتأخذ هذه الحادثة مكانها على السطوح الخارجية للغرويات عند وجود كمية كافية من الماء بدون أي عائق، على أية حال، لكي تتشكل الطبقة الكهربائية المزدوجة في الفراغ الداخلي للمعادن، يجب أن يزيد الضغط الحلولي على قوى الارتباط، وهذا يعتمد على عوامل عدة منها، الكاتيونات الموجودة على طبقة المعدن (وهي ثابتة بالنسبة لمعدن معين)، طبيعة الكاتيونات المتبادلة، وتركيب محلول التربة وتركيزه .

تستطيع معادن السمكتيت ذات الشحنة المنخفضة نسبياً، أن تأخذ كمية أكبر من الماء بغض النظر عن كاتيون الإشباع، ففي المرحلة الأولى التي تسمى الانتهاج أو الانتفاخ بين الطبقات Interlayer swelling، حيث يتم انمصاص عدد قليل من جزيئات الماء، مؤدية إلى دفع المسافة القاعدية إلى نحو 20 - 21 Å، هذا الحجم الجديد يساوي تقريباً ضعف حجم الطين الجاف، تحتفظ الطبقات في هذه المرحلة بالتصاق منتظم بعضها مع بعضها الآخر، في المرحلة الثانية يبدي السمكتيت انتفاخاً أكبر يساوي عدة مرات حجم الطين الجاف، وفي مرحلة لاحقة، عندما يكون تركيز محلول التربة منخفضاً جداً والكاتيون السائد هو الصوديوم، فإن الضغط الحلولي العالي يعطي فرصة لدخول أكبر كمية ممكنة من الماء إلى ما بين الطبقات، تعمل قوى التنافر Repulsion forces إلى دفع الطبقات بعيداً بعضها عن بعضها الآخر مؤدية إلى فصلها على شكل صفائح متقطعة Discreet plates.

يتبين من المناقشة السابقة، أن المعادن 2 : 1 متغيرة المسافة القاعدية، تخضع إلى ظاهرة التغير في الحجم، وذلك اعتماداً على كمية الماء المتوافرة. ففي الظروف الجافة، فإن جزءاً مهماً من الماء يطرح خارجاً عن طريق التبخر مسبباً انكماشاً Shrinking قوياً للطبقات، وفي حال وفرة الماء فإنه يتم دفع الطبقات بعضها عن بعضها الآخر مسبباً انتفاخ هذه المعادن.

1- المسافة القاعدية- التعرف على معادن السمكتيت والفروميكوليت:

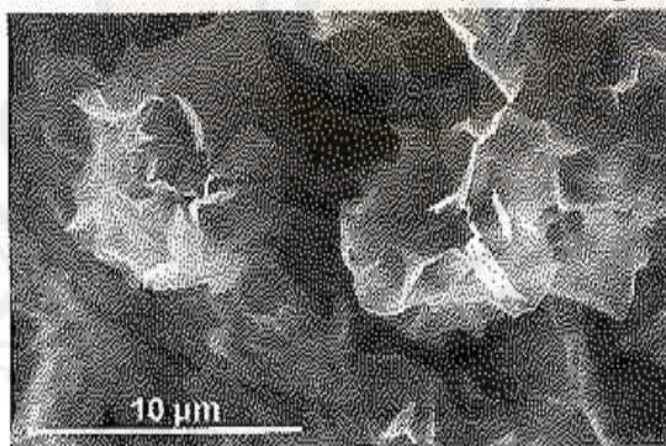
تتميز هذه المعادن بمسافاتها القاعدية المنخفضة وخاصة في السمكتيت الذي تتراوح فيه هذه المسافة بين 10 - 18 Å عوضاً عن 10 - 14 Å للفروميكوليت، ويعود هذا الاختلاف

بين المجموعتين إلى الاختلاف في الخواص الكيما - بلورية لكل منهما، ويرتبط هذا الاختلاف بالعديد من العوامل ككثافة الشحنات الكهربائية ومواقع هذه الشحنات وطبيعة الكاتيون المعدل ونوع المعاملة الكيميائية أو الحرارية التي تتلقاها الطبقات والرطوبة النسبية، الأمر الذي يجعل من كثافة الأشعة السينية في بعض الحالات وسيلة غير مباشرة للتفريق بين معادن المجموعتين، وتحتاج إلى إخضاع المعادن إلى معاملات خاصة تكرر للفروق التي تبديها في استجابتها للتحليل بالأشعة السينية.

حيث يتضح أن قيم الانعراجات لهذين المعدنين تتراوح بين 10° عند الإشباع باليوتاسيوم ورطوبة صفر وتعرض العينة لدرجة حرارة تصل إلى 550°C ، و 14° عند الإشباع بالمغنزيوم ثم ترتفع إلى 18° عند الإشباع بالمغنزيوم والجليكول. ويمكن القول الشيء نفسه بالنسبة للفرميكيوليت ما عدا الحالة الأخيرة حيث لا يستجيب الفرميكيوليت للإشباع بالجليكول وذلك بسبب قوة ارتباط طبقاته بعضها إلى بعضها الآخر.

٥- الشكل Form:

يمكن في بعض الحالات استخدام المجهر الإلكتروني للتعرف على المعادن السابقة، لكن هذا يتطلب بعض الخصوصية في تحضير العينات، ومع ذلك تعد هذه الطريقة عمالية في التعرف على هذه المعادن، ويمكن استخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM بجودة أفضل بالنسبة للتعرف على معادن السمكيت.



الشكل (24)، صورة مأخوذة بالمجهر الإلكتروني الماسح SEM لمعدن المونتموريللونيت.

و- السطح النوعي:

تتميز هذه المعادن وخاصة السمكتيت بسطوحها النوعية الكبيرة (مقارنة مع المعادن الأخرى)، التي تتألف من سطوح خارجية وسطوح داخلية وهي الأهم والأكثر. يتوقف السطح النوعي للفرميكبوليت على مرحلة التجوية التي وصلها، وعموماً يمكن أن يبلغ 200 - 250 م²/غ، تؤلف منها السطوح الداخلية 150 - 200 م²/غ. أما بالنسبة للسمكتيت النموذجي فهو ينصف بصغر حبيباته، ويتمتع بسطح نوعي مرتفع يصل إلى 500 م²/غ تشكل منها السطوح الداخلية 300 - 350 م²/غ.

ز- تواجد معادن السمكتيت:

يعزى وجود السمكتيت في التربة إلى مجموعة من العمليات المنشئية المختلفة، وعموماً يعد السمكتيت أحد نواتج تجوية أنواع مختلفة من الصخور تحت ظروف تجوية معتدلة إلى قليلة الشدة.

يتكون السمكتيت في التربة بتصنيعه أو تخلقه Synthesis من نواتج التجوية الذاتية في أوساط معتدلة إلى قلبية ويتوافر تراكيز عالية من Si^{14} و Mg^{+2} في محلول التربة. كما يمكن أن يتشكل من الميكا أو الكلوريت بنتيجة التحول الذي يطرا على طبقتي هذين المعدنين الذي يخلص بإزاحة البوتاسيوم من الميكا وشريحة البروسيت من الكلوريت وما يتبع ذلك من تغيرات أخرى تكسب المعدن خواص كهرا كيميائية جديدة تنخفض معها الشحنة، وعموماً إن الظروف المناسبة التي تساعد في تحول الميكا إلى سمكتيت هي:

أ- درجة حرارة وضغط منخفض، مما يساعد على عدم استقرار رباعية وجوه الألمنيوم التي تميز الميكا المتجوية.

ب- تركيز منخفض من البوتاسيوم.

ج- تركيز عال من $Si(OH)_4$.

د- تركيز منخفض من الألمنيوم، كما هو الحال في الترب التي لها pH أكبر من 6 أو 7.

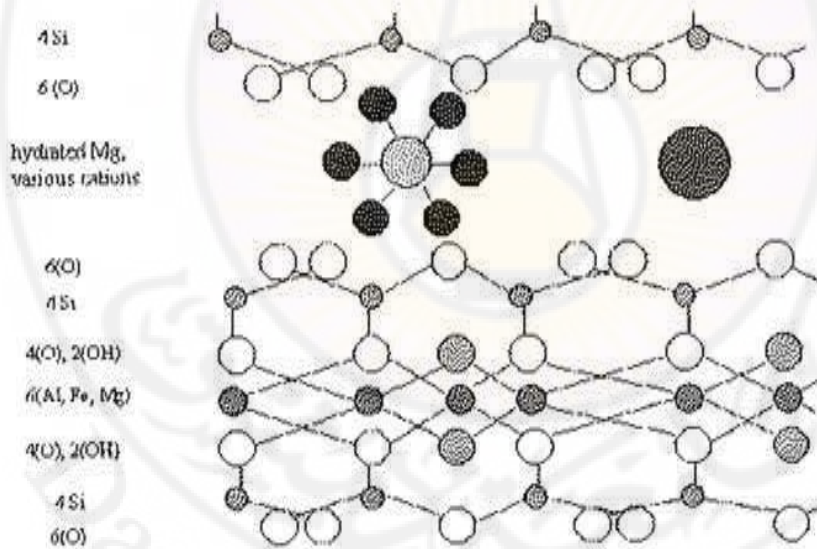
رابعاً- معادن الطين الورقية ذات البنية 1:1:2: أو مجموعة الكلوريت

Phyllosilicates with 2:1:1 structure:

أ- البنية العامة لمعادن الكلوريت :General structure of chlorite

يمكن النظر لطبقة الكلوريت علي أنها طبقة مركبة تتألف من طبقة 1:2 وشريحة من هيدروكسيد المغنيزيوم تدعى بشريحة البروسيت Brucite sheet أو هيدروكسيد الألمنيوم (شريحة جيسيت)، تستدعي في الغالب إزاحة كاتيونات التعديل من الفراغات البينية، وتأتي بنيتها دائماً تعبيراً عن تقابع ثابت ومستقر، الشكل (25).

تسهم شريحة البروسيت بما تحمله من شحنة موجبة ناتجة عن استبدال Mg^{2+} بـ Al^{3+} في تعديل شحنة الطبقة 1:2 السالبة، إلا أن شدة التعديل هذه تختلف تبعاً لقيمة الاستبدال في شريحة البروسيت، التي تؤدي إلى الصفر أحياناً.



الشكل (25)، يبين البنية النموذجية لهلورة كلوريت ثلاثي مع توزيع الذرات في المستويات المختلفة

للكلوريت مسافة قاعدية ثابتة وتتراوح بين 14 - 14.5 Å، ولا تتأثر بالمعاملة الحرارية. تتراوح السعة التبادلية للكلوريت بين 10 - 40 ميلي مكافئ/100 غ. إن كثافة الشحانات التي تحملها الطبقة 1:2 تماثل نظيرتها في معادن الميكا ويعود ذلك للإستبدال المتماثل للسيليكون بالألمنيوم.

ب- وجود الكلوريت في التربة:

يوجد الكلوريت في التربة كمعدن أولي موروث من أنواع الصخور المختلفة، وكذلك كناتج تحول معادن أخرى مثل الهورنبلد، البيوتيت ومعادن أخرى تحتوي على الحديد والمغنسيوم، بعد انتشار الكلوريت وتواجده في التربة قليلاً نسبياً، ويرتبط بشكل أساسي بالمواد الأم التي تشكلت منها التربة، ويعزى انتشاره القليل في التربة إلى انخفاض درجة ثباته واستقراره أو إلى صعوبة تمييز الكميات القليلة منه، خاصة في حال وجود معادن السمكتيت والفروميكوليت والكاؤولينيت.

خامساً- المعادن مختلطة الطبقة Mixed layer minwrrals:

3-4-1- مقدمة Introduction:

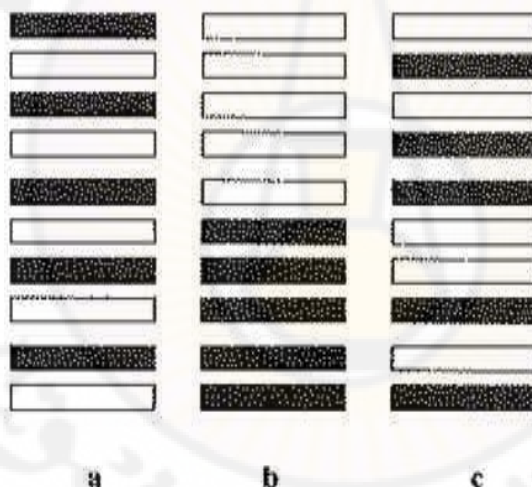
تحتوي السيليكات الطبقة (ميكا، سمكتيت، كلوريت، فرميكوليت، والكاؤولينيت) على رباعيات وجوه ثمانية وجوه، كوحدات بنائية أساسية، تتألف شرائح رباعيات الوجوه من مستوى من أيونات Si^{+4} و Al^{+3} . تحاط هذه الأيونات بأربع ذرات من الأوكسجين، أما شرائح ثمانية الوجوه فتتألف من أيونات Mg , Fe , Al . وهي معاملة بست ذرات من الأوكسجين أو الهيدروكسيل.

يتكون كل من السمكتيت والفريكلوليت والميكا من شريحة ثمانية وجوه بين شريحتين من رباعيات الوجوه، بينما يتألف الكلوريت من زوجين من الشرائح زوج من رباعيات الوجوه وآخر من ثمانية الوجوه (بشكل متناوب).

بسبب التماثل في البناء، تظهر هذه المعادن على شكل رتب مختلطة وملتبسة مع بعضها، حيث تكون البلورة الواحدة مؤلفة من طبقتين أو أكثر من السيليكات الورقية. هذا التجمع من السيليكات الورقية، يدعى عادة بالمعادن المختلطة أو المعادن ذات التطبق البيني.

إن وجود المعادن المختلطة يدعو للاعتقاد بأن هناك تغييراً في الظروف التي كانت سائدة عند تكوين سيليكات الطين، خاصة وأن المعادن المختلطة تتكون تحت تأثير تغيير بسيط في الظروف السائدة، بينما تغيير المعادن الأخرى يكون بطيئاً جداً. هناك نماذج عدة من التطبيق البيني أو المعادن المختلطة سوف نستعرضها بإيجاز: يمكن التمييز بين ثلاثة نماذج من المعادن المختلطة، وذلك تبعاً لطريقة تعاقب الحليقات، الشكل (26):

- أ- معادن ذات تطبيق بيني منتظم Regular interstratified minerals:
مثال: ميكا - سميكتيت، كوريت - فرميكلوليت، بيوتيت - فرميكلوليت.
ب- معادن ذات تطبيق بيني غير منتظم Irregular interstratified minerals:
ج- معادن ذات تطبيق بيني معزول Segregated interstratified:

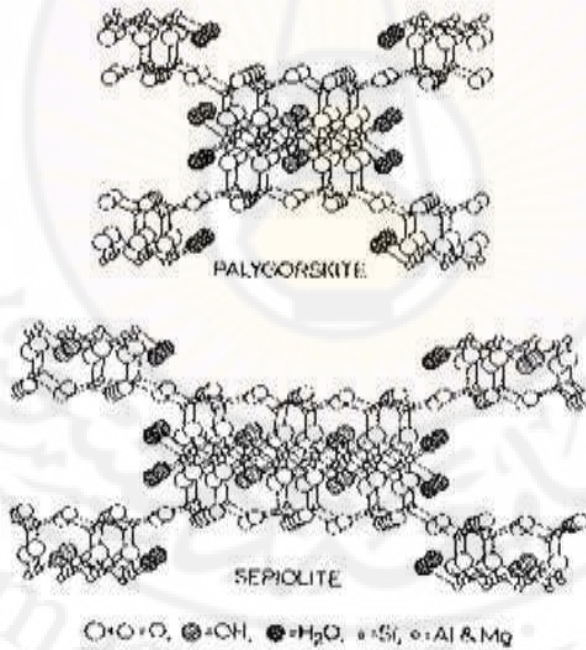


الشكل (26)، يبين النماذج المختلفة للتطبيق البيني
a - تطبيق بيني منتظم، b - تطبيق بيني معزول، c - تطبيق بيني عشوائي.

سادساً - معادن الطين الليفية Fibrous Clay Minerals :
 الباليغروسكيت والسببيليت Palygroskite and Sepiolite :

1- البنية Structure: (شكل 27)

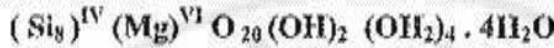
تختلف بنية المعادن الليفية عن بنية المعادن السيليكاتية التي مرت سابقاً مثل الميكا، ووجهة الخلاف أن المعادن الليفية تقتقد إلى وجود شرائح مستمرة من ثمانية الوجوه، ومن أهم المعادن الليفية نجد معدن الباليغروسكيت ومعدن السببيليت. يعد معدن الباليغروسكيت سيليكات مغنيزية - ألومينية، حيث يوجد هذان العنصران في هذا المعدن بنسب متساوية، وفي هذه النقطة يختلف الباليغروسكيت عن السببيليت، الذي ترتفع فيه نسبة عنصر المغنيزيوم قياساً مع النسبة الضئيلة للألمنيوم. بشكل معدن الباليغروسكيت والسببيليت مرحلة انتقالية بين ثمانية الوجوه الثلاثية وثمانية الوجوه الثلاثية، التي يعتقد أنها المسؤولة عن الشكل اليفي Fibrous لهذه المعادن .



الشكل (27)، رسم تخطيطي لبنية معدني الباليغروسكيت والسببيليت

2- التركيب الكيميائي Chemical composition:

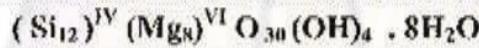
يعد التركيب الكيميائي للبالغروسكيت متغيراً نسبياً، مقارنة مع السمكيت على سبيل المثال، إن الصيغة الكيميائية الأكثر تمثيلاً للتركيب الكيميائي لهذا المعدن، يمكن أن تكون على الشكل التالي:



يعد كلٌّ من البالغروسكيت والسبيوليت من أكثر معادن الطين استقراراً تحت الظروف السائدة على سطح القشرة الأرضية.

أما بالنسبة للتركيب الكيميائي للبالغروسكيت فهو كالتالي: SiO_2 نحو 55%، MgO 6 - 15%، Al_2O_3 6 - 15%، Fe_2O_3 2 - 5%، والماء الكلي نحو 20%.

أما صيغة معدن السبيوليت فهي:



وله التركيب الكيميائي التالي: SiO_2 نحو 46 - 58%، MgO 15 - 25%، Al_2O_3 1%، Fe_2O_3 5%، و نحو 20% ماء.

3- خواص المعادن الليفية Properties of fibrous minerals:

أ- الخواص الكيميائية:

تتميز المعادن الليفية بسعة تبادل كاتيوني متوسطة إلى منخفضة، وهي تتراوح بين 5 ... 30 سنتيمول / كغ للبالغروسكيت ومن 20 ... 45 سنتيمول / كغ للسبيوليت، وتغير هذه السعة قليلاً تبعاً لتغير pH الوسط وحجم الحبيبات.

ب- الخواص الفيزيائية:

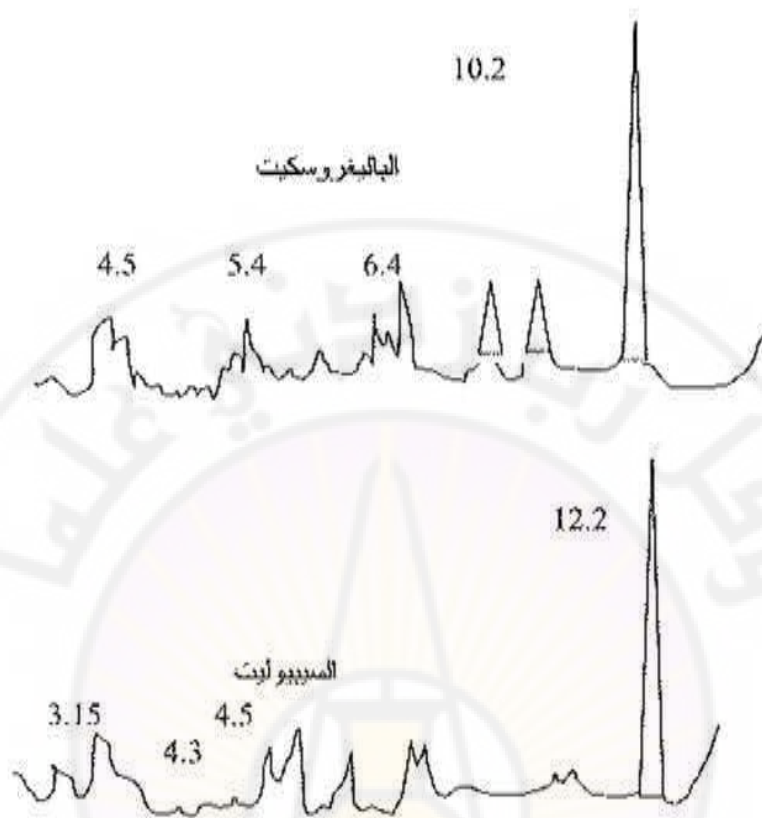
يقدر المسطح النوعي لكل من البالغروسكيت والسبيوليت حسابياً من النموذج البنائي structural models بنحو 8 إلى 9×10^5 م²/كغ، بما فيها سطوح الأكتية، إن القيمة النظرية للمسطح النوعي لهذه المعادن، تأتي دائماً أكبر من القيمة التجريبية، وذلك بسبب وجود الأنابيب والأكتية.

تذكر بعض المصادر الأخرى أن السطح النوعي للبالغرومكيت نحو $140 \text{ م}^2/\text{غ}$ وللسيبوليت $392 \text{ م}^2/\text{غ}$ ، وهذه السطوح معظمها سطوح خارجية، وإن الطبيعة اللبنة لهذه المعادن تمكنها من تشكيل تجمعات ثراوية عالية المسامية نسبياً.

ج- المسافة القاعدية:

بيدي البالغرومكيت عند معاملته بالأشعة السينية، انعراجات أو قمماً قوية وواضحة عند القيم 10.2° و 6.4° و 5.4° و 4.5° ، تزول جميعها عند رفع درجة الحرارة إلى 400°م ، الشكل (28).

أما بالنسبة للسيبوليت فتقع انعراجه عند القيم 12.2° A° (قمة عريضة وغير منتظمة)، 4.5° و 4.3° و 3.75° A° تتحطم جميعها عند رفع درجة الحرارة إلى 400°م وذلك بسبب نزع الهيدروكسيل.



الشكل (28)، يبين انكسارات الأشعة السينية لمعدني الباليغروسكيت والمسبيوليت

د - الشكل Form :

يأخذ الباليغروسكيت الشكل الإبري عند مشاهدته بالمجهر الإلكتروني أو أحياناً شكل ألياف متشابكة مع بعضها بعضاً الشكل (29).



الباليغروسكيت

الشكل (29)، صورة مأخوذة بالمجهر الإلكتروني للباليغروسكيت

4- الوجود الطبيعي للمعادن الليفية Natural occurrence of fibrous minerals:

يتطلب وجود معادن الباليغروسكيت والسبيبوليت، ظروفًا قلوية (pH 8-10 %)، مع نشاط عالٍ لكل من Si^{+4} و Mg^{+2} في محلول التربة، وذلك من أجل استقرار هذه المعادن، ويتطلب وجود الباليغروسكيت وجود بعض من Al^{+3} و Fe . هذه المتطلبات هي التي تحكم توزيع كل من الباليغروسكيت والسبيبوليت في المكان، لذلك فإن وجود الباليغروسكيت مقتصر على الترب الجافة لأنها تحقق الشروط السابقة، حيث تنتشر بشكل واسع في هذه التربة، ويندر وجودها في ترب المناطق الأكثر رطوبة، أما السبيبوليت فإن وجوده في التربة قليل جدًا.

سابعاً - معادن الطين (أو السيليكات) غير المتبلورة أو ضعيفة التبلور

Amorphous or weakly crystallized clay minerals (silicates)

1- مقدمة Introduction:

في حالة المعادن المتبلورة، تكون الذرات متوزعة بانتظام، وينتج عن هذا التوزيع المنتظم وحدات بلورية ثلاثية الأبعاد Tridimensional، وفي حالات أخرى تأخذ بعض الوحدات البلورية بعدين فحسب Dimensional.

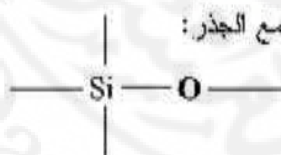
أما بالنسبة للمعادن غير المتبلورة، فإن توزيع الذرات يأتي بشكل غير منتظم Random لتشكل وحدات بلورية ذات بنية غير محددة Ill-defined structure، ويكون تفاعلها مع الأشعة السينية سلبياً أو غير واضح.

يطلق حالياً على المعادن المتبلورة تعبير Long-range order materials، وعلى المعادن غير المتبلورة Short-range order materials.

كما يوجد بعض المعادن التي تقع بين المجموعتين السابقتين، بمعنى أنها تكون ضعيفة التبلور أو شبه متبلورة وتدعى Paracrystalline minerals. ويمكن تقسيم المعادن غير المتبلورة من حيث المنشأ إلى مجموعتين، سيليكات غير متبلورة أولية، وسيليكات غير متبلورة ثانوية.

2- السيليكات غير المتبلورة الأولية Primary amorphous silicates:

تعد هذه السيليكات مركبات ناتجة عن اتحاد رباعيات وجوه السيليكون أو السيليكون والألمنيوم مع ثمانية وجوه تحتوي على Al ، Fe ، Mg ، ترتبط مع بعضها بشكل غير محكم Loosely، تاركة بينها عدداً كبيراً من الفجوات Voids، حيث يمكن أن توجد فيها بعض الكاتيونات مثل Ca ، K ، Na . تعمل هذه الكاتيونات على معادلة الشحنة الزائدة في رباعيات الوجوه (إن وجدت) أو أن تكون مرتبطة مباشرة مع الجذر:



مكونة سيليكات لهذه الكاتيونات. للسيليكات الأخيرة درجة ذوبان عالية نسبياً، وعند تأييدها تعطي كاتيونات SiO_4^{4-} كأيون، تتحللها Hydrolysis مباشرة:



يؤدي هذا التفاعل إلى رفع pH التربة من جهة وترسيب ماءات السيليكون من جهة ثانية.

تدعى السيليكات الأولية غير المتبلورة عادة بالزجاج البركاني Volcanic glass وقد يكون الزجاج البركاني قاعدياً أو حامضياً، وهذا يعتمد على محتواه من القواعد والقواعد الأرضية والظروف المناخية .

3- سيليكات غير متبلورة ثانوية Secondary amorphous silicates:

عند ذوبان السيليكات الأولية غير المتبلورة، تغسل معظم أو كامل القواعد والقواعد الأرضية إلى خارج قطاع التربة، يسهل عملية الغسل هذه المسامية Porosity العالية التي تتميز بها مواد الزجاج البركاني، بينما تبقى العناصر قليلة الذوبان وغير المتحركة Immobile مثل الحديد والألمنيوم، أما السيليكون متوسط الذوبان فيحدث له غسل جزئي، أما الجزء المتبقي منه فيتحد مع الحديد مع الألمنيوم وأحياناً مع الحديد، ليشكل معادن ثانوية غير متبلورة متباينة الطبيعة، يبدو أن للمادة العضوية تأثيراً في طبيعة المواد المتكونة، فعند توافر كمية قليلة جداً من المادة العضوية، عندها يشكل كل من الألوфан والأموغلوبيت جزءاً من المواد المتكونة، حيث يمكن عد الألوфан والأموغلوبيت من المعادن السائدة في معظم ترب الرماد البركاني، أما عند توافر كمية عالية من المواد العضوية، فإنها تعمل على ربط الحديد والألمنيوم مشكلة بذلك معقدات دبالية Humus complexes، أو مواد أقل تنظيماً تدعى بالمواد مثيلة الألوфан Allophanes-like constituents.

4- تواجد المعادن غير المتبلورة:

تتواجد هذه المعادن بشكل رئيسي في ترب الرماد البركاني Volcanic ash soils (Andisols)، وهي نواتج تجوية الرماد البركاني في ظروف مناخية مناسبة بالإضافة إلى الطبيعة البتروغرافية للمواد الأم ودرجة تطور التربة، لذلك تكون هذه المعادن سائدة في الترب التي تطورت على رماد بركاني في مناخات رطبة أو شديدة الرطوبة، ولا يعتقد أن تجوية الرماد البركاني في ظروف المناخ الجاف، وخاصة إذا كان للمواد الأم طبيعة قاعدية،

تؤدي إلى تشكل مثل هذه المعادن . إن تشكل معادن الطين أو تحولها من نواتج تجوية الرماد البركاني يتأثر إلى درجة كبيرة بمحتوى هذه المواد من الذبال، الذي يعمل في حال وجوده بكميات كبيرة على تكوين معقدات ذبالية مع الحديد والأكسجين.



الفصل الرابع

غرويات التربة Soil Colloids



الفصل الرابع

غرويات التربة Soil Colloids

٤-١- مقدمة Introduction:

تعد غرويات التربة Soil colloids على قدر كبير من الأهمية، خاصة وأنها المجال الذي تتم فيه معظم تفاعلات التربة، علاوة على أنها تؤدي دوراً مهماً في توفير مصدر للعناصر المغذية للنباتات، ويعود تبين أهمية الغرويات في التربة إلى سنوات عديدة خلت، ويبدو أن هذه الأهمية قد تعاضلت حديثاً نظراً لبعض المفاهيم الجديدة التي تم اكتشافها أو فهمها بشكل واضح، حيث تبين حديثاً أن غرويات التربة يمكن أن تكون واسطة نقل لبعض الملوثات الكيميائية، بشكلها العضوي والمعدني. من حيث المبدأ، يمكن عدّ معظم المواد الكيميائية وحتى بعض العناصر المستقلة، قادرة على التفاعل مع التربة، إلى حد معين، مع بعض الاستثناءات القليلة، كما يمكن عدّ كيمياء التربة، هي كيمياء الغرويات والسطوح في المقام الأول.

تعود أهمية غرويات التربة بالأساس، إلى كونها تشكل المصدر الأساسي للتفاعلات السطحية والشحنات الكهربائية، حيث يعود القسم السالح من السطوح الفعالة والشحنات الكهربائية وخاصة الكهربائية الساكنة electrostatic charge في التربة إلى الحبيبات الغروية ذات الأحجام الأقل من 1 ميكرومتر، وعموماً تقع أقطار الحبيبات الغروية بين 20-1000 نانومتر، وهي تشكل الجزء الأكبر من مساحة السطوح في التربة (Borkovec 1993).

تعد معرفة وفهم الخواص المختلفة للغرويات مثل: الشكل، والحجم، ومساحة السطح، وكثافة الشحنات، وتغير الشحنات السطحية، على قدر كبير من الأهمية من أجل فهم العمليات المختلفة التي تتم على هذه الغرويات، مثل ظاهرة الامتزاز (الادمصاص)، والترسيب، والبعثرة، والنقل في التربة، إضافة لمعرفة النتائج المترتبة عن تلك العمليات سواء أكان على الخواص المائية للتربة أم على الهجرة الكيميائية chemical migration، خاصة أن القسم الأكبر من مساحة السطوح في التربة تعود للغرويات، ويتركب على ذلك أن التفاعلات

الكيميائية المختلفة تتم على السطوح الغروية، أضف إلى ذلك أن أهمية الغرويات لا تقتصر على المساحة الكبيرة لسطوحها فحسب، بل أيضاً على وجود مواقع ذات طاقة عالية (شحنات كهربائية).

وتتكون غرويات التربة بطريقتين:

- أ- التكتيف Condensation وذلك نتيجة للاتحادات الكيميائية والفيزيائية.
- ب- التبعثر Dispersion نتيجة لتحطيم الحبيبات الكبيرة كيميائياً أو فيزيائياً ووصول حجم هذه الحبيبات إلى حجم الغرويات.

٤-٢- أشكال الغرويات في التربة Type of soil colloids :

يمكن عدّ الحالة الغروية حادثة فيزيائية ناتجة عن وجود مادة منتشرة أو مبعثرة في مادة أخرى، ويمكن أن تكون المادتان المبعثرة والمبعثرة، مواد صلبة أو سائلة أو غازية، لذلك يمكن تمييز طورين، طور مُبعثر وطور مُبعثر أو الطور المستمر، إذا كان هناك بعثرة متجانسة للغرويات في الوسط السائل، تدعى هذه الحالة البعثرة الغروية colloidal dispersion أما في حال كون الحبيبات كبيرة نسبياً وتترسب أو تميل للاستقرار بسرعة، فإن الحالة هذه تدعى بالمعلق suspension وتعد عملية البعثرة الغروية نظاماً تكون فيه الحبيبات الغروية مبعثرة في طور مستمر له تركيب مختلف (Van olphen 1977).

عموماً هناك أربعة مصادر أو أشكال رئيسة للغرويات:

- أ- الأكاسيد oxides: وخاصة أكاسيد الحديد والألمنيوم، وتعد هذه الغرويات أو الأكاسيد النواتج النهائية لعمليات التجوية وذلك بحسب السلسلة التالية:

فلزات أولية ← فلزات طين 1:2 ← فلزات طين 1:1 ← أكاسيد

لذلك يمكن عدّ هذه الأكاسيد غرويات معدنية مستقرة، على أساس أن الأكاسيد هي النواتج النهائية لعملية التجوية وتطور التربة.

ب- سيليكات الألمنيوم الطبقية Layer aluminosilicates :

تقع معظم معادن الطين ضمن مجموعة سيليكات الألومينية الطبقية Layer aluminosilicates، ومن أهم هذه المعادن، مجموعة الكاؤولينيت، مجموعة السمكتيت، مجموعة الميكا، الفرميكوليت والكلوريت، تشكل هذه المعادن نحو 87-90 % من الغرويات المعدنية وهي معادن متبلورة.

تعد الغرويات المعدنية المتبلورة الجزء الأهم من مكونات التربة، وذلك لأسباب متعددة منها: كونها السائدة في معظم الترب (باستثناء الترب العضوية)، إضافة إلى نشاطها الكيميائي والكيميائي كهربائي وقدرتها على الاحتفاظ بالكاتيونات.

ج- غرويات سيليكات الطين غير المتبلورة Non-crystallized silicate :

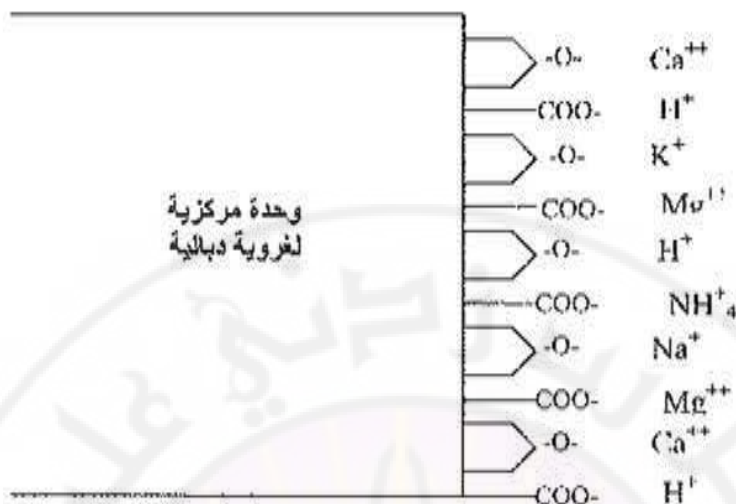
تضم هذه المجموعة عدداً محدوداً من المعادن غير المتبلورة non-crystallized minerals وتدعى أيضاً ill-defined structure minerals، وحالياً يستخدم للدلالة عليها التعبير short range order minerals، تشكل الغرويات غير المتبلورة نحو 10-13 % من مجموع الغرويات المعدنية.

يقع تحت هذه المجموعة عدد من المعادن أهمها: معدن الألوفسان، الأموغوليسيت، والمركبات شبيهة الألوфан Allophanic like constituents، وبعض الأكاسيد مثل أكاسيد الحديد والألمنيوم والمعادن العضوية المعدنية غير المتبلورة.

د- غرويات التربة العضوية Organic soil colloids :

تشكل هذه المجموعة الجزء العضوي من غرويات التربة، وتدعى أحياناً الغرويات الدبالية Humus colloids وتعد على قدر كبير من الأهمية، خاصة أنها تشكل في معظم الترب خليطاً مع الغرويات المعدنية.

يمكن عد غرويات التربة العضوية مشابهة إلى حد بعيد غرويات التربة المعدنية كما ينضج من الشكل (٣٠):



الشكل (30)، يبين تشابه غرويات التربة العضوية مع غرويات التربة المعدنية

يلاحظ وجود وحدة خلية غروية تحمل شحنات سالبة بكمية كبيرة وتحاط بعدد مناسب من الكاتيونات المعادلة لهذه الشحنات، تماماً كما هو الحال بالنسبة لغروية الطين المعدنية.

على الرغم من ذلك هناك بعض الاختلافات التي تستخدم للتمييز بينهما منها:

أ- غروية الدبال المعقدة تتكون بشكل أساسي من الكربون والهيدروجين والأكسجين، بينما في حالة الطين فإنها تتكون من أكسجين، والمنيوم وسيليكون، كما هو الحال في سيليكات الطين.

ب- طاقة الامتزاج (الادمصاص) بالنسبة للغرويات العضوية أكبر بكثير من طاقة الادمصاص بالنسبة لغرويات الطين، حتى إنها تزيد عن طاقة امتزاز المونتموريللونيت Montmorillonite .

ج- لا تعد الغروية العضوية متبلورة، وحجم الغرويات المفردة، على الرغم من تباينه، لكن الغروية العضوية غالباً صغيرة الحجم مثل غروية المونتموريللونيت على الأقل.

د- الغرويات العضوية أقل استقراراً من الغرويات الطينية، لذلك فهي أكثر حركية.

هـ- الغرويات العضوية يمكن أن تتشكل أو أن تتحلط بسرعة أكبر من غرويات الطين.

4 - 3 - أنواع غرويات التربة بالعلاقة مع الشحنات الكهربائية

Kinds of colloids in terms of electrical charges:

تحمل غرويات التربة عموماً شحنات كهربائية، هذه الشحنات قد تكون سالبة أو موجبة وهذا يعتمد على مصدر الشحنة أو أصلها، وبناء على ذلك يمكن تمييز نوعين من غرويات التربة بالنسبة للشحنة:

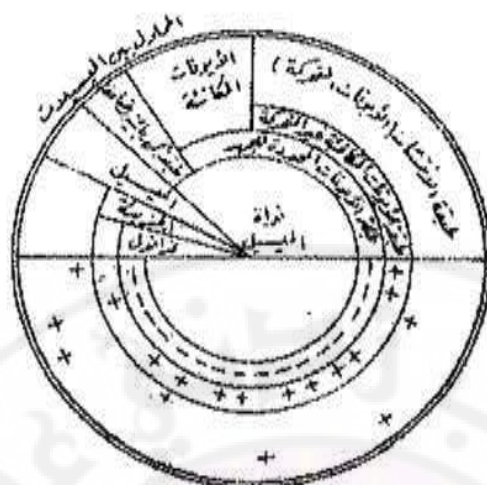
أ- غرويات ذات شحنة دائمة (سالبة) Permanent charge colloids :

تنتج هذه الشحنة على غرويات التربة بسبب حدوث ظاهرة الاستبدال الأيوني المتمثل Isomorphous substitution، أي عند استبدال كاتيون بكاتيون آخر يختلف عنه بعدد الشحنات في الشبكة البلورية (أي رباعيات الوجوه أو ثمانية الوجوه). من الناحية النظرية يمكن أن تكون الشحنة الناتجة سالبة أو موجبة، على سبيل المثال عند استبدال الألمنيوم بالمسليكون في رباعيات الوجوه تكون الشحنة سالبة، وعند استبدال المغنيزيوم بالألمنيوم في ثمانية الوجوه الثلاثية تكون الشحنة موجبة، لكن على الصعيد العملي فإن معظم معادن الطين تحمل سطوحها الغروية شحنات سالبة.

هذه الشحنات السالبة دائمة ولا تتأثر بتغيرات الـ pH أو التركيز الأيوني في التربة.

ب- غرويات ذات شحنات متغيرة Variable charge colloids :

تعود هذه الغرويات إلى المعادن عديمة البنية البلورية أو غير المتبلورة، ويمكن أن تحدث مثل هذه الحالة على سطوح بعض المعادن المتبلورة، نتيجة لكتشف بعض المجموعات الفعالة الموجودة على حواف البلورة واحتكاكها مع محلول التربة، كما هو الحال في معدن الكاولينيت، وتدعى هذه الحالة بأثر الحافة Edge effect. وعموماً هذا النوع من المعادن يكون متعادلاً كهربائياً، ولكن نتيجة لبعض التفاعلات التي تتم بين بعض المجموعات الفعالة لهذه الغروية والمحلول الأرضي، تتكون شحنات كهربائية على سطوح هذه الغرويات، هذه الشحنات الكهربائية قد تكون سالبة أو موجبة، بل يمكن لها أن تتغير من شحنات سالبة إلى شحنات موجبة بحسب pH الوسط والتركيز الأيوني، مثال:



(الشكل 31) مخطط لبنية فنية غروية أوغروية

٤-٥- بعض الخصائص المهمة لغرويات الطين في التربة:

Some important characteristics of clay colloids in the soil:

1- العديد من التفاعلات الكيميائية للطين في التربة إن لم يكم معظمها، تقوم على ظواهر سطحية Surface phenomena ، مثل التبادل الكاتيوني، امتزاز الماء، واعتماداً على بنية الطين، فإنه يمكن على الأقل، تقسيم سطوح الطين إلى ثلاث فئات Categories:

١. سطوح تكونت بشكل أساسي من ارتباط رباعيات الوجوه السيليكاتية $Si-O-Si$.
٢. سطوح تكونت بشكل أساسي من ارتباط ثمانية وجوه الألمنيوم $O-Al-OH$.
٣. سطوح تكونت بوساطة مجموعات من $Fe OH$, $Al-OH$, $Si-OH$ من مركبات غير متبلورة amorphous compounds.

تتميز الفئة الأولى بسطح أو مستوى plane من الأكسجين، تتوضع تحته ذرات الأكسجين من شريحة رباعيات الوجوه. تدعى الرابطة $Si-O-Si$ برابطة السيلوكسان Siloxan، واعتماداً على ذلك فإن مستوى الأكسجين يمكن أن يدعى بسطح السيلوكسان Siloxan surface.

هذه الفئة من المسطوح هي الحالة النموذجية السائدة في معادن الطين من النموذج 2:1. يتطور في سطح السيلوكسان فجوات سداسية، لكل منها قطر يساوي تقريباً $A = 2.6$. تدعى المسطوح في هذه الفجوات بالـ *Innersphere surfaces*، وهي تناقض المسطوح الخارجية *outersphere surfaces*، التي تقع على المواقع الخارجية من سطح السيلوكسان.

بما أن قطر جزيء الماء يساوي $A = 3$ ، فإنه من غير الممكن دخول هذه الجزيئات إلى داخل فجوات السيلوكسان، لكن امتزاز الكاتيونات ممكن بسبب صغر حجمها قياساً بالماء. إن الشحنات على سطح السيلوكسان تعود غالباً إلى عملية الاستبدال الأيسوني المتماثل *Isomorphous substitution*.

2 - مساحة السطح *Surface area*:

تعد مساحة السطح *Surface area* من الخصائص المهمة لحبيبات الطين أو الغرويات عامة، حيث إنها ترتبط مباشرة مع معدل الامتزاز *Rate of adsorption* والتبادل الكاتيوني *Cation exchange*، وهذه الخصائص تتناسب طردياً مع زيادة مساحة السطح للغرويات أو الحبيبات، عموماً تزداد مساحة السطح كلما صغر حجم الحبيبة، ويمكن قياس مساحة المسطوح بطرائق عدة، منها الطريقة الحسابية وطرائق مخبرية أخرى. باستخدام الطريقة الحسابية يمكن قياس مساحات المسطوح الكلية *Total surface area* أو السطح النوعي *Specific area*.

- مساحة المسطوح الكلية *Total surface area*:

بفرض لدينا وعاء مكعب الشكل طول ضلعه L ، ثم ملؤه بحبيبات كروية، وبفرض أن قطر كل كرية d و N هو عدد الحبيبات أو الكريات في الوعاء، و A هي المساحة المسطحية

$$\text{الكلية (T.S.A) عندها: } N = (L/d)^3$$

وبما أن مساحة سطح كرية واحدة = πd^2 ، إذاً:

$$A = N \pi d^2 \text{ أو } A = (L/d)^3 \cdot \pi d^2$$

Square unit وحدة تربيع (TSA)

$$A = \pi L^3 / d$$

- السطح النوعي Specific area:

يعرف السطح النوعي أو المساحة النوعية بأنها مساحة السطح في وحدة الحجم أو الوزن. إذا فرضنا أن مساحة السطح لكرية πd^2 ، وأن حجم الكرة نفسها ذات القطر d يساوي $\frac{1}{6} \pi d^3$ ، وبالتعريف:

$$\text{Specific surface (SS)} \quad S \approx \pi d^2 / (\frac{1}{6} \pi d^3)$$

$$S \approx 6 / d \quad \text{وحدة حجم / وحدة مساحة}$$

إذا فرضنا أن حبيبات الطين كروية وأقطارها $= 0.002$ مم، عندها يكون السطح النوعي للطين:

$$S = 6 / 0.002 = 3000 \text{ mm}^2 / \text{mm}^3$$

تبدأ النماذج المختلفة للغرويات بإظهار خصائصها الغروية عند قيم مختلفة للسطح النوعي. يعتقد بعض الباحثين أن هذه المكونات الغروية تبدأ بعرض خصائصها الغروية عند سطح نوعي يقع بين 6000 - 10000 مم² / مم³.

إن القيمة 3000 مم² / مم³ التي ذكرت أعلاه هي الحد الأدنى الذي يبدأ عنده ظهور سلوك الغرويات، إلا أن هذه القيمة بالنسبة لحبيبات الطين يمكن أن تكون أكبر بكثير، فلو أخذ الطين الناعم Fine clay، حيث قطره 0.0002 مم، نجد أن السطح النوعي:

$$S \approx 6 / 0.0002 = 30000 \text{ mm}^2 / \text{mm}^3$$

٤-٦- الطبقة الكهربائية المزدوجة Electrical double layer:

• مقدمة Introduction:

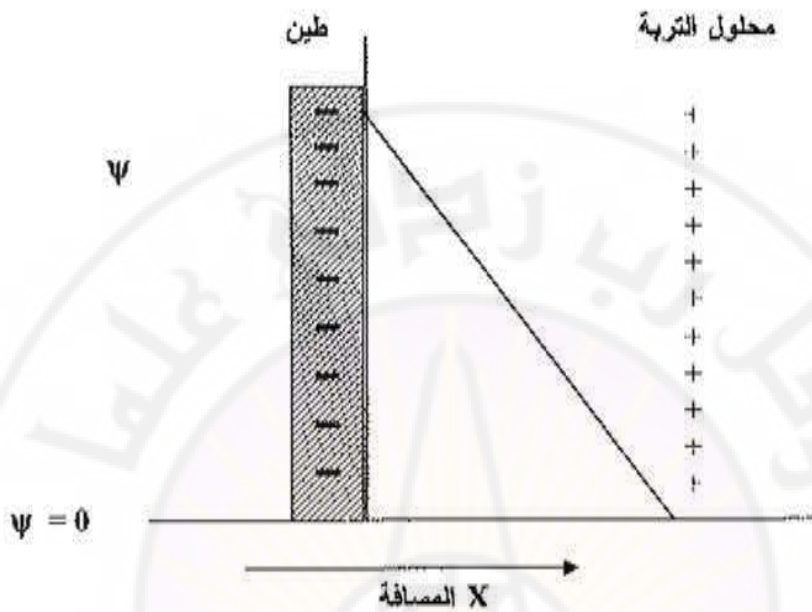
تقوم معادن الطين المشحونة سلباً في محلول التربة بجذب attract أيونات موجبة الشحنة، هذه الأيونات موجبة الشحنة لا تنتزع بانتظام في وسط البعثرة dispersion medium، إنما تتوضع على أو قريبة من سطح غرويات الطين. بعضها يستطيع أن يتبادل مع كاتيونات أخرى موجودة في محلول التربة، وبعضها الآخر يصعب عليه التبادل، تدعى الكاتيونات التي تعادل الشحنة الكهربائية للطين بالكاتيونات المعادلة أو المعاكسة counter ions، تدعى سطح الغرويات المشحونة سلباً والأيونات موجبة الشحنة المعادلة للشحنات السطحية بالطبقة الكهربائية المزدوجة electric double layer .

تتكون الطبقة الأولى، من الطبقة المزدوجة ، من الشحنات السالبة، لكن عرفاً تعد هذه الشحنات متوزعة بانتظام على سطح غروي الطين. أما الطبقة الثانية، من الطبقة المزدوجة فتتوضع في محلول التربة قريبة من سطح الغروي، أو من الطبقة الأولى، ينجذب الأيون المعادل للشحنة في هذا النطاق إلى سطح الطين، لكنها في الوقت نفسه لها الحرية في توزيع نفسها بشكل عادل في كامل الطور المسائل أو المحلول. كلا العمليتين سوف تصل في النهاية إلى حالة التوازن، رغم أن توزيعها يختلف بحسب النظريات المتعلقة بالطبقة الكهربائية المزدوجة:

١- نظرية الطبقة المزدوجة لـ Helmholtz:

تعد هذه النظرية من أقدم النظريات التي تحدثت عن الطبقة المزدوجة، حيث صددت الشحنات السالبة متوزعة بشكل متعادل على سطح الغروي (كثافة الشحنة σ)، أما الشحنات المعاكسة في الطبقة الثانية، فتتركز في مستوى مواز للسطح الغروي على مسافة x . إذا كان الوسط يملك ثابت العزل الكهربائي dielectrical constant (D) عندها فإن كمون الحركة الكهربائي electrokinetic potential ، يكون مساوياً للكمونية الكلية Total potential (ψ) الشكل (32).

$$\psi = (4\pi \sigma x / D)$$



الشكل (32) - تخطيط للطبقة المزدوجة بحسب Helmholtz

تكون الكمونية الكهروكيميائية في حدها الأقصى على سطح الغروي، وتبدأ بالتناقص الخطي مع زيادة المسافة x من سطح الغروي ضمن الطبقة المزدوجة. يعود السبب إلى أن قيمة σ تتناقص بسرعة مع زيادة المسافة عن سطح الغروي وتصل إلى الصفر عند حدود الطبقة المزدوجة.

ب- نظرية الطبقة المزدوجة لـ Gouy-chapman (شكل 33)

تعتبر هذه النظرية أيضاً، أن الشحنات السالبة تتوزع بانتظام على سطح الغروي، والكاتيونات المعاكسة أو المعادلة متبعثرة في محلول التربة، كما جزيئات الغاز في الغلاف الجوي الأرضي. لذلك دعيت هذه النظرية بنظرية الطبقة المزدوجة المنتشرة لـ Gouy-chapman Diffuse double layer.

إن توزيع تركيز الكاتيونات في الطور السائل يتبع معادلة Boltzmann:

$$C_x = C_x^0 \exp(-ze\psi / k T)$$

حيث:

C_x : تركيز الكاتيونات (مول/ليتر) عند المسافة x من السطح.

C_x^0 : تركيز الكاتيونات في كامل المحلول (مول / لتر).

Z : التكافؤ.

e : الشحنة الإلكترونية.

ψ : الكمونية الكهربائية.

K : ثابت بولتزمان.

T : الحرارة المطلقة.



الشكل (33) - تخطيط للطبقة المزدوجة بحسب Gouy-chapman

نتيجة لعمليات الجذب attraction التي تمارسها السطوح المشحونة سلباً، تقوم الكاتيونات الموجودة في طور المحلول بتوزيع نفسها على سطح الغروي حيث تضمن التوازن الكهربائي، ويميل هذه الأيونات للانتشار بعيداً عن السطح، يضاد بقوى الجذب لفاندرفالس Van der waals. على الرغم من وجود عجز في السطوح البينية interface للسائل، فإن الشحنات السطحية الكلية تعد متعادلة بواسطة الكاتيونات الموجودة في المحلول.

تتأثر سماكة الطبقة المزدوجة بعوامل عدة منها، التكافؤ الأيوني والتركيز، حيث يعملان على تقليل سماكة الطبقة المزدوجة أو كبحها، فكلما زاد التركيز الملحي في المحلول قلت سماكة الطبقة والعكس، كذلك تتأثر سماكة الطبقة المزدوجة المنتشرة بتكافؤ الكاتيونات القابلة للتبادل، حيث من المعروف أن الكاتيونات أحادية التكافؤ الموجودة في مواقع التبادل، تعطي طبقة مزدوجة أكثر سماكة من الحالة التي تكون فيها الكاتيونات ثنائية التكافؤ، تعود هذه الظاهرة إلى ميل الأيونات إلى الانتشار بعيداً عن سطح الغروي، (تتأين dissociate)، بحسب الترتيب التنازلي التالي:

أيونات أحادية التكافؤ < أيونات ثنائية التكافؤ < أيونات ثلاثية التكافؤ مثلاً، وجود الصوديوم والبيوتاسيوم يعطي طبقة أسمك من حالة وجود الكالسيوم والمغنسيوم، أما في حالة وجود الألمنيوم فإن سماكة الطبقة المزدوجة تكون في حدها الأدنى.

- نظرية الطبقة المزدوجة لـ Stern:

أجرى Stern تصحيحاً في نظرية الطبقة المزدوجة، حيث أخذ بالحسبان الأبعاد الأيونية، ووجد أن تأثير البعد الأيوني ionic dimension يكون في حده الأعلى على سطح الغروي، وبحسب stern، الطبقة الأولى مشابهة كما ورد في النظريات السابقة، بينما الطبقة الثانية تم تقسيمها إلى:

(1) - تحت الطبقة وتكون الأقرب إلى سطح الغروي.

(2) - الطبقة المنتشرة diffuse layer.

تكون تحت الطبقة الأولى مرتبطة بقوة أو متقلة بالكاتيونات وتدعى بطبقة مستيرن stern layer، وهي غير متحركة وعملياً تمثل هذه الطبقة سطحاً غروبياً والكاتيونات الممتزة مباشرة أو قريبة جداً منه.

يبدو أن كمونية التوزيع potential distribution، عبارة عن اتحاد بين الطبقة المنتشرة لكل من Helmholtz و Gouy- Chapman. كذلك قسم تناقص الكمونية إلى جزئين في طبقة مستيرن، تتناقص الكمونية مع المسافة عن السطح بحسب نظرية Helmholtz. من الآن فصاعداً، في الطبقة المنتشرة، يعتمد تناقص الكمونية مع المسافة على نظرية Gouy- Chapman.

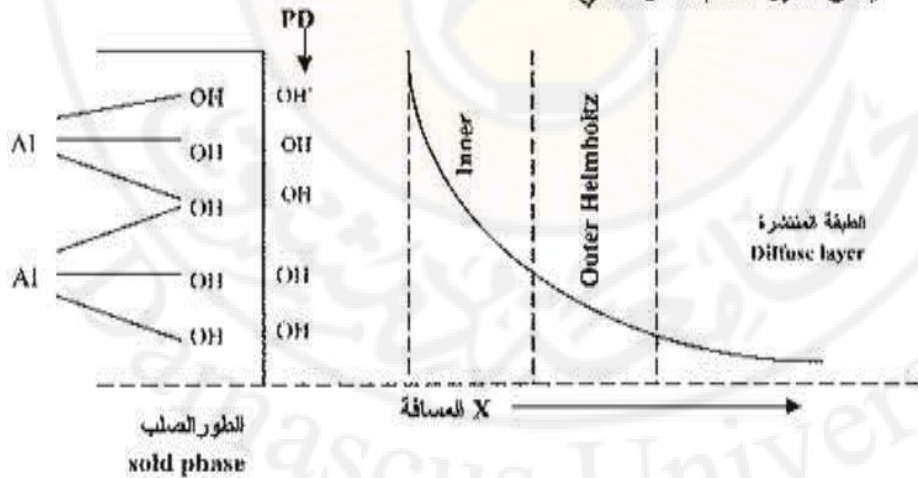
نظرية الطبقة الثلاثية Triple-layer theory :

لقد تم وضع نظرية الطبقة المزدوجة من أجل دراسة الامتزاج adsorption والتبادل الأيوني، وغيرها من التفاعلات التي قد تحصل على سطوح سيليكات الطين. إن الشحنات السالبة على سطوح الطين، التي هي بالتعريف الطبقة الأولى من الطبقة المزدوجة، نشأت هذه الشحنات نتيجة لظاهرة التبادل المتماثل Isomorphous substitution الذي يحدث داخل بنية البلورات.

