جـامعة عين شمس

كليـــة الزراعـــة

قســـم الأراضي والمياه

برنامج الأراضي والمياه

أساسيات الأراضي والمياه

لطلاب المستوى الأول (علوم وهندسة زراعية)

إعداد

نخبة من أعضاء هيئة التدريس

جـامعة عين شمس

كليـــة الزراعـــة

قســـم الأراضي والمياه

برنامج الأراضي والمياه

أساسيات الأراضي والمياه

لطلاب المستوى الأول (علوم وهندسة زراعية)

إعداد

نخبة من أعضاء هيئة التدريس

مقدمـة عامة

نحن مدينون بوجودنا بفضل الله إلى طبقة ذات سمك قليل ولكنها ثمينة تُسمى التربة التي تغطي مكونات جيولوجية في سطح الأرض تعرضت إلى عمليات التجوية بدرجات مختلفة وتَكون بشكل طبقة ذات قشرة هشة وذات مواصفات معينة. هذه الطبقة الساندة للحياة تُسمى البيدوسفير نشطة حيوياً ومسامية وذات بناء وتقوم بكفاءة بتوزيع الماء والتدفقات الكتلية والطاقة. وفضلاً عن كون التربة ساندة للحياة فهي تعمل على ترشيح الكثير من المخلفات الصناعية والملوثات وبهذا تعمل على تقليل تلوث البيئة.

تُعتبر علوم الأراضي من العلوم التطبيقية الزراعية الحديثة نسبياً، والتى تحتاج إلى كثير من الإهتمام نظراً لأهميتها في إنتاج الغذاء خاصة مع الزيادة السكانية المطردة فى العالم. وعلوم التربة علوم متكاملة تربط المعرفة بين المحيط الجوي والمحيط الحيوي واليابسة والماء. وهي جزء من علوم الأرض الذي يتعامل مع التربة على أنها مصدر طبيعي قابل للتجدد ولكن بشكل بطيء جداً. تتضمن تلك العلوم دراسة نشوء التربة وتصنيفها وخواصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية والمعدنية واستخدام التربة وإدارتها. كما تعرف علوم التربة على أنها مجموع المعلومات والأسس المنظمة والمتعلقة بالمادة المسماة تربة وهي علوم لها علاقة بجميع العلوم الطبيعية لاسيما علوم الفيزياء والكيمياء وعلوم الحياة. وعلوم التربة هي تلك العلوم التي تعتبر الترب المختلفة وحدات طبيعية، وتركز على تطورها وعلى العلاقات الفيزيائية والكيميائية والحيوية بها وعلى طبيعتها الديناميكية والحركية. يشمل ذلك مسح وتصنيف التربة وفيزياء التربة وكيمياء التربة وخصوبة التربة وكيمياء حيوية التربة والأحياء المجهرية فيها، وهذا ماسيتم بعون الله مناقشته في هذا الكتاب حيث سيهتم كل باب من أبوابه بواحد من علوم التربة المختلفة واستخداماتها وتطبيقاتها وعلاقاتها المتداخلة مع نمو النبات والإنتاجية.

يشتمل هذا الكتاب رحلة صنعها الخالق سبحانه وتعالى تبدأ بتفتيت الصخور بعوامل التجوية ليتحول الفتات الصخري عبر الزمن إلى تربة ذات قطاع يشمل طبقات مختلفة ومكونات متعددة لها صفات طبيعية وكيميائية وبيولوجية متميزة تنعكس على قدرتها في إمداد النبات النامي عليها بالماء والغذاء الذي ينتفع به الإنسان والحيوان، وذلك من خلال إحتواء هذا الكتاب على أربعة أبواب رُتبت بطريقة تسمح للقاريء بتتبع التربة بداية من نشأتها وتكوينها وتقسيمها، وهذا ما اشتمل عليه الباب الأول. يلى ذلك الباب الثاني الذي اهتم بمناقشة الخواص الفيزيائية (الطبيعية) للتربة والعلاقات المائية بها بالإضافة إلى مشاكل الترب المختلفة وكيفية علاجها. بينما اختص الباب الثالث بدراسة الخواص الكيميائية للتربة وعلاقاتها بتحولات العناصر المختلفة. وأخيراً اهتم الباب الرابع بالماء والعناصر الغذائية للنبات وخصوبة الأراضي والأسمدة والتسميد لتكتمل بذلك منظومة التربة منذ نشأتها حتى إنتاجها للنبات.

لذا تُعتبر محتويات هذا الكتاب من المعارف الأساسية التى لاغنى عنها لكل دارس في كليات الزراعة بجامعات مصر والوطن العربي، بجانب إحتوائه على معارف تثقيفية لكل من يريد أن يتدبر في مخلوقات الله سواء كانت جماداً أو نباتاً.

والله نسأل أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم ،،،

المؤلفون

قائمة المحتويات

مقدمة عامة

الباب الأول: نشأة وتكوين وتصنيف الأراضي **6**

مقدمة

المحاضرة الأولى: نشأة وتعريف وتكوين الأرض 8

المحاضرة الثانية: الموارد المائية في مصر 27

المحاضرة الثالثة: عوامل وعمليات تكوين الأراضي 35

المحاضرة الرابعة: حصر وتصنيف وتقييم الأراضي 46

المحاضرة الخامسة: وصف عام للأراضي المصرية 48

الباب الثاني: فيزياء (طبيعة) الأراضي **59**

مقدمة

المحاضرة الأولى: الخواص الطبيعية للأراضي 61

المحاضرة الثانية: الهواء الأرضي 80

المحاضرة الثالثة: حرارة التربة 82

المحاضرة الرابعة: الماء الأرضي 85

الباب الثالث: كيمياء الأراضي والمياه **103**

مقدمة

المحاضرة الأولى: التركيب الكيميائي والمعدني للأراضي 105

المحاضرة الثانية: الخواص الكيميائية للأراضي 114

المحاضرة الثالثة: كيمياء المادة العضوية في التربة 130

المحاضرة الرابعة: الأراضي ومشاكلها وكيفية إستصلاحها 133

المحاضرة الخامسة: خواص الماء الفريدة وجودته للري 141

الباب الرابع: الإحتياجات المائية والغذائية للنبات **159**

مقدمة

المحاضرة الأولى: الإحتياجات المائية للحاصلات الزراعية 161

المحاضرة الثانية: العناصر الغذائية للنبات 165

المحاضرة الثالثة: خصوبة الأراضي 177

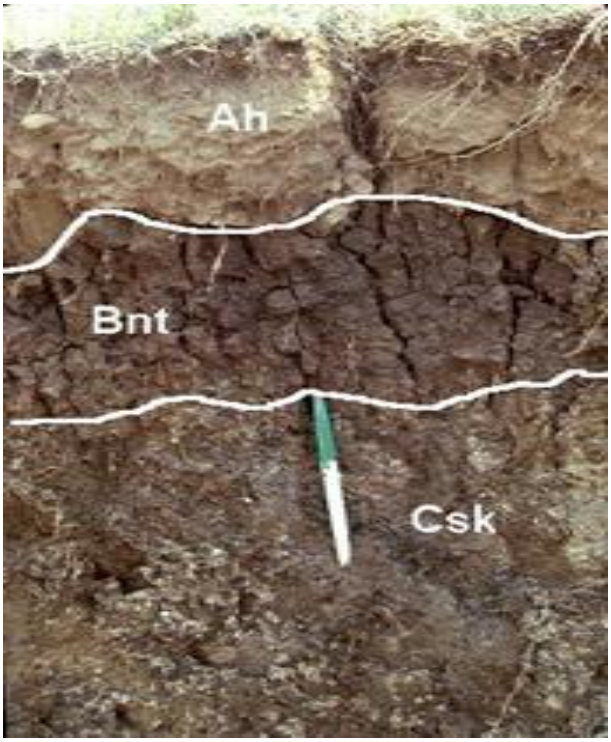
المحاضرة الرابعة: الأسمدة والتسميد 180

قائمــة المراجـــــع **195**

الباب الأول

نشأة وتكوين وتصنيف الأراضي

Genesis, Formation and Classification of Soils



مقدمـة

التربة هي الطبقة السطحية الهشة أو المفتتة التي تغطي سطح الأرض. تتكون التربة من مواد صخرية مفتتة خضعت من قبل للتغيير بسبب تعرضها للعوامل البيئية والبيولوجية والكيمائية، ومن بينها عوامل التجوية وعوامل التعرية.

إن الماء والأرض يُعتبران المورد الطبيعي الأساسي الذي تعتمد عليه الحياة الطبيعية، وتقوم عليهما الزراعة والحياة على سطح الأرض، قال تعالى:

"وَتَرَى الأرض هَامِدَةً فَإذا أنزَلْنَا عليهَا الْمَاء اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ وَأنبَتَتْ
مِن كُلِّ زَوْجٍ بَهِيجٍ" (سورة الحج: 5).

وعلى التربة ترتكز مقومات حياة الإنسان من غذاء وكساء وغيرها. ولقد سادت واستدامت الحضارات في الوديان الخصبة التي تتوفر بها مقومات الإستدامة خاصة في منطقة الشرق الأوسط. ولقد أدرك الإنسان منذ بدء الخليقة أهمية التربة وأهمية المحافظة عليها. وكما هو الحال بالنسبة للهواء والماء فإن حياة الإنسان لايمكن أن تتوفر لها الإستدامة بدون التربة.

يتضمن هذا الباب خمسة محاضرات تشمل تعريف التربة ونشأتها وتكوينها، المعادن والصخور وتجويتها، الموارد المائية في مصر، عوامل وعمليات تكوين الأراضي، القطاع الأرضي ووصفه وتسميته، بالإضافة إلى أُسس حصر وتصنيف وتقييم الأراضي، وأخيراً وصف عام للأراضي المصرية.

المحاضرة الأولى

نشـأة وتعريف وتكوين الأرض

Genesis, Definition and Composition of the Soil

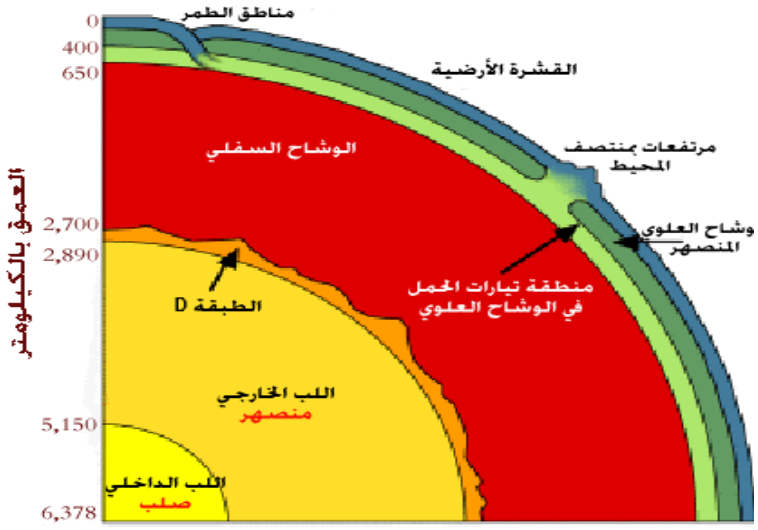
قبل التطرُق إلى توضيح نشأة وتعريف وتكوين الأراضي هناك بعض المفاهيم التي يجب معرفتها ومنها مثلاً علم البيدولوجي (Pedology) وهو إصطلاح لاتيني يتكون من شقين الأول وهو (Pedo) من الكلمة اللاتينية (Pedon) ومعناها أرض والثاني (logy) من الكلمة اللاتينية (logus) بمعنى علم. وعلى ذلك فالبيدولوجي هو علم دراسة الأرض بمعناها العام. ويتناول هذا العلم ثلاثة فروع رئيسية هي نشأة وتكوين التربة، مورفولوجيا التربة، حصر وتصنيف وتقييم التربة. ولفهم هذا العلم فإنه يلزمنا الإلمام ببعض العلوم المرتبطة به مثل علم الجيولوجيا (Gology) وعلم الجيومورفولوجيا (Geomorphoiogy). وُيمكن التنويه إلى فروع علم البيدولوجي بإيجاز في الآتى:

- نشأة وتكوين التربة (Soil Genesis) وهو أحد فروع علم البيدولوجي ويتناول دراسة عوامل وعمليات تكوين التربة، وهو مرتبط بالعديد من العلوم مثل كيمياء التربة, طبيعة التربة, الجيولوجيا, علم المناخ, الجغرافيا, البيدولوجي, الزراعة.
- مورفولوجيا التربة (Soil Morphology) وهو علم وصف التربة بحالتها الطبيعية الحاضرة كجزء من القشرة الأرضية. وهو يشمل وصف الطبيعة الجغرافية (physiography) لسطح التربة وتركيب وخواص قطاعها، وعلى هذا فإنه من الصعب وضع حد فاصل بين هذا العلم وعلم الجيومورولوجيا والذي يتناول الإختلافات في الأشكال الأرضية وترتيبها والعمليات التي ساهمت في تشكيلها.
- تصنيف وتقييم الأراضي (Soil Classification and Evaluation) ويشمل تنظيم وترتيب معلومات التربة وتبويبها في أقسام حسب التماثل والإختلاف أو التدرج في خواصها والعلاقات المتداخلة بينها. ويُعتبر تصنيف الأراضي ذو أهمية كبيرة لأنه يمثل محصلة دراسات التربة والتي تُبنى عليها عمليات التخطيط لاستغلال التربة بما يتماشى مع خواصها، وكذلك تحديد مشكلات التربة لمعالجتها والوصول إلى طاقتها الإنتاجية القصوى.

فكرة عامة عن نشوء التربة

من المعروف الآن أنه لايوجد في الطبيعة نظام ساكن (Static System) حيث أن قانون التغيير مستمر (Eternal Change) والعمليات الجيولوجية الديناميكية هي المسئولة عن التغيير في تركيب القشرة

الأرضية وشكلها وهندستها. والمعروف أيضاً أن القشرة الأرضية العليا تتكون من ثلاثة أغلفة رئيسية هي الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف اليابس. والحد الأدنى للغلاف اليابس يتواجد على عمق يتراوح بين 60- 80 كيلومتر. والطبقة السطحية من صخور الغلاف الجوي اليابس مُعرضة لعمليات الجوية والتعرية المختلفة بالإضافة إلى تعرضها لعمليات جيولوجية متعددة منها عمليات النقل والترسيب من مكان لآخر للمواد الناتجة من عمليات التجوية وتتجمع نواتج التجوية هذه على سطح الغلاف اليابس لتكون مايسمى بقشرة التجوية (Crust of Weathering) وسُمكها قد يصل إلى عدة مئات من الأمتار. وفي مواضع أخرى قد لايتعدى عدة سنتيمترات. وفي حدود القشرة الأرضية يتواجد غلاف آخر يُسمى الغلاف الحيوي (Biosphere) أو غلاف الحياة ويتضمن كل أنواع الحياة من النباتات والحيوانات التي تعيش في الجو والمياه بأنواعها على سطح اليابسة. يمتد الحد الأعلى لهذا الغلاف إلى عدة عشرات من الكيلومترات أعلى سطح الغلاف اليابس كما يمتد الحد السفلي أسفل سطح اليابسة إلى عدة مئات من الأمتار. يُمثل سُمك القشرة الأرضية حوالي 40 – 50 كم، بينما الوشاح الأرضي 2880 كم والنواة الخارجية 2270 كم وأخيراً النواة الداخلية 1216 كم.



شكل يوضح سُمك القشرة الأرضية

جدول يوضح % لأهم العناصر الداخلة في تركيب القشرة الأرضية لعمق 16 كم.

العنصر	الرمز	النسبة المئوية (وزنياً)
الأكسوجين	O	46.60
السيليكون	Si	27.70
الألومنيوم	Al	8.10
الحديد	Fe	5.00
الكالسيوم	Ca	3.60
الصوديوم	Na	2.80
البوتاسيوم	K	2.60
الماغنيسيوم	Mg	2.10
التيتانيوم	Ti	0.44
الهيدروجين	H	0.14
المنجنيز	Mn	0.11
الكبريت	S	0.05
الكربون	C	0.03
الكلور	Cl	0.02
باقي العناصر		بنسبة ضئيلة جداً

تعريف التربة (Definition of Soil)

عُرفت التربة بكثير من التعريفات طبقاً لإهتمامات المشتغلين بها وجميعها تؤدي إلى معنى واحد تقريباً يبين لنا ماهية التربة، ومن هذه التعاريف:

- تعريف الأرض من الناحية الجيولوجية: هي عبارة عن الطبقة العليا من غشاء الريجوليث (Regolith) الذي هو عبارة عن الطبقة السطحية من الغشاء اليابس (Lithosphere) التي نشأت من تأثير الغلاف الجوي (Atmosphere) والغلاف المائي (Hydrosphere) والغشاء الحيوي (Biosphere) على الصخور والمعادن المكونة لهذا الغشاء.
- تعريف العالم متشرليتش (Mitsherlich): يُعرف التربة بأنها مخلوط من حبيبات صلبة وماء وهواء. وهذا المخلوط إن وجد به الغذاء الضروري فهو صالح لنمو النبات. ويتضح من هذا التعريف أن التربة ماهي إلا بيئة لنمو النبات فقط. ومن هنا نرى أنه يُمكن إعتبار المحاليل الغذائية والمزارع الرملية تربة.

▪ تعريف العالم دوكوتشاييف (Dokuchaev): وهو يعتبر التربة بأنها السطح والطبقات المتعاقبة للمادة الأمية والتي تغيرت طبيعياً بفعل عوامل مؤثرة هي الماء والهواء وعديد من الأحياء الدقيقة الحية والميتة بدرجات مختلفة أدت إلى تفاوت وإختلاف في التركيب واللون لنواتج عوامل التجوية. وهذا التعريف يستند على عوامل تكوين التربة مخالفاً لما كان مُتبع في ذلك الوقت وهو تعريف التربة بناءاً على صفات جسمها.

▪ تعريف العالم جوف (Joffe): التربة هي جسم طبيعي لمكونات معدنية وعضوية متنوعة في طبقات مميزة مختلفة العمق. وهي تختلف عن المواد التي أسفلها في الشكل والخواص الطبيعية والخواص والتركيب الكيميائي والمميزات البيدولوجية. ومما هو جدير بالذكر أن قطاع التربة يُعتبر الوحدة التي تُبني عليها دراسة التربة دراسة علمية على أنها جسم طبيعي مستقل بذاته فهو يحمل في طياته سجل لتاريخ التربة وما مرت به من عمليات أدت إلى تكوين هذا الجسم الطبيعي المستقل.

المعادن والصخور (Minerals and Rocks) بالقشرة الأرضية

تتكون القشرة الأرضية من مخلوط غير متجانس من المعادن والصخور. والصخر هو نتاج تمازج عدة معادن مع بعضها البعض خلال عملية تكوين الصخر.

المعادن (Minerals)

كلمة معدن لها معانٍ مختلفة، فمن الناحية الجيولوجية يُقصد به كل مادة متجانسة الأجزاء غير عضوية تكونت في الطبيعة مستقلة عن فعل الإنسان وذات صفات بنائية داخلية مميزة وتركيب كيميائي وصفات طبيعية محددة أو متغيرة في حدود معينة. وقد يكون المعدن عنصراً أو مركباً، فمعدن الماس مثلاً يتكون من ذرات كربون منفردة في حين معدن الهاليت (ملح الطعام) يتكون من أيون صوديوم وأيون كلوريد، ومعدن الأرثوكلاز يتكون من البوتاسيوم والألومنيوم والسيليكا والأكسوجين.

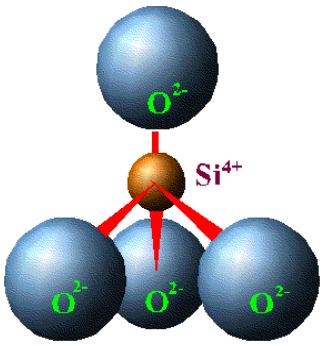
تقسيم المعادن (Classification of Minerals)

تُقسم المعادن إلى قسمين على أساس محتواها من السيليكا وهما:

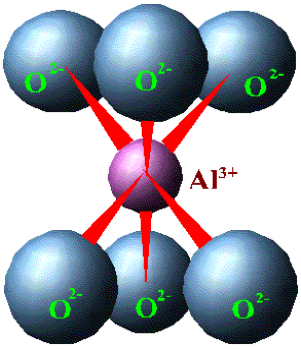
▪ معادن سيليكاتية (Silicate Minerals) وهي التي تدخل السيليكا في تركيبها.

▪ معادن خالية من السيليكا أو غير سيليكاتية (Non–Silicate Minerals).

تُعتبر المعادن السيليكاتية من أهم المعادن السائدة في تكوين الصخور والقشرة الأرضية نظراً لأن النسبة المئوية لمجموع السيليكون والأكسوجين حوالي 75% (وزناً) من العناصر الداخلة في تكوين القشرة الأرضية. والمعادن السيليكاتية تتكون بصفة رئيسية من الوحدة الأساسية والتي يُطلق عليها وحدة السيليكا الرباعية (Silicon Oxygen Tetrahedron) وهي ناتجة من إرتباط السيليكون (Si) مع الأكسوجين (O_2) مكونة $(SiO_4)^{-2}$ ثنائية التكافؤ في شكل هرم رباعي الأوجه. حيث تتوزع الشحنات السالبة على أيونات الأكسوجين وترتبط أيونات السيليكون والأكسوجين بروابط قوية هي التي تكون اللحام الذي يربط مكونات القشرة الأرضية ببعضها. وتنقسم مجموعة المعادن السيليكاتية إلى تحت أقسام بناءً على عدد وحدات السيليكا الرباعية المرتبطة مع بعضها ونسبة السيليكون إلى الأكسوجين، كما هو مبين في الشكل والجدول التاليين:

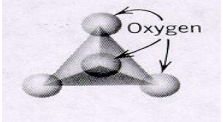
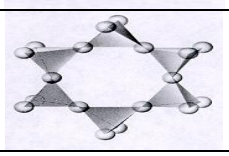


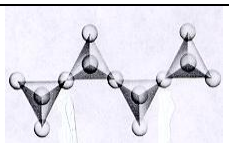
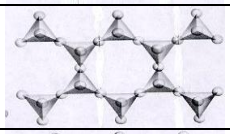
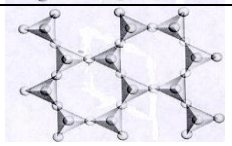
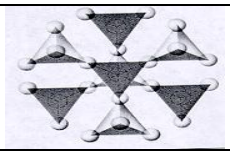
وحدة سيليكا تتراهيدرا



وحدة ألومينا أوكتاهيدرا

جدول يوضح أقسام المعادن السيليكاتية طبقآ لنسبة **Si : O** وارتباط وحدات السيليكا.

تحت قسم	نسبة Si : O	شكل إرتباط وحدات السيليكا الرباعية	إسم المعدن (كمثال)
سيليكات مفردة (Nisosilicate)	1 : 4		الأوليفين (Olivine)
سيليكات مزدوجة (Sorosilicate)	2 : 7		الأيبدوت (Epidote)
سيليكات حلقية (Syclosilicate)	1 : 3		التورمالين (Tormaline)

سيليكات سلسلية مفردة (Inosilicate)	1 : 3		الأوجيت (Ougite)
سيليكات سلسلية مزدوجة (Inosilicate)	4 : 11		الهورنبلند (Hornblend)
سيليكات طبقية (Phyllosilicate)	2 : 5		الميكا (Mica) ومعادن الطين (Clay Minerals)
سيليكات هيكلية (Tectosilicate)	1 : 2		الكوارتز والفلسبارات والطين

▪ ***المعادن غير السيليكاتية (Non–Silicate Minerals)***

تشتمل المعادن غير السيليكاتية على سبعة مجموعات هي:

1- مجموعة معادن الأكاسيد (Oxides): وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع الأكسوجين ومن أمثلتها:

* معدن الهيماتيت (Hematite) ورمزه Fe_2O_3
* معدن الإلمينيت (Ilmenite) ورمزه TiO_3
* معدن الكوراندوم (Corundum) ورمزه Al_2O_3

كما يقع تحت هذه المجموعة مجموعة معادن الأكاسيد المائية ومنها:

* معدن الليمونيت (Limonite) ورمزه $Fe_2O_3.nH_2O$

صورة لصخر الهيماتيت

صورة لصخر الليمونيت

2- مجموعة معادن الهيدروكسيدات (Hydroxides)

وهي المعادن الناتجة عن إرتباط أيون العنصر مع أيون الهيدروكسيد، ومن أمثلتها:

* معدن الجبسيت (Gibbsite) ورمزه $Al_2(OH)_6$

* معدن البروسيت (Brucite) ورمزه $Mg_3(OH)_6$

3- مجموعة معادن الكربونات (Carbonates)

وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع شق الكربونات (CO_3^{-2}) ومن أمثلتها:

* معدن الكالسيت (Calcite) ورمزه $CaCO_3$

* معدن الدولوميت (Dolomite) ورمزه $Ca,Mg(CO_3)_2$

* معدن السيدريت (Sederite) ورمزه $FeCO_3$

* معدن الماجنزيت (Magnesite) ورمزه $MgCO_3$

صورة لمعدن الكالسيت

4- مجموعة معادن الكبريتات (Sulphates)

وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع شق الكبريتات (SO_4^{-2}) ومن أمثلتها:

* معدن الأنهيدريت (Anhidrite) ورمزه $CaSO_4$

* معدن الجبس (Gibsum) ورمزه $CaSO_4.2H_2O$

* معدن الباريت (Barite) ورمزه $BaSO_4$

5- مجموعة معادن الكبريتيدات (Sulphides)

وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع شق الكبريتيدات (S) ومن أمثلتها:

* معدن البيريت (Pyrite) ورمزه FeS

* معدن الجالينا (Galina) ورمزه PbS

6- مجموعة معادن الفوسفات (Phosphates)

وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع شق الفوسفات (PO_4^{-3}) ومن أمثلتها:

* معدن الأباتيت (Apatite) ورمزه $Ca_5F(PO_4)_3$

7- مجموعة معادن الهالوجينات والهاليدات (Halides)

وهي المعادن الناتجة من إرتباط أيون العنصر مع أنيون الهالوجين ومن أمثلتها:

* معدن الهاليت (Halite) ورمزه NaCl * معدن الفلوريت (Florite) ورمزه CaF_2

والمعادن السابق ذكرها أما أن توجد في القشرة الأرضية كما هي على حالتها المنفردة أو يتجمع معدنين أو أكثر معاً وتتكون الصخور المختلفة. ويتوقف نوع الصخر الناتج على عدد ونوع المعادن الداخلة في تركيبه وكذلك على مكان تكون هذا الصخر والعمليات الجيولوجية التي تعرض لها.

الصخور (Rocks)

الصخر هو الوحدة الأساسية في تكوين هيكل الأرض وباقي المجموعة الشمسية. ويُعرف الصخر بأنه جسم صلب (غير متجانس غالباً) يتكون من إتحاد معدنين أو أكثر. وبعض الصخور تتكون من معدن واحد رئيسي وقليل من المعادن الأخرى مثل الحجر الجيري الذي يتكون أساساً من معدن الكالسيت، والحجر الرملي الذي يتكون من معدن الكوارتز وكذلك صخر الطفل الذي يتكون من معادن الطين أساساً.

تقسيم الصخور (Classification of Rocks)

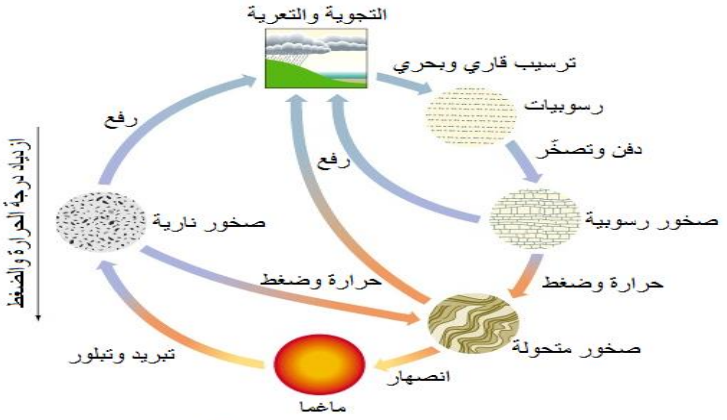
تُقسم صخور القشرة الأرضية بناءً على أصل وظروف تكوينها إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي:

- الصخور النارية (Igneous Rocks).
- الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks).
- الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks).

دورة الصخور (Rocks Cycle)

الصخور النارية هي أول أنواع الصخور التي تنشأ عندما تبرد المواد المنصهرة المُسماة بالمصهور (المجما) وتتجمد إلى صخور. تُسمى هذه العملية بالتبلور، وهي تحدث في أعماق الأرض أو فوق سطحها بعد عملية تفجر البراكين. ويُعتقد بأن الأرض كانت منصهرة عند نشأتها الأولى أو قبل ذلك مباشرة. ولهذا فإن الصخور النارية هي أول الصخور المكونة للقشرة الأرضية. عندما تظهر هذه الصخور النارية فوق سطح الأرض فإنها تتعرض لعمليات التجوية التي تعمل على تفتيت وتحلل الصخور إلى فُتات صغير، وهذه

النواتج قد تُنقل بفعل عوامل النقل مثل المياه الجارية والكتل الجليدية والأمواج حيث تنقل إلى مواقع ترسيبها. وبمجرد تراكم هذا الفتات الصخري المُسمى بالرواسب في صورة طبقات أفقية في المحيطات تبدأ عملية التصخر، وهي تعني عملية التحول إلى صخر. وتتصخر الرواسب عندما تتضاغط تحت ثقل الطبقات التي فوقها أو عندما تلتحم مع بعضها بمرور المياه الجوفية عبرها التي تملأ الفراغات البينية بمواد معدنية. وإذا ما دُفنت الصخور الرسوبية تحت أعماق كبيرة في باطن الأرض أو شهدت حركات بناء الجبال فأنها تتعرض لضغط وحرارة كبيرين، مما يؤثر علها فتتبدل حسب البيئة المتغيرة إلى النوع الثالث وهو الصخور المتحولة. وعندما تتعرض الصخور المتحولة إلى حرارة وضغط أكثر، فإنها سوف تنصهر مكونة بذلك مصهور المجما الذي قد تنشأ منه الصخور النارية مرة أخرى. والشكل التالي يوضح تحولات الصخور والعمليات المصاحبة للتحول من حالة إلى أخرى.



شكل يوضح دورة الصخور في الطبيعة

- **الصخور النارية (Igneous Rocks)**

تكوين الصخور النارية (Formation of Igneous Rocks)

تتكون الصخور النارية عندما يبرد المصهور أو الماجما الذي ينشأ في أعماق تصل إلى 200 كيلومتر بباطن الأرض. ويتكون أساساً من العناصر الموجودة في معادن السيليكات مع بعض الغازات التي من أهمها بخار الماء الذي يبقى داخل المصهور بفعل الضغط الواقع على الصخور التي تحتويه. فمحتوى المصهور الذي هو أخف من الصخور المحيطة به سرعان مايصعد إلى السطح، وفي بعض الحالات يندفع فوق السطح بقوة مكوناً فورانات بركانية. فالإنفجارات البركانية التي تصاحب إندلاع البراكين في بعض الأحيان تنتُج عن الغازات (الطيارة) الهاربة من جراء إنخفاض الضغط قرب سطح الأرض. تمثل هذه الصخور حوالى 95% من حجم غلاف اليابس ولكنها تغطي أقل من 25% من سطح الكرة الأرضية. ويحدث تجمُد للمجما

وتبلورها إما بعيداً عن سطح الأرض وعندئذ تكون بلورات المعادن الداخلة في تركيبها كبيرة الحجم وتُسمى في هذه الحالة صخور نارية جوفية (Plutonic Igneous Rocks) أو (Intrusive) مثل الجرانيت، وإما أن يكون التبريد قريباً من سطح الأرض فتكون بلورات المعادن المكونة للصخر صغيرة جداً ودقيقة الحجم وتُسمى صخور نارية سطحية (Extrusive Igneous Rocks) مثل البازلت. كما أن هناك فرصة لتكون صخور نارية على أبعاد متوسطة وتُسمى صخور نارية متوسطة مثل الأنديسيت. ومن أهم صفات الصخور النارية أنها:

1- صخور متبلورة ليس بها مسام.

2- لاتحتوى على حفريات أو أي مواد عضوية.

3- ليس بها طبقات.

تقسيم الصخور النارية (Classification of Igneous Rocks)

تُقسم الصخور النارية إما على أساس التركيب الكيميائي وإما على حسب مكان تكوينها بالنسبة لطبقات القشرة الأرضية.

- ***تقسيم الصخور النارية على حسب تركيبها الكيميائي***

تُقسم تبعاً لمحتواها من معدن الكوارتز أو ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 إلى:

* صخور نارية حامضية تحتوي على أكثر من 65% SiO_2.

* صخور نارية متعادلة تحتوي على 55- 65% SiO_2.

* صخور نارية قاعدية تحتوي على 45- 55% SiO_2.

* صخور نارية شديدة القاعدية تحتوي على أقل من 45% SiO_2.

والصخور النارية الحامضية يكون لونها فاتح ووزنها النوعي منخفض نسبياً مثل صخر الجرانيت (Granite) والأنديسيت (Andesite) وذلك نظراً لإحتوائها على نسبة عالية من الكوارتز أو ثانى أكسيد السيليكون. أما الصخور النارية القاعدية وشديدة القاعدية فيبدو لونُها غامق لتكونها من معادن حاملة للحديد والماغنيسيوم وإنخفاض نسبة السيليكا بها، وتصبح أعلى كثافة مثل البازلت (Basalt) والبيرودوتيت (Periodotite).

▪ *تقسيم الصخور النارية حسب مكان تكوينها*

تُقسم الصخور النارية حسب مكان تكوينها بالنسبة لسطح القشرة الأرضية إلى:

* صخور نارية جوفية (Igneous Plotonic Rocks): وهي الصخور الناتجة من تجمُد وتبلور المجما على عمق كبير من سطح الأرض، وتكون بلوراتها كبيرة الحجم وواضحة حيث أخذت فترة من الزمن أثناء تكوينها وتبريدها.

* صخور نارية متوسطة (Igneous Intermediate Rocks): وهي الصخور الناتجة من تجمُد وتبلور المجما على أعماق متوسطة من سطح الأرض، وتكون بلوراتها متوسطة الحجم.

* صخور نارية سطحية (Igneous Extrusive Rocks): وهي الصخور الناتجة من تجمُد وتبلور المجما بالقرب من سطح الأرض أو على سطح الأرض أثناء حدوث البراكين وخروج المجما. وتكون بلوراتها مجهرية أي لاتُرى بالعين المجردة حيث أن تبريدها قد تم سريعاً ولم تأخذ بلوراتها الوقت الكافي للنمو. أما اللافا (Lava) فهي المجما التي تجمدت وتبلورت على سطح الأرض.

صورة لصخر ناري (جرانيت)

صورة لصخر ناري (بازلت)

▪ **الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks)**

تُكون الصخور الرسوبية أقل من 5% من كتلة الصخور المُكونة للقشرة الأرضية إلا أنها تُعتبر أكثر الصخور إنتشارا على سطح القشرة الأرضية. وهذه الصخور تتكون من ترسيب فتات الصخور النارية والمتحولة التى إنتقلت من مكانها الأصلى بعوامل النقل المختلفة مثل المياه والرياح والثلاجات. وهذه الصخور تتماسك وتتصلب بفعل الضغط الواقع عليها أو بفعل المواد اللاحمة وهذا النوع الأخير هو الأكثر شيوعاً.

ومن أهم صفات الصخور الرسوبية مايلي:

1- تتكون في طبقات.

2- تحتوي على حفريات.

3- تحتوي على مسام وفجوات (قد تكون مملؤة بالماء أو الغازات أو البترول).

ولتحويل الرواسب إلى صخور رسوبية يلزم الآتي:

1- الإنضغاط الشديد على المواد المترسبة والرواسب.

2- وجود مواد لاحمة مثل محاليل السيليكا أو أكاسيد الحديد المختلفة أو المواد الجيرية أو المواد الغروية.

تقسيم الصخور الرسوبية (Classification of Sedimentary Rocks)

تُقسم الصخور الرسوبية من حيث نشأتها إلى:

* صخور رسوبية ميكانيكية: تتكون من ترسيب وتصلُب فتات الصخور الأخرى التي إنتقلت إلى مكان تكوينها بفعل عوامل طبيعية مثل الرياح والمياه والثلاجات، ومن أمثلتها الطفلة والحجر الرملي (Sand Stone) الحجر الجيري (Limestone) والبريشيا (Brecia) والكنجلوميرات (Conglomerate).

صورة لصخر رسوبي (حجر جيري)

* صخور رسوبية كيميائية: يتكون هذا من النوع من الصخور نتيجة تبخير السوائل الكيميائية تحت ظروف معينة، ومنها بعض أنواع الحجر الجيري والدولوميت وصخر الملح وصخر الجبس. ومُعظم هذه الصخور مكونة من معدن واحد فقط (كالكالسيت، الدولوميت، الهاليت، الجبس على التوالي)، وكذلك صخور المسقوفات والمُعلقات (الموجودة في أسقف وأرضيات بعض الكهوف والمغارات).

صورة لصخر رسوبي (كالسيت)

صورة لصخر رسوبي (دولوميت)

* صخور رسوبية عضوية: وهي التي تكونت من تراكم وتصلب بعض المواد العضوية (نباتية كانت أم حيوانية والجير)، ومنها بعض أنواع الحجر الجيري والفحم.

صورة لصخر رسوبي عضوي (فحم)

وأكثر الصخور الرسوبية شيوعاً في القشرة الأرضية هو الطفل (Shale) بنسبة 45% والحجر الرملي (Sand Stone) بنسبة 32% والحجر الجيري (Limestone) بنسبة بنسبة 22%. وبذلك يكون مجموع النسب المئوية لهذه الصخور 99% والباقي صخور رسوبية أخرى.

▪ **الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks)**

تتكون الصخور المتحولة أساساً من الصخور النارية أو الرسوبية نتيجة تعرُضها لعوامل الضغط أو الحرارة أو كليهما وكذلك السوائل الكيميائية النشطة (مصهور المجما مثلاً) حيث تتحول هذه الصخور إلى صخور جديدة في مظهرها وخواصها المختلفة وتركيبها المعدني.

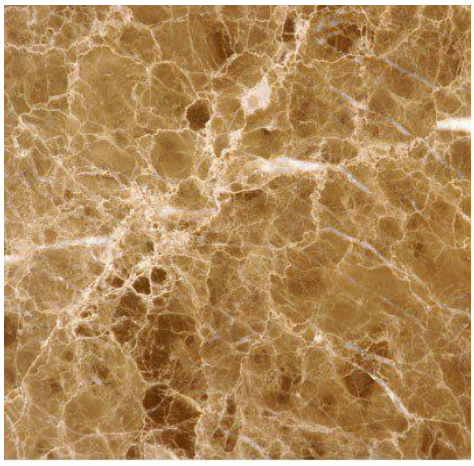
ومن أهم صفات الصخور المتحولة:

1- متبلورة: وهي الناتجة من صخور نارية أو ذات طبقات منضغطة (إذا كان أصلها رسوبي).

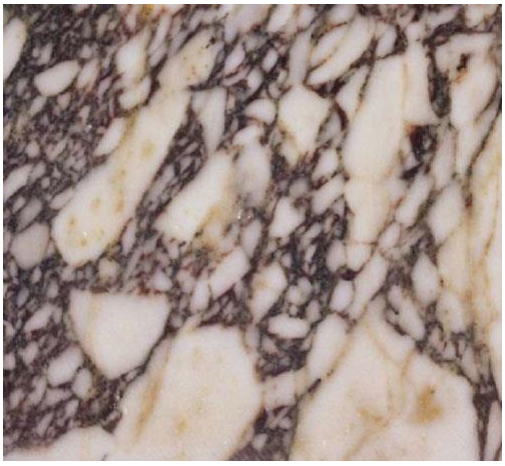
2- لاتحتوى على حفريات.

3- لاتحتوى على مسام.

ومن أمثلتها النيس والمرمر والرخام والكوارتزيت والأردواز. فمثلاً صخر الجرانيت يتحول إلى نيس (Gneiss)، والحجر الجبسي يتحول إلى مرمر (Alabaster)، والحجر الجيري يتحول إلى رخام، والحجر الرملي يتحول إلى كوراتزيت بينما تتحول الطفلة إلى إردواز (Slate). وتتحول الأنواع المختلفة من الصخور السابق ذكرها إلى مواد مُفتتة ومُتحللة بفعل عمليات التجوية التي ينتج عنها رواسب تكون المادة الأمية للأراضي.



صورة لصخر متحول (رخام)



صورة لصخر متحول (مرمر)

عمليات تجوية الصخور والمعادن (Erosion Processes)

تعريف التجوية (Definition of Erosion)

هي التغيرات التي تحدُث في الصخور والمعادن عند درجات حرارة ورطوبة وظروف جوية وضغوط منخفضة فتُفتتها وتحُللها وتجعلها أكثر عُرضة للتأثر بالعوامل البيئية المختلفة.

أنواع التجوية (Types of Erosion)

هناك نوعان من عمليات التجوية هما:

* تجوية طبيعية: وهي التي ينشأ عنها تكسير وتفتيت للصخور والمعادن دون أي تغيُر في تركيبها الكيميائي أو خواصها، أي أن التغير الحادث هو في حجم حبيبات الصخور والمعادن وبالتالي زيادة مساحة السطح النوعى لها مما يؤثر إيجابياً في سرعة عمليات التجوية الكيميائية. وقد تُسمى عملية التجوية الطبيعية بالتفتت (Disintegration).

* تجوية كيميائية: وينتج عنها مواد مختلفة في التركيب عن المادة الأصل سواء كان معدن أو صخر. ويُلاحظ أنه من الصعب جداً فصل فعل هذان النوعين في الطبيعة حيث أنهما يسيران جنباً إلى جنب. ولو أنه تحت بعض الظروف يسود فعل أحد النوعين على النوع الآخر.

▪ ***التجوية الطبيعية (Mechanical or Physical Weathering)***

وهي العملية التي بها يتفتت الصخر أو يتكسر إلى قطع صغيرة بواسطة الطاقة الناشئة عن القوى الطبيعية. وأهم عوامل التجوية الطبيعية مايلي:

* الحرارة (Heat): تؤثر درجة الحرارة على الصخر فتُكسره أي تُفتته وذلك لاختلاف مُعامل التمدد الطولي والحجمي للمعادن المختلفة المكونة للصخور. ويزيد هذا التأثير كلما كان الفرق بين درجات الحرارة الصغرى والعظمى كبير.

* الماء (Water): ويعمل على تفتيت الصخور بطريقتين:

1- بعض الصخور تمتص الماء وتزيد حجمها وتتشقق نتيجة لذلك، وتتأثر بعد ذلك بالعوامل الأخرى.

2- عن طريق تجمد الماء، فعندما يتجمد الماء في الأنابيب الشعرية في الصخور أو الصخور المشروخة يزيد حجم الماء بحوالي 9% وبذلك يزداد ضغطه (حوالي 15 طن على القدم المربع) فتكبُر الشقوق ويتهشم الصخر.

* الرياح (Winds): فإن ماتحمله من حبيبات تعمل على تآكل الصخور، حيث يتآكل الجزء الأقل صلابة ويُزاح. ومثل الريـــاح المياه الجارية (Running Water) والثلاجات (Glaciers) حيث تعمل الأجسام الصلبة التي تجلبها معها على تآكل الصخور التي تمر عليها وتحتك بها. ويُطلق على فعل الرياح والمياه الجارية والجليد المُتحرك (الثلاجات) عوامل النحات (Denudation). ونتيجة هذه العوامل جميعها هي نقل الفُتات من مكانها الأصلي وترسيبها في مكان آخر يقرب أو يبعد عن مكان الصخر الأصلي.

* تأثير النبات والكائنات الحية (Plants and Living Organizms): حيث تقوم الحيوانات والنباتات بدورٍ هام في تفتت الصخور سواء كان ذلك بطريق مباشر أو غير مباشر. فالنباتات الراقية خصوصاً تُرسل جذورها داخل شقوق وفجوات الصخور. وهذه الجذور عندما تنمو ينشأ عنها ضغط كبير يؤدي إلى إنفلاق الصخور وإنشطارها (1سم^3 من الجذور السطحية يسبب ضغطاً يساوي من 8 حتى 20 كيلو جرام).

كما أن الطحالب التي تستعمر سطوح الصخور تنتفخ عندما تبلل بالماء وتنكمش عند الجفاف مما يساعد على إنفصال فُتات الصخور الدقيقة التي ترتبط إرتباطاً وثيقاً. وهذه الحبيبات الصغيرة التي إنفصلت من الصخر تُصبح عرضة للإزالة بواسطة عوامل النحات.

كما أن الحيوانات الحفارة كديدان الأرض والنمل والسنجاب الأرضي وغيرها تُساعد عوامل التجوية عن طريق تعريض مواد جديدة من الصخور إلى السطح وكذلك بتهيئة مسالك لهذه العوامل حتى يصل تأثيرها إلى ما تحت السطح.

* تأثير الجاذبية (Gravity): حيث تعمل على تدحرُج القطع الصخرية المنفصلة عن الصخر الأم بواسطة عوامل التجوية الأخرى على المنحدرات فتعمل على تفتيتها إلى قطع أصغر. وقد تتراكم الفتات الصخرية عند أسفل المنحدر وتكون ما يُعرف باسم (Talus) أي كومة تحول المنحدر.

صورة توضح سقوط الصخور بفعل الجاذبية الأرضية

▪ ***التجوية الكيميائية أو التحلل (Chemical Weathering or Decomposion)***

وهي عملية أكثر تعقيداً من التجوية الطبيعية التي هي مجرد تفتيت الصخر إلى قطع أصغر فأصغر بدون أي تغيير في تركيب الصخر أو خواصه الطبيعية. ولكن في التجوية الكيميائية تتحول المادة الأصلية للصخر إلى مادة أخرى مختلفة. فمثلاً تنتج عن التجوية الكيميائية لمعدن الفلسبار معدن طين يختلف في صفاته الطبيعية وتركيبه الكيميائي عن معدن الفلسبار. وفي بعض الأحيان فإن نواتج التجوية الكيميائية قد لايكون لها صفات المعدن على الإطلاق كما يحدث في معدن الهاليت عند تحوله إلى محلول ملحي.

ومعادن الصخور الأصلية تسمى معادن أولية (Primary Minerals)، والنواتج الأساسية التي تنشأ أولاً من تحلل المعادن الأولية يُطلق عليها النواتج الأولية للتجوية. بينما المعادن الجديدة التي تتكون نتيجة حدوث تفاعلات بين النواتج الأولية تُسمى معادن ثانوية (Secondary Minerals).

ومن أهم العوامل التي تعمل على تحلل أو تجوية الصخور كيميائياً مايلي:

* التحلل المائي (Hydrolysis): ويُقصد به التفاعل الحادث بين أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الهيدروكسيل (OH^-) للماء وبين الجسيمات البنائية للمعدن أو الصخر (سواء كانت أيونات أو شقوق)، ويُعتبر الماء هو العدو الأساسي للفلسبارات والمعادن السيليكاتية.

ومن أمثلة التحلل المائي تحلل معدن الأورثوكلاز الذي هو عبارة عن سيليكات مزدوجة من الألومنيوم والبوتاسيوم وهو يوجد في صخر الجرانيت. وبعد تأثر صخر الجرانيت بعوامل التجوية الميكانيكية وتحويله إلى فتات صغيرة تبدأ عملية التحلل بوضوح لهذه الفتات بفعل التحلل المائي حيث:

$$KAlSi_3O_8 + HOH \longrightarrow HAlSi_3O_8 + KOH$$

- أي أنه في هذه الخطوة يحل الهيدروجين محل البوتاسيوم ويتكون عندئذ سيليكات الألومنيوم الحامضة نوعاً. أما هيدروكسيد البوتاسيوم لايستمر لمدة طويلة حيث أنه غالباً وبسرعة يتحول إلى كربونات أو بيكربونات في وجود CO_2 ويُغسل من الأرض لسهولة ذوبانه.

$$HAlSi_3O_8 + 3H_2O \longrightarrow H_4Si_3O_8 + Al(OH)_3$$

- أي أنه في هذه الخطوة يتبادل الهيدروجين محل الألومنيوم ويتكون مركب حمضي وكذلك يتكون هيدروكسيد الألومنيوم الغروي الموجب الشحنة.

- يتحلل المركب الحمضي المُتكون من الخطوة السابقة وينتج من تحلله هيدروكسيد السيليكون في حالة غروية سالبة الشحنة، ثم يتحد المركب السيليكوني هذا مع هيدروكسيد الألومنيوم ويتكون مركب سيليكوني ألومنيومي ومنه يتكون معدن الطين (الكاءولينت Kaolinite).

صورة توضح عملية التحلل المائى

* التأكسد (Oxidation): وفيه يحدث تأكسد للمادة عندما تفقد هي أو أحد الذرات المكونة لها إلكترون (e^-) أو أكثر. وتحدث الأكسدة في عملية التجوية عادة عندما يحدث إرتباط بين ذرات الأكسوجين والمادة

المُجواة عن طريق تفاعل تكون المادة نفسها هي العامل المؤكسد أي العامل الذي يفقد الإلكترونات التي تكسبها ذرات الأكسوجين وتتحول بذلك إلى أيونات أكسوجين. ومن أمثلة تفاعلات الأكسدة التالي:

$$4FeO + 3H_2O + O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 3H_2O$$

ويُلاحظ أن الماء هو العامل الوسيط الذي عن طريقه يُباشر أكسوجين الجو تأثيره كعامل مؤكسد.

* الكربنة (Carbonation): وهي إتحاد أيونات الكربونات (CO_3^{2-}) أو البيكربونات (HCO_3^-) بالمعادن والصخور الحاملة للكالسيوم والماغنيسيوم والحديد خلال عملية التجوية عن طريق الكربنة. ومن الأمثلة الشائعة مايلي:

- تحول الأوليفين (Olivine) إلى سربنتين (Serpentine)

$$(Fe,Mg)_2SiO_4 + n{\cdot}H_2O + CO_2 \longrightarrow Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + Fe_3O_4 + CH_4$$

Olivine Serpentine Magnetite Methane

- تحول الدولوميت إلى بيكربونات كالسيوم وبيكربونات ماغنيسيوم. حيث يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع نواتج تحلل الفلسبار وغيره من المعادن السيليكاتية فيتكون كربونات أو بيكربونات العناصر القاعدية. فكربونات الماغنيسيوم الناتجة من تحول الأوليفين في التفاعل السابق تتفاعل مع CO_2 ويتكون بيكربونات الماغنيسيوم القابلة للذوبان والتي تُزال من بيئة التفاعل بواسطة المياه الجارية. وكذلك يؤثر ثاني أكسيد الكربون على الصخور الجيرية.

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

وهي من العمليات الهامة جيولوجياً، أي أنه في هذا التفاعل يتحول معدن الكالسيت غير القابل للذوبان في الماء إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان.

وعندما تتخلل المياه الجوفية المحملة بثاني أكسيد الكربون الصخور الجيرية عن طريق مابها من مسام وشقوق فإنها تُحولها إلى فجوات أو كهوف، وينشأ عن ذلك أشكال مختلفة. وقد تؤدي إلى إنهيار الصخور وتكوين مجاري تحت سطحية.

* التأدرت (Hydration): يُطلق التأدرت على عملية إرتباط جزيئات الماء القطبية بمكونات المعدن. وهذه العملية تحدُث أثناء عملية التحلل المائي والأكسدة والكربنة. ومن المُلاحظ أن بعض المعادن يحدث لها تأدرت وهي مازالت في جسم الصخر، وبزيادة تأدرتها خصوصاً عندما تكون على السطح فيزداد حجمها وتنفصل عن جسم الصخر بسهولة كبيرة. والمعادن التي يحدث لها تأدرت تفقد صلابتها ونتيجة عملية التأدرت أن يُصبح الصخر سهل التأثر بواسطة القوى الميكانيكية والكيميائية، ومن أمثلة عملية التأدرت:

- تحول معدن الأنهيدريت (Anhydrite) إلى معدن الجبس (Gypsum)

$$CaSO_4 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

- تحول الهيماتيت (Hematite) إلى ليمونيت (Limonite)

$$2Fe_2O_3 + 3H_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3.3H_2O$$

صورة توضح عملية التأدرت

* الذوبان (Solubilization): بصفة عامة فإن المعادن القابلة للذوبان في الماء النقي تُعتبر قليلة. ولكن تزيد قدرة المياه على إذابة المعادن المختلفة عند إحتوائها على بعض المواد الكيماوية النشطة. مثال ذلك زيادة نسبة ذوبان السيليكات في المياه القلوية. وكذلك وجود ثاني أكسيد الكربون في المياه يعمل على تكوين كربونات الكالسيوم وتحويلها إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان. وإحتواء المياه الطبيعية على بعض الأحماض العضوية يُزيد أيضاً من قدرته على الإذابة. فالسيليكا والألومينا وأكاسيد الحديد تكون أكثر ذوباناً في المياه المختلطة بهذه الأحماض عنها في الماء العادي. والذوبان البسيط نادر جداً في الطبيعة إلا في حالات بعض الرواسب النادرة مثل الملح الصخري والنطرون اللذان يذوبان بسهولة في الماء النقي.

صورة توضح شكل الملح الصخري

المحاضرة الثانية

عوامل وعمليات تكوين الأراضي

Factors and Processes of Soil Formation

عوامل تكوين الأراضي (Factors of Soil Formation)

يُمكن تلخيص تكوين الأراضي في مُجملها في خطوتين، الأولي هي تكوين المادة الأمية والثانية هي تحول المادة الأمية إلى أرض. والمعادلة التالية تُلخص المقصود بذلك.

معادن وصخور ←(عمليات التجوية) رواسب المادة الأمية ←(عوامل وعمليات تكوين الأراضي) الأرض

وقد ربط العالم يني (Jenny) بين خواص الأرض وعوامل تكوينها بمعادلة وهي:

$$S = f_{(p,cl,o,r,t)}$$

حيث:

S = خواص الأرض أو أى خاصية من خواص الأرض.

f = دالة لعوامل معينة، ومعناها يتوقف على العوامل الخمسة التالية:

P = المادة الأمية، cl = المناخ، o = الأحياء، r = الطبوغرافيا، t = الزمن

ولدراسة تأثير المادة الأمية على صفات الأرض كمثال تُستخدم المعادلة التالية:

$$S=f(p)_{cl,o,r,t}$$

وهذه المعادلة تعني أن أي صفة من صفات الأراضي تتوقف على المادة الأمية في حالة ثبات العوامل الأربعة الأخرى. أو بمعني آخر إذا أُريد دراسة تأثير المادة الأمية على صفات الأراضي فلابد من إفتراض ثبات عوامل التكوين الأخرى وهي المناخ والأحياء والطبوغرافيا والزمن ودراسة تأثير التغير في خواص المادة الأمية على صفات الأراضي الناتجة. وهكذا عند دراسة تأثير أي عامل من العوامل الأخرى على أي خاصية من خواص الأراضي المختلفة فمثلاً عند دراسة تأثير عامل المناخ على خواص الأراضي يتم دراسة تأثير تغير عامل المناخ فقط مع تثبيت باقي عوامل تكوين الأراضي الأخرى وتصبح المعادلة كالتالي:

$$S=f(cl)_{p,o,r,t}$$

وهكذا مع باقي العوامل الأخرى. وفي الجزء التالي سندرس تأثير هذه العوامل على صفات الأراضي الناتجة باختصار.

▪ *المادة الأمية (Parent Material) كعامل من عوامل تكوين الأراضي*

معادلة تكوين الأراضي تُصبح:

$$S=f\,(P)_{Cl,O,R,T}$$

حيث يلعب نوع المادة الأمية دوراً هاماً في خواص الأراضي (وخصوصاً الأراضي الحديثة)، فإختلاف التركيب المعدني للرواسب الناتجة من تأثير عوامل التجوية المختلفة على الصخور المختلفة يؤدي إلى ظهور هذه الإختلافات في خواص المادة الأمية. وأهم صفات أو خواص الأراضي التي تتأثر بالمادة الأمية هي اللون، المسامية، الخواص المائية للتربة، نفاذية التربة، الخواص الغذائية للتربة، الخواص الكيميائية للتربة وغيرها.

▪ *المناخ (Climate) كعامل من عوامل تكوين الأراضي*

يُعتبر المناخ من أنشط عوامل التكوين الإيجابية. وقد أوضح العالمان هانز ويني (Hanz- Jenny) عام 1961 أن أهم مكونات المناخ هي الحرارة والرطوبة (T, M). وقد عبر هذان العالمان عن ذلك بالمعادلة الرياضية التالية:

$$S = f(T, M)_{p, r, o, t}$$

وفي هذه الحالة أعتُبر أن كل من الحرارة (T) والرطوبة (M) متغيرات مستقلة، وبذلك يجب فصل كل منها في معادلة مستقلة وفصل كل منهما في معادلة خاصة كما يلي:

$$S = f(T)_{M, p, r, o, t}$$

وتُعني أن خواص قطاع التربة الناشئة دالة لدرجة الحرارة (Temperaure). بينما المعادلة:

$$S = f(M)_{T,P, R, O, T}$$

فتُعني أن خواص التربة الناشئة تُعتبر داله للرطوبة (Moisture) وذلك بافتراض ثبات باقي العوامل الأخرى.

وقد أوضحت العديد من الدراسات أن المناخ هو العامل الرئيسي المُحدد لمعدل ونوع عمليات تكوين الأراضي السائدة علاوة على تأثيره المُباشر على توزيع الكساء الخضري، كما لايخفى تأثيره على العمليات الجيومورفولوجية السائدة في المنطقة موضع الدراسة.

▪ *الأحياء (Living Organisms) كعامل من عوامل تكوين الأراضى*

يشمل عامل الأحياء تأثير النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة في تكوين الأراضي. وهنا نركز على العوامل التي تؤثر في تكوين الأرض في وضعها الطبيعي وبظروفها الطبيعية دون تدخل الإنسان، إلا أن دور الإنسان

وتأثيره على صفات الأراضي لايمكن تجاهله. وهذا التأثير قد يكون إيجابي كما في عمليات إستصلاح الأراضي أو سلبي كما في تدهور الأراضي بسبب سوء عمليات الخدمة وإدارة التربة.

صورة توضح تأثير الجذور النباتية على الصخور

▪ ***الطبوغرافيا (Topography) كعامل من عوامل تكوين الأراضى***

تُعرَف الطبوغرافيا على أنها درجة إنحدار الأرض, أي حالة سطح الأرض من حيث الإرتفاع والإنخفاض وكذلك شكل سطح الأرض من حيث الإرتفاعات البسيطة والمُركبة ودرجة الميل، وبذلك فإنها تؤثر كثيراً في تكوين الأراضي.

صورة توضح تأثير الطبوغرافيا في تكوين الأراضي

▪ ***الزمن (Time) كعامل من عوامل تكوين الأراضي***

$$S= f(T)_{p,cl,o,r}$$

الأرض نظام ديناميكي في تغيُر مستمر مع الزمن. وفي تحول الأرض من مادة أمية أو أصلية إلى أرض تمر بمراحل وسطية حتي تصل إلى حالة شبه إتزان مع الظروف البيئية. أي أن عوامل تكوين الأراضي تؤثر في العديد من العمليات والتفاعلات الكيميائية والبيولوجية مع الزمن. وفي المراحل الأولي من تكوين الأراضي تشبه خواص الأرض إلى حد كبير خواص المادة الأمية وتسمى بالخواص الليثولوجية (Lithological Characteristics). وتُعرف الأرض الناضجة بأنها الأرض التي وصلت خواصها إلى حالة إتزان مع الزمن والظروف البيئية المحيطة بها.

عمليات تكوين الأراضي (Processes of Soil Formation)

إن عوامل تكوين الأراضي السابق ذكرها (وهي المناخ والكائنات الحية والطبوغرافيا وبالطبع المادة الأمية) لاتعمل منفردة أي لايعمل أي عامل منها على إنفراد، ولكنها تعمل معاً (وفي ذات الوقت) على تحويل المادة الأمية إلى أرض. إلا أنه قد يتفوق أو يسود فعل أحد هذه العوامل على فعل العوامل الأخرى، أو قد يغيب أحدهم تقريباً. إلا أن النتيجة النهائية هي حدوث عمليات مختلفة (طبيعية وكيميائية وبيولوجية) تكون نتيجتها تغيير وتحويل المادة الأصلية (الأمية) إلى أرض عن طريق تكوين طبقات (أو آفاق) موازية للسطح تختلف عن بعضها في الصفات الطبيعية (مثل اللون والقوام والبناء والخواص المائية والتهوية وخلافه) والكيميائية (مثل درجة الحموضة والسعة الكاتيونية والتركيب المعدني وقدرتها على الإحتفاظ بالعناصر الغذائية ومحتواها من الأملاح ونوعية هذه الأملاح)، وكذلك محتواها من بعض المكونات الكيميائية (مثل كربونات الكالسيوم أو الجبس أو المكونات العضوية)، وبفعل هذه العمليات يتكون القطاع الأرضي. ويمكن تلخيص هذه العمليات في مجملها في أربعة عمليات رئيسية هي:

1- إضافة بعض المكونات.
2- إزالة بعض المكونات.
3- إنتقال بعض المكونات.
4- تحويل بعض المكونات إلى أخرى.