أما بالنسبة للصفات السطحية للأكاسيد نصف الثلاثية Sesquioxides، وغيرها من نماذج الطين، فإنها تبدي سطوح أكاسيد مائية oxyhydroxy، تختلف بعض الشيء عن سيليكات الطين.

تستكمل الشحنات الدائمة على سطوح أكاسيد الطين، بشحنات أخرى تعود إلى ما يسمى بامتزاز الأيونات المحددة للكمونية potential-determining ions (PDI) وهي غالباً أيونات H^+ و OH^- ، كنتيجة لوجود طبقة من الأيونات المحددة للكمونية، فإن عملية الامتزاج التقليدية للكاثيونات المعادلة للشحنة تتوضع في نطاق خارجي بعيد نسبياً عن سطح المعدن. يدعى هذا النموذج بنموذج ثلاثي الطبقة The triple-layer model، الذي وضع من قبل Yates et al عام 1974 .

يمكن تمثيل ذلك بالشكل التالي:



الفصل الخامس

المادة العضوية في التربة (SOM) Soil Organic matter

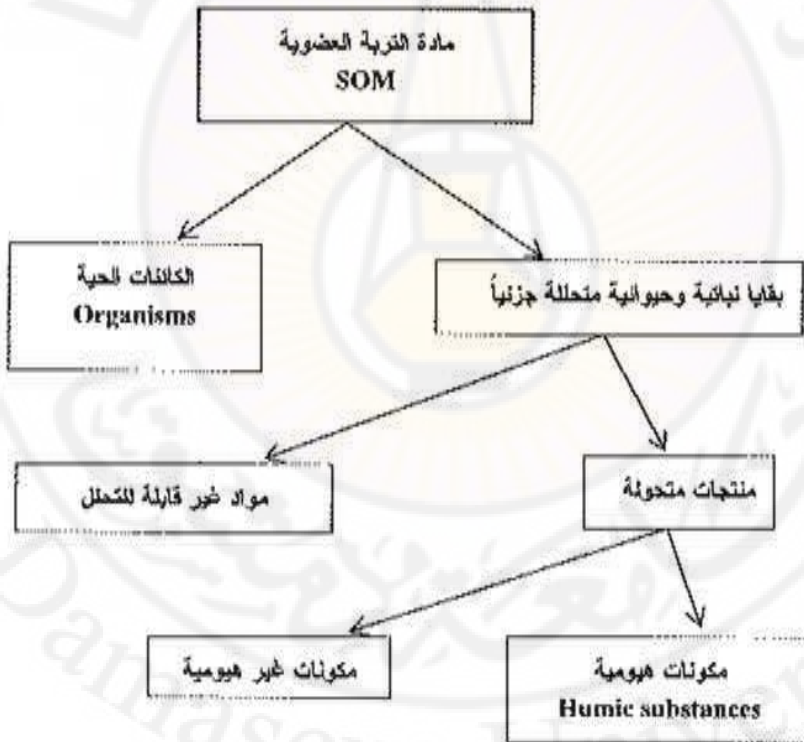


الفصل الخامس

المادة العضوية في التربة (SOM) Soil Organic matter

٥-١- مقدمة:

تعد المادة العضوية مكوناً أساسياً من مكونات التربة، بغض النظر عن كميتها في التربة، كبيرة كانت أم صغيرة، وتعتبر المادة العضوية عن أي مادة تنتج أصلاً من الكائنات الحية (حيوان أو نبات)، والتي تعود إلى التربة وتتدخل في عمليات تحلل مختلفة، فتكون المادة العضوية من مواد تتدرج من أنسجة كاملة أو سليمة، حيوانية أو نباتية، إلى مادة أساسية متحللة، من ضمنها مزيج من المركبات يدعى الدبال Humus أو المكونات الهيومية Humic substances، الشكل (34).



الشكل (34)، يبين المكونات المختلفة للمادة العضوية

تعود معظم مكونات التربة العضوية إلى الأنسجة النباتية، التي تتألف مادتها الجافة من II, O, C ، وكميات قليلة من الكبريت والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم، إضافة إلى عناصر أخرى موجودة بكميات ضئيلة، لكنها ذات أهمية كبيرة لخصوبة التربة.

العديد من فوائد المادة العضوية، تم توثيقها بشكل علمي، لكن هناك بعض التأثيرات المترافقة بشكل وثيق مع عوامل أخرى في التربة، والتي من الصعب وضعها كنتاج عن المادة العضوية فحسب، يتفاعل بعضها مع البعض الآخر، ليعطي في النهاية خصائص التربة المختلفة.

من المشكلات الرئيسية المتعلقة بموضوع المكونات الهيومية أو الدبال، عدم وجود تعريف محدد ودقيق لهذه المكونات وإضافة لذلك فإن بعض التسميات في هذا المجال لا تستخدم دائماً في نفس الاتجاه، مثلاً تستخدم كلمة الدبال من قبل بعض الباحثين كمرادف للتعبير عن المادة العضوية، وأحياناً أخرى تستخدم كلمة الدبال للتعبير عن المكونات الهيومية فحسب.

عموماً يستخدم تعبير المادة العضوية ليشمل المكونات العضوية في التربة، بما فيها الأنسجة النباتية والحيوانية غير المتحللة ونواتج التحلل الجزئي وكذلك الكتلة الحية Biomass في التربة، وعليه فإن هذا التعبير يتضمن:

أ- مواد عضوية ذات وزن جزيئي كبير، ويمكن تمييزها، مثل السكريات المتعددة والبروتين.

ب- مكونات بسيطة من السكريات والأحماض الأمينية، وغيرها من المركبات صغيرة الوزن الجزيئي.

ج- المكونات الهيومية.

من المفيد الإشارة إلى أنه يجب التمييز بين المقصود من اصطلاح المادة العضوية والدبال أو المركبات الهيومية، فالأخير يستعمل بالمعنى العلمي ليشير إلى ذلك الجزء المتحلل جزئياً من المادة العضوية (المكبدل Humified) والمتحول بفعل الأحياء الدقيقة، بدءاً من مادة عضوية خام، وهو عادة ذو طبيعة غروية، والدبال ناتج لعمليتين حيويتين تحدثان في آن واحد هما:

- أ- تحلل المواد العضوية
ب- اصطناع مركبات دهالية جديدة.

٥-٢- خواص المادة العضوية في التربة Properties of SOM:

٤- تجزئة المادة العضوية Fractionation of SOM :

من الناحية الفيزيائية، يمكن تقسيم مكونات المادة العضوية إلى: مكونات سهلة التبعثر والفصل عن حبيبات التربة المعدنية، ومكونات يمكن أن تتبعثر Dispersing فقط تحت معاملات كيميائية مكثفة Drastic . التقسيم المقترح هو التالي:

■ الجزء الخشن من المادة العضوية Macro-organic matter: يتكون هذا الجزء من البقايا العضوية الأكثر حداثة (حيوانية ونباتية)، كثافتها 1 غ/سم³ تقريباً، يمكن فصلها عن الحبيبات المعدنية للتربة بواسطة التطويف بالماء أو محاليل مائية ملحية. ويتم جمعها بواسطة منخل تقويه ناعمة (0.06 مم).

■ الجزء الخفيف من المادة العضوية Light fraction of organic matter: يتكون هذا الجزء من بقايا النباتات والحيوانات المتحللة جزئياً والممحقوقة Comminuted، والتي يمكن أن تشكل حتى 25 % من المادة العضوية الكلية في تربة الأراضي العشبية Grassland، يمكن فصل المادة العضوية عن حبيبات التربة المعدنية بواسطة التطويف أو التعويم Flotation، بعد تعريض التربة إلى الاهتزاز Vibration بواسطة الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic، وذلك لتكسير وتحطيم الكتل الترابية. تتم عملية التطويف أو التعويم في وسط سائل ذي كثافة عالية نسبياً (نحو 2 غ/سم³)، بمساعدة Surfactant .

■ الأجزاء المتبدلة Humified fractions : جزء كبير من المادة العضوية في التربة، يلتصق أو يلتحم adheres بشكل قوي إلى الحبيبات المعدنية، خاصة الطين، ليشكل معقداً عضوياً ... طينياً. هذا الجزء من المادة العضوية، لا يمكن فصله بالتطويف اعتماداً على فارق الكثافة، ولا يذبل بشكل كامل في حالات المخلبيات المعدنية مثل أستون Acetyl acetone. تتغير هذه الأجزاء بفاعلية في الأوساط القلوية القوية مثل NaOH، أو بوساطة المذيبات العضوية القطبية Polar، مثل dimethylsulphoxids في وسط من المحلول الحامضي.

٢- المجموعات الوظيفية الفعالة Active functional group:

تعد المجموعات الوظيفية الفعالة من أهم ما يميز البنية التركيبية لجزيء المواد الدبالية، حيث تحدد إلى درجة كبيرة مقدار فعاليتها في الوسط، وتعطي المواد الهيكلية والفولفية التفاعل الحمضي. ومن أهم المجموعات الوظيفية:

أ- الكربوكسيل (Carboxyl - COOH).

ب- الهيدروكسيل (Hydroxyl - OH)، بنوعيه الفينولي والكحولي ويتميز الأول بفاعلية أكبر.

ج- الكربونيل (Carbonyl $>C=O$)، والكيتون.

د- الميثوكسيل (Methoxyl - OCH₃).

تتمتع مجموعتا الكربوكسيل والهيدروكسيل الفينولية بأهمية خاصة، نظراً لفعالتهما الكبيرة في الوسط، ووجودهما بكميات أكبر من المجموعات الأخرى، وتعود القدرة التبادلية للدبال ومكوناته المختلفة، إلى وجود الهيدروجين القابل للتأين على مجموعتي الكربوكسيل والفينول، أو التبادل مع كاتيونات أخرى موجودة في محلول التربة.

٣- سعة التبادل الكاتيوني Cation exchange capacity:

ينتج عن عملية التبدل Humification، غرويات عضوية ذات سطح نوعي كبير وسعة تبادل كاتيوني عالية، حيث تحتوي الغرويات العضوية (الأحماض العضوية) على مجموعات فعالة عديدة من أهمها مجموعة الكربوكسيل -COOH ومجموعة الفينول -OH، تتمتع هاتان المجموعتان بفعالية عالية في مجال السعة التبادلية.

بسبب تباين القوة الحامضية pK_a لكل من المجموعات الفعالة، وبما أن نوع الشحنة الكهربائية للأحماض العضوية يعتمد كلية على pH الوسط pH -dependent، فإن مقدار سعة التبادل الكاتيوني، أيضاً تعتمد على pH الوسط. عموماً تساهم المادة العضوية بقدر لا بأس به من السعة التبادلية للتربة (تبعاً لمحتوى التربة من المادة العضوية)، وتراوح سعة التبادل الكاتيوني للمادة العضوية الجافة بين 150-300 ميليمكاف / 100 غ، ويمكن أن تزيد على ذلك.

٤- السعة الموقية أو التنظيمية Buffering capacity:

تلعب المركبات العضوية (الأحماض العضوية) دوراً مهماً في درء التغيرات المفاجئة لـ pH التربة، وذلك من خلال قدرة المجموعات الفعالة في الأحماض العضوية على التساين : Dissociation



من جهة، وعلى ضم الهيدروجين من جهة ثانية، وهذا يرتبط بشكل أساسي مع القوة الحامضية لكل واحد من الأحماض العضوية، فإذا كان تركيز H^+ في الوسط منخفضاً أي pH مرتفعة تقوم المجموعات الفعالة بالتأين (أي تحرير الهيدروجين) للوصول إلى pH قريبة من القوة الحامضية، والعكس صحيح.

٣-٤ - استخلاص المادة العضوية Extracting the organic matter:

يعتمد مبدأ الاستخلاص على إذابة المادة العضوية، باستثناء الجسم غير المتبدل، الذي لا تجدي المحاليل القلوية المستخدمة في إذابته. حاول بعض الباحثين استخدام بعض المذيبات العضوية، مثل الأميتون، الكحول الإيثيلي، الديوكسان والـ EDTA وغيرها، لكن جميعها لم تف بالغرض، لعدم إتمام عملية الاستخلاص.

إن الطريقة الأكثر شيوعاً هي تلك التي تستخدم محاليل قلوية ممددة من مائات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الأمونيوم، أو بيرو فوسفات الصوديوم، ويبدو أن المركب الأخير أكثر فعالية في بعثرة المعقدات الطينية العضوية وتحرير الأحماض الدبالية المشبعة بالكاليوم:



وبطبيعة الحال تزداد فاعلية أي محلول قلوي، بزيادة تركيزه وارتفاع درجة pH ودرجة الحرارة، والمخطط التالي يوضح طريقة الاستخلاص.

استخلاص المادة العضوية

تربة + محلول قلوي ممدد + رج + ترشيح أو تنقيف



- تصنيف مكونات المادة العضوية:

يعتمد تصنيف مكونات المادة العضوية على اللون ودرجة الذوبان، وحديثاً أدخل الوزن الجزيئي كعامل جديد للفصل بين هذه المكونات، وفيما يلي استعراض موجز لبعض التصنيفات المندأولة:

■ أحد التصنيفات يقسم المادة العضوية إلى:

أ- مواد عضوية ذات وزن ذري كبير . يمكن تمييزها، مثل السكريات المتعددة والبروتينات.

ب- مواد أو مكونات عضوية أبسط مثل السكريات العادية أو البسيطة والأحماض الأمينية، وبعض المكونات الأخرى ذات الأوزان الذرية المنخفضة نسبياً.

ج- المركبات الهيومية Humic substances.

■ في تصنيف آخر تقسم مكونات المادة العضوية إلى:

أ- المكونات الذائبة في الماء: تتضمن حموضاً ذوابة في الماء من الحموض الكربونية Crenic acids نسبتها ضئيلة جداً ولا أهمية لها.

ب- الحموض الفولفية الصفراء.

ج- الحموض الهيومية.

■ صنف العالم الفرنسي Duchaufour (1970) المكونات الأساسية للمادة العضوية على النحو التالي:

أ- بقايا ومخلفات نباتية مفككة جزئياً، تبدي بنية خلوية وتركيباً ليفياً متعضياً.

ب- مركبات وسطية انتقالية، مقاومة للتحلل والتفكك البيولوجي مثل اللجنين (الخشبين).

ج- معقدات غروية ناتجة عن الاصطناع الميكروبي، أو متبقية عن التحولات البيوكيميائية للمادة العضوية الخام، وهذا ما يطلق عليه عادة اسم: الدبال ذو الطبيعة الغروية.

د- مركبات عضوية ذائبة سريعة التمعنن والتماثر.

٥-3- خصائص المكونات الهيومية (الدبال) Properties of Humic substances:

تعد المكونات الهيومية الجزء الأهم من المادة العضوية، لدورها الفعال في التربة، ويمكن تقسيم المكونات الهيومية إلى ثلاث مجموعات الشكل (٣٥):

أ- الأحماض الهيومية Humic acids :

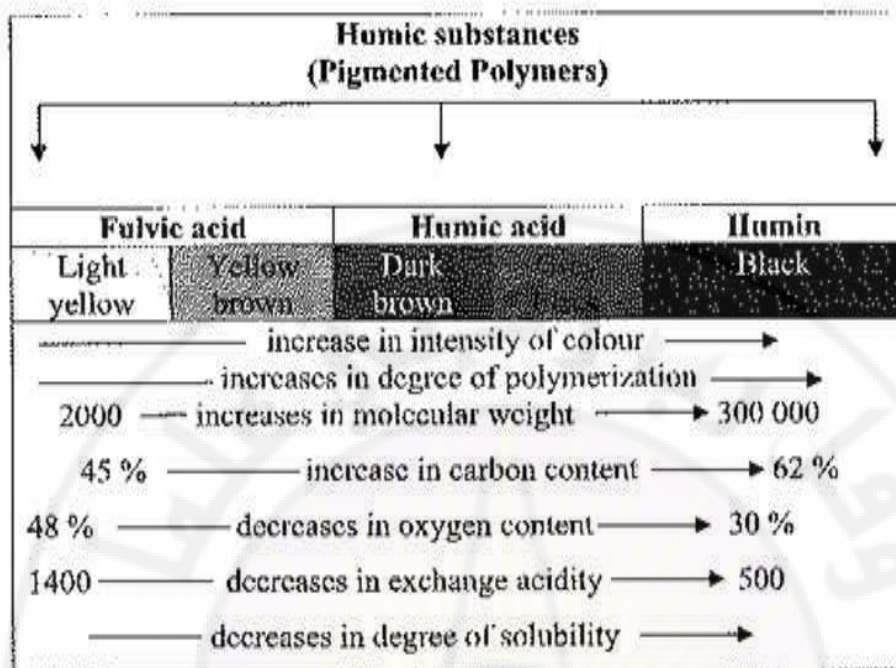
تشكل جزءاً من المكونات الهيومية، وهي لا تذوب في الماء تحت ظروف جامضية شديدة ($pH > 2$)، لكنها ذوابة عند درجة pH أعلى من ذلك، يمكن استخلاص الأحماض الهيومية من التربة بوساطة مستخلصات غير ذوابة في الأحماض الممددة، والأحماض الهيومية هي الجزء الرئيسي الذي يمكن استخلاصه من المكونات الهيومية، ويتميز بلونها البني الداكن حتى الأسود.

ب- الأحماض الفولفية Fulvic acids:

تذوب في الماء تحت درجات pH مختلفة، وتبقى في المحلول بعد استخلاص الأحماض الهيومية عن طريق تحمض الوسط Acidification ، ويتميز باللون تتراوح بين الأصفر الفاتح حتى البني المصفر.

ج- الهيومين Humin:

عبارة عن جزء من المكونات الهيومية غير الذوابة في الماء تحت أي درجة من الـ pH أو في الوسط القلوي، ويتميز الهيومين بلون أسود.



الشكل (35)، يبين بعض الخواص الكيميائية للمكونات الهيومية، (Stevenson، 1982)

يبين الجدول (14 و 15) التركيب العنصري للمكونات الهيومية ونسبة الأحماض الهيومية / الأحماض الفولفية FA / HA ، على التوالي:

جدول (14)، التركيب العنصري للمكونات الهيومية

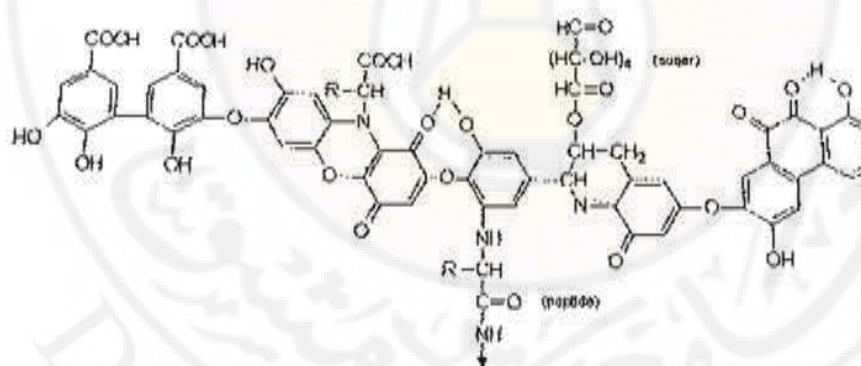
Substances	% dry ash- free basis			
	C	H	O	N
Fulvic acids	44 - 49	3.5 - 5.0	44 - 49	2.0 - 4.0
Humic acids	52 - 62	3.0 - 5.5	30 - 33	3.5 - 5.0
Proteins	50 - 55	6.5 - 7.3	19 - 24	15.0 - 19.0
Lignin	62 - 69	5.0 - 6.5	26 - 33	-

جدول (15) ، نسبة FA/ HA في الطبقة السطحية لبعض الترب

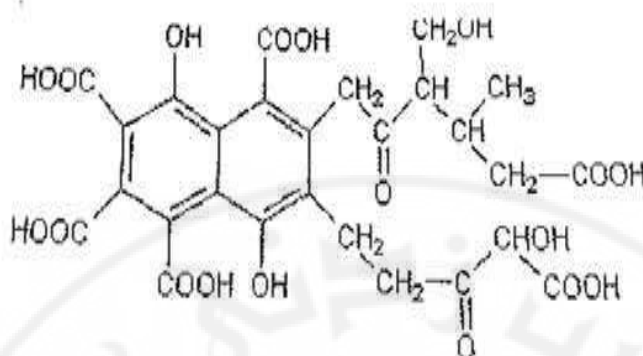
Soil	Humic acid / Fulvic acid ratio	Soil	Humic acid / Fulvic acid ratio
Chernozem ordinary	2.0 – 2.5	Gray forest	1.0
Chernozem deep	1.7	Sod podzolic	0.8
Chestnut dark	1.5 – 1.7	Tundra	0.3

يعتقد عدد من الباحثين ، أن جميع المكونات الهيومية ذات اللون الداكن Dark colored humic substances ، هي جزء من منظومة المادة العضوية، ولها صفات متقاربة Closely related properties ، لكنها ليست متطابقة تماماً (بوليميرات ذات وزن جزيئي كبير) ، بناء على الفكرة السابقة، فإن الاختلاف بين الحموض الهيومية والحموض الفولفية، يمكن شرحه من خلال التقابل في كل من الوزن الجزيئي، عدد المجموعات الفعالة (كاربوكسيل — OH فينول) ودرجة التبلر .

إن العلاقة بين مجموعتي الحموض العضوية (فولفية وهيومية) ، يمكن توقعها من خلال الشكلين (36) و (37).



الشكل (36)، يبين نموذج لبنية حمض الهومون (Stevenson, 1982)



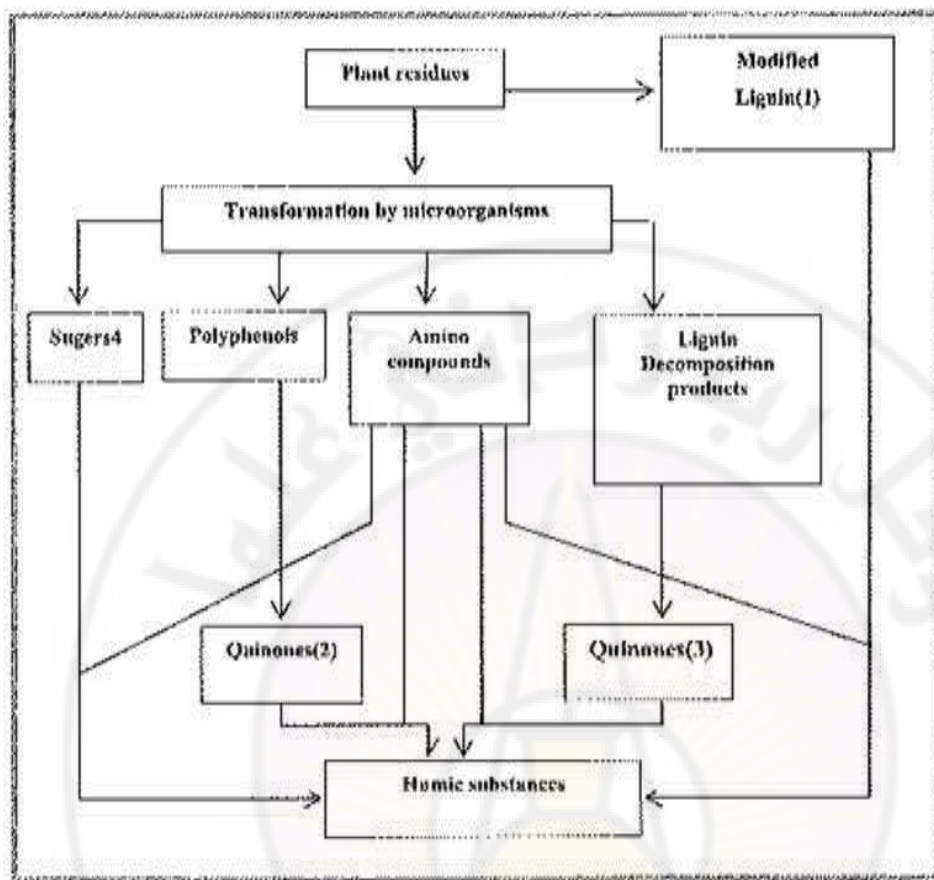
الشكل (37). يبين نموذج لبنية حمض الفولفليك

بلاحظ مما سبق أن محتوى المكونات الهيومية من الأكسجين والحموضة ودرجة البلمرة، جميعها تتغير بشكل منهجي أو منتظم Systematically، مع زيادة الوزن الجزيئي. نلاحظ أن الحموض الفولفية ذات الوزن الجزيئي المنخفض نسبياً، تحتوي على كمية أكبر من الأكسجين وأقل من الكربون، مقارنة مع الحموض الهيومية ذات الوزن الجزيئي المرتفع.

تحتوي الحموض الفولفية على عدد أكبر من المجموعات الفعالة Functional groups ذات الطبيعة الحامضية، وخاصة مجموعة الكربوكسيل COOH، إن الحموضة الكلية للحموض الفولفية تتراوح بين (900-1400 ميلي مكافئ/100 غ)، وهي أكبر من الحموضة الكلية للحموض الهيومية التي تتراوح بين (400-870 ميلي مكافئ/100 غ).

٥-٨- تكوين المكونات الهيومية Formation of humic substances:

يعد موضوع تكوين المكونات الهيومية من الموضوعات الأقل فهماً ووضوحاً، في مجال كيمياء الدبال، وهو واحد من أكثر الموضوعات إلحاحاً، على الرغم من الدراسات والأبحاث المستمرة على هذا الموضوع على أسس نظرية وعملية. هناك طرق عدة مقترحة لتكوين المكونات الهيومية خلال موت البقايا النباتية والحيوانية في التربة وتفسخها، وهذه الطرائق موضحة في الشكل (38):



الشكل (38)، يوضح الطرائق المقترحة لتكوين المركبات الهيومية

النظرية التقليدية المعروفة باسم Waksman، والتي تقول إن المكونات الهيومية تمثل لغنين معدل أو محور Modified Lignin (المسار 1)، لكن معظم الباحثين في الوقت الحاضر يميلون إلى الآلية التي تتضمن الكينونات Quinones (المسار 2 و 3). والواقع يجب عد المسارات الأربعة آليات ترابطية Likely لتصنيع كل من الحموض الفولفية والحموض الهيومية في الطبيعة، بما في ذلك تكاثف السكر والأمين Sugar-amine (المسار 4)، يمكن أن تعمل المسارات الأربعة المذكورة في جميع الترب، لكن ليس لنفس المستوى أو الدرجة من الأهمية. يمكن لمسار اللغنين أن يسود في الترب ضعيفة الصرف الرسوبيات الرطبة

(المستقلات وغيرها)، بينما التصنيع من Polyphenols قد يكون له أهمية كبيرة في بعض ترب الغابات، يمكن للتغيرات المتكررة والحادة في كل من الحرارة والرطوبة والإشعاع تحت ظروف مناخية قارية صعبة، أن تساهم في تكوين المكونات الهيكلية عن طريق Sugar-amine.

٥-٩- أشكال الدبال في التربة : Types of humus in soil

يظهر الدبال في التربة بعدة نماذج، تختلف هذه النماذج بعضها عن البعض الآخر اعتماداً على الشكل Morphology، والتركيب الكيميائي أو الجزئي Fractional composition.

ونماذج الدبال هي عبارة عن أشكال طبيعية ناتجة عن التراكم الطبيعي للمواد العضوية، سواء في مقطع التربة أو على سطحها، وتخضع هذه المواد إلى التوجه العام للعمليات المذئبة في التربة وكذلك عملية تدبيل المادة العضوية Humification of organic matter.

يمكن تمييز النماذج التالية من دبال التربة:

أ- المور More:

يوجد هذا النموذج في ترب الغابات الصنوبرية والترب الرطبة أو المستنقعية Moorlands. يتكون المور تحت ظروف يكون النشاط الحيوي في التربة ضعيفاً، حيث تسير عملية تمعدن Mineralization المادة العضوية ببطء، وتتشكل طبقة أو طبقات من البقايا النباتية (طبقة سميكة من الأوراق النباتية) التي تحتفظ ببنيتها الخلوية، تكون النسبة C/N تحت هذه الظروف عالية، وهي غالباً أكبر من 20، وقد تصل 40، و pH الوسط، دائماً حامضية، عموماً يمكن القول إن هذا النموذج يكون في حالة قريبة جداً من حالة النبات السليمة، أي أن عمليات التحلل والتفكك في حدها الأدنى.

ب- المودر Moder:

يشكل هذا النموذج مرحلة انتقالية بين المور والمول، ينتشر نموذج المودر بشكل خاص في الترب البودزولية - الصودية Sod-podzolic soils والترب العشبية الجبلية

وكذلك تربة اللوس. تتشكل الطبقات أو الأفاق العضوية في هذا النموذج من الدبال، من طبقة رقيقة من الأوراق تتراوح سماكتها بين 2 - 3 سم، والتي تمر تدريجياً إلى أفاق تراكم الدبال. يعد المورد من النماذج متوسطة التبدل، تساهم الفطور في تحلل البقايا النباتية في وسط حامضي، لكن أقل حموضة من السابق، تتراوح النسبة C/N من 15 - 25. المعقدات العضوية المعدنية الناتجة في هذه المرحلة تكون غير مستقرة ومرتبطة بشكل ضعيف مع الجزء المعدني من التربة، يمكن القول بشكل عام إن المورد هو مرحلة متوسطة من حيث التحلل والتمعدن والارتباط مع المكونات المعدنية.

ت- المول Mull:

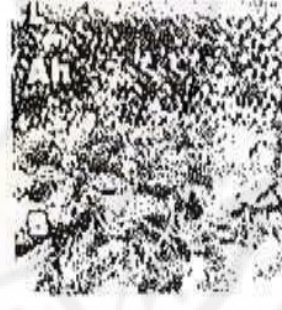
يعد المول نوعاً من الدبال الذي يهود في التربة الغنية نسبياً بالمادة العضوية Mollisols. كما يوجد المول تحت غطاء نباتي طبيعي عشبي، ويتميز المول بأنه مادة عضوية متبدلة جيداً، ويتكون في ظروف يكون فيها النشاط الحيوي عالياً، وينصف هذا النوع من الدبال بدرجة حموضة معتدلة، والنسبة C/N تقارب 10، يستطيع تكوين معقدات عضوية معدنية مستقرة، وهذا النوع من الدبال غالباً ما يتكون في تربة تحت الاستعمال الزراعي. الشكل (39).



Mor



Moder



Mull

الشكل (39): يبين النماذج الثلاثة للدبال في التربة

١٠-٥ - ارتباط المكونات الهيومية مع الجزء المعدني

Connection of humic substances with mineral fraction:

بينت الكثير من الدراسات، أن جزءاً قليلاً من المكونات الهيومية يكون على شكل حر في التربة، والجزء الأكبر يكون مرتبطاً مع الغرويات المعدنية (خاصة غرويات الطين)، هناك طرق عدة لارتباط المكونات الهيومية مع الجزء المعدني للتربة ومنها:

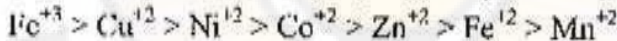
أ- أملاح الأحماض العضوية ذات أوزان جزيئية منخفضة مثل (حمض الخل، حمض النمل، حمض اللبن) التي ترتبط مع معادن مثل (المغنيزيت، الكالسيت، السبيريت وغيرها) أو مع أملاح معدنية مثل أملاح البوتاسيوم والكالسيوم.

ب- أملاح المكونات الهيومية مع الكاتيونات القاعدية alkaline cations : تشكل هذه الحالة أملاح الأحماض العضوية، حيث ترتبط القواعد والقواعد الأرضية (Cu, Mg, K, Na) بشكل بسيط عن طريق تبادلها مع H^+ المجموعات الفعالة مثال:



ج- التماثل مع العناصر المعدنية $\text{Chelate with metal ions}$:

عبارة عن ارتباط بعض المركبات العضوية مع عنصر معدني ليشكل بنية حلقية داخلية، وتختلف العناصر المعدنية من حيث قابليتها للتماثل بحسب الترتيب التالي:



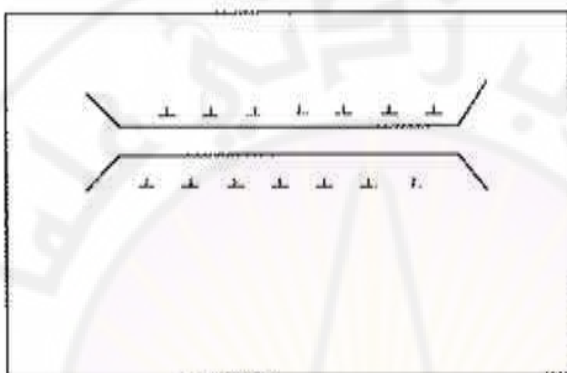
د- معقدات الطين العضوية $\text{clay-organic complexes}$:

يعود التفاعل بين المكونات العضوية ومعادن الطين في التربة، إلى نتائج متعددة تنعكس على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية، يوجد عدة آليات تحكم عملية امتصاص المكونات الهيومية على سطوح معادن الطين أهمها:

- قوى فاندر فالس $\text{Vander wal's forces}$:

تعمل قوى فاندر فالس بين جميع الجزيئات، لكنها ضعيفة نسبياً، تنتج هذه القوى أساساً بسبب تغير كثافة الشحنة الكهربائية لكل ذرة من الذرات، يؤدي التغير في الشحنات الموجبة

في ذرة ما ، إلى إحداث تغيير في الشحنات السالبة في ذرة مجاورة، ينتج عن ذلك تكون قوى جذب *Attractive forces*، قوى الجذب الناتجة عن هذا التغيير هي لكل زوج من الذرات أو الجزيئات. يعد الانمصاص الناتج عن قوى فاندر فالس ذا أهمية كبيرة في انمصاص الجزيئات القطبية وغير القطبية المتعادلة، خاصة تلك التي تملك أوزاناً جزيئية كبيرة . الشكل (40) .

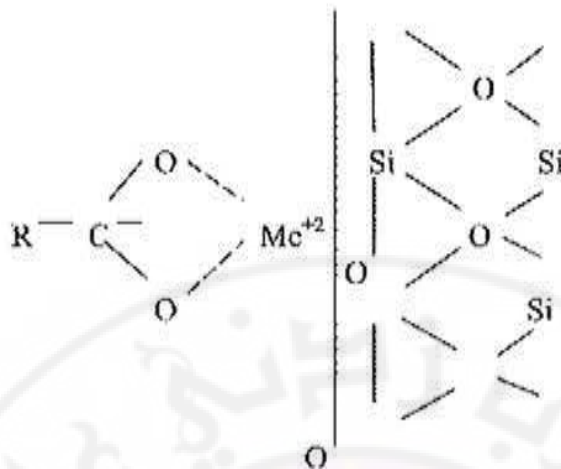


الشكل (40)، يبين قوى فاندر فالس

- الارتباط بواسطة جسر كاتيوني *Bonding by cation bridging*:

بما أن الحموض العضوية تتفاعل مع سطوح الطين المشحونة سلباً، فإن انمصاص كل من حمض الهيوميك وحمض الفولفيك على سطوح الطين (مثل المونتوريللونيت)، يظهر فقط عند وجود كاتيونات ثنائية التكافؤ على معقد التبادل *Exchange complex*، على عكس كل من K^+ ، Na^+ تستطيع الكاتيونات متعددة التكافؤ حفظ التعادل *Neutrality*، عن طريق معادلة الشحنة الموجودة على سطح غرويات الطين، وذلك الموجودة على المجموعات الفعالة للمكونات العضوية مثل $(-COO^-)$.

تعد كاتيونات Ca^{+2} ، Fe^{+3} ، Al^{+3} ، مسؤولة عن عملية الربط بين غرويات الطين والحموض العضوية، يشكل كل من Fe^{+3} ، Al^{+3} معقدات عضوية - معدنية قوية، على عكس Ca^{+2} الذي يشكل معقدات عضوية معدنية ضعيفة، لذلك فإن الكاتيونات متعددة التكافؤ تشكل جسراً بين الموقعين المشحونين . الشكل (41).

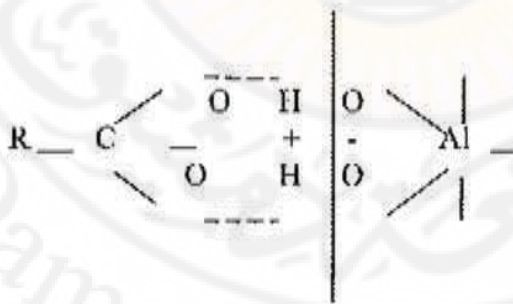


الشكل (41)، يبين الجسر الكاتيوني

- الرابط الهيدروجيني H-bonding :

يحدث هذا الارتباط بين المجموعات القطبية للجزيء العضوي وجزيء الماء أو الأوكسجين المدمص على سطوح السيليكات المعدنية، وذلك من خلال الارتباط مع أيون هيدروجين مفرد.

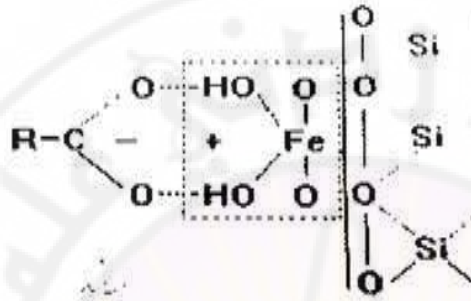
تعد قوة الرابطة الواحدة صغيرة وضعيفة نسبياً، لكن مجموع الروابط من هذا النوع يمكن أن يشكل قوة ربط معقولة. إن تعرض التربة للجفاف الشديد، بسبب فقد الماء، يعمل على زيادة قوة الربط بين المكونات العضوية ومعادن الطين وبسبب جعلها أكثر قرباً من بعضها. الشكل (42).



الشكل (42)، يبين الجسر الهيدروجيني

- ادمصاص المكونات الهيومية بأكاسيد الحديد والألمنيوم المائية:

تعد أكاسيد الحديد والألمنيوم ذات أهمية كبيرة في بعض الترب كسطوح ادمصاص للمحوض العضوية، عند تغليف حبيبات الطين بأغشية رقيقة من هذه الأكاسيد، فإن التفاعلات السطحية، يعود معظمها إلى سطوح هذه الأكاسيد . الشكل (43).



الشكل (43)، يبين رابطة الأكاسيد المائية

٥-١١- العوامل التي تؤثر في تطور المادة العضوية في التربة:

تتأثر عملية تطور المادة العضوية (تحللها) في التربة، بعوامل عدة منها:

أ- المناخ:

يؤثر المناخ بشكل كبير على تحلل المادة العضوية وتطورها، خاصة عنصر الرطوبة وعنصر الحرارة، من خلال تأثيرهما على نشاط الكائنات الحية في التربة، التي تعد المسؤولة عن تحلل المادة العضوية، حيث يلاحظ أن عمليات تحلل المادة العضوية يكون بطيئاً جداً في المناطق الباردة ، وغالباً ما يكون الدبال الناتج هو من النوع Mo ، على العكس من ذلك في المناطق الحارة نسبياً أو معتدلة الحرارة مع وجود رطوبة مناسبة، فالنتائج يكون من النوع Mull.

تعد عملية تحلل الدبال، عملية تابعة للنشاط الحيوي في التربة (خاصة درجة الحرارة والرطوبة)، حيث يتراوح معدل التفكك بين 1.5 - 2.8 % في مدى من درجات الحرارة يقع بين 10 و 20 درجة مئوية.

ب- الصخرة الأم:

تؤثر الصخرة الأم في تحول المادة العضوية عن طريق الكاتيونات التي تتحرر من تجويتها، فمن المعروف أن الصخور الكلسية والقاعدية تزيد من النشاط البيولوجي في التربة لما تحرره من كاتيونات قلوية وقلوية ترابية، ويتشكل عليها المول Mull، أما على الصخور الفقيرة بالقواعد كالرمالية والغرانيتية، فيكون النشاط الحيوي ضعيفاً ويطيئاً، ويؤدي إلى تكوين دبال حمضي من نوع المور Mor أو المودر Moder.

ج- الغطاء النباتي:

إن لكثافة الغطاء النباتي أثراً واضحاً في سرعة تحلل المواد العضوية، وذلك من خلال تحكم الغطاء النباتي بكمية الأشعة الشمسية الواردة للأرض، مع انخفاض كثافة الغطاء النباتي.

د- نوع البقايا العضوية:

تؤثر البقايا النباتية في نوع الدبال المتكون، عن طريق نسبة C/N فيها، وبمحتواها من القواعد، وكمية المواد العضوية مهتلة الذوبان والتحلل. فمن المعروف أن الأنسجة الفتية قليلة المحتوى من اللجنين تكون أسرع في تحللها من الأنسجة الممتدة المتخشبة والفقيرة بالأزوت والمواد العضوية الذاتية. كما يلاحظ أن بقايا الأشجار ذات الأوراق العريضة تتحول بسرعة أكبر من بقايا الصنوبريات والشوحيات ذات الأوراق الإبرية، إلا أن خليطاً من الاثنين يزيد من سرعة تحولهما ويحسن من خواص الدبال الناتج عليهما.

١٢-٥ دور المادة العضوية في التربة Function of organic matter in the soil:

تلعب المادة العضوية دوراً مهماً في التربة، حيث تعمل على تحسين العديد من خواص التربة، وبالتالي تحسين نمو النبات وزيادة الإنتاجية، وتأتي مساهمة المادة العضوية في التربة بأشكال عدة:

أ- الجانبي الخصوبي:

حيث تعد المادة العضوية مصدراً مهماً للعديد من العناصر الغذائية أو الخصوبة، الكبرى منها والصغرى، ومن أهم هذه العناصر، الأزوت والفوسفور.

ب- الجانب البيولوجي:

للمادة العضوية تأثير كبير على نشاط وفاعلية الكائنات الحية الدقيقة النباتية Microflora، والحيوانية Microfouna، يعد أن المادة العضوية تعد المصدر الرئيسي الذي يمد هذه الكائنات بحاجتها من العناصر الغذائية والطاقة اللازمين لممارسة نشاطها بفاعلية.

ج- الجانب الفيزيائي - والفيزيوكيميائي:

تعمل المادة العضوية على تحسين العديد من الخواص الفيزيائية للتربة، من خلال تحسين نسيج التربة وبنيتها، وهذا ينعكس على تحسين حالة الحرارة والتهوية، حفظ الماء. من الناحية الفيزيائية- كيميائية، تلعب المادة العضوية دوراً مهماً في زيادة السعة التنظيمية للتربة Soil buffering capacity، وزيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، وزيادة سعة التبادل الكاتيوني للتربة.

عموماً يمكن إجمال فوائد الدبال بالتالي:

- تزويد النبات بالعناصر الغذائية.
- زيادة سعة التبادل الكاتيوني.
- تحسين ظروف تزويد النبات بالكربون، لأنه يحرر كميات كبيرة من CO_2 في أثناء تفسيحه.
- يلعب دوراً مهماً في درء التغيرات المفاجئة لـ pH التربة.
- تحسين بنية التربة وتكوين مجمعات ترابية Soil aggregates.
- التخفيف من الخواص الفيزيائية السيئة مثل اللزوجة، والصلابة والتماسك ومقاومة الحرارة.
- يمد الكائنات الحية بالطاقة اللازمة لنشاطها.
- يساعد على امتصاص التربة لأشعة الشمس.



الفصل السادس

الصفات المورفولوجية للتربة (Soil Morphological Properties)



الفصل السادس

الصفات المورفولوجية للتربة

(Soil Morphological Properties)

٦-١- لون التربة Soil color :

٦-١-١- مقدمة:

يعد لون التربة من أهم الصفات الشكلية وضوحاً وأيسرها تحديداً، ويعد لون التربة ذا مدلول معنوي مهم، من خلال علاقته ببعض خصائص التربة، ومنها المادة العضوية، العمليات الطينية clay cations، حالة الأكسدة والإرجاع، وجود بعض المعادن، مثل الحديد، إضافة إلى أنه أحد العناصر المهمة المستخدمة في تصنيف التربة. وبالتالي يمكن القول إن لون التربة يعكس العديد من خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والخصوبية والمنتشية. حتى إن العديد من الترب تسمى بحسب ألوانها، مثل الترب السوداء والترب الكستنائية والترب الحمراء وغيرها.

من الناحية العملية، يمكن أن تصادف معظم الألوان في الترب، من اللون المبيض أو الأبيض إلى اللون الأسود، مروراً باللون الأحمر والبني والرمادي والمصفر، إلى جانب الألوان المخضرة والمزرقة.

عموماً، يعد لون الترب مزيجاً من أكثر من لون، مع وجود سيادة لأحد الألوان، وهذا عائد إلى التركيب المعدني للتربة، على أساس أن ألوان التربة المختلفة، تعود لوجود بعض المعادن الملونة. مثل مركبات الحديد والمغنيزيوم والمنغنيز وغيرها، إضافة إلى دور المادة العضوية في إعطاء اللون الداكن للتربة.

كما يمكن أن تعزى بعض الألوان في التربة، إلى بعض العمليات المنتشية وخاصة ظاهرة الأكسدة والإرجاع التي تؤدي إلى عملية التبرقش mottling.

إن اللون الظاهري للتربة، يشكل مادة للوصف والقياس، وهو محصلة للعديد من الألوان التي تتميز بها المكونات المختلفة التي تشكل مادة التربة، ويتناسب إسهام كل من هذه المكونات المختلفة في تحديد اللون الذي تكتسبه التربة مع مجموع السطح النوعي لكل منها. وهذا يدل بوضوح على الدور المهم الذي تلعبه غرويات التربة في تحديد اللون النهائي لها،

وذلك لما تتمتع به من سطح نوعي كبير . كما تلعب بعض الخواص الفيزيائية للتربة، وخاصة محتوياتها الرطوبي، دوراً مهماً في تحديد لون التربة.

٦-١-٢- العوامل المؤثرة في لون التربة:

يتأثر لون التربة بعوامل عدة منها:

أ- المادة العضوية ومركباتها الدبالية التي تضافي على الترب اللون الأسود أو البني الداكن ومشتقاتهما، وذلك بحسب نسبة الكربون ودرجة بلمرته ومرحلة تحلل المادة العضوية واختلاطها مع التربة، ويمكن أن تأخذ التربة لوناً يميل للسواد في حال احتوائها على نسبة عالية من معادن السمكيت كما هو الحال في الترب الطينية الثقيلة Vertisols، رغم فقرها بالمادة العضوية.

ب- تعطي أكاسيد المنغنيز وبعض أكاسيد الحديد مثل المغنيتيت Fe_3O_4 ، لوناً أسود قائماً ، في حال توافرها في التربة.

ج- تكتسب التربة ألواناً فاتحة (أبيض، رمادي فاتح ،...) عند احتوائها على المعادن فاتحة اللون مثل كربونات الكالسيوم والجبس والكاولينيت والفلدسبارات.

د- يتكون اللون البني للتربة من وجود ومزج عدد كبير من المعادن ذات الألوان المختلفة (أسود، أصفر، أبيض، وأحمر)، وتختلف دكالة اللون البني بحسب نسب هذه الألوان لبعضها بعضاً.

هـ- تأخذ الترب الألوان الحمراء والصفراء والصدئية والبنية المصمرة، عند وجود أكاسيد الحديد بنسب مختلفة وبدرجات تمييه متفاوتة، عند توافر الهيماتيت Fe_2O_3 تكتسب التربة اللون الأحمر، أما عند تجمع أكاسيد الحديد المائية، وخاصة الليمونيت $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ، فإن اللون يميل نحو الأصفر. عموماً يميل لون التربة نحو الأحمر عند تضاريل عند جزيئات الماء المرتبطة مع جفاف التربة وظباب ظاهرة التمدد.

و- تؤدي ظاهرة الأكسدة والإرجاع، في حال حدوثها (ظروف تغدق) سواء أكانت مؤقتة أم دائمة، إلى تطور ألوان الزرقة والخضرة أو الرمادي المزرق أو الرمادي المخضر، الناتجة عن إرجاع Fe^{+3} إلى Fe^{+2} ، وعندما تحتوي التربة على كمية مهمة من بعض المعادن مثل النونترانيت nontronite والغلوكونيت glauconite، فإنها تأخذ ألواناً خضراء أو خضراء زيتونية داكنة.

3-1-6 - وصف لون التربة Description of soil color

يعد وصف لون التربة من الأمور التي تحتل بعضاً من الاختلاف والتفاوت بين واصف وآخر، وهذا الأمر يعود لمعامل عدة منها الواصف نفسه وزمن الوصف ورطوبة التربة وغيرها. يعتمد في وصف لون التربة دليل مانسل لألوان التربة munsell soil color charts، ويتحدد اللون وفقاً لثلاثة أسس أو معايير:

- سيادة اللون (تدرجه) Hue : ويقصد به اللون المائد أحمر، أصفر، رمادي.
 - قيمة اللون (الإضاءة) Value: ويعبر عنه درجة الإضاءة من الأبيض إلى الأسود.
 - نقاء اللون (شدته) Chroma : يوصف درجة النقاوة بين القاتم والقائم.
- يحدد لون التربة بمعادلة بسيطة مؤلفة من المعايير الثلاثة السابقة، وعلى سبيل المثال: 5YR 3\4 حيث تشير 5YR إلى سيادة اللون أي Hue والرقم 3 إلى القيمة والرقم 4 يشير إلى النقاوة، ويعين اللون من دليل الألوان بما يقابل هذه المعادلة.
- عند إجراء وصف روتيني للون، تؤخذ كتلة ترابية وتقارن مع دليل الألوان، بعيداً عند أشعة الشمس المباشرة، أما في حال وجود هدف محدد وراء وصف اللون، كما في حالة تصنيف التربة، عندها يعين اللون بعد طحن الكتلة الترابية وخلطها جيداً، كما يمكن وصف بعض الألوان المميزة في أفق التربة.
- يجب أن يتم وصف لون التربة تحت ظروف متماثلة قدر الإمكان، كالوصف عن الصباح الباكر أو المساء المتأخر، إضافة لذلك فإن تعيين اللون من قبل أشخاص مختلفين، قد أظهر بأنه غالباً متضارب.

4-1-6 - أهمية لون التربة:

يلعب لون التربة دوراً مهماً في تسخين التربة ونظامها الحراري، وذلك تبعاً لقدرة اللون على امتصاص الأشعة الشمسية أو عكسها، لذلك نجد أن الترب السوداء الغنية بالمادة العضوية وترب الرماد البركاني وغيرها من الترب التي تكون مكوناتها داكنة، فإنها تمتص كمية أكبر من الأشعة الشمسية مقارنة بالترب ذات الألوان الفاتحة، كالتراب الكلسية أو الجبسية أو المالحة، لذلك يلجأ أحياناً إلى تغطية سطح الترب بالرقائق البلاستيكية السوداء، لرفع حرارة التربة وزيادة سرعة إنبات البذور ونمو البادرات، إضافة لمنع نمو الأعشاب الضارة وحفظ المياه من التبخر والنتح، كذلك من المفيد أحياناً إضافة الرماد البركاني volcanic ash الأسود لما له من أثر إيجابي في رفع معدل التوصيل الحراري للتربة.

٢-٦- بنية التربة Soil Structure :

١- تعريف Definition :

تميل حبيبات التربة المفردة من رمل وملت وطين، للتجمع في وحدات من أحجام مختلفة، هذا التجمع يعزى إلى ما يسمى ببنية التربة Soil structure، والتي تعرف بأنها ظاهرة طبيعية تتضمن تنظيم وترتيب حبيبات التربة في مجموعات، تدعى التجمعات الحبيبية الناتجة إما بالكُتل الترابية Soil peds أو مجموعات ترابية Soil aggregates، التي تشكل عادة، أشكالاً مميزة بعضها نموذجي لأفاق معينة في التربة.

تعود الترتيبات البذائية في التربة إلى مجموعة قوى فيزيائية، تسبب بعض التحرك داخل التربة، ومن هذه القوى الفيزيائية:

- أ- الفعل الناتج عن تمدد وانتشار الجذور النباتية.
- ب- ظاهرة الانتفاخ والانكماش الناتجة عن تغير حالة الرطوبة.
- ج- التجمد والذوبان Freezing and thawing.
- د- الفعل الناتج عن ديدان الأرض وغيرها من الكائنات الحية.
- هـ- المواد اللاصقة التي تسمح ببقاء التجمعات الترابية مع بعضها بعضاً، مثل الطين والمادة العضوية والأكاسيد (خاصة الحديد)، والأملاح المختلفة.

٢- المجمعات الترابية Soil aggregates :

يمكن القول بشكل عام، إن حبيبات التربة الصغيرة جداً هي التي تشكل المجمعات الترابية، والتي تتضمن سيليكات الطين ومعادن الرماد البركاني والمادة العضوية والأكاسيد. توجد آليات عدة تساهم في تكوين المجمعات الترابية، أهمها:

- أ- الكائنات الحية الدقيقة، حيث تطرح بعض المركبات التي تعمل كمواد لاصقة Cementing agents تؤدي إلى تجميع حبيبات التربة مع بعضها.
- ب- تقوم الفطور بربط حبيبات التربة من خلال تغلغل خيوطها الناعمة (الهيفي Hyphae) في التربة.
- ج- تساهم الجذور بتجميع معادن التربة، نتيجة لطرحها بعض المواد السكرية.
- د- تلعب أكاسيد التربة دوراً في تلاحم حبيبات التربة.

هـ- يمكن لحبيبات التربة أن تنجذب لبعضها بعضاً بشكل طبيعي من خلال القوة الكهربائية الساكنة Electrostatic force .

3- ثبات المجمعات الترابية Aggregate Stability:

بعد ثبات المجمعات الترابية ذات قيمة عالية بالنسبة لإنتاجية التربة، حتى الآن تعتمد ثباتية المجمعات الترابية، بشكل أساسي على نوع المعادن الموجودة في التربة. تشكل بعض معادن الطين مجمعات ذات ثباتية عالية، بينما هناك معادن أخرى تشكل مجمعات ضعيفة تتحلل بسهولة.

أ- سيليكات الطين التي تعرضت إلى تجوية شديدة والأكاسيد والمعادن غير المنبلورة، تميل لتكوين مجمعات ترابية ثابتة بدرجة عالية، ويساهم وجود المادة العضوية على زيادة ثباتية هذه المجمعات الترابية وتكوينها، تعد ثباتية المجمعات الترابية مهمة، على اعتبار أن التربة ذات البنية الجيدة أو المجمعات الجيدة، يكون صرفها جيداً والتعامل معها سهلاً نسبياً.

ب- على النقيض، سيليكات الطين قليلة التجوية، مثل المونتموريللونيت، تشكل مجمعات ترابية ضعيفة نسبياً، بعض سيليكات الطين لديها قدرة على الانكماش والانتفاخ، هذا يعني أن معادن التربة تتمدد أو تنتفخ عند الرطوبة، مما يجعل حبيبات التربة ملتصقة مع بعضها، وبالتالي يكون صرفها ضعيفاً أو فقيراً Poor. ويحدث انكماش للتربة عند الجفاف وتكوين الشقوق، هذه الحالة، تجعل التعامل مع التربة صعباً نسبياً. (الجدول 14).