وهذه هي العمليات الرئيسية التي تحدث في المواد الأمية أو الأصلية وتحولها إلى أرض (Soil). وفي التالي شرح هذه العمليات باختصار.

▪ ***عمليات الإضافة (Addition Processes)***

يُقصد بها أي إضافة إلى جسم التربة. يشمل ذلك إضافة المواد العضوية ومُحسنات الإنتاج حيث الإضافة هنا تكون بغرض تحسين خواص التربة من أجل زيادة الإنتاج. وقد تكون الإضافة بفعل عوامل طبيعية

مثل أوراق الأشجار والأجزاء النباتية المختلفة (والتي يحدث لها تحلل جزئي أو كلي طبقاً للظروف السائدة) أي المادة العضوية. أو إضافة سفي الرمال على التربة (أو إزالة سطح التربة) في المناطق الصحراوية الخالية من مصدات الرمال أو لتساقط وتراكم الأنواع المختلفة من الأملاح التي تتكون على الأراضي المتاخمة للبحار والمحيطات من رذاذ البحر المرتفع الملوحة وتبخر الماء منه في الهواء الجوي وبالتالي سقوط الأملاح على التربة.

- ***عمليات الإزالة (Elimination Processes)***

إن عملية الإزالة قد تكون كاملة لمواد التربة إلى خارج القطاع الأرضي تماماً كما في حالة المناطق شديدة الرطوبة حيث تبدأ الإزالة هنا بالمواد السهلة الذوبان (الأملاح من على سطح الأرض أو من أفق معين) أو (إزالة أفق كربونات الكالسيوم) ثم إزالة مكونات التربة المختلفة الفردية سواء كانت معدنية أو عضوية. أو قد تكون الإزالة محدودة مثل إزالة مكونات من أفق لتتراكم في أفق آخر في القطاع الأرضي مثل إنتقال المواد الطينية أو المواد العضوية أو بعض الأكاسيد السداسية (أكاسيد الحديد والألومنيوم) من أفق سطحي وترسيبها في الأفاق تحت السطحية طبقاً لعمليات كيميائية دقيقة في القطاع الأرضي.

- ***عمليات الإنتقال (Translocation Processes)***

إن عملية الإنتقال قد تكون أساسياً إلى أسفل (Downward Translocation) مثل إنتقال الأملاح الذائبة والسيليكا من الطبقة السطحية للتربة إلى الطبقة السفلية مما يُساعد على تكوين الأفاق تحت السطحية. وتتوقف عملية الإنتقال إلى أسفل عندما يتوقف مرور الماء في التربة. كما قد يكون الإنتقال إلى أعلى عند إنتقال الأملاح الذائبة في محلول التربة حين صعوده مع الماء بالخاصية الشعرية إلى السطح فيتبخر الماء وتبقى الأملاح على السطح وهذا يؤدي إلى تكوين الأراضي المتاثرة بالأملاح (الملحية). وفي أراضي المناطق الرطبة تحدث عمليات الغسيل العميق في القطاع الأرضي، فيحمل الماء مكونات التربة المُذابة والطين خارج القطاع الأرضي. وفي أراضي المناطق الرطبة يستمر الماء في الحركة إلى أسفل أفق مادة الأصل، إلا أن الطين والأكاسيد الناتجة من عملية التفاعلات المختلفة تبقى فوق أفق المادة الأمية.

- ***عمليات التحول (Transformation Processes)***

إن عملية التحول أي تحول معدن إلى معدن آخر تتم في الأرض نتيجة العديد من العمليات الكيميائية والبيولوجية. وفيها تتحلل المواد العضوية مما يؤدي إلى إذابة بعض المكونات غير الذائبة وتحولها إلى مواد ذائبة والعكس، وكذلك تحول بعض المعادن الأولية إلى معادن ثانوية (مثل تحول الفلسبار إلى معادن

طين الكاؤلينيت أو تحول الأوليفين إلى معدن السربنتين وتحول معدن الهيماتيت إلى معدن الليمونيت) أى تحول المعادن الأولية إلى معادن ثانوية.

وعموماً فإن هناك بعض العوامل التي تؤدي إلى الإسراع من عمليات تكوين الأراضي وتطور القطاع الأرضي وهي:

1- المناخ الحار الرطب.

2- الكساء الخضري الذي يغلب على تكوينه الغابات.

3- مواد الأصل المفتتة ذات النفاذية الجيدة.

4- المحتوى المنخفض من الجير (كربونات الكالسيوم).

5- الطبوغرافيا المستوية (إلى حد ما) وجودة الصرف.

كما أن هناك عوامل تعوق من سير عمليات تكوين الأراضي فتؤخر من نضج القطاع ومنها:

1- المناخ البارد الجاف.

2- الكساء الخضري الذي تسوده الحشائش وخصوصاً إذا كانت صغيرة ومتناثرة.

3- مواد الأصل غير المنفذة والشديدة المقاومة لعمليات التجوية.

4- مواد الأصل ذات محتوى الجير العالي.

5- الطبوغرافيا الشديدة الإنحدار.

تكوين القطاع الأرضي (Formation of Soil Profile)

تتحول مادة الأصل أو المادة الأمية نتيجة فعل عوامل وعمليات تكوين الأراضي وكذلك فعل عمليات التجوية المختلفة إلى أرض. وأهم مايميز الأرض عن مادة الأصل هو أن مادة الأصل تقريباً متجانسة في صفاتها المختلفة، أما في الأرض فإن هذه الصفات تختلف بالعمق أي من أعلى إلى أسفل، وهذا الإختلاف ممكن ملاحظته أو تحديده في طبقات أفقية (تُسمى أفاق) وهذه الأفاق هي التي تُكون القطاع الأرضي وتميزها عن رواسب المادة الأمية.

صفات القطاع الأرضي (Characteristics of Soil Profile)

إن من بين أهم الصفات المورفولوجية (الظاهرية) لطبقات أو أفاق القطاع الأرضي التي يمكن دراستها في الحقل هي:

- الصفات الطبيعية وتشمل:

* اللون.

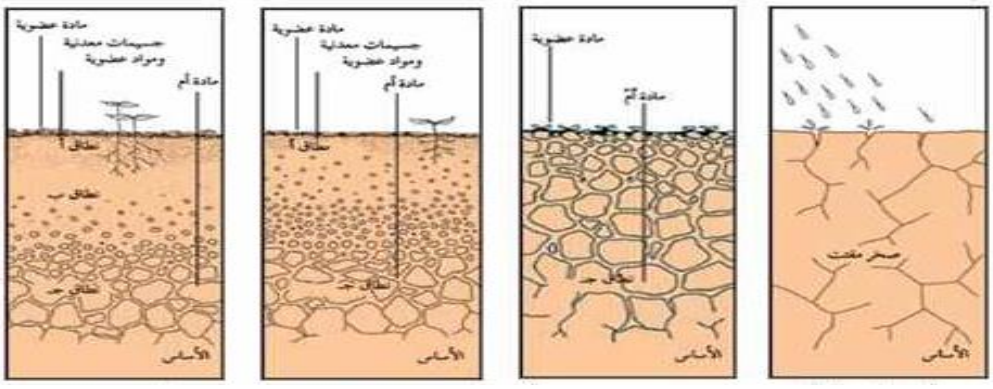
* القوام (في الحالة الجافة والحالة الرطبة).
* البناء الأرضي.
* الخواص التشكيلية.
* وجود أو عدم وجود شعيرات للمجموع الجذري.
* وجود وتوزيع تكوينات أو مواد مختلفة عن جسم الأرض وشكلها ولونها (مثل وجود كربونات الكالسيوم، الجبس، أكسيد حديد).
* شكل حدود الطبقات (أي شكل منطقة إتصال طبقة بالطبقة التي تليها).

▪ الصفات الكيميائية (وهذه يتم دراستها في المعمل) وتشمل:

* درجة الحموضة (ويمكن معرفتها أيضاً بالحقل).
* الأملاح الذائبة ونوعيتها.
* نسبة المادة العضوية.
* نسبة الطين.
* الأكاسيد (الحديد والألومونيوم).

طبقات القطاع الأرضي (Horizons of Soil Profile)

تُتغير خواص الأرض السابق ذكرها مع العمق، حيث نجد أن هذه الصفات تزيد في بعض الآفاق وتقل أو تختلف من البعض الأخر. وبناًء على ذلك فإن آفاق طبقات القطاع يُمكن تقسيمها طبقاً لخواص كل منها ونظام تكوينها إلى الآفاق التالية:



شكل يوضح مراحل تكوين القطاع الأرضي

- أفق A: وهو أفق سطحي داكن اللون به نسبة عالية نسبياً من المادة العضوية، أو أفق إزالة حيث تحدث عملية ذوبان وإزالة الأملاح عند توفر الرطوبة (وينقسم إلى تحت أقسام بناءً على درجة تحلل المادة العضوية).
- أفق B: ويُطلق عليه أفق التراكم حيث تتراكم فيه المواد المذابة أو المنتقلة من أعلى إلى أسفل مثل الطين، الأكاسيد المختلفة، بعض مركبات المادة الأمية، كربونات الكالسيوم (وينقسم إلى تحت أقسام بناءً على نوع وتركيب المواد المتراكمة).
- أفق C: وهو أفق إنتقالي في صفاته من صفات أفق B وأفق المادة الأمية.

وقد يكون القطاع الأرضي نموذجي أي يحتوي على الثلاثة أفاق A,B,C أو قد يحتوي على أفقين هما A,C فقط وهنا يُمثل قطاع يتكون فيه أفق A من مادة الأصل C. وقد يكون القطاع B,C حيث قد أُزيلت منه الطبقة السطحية (أفق A) نتيجة لعمليات الإنجراف أو الإزالة بالرياح أو المياه في بعض الأحيان.

صور توضح قطاع أرضي وطبقاته المختلفة

المحاضرة الثالثة

حصر وتصنيف وتقييم الأراضي

Survey, Classification and Evaluation of Soils

حصر الأراضي (Soil Survey)

يُقصد بحصر الأراضي دراسة الأراضي دراسة تفصيلية تشمل سطحها الخارجي وكذلك تكوينها الداخلي لجمع معلومات كافية عن صفاتها المورفولوجية والطبيعية والكيميائية للتمكن من جمع الأراضي المتشابهة في صفاتها في أقسام تدل على قدرتها الإنتاجية وتوضع هذه الأقسام على خرائط مفصلة يعطي لكل قسم لون خاص به مع بيان مُبسط عن تفسير هذه الألوان فيما تُمثلها من صفات الأرض.

أغراض وأهداف حصر الأراضي

تتعدد أغراض وأهداف عملية حصر الأراضي فيما يلي:

1- إنشاء خريطة أرضية (بيدولوجية) موضحاً عليها الوحدات الأرضية طبقاً لخواصها المورفولوجية والطبيعية والكيميائية. والغرض العام للحصر هو أنه الأساس لتقسيم وتقييم الأراضي.

2- معرفة أنواع الأراضي المختلفة في منطقة معينة على أسس علمية سليمة بناء على معرفة صفاتها الطبيعية والكيميائية والحيوية (الظروف البيئية المحيطة بها).

3- تحديد أنسب الطرق لاستغلال الأراضي من إختيار أنسب أنواع المحاصيل التي تجود على كل نوع منها ومعرفة المناطق ضعيفة الإنتاج ومعوقات الإنتاج في هذه المنطقة والعمل على تحسين حالتها.

4- حصر الأراضي يُعتبر أساسي في خطة عمليات الإستصلاح وإستغلالها في أغراض أو إنشاءات خاصة، حيث تبين أولوية المناطق التي يُمكن إستصلاحها والمناطق التي يجب إستبعادها من عمليات الإستصلاح لعدم صلاحيتها للإنتاج الزراعي أي تحديد أولويات الإستصلاح والإستزراع.

5- يُساعد حصر وتصنيف الأراضي في تحديد قيمة الأرض من الناحية الإقتصادية (تقدير الضرائب وتثمين الأراضي).

أنواع حصر الأراضي (Types of Soil Survey)

يتحدد نوع الحصر حسب الغرض منه، وهناك أربع أنواع من الحصرهي:

▪ حصر عام (Exploratory Soil Survey): يجري للمناطق ذات المساحات الشاسعة بصورة عامة لمعرفة المناطق معرفة عامة فقط. وتستخدم خرائط بمقياس رسم من 1 : 250,000 إلى 1 : 500,000.

▪ حصر إستكشافي (Reconnaissance Soil Survey): يجري للأراضي الشاسعة المساحة التي يراد عمل دراسة أولية لها، وهو أكثر تفصيلاً من الحصر العام، ويلزمه خرائط بمقياس رسم من 1 : 250,000 إلى 1 : 100,000. أو يُحفر قطاع أرضي واحد لكل كيلومتر مربع أي أن القطاع الأرضي يمثل 240 فدان تقريباً.

▪ حصر نصف تفصيلي (Semi-detailed Soil Survey): للأراضي ذات المساحات الكبيرة والمتشابهة في الخواص، ويلزم لها خرائط بمقياس رسم من 1 : 100,000 إلى 1 : 25,000. ولا يقل عدد القطاعات في الكيلومتر المربع عن 4 قطاعات أي أن كل قطاع يمثل 60 فدان.

▪ حصر تفصيلي (Detailed Soil Survey): يُستخدم هذا النوع من الحصر عند الحاجة إلى دراسة تفصيلية والتي يراد فيها تحديد حالة الأرض بصورة دقيقة، ويلزم لها خرائط بمقياس رسم من 1 : 25,000. إلى 1 : 10,000. مثل الأراضي تحت الإستصلاح وبعض أنواع الأراضي المستزرعة، ويبلغ عدد القطاعات اللازم دراستها لايقل عن 16 قطاع في الكيلومتر المربع أي أن كل قطاع يمثل مساحة قدرها 15 فدان أو تزيد عدد القطاعات عن ذلك عند الضرورة.

مراحل عملية الحصر

تشمل عملية الحصر أربع مراحل رئيسية هي:

* دراسات مكتبية أو تمهيدية.
* دراسات حقلية (المرحلة التنفيذية).
* دراسات معملية.
* مرحلة رسم الخرائط وإعداد التقرير الفني.

▪ ***الدراسات المكتبية أو التمهيدية***

وهي مرحلة جمع المادة العلمية على المساحة أو القطعة التي يُراد حصرها وإعداد الخرائط الأرضية والسيوجرافية لها. وتُعتبر هذه الخرائط بالدراسة أمتريوسكوبين للصور الجوية أو تحليل صور الأقمار الصناعية (باستعمال برمجيات خاصة لتحديد وأخذ أماكن القطاعات الأرضية).

صور توضح خطوات عمل خريطة التربة

▪ *الدراسات الحقلية (المرحلة التنفيذية)*

ويقوم بها متخصصون في مجال الأراضي ذو خبرة وفيرة بالدراسة الحقلية وفحص القطاعات الأرضية الممثلة لوحدات الخريطة الأرضية المبدئية ودراستها مورفولوجياً وأخذ العينات الممثلة للاختلافات في الأفاق أو طبقات القطاعات الأرضية باحتياطات خاصة ووضع الحدود بين وحدات الخريطة وجمع معلومات عن إستغلال الأراضي الحالي وإنتاجها وغيرها من المعلومات الإقتصادية والإجتماعية.

▪ *الدراسات المعملية*

وهذه الدراسات تختلف على حسب الغرض من عملية الحصر وذلك من حيث نوع هذه التحليلات وعددها وإذا كان هناك حاجة لإجراء هذه التحليلات على عينات تربة مُثارة أو عينات غير مُثارة. ويمكن تقسيم هذه التحليلات والتقديرات المعملية إلى المجموعات التالية:

▪ *التحليلات الطبيعية*

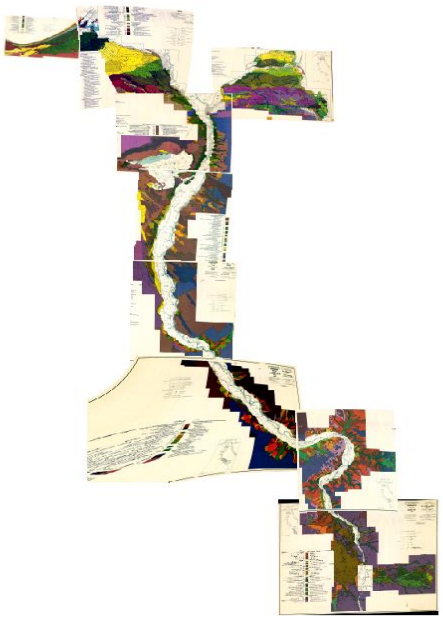
مثل لون التربة وقوام التربة وبناء التربة وكثافة إنتشار الجذور ووجود تكوينات مختلفة أو بقع ملونة وتحديد حجمها ولونها ودرجة إنتشارها والكشف عن شدة فوران التربة مع HCl وغيرها.

▪ *التحليلات الكيميائية*

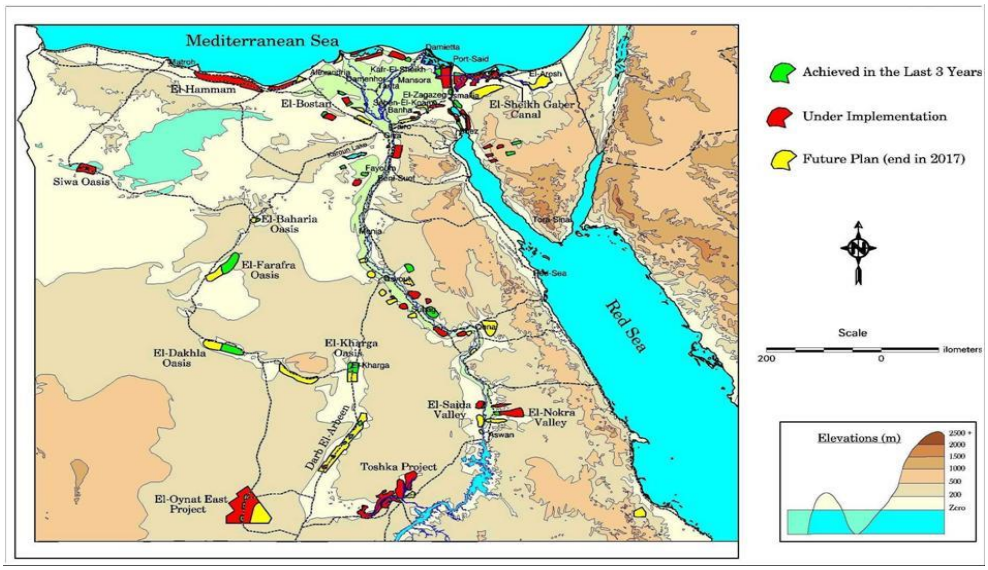
تُجري هذه التحليلات معملياً مثل الرقم الهيدروجيني (pH) وتقدير الأملاح الكلية الذائبة والتعرف على الأنيونات، الكاتيونات المختلفة وتقديرها في المستخلص المائي للأرض لمعرفة السائد منها وتأثيره وتقدير مركبات الكالسيوم سواء كانت كربونات أو كبريتات الكالسيوم كنسبة مئوية في طبقات القطاع المختلفة لمعرفة وجود طبقات صماء من عدمه وكذلك كل من الصوديوم والماغنيسيوم وتقدير المادة العضوية بالإضافة إلى حساب درجة تشبُع الأرض بالقواعد أو النسبة المئوية للصوديوم المتبادل.

▪ *رسم خرائط الأراضي وإعداد التقرير النهائي*

بعد إجراء الدراسات الحقلية والمعملية اللازمة لتنفيذ عملية الحصر تُفسر النتائج المتحصل عليها من التقديرات السابقة ويتم وضعها في صورة ملائمة للإستفادة منها من الناحية التطبيقية وذلك بترجمة هذه البيانات والتحليلات على صورة خرائط تسمى بالخرائط الأرضية التي توضح خصائص وصفات الأراضي المدروسة ومحددات إستغلالها. كما يُرفق بالخرائط تقرير وافٍ يشتمل على نتائج التحليلات المختلفة.



الخريطة العامة لدراسة حصر أراضي السد العالي



خريطة توضح مواقع مشروعات إستصلاح الأراضي طبقاً لخطط الإستصلاح

ومن الخرائط الأرضية يُمكن تصنيف الأرض إلى درجات حسب قدرتها الإنتاجية ووضع خطة لإستصلاح الأراضي مثلاً أو المحافظة على الأراضي الجيدة أو العمل على رفع خصوبة الأراضي.

تصنيف الأراضي (Soil Classification)

نظراً لاختلاف عوامل وعمليات تكوين الأراضي وكذلك لاختلاف عوامل وعمليات التجوية من منطقة إلى أخرى بالإضافة إلى التعدد الهائل في صفات الأنواع المختلفة من المواد المختلفة فقد أدى ذلك إلى نشوء أنواع لاتحصي من الأراضي مختلفة الصفات. وحتى يسهل دراسة هذه الأصناف العديدة من الأراضي، كان لابد من وضعها في مجموعات تحتوي كل مجموعة على عدد من الأفراد المتشابهة في الصفات أي تقسيمها. ومرت عملية تقسيم الأراضي بآلاف المحاولات إختلفت وتطورت على مر الزمن وبدأت هذه المحاولات بسيطة كمحاولة تقسيم الأراضي على أساس اللون فقط، أو على أساس القوام فقط، أو على أساس نوع المادة الأمية فقط، وتطورت إلى تقسيم الأراضي من حيث إحتوائها على مركب معين مثل إحتوائها على كربونات الكالسيوم أو أكاسيد الحديد والألومونيوم. مثال على ذلك مااقترحه العالم الأمريكي ماربت (Marbut) في ثلاثينات القرن الماضي عندما قسم الأراضي إلى قسمين الأول يحتوي على كربونات الكالسيوم وسماه بيدوكال (Pedocal) والثاني لايحتوي على كربونات كالسيوم بل يحتوي على أكاسيد الحديد والألومنيوم وسماه بيدالفير (Pedalfer).

ظهرت العديد من التصنيفات الأخرى التي تعكس مدى التقدم في فروع الأراضي المختلفة. ومن أهم التقسيمات القديمة (التي إقترحها العالم الروسي دوكوتشيف وتلاميذه منهم سبرنزيف في أوائل القرن الماضي والتي تم تطويرها بواسطة العلماء الأمريكان من أساتذة قسم حصر وتصنيف وتقسيم الأراضي في

وزارة الزراعة الأمريكية منهم بلاددين وآخرين 1938) التقسيم المعروف بالتقسيم النطاقي للأراضي. والسبب في ذكر هذا التقسيم القديم أنه لازالت أسماء الأراضي التي ذكرت فيه لازالت مُستعملة حتى وقتنا هذا، وخصوصاً بين علماء الأراضي غير المتخصصين في فرع (البيدولوجي) وحتى بعض المتخصصين في هذا المجال. والتقسيم النطاقي للأراضي يُعني أن لكل منطقة عوامل تكوين خاص بها وخصوصاً فيما يتعلق بعاملي المناخ ومايتبعه من غطاء نباتي.

وطبقاً للتقسيم النطاقي تُقسم الأراضي إلى ثلاثة أقسام أو رتب (Orders) هي:

- ***الأراضي النطاقية (Zonal Soils)***

وهي الأراضي التي لها قطاع أرضي ذات صفات إكتُسبت من عاملي المناخ وماصاحبه من غطاء نباتي موجود في منطقة معينة، أي أن عاملي المناخ والأحياء السائدين في منطقة معينة هي التي أثرت على تكوين هذه الأراضي.

وأهم تحت رتب الأراضي السائدة في هذه الرتبة تحت رتب الأراضي التالية:

* أراضي البودزول (Podzol).
* أراضي الأخشاب الرمادية (Gray Wooded Podzol).
* الأراضي الحمراء المُصفرة (Rad Yallow Podzolic).
* أراضي اللاتريت (Laterite).

- ***الأراضي بين النطاقية (Intra Zonal Soils)***

وهي أراضي ذات قطاعات أرضية متأثرة بفعل عوامل داخلية أخرى (غير عوامل تكوين الأراضي الخاصة بالمنطقة) مثل صفات خاصة بالمادة الأمية (متحجرة أو ذات محتوى مرتفع من الجير أو ذات مستوى ماء أرضي مرتفع) أو خاصة بالطوغرافيا والإنحدار حيث أثرت هذه العوامل على صفات قطاع التربة أكثر من تأثير عوامل التكوين الخاصة بالمنطقة عامة. وتشمل هذه الرتبة على تحت الرتب التالية:

* أراضي متأثرة بظروف الرطوبة الغدقة (Hydromorphic Soil): وهي أراضي قطاعاتها لها صفات تعكس سوء الصرف بدرجاته المختلفة (لوجود طبقات صماء أو تحجُر المادة الأمية أو قربها من مناطق تسريب المياه). ومن أمثلة هذه الأراضي أراضي المُستنقعات (Bog Soil) وهذه الأراضي توجد كمساحات رديئة الصرف غنية بالكساء العُشبي وبقايا النباتات المُتحللة جزئياً (والتي تُسمى بيت Peat) أو كاملة التحلل (وتُسمى Muck).

* أراضي متأثرة بكربونات الكالسيوم (Calcimorphic Soil) وتشمل:

- أراضي الرنديزينا (Rendizina): وهي أراضي ذات مادة أمية غنية بكربونات الكالسيوم (تحتوي على أكثر من 40% كربونات كالسيوم) ولها أفق سطح ذات لون غامق غني جداً بالمادة العضوية وأفق تحت سطح فاتح جداً لاحتواءه على نسبة عالية من المواد الجيرية.

- الأراضي الجيرية الحمراء أو التيراروزا (Terra-Rosa): تتكون من مواد أمية غنية جداً بكربونات الكالسيوم بجانب إحتوائها على نسبة عالية من أكاسيد حديد ومواد طينية وهي ذات لون وردي. وهذه الأراضي سائدة في جنوب البحر الأبيض المتوسط.

* أراضي متأثرة بالأملاح (Halomorphic Soils): وهذه الأراضي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح، إما لأسباب خاصة بمادتها الأمية كأن تكون المادة الأمية من ترسُبات ملحية أو كون هذه الأراضي عند سفوح المنحدرات حيث يكون مستوى الماء الأرضي مرتفع ومُعرضة لعمليات البخر الشديد من سطح الأرض مثل أراضي المناطق الجافة. وهذه الأراضي (أي الأراضي المتاثرة بالأملاح) تُقسم إلى تحت أقسام على حسب كمية الأملاح ونوعها وكذلك على حسب سيادة بعض الكاتيونات في هذه الأملاح مثل كاتيون الصوديوم أساساً أو كاتيون الماغنيسيوم إلى:

- أراضي ملحية (Saline Soils).
- أراضي قلوية (Alkali Soils)
- أراضي ملحية قلوية (Saline Alkali Soils).

▪ ***الأراضي اللانطاقية (Azonal Soils)***

وهي أراضي حديثة ذات قطاعات أرضية غير متطورة ليس لها ملامح ظاهرة أما لكون مادتها الأمية شديدة الصلابة والتحجُر(أي شديدة المقاومة لعمليات التجوية) أو لكونها تكونت على منحدرات شديدة الإنحدار أو لحداثة ترسيب مادتها الأمية. وتشمل الأراضي اللانطاقية الأراضي التالية:

* الأراضي المُتحجرة (Lithosoils): وهي أراضي ذات قطاعات ضحلة لكون المادة الأمية مُتحجرة صخرية بطيئة الإستجابة أو لاتستجيب لفعل عوامل التجوية وتكوين الأراضي.

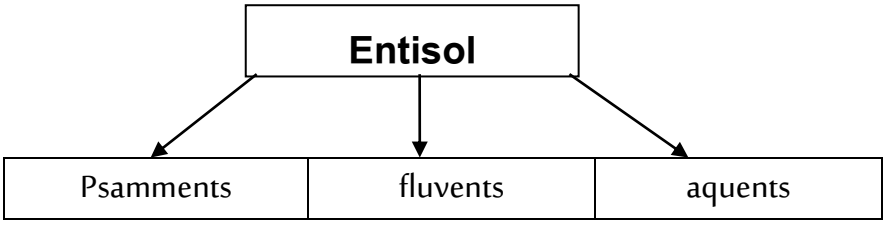
* أراضي (Regosoils): وهي أراضي ذات قطاعات أرضية (أعمق من النوع السابق) تتكون أساساً على المنحدرات التي تتسبب في إزالة المادة الأرضية المتكونة مما لايساعد على تكوين قطاع أرضي عميق.

* أراضي الترسيبات النهرية (Alluvial Soils): وهي الأراضي المتكونة من مواد أمية تكونت أساساً من ترسيبات الأنهار وقطاعاتها الأرضية غير متطورة أو غير ناضجة وبها قليل من عمليات تكوين الأراضي مثل أراضي الدلتا والوداي.

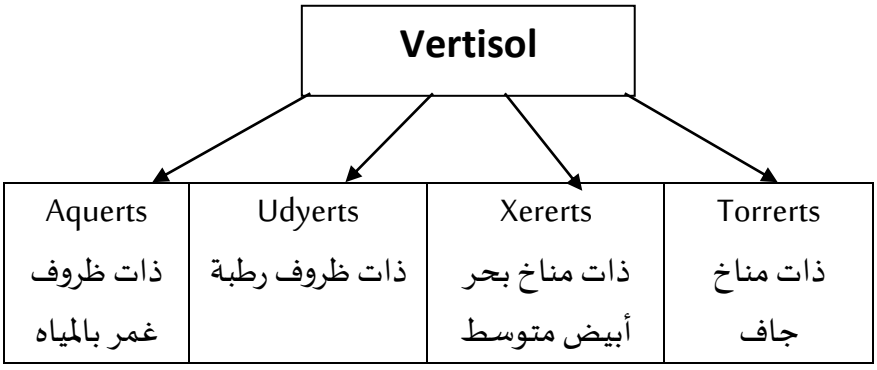
* الأراضي السُفوحية (Colluvial Soils): وهي أراضي تكونت أساساً من فئات صخرية ناعمة نتيجة تأثر صخور مادتها الأمية بعوامل التجوية الطبيعية على التلال والمناطق الجبلية العالية، حيث تراكمت هذه الترسيبات أسفل المنحدرات بفعل الجاذبية الأرضية.