جدول (14): مقارنة بين تربة جيدة البنية وأخرى عديمة البنية:

تربة عديمة البنية	تربة جيدة البنية
أ- سيئة	أ- خواص مائية وهوائية وغازية جيدة
ب- زيادة المسامية للمائية على حساب الهوائية	ب- توازن المسامية للمائية مع المسامية الهوائية
ج- عالية أو منخفضة	ج- رطوبة معتدلة
د- لغازية سيئة	د- نفاذية جيدة
هـ- صعبته	هـ- سهولة الحرث
و- أقل مقاومة	و- مقاومة للانجراف المائي والريحي
ز- تشكل قشرة سطحية في أثناء الجفاف	ز- لا تشكل قشرة سطحية في أثناء الجفاف

٤- تصنيف بنية التربة Classification of Soil Structure: الجدول (١٥)، (١٦)

(١٧)

تعود بنية التربة إلى ترتيب حبيباتها ، وهو ناتج لمجموعة من العمليات، مثل التجمع، الالتحام و الضغط، لمواد تربة غير متماسكة، في جوهر الموضوع، بنية التربة هي حالة فيزيائية مميزة عن المواد الأولية التي تكونت منها، ويمكن ربطها مع عمليات تكوين التربة . تنفصل الكتل الترابية في موقع ما عن الكتل المجاورة من خلال وجود سطوح التصاق ضعيفة.

عند وصف البنية في مقطع التربة يجب الأخذ بالحسبان حالة الرطوبة، على عد أنها (أي الرطوبة) تؤثر إلى درجة كبيرة على تمييز البنية. كذلك عند وصف البنية، ينصح بالوقوف بضعة أمتار عن المقطع حتى يمكن تمييز الوحدات البنائية الكبيرة (مثل الموشور).
- توصف بنية التربة من حيث ثلاث صفات:

أ- درجة التطور Gracle: يتم فيها وصف التمايز بين الكتل الترابية (الاختلاف بين الالتحام داخل الكتلة والالتصاق بين الكتل)، وهذا يعود إلى درجة التجمع وتطور بنية التربة. يعتمد تصنيف درجة التطور حقلياً ، على اختيار مساواة الكتلة أو مقاومتها للتحطم بالاختبار بين الأصابع.

ب- الشكل Form : توصف البنية على أساس شكل الكتلة، كأن تكون حبيبية Granular أو صفائحية Platy ، أو كتلية Blocky أو موشورية Prism أو عامودية Columnar الشكل (44).

ويمكن القول إن بعض أشكال البنية تكون ملازمة لنوع معين من الأفق، على سبيل المثال: تكون بنية الطبقة السطحية من التربة (الأفق السطحي) غالباً من الشكل أو النموذج الحبيبي Granular، البنية الكتلية والموشورية والعمودية، توجد غالباً في الأفق تحت السطحي (الأفق Bt).

الجدول (15): يبين تصنيف بنية التربة بالعلاقة مع درجة التطور Grade

الوصف Description	الرمز Code	1. درجة التطور Grade
لا يلاحظ وجود مجاميع ترابية، أو ترئيب منتظم للملوح الطبيعية الضعيفة.	0	أ- عديم البناء
تشكلات ضعيفة لكنها غير مميزة	1	ب- ضعيف
كتل جيدة الشكل وسميكة، متوسطة المتانة وواضحة، لكنها غير مميزة في التربة غير المضطربة undisturbed .	2	ج- متوسط
كتل مثينة جداً وواضحة، التحام الكتل مع بعضها ضعيف، وتتفصل عندما تكون التربة مضطربة.	3	د- قوي

الجدول (16): يبين تصنيف بنية التربة بالعلاقة مع الشكل Type

الوصف Description	الرمز Code	
نسبياً غير مسامي، تأخذ الكتلة شكل بيضاوي، لا تتوافق مع الكتلة المجاورة.	gr	أ- الحبيبي
ليس المساميك لكنه مسامي.	cr	ب- الكرمي
الكتلة تشبه الصفوحة، تقرب الحبيبات بشكل أفقي، مع تطور محدود بالاتجاه الرأسي، تداخل الصفائح غالباً مع بعضها البعض، وتضعف النفاذية.	pl	ج- الصفائحي
لها شكل كتلة متعددة الأضلاع مرتبطة مع بعضها البعض، تشكل الوجود المزواة مركز الكتلة، تنكسر الكتلة غالباً إلى كتل صغيرة.	bk	د- الكتلي
نفس الوصف السابق لكن تكون الأوجه منتبهة بزوايا واضحة.	abk	1-4- كتلي مزوي
نفس الوصف السابق لكن تكون الأوجه مستديرة.	shk	2-4- كتلي شبه مزوي
كتل ترابية تشبه العמוד، إلا أن قممها غير مستديرة، بعض الكتل الموشورية تشكل هيكل الكتلة الترابية، تتحطم بعض الكتل الموشورية إلى وحدات كتلية أصغر حجماً، التطور الأفقي للموشور محدود، قياساً بالتطور الرأسي.	pr	هـ- الموشوري
وشبه السابق مع بقاء قمة الكتلة مستديرة.	Cpr	و- العמודي
لا تمثل الحبيبات المفردة للالتحام مع بعضها البعض، وهذه الحالة تتوافق مع التربة خشنة القوام أو الرملية.	Sg	ز- حبيبات مفردة
كتل كبيرة مصمتة، لا تتحطم تحت الضغط الخفيف، وتترافق مع التربة ذات القوام الناعم أو الطيني.	m	ح- مصمت

جدول (17): يبين تصنيف حبيبات التربة بحسب حجمها

الحجم	بنية كتلية مزواة أو شبه مزواة القطر (مم)	بنية حبيبية أو خرمبية القطر (مم)	بنية صفائحية السمائة (مم)	البنية العامودية والموشورية القطر (مم)
ناعم جداً	> 5	> 1	> 1 (رقيق جداً)	> 10
ناعم	5 - 10	1 - 2	1 - 2 (رائق)	10 - 20
متوسط	10 - 20	2 - 5	2 - 5 (متوسط السمائة)	20 - 50
خشن	20 - 50	5 - 10	5 - 10 (ثخين)	50 - 100
خشن جداً	> 50	> 10	> 10 (ثخين جداً)	> 100

يوجد حالة أخرى بالنسبة لشكل البنية، وهي عدم وجود بنية في التربة، أي تربة عديمة البناء *structureless soil*، في حال عدم وجود بناء، قد يأخذ جسم التربة شكلين مختلفين، إما مصمتاً *Massive* أو مفككاً (حبيبات مفردة منفصلة عن بعضها) *Loss single-grains*، توجد هذه الحالة غالباً في الترب الفتية جداً *Very young soils*، التي تكون في الأطوار البدائية لتكوينها.

قد يحتوي مقطع التربة على نموذجين من البنية أو أكثر، على سبيل المثال: تكون بنية التربة في الأفق السطحي حبيبية وتتدرج إلى بنية كتلية مزواة أو شبه مزواة في الأفق تحت السطحي، وربما يصادف بناء موشوري مع زيادة العمق في مقطع التربة نفسه.

ج- الحجم *Size*: يجب أخذ حجم الوحدة البنائية في التربة بالحسبان، ويعتمد الحجم على شكل الكتل الترابية ويقدر حجم البنية بحسب قطر الوحدة البنائية، ويقاس بالميلتر باستثناء البنية الصفائحية حيث يقدر الحجم اعتماداً على سماكة الوحدة البنائية.



الشكل (44)، يبين الأشكال المختلفة لبنية التربة

٥- تكوين بنية التربة : Formation of Soil Structure :

عند بدء عمليات تكوين التربة، يكون البناء (بنية التربة) معدومة، فإما أن يكون على شكل حبيبات مفردة، أو على شكل كتل مصمتة Massive ، لذلك فإن عملية تكوين التربة وتطورها، تعني في الوقت نفسه، تطور بنية التربة، الذي يتمثل بتكوين الكتل أو المجمعات الترابية، تتكون بنية التربة نتيجة فعل بعض القوى التي تدفع حبيبات التربة للتجمع مع بعضها بعضاً.

أ- مناخياً : العمليات الفيزيائية المتأثرة بالمناخ والتي ينتج عنها تغير في توزيع و كمية الماء، تمارس تأثيراً كبيراً على تكوين بنية التربة من خلال تغير كمية الرطوبة، وما ينتج عنها من انكماش وانتفاخ، وكذلك تغير شكل الرطوبة (تجمد وذوبان)، يؤدي ذلك إلى تغير في حجم التربة، والذي ينتج عنه مع الزمن مجمعات ترابية متميزة.

ب- العمليات الفيزيائية-كيميائية: (مثل: تجمد، ذوبان، جفاف، ترطيب، انتقال وتراكم الطين، تكوين أو إزالة التكوينات المنشئية)، يؤثر على تكوين بنية التربة في كامل مقطع التربة. تختلف طبيعة وشدة هذه العمليات تبعاً للبعد عن سطح التربة. يلعب كل من البناء والنسيج والفاعلية المائية للنباتات والتركيب المعدني والطبوغرافيا، دوراً في تعديل الأثر المحلي للمناخ، من خلال تأثيرها على معدل الرشح وتخزين الماء وتبخره.

ج- بيولوجياً: تمارس الفعالية البيولوجية تأثيراً قوياً على تكوين بنية التربة، خاصة في الأفق السطحية، عادة يكون دور المادة العضوية كبيراً و أكثر وضوحاً في الأفق السطحية، وتعمل المادة العضوية كمادة لبناء التجمعات الترابية، خاصة السكريات المتعددة Polysaccharides، التي يعتقد أنها مسؤولة عن تشكل الكتل الترابية.

تمارس الجذور النباتية حالة ضاغطة على مواد التربة المجاورة، والتي تساهم في تشكل البنية. يؤدي حفر الأنفاق بواسطة الحيوانات (ديدان الأرض وغيرها)، إلى خلق قوى ضاغطة أيضاً، وفي بعض الحالات (مثلاً ديدان الأرض) تساهم في تكوين البناء من خلال ابتلاع وطرح بعض مواد التربة المختلطة مع المادة العضوية.

٤- تحسين بنية التربة :Improvement of Soil Structure

تؤدي عملية المحافظة على بنية التربة بحالة جيدة، إلى إبقاء خواصها المائية والهوائية بحالة مناسبة، يتطلب ذلك اتخاذ عدة إجراءات من شأنها المحافظة على بنية التربة، وتحول دون تدهورها، ومن هذه الإجراءات:

١- زيادة محتوى التربة من المادة العضوية، أو المحافظة على محتواها من هذه المادة من خلال:

- أ- إضافة الأسمدة العضوية بشكل مناسب ومنظم.
- ب- اتباع دورات زراعية مناسبة، تدخل فيها المحاصيل البقولية، لما لها من أثر في تحسين خصوبة التربة عن طريق انتشار جذورها، والتعايش مع كائنات حية دقيقة معينة.
- ج- إدخال مفهوم التسميد الأخضر، عن طريق قلب المحاصيل في التربة، وخاصة البقولية منها، ويفضل أن يكون ذلك في طور الإزهار.
- ٢- العمل على خفض محتوى التربة من الصوديوم وأملاحه، لما له من أثر سيئ على بنية التربة وخواصها المائية، من خلال عمله على بعثرة الحبيبات الناعمة والتي بدورها تقوم بتخفيض المسامية، وما ينتج عنه من سوء صرف.
- ٣- إضافة محسنات البنية Soil conditioners ، وذلك بحسب الخلل القائم في التربة.
- ٤- استخدام آلات خدمة التربة المناسبة، والقيام بتنفيذ العمليات الزراعية في الأوقات المناسبة مع مراعاة حالة الرطوبة في التربة، كذلك يجب عدم تكرار الحرث على أعماق ثابتة.

٦-٣- التركيب الحبيبي للتربة Soil Particle Composition (نسيج التربة Soil Texture)

٢- مقدمة:

يتناول التركيب الحبيبي للتربة حبيبات التربة الصلبة بمقاساتها وحجومها المتنوعة، بدءاً من حبيبات الطين الناعمة حتى الحصى والحجارة، وعند الحديث عن التركيب الحبيبي أو الميكانيكي للتربة، أي نسيج التربة Soil Texture، فإنه يقصد بذلك ما يسمى حبيبات التربة الناعمة Fine earth fractions، أي تلك الحبيبات التي تقل أقطارها عن 2 مم، هذه الحبيبات بأقطارها المختلفة، يفترض أنه لا يمكن تقسيم أي حبيبة منها إلى قسيمات أصغر، أما بالنسبة لحبيبات التربة ذات الأقطار الأكبر من 2 مم، التي تسمى بالحبيبات أو الأجزاء الخشنة Coarse fraction، فإنه يتم فصلها عن الحبيبات الناعمة، قبل البدء بدراسة الأخيرة.

تقسم حبيبات التربة الناعمة في جميع مدارس التربة إلى ثلاث مجموعات رئيسية تدعى Soil Separates وكل مجموعة حبيبية تعبر عن جزء من حبيبات التربة المعدنية، تقع ضمن حجم محدد، يعبر عنه بقطر الحبيبة مقدراً بالميليمتر. أما بالنسبة لأقطار حبيبات كل مجموعة والحدود الفاصلة بينها، فإنها تختلف قليلاً بين مدارس التربة المختلفة، هذه المجموعات الثلاث هي:

- مجموعة الطين Clay أو مجموعة الغضار.
- مجموعة السلت Silt وبطلق على السلت أحياناً الغبار.
- مجموعة الرمل Sand.

يعزى نسيج التربة Soil Texture إلى حجم الحبيبات التي تتشكل منها التربة، بمعنى آخر إلى نسبة كل من المجموعات الثلاث (الرمل والملت والطين) لبعضها البعض، مع الأخذ بالحسبان أن هذه المجموعات الثلاث لا تشمل المادة العضوية.

٢- تصنيف حبيبات التربة Classification of soil particles:

تصنف حبيبات التربة، كما ذكر سابقاً، في مجموعات منفصلة Separates استناداً إلى أقطار هذه الحبيبات وضمن مدى معين، تختلف حدود أقطار كل من مجموعات حبيبات التربة، وحتى تسمياتها أحياناً، من مدرسة لأخرى، لكن ما هو متفق عليه في جميع

المدارس، والتصنيف، أن مكونات التربة الميكانيكية تضم مجموعتين، الجزء الخشن (Coarse fraction) الذي يشكل هيكل التربة Soil Skelcton ويضم القطع الصخرية والحجارة والحصى (أقطارها < 2 مم)، والجزء الناعم (Fine fractions)، الذي يضم كلاً من الطين والسلت والرمل (أقطارها > 2 مم)، وفيما يلي تلخيص لأهم التصنيفات الخاصة بحبيبات التربة.

1 - التصنيف الدولي International system :

تم اقتراح هذا التصنيف في عشرينات القرن الماضي، وابتدأ في العديد من الدول، إن الحدود الفاصلة بين المجموعات الثلاث في هذا النظام تختلف قليلاً عما هو عليه في الأنظمة الأخرى، وخاصة نظام USDA ، وبين الجدول (18) الأبعاد التي اعتمدها نظام التصنيف الدولي:

الجدول (18) - تصنيف حبيبات التربة بحسب النظام الدولي (ISSS)

القطر (مم)	التصنيف
> 0.002	الطين
$0.02 - 0.002$	السلت
$0.2 - 0.02$	الرمل الناعم
$2 - 0.2$	الرمل الخشن
$20 - 2$	الحصى
< 20	المحجار

2 - التصنيف الروسي:

بعد التصنيف الذي اقترح من قبل كاتشينسكي Kachinskii عام 1965 الأكثر شيوعاً في روسيا وبعض الدول المجاورة، والذي لا يزال مستخدماً حتى الآن، تأتي حدود العناصر الحبيبية (أقطارها) في هذا التصنيف أكثر بعداً عن التصنيفات الأخرى، والجدول (19) يبين ذلك:

الجدول (19): تصنيف حبيبات التربة بحسب كاتشيسكي

العنصر	القطر (مم)
حجارة	أكبر من 3
حصى	3 - 1
رمل	1 - 0.05
رمل الخشن	1 - 0.5
رمل متوسط	0.5 - 0.25
رمل ناعم	0.25 - 0.05
غبار (سلت)	0.05 - 0.001
غبار خشن	0.05 - 0.0
غبار متوسط	0.01 - 0.005
غبار ناعم	0.005 - 0.001
طين	أصغر من 0.001
طين خشن	0.001 - 0.0005
طين ناعم	0.0005 - 0.0001
غرويات	أصغر من 0.0001

تدعى العناصر التي تزيد أقطارها على 1 مم هيكل التربة، أما التي تقل أقطارها عن 1 مم فتدعى الأرض الناعمة، تتألف الأرض الناعمة من مجموعتين هما الرمل الفيزيائي Physical sand ، الذي تزيد أقطار حبيباته على 0.01 مم، والطين الفيزيائي الذي تقل حبيباته عن 0.01 مم.

يُعتمد على نسبة الرمل الفيزيائي أو الطين الفيزيائي بصورة رئيسة عند التصنيف الميكانيكي للتربة في المدارس الغربية.

3 - التصنيف الأمريكي (USDA):

بعد التصنيف الأمريكي لحبيبات التربة، من أكثر التصنيفات انتشاراً في العالم، وهو لا يختلف كثيراً عن التصنيف الدولي بالنسبة لمجاميع الحبيبات الرئيسة الثلاث، والخلاف هو

الحد الفاصل بين مجموعتي الملت والرمل فهي في التصنيف الدولي عند 0.02 مم أما في التصنيف الأمريكي فهي عند 0.05 مم، الجدول (20)

الجدول (20) – بين أقطار حبيبات التربة الناعمة بحسب (USDA)

العنصر	القطر (مم)
الطين	$0.002 >$
السلت	$0.05 - 0.002$
الرمل	$2 - 0.05$

إضافة إلى ذلك فقد تم تقسيم مجموعة الرمل إلى خمسة صفوف هي:

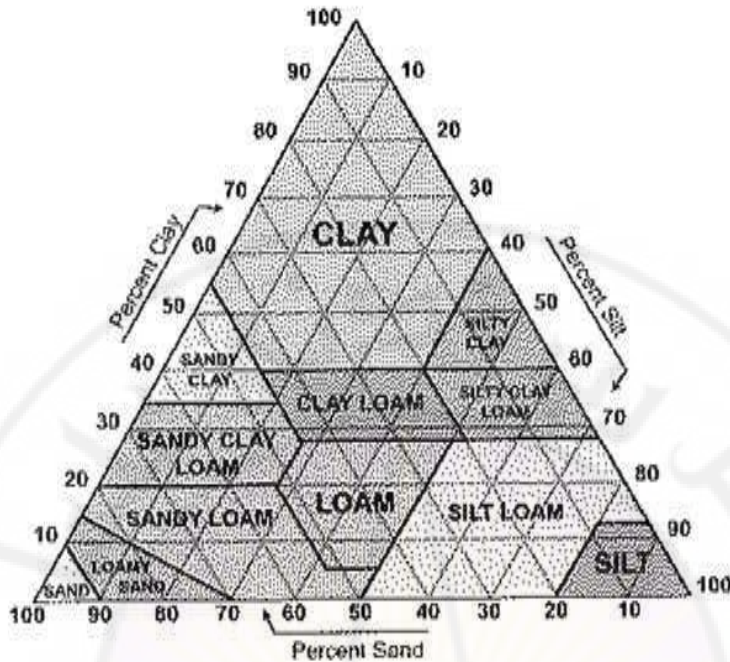
- الرمل الخشن جداً Very coarse sand 1 - 2 مم
- الرمل الخشن coarse sand 0.5 - 1 مم
- الرمل المتوسط medium sand 0.25 - 0.5 مم
- الرمل الناعم fine sand 0.1 - 0.25 مم
- الرمل الناعم جداً Very fine sand 0.05 - 0.1 مم

يعتمد كل من التصنيف الدولي والأميركي في عرض نتائج التحليل الميكانيكي للتربة،

على ما يدعى بمثلث نسيج التربة Soil Textural Tri-angle، وهو عبارة عن مثلث

مساوي الأضلاع، كل ضلع منه مقسم من 0 إلى 100، وكل ضلع يمثل واحدة من المجموعات

الحبيبية كما في الشكل (45).



الشكل (45)، مثلث نسيج التربة بحسب USDA

يستخدم هذا المثلث لتعيين صف نسيج التربة Soil textural class، وذلك اعتماداً على التحليل الحبيبي للتربة، يضم المثلث 12 صفاً لنسيج التربة كما هو موضح في الشكل (45).

ولتعيين التركيب الحبيبي أو صف النسيج للتربة اعتماداً على هذا المثلث، يتم إنشاء خط مستقيم من النقطة الموافقة لنسبة السلت موازياً لضلع الطين، وآخر من نقطة الطين موازياً لضلع الرمل، وثالث من نقطة الرمل موازياً لضلع السلت، فنقاط الخطوط الثلاثة حتماً في حقل ما من الحقول الموجودة داخل المثلث، يحمل هذا الحقل تسمية معينة تحدد صف نسيج التربة المختبرة.

مثال:

إذا كانت النسبة المئوية للطين والسلت والرمل في تربة ما هي 30% ، 35% ، 35% على التوالي، فإن نسيج التربة سيكون: Clay loam لومي طيني.

3- وصف موجز لكل صف من صفوف نسيج التربة:

1- صف الرمل Sand class:

عبارة عن حبيبات مفردة ومنفصلة بعضها عن البعض الآخر، (لا تشكل مجاميع ترابية Aggregates) عند لمسها تُعطي شعوراً بالخشونة وهي غير لاصقة، إن لكل من حبيبات الرمل المفردة حجماً كافياً يسمح برؤيتها والإحساس بها، تصنف التربة على أنها رملية عندما تحتوي على 85 - 100 % من الرمل، 0 - 15 % من الملت، و 0 - 10 % من الطين.

2- رملي لومي Loamy sands:

يكون النسيج الرملي اللومي من مواد ترابية يشكل الرمل منها 70 - 90 %، والملت 0 - 30 % والطين 0 - 15 % وبعد أن هذا الصف يحتوي على نسبة أعلى قليلاً من الملت والطين من الصف السابق، فإنه قد يكون متماسكاً قليلاً.

3- لومي رملي Sandy loams:

يتألف هذا الصف من مواد ترابية تحتوي على نسبة أقل من الرمل، وأكثر قليلاً من الملت والطين من الصف السابق، مع هذا يبقى عدد من الحبيبات التي يمكن مشاهدتها بسهولة، لكن هناك كمية كافية نسبياً من الملت و/أو الطين تساعد في تماسك التربة، لذلك فإن التشكيلات البنائية لا تتكسر إذا ما تم التعامل معها بحذر.

4- اللوم Loam:

صف اللوم يشير إلى تربة متوسطة النسيج، وكأنها تحتوي على مزيج متكافئ من كل من حبيبات الرمل والملت والطين، نتيجة لصغر حبيبات الطين وسطحها النوعي الكبير ونشاطها الفيزيائي والكيميائي العالي نسبياً، فإنها تمارس تأثير أكبر على خصائص التربة، قياساً بالرمل والملت، وتميل التربة اللومية لأن تكون طرية Soft وهشة Friable نسبياً.

5- لومي طيني Sandy clay loam:

تتألف تربة هذا النسيج من مواد يسيطر على سلوكها الرمل والطين، وهي تشابه نسيجاً لومياً رملياً، والتي تحتوي على نسبة مرتفعة نسبياً من الرمل، وبعد أن هذا النسيج يحتوي على كمية عالية نسبياً من الطين، لذلك يملك بعضاً من خواص التماسك Cohesive العالية.

نسبياً (مثل الالتصاق والتماسك)، يمكن عمل أشكال من هذه التربة، تكون متماسكة ولا تتحطم بسهولة.

6 - لومي طيني Clay loam:

يتكون هذا النسيج من مواد متوزعة بشكل متكافئ من الرمل والصلت والطين، أكثر من أي صف نسيج تربة آخر، لكنها تعطي شعوراً بأنها تحتوي على طين أكثر من الرمل أو الصلت، لاصقة ومرنة في حالة البلل، تشكل وحداث متماسكة في حالة الرطوبة وقاسية في حالة الجفاف.

7 - الصلت Silt:

يمثل نسيج اللوم صلت، لكنه يحتوي على نسبة أقل من الرمل والطين، إذا وجد الرمل فيكون غالباً من الرمل الناعم أو الناعم جداً، وجود الطين يكون عادة محدوداً.

8 - لوم صلت Silt loam:

يحتوي هذا النسيج على كمية قليلة من الرمل والطين، ويتكون غالباً من حبيبات الصلت، يشكل كتلاً ترابية في الحقل عند الجفاف، وتتحطم الكتل بسهولة بين الأصابع، وتعطي التربة إحساساً بأنها طرية وتشبه المسحوق.

9 - لوم طيني سلتى Silty clay loam:

تمثل تربة النسيج اللومي الطيني في خواص الالتصاق Cohesive، وتحتوي على كمية أكبر من الصلت وأقل من الرمل، لذلك لها ملمس ناعم، هذا النسيج متوسط في صفات الالتصاق والمرونة والتماسك.

10 - نسيج طيني سلتى Silt clay:

نسيج ناعم تماماً، خالي من الخشونة، عالي المرونة والالتصاق عند حالة البلل، ويشكل تجمعات ترابية قاسية عند الجفاف.

11 - نسيج طيني رملي Sandy clay:

يشابه هذا النسيج، إلى حد ما، مع النسيج الطيني السلتى، لكنه يحتوي على كمية أكبر من الرمل وأقل من الصلت.

12 - النسيج الطيني Clay:

وهو أنعم نسيج بين جميع صفوف التربة، يشكل كتلاً ترابية قاسية جداً عند الجفاف وشديد الالتصاق والمرونة في حالة البلل.

4 - أهمية نسيج التربة Importance of soil Texture:

قبل الحديث عن أهمية نسيج التربة، تجدر الإشارة إلى أنه عادة ما يطلق على التربة الطينية التربة ذات النسيج الناعم، والترب الرملية بالتربة ذات النسيج الخشن، أما الترب اللوسية فتدعى بالترب ذات النسيج المتوسط.

يلعب التركيب الحبيبي للتربة دوراً مهماً ومؤثراً في خصائص التربة المختلفة، الفيزيائية والكيميائية والمائية وغيرها. ويرتبط بالتركيب الحبيبي للتربة الكثير من عمليات تكوين التربة وتطورها، كذلك الأمر بالنسبة للنظم المائية والهوائية والحرارية والغذائية. لذلك فإن معرفة التركيب الحبيبي للتربة، يمكن أن يعطي فكرة مبدئية عن خصوبة التربة ومقدرتها الإنتاجية.

وهناك العديد من خصائص التربة Soil properties، التي تتأثر بالتركيب الحبيبي للتربة، ومن هذه الخصائص:

- أ- الصرف Drainage.
- ب- القدرة على حفظ الماء.
- ج- التهوية.
- د- قابلية التربة للتعرية Soil susceptibility to erosion.
- هـ- محتوى التربة من المادة العضوية.
- و- سعة التبادل الكاتيوني CEC.
- ز- حراثة التربة Soil tillage.

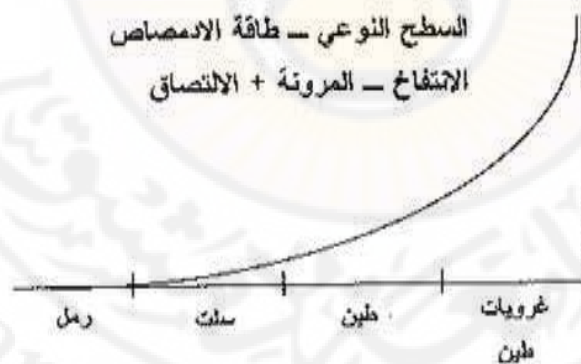
يحدد نسيج التربة عادة معدل صرف الماء من التربة المشبعة فالماء يتحرك بحرية في الترب الرملية، على عكس حركته البطيئة في الترب الطينية، عند وصول رطوبة التربة إلى حد السعة الحقلية، فإن نسيج التربة يحدد كمية الماء الميسرة للنبات.

للتراب الطينية قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء مقارنة مع التراب الرملية، إضافة إلى أن التراب جيدة الصرف، تكون حالة التهوية فيها جيدة، مما يخلق ظروفاً مناسبة لنمو الجذور النباتية.

تختلف التراب في قابليتها للتعرية وتبعاً لطبيعة تركيبها الحبيبي، فالتراب التي تحتوي على نسبة أكبر من السلت والطين، تكون قابليتها للتعرية أكبر من تلك التي تحتوي على نسبة عالية من الرمل، تحت ظروف مماثلة.

تحت ظروف مماثلة، يؤثر الاختلاف في التركيب الحبيبي للتربة، على مستوى المادة العضوية فيها، تتحلل المادة العضوية بسرعة أكبر في التراب الرملية، منها في التراب الناعمة النسيج (fine textured soil)، والسبب هو توفر كمية أكبر من الأكسجين الضروري لنشاط الكائنات الحية وتحلل المادة العضوية.

تتأثر سعة التبادل الكاتيوني في التربة بتركيبها الحبيبي، حيث تزداد سعة التبادل الكاتيوني مع زيادة نسبة كل من الطين والطين والمادة العضوية، كذلك فإن السعة التنظيمية للتربة، تعتمد إلى حد كبير على محتوى التراب من الطين والمادة العضوية، أما بالنسبة لصلاحية التربة (صعوبتها أو سهولتها) فإنها ترتبط بشكل مباشر بنسيج التربة، ورطوبتها والمادة العضوية أيضاً. الشكل (46).



شكل (46)، يبين العلاقة ما بين المجاميع الحبيبية وبعض خصائص التربة (عن Brady و Buckman 1969).



الفصل السابع
الخواص الكيميائية للتربة
(Soil Chemical Properties)



الفصل السابع
الخواص الكيميائية للتربة
(Soil Chemical Properties)

٧-١- Adsorption and Ion exchange in soil التربة في الأيونات والتبادل

٧-١-١- Adsorption :الادمصاص

٢- تمهيد:

بعد الادمصاص ، أحد أهم خواص السطوح الغروية، وهو كفاية عن وجود تركيز عالي لمادة ما على سطح سائل أو صلب، أعلى من تركيزها في المحلول. أي أن هناك تغيراً في تركيز تلك المادة على السطح الداخلي Interface الذي يفصل بين الطورين، يعود هذا التغير إلى طبيعة سطح الادمصاص والمواد المدمصة وخواصها.

تمتلك غرويات التربة (المعدنية والعضوية) سطوحاً غالباً ، مشحونة سلباً، تسعى هذه السطوح وباستمرار لإشباع هذه الشحنات أو معادلتها بأيونات تحمل شحنة معاكسة(موجبة) موجودة في محلول التربة، ترتبط الأيونات المعادلة للشحنة مع السطح الغروي الحامل لشحنة معاكسة، بأنواع مختلفة من الروابط، وغالباً ما تكون هذه الأيونات المعادلة للشحنة قابلة للتبادل بأيونات أخرى مماثلة لها بالشحنة لضمان استقرار السطوح الغروية.

٢- تعريف الادمصاص Definition of Adsorption:

الادمصاص هو التصاق أو التلاحم الأيونات أو الذرات أو جزيئات من الغاز أو السائل أو الذائبات الصلبة على سطح معين، تخلق هذه العملية طبقة رقيقة جداً Film من العناصر المدمصة Adsorbate على سطوح أجسام الادمصاص Adsorbents. وتختلف عملية الادمصاص عن عملية الامتصاص Absorption حيث تعني الأخيرة دخول أو اختراق السائل مع الذائبات في سائل آخر أو جسم صلب.

يقصد بالادمصاص بالنسبة للتربة، جذب الأيونات أو جزيئات الماء إلى سطوح الغرويات،

لا تكون عملية الالتحام أو الانصاق، قوية، إلى درجة كبيرة، بل هي قابلة للإزالة Replaceable أو قابلة للتبادل Exchangeable ، مع أيونات أخرى مشابهة لها بالشحنة.

تحصل عملية الانمصاص، عندما تتركز مكونات المحلول على السطح الداخلي Interface، بمعنى آخر، على الحدود بين الطورين، السائل والصلب، بالنسبة لنظام التربة فإن الاهتمام ينصب على السطح الداخلي للطورين السائل والصلب.

تظهر حالة الانمصاص عندما تكون قوى الجذب Attractive forces، بين السطح الصلب للتربة (Absorbent)، ومكونات المحلول (Absorbate)، قادرة على أن تغلب على قوى الجذب لكل من الذائبات (Solute) في المحلول، ومحلول التربة (Solvent).

إضافة إلى قوى التكاثر repulsive forces بين سطح التربة والدمصاصات (الكاتيونات على سبيل المثال)، هذا يعني أن صافي التفاعل بين سطح التربة ومكونات المحلول، قادر على التغلب على صافي التفاعل بين المذيب والذائبات. وبما أن غرويات التربة تشكل وتمتلك السطح الأكبر بين حبيبات التربة من حجوم أخرى، لذلك فإن معظم عمليات الانمصاص تتم على السطوح الغروية Colloidal surfaces.

تعد ظاهرة الانمصاص ذات أهمية كبيرة، لأن توزيع العناصر بين محلول التربة والسطح الغروي، يعد العامل الرئيسي في التحكم بحركة هذه العناصر وتوافرها.

إن توافر المغذيات النباتية، إضافة إلى المعدل الصحيح لتطبيق المبيدات والمواد الكيميائية الأخرى، غالباً تكون مرتبطة بدرجة الانمصاص، لذلك فإن إمكانية تلوث المياه الجوفية، هي أكبر بكثير في حالة كون المحسنات المضافة أو الملوّثات ذات قوة انمصاص ضعيفة، منه في حالة كون هذه المواد المضافة ذات ارتباط قوي.

من أهم الأمثلة على عملية الانمصاص، ظاهراً التبادل الكاتيوني والتبادل الأنيوني Cation an anion exchange .

هناك أنواع مختلفة من القوى أو الروابط المسؤولة عن عملية الانمصاص ، منها:

أ- القوى الفيزيائية Physical forces:

إن أهم قوة انمصاص فيزيائية هي قوة فاندر فالس Van der waals force ، وهي نتيجة للتفاعلات بين ثنائيات الأقطاب ، في مدى قصير، بسبب حركة سيالة الكترونية من

ذرات أو جزيئات متجاورة، هذه الحركة الدورانية للسائلة الإلكترونية، تنجذب من قبل ثنائيات أقطاب تحمل شحنة معاكسة في الذرات المجاورة.

دور هذه القوة، مهم فحسب، عندما تكون المسافة قصيرة بين الأجسام الحاملة لشحنات مختلفة، وتتلشى قوة الادمصاص أو الارتباط مع زيادة هذه المسافة، بين الأيونات والسطح الغروي.

ب- القوى الكيميائية Chemical forces:

هي عبارة عن ضم بروتون Protonation، حيث يمكن أن يظهر على سطح الغرويات وفي الطور السائل، وأيضاً في المدار المميه من الكاتيونات Hydration shells of cations، وهذه الرابطة مهمة لادمصاص الأيونات والمركبات العضوية الأساسية في الطبيعة، وذلك بسبب تطور الشحنات الموجبة. من الملاحظ أن الأمونيا NH_3 ، تدمص كيميائياً بواسطة غرويات الطين على شكل أمونيوم NH_4^+ ، يتم الحصول على البروتون (H^+) خلال تأين Dissociation الماء الموجود حول الكاتيونات (أي من ماء الكاتيونات المميه).

ج- الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bonding:

في هذا النوع من الروابط، تعمل ذرة الهيدروجين كعامل ربط، وعندها تدعى برابطة الهيدروجين، ويعتقد أن هذه الرابطة تعود إلى عملية ضم بروتون Protonation. بينما تتضمن عملية ضم البروتون Protonation نقلاً كاملاً للطاقة من الكترون مانح donor (أساس) إلى الكترون مستقبل acceptor (حمض)، نجد أن الرابطة الهيدروجينية تتضمن نقل جزئي للطاقة.

د- الرابطة الكهربية- ساكنة Electro-static bond:

نوع آخر من قوى الادمصاص، تعتمد الجذب الكهربائي الساكن للمواد، يعود الجذب الكهربائي الساكن إلى وجود شحنات كهربائية على السطوح الغروية، وتعد هذه الرابطة أو القوة مسؤولة عن:

- ادمصاص الماء.
- ادمصاص الكاتيونات الذي يؤدي إلى تفاعلات التبادل الكاتيوني.

■ ادمصاص المكونات العضوية الذي قد يتطور إلى تفاعلات معقدة complex reactions.

٣- أشكال ادمصاص Adsorption Types:

أ- ادمصاص الفيزيائي Physical adsorption:

وهو شكل من أشكال ادمصاص ناتج عن وجود قوى فاندرفالز Van der waals، يحدث هذا النوع من ادمصاص في درجات حرارة منخفضة، حيث ترتبط المواد المدمصة على سطوح ادمصاص بقوة فاندرفالز، وتضعف هذه القوى كلما زادت المسافة بين المدمصات وسطح ادمصاص فهي تتناسب عكساً مع القوى السابعة لهذه المسافة، مقارنة مع قوة الجذب الكهرا ساكنة، التي تتناسب عكساً مع مربع المسافة الفاصلة بين الأيونات وسطوح ادمصاص.

ب- ادمصاص الكيميائي Chemical adsorption:

يحدث ادمصاص الكيميائي في حالات محدودة، ويلاحظ غالباً في درجات حرارة معتدلة. يترافق هذا النوع من ادمصاص بتفاعل بين المادة المدمصة وجسم ادمصاص، وهذا ما يفسر سبب التغير الحراري الكبير المرافق لادمصاص الكيميائي، وبما أنه ادمصاص غير عكوس، فإنه يحتاج إلى درجة حرارة عالية من أجل إزاحة الجزيئات أو الذرات عن سطوح ادمصاص.

يترافق ادمصاص الكيميائي أيضاً بتغيرات أساسية في طاقة الروابط الكيميائية للمادة المدمصة، مما يؤدي إلى تعديل جوهري لتوزيع الشحنات الكهربائية لجزيئات تلك المادة أو ذراتها.

ج- ادمصاص من المحاليل Adsorption from solutions:

تدمص العديد من جزيئات المواد على سطح غرويات التربة (المعدنية والعضوية)، وتشكل طبقة وحيدة، وهذا الشكل من ادمصاص هو الأكثر احتمالاً بالنسبة لادمصاص الكيميائي، وذلك بسبب تناقص القوى الكيميائية بسرعة مع زيادة المسافة من سطوح الغرويات. عند حدوث ادمصاص الفيزيائي، تمتد قوى فاندرفالز إلى أكثر من طبقة واحدة من الجزيئات المدمصة، خاصة في درجات الحرارة المنخفضة، أما في درجات حرارة

مرتفعة نسبياً إلى الحد الذي تسمح معه بحدوث الامتصاص الكيميائي، عندها يصبح الامتصاص الفيزيائي قليل الأهمية جداً.

د- امتصاص الغازات في التربة :Adsorption of gases in soil

ويدعى هذا الشكل من الامتصاص بنظرية (BET).

تدمص الغازات على سطوح غرويات التربة الجافة، حيث تتكاثف حولها على شكل طبقة وحيدة أو متعددة الجزيئات، يزداد عدد الطبقات المدمصة من جزيئات الغاز عند زيادة الضغط الغازي، عند ذلك، تميل قوى فاندر فالس في الطبقة الأولى إلى ضم طبقة أخرى أو أكثر.

تدمص التربة الغازات المختلفة الموجودة في الوسط المحيط بدرجات متفاوتة. ويعد بخار الماء أكثر الغازات امتصاصاً في التربة، حيث يتكاثف على سطوح حبيبات التربة مكوناً غشاء رقيقاً جداً يدعى الماء الهيجروسكوبي Hygroscopic water . هناك بعض الحالات التي تشبه إلى حد ما حالة الامتصاص، مثل التثبيت الكيميائي والتثبيت الحيوي والحجز للأيونات، لكنها لا تأخذ الآلية الفعلية للامتصاص أو التبادل، ومن هذه الحالات:

١- التثبيت الميكانيكي Mechanical fixation

ويقصد به، قدرة التربة على منع مرور المعلقات الموجودة في الماء أو المحلول الأرضي، وقد يحصل أحياناً حجز للمحلول بما فيه من ذائبات، وتعود هذه الحالة إلى وجود عوائق ميكانيكية، ضمن مقطع التربة، مثلاً وجود طبقة صلبة، كذلك يمكن للمسام أن تلعب دوراً في عملية الحجز، وهذا يعتمد على العلاقة بين أقطار المسامات من جهة وأقطار العوائق من جهة ثانية.

٢- التثبيت (الامتصاص) الحيوي Biological fixation

ويسمى أحياناً بالامتصاص الحيوي Bio-absorption ويعني امتصاص بعض الأيونات المتوافرة في التربة من الكائنات الحية الدقيقة وجذور النباتات، لذلك فإن الامتصاص الحيوي، يتأثر بدرجة كبيرة بمستوى النشاط الحيوي في التربة، وكمية العناصر المتاحة.

٤- التثبيت الكيميائي Chemical fixation:

يمكن أن يدعى أيضاً بالترسيب الكيميائي Chemical precipitation ، والذي يحدث في هذه الحالة هو تفاعل كيميائي، يتضمن اتحاد الأيونات أو الجزيئات مع بعضها بعضاً لتكوين مركبات قليلة الذوبان، وأحياناً عديمة الذوبان. ومن الأمثلة على ذلك ترسيب فوسفات الحديد بحسب المعادلة التالية:



وأيضاً ترسيب فوسفات الألمنيوم:



٧-٢-١- التبادل الأيوني Ion exchange:

تعد ظاهرة التبادل الأيوني من أهم العمليات الكيميائية الطبيعية التي تحدث في التربة، وتعد هذه الظاهرة، بحسب رأي بعض الباحثين، ثاني أهم عملية تحدث في الطبيعة، بعد عملية الاصطناع الضوئي من قبل النباتات الخضراء.

وتتلخص هذه العملية بدخول أيونات من محلول التربة لتدملص على سطوح الادمصاص، مكان أيونات موجودة أصلاً على هذه السطوح وب نفس المقدار، بمعنى أن هناك عمليتين متعاكستين تحدثان في آن واحد، (ادمصاص وإزاحة أو استبدال).

يمكن أن يكون التبادل الأيوني على شكلين: في حالة كون الغرويات تحمل شحنة سالبة، فإنه يدعى تبادلاً كاتيونياً Cation exchange، ويدعى تبادلاً أنيونياً Anion exchange في حال وجود غرويات تحمل شحنة موجبة، وتعد الحالة الأولى هي السائدة في التربة.

٧-١-٣ - التبادل الكاتيوني Cation exchange :

يعرف التبادل الكاتيوني على أنه، تفاعل عكوس ذو طاقة نقل كهربائية منخفضة Low-energy transfer للكاتيونات بين الطور الصلب والطور السائل في التربة. يؤثر التبادل الكاتيوني على العديد من العمليات في التربة، من بينها:

أ- تجوية معادن التربة.

ب- امتصاص العناصر الغذائية من النبات.

ج- غسل الأملاح.

د- تنظيم pH التربة.

وتعد ظاهرة التبادل الكاتيوني كنتيجة لمعادلة الشحنات السالبة لغرويات التربة بواسطة الكاتيونات الموجودة في محلول التربة، ترتبط هذه الكاتيونات مع السطوح الغروية بواسطة القوة الكهربائية الساكنة، مع قوى فاندرفالس، وتحت ثنائيات الأقطاب لزيادة قوة الارتباط لبعض أنواع الكاتيونات.

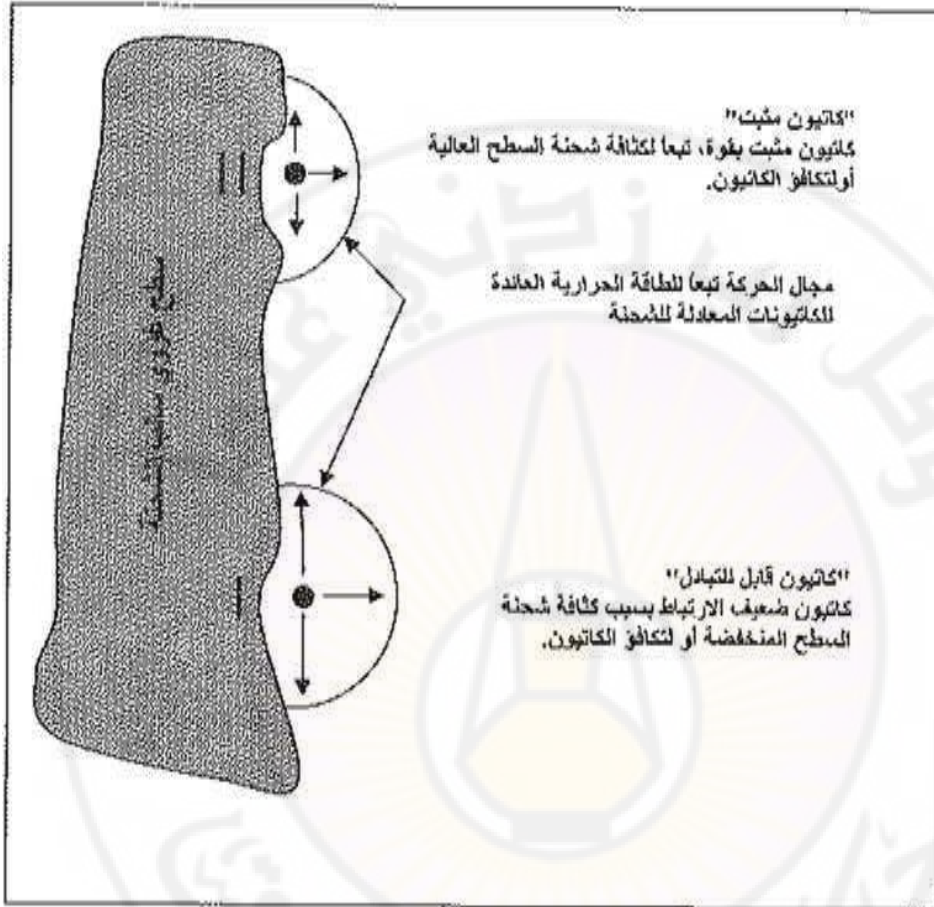
مفهوم عملية التبادل الكاتيوني وأليتها

Conceptual model of the cation exchange process:

إن ارتباط بعض الكاتيونات على السطح الغروي، لا يكون عادة ارتباطاً محكماً، بل تبقى على درجة من حرية الحركة باتجاه السطح الغروي أو البعد عنه، وهذا يعود إلى الطاقة الحرارية Thermal energy لهذه الكاتيونات. هذه الحركة قرب السطح، تحدد محيط الحركة لكل تركيبة من الأيون والسطح الغروي.

لو أخذ بالحسبان الحالتين التاليتين:

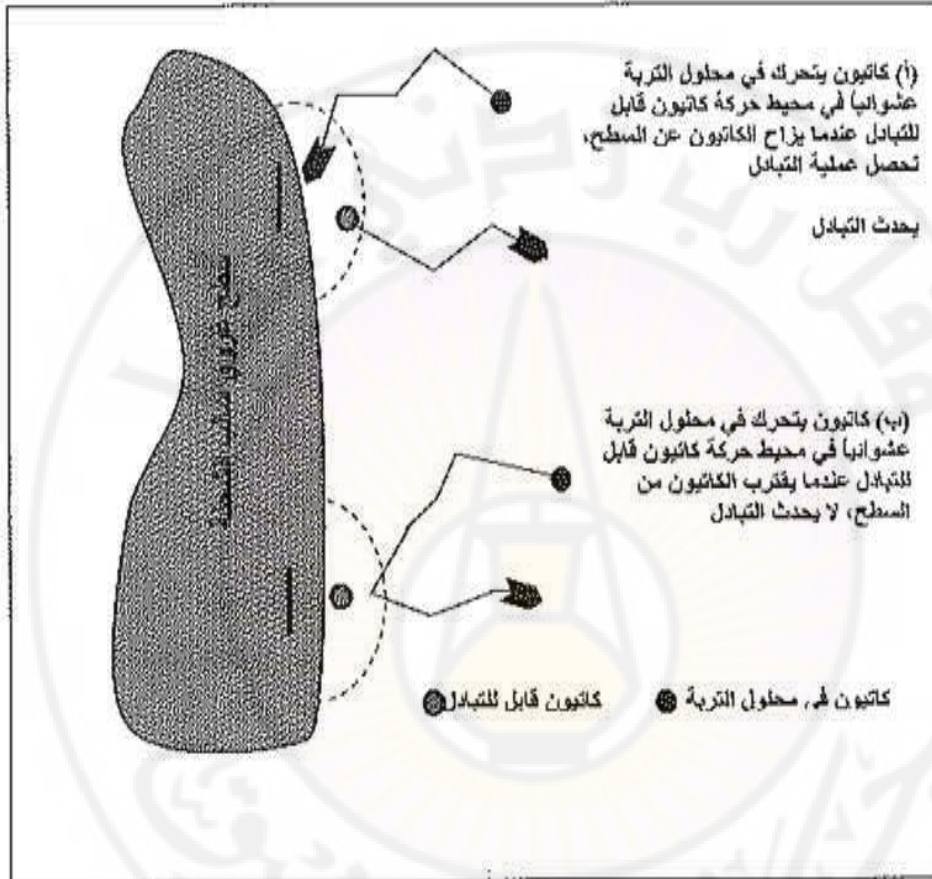
- أ- الحالة الأولى: كاتيونات غير قابلة للتبادل بسبب ارتباطها القوي على السطح الغروي.
- ب- الحالة الثانية: كاتيونات مرتبطة بقوة أقل مع السطح الغروي وهي قابلة للتبادل (الشكل 47).



الشكل (47)، يبين مفهوم نموذج عملية التبادل الكاتيوني

تظهر حالة التبادل الكاتيوني عندما تتحرك كاتيونات المحلول الأرضي باتجاه السطح الغروي بالوقت نفسه الذي يكون فيه الكاتيون القابل للتبادل قد أصبح بعيداً عن السطح. يقع الكاتيون الموجود أصلاً في المحلول، في نقطة الجذب الناتجة عن وجود الشحنات السالبة على سطوح الغرويات، والكاتيون الموجود أصلاً على سطح غروي، يتحرك باتجاه محلول التربة.

إذا كان الأيون المرافق للسطح، قريباً من السطح الغروي المشحون وعندما يتحرك الأيون الذائب عشوائياً في محيط الحركة بسبب الطاقة الحرارية للأيون، فإن عملية التبادل الأيوني لا تحدث. (الشكل 48).



الشكل (48)، مثال عن التبادل الكاتيوني بين الكاتيونات في محلول التربة والسطح الغروي.

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على توزيع الكاتيونات بين محلول التربة وسطح الغروي، أهمها:

أ- تركيز الكاتيون **Cation concentration**: عندما يزداد تركيز كاتيون معين في محلول التربة، فإن احتمال تبادل هذا الكاتيون مع الكاتيون المدمص على السطح الغروي، تزداد أيضاً، بعد أن زيادة تركيز الكاتيون في المحلول يقابله زيادة متماثلة في نسبة هذا الكاتيون على السطح الغروي (مواقع التبادل).

ب- عند زيادة تكافؤ الكاتيون (زيادة عدد شحنته) المدمص، تنخفض إمكانية استبداله، وذلك بسبب زيادة ارتباطه مع السطح الغروي، وعندما يزداد تركيز الكاتيون على سطح الغروي قياساً بالكاتيونات الأكل في عدد الشحنت (التكافؤ).

ج- طاقة التمي **Hydration energy** أو القطر المائي للكاتيون يحدد إلى درجة كبيرة مدى قدرة هذا الكاتيون على الاقتراب من سطح الغروي المشحون سلباً. كلما كانت طاقة التمي أو نصف القطر المائي صغيراً كانت إمكانية الاقتراب من سطح الغروي أكبر والعكس صحيح، كذلك تلعب كثافة الشحنت على سطح الغروي دوراً كبيراً في عمليتي الانمصاص والتبادل الكاتيوني.

٧-١-٤- سعة التبادل الأيوني:

٢- فكرة التبادل الكاتيوني وفعل الكتلة **Mass action concept of cation exchange**: يمكن عدّ التبادل الكاتيوني مشابهاً لتفاعل كيميائي وفعل الكتلة، تتنافس كاتيونات محلول التربة لتبادل المواقع على غرويات التربة، اعتماداً على تركيز هذه الكاتيونات في محلول التربة.

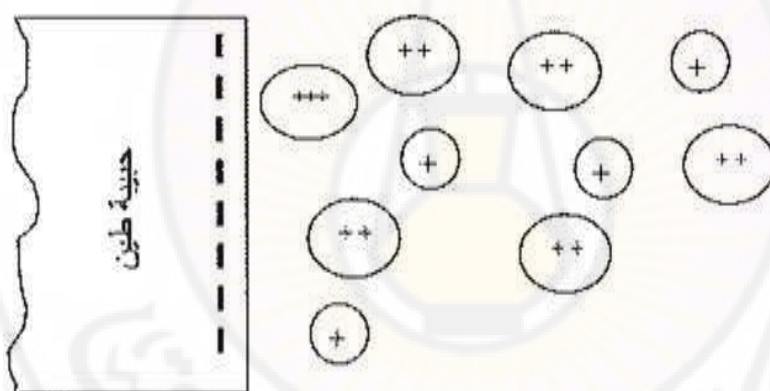
عندما يزداد تركيز الكالسيوم في محلول التربة، فإن التفاعل يتجه إلى اليمين، وهذا يعني زيادة تركيز الكالسيوم على سطح الغروي، وتحرير الصوديوم إلى محلول التربة، أما إذا انخفض تركيز الكالسيوم في محلول التربة، فإن التفاعل السابق سوف يتجه إلى اليسار، وتحرير الكالسيوم إلى محلول التربة.



عموماً عندما يزداد تركيز كاتيون ما في محلول التربة، من خلال إضافة الأسمدة مثلاً، أو عندما ينخفض تركيز كاتيون ما في محلول التربة، بسبب امتصاصه من قبل النبات، فإن تركيز الكاتيون على سطح الغرويات سوف يزداد أو ينخفض.

2- سعة التبادل الكاتيوني (CEC) : Cation exchange capacity

تعد سعة التبادل الكاتيوني من الخصائص الكيميائية المهمة في التربة، وهي ترتبط مباشرة بعمليات الامتصاص Adsorption والتبادل Exchange. تعرف سعة التبادل الكاتيوني على أنها أكبر كمية من الكاتيونات التي يمكن أن تحتفظ بها المسطوح الغروية، ويعبر عنها أيضاً، بأنها كمية للشحنات السالبة الموجودة على سطوح الطين والمادة العضوية، التي تجذب إليها الكاتيونات الموجودة في محلول التربة لمعادلتها، الشكل (49).



الشكل (49)، حبيبة طين سالبة تلجذب إليها كاتيونات مختلفة

تعد سعة التبادل الكاتيوني أحد معايير خصوبة التربة، لأنها تعبر عن قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية Nutrient retention، وكذلك حفظ الماء الجوفي Ground water من التلوث ببعض الكاتيونات.

ومن الكاتيونات التي تدمص وتتبادل على السطوح الغروية، الكالسيوم Ca^{+2} ، المغنيزيوم Mg^{+2} ، البوتاسيوم K^+ والصوديوم Na^+ ، والهيدروجين H^+ والألمنيوم Al^{+3} والحديد وخاصة Fe^{+2} وغيرها.

يعبر عن مسعة التبادل الكاتيوني بوحدة المليمكاف في 100 غ ترسة (Milli equivalent per 100g soil)، أو بحسب وحدات SI، بالسنتيمول/كغ (Centimol per kg).

تتعلق مسعة التبادل الكاتيوني بالسطح النوعي والشحنات السطحية للطين ويعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$CEC = S \times Q$$

حيث: S هو السطح النوعي، و Q هي كثافة الشحنة للسطح.

أما مخبرياً، فتقدر مسعة التبادل الكاتيوني بوساطة خلاص الأمونيوم CH_3COONH_4 النظامي عند درجة $pH = 7$ بالنسبة للتربة العادية، و $pH = 8.2$ للتربة الكلسية. من أهم العوامل التي تؤثر على قيمة CEC، كمية الطين في التربة ونوعه، وأيضاً محتوى التربة من المادة العضوية، ويمكن استخدام مسعة التبادل الكاتيوني كمؤشر للدلالة على نوع الطين الموجود في التربة، على حساب أن معادن الطين تتباين إلى درجة كبيرة في سعتها التبادلية، مع الأخذ بالحسبان محتوى التربة من المادة العضوية التي لها مسعة تبادل عالية نسبياً. (جدول 21).

جدول (21)، سعة التبادل الكاتيوني لبعض معادن التربة والمادة العضوية:

CEC م.م / 100 غ	المعدن
15 - 3	كاؤولينايت Kaolinite
50 - 40	هالوزايت Halloysite
40 - 10	إليت Illite
150 - 80	مسكنيت Smectites
40 - 10	كلوريت Chlorite
150 - 100	فيرميكيوليت Vermiculite
30 - 20	باليجروسكيت Palygroskite
400 - 150	المادة العضوية O.M

٧-١-٥- النسبة المئوية للتشبع بالقواعد Percentage Base saturation:

تعد نسبة تشبع التربة بالقواعد من الذوابت المهمة للتربة، وترتبط ارتباطاً وثيقاً مع سعة التبادل الكاتيوني، وهي عبارة عن العلاقة بين سعة التبادل الكاتيوني من جهة، والقواعد المتبادلة (Na, K, Mg, Ca) ، التي تشكل جزءاً من مجموع الكاتيونات المتبادلة من جهة ثانية، وتعطى بالمعادلة التالية:

$$V = \frac{\Sigma (Ca, Mg, K, Na)}{CEC} \times 100$$

حيث: V، النسبة المئوية للتشبع بالقواعد.

وتعكس درجة تشبع التربة بالقواعد حالة تطور التربة وانغسالها، فترب المناطق الجافة، عادة ما تكون نسبة التشبع بالقواعد عالية وتصل غالباً إلى 100 %، بينما تكون ترب المناطق المطيرة وبشديد التجوية ذات نسبة تشبع بالقواعد منخفضة أو معدومة أحياناً. وتلعب نسبة التشبع بالقواعد دوراً مهماً في بعض خصائص التربة. فبالإضافة إلى أهميتها في تغذية النبات، لها تأثير مهم على pH التربة، حيث تكون قيمة pH معتدلة أو مائلة

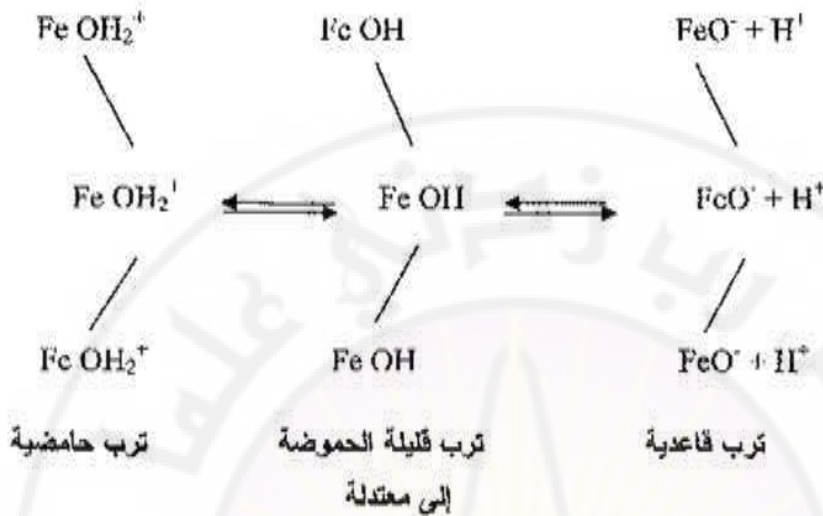
للقلوية في حالة التشبع بالقواعد، وحامضية عند عدمه، كذلك تلعب النسبة بين القواعد المختلفة دوراً في التأثير على بعض الصفات الفيزيائية للتربة، وخاصة تلك الناتجة عن بعثرة حبيبات الطين، عند زيادة نسبة الصوديوم المتبادل.

٧-١-٦-٦ - معة التبادل الأنيوني Anion exchange:

يمكن أن يعزى ادمصاص الأنيونات من قبل المسطوح الغروية، إلى القوة الكهربائية الساكنة Electrostatic force، حيث تنجذب الأنيونات إلى مواقع الشحنات الموجبة على المسطوح الصلب، وقد يحدث هذا النوع من التبادل نتيجة لتفاعلات نوعية بين الأنيونات ومسطوح ادمصاص.

تحدث ظاهرة ادمصاص والتبادل الأنيوني غالباً، على سطوح الأكاسيد Oxides وماءات الأكاسيد hydroxides، مثال (أكاسيد الحديد والألومنيوم)، وكذلك على سطوح معادن الطين ذات الشحنات المتغيرة أو المعتمدة على pH التربة pH -dependent charge، مثل الألوفان و الأموغوليت، حيث تعد هذه المعادن ذات طبيعة متذبذبة Amphoteric، أي يمكن لها أن تعبر شحنتها بحسب ظروف الوسط، الشكل (50).

سطح معدن الحديد



شكل (50) يبين الطبيعة المتذبذبة لأوكسيد الحديد

مع العلم أن بعض معادن الطين ذات الشحنات الدائمة، يمكن لها أن تساهم في عملية التبادل الأنيوني، وذلك بسبب ما يسمى أثر الحافة edge effect، لكن هذه المساهمة تتم عادة في ظروف pH منخفضة.

عموماً لا تختلف آلية الامصاص وتبادل الأنيونات عن تلك الخاصة بالكاتيونات، وظاهرة التبادل الأنيوني أو سعة التبادل الأنيوني، ليست ذات أهمية تذكر في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة (بسبب التطور البطيء للتربة)، لكنها تأخذ أهمية كبيرة في ترب المناطق الرطبة (المتقدمة في التطور)، بسبب التركيب المعدني لهذه الترب (المكون غالباً من الأكاسيد)، وكذلك في ترب الرماد البركاني، بسبب ظاهرة تثبيت الفوسفور.

٧-٢ - تفاعل التربة (pH) Soil Reaction :

1 - التعريف والأهمية Definition and importance :

تعد pH التربة أو تفاعل التربة مؤشراً لحموضة التربة أو قلويتها، وتقاس بوحدات الـ pII. تعرف pII التربة على أنها اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في التربة:

$$pH = -\text{Log}(H^+)$$

ويقع مدى الـ pH بين صفر و 14 . وتكون نقطة التعادل عند $pH = 7$. عند زيادة تركيز الهيدروجين في محلول التربة، تنخفض قيمة الـ pH ، ويصبح الوسط حامضياً، والعكس، عند انخفاض تركيز أيون الهيدروجين يزداد تركيز أيون الهيدروكسيل ويصبح الوسط قلويًا، على حساب أن ثابت التركيز : $(OH^-)(H^+) = 10^{-14}$.

يعد بعض الباحثين أن تفاعل التربة يستخدم كدليل على تفاعلات الحمض والاساس Acid-base reactions ، وعلى الرغم من أن تفاعل الحمض والاساس للتربة، يعبر عنه بـ pII التربة، فإن استعمال التعبيرات pH حامضية أو pH معتدلة أو pH قلوية، غير دقيق، إن قيمة pH التربة عبارة عن أرقام بسيطة من 0 إلى 14، وهي ناتجة عن نشاط أيون الهيدروجين في الوسط على شكل لوغاريتمي، لذلك يمكن استخدام تعبير تفاعل التربة لتجنب هذه المشكلة، حيث من المناسب استخدام تعبير ، تربة ذات تفاعل حامضي أو معتدل أو قلوي، ويمكن أيضاً استخدام تعبير، تربة ذات pII منخفض أو معتدل أو قلوي.

عّد بعض الباحثين أن تفاعل التربة متغير رئيسي Master variable ، يؤثر على معظم خواص التربة، ليس الكيميائية والبيولوجية فحسب، بل أيضاً الخواص الفيزيائية، بما فيها حركة الماء والهواء، لكن الحالة الأخيرة مازالت معرضة للكثير من النقاش، بما أنه ليس واضحاً حتى الآن مدى تأثير pII على حركة الماء والهواء، ومن الصعوبة إعطاء تفسير علمي مؤكد في هذا المجال.

على كل حال، يمكن عّد تفاعل التربة عاملاً محدداً رئيسياً بدلاً من متغير رئيسي، خاصة في تأثيره على نمو النبات وإنتاجيته.

يلعب تفاعل التربة دوراً أساسياً في تحديد شكل العنصر في التربة (حركته، ذوبانه) ومدى قابليته لإفادة النبات، ومن الأمثلة على ذلك الفوسفور. كذلك تأثير pII التربة على العناصر الصغرى، فقد نصل إلى حد السمية أو الاعتدال مع تغير pH التربة. الشكل (51).



الشكل (51)، يبين مجال الـ pH وصفوف تفاعل التربة

إن بعض التفاعلات الكيميائية والبيولوجية تنشط عند pH معينة، كذلك لتفاعل التربة تأثير واضح على نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة، وبالتالي تحلل المادة العضوية. كذلك يتأثر تجوية معادن التربة، إلى حد كبير بتغير درجة pH التربة، تكون المعادن الأولية أسرع على درجات pH منخفضة، لأن عملية التحلل المائي Hydrolysis تحتاج إلى كمية كافية من الهيدرونيات (H^+)، أي أن H^+ يستهلك بعملية التحلل المائي، يقابله زيادة في تركيز OH^- وبالتالي ترتفع قيمة pH وتصبح التربة أكثر قلوية. و يعتمد تكوين معادن التربة أيضاً على درجة pH معينة، لأن ذوبان كل من السيليكات والألمنيوم، مرتبط إلى درجة كبيرة بتفاعل التربة، فعند pH أقل من 4، يعد الألمنيوم أكثر ذوباناً من السيليكات، بينما عند pH بين 5-9

يصبح الألمنيوم غير ذائب insoluble، بينما يزداد ذوبان السيليكا. كما تلعب pH التربة دوراً مهماً في تفاعلات الامصاص، وبخاصة في الترب الغنية بالمعادن غير المتبلورة (متغيرة الشحنة)، حيث تتحكم pH التربة بنوع الشحنة على السطح الغروي (سلبية أم موجبة).

مجال pH التربة ومصادر الحموضة Soil pH range and resource of acidity:

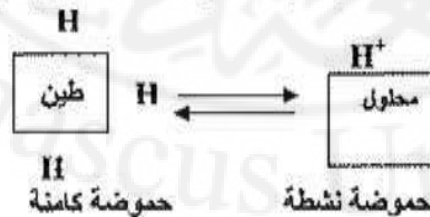
ذكر سابقاً أن مجال السـ pH يتراوح بين 0 - 14، أما بالنسبة للتربة فإن مجال السـ pH غالباً ما يتراوح بين 4 - 9، إلا في حالات استثنائية قد تكون فيها قيمة pH التربة خارج هذا المجال، الشكل (51).

تعزى حموضة التربة إلى مصادر عدة، (وبطبيعة الحال هذه المصادر هي من مكونات التربة)، ومن هذه المصادر:

- 1- مركبات حامضية بسيطة (مرتبة بحسب قوتها الحامضية)، مثل:
 H_2CO_3 ، $\text{Al}^{+3} 6\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{Fe}^{+3} 6\text{H}_2\text{O}$ ، H_2SO_4
- 2- الأحماض العضوية، الناتجة عن تحلل المادة العضوية أو تفككها.
- 3- يمكن عذ الماء مصدراً بسيطاً وصغيراً لأيون الهيدروجين.

٤- أنواع الحموضة في التربة Kinds of soil acidity:

يوجد أيون الهيدروجين في التربة، إما مدمصاً على سطوح الغرويات أو حرراً في محلول التربة. يكون الهيدروجين H^+ المدمص على معقدات الطين الغروية قابلاً للتبادل، ويمكن أن يتحرر. ويصبح حرراً في المحلول، حيث تكون كمية الهيدروجين المدمص على سطح الغروي في حالة توازن equilibrium مع الهيدروجين الموجود في محلول التربة. هذه الظروف الكيميائية الناتجة عن حالة التوازن، تسمح بإنتاج نوعين من حموضة التربة، الأولى تدعى بالحموضة النشطة والثانية بالحموضة الكامنة، ويمكن توضيح ذلك بالمعادلة البسيطة التالية:



أ- الحموضة النشطة أو الفعالة Active or actual acidity:

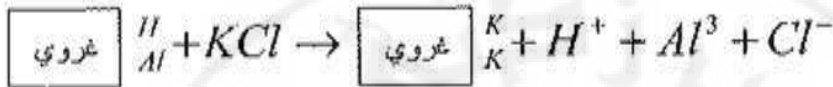
تعود هذه الحموضة عادة إلى محلول التربة، وتعزى إلى وجود أيون الهيدروجين H^+ فيه، بمعنى آخر، تعود حموضة التربة إلى وجود جزيء الهيدرونيوم H_3O^+ ، لأن مجرد دخول الهيدروجين إلى محلول التربة، فإنه يتميه Hydrated، ويتحول إلى هيدرونيوم. تقاس الحموضة الفعالة عادة، بوساطة جهاز قياس pH التربة pH-meter، في معلق التربة بالماء بنسبة (1 : 2.5)، وتسمى pH الماء (pH H₂O). تتراوح قيمة pH محلول التربة بين 4 - 9 في معظم الترب، إلا في حالات استثنائية، تختلف النباتات في مدى تحملها لحموضة التربة، لكن عموماً، تعد درجة الحموضة المعتدلة أو المائلة قليلاً للحموضة أو القلوية، ملائمة لنمو معظم النباتات. الجدول (22).

الجدول (22)، يبين pH التربة الملائمة لنمو بعض المحاصيل المهمة:

المحصول	قيمة الـ pH المناسبة	المحصول	قيمة الـ pH المناسبة
برسيم	6.2 - 7.8	شوفان	5.0 - 7.5
شعير	6.5 - 7.8	فول سوداني	5.3 - 6.6
فاصولياء	6.0 - 7.5	أرز	5.0 - 6.5
شوندر سكري	6.0 - 8.0	ثيلم	5.0 - 7.0
ذرة	5.3 - 7.5	ذرة بيضاء	5.5 - 7.5
كتان	5 - 7.0	فول الصويا	6.0 - 7.0
كرنب	6 - 7.5	قمصب السكر	6.0 - 8.0
جزر	5.5 - 7.0	قمح	5.5 - 7.5
كرفس	5.8 - 7.0	تفاح	5.0 - 6.5
خيار	5.5 - 7.0	مشمش	6.0 - 7.0
خس	6.0 - 7.0	كرز مر	6.0 - 7.0
بصل	6.0 - 7.0	كرز حلو	6.0 - 7.5
بندورة	5.5 - 7.5	تفاح بري	6.0 - 7.5
		خوخ	6.0 - 7.5
		أفلاس	5.0 - 6.0

ب - الحموضة الكامنة Potential acidity:

تُعبّر الحموضة الكامنة، عن قيمة pH الناتجة عن الهيدروجين المدمص، أو الهيدروجين والألمنيوم المدمصين، ويطلق عليها أحياناً تعبير الحموضة الكلية Total acidity. ولتقدير الحموضة الكامنة، يستخدم عادة محلول ملحي، متبادل قادر على إزاحة الهيدروجين والألمنيوم المدمصين، وغالباً ما يستخدم محلول كلوريد البوتاسيوم KCl:



لذلك يمكن القول إن المسبب الأساسي لهذه الحموضة هو الهيدروجين في بعض الترب، بينما يصبح الألمنيوم مسؤولاً رئيساً في ترب أخرى، وهذا يعتمد بالدرجة الأولى على درجة تجوية الترب وتطورها. ويمكن تمييز نوعين من الحموضة الكامنة:

- ١- الحموضة التبادلية التي تظهر عند معاملة التربة بمحاليل متعادلة (KCl).
- ٢- الحموضة الهيدروليزية؛ وتظهر عند معاملة التربة بمحلول ملح قلوي مثل خلاص الصوديوم، القادرة على استبدال كاتيون الهيدروجين المدمص على سطح الغروي، بقوة أكبر من المحاليل المتعادلة:



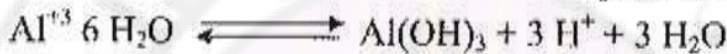
يعتقد بعض الباحثين، وجود نموذج ثالث من الحموضة في التربة. وأطلقوا عليه اسم الحموضة المتبقية residual acidity، وتعرف على أنها الحموضة التي تبقى بعد معادلة كل من الحموضة النشطة والحموضة المتبادلة أو الكامنة، ويعتقدون أن الحموضة المتبقية تتوافق مع أيونات الألمنيوم المائية ومع أيوني Al^{3+} و H^+ ، حيث تكون هذه الأيونات مرتبطة على شكل غير قابل للتبادل non-exchangeable مع المادة العضوية أو سيليكات الطين.

٣- السعة التنظيمية للتربة Soil buffering capacity :

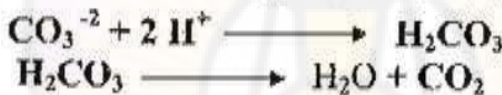
تعرف السعة التنظيمية للتربة Soil buffering capacity، على أنها مقدرة التربة على درء التغيرات المفاجئة والسريعة لـ pH محلول التربة.

وتتأثر القدرة التنظيمية للتربة بعوامل عدة منها التركيب المعدني للتربة، سعة التبادل الكاتيوني ونسبة التشبع بالقواعد ومحتوى التربة من المادة العضوية، وبطبيعة الحال ترتبط هذه الخواص بمراحل التجوية وتطور التربة.

عند إضافة حمض إلى التربة، تحصل زيادة إما في امتصاص الهيدروجين على السطوح الغروية أو يستهلك الهيدروجين من قبل ماءات الألمنيوم $Al(OH)_3$ لتكوين ألومنيوم ذائب وفق التفاعل التالي:



بعد تفاعل الألمنيوم السابق من التفاعلات التنظيمية المهمة وخاصة في التربة المتقدمة في عملية التجوية، يعمل هذا التفاعل على إبقاء درجة pH التربة في حدود 5. أما عند pH عالية نسبياً فإن الكربونات والبيكربونات تلعب دوراً في استهلاك الهيدروجين ومنع تغير الـ pH عند إضافة الحامض، بحسب التفاعل التالي:



أما عند إضافة قلوي (OH^-) إلى التربة، فإن OH^- تتفاعل مع H^+ الناتج من تفاعل الألمنيوم السابق،



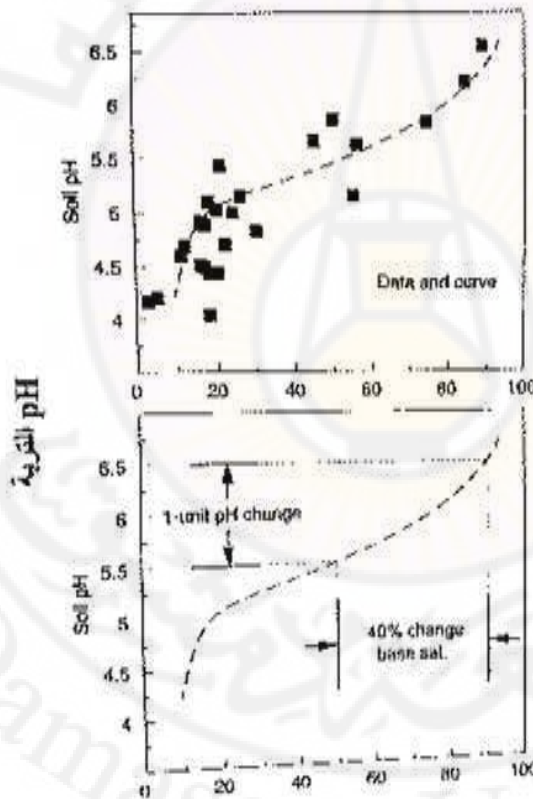
أو تتفاعل مع الهيدرونيوم الناتج عن تفكك حمض الكربونيك،



كذلك، تلعب المادة العضوية دوراً مماثلاً في درء تغيرات pH التربة، من خلال تحرير H^+ من المجموعات الفعالة في حال ارتفاع الـ pH أو ضمه في حال انخفاضها أيضاً، تلعب نسبة التشبع بالقواعد دوراً في مراقبة pH التربة والتحكم بها، الشكل (52).

عموماً يمكن إجمال الآليات التي تحكم درجة pH التربة بالنّالي:

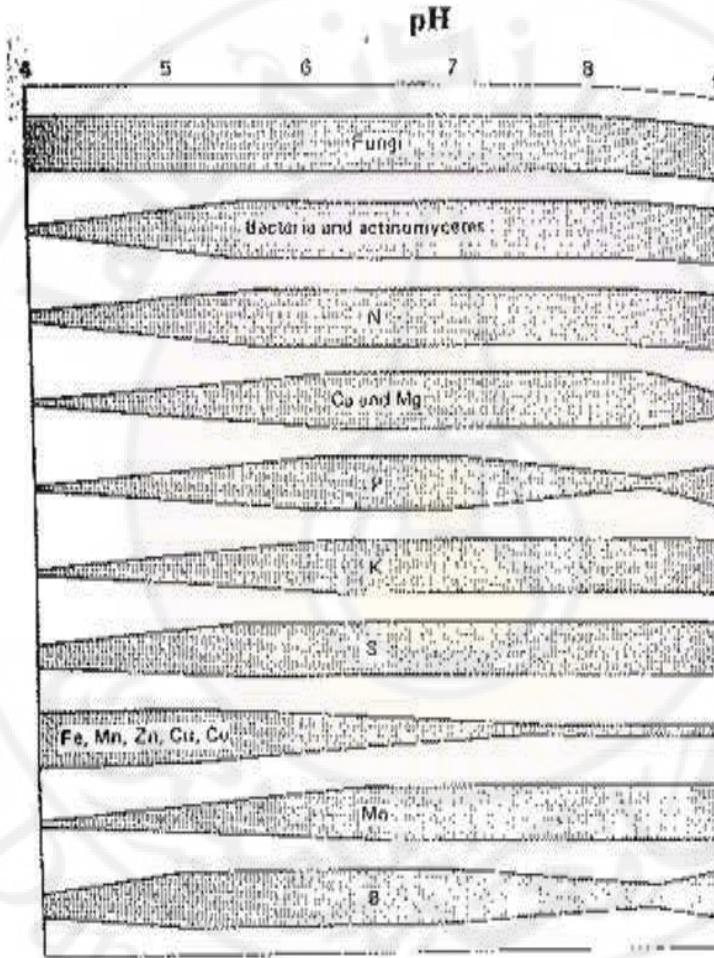
مجال pH التربة	الآليات التي تحكم pH في التربة
4 - 2	أكسدة البيريت وبعض المعادن الكبريتية.
5.5 - 4	تفاعل الألمنيوم وبعض المعادن المرافقة.
6.8 - 5.5	H^+ متبادل، مجموعات حامضية ضعيفة مترافقة مع معادن التربة و المركبات الهيومية، غاز CO_2
7.2 - 6.8	مجموعات حامضية ضعيفة موجودة في المركبات الهيومية ومعادن التربة.
8.5 - 7.2	ذوبان كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ (الكاليت).
10.5 - 8.5	الصوديوم المتبادل وذوبان كربونات الصوديوم Na_2CO_3



نسبة التشبع بالقواعد

الشكل (52)، منحنى المعايرة لتربة مثالية، يبين العلاقة بين pH التربة ونسبة التشبع بالقواعد

يبين المنحنى العلوي، المنحنى النظري المرسوم من خلال البيانات الفعلية لترب المنحدرات. أما المنحنى السفلي فيبين العلاقة ما بين تغير الـ pH وحدة واحدة وما يقابلها من تغيير في نسبة التشبع بالقواعد. كما تؤثر pH التربة كثيراً على كل من النشاط الحيوي و توافر بعض العناصر المغذية (شكل 53).



الشكل (53) يبين العلاقة بين pH التربة من جهة والنشاط الحيوي، وتوافر بعض العناصر الغذائية من جهة ثانية

٧-٣ - محلول التربة Soil Solution:

1. مقدمة:

يعد محلول التربة المركز الأساسي للنشاط الحيوي والكيميائي في التربة، هناك عدد كبير من النشاطات تتباطأ بوضوح عند غياب الماء، على سبيل المثال، تتعرض كائنات التربة الحية إلى dormant أو الموت، كذلك تصبح عملية انتقال المعادن بطيئة، وأيضاً عمليات التجوية الكيميائية وعمليات التكوين، جميعها تصبح معطلة في حال غياب الماء. إن إضافة الماء أو الرطوبة إلى النظام الجاف السابق يؤدي إلى إنعاش الكائنات الحية وعودة التفاعلات الكيميائية المختلفة.

2. تعريف محلول التربة Definition of soil solution:

يعرف محلول التربة ببساطة على أنه الطور المائي السائل المرافق للتربة، وعلى الرغم من أن هذا التعريف تقنياً صحيح، لكنه لا يعبر تعبيراً كافياً عن بعض المفاهيم الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، السبب أن جزءاً مهماً من محلول التربة seemingly لا يترسب في بعض الظواهر المهمة.

عموماً يقصد بمحلول التربة ذلك السائل الذي يوجد في التربة تحت الظروف الحقلية العادية، وهو عبارة عن محلول إلكتروليتي (ملحي)، مرتبط ضد قوى الجاذبية الأرضية، ويميل محلول التربة ليكون في حالة اتزان مع حبيبات التربة الصلبة والأيونات المتبادلة عليها، أو المرافقة لها، ويتألف محلول التربة من الماء والمواد الغروية، إضافة للمكونات الذائبة.

تكون مكونات محلول التربة في حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات التربة، ويعد محلول التربة أكبر مكوناتها نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية، وبشكل مصدرأ مباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية التي تتعدد مصادرها في التربة (تجوية معادن، تحلل مادة عضوية، ترسيب من الجو، إضافة أسمدة، نقل من أماكن أخرى،...).

يحفظ محلول التربة في المسامات الموجودة بين الحبيبات والتجمعات البنية في التربة، ويكون مرتبطاً بدرجات متفاوتة، حيث توجد قوى التصاق كبيرة ومتعددة بين جزيئات الماء وحبيبات التربة، تحدد إلى درجة كبيرة حركة الماء في التربة والكمية المتاحة للنبات.

عموماً ، لا تمثل الكمية الذائبة من عنصر ما إلا جزءاً بسيطاً من الكمية الكلية لهذا العنصر. في نظام التربة، مثلاً: متوسط المخزون الكلي للبوتاسيوم في التربة 12346 كغ/دونم لعمق 15 سم، بينما لا تزيد الكمية الذائبة عن 4-12 كغ / دونم. وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية في المعادن إلى نحو 417 كغ/دونم لعمق 15 سم، أما الذائب في محلول التربة فإنه لا يزيد عن 0.05 - 0.5 كغ/دونم. على العكس من ذلك في حالة الكلوريد، حيث يمكن أن يوجد جزء كبير من مخزونه ذائباً في محلول التربة.

3. العوامل التي تؤثر على طبيعة محلول التربة (تركيباً وتركيزاً):

هناك مجموعة من العوامل تؤثر على طبيعة محلول التربة منها:

- أ- كمية الرطوبة في التربة.
 - ب- نوع التربة وخصائصها المختلفة.
 - ج- المناخ وخاصة الحرارة والرطوبة.
 - د- المعاملات الزراعية المختلفة من ري وصرف ، تسميد، زراعة وغيرها.
- وبناء على ذلك فإن تركيب محلول التربة وتركيزه، يتغير باستمرار، لارتباطه ارتباطاً وثيقاً بعمليات كيميائية وحيوية، ونظم أخرى محيطه به. ومن هذه العمليات التي تحدث ما يلي:
- أ- يحدث امتصاص للعناصر الغذائية من محلول التربة: وفي الوقت نفسه يحدث إفراز لبعض المركبات العضوية البسيطة والهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون، من جذور النباتات، مما يؤدي إلى تحمض الوسط، وذوبان بعض المركبات في التربة أو زيادة سرعة ذوبان مركبات أخرى.
 - ب- تدخل أيونات محلول التربة في تفاعلات التبادل الأيوني والامتصاص على سطوح الغرويات.
 - ج- حدوث انحلال وإذابة لبعض المعادن، وبالتالي تحرر بعض العناصر إلى محلول التربة، أو يحدث ترسيب لبعض المركبات نتيجة لاتحاد عناصر مختلفة بعضها مع بعضها الآخر، ويتوقف ذلك على طبيعة العناصر في المحلول ودرجة التشبع.

- د- تسبب مياه الأمطار والري تمديداً لمحلول التربة، وعلى العكس من ذلك، تؤدي عملية الصرف والتبخر والتسميد إلى زيادة في تركيز محلول التربة.
- هـ- تؤثر كل من المادة العضوية والكائنات الحية الدقيقة على مكونات محلول التربة، حيث تأخذ الكائنات الحية حاجتها من العناصر من محلول التربة، وتحرر عناصر جديدة إلى محلول التربة نتيجة لتحلل المادة العضوية.
- و- عملية التوازن بين محلول التربة والطور الغازي في التربة، وكذلك الهواء الجوي، الذي قد يؤدي إلى انطلاق بعض الغازات الموجودة في محلول التربة إلى الهواء الجوي، أو يحدث العكس.

4. تركيب محلول التربة : Composition of soil solution

بما أن محلول التربة متغير جداً في المكان والزمان، لذلك فإن مناقشة تركيبه يأخذ نوعاً من العمومية. إن التراكيز النسبية للمكونات الذوابة، المعدنية منها والعضوية، تكون متماثلة في معظم الترب. لكن يمكن أن تؤثر العوامل الطبيعية و العوامل الصناعية anthropogenic على بعض أو كل المركبات.

أ- المكونات المعدنية : Inorganic constituents

يبين الجدول (23) المكونات المعدنية الأكثر وجوداً في محلول التربة. حيث نجد أن الكاتيونات السائدة هي K, Mg, Ca على التوالي، مع وجود عدد كبير آخر من الكاتيونات، لكن بكميات صغيرة، ($Zn, Cu, Fe^{13}, Fe^{+2}, Na$).

جدول (23)، يبين المكونات الرئيسية في محلول التربة:

المكون	المكونات السائدة $10^{-1} - 10^{-2} \text{ mol/L}$	المكونات غير السائدة $10^{-6} - 10^{-7} \text{ mol/L}$	مكونات أخرى (+)
كاتيونات أنيونات	$K^+, Na^+, Mg^{+2}, Ca^{+2}$ SO_4^{-2}, Cl^-, HCO_3^-	$Cu^{+2}, Zn^{+2},$ $Mn^{+2}, Fe^{+2}, Al^{+3}, NH_4^+$ $B(OH)_3, HS^-, F^-, H_2PO_4^-$	$Cd^{+2}, Ni^{+2}, Cr^{+3}, Pb^{+2}$ $HMoO_4^-, CrO_4^{2-}$

(*) - تركيزها أقل من 10^{-4} مول / لتر (لا في حالة الفلور).

إن الأنيونات السائدة في محلول التربة تتمثل بـ SO_4^{-2}, Cl^-, HCO_3^- . عند تعرض التربة للفيضان والإشباع بالماء، تأخذ عملية الإرجاع مكانها وكذلك بعض النشاطات الحيوية، مما يؤدي إلى زيادة أهمية كل من عناصر HS^-, Fe^{+2} وكذلك HCO_3^- . وفي حالة حدوث تلوث للتربة فإن تركيب محلول التربة سوف يتغير تبعاً للملوثات المضافة. إن مجموع الكاتيونات والأنيونات الذوابة، عادة لا يتجاوز 10^{-2} مول / لتر. يشكل الكالسيوم عادة نصف كمية الكاتيونات، أما بالنسبة للأنيونات فإن نسبة كل من Cl^-, SO_4^{-2} و HCO_3^- لبعضها بعضاً، تتعلق pH التربة وتركيبها المعدني، فالتربة المالحة الطبيعية سوف تحتوي على تراكيز عالية من $SO_4^{-2}, Cl^-, Mg^{+2}, Ca^{+2}$ ، والصوديوم في بعض الحالات، وهذا يعتمد بدوره على pH الوسط ومصادر الأملاح. معظم محاليل التربة سوف تحتوي على $Si(OH)_4$ ، كمكون أساسي غير عضوي للسيليكون Si.

يمكن القول عموماً إن تراكيز المكونات غير العضوية في محلول التربة، تخضع لعوامل عدة منها، pH التربة، كميونية الأكسدة والإرجاع وتركيب الطور الصلب للتربة.

ب- المكونات العضوية Organic constituents الجدول (24):

تعكس المكونات العضوية الذائبة في محلول التربة، المكونات الصلبة للمادة العضوية لكنها ليست معقدة، كما يمكن للمكونات العضوية الذوابة أن تأتي من الكائنات الحية في التربة، من ضمنها مخرجات exudates الجذور النباتية وميكروبات التربة.

بما أن هذه المكونات تتعرض للتدهور أو التحلل بواسطة الكائنات الحية، فإن تركيزها في محلول التربة يكون أكثر تغيراً وحركية من المكونات المعدنية.

الجدول (24)، يبين أهم المكونات العضوية الذاتية في محلول التربة

المكونات الثانوية $> 10^{-5}$ مول / ليتر	المكونات الرئيسية $10^{-6} - 10^{-4}$ مول / ليتر	المصدر
الكربوهيدرات، الفينولات، البروتينات، الكحول والسلفايدريل، المبيدات المختلفة، المواد البترولية.	الأحماض الكربوكسيلية، الأحماض الأمينية، السكريات البسيطة، تراكيز قليلة من معظم الملوثات العضوية	طبيعي Anthropogenic مصنعي

5. طرائق الحصول على محلول التربة:

يوجد طرائق عدة مقترحة لفصل محلول التربة عن جسم التربة الصلب، وهذه الطرائق

هي:

- طريقة السحب أو الإزاحة displacement method .
- طريقة الضغط compaction method .
- طريقة الطرد المركزي centrifugation method .
- طريقة الامصاص الجزيئي molecular method .

تعد طريقة الإزاحة من الطرائق المفضلة للحصول على محلول التربة، ويتم ذلك عن طريق دمج محلول الإزاحة على عمود تربة رطبة باستخدام صفيحة ضغط. ويعد محلول الإيثانول الأكثر ملاءمة لهذه العملية.

يعد بعض الباحثين أن مستخلص العجينة المشبعة saturated past extract، يمثل محلول التربة، لكن الباحثين أنفسهم يرون أن محلول التربة ليس مطابقاً أو مماثلاً لمستخلص التربة.

6. العوامل المؤثرة على التركيب الكيميائي لمحللول التربة وتركيزه:

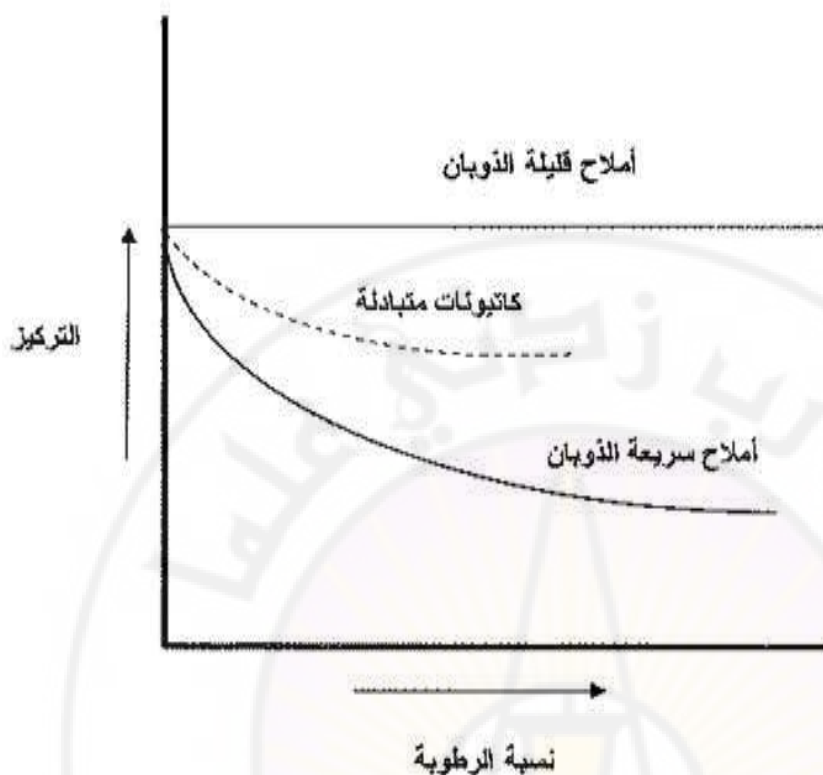
يتغير تركيب محللول التربة وتركيزه لعوامل عدة منها:

أ- زمن اتزان المحلول الأرضي.

ب- نوع الترب.

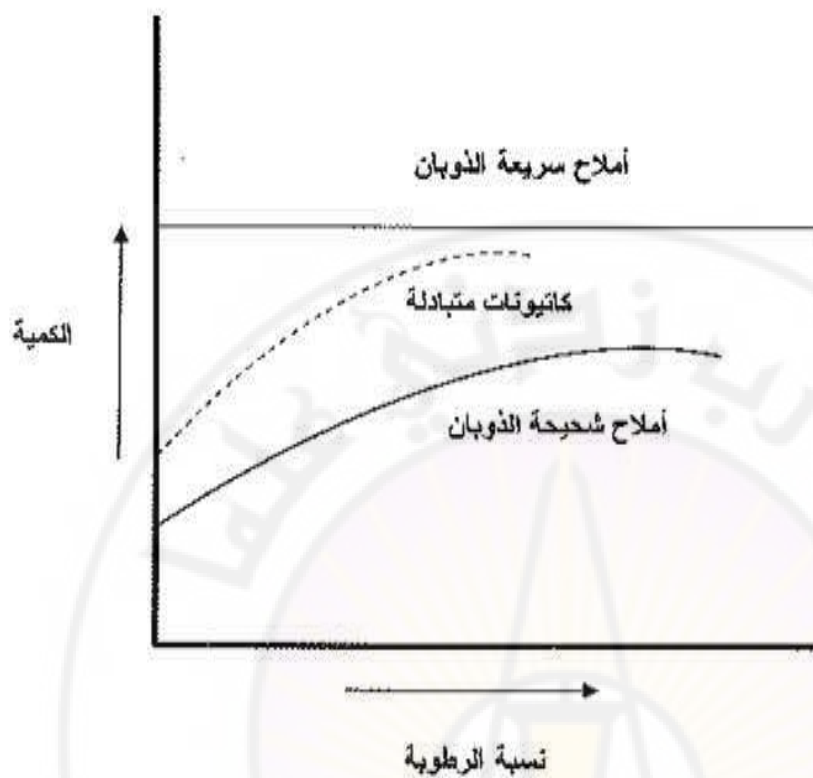
ج- نسبة الرطوبة في التربة.

- زمن اتزان المحلول الأرضي: كلما زاد اتزانه مع مكونات التربة الصلبة، ازداد تركيزه.
- نوع الترب: يزداد تركيز الأملاح في الترب الملحية، بينما يزداد تركيز العناصر المغذية في محللول الترب الخصبة، بينما يزداد تركيز أيون الكربونات في الترب الكلسية ويزداد تركيز أيون الصوديوم في الترب القلوية.
- نسبة الرطوبة في التربة: يؤثر كل من تركيز الأملاح وكمياتها الذائبة على النحو التالي:
 - أ- التركيز: يقل تركيز الأملاح سريعة الذوبان في محللول التربة بزيادة نسبة الرطوبة في التربة، مثل أملاح الكلوريدات خاصة ملح كلور الصوديوم، بينما يظل تركيز الأملاح والمركبات قليلة الذوبان ثابتاً ومحدود التغير، وينتج ذلك انخفاض في تركيز الكاتيونات المتبادلة. الشكل (54).



الشكل (54)، يبين أثر الرطوبة على تركيز الأملاح الذائبة

ب- الكمية الذائبة: عند زيادة نسبة الرطوبة في التربة، فإن الكمية الذائبة من الأملاح سريعة الذوبان تبقى ثابتة، بينما تزداد كمية الأملاح قليلة الذوبان مثل (أملاح الفوسفات وأملاح الكبريتات مثل الجبس وأملاح كربونات الكالسيوم) وكذلك الكاتيونات المتبادلة. الشكل (55).



الشكل (55)، يبين أثر الرطوبة على كمية الأملاح الذائبة



الفصل الثامن
الخواص الفيزيائية للتربة
Soil physical properties



الفصل الثامن

الخواص الفيزيائية للتربة

Soil physical properties

٨-١ - كثافة التربة Soil density:

٢ - مقدمة:

تتكون التربة من أطوار عدة وغير متجانسة؛ فهي تتكون من الطور الصلب Solid phase الذي يتألف من مواد معدنية وأخرى عضوية، والطور الغازي Gaseous phase، الذي يشكل هواء التربة بمكوناته الغازية المختلفة، والطور السائل Liquid phase، الذي يتكون من محلول التربة، يضاف إلى ذلك طور آخر هو الطور الحيوي Bio-phase، الذي يتألف من الكتلة الحية في التربة. لذلك تعد التربة من أعقد الأنظمة الطبيعية، فبالإضافة إلى تعدد الأطوار، هناك تباين كبير في مكونات الطور الواحد، لو أخذنا على سبيل المثال الطور الصلب، يلاحظ أن حبيباته تختلف في تركيبها الكيميائي والبنائي وكذلك في الحجم، وهذا ينعكس بدوره على مجمل الخصائص الفيزيائية للتربة من كثافة ومسامية ونفاذية وغيرها.

على الرغم من تباين أطوار التربة، فإنه ليس من السهل فصل بعضها عن البعض الآخر، لكن بهدف تسهيل الدراسة وتبسيطها، فإنه - تجاوزاً - ، تعد مستقلة، بقصد التعريف بأهم العلاقات التي تربط هذه الأطوار، حجماً ووزناً.

في هذا السياق ، فإن للكثافة عموماً تعبير عن العلاقة بين الحجم والوزن. وفي التربة يمكن تمييز أكثر من حالة للكثافة، تبعاً لتعدد أطوارها، ومن المتعارف عليه، أن للتربة نوعين من الكثافات، الكثافة الحقيقية Real density أو كثافة حبيبات التربة Particle density أو كثافة المكونات الصلبة، والكثافة الحجمية أو الظاهرية Bulk density.

هذا ويمكن عد الكثافة بنوعها الحقيقية والظاهرية من المؤشرات المهمة التي تستطيع أن تعطي بعض المعلومات عن الخصائص الفيزيائية للتربة.

كما ذكر سابقاً أن الكثافة هي نسبة وزن حجم معين إلى حجمه، أما بالنسبة للتربة، فإن الاهتمام ينصب على كثافة ثلاثة من مكوناتها، كثافة الحبيبات الصلبة وكثافة محلول التربة وكذلك الكثافة الظاهرية أو الحجمية للتربة.

في معظم الترب، تماثل كثافة محلول التربة، كثافة الماء والتي تساوي 1 غ/سم³ ، وفي حالات خاصة كالتراب المالحة، يمكن أن تكون كثافة محلول التربة أكبر بقليل من الواحد.

1- الكثافة الحقيقية (P_s) Real density:

يمكن أن يطلق عليها تعبير كثافة المكونات الصلبة، وهي متوسط كثافة المكونات الصلبة في التربة. إن متوسط الكثافة الحقيقية لمعظم الترب المعدنية يتراوح بين 2.6 - 2.7 غ/سم³، وهي قريبة من كثافة الكوارتز التي تمثل تقريباً متوسط كثافة معادن التربة، بعد معظمها عبارة عن سيليكات الألمنيوم، إن وجود عنصر الحديد أو أي معدن آخر ذي كثافة عالية مثل الأولفين، يؤدي إلى رفع كثافة التربة الحقيقية، بينما عند وجود المادة العضوية بكميات كبيرة نسبياً، فإن الكثافة الحقيقية تنخفض، وتعطى الكثافة الحقيقية أو كثافة المكونات الصلبة للتربة بالعلاقة:

$$P_s = \frac{M_s}{V_s} = \frac{ODWt}{V_s} \quad \text{حيث:}$$

P_s : الكثافة الحقيقية أو كثافة حبيبات التربة الصلبة (غ / سم³).

M_s : وزن المواد الصلبة (غ).

V_s : حجم المواد الصلبة (سم³).

إن وزن المواد الصلبة M_s يمكن أن يتمثل إلى الوزن الجاف تماماً ODWt للتربة بفرض وزن هواء التربة يساوي تقريباً الصفر.

بشكل عام، يمكن عد الكثافة الحقيقية للتربة صفة ثابتة، حيث أنها تتغير عند إضافة الدبال للتربة أو تحرير عناصر معدنية نتيجة لعوامل التجوية، وهذه الحالات تعد عمليات بطيئة جداً. يمكن للكثافة الحقيقية أن تختلف قليلاً من أفق إلى آخر، لكنها تبقى ضمن الحدود التي ذكرت سابقاً.

قد يعبر أحياناً عن الكثافة الحقيقية تجاوزاً بالوزن النوعي Specific gravity، الذي يعرف بأنه النسبة ما بين كثافة المادة الصلبة وكثافة الماء المقطر عند الدرجة 4 م°. ولما كانت كثافة الماء المقطر تساوي 1، فإن الوزن النوعي للتربة، يساوي كثافتها الحقيقية. الجدول (25)، يبين الكثافة الحقيقية لبعض مكونات التربة.

جدول (25): يبين الوزن النوعي لبعض مكونات التربة العضوية والمعدنية

المادة	الوزن النوعي	للحادة	الوزن النوعي
مواد عضوية جافة غير متحللة	0.5 - 0.2	أورثوكلايز	2.5 - 2.6
خث	0.8 - 0.5	ألوريت	2.75 - 2.76
دهال	1.4 - 1.3	كوارتز	2.61 - 2.65
مونتموريللونيت	2.5 - 2.1	جبس	2.3 - 2.33
كلأوليت	2.63 - 2.6	ليمونيت	3.4 - 3.6
ميكا	3.2 - 2.8	هيماتيت	4.9 - 5.3

ب- الكثافة الظاهرية (الوزن الحجمي) Bulk density (pb):

تعبر الكثافة الظاهرية عن وزن وحدة حجم من التربة الجافة تماماً بوضعها الطبيعي، أي مكونات التربة الصلبة مضافاً إليها فراغات التربة، وتقدر بـ غم/سم^3 ، وباعتبار أن الكثافة الظاهرية للتربة تعتمد على التربة الخالية من الماء، لذلك فإن وزن التربة يساوي وزن التربة الجافة تماماً (ODWt)، أما الحجم الكلي للتربة فإنه يساوي حجم المادة الصلبة V_s مضافاً إليه حجم المسامات V_p ، وعليه تكون الكثافة الظاهرية:

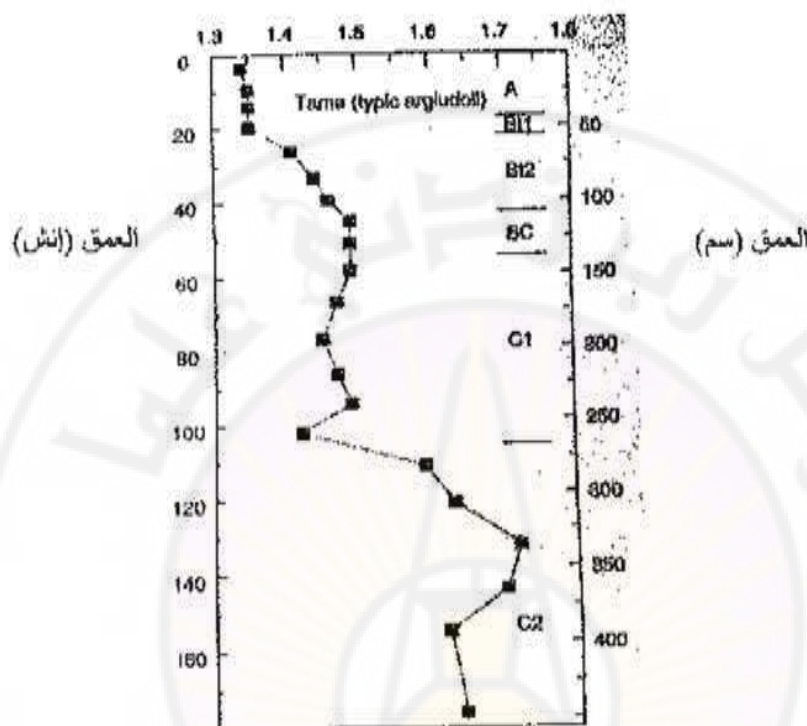
$$P_b = \frac{M_s}{V_t} = \frac{ODWt}{V_s + V_p}$$

تساوي الكثافة الظاهرية في الترب المثالية التي تحتوي على 50% مسامات و 50% مادة صلبة، نصف الكثافة الحقيقية، لذلك فإن التربة الجيدة البناء، تكون كثافتها الظاهرية بين 1.3 - 1.35 غم/سم^3 .

عموماً، تتراوح الكثافة الظاهرية بين 1.6 غم/سم^3 أو أكثر في الترب الرملية، إلى نحو 1 غم/سم^3 في الترب جيدة البناء ومتوسطة النسيج التي تحتوي على كمية متوسطة من المادة العضوية، وقد تنخفض الكثافة الظاهرية إلى أقل من 1 غم/سم^3 في الترب التي تحتوي على كمية عالية من المادة العضوية وترب الرماد البركاني.

خلافاً للكثافة الحقيقية، فالكثافة الظاهرية قد تتباين بشكل كبير بين الترب، وكذلك بين الآفاق في نفس التربة، هذا يعتمد على درجة تحبيب التربة، والضغط الذي تتعرض له، بشكل

عام تزداد الكثافة الظاهرية مع العمق، مع تغير بنية التربة من حبيبية في الأفق السطحي إلى بنية كتلية أو موشورية في الأفق تحت السطحية، الشكل (56).



الشكل (56)، يبين العلاقة بين الكثافة الظاهرية وعمق مقطع التربة
الكثافة الظاهرية غ/سم³

بعد تعيين الوزن الحجمي أو الكثافة الظاهرية للتربة من التحاليل المهمة التي لا يمكن تجاوزها في الكثير من الدراسات المتعلقة بتوصيف التربة. على أن الكثافة الظاهرية تؤثر بشكل كبير في النظم المائية والهوائية للتربة، وهذا ينعكس بدوره على النمو النباتي وإنتاجيته، ويعد الوزن الحجمي من 1.0 - 1.25 ملائماً لمعظم المحاصيل الزراعية في الترب الطينية.

٨-٢- مسامية التربة Soil porosity:

٤- مقدمة:

يقصد بمسامية التربة f ، تلك الفراغات الموجودة في التربة والمشغولة بالماء والهواء، وتتميز هذه الفراغات Pores، بتعقيد نظامها، نظراً لاختلاف حبيبات التربة في الحجم والشكل والانتظام. ويعبر مصطلح مسامية التربة f عن الحجم الكلي للفراغات (المسام)، أي الحجم غير المشغول بحبيبات التربة (الطور الصلب) (V_s) منسوباً إلى الحجم الكلي للتربة بأطوارها الثلاثة V_t ، أي:

$$f = \frac{V_a}{V_t} = \frac{V_a}{V_s + V_w + V_g}$$

حيث: V_s : الطور الصلب، V_a : حجم الهواء، V_t : الحجم الكلي، V_w : حجم الماء.

يعد تدفق الهواء والماء إلى التربة وحركتهما داخلها، محصلة للحجم الكلي للمسامات فيها، وكذلك توزع هذه الفراغات بين فراغات أو مسامات كبيرة Macropores، وفراغات صغيرة أو دقيقة Micropores، بالإضافة إلى استمرارية المسامات الكبيرة خلال مقطع التربة.

٢- نسبة المسامية Percent of porosity:

تختلف النسبة المئوية للمسامية (PS %)، للترب باختلاف خصائصها الفيزيائية وخاصة النسيج والبنية، وعموماً تكون الترب مثالية في هذا السياق عندما تكون نسبة المسامية 50%، حيث يكون نصفها عبارة عن مسامات كبيرة لدرجة كافية لصرف الماء الحر عن طريق السحب بالجاذبية، ونصفها الآخر صغيرة لدرجة كافية تسمح بحفظ الماء بالقوى الشعرية مقابل قوى الجاذبية.

تتراوح النسبة المئوية للمسامية في الترب المعدنية بين 30 - 60 %، حيث تمثل الترب الخشنة النسيج مسامية أقل من الترب متوسطة النسيج أو ناعمة النسيج، بينما تكون المسامات في الترب خشنة النسيج، غالباً ذات أقطار كبيرة نسبياً، حيث تسمح بعملية صرف للماء وتهوية جيدين، على العكس من ذلك، الترب ذات النسيج الناعم والمتوسط، فإنها تملك

حجماً أكبر من المسامية الكلية قياساً بالترب خشنة القوام، لكن معظم المسامات (خاصة في الترب الطينية) تكون ذات أقطار صغيرة، مما يؤدي إلى حركة ماء بطيئة. بالنسبة للترب التي تحتوي على معادن طين من النموذج القابل للانفخاض swelling والانكماش shrinking، فإن المسامية سوف تزيد عند الجفاف (الانكماش) وتتناقص عند الرطوبة (الانفخاض).

3- العلاقة بين الكثافة الظاهرية (Pb) والنسبة المئوية للمسامية:

من المعروف أن النسبة المئوية للمسامية تساوي:

$$\% PS = \frac{V_p}{V_t} \times 100 \quad (1)$$

أو:

$$\% PS = \frac{V_t - V_s}{V_t} \times 100 \quad (2)$$

وهذا يعطي:

$$PS = 1 - \frac{V_s}{V_t} \times 100 \quad (3)$$

وباعتبار أن:

$$PS = \frac{ODW_t}{V_s} \quad \text{و} \quad Pb = \frac{ODW_t}{V_t}$$

فإنه يمكن استبدال كل من V_k و V_l بقيمها في المعادلة (3):

$$\% PS = \left(1 - \frac{ODW_l / P_k}{ODW_t / P_b} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$\% PS = \left(1 - \frac{P_b}{P_k} \right) \times 100 \quad (5)$$

حيث:

V_l : الحجم الكلي للتربة، V_k : حجم الحبيبات الصلبة، V_p : حجم المسامية.
 ODW_t : وزن التربة الجاف تماماً، P_k : الكثافة الحقيقية، P_b : الكثافة الظاهرية.
 PS : النسبة المئوية للمسامية.

تبين المعادلة (5) أن النسبة المئوية للمسامية $\% PS$ في التربة، هي محصلة للعلاقة بين الكثافة الظاهرية والكثافة الحقيقية، وبعد أن الكثافة الحقيقية هي ثابتة بالنسبة لتربة معينة، فإنه يمكن القول أن المسامية الكلية مرتبطة بشكل وثيق بالكثافة الظاهرية. عندما تتعرض التربة لعملية تراص أو ضغط معين، فإن الكثافة الظاهرية تزداد، ويتبعها انخفاض في المسامية الكلية، لذلك يمكن استخدام الكثافة الظاهرية كمقياس كمي للتعبير عن المسامية الكلية في التربة.

يمكن أن يحصل انخفاض في الكثافة الظاهرية نتيجة للتجمد والذوبان في التربة، وكذلك عند القيام بعمليات حرارية مناسبة، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة المسامية الكلية، أما تعرض التربة للرص أو الضغط أو الحرارة غير الملائمة، فينتج عنه زيادة في الكثافة الظاهرية وبالتالي انخفاض في المسامية.

على الرغم من إمكانية استخدام الكثافة الظاهرية للدلالة على مسامية التربة، لكنها أي P_b ، لا تعطي فكرة عن توزيع المسام بين مسام كبيرة أو صغيرة، علماً أن عملية ضغط التربة أو تراصها تؤدي إلى تحطيم المسامات الكبيرة والهشة، وبعد أن حركة الماء والهواء في التربة تعتمد على استمرارية وكمية المسامات الكبيرة، لذلك فإن ضغط التربة له التأثير الكبير على تدفق الماء والهواء إلى التربة وحركتهما داخلها.

٨- تصنيف الفراغات أو المسامات:

وضعت تصنيف عديدة للفراغات في التربة، من قبل عدد من الباحثين، لكن بصورة عامة، هناك ثلاثة أنواع من الفراغات، تصنف تبعاً لأبعادها، الفراغات الكبيرة Macropores وأبعادها تتجاوز 100 ميكرومتر، والفراغات المتوسطة Mesopores وأبعادها من 0.1 - 100 ميكرومتر، أما النوع الثالث فهو الفراغات الدقيقة Micropores وأبعادها أقل من 0.1 ميكرومتر.