وبالرغم من التطور السريع الذي حدث في مجالات التصنيف المختلفة إلا أنه بالتصنيف السابق (النطاقي) مازالت أسماء الأراضي المذكورة فيه شائعة الإستعمال والتداول بين المُشتغلين في مجال الأراضي.
إن أشمل وأحدث النُظم العالمية لتصنيف الأراضي والتي إستطاعت أن تتجنب عيوب التقسيمات السابقة وكذلك تُغطي كل أنواع الأراضي الموجودة في العالم هو التقسيم الأمريكي الحديث (Soil Taxonomy) حيث تم عمل محاولات عديدة وتم نشر ما أسفرت عنه المحاولات المختلفة لتصنيف الأراضي في كُتب عديدة منها كتاب المحاولة السابعة لتصنيف الأراضي (7th Approximation) وانتهت بنشر مرجع آخر أكثر شمولاً وتطوراً هو (Soil Taxonomy 1975) والذي تم تعديله عدة مرات (في الأعوام 1994 و 1999 و 2003 وآخرها عام 2016 وهو آخر وأحدث المراجع عن تصنيف الأراضي في العالم).
وقد استُعمل في تسمية الأراضي في هذا المرجع مقاطع أصولها من اللغة اللاتينية واليونانية بجانب اللغة الإنجليزية. وأعتُمد أساساً على فحص الصفات المورفولوجية للقطاع الأرضي ومابه من أفاق تشخيصية بجانب نظام الحرارة والرطوبة.
ويشمل هذا النظام إثني عشر رتبة تشمل كل أراضي العالم، وتقع أراضي جمهورية مصر العربية في ثلاثة رتب هي:
* Entisol أي رتبة الأراضي الحديثة.
* Vertisol أي رتبة الأراضي الطينية السوداء.
* Aridisol أي رتبة أراضي المناطق الجافة.

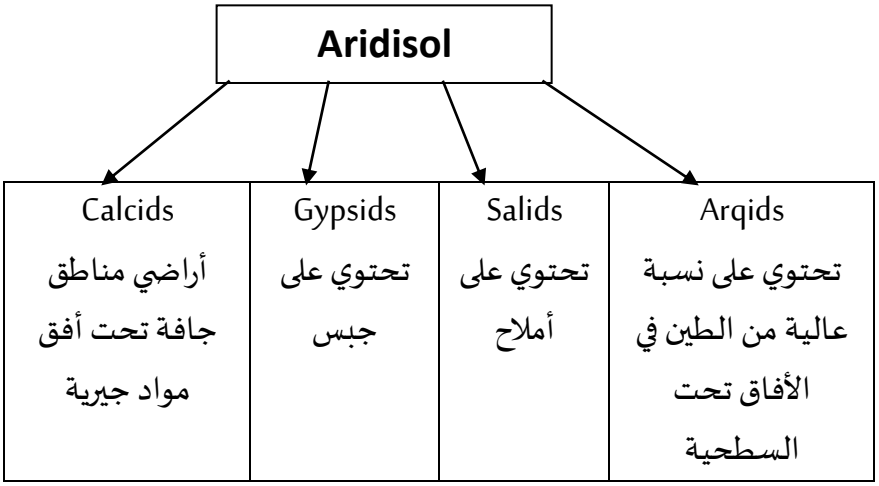
رتبة الأراضي الحديثة Entisol



رتبة الأراضي الطينية السوداء Vertisol



رتبة أراضي المناطق الجافة Aridisol



تقييم الأراضي (Soil Evaluation)

وهي دراسة الأراضي من ناحية إقتصاديات الإستصلاح والإنتاج الزراعي، حيث أن إقتصاديات الإستصلاح تتوقف أساساً على نوع وعدد مُعوقات أو محددات الإنتاج (Limitations). فهناك محددات دائمة (Perminant) لايمكن أو من الصعب جداً إصلاحها مثل عمق القطاع الأرضي أو درجة ميل الأرض أو إحتوائها على نسب مرتفعة جداً من الجير (كربونات الكالسيوم). وهناك محددات مؤقتة (Temporary)

وهذه يُمكن التغلب عليها بعمليات الخدمة المختلفة مثل الملوحة والقلوية ونقص العناصر الغذائية وحالة الصرف وغيرها. أي أنه عند تقييم الأراضي فلابد من أخذ كل هذه المحددات أو (المعوقات) في الإعتبار. هذا بالإضافة إلى العوامل البيئية المُحيطة بما فيها قُرب أو بُعد الأسواق وحالة الطرق.

ومن أقدم وأبسط الطُرق التي أستخدمت لتقييم الأراضي طريقة العالم الأمريكي ستوري (Storie) عام 1937، والتي قام بتطويرها في عدة مراحل آخرها عام 1960 سماها (Storie Index) أي معامل ستوري لتقييم الأراضي. ويتلخص هذا النظام في تطبيق معادلة رياضية تربط بين قيم بعض خواص الأراضي المحددة للإنتاج ودرجة أو قيمة الأرض كما يتضح في المعادلة التالية:

$$\text{Storie Index} = A.B.C.X$$

حيث أنه في هذه المعادلة فإن درجة الأرض تأتي من حاصل ضرب قيم (نسب مئوية) تُعطي لبعض صفات الأراضي التي إعتقد (Storie) أنها تؤثر على درجة الأرض، وهي في المعادلة السابقة A, B, C, X حيث الرمز:

A: يُعبر عن عمق القطاع الأرضي.

B: قوام الطبقة السطحية.

C: درجة الميل.

X: صفات الأرض الأخرى مثل الصرف ودرجة الـ pH والملوحة والقلوية والعناصر الغذائية.

ويتم التعبير الرقمي (كنسب مئوية) عن قيم هذه الخواص فمثلاً في حالة عمق القطاع A يعطي قيمة 100% إذا كان عمق القطاع 180 سم فأكثر أو zero% إن كان عمق القطاع أقل من 30 سم مثلاً، وتُعطي الصفة B وهي قوام الطبقة السطحية رقم 100% إذا كان قوامها طميية ناعمة، أما إذا كان قوام الطبقة السطحية رملية حصوية فيُعطي لها قيمة 10% أو أقل، وهكذا في باقي الصفات الأخرى. وتحدد قيمة دليل ستوي (Storie Index) من حاصل ضرب القيم (كنسب مئوية) المعطاه للصفات A, B, C, X. وعلى حسب قيمة هذا الدليل يتحدد درجة أو رتبة الأرض كالتالي:

جدول دليل ستوري ودرجــة الأرض

دليل ستوري (Storie Index)	درجة الأرض	صفات الأرض
100- 80%	الأولي	ممتازة
80- 60%	الثانية	جيدة جداً
60- 40%	الثالثة	جيدة
40- 20%	الرابعة	متوسطة
20- 10%	الخامسة	ضعيفة ويصعب إستصلاحها
أقل من 10%	السادسة	ضعيفة جداً ولاتصلح للزراعة

- أراضي الدرجة الأولي: أراضي ممتازة ملائمة لجميع أنواع المحاصيل وذات إنتاج عالي.
- أراضي الدرجة الثانية: أراضي جيدة جداً وملائمة لإنتاج أغلب أنواع المحاصيل.
- أراضي الدرجة الثالثة: أراضي جيدة الإنتاج وتُلائم العديد من المحاصيل محدودة الإستخدام لوجود بعض الظواهر كالطبقات الصماء أو حالة الصرف.
- أراضي الدرجة الرابعة: أراضي متوسطة الإنتاج، ملائمة لعدد قليل من المحاصيل.
- أراضي الدرجة الخامسة: أراضي ضعيفة محدود الإنتاج وتصلح للمراعي.
- أراضي الدرجة السادسة: أراضي ضعيفة جداً وتُعتبر أراضي غير زراعية.

مثال توضيحي لكيفية حساب دليل ستوري:

هب أن لدينا أرض تتصف بالآتي:

العامل A: القطاع الأرضي عميق وقيمة هذا العامل 100%

العامل B: قوام الطبقة السطحية طمي ناعم والسعة المائية عالية وقيمة هذا العامل 100%

العامل C: درجة الميل، الأرض ليس بها أي ميل، قيمة العامل 100%

العامل X: الأملاح الكلية الذائبة مقدراها 10 ديسيمتر/ م أي الأرض ملحية، قيمة هذا العامل 10%.

وللحصول على دليل ستوري يتم ضرب هذه العوامل مع بعضها كالتالي:

دليل ستوري = (A/100) x (B/100) x (C/100) x (X/100) x 100

= (100/100) x (100/100) x (100/100) x (10/100) x 100

= 10%

وطبقاً للجدول السابق (دليل ستوري) فإن هذه الأرض تقع في الدرجة الخامسة أي أنها أراضي ضعيفة محدودة الإنتاج وتصلُح للمراعي.

ونظام (Storie) هذا كان بداية للنُظم المُستخدمة لتقييم الأراضي، وقد تم تعديله وتطويره وأدخل عليه الكثير من المحددات أو المعوقات أو المشاكل التي تعوق قدرة الأرض على الإنتاج في المعادلة السابقة. وكذلك أُقترحت نُظم عديدة لتقييم الأراضي المروية وأخرى لتقييم أراضي المناطق الجافة، وسنكتفي هنا بالنظام الأساسي الذي أشتُقت منه نُظم تقييم الأراضي المختلفة.

المحاضرة الرابعة

وصف عام للأراضي المصرية

General Description for the Egyptian Soils

مُعظم الأراضي الزراعية المصرية عبارة عن أراضي منقولة من ترسيب ماحمله نهر النيل من الطمي أو الغرين (فتات حبيبات معادن مختلفة ونواتج تحلل المادة العضوية) عبر العصور. وكان سُمك الطبقات التي يُرسبها النيل سنوياً 0.9 ملليمتر، وعموماً سُمك طبقة الطمي المترسبة في الوجه القبلي حوالي 8.3 متر، وفي الوجه البحري 9.8 متر.

والأراضي الرسوبية في الوجه القبلي والدلتا (Delta) هي أراضي ذات قوام يتدرج بين الطيني والطميي وتتراوح نسبة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) بين 3- 5%. أما في أراضي شمال الدلتا فتنتشر الأراضي الملحية الناتجة من تسرب مياه البحر والبحيرات أو عن طريق بخر الماء من الماء الأرضي بقُرب مستواه من سطح الأرض.

أراضي شمال الدلتا عموماً ذات قوام ثقيل، بينما الأراضي في شرق وغرب الدلتا حيث تقترب الصحراء من الوادي تسود الأراضي الرملية مثل أراضي جنوب التحرير غرباً وصحراء الصالحية شرقاً. ويبدأ ظهور الأراضي الجيرية الرملية جنوب وغرب الإسكندرية كما في قطاع مريوط والنوبارية.

أراضي الساحل الشمالي عموماً جيرية، ومادة الأصل هي الحجر الجيري وقد تصل نسبة $CaCO_3$ في الأراضي حوالي 90%. هذا وتُعتبر الرمال المنقولة مكوناً أساسياً في بعض الأراضي.

وتتناثر في الصحراء مساحات كبيرة منخفضة يُحفر فيها الآبار لإستخراج مياه الري مثل واحة سيوة والوادي الجديد. أما في أراضي سيناء فتشمل أراضي رملية من الساحل 3- 10كم وكلما إتجهنا شرقاً نحو رفح حيث يزداد القوام نعومة. أما أراضي الوديان الساحلية فتزداد فيها الحبيبات الدقيقة وكذلك كربونات الكالسيوم. وفي أراضي وادي العريش تزداد نسبة الحبيبات الدقيقة من نواتج ترسيب السيول من مرتفعات سيناء الجنوبية وقوام هذه الأراضي بين الطينية الطمية وتصل نسبة $CaCO_3$ حوالي 50%، وتقل هذه النسبة عند زيادة نسبة الرمال المنقولة بواسطة الرياح. وتتميز الأراضي الرسوبية النهرية المصرية بقطاعات متجانسة تقريباً ومتطابقة نتيجة الترسيب بالمياه كما تحتوي على نسب محسوسة من السلت والطين السيليكاتي الذي يسود به معادن الطين المتمددة من نوع المونتموريللونيت إلى جانب معادن طين الإليت والكاءولينيت.

والأراضي الرسوبية النهرية المصرية في معظمها عالية الخصوبة ذات صفات إنتاجية عالية إذا اتُبع فيها نظام خدمة وإدارة وصيانة جيدة. كما تحتل الأراضي المصرية مساحات شاسعة على جانبي الوداي والدلتا

الحالية للنهر والتي تكونت في فترات ثبات نهر النيل ثم انحسرت عنها المياه في مراحل تطور ونُضج النهر وتصحرت. وتجرى معظم عمليات إستصلاح الأراضي على جانبي الوادي والدلتا في هذه المناطق التي تُعتبر مصاطب نهرية ذات أعمار مختلفة.

المحاضرة الخامسة

الموارد المائية في مصر

Water Resources in Egypt

مقدمـة

مصر هبة النيل نظراً لاعتمادها على مياه نهر النيل في توفير مايقرب من 94.3% من المياه العذبة، الأمر الذي يوضح أن أمن مصر القومي يعتمد على ذلك النهر دون نزاع. وتتمثل الموارد المائية المتوفرة في مياه النيل كمصدر رئيسي للمياه في مصر والتي تبلغ 55.5 مليار متر مكعب سنوياً حسب إتفاقية مصر والسودان عام 1959م بجانب الكميات المحدودة من مياه الأمطار والسيول والمياه الجوفية العميقة في الصحراء (سواء الغربية أو الشرقية) وفي سيناء وهى غير متجددة تقريباً ويُمكن إستغلالها خلال فترات زمنية طويلة يخطط لها حسب الظروف التنموية وحسب مدى الحاجة لمياهها. أما موارد المياه غير التقليدية فتشمل إعادة إستخدام عوادم إستخدامات الزراعة والصناعة والسكان من مياه صرف زراعي وصحي وصناعي وإستغلال المخزون الجوفي الضحل في الدلتا والوادي والذي تأتي مياهه من تسرب مياه النيل أو من الترع والمصارف ومياه الزراعة. وأخيراً التحلية كمورد مائي يُمكن إستغلاله خاصة على شواطيء مصر الممتدة شرقاً وشمالاً وأيضاً لبعض الأحواض الجوفية ذات المياه الضاربة للملوحة.

أولاً: موارد المياه الجارية

1- الأمطار

تُعتبر الأمطار هي المصدر الرئيسي للمياه الجوفية، ولاتسقط الأمطار بقدر واحد في جميع الجهات ويتبخر جزء من المياه الساقطة مباشرة إلى الغلاف الجوي وجزء يجري على السطح وتتكون منه الأنهار والجداول بينما يتسرب جزء منه إلى التربة ومنها إلى الصخور التي تحتها ويُسمى بالماء المُتخلل.

تنشأ مياه الأمطار عن تكاثف بخار الماء الجوي وتُذيب أثناء سقوطها بعض الغازات كالأكسوجين وثاني أكسيد الكربون. وتؤثر الأمطار بقوة سقوطها على الصخور الهشة فتفتتها كما أنها تؤثر كيميائياً على الصخور بما تحويه من أكسوجين وثاني أكسيد الكربون فتتأكسد الصخور أو تُذيبها، فإذا مر ماء المطر على الصخور الجيرية أذابها ونقلها. ويوثر الماء الساقط أيضاً على الجرانيت فيتحول ما به من فلسبار إلى كاءولين وتنقله المياه بعد ذلك على شكل رواسب طينية، وعندما يسقُط المطر يأخذ فى طريقه الأجزاء

السطحية المُفتته والرمل والطفل علاوة على ما يُذيبه منها وينقلها إلى أقرب مجرى مائي أو وادي ويترك الصخر عارياً ليتأثر مرة أخرى وهكذا.

وفي الجهات التي تنخفض فيها درجات الحرارة إلى ما تحت الصفر فإن مياه الأمطار التي تتخلل الشقوق الناتجة من تأثير الجذور أو بسبب الزلازل أو غيرها تتجمد فيزداد حجمها فجأة فينشأ عن ذلك قوة ميكانيكية عظيمة تعمل على تكسير الصخور وتوسيع الشقوق الصغيرة. وبتكرار هذه العملية تتحول هذه الصخور في النهاية إلى قطع صغيرة من الصخر المتفتت، وعلى ذلك فمياه الأمطار تعمل على تعرية الصخور بتفتيتها واذابتها كما تقوم بنقل المواد المتفتتة إلى جهات أخرى.

2- السيول

ينشأ السيل عن سقوط مياه الأمطار الشديدة على التلال والجبال فتتجمع نقط المطر في خيوط رفيعة من الماء تنحدر من أعلى التلال إلى أسفلها وتشتبك هذه الخيوط ببعضها وتكون كل مجموعة منها مجرى صغير تحفره. وتنحدر هذه المجارى وتتصل بغيرها من المجارى وعندما تنتهى هذه المجارى إلى خور تلتقى فيها جميعاً ويتكون منها سيل ينحدر بسرعة مدهشة تكون مدمرة أحياناً. ويمتاز السيل بثلاث صفات هي فجأة حدوثة وشدته وسرعة إنتهائه.

تقوم مياه السيول بدور هام في عملية التعرية إذ أنها تكتسح أثناء سيرها ما تقوى على حمله من طين ورمال وجلاميد أحياناً من جوانب وبطون الخور. كما تعمل هذه المواد على نحر وتعميق الخيران أثناء إرتطامها بها، فتعمل بذلك على توسيعها وعندما تصل مياه السيول إلى السهول المنبسطة تفقد قوة إندفعها وتُصبح مياها غير قادرة على حمل ماحملته فتلقي به وتجرفُه وترسبُه على هيئة نصف دائرة مركزها فوهة الخور. ويُطلق على هذه الرواسب مخروط السيل أو الدالآت الجافة وترسُب فيها الجلاميد والحصى الكبير قرب فوهة الخور أما الرمال والمواد الطينية فترسب عند حافة المخروط.

3- الأنهار

هي عبارة عن مجاري مائية مُستديرة ويظهر أثرها في التعرية في كل مكان، فهي أكبر عامل هام في تشكيل وتكييف سطح الأرض حيث أنها تعمل على هدم المرتفعات وإزالتها. كما أنها تنقل ماتُفتته من مواد وتستعملها كأداه لتوسيع وتعميق مجراها ثم تُلقي ماتحمله في السهول والبحار فترفع من مستوى قاعها، فهي تعمل كغيرها من عوامل التعرية على تسميد سطح القشرة الأرضية. وتختلف الوظائف السابقة للنهر بإختلاف سرعة المياه وكمياتها ومقدار ماتحمله من قطع صخرية مُفتته ونوع الصخر الذي تمر عليه. ويتوقف سريان المياه الجارية على عوامل مختلفة أهمها:

1- مقدار إنحدار الأرض التي يسقط عليها المطر.
2- طبيعة الصخور التي يسقط عليها المطر.
3- كثافة الغطاء النباتي.
4- توزيع سقوط الأمطار على مدار السنة.

ثانياً: المياه الجوفية

دورة المياه الجوفية وإختزانها

في المناطق الرطبة تتشبع الصخور السطحية المسامية المُشققة بالمياه الجوفية إلى مستوى مُعين. ويُعرف السطح العلوي لهذه المياه الجوفية بمنسوب المياه الأرضي. ويرتفع منسوب الماء الأرضي في التربة الزراعية من وقت لآخر بسبب مياه الأمطار أو مياه الري. وقد يتقوس مستوى المياه الجوفية أسفل التلال متمشياً مع تضاريس الأرض. ويُمكن تقسيم صخور القشرة الأرضية إلى ثلاثة مناطق بالنسبة للمياه الجوفية هي:
1- منطقة اللاّتشبع: وهي المنطقة التي تمتليء تماماً بالمياه الجوفية الباطنية ولكن تتخللها المياه الجوفية أثناء سيرها في الدرجات السفلية وتحتفظ التربة الزراعية ببعض المياه حيث تمتصها جذور النباتات.
2- منطقة التشبع المُتقطع: وهي التي تمتد من أعلى مستوى تصل إليه المياه الجوفية عقب فترة الأمطار إلى أدنى مستوى تصل إليه المياه الجوفية.
3- منطقة التشبع الدائم: وهي تمتد إلى أسفل حتى عمق يتراوح بين 200 إلى 2000 قدم، وهو العمق الذي لايوجد بعده المياه الجوفية، كما يُستدل على ذلك المناجم وأثناء التنقيب عن البترول إذ توجد الصخور جافة تماماً بعد هذا العمق. وفي معظم الحالات لاتصل المياه الأرضية إلى عمق يزيد عن عدة مئات وذلك لأن الضغط الناتج عن ثُقل الطبقات فوق بعضها يؤدي إلى سد ما بها من مسام وشقوق.

ويتوقف مستوى الماء الأرضي بالطبع على حالة الجو فهو في البلاد الجافة أبعد بكثير من السطح عما هو في البلاد الرطبة. وفي الحالة الأخيرة يتوقف بُعد المياه الجوفية من السطح على الموسم، ففي فصل المطر نجده أعلى منه في فصل الجفاف. كما أن وجود نهر أو بحيرة في المنطقة يؤدي إلى رفع مستوى المياه الجوفي. وتتكون المُستنقعات والبحيرات في الأماكن التي ترتفع فيها منطقة التشبع الدائم عن مستوى سطح الأرض.

حركة المياه الجوفية وإنتشارها في الصخور

المياه الجوفية دائمة الحركة وإنتشارها الغالب هو في إتجاه البحر ما لم يُغير من حركتها هذه الإتجاهات التي تحددها التراكيب الجيولوجية. وتتوقف حركة المياه وإنتشارها على العوامل الهامة الآتية:

1- مسامية الصخور (Porosity).
2- نفاذية الصخور (Permeability).
3- تضاريس وميل التكاوين الحاملة من مياه (Topography).

▪ *مسامية الصخور*

يُسمى الصخر مسامي إذا إحتوى على فتحات أو مسام بين حبيباته يدخل فيها الماء الجوفي ويتحرك فيها الماء تحت تأثير الضغط الهيدروليكي (Hydraulic Pressure). وتُقدر مسامية الصخور في صورة نسبة مئوية بين الحجم الكلي للمسام الموجودة به وبين الحجم الكلي للصخور.

% للمسامية = (الحجم الكلي للمسام الموجودة بالصخر÷الحجم الكلي للصخور) 100x

وتتوقف درجة مسامية الصخور علي العوامل الآتية:
1- شكل الحبيبات: تزداد المسامية بإزدياد إستدارة الحبيبات وتقل كلما إزداد تذبذب الحبيبات حيث تتداخل الأطراف المُدببة في الفجوات التي بين الحبيبات الأخرى فتقلل بذلك من مسامية الصخور.
2- طريقة ترتيب الحبيبات: وهذه تتوقف على مقدار الضغط الذي تعرضت له الصخور بعد ترسيبها نتيجة لتراكم الطبقات الأخرى فوقها، وهذا يؤثر على درجة تزاحم الحبيبات وتكون مسامية الصخور أعلى كلما كانت حبيباتها أقل تزاحماً.
3- درجة التقارب بين أحجام الحبيبات: تزداد درجة المسامات كلما إزداد تقارب حجم الحبيبات، فالرمال حبيباتها متساوية في الحجم تقريباً. وتكون أكثر مسامية من الرمال المكونة من حبيبات مختلفة الحجم لأنها في حالة الحبيبات المختلفة الحجم تسد الحبيبات الصغيرة الفجوات التي بين الحبيبات الكبيرة.
4- وجود مواد لآحمة من السيليكا أو الجير أو أكاسيد الحديد بين الحبيبات: ويعتمد التأثير على ملأ الفراغات أو المسام ويتوقف على ذلك إنخفاض مسامية الصخور.
مما سبق يُمكن إدراك أن درجة المسامية تكون أعلى مايمكن إذا كان مكوناً من حبيبات تامة الإستدارة غير متزاحمة ومتساوية في الحجم. وهناك عوامل أخرى غير طبيعة الحبيبات تؤثر في درجة المسامية مثل الشقوق والفواصل والفجوات الصغيرة المتصلة.

جدول يوضح درجة المسامية لبعض الصخور ومكونات التربة

الصخر أو مكونات التربة	المسامية
التربة الزراعية	أكتر من 50%
الرمل والطين	أكتر من 50%
الطباشير	أكتر من 50%
الرمل والحصى	من 20– 70%
الحجر الرملي	5– 10%
الحجر الجيري	5– 20%
الدولوميت	أقل من 5%
الصخور النارية	أقل من 1%
الكوارتزيت	حوالي 5.5%

▪ *نفاذية الصخور*

مسام الصخور تسمح بتخلل الماء فيها، ولكن هناك عامل آخر هام وهو قُدرة الصخور على إمرار الماء في المسام. فإذا كان هناك صخراً كبير الحبيبات كأن تكون حبيباته مثلاً في هيئة كرات ذات قطر بوصة فإن هذا الصخر سيحتوي على فراغات كبيرة وسوف لايجد الماء أي صعوبة في التحرك بين حبيباته، ويُسمى مثل هذا الصخر نفاذاً. عند تقليل حجم حبيبة هذا الصخر بالتدريج فإن الفراغات التي بين الحبيبات ستقل في الحجم وأن درجة المسامية ستظل ثابتة، عند ذلك سيضطر الماء إلى المرور في فراغات أصغر وأصغر كلما قل حجم الحبيبات حتى إذا أصبحت المساحة الكلية لسطح الحبيبات كبيرة جداً بحيث تجذب إليها كمية كبيرة من الماء عن طريق القوى الجزيئية (Molecular Forces) وعندما يصل الصخر إلى هذه الدرجة من دقة الحبيبات فإنه سيلزم للماء كي يمر بين مسامه ضغطاً كبيراً جداً ووقتاً أو كلاهما ومثل هذه الصخور تُسمى بغير المنفذة.

▪ *التضاريس وميل التكوينات الحاملة للمياه*

مما تقدم رأينا أن الصخور المثالية من ناحية حرة التحرك المياه الجوفية فيها الصخور المسامية المنفذة للماء إلا أن سرعة سريان الماء فيها ضئيل. والواقع أن سرعة سريان الماء تزداد بزيادة إنحدار الأرض في حالة مايسمي بالمياه الجوفية الحرة (Free Underground Water) وتزداد بزيادة شدة ميل الطبقات في حالة المياه الجوفية المقيدة (Confined Underground Water) وهي المحصورة بين طبقتين غير منفذتين.

ظهور المياه الجوفية (Artesian Wells)

تظهر المياه الجوفية على سطح الأرض إما طبيعياً كما في حالة الينابيع والمراجل أو صناعياً كما في حالة الآبار الإرتوازية (Artesian Wells).

▪ ***الينابيع والمراجل (Springs and boilers)***

هي ظهور الماء الجوفي نتيجة لأسباب طبيعية لادخل لإرادة الإنسان فيها. وهي تحدث حينما يتقابل مستوى الماء الجوفي مع سطح الأرض في مكان ما، وقد تكون الطبوغرافية من أسباب ظهور الينابيع والمراجل. وهناك عدة أنواع من الينابيع نذكر منها:

1- ينابيع الوديان (Valley Springs): وتنبثق هذه الينابيع في المناطق الجبلية عندما يتقابل مستوى المياه الجوفية مع سطح الأرض في الوديان. وهذا النوع من الينابيع يتوقف كثيراً على سقوط الأمطار.

2- ينابيع الطبقات (Stratum Springs): وهي تنبثق إذا إعترضت المياه الجوفية طبقة غير مسامية أو غير منفذة تبرز عند سطح الأرض كالطين.

3- ينابيع القواطع (Spring breakers): وهى تنشأ نتيجة إعتراض القواطع النارية سير المياه الجوفية في الصخور المنفذة.

4- ينابيع الصدوع (Fault Springs): وهذه تنشأ عندما تُصادف المياه الجوفية أحد الصدوع الذي يجعل بعض الطبقات غير النفاذة في محازاة الطبقات الحاملة للماء وعندئذ يصعد الماء إلى أعلى متخذاً الصدع منفذاً له خصوصاً وأن حدوث الصدع كثيراً مايكون مصحوباً بصهر الصخور علي جانبيه مما يؤدي إلى فقدانها لمساميتها. والينابيع إما أن تكون دائمة أو متقطعة وذلك حسبما إذا كانت تأخذ مياهها من تقاطع التشبع الدائم أو المُتغير.

▪ ***عيون المياه الساخنة (Hot Water)***

وهي نوع من الينابيع تمتاز بمياهها الحارة التي تبلغ درجة الغليان بسبب الحرارة. وهي ناتجة عن توغل المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة تكفي لتحول المياه إلى بخار نظراً لإرتفاع درجة الحرارة مع العمق. وعندما يتكون البخار في الجزء السفلي من الشقوق يكون الجزء العلوي منها مملوء بالماء درجة حرارته عادية كدرجة حرارة الجو الخارجي. وطبيعياً أن تحول الماء إلى بخار ينتج عنه زيادة في حجمه فيسبب ضغطاً للماء الموجود فوقة إلى أعلى ويدفعة بقوة كبيرة فيخرج الماء على شكل نافورات ترتفع عدة مئات من الأمتار. وبعد أن تهدأ ثورة النافورة تمليء ثانية بالمياه، وتتكرر هذه العملية على شكل المياه الصهرية الناتجة عن

النشاط الناري في باطن الأرض حيث تندفع المياه بقوة في الشقوق وتنبثق أخيراً عند سطح الأرض في حالة بخار. ونت العيون المعروفة في مصر:

1- عيون حمام فرعون على الشاطيء الشرقي لخليج السويس.

2- العين السخنة على الشاطي الغربي لخليج السويس.

3- عيون حلوان الكبريتية التي تُستغل في الإستشفاء.

4- عين حلوان الجديدة الصالحة للشرب وبها أملاح بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم والباريوم وغيرها، وهي مفيدة صحياً.

5- عين الصيرة وتوجد جنوب شرق القاهرة وتُستغل في الإستشفاء.

وفي الواقع فإن كل الينابيع معدنية إذ أن مياهها تحتوي دائماً على نسب متفاوتة من المواد الصلبة الذائبة فيها. وتأتي المعادن الذائبة في مياه الينابيع من ذوبان بعض مواد الصخور التي تخترقها تلك المياه.

▪ ***الآبار الإرتوازية (Artesian wells)***

الآبار الإرتوازية هي حُفر صناعية تحدث في الأرض للوصول إلى مستوى الماء الارضي وإستخراجها، فاذا ما وصلت هذه الحفر إلى منطقة التشبع المُتغير تكونت بئر عادية مؤقتة تتعرى للجفاف في بعض الأوقات. أما إذا وصل الحفر إلى منطقة التشبع الدائم كان البئر الحادث مستديماً. وقد يصل الماء إلى مستوى الماء الجوفي ولذلك في بعض الآبار قد نحتاج للحصول على الماء منها إلى رفعه أو شفطُه بالمضخات.

وهناك بعض الآبار التي يتدفق منها الماء من تلقاء نفسه، ويعرف هذا النوع بالآبار الإرتوازية نسبة إلى بلد أرتويز (Artois) بفرنسا حيث تم حفر أول بئر إرتوازي في أوروبا في القرن الثاني عشر. وتتكون الآبار الإرتوازية في المناطق التي يكون فيها الماء الجوفي محصوراً بين طبقتين صخريتين غير منفذتين وكانت هذه الطبقات مثنية ثنية إلتوائية مُقعرة مكونة بذلك حوضاً إرتوازياً تُختزن فيه المياه الباطنية حتى إذا ما حُفر بئراً وسط تلك الإنثناءات صعدت المياه إلى سطح الارض صعوداً طبيعياً قوياً لكي تتعادل مع منسوب الماء الأعلى فى الطبقات العليا.

من التكوينات المائية الهامة والحاملة للمياه الجوفية هي الحجر الرملي وهو الذي يمد الواحات المصرية الكبرى بكل مواردها تقريباً من مياه الري والشُرب. والحجر الرملي والميل العام لهذا التكوين يكون نحو الشمال. ولايقتصر بروز التكوين الرملي النوبي على جنوب مصر بل يمتد ظاهراً فوق الأرض إلى مساحات شاسعة نحو شمال السودان ووسطه وغربه حيث يكون منطقة تشرب عظمى تتسرب فيها مياه الأمطار الغزيرة هناك. ويستمد النهر من هذه المنطقة بعض مياهه ويتخذ سريان المياه في هذه التكوينات الإتجاه العام للميل نحو الإقليم المصري. أي أن هذه المياه الجوفية تسري نحو الشمال في الجدار الرملي النوبي

محصورة بين طبقات الطين التي تتخلله. وتحت ضغط مائي رأسي كافي يمكننا من الإستفادة منها على هيئة آبار إرتوازية في منخفضات الواحات.

الموارد المائية الرئيسية في مصر

1- نهر النيل

نهر النيل هو ثاني أطول نهر فى العالم، إذ يبلغ طوله حوالي 6700 كيلو متر. وينبسط حوض نهر النيل فوق 35 خطاً من خطوط العرض وأكثر من تسعة خطوط طول، وتُقدر مساحة حوض نهر النيل بحوالي 2.9 مليون كم^2، وهذه المساحة تشمل أجزاء من عشر دول أفريقية وهي إثيوبيا وإريتريا وأوغندا وبوروندي وتنزانيا ورواندا والسودان والكونجو وكينيا ومصر. كما أنه يمر خلال عدة أقاليم مناخية، من الإقليم الإستوائي بمتوسط سنوي لعمق المطر حوالي 800 مم عند منابعه، وحتى الإقليم الصحراوي شديد الجفاف عند مروره بالصحراء في شمال السودان ومعظم طوله بمصر. ويختلف إيراد نهر النيل (مثل مُعظم الأنهار) من عام لآخر، ويستجمع النيل مياهه من ثلاثة أحواض رئيسية هي الهضبة الإثيوبية وهضبة البحيرات الإستوائية وحوض بحر الغزال.

2- الأمطار والسيول

تكاد تكون مصر عديمة الأمطار فيما عدا الساحل الشمالي حيث تسقط الأمطار عليه بمعدل سنوي يتراوح بين 50- 250 ملليمتر. فعلى الساحل الشمالي الغربي تسقط أمطار تتراوح من 50 إلى 150 ملليمتر في العام. وتُزرع مساحات من الشعير تصل في السنوات الجيدة إلى أكثر من 100 ألف فدان. أما في الساحل الشمالي الشرقي فإن الأمطار تتزايد كلما إتجهنا شرقاً. فمُعدلها عند العريش 150 ملليمتر بينما يصل في رفح إلى نحو 250 ملليمتر. وفي ضوء معدلات الأمطار الشتوية العادية يُمكن تقدير حجم مياه الأمطار التي تسقط فوق الأجزاء الشمالية من مصر (حوالى 200,000 كم^2) بكمية تتراوح ما بين 5 إلى 10 مليار متر مكعب فى العام. من هذا المقدار يسيل فوق السطح كمية تتراوح ما بين مليار ونصف مليار متر مكعب، ويعود جزء كبير منه بالبخر والنتح إلى الجو، والباقي يتسرب في الطبقات لكي يُضاف إلى تغذية المياه الجوفية. ويُلاحظ أن المياه التي تسيل فوق السطح من مجاري الوديان المُشار إليها تضيع في البحر أو في الملاحات الشاطئية.

وعندما ترتفع معدلات الأمطار الشتوية نسبياً (وهي ظاهرة تتكرر مرة كل أربع أو خمس سنوات) فإن كمية المياه التي تسيل فوق السطح قد تصل إلى 2 مليار متر مكعب ويمتد أثرها ليشمل مساحات أوسع من

الصحارى المصرية. وعندما تتعرض الأراضي المصرية للأمطار الموسمية (وهي ظاهرة تتكرر مرة كل عشر سنوات) فإن كمية الأمطار التي تسيل فوق السطح قد تصل إلى 5 مليار متر مكعب ويكون تأثيرها ملحوظاً في مناطق البحر الأحمر وجنوب سيناء وفي حوض نهر النيل، وكثيراً ماتُحدث أضراراً بيئية شاملة. وتبلغ كمية الأمطار الساقطة على شبه جزيرة سيناء موزعة على أحواضها المائية المختلفة وكذلك كمية الأمطار التي تنساب على السطح وتخرج من الأحواض المائية في إتجاه البحر 131.67 مليون م^3 سنوياً وتمثل 5.25 من إجمالي المطر الساقط.

وتجدر الإشارة إلى أن متوسط التساقُط المطري السنوي على كامل الأراضي المصرية حوالى 8 مليار م^3 وأن السريان في حدود 1.8 مليار م^3 وأن هذا يساعد على إستقطاب وحصاد مياه هذه الأمطار في سيناء والساحل الشمالي وسلسلة جبال البحر الأحمر الشرقية في حدود 200- 300 مليون م^3/ سنة.

3- إعادة إستخدام مياه الصرف الزراعي

تشمل هذه المياه إحتياجات غسيل التربة من الأملاح، بالإضافة إلى فواقد التسرب من شبكة الري والصرف وتصرفات نهايات الترع التي لم يتم إستخدامها ومُخلفات الصرف الصحي والصناعي. لذلك تُعتبر هذه المياه ذات نوعية مُنخفضة الجودة بسبب ملوحتها العالية وبسبب خلطها بمياه المصارف التي غالباً ماتكون مُلوثة بالكيماويات التي أستخدمت في الزراعة والصناعة. وتتراوح نسبة الملوحة في هذه النوعية من المياه مابين 700 إلى أكثر من 3000 جزء في المليون. وتُعتبر مياه الصرف الزراعي المُعاد إستخدامها من المصادر الرئيسية التي يُعتمد عليها في تنمية الموارد المائية مستقبلاً. ويجب الأخذ في الإعتبار تحسين نوعية مياه الصرف الزراعي من خلال معالجة مياه المصارف الفرعية مباشرة، أو المصارف الرئيسية قبل خلطها بمياه عذبة، مع تجنُب خلطها بمياه الصرف الصحي أو الصناعي لتجنب المخاطر البيئية الناجمة عن إعادة إستخدام مثل هذه النوعية من المياه دون معالجة. مع ضرورة الإلتزام بصرف نسبة لاتقل عن 50% من إجمالي كميات مياه الصرف إلى البحر للمحافظة على التوازن المائي والملحي لدلتا النيل بجانب منع زيادة تأثير التداخل العميق لمياه البحر مع الخزان الجوفي بشمال الدلتا.

4- إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي المُعالجة

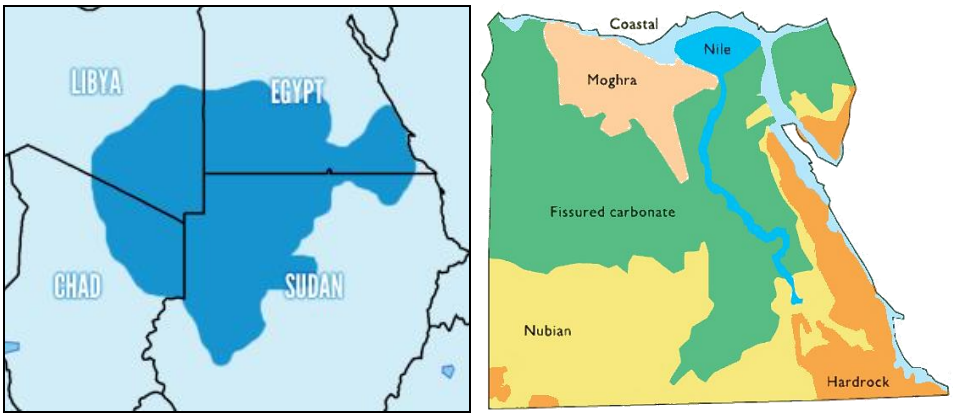
تُعتبر مياه الصرف الصحي المُعالجة أحد المصادر المائية التي يُمكن إستخدامها في أغراض الري إذا ماتوافرت بها الشروط الصحية المناسبة. وقد زادت كمية المياه المُعالجة سنوياً من 0.26 مليار م^3/ سنة في أوائل التسعينات لتصل إلى نحو 0.6 مليار م^3/ سنة عام 2000. ومن المُتوقع أن تصل إلى نحو 2 مليار م^3 في عام 2017. حيث تستخدم في ري المحاصيل غير الغذائية للإنسان أو الحيوان وزراعة الغابات في

الصحراء لإنتاج الأخشاب، مع التركيز على معالجة هذه المياهي وفصل الصرف الزراعي عن الصحي لتجنب مخاطر المُخلفات الكيميائية على الصحة العامة والبيئة.

5- المياه الجوفية

تتوزع خزانات المياه الجوفية المُتجددة بين وادي النيل (بمخزون 200 مليار م^3 تقريباً)، وأقليم الدلتا (بمخزون 400 مليار م^3 تقريباً). وتُعتبر تلك المياه جزءاً من موارد مياه النيل. ويُقدر مايتم سحبه من مياه تلك الخزانات نحو 6.5 مليار م^3 وذلك منذ عام 2006. ويُعتبر ذلك في حدود السحب الآمن والذي يبلغ أقصاه نحو 7.5 مليار م^3 حسب تقديرات معهد بحوث المياه الجوفية. كما يتميز بنوعية جيدة من المياه تصل ملوحتها إلى نحو 300- 800 جزء في المليون في مناطق جنوب الدلتا. ولايُسمح باستنزاف مياه تلك الخزانات إلا عند حدوث جفاف لفترة زمنية طويلة. لذلك تُعتبر هذه المياه ذات قيمة إستراتيجية هامة. ومن المُقدر أن يقترب السحب من هذه الخزانات إلى نحو 7.5 مليار م^3 بعد عام 2017.

أما خزانات المياه الجوفية غير المتجددة فتمتد تحت الصحراء الشرقية والغربية وشبه جزيرة سيناء. وأهمها خزان الحجر الرملي النوبي وهو الذي يمد الواحات المصرية الكبرى بكل مواردها تقريباً من مياه الري والشرب. والحجر الرملي والميل العام لهذا التكوين يكون نحو الشمال. ولايقتصر بروز التكوين الرملي النوبي على جنوب مصر بل يمتد ظاهراً فوق الأرض إلى مساحات شاسعة نحو شمال السودان ووسطه وغربه حيث يُكون منطقة تشرب عظمى تتسرب فيها مياه الأمطار الغزيرة هناك. ويستمد النهر من هذه المنطقة بعض مياهه ويتخذ سريان المياه في هذه التكوينات الإتجاه العام للنيل نحو الإقليم المصري. أي أن هذه المياه الجوفية تسري نحو الشمال في الجدار الرملي النوبي محصورة بين طبقات الطين التي تتخلله. وتحت ضغط مائي رأسي كافي يُمكننا الإستفادة منها على هيئة آبار إرتوازية في مُنخفضات الواحات.



أحواض المياه الجوفية في مصر وخزان الحجر النوبي المشترك

نظراً لطول سواحل مصر سواءً على البحر المتوسط أو الأحمر، والتحرك الحكومي الفعال خلال العقدين الماضى والحالي في الإهتمام بالتنمية السياحية والصناعية للمناطق الساحلية، فإن توفير موارد مائية لهذه التنمية يُعتبر ضماناً لتواجـــدها وإستدامتها. ومن أهم مصادر المياه المُمكنة في المناطق الساحلية، التحليـــة (Desalination) سواءً كانت لمياه البحر (Sea Water) أو للمياه الضاربة إلى الملوحة Brackish (Water). ويُشير مُصطلح التحلية (الذي يُعرف أيضاً بعملية التخلص من الملوحة) إلى عملية إزالة الأملاح من المياه وهو مفهوم ليس بالجديد، ولكن التحدى كان ومازال في إستحداث طُرق قابلة للتطبيق تجارياً. وقد أدت الخبرة الواسعة المُكتسبة على مدى الأربعين عاماً الماضية والتحسينات في تكنولوجيا التحلية إلى جعل إزالة الملوحة مقبولة تكنولوجياً على نطاق واسع وتوفر مياهاً عالية الجودة لمناطق قاحلة كانت من قبل محرومة من مصدر للمياه يوفر لها التنمية الإقتصادية والإجتماعية المستديمة. ويُمكن الإستفادة من مياه البحر بعد تحليتها وتحويلها إلى مياه عذبة كأحد المصادر المُمكنة لزيادة الموارد المائية في مصر، حيث يُمكن إستغلالها كعامل مُساعد للتنمية في المجتمعات الصحراوية والقريبة من السواحل والمجتمعات السياحية. ويُمكن إستخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في التحلية بدلاً من نقل الكهرباء أو البترول إلى هذه المواقع، وذلك لرفع إقتصاديات إستغلال هذا المصدر من المياه. وترى بعض الدراسات أن تكلفة تحلية المتر المكعب من هذه المياه تتراوح مابين 5- 7 جنيهات مصرية مما يجعل إستخدام هذه المياه لأغراض الزراعة غير مجدي إقتصادياً في الوقت الراهن. وتتجه الدراسات الحديثة إلى دراسة جدوى إمكانية تحلية المياه شبه المالحة الموجودة بمخزون المياه الجوفية بالقرب من سواحل البحر الأبيض المتوسط الشمالية وشمال سيناء، حيث تقل ملوحتها نسبياً عن ملوحة مياه البحر مما يُقلل تكاليف عملية التحلية.

الباب الثاني

فيزيـــــــاء (طبيعة) الأراضي

Soil Physics

مقدمـة

ترتبط الصفات الطبيعية للأراضي بصلاحية إستخدام هذه الأراضي للأغراض المختلفة، فصلابة التربة ومقاومتها للإختراق وقدرتها على التحمل في الحالة الرطبة والحالة الجافة وحالة الصرف وقدرتها على الإحتفاظ بالرطوبة والعناصر الغذائية وتهويتها وسهولة إختراق جذور النبات لها ترتبط جميعاً بالخواص الطبيعية للتربة. لذلك يجب معرفة خواص التربة وصفياً وكمياً لإستغلالها في الأغراض المختلفة سواء أستخدمت الأرض كبيئة لنمو النبات أو لأعمال الإنشاءات المختلفة من طرق ومباني أو خزانات أو غيرها.

المحاضرة الأولى

الخواص الطبيعية للأراضي

Physical Properties of Soils

مقدمـة

تتعدد الخواص الطبيعية للأراضي لتشمل العديد من الصفات مثل القوام والبناء والكثافة الظاهرية والكثافة الحقيقية والمسامية والنفاذية وغير ذلك، وتلعب جميعها دوراً هاماً في تحديد صلاحية الأرض لزراعة محاصيل معينة دون غيرها بالإضافة إلى تحديد قدرتها الإنتاجية.

قوام الأرض (Soil Texture)

قوام الأرض هو إصطلاح يُقصد به نُعومة أو خُشونة حبيبات الأرض (وصفياً)، أو بمعني آخر يُعبر عن التوزيع النسبي لمجموعات الحبيبات الفردية المختلفة الأقطار (كمياً). ويؤثر القوام في خواص الأرض الطبيعية والكيميائية والحيوية، وكذلك على تطبيقات الري والصرف والخدمة الميكانيكية للأراضي. ولكي ندرس قوام الأرض يتم فصل حبيبات الأرض إلى مجموعات تبعاً لاختلاف أقطارها، والخطوات التي تُفصل بها الحبيبات تسمى التحليل الميكانيكي وهو تقدير للتوزيع الحجمي لحبيبات التربة الفردية. وقد تقرر في المؤتمر الدولي لعلوم الأراضي تقسيم حبيبات الأرض إلى مجموعات حسب أقطارها كما يلي:

جدول يوضح تقسيم حبيبات الأرض حسب المؤتمر الدولي لعلوم الأراضي.

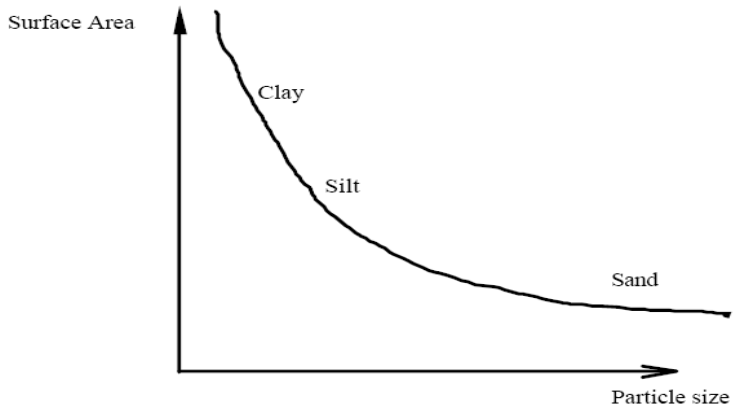
مجموعات الحبيبات	حدود قُطر الحبيبة (ملليمتر)	عدد الحبيبات في الجرام
حصى	أكبر من 2 مم	-
رمل خشن	2- 0.2 مم	720
رمل ناعم	0.2- 0.02 مم	46×10^3
سلت	0.02- 0.002 مم	58×10^5
طين	أقل من 0.002 مم	90×10^9

▪ المجموعات الخشنة: وهي تشمل الحصى والرمل الخشن والرمل الناعم. وبسبب كبر حجم حبيبات الحصى والرمل فإنها تعمل كحبيبات منفصلة، وتبدأ أقطار الحصى من 2 مم فأكبر، وقد تكون مُستديرة إلى حد ما أو حادة الزوايا بلا نظام، وقد تكون حبيبات الرمل مستديرة أو غير منتظمة إطلاقاً إعتماداً على درجة النحات التي تعرضت لها. وعندما لاتُحاط هذه الحبيبات بالطين والسلت، فإنها لاتُظهر أي بلاستيكية ولا إلتصاق.

وعلى العموم فإن حبيبات الرمل لاتتأثر إلا قليلاً بالتغيرات في محتوى الرطوبة وقوة حفظها للماء منخفضة. ونظراً لاتساع المسام بين حبيبات هذه المجموعة فإن مرور ماء الرشح منها يكون سريعاً، وهي لذلك سهلة الصرف. ولذلك فالأراضي التي يسود فيها الرمل أو الحصى تُصبح ذات طبيعة مفتوحة، وصرفها وتهويتها جيدة وغالباً ماتكون مُفككة.

▪ مجموعة السلت: السلت عبارة عن حُبيبات دقيقة يسود فيها معدن الكوارتز. وتُظهر مجموعة السلت بعض الليونة والإلتصاق والإمتصاص بسبب وجود غشاء طيني لاصق على سطحها. ولكن تبدو هذه الصفات بشكل أقل كثيراً مما تُظهره مجموعة الطين.

▪ مجموعة الطين: هذه المجموعة حبيباتها دقيقة، وهي حبيبات ثانوية. وتتميز مجموعة الطين ببلاستيكية عالية عند الإبتلال، وعندما يُرطب الطين بكمية مياه مناسبة يتمدد ويُظهر خاصية الإلتصاق. كما أنه عند الجفاف ينكمش مع إمتصاص طاقة كبيرة، وعند الترطيب مرة ثانية يحدث إنتفاخ مع إنبعاث كمية من الحرارة تسمى حرارة الإبتلال. وسِعة الطين لإمتصاص الماء والغازات والأيونات الذائبة مرتفعة جداً. كما أن وجود السلت والطين في أرض يُكسبها قواماً ناعماً وحركة بطيئة للماء والهواء، وتصبح هذه الأرض شديدة البلاستيكية ولزجة عندما تكون بها رطوبة عالية. كما أنها تتصلب وتتكتل إذا جفت، وتمدُدها بالإبتلال وإنكماشها بالجفاف يكون عادة كبير. والأرض التي تسود بها مجموعة الطين توصف بأنها ثقيلة وهناك صعوبة في خدمتها بعكس الأرض الرملية فهي خفيفة وسهلة الخدمة. والشكل التالي يوضح الإتجاه العام للعلاقة بين أقطار حبيبات التربة وبعض الصفات مثل السطح النوعي وقدرة الإمتصاص والتمدد والبلاستيكية وحرارة الإبتلال. ويُلاحظ أنه كلما كانت الحبيبات دقيقة كلما زادت قيم الصفات سالفة الذكر.



شكل يوضح علاقة السطح النوعي بحجم الحبيبات بالتربة

تقدير قوام الأرض (Soil Texture Determination)

▪ في الحقل: تعتمد هذه الطريقة على تقدير القوام بالملمس وذلك بفرك جزء من الأرض بين الإبهام والسبابة مما يساعد على تمييز القوام. وعادة ما يتم ترطيب العينة بالماء حتى يُمكن تحديد بلاستيكيتها بدقة أكثر. والطريقة التي تنزلق بها الأرض المُبللة بين الأصابع يُمكن أن تُعطي فكرة عن كمية الطين الموجودة بها أو قد يُصنع منها شريط بعد عجن الأرض بين الأصابع، ويعرف مدي قابلية هذا الشريط للكسر كلما زادت فيه نسبة الطين حيث توجد علاقة تقريبية طردية بين كمية الطين وطول الشريط عند الكسر. وعلى كلٍ فتقدير القوام في الحقل يتوقف إلى حدٍ بعيد على الخبرة والدراية، ولكن التقدير الدقيق للقوام يُجرى في المعمل.

▪ في المعمل: هناك طريقتان أحدهما تُسمى التحليل الميكانيكي بطريقة الماصة (راجع مذكرة العملي) والأخرى بطريقة الهيدروميتر.

1- التحليل الميكانيكي بطريقة الماصة

وهي الطريقة التي أقرها المؤتمر الدولي لعلوم الأراضي وتتلخص في إجراء المعاملة الإبتدائية لعينة التربة وفيها يتم تفكيك الحبيبات المجمعة إلى مكوناتها الفردية وذلك بمعاملة عينة الأرض معاملة إبتدائية يكون الغرض منها التخلُص من المواد اللاحمة بالتربة لتفرقة الحبيبات المُجمعة إلى حبيبات مفردة والحصول على مُعلق ثابت من هذه الحبيبات في الماء.

وتشتمل المعاملة الإبتدائية على الآتي:

* التخلص من المواد العضوية بأكسدتها بإستعمال فوق أكسيد الهيدروجين (تركيزه 6% حجماً).
* التخلص من كربونات الكالسيوم بمعاملتها بحامض الهيدروكلوريك (0.2 عياري).
* التخلص من الأملاح الذائبة بالغسيل بالماء المقطر.
* تفريق الحبيبات بإضافة عامل مُفرق مثل محلول مخفف من الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم أو كربونات الليثيوم أو محلول هيكساميتافوسفات الصوديوم مع الرج والتقليب.

لذلك تتوقف المعاملة الإبتدائية على:

1- وجود أو غياب الأملاح وكمياتها ونوعها بالتربة.
2- نسبة المادة العضوية بالتربة.
3- نوع معدن الطين السائد ودرجة تشبعه بالقواعد.
4- نسبة كربونات الكالسيوم بالتربة.

* تعيين النسب المختلفة للحبيبات الموجودة في الأرض والتي تعتمد أساساً على قانون ستوكس والذي مؤداه أن المواد الصلبة غير الذائبة في الماء إذا تُركت في وسط سائل لزج فإنها تسقُط بسرعة منتظمة تتناسب طردياً مع مربع نصف القطر. ولكي تكون هذه القاعدة صحيحة يجب أن تتوفر الشروط الآتية:

1- أن تكون الحبيبات كروية وصلبة.
2- أن تكون من مادة غير مرنة وغير قابلة للإنتفاخ.
3- أن تكون غير قابلة للذوبان.
4- أن تكون درجة حرارة الوسط ثابتة أثناء سقوط الجسم.

وقانون ستوكس هو:

$$V = 2/9\ g\ r^2\ (\rho_s - \rho_L)/\ \mu$$

حيث:

V = سرعة سقوط الجسم الكروي (سم/ ث).
g = عجلة الجاذبية 981 (سم/ ث^2).
r = نصف قطر الجسم الساقط (سم).
ρ_s = كثافة الجسم الصلب الساقط (جم/ سم^3).
ρ_L = كثافة السائل الذي يسقط فيه الجسم (جم/ سم^3).
μ = لزوجة السائل (بواز).

ويُمكن من هذا القانون حساب سرعة سقوط أي حبيبة (V) والزمن (t) الذي تستغرقه في قطع مسافة معينة (L).

ولو إفترضنا معرفة القيم المختلفة كثوابت مثل درجة حرارة ثابتة ولتكن 20^0م وأن متوسط كثافة حبيبات الأرض هو 2.6 جم/ سم^3 وبإعتبار كثافة الماء (الوسط التي تسقط فيه الحبيبة) 1 جم/ سم^3 ولزوجته μ = 0.01 بواز، وأن عجلة الجاذبية الأرضية = 981 سم/ ث^3 فتكون:

$$V = k \times r^2$$

وبالتالي يمكن حساب قيمة (k)

$$V = 35000\ r^2$$

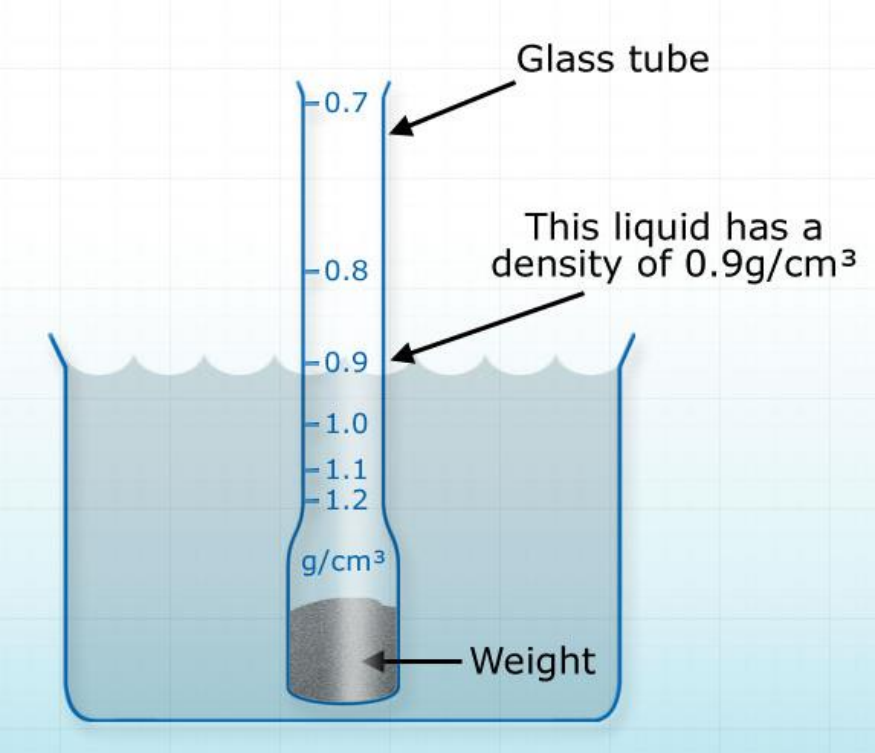
$$V = L/\ t$$

ومن قانون ستوكس يُمكن حساب الزمن اللازم لسقوط أي مجموعة من مجموعات حبيبات التربة، ولكن نظراً لأن حبيبات الأرض غير كروية فمتوسط سرعة رسوب أي مجموعة في حبيبات التربة يُقابلها متوسط قطر معين يُطلق عليه متوسط القطر الفعال، ويجب الإشارة هنا إلى أن نتائج التحليل الميكانيكي لاتُبني على مقياس فعلي لأقطار الحبيبات ولكن على أساس سرعة الرسوب.

أي أن سرعة رسوب الحبيبات فى الوسط تتناسب طردياً مع مربع نصف قطر الحبيبات الصلبة. هذا القانون مبنى على أساس توازن القوى المؤثرة على سقوط الحبيبات فى سائل له مواصفات معينة من حيث الكثافة واللزوجة.

2- التحليل الميكانيكي بطريقة هيدروميتر التربة

والفكرة الأساسية في هذه الطريقة تعتمد على تحضير مُعلق متجانس من عينة التربة بعد إجراء المعاملة الإبتدائية وعملية التفرقة لها بمحلول مُفرق ثم وضع هيدروميتر خاص للتربة لقراءة كثافة المُعلق بعد مرور الوقت المحدد في كل مرة. ومن الطبيعي أن كثافة مُعلق الأرض يقل بمرور الوقت حيث تَرسُب الحبيبات في قاع المخبار الموضوع به المُعلق وبالتالي يُمكن تقدير عدد الجرامات من حبيبات التربة الموجودة في المُعلق بعد أي فترة معينة.