٩- العوامل التي تؤثر في مسامية التربة:

من العوامل التي تؤثر بشكل كبير في مسامية التربة:

- نسيج التربة **soil texture**: وهو عامل رئيسي في تحديد مسامية التربة، ويؤثر في نسبة الفراغات الكبيرة إلى الفراغات الدقيقة، إذ تتراوح المسامية الكلية للتربة الرملية بين 30-45%، وتبلغ 45-60% في التربة الطينية الثقيلة، وقد تزيد عن ذلك بحسب محتواها من المادة العضوية ودرجة تحبيها، وقد تنخفض هذه المسامية إلى حدود 25-30% في بعض الترب السلتية والرملية التي تعرضت إلى ضغوط.
- الأساليب الزراعية ونمط الزراعة: تلعب دوراً مهماً في تحسين المسامية أو في تدهور قيمتها مع الزمن، فاستخدام الآلات الزراعية الثقيلة يؤدي إلى تراص التربة واندماجها وبالتالي انخفاض مساميتها، كذلك عمليات الحرث تساهم في تحسين مسامية التربة إذا نفذت بشكل مناسب.
- العوامل التي تساهم وتدفع في تحبيب التربة وتكوين التجمعات الترابية Aggregates، مثل المواد العضوية، أملاح الكالسيوم، كذلك الدورات الزراعية التي تتضمن زراعات متفاوتة الانتشار الجذري واختيار آلات الحرث المناسبة، كلها تساهم في تحسين مسامية التربة.

٨-١- هواء التربة Soil air:

1- مقدمة:

يشكل هواء التربة أحد أطوارها المهمة، حيث ينصف هواء التربة بعدم الثبات حجماً وتركيباً، فالهواء في التربة يتغير بحسب الحالة الرطوبة والنشاط الحيوي والظروف البيئية المحيطة والعمق. يملأ الهواء فراغات التربة الخالية من الماء، وتتناقص كمية الهواء في التربة مع زيادة محتواها الرطوبي، حيث يقوم الماء بطرد الهواء من الفراغات ويحل مكانه. عموماً تعرف التربة ذات التهوية الجيدة، على أنها التربة التي تكون كمية الهواء وتركيبه ملائمة لنمو النباتات الراقية،

من المعروف أن تنفس الجذور والحيوانات والأحياء الدقيقة، يؤدي إلى استهلاك غاز الأوكسجين وإنتاج غاز ثاني أوكسيد الكربون.

وبعد أن تركز غاز الأوكسجين في التربة أقل منه في الهواء الجوي، وعلى العكس من ذلك بالنسبة لتركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 ، لذلك فإن نمو الجذور يتأثر إما بانخفاض غاز الأوكسجين أو زيادة غاز ثاني أوكسيد الكربون. يحتوي الغلاف الجوي فوق سطح التربة على 21% من تركيبه من غاز الأوكسجين ونحو 0.03% من غاز CO_2 ، يحتوي الأفق السطحي من التربة على نفس الكمية من الغازات الموجودة في الغلاف الجوي، وهذا يعود إلى إعادة توازن الضغط الجزئي لهذه الغازات، لكن الأمر يختلف بين كمية هذه الغازات في الغلاف الجوي فوق سطح التربة وبين الأفاق تحت السطحية، وخاصة العميقة منها، حيث تكون كمية غاز الأوكسجين أقل، وكمية CO_2 أكبر بـ 10 إلى 100 مرة في التربة عنها في الغلاف الجوي فوق سطح التربة.

تعد للتربة جيدة التهوية عندما تحتوي على فراغات مسامية بكمية كافية، بمعنى أن تكون هذه الفراغات خالية من الماء، لتسمح بتبادل سريع للغازات بين أفاق التربة والهواء الجوي فوق سطح التربة، فالمسامات التي تكون خالية من الماء عند سعة الرطوبة الحقلية، هي التي يحدث فيها تبادل سريع للغازات، لذلك فالتربة جيدة التهوية Well-aerated soil، يجب أن تحتوي أولاً على كمية كافية من الفراغات المسامية الكبيرة Macro-pores، وثانياً أن تشكل هذه الفراغات شبكة مستمرة تسمح بالتبادل الغازي بين سطح التربة والأفاق تحت السطحية.

هناك تناوب Trade-off بين كمية كافية من الفراغات الهوائية، والفراغات الدقيقة Micro pores التي تختزن الماء القابل لإفادة النبات. فالتراب الرملية عادة يسود فيها الفراغات الهوائية الكبيرة، وهي جيدة التهوية، لكن على حساب الماء المتاح للنبات، وعلى العكس من ذلك في التراب الطينية أو ذات القوام الناعم، تكون السيادة فيها للفراغات الدقيقة وتحتوي على كمية كبيرة من الماء المتاح للنبات، لكن على حساب الفراغات الكبيرة أو الهوائية.

تحتوي التراب المثالية عادة على 50% فراغات مسامية، موزعة بشكل متساو بين مسامات كبيرة (هوائية) Macro ومسامات صغيرة (مائية) Micro.

2- تركيب هواء التربة Composition of soil air:

يتوقف تركيب هواء التربة، على سرعة التبادل الغازي بين هواء التربة والهواء الجوي، حيث تلعب خواص التربة الفيزيائية دوراً مهماً في عملية التبادل، وعلى شدة العمليات الحيوية التي تعود لنشاط الجذور النباتية والأحياء الموجودة في التربة، وخاصة الأحياء الدقيقة.

يمثل تركيب هواء التربة مع تركيب الهواء الجوي من حيث النوعية، لكن هناك فروق في نسبة هذه الغازات بين التربة والهواء الجوي، وخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 للجدول (26).

الجدول (26) يبين تركيب الهواء الجوي وهواء التربة (%) (حجمياً):

نوع الهواء/العنصر	O_2	CO_2	N_2
هواء التربة	20.65	0.25	79.20
هواء الجو	20.97	0.03	79.00

يتأثر تركيب هواء التربة بعوامل عدة منها:

- الخواص الفيزيائية للتربة: من نسيج وبنية، إضافة إلى نفاذية التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالماء، وكذلك كمية الماء الهيدروسيوبي.

ب- عمق مقطع التربة: حيث يلاحظ انخفاض نسبة الأوكسجين مع العمق، وتكون هذه الظاهرة أكثر وضوحاً في التربة الطينية والسلتية.

ج- عمليات الخدمة: التي تزيد من تحبيب التربة، وبالتالي تزيد كمية الهواء في التربة وتشجع عملية التبادل الغازي. كذلك يلعب نمط الزراعة وطبيعة النباتات المزروعة دوراً مهماً، من خلال علاقتها بكمية غاز CO_2 الناتج وكمية غاز الأوكسجين المستهلك.

د- إضافة المادة العضوية والنشاط الحيوي.

هـ- التغيرات الفصلية: وما يتبعها من تغيرات في حرارة التربة ورطوبتها. عموماً يمكن القول إن محتوى التربة من CO_2 يزداد، وكمية الأوكسجين تنخفض في الحالات التالية:

- صيفاً بسبب النشاط الحيوي والانتشار الجذري الكبير.
- عند إضافة الأسمدة العضوية والكيميائية.
- في الترب الرطبة والطينية سيئة البناء.
- مع زيادة العمق في مقطع التربة.

3- السعة الهوائية للتربة Soil air capacity:

يقصد بالسعة الهوائية للتربة، أكبر كمية من الهواء يمكن للتربة أن تحتويها عندما تكون جافة هوائياً، وتعتبر أيضاً عن المسامات غير المشغولة بالماء، أي المسامات الهوائية Macro pores، وتقدر كنسبة مئوية من حجم التربة، وتحسب من المعادلة التالية:

$$P_{awt} = P - P_g$$

حيث:

P_{awt} : السعة الهوائية الكلية % من حجم التربة.

P : المسامية الكلية % من حجم التربة.

P_g : حجم الماء الهيدروسكوبي % من حجم التربة.

ويمكن أن تعرف السعة الهوائية للتربة على أنها مجموع حجم الفراغات غير المشغولة بالماء، بعد تشبع التربة وتركها لمدة 24 - 48 ساعة، لصرف ماء الجاذبية، وهي تساوي ما يسمى بالمسامية الهوائية.

تتأثر السعة الهوائية بكل العوامل التي تؤثر على مسامية التربة، وخاصة التركيب الحبيبي للتربة (نسيج التربة)، وبنيتها ومحتوى التربة من المادة العضوية. تختلف النباتات من حيث متطلباتها من السعة الهوائية الواجب توافرها، وعلى سبيل المثال: تحتاج نباتات المراعي والمحاصيل العلفية لسعة هوائية بحدود 5 - 10% أما المحاصيل النجيلية كالقمح والشيلم والشوفان، فالسعة الهوائية المناسبة لها بحدود 10 - 15%، وترتفع إلى 20% بالنسبة للمحاصيل الدرنية.

4- آليات التهوية في التربة Mechanisms of soil aeration:

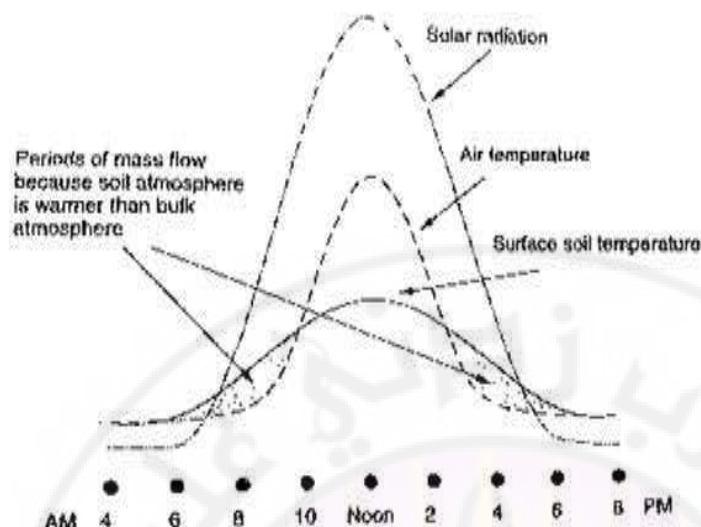
تعتمد عملية التهوية في التربة أو التبادل الغازي على اليئين، الأولى حركة أو تدفق الكتلة Mass flow وانتقالها بالحمل Convection، والثانية ظاهرة الانتشار diffusion.

أ- تدفق الكتلة Mass flow:

يعبر تدفق الكتلة عن عملية تحرك هواء التربة بشكل كتلة نتيجة للفروق الحرارية أو الضغط، وهذا يعني أن جميع غازات التربة تتحرك بنفس المعدل، وفي نفس الاتجاه. تحدث هذه الظاهرة عند حدوث فرق في الحرارة أو الضغط بين هواء التربة والهواء الخارجي، فالفرق الحرارية تحصل مرتين في كل يوم، بسبب معدل التسخين السريع للتربة في الصباح، ومعدل التبريد السريع للهواء فوق سطح التربة مباشرة في المساء. تسخن التربة في الصباح بسرعة قياساً بالهواء الموجود فوق السطح، وذلك بسبب قدرة التربة على امتصاص كمية أكبر من الطاقة الشمسية. الهواء فوق سطح التربة، يبرد بسرعة أكبر من التربة عند المساء، وذلك بسبب حرارته النوعية المنخفضة.

عموماً، تتأثر عملية تدفق كتلة الهواء عبر سطح التربة بعوامل عدة منها:

٩. درجة الحرارة: ويكون تأثيرها أشد خلال ساعات النهار، لأن درجة حرارة التربة تكون أعلى من درجة الهواء، وبوجود مجال حراري عبر مقطع التربة نظراً لأن السطح يكون أسخن من عمق مقطع التربة أثناء النهار. الشكل (57).



الشكل (57) ، يبين تغير درجة الحرارة خلال النهار لكل من سطح التربة والهواء

الجوي القريب من السطح

ثم تنعكس الحالة في أثناء الليل، فعندما يكون هواء التربة أعلى حرارة من الهواء الخارجي، يكون ذا كثافة أقل ويميل للخروج من مقطع التربة إلى الغلاف الجوي، ويحل محله هواء جديد من الغلاف الجوي أكثر برودة.

٢. تأثير الرياح: تظهر عملية تدفق الكتلة mass flow، عندما تعبر الرياح فوق سطح التربة، مسببة اختلافًا بالضغط بين الهواء فوق سطح التربة، والهواء داخل سطح التربة، وفي هذه الحالة يكون تدفق الهواء من منطقة الضغط العالي إلى منطقة الضغط المنخفض. يمكن أن تحدث ظاهرة تدفق الكتلة بسبب امتصاص الماء من قبل النبات. عند مغادرة الماء للتربة، تصبح الفراغات الهوائية التي كانت مشغولة بالماء خالية، يؤدي ذلك إلى خلق فرق بالضغط بين محيط التربة والمحيط الجوي، ينتج عنه تدفق الكتلة إلى هذه الفراغات. تعد آلية حركة الهواء بطريقة تدفق الكتلة، ذات أهمية خاصة في الأفاق السطحية والقرب الضحلة، أو الترب التي تسود فيها الفراغات أو المسامات الكبيرة Macro-pores.

ب- الانتشار Diffusion:

تعرف ظاهرة الانتشار على أنها حركة الغازات نتيجة لانحدار الضغط، وبعد أنه يعبر عن تركيز الغازات بعبارة الضغط الجزئي، لذلك فإن الانتشار هو حركة الغازات من منطقة ذات ضغط جزئي مرتفع إلى منطقة ذات ضغط جزئي منخفض.

عادة ينتشر غاز الأوكسجين من الهواء فوق سطح التربة إلى التربة، ومن الأفاق السطحية إلى الأفاق تحت السطحية، أما غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 فإنه ينتشر من الأفاق تحت السطحية إلى الأفاق السطحية ومنه إلى الهواء الخارجي. تعد عملية انتقال الغازات بالانتشار عملية بطيئة، على سبيل المثال: بينت بعض الدراسات أن معدل انتشار الأوكسجين Oxygen diffusion rate (ODR) للتربة يتراوح بين 10 إلى 80×10^{-8} غ O_2 / سم/دقيقة، وبينت الدراسة نفسها أن نمو الجذور قد انخفض أو توقف عندما كانت (ODR) بين 18 إلى 23×10^{-8} غ/سم/دقيقة.

5- تأثير التهوية في التربة Effect of soil aeration:

يؤثر هواء التربة، وخاصة غاز الأوكسجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون، في خصائص التربة، وبالتالي في الإنتاج النباتي.

تكون معادن التربة والمادة العضوية والجنور النباتية والأحياء الدقيقة في التربة جيدة التهوية مع نفس الضغط الجزئي لغاز الأوكسجين الموجود فوق سطح التربة، وتكون عندها العناصر المرجعة مثل الحديد Fe^{+2} والكبريت S^{-2} ، والمادة العضوية في حالة غير مستقرة، وتتعرض إلى عملية الأكسدة.

معظم، إن لم يكن جميع عمليات الأكسدة هذه، تتدخل فيها كائنات التربة، تؤمن تفاعلات الأكسدة الطاقة اللازمة للكائنات الحية، ويستخدم الأوكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات، ومن الأمثلة على عمليات الأكسدة هذه: تحلل البقايا العضوية والمواد الهيدرومائية، أكسدة البيريت وكذلك أكسدة الأمونيوم NH_4^+ إلى نترات NO_3^- .

أما في التربة ذات التهوية الضعيفة، فإن تفاعلات الأكسدة المذكورة أعلاه تتوقف، باستثناء أكسدة المادة العضوية فإنها تستمر، حيث تستخدم الكائنات الدقيقة اللاهوائية، باستخدام المواد العضوية كمصدر للطاقة، وتختلف النواتج النهائية للعمليات اللاهوائية حيث تتمثل

بالميثانول، الإيثانول، حمض الخل، والميثان، بينما الفترات والحديد والسلفات تمثل جزءاً من نواتج عملية الأكسدة.

وفيما يلي فكرة موجزة عن تأثير كل من غازي الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون .

أ - غاز الأوكسجين:

يؤثر الأوكسجين بشكل مباشر على حياة النباتات، من خلال تأثيره على عملية التنفس، وكونه مصدراً للطاقة والنشاط الحيوي، وتكون الظروف مثالية للنبات، عندما يشكل الأوكسجين في التربة 80% من حجم الهواء فيها.

تتعلق كمية الأوكسجين المستهلكة في التربة في زمن معين بمسامية هذه التربة، وفي ظروف التهوية الجيدة، تتراوح الاحتياجات من الأوكسجين وسطياً من 50 - 100 سم³/كغ تربة.

ب - غاز CO₂:

إن التركيز العالي لغاز CO₂، في التربة، وخاصة بوجود كمية قليلة من الأوكسجين، يؤثر بشكل سلبي على النمو النباتي عامة، لكن ضرره يكون أقل في حال وجود نسبة جيدة من الأوكسجين.

تستهلك النباتات الخضراء كميات كبيرة من CO₂، في عملية الاصطناع الضوئي، وبينت بعض الدراسات أن 38 - 72% من CO₂ اللازم للعمليات الحيوية المختلفة في النبات، يتوافر في التربة.

يلعب غاز ثاني أوكسيد الكربون دوراً مهماً في بعض التغيرات الكيميائية التي تطرأ على بعض معادن التربة، فمثلاً المحلول المشبع بغاز CO₂، يؤدي إلى زيادة ذوبان كربونات الكالسيوم، وبعض الأملاح الأخرى.

٨-٤- حرارة التربة Soil Temperature:

١- مقدمة:

تعد حرارة التربة من العوامل المهمة التي تلعب دوراً مهماً في تكوينها، وتؤثر الحرارة بفعالية في نمو النباتات ونشاط الأحياء الدقيقة وتطورها، كما تؤثر حرارة التربة على انحلال المركبات المعدنية وانحلال الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون.

تؤثر الحرارة أيضاً على معدل واتجاه العمليات الفيزيائية والكيميائية في التربة، ومن العمليات الفيزيائية التي تتأثر بالحرارة نجد: التجمد والانصهار، والتسخين والتبريد، والتبخر، وتدفق بخار الماء وكذلك تهوية التربة، وكل هذه العمليات هي أمثلة تتأثر بحرارة التربة والتباينات الحرارية وكذلك ميول الحرارة Temperature gradients.

لدرجة حرارة التربة أيضاً، تأثير واضح على العمليات البيولوجية، مثل إنبات البذور ونمو الجذور، والعلاقة بين الماء وامتصاص المغذيات. بالإضافة إلى عدد كبير من العمليات الميكروبية myriad of microbial processes، جميعها تتأثر بثلاثة مستويات من الحرارة السائدة في التربة دنيا، مثالية وقصوى.

على سبيل للمثال: إنبات بذور الفصّة يحتاج إلى حد أدنى من الحرارة مساوياً 5 م°، وحرارة مثالية تساوي 15 م°، ودرجة الحرارة المثلى لنمو الفصّة alfalfa تتراوح من 10 إلى 25 م°. عملية النترجة nitrification، وهي عملية الأكسدة الحيوية لأيونات الأمونيوم NH_4^+ إلى نترات NO_3^- ، تصبح في حدها الأدنى عند درجة حرارة 10 م°.

2- العوامل التي تؤثر في حرارة التربة Factors influencing soil temperature :

تعد حرارة التربة مرتبطة بكل من الإشعاع، وعمليات التبادل الحراري المستمر وكذلك خواص أو معايير التربة Soil Parameters مثل الطاقة النوعية لحرارة التربة والتوصيل الحراري. عموماً، يمكن تلخيص العوامل التي تؤثر في حرارة التربة ونظامها الحراري بالتالي:

- تأثير العوامل الجوية من رطوبة ورياح وغيوم وساعات الإضاءة.
- الموقع الطبوغرافي (معرض المنحدر Slope exposure).
- كثافة الغطاء السطحي للتربة (نوع النبات وكثافته).

- خواص التربة الفيزيائية وتركيبها المعدني.
- يضاف إلى ذلك مجموعة من العوامل الأخرى التي تؤثر على اختلاف حرارة التربة من منطقة إلى أخرى، ومن هذه العوامل:
- التبادل الحراري مع الهواء المحيط بحبيبات التربة.
- التبادل الحراري مع الوسط عن طريق الإشعاع.
- العمليات المختلفة التي تجري في التربة (فيزيائية وكيميائية - حيوية).
- التوصيل الحراري.

3- طرائق نقل الطاقة : Modes of energy transfer

هناك أربع طرائق أو آليات لنقل الطاقة (فقد أو كسب)، وهذه الآليات:

أ- الإشعاع Radiation:

يمكن لجميع الأجسام، ومنها التربة أن تكسب الطاقة الحرارية أو تفقدها، وذلك بواسطة امتصاص الأشعة الشمسية أو إصدارها. يعد الإشعاع الشمسي Solar radiation المصدر الرئيس للطاقة الحرارية التي تصل إلى التربة، وتستطيع التربة أيضاً أن تفقد الطاقة الحرارية عن طريق الإشعاع. عموماً تتراوح درجة حرارة التربة من بضعة درجات تحت الصفر إلى نحو 57°م تقريباً.

ب- الحمل Convection:

يشمل الحمل حركة الطاقة الحرارية بواسطة النقل على شكل كتلة Mass بواسطة الريح أو الماء.

تكتسب طريقة نقل الطاقة بالحمل، أهمية خاصة في المناطق الجافة، عندما تهب الرياح الجافة والحارة من الصحارى، فوق حقول مروية تؤدي إلى زيادة كبيرة في عمليتي البخر والنتج evapotranspiration.

ج- التوصيل Conduction:

يقصد بالتوصيل، حركة الطاقة ضمن الأجسام المختلفة ومنها التربة، بسبب حركة الجزيئات الداخلية، إن حركة الطاقة لجزيئ مرتبطة بدرجة حرارة هذا الجزيئ، فعند اصطدام جزيئات حارة مع جزيئات باردة، يحصل عندها نقل للحرارة، ينتج عنه زيادة في حركة

الجزيئات الباردة، وانخفاض في حركة الجزيئات الساخنة. ويؤدي ذلك إلى تدفق وتوصيل الحرارة من المناطق الحارة إلى المناطق الباردة.

د- النقل الحراري المستمر أو الكامن Latent heat transfer :

يعبر النقل الحراري الكامن عن كسب أو فقد الحرارة نتيجة لتغير الحالة. ويمكن عدّ تغير الحالة المترافقة مع الماء الأهم في هذا المجال، على سبيل المثال، عند ذوبان الجليد عند درجة حرارة صفر مئوي، يتحول الماء من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة على نفس الدرجة صفر مئوي. إن ذوبان الجليد يستهلك نحو 80 كالوري بالغرام، بينما تجمد الماء سوف يحرر نفس كمية الطاقة بالغرام، كذلك تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يستهلك 58 كالوري / غ عند حرارة 25 م°، بمعنى أنه عند تبخر الماء من سطح التربة فإنه يتم خسارة 58 كالوري/غ من الطاقة الحرارية إلى الغلاف الجوي، وعلى العكس عند تكاثف بخار الماء وتكثفه على شكل قطرات ماء.

ه- دور الإشعاع الشمسي The role of solar radiation :

بعد الإشعاع الشمسي بالإضافة إلى الطاقة الحرارية التي تأتي من الجزء السفلي لغطاء الغلاف الصخري Regolith، المصادر الرئيسية للطاقة الحرارية في التربة. وتعد الطاقة الشمسية المصدر الأكثر أهمية للطاقة الحرارية بالنسبة للجزء الأعلى من مقطع التربة.

ولتوضيح أهمية الإشعاع الشمسي كمصدر للطاقة، فقد ذكر Vink (1975)، أن كمية الطاقة التي تصل إلى الأرض سنوياً تبلغ نحو $10^{12} \times 28000$ واط، وهذا يشكل 95% من مصادر الطاقة المختلفة، نصف هذه الطاقة تقريباً يتحول إلى طاقة حرارية، و 23% مسؤولة عن عمليات التبخر والأمطار، و فقط 0.02 % تستخدم في عمليات التمثيل الضوئي. وتعتمد كمية الطاقة التي تصل إلى سطح التربة على موقع التربة بالنسبة للقطين الشمالي والجنوبي وكذلك خط الاستواء. فالتربة القريبة من خط الاستواء تستقبل أكبر كمية من الطاقة، بينما التربة الواقعة بالقرب من القطين تستقبل أقل كمية من الطاقة الحرارية. كذلك موقع التربة بالعلاقة مع معرض المنحدر الذي يلعب دوراً مهماً في كمية الطاقة التي تصل إلى سطح التربة، ففي النصف الشمالي من الكرة الأرضية، تتلقى المنحدرات ذات المعرض الجنوبي كمية أكبر من الطاقة الحرارية قياساً بالمنحدرات الشمالية.

تعرض الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح التربة إلى عدة مسارات، فإما أن تمتص بواسطة التربة، أو أن تنعكس مجدداً إلى الغلاف الجوي.

تعتمد الكمية الممتصة من الأشعة الشمسية بالدرجة الأولى على لون التربة، وكذلك على زاوية سقوط الأشعة الشمسية على حبيبات التربة. تمتص التربة ذات اللون الداكن كمية أكبر من الأشعة الشمسية مقارنة مع التربة ذات الألوان الفاتحة. لذلك تظهر التربة باللون الداكن لأنها تمتص معظم الأشعة الواردة، وبالألوان الفاتحة لأنها تعكس معظم الأشعة.

يمكن أن تخسر التربة الأشعة الممتصة مجدداً عن طريق النقل الحراري المستمر أو الكامن latent heat transfer، أو عن طريق الحمل convection أو الإشعاع radiation. يعود فقد التربة للحرارة عن طريق النقل الحراري المستمر، إلى تبخر الماء من سطح التربة، بينما يعزى فقد الحرارة عن طريق الحمل إلى تسخين هواء التربة وحركته فوق سطح التربة.

يحدث الفقد بسبب الإشعاع. بعد التربة كأي جسم آخر، تصدر أشعة نتيجة لحرارتها؛ تصدر التربة الأشعة في النطاق تحت الحمراء infrared من المجال الطيفي.

٤- الحرارة النوعية للتربة Specific heat of soil:

إن التغيرات الفعلية للحرارة التي تظهر في التربة بسبب امتصاص الطاقة الحرارية، هي بالدرجة الأولى، مرتبطة مع الحرارة النوعية للتربة specific heat of soil. والحرارة النوعية لمادة ما هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ غ من هذه المادة درجة مئوية واحدة، الجدول (27) يبين درجة الحرارة النوعية لبعض المواد.

تعتمد الحرارة النوعية للتربة على محتواها من الرطوبة، فمثلاً التربة الجافة تماماً التي تحتوي على 25 % رطوبة (وزنياً)، يمكن أن تكون حرارتها النوعية 0.36 كالوري/غ/درجة.

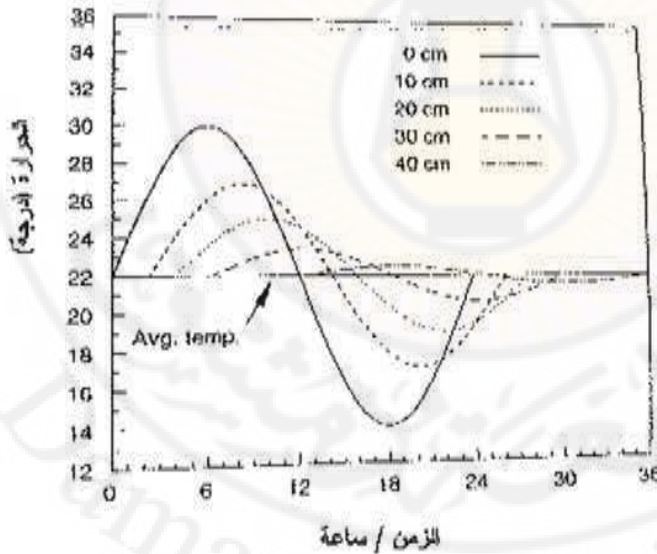
أما إذا كانت التربة تحتوي على 50% رطوبة، تكون حرارتها النوعية نحو 0.47 كالوري/غ/درجة.

الجدول (27)، يبين الحرارة النوعية للتربة وبعض المواد

الحرارة النوعية ($\text{cal g}^{-1} \text{deg}^{-1}$)	المادة
0.16	معن الحديد
0.215	معن الألمنيوم
0.2	التربة الجافة
1.0	الماء
0.36	تربة + 25 % ماء
0.47	تربة + 50 % ماء

٩- حركة الحرارة في التربة Heat movement in soils:

تتغير حرارة التربة تبعاً للزمن بالنسبة لليوم (صباحاً، ظهراً، مساءً)، وكذلك تبعاً للزمن بالنسبة للسنة (بحسب الفصول)، الشكل (58). يبين تغيرات درجة حرارة التربة خلال 24 ساعة بالنسبة لتربة مفترضة.

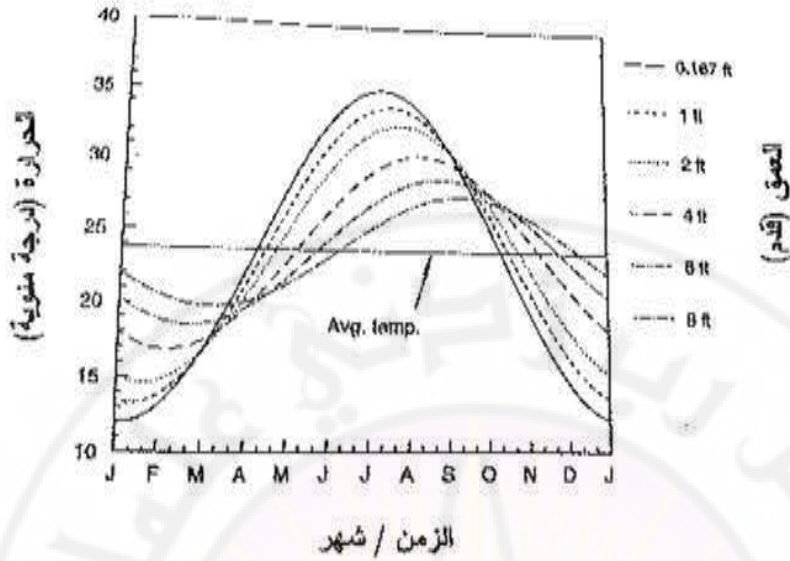


الشكل (58)، يبين تغيرات درجة حرارة التربة خلال 24 ساعة بالنسبة لتربة مفترضة

تعمل أشعة الشمس على تسخين التربة في الصباح، حيث تصل درجة حرارة سطح التربة إلى الحد الأقصى عند وقت الظهيرة، وبعد الوصول إلى درجة الحرارة القصوى، يبدأ سطح التربة بفقد الحرارة، عن طريق الإشعاع والحمل إلى المحيط الجوي، وباتجاه الأسفل للوصول إلى الأفق السفلي عن طريق التوصيل Conduction، وباعتبار أن سطح التربة يفقد الحرارة الحرارية بسرعة أكبر مما يكتسب من الإشعاع الشمسي، فإن هذا السطح سوف يبرد. تصل درجة الحرارة إلى حدها الأدنى بعد نحو 12 ساعة من وصولها إلى الحد الأعلى. عند هذه النقطة حتى بزوغ الشمس، يكون سطح التربة أبرد من الأفق تحت السطحية، ويصبح التدفق الحراري معكوساً، بمعنى، من الأفق السفلية باتجاه سطح التربة، وبهذه الطريقة يستن سطح التربة ثانية.

إن كلاً من سطح التربة والأفاق تحت السطحية يخضع لدورة من التسخين والتبريد خلال 24 ساعة (تغيرات الحرارة اليومية)، لكن، تتغير درجة الحرارة الصغرى والعظمى تبعاً لطول المدة الزمنية التي تأخذها الطاقة الحرارية حتى تصل إلى أعماق التربة المختلفة، يلاحظ من الشكل (59) أن المدة اللازمة لتغير الحرارة هي نحو 12 ساعة، كما يلاحظ أن الفروق بين درجة الحرارة العظمى والصغرى تقل مع زيادة العمق، وهذا يعني أنه عند عمق 60-80 سم سوف تتقدم التغيرات الحرارية الساعية تقريباً أي أن تذبذبات الحرارة اليومية سوف تنتهي عند هذا العمق.

ترتبط حرارة التربة أيضاً بالفترة الزمنية من السنة، الشكل (59)، يبين تغيرات درجة الحرارة في التربة وعلاقتها مع الفترة الزمنية من السنة، وكذلك عمق التربة، حيث يلاحظ أن درجة الحرارة في شهر كانون الثاني، هي الحد الأدنى، وسطح التربة أكثر برودة من الأفق تحت السطحية، لذلك تتدفق الحرارة في شهر كانون الثاني من الأفق السفلي إلى سطح التربة، وبزيادة عدد ساعات النهار، يصبح سطح التربة أكثر حرارة، وتصل حرارة السطح إلى حدها الأعلى في منتصف شهر حزيران تقريباً، لذلك ما يحدث في فصل الصيف هو زيادة في حرارة سطح التربة، وبالتالي تنتقل الحرارة باتجاه الطبقات السفلية، أي تتدفق الحرارة من سطح التربة إلى الطبقات تحت السطحية ويلاحظ من الشكل أيضاً أن الفروقات الحرارية تكون كبيرة نسبياً في الطبقات العليا من مقطع التربة، وتصبح إلى حد ما ثابتة في عمق التربة.



الشكل (59) . يبين التغيرات الحرارية الشهرية وعلاقتها مع العمق

ويمكن التنبؤ بأن التغيرات الحرارية على عمق 23 قدم (نحو 7 أمتار)، ستكون في حدود 5.0 م.

الأنظمة الحرارية للتربة Soil Temperature regimes

لقد اعتمد نظام تصنيف التربة الأمريكي، الأنظمة الحرارية للتربة Soil temperature regimes، وذلك كأي صفة يمكن استخدامها في نظام التصنيف على مستويات مختلفة، من خلال قياس درجة حرارة التربة (لفترات طويلة) على عمق 50 سم، أو حتى الصخرة الأم إذا كانت الأخيرة، على عمق أقل من 50 سم، وبناء على درجة الحرارة المقاسة، وضعت مجموعة من الصفوف، وفيما يلي وصف لها:

أ- نظام حراري بارد جداً Cryic: يكون المتوسط الحراري السنوي في ترب هذا الصف أقل من 8 م°، لكنها ليست دائمة التجمد، وذلك على عمق 50 سم من سطح التربة.

ب- نظام بارد فارس **Frigid**: يكون هذا النظام أكثر حرارة في الصيف قياساً بالنظام الحراري السابق، لكن يبقى المتوسط الحراري السنوي للتربة على عمق 50 سم، أقل من 8 م.

ج- النظام الحراري المعتدل **Mesic**: يكون المتوسط السنوي لدرجة حرارة التربة على عمق 50 سم من سطح التربة أكثر من 8 م لكن أقل من 15 م، والفرق بين متوسط درجة حرارة الصيف ودرجة حرارة الشتاء أكثر من 6 م.

د- النظام الحراري الحار **Thermic**: يتراوح المتوسط السنوي لدرجة حرارة التربة على نفس العمق السابق بين 15-22 م، وكذلك الفرق بين متوسط درجة حرارة التربة في الصيف ودرجة حرارة الشتاء أكثر من 6 درجات مئوية.

هـ- النظام الحراري الحار جداً **Hyper thermic**: يكون المتوسط الحراري للتربة أكثر من 22 م، والفرق بين متوسط حرارة الصيف ومتوسط حرارة الشتاء أكثر من 6 م، وذلك على عمق 50 سم من سطح التربة.

إذا كان نظام التربة الحراري مسبقاً بالبائدة (Iso)، هذا يعني أن الفرق في متوسط درجة حرارة الصيف ومتوسط درجة حرارة الشتاء على عمق 50 سم من سطح التربة، أقل من 6 درجات مئوية.





الفصل التاسع
الخواص المائية للتربة
Soil Water Properties



الفصل التاسع

الخواص المائية للتربة

Soil Water Properties

9-1 - مقدمة Introduction:

يعد الماء أحد أهم مقومات الحياة، ويلعب دوراً مهماً في تكوين الترب وتطورها، معظم العمليات التكوينية للترب، من تجوية، وغسل، وتكوين المعادن وحركة المواد في التربة، جميع هذه العمليات لا تتم إلا بوجود الماء. كما يحدد الماء درجة وأنواع النشاط الكيميائي والحيوي في التربة، خاصة وأن الماء يشكل من 70 إلى 95 % من تكوين الأحياء في التربة، كذلك يعد الماء العامل المحدد الرئيسي في الإنتاج الزراعي، وتطور وتوسع المساحات المزروعة، كل هذه الحالات التي سيأتي ذكرها وغيرها، تجعل من الماء مادة رئيسية وأساسية لا يمكن الاستغناء عنها، ونظراً لمحدودية المصادر المائية وخاصة في مناهلنا، فإنه من الواجب العمل بكل جدية للمحافظة على هذا المورد وترشيده استعماله.

9-2 - بعض المفاهيم Some concepts:

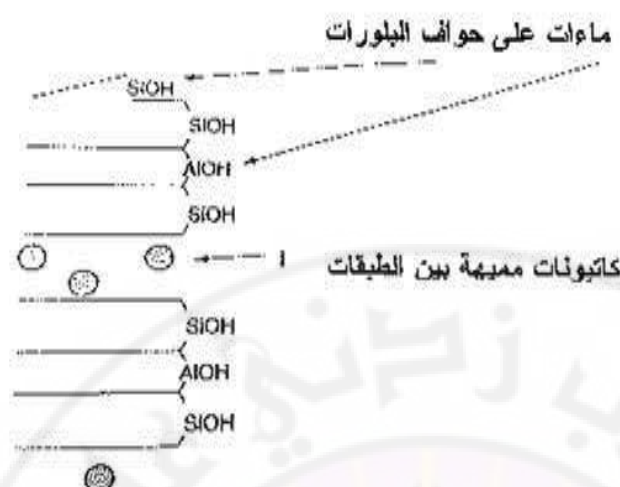
هناك عدد من المفاهيم التي تتعلق بعلاقة التربة مع الماء لابد من ذكرها ولو بإيجاز:

١- جهد المادة (Matric potential) (ψ_m):

يقصد بالمادة في هذا السياق، مادة التربة Soil Matrix، أي الطور الصلب للتربة، بمعنى أدق، سطوح حبيبات التربة.

إن المواقع المرتبطة مع الماء نضم، بالإضافة للجزء الصلب من التربة، المجموعات الفعالة الموجودة على حواف معادن التربة، وكذلك المجموعات الفعالة في المادة العضوية والكاتيونات المميهة Hydrated cations جزئياً أو كلياً.

عند وجود جزيئات الماء على احتكاك مباشر مع سطوح المعادن أو الكاتيونات المعادلة للشحنات (counterions)، فإن الارتباط يكون محكماً، يمكن لجزيئات الماء أن تشكل طبقات متتالية، لكن قوة الارتباط تقل تدريجياً حتى تنعدم قوة الجذب attractive force، مع الابتعاد عن سطوح حبيبات التربة. الشكل (60).



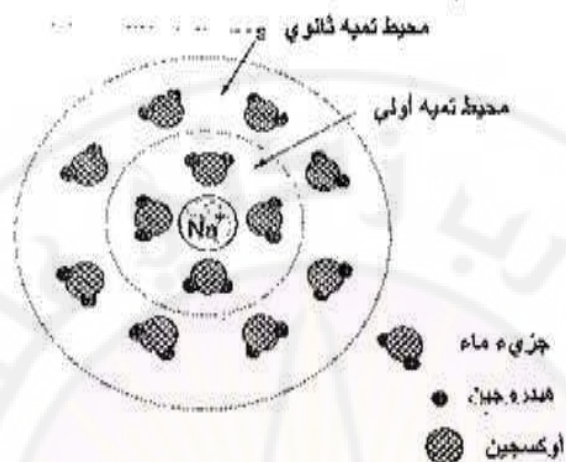
الشكل (60)، يبين مواقع الامصاص الماء على معادن الطين

يجب الأخذ بالحسبان، أن بعض معادن التربة، بطبيعتها، كارهة للماء Hydrophobic (ترفض جزيئات الماء)، ومنها السطوح المكونة من Si-O-Si فإنها Hydrophobic، بينما تكون سطوح SiOH و AlOH و الأيونات المعدلة للشحنة، محبة للماء Hydrophilic (تجذب جزيئات الماء).

ب- ماء التمييه Water of hydration:

يعد الماء مذيباً جيداً للمكونات الأيونية Ionic substances، مبدئياً، ونتيجة لقوة الجذب بين الأيونات وجزيئات الماء، فإن الأيونات المعدنية مثل، Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^{+} , Li^{+} ، تتفاعل بقوة مع جزيئات الماء لتشكل طبقة من الماء تدعى بمحيط التمييه الأولي Primary hydration sphere، الشكل (61)، يرتبط الماء في هذه الطبقة بقوة عالية مع الأيونات، يشكل الماء في محيط التمييه الأولي رابطاً مع جزيئات ماء إضافية، وهذه الجزيئات من الماء تشكل روابط أخرى مع جزيئات ماء جديدة وهكذا. تتناقص قوة الارتباط مع كل طبقة إضافية، حتى تنعدم قوة الجذب، عند هذه النقطة لا يمكن تشكيل أي طبقة جديدة من جزيئات الماء، يدعى الماء الذي يرتبط مع المحيط الأولي من جزيئات الماء، بمحيط التمييه الثانوي Secondary hydration sphere.

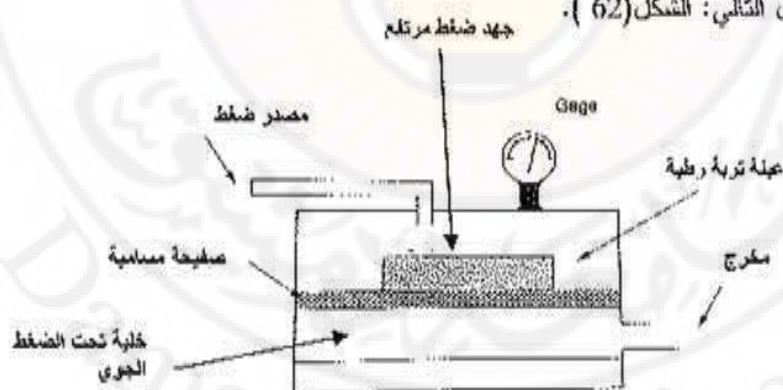
تعتمد قوة التماسك لأيون ماء، على حجمه وكتلته، فالكاتيونات الصغيرة عالية الشحنة، هي الأكثر تماسكاً. يجب ملاحظة أن أيون الهيدروجين H^+ الموجود في المحلول يكون على شكل مميّه H_3O^+ هيدرونيوم.



الشكل (61)، يبين محيط التميّه الأولي والثانوي

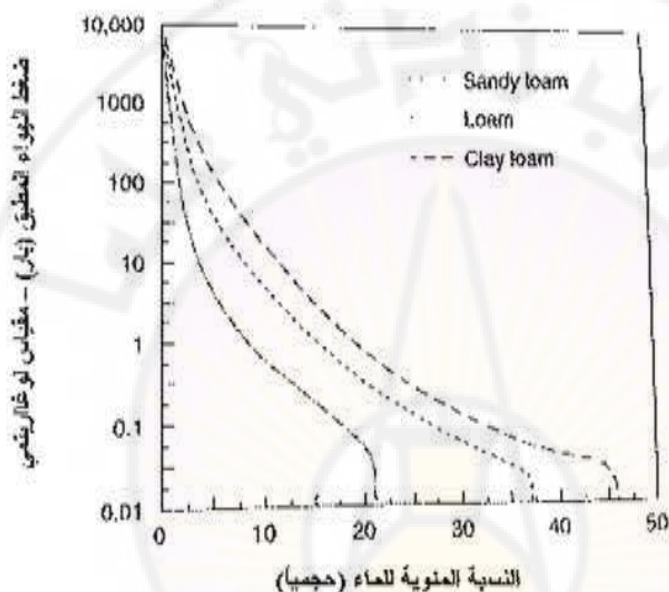
ج- منحنيات الاحتفاظ بالماء Water-retention curves:

يمكن توضيح العلاقة بين محتوى التربة من الماء، والطاقة اللازمة لإزاحة الماء من التربة بالمثال التالي: الشكل (62).



الشكل (62)، يبين العلاقة بين محتوى التربة من الماء والطاقة اللازمة لإزاحة الماء من التربة

عند وضع تربة مشبعة (جميع المسامات مملوءة بالماء)، على صفيحة مسامية، ووضعها في جهاز ضغط، ورفع الضغط في الجزء العلوي، سوف يندفع جزء من الماء المرتبط مع التربة، من خلال الصفيحة المسامية، إلى الغرفة السفلى. إذا جرى رفع الضغط على مراحل، وتركبت التربة للتوازن مع كل حالة ضغط، عندها يمكن الحصول على العلاقة بين محتوى التربة من الماء وحجم الضغط المطبق. الشكل (63).



الشكل (63)، يبين منحنيات احتفاظ التربة بالماء لتربة مختلفة النسيج

يعد الضغط المطلوب لإزاحة حجم معين من الماء من التربة، مقياساً للطاقة التي يرتبط بها الماء في التربة.

عند زيادة الضغط إلى حد معين، جميع الماء الموجود في التربة والمرتبط بطاقة أقل أو مساوية لقيمة الضغط المطبق، سوف يندفع من خلال الصفيحة المسامية إلى الغرفة السفلى. يقاس الضغط عادة بوحدة البار Bar أو كيلو باسكال Kilo Pascal (KPa) أو جول بالكغ (JKg⁻¹) Joules per Kilogram.

$$100 = \text{KPa} = \text{Bar} = 100 \text{ JKg}^{-1} \text{ للماء عندما تكون كثافته } = 1.$$

يقود الشكل (62) إلى خلاصة أساسية، مفادها، كلما قل محتوى التربة من الماء، فالماء المتبقي يشكل أغشية رقيقة حول حبيبات التربة ويكون الماء مرتبطاً بطاقة عالية high energy، ويحتاج الماء إلى طاقة أعلى لإزاحته من الأغشية الرقيقة، مقارنة مع الأغشية الأثخن.

د- الخاصّة الشعريّة Capillarity:

تعود الخاصّة الشعريّة، إلى ظاهرة ارتفاع الماء من خلال مسام التربة من الماء الأرضي Water table، بمعنى آخر من النطاق الذي يكون فيه جهد المادة Matric potential مساوياً للصفر.

عندما تكون التربة على احتكاك مع الماء الأرضي، فإن الماء سوف يجذب إلى حبيبات التربة الصلبة ويرتبط الماء كيميائياً مع جسم أو مادة التربة Soil matrix، وباستمرار احتكاك التربة مع الماء الأرضي فإن ماء إضافياً سوف يرتبط مع الماء المرتبط كيميائياً.

ينتج عن ذلك ارتفاع جزء من الماء الأرضي في التربة، يستمر الماء في الارتفاع داخل التربة، حتى تتساوى قوة الجذب الأرضي (الجاذبية الأرضية) مع قوة جذب الماء من قبل التربة، وبما أن كتلة الماء في المسامات الصغيرة أقل منها في المسامات الكبيرة، فإن مقدار ارتفاع الماء في المسامات الصغيرة يكون أكبر.

يرتبط الارتفاع الأقصى للخاصّة الشعريّة مع قطر مسام التربة ويعبر عنه بالمعادلة

التالية:

$$h = \frac{2t}{P_w \cdot gr}$$

حيث:

h : ارتفاع الماء (م).

t : الشد السطحي لمحلول التربة $0.073 \text{ (Nm}^{-1}\text{)}$.

P_w : كثافة الماء (1 كغ م^{-3}) .

g : التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية $9.8 \text{ (N Kg}^{-1}\text{)}$.

r : قطر مسام التربة بالمتر.

مثال: احسب ارتفاع الماء بالخاصة الشعرية في تربة أقطار مسامها 0.1 مم أي (0.0001 m).

$$h = (2) (0.073 \text{ Nm}^{-1} / (1000 \text{ kgm}^{-3}) (9.8 \text{ N kg}^{-1}) (0.0001 \text{ m}) = 0.15 \text{ m}$$

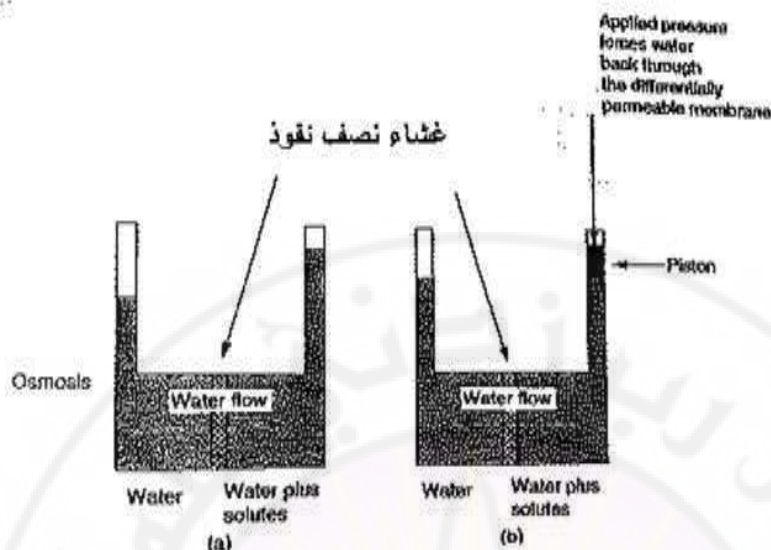
هـ - جهد الجاذبية gravitational potential (Φ_g):

يقصد بجهد الجاذبية، كمية العمل اللازم تطبيقه لإزاحة كتلة معينة من الماء ضد الجاذبية. يعتمد حجم العمل على موقع كتلة الماء من حقل الجاذبية، ومن المتعارف عليه اختيار نقطة مرجعية reference point، ضمن أو تحت مقطع التربة، عندها يصبح جهد الجاذبية (Φ_g)، معبراً عن حجم العمل اللازم لإزاحة الماء من النقطة المرجعية إلى النقطة المطلوبة. إذا عد سطح التربة كنقطة مرجعية، فإن جهد الجاذبية سيكون سالباً في كامل مقطع التربة، ويصبح أكثر سالبية كلما تعمقنا تحت سطح التربة.

و - الجهد الحلولي Osmotic potential (Φ_o):

إن وجود الأملاح الذائبة في ماء التربة، يؤثر على الطاقة الحرة للماء، حيث تعمل الأملاح الذائبة على خفض الطاقة الحرة للماء، تماماً كما هي الحالة عند ارتباط الماء بجسم التربة. يمكن توضيح تأثير المواد الذائبة على الطاقة الحرة للماء بالتجربة التالية:

عند وضع محلولين في وعاء يفصل بينهما غشاء نصف نفوذ (differentially permicable)، أحدهما يحتوي على أملاح ذائبة، والآخر على ماء نقي - يسمح الغشاء بمرور الماء فحسب دون الذائبات - فإن الماء سيتدفق خلال الغشاء حتى يصبح للمحلولين الطاقة الحرة نفسها free energy الشكل (64) يوضح هذه الظاهرة.



الشكل (64)، (a)، يبين تدفق الماء تبعاً للميل الحلوي، (b)، منع التدفق نتيجة لتطبيق الضغط

عند تطبيق ضغط حتى يتساوى وارتفاع الماء في العمودين (شكل 64)، عند هذه النقطة، فإن الضغط المطبق على العامود يساوي فرق الطاقة الحرة لكل من المحلولين، وتتوقف عندها حركة الماء.

يُدعى هذا الضغط بالضغط الحلوي Osmotic pressure للمحلول. وإذا تم تطبيق ضغط أعلى من الضغط المطلوب لوقف حركة الماء، عندها سيتدفق الماء باتجاه معاكس، أي من الماء الحاوي على ذائبات إلى الماء النقي. تعد هذه الفكرة الأساس في عملية عكس النظام الحلوي المستخدمة في تنقية الماء Purify water.

يعد الضغط الأسموزي لمحلول صفة تجميعية Colligative، تعتمد هذه الصفات التجميعية على كمية المادة المذابة وليس على طبيعتها.

في المحاليل الممددة، يتناسب الضغط الأسموزي طردياً مع تركيز المادة المذابة ودرجة الحرارة اعتماداً على المعادلة التالية:

II – MRT

حيث:

Π : الضغط الأسموزي (ضغط جوي ، 1 بار = 1.01 ضغط جوي)

M : تركيز المادة الذائبة (مول / لتر)

R : ثابت الغاز (0.08207 / لتر ضغط جوي / درجة مول)

T : درجة الحرارة (كلفن).

إن حفظ الطاقة الحرة للماء نتيجة لوجود مواد ذائبة يدعى بالجهد الأسموزي (Θ_0) Osmotic potential. يتساوى الجهد الأسموزي مع الجهد الكلي بالقيمة ولكن يختلف عنه بالإشارة، ويمثل حجم العمل المطلوب لإزاحة الماء من محلول يحتوي على كمية معينة من المواد الذائبة.

على سبيل المثال: يحتوي ماء البحر عند حرارة 25 م° على 0.5 مول/لتر من المواد

الذائبة.

$$T = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$M = 0.5 \text{ mol/L}$$

$$R = 0.82$$

عندها يكون الضغط الأسموزي لماء البحر:

$$\Pi = (298)(0.5)(0.082)$$

$$= 12.27 \text{ atm} = 12.39 \text{ bar}$$

الجهد الأسموزي يساوي الضغط الأسموزي بالكمية وبخلافه بالإشارة :

$$\Theta_0 = -\Pi = -12.39 \text{ bar}$$

ز- الجهد الكلي لماء التربة Total soil-water potential (Θ) :

يتعرض ماء التربة إلى جهود عديدة ومختلفة تحدد حجم العمل المطلوب لإزاحة الماء

من التربة، ويعبر عن الجهد الكلي للماء في التربة بمجموع الجهود المنفردة:

..... + جهد الجاذبية + الجهد الأسموزي + جهد المادة = الجهد الكلي

$$\Theta_t = \Theta_m + \Theta_o + \Theta_g + \dots\dots\dots$$

عندما يتحرك الماء والمواد الذائبة مع بعضهم بعضاً، فإنه يمكن إهمال الجهد الأسموزي، كذلك الأمر، إذا كانت فروق الارتفاعات صغيرة، مثل سحب الماء Uptake من قبل المحاصيل، عندها أيضاً يمكن إهمال جهد الجاذبية. في التربة التي يكون ذوبان الملح فيها ضمن مستويات عادية، فإن الجهد الكلي للماء، يكون مساوياً لجهد المادة Matric potential:

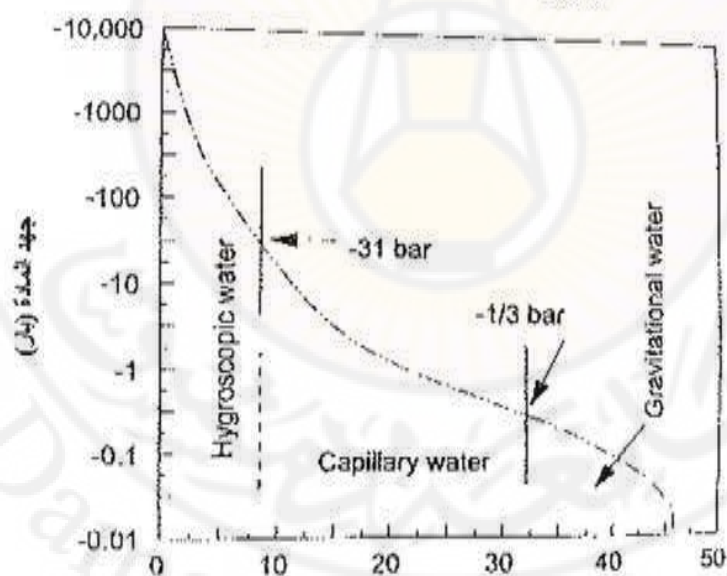
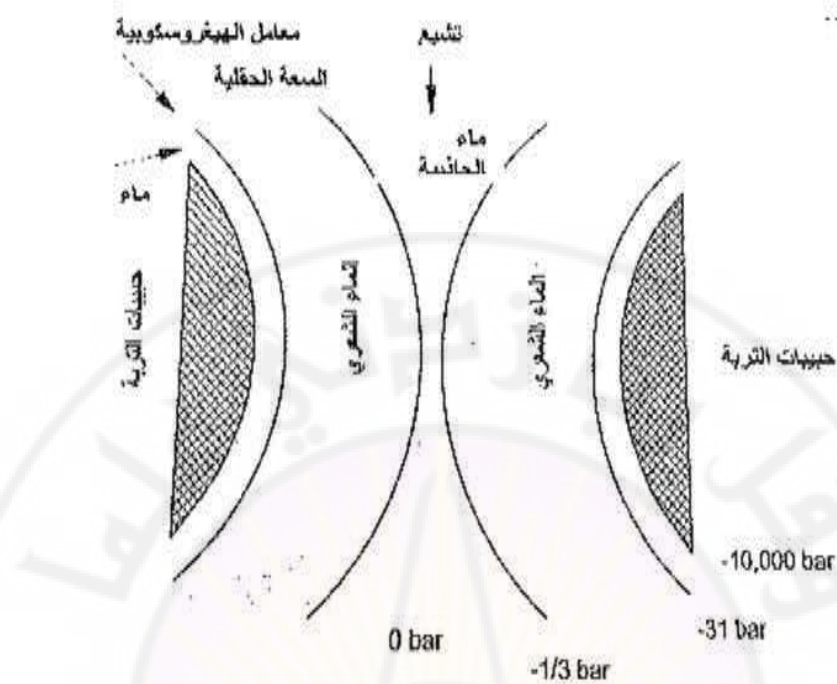
$$\Phi_t = \Phi_m$$

3-9- تصنيف ماء التربة Classification of soil water : الشكل (65)

يوجد الماء في التربة بأشكال عدة، وتختلف هذه الأشكال بعضها عن بعضها الآخر، تبعاً لقوى الجذب أو الارتباط التي يتعرض لها الماء في التربة (سواء أكان على هيئة سائل أم غازي). تحدد محصلة هذه القوى، قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، كما تحدد مقدرة هذا الماء على الحركة عبر مساماتها، ضمن حدود التوازن القائم بين التربة والظروف المحيطة بها (أرضية وجوية).