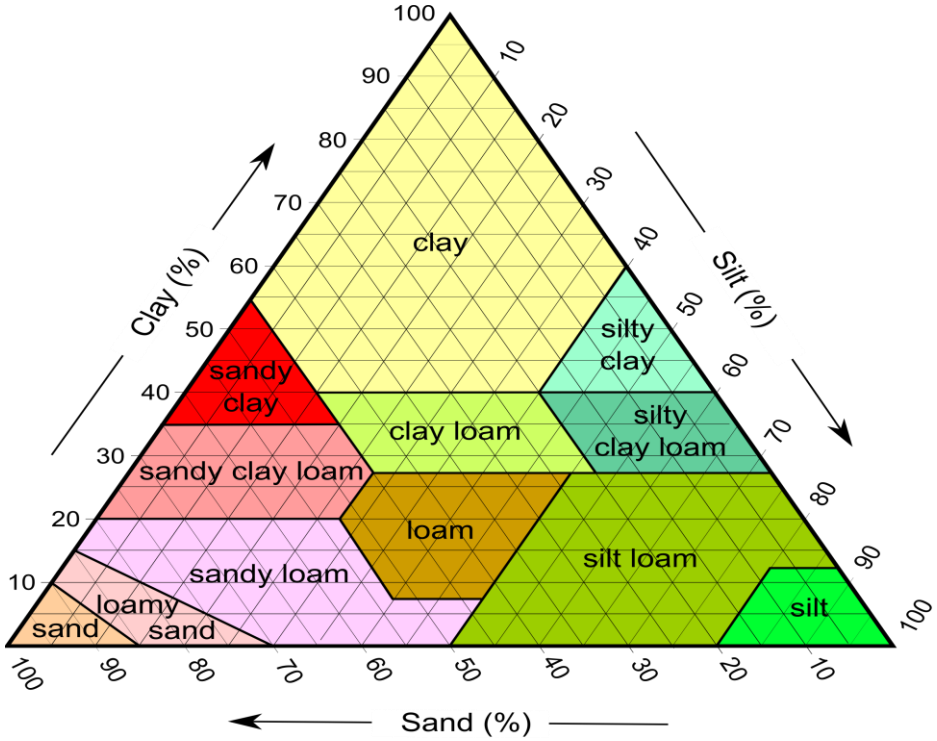


صورة توضح تركيب جهاز الهيدروميتر

ويُلاحظ عند إتباع طريقة الهيدروميتر أن تُعدل قراءة الهيدرومتر تبعاً لدرجة حرارة السائل حيث أن درجة الحرارة التي ضُبط عليها الهيدروميتر هي 19.4[5]م لذلك يجب إضافة أو طرح 0.4 من القراءة لكل درجة حرارة أعلى أو أقل من هذه الدرجة، وخطوات العمل والحساب يمكن الإطلاع عليها بمذكرة العملي.

تحديد قوام الأرض (طريقة مثلث القوام)

تُستعمل هذه الطريقة لمعرفة قوام الأرض وفيها يُبين نسب الرمل والسلت والطين على محاور ثلاث لمثلث متساوي الأضلاع (مثلث القوام تبعاً لوزارة الزراعة الأمريكية). ويُقسم المثلث إلى مساحات مختلفة ويعطى لكل مساحة إسم خاص بها يدل على قوام الأرض. وقد بُنيت هذه التسمية على العلاقة بين تقدير قوام الأرض بالملمس في الحقل والتحليل الميكانيكي في المعمل، وعلى الخواص الطبيعية والكيميائية للأراضي، مع تجميع الأراضي المتشابهة الخواص في قسم واحد وإعطائها إسم يُسمي القوام. ولتحديد قوام الأرض بهذه الطريقة يُجرى التحليل الميكانيكي لعينة التربة ثم يتم توقيعها على المثلث وفي نقطة التقاطع للمحاور الثلاث يُقرأ قوام الأرض في المساحة التي وقعت فيها نقطة التقاطع (أنظر مثلث القوام).



صورة لمثلث القوام الخاص بوزارة الزراعة الأمريكية

أهمية تحديد قوام الأرض

هناك العديد من المعلومات الهامة يُمكن إستنتاجها من تحديد قوام الأرض ومنها:

* تقسيم الأراضي إلى رُتب القوام المختلفة.
* تحديد علاقة التربة بنمو النبات.
* إمكانية التنبؤ بأحوال الصرف وحركة الماء بالأراضي.
* تحديد أبعاد أنابيب الصرف المُغطى والمصارف المكشوفة وكذلك أعماقها.
* إمكانية التنبؤ بالخواص الطبيعية والكيميائية للأراضي.

كثافة الأرض (Soil Density)

الأراضي مثلها مثل كل المواد المسامية يكون لها كثافتين، الأولى كثافة حقيقية وهي كثافة الجزء الصلب لحبيبات الأرض فقط والأخرى كثافة ظاهرية وهي التي يؤخذ فيها الحجم الكلي للأرض أي الحيز الذي تحتله المكونات الصلبة والحيز المسامي معاً.

▪ *الكثافة الحقيقية للأراضي (Soil Real Density)*

تُعتبر الكثافة الحقيقية للحبيبات الصلبة المكونة للأرض إحدى وسائل التعبير عن صفات الأرض، وهي تُعرف بأنها الكتلة لوحدة الحجوم من الحبيبات الصلبة للأرض.

الكثافة الحقيقية (ثق) = الكتلة الجافة ÷ الحجم الحقيقي (الجزء الصلب)

وتتـــراوح الكثافة الحقيقية لمعظـــم الأراضي المعدنية مابين 2.6- 2.75 جم/ سم^3 ويرجع هذا إلى أن الكوارتز والفلسبار والسيليكات الغروية والتي تقع كثافتها في هذا المدى هي عادة المُكون الرئيسي للأرض المعدنية، وقد تزيد الكثافة على 2.75 جم/ سم^3 عندما يوجد بها كميات من المعادن الثقيلة كالماجناتيت والزيركون والتورمالين والهورنبلند.

ولما كانت المادة العضوية كثافتها قليلة، فإن كثافة الجزء الصلب في الطبقة السطحية من الأرض تكون أقل من تحت السطحية وذلك لإحتواء سطح الأرض على نسبة مرتفعة نسبياً من المادة العضوية. بعض الأراضي المعدنية التي تحتوي على نسبة مرتفعة من المواد العضوية قد تنخفض كثافتها إلى 2.4 جم/ سم^3 أو أقل. وعلى ذلك يمكن إعتبار أن متوسط الكثافة الحقيقية للطبقة السطحية بالأراضي الزراعية 2.65 جم/ سم^3. والجدول التالي يوضح قيم كثافة بعض مكونات التربة.

جدول يوضح قيم كثافة بعض المكونات الصلبة للتربة

المادة	الكثافة (جرام/ سم^3)	المادة	الكثافة (جرام/ سم^3)
الدُبال	1.5 - 1.3	الدولوميت	2.9 - 2.8
الطين	2.6 - 2.2	المسكوفيت	3.0 - 2.7
الكاؤلينيت	2.6 - 2.2	البيوتيت	3.1 - 2.8
الأرثوكلاز	2.6 - 2.5	الأباتيت	3.3 - 3.2
الكوارتز	2.8 - 2.5	الليمونيت	4.0 - 3.5
البيت	2.7 - 2.6	المجناتيت	5.2 - 4.9
الفلنت	2.7 - 2.6	البيريت	5.2 - 4.9
الكالسيت	2.8 - 2.6	الهيماتيت	5.3 - 4.9
الأنورثيت	2.8 - 2.7		

▪ ***الكثافة الظاهرية للأراضي (Soil Bulk Density)***

يُمكن تعريف الكثافة الظاهرية بأنها وزن وحدة الحجوم من الأرض الجافة، وهذا الحجم يحتوي طبعاً على حجم المواد الصلبة وحجم المسام.

الكثافة الظاهرية (ثظ) = الكتلة الجافة ÷ الحجم الظاهري

العوامل المؤثرة في الكثافة الظاهرية

هناك العديد من العوامل التي تؤثر في قيمة الكثافة الظاهرية وهي:

1- طرق تنظيم أو ترتيب الحبيبات مع بعضها: حيث أن الكثافة الظاهرية تتأثر بحجم الحيز المسامي إلي جانب حجم المواد الصلبة. وعلى ذلك فالأرض المُفككة والمحتوية على حيز مسامي كبير تكون ذات كثافة ظاهرية أقل من تلك الأرض المندمجة والتي تحتوي على حيز مسامي أقل نسبياً.

2- درجة تحبيب الأرض: حيث أن الوسائل التي تُشجع على زيادة التحبيب أي تشجيع تكوين التجمعات الأرضية أي وجود حالة إسفنجية مسامية ينتج عنها إنخفاض في كثافتها الظاهرية.

3- عمليات الخدمة المختلفة: فهي تؤثر على الكثافة الظاهرية ومن ذلك يتضح أن الكثافة الظاهرية في الطبقات السطحية تتعرض لتغيرات نتيجة لعمليات الخدمة المختلفة أكثر من غيرها.

وتتراوح الكثافــة الظاهرية في الأراضي المصريــة عادة مابين 1.1 إلي 1.6 جم/ سم^3، ويتوقف ذلك على حالتها. في حين تتفاوت هذه القيم في الأرض الطمية الرملية والرملية. أما التربة شديدة الإندماج فقد تصل كثافتها الظاهرية إلى 1.8 جم/ سم^3 أو أكثر. وعموماً يُمكن حساب وزن الأرض لعمق طبقة الحرث للفدان (15 سم) وهي تُساوي في المتوسط واحد مليون كيلو جرام جافة.

أهمية الكثافة الظاهرية من الوجهة العملية

ترجع أهمية دراسة الكثافة الظاهرية عملياً إلى الآتي:

1- الكثافة الظاهرية دليل على مسامية الأرض ونظام ترتيب حُبيباتها، فكلما كانت الكثافة صغيرة كانت مسامية الأرض أكبر وكانت أصلح للعمليات الحيوية والكيميائية وبالتالي لإنتاج المحاصيل.

2- يُمكن بتتبع الكثافة الظاهرية معرفة مدي تأثير عمليات الخدمة المختلفة على مسامية الأرض وبالتالي على نظام توزيع الحبيبات.

3- للكثافة الظاهرية أهمية كبيرة في إحتساب مايلزم من الماء لري الأرض.

مسامية الأرض (Soil Porosity)

إن الحيز المسامي للأرض هو ذلك الجزء المشغول بالهواء والماء. ويتحدد مقدار هذا الحيز المسامي نتيجة لترتيب الحبيبات الصلبة، وعلى ذلك فالمقصود بالمسامية هو نسبة حجم المسام مقسوماً على الحجم الكلي الظاهري وُيعبر عنه بالمعادلة التالية:

المسامية = (الحجم الظاهري – الحجم الحقيقي) ÷ الحجم الظاهري

= (الكثافة الحقيقية – الكثافة الظاهرية) ÷ الكثافة الحقيقية

العوامل التي تؤثر على المسامية

تختلف المسامية في مختلف أنواع الأراضي تبعاً للظروف المختلفة وتتراوح في الأرض الرملية مابين 35- 50 % وفي الأراضي الطينية بين 40- 60% وأكثر. وتزيد المسامية كلما كانت الأرض تحتوي على نسبة عالية من المادة العضوية وذات تحبيب جيد. وتتوقف المسامية على العمق أيضاً فقد تصل في تحت التربة المندمجة إلى 35- 40% مما يتسبب عنه عدم كفاية التهوية.

حجم المسام

يوجد في الأرض نوعان من المسام وهما المسام الكبيرة والمسام الدقيقة، وتتميز المسام الكبيرة بأنها تسمح بالحركة السريعة للهواء والماء خلالها. وعلى العكس من ذلك في المسام الدقيقة تقل حركة الهواء بدرجة كبيرة. وتقتصر حركة الماء على الحركة الشعرية البطيئة، وعلى ذلك نجد في الأراضي الرملية أنه بالرغم من صغر الحيز المسامي الكلي فإن حركة الهواء والماء سريعة جداً وذلك لزيادة المسام الواسعة فيه. وفي الأراضي الطينية دقيقة القوام المندمجة فإن حركة الغازات والماء تكون بطيئة، ويظهر ذلك بوضوح في تحت التربة حيث تكون التهوية غير كافية للنمو المناسب للجذور أو للنشاط الميكروبي المرغوب فيه. ومن هذا يتضح أن التوزيع الحجمي لمجاميع المسام المختلفة هو أهم من الحجم الكلي للمسام. ومما يُشجع التهوية في الأرض ذات القوام الناعم تجمُع حبيباتها وتكوين التجمعات الأرضية. ويجب العمل على تقليل نسبة المسام الواسعة في الأراضي الرملية وذلك بإضافة الطمي والمواد العضوية وهذا يساعد على الإقلال من فقد الماء والعناصر الغذائية الذائبة بالرشح إلى أسفل. وعلى ذلك فنسبة المسامية المثلى في الأرض هي 50% وتكون منقسمة مناصفة بين الهواء والماء. وفي مثل هذه الحالة فإن حيز المسام الدقيقة يكون مملوء تقريباً بالماء وحيز المسام الكبيرة مملوء بالهواء وتُصبح تهوية الأرض تحت هذه الظروف كافية لنمو النبات بصورة جيدة.

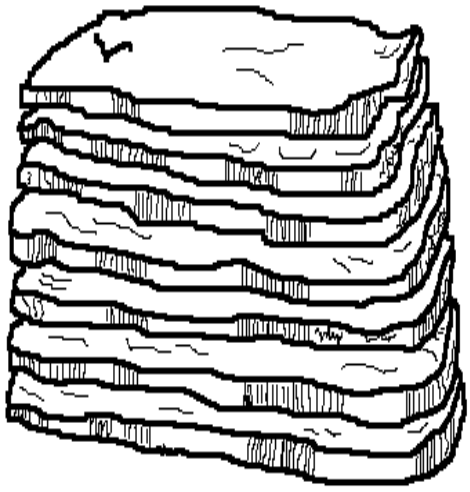
البناء الأرضي (Soil Structure)

هو إصطلاح يُقصد به نظام ترتيب الحبيبات الفردية والمركبة معاً. وقد يسود القطاع الأرضي نوع واحد من أنواع البناء، لكن غالباً مايختلف البناء الأرضي ويتبع ذلك تغير بعض الخواص كحركة الماء والتهوية والكثافة الظاهرية للأرض ومساميتها وإنتقال الحرارة وكلها تتأثر تأثيراً كبيراً ببناء الأرض. والواقع أن خدمة الأرض من حرث وعزيق وري وإضافة المواد العضوية والجبس كلها تؤثر على بناء الأرض.

أنواع البناء الأرضي (Types of Soil Structure)

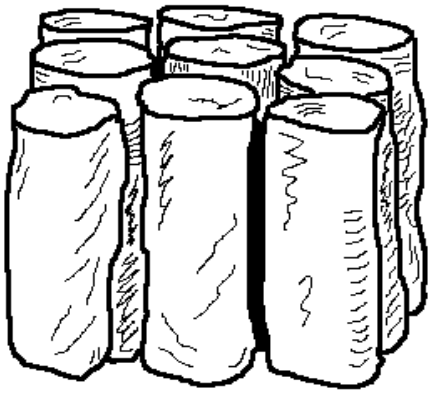
تتعدد أنواع البناء الأرضي، وقد يكون البناء مرغوباً فيه أو غير مرغوب فيه على أساس قدرته على توفير إتزان مائي- هوائي- حراري بالأرض وخفض مقاومة الأرض لإختراق الجذور وآلات الخدمة. وأنواع البناء الأرضي هي:

- البناء الطبقي: وفيه تُرتب الحبيبات أو مجاميعها في طبقات أفقية رقيقة، حيث يكون المحور الأفقي أقل كثيراً من المحور الرأسي. ويوجد هذا النوع في أفق (A) في بعض المناطق الرطبة، وهو بناء غير مرغوب فيه نظراً لقلة المسام الموجودة فيه بين الحبيبات وماينتج عنه من نقص التهوية وبطء حركة الماء خلالها.

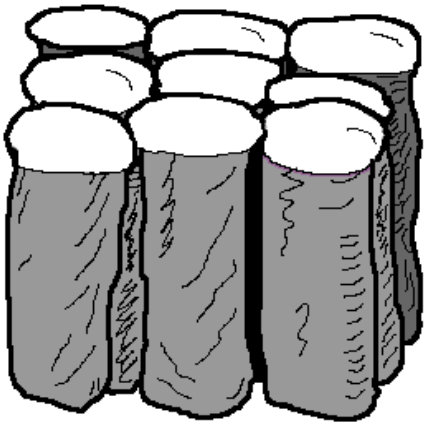


أشكال توضح البناء الطبقي

- البناء المنشوري والعمودي: وفيه تترتب مجاميع الحبيبات رأسياً في صورة أعمدة أو مناشير. وتوجد عادة في أفق (B) في الأراضي الجافة أو شبه الجافة، وقد توجد في أفق (B) في الأراضي الصودية. والمحور الرأسي لهذا النوع من البناء يكون أكبر كثيراً من المحور الأفقي. وقبل تكوين البناء العمودي يتكون البناء المنشوري ثم تتآكل وتستدير فيه أطراف المناشير ويتحول البناء المنشوري إلى بناء عمودي.

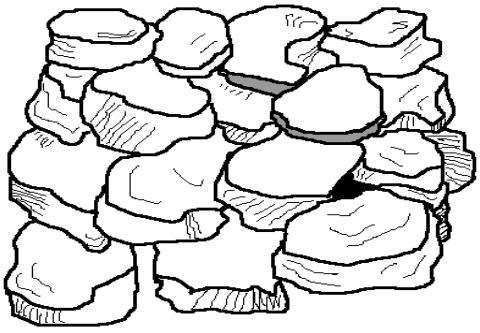


أشكال توضح البناء المنشوري



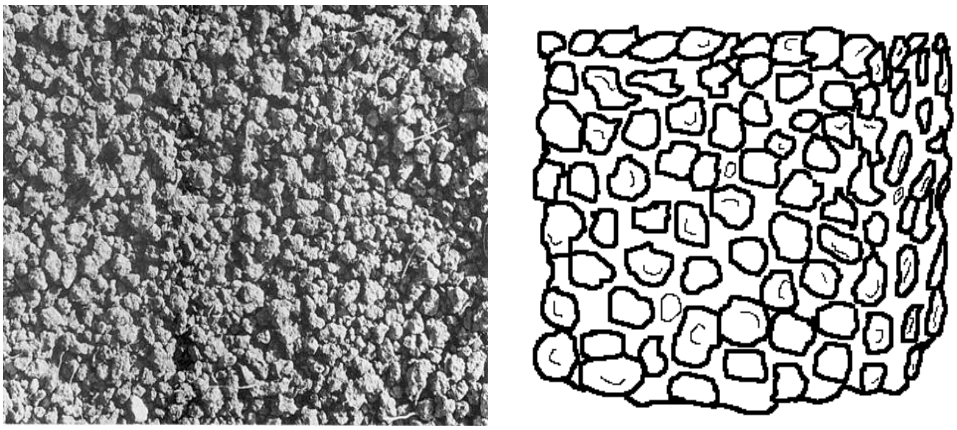
أشكال توضح البناء العمودي

▪ بناء كتلي وبندقي: وفيه تتكون مجاميع الأرض في صورة كتل على شكل مكعبات مندمجة ذات أوجه غير منتظمة، وتتراوح أطوال أضلاعها مابين جزء من السنتيمتر إلى عشرة سنتيمترات. ويكون تقريباً المحوران الرأسي والأفقي متساويان. وإذا مااستدارت هذه الكُتل يُطلق عليها بناء بندقي أي كتل في شكل الجوزة أو البندقة.



أشكال توضح البناء الكتلي

▪ بناء حُبيبي أو فُتاتي: وتوجد فيه مجاميع الحبيبات في صورة كروية لايزيد قطرها على نصف بوصة. ويتميز هذا النوع من البناء أنه مسامي، وإذا مااحتوى على نسبة عالية من المسام يُطلق عليه بناء فُتاتي. ويُعتبر هذا البناء من أنسب الأنواع الذي يجب العمل على إيجاده في الأراضي الزراعية نظراً لسهولة خدمتها وملائمتها لنمو النبات. ومما يُساعد على إيجاد هذا النوع زيادة نسبة المادة العضوية ومركبات الكالسيوم في الأرض.



أشكال توضح البناء الحبيبي

ميكانيكية تكوين البناء الأرضي

توجد نظريات عديدة تُفسر تكوين تجميعات الحبيبات الأرضية، وهذه العملية تتم على مرحلتين الأولى تُسمى عملية الإلتصاق (Flocculation) أو تجميع للحبيبات الفردية نتيجة إنخفاض الجهد الكهربي على سطحها، والثانية هي عملية إلتحام (Cemeted Aggregation) وهي إرتباط الحبيبات الملتصقة مع مواد لاحمة تجعلها ثابتة لاتنهار بالماء. وعموماً فإن جزيئات الماء القطبية وفي وجود أيونات الكالسيوم تترتب بين رقائق الغرويات المشحونة كهربياً وعند فقد بعض جزيئات الماء بالتبخير أو بامتصاص الجذور لها تُصبح الروابط بين جزيئات الماء والسطح الكهربي للحبيبات أقصر وبالتالي تزيد قوي الإرتباط، ثم يأتي بعد ذلك دور المواد اللاحمة التي تجعل هذه التجمعات ثابتة.

العوامل التي تؤثر على البناء الأرضي

يتأثر البناء الأرضي بعدة عوامل منها:

* تأثير الإبتلال والجفاف: إن ري الأرض ثم تركها حتى الجفاف يؤدي إلى تمدُدها بالإبتلال عند الري ثم تنكمش عند الجفاف، وهذا يؤدي إلى تكسير الأجزاء المُندمجة في نقاط الضعف. ويستفيد المزارع من هذه

الخاصية عندما تتصلب الأراضي ولاتسهُل خدمتها نتيجة للجفاف الزائد فيكون أفضل طريقة لتسهيل خدمتها هو ريها رياً خفيفاً ثم الإنتظار حتى الجفاف المناسب وعندئذ نجد أن الخدمة تسهُل كثيراً.

* تأثير المادة العضوية: تُعتبر المواد العضوية عاملاً رئيسياً في تحسين البناء الأرضي حيث أن وجود الدبال في الأرض يعمل على ربط الحبيبات الغروية مع وجود أيونات عديدة التكافؤ مثل الكالسيوم (ثنائي التكافؤ) والذي يعمل مع الدبال على تشجيع التحبيب وتكوين الحبيبات المُجمعة أي المركبة من الحبيبات الفردية، وبذلك تزيد نسبة المسامية التي يتوقف عليها حركة الماء والهواء في الأراضي.

* تأثير نوع معدن الطين: إن نوع معدن الطين السائد في الأرض له تأثير على البناء الأرضي، فالأرضي التي يسود فيها معدن المونتموريللونيت تكون حبيباتها عادة مفرقة بينما الأراضي التي يسود فيها معدن الكاؤولينيت أو أكاسيد الحديد والألومنيوم تكون في حالة مُجمعة. ويجب التنويه هنا بأنه في الأراضي الرملية يجب إضافة الطمي مع المادة العضوية للعمل على تحسين بناء للأرض لأن وجود مركبات الطين ذات الشحنة تعمل مع الكاتيونات المدمصة على سطوحها على ربط الحبيبات بعضها ببعض وتكوين الحبيبات المجمعة بالإضافة إلى زيادة نسبة المسامية والمسام الواسعة بين التجمعات التي تساعد على حركة الماء والهواء. أما زيادة نسبة المسام الضيقة بين الحبيبات الفردية داخل التجمعات فتعمل على زيادة قوة حفظ الأرض للماء.

* تأثير نوع الكاتيون: تتميز غرويات الأرض سواء كانت معدنية أو عضوية بقدرتها على إدمصاص الكاتيونات. وهذه الكاتيونات المدمصة لها تأثيرها على تجميع الحبيبات الغروية أو تفريقها، فالكالسيوم يعمل على تجميع الحبيبات بينما يعمل الصوديوم على تفرقتها. لذلك يجب إضافة الكالسيوم (الجبس الزراعي) مع إضافة المواد العضوية لتحسين البناء الأرضي عند إصلاح الأراضي الصودية.

* تأثير جذور النباتات: إن النباتات المزروعة لها تأثيرها على تحبيب الأرض عن طريق الجذور كالتالي:

1- إمتداد الجذور في الأرض يسبب تكُسر الحبيبات في نقاط ضعف وتتكون حبيبات مجمعة نتيجة الضغط الناتج عن نمو وتكوين الجذور لتنضم الحبيبات لبعضها البعض مُكونة بذلك حبيبات مركبة.

2- تعمل إفرازات العصارات الجذرية والمواد العضوية الناشئة عن تعفُن وإنحلال النباتات أو جذورها بعد موتها على تجميع الغرويات ولحمها.

* تأثير عمليات تمهيد الأرض: إن عمليات الخدمة لها تاثير على البناء الأرضي فعمليات الإثارة والتمهيد تُساعد على تفكيك الأرض وخلط المادة العضوية. وتحت الظروف المناسبة من الرطوبة يعمل التمهيد على تفتيت كتل الأرض وتهيئة مهد ملائم للبذور. وعلى هذا الأساس فالضرورة تقتضي إجراء أقل كمية من التمهيد على المدى الزمني لما لها من تأثير سلبي على تكوين تجمعات أرضية في الطبقة السطحية للأرض للأسباب الآتية:

1- قد يساعد التمهيد على سرعة أكسدة المادة العضوية في الأرض.

2- أن عمليات التمهيد وخصوصاً مايحتاج منها إلى أدوات ثقيلة كالجرارات تعمل على تحطيم تجمعات الأرض الثابتة.

كل هذا قد يؤدي إلى زيادة الكثافة الظاهرية وإنخفاض نسبة المسامية. ومن ذلك يُمكن إستخلاص أن عمليات الخدمة قد تعمل على إتلاف تحبيب الأرض وبالتالي يجب أن تقل من عمليات الخدمة بقدر الإمكان. كما يجب أن يراعى إجراء عملية الحرث والأرض تحتوي على رطوبة مناسبة، وألا تُحرث الأرض وبها نسبة عالية من الرطوبة فتتعجن وينشأ عن ذلك بناء غير مرغوب فيه. ومن جهة أخرى يجب ألا تُحرث الأرض وهي شديدة الجفاف حتى لاتنكسر إلى كتل كبيرة يصعُب أن تكون مهداً جيداً للبذور. ويجب تشجيع التحبيب بأقصي درجة عن طريق إضافة المواد العضوية مع إتباع دورة زراعية مناسبة تتضمنها المحاصيل البقولية.

ثبات التجمعات الأرضية (Stability of Soil Aggregate)

يُعتبر ثبات التجمعات الأرضية من الظواهر البنائية ذات الأهمية العملية الكبيرة. فالمشاهد أن بعض التجمعات الأرضية تنهار بسهولة عندما تصطدم بها قطرات المطر أو تحت تأثير الحركة العنيفة أثناء الحرث أو عمليات تمهيد الأرض، في حين أن بعض التجمعات الأرضية الأخرى يقاوم التفكك. ويُعزى الإختلاف في خاصية ثبات التجمعات الأرضية جزئياً إلى وجود أو غياب بعض المواد اللاحمة أو الرابطة للحبيبات. ومن المعروف أن للمادة العضوية تأثير على ثبات التجمعات الأرضية كما أن نوع معدن الطين أيضاً يؤثر على ثبات التجمعات الأرضية. فالتجمعات الأرضية التي يسود بها معدن الكاؤولينيت تكون أكثر ثباتاً من تلك التي يسود بها معدن المونتموريللونيت كما أن أكاسيد الحديد لها تأثير لاحم أو رابط مؤكسد يساعد على ثبات المجمعات.

طرق تقدير ثبات البناء الأرضي

لاتوجد طريقة واحدة مُتفق عليها لقياس بناء الأرض. والطريقة شائعة الإستعمال هي تقدير النسبة المئوية للتجمعات الأرضية (الحبيبات المركبة) ذات حجم معين كدليل على بناء الأرض. أما من حيث مدى ثبات هذا البناء فيتم قياس مقدار هذا الثبات بعد تعريض الأرض لسقوط الماء (الأمطار أو ماء الري). وقد قيست خاصية مدى ثبات الحبيبات المُجمعة المكونة للأرض ضد قوى الرج في الماء وذلك برج عينات ممثلة للأرض في الماء بالإستعانة بجهاز رج وذلك لمدد زمنية مختلفة، أو بتعريضها لرشاش ماء. ولتقدير ثبات البناء الأرضي يتم تقدير كلٍ من حالة التحبيب ودرجة التحبيب.

حالة التحبيب (State of Aggregation)

هو إصطلاح المقصود به حساب النسبة المئوية للحبيبات المركبة ذات الأقطار الأكبر من 0.05 مم.

درجة التحبيب (Degree of Aggregation)

هو عبارة عن حالة التحبيب في الأرض منسوبة إلى النسبة المئوية للحبيبات الكلية (فردية ومُركبة) التي قطرها أكبر من 0.05 مم. وطرق الحساب موضحة في مذكرة العملي.

لون الأرض (Soil Color)

هي صفة يُمكن بمعرفتها في الحقل تفرقة أنواع الأراضي عن بعضها البعض. كما يُمكن منها معرفة درجة خصوبة الأرض وطبقات القطاع الأرضي وحالة ومقدار المادة العضوية وحالة الصرف ومقدار التهوية وفعل عوامل التعرية. ونظراً لوجود صبغات حول الحبيبات يصعب التخلص منها ويصعب معها دراسة اللون فقد إعتبر العلماء لون الأرض ككل وليس لون الحبيبات منفردة، لكن هناك بعض الصعوبات التي تعوق دراسة اللون في الأراضي مثل:

* صعوبة تمييز الدارس للون حسب قوة وظروف الإبصار، حيث أن اللون في الأرض هو نتيجة عوامل كثيرة منها تداخل الألوان المختلفة سواء المنعكسة (Reflected) بفعل التأثيرات الضوئية للحبيبات أو المتداخلة (Diffused) أو المنتشرة (Scattered) أو الممتصة (Absorbed).
* تداخل عامل الضوء والذي من الصعب التحكم فيه.
* تحديد اللون الأرضي حسب نماذج قد يصعب معها مقارنة اللون مما دعا إلى إيجاد أجهزة حديثة ذللت هذه الصعوبة إلى حد كبير.
* وجود بعض البقع في الطبقة الأرضية أو إختلاف اللون عند محاولة تسوية الجزء المدروس أو إختلاف اللون نتيجة سقوط أشعة الضوء المباشرة.
* إختلاف نسبة الرطوبة ونظام تجاور الحبيبات.
* تغير اللون تبعاً لتغير فصول السنة.

ونتيجة لهذا يجب للحُكم على اللون حُكماً صحيحاً أن يُراعى مايلي:

1- يحب أن يكون الضوء الساقط على الأرض أبيض (White Light) يحتوي على جميع الموجات الضوئية المرئية بنسب ثابتة (ضوء الشمس العادي طالما السماء صافية) وأن لون الضوء ونوعه يُقاس من خواصه

الثلاثة المعروفة وهي الموجات السائدة التي تحدد اللون (Hue) وكمية الضوء (Value) والذي يُطلق عليه مدى التلألؤ (Brilliance) والأصباغ (Chrome) والذي يزداد بازدياد الصبغات ونقص اللون الأبيض.
2- حالة الأرض عندما تكون العينة في ظروف الحقل العادية من حيث جفافها أو نسبة الرطوبة بها.
3- إيجاد مقياس ثابت (Standard) يُقاس به مقدار الضوء المنعكس إلى العين.

ويُلاحظ أنه للآن لم تُحدد علاقة خصوبة الأرض باللون ولكن معرفة لون الأرض يدل على المناخ السائد أثناء عمليات تكوين الأراضي من حرارة ورطوبة وتهوية وأيضاً مادة الأصل، أي ظروف الأرض من النواحي الكيميائية والطبيعية وعلاقة ذلك بنمو النباتات، كذلك قد يؤثر حجم الحبيبات الأرضية في الطبقة الواحدة على اللون، كذلك نقص أو تزايد المادة العضوية.