تلعب خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والمعدنية دوراً مهماً في تحديد محتواها الرطوبي، ويطلق على حالة الاتزان المائي، حالة الاستقرار أو الثبات Hydrostatic state، أما في حال حدوث خلل في الاتزان المائي، فيعبر عنها بحالة الحركة أو الانتقال المائي Hydrodynamic state.

إذا استثنى الماء البلوري والماء المتحرك في التربة على هيئة غازية، فإنه من الممكن تصنيف ماء التربة في أشكال ثلاثة: الماء الهيدروسكوبي، والماء الشعري، والماء الحر أو ماء الجاذبية.



النسبة المئوية للرطوبة (حجمياً)
الشكل (65)، يبين التصنيف الفيزيائي للماء

أ- الماء الهيفروسكوبي Hygroscopic water:

عبارة عن الماء الذي تمتصه حبيبات التربة من بخار ماء الجو المحيط بها، أو من بخار الماء الأرضي. يتوقف مقدار الماء الهيفروسكوبي على الرطوبة النسبية Relative humidity، ودرجة الحرارة وخصائص التربة المختلفة. يحيط الماء الهيفروسكوبي بحبيبات التربة الداعمة، التي تتمتع بسطوح نوعية كبيرة، على هيئة أغشية مائية رقيقة جداً. يرتبط الماء الهيفروسكوبي بحبيبات التربة بقوة كبيرة جداً تصل إلى 10000 بار أو ضغط جوي، وذلك عندما يكون الغشاء المائي مكوناً من جزيء واحد. وتلخض قوة الارتباط عند الحدود الخارجية للأغشية المائية لتصل إلى نحو (50) ضغط جوي. لذلك يعد الماء الهيفروسكوبي غير متاح للامتصاص من النبات. تتفاوت التربة في محتواها من الماء الهيفروسكوبي. حيث تتراوح نسبته بين 1 - 2 % في التربة الرملية، ليصل إلى أكثر من 7 % في التربة الطينية والغنية بالمادة العضوية. يمكن التخلص من الماء الهيفروسكوبي بتجفيف التربة في الفرن على درجة حرارة نحو 105 م°.

إذا وضعت التربة في جو مشبع ببخار الماء، عندها تمتص أكبر كمية من بخار الماء، وتدعى الرطوبة في هذه الحالة بالهيفروسكوبية القصوى، وهي تزيد وسطياً بمقدار 1.5 - 2 مرة على الهيفروسكوبية.

إذا زادت رطوبة التربة عن حد الهيفروسكوبية القصوى، فإن التربة تجذب جزيئات جديدة من الماء، مكونة ما يسمى بالماء الغشائي Film water، ضعيف الالتصاق نسبياً، وتصل ثخاينه بضع عشرات من جزيئات الماء، ويمكن أن تزيد هذه الرطوبة 2 - 4 مرات على الهيفروسكوبية القصوى.

تثبت الرطوبة الغشائية بقوة (50) ضغط جوي، عند حدود تماسها مع الهيفروسكوبية القصوى، وبقوة 3 - 4 ضغط جوي عند الحدود الخارجية لها.

ب- الماء الشعري Capillary water:

يوجد الماء الشعري في فراغات التربة ومساماتها الدقيقة والكبيرة، يملأ الماء هذه الفراغات والمسامات بعد هطول أو ري غزيرين وتسرّب كامل ماء الجاذبية، ويوجد الماء الشعري دائماً بحالة سائلة مغلفاً الماء الهيفروسكوبي، ويتحرك في التربة من المواقع الرطبة

إلى المواقع الأقل رطوبة بالخاصة الشعرية نتيجة للفروق بين الجهود الرطوبة التي تصادف في التربة، وتنتج الخاصة الشعرية عن التوتر السطحي للماء ومن زاوية تماسه مع سطوح حبيبات التربة غير المشبعة، ودعي بالماء الشعري لتشابه حركته في التربة مع حركة الماء في الأنابيب الشعرية.

ويمكن تجاوزاً تقسيم الماء الشعري، من حيث إتاحتة للنبات، إلى ماء شعري غير قابل لإفادة النبات، وهو الذي يملأ المسامات الدقيقة التي لا تتجاوز أقطارها 0.2 ميكرومتر، والماء الشعري القابل لإفادة النبات والموجود في المسامات التي تتراوح أقطارها بين 0.2 - 10 ميكرومتر، وبعد الماء الأخير المصدر الرئيس لتزويد النبات بما يحتاجه من ماء.

عموماً تبدأ الخاصة الشعرية بالظهور في المسام التي تبلغ أقطارها نحو 10 مم، إلا أنها تصبح واضحة في المسام ذات الأقطار من 8 - 100 ميكرومتر.

يمكن قياس مقدار ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية الأسطوانية المنتظمة عند الابتلال التام لجدرانها، استناداً إلى معادلة جورين:

$$H - \frac{2\alpha \cdot \cos \theta}{r g d} = \frac{0.15}{r}$$

حيث:

H : ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية مقدراً بالسم.

$\cos \theta$: تَجِب زاوية الابتلال ، وتساوي 1 للماء عندما تساوي زاوية الابتلال صفراً

α : قيمة التوتر السطحي للماء، وتساوي 72.5 دينة / سم عند حرارة 20 م° .

g : تسارع الجاذبية الأرضية ويساوي 981 سم / ثا² .

d : كثافة الماء غ / سم³.

r : نصف قطر الأنبوب بالسم.

واستناداً إلى أقطار حبيبات التربة، يمكن حساب مقدار ارتفاع الماء بالخاصة الشعرية

تقريباً من المعادلة التالية:

$$H = \frac{0.75}{R}$$

حيث: R: قطر حبيبات التربة بالنسم.

تتميز التربة متوسطة النسيج بحركة الماء الشعري فيها بفعالية أكبر من التربة الطينية، فقد يصل ارتفاع الماء إلى 6 أمتار في الأولى، ويتراوح بين 3 - 4 أمتار في الأخيرة، ويكون أقل من ذلك بكثير في التربة الرملية.

ج- ماء الجاذبية الأرضية Gravitational water:

ويدعى أيضاً بالماء الحر Free water، وهو الماء الذي يستجيب للسحب بقوى الجاذبية، عملياً الماء الزائد عن الخاصية الشعرية، والذي يرتبط بقوة تتراوح بين 0-1/3 بار. ويتحرك ماء الجاذبية باتجاه الأسفل حتى الوصول إلى الماء الأرضي أو حتى الماء الجوفي، أو يتراكم على عمق معين عند وجود طبقات صلبة غير نفوذة للماء. عموماً يمكن القول أن الماء الحر أو ماء الجاذبية متميز للنبات، لكن سرعة تحركه وصرفه من التربة، تجعل فرص الاستفادة منه ضئيلة جداً. ينجم عن تراكم الماء الحر ورفع منسوب الماء الأرضي، بعض المظاهر السلبية، التي تؤثر على تهوية التربة وتغذية النبات والنشاط الحيوي، وغسل العناصر الغذائية في زمن الرش والتسرب.

٩-٤- بعض الثوابت المائية المهمة في التربة Some constants of soil water:

تتأثر الخصائص المائية للتربة بالعديد من العوامل، بعضها يعود إلى ظروف تكوين التربة، وما يترتب على ذلك من خواص فيزيائية وكيميائية محددة، وبعضها الآخر يعود إلى الظروف البيئية والمناخية السائدة والمحيطية بالتربة. هذا ويمكن أن تبدي التربة عند محتوى رطوبي متماثل، سلوكاً متبايناً لكل منها. وعليه فقد تم تمييز عدد من الثوابت المائية التي لها علاقة بتيسر الماء للامتصاص من قبل النباتات، ومن هذه الثوابت:

أ- سعة التشبع الرطوبي Saturation water capacity:

ويطلق عليها أيضاً السعة المائية العظمى Maximum water capacity أو قدرة التربة على حجز الماء Water holding capacity ، وهي أكبر كمية من الماء تستطيع التربة استيعابها بعد طرد كامل الهواء من مسامها، وحلول الماء محله، فهي تمثل نسبة حجم الماء V_w في التربة إلى حجم الفراغات فيها V_f :

$$S = \frac{V_w}{V_f} - \frac{V_w}{V_a + V_w} = \frac{V_w}{V_f - V_s}$$

حيث:

S : سعة التشبع الرطوبي.

V_w : حجم الماء.

V_f : حجم المسامات.

V_a : حجم الهواء.

V_t : الحجم الكلي.

V_s : حجم المادة الصلبة.

تتأثر سعة التشبع الرطوبي، بجميع العوامل التي تؤثر على مسامية التربة λ ، وتبعاً لذلك تكون سعة التشبع الرطوبي للترب خشنة النسيج، أقل بكثير من سعة التشبع الرطوبي للتربة ذات النسيج الداعم كالترب الطينية والطينية السلتية، وهذا يعود إلى قلة قيمة المسامية الكلية λ للترب الرملية مقارنة مع الترب الطينية. بالنسبة للترب العضوية، فإنه يمكن لسعة التشبع الرطوبي أن تزيد عن 100 %، وقد تصل إلى 200 % على أساس الوزن الجاف.

وبسبب ارتباط سعة التشبع الرطوبي بالثوابت المائية الأخرى، فإنها تكتسب أهمية خاصة، حيث وجد أن المحتوى المائي لتربة ما عند درجة التشبع الرطوبي، يعادل تقريباً ضعف محتوى التربة نفسها من السعة الحقلية، وأربعة أمثال محتواها المائي عند نقطة الذبول الدائم، وإذا تم التسليم بذلك، يمكن أن نتوقع تركيزاً من الأملاح في التربة يساوي الضعف عند السعة الحقلية، وأربعة أضعاف عند نقطة الذبول الدائم، عما هو عليه عند سعة التشبع الرطوبي. ويعتمد لتعيين سعة التشبع الرطوبي للتربة، على تحضير عجينة تربة مشبعة

بالماء، ثم حساب المحتوى الرطوبي لهذه العينة على أساس الحجم الجاف أو الوزن الجاف للتربة.

ب- السعة الحقلية Field capacity:

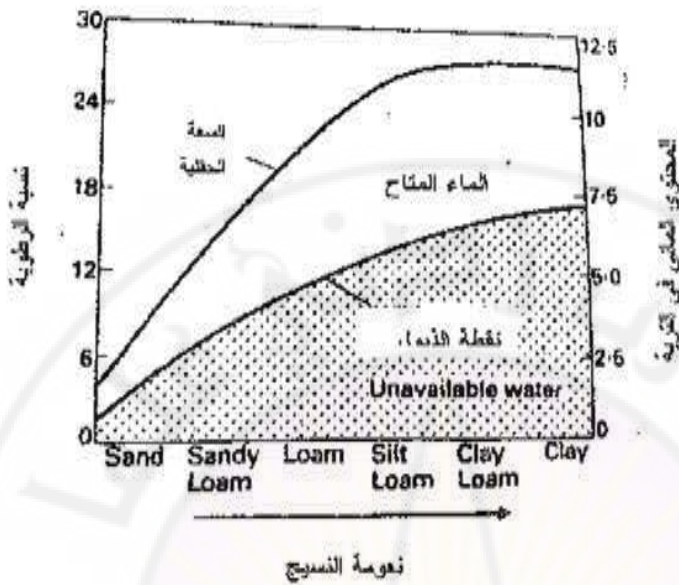
وهي أكبر مقدار من الرطوبة تحتفظ بها التربة، بعد رشح الماء الحر، وعند توقف البخر وارتفاع الماء الأرضي بالخاصة الشعرية. ويتوقف الزمن اللازم للوصول بالتربة إلى درجة السعة الحقلية على مجمل خواص التربة الفيزيائية منها والكيميائية. ويقدر هذا الزمن عادة بنحو 24 إلى 72 ساعة بعد ري كافٍ أو هطول مطري غزير، ويمكن بلوغها في التربة ذات النسيج المتوسط والصرف الجيد خلال 48 ساعة بالمتوسط.

تعد السعة الحقلية للتربة من المؤشرات المهمة على الخصائص المائية للتربة، فعندها تحتوي التربة على أقصى كمية من الماء المتاح Available water للنبات، حيث يمثل نحو 55-75% من مسام التربة بالماء.

تتأثر سعة الرطوبة الحقلية بشكل أساسي بكل من التركيب الميكانيكي للتربة (نسيج التربة)، وتراص التربة، ومحتواها من المادة العضوية، فالترب المترامية تكون سعتها الحقلية أقل من الترب متوسطة التراص.

تختلف الترب في سعتها الحقلية (كنسبة مئوية وزنية)، فهي تتراوح بين 4 - 9 % في الترب الرملية، وتصل إلى نحو 10 - 17 % في الترب شبه الرملية، و من 18 - 30 % في الترب الطينية الخفيفة، أما في الترب الطينية و الطينية الثقيلة فإنها تصل لحدود 33-40%. وقد تصل السعة الحقلية إلى 100 % في الترب العضوية.

وتعد معرفة السعة الحقلية للتربة من الأمور المهمة جداً، نظراً لاستخدامها في تعيين الحد الأقصى لكمية المياه الواجب إضافتها في الري الواحدة من أجل محصول زراعي معين. الشكل(66).



الشكل (66)، يبين علاقة المسعة الحقلية وتيسر الماء للنبات مع نمييج التربة.

ج- السعة الشعيرية Capillary capacity:

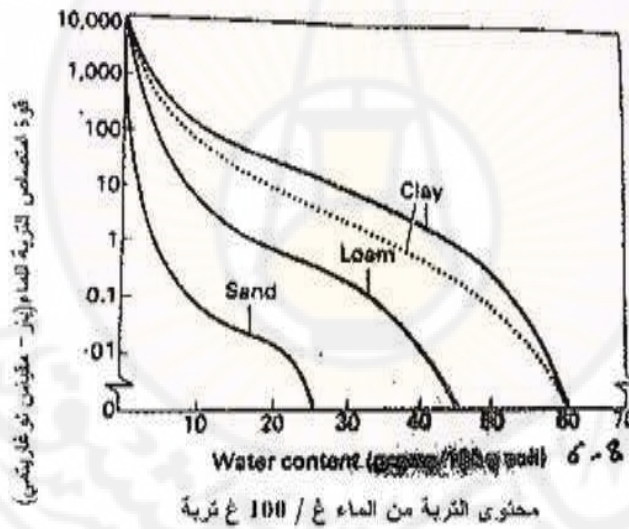
تعبّر السعة الشعيرية عن كمية الماء التي تحتفظ بها التربة على صورة ماء شعيري مرتكز (متصل مع الماء الأرضي)، وتقدر كنسبة مئوية من حجم التربة أو وزنها. يتعلق مقدار الماء الشعيري بعمق مقطع التربة وبعده عن مستوى الماء الأرضي Water table، وكذلك بطبيعة المسامات الشعيرية ودرجة تراص التربة.

٩-٥- قوة امتصاص التربة للماء أو Water suction forces:

عندما يدخل الماء إلى التربة فإنه يقع تحت تأثير قوى متعددة و متباينة تحدد سلوكه وخواصه، من أهمها: قوة جذب الماء على سطوح حبيبات التربة، قوة الامتصاص (قوة فاندرفالس)، الضغط الحلولي، الضغط الشعيري، الجاذبية الأرضية وجهد الضغط الغازي الخارجي.

وتصعب دراسة تأثير كل من تلك القوى بصورة مستقلة في سلوك الرطوبة، لذا يعتمد عادة على المحصلة النهائية لتلك القوى وتسمى جهد الامتصاص أو قوة الامتصاص Suction force إذ تقل هذه القوة كلما ازدادت رطوبة التربة لتتعدى تماماً في التربة المشبعة بالماء لتساوي الصفر، بينما تبلغ حدتها الأقصى في التربة الجافة تماماً لتصل إلى نحو 10 آلاف ضغط جوي. يبين الشكل (67) العلاقة بين قوة الامتصاص ومحتوى التربة من الماء، إضافة إلى قياس قوة الامتصاص بالضغط الجوي فإنه يمكن قياسها أيضاً بمنشورات عمود مائي. علماً أن الضغط الجوي الواحد يساوي 1033 سم عموداً مائياً.

ولقد اقترح سكوفيلد Schofield عام 1935 استبدال قوة الامتصاص (I^s) (المقدرة) بطول عمود مائي بلغاريتم هذه القوة (PF) حيث ترمز إلى لغ الطاقة الحرة أو قوة الامتصاص.



الشكل (67)، يبين العلاقة بين قوة امتصاص الماء في التربة ومحتواها المائي

ويبين الجدول (25) بعض الثوابت المائية وقياس قوة امتصاصها بمختلف الوحدات.

جدول (25)، يبين بعض الثوابت المائية وقياس قوة امتصاصها بمختلف الوحدات

PF	وحدات للقياس		الثوابت المائية
	سحب عمود مائي	ضغط جوي	
صفر	--	-	سعة الرطوبة الشعرية عند مرآة الماء الأرضي
$2.54 >$	$346 >$	$1\frac{1}{3} >$	ماء الجاذبية (بالموسط)
2.54	346	$1\frac{1}{3}$	السعة الحقلية (أقل قوة)
2.7	501	$1\frac{1}{2}$	السعة الحقلية (بالموسط)
4.2	15849	15	معامل الذبول (بالموسط)
4.5	31623	31	المعامل الاسترطابي
4.8	-	-	الاسترطابية القصوى
7.0	10^7	نصل 10^4	الاسترطابية

٩-٦ - معامل الذبول Wilting coefficient:

يستخدم تعبير معامل الذبول أو نقطة الذبول الدائم P.W.P ، للدلالة على الحد الحرج لرطوبة التربة، الذي يظهر فيه على النباتات أعراض الذبول الدائم، أما معامل الذبول الدائم Permanent wilting coefficient ، فيقصد به نسبة رطوبة التربة عند نقطة الذبول الدائم، التي لا تعود عندها النباتات قادرة على استعادة نشاطها ونموها حتى لو وضعت في جو مشبع ببخار الماء، دون إضافة أي ماء للتربة. وعند هذا المستوى من انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، يكون عجز النبات عن امتصاص الماء منها تاماً ودائماً.

لذلك يعد معامل الذبول الدائم من الثوابت المائية المهمة، لأنه يعبر عن احتياطي الماء

غير المتاح للنبات Unavailable water.

بينت العديد من الدراسات، وجود علاقة بين معامل الذبول والهيغروسكوبية القصوى، في مختلف الترب ولمختلف المحاصيل، وهذه النسبة بين معامل الذبول والهيغروسكوبية القصوى تتراوح بين 1-3، وتساوي وسطياً 1.3 - 1.5 في الترب غير المالحة.

لذلك يمكن حساب معامل الذبول بضرب الهيفروسكوبية القصوى للتربة بـ 1.5 . كما يحسب معامل الذبول من المكافئ الرطوبي، وذلك بتقسيم المكافئ الرطوبي على 1.84، ويتغير هذا الرقم من 1.73 إلى 3.82 بحسب نوع التربة.

ويقصد بالمكافئ الرطوبي، كمية الرطوبة التي تبقى في التربة المشبعة إذا ما عرضت لحدود مركزي يساوي 1000 مرة قوة الجاذبية الأرضية ولمدة 30 دقيقة، وتتعادل هذه القوة 3/1 بار تقريباً.

تتفاوت قيمة معامل الذبول الدائم تبعاً لقوام التربة ومحتواها من المادة العضوية والظروف المناخية السائدة التي تؤثر على معدل البخر-تبخ من المسطوح النباتية والتربة، إضافة إلى نوع النبات ونموه ودرجة تحمله للجفاف، عموماً، ورغم اختلاف النباتات في قدرتها على تحمل الجفاف، فإن معظم النباتات تتعرض للذبول الدائم عند قوة شد رطوبي نحو 15 بار تقريباً.

استناداً إلى معامل الذبول من جهة ونسبة الرطوبة في التربة من جهة ثانية، فإنه يمكن حساب الاحتياطي المائي المتيسر أو المنتج في التربة، ويعبر عنه بالمليمتر أو بالـ $\text{م}^3/\text{هكتار}$ ، على أن طبقة من الماء سمكها 1 مم تعادل 10 $\text{م}^3/\text{هكتار}$. ويحسب الاحتياطي المتيسر أو المنتج من المعادلة التالية:

$$W_p = 0.1 (M - W_o) \cdot D \cdot h$$

حيث:

W_p : احتياطي الرطوبة المنتجة أو الميسرة.

0.1 : معامل تحويل من م^3 / هكتار إلى مم.

d : الوزن الحجمي للتربة غ / سم^3

h : عمق طبقة التربة التي يجري فيها الحساب بالسنتيمتر.

M : النسبة المئوية الوزنية للرطوبة.

W_o : معامل الذبول كنسبة مئوية من وزن التربة.

ونكون رطوبة التربة ملائمة من الناحية الزراعية كلما اقتربت من السعة الحقلية، ويجب أن تروى معظم المحاصيل عندما تصل رطوبة التربة إلى نحو 70 - 75 % من السعة الحقلية.

٧-٩- حركة الماء في التربة Movement of water in soil :

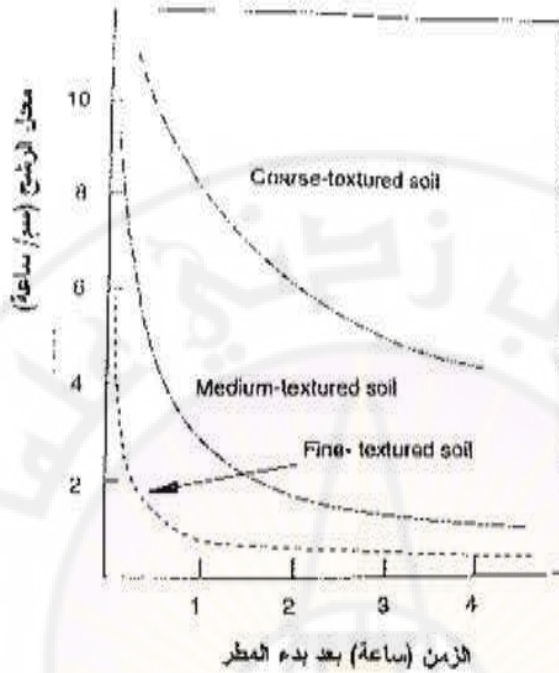
يتحرك الماء في التربة وخلالها بواسطة ثلاث آليات مختلفة: الجريان المشبع Saturated flow ، والجريان غير المشبع Unsaturated flow ، وتوازن البخار Vapor equalization، تعد هذه الآليات الثلاث مهمة، وتسود في مدى معين من جهد المادة Matric potential.

أ- الجريان المشبع Saturated flow :

ويمكن أن يطلق عليه حركة الماء في التربة المشبعة، ويعبر الجريان المشبع عن حركة الماء الحر (ماء الجاذبية)، ويظهر بعد مدة قصيرة من إضافة الماء للتربة (هطول مطري أو ري)، يتأثر الجريان المشبع بعوامل عدة، منها: معدل رشح infiltration rate الماء في التربة ومعدل جريان الماء خلال التربة أي الناقلية المائية Hydraulic conductivity (النفاذية permeability) وأيضاً كمية الماء المضاف وعمقه. يعرف الرشح Infiltration على أنه حركة الماء فحسب في الطبقة السطحية من التربة، لا ينتج الرشح من حركة الماء في المسامات فحسب، بل بسبب انجذاب الماء إلى الجزء الصلب من التربة (جهد المادة).

يتأثر معدل الرشح بشكل رئيسي بكل من نسيج التربة وبنيتها (الشكل ٦٨)، وإيضاً يمكن أن يتأثر بتشبع الطبقة السطحية الناتج عن ضعف الناقلية المائية في الطبقات السفلى، وعموماً يكون معدل الرشح سريعاً في التربة ذات النسيج الخشن بسبب سيادة المسامات ذات الأقطار الكبيرة، بينما يكون معدل الرشح بطيئاً في التربة ذات النسيج الناعم. معتمداً على بنية الطبقة السطحية للتربة.

وتعرض التربة للتراص أو تكوين القشرة السطحية وبالتالي التأثير على تحبب التربة وبنيتها، يؤدي إلى خفض معدل الرشح. في الحقل، بشكل عام ينخفض معدل الرشح مع الزمن، بعد بدء عاصفة مطرية.



الشكل (68) يبين معدل الرشح لتربة مختلفة النسيج .

يعزى انخفاض معدل الرشح مع الزمن بعد هطول مطري ، أو الري ، إلى :

- ♦ تحطم بنية التربة نتيجة للترطيب.
- ♦ حركة حبيبات التربة مع الماء التي تؤدي إلى ملء جزء من المسامات.
- ♦ يؤدي انتفاخ حبيبات التربة إلى خفض حجم المسام.
- ♦ ملء المسام بالماء لكون معدل الرشح أكبر من نفاذية الطبقات تحت السطحية.

تختلف نفاذية الأفق السفلي من مقطع التربة، وهي غير ثابتة، وهذا الاختلاف يعتمد

على حجم وتوزيع المسام في كل أفق، وهذا مرتبط بنسيج الأفق وبنيته.

- قانون دارسي Darcy's law :

تعد معادلة دارسي الأكثر استخداماً لوصف الحركة العمودية للماء بالعلاقة مع الجاذبية الأرضية:

$$Q = \frac{K (d_w) A t}{d_s}$$

حيث:

Q: كمية الماء سم³.

K: الناقلية المائية (النفاذية) للتربة.

A: مساحة التربة سم².

t: الزمن بالثانية.

d_w, d_s : ارتفاع والتربة الماء عن النقطة التي يكون فيها جهد المادة مساوياً للصفر.

يجب الأخذ بالحسبان أن الناقلية المائية للتربة غير ثابتة، وتختلف باختلاف نسيج التربة وبديتها وزمن الترطيب، الجدول (26) يبين الناقلية المائية لبعض المواد.

جدول (26)، الناقلية الكهربائية لبعض المواد

المادة	الناقلية المائية K (cm/sec)
حصى	$10^{-1} \times 1.5$ إلى $10^{-2} \times 2.0$
رمل	$10^{-1} \times 1.2$ إلى $10^{-3} \times 2.0$
لوم	$10^{-4} \times 1.7$ إلى $10^{-7} \times 1.7$
طين	$10^{-9} \times 2.5$ إلى $10^{-9} \times 1.0$

ب- الجريان غير المشبع Unsaturated flow :

يعبر الجريان غير المشبع عن حركة الماء تبعاً لاختلافات جهد المادة، ويظهر الجريان غير المشبع عندما يكون جهد المادة صفر (تربة مشبعة)، إلى النقطة التي يصبح معها الغشاء المائي حول الحبيبات الترابية غير مستمر (ضغط 31 بار)، الذي يعبر عن معامل الهيجروسكوبية. يعد الجريان غير المشبع مسؤولاً عن الحركة الجانبية Lateral

movement للماء خلال عملية الري بالأثلام أو التثقيب، والطريقة السائدة لحركة الماء بالخاصة الشعرية.

كما يعبر الجريان عبر المشبع عن حركة الماء من منطقة يكون فيها الماء مرتبطاً بقوة ضعيفة مع حبيبات التربة، إلى منطقة يكون فيها الماء مرتبطاً بحبيبات التربة بقوة عالية.

ج- توازن بخار الماء Vapor equalization:

يقصد بتوازن البخار، حركة بخار الماء من منطقة يكون فيها الضغط الجزئي لبخار الماء عالياً، إلى منطقة يكون فيها الضغط الجزئي لبخار الماء منخفضاً. يتحرك الماء بهذه الطريقة في جميع الترب وتحت مستويات مختلفة من رطوبة التربة، لكنه يصبح الطريقة السائدة لحركة الماء في الترب الجافة جداً، عندما يكون الماء الغشائي غير مستمر، وبالتالي يجعل من حركة الماء بالجريان غير المشبع بطيئة أو غير ممكنة. بسبب الارتباط القوي بين جزيئات الماء والجزم الصلب من التربة، لا يسمح توازن البخار بنقل كميات كبيرة من الماء. عموماً ينتج عن توازن البخار حركة بخار الماء من طبقات التربة ذات الحرارة العالية إلى الطبقات ذات الحرارة المنخفضة ومن الطبقات الرطبة في التربة إلى الطبقات الأقل رطوبة في نفس التربة، والنقطة الفريدة لظاهرة توازن البخار هي عدم نقلها للذائبات الموجودة في محلول التربة.

التوصيل المائي للتربة Soil hydraulic conductivity :

التوصيل المائي للتربة، ويدعى أيضاً بنفاذية التربة Soil permeability، ويعبر التوصيل المائي للتربة عن كمية الماء التي تستطيع التربة استيعابها وتمريرها خلال طبقاتها، ويمكن تمييز مرحلتين للنفاذية هما: التسرب والرشح، ففي المرحلة الأولى يتسرب الماء في التربة غير المشبعة به، أما الثانية فهي مرحلة الرشح الذي يبدأ من اللحظة التي يمتلئ فيها معظم مسام التربة بالماء، تقاس النفاذية أو التوصيل المائي استناداً إلى قانون دارسي Darcy وفق التالي:

$$Q = K \cdot g_n$$

حيث:

Q : حجم الماء الذي يمر خلال وحدة المساحة.

K : معامل الرش.

g_n : معال الضغط الهيدروليكي ويتعلق بارتفاع عمود التربة.

ويمكن قياس سرعة حركة الماء في التربة من القانون التالي:

$$V = \frac{Q}{S} / t$$

حيث:

V : حجم الماء الراشح أو المنسرب بـ سم³.

S : مساحة التربة بـ سم².

t : الزمن بـ دقيقة أو ساعة أو يوم.....

تتأثر قيمة التوصيل المائي بعوامل عدة منها:

أ- نوعية الماء (نوعية سائل الجريان).

ب- درجة حرارة التربة.

ج- العوامل الحيوية Biological factors (نوع وكثافة الأحياء الدقيقة في التربة).

د- تركيز الأملاح الكلية في التربة ومحلولها.

الرشح Infiltration :

يعبر الرشح عن عملية دخول الماء عبر سطح التربة باتجاه الأسفل تحت تأثير كل من

قوى الجاذبية الأرضية والشعرية. يشير معدل الرشح Infiltration rate إلى كمية (حجم)

الماء التي يمكن أن تجتزأ وحدة مساحة سطح التربة خلال وحدة الزمن .

عند بداية الرش تكون القوى الشعرية هي السائدة على قوة الجاذبية الأرضية. أما في المراحل المتقدمة لعملية الرش في طبقات التربة التي سبق ورطبت بجري الماء فيها بشكل أساسي تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

عندما يبدأ الماء بدخول سطح التربة يملأ المسامات الكبيرة أولاً ثم يملأ المسامات الصغيرة وباستمرار دخول الماء المضاف يتحرك الماء للأسفل بتأثير كل من عملية التوصيل المائي المشبع وغير المشبع التي تخضع لكل من جهد الجاذبية الأرضية والقوى الشعرية على التوالي. وتستمر هذه الحركة مادام الماء متوافراً على سطح التربة ومادام لا يعيق حركته في قطاع التربة أي عائق.

نظراً لضعف القوى الشعرية في الأتربة الرملية فإن حركة الماء نحو الأسفل تكون سريعة بفعل جهد الجاذبية الأرضية ويتحرك الماء بشكل عمودي أكثر من انتشاره أفقياً، بينما يكون الماء في الأتربة الطينية أبطأ ويتحرك في الاتجاهات الأفقية والعمودية على حد سواء. إن قابلية التربة لامتصاص الماء بالرشح ليست ثابتة خلال مدة الرش، فمعدل الرشح يميل إلى الانخفاض مع الزمن في أثناء فترة الرش.

٨-٩- الماء المتيسر في التربة Available soil water:

يقصد بالماء المتيسر للنبات، ذلك الجزء من ماء التربة الذي يستطيع النبات امتصاصه، وهو الماء الذي تحتجزه التربة بين السعة الحقلية، التي تعد قريبة حقلية للحد الأعظمي لقابلية ماء التربة للإفادة، وبين نقطة الذبول الدائم Permanent wilting point، وهي الحد الأدنى، أي يعد الماء قابلاً لإفادة النبات عندما تكون قوة الشد الرطوبي بين $(\frac{1}{3})$ إلى (31) ضغط جوي.

وبعد الفرق بين الحد الأعلى والحد الأدنى، مدى ذا أهمية كبيرة في دلالاته على ملائمة التربة للزراعات المختلفة، في الظروف المناخية المتباينة. وعلى قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وإمداد النبات به.





الفصل العاشر
تصنيف التربة
Soil classification



الفصل العاشر تصنيف التربة Soil classification

١-١- مقدمة Introduction:

يعد تصنيف التربة أحد فروع علم التربة Pedology، ويقارب غيره من التصنيفات من حيث الهدف، الذي يعنى أساساً بوضع الترب المتماثلة في مجموعة واحدة، بهدف تسهيل عملية إدارتها واستثمارها. لكن تصنيف التربة يختلف عن غيره من التصنيفات الأخرى (التصنيف النباتي أو الحيواني)، بوجود مدارس متعددة، تتباين فيها الأسس والمبادئ المعتمدة في كل مدرسة. إلا أنه تبذل جهود كبيرة وحثيثة للوصول إلى نظام تصنيفي عالمي، وما النظام التصنيفي الذي صدر مؤخراً (2006) تحت اسم المرجع العالمي الأساسي لموارد التربة WRB إلا ثمرة للجهود المبذولة في هذا المجال.

على الرغم من الجذور القديمة لتصنيف التربة، التي تعود إلى ما قبل الميلاد (خاصة في الصين)، وستينيات القرن السابع عشر (بريطانيا)، وإن اختلف الهدف عما هو عليه الآن، يعد تصنيف التربة من العلوم الحديثة نسبياً. إذ بدأ فعلياً مع نهاية القرن التاسع عشر على يد العالم Dokuchaev وزملائه في روسيا، ومطلع القرن العشرين على يد كل من Hilgard و Coffey و Murbul وغيرهم في الولايات المتحدة.

لقد اتفق الجميع آنذاك بأن هناك مجموعة من العوامل التي تساهم في تكوين التربة، إلا أن ديكوتشايف أعطى الأهمية الأكبر لكل من عاملي الخطأ النباتي والمناخ، وتم التركيز في منهجية التصنيف على منشأ التربة، لذلك أطلق على نظامه التصنيفي التصنيف المنشئي . Genetic classification

وضع Jenny (1941)، وصفاً تفصيلياً لعوامل تكوين التربة الخمسة الرئيسية (المناخ، المادة الأم، التضاريس، الأحياء، الزمن)، إضافة إلى بعض العوامل الثانوية، وأكد Simonson (1959)، أن العديد من العوامل المنشئية قد تحدث في الوقت نفسه أو بأوقات متتالية، لذلك فالاعتماد مباشرة على العمليات المنشئية في تصنيف التربة قد يكون غير مجدي. هناك علماء تربة آخرون مثل Guy D. Smith أكدوا أن منشأ التربة أو العمليات المنشئية في التربة على قدر كبير من الأهمية في تصنيفها، لكن لا يمكن اعتمادها كأساس

لتصنيف التربة، لأنه من الصعوبة بمكان القيام بعملية تقدير لهذه العمليات أو مراقبتها فعلياً في الحقل.

خلقت الأفكار السابقة جدلاً كبيراً بين بعض علماء التربة، وخاصة في الولايات المتحدة، خلال الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي، إضافة إلى ذلك لم يكن هناك اتفاق حول تصنيف عدد من الترب اعتماداً على منشئها، علماً أن المعلومات المتوافرة حول عمليات تكوين التربة لازالت محدودة، لأن المعرفة لازالت غير كاملة حول هذه العمليات، لذلك فقد أصبح من الواضح (بحسب رأي العلماء الأمريكيين) أن السعي لوضع نظام تصنيفي يكون موضوعياً Objective بدلاً من أن يكون ذاتياً Subjective.

على الرغم من تعدد مدارس علم التربة، فإنه عند تصنيف الترب، لابد من مراعاة الأمور التالية:

- أ- تحديد الغاية من التصنيف.
- ب- تحديد الأسس التي سيقوم عليها التصنيف وصياغتها بدقة.
- ج- إعداد نظم الوحدات التصنيفية المتسلسلة، رتبة، تحت رتبة، نمط،.....
- د- تحديد الملامح التي تنصف بها كل وحدة تصنيفية في الطبيعة، وإبرازها على خرائط التربة.

ويعتمد التصنيف على الأسس التالية:

- أ- الخصائص الرئيسة للترب وظروف تكوينها.
- ب- الخصائص والملامح المكتسبة نتيجة استثمار الترب في الزراعة.
- ج- الخصائص الإنتاجية للترب وطرائق استثمارها بصورة سليمة.

تهتم التصنيفات الحديثة بالبنية المورفولوجية والميكرومورفولوجية للترب، والمسارات الرئيسة لعملية تكوين الترب، ونوعية المادة العضوية، والنظم الحرارية والمائية والهوائية والغذائية للترب، كما تهتم بطبيعة الدورة الحيوية للمواد، مما يسمح بتوضيح الخصائص الزراعية للتربة، ويؤدي إلى إمكان تقويمها على الوجه الأمثل.

عموماً يمكن تلخيص الأهداف العامة للتصنيف بالتالي:

- أ- ترتيب المعرفة حول الترب وتطبيقاتها.
- ب- فهم العلاقة بين أنواع الترب المختلفة.
- ج- إنشاء مجموعات وصفوف من أجل أهداف عملية مثل:
 - التنبؤ بسلوك التربة.
 - تحديد الاستعمال الأفضل.
 - تخمين الإنتاجية.
 - التوسع في تعميم نتائج الأبحاث.

١٠-٢ - أنظمة تصنيف التربة: Soil classification systems

أ - نظام التصنيف الأمريكي Soil Taxonomy:

بدأ علماء التربة الأمريكيان بتطوير نظام تصنيفي خاص بهم ودعي آنذاك بالنظام التصنيفي التقريبي Approximation وقد عرض لأول مرة في المؤتمر الدولي لعلوم التربة في Madison عام 1960، لكن النظام الجديد كان غير كامل وبالتالي لم يتم تبنيه، واستمر العمل في تطوير هذا النظام وتعديله، بناء على المعطيات الجديدة عن خصائص التربة المختلفة حتى العام 1975، حيث صدر النظام التصنيفي الأمريكي الجديد تحت عنوان Soil Taxonomy. على الرغم من صدور النظام التصنيفي الجديد، الذي اعتمد في أساسه على:

١. تصنيف التربة بحسب خصائصها.
٢. يجب أن تكون هذه الخصائص قابلة للملاحظة (الوصف) أو القياس.
٣. أن تكون خصائص التربة ذات تأثير في منشأ التربة أو ناتجة عن العمليات المنشئية في التربة.

حتى بعد صدور Soil Taxonomy عام 1975، وجد أن هناك حاجة لتطوير هذا النظام من خلال الاستمرار في تجميع المعلومات عن التربة، بدأ منذ منتصف الثمانينات صدور كتب كل عامين سمي مفاتيح لتصنيف التربة Keys to Soil Taxonomy، وصدر هذا الكتاب مستمر إذ صدر آخر عدد منه عام 2010، كذلك صدرت طبعة معدلة عن Soil Taxonomy عام 1999.

١- أسس نظام التصنيف الأمريكي : Principles of USDA Soil Taxonomy

لم يعتمد نظام التصنيف مباشرة على منشأ التربة، بل اعتمد على خصائص التربة، ونتائج العمليات المنشئية التي يمكن مشاهدتها أو وصفها أو قياسها، والتي يمكنها أن تؤدي دوراً في التأثير على سلوك التربة أو خصائصها، وقد جمعوا هذه الأفكار إضافة إلى الظروف المناخية المحيطة بالتربة في ثلاثة أسس هي:

- أ- الأفاق التشخيصية للتربة Soil diagnostic horizons
- ب- الصفات التشخيصية للتربة Soil diagnostic properties
- ج- نظاما الرطوبة والحرارة للتربة Soil moisture and temperature regimes

أ - الأفاق التشخيصية: Diagnostic horizons

لقد تم حتى الآن تشخيص 27 أفقاً، منها ثمانية أفاق سطحية، و 19 أفقاً تحت سطحي.

٢- الأفاق السطحية وتدعى Epipedons :

تعني كلمة epipedon التربة العليا (الطبقة السطحية من التربة) (مشتقة من اليونانية، ومعناها epiover أو Upon أي أعلى أو فوق، و Pedon معناها Soil أي التربة). تتشكل هذه الأفاق على سطح التربة أو قريباً منه، حيث تحطم معظم البناء الصخري، وتحدث دكنة في اللون بوساطة المادة العضوية، أو أن هذا الأفق يبدي آثاراً لعملية الغسل أو كليهما، كما تخلق هذه الأفاق من التطبيق الرقيق Fine stratification (سماكتها أقل من 5 مم) في الرسوبيات غير المتصلبة (ريحية، مائية، بحرية...)، وفيما يلي وصف موجز لهذه الأفاق السطحية، مع التركيز على الأفاق الأكثر انتشاراً في مناطقنا.

:Anthropic epipedon

يتكون هذا الأفق من مواد تربة معدنية تعرضت للتخريب بوساطة النشاطات البشرية الزراعية عند خلطها لعمق 18 سم، أو خلط كامل مادة التربة إذا كان هناك عائق ميكانيكي (طبقة صلبة، صخور متواصلة، صخور متشققة...)، فإن هذا الأفق يتصف ببعض الصفات منها:

- وحدات بنائية أقطارها، أقل من 30 سم متوسطة القساوة أو طرية، بنية صخرية أو تطبق في أقل من نصف حجم الأفق، قيمة أو إضاءة اللون 3 أو أقل رطب، والنقاء 3 أو أقل رطب أيضاً.

- 0.6-2.5 % كربون عضوي.

... العمق 25 سم أو أكثر.

- المحتوى من الفوسفور أكثر من 1500 مغ/كغ (الاستخلاص بحمض الستريك)، ويتناقص المحتوى من الفوسفور تدريجياً مع العمق.

- جميع أجزاء الأفق رطبة مدة نقل عن 90 يوماً تراكمياً، ودرجة الحرارة على عمق 50 سم 5 °م أو أكثر. إذا كانت التربة غير مروية.

- قيمة n (n value) أقل من 0.7.

Folistic epipedon:

عبارة عن طبقة (أفق أو أكثر)، تكون مشبعة بالماء مدة نقل عن 30 يوماً (تراكمياً) في السنوات العادية (ولم يتعرض لعملية صرف) ويتكون غالباً من مواد عضوية.

Histic epipedon — أفق عضوي (من اليونانية Histos = tissue = نسيج):

عبارة عن طبقة عضوية تتألف من أفق أو أكثر، ويتعرض للإشباع بالماء مدة تتجاوز 30 يوماً (تراكمياً)، وعمليات إرجاع لبعض الوقت خلال السنوات العادية (أو تعرضت لعمليات صرف) وتتكون هذه الطبقة غالباً من مواد عضوية.

Melanic epipedon (من اليونانية melas = black = أسود):

عبارة عن أفق أسود اللون يحتوي على مواد تتمتع بالصفات الأندية Andic soil properties (ستعرف لاحقاً)، وتحتوي على كمية عالية نسبياً من المادة العضوية (6%).

Mollic epipedon (من اللاتيني Mollis = Soft = طري):

يتكون هذا الأفق من مواد تربة معدنية بعد خلطها لعمق 18 سم، أو إذا كان هناك مانع ميكانيكي، فيكون إلى العمق الأقل، ويكصف بالصفات التالية:

- وحدات بنائية أولية أو ثانوية أقطارها أقل من 30 سم، بناء متوسط القساوة أو طري.

- خالٍ من بنية الصغور والتعلق في أكثر من نصف حجم الأفق.

- لون قيمته 3 أو أقل رطب، و 5 أو أقل جاف، النقاوة 3 أو أقل رطب، وإذا احتوت حبيبات التربة الناعمة على 15 - 40% كربونات كالسيوم، تكون القيمة والنقاوة 3 أو أقل رطب، وإذا كان محتوى التربة من كربونات الكالسيوم 40% أو أكثر تكون القيمة 5 أو أقل رطب.

- نسبة التشبع بالقواعد 50% أو أكثر.

--- يحتوي على 2.5% كربون عضوي، ويمكن قبول نسبة 0.6% كربون عضوي في بعض الحالات.

- سماكة الأفق 25سم أو أكثر، أو 10سم أو أكثر إذا توضع مباشرة على صخرة أم.

--- محتوى الأفق من الفوسفور أقل من 1500 مغ/كغ (مستخلص بوساطة حمض الستريك)، ويتناقص محتوى التربة من الفوسفور بشكل غير منتظم مع العمق.

- جزء من الأفق يكون رطباً Moist لمدة 90 يوم أو أكثر (تراكيمياً) في السنوات العادية، ودرجة الحرارة على عمق 50سم 5° م أو أعلى.

- قيمة n : n value، أقل من 0.7 (قيمة n تعبير عن العلاقة بين النسبة المئوية للماء في التربة في ظروف الحقل، والنسبة المئوية للماء في الطين المعدني والذبال، وتقيد في تخمين حمولة التربة من الماشية أو الآلات أو أي أفعال أخرى).

$$n = (A - 0.2 R) / (L + 3H)$$

A = % للماء في التربة في ظروف الحقل (تجسب على أساس التربة الجافة).

R = % للرمال + السلت.

L = % للطين.

II = % للمادة العضوية (النسبة المئوية للكربون العضوي $\times 1.724$).

الأفق العادي أو الشاحب Ochric (من اليونانية ochros = شاحب أو مصفر):

وهو أكثر أنواع الأفاق السطحية انتشاراً، يتوضع على سطح التربة، وسماكته هي سماكة طبقة الحرائة، أو 18سم إذا كانت الأرض غير محروثة، ولا يحتوي على صخور أو مواد متطبقة بشكل عام، هذا الأفق لا يمتلك صفات أي من الأفاق السطحية السبعة الأخرى،

فهو شاحب اللون، قليل السماكة، محتواه منخفض من المادة العضوية، قد يكون قاسياً ومصمناً، ويمكن عذّه أيضاً أفقاً مغسولاً يتوضع فوق بعض أفاق التراكم، مثل الأفق الطيني وأفق التجوية، أفق البذلة، وغيرها....

الأفق Plaggen (من الألمانية Sod = Plaggen - مرج أو عشب):

وهو طبقة سطحية سماكتها 50 سم أو أكثر، تكونت بفعل الإنسان (لذلك تسمى (man - made horizon - manure) بسبب إضافات مستمرة مدداً طويلة من الزيل.

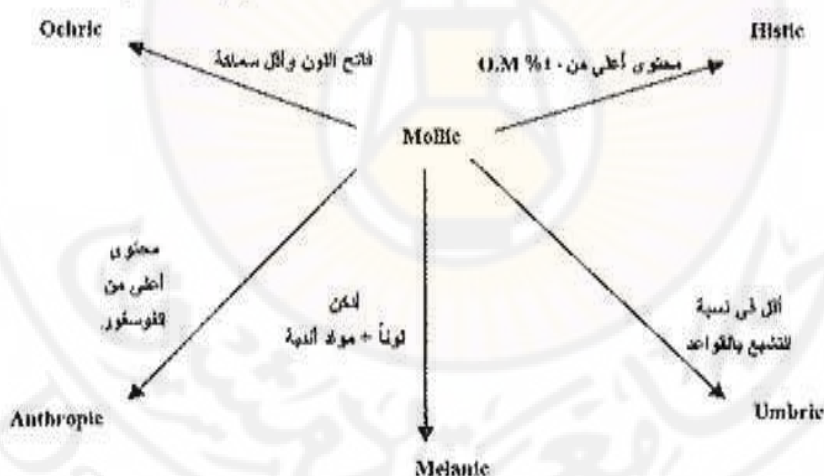
أفق Umbric (من اللاتينية Umbra = dark - shade = داكن):

أفق سطحي يتألف من مواد ترابية معدنية، وبعد خلط مكوناته لعمق 8 اسم، أو أي عمق أقل إذا كان هناك مانع ميكانيكي أو فيزيائي، فإن مواصفات هذا الأفق تشبه تماماً مواصفات الأفق Mollic هذا:

أ- نسبة التشبع بالقواعد أقل من 50%.

ب- المحتوى من الكربون العضوي حد أدنى 0.6% فحسب.

يمكن تمثيل العلاقة بين الأفاق السطحية بالشكل التالي (شكل 69).



الشكل (69)، يبين مقارنة موجزة بين الأفاق السطحية Epipedons

٢- الأفاق التشخيصية تحت السطحية : Diagnostic subsurface horizons

يقصد بالأفاق التشخيصية تحت السطحية في هذا السياق، تلك الأفاق التي تتكون تحت سطح التربة، على الرغم من أنها تتكون في بعض المناطق تحت طبقة مهاد من الأوراق النباتية، يمكن لهذه الأفاق أيضاً أن تتكون مباشرة على سطح التربة، وذلك في حالة تعرض التربة لعمليات إزاحة أو انجراف. تعدُّ بعض من هذه الأفاق عموماً على أنها الأفق B، وبعضها بعد أفق B من قبل بعض إخصائي التربة وليس جميعهم، لكن بعضهم الآخر يعدها جزءاً من الأفق A.

وفيما يلي وصف للأفاق التشخيصية تحت السطحية مع التركيز على الأفاق المنتشرة في منطقتنا:

الأفق Ager h (من اللاتينية = Field = حقل):

يوجد تحت الأفق AP (أفق الحراثة) مباشرة، يتكون تحت تأثير عمليات الحراثة والزراعة، ويحتوي على كميات معقولة من السلت والطين والذبال المتراكم من الأفق الأعلى.

الأفق الأبيض Albic h (من اللاتينية = Albus = white - أبيض):

عبارة عن أفق مغسول سماكته 1.0 سم أو أكثر يحتوي على 85% أو أكثر (حجمياً) مواد مبيضة Albic materials (عبارة عن مواد ترابية يسودها لون الرمل والسلت الأولى أكثر من لون الأغلفة Coatings).

يتوضع هذا الأفق غالباً تحت الأفق A، وقد يكون على السطح، ويوجد تحت الأفق المبيض غالباً واحد من الأفاق التالية: الطيني، السودي، أفق الكامي، الكاندي، السودي أو Fragipan، وقد يأخذ موقعاً بين أفقين من الأفاق السابقة.

الأفق الطيني Argillic h: (من اللاتينية وتعني الطين أو الغضار الأبيض)

أفق تحت سطحي عادة مع محتوى عال نسبياً من معادن الطين الورقية قياساً بالأفق أو بالأفاق التي تعلوه، وقد يكون على سطح التربة عند تعرضها للانجراف، ولأفق الطيني المتطلبات التالية:

... يجب أن تكون سماكة الأفق 7.5 سم على الأقل أو 10/1 مجموع سماكة آفاق مقطع التربة، وذلك عندما يكون نسيج التربة سلتياً أو أنعم، أو 15 سم في الحالة العادية، وإذا

كان الأفق الطيني عبارة عن رقائق Lamellae سماكتها 0.5 سم أو أكثر، بحسب أن يكون مجموع سماكة هذه الشرائط 1.5 سم أو أكثر.

- دلائل على وجود ترسيب الطين Clay illuviation، إما على شكل جسور تربط حبيبات الرمل بعضها مع الآخر، أو رقائق من الطين على سطوح الوحدات البنائية، أو رقائق تغلف بطانات (الجدار الداخلي) المسام، أو تشغل 1% على الأقل من مساحة شريحة التربة Soil thin section، مغطاة بطبقة موجهة من الطين Oriented clay bodeis.
- أن يحتوي الأفق الطيني على كمية من الطين أكبر من الأفق السطحي بنسبة 1.2، وإذا كانت نسبة الطين في الأفق الذي يعلو الأفق الطيني أكثر من 40%، فإن نسبة الطين في الأفق الطيني يجب أن تزيد بمقدار 8%.

الأفق الكلسي Calcie horizon: (من اللاتينية calx، كلس)

الأفق الكلسي أفق تتراكم فيه كربونات الكالسيوم (أو غيرها) الثانوية إلى حد عال نسبياً، وتتلخص متطلبات هذا الأفق بالتالي:

- ... سماكته 5 سم أو أكثر.
- غير متصلب أو قاسي إلى درجة يصبح معها مكافئاً لمتطلبات الأفق الكلسي المتصلب (المتحجر).
- ... 15% كربونات كالسيوم مكافئة (وزنياً) و زيادة على الأفق السطحي بـ 5%، أو أكثر كربونات كالسيوم مكافئة، أو 15% كربونات كالسيوم (وزنياً)، و 5% كربونات كالسيوم ثانوية (حجمياً)، أو 5% كربونات كالسيوم مكافئة، مع أقل من 18% طيناً وهيكلاً رملياً، و 5% أو أكثر (حجمياً) كربونات كالسيوم ثانوية قابلة للتمييز.

أفق التجوية (التغير) Cambic horizon: (من اللاتينية cambiare، تغير)

يتكون هذا الأفق نتيجة لعمليات التجوية الفيزيائية، التحولات الكيميائية، أو عملية الغسل، منفردة أو مجتمعة، والأفق Cambic عبارة عن أفق تجوية سماكته 1.5 سم أو أكثر، وإذا تكون من رقائق يكون مجموع سماكتها 1.5 سم أو أكثر، وإضافة إلى ذلك يجب أن ينصف بالتالي:

- نسيج رملي ناعم أو أنعم، و ظهور بعض آثار لعمليات التجوية بشكل واضح، وذلك من خلال واحدة مما يلي:

أ - بداية تشكل بنية للتربة، أو غياب البنية الصخرية في أكثر من نصف الأفق حجمياً، وعدم تغيير اللون عند تعريض التربة إلى الهواء.

ب - لون أدكن من الأفق الأعلى أو وضوح في عملية نقل وتركيب كربونات الكالسيوم أو الجبس.

- ليس له صفات تعود إلى أي من الأفاق الأخرى.

- لا يشكل جزءاً من الأفق السطحي.

الأفق Duripan (صمان) (من اللاتينية durus = hard - hardpan = طبقة قاسية):

عبارة عن أفق تحت سطحي متصلب ومادة التصلب هي السيليكا Silica، إلى درجة

أن أجزاء من الأفق الجافة هوائية، لا تنفكت عند دقها في الماء أو حمض كلور الماء.

الأفق Fragipan (من اللاتينية fragilis - brittle) :

حتى يعد الأفق من النوع Fragipan يجب أن يمتلك جميع الصفات التالية:

- سماكة 15 سم أو أكثر.

- أن يبدي الأفق حدوث بعض العمليات المنشئية.

... بنية خشنة عامودية، موشورية أو كتلية من أية درجة.

- قطع جافة هوائياً من الأفق تنفكت في الماء، ولا تحدث فوراً مع HCl مخفف.

الأفق Glossic (من اليونانية glossa = Tongue = لسان):

يتكون هذا الأفق بسبب تدهور كل من الأفاق: الطيني، الصودي، الكاندي Kandic،

حيث يحصل تحريك وانتقال لكل من أكاسيد الحديد الحرة والطين، سماكة هذا الأفق 5 سم أو

أكثر يتألف من جزأين:

- الجزء المغسول (المواد البيضاء Albic material)، والتي تكون من 15-85%

حجمياً من الأفق.

- جزء متراكم من بقايا من الأفق الطيني أو الكاندي أو الصودي.

الآفك الجبسي Gypsic: (من اللاتينية gypsum، جبس)

وهو آفك ترسيب Illuvial h، حيث يتراكم جبس ثانوي Secondary gypsum إلى حد معقول. وتتلخص متطلبات هذا الآفك بالتالي:

- سماكته 1.5 سم أو أكثر.
- غير متصلب أو قاسٍ بسبب الجبس إلى الدرجة التي يصبح معها مكافئاً لمتطلبات الآفك الجبسي المتصلب.
- يحتوي على 5% أو أكثر وزناً من الجبس، و 1% أو أكثر حجمياً جبس ثانوي مرني.
- ناتج ضرب السماكة بالسهم مع المحتوى من الجبس (النسبة المئوية وزنياً) تساوي 150 أو أكثر.

الآفك Kandic h: (محدرة عن kandite و هي التسمية التكنولوجية لمجموعة الكاولينيت)

- آفك تحت سطحي متواصل شاقولياً، ويقع تحت آفك سطحي له نسيج أخشن، سماكة الآفك السطحي 18 سم على الأقل بعد الخلط، أو 5 سم، وإذا كان الانتقال النسيجي إلى الآفك الكاندي مفاجئاً.
- تزداد كمية الطين في الآفك الكاندي من 4 - 20% عن الآفك السطحي.
- سماكته 30 سم.
- قوامه رملي ناعم جداً أو أنعم.
- له سعة تبادل كاتيوني ظاهرية 16 ملليمول/كغ أو أقل (طريقة أسيتات الأمونيوم pH=7)، وسعة تبادل كاتيوني فعلية ECEC 12 ملليمول/كغ أو أقل.
- كمية المادة العضوية تتناقص تدريجياً مع العمق.

الآفك الصودي Natric h (من اللاتينية الحديثة = Sodium - Natrium - صودي):

يمتلك هذا الآفك، إضافة إلى متطلبات الآفك الطيني، ما يلي:

- إما :
- بنية عامودية أو موشورية يمكن أن ينكسر إلى كتلي.
- بنية كتلية ومواد مغسولة تحتوي على حبيبات سلت أو رمل غير مغلفة، وتمتد إلى أكثر من 2.5 سم في الآفك

وإما :

- ESP 15% أو أكثر (أو SAR 13% أو أكثر).
- مغنيزيوم متبادل + صوديوم متبادل أكثر من كالسيوم متبادل + حموضة متبادلة،
(عند PH 8.2).

الأفق Ortstein: يونانية مركبة من كسر و خرف

ومتطلباته:

- أفق مملط يتكون من مواد سبودية.
- موجود في طبقة، 50% أو أكثر منها متصلب.
- سماكته 25 سم أو أكثر.
- يمكن أن لا يشكل طبقة أو أفقا، وإنما أعمدة شاقولية أو عقيدات مختلفة.

الأفق Oxic: (محوارة عن oxide، فرنسية، أكسيد)

أفق تحت سطحي، لا يحتوي على صفات التربة الأندية Andic soil Properties وله جميع المواصفات التالية:

- سماكته 30 سم أو أكثر.
- قوامه أو نسجه رملي لومي أو أنعم.
- أقل من 10% معادن قابلة للتجوية، في حبيبات التربة ذات الأقطار 50 - 200 μ .
- بنية صخرية لا تشغل أكثر من 5% من حجم الأفق، إلا إذا كانت الفلسزات القابلة للتجوية مغلفة بالأكاسيد.
- زيادة في كمية الطين في مسافة عمودية تساوي 15 سم، مع زيادة العمق.
- سعة تبادل كاتيونية 16 سنتيمول/كغ أو أقل (طريقة أسيتات الأمونيوم، 1 نظامي،
PH=7).

الأفق الكلسي المتصاب المتصخر Petrocalcic (عن اليونانية rock = petra = صخرة):

- أفق تراكمت فيه كربونات الكالسيوم الثانوية ووصلت إلى مرحلة التصلب أو التصلب،
والصفات المطلوبة في هذا الأفق:
- مادة التصلب أو التفسية هي كربونات الكالسيوم مع مواد لاحمة أخرى أو دونها.

... تستطیع الجذور اختراقه على طول الشقوق الشاقولية فحسب، مع مساحة أفقية 10سم أو أكثر.

- سماكته 10 سم أو أكثر أو 1سم إذا كان بشكل شرائط على الصخرة الأم مباشرة.

الأفق الجبسي المتصلب أو المتصخر Petrogypsic:

أفق سماكته 5سم أو أكثر، تراكم فيه الجبس إلى مرحلة التصلب أو القساوة، صفاته:

- مادة التصلب أو التفسية هي الجبس مع مواد لاحمة أخرى أو دونها.

... تستطیع الجذور اختراقه على طول الشقوق العمودية فحسب مع مسافة أفقية 10سم أو أكثر.

- سماكته 10سم أو أكثر

... يحتوي الأفق على 5 % جبس، ونتائج ضرب سماكته (سم) مع محتوى من الجبس (% يساوي 150 أو أكثر).

أفق تراكم الحديد Placic (من اليونانية Flat stone = حجر مسطح):

أفق رقيق، أسود إلى أحمر داكن، مادة التصلب هي الحديد (أو حديد ومنغنيز) والمادة العضوية، مع مواد أخرى أو دونها، وتخترقه الجذور في مناطق التشقق، وسماكته 1سم على الأقل، وأساس تكوين هذا الأفق يعود إلى عملية الأكسدة والإرجاع.

الأفق الملحي Salic: (لاتينية Sal - ملح)

يتكون هذا الأفق بسبب تراكم الأملاح الأكثر ذوباناً من الجبس في الماء البارد، وصفاته: سماكة الأفق الملحي 15سم أو أكثر وينتصف، طبلة 90 يوماً مثالية أو أكثر في السنوات العادية بما يلي:

- دافلية كهربائية EC 30 m/ds أو أكثر في مستخلص عجينة تربة مشبعة.

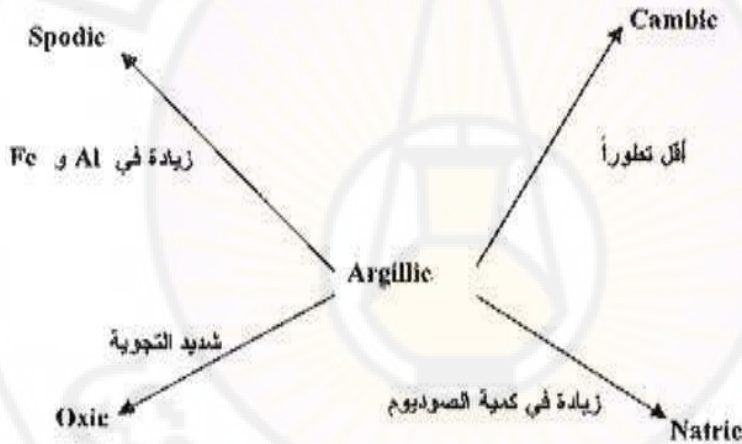
... ناتج ضرب الناقلية m/ds بالسماكة (سم) يساوي 900 أو أكثر.

الأفق Sombrie (من الفرنسية sombre = Dark = داكن):

أفق تحت سطحي تكون في ظروف صروف حر، يحتوي على دبال ترسيبي، غير مترافق بالألومنيوم أو بالصوديوم، ليس له سعة تبادل كاتيوني عالية، ويعتقد أن هذا الأفق خاص بقرب المناطق الباردة والرطبة من الهضاب المرتفعة والجبال في المناطق المدارية و شبه المدارية.

الأفق السبودي Spodic: (من اليونانية spodos = رماد الخشب)

أفق ترسيبي يحتوي على 85% أو أكثر من مواد مسودية، وهو عادة أفق تحت سطحي، سماكته 2.5سم أو أكثر. ويمكن تمثيل العلاقة بين الأفاق تحت السطحية بالشكل التالي (شكل 70).



الشكل (70)، يبين العلاقة بين بعض الأفاق التثخيصية تحت السطحية

ثانياً - صفات التربة التثخيصية:

صفات التربة التثخيصية، عبارة عن خصائص التربة التي استخدمت في مواقع تصنيفية مختلفة أو في تعريف بعض الأفاق التثخيصية.

٢- التغيير النسيجي المفاجئ: Abrupt texteral change:

يظهر هذا التغيير بين بعض الأفافق، الأفق العلوي الشاحب أو الأفق المبيض، والأفق الطيني، ويتصف بزيادة عالية نسبياً في كمية الطين خلال مسافة شاقولية قصيرة، كمضاعفة نسبة الطين إذا كانت في الأفق الشاحب أو المبيض أقل من 20% أو زيادة نسبة الطين بـ 20% أو أكثر إذا كانت نسبة الطين في الأفق الشاحب أو المبيض أو أكثر من 20%.

٣- المواد المبيضة Albic materials تم تعريفها سابقاً.

٣- صفات التربة الأنديّة Andic soil properties:

تتكون صفات التربة الأنديّة خلال تجوية التفرا البركانية Tephra أو أي مواد أخرى، تحتوي على كمية كبيرة نسبياً من الزجاج البركاني، إن بعض الترب الموجودة في ظروف مناخية باردة ورطبة وتحتوي على كمية وافرة من المادة العضوية، يمكن لها أن تطور هذه الصفات، دون تأثير الزجاج البركاني.

٤- ظروف لا مائية Anhydrous condition:

تعني دون ماء Waterless وتعود إلى الظروف الرطوبية في الصحاري الباردة جداً أو عند وجود تجمد دائم Permafrost.

٥- معامل أو درجة التمدد الخطي (COLE) Coefficient of linear extensibility:

وهي عبارة عن النسبة بين طول الكتلة الترابية الرطبة، والكتلة الترابية الجافة منسوبة إلى طول الكتلة الترابية الجافة :

$$COLE = \frac{L_m - L_d}{L_d}$$

٦- عقد قاسية Durinodes (أصلها لاتيني من durus = hard وعقدة knot - nodus):

عقد قليلة التصلب إلى متصلبة، أقطارها 1 سم أو أكثر، مادة التصلب هي SiO_2 .

٩- كربونات ثانوية يمكن تمييزها Identifiable secondary carbonates:

يستخدم هذا التعبير للدلالة على كربونات الكالسيوم Authigenic المنقولة والمتوضعة Translocated نتيجة للترسب الموضعي من محلول التربة، أكثر من كونها موروثة من المادة الأم.

١٠- الرفائق Lamellae:

أفق تراكم سماكته أقل من 7.5 سم. كل رفافة تحتوي على طين سيليكاتي موجه ومتراكم على حبيبات الرمل، أو تشكل جسوراً بين حبيبات الرمل والملت.

١١- قابلية الامتداد الطولي (LE) Linear extensibility:

تساعد هذه الخاصية في معرفة قابلية التربة للانكماش والانتفاخ، وتحسب من خلال ضرب سماكة الطبقة بالمسم بالـ COLE الخاصة بالطبقة، وقابلية الامتداد للتربة هي مجموع قيم L.F لجميع أفاق المقطع.

١٢- الانقطاعات الليثولوجية Lithologic discontinuities:

تشكل هذه العبارة على التغيير الملحوظ في توزيع حبيبات التربة أو التركيب المعدني، والذي يمثل تغييراً في صفات مادة الأم للتربة، ويمكن أن تعطي فكرة عن الاختلاف في الزمن.

١٣- Petroferic contact (من اليونانية Rock = petra = صخر، ومن اللاتينية

Irons = Ferrum = حديد تعني حجر حديدي Ironstone):

وهي الحد بين التربة وطبقة متصلبة ومستمرة، حيث يشكل الحديد مادة التصلب، مع وجود آثار من المادة العضوية أو غيابها غياباً تاماً.

١٤- معادن مقاومة Resistant minerals:

وهي الفلزات المقاومة للتجوية والموجودة بأقطار تتراوح بين 0.2 - 2 مم، مثل الكوارتز، الزركون، التورمالين، أكاسيد الحديد، الجبسيت Gibbsite وغيرها.

١٥- السطوح اللامعة Slickensides (المصاقل):

وهي عبارة عن سطوح مصقولة Polished ومنظمة Grooved، وعادة لها أبعاد أكبر من 5 سم وتنتج هذه السطوح عندما تنزلق كتلة ترابية فوق كتلة ترابية أخرى.

ثالثاً - نظاما رطوبة التربة وحرارتها **Soil moisture and temperature regimes**:

I- نظم رطوبة التربة Soil moisture regimes

يقصد بتعبير نظام رطوبة التربة وجود أو غياب الماء الأرضي أو الماء الممسك بقوة شد سطحي أقل من 1500 كيلو بسكال في كامل التربة أو بعض الأفاق، خلال أوقات من الزمن.

بما أن الماء المرتبط بقوة أكبر من 1500 كيلو بسكال لا يكون متاحاً لبقاء معظم النباتات الوسطية حية، كما أن وجود الماء يتأثر بالأملاح الذائبة، وفي حالة كون الماء يحتوي على تراكيز ملحية عالية، فإن التربة تعد مالحة أكثر من كونها جافة، لذلك فإن الأفق يعد جافاً dry إذا كان الشد الرطوبي أكبر من 1500 كيلو بسكال، ويعد رطباً إذا كان الشد الرطوبي أقل من 1500 كيلو بسكال وأكبر من الصفر.

يستخدم تعبير السنوات العادية **normal years** (بدلاً من أغلب السنوات **most years**)، للدلالة على السنوات التي تتقارب في متوسط كمية الهطول بعيداً عن الحالات الاستثنائية من جفاف ورطوبة.

أ- قطاع مراقبة رطوبة التربة Soil moisture control section

المقصود من تعريف قطاع مراقبة رطوبة التربة هو تسهيل تحديد نظم الرطوبة من المعلومات المناخية. وتحدد أعماق قطاع رطوبة التربة كما يلي:

الحد العلوي قطاع هو العمق الذي يمكن أن يربط بعد إضافة طبقة من الماء سماكتها 2.5 سم خلال 24 ساعة في تربة جافة (يكون الشد الرطوبي فيها أكبر من 1500 كيلو باسكال - ولكنها ليست جافة هوائياً). أما الحد السفلي فهو العمق الذي يمكن أن يربط بعد إضافة طبقة من الماء سماكتها 7.5 سم خلال 48 ساعة. ويمكن أن تحدد أعماق قطاع مراقبة رطوبة التربة تقريبياً بحسب نسيج التربة كما يلي:

- من 10 - 30 سم تحت سطح التربة، إذا كان نسيج التربة: لومياً ناعماً أو سلتياً خشناً أو ناعماً، أو طينياً (تربة ناعمة النسيج).
- من 20 - 60 سم تحت سطح التربة، إذا كان النسيج لومياً خشناً (نسيج متوسط).
- من 30 - 90 سم تحت سطح التربة، إذا كان النسيج رملياً (نسيج خشن).

ب- صفوف نظم رطوبة التربة : Classes of soil moisture regimes

يفترض من تعريف نظام الرطوبة، أن التربة قادرة أو عندها إمكانية على تزويد النباتات بالرطوبة، وكمية المخزون الرطوبي لا ترتفع بواسطة الري أو الحرارة.

نظام الرطوبة المائي Aquic moisture regime (من اللاتيني) = Aqua

Water = ماء):

هذا النظام الرطوبي هو نظام الإرجاع لأن التربة تكون خالية من الأكسجين المنحل، لأنها مشبعة بالماء. تشبع بعض الترب بالماء في أوقات، ويبقى فيها كمية من الأكسجين المنحل، إما بسبب حركة الماء أو بسبب سيادة ظروف غير مناسبة للنشاط الحيوي مثل انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من 1 م°، هذا النظام لا يعد نظاماً مائياً.

النظام الجاف والجاف الحار Aridic and torric (من اللاتيني) = جاف

Torridus = حار وجاف):

هذه التعابير تستخدم للدلالة على نظام الرطوبة نفسه، يتميز هذا النظام، في السنوات

العادية، بما يلي:

- جاف في معظم أجزائه لأكثر من نصف السنة (أيام تراكمية)، عندما تكون درجة حرارة التربة على عمق 50 سم أكثر من 5 م°.
- رطب في بعض أجزائه مدة تقل عن 90 يوماً (متتالية)، عندما تكون درجة حرارة التربة على عمق 50 سم أكثر من 8 م°.

يوجد النظام في المناخات الجافة أو القاحلة، والقليل منها في المناخات شبه الجافة Semi-arid، وإما أن تكون خصائصها الفيزيائية غير ملائمة لنفاذ الماء فيها والاحتفاظ به، أو أن تكون موجودة على سفوح شديدة الانحدار نسبياً، عموماً الترب التي تقع تحت هذا النظام تكون غير مناسبة للزراعات البعلية.

النظام الرطب Udic moisture regime (من اللاتيني) = Udu = رطب):

يتميز هذا النظام بأن قطاع مراقبة رطوبة التربة يكون غير جاف في أي جزء منه مدة 90 يوماً (تراكمياً) في السنوات العادية. إذا كان متوسط درجة حرارة التربة السنوي أقل من 22 م°، وإذا كان متوسط حرارة الشتاء ومتوسط حرارة الصيف للتربة يختلف بـ 6 م° أو

أكثر، يكون قطاع مراقبة رطوبة التربة، في السنوات العادية، جافاً في جميع أجزائه مدة تقل عن 45 يوماً (تراكمياً) في الأشهر الأربعة التي تلي الانقلاب الصيفي (Summer solstice).
 ٤ نظام الجفاف السفح أو الحرق Ustic moisture regime (من اللاتيني Ustus =

burnt= ويتضمن الجفاف):

يقع هذا النظام الرطوبي في الوسط بين النظامين الرطب والنظام الجاف أو القاحل، وفكرة هذا النظام أن الرطوبة محدودة، لكن توجد في بعض الأوقات عندما تكون الظروف ملائمة لنمو النباتات (فكرة هذا النظام لا تطبق في الترب المتجمدة).

إذا كان المتوسط السنوي لحرارة التربة 22 م° أو أكثر، أو إذا كان متوسط حرارة التربة في الصيف والشتاء يختلفان بأقل من 6 م° على عمق 50 سم من سطح التربة، يكون قطاع مراقبة رطوبة التربة جافاً في بعض القطاعات أو كله مدة 90 يوماً أو أكثر (تراكمياً) في السنوات العادية. على كل حال، يكون رطباً في بعض أجزائه إما مدة تتجاوز 180 يوماً (تراكمياً) أو 90 يوماً أو أكثر (متتالية).

إذا كان المتوسط السنوي لحرارة التربة 22 م° أو أقل، ومتوسط حرارة التربة في الصيف يختلف عنه في الشتاء بأكثر من 6 م° على عمق 50 سم من سطح التربة، يكون قطاع مراقبة رطوبة التربة في هذا النظام جافاً في بعض أجزائه أو كلها مدة 90 يوماً أو أكثر (تراكمياً)، في السنوات العادية، لكن ليس جافاً في جميع أجزائه مدة تزيد على نصف الأيام التراكمية، عندما تكون حرارة التربة على عمق 50 سم أكبر من 5 م°.

٥ نظام الرطوبة المتوسطي Xeric moisture regime (من اليونانية xeros = dry):

يعد هذا النظام الرطوبي نموذجياً لمناخ البحر المتوسط، حيث يكون الشتاء ماطرًا وباردًا والصيف حارًا وجافًا، وتهطل الأمطار شتاءً عندما تكون إمكانية التبخر في حدودها الدنيا، يكون قطاع مراقبة رطوبة التربة جافاً في جميع أجزائه مدة 45 يوماً (متتالية)، في الأشهر الأربعة التي تلي الانقلاب الصيفي، ورطباً في جميع أجزائه مدة 45 يومًا أو أكثر (متتالية)، في الأشهر الأربعة التي تلي الانقلاب الشتوي Winter solstice.

II - نظم حرارة التربة Soil Temperature regimes

فيما يلي وصف لصفوف نظم الحرارة:

أ- نظام بارد جداً Cryic (من اليونانية Krys = برودة = تعني بارد جداً):

يكون المتوسط الحراري السنوي في ترب هذا الصف أقل من 8 م°، لكنها ليست دائمة التجمد وذلك على عمق 50 سم من سطح التربة.

ب- Frigid (برد قارس):

يكون هذا النظام أكثر حرارة صيفاً من النظام السابق، لكن يبقى المتوسط السنوي لدرجة حرارة التربة أقل من 8 م°.

ج- Mesic (معتدل):

يكون المتوسط السنوي لدرجة حرارة التربة على عمق 50 سم من سطح التربة أكثر من 8 م°، لكن أقل من 15 م°، والفرق بين متوسط حرارة الصيف ومتوسط حرارة الشتاء أكثر من 6 م°.

د- Thermic (حار):

المتوسط السنوي لدرجة الحرارة على عمق 50 سم من سطح التربة أكثر من 15 م°، لكن أقل من 22 م°، والفرق بين متوسط حرارة الصيف ومتوسط حرارة الشتاء أكثر من 6 م°، يسود هذا النظام في معظم المناطق السورية.

هـ- Hyperthermic (حار جداً):

يكون المتوسط الحراري السنوي للتربة أكثر من 22 م°، والفرق بين متوسط حرارة الصيف ومتوسط حرارة الشتاء أكثر من 6 م°، وذلك على عمق 50 سم من سطح التربة. يغطي هذا النظام جزءاً من المنطقة الشرقية في سورية. إذا سبق اسم النظام كلمة iso، فهذا يعني أن الفرق بين متوسط حرارة الصيف ومتوسط حرارة الشتاء أقل من 6 م°.

٤. بنية نظام التصنيف الأمريكي: Structure of Soil Taxonomy

يتألف هذا النظام من ستة مستويات Categories من العام جداً إلى الخاص جداً، ويمكن تمثيل هذه المستويات الستة بالهرم التالي:



بمعنى أن العوامل المشتركة أو التشابه يكون في حده الأدنى في قمة الهرم (الترتبة)، ثم يزداد حتى يصل إلى حده الأقصى (التشابه شبه الكامل بين التربة) في أسفل الهرم (السلسلة). وسوف نتعرض، وبإيجاز شديد، لكل مستوى من هذه المستويات:

1- الترتبة Order:

يبلغ عدد الرتب حالياً في Soil Taxonomy 12 رتبة، وهي الأكثر عمومية في سلم التصنيف، حيث تُتشابه تربة الترتبة بصفات عامة واسعة. لقد تم فصل الرتب بعضها عن بعضها الآخر اعتماداً على وجود الأفاق التشخيصية أو غيابها باستثناء القليل منها، حيث فصلت إما على أساس المناخ الذي توجد فيه، أو على أساس تركيبها المعدني. وفيما يلي جدول بهذه الرتب مع التسمية يتبعه وصف مختصر لكل منها:

اسم رتبة للتربة Soil order	القسمية المقترحة باللغة العربية	الجذر الصياغي Formative terms	المصدر Derivation	اللفظ Pronunciation
Alfisols	رتبة للتربة متوسطة الغسل	alf	ليس لها معنى	Pedalf
Andisols	رتبة التربة البركانية	and	black- Ando من اليابانية: تربة سوداء	Ando
Aridisols	رتبة التربة الجافة	id	dry=Aridus من اللاتينية: جاف	Arid
Entisols	رتبة التربة البدائية	ent	ليس لها معنى	Recent
Gelisols	رتبة التربة الباردة جدا	el	=very cold-gelid من اليونانية: بارد جدا	Jell
Histosols	رتبة التربة العضوية	ist	=organic-histos من اليونانية: عضوية	histology
Inceptisols	رتبة التربة قليلة التطور	ept	من اللاتينية: بداية=beginning=Inceptum	Inception
Mollisols	رتبة التربة الخصبة	oll	soft=mollis من اللاتينية: مطوية	Mollify
Oxisols	رتبة التربة المتدهورة	ox	-oxide-oxide من الفرنسية: أكسيد	Oxide
Spodosols	رتبة التربة البودزولية	od	من اليونانية: wood=Spodos رمال الخشب	Odd
Ultisols	رتبة التربة المغسولة	ult	last=ultimus من اللاتينية: أخير	Ultimate
Vertisols	رتبة التربة القلابة	ert	turn=verto من اللاتينية: قلابة	Invert

1 - رتبة Gelisols:

توجد هذه الرتبة في المناطق ذات المناخ البارد جداً، والتي تحتوي على مواد متجمدة لعمق 2 م من سطح التربة. من الناحية الجغرافية، ينحصر وجود هذه التربة في المناطق القطبية وبعض الجبال العالية، تشغل تربة Gelisols نحو 9.1 % من سطح الأرض الخالية من الجليد على الرغم من وجود هذه الرتبة على سطح الأرض القديمة جداً، لكنها تبدي قليلاً من التطور المورفولوجي، وبسبب انخفاض درجة حرارة التربة، فإن عمليات تكوين التربة، مثل تحلل المادة العضوية، تسير ببطء شديد جداً لذلك فإن هذه الرتبة تخزن كمية كبيرة من الكربون العضوي. إن التربة المتطورة في الأراضي الرطبة فحسب Wetland، يمكن لها أن تحتوي على كمية أكبر من المادة العضوية، إن ظروف التجمد في هذه التربة يجعلها حساسة للنشاط البشري.

تقسم هذه الرتبة إلى ثلاث تحت رتب هي: Histel, Turbel, Orthel.

• رتبة التربة العضوية Histosols:

وهي غالباً ما تتكون من مواد عضوية، وتحتوي على الأقل من 20 - 30 % مادة عضوية (وزنياً) وسماكتها أكثر من 40 سم، وتتميز بكثافة ظاهرية منخفضة جداً، أقل من 0.3 غ/سم³. وتشغل تربة هذه الرتبة نحو 1.2 % من سطح الكرة الأرضية الخالية من الجليد.

• رتبة التربة البودزولية Spodosols:

عبارة عن تربة حامضية وتتميز بتراكم كل من الدبال والحديد والألمنيوم (غالباً على شكل معقدات عضوية معنوية) في الأفق تحت السطحي، تتكون هذه التربة من مواد أم ذات نسيج خشن Coarse textured parent material، وتتميز أيضاً بوجود الأفق E ذي اللون الفاتح، والذي يتوضع فوق الأفق السبدي Spodic h. ذي اللون البني المحمر. إن العملية المنشئية التي تكون هذه الرتبة تعرف بعملية البذلة Podzolization.

توجد التربة البودزولية غالباً تحت الغابات المخروطية Coniferous Forest، في مناخات باردة ورطبة، وتشغل قرابة 4 % من سطح الأرض الخالية من الجليد، العديد من التربة البودزولية تصلح للغابات، وبما أن هذه التربة طبيعياً غير خصبة لذلك نحتاج إلى إضافة الكلس Lime حتى تصبح منتجة من الناحية الزراعية.

٤٠ رتبة ترب الرماد البركاني Andisols:

تكونت ترب هذه الرتبة من الرماد البركاني أو غيره من المقذوفات البركانية، وتختلف هذه الرتبة عن باقي الرتب بسيادة الزجاج والمواد ضعيفة التبلور في تركيبها المعدني، مثل الألوفان Allophan، الإموغوليت Imogolite وغيرها. وكننتيجة لذلك فإن ترب الرماد البركاني تتميز بالصفات الأتدية، وهي خصائص كيميائية وفيزيائية فريدة، منها قدرتها العالية على الاحتفاظ بالماء، وكذلك قدرتها على تثبيت كميات كبيرة من الفوسفور.

تعد ترب الرماد البركاني أقل الترب انتشاراً، وهي تشغل نحو 1 % من حجم مساحات ترب العالم.

٤١ رتبة الترب شديدة التجوية Oxisols:

تتميز ترب هذه الرتبة بأنها تعرضت إلى عمليات تجوية شديدة جداً، وتوجد في المناطق المدارية من العالم، تحتوي هذه الترب على كميات قليلة من المعادن القابلة للتجوية، وهي غالباً غنية بأكاسيد الحديد والألمنيوم، وتشغل هذه الرتبة نحو 7.5 % من ترب العالم الحالية من الجليد.

ومن أهم مميزات هذه الترب أن خصوبتها الطبيعية ضعيفة جداً، بسبب المخزون القليل جداً من العناصر الغذائية، قدرة تثبيت عالية للفوسفور بواسطة الأكاسيد، وسعة تبادل كاتيوني منخفضة، توجد معظم العناصر الغذائية في ترب Oxisols في النباتات الحية (الواقفة)، والنباتات المتحللة، مع ذلك يمكن أن تكون هذه الترب خصبة ومنتجة إذا أضيفت لها كربونات الكالسيوم والأسمدة.

٤٢ رتبة الترب القلابة Vertisols:

عبارة عن ترب غنية بمعادن الطين وخاصة تلك التي يتغير فيها البعد القاعدي مثل السمكتيت، وتتمتع بظاهرة الانتفاخ أو الانكماش عند تعاقب الرطوبة والجفاف، حيث تتشكل شقوق عميقة وعريضة عند حدوث ظاهرة الانكماش، وتغلق عند الانتفاخ، هذه الظاهرة (ظاهرة الانتفاخ والانكماش) تسبب العديد من المشاكل الخطيرة بالنسبة للإنشاءات المدنية مثل الطرائق والأبنية، كما تؤدي إلى عملية خلط ومزج مستمرة للتربة مما يمنع تطور أي من الأفاق التخصصية في هذه الترب، كما تتطور فيها سطوح لامعة Slickenside نتيجة

لانزلاق بعض الكتل الترابية على بعضها. تحتل هذه الرتبة نحو 2.4 % من مساحة ترب العالم.

٤. رتبة الترب الجافة (القاحلة) Aridisols:

يتميز وجود هذه الرتبة في المناطق ذات نظم رطوبة جافة، وتحتوي على بعض الأملاح وخاصة كربونات الكالسيوم، ويظهر فيها على الأقل تطور بعض الأفاق السطحية. وتتميز هذه الترب ببقائها جافة معظم السنة، وعمليات غسل محدودة جداً، ويتراكم عادة في الأفاق السطحية لهذه الترب كل من الطين، كربونات الكالسيوم، السيليكا، الأملاح والجبس، وقد يلاحظ غسل بعض المكونات مثل الأملاح والجبس وكربونات الكالسيوم في بعض الترب التي تتلقى أمطاراً أكثر. تحتل ترب هذه الرتبة نحو 14 % من المساحة الكلية لترب العالم، وتستعمل هذه الترب عادة كمراع طبيعية، أو للحيوانات البرية Wildlife، أو مناطق استجمام recreation، وهذا يعود إلى سيادة المناخ الجاف في مناطق وجود هذه الترب، ولا تستعمل هذه الترب في الزراعة (إلا إذا توافرت مياه الري).

٥. رتبة الترب الطينية المغسولة Ultisols:

ترب مغسولة بشكل كبير، وهي عبارة عن ترب غابية حامضية، خصوبتها الطبيعية قليلة نسبياً، توجد هذه الترب في المناطق الرطبة والمعتدلة وأيضاً المدارية من العالم، على سطوح قديمة ومستقرة، تعرضت إلى عملية تجوية معدنية كثيفة، حيث أدت عملية التجوية إلى غسل معظم الكالسيوم والمغنيزيوم والبوتاسيوم، تحتوي ترب Ultisols على أفق تحت سطحي تراكم فيه الطين، ويرتفع لونه بين الأصفر القوي والأحمر نتيجة لوجود أكاسيد الحديد. تشغل هذه الرتبة مساحة تقدر نحو 8.1 % من مساحة ترب العالم، ونتيجة للظروف المناخية التي توجد فيها هذه الترب، فإنها تسهم في نمو غابات منتجة، إن الحموضة العالية نسبياً والكمية القليلة جداً أو المعدومة من القواعد والقواعد الأرضية يجعل من الصعب استعمال هذه الترب في الزراعة باستمرار دون استخدام الأسمدة وكربونات الكالسيوم. وفي الحالة الأخيرة تصبح ترب هذه الرتبة عالية الإنتاجية.

٤٠ رتبة التربة الغنية بالمادة العضوية **Mollisols**:

تتطور هذه التربة عموماً في النظام البيئي الخاص بالتربة العشبية **Grassland**، وتتميز بوجود أفق سطحي سميك نسبياً وداكن اللون، يعرف هذا الأفق الخصب بالأفق المولي السطحي (علوي) **Mollic epipedon**، والذي تكون بسبب الإضافة طويلة الأمد للمادة العضوية الناتجة من جنور النباتات.

توجد تربة هذه الرتبة أساساً في خطوط العرض الوسطى **Middle altitude**، وكذلك في مناطق البراري، وتحمل هذه التربة على مستوى العالم نحو 7 % من إجمالي المساحة، وتعد من التربة الأكثر أهمية وإنتاجية في العالم، وتستخدم استعمالاً مكثفاً في الزراعة.

٤١ رتبة التربة متوسطة الغسل **Alfisols**:

هي عبارة عن تربة غابات تعرضت لعملية غسل متوسطة، وتلك نسبياً خصوبة طبيعية عالية، وتعد تربة هذه الرتبة من التربة جيدة التطور، وتحتوي على أفق تحت سطحي تراكم فيه الطين (أفق طيني **Argillic horizon**)، وتوجد هذه التربة غالباً في المناطق ذات المناخ الرطب والمعتدل وكذلك في المناطق شبه الرطبة **Subhumid** من العالم. تحمل هذه التربة نحو 10.1 % من أراضي العالم الخالية من الجليد، ويعيش عليها نحو 17 % من سكان العالم.

إن التقاء الظروف المناخية الملائمة والمساعدة بالخصوبة الطبيعية العالية نسبياً لهذه التربة، يجعل منها تربة ذات إنتاجية عالية جداً سواء من أجل الزراعة أو من أجل زراعة الحراج **Silviculture**.

٤٢ رتبة التربة قليلة التطور **Inceptisols**:

يأتي هذه التربة الحد الأدنى من تطور الأفاق لكنها أكثر تطوراً من رتبة **Entisols**، علماً أنها لازالت تقتصر إلى الصفات التي تميز تربة الرتب الأخرى، تنتشر هذه التربة انتشاراً واسعاً في مناطق ذات نظم بيئية متجانسة، ويمكن مشاهدتها على سفوح ذات شدة انحدار قوية نسبياً، أو على سطوح تضاريسية حديثة، وكذلك على مواد أم ذات مقاومة عالية للتجوية. أما بالنسبة لاستعمالات الأراضي **Land use**، فإنها تختلف بشكل كبير بالنسبة لتربة هذه الرتبة، علماً أن نسبة معقولة منها تمت ملاحظتها في مناطق جبلية، وتستخدم إما

أراضي غابات أو مناطق استجمام أو مساقط مياه، والتربة الموجودة في مناطق سهلية تستعمل في المجال الزراعي.

بحسب الإصدار الأخير في Soil Taxonomy 1999، أصبحت هذه الرتبة تحتل نحو 17% من مساحة العالم، وهي تحتل المساحة الأكبر ضمن الرتب الأخرى، ويعيش فوقها نحو 20% من سكان العالم، وهي النسبة الأكبر مقارنة مع الرتب الأخرى.

١٠ رتبة التربة عديمة التطور Entisols:

وهي تربة حديثة التكوين والمصدر، والفكرة الأساسية لهذه الرتبة تعود إلى أن هذه التربة قد تطورت من مواد أم غير متصلبة أو متماسكة Unconsolidated، مع عدم وجود (عادة) أفاق منشئية، عدا الأفق السطحي A.

جميع التربة التي لا تجد لها مكاناً في الإحدى عشرة رتبة الأخرى، تعد من رتبة Entisols، لذلك، تتصف هذه الرتبة بوجود تباين كبير فيها سواء من حيث النظام البيئي أو استعمالات الأراضي.

العديد من تربة هذه الرتبة يمكن مشاهدتها على سفوح شديدة الانحدار أو مناطق صخرية، مع ذلك فإن تربة هذه الرتبة هي المكون الأساسي للدفقات وضيقات الأنهار وبعض الشواطئ، ويمكن لهذه التربة أن تؤمن المنتجات الزراعية لملايين البشر في العالم وهي تشغل نحو 16% من سطح الأرض، وتأتي في المرتبة الثانية بعد رتبة Inceptisols.

تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO):

1 - مقدمة عن الـ FAO:

تضم خارطة تربة العالم، التي أعدتها منظمة الأغذية والزراعة (FAO) التابعة للأمم المتحدة تعديل عام 1990 والمنشورة عام 1994، 28 وحدة تربة رئيسية من المستوى الأول (I) وهي أكبر تقريباً من المجموعة الكبرى أو نمط التربة، تتوزع هذه الوحدات إلى 137 مجموعة (نمط) من المستوى الثاني (II). جدول (28)

الجدول (28)، يلخص أسماء المجموعات الرئيسية لتربة العالم، ومعنى كل منها وبعض خصائصها (المستوى الأول):

بعض خصائص التربة	أصل التسمية ومعناه	المجموعات الرئيسية للتربة
مبسولة بشديدة الحموضة، نسبة القواعد المنخفضة.	acer, شديد الحموضة، لاتيني	1- ACRISOLS:
ذات محتوى عالٍ من الألمنيوم.	alumen, ألمنيوم، لاتيني	2- ALISOLS:
تتكون من المواد الغنية بالزجاج البركاني، ويكون أفقها المطحي عادة داكناً.	an, do, تربة داكنة، ياباني	3- ANDOSOLS:
نشاطات بشرية عالية.	anthropos, إنسان، يوناني	4- ANTHROSOLS:
تربة ضعيفة التطور خشنة التسيج.	arena, رمل، لاتيني	5- ARENOSOLS:
تراكم كربونات الكالسيوم.	calx, كلس، لاتيني	6- CALCISOLS:
تغيرات في اللون والبنية والاندماج، ضعيفة التطور مع تكوين موضعي للغضار.	cambiar, تغير، لاتيني متأخر	7- CAMBISOLS:
غنية بالمادة العضوية سوداء اللون.	chernozem, أرض سوداء، روسي	8- CHERNOZEMS:
غنية بالأكاسيد نصف الثلاثية، شديدة التجوية فتكون بصورة رئيسية من الكاولينيت والأكاسيد.	ferum, alumen حديد، ألمنيوم، لاتيني	9- FERRALSOLS:
نواضعات لحاقية (طميية).	fluvius, نهر، لاتيني	10- FLUVISOLS:
تحتوي أفقاً موحلاً N نتيجة لسبادة العمليات اللاهوائية.	gley, وعل، روسي	11- GLEYSOLS:
تحتوي حبيبات من السلت والرمل غير المغطى والموجود في طبقات غنية بالمواد العضوية. تربة للسهب الغابية.	Grey, Zemla, أرض رمادية، روسي، إنكليزي	12- GREYZEMS:
تراكم سلفات الكالسيوم.	gypsum, جبس، لاتيني	13- GYPSISOLS:

بعض خصائص التربة	أصل التسمية ومعناه	المجموعات الرئيسية للتربة
ترب خثية تحوي على مواد عضوية طازجة أو متفسخة جزئياً.	histos, نميج, يوناني	14- HISTOSOLS:
غنية بالمادة العضوية لونها بني أو كستنائي.	castanea, كستناء, لاتيني, روسي	15- KASTANOZEMS:
منحلة ضعيفة التطور.	leptos, رقيق, يوناني	16- LEPTOSOLS:
شديدة التجوية, يتراكم فيها الغضار, نسبة تشبع بالقواعد منخفضة.	lixivia, غسل, لاتيني	17- LIXISOLS:
تراكم الغضار, نسبة تشبع بالقواعد متوسطة و عالية.	luevre, غسل خفيف, لاتيني	18- LUVISOLS:
مطروح اللبانات (الوحيدات البنيوية) لامعة.	nitidus, لامع, لاتيني	19- NITISOLS:
غنية بالمادة العضوية, داكنة اللون (شبه ثيرنوزومية).	phaeos, داكن, روسي, يوناني	20- PHAEZEMS:
متطورة عموماً في تضاريس ملسية أو مقعرة مع تشبع سطحي موسمي بالمياه.	planus, مستوي, لاتيني	21- PLANOSOLS:
مواد طينية مبرقشة, تصبح قاسية عند تعرضها للجو.	plinthos, فريدة, يوناني	22- PLINTHOSOLS:
ترب بودزولية تحوي أفقاً مقصوراً بشدة (مبيض).	podzol, رماد ونحت, روسي	23- PODZOLS:
تجمع بين خصائص البونزول واللويسول.	Podzol, luvisols,	24- PODZOLUVISOLS:
غطاء من المواد المفككة تتوضع فوق طبقة قاسية من الصخور.	rhegos, دثار, غطاء, يوناني	25- REGOSOLS:

بعض خصائص التربة	أصل التسمية ومعناه	المجموعات الرئيسية للتربة
تحتوي نسبة عالية من الأملاح سهلة الذوبان في الماء.	ترب مالحة، روسي	26- SOLONCHAKS:
تحتوي نسبة عالية من الصوديوم الممزر.	ترب قلووية، روسي	27- SOLONETZ:
ترب قلائية لأنها غنية بمعادن المضار القابلة للانتشاج.	قلب، لاتيني vertere,	28- VERTISOLS:

2- الأفاق التشخيصية Diagnostic Horizons:

أفاق التربة التي تملك جملة من الخصائص تستعمل في التعرف على وحدات التربة تدعى الأفاق التشخيصية. وبما أن مميزات أفاق التربة هي نتائج لعمليات تكوين التربة. فإن استعمال الأفاق التشخيصية لفصل وحدات الترب وتصنيفها، يربط هذا التصنيف بالمبادئ العامة لنشوء التربة soils genesis. ومع ذلك فإن عمليات تكوين التربة بحد ذاتها لا تستعمل كمعايير للتصنيف، وإنما تستعمل تأثيراتها التي تعبر عنها مصطلحات الخصائص التشكيلية محددة كمياً ذات قيمة كبيرة في التعرف على وحدات التربة. إن تعاريف الأفاق التشخيصية وتسمياتها المستعملة هنا، مستمدة من تلك المعتمدة لدى Soils Tax.

إن لسعة التبادل الكاتيوني CEC المستعملة كمعيار في تحديد الأفاق التشخيصية أو الخصائص أهمية كبيرة لأنها تعكس طبيعة المركبات المعدنية للمعدن التبادلي. ومع ذلك فإن CEC المعينة على أساس مجموعة الأرض الناعمة الإجمالية تتأثر بكمية المادة العضوية ونوعيتها.

3- وصف مجموعات الترب الرئيسية ووحدات الترب:

إن وصف مجموعات الترب الكبرى ووحداتها اللاحق، يجب أن لا يؤخذ على أنه تعريف محدد وثام إذ إنه لا يضم إلا عدداً محدوداً من الخصائص الضرورية، التي تدل على طبيعة وحدات التربة الكافية لتمييز هذه الوحدات من بعضها، ومن أجل الحد من التكرار فهي لا تذكر كل الملامح التي تتضمنها الوحدة.

4- أهم خصائص مجموعات الترب الرئيسية:

Fluvisol (FL): هي الترب التي تظهر الخصائص النهرية، ولا تملك أفاقاً تشخيصية باستثناء أفق A ochric أو mollic أو umbric أو H histic أو أفق sulfuric أو مواد سولفيديّة ضمن الـ 125 سم السطحية.

GLEYSOLS (GL): ترب تتكون من مواد غير متماسكة لا تتضمن المواد خشنة النسيج - إلا في حال وجود أفق (Histic H)، ولا الرواسب الطمية التي تظهر الخصائص النهرية، وتظهر الخصائص gleyic ضمن الـ 50 سم السطحية، ولا تملك أفاقاً تشخيصية باستثناء أفق A أو أفق H histic أو أفق Cambic أو أفق Sulfuric أو Calcic أو Gypsic.

REGOSOLS (RG): ترب تتكون من مواد غير متماسكة، لا تتضمن المواد خشنة النسيج التي يزيد عمقها على 100 سم أو التي تظهر الخصائص النهرية، ليس لها أفاق تشخيصية باستثناء أفق A، Ochric أو Umbric، لا تحتوي خصائص gleyic ضمن الـ 50 سم السطحية.

LEPTOSOLS (LP): هي الترب محدودة العمق نظراً لوجود صخور قاسية متواصلة، أو مواد كلسية (تتجاوز كربونات الكالسيوم المكافئة 40 % من وزن التربة)، يمكن وجود أفاق تشخيصية وخاصة أفق A : Mollic أو Umbric وأفق Cambic أو أفق كلسي أو كلسي متحجر، أو صئمان duripan مع طبقة قاسية ضمن الـ 30 سم السطحية.

ARENOSOLA (AR): هي الترب التي تكون أخشن من الطمي الرملي حتى عمق لا يقل عن 100 سم من السطح، يحوي أقل من 35 % من الحطام الصخري أو غيره من الحطام الخشن في كل تحت الأفاق ضمن المتر السطحي من التربة، باستثناء المواد التي تظهر الخصائص النهرية أو البركانية، لا تحتوي على أفاق تشخيصية إلا أفق A Ochric أو أفق Albic E.

ANDOSOLS (AN): تتصف بالخصائص البركانية andic حتى عمق 35 سم أو أكثر من السطح، وفيها أفق A Mollic أو Umbric من الممكن أن يتوضع فوق أفق Cambic B أو أفق A Ochric، وأفق Cambic B، وليس لها أفاق تشخيصية أخرى،

لا تحتوي على خصائص gleyic في الـ 50 سم السطحية، كما لا تتصف بالخصائص التشخيصية للـ Vertisols فضلاً عن غياب الخصائص الملحية.

VERTISOLS (VR): تحتوي هذه التربة بعد خلط الـ 18 سم العلوية 30 % طينا أو أكثر في كل الأفاق حتى عمق 50 سم، وتكون الشقوق الواضحة بدءا من السطح باتجاه الأسفل لمدة ما في معظم السنوات (إلا إذا كانت التربة مريوية). ويكون عرض الشق 1 سم على الأقل في العمق 50 سم من التربة، تحوي شبكة من المصاقل slickensides ومجمعات بنوية أسفينية الشكل أو بصورة متوازي السطوح على عمق بين 25-100 سم من السطح، مع ظهور التضاريس الميكروية gilgai أو بدونها.

CAMBISOLS (CM): تربة تضم أفق Cambic B وليس هناك أفاق تشخيصية عدا أفق Ochric A أو Mollic متوضع فوق الأفق B الكامبي. وتبلغ نسبة التشبع بالقواعد BSP 50 % على الأقل (بطريقة أسنيات الأمونيوم NH_4OAC)، لا تحوي خصائص ملحية. تقدر نسبة التشبع بالقواعد في هذا التصنيف باستعمال محلول أسنيات الأمونيوم). ولا تملك الخصائص التشخيصية لكل من Vertisols أو Andosols، ولا الخصائص gleyic ضمن الـ 50 سم السطحية.

CALCISOLS (CI): تربة تحوي واحداً أو أكثر مما يأتي: أفق كلسي calcic، أو كلسي متحجر petrocalcic، أو تراكيز من الجير المسحوق الطري ضمن الـ 125 سم السطحية. لا تحتوي على أفاق تشخيصية إلا أفق Ochric وأفق Cambic أو أفق Argic يكون كلسياً. ليس لها الخصائص التشخيصية المميزة لكل من Vertisols أو Planosols ولا الخصائص الملحية، ولا الخصائص gleyic ضمن المتر السطحي.

GYPSELSOLS (GY): تربة تحوي أفقا جبسياً أو ترو جبسياً petregypsic أو كليهما ضمن الـ 125 سم السطحية، لا تضم أفقا تشخيصية إلا Ochric أو أفق Cambic، أو أفق Argic مختلطاً مع الجبس أو كربونات الكالسيوم، أو أفقا كلسياً أو بتروكلسياً، تشبه المجموعة السابقة فيما يتعلق بالخصائص الأخرى.

SOLONETZ (SN): تربة تضم أفق Nitric B

٤ SOLONCHAKS (SC): ترب لا تظهر الخصائص النهرية ولها خصائص ملحية salic، ليس لها أفق تشخيصية، إلا أفق Ochric A أو Mollic أو أفق Histi H أو أفق Cambic B أو أفقا كلسياً أو جبسياً.

٥ KASTANOZEMS (KS): ترب تحوي أفق Mollic A مع نقاء لوني chroma في حالة الرطوبة يزيد على 2 حتى عمق 15 سم على الأقل، تتصف بوحدة أو أكثر من الصفات الآتية : أفق كلسي أو بترو كلسي أو جبسي أو تراكيز من الجير المسحوق الطري ضمن الـ 125 سم من السطح، لا تحوي أفق B صودي، لا تتصف بالخصائص التشخيصية لأي من Vertisols أو Planosols أو Andosols، ولا بالخصائص الملحية ولا الـ gleyic ضمن الـ 50 سم السطحية حين لا يوجد أفق Argic B.

٦ CHERNOZEMS (CH): ترب تملك أفق mollic A مع نقاء لوني في حالة الرطوبة تبلغ 2 أو أقل حتى عمق 15 سم على الأقل، لها أفق كلسي أو بترو كلسي أو تحوي تراكيز من الجير المسحوق الطري ضمن الـ 125 سم السطحية، وتشبه المجموعة السابقة في بقية الخصائص إلا أنها تخلو من حبيبات سلت أو كوارتز غير عارية وذلك على سطوح اللبنة البنيوية.

٧ PHAEZOZEMS (PH): ترب تضم أفق A مولي، ولا تحتوي على أفق كلسي أو جبسي أو تراكيز من الجير المسحوق الطري، تبلغ نسبة التشبع بالقواعد منها 50 % أو أكثر ضمن الـ 125 سم السطحية. لا تحوي أفق B فيزالي أو صودي، ولا الصفات التشخيصية للـ vertisols أو nitisols أو Planosols أو Andosols، كما تغيب الخصائص الملحية، ولا توجد الخصائص المختزلة ضمن الـ 50 سم السطحية عندما لا يوجد أفق B أرجي، لا تحوي حبيبات سلت أو رمل عارية (غير مغطاة) على سطوح اللبنة البنيوية عندما يكون للأفق A المولي نقاء لوني chroma في الحالة الرطبة 2 أو أقل حتى عمق 15 سم على الأقل.

٨ GREYZEMS (GR): ترب تحوي أفق A مولي ذا نقاء لوني مقداره 2 أو أقل حتى عمق 15 سم على الأقل، وتظهر حباب السلت والرمل العارية على سطوح اللبنة البنيوية. لها أفق B أرجي، لا تتصف بالصفات التشخيصية لترب الـ Planosols.

4. **LUVISOLS (LV)**: ترب فيها أفق طيني، سعة تبادل الكاتيوني تبلغ 24 سنتيمول (+) كغ⁻¹ عضاراً أو أكثر، ونسبة تشبع بالقواعد 50 % أو أكثر في الأفق B كله، لا تحوي أفق A مولي، لا تحوي أفقاً يتوضع بصورة مبتورة فوق أفق بطيء النفاذية. يعبر عن سعة التبادل الكاتيوني في هذا التصنيف بالسنتيمول (+) كغ⁻¹.

4. **PLANOSOLS (PL)**: ترب تحوي أفق L خصائص ركود الماء stginc في جزء من الأفق على الأقل، ويتوضع بصورة مبتورة فوق أفق بطيء النفاذية ضمن الـ 125 سم السطحية، ولا يوجد فيها أفق B صودي أو سيودي.

4. **PODZOLUVISOL (PD)**: ترب تحوي أفق B طيني حوافه العلوية غير منتظمة أو مهدمة نتيجة تشكل الألسن العميقة من الأفق L في الأفق B أو نتيجة تشكل عقيدات متفرقة، يزيد قياس كل منها على 20 سم، إذ تكون السطوح الخارجية لهذه العقد غنية بالحدرد أو مملطة ومقساة به، ويكون أشد حمرة وأشد نقاء مقارنة بالداخلية، لا تحوي هذه الترب أفق A مولي.

4. **PODZOLS (PZ)**: ترب تحوي أفق B سيودي (رمادي).

4. **LIXISOLS (LX)**: ترب تحوي أفق B طيني، تقل فيه سعة التبادل الكاتيوني عن 24 سنتيمول (+) كغ⁻¹ طين في جزء من الأفق B على الأقل، وتبلغ نسبة التشبع بالقواعد 50 % أو أكثر في الأفق كله، لا يوجد فيها أفق A مولي، ولا أفق L يتوضع بصورة مبتورة فوق أفق بطيء النفاذية، ولا نماذج توزع العضار وتشكل الألسن.

4. **ACRISOLS (AC)**: ترب تضم أفق B طيني، تقل فيه سعة التبادل الكاتيوني عن 24 سنتيمول (+) كغ⁻¹ عضار، ونسبة تشبع بالقواعد أقل من 50 % في بعض أجزاء الأفق على الأقل ضمن الـ 125 سم السطحية، ويشبه المجموعة السابقة من حيث بقية الخصائص.

4. **ALISOLS (AL)**: تشبه السابقة وتختلف عنها بأن التبادل الكاتيوني هنا يبلغ 24 أو أكثر.

4. **NITISOLS (NT)**: ترب تملك أفق B طيني حيث، لا تتناقض نسبة العضار نسبياً من حدودها القصوى بأكثر من 20 % ضمن الـ 150 سم السطحية، يكون الانتقال بين حدود الأفقين A و B تدريجياً أو انتشارياً، يملك خصائص لامية nitic في بعض تحت

الأفاق في الـ 125 سم السطحية، لا يحتوي على خاصية اللسانية التشخيصية لـ podzoluvisols ولا خصائص الـ ferric و الـ vertic، ولا يحتوي على plinthic في الـ 125 سم السطحية.

٤٤ **FERRALSOLS (FR):** ترب تملك أفق B فيراليك ferralic

٤٥ **PLINTHOSOLS (PT):** ترب تحوي 25 % أو أكثر من البليت (الأجر) حجمياً في أفق تكون سماكته 15 سم على الأقل يقع ضمن الـ 50 سم السطحية أو ضمن الـ 150 سم السطحية عندما يتوضع تحته أفق albic B أو أفق تظهر فيه صفات الاختزال أو ركود الماء ضمن المتر السطحي.

٤٦ **HISTOSOL (HS):** ترب تحتوي على 40 لاسم أو أكثر من مواد التربة العضوية 60 % أو أكثر من المواد العضوية المتكونة بصورة رئيسة من السفاغيم أو الطحالب، أو كانت كثافتها الظاهرية أقل من 0.1 Mg m^3 ، وسواء امتدت إلى الأسفل من السطح أو كانت تراكمية ضمن الـ 80 سم العلوية من التربة، إن سماكة الأفق II يمكن أن تكون أقل عندما يتوضع على صخرة أو على حطام صخري عندما تمثل فراغات هذا الحطام بالمواد العضوية.

٤٧ **ANTHROSOLS (AT):** الترب التي تؤدي النشاطات البشرية إلى تحولها بصورة عميقة أو طمر أفاق التربة من خلال إزالة أو تشويه الأفاق السطحية عبر الجرف والردميات وتتوارث من جيل لآخر، إضافة إلى المواد العضوية والتي المستمر لأزمان طويلة وغيرها من النشاطات.