بعض العوامل المؤثرة على لون الأراضي

تتعدد العوامل التي تؤثر على لون الأرض ومنها:
* رطوبة التربة: حيث يزداد لون الأرض ناحية السواد كلما زادت نسبة الرطوبة، ويفتح اللون عند الجفاف، وسبب هذا اللون الفاتح بالجفاف أحد أمرين:
1- وجود نسبة هواء في المسافات البينية لتجمعات التربة أو في الأغلفة الغروية حول الحبيبات الكبيرة.
2- خروج جزء من ماء التأدرت للغرويات (Partial Dehydration) فعند تجفيف الأرض نجد أن اللون يبدأ في التغير عند بدء دخول الهواء داخل المسافات. ولقد وجد بالتجربة أن هذا التغير في اللون يبدأ في الظهور عند نقص الرطوبة الكلية بالأرض إلى الحد الذي ينتهي عنده الإنكماش الأساسي ويبدأ الإنكماش المتبقي. بينما يقف تغير اللون عندما تصل نسبة الرطوبة بالأرض إلى الحد الهيجروسكوبي. ويُمكن بوضوح ملاحظة هذا التغير في اللون بالتدريج في الأراضي السوداء المحتوية على نسبة مرتفعة من الغرويات الأرضية فيتحول لونها إلى الرمادي.
وإذا قارنا ألوان الأراضي المجففة نجد صعوبة في ذلك بعكس الحال عندما يكون بها نسبة ملائمة من الرطوبة، وهذا ماينادي به بعض العلماء إذا ماتيسر ذلك علمياً، ويري البعض أنه إذا جُففت الأرض تماماً في المعمل ثم أُعيد ترطيبها فإن اللون بعد الترطيب يختلف عنه قبل التجفيف ولايعود إليه مرة ثانية.
* المواد الغروية العضوية والمعدنية: يسبب وجودها اللون الغامق للأرض وخصوصاً إذا أُضيفت لأرض فاتحة اللون كالأرض الرملية أو الجيرية. أما الأراضي الطينية والطميية فتحتاج إلى كميات كثيرة من المواد العضوية لتغميق لونها.
ولدراسة اللون في الأرض يجب التخلص من المادة العضوية بإضافة (H_2O_2) أي أكسدتها حيث أن وجودها قد يحجب باقي الألوان في التربة خصوصاً إذا كانت فاتحة اللون. فإذا وجدت المادة العضوية وهي تامة

التحلُل فإن لون الأرض يكون بنياً غامقاً أو رمادياً أو حسب كمية المادة العضوية بالأرض. بعكس الحال إذا لم تكن تامة التحلل فإن اللون يكون فاتحاً يميل إلى الرمادي أو البني الفاتح. ويتوقف ذلك على بقية الألوان الأخرى في الأرض حيث لوحظ أن وجود $CaCO_3$ في الطبقة السطحية للأرض يحفظ المادة العضوية من الغسيل إلى الطبقات السفلى وبالتالي يحتفظ سطح الأرض باللون الداكن.

أما الأراضي جيدة الصرف التي تحتوي على نسبة كبيرة من $CaCO_3$ يكون لونها فاتحاً. وفي أراضي المناطق الجافة التي توجد بها نسبة عالية من $CaCO_3$ يظهر بها اللون الغامق إذا وجدت معها كمية كبيرة من المادة العضوية.

* المركبات المعدنية السائدة: في الأراضي التي لاتحتوي على نسبة مرتفعة من المادة العضوية يرجع اللون في الأراضي إلى مكوناتها المعدنية خصوصاً الطين الغروي والمعادن الأرضية. كما أن وجود معادن أولية لم تتأثر بالتجوية لايؤثر تأثيراً ظاهراً على اللون في الأرض. ولو أن المجناتيت قد أكسب بعض أراضي الهند لوناً داكناً عند وجود المجناتيت بها بنسبة عالية وفي صورة حبيبات دقيقة. كذلك وجد أن بعض أكاسيد الحديد ومركباته كالبيريت (Pyrites) يُكسب الأرض لوناً ازرقاً أو مخضراً.

ويمكن بيان أهم المكونات المعدنية التي توجد في الأرض وتؤثر على لونها فيما يلي:

1- أكاسيد الحديد وهي ذات لون احمر قاني كما في الهيماتيت أو أصفر كما في الليمونيت. ولما كانت أكاسيد الحديد الحمراء قليلة في ماء تأدرتها وكلما زاد التأدرت تحولت ألوانها إلى الأصفر، لذلك نجد أن الأراضي الحمراء توجد في المناطق الجافة، ولون أكاسيد الحديد يظهر بصورة واضحة في الأراضي الرملية ذات السطح النوعي الصغير الذي لايحتاج إلا إلى كمية صغيرة من الأكاسيد لتغليف حبيباتها الكبيرة لإظهار اللون بوضوح. أما في الأراضي الطينية والسلتية فهي ذات سطح نوعي كبير فضلاً عن اللون الداكن للسلت والطين الذي يُغطي على لون أكاسيد الحديد الأحمر أو الأصفر.

2- وجود $CaCO_3$ والكوارتز بنسبة عالية في الأراضي يسببان اللون الفاتح للأرض.

3- وجود المنجنيز بنسبة كبيرة في الأرض يُكسبها اللون الداكن أو البني القائم.

4- وجود أملاح الحديدوز الناتجة من إختزال أملاح الحديديك في الأراضي الغدقة ورديئة الصرف بفعل الأحماض العضوية تسبب ظهور اللون المزرق أو الرمادي المخضر بدلاً من اللونين الأحمر أو الأصفر. ويُمكن مشاهدة ذلك في الأراضي الحمضية العضوية (Peat) في الطبقة تحت السطحية وفي الأراضي الطينية العضوية وفي أراضي المستنقعات في طبقة تحت التربة.

5- يتأثر اللون بمكونات الطين نفسه فمثلاً في الأراضي الطينية الغنية بالسيلكا يكون لونها فاتح نوعاً، كما أن وجود بعض حبيبات الميكا يُكسب الأرض لمعاناً وبريقاً خاصاً.

أُجريت محاولات كثيرة لوضع نظام ثابت لتحديد لون الأراضي وإيجاد مقاييس معلومة تُقارن بها ألوان الأراضي، فتم عمل خرائط أطلس بها مربعات كثيرة ذات ألوان مختلفة معلومة تقارن بها ألوان عينات الأراضي لتحديد اللون (أطلس). كذلك إستعملت أجهزة خاصة للقياس مبنية على تكوين ألوان مركبة باستعمال نسب مغايرة من ألوان معلومة ثابتة لتكون لون مركب يُمكن تحديده بالضبط ويقارن به لون التربة، ومن هذه الأجهزة:

1- ألواح شفافة ملونة يمكن وضعها (رصها) بنظام خاص بحيث يعطي ألوانا مُركبة معروفة تشبه إلى درجة كبيرة لون التربة المراد إختيارها علماً بأن ألوان الألواح معروفة كوحدات دولية اللون (Tintometers).

2- قرص خاص يُمكن إدارته بسرعة مُكون من أربعة ألوان هي الأبيض والأسود والأحمر والأصفر ويُمكن تغيير نسبها في القرص بحيث يُشكل كل لون نسبة مئوية منه وتعدل نسب هذه الألوان في القرص بحيث أنه عند إدارته بسرعة يتكون لنا لون يشبه لون التربة المراد معرفة لونها ثم تُحدد النسب المئوية للألوان المُكونة لمجموعة اللون في الأرض.

وعموماً إذا حاولنا معرفة اللون في أراضينا المصرية نجد أنه بناء على ماسبق شرحه نجد أن اللون يزداد ناحية السواد في منتصف الدلتا تقريباً حيث تزداد نسبة الطين وغرويات التربة بينما يفتح اللون في الصحراء بسبب زيادة نسبة الكوارتز الفاتح اللون وكذلك قريباً من مجرى النيل حيث تكثُر الحبيبات الرملية الخشنة من المواد المعدنية الأولية.

المحاضرة الثانية

الهـــــواء الأرضي

Soil Air

علمنا مما سبق أن هناك فراغات بين الحبيبات الأرضية يوجد فيها كل من الماء والهواء. والهواء إما أن يوجد على حالة غازية في مسام التربة أو ذائبة في ماء الأرض.

تركيب الهواء الأرضي (Composition of Soil Air)

يتركب الهواء الأرضي من نفس الغازات التي يتكون منها الهواء الجوي تقريباً ولكنه يختلف في إحتوائه على نسبة أقل من الأكسوجين (O_2) نسبة أكبر من ثاني أكسيد الكربون (CO_2).

جدول يوضح النسب المختلفة لمكونات الهواء الأرضي

نوع الهواء	(%) O_2	(%) CO_2	(%) N_2
الهواء الجوي	20.93	0.03	79.04
الهواء الأرضي	19.99	0.66	79.35

ويُمكن القول أن نسب كل من الأكسوجين وثاني أكسيد الكربون غير ثابت بل تختلف تبعاً لاختلاف كمية المواد العضوية في الأرض وتبعاً لنشاط البكتريا في أكسدة هذه المواد. ومع هذا فيحتوي الهواء الأرضي على غازات أخرى تنتُج من التفاعلات الحيوية في التربة. ففي أثناء تحول الأوزت الجوي بواسطة بكتريا التأزت ينفرد بعض النشادر في التربة. كما أن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الأرض الغدقة المُشبعة بالماء ينتج عنها إنفراد غاز الميثان (CH_4) وغاز كبريتور الهيدروجين (H_2S).

أهمية الهواء الأرضي (Importance of Soil Air)

ترجع أهمية الهواء الأرضي إلى الآتي:

* الهواء الأرضي ضروري لتنفس الجذور وإنبات البذور.
* الهواء الأرضي ضروري لتحلل البقايا العضوية (نباتية وحيوانية) تحللاً هوائياً بالتربة.
* الهواء الأرضي ضروري لعمليات الأكسدة والتي تُحول بعض المواد السامة إلي مواد غير سامة.

* الهواء الأرضي بما يحتويه من أكسوجين ضروري لعمليات الإمتصاص الحيوي (النشط) بالجذور.
* يستفيد النبات أحياناً من النيتروجين الموجود بالهواء الأرضي من خلال تثبيته كيميائياً أو حيوياً (تكافلياً أو لاتكافلياً).
* غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء الأرضي له دور فعال في إذابة بعض العناصر وزيادة تيسرها للنبات. كما أن له دور كبير في ضبط رقم الحموضة (pH) في منطقة إنتشار الجذور بما له من تأثيرات مباشرة وغير مباشرة على تيسر العناصر الغذائية بالتربة ونمو الجذور.

نسبة الهواء في الأرض

تختلف نسبة الهواء في الأرض على حسب ظروفها. فتبلغ أقصى مداها متى كانت الأرض جافة تماماً. وفي هذه الحالة يكون حجم الهواء الأرضي مساوياً لحجم المسام بين الحبيبات (المسامية الكلية). وينعدم الهواء الجوي تقريباً إذا كانت الأرض مُشبعة بالماء. وأنسب مقدار من الهواء بالتربة يُساعد على نشاط الجذور هو عندما يكون شاغلاً من 30 إلى 50% من حجم المسام الكلية. وعموماً فإن نسبة الهواء تتوقف على مقدار المساحة الكلية وشكل وحجم وترتيب الحبيبات الأرضية (البناء الأرضي) ونسبة الماء في الأرض.

تقدير الهواء في التربة

لتقدير مقدار الهواء في التربة يجب تقدير الحجم الكلي للمسام وكذلك حجم الماء الموجود بالتربة ويطرح حجم الماء من حجم المسام الكلية في الأرض لينتج حجم الهواء. ويُمكن تقديره كنسبة مئوية من الفراغ الكلي حجماً وذلك بقسمة حجم الهواء على الحجم الكلي للمسام مضروباً في 100.

المحاضرة الثالثة

حـــــرارة التربـــــة

Soil Heat

درجة حرارة التربة (Soil Heat)

درجة حرارة التربة لها تأثير هام في سير التفاعلات الكيميائية ونشاط العمليات الحيوية. فعند درجات الحرارة غير المناسبة تقل سرعة التفاعلات الكيميائية كما قد تتوقف العمليات الفسيولوجية بالنبات وكذلك نموه. ودرجة الحرارة المناسبة للنبات تختلف باختلاف النباتات وهي تتراوح عموماً بين 90^{5}م، 24^{5}م. وأهم مصدر حراري للتربة هو الشمس ويقدر ثابت الإشعاع الشمسي بحوالي 1.92 كالوري (سُعر حراري) في الدقيقة لكل 1 سم^{2} من سطح الأرض، وهي تساوي حوالي مليون سُعر لكل واحد متر مربع في الساعة الواحدة وهي تساوي أيضاً 30,000 كيلوات ساعة في اليوم للفدان وهي تساوي 42,000 قوة حصان ساعة في اليوم للفدان. ولقد وجد أن 0.5% فقط من هذه الطاقة يُمتص بواسطة النباتات.

وتصل حرارة الشمس إلى التربة على هيئة موجات مختلفة الأطوال وأكثرها حملاً للحرارة هي الموجات الطويلة. وتختلف درجة قابلية هذه الأشعة على المرور في طبقات الجو، فالأشعة الطويلة مثل الأشعة تحت الحمراء أسهل مروراً من الأشعة القصيرة مثل فوق البنفسجية. وأن الأشعة المُرتدة أو المُنعكسة من سطح الأرض تحتوي على الأشعة ذات الموجات الطويلة وهذه قد تُحبس في وجود السحب فلا تمر خلالها إلى طبقات الجو العليا مرة ثانية وتزيد من حرارة الجو.

العوامل التي تتوقف عليها درجة حرارة التربة

تتوقف درجة حرارة التربة على الآتي:

* الحرارة النوعية للمواد التي تتكون منها الأرض: درجة الحرارة الجسم أياً كان نوعه تتوقف على الحرارة النوعية لمادته. فإذا كان مقدارها صغيراً سُخن الجسم كله بسرعة أما إذا كانت كبيرة فإن الجسم يسخن ببطء. والأراضي الجافة تختلف حرارتها بإختلاف تركيبها المعدني ومقدار ماتحتويه من مواد عضوية.

جدول يوضح الحرارة النوعية لبعض المواد

المادة	الكثافة الظاهرية (جرام/ سم^3)	الحرارة النوعية وزناً (سعر/ جم)	الحرارة النوعية حجماً (سُعر/ سم^3)
رمل	1.52	0.191	0.290
طين	1.04	0.224	0.233
دبال	0.37	0.443	0.164

من الجدول السابق يتضح أن الحرارة النوعية على أساس الحجم تُساوي الحرارة النوعية بالوزن مضروباً في الكثافة الظاهرية، كما يتضح أن الحرارة النوعية للمادة العضوية على أساس الوزن تتراوح بين 0.4 ، 0.5 سُعر ولكن الحرارة النوعية على أساس الحجم في المادة العضوية أقل منها في المادة المعدنية. لذا نرى أن زيادة نسبة المادة العضوية في التربة تدفيء التربة كأنها تُعطي التربة اللون الداكن الذي يمتص أشعة الشمس بدرجة أكبر من حبيبات التربة المعدنية.

* تأثير الماء في حرارة التربة: الماء من أهم العوامل المؤثرة في درجة حرارة الأرض بسبب كِبر الحرارة النوعية له وتأثيره على السعة الحرارية للتربة كما يتضح مما يلي:

1- يؤثر الماء على الحرارة النوعية للتربة، فإذا أُضيف الماء للتربة زادت حرارتها النوعية فتسخن ببطء وتبرد ببطء بخلاف ما إذا كانت حرارتها النوعية عالية حيث تسخن ببطء وتبرد ببطء بخلاف ما إذا كانت جافة.

2- الماء كموصل للحرارة يُساعد على توصيل الحرارة من الطبقات العليا إلى السفلى، فلا تتركز بشدة على السطح بعكس الأراضي الجافة حيث تقل نقط الإتصال بين الحبيبات فيها فيبطء إنتقال الحرارة بالتوصيل فتسخن الطبقة السطحية كثيراً عن الطبقات السفلى. وقد وجد أن إنتقال الحرارة من التربة للماء أسرع من إنتقالها من التربة للهواء بنحو 150 مرة، ومن ثم فإن زيادة نسبة الماء في الأراضي تؤدي إلى زيادة درجة التوصيل الحراري.

3- صعود الماء بالخاصية الشعرية وتبخُره ينشأ عنه إنخفاض درجة الحرارة لسطح الأرض بسبب الحرارة الكامنة للتصعيد.

4- الحرارة النوعية للماء مرتفعة ولذلك يجب التخلُص من الماء الزائد بالصرف لكي ترتفع درجة حرارة الأرض.

* تأثير البناء في حرارة التربة: ينتج عن تغير سطح التربة بالحرث أو العزق أو التزحيف تغيرات في درجة حرارتها، فحرث الأرض وعزقها يُفكك الأرض ويُضعف فيها نقاط التلامس بين الحبيبات، كما أن نسبة الهواء تزيد فيها وتُصبح الأرض أقل توصيلاً للحرارة وبذلك تتركز الحرارة في سطحها. أما التزحيف فيزيد درجة توصيل الأرض للحرارة لازدياد نقاط التلامس وتقليل نسبة الهواء.

* تأثير اللون على حرارة التربة: تختلف الأجسام في درجة إمتصاصها للحرارة لاختلاف ألوانها، ففي الأرض قاتمة اللون تُمتص حرارة أكثر من الأراضي فاتحة اللون.

* الإشعاع من الأرض: كما أن الأرض تمتص حرارة بالإمتصاص فإنها تفقد بعض هذه الحرارة بالإشعاع. وتشع الأرض دائماً حرارة أطول أمواجاً من التي تمتصها، ومن خصائص بخار الماء والزجاج أنهما يمنعا مرور الأمواج القصيرة. لهذا السبب ترتفع درجة حرارة البيوت الزجاجية المُغلقة (الصوبات الزراعية) وكذلك تشتد حرارة الصيف عندما يكون الهواء محملاً بكثير من الرطوبة. وكثير من الحرارة التي تُشعها الأرض ليلاً يأتي بالتوصيل العكسي من الطبقات السفلى للأرض.

الموجة الحرارية السنوية

بالإضافة إلى الموجة الحرارية اليومية التي تؤثر في كل نقطة من الأرض فإن هناك موجة حرارية سنوية يظهر أثرها بارتفاع متوسط درجة الحرارة حتى تبلغ أقصاها في شهر معين ثم تنخفض لنهاية صغرى في شهر معين آخر أثناء السنة. وقد دلت التجارب أن الموجة السنوية تبلغ نهايتها العظمى في يوليو وأغسطس وتبلغ نهايتها الصغرى في شهر فبراير. وقد دلت التجارب أيضاً على أن الموجة السنوية تتحرك من أعلى إلى أسفل في فصل الربيع والصيف، أي أنها موجة هابطة حيث يكون متوسط درجة حرارة سطح التربة أعلى من باطنها. وهناك موجة صاعدة في الخريف والشتاء حيث يكون متوسط درجة الحرارة في باطن الأرض أعلى من المتوسط على سطحها.

حرارة إبتلال الأرض (Heat of Soil Wetting)

عندما تبتل الأرض تتولد حرارة تُعرف بحرارة الإبتلال ويتوقف مقدارها على:
* المواد الغروية الموجودة فيها: فكلما زادت نسبة المواد الغروية كلما زادت حرارة الإبتلال.
* السطح النوعي: فكلما كبُر السطح النوعي كلما زادت حرارة الإبتلال، وعلى ذلك توجد علاقة بين مساحة السطح النوعي وحرارة الإبتلال توضحها العلاقة التقريبية التالية:
السطح النوعي (سم^2/ جم) = حرارة الإبتلال (سُعر/ جم) × 3.6 × 10^5

المحاضرة الرابعة

المـــاء الأرضي

Soil Water

إن وجود الماء في الطبيعة يُعتبر من أهم الأمور الحيوية على كوكب الأرض، ولولا وجود الماء لما وجدت الحياة. والفرق الجوهري بين جو الأرض وجو معظم الكواكب الخالية تماما من الحياة، هو أن جو الأرض يحتوي على الماء دون باقي الكواكب. ولايمكن حدوث أي تفاعلات كيميائية دون توفر الماء كوسط للتفاعل. وتمر المياه على كوكب الأرض في دورة تُعرف بالدورة الهيدرولوجية، وهي دورة مغلقة تماماً، والماء الأرضي يُمثل جزء أساسي من هذه الدورة.

الدورة الهيدرولوجية (The Hydrological Cycle)

تتحرك المياه على كوكب الأرض في دورة مغلقة، وتُعتبر المحيطات والقطبين هي أكبر خزانات للمياه على سطح الأرض. وتنتقل المياه من المُسطحات المائية كالبحيرات والبحار والمحيطات وأيضاً من القطبين على صورة بخار خلال الجو إلى اليابسة في صورة أمطار ومنها مرة ثانية إلى البحار والمحيطات خلال المجاري المائية وهكذا. ومن خلال اليابسة تتحرك المياه خلال قطاعات التربة إلى الماء الجوفي (Ground Water) ثم بعد ذلك إلى المياه السطحية أحياناً كالبحيرات والمجاري المائية المختلفة، أو تصل المياه من اليابسة إلى هذه المسطحات المائية بوسيلة الجريان السطحي. وتلعب التربة دوراً هاماً في تنظيم هذه الدورة حيث يُمكن أن تحتفظ بالرطوبة ضد الجاذبية الأرضية وتوفر بذلك وسط ملائم للحياة النباتية والحيوانية على سطح اليابسة.

شكل يوضح دورة المياه في الطبيعة

الميزانية المائية (Water Budget)

تُؤثر مكونات الدورة الهيدرولوجية على الميزانية المائية خلال فترة زمنية معينة تبعاً للمعادلة الآتية:

$$G = P - (ET + R_1 + R_2)$$

حيث:

G = التغير في كمية الماء بالأرض (وقد تكون بالسالب أو بالموجب).

P = كمية الماء المضافة (سواء بالري أو بالأمطار).

ET = كمية الماء المفقودة (بالنتح والبخر).

R_1 = كمية الماء التي تُفقد بالجريان السطحي

R_2 = كمية الماء التي تفقد بالسريان العميق.

ويُحدد مناخ كل منطقة ميزانيتها المائية وبالتالي يُمكن تحديد الميزانية المائية لكل منطقة من خلال البيانات المناخية خلال فترة طويلة من السنوات.

صور الماء الأرضي (Forms of Soil Water)

تُعتبر دراسة العلاقات المائية في الأراضي واحدة من أهم الدراسات لأسباب منها:

* معرفة الكمية الكافية لإحتياجات البخر والنتح من النباتات النامية.
* مدى تيسير الماء للنباتات عندما تحتاج إليه.
* معرفة الإحتياجات الغسيلية من الماء والتي تلزم لخفض مستوى الأملاح في الأراضي الملحية.
* وفرة الماء الذي يعمل كمُذيب للمغذيات بالتربة مُكوناً المحلول الأرضي.

ولذا كان من الواجب معرفة تأثير خواص الأرض على الآتي:

1- تحرك الماء إلى داخل الأرض وخلالها.

2- سعة الأراضي لاختزان الرطوبة.

3- تيسير الرطوبة الأرضية للنباتات الراقية.

فكل من هذه العوامل يتعلق بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بحجم وتوزيع مسام الأرض وباحتفاظ حبيبات الأرض بالماء.

الجدول التالي يوضح العلاقة بين حجم المسام المختلفة للتربة وقيمة الشد الرطوبي بها.

جدول يوضح العلاقة بين حجم المسام المختلفة للتربة وقيمة الشد الرطوبي

القسم	حجم المسام (ميكرون)	الشد الرطوبى المقابل (سم)
مسام الصرف السريع (Quickly drainable pores)	أكبر من 28.8	أقل من 100 (أقل من 0.1 ض ج)
مسام الصرف البطيء (Slowly drainable pores)	8.62 –28.8	330 – 100 (0.33–0.1 ض ج)
مسام حفظ الماء (Water holding pores)	0.19 –8.62	15,000 –330 (15 –0.33 ض ج)
المسام الشعرية الدقيقة (Fine capillary pores)	أقل من 0.19	أكبر من 15,000 (أكبر من 15 ض ج)

الثوابت المائية للتربة (Soil water constants)

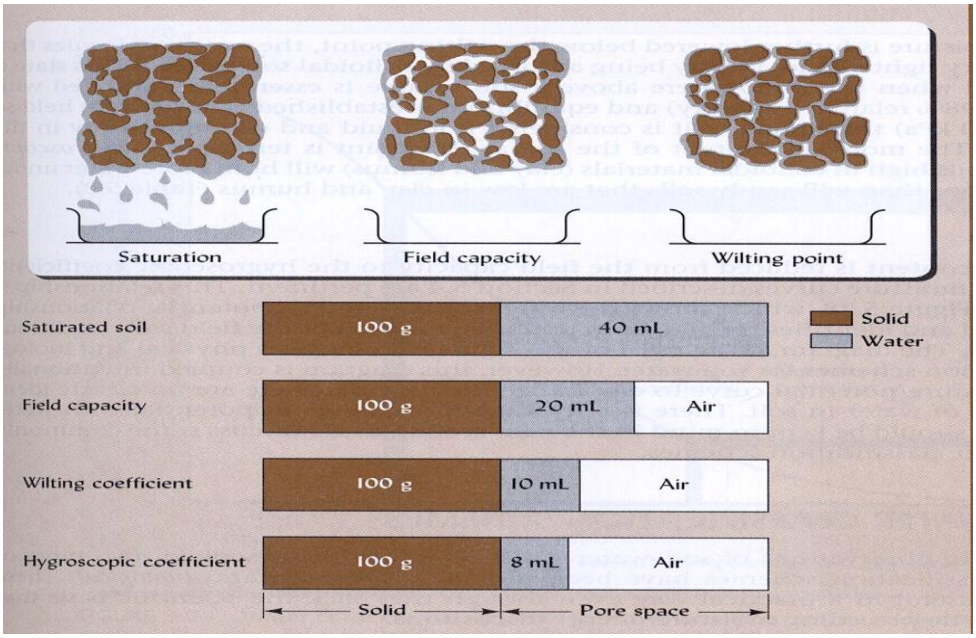
السعة التشبعية العظمى (Maximum Water Holding Capacity)

عندما تروى الأرض بمياه الري أو عندما تسقط أمطار غزيرة على سطح الأرض فإن الماء يدخل إلى الأرض ويحل محل الهواء، وتُصبح الطبقة السطحية من التربة مُشبعة (أي أن مسام الأرض كبيرها وصغيرها يُصبح مملوءاً بالماء). وينتج عن إستمرار إضافة الماء تحركه إلى أسفل وإحلالها محل الهواء، وعند النقطة التي تُصبح فيها جميع المسام ممتلئة بالماء يُطلق على الأرض حينئذ أنها مُشبعة بالماء وأنها عند سعتها الإحتفاظية العظمى.

السعة الحقلية (Field Capacity)

وهى عبارة عن المحتوى الرطوبي للتربة والتي تحتفظ به بعد صرف الماء الحر الزائد(ماء الجذب الأرضي) ويكون هذا عادة بعد 1- 3 يوم من الري أو سقوط الأمطار على التربة. وتختلف السعة الحقلية باختلاف قوام التربة وبنائها. والسعة الحقلية تمثل الحد الأعلى للماء الميسر للنبات في التربة. وعند هذه النقطة

يكون الماء قد تحرك من المسام الكبيرة (Macropores) وحل محله الهواء. أما المسام الدقيقة (Micropores) فإنها لاتزال ممتلئة بالماء.



شكل يوضح الإتزان المائي- الهوائي بالتربة عند ثوابت الرطوبة المختلفة

نقطة الذبول الدائم (Permanent wilting point)

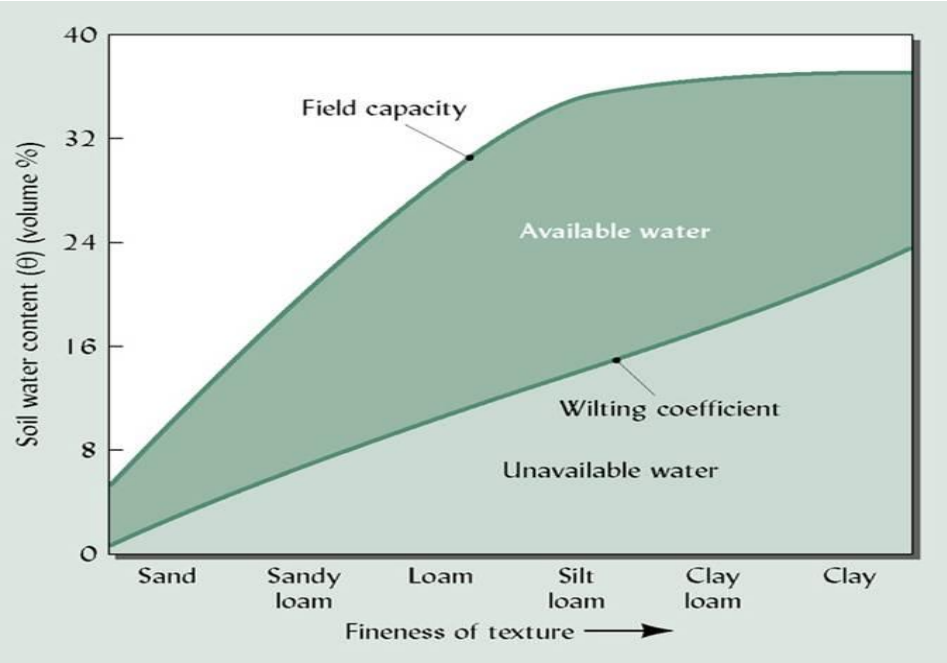
وهى عبارة عن المحتوى الرطوبى للتربة والذي يعجز عنده النبات النامي بالتربة عن تعويض مايفقده من ماء خلال عملية النتح فيذبل ذبولاً مستديماً لحدوث تغيرات غير عكسية في بروتوبلازم خلاياه. وعلى هذا فإن الذبول الدائم ليس نقطة ثابتة لجميع النباتات وإنما يختلف من نبات لآخر. كما أنه يجب التفريق بين الذبول الدائم وحالة أخرى من الذبول المؤقت (Temporary wilting) الذي تصل إليه النباتات تحت ظروف جوية معينة عندها يكون مُعدل النتح من المجموع الخضري النبات أكبر من مُعدل الإمتصاص بواسطة المجموع الجذري، ويُمكن للنبات أن يسترد حالته الطبيعية عند إضافة الماء أو مع تحسُن الظروف الجوية المسببة للذبول.