٢- مقدمة Introduction:

بدأ العمل على هذا النظام مع بداية الثمانينيات من القرن الماضي، حين ظهرت الحاجة إلى ضرورة توافر معلومات متجانسة عن التربة يمكن للجميع تدوّلها والاستفادة منها، وهذا ما دعا منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة إلى التفكير في إيجاد إطار يمكن من خلاله ربط النظم التصنيفية الموجودة حالياً والعمل على تجانسها، وهذا سيجعل التصنيف وسيلة عالمية للتواصل بين المعنيين بالتربة وتبادل المعلومات، مما يتطلب مشاركة من جميع المعنيين بعلوم التربة على المستوى العالمي.

بناء على هذا الطرح من قبل الـ FAO، UNESCO و UNEP، و ISRIC اجتمعت مجموعة من علماء التربة يمثلون عدداً كبيراً من المعاهد العالمية في صوفيا بلغاريا عامي 1980 و 1981، بهدف تحسين المشاركة العالمية ومتابعة وضع خريطة محدثة لتربة العالم، وقرر المجتمعون في معهد Poushkarov لعلوم التربة، طرح برنامج لتطوير أساس مرجعي دولي لتصنيف التربة (IRB) International Reference Base for Soil Classification، بهدف الوصول إلى اتفاق حول مجموعات التربة الكبرى Major Soil Groups، ليتم تمييزها على المقياس العالمي، وكذلك الاتفاق على معايير Criteria تعريفها وتمييزها، وكان الاعتقاد أن هذا الاتفاق سوف يسهل تبادل المعلومات والخبرة، ويخلق لغة علمية مشتركة، ويساعد على تقوية تطبيق علوم التربة.

تتألف اجتماعات هذه المجموعة من العلماء، وكانت تقدم تقاريرها إلى مؤتمرات الجمعية العالمية لعلوم التربة ISSS، من المؤتمر الثاني عشر في العام 1982 حتى المؤتمر السادس عشر الذي عقد في مونتبلية بفرنسا عام 1998، حيث تم تغيير اسم المشروع من IRB إلى WRB في العام 1992. وفي العام 1998 صدر النص الرسمي الأول في ثلاثة مجلدات:

- أ- الأساس المرجعي العالمي لموارد التربة - مقدمة.
- ب- الأساس المرجعي العالمي لموارد التربة - الأطلس.
- ج- الأساس المرجعي العالمي لموارد التربة.

وقد تم تبني نص WRB من قبل مجلس ISSS، وكذلك قبول المصطلحات لتسمية التربة وتصنيفها.

وحصل اتفاق عام على بقاء نص النظام، كما هو مدة ثماني سنوات على الأقل، مع العمل على اختبار هذا النظام بشكل مكثف ومراجعته في المؤتمر الثامن عشر للـ ISSS عام 2006، وصدرت الطبعة الأخيرة منه في العام نفسه.

في الأعوام من 1998 إلى 2006 أصبح نظام WRB المرجع الرسمي لتسمية وتصنيف التربة في الاتحاد الأوروبي، كما تم تبنيه من قبل جمعية علوم التربة في غرب ووسط إفريقيا كوسيلة لتجانس معلومات التربة في المنطقة وتبادلها. ولقد تمت ترجمة نص نظام WRB إلى 13 لغة (العربية ليست بينها)، كما تم اعتماده كنظام تصنيفي للتربة على المستوى الأعلى في عدد من الدول منها إيطالية، المكسيك، بولندة، رومانية، روسية وفيتنام. وجرى شرح النظام وتوضيحه في مناطق عدة من العالم، عن طريق المحاضرات والأقراص الليزرية الصلبة CD-ROM، على التربة الرئيسة في العالم وخريطة موارد التربة في العالم على مقياس 1:25 مليون، بالتعاون بين مركز الأبحاث المشتركة والـ FAO وISRIC وذلك في العام 2002.

وجرى تصميم موقع على الإنترنت خاص بالـ WRB، وتم توزيع رسالة إخبارية للعديد من مختصي التربة.

عموماً، يمكن القول أن هناك جهوداً كبيرة لإخراج هذا النظام بصورة مقبولة على المستوى العالمي، كذلك جرى تنظيم العديد من اللقاءات وورشات العمل والجولات الحقلية لاختبار هذا النظام وتطويره قبل إصداره بشكله الأخير، كما أخذت هذه الجهود بالحسبان استعمالات الأراضي وإدارة التربة في المناطق المدارية والمناطق الجافة، التي تستخدم نظام WRB.

تم تشكيل مجموعات عمل خاصة Special working groups في الاتحاد العالمي لعلوم التربة International union of soil sciences (IUSS) الذي كان يدعى ISSS للعمل على حل بعض المشاكل مثل تربة Cryosols وتربة المناطق السكنية والطرائق والمناجم، واقتراح الحلول للنظام الجديد، و تم تبني بعض من هذه الاقتراحات فعلاً.

لقد خضع نظام WRB في الطبعة الثانية 2006 إلى مراجعة شاملة وأساسية، ويتم إضافة مجموعتين جديدتين ليصبح عدد المجموعات المرجعية للتربة 32 RSGs بدلاً من 30.

2- المبادئ الأساسية لنظام (WRB) - Basic principles of WRB:

تم وضع المبادئ الأساسية التي اعتمد عليها WRB، في اجتماعات صوفيا عامي 1980 و 1981، وتم معالجتها وتطويرها لاحقاً من مجموعات العمل التي تشكلت لهذا الغرض، ويمكن تلخيص هذه المبادئ بالآتي:

- اعتمد تصنيف التربة على خصائص التربة، على أساس أفاق صفات ومواد التربة التشخيصية، والتي يمكن قياسها أو ملاحظتها إلى أكبر حد ممكن في الحقل.
- يأخذ اختيار الصفات التشخيصية بالحسبان علاقة هذه الصفات بعوامل تكوين التربة، حيث تبين أن فهم عوامل تكوين التربة، يسهم في توصيف أفضل للتربة، لكن يجب عدم أخذها كقرائن تفريق.
- اختيار الصفات التشخيصية على المستوى الأعلى، يجب أن يكون لها قدر الإمكان مدلولاً معنوياً فيما يتعلق بإدارة التربة.
- لم تستخدم العناصر المناخية في النظام التصنيفي، ولكن يجب أن تؤخذ المعايير المناخية عندما يكون الهدف تفسيرياً مع ربطها بخصائص التربة، لكنها لا تشكل جزءاً من تعريف التربة.
- نظام WRB نظام شامل، يسمح للجميع بدعم أنظمة التصنيف الوطنية، ويتضمن WRB مستويين تفصيليين:
 - أ- الأساس المرجعي Reference base، ويقتصر على المستوى الأول فصص، ويحتوي على 32 مجموعة تربة مرجعية RSGs.
 - ب- نظام WRB التصنيفي، ويتألف من اتحاد مجموعة من البادئات Prefix واللاحق Suffix، والتي تضيف إلى اسم المجموعة المرجعية RSG ما يناسبها من تعريف يسمح بتوصيف دقيق وتصنيف لكل مقطع من مقاطع التربة.
- عدد من مجموعات الترب المرجعية RSGs في نظام WRB، تمثل تربة رئيسية في بعض المناطق، مما يسمح بنظرة شاملة للغطاء البيديولوجي للعالم.

- ليس المقصود بالنظام الجديد أن يكون بديلاً لأنظمة التصنيف الوطنية للتربة، بل يهدف إلى توفير إمكانية للتواصل على المستوى العالمي، وهذا يتضمن أن المستويات الدنيا من التصنيف كالمستوى الثالث من WRB، يمكن أن يسهم في خدمة التصنيف المحلي في البلد، حيث يؤكد هذا المستوى على ضرورة إبراز الصفات التي يعتقد أنها ضرورية لاستعمال التربة وإدارتها.
- إن المصطلحات المستخدمة في خريطة تربة العالم 1988 UNESCO, FAO، استخدمت كأساس لتطوير نظام WRB، وذلك من أجل الاستفادة من ميزة الربط بين تربة العالم التي تم تنفيذها حتى الآن.
- إن تعريف وحدات التربة ووصفها، يعكس الاختلاف في خصائصها، عامودياً وأفقياً.
- إن عبارة مرجع أساسي Reference base عبارة عن دلالة لصفة مشتركة يفترضها WRB، تمتلك وحدات التربة في هذا النظام مساحة واسعة لتحفيز التناغم والتجانس والربط مع أنظمة التصنيف المحلية.
- إضافة إلى أنظمة التصنيف القائمة فإن نظام WRB، يسهم في استكمال قواعد معلومات التربة.
- التسميات Nomenclature المستخدمة لتمييز مجموعات التربة، لازالت تحتفظ بالتسميات التقليدية المستخدمة، أو يمكن وصفها بسهولة في اللغة الحالية.
- لقد تم تمييز أو تفريق الصفوف على المستوى الأول أو الأعلى في نظام WRB، اعتماداً على العمليات المباشرة الأولية في التربة، والتي أدت إلى إنتاج بعض صفات التربة.
- على المستوى الثاني، فقد تم تفريق الوحدات على أساس عمليات تكوين التربة الثانوية، والتي أثرت على صفات التربة الأولية.

2 - أسس بناء نظام (WRB) Architecture:

- حالياً، يتضمن نظام WRB مستويين من التصنيف:
- المستوى الأول وهو مجموعات التربة المرجعية RSCs وعددها 32 مجموعة.

- المستوى الثاني وهو اتحاد بين RSGs مع بادئة أو لاحقة تحدد صفة معينة Qualifiers، لإعطاء تفصيل عن خصائص RSGs من خلال إضافة المدلولات (Qualifiers) الخاصة بذلك.

د - التصنيف في المدرسة الروسية:

1- مقدمة:

لقد وضع داكوتشاييف Dokuchaev أول تصنيف علمي للتربة، وذلك استناداً إلى عوامل تكوينها، وبعد نمط التربة المنشئي الوحدة الأساسية للتصنيف، وعرف نمط التربة Soil type بأنه مجموعة التربة المتماثلة في خصائصها، حيث تتكون في ظروف متشابهة مناخياً ونباتياً وصخرياً وتضاريسياً.

وقسم داكوتشاييف عام 1886 م تربة نصف الكرة الأرضية الشمالي إلى ثلاثة صفوف، استناداً إلى العلاقة بين خصائص التربة وظروف تكوينها، هي:

- صف التربة العادية Normal soils : يضم سبعة أنماط منشئية.
- صف التربة الانتقالية Transitional soils : يضم ثلاثة أنماط منشئية.
- صف التربة غير العادية Anormal soils : يضم ثلاثة أنماط منشئية.

وعُدل سييرتسيف Sibirtzev عام 1895 هذا التقسيم، ليربط خصائص تكوين التربة بتوزعها الجغرافي، ولينشر تصنيفه هذا إلى أنحاء متعددة من المدارس، وهو كالتالي:

أ- تربة نطاقية Zonal soils: تعكس الظروف النطاقية التي تعني تكوين التربة تحت تأثير المناخ والنبات.

ب- تربة بين نطاقية Intrazonal soils: يكون دور المناخ والنبات واضحاً، لكنه ليس سائداً.

ج- تربة لا نطاقية Azonal soils: تؤدي الظروف المحلية، كالصخور أو المستنقعية النور الأول في تكوين التربة، ويكون دور المناخ والنبات ثانوياً.

لقد استندت معظم التصنيفات اللاحقة على الأسس التي وضعها العالمان المذكوران من حيث، النظر إلى التربة كجسم طبيعي، يتطور متفاعلاً بشكل وثيق مع الوسط المحيط، ويتطابق النمط المنشئي نطاقاً جغرافياً طبيعياً.

لقد عمل في مجال تصنيف التربة كثير من العلماء، من أشهرهم إيفانوف Ivanova، وروزوف Rozov، وغيراسيموف Gerassimov، وصدر نتيجة أعمالهم عدد من المخططات التي تعرضت لكثير من التعديلات، وأهم تلك المخططات ما صدر عام 1967 عن وزارة الزراعة وعام 1977 و 1989 عن معهد داكوتشيف.

يضم المخطط الأول ثمانية صفوف أو مجموعات بيومناخية أو بيئة منشئية، بينما يضم المخطط الثاني عشر مجموعات، باستثناء تربة المناطق القطبية والتندرية، وتم فيه تصنيف نحو 80 نمطاً من التربة، وجمعت تلك الأنماط في مجموعات بيئية نطاقية ورتب رطوبة. جدول (29).

وتتميز كل مجموعة أو صف استناداً إلى المناخ، ونوعية الغطاء النباتي، واعتمدت مؤشرات مناخية محددة هي، المجموع السنوي لدرجات حرارة التربة التي تتجاوز 10 °م على عمق 20 سم، وعدد أشهر السنة التي تكون فيها حرارة التربة سالبة على ذلك العمق، ثم معامل الترطيب.

وقسمت المجموعات المذكورة إلى تحت مجموعات تبعاً للخصائص البيو — فيزيا — كيميائية للتربة مثل، (نوعية الدبال، تفاعل التربة، محتوى الكربونات، القلونة، الملوحة، البذلة وغيرها). كما قسمت استناداً إلى ظروف الرطوبة إلى ثلاث رتب: ذاتية، نصف مائية، ومائية.

تضم المجموعة البيومناخية رتب وأنماط التربة المشابهة بخصائصها المرتبطة بصورة وثيقة مع الوسط الطبيعي، إذ يعتمد في ذلك على النظام الحراري للتربة، والطاقة الحيوية لعملية تكوين التربة، وخصائص النظام المائي المتعلق بالرطوبة الجوية.

وتضم كل رتبة عدداً من أنماط التربة المتقاربة في خصائصها. (جدول 29)

جدول (29)، ملخص مخطط تصنيف التربة في المدرسة الروسية عن كاوريتشيف (1989 Kaurichev):

المجموعات البيئية النطاقية Zonal ecological groups			تحت المجموعات البيوفيزيوكيميائية
لترتيب المنشئية تبعاً لنظام الترطيب			
مائية التشكل (هيدرومورفية)	نصف مائية التشكل (نصف هيدرومورفية)	ذاتية التشكل (أوتومورفية)	
1- الأدغال السبيرية (Taiga): مجموع حرارة التربة SST من 2700 - 400 °م. طول الفترة التي تقل فيها الحرارة عن الصفر SFP من 2 - 8 أشهر، معامل الترطيب MC من 0.77 - 1.33.			
...	بودزولية (نمط)	بودزولية (نمط)	حامضية فولفانية
..	-	عشبية بودزولية (نمط)	هيومائية - فولفانية
-	عشبية موحلة	عشبية كلسية	فولفانية - هيومائية
2- القرب البنية الغالية: SST من 1600 - 3400 °م، SFP من 1 - 5 أشهر، MC من 1.0 - 1.33.			
	أراضى بنية موحلة	أراضى بنية	حامضية فولفانية
3- السهبية الغالية: SST من 800 - 4400 °م، SFP من 1 - 8 أشهر، MC من 0.44 - 0.77.			
مرجبة	تشرلوزوم مرجبة	تشرلوزوم	متعادلة هيومائية
4- السهبية الجافة: SST من 1600 - 4400 °م، SFP من 1 - 8 أشهر، MC من 0.22 - 0.44.			
مرجبة	كستانية مرجبة	كستانية	متعادلة هيومائية
مرجبة كستانية سولونتش	كستانية مرجبة سولونتش	كستانية سولونتش	هيومائية - فولفانية مقلونة
5- نصف صحراوية: SST من 2100 - 3400 °م، SFP من 1 - 8 أشهر، MC من 0.12 - 0.22.			
مرجبة	بنية مرجبة	بنية نصف صحراوية	فولفانية - هيومائية كربوناتية
سولونتشاك هيدرومورفي		سولونتشاك أوتومورفي	هيومائية - فولفانية مالحة

المجموعات البيئية النطاقية Zonal ecological groups			تحت المجموعات البيولوجيا كيميائية
الترتيب المنشئية فيما لنظام الترطبية			
ذاتية التشكل (أوتومورفية)	نصف ذاتية التشكل (نصف هيدرومورفية)	مائية التشكل (هيدرومورفية)	
6- صحراوية: SST من 3400 - 7200 °م، SEP من 0 - 5 أشهر، MC 0.12			
مرجعية - رملية - بنية صحراوية	مرجعية - صحراوية	مرجعية صحراوية	هيو مائية - فولفائية كربونائية - جبسية
سولونتشاك هيدرومورفية		سولونتشاك أوتومورفية	هيو مائية - فولفائية ملحة
7- نصف صحراوية شبه مدارية: SST من 3400 - 7200 °م، SEP من 0 - 2 أشهر، MC 0.12 - 0.22			
مرجعية	سايروزوم مرجعية	سايروزوم	هيو مائية - فولفائية كربونائية
8- سهبية - شجيرية شبه مدارية: SST من 4400 - 7200 °م، SEP 0-، MC 0.22 - 0.44			
مرجعية	رعادية - قرفية مرجعية	رعادية - قرفية	فولفائية - هيو مائية مكدلة
9- غابية جفالية شبه مدارية: SST من 4400 - 5600 °م، SEP 0=، MC 0.44 - 1.0			
مرجعية	قرفية مرجعية	قرفية	متعادلة هيو مائية عالية التدبل
10- غابية رطبة شبه مدارية: SST من 4400 - 5600 °م، SEP 0=، MC 1.0 - 1.33			

المجموعات البيئية النطاقية Zonal ecological groups			تحت المجموعات البيوفيزيوكيميائية
الترتيب المنطوقية تبعاً للنظام للتطبيق			
مائية التشكل (هيدرومورفية)	نصف مائية التشكل (نصف هيدرومورفية)	ذاتية التشكل (أوتومورفية)	
-	...	أراضي حمراء	حامضية فولفانية قبر البنية
-	أراضي صفراء موحلة	أراضي صفراء	حامضية فولفانية فبر سيلبانية
-	أراضي صفراء بوزولية موحلة	أراضي صفراء بوزولية	حامضية فولفانية سيلبانية

يضم هذا الملخص أمثلة عن أنماط التربة وليس جميعها، وتقع تربة سورية ضمن المجموعات البيئية النطاقية من 5 - 9.

يعد نمط التربة Soil type الوحدة الأساسية للتصنيف في مختلف مدارس التربة في العالم رغم تباين أسمائه. ويتميز النمط بوحدة (تجانس) في تكوين المواد وتحولاتها وهجرتها أو ترسيبها، نتيجة تماثل الظروف البيولوجية والمناخية والهيدرولوجية. وتتنصف تربة النمط الواحد بوضوح العملية الرئيسة لتكوين التربة مع إمكان تدخلها مع غيرها من العمليات. وتحدد الملامح الرئيسة لنمط التربة بما يلي:

- أ- تماثل أو تجانس في حلول المواد العضوية وعمليات تحولاتها وتحللها.
 - ب- تماثل في مجمل عمليات تحلل المواد المعدنية، وإعادة تكوين المستحبات المعدنية والمعدنية العضوية.
 - ج- تماثل في طبيعة هجرة المواد وتراكمها.
 - د- تماثل بناء مقطع التربة أو تسلسل الأفاق.
 - هـ- تماثل العمليات اللازمة لرفع خصوبة التربة والحفاظ عليها.
- وأخيراً يجب أن تتماثل نظم التربية، من حرارية ومائية وهوائية وغذائية.

يضم نمط التربة عدداً من الوحدات التصنيفية، قد تختلف أسماؤها من بلد لآخر، لكن مضمونها يبقى متشابهاً، وهذا ما يوضحه الجدول (30) التالي:

جدول (30): مستويات التصنيف في أنظمة مختلفة

الترجمة عن الروسية	روسية	الولايات المتحدة	فرنسية
صنف	Class	Order	Classe
رتبة	Ryad	Suborder	Sous-Class
نمط	Type	Great group	Groupe
نحت نمط	Pod type	Subgroup	Sous-groupe
فصيلة	Road	Family	Famille
جنس (سلسلة)	Veed	Series	Seris
نوع	Raznovidnost	Type	Type
صنف	Razryad	Phase	Phase
طور	Phase	-	-

يتم تقسيم النمط إلى وحدات أصغر وفق الأسس التالية:

أ- تحت نمط: يعد درجة انتقالية بين الأكمات، وتمايز تحت الأكمات نوعياً في عمليات تكوين التربة، ويتم تحديدها اعتماداً على العمليات المرتبطة بتبدل تكوين التربة تحت النعماقي أو الإقليمي Provincial، أي التبدل الرطوبي أو التبدل السحني Faical أي الحراري.

ب- فصيلة: ترتبط خصائصها المنشئية بالظروف المحلية المؤثرة في عمليات تكوين التربة، مثل: بنية الصخور وتركيبها، عمق المياه الأرضية ونوعيتها، كما قد تبين الملامح الأثرية المحفوظة في التربة من مراحل تكوين سالفه، وغالباً ما يعبر عن الظروف أو الظاهرة نوعياً لا كمياً.

ج- جنس: يميز ضمن الفصيلة استناداً إلى درجة تطور عمليات تكوين التربة مثل عمق البذرلة ودرجتها، عمق التبدل وشدته، درجة الملوحة،... وعلى هذا الأساس فإن الأجناس تعكس الجانب الكمي لعمليات تكوين التربة.

د- نوع: يحدد استناداً إلى التركيب الميكانيكي للتربة وصخورها الأم.

هـ- صنف: يعتمد تحديده على نوعية الصخور الأم.

و- طور: يعبر عن الحالة الزراعية للتربة أو غطائها النباتي.

يعتمد إلحاق تربة ما بوحدة تصنيفية معينة على المميزات التشخيصية للتربة، وهذه تستدعي وجود نتائج التحاليل التالية: نوعية الدبال، تركيب القواعد الممتزة، التركيب الكيميائي الكلي للتربة ولمجموعة الغضار في مختلف الأفاق، درجة الملوحة، رقم الحموضة. وعند تشخيص الترب الزراعية لابد من تحديد درجة التكتيف الزراعي، ونتائج التحاليل الكيميائية الزراعية والفيزيائية الزراعية، مثل: محتوى العناصر الغذائية المتيسرة والكثافة، والمسامية، والبنية، وغيرها.

أما التسمية الكاملة للتربة، فتبدأ بالنمط، فتحت النمط وسحته، والفصيلة، فالجنس، فالنوع، فالصنف وأخيراً الطور، وهذا ما يوضحه المثال التالي:

تربة قرفية (نمط)، عادية (تحت نمط)، كربوناتية (فصيلة)، قليلة الكربونات (جنس)، طميية (نوع) متوضعة على نواتج تجوية البازلت (صنف)، مزروعة بالمحاصيل (طور).

الفصل الحادي عشر
التربة السورية
Soils of Syria



الفصل الحادي عشر

الترب السورية

Soils of Syria

١١-١- مقدمة:

تقوم دول العالم المختلفة، في مواجهة مشكلاتها الاقتصادية والاجتماعية المختلفة، بإجراء حصر شامل لمواردها الطبيعية، للتعرف على أفضل السبل لمواجهة هذه المشكلات من جهة ولاستثمار مواردها الطبيعية بالشكل الأمثل من جهة ثانية.

وتعد مشكلة توافر الغذاء للأعداد المتزايدة من السكان، واحدة من أهم المشكلات التي يحاول المعنيون بالقطاع الزراعي اتخاذ الإجراءات المناسبة لحلها، وخاصة في الدول ذات الموارد الطبيعية المحدودة، سواء لفئة مصادر المياه، ولعدم ملائمة التربة أو لأي سبب آخر. يجب عند اختيار المناطق المراد تسميتها زراعياً، توخي الحذر الشديد في اختيار الطرائق المناسبة لاستثمارها أو لإدارتها، بالطريقة التي تضمن الحصول على أكبر كمية من الإنتاج، مع المحافظة على مواصفات التربة والحيولة دون تدهورها مع الوقت.

تقدم خرائط التربة القدر الأكبر من المعلومات عن خواص التربة المختلفة، الكيميائية والفيزيائية والخصوبة، وطبيعة التضاريس وغيرها، مما يعطي المستثمر فكرة كاملة عن طريقة استثمار التربة دون الإضرار بها.

لقد تم تحضير خريطة التربة للجمهورية العربية السورية والتي تبلغ مساحتها (185.189 كم²) بمقياس 1 : 1 مليون من قبل المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة، واعتمد في إعداد الخريطة وحصر الترب على نظام تصنيف التربة الأمريكي USDA Soil Taxonomy .

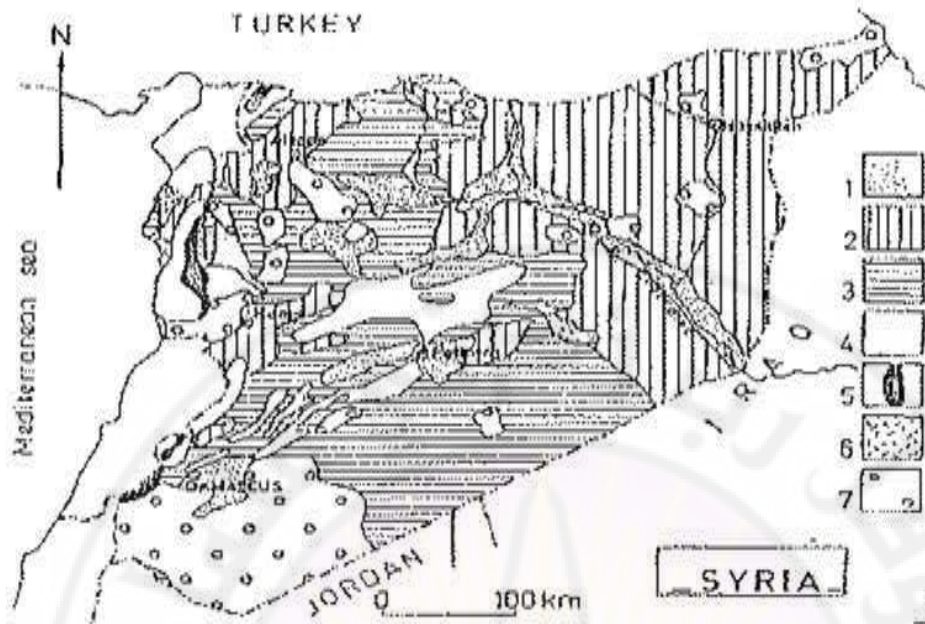
١١-٢- عوامل تكوين التربة في سورية:

التربة هي ولادة تفاعل كل من المناخ والأحياء مع الصخر الأم في ظروف طبوغرافية معينة وازمن معين، ولا بد من دراسة هذه العوامل قبل البدء بأي عمل من أعمال مسح التربة في أية منطقة من العالم. ومن حسن الحظ فإنه تتوفر مصادر حديثة وجيدة تغطي كل هذه العوامل على مستوى القطر العربي السوري وسنناقش بإيجاز هذه العوامل ذات الأثر الكبير في تكوين الترب السورية.

١-٢- المادة الأم Parent materials:

تتكون التربة السورية على أنواع مختلفة من الصخور من حيث العمر الجيولوجي والتركيب وأهم هذه الصخور (شكل 71) هي:

- صخور العصرين الثلاثي والجوراسي Jurassic and Triassic وتنتشر بشكل رئيسي في المنطقة الشرقية من الجبال الساحلية والمنطقة الجنوبية الشرقية من جبال لبنان الشرقية. أهم صخورها الحجر الكلسي والدولوميت والمارن.
- صخور العصر الطباشيري Cretaceous انتشرها الرئيسي في الجبال التدمرية والساحلية وصخورها الرئيسية مشابهة لصخور العصرين السابقين، إلا أنها تشمل أيضاً أنواعاً أخرى أقل أهمية كالجبس والحجر الرملي والفوسفاتي.
- صخور العصر الباليوجيني Palaeogene وتغطي صخور هذا العصر مساحات واسعة من القطر وهي الأكثر انتشاراً في المناطق الجنوبية والشرقية والوسطى وتشمل بشكل رئيسي على صخور الحجر الكلسي والمارن والحجر الرملي.
- صخور العصر النيوجيني Neogene تغطي صخور هذا العصر معظم المنطقة الشمالية الشرقية، أهم صخور هذا العصر من الوجهة البيدولوجية هو الصخر الجبسي حيث تسود التربة الجبسية المتكونة نتيجة لذوبان الجبس وانتقاله بالمياه ثم إعادة ترسيبه في أنحاء المنطقة كلها.
- رسوبيات العصر الرباعي Quaternary Deposits وتغطي الرسوبيات الحديثة لهذا العصر وديان الأنهار وأهمها وادي الفرات كما تنتشر في غوطة دمشق وبعض المنخفضات الصحراوية.
- الصخور البركانية Volcanic Rocks تسود صخور البازلت في المنطقة الجنوبية الغربية من القطر حيث تغطي جبل العرب وسهل حوران ومرتفعات الجولان، كما تغطي الجزء الغربي من هضبة الحماد وبعض المناطق من السهول الوسطى وشمال شرق القطر.



١-الرباعي ، ٢- النيوجين، ٣-الايوجين، ٤-الپلياسين، ٥- الجبريت و الترياسك، ٦- الترتوزي، ٧- بازلت شور منمايز.

الشكل (71)، يبين الخريطة الجيولوجية لسورية

٢-٢- الجيومورفولوجيا (التضاريس):

يمكن تقسيم القطر عامة إلى ثلاث مناطق رئيسية بحسب طبيعة التركيبات الجيومورفولوجية. شكل (72)

- المناطق الجبلية: وتنتشر في غرب القطر ممثلة بالجبال الساحلية وجبال لبنان، وفي وسطه تقوم سلسلة الجبال التدمرية.

- مناطق السهول والهضاب: وتعود في الجزء الأعظم من القطر ممثلة بهضبة الحماد وبادية الشام وسهول الجزيرة والسهول الوسطى.

- مناطق فيزيوغرافية مختلفة ذات طبيعة بركانية: هذه المناطق تتفاوت من السهول كما هو الحال في حوران إلى الهضاب كما في مرتفعات الجولان إلى الجبال كما هو الحال في جبل العرب.



- 1- المناطق الجبلية
2- منخفضات ضمن سلاسل جبلية
3- الهضاب والسهول
4- السهول رسوبية المنشأ
5- مناطق التكوينات البركانية
6- سهول ساحلية
7- سيخات وأحواض ملحية

الشكل (72)، يبين الخريطة الجيومورفولوجية لسورية

٢-٣- المناخ:

يعد المناخ عاملاً كبير الأهمية في التأثير على نوع الغطاء النباتي السائد وكذلك على أنواع الترب الموجودة.

وبتفاوت المناخ في سورية من متوسطي على امتداد البحر الأبيض المتوسط والحدود الشمالية إلى جاف وشبه جاف في الأجزاء المتبقية من القطر، ويمكن تقسيم القطر عامة إلى ثلاث مناطق مناخية متميزة:

- المنطقة الساحلية: وتتمتع بهطول مطري مرتفع نسبياً وهي ذات شتاء لطيف وماطر وصيف حار عديم الأمطار.
- منطقة البادية: وتغطي ثلثي مساحة القطر وتسقط فيها أقل كمية من الأمطار، شتاؤها بارد، وصيفها شديد الحرارة وجاف.
- المنطقة المحصورة بين المنطقتين السابقتين إضافة إلى شريط بعرض 30 - 50 كم على امتداد الحدود الشمالية. مناخ هذه المنطقة هو وسطياً بين المنطقة الساحلية الرطبة ومنطقة البادية الجافة.

٢-٤- الغطاء النباتي:

يرتبط الغطاء النباتي الطبيعي بالمناخ رئيساً وبنوع التربة بدرجة أقل. كما أنه يتأثر بدرجة كبيرة بنوع التربة السائدة فإنه أيضاً يؤثر كثيراً في تكوين هذه التربة وسيادة أنواع منها على أنواع أخرى. ويمكن القول إن الغطاء النباتي الطبيعي الموجود في القطر كان قد تعرض على مر القرون لتخريب الإنسان من تحطيب واقتطاع وحراثة وغير ذلك من الفعاليات التي أدت إلى تدهوره ووصوله للحالة الموجودة عليها حالياً وعلى العموم فإن الغطاء النباتي في سورية يتراوح من غابات منفاوثة الأنواع والكثافة على امتداد البحر الأبيض المتوسط إلى شجيري في المناطق الأقل رطوبة وسهوب في منطقة البادية.

١١-٣- أنواع التربة في سورية بحسب Soil Taxonomy:

لقد بينت التحريات المختلفة الحقلية منها والمخبرية، أن تربة سورية تتوزع على خمس رتب من الرتب الاثنتي عشرة التي يشتمل عليها نظام التصنيف الأمريكي المتبع. كما أشارت بعض الدراسات، إلى وجود رتبة سادسة لكن انتشارها محدود جداً، وفيما يلي وصف مبسط لأنواع التربة المختلفة وأماكن توزعها في القطر.

٣-١- رتبة التربة الجافة ARIDISOLS:

يختصر وجود هذه الرتبة في المناطق الجافة، وتحتوي على بعض الأملاح وبخاصة كبرونات الكالسيوم، ويظهر فيها على الأقل تطور بعض الأفق السطحية، تتميز هذه التربة ببقاها جافة معظم السنة، عمليات غسل محدود جداً، وتراكم الطين والأملاح في الأفق

السطحية، وقد يحدث فيها غسل جزئي لبعض الأملاح تغطي هذه الرتبة نحو 50% من المساحة الإجمالية للقطر، وتنتشر بشكل رئيسي في المنطقة الشرقية والجنوبية الشرقية، يقع تحت هذه الرتبة، سبع تحت رتبة، والموجود منها في القطر:

أ- التربة الكلسية «Calcid»:

وتتميز هذه التربة بوجود أفق كلسي ضمن المتر الأعلى من قطاع التربة. وتسود هذه التربة في معظم المناطق ذات النظام الرطوبي الجاف، وهي تغطي نحو 21% من مساحة القطر. بينما تمثل وحدات الأراضي التي تسود فيها هذه التربة 30% من المساحة الإجمالية. وتنتشر بشكل رئيسي في المنطقة الجنوبية الشرقية من القطر بما فيها هضبة الحمك والجزء الأعظم من البادية السورية كما تسود التربة الكلسية في بعض الوحدات شمال شرق وشمال غرب القطر وفي جبل البشري. إضافة إلى ما سبق تعد هذه التربة هي التربة المشاركة الرئيسية في معظم الوحدات التي تسود فيها التربة الجبسية. وقد لوحظ أن الموقع الطبوغرافي يلعب دوراً مهماً في توزيع هذه التربة، فبينما توجد التربة الكلسية في المنخفضات فإن التربة الجبسية تشغل المواقع الأكثر ارتفاعاً.

وتظهر تجمعات كربونات الكالسيوم بالتربة الكلسية بنسب وبأشكال مختلفة ودرجات صلابة متفاوتة ضمن الأفق الكلسي المميز لهذه التربة.

ب- التربة الجبسية «Gypsids»:

وتتميز هذه التربة بوجود أفق جبسي ضمن المتر الأعلى من قطاع التربة، وتغطي التربة الجبسية نحو 20% من مساحة القطر وتسود في المساحة نفسها تقريباً، فهي تغطي معظم منطقة الجزيرة بما في ذلك مصاطب الأنهر (الفرات، الخابور، البليخ) كما تسود في الجزء الشمالي من بادية الشام ومعظم بادية الرصافة إضافة إلى الجزء الأعظم من جبل البشري وبعض الوحدات في الجبال التدمرية الشمالية. ونتيجة للتحريات الحقلية فقد لوحظ وباستثناء عدد محدود جداً من الوحدات أن الجبس يوجد في المناطق ذات النظام الرطوبي الجاف، كما ويمتد انتشاره في المنطقة الشمالية الشرقية إلى مواقع ذات نظام رطوبي متوسطي Xeric Soil Moisture Regime وكما هو الحال بالنسبة لكربونات الكالسيوم في التربة الكلسية فإن الجبس يظهر هنا بأشكال ونسب متفاوتة ودرجات صلابة مختلفة أيضاً.

ج- التربة الجافة قليلة التطور Cambids:

وتتميز هذه التربة بوجود أفق تشخيصي من نوع Cambic (أفق التجوية أو التغير) الذي يتميز بدرجة تطور قليلة إذا ما قورن بالأفق الكلسي مثلاً، ففي حين أن نسبة كربونات الكالسيوم الثانوية التي يمكن مشاهدتها بالأفق الكلسي يجب أن لا تقل عن 5% (نسبة حجمية) فإن بدايات تكوين الكربونات الثانوية تكفي بالنسبة للأفق الآخر. هذه التربة هي ذات انتشار محدود في سورية ولا تتجاوز المساحة التي تغطيها إلى 3% من المساحة الكلية، وتتكون في الترسبات ذات العمر الحديث نسبياً ووجودها محدود بالمنطقة الجنوبية بشكل رئيسي.

د- التربة الكلسية التي تحتوي على أفق كلسي متصلب Petrocalcic:

وتتميز هذه التربة بوجود أفق كلسي متصلب Petrocalcic Horizon ضمن المتر الأعلى من قطاع التربة. وهي ذات انتشار محدود نسبياً حيث تسود في ثلاث وحدات مناخ جاف ولكن مجاور للمتوسطي. وتبلغ المساحة التي تغطيها هذه التربة نحو 1% من مساحة القطر، ويرتبط وجود هذا النوع من التربة بالسلاسل الجبلية الموجودة في وسط وجنوب غرب القطر، وفي معظم ترب هذه المجموعة فإن القشرة الكلسية المتصلبة توجد عادة على السطح أو قريباً منه.

هـ - التربة الملحية Salids:

تتميز هذه التربة بوجود أفق ملحي ضمن الـ 100 سم العليا من قطاع التربة والذي لا تقل الناقلية الكهربائية عن 30 ميلي موز، ومع أن المساحة التي تغطيها هذه التربة لا تزيد عن 1% من مساحة القطر إلا أنها تعد ذات أهمية بالغة وذلك لانتشارها في مناطق ذات أهمية زراعية كبيرة كوادي الفرات. وتوجد هذه التربة بشكل طبيعي أيضاً في بعض المنخفضات الصحراوية ذات الماء المالح والعالي المستوى كسبخة الموح قرب نتمر وبعض الوحدات على امتداد الحدود العراقية، ويعتقد حالياً أن مساحة التربة المالحة قد تجاوزت النسبة المذكورة أعلاه وربما وصلت إلى أكثر من 2%.

3- رتبة التربة غير المتطورة ENTISOLS:

لقد عُدَّ غياب النتائج الملموسة لعمليات تكوين التربة في النظام المتبع مهماً بحد ذاته حيث أصبح تشخيصياً على أعلى مستوى وهو مستوى الرتب. إن المواصفات العامة لتربة هذه الرتبة عدا كونها معدنية تتلخص في غياب الآفاق التشخيصية فهي إذاً تربة بمعنى أن النباتات يمكن أن تنمو فيها. تربة هذه الرتبة يمكن أن توجد تحت أي مناخ أو أي غطاء نباتي وفي أي بقعة من العالم.

تغطي تربة هذه الرتبة نحو 14 % من مساحة القطر ويتبعها مجموعتان رئيسيتان على مستوى تحت الرتبة.

3-1- تربة الرسوبيات الحديثة FLUVENTS:

وتتميز هذه التربة بأن درجة الانحدار في المواقع التي توجد عليها هي أقل من 25%، كما أن نسبة الكربون العضوي تتذبذب بغير النظام في قطاع التربة أو تبقى أكثر من 0.2% على عمق 1.25 سم من السطح.

توجد هذه التربة بشكل رئيسي في وديان الأنهار كالفرات والخابور وفي بعض الخبرات في منطقتي البادية والحماد (خبرة التنف) وعلى مستوى المجموعات العظمى فقد تم تقسيم هذه التربة اعتماداً على أنظمة حرارة ورطوبة التربة السائدة وعليه فإن المجموعة السائدة في سورية هي TORRI/FLUVENTS المتواجدة في المناطق الجافة كوادي الفرات يليها، وبشكل محدود، مجموعة الـ XEROFLUVENTS ذات المناخ المتوسطي.

3-2- ترب السطوح المعرضة للتعرية ORTHENTS:

تتميز هذه الترب عادة بكونها توجد في مواقع شديدة الانحدار ومعرضة للتعرية المستمرة حيث لا يتوافر الوقت الكافي لتطوير الأفاق التشخيصية كما أنها تتميز ونتيجة لما سبق بضعف العمق، حيث لا يتجاوز عمق قطاع التربة في الغالب إلى 25 سم. من هذه التربة رتبة تسود مجموعة الـ TORRIORTHENTS في معظم السلاسل الجبلية الموجودة في المنطقة الجافة من سورية (الجبال الندمرية ومعظم جبال لبنان الشرقية). كما توجد كثير مشاركة مع الترب الكلسية في بعض الوحدات في هضبة الحماد. أما مجموعة XLRORTHENTS فإنها تسود في الجزء الأعظم من الجبال الساحلية وبعض المناطق الجبلية الأخرى ذات الهطول المطري العالي نسبياً غرب القطر. إضافة إلى ما سبق فإن رتبة الترب غير المتطورة في سورية تشتمل أيضاً على تحت رتبة أخرى محدودة الانتشار هي PSAMMENTS أو الترب الرملية.

3-3- رتبة الترب القليلة التطور INCEPTISOLS:

- ومن المواصفات المشتركة لترب هذه الرتبة هي:
- توفر الرطوبة اللازمة لنمو النباتات لثلاثة أشهر مستمرة على الأقل عندما تكون درجة الحرارة ملائمة للنمو.
 - وجود أفق تشخيصي واحد أو أكثر.
 - هجرة معادن الطين هجرة محدودة حيث لا تكفي لتشكيل أفق مليني.
 - نسجه أنعم من مزيجيه رملية، أي وجود نوع من التجوية وفي الوقت نفسه توافر المعادن التي لازالت قابلة للتجوية.
 - غياب الأفاق الطبيعية السطحية الغنية بالمادة العضوية والداكنة اللون.
 - احتمال وجودها في كل مكان ماعدا المناطق ذات النظام الرطوبي الجاف.
 - عدم وجود نسبة طين عالية متصاحبة مع شقوق عريضة وعميقة ووحدات بناء حادة الزوايا.

تلي هذه الرتبة التربة الجافة من حيث المساحة التي تغطيها تربها التي تبلغ نحو 25% من مساحة القطر. باستثناء بعض التربة المحدودة الانتشار والتي يسود الرماد البركاني في قطاعها فإن كل تربة هذه الرتبة ممثلة بنحت رتبة واحدة XEREPTS .

وتنتشر تربة هذه المجموعة على امتداد الحدود الشمالية مع تركيا، كما تسود في منطقة السهول الوسطى شرق الجبال الساحلية وحتى حدود المنطقة الجافة، كما أنها تسود في منطقتي حوران وجبل العرب، وحيث تتصف التربة التابعة لهذه المجموعة بوجود أفق كلسي في منطقة الجزيرة، ومعظم الأراضي التابعة لها في منطقة حلب وبعض الوحدات في السهول الوسطى تتميز بوجود أفق كلسي متصلب PETROCALCIC . أما في سهول حوران وفي المناطق ذات الهطول المطري المرتفع نسبياً في المنطقة الوسطى، فإن قطاع التربة يتميز بوجود شقوق واسعة وعميقة، أما في سفوح الجبال فتوجد عادة التربة الضحلة من هذا النوع.

3-4- رتبة التربة الغنية بالمادة العضوية MOLLISOLS :

في تربة هذه الرتبة تكون الأفاق المسطحية EPIPEDONS ذات محتوى عالٍ من المادة العضوية وذات لون داكن إلى مسود، كما أن نسبة التشبع بالقواعد تكون عالية. تنتشر هذه التربة في المناطق ذات الهطول المطري الأعلى بالقطر وتسود في عدد محدود من الوحدات في المنطقة الساحلية وفي منخفض الغاب، إلا أنها توجد كتراب مشاركة في العديد من الوحدات كهضبة الجولان وجبل العرب والجبال الساحلية.

3-5- رتبة التربة الطينية المتشققة VERTISOLS :

تتميز هذه التربة بأن قطاعها يخضع للمزج المستمر حيث لا تتاح الفرصة لتكوين الأفاق التشخيصية وذلك لعدم استقرار التربة، مواصفائها العامة هي:

- محتوى عالٍ من الطين.
- تغير الحجم بتغيير المحتوى الرطوبي.
- شقوق واضحة.
- دلائل على أن التربة في حركة مستمرة ومنظمة مثل وجود وجوه ضغط متقاطعة أو وحدات بناء حادة الزوايا ووجود سطوح لامعة Slickensides .

هذه التربة ذات الانتشار محدود نسبياً في سورية، وتُشود في بعض الوحدات في
الزوايتين الشمالية الشرقية والشمالية الغربية من القطر حيث يزيد الهطول المطري السنوي
على 500 مم كما توجد تربة الـ VERTISOLS كتربة مشاركة رئيسية وثانوية في كثير
من الوحدات الموجودة على امتداد الحدود الشمالية وفي المنطقة الوسطى وسهول حوران
وجبل العرب.

3-6- رتبة التربة الطينية متوسطة الغسل ALFISOLS:

يعتقد وجود انتشار محدود لهذا النوع من التربة، وخاصة في المنطقة الوسطى، لكن
ليس هناك ما يؤكد وجودها في مناطق أخرى أو مدى انتشارها. علماً أن بذية هذه التربة تحدد
غالباً بمناخ رطب نسبياً، أي كمية أمطار تتجاوز 500 مم/سنوياً.



المصطلحات العلمية

A

Abrasion	حك
Absorption	امتصاص
Acceptor	مستقبل
Acid	حامض
Action	فعل
Active	نشط
Actual	فعلي
Adsorbate	العناصر المدمصة
Adsorbent	أجسام الامصاص
Adsorption	ادمصاص
Acration	تهوية
Agents	التهام
Aggregate	مجمعات
Amorphous	عديم التبلور
Amphotric	متذبذب
Anion	أنيون (شرسبة)
Anthropogenic	صنعي
Aquic	مائي
Attractive	جذب
Available	متاح - متوافر

B

Base	أساس
Base saturation	التشبع بالقواعد
Biological	حيوي

Biomass	كتلة حية
Bond	رابطة
Buffering	درء
Bulk density	كثافة ظاهرية

C

Capacity	سعة
Capillarity	الخاصة الشعرية
Cation	كاثيون (شرجية)
Cation exchange	التبادل الكاثيوني
Cementing	تصلب
Charge	شحنة
Chelate	تمخلب
Classification	تصنيف
Clay	طين (خضار)
Cleavage	انقسام
Coarse	خشن
Coefficient	معامل
Colloidal	غروي
Compaction	ضغط أو رص
Complex	معقد
Composition	تركيب
Concentration	تركيز
Concept	فكرة
Constituent	مكون
Contraction	تقلص
Convection	حمل

Counterions	أيونات معادلة
Crylic	بارد جداً
Crystallization	تبلور

D

Density	كثافة
Diagnostic	تشخيصي
Diffuse layer	طبقة منتشرة
Diffusion	انتشار
Discreet	منقطع
Dispersion	بعثرة - تبعثر
Displacement	إزاحة
Donor	مانح
Dormant	سكون
Dormant	سكون
Double layer	طبقة مزدوجة
Drying	تجفيف

E

Electrostatic	كهرو-ساكنة
Energy	طاقة
Epipedon	مقطع تربة
Equilibrium	توازن
Exchange	تبادل
Exchangeable	قابل للتبادل
Expansion	تمدد
Exposure	معرض
Extract	مستخلص

F

Fibrous	ليفى
Field capacity	السعة الحقلية
Fine	ناعم
Fixation	تثبيت
Flexible	قابل للتشكيل
Flow	تدفق
Force	قوة
Formation	تشكل
Formation	تشكل (تكون)
Fraction	جزء
Fractionations	تجزئة
Freezing	تجمد
Frigid	بارد قارس
Function	وظيفة
Gaseous	غازي
Genesis	منشأ
Grade	درجة
Gravitational potential	جهد الجاذبية
Ground water	ماء أرضي
Heat	تسخين
Hemisphere	مجال - محيط
Horizon	أفق
Humified	متبدل
Hydration	تميه
Hydration energy	طاقة التميّه

Hydraulic conductivity	التوصيل المائي
Hydrolysis	التحلل المائي
Hydrophilic	محب للماء
Hydrophobic	كاره للماء
Hygroscopic	عشائي
Hyperthermic	حار جداً
I	
Improvement	تحسين
Infiltration	رشح
Inherited	موروثة
Inorganic	غير عضوي
Interlayer	بين الطبقات
Ion	أيون (شاردة)
Ionic	أيوني
Isomorphous	متماثل
L	
Layer silicates	سيليكات طبقية
Liquid	سائل
M	
Macro-	كبير
Mass	كتلة
Mass flow	تدفق الكتلة
Matric potential	جهد المادة
Mesic	معتدل
Micelles	فتيحات
Micro-	دقيق
Mineral	معدن

N		
Neutral		متعادل
Nitrification		نترجة
Nutrient		مغذي
O		
Octahydron		ثمانية وجوه
Osmotic pressure		الجهد الحلولي
Outer solution		محلول خارجي
Oxidation		أكسدة
P		
Particle		حببية
Pedology		علم التربة
Peds		تجمعات (كتل)
Permanent		دائم
Permanent charges		شحنات دائمة
Permeability		نفاذية
Phase		طور
pH-dependent		معتمد على pH
Phenomenon		ظاهرة
Phyllosilicates		سيليكات ورقية
Plate		صفحة
Polymerizations		البلمرة أو التماثر
Pore		مسام (سم)
Porosity		المسامية
Potential		كمونية - جهد
Process		عملية
Profile		مقطع تربة

R

Radiation	إشعاع
Range	مجال
Rate	معدل
Reaction	تفاعل
Real density	كثافة حقيقية
Reduction	إرجاع
Repulsive	تنافر
Retention	احتفاظ
Rock	صخرة

S

Sand	رمل
Saturated	مشبع
Sheet	شريحة
Shine	يشع
Shrinking	انكماش
Silt	سلت (غبار)
Size	حجم
Skeleton	هيكل
Slickenside	سطوح لامعة
Soil	تربة
Soil air	هواء التربة
Soil conditioner	محسنات التربة
Soil matrix	جسم التربة
Soil solution	محلول التربة
Solar	شمسي
Solid	صلب

Solubility	ذوبان
Soluble	ذائب
Solution	محلول
Specific area	السطح (المساحة) النوعية
Specific gravity	الوزن النوعي
Specific heat	حرارة نوعية
Stability	ثبات
Structure	بنية
Substitution	استبدال
Surface	سطح
Suspension	معلق
Swelling	انتفاخ
T	
Taxonomy	تقسيم
Temperature	حرارة
Tetrahedron	رباعية وجوه
Texture	نسيج
Thermal	حراري
Thermic	حار
Thawing	انصهار
Transfer	نقل
U	
Unsaturated	غير مشبع
Insoluble	غير ذائب
V	
Variable charges	شحنات متغيرة
W	

Weathering
Wetting
Wilting

تجوية
ترطيب
ذبول





المراجع References

المراجع العربية

- أبو نقطة فلاح وحسن حبيب، ٢٠١٠. مسح التربة وتصنيفها، منشورات جامعة دمشق.
- أبو نقطة فلاح، ١٩٩٥. علم التربة (١) - الجزء النظري، منشورات جامعة دمشق.
- أبو نقطة فلاح، ١٩٩٩. الجيولوجيا، منشورات جامعة دمشق.
- حبيب حسن وعبد الرحمن السفرجلاني، ٢٠٠٩. منيرالوجيا التربة، منشورات جامعة دمشق.
- حبيب حسن، ١٩٩٢. فلزات الطين، منشورات جامعة دمشق.
- حبيب حسن، ٢٠٠٨. نشأة التربة وتكوينها، منشورات جامعة دمشق.
- عليوي محمد، ١٩٨٤. خريطة الترب السورية وتصنيف الأراضي - أسبوع العلم الرابع والعشرون، وزارة التعليم العالي - سورية، ص ٢٨٧ - ٣٠٩.
- فارمن فاروق، ١٩٩٢. أساسيات علم الأراضي، منشورات جامعة دمشق.



المراجع الأجنبية

- Borchardt, G. A.1977, Montmorillonite and other smectite minerals. In Minerals in soil environments. ed, by J.B.Dixon and S.B.Weed, SSSA. Madison, wisconsin, P.293-330.
- Brady, N.C. and Harry O.B,1969. the nature and properties of soils, 7th edition MacMillan Company.
- Brady,N.C.1974. The nature and properties of soils. 8th edition, MacMillan Company, NY.
- Brady, N.C. and R.R.weil, 1996. The nature and properties of soils 11th edition, Prentice Hall,NJ.
- Brown R,B.2003, soil Texture, Florida cooperative extension service, Institute of Food and Agriculture Sciences, Uni. of Florida.
- G.S, of America, bulletin 70(6): 749-780.
- Camberato, J.J.2001, Cation exchange capacity. Clemson Univ., crop and soil Environmental Science.
- Carrol, D.1959. ion exchange in clays and other minerals. G.S, of America, bulletin 70(6): 749-780.
- DE CONINCK, F. 1978. Physico Chemical aspects of pedogenesis, I.T.C., state Univ. of Ghent, Belgium, 154 p
- DE CONINCK, F.1985, soil with variable charge, I.T.C, state Univ. of Ghent, Belgium, 27 p.
- Dixon, J.B. and S.B.Need,1989,minerals in soil environments, soil Sci. Soc of Am. Madison Wisconsin.
- DOUGLAS, L.A.1977. Vermiculites. In: minerals in soil environments. Ed. By J.B.Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am. Madison, Wisconsin, P. 259 – 292.
- Foth,H.,D.,1984.Fundamentals of Soil Sciences, 7th edition, John Wiley and Sons.
- GRIM, R.E. 1968. Clay mineralogy. Mc Graw Hill Book Co. New York. 596 p.
- Habib,II.1986. Genesis, surface charge and classification of soils on volcanic Ash and Basalt in an arid climate,(Syria) PhD thesis, State Univ. of Ghent Belgium.

- Harpstead, M., L., Thomas, J., S., and William, F., B., 1997, Soil Science simplified, The Iowa state University Press.
- Hassett, J.J. and Wayne, L.B. 1992. Soils and Their environment. Printce Hall, Englewood cliffs, New Jersey.
- Krull, E.S., Jan O., S., and Jeffery A., B., 2004, Function of soil organic matter and the effect on soil properties, grains Research and development corporation.
- MARSHALL, C.E. 1964. The physical chemistry and mineralogy of soils. Vol. 1. soil materials. Wiley and sons, New York, 366 p.
- Nelson, S. A. 2006. Clay minerals in earth materials, Tulane University .
- Poole, E.T. 2001, soil organic matter, Extension Agent, Agriculture science, university of Maryland Cooperative extension.
- Ranst, Eric, Van .1995. Clay mineralogy, I.T.C, state univ. of Ghent, Belgium, 287 p.
- Soil survey staff , 2010. keys to soil Taxonomy, NRCS, USDA . Govern. Printing office, Washington. D. C.
- Soil Survey Staff, 1993, Soil Survey manual, Handbook No.18, USDA.
- Stevenson, F.J. 1982, Humus chemistry, genesis, composition reaction. John Wiley, NY.
- Tan, K.H. 1998, principles of soil chemistry, 3^{ed}, edition, Marcel Dekker, Inc.
- Velde 1995. Clay minerals, a physic-chemical explanation of their occurrence, Elsevier sci. publishers. 427 p.
- White R.E. 2006. Principles and practice of soil science, the soil as a natural resource, 3^{ed} . Uni. Of Melbourne, Blackwell science, Australia.
- Whiting, D., Carl, W., and Adrian, C. 2003, Estimating Soil Texture, Colorado State Univ., Cooperative extension.
- Wild, A. 1993. Soil and the environment : an Introduction, Cambridge- Univ. Press.

اللجنة العلمية:

أ.د. نجم الدين شرابي
أ.د. عبد الجليل النفوري
أ.د. محمد سعيد الشاطر

التدقيق اللغوي:

الدكتورة سماع أورنة

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