الماء الهيجروسكوبي (Hygroscopic water)

وهو عبارة عن المحتوى الرطوبى للتربة عندما تكون في حالة اتزان مع الهواء الجوى (تربة جافة هوائياً). ويُعرف الماء الهيجروسكوبي بكمية الرطوبة التي تحتفظ بها أرض جافة تماماً إذا ماعرضت لجو مُشبع تماماً ببخار الماء، أو بعملية تعريض طبقة رقيقة من أرض جافة تماماً لجو ذو رطوبة محددة تحت ظروف درجة حرارة ثابتة، وعندما تصل إلى حالة الإتزان، يُقدر المحتوي الرطوبي في العينة ويعرف بأنه المعامل

الهيجروسكوبي. وكثيراً مايُستخدم حامض الكبريتيك بتركيز 3.3% في الجو المُحيط بالعينة حيث يُعطي رطوبة نسبية مقدارها 98.2%.

والماء الهيجروسكوبي يكون عادة ممسوك بقوة كبيرة جداً على سطح الحبيبات ولايتحرك إلا على صورة بخار، وتزداد نسبته في الأرض كلما زادت نسبة المواد الغروية المعدنية (الطين) والمواد الغروية العضوية (الدُبال) حيث تزيد حينئذ مساحة السطح النوعي.



شكل يوضح ثوابت الرطوبة في أراضي مختلفة القوام

قوى مسك الماء بالتربة (Water Holding Forces)

قبل أن يُشار إلى القوى التي تُمسك بها الأغشية المائية عند درجات الرطوبة المختلفة في الأرض يجب أن يُشار إلى أن إحتفاظ الأرض بالرطوبة ضد قوى الجاذبية الأرضية يرجع إلى قوىٍ ثلاث هي:

1- قوى التلاصق (Adhesion force): وهى قوى الكتروستاتيكية تسمح بربط جزيئات الماء على سطح التربة. وينشأ جهد الإلتصاق نتيجة ترتيب جزيئات الماء حول سطح حبيبات التربة بحيث تمسك جزيئات الماء بقوة تزداد بالقرب من سطح الحبيبات. وجذب الماء بهذه الطريقة يقلل من جهد الماء الحر. كما يمكن تفسير ذلك بأن سطح حبيبات التربة مشحون بشحنة سالبة يُمكنها جذب جزيئات الماء وربطها على السطح بروابط هيدروجينية.

2- قوى التجاذب (Cohesion force): يتحرك الماء بين حبيبات التربة في المسام الشعرية نتيجة قوى التوتر السطحي والذي ينتج عنها إرتفاع الماء في الأنابيب الشعرية بما يتناسب مع أقطارها. على ذلك نجد أنه كلما

صغُر حجم المسام بين الحبيبات إزدادت قدرة التربة على الإحتفاظ بالماء نتيجة زيادة قوى الشد لسطح الحبيبات.

3- قوى الأسموزية (Osmotic force): تحتوى التُرب على أيونات مُنتشرة في طبقة الماء المحيطة بالحبيبات مما يُنتج عنها ضغطاً إسموزياً عالياً. هذه الأيونات تؤدي إلى ربط جزيئات الماء على سطح حبيبات التربة.

وتبعاً لخاصية التلاصق تُمسك جزيئات الماء على سطوح الحبيبات الصلبة (Solid– Water Interface) وهذه الجزئيات الممسوكة ترتبط بدورها بخاصية تجاذبها بجزيئات الماء الأخرى (خاصية التماسك) وهاتان القوتان معا تجعلان من المُستطاع لحبيبات الأرض أن تحتفظ بالماء أو يتحرك خلالها في الإتجاهات الثلاثة (X,Y,Z). يُمسك الماء في الأرض بقوى الإدمصاص والشد ولابد من بذل شُغل لإزالة الماء أو تحركه. والشد الممسوك به هذا الماء يتوقف على الكمية الموجودة منه في الأرض، فكلما قلت هذه الكمية كلما زاد مقدار الشد الممسوكة به.

جُهد ماء التربة (Soil water potential)

إتضح من الدراسات العلمية أن المحتوى الرطوبي للتربة لايكفى لتحديد حالة الرطوبة في التربة soil water (status) وذلك نتيجة الملاحظات التالية:

1- رغم تواجد نفس المحتوى الرطوبي لها فإن سلوك الماء في التُرب المختلفة يختلف.

2- إختلاف نمو النباتات في التُرب المختلفة رغم تساويها في المحتوى الرطوبي.

3- عند وضع تُرب مختلفة القوام ولها نفس المحتوى الرطوبي في حالة تلامس مع بعضها فقد لوحظ إنتقال الماء من تربة إلى أخرى (من التربة خشنة القوام إلى التربة ناعمة القوام).

بناءً على هذا لابد من وجود مفهوم آخر لاستكمال الصورة ويُعطى تحديد تام للحالة المائية للتربة. هذا المفهوم الجديد يُسمى جُهد ماء التربة (Soil water potential).

والماء مثله مثل أي مادة يكون له طاقة جهد أو طاقة حركة. وتُعرف طاقة الجهد بأنها المقدرة على بذل الشغل. وعلى هذا فإن جهد الماء يقيس مقدرة ماء التربة على التحرك أو إنتاج حرارة.

تعريف جهد ماء التربة (Definition of Soil water Potential)

يُعرَّف جهد ماء التربة على أنه مقدار الشغل الذي يجب بذله من وحدة الكمية من الماء (كتلة أو حجم) الموجودة في حالة اتزان في نظام التربة- الماء عندما تتحرك هذه الوحدة من التربة إلى نقطة ما في الحالة

المرجعية عند نفس درجة الحرارة. والحالة المرجعية (Reference state) التي يتم إختيارها عادة هي الماء الحر النقي المُعرض للضغط الجوي عند نفس درجة الحرارة.

والجهد الكلى لماء التربة (Total soil water potential) هو مجموعة من الجهود مسؤولة عن طاقة ماء التربة أو مسك الرطوبة حول حبيبات التربة الصلبة. ويمكن التعبير عن جهد ماء التربة بالمعادلة التالية:

$$\psi_w = \psi_m + \psi_s + \psi_p + ...$$

$$\psi_t = \psi_w + \psi_z$$

$\psi_w = \text{water potential}$

$\psi_m = \text{matric potential}$

$\psi_s = \text{solute potential}$

$\psi_p = \text{pressure potential}$

$\psi_z = \text{gravity potential}$

$\psi_t = \text{total water potential}$

ويُعبر عن جهود ماء التربة بالشغل لوحدة الكتلة (جول/ كيلوجرام) أو الشغل لوحـــدة الحجم (جـول/ متر مكعب) أو الشغل لوحدة الوزن (جول/ نيوتن).

وفيما يلي وصف لمكونات جهد ماء التربة:

* الجهد الماتري (Metrics Potential): حيث أن جزيئات الماء تكون روابط هيدروجينيـة مع سطح حبيبات التربة بقوى إدمصاص أو تجاذب (Adhesion force) وكذلك بين جزيئات الماء وبعضها بقوى إلتصاق (Cohesion force). حيث أن قوى الإدمصاص بين جزيئات الماء وسطح التربة تتكون على السطح مباشرة وتتوزع خلال ماء التربة نتيجة قوى الإلتصاق بين جزيئات الماء. وأن أي قوى خارجية تحاول إزالة أو نزع الماء من على سطح التربة لابد لها من التغلب على هذه القوى (قوى الإدمصاص وقوى الإلتصاق). وهذا يضع ماء التربة تحت شد (Tension) وهذا الشد يسبب طاقة جهد (Potential Energy) للماء لتقليل طاقته أو جهده للوصول إلى طاقة الماء الحر بـ Free Water Energy (ليس تحت أي قوى شد). لهذا فإن الماء في التربة يُمسك على سطح الحبيبات بسبب إدمصاص الماء على سطح حبيبات التربة.

والماء الممسوك بقوى الشد يكون له طاقة جهد أقل مقارنة بالماء الحر، ولذا سوف يكون له جهد مائي أقل. والنقص في جهد ماء التربة بسبب الإدمصاص على سطح حبيبات التربة يُسمى الجهد الماتري أو جهد المادة الصلبة (Metrics Potential). والجهد الماتري دائماً يكون سالب أو يساوي صفر في حالة التربة المشبعة.

* الجهـــد الأسمـــوزي (Osmotic Potential) أو الجهـــد الملحـــي (Solute Potential): وجود الأملاح الذائبة في الماء يقلل من طاقة جهد ماء التربة مقارنة بالماء النقي (Pure Water) والذائبات التي تقلل من

طاقة جهد الماء تُسمى (Osmotically Active Solutes) أي الذائبات النشطة إسموزياً وهى تُسبب نقص في طاقة الجهد.

والأملاح غير العضوية دائماً نشطة إسموزياً وعديد من الجزيئات العضوية تكون نشطة إسموزياً.

ونقص طاقة الجهد نتيجة الأملاح الذائبة ترتفع جزئياً عند حدوث التأدرت (Hydration) للمذاب أو تكوين روابط كيميائية بين المُذاب وجزيئات الماء. لهذا فإن الذائبات تُقلل من طاقة جهد الماء في المحاليل النموذجية حيث لايحدث تداخلات كيميائية. ماء التربة باستمرار ليس ماء نقى فهو يحتوي على أملاح ذائبة ولذا فهو دائماً يُكون محلول ووجود الذائبات النشطة إسموزياً به تقلل من جهد ماء التربة. إن الإنخفاض في جهد ماء التربة الناشيء عن وجود الذائبات النشطة إسموزياً يُسمى الجهد الأسموزي (Osmotic Potential) أو الجهد الملحي (Solute Potential). والجهد الأسموزي أو الجهد الملحي دائماً سالب أو يساوى صفر في حالة الماء النقي.

* جهد الضغط (Pressure Potential): إضافة أي ضغط خارجي موجب على الجسم يؤدي إلى زيادة طاقة الجهد للجسم. أما إضافة ضغط سالب (الشد) للجسم فيُقلل من طاقة الجهد، وهذا صحيح بالنسبة للماء أيضاً. فالتغير في جهد الماء الناشيء عن إضافة ضغط أو شد لماء التربة يُسمى جهد الضغط (Pressure Potential) وهذا يعني أنه لابد من إضافة الضغط الخارجي وليس داخلياً كما هو متولد في حالة الجهد الماتري.

والضغط المُضاف على ماء التربة يُمكن أن يأتي من مصادر عديدة، لكن المصدر الأساسي هو ضغط الماء أو تراكم الماء على سطح التربة أو مايُسمى الضغط الهيدروستاتيكي (Hydrostatic Pressure). فالماء باستمرار يغمر سطح التربة أثناء الري أو المطر الشديد، هذا الماء يُسبب ضغط موجب على ماء التربة. وعندما لايوجد ماء على سطح التربة فإن الضغط المُضاف الخارجي على التربة هو فقط الضغط الجوى وهو حالة الضغط المميز للحالة المرجعية (Reference State) لجهد ماء التربة. على هذا فإنه في حالة عدم وجود غمر لسطح التربة فإن جهد الضغط يُساوى صفر. هذه الزيادة في الضغط المُضاف تزيد طاقة الجهد لماء التربة ويكون الضغط باستمرار موجب.

* جهد الجاذبية (Gravity Potential): وضعية ماء التربة في القطاع يؤثر على جهد ماء التربة بنفس الطريقة كما يحدث مع الأجسام الأخرى. فالصخر الموجود في أعلى الجبل له إرتفاع أعلى في مجال الجاذبية الأرضية عن الموجود في قاعدة أو أسفل الجبل. لهذا فإن له طاقة جهد أعلى. وماء التربة الذي يقع في أعلى قطاع التربة يكون له طاقة جهد أعلى عن ذلك الموجود في أسفل القطاع. على هذا فإن الزيادة أو النقص في جهد ماء التربة الناشيء عن التغيرات في الإرتفاع يُسمى جهد الجاذبية (Gravity Potential).

حركة الماء من المناطق ذات جهد الجاذبية الأعلى (إرتفاع أعلى) إلى مناطق لها جهد جاذبية أقل (إرتفاع أقل) هو السبب في العبارة الشائعة (الماء يجري لأسفل الجبل) أو العبارة المصرية الشائعة (الماء لايجري في

العالي). وبصفة عامة فإن الماء يتحرك من المناطق ذات جهد الماء العالي إلى المناطق ذات جهد الماء المُنخفض وليس كما في حالة جهد الجاذبية.
والحالة المرجعية لماء التربة فيما يتعلق بقوى الجاذبية هو مفهوم إختياري ولكنه محدد. فلابد من إختيار المستوى الذي عنده يُمكن إعتبار جهد الجاذبية مساوي للصفر (المستوى القياسي) وهو عادة سطح التربة أو مستوى الماء الأرضي أو مستوى سطح البحر ولكنه يُمكن أن يكون عند أي مستوى معرف سبق تحديده.
وجهد الجاذبية يمكن أن يكون موجب أو سالب فماء التربة الذي يقع فوق المستوى القياسي أو المرجعي سوف يكون موجب والعكس صحيح .

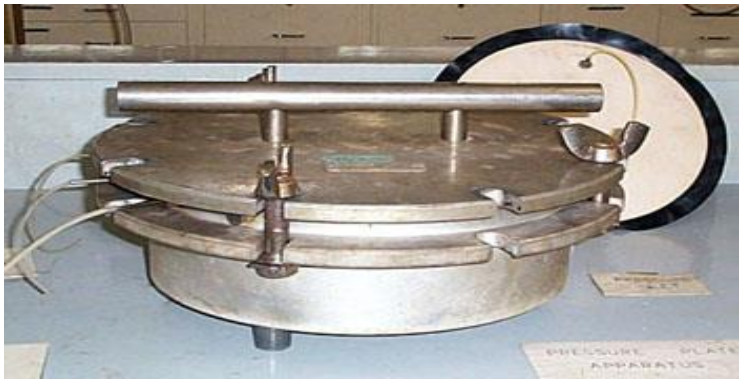
منحنى رطوبة التربة (Soil Moisture Characteristic Curve)

تُسمى العلاقة بين القوى الممسوك بها الماء على سطح حبيبات التربة ومحتوى التربة من الرطوبة بمُنحنى الشد الرطوبي (Soil Moisture Tension Curve) أو يُسمى منحنى إحتفاظ التربة بالماء Soil Moisture (Retention Curve). ويتوقف شكل منحنى الشد الرطوبي للترب المختلفة على قوام التربة وبناء التربة. في حالة الترب الرملية خشنة القوام فإن منحنى الشد الرطوبي يكون شديد الإنحدار مقارنة بمُنحنى الشد الرطوبي للترب الطينية دقيقة القوام وذلك في مدى الشد الرطوبي المُنخفض. ويرجع ذلك إلى كبر حجم المسام وصغر السطح النوعي في حالة الترب الرملية مما يكون نتيجته سهولة فقد الماء منها عند ضغوط منخفضة.
عند نفس الشد الرطوبى نجد أن الترب الطينية تحتوى على كمية من الرطوبة أعلى من الترب الرملية. وعند نفس كمية الرطوبة نجد أن الماء يكون ممسوك بقوى شد أعلى في الترب الطينية عن الترب الرملية.

ويُفيد منحنى الشد الرطوبي للتربة في التعرف على سلوك التربة في إمداد النبات بالماء ومدى إحتفاظها بالرطوبة عند الشدود المختلفة. كذلك يُفيد المنحنى في التعرف على ثوابت الرطوبة المختلفة مثل السعة الحقلية ونقطة الذبول المستديم وهي قيم خاصة مميزة لنوع التربة. حيث أن ماء التربة يكون ممسوك بقوى شد ثابتة كما ذكرنا. هذه الثوابت تُفيد في حسابات كمية مياه الري المطلوبة كما سيتم توضيحه فيما بعد. ويُمكن التعبير عن دالة إحتفاظ التربة بالماء بصيغ رياضية مختلفة.

يُمكن تقدير منحنى الشد الرطوبي للتربة بوضع كمية من التربة فى حلقة كاوتشوك بقطر5 سم وسمك 1 سم وتوضع العينة على قرص مسامي ويتم التشبيع لمدة 24 ساعة، كما بالشكل التالي. حيث يوضع القرص المسامي فى الجهاز (جهاز القرص المسامي Pressure Plate Extractor) ويتم إضافة ضغوط من

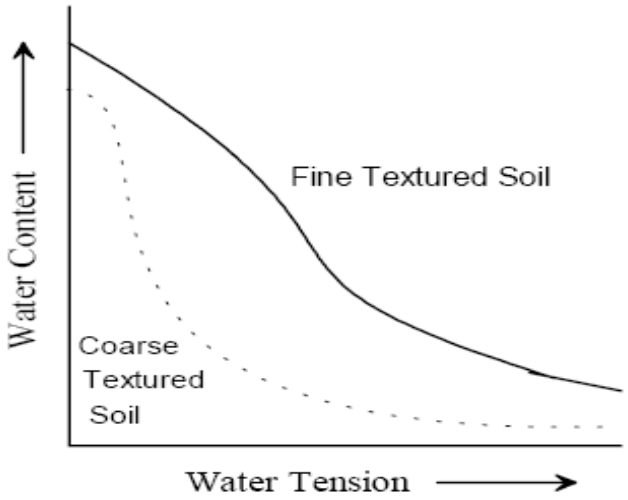
0.1 الى 15 بار وعند الإتزان تؤخذ العينة ويُقدر المحتوى الرطوبي للعينة. يتم رسم العلاقة بين الضغط المُضاف والمحتوى الرطوبي المقابل والشكل الناتج يُسمى منحنى الشد الرطوبي.



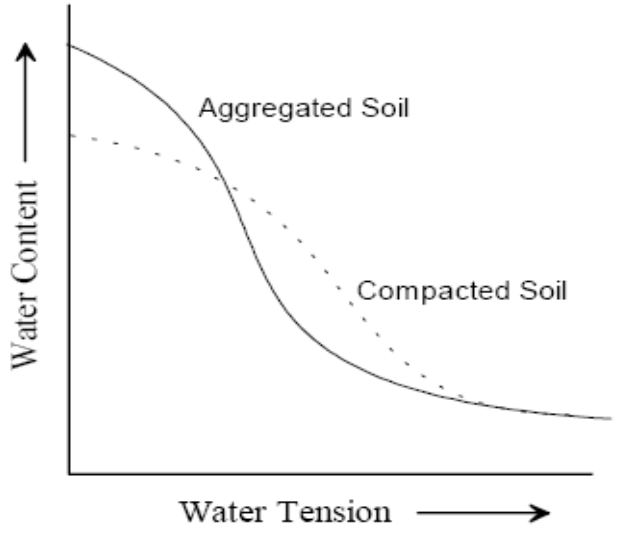
شكل يوضح جهاز القرص المسامي لتقدير منحنى الشد الرطوبي

والجدول التالي يوضح العلاقة بين قوام التربة والثوابت المائية لها.

قوام التربة	السعة الحقلية (%)	نقطة الذبول الدائم (%)	الماء الميسر (%)
رملية (Sandy)	12 - 6	6 - 2	6 - 4
طميية رملية (Sandy loam)	18 - 10	8 - 4	10 - 6
طميية (Loam)	26 - 18	12 - 8	14 - 10
طميية طينية (Clay loam)	31 - 23	15 - 11	16 - 12
طينية سلتية (Silty clay)	35 - 27	17 - 12	18 - 14
طينية (Clay)	39 - 31	19 - 15	20 - 18



شكل يوضح تأثير قوام التربة على منحنى الشد الرطوبي



شكل يوضح تأثر بناء التربة على منحنى الشد الرطوبي

تصنيف الماء الأرضي

يُمكن تصنيف الماء الأرضي تصنيفاً فيزيائياً حسب القوى المؤثرة عليه إلى ماء حر أو ماء شعري أو ماء هيجروسكوبي، أو تصنيفاً بيولوجياً على أساس مدى تيسره للنبات النامي إلى ماء فائض أو ماء ميسر أو ماء غير ميسر.

▪ ***التصنيف الفيزيائي (The Physical Classification)***

تصنف رطوبة الأرض حسب القوى المؤثرة عليها إلى ثلاثة صور هي:

* الماء الحر (أو ماء الصرف) ويتصف بالآتي:

1- هو الماء الموجود في مسام الأرض زيادة عما تحتفظ به الأرض عند السعة الحقلية.

2- غير مرغوب فيه ويُفقد بالصرف.

3- يتحرك إستجابة لقوي الجاذبية الأرضية.

4- تُفقد معه المُغذيات.

* الماء الشعري ويتصف بالآتي:

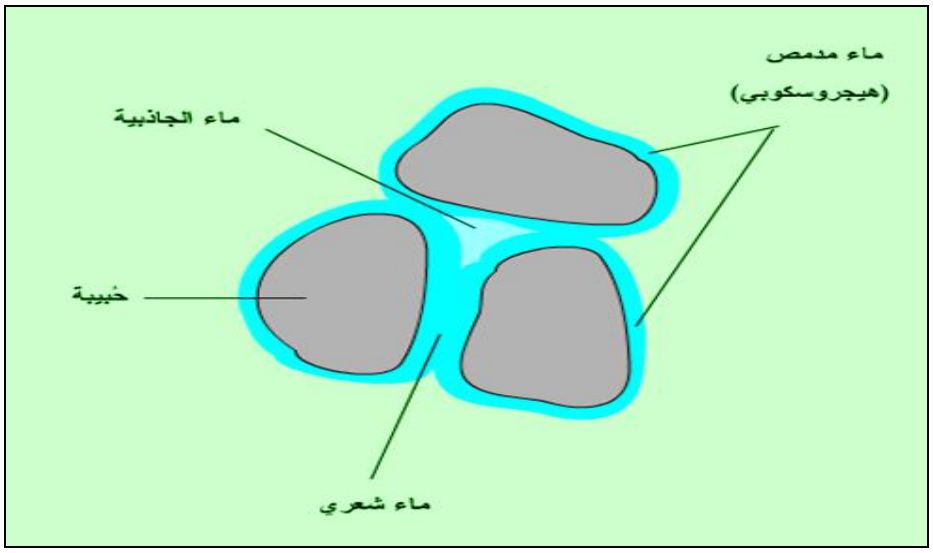
1- ممسوك بالقوى الشعرية في المسام الشعرية للتربة بين السعة الحقلية والمعامل الهيجروسكوبي.

2- قوي شد الأغشية للماء تتراوح بين حوالي 0.06 إلى 31 ضغط جوي.

3- جزء منه متيسر لجذور النبات.

4- يتحرك نتيجة للإتزان بين الأغشية السميكة والأغشية الرقيقة.

5- جزء منه فقط يكون مُيسر للإمتصاص بواسطة النبات النامي.



شكل يوضح صور الماء في التربة

* الماء الهيجروسكوبي ويتصف بالآتي:

1- ممسوك بقوى الهيجروسكوبية على صورة أغشية حول الحبيبات.

2- قوة مسك الماء عند السطح المشترك بين الهواء والماء هي -31 ضغط جوي، وقوة مسك الماء عند السطح المشترك بين الماء والسطح الصلب هي -10,000 ضغط جوي.

3- يتحرك في الغالب على صورة بخار خلال مسام التربة.

إن الرطوبة الموجودة في الأرض ليست جميعها في حالة مُيسرة لجذور النباتات. وعلى ذلك يُمكن تقسيم الماء الأرضي بيولوجياً إلى:

* الماء الفائض: يُعبر عن الرطوبة بالأرض التي تزيد عن السعة الحقلية وقوة مسكه أقل من قوى الجاذبية الأرضية، وهو الماء الحر في التصنيف الفيزيائي. وتراكمه يشجع الظروف اللاهوائية غير المناسبة لنمو النبات ونشاط البكتريا المُفيدة حيث يملأ المسام الكبيرة وبالتالي تقل التهوية وتزداد الحالة سوء كلما إقتربنا من نقطة التشبع وبالتالي من وجهة النظر الزراعية يُطلق عليه (ماء فائض).

* الماء الميسر: يُعتبر الماء الميسر هو القدر الذي تحتفظ به الأرض فيما بين السعة الحقلية ومُعامل الذبول. وتدل بُحوث الإحتياجات المائية للنباتات أنه للحصول على النمو الأمثل للمحصول يجب إلا يُنتظر حتى تصل نسبة الرطوبة في الأرض إلى مُعامل الذبول بل يجب أن تضاف للأرض الرية التالية عندما يكون من 50 إلى 70 في المائة من الماء الميسر قد أستنفذ. وبمعنى آخر أنه حينما يقترب المحتوى الرطوبي من مُعامل الذبول فإن معدل إمتصاص جذور النباتات للماء لاتكون بالدرجة التي تكفي للمحافظة على نمو مثالي للنبات.

* الماء غير ميسر: وهو الماء الذي يُمسك في الأرض عند نقطة الذبول. وهذا الماء يشمل جزء من الماء الشعري والماء الهيجروسكوبي. وهو غير صالح للنبات وممسوكاً بقوة كبيرة تُعتبر أكبر من طاقة النبات على إمتصاص الماء.

حركة الماء الأرضي (Soil Water Movement)

يتحرك الماء في الأرض (كما سبق أن ذُكر) تبعاً لسُمك الغشاء المائي من الجهة الأكثر رطوبة إلى الجهة الأقل رطوبة، أي من الشد الرطوبي المنخفض إلى الشد الرطوبي العالي. ويُمكن تمييز حركة صعود الماء الشعري إلى أعلى بالسريان غير المشبع (Unsaturated Flow) وهبوط الماء إلى أسفل بالرشح بالسريان المشبع (Saturated Flow).

صعود الماء الشعري في الأراضي

من المعروف أن إرتفاع عمود الماء في الأنابيب الشعرية يزداد كلما صغر نصف قطر الأنبوبة الشعرية، وأنه عند الإتزان يكون ثُقل عمود الماء في الأنبوبة الشعرية مساوياً لقوة الشد إلى أعلى بالجذب السطحي، أي أن:

$$\pi r^2 h \rho_L g = 2 \pi r \delta$$

حيث:

r = نصف قطر الأنبوبة (سم).

h = إرتفاع السائل في الأنبوبة (سم).

ρ_L = كثافة السائل (جم/ سم^3).

g = قوة الجاذبية الأرضية (داين).

δ = التوتر السطحي للسائل (داين/ سم).

π = 3.14.

ومن القانون السابق يمكن حساب إرتفاع السائل في الأنبوبة (h) كالآتي:

$$h = 2\pi r \delta / \pi r^2 \rho_L g = 2\delta / r \rho_L g$$

ويتضح من هذا القانون أن الإرتفاع الذي يصعد إليه الماء في الأنبوبة الشعرية يزداد كلما صغر نصف قطرها. ويجب التنويه هنا إلى أن المسام الشعرية في الأرض تكون عادة غير متجانسة وذلك نتيجة لطبيعة المسام المُلتوية وإختلافها في الحجم وكذلك لوجود هواء محصور داخلها. وعموماً نجد أن الإرتفاع الناتج عن الخاصة الشعرية عادة ما يكون أكبر في الأراضي ناعمة القوام إذا أعطيت الوقت الكافي. ويُمكن تفسير هذا على أساس دقة المسام الشعرية فيها ومدى إتصالها. أما في الأراضي الرملية فيكون صُعود الماء الشعري أقل لاتساع قُطر المسام فيها.

أهم العوامل التي يتوقف عليها صُعود الماء الشعري

هناك العديد من العوامل التي لها تأثير مباشر على صُعود الماء الشعري بالتربة مثل:

* قوام التربة: يزداد صُعود الماء الشعري كلما زادت نعومة قوام التربة وبالتالي فإن صُعود الماء بالخاصية الشعرية في الأرض الطينية يكون أكبر منه في الأرض الرملية.

* بناء التربة: تتأثر سعة المسام ببناء التربة، فدمج (كبس) الأرض الرملية يعمل على تقليل قُطر المسام فيها ويزيد عددها وتتحول المسام الواسعة إلى مسام ضيقة وهذا يزيد من إرتفاع صعود الماء فيها.

* المادة العضوية: تعمل زيادة المادة العضوية على زيادة نسبة الماء الشعري في التربة وذلك لكبر سطح المادة العضوية وزيادة المسامية الناتجة عن إضافتها وتحسينها للبناء الأرضي.

* عُمق التربة: كلما إرتفع عمود التربة عن مستوى الماء الأرضي كلما قل الماء الشعري، وبالتالي فالطبقات القريبة من مستوي الماء الأرضي يكون محتواها الرطوبي أعلى من الطبقات البعيدة عن مستوى الماء الأرضي.

الرشح (Infiltration)

عندما يضاف الماء إلى الأرض سواء بالمطر أو بالري فإنه يخترق سطح الأرض ويحل محل الهواء في المسام بادئاً بالمسام الكبيرة ثم الدقيقة. فإذا زاد الماء عن ذلك فإنه يتحرك إلى أسفل بطريقة يُطلق عليها السريان المُشبع (Saturated Flow) الذي تُشجعه قوى الجاذبية الأرضية. وتستمر مثل هذه الحالة إلى أسفل طالما هُناك إمدادات كافية من الرطوبة ولم تعترضها عوائق. وتُعزى هذه الحركة إلى قابلية الأرض للإبتلال وإلى القوة الدافعة للحركة الناشئة عن الفروق في الضغط مابين الضغط العالي في الماء المُضاف إلى سطح الأرض والضغط الناشيء عن الماء في التربة. كما أن الجاذبية الأرضية تُساعد أيضاً على حركة هذا الماء إلى أسفل، وكلما زاد الفرق بين ضغط الماء على سطح التربة وضغط الماء في التربة المبتلة كلما زادت سرعة دخول الماء في التربة. وباستمرار سريان الماء في التربة يقل هذا الفرق في الضغط تدريجياً، وسرعة سريان الماء تقل تبعاً لذلك.

طريقة قياس سرعة الرشح في الحقل

تُقاس سرعة رشح المياه (Infiltration Rate) في الحقل بقياس معدل هبوط سطح المياه المُضافة للتربة تحت ظروف تكفل الرشح إلى أسفل وتمنع أي رشح جانبي، ويعبر عنها بالسنتيمتر في الساعة أو بالبوصة في الساعة.

العوامل التي يتوقف عليها سرعة الرشح

تتعدد العوامل التي تؤثر في سرعة رشح الماء بالتربة، ومن أمثلتها:

* قوام الأرض: حيث يرشح الماء في الأرض خشنة القوام أسرع منها في الأرض ناعمة القوام، وذلك بسبب إتساع المسام في الأولى وضيقها في الثانية.
* بناء الأرض: يرشح الماء في الأرض المُفككة أسرع منه في الأرض المندمجة.
* ضغط عمود الماء فوق سطح الأرض: كلما زاد إرتفاع عمود الماء فوق سطح الأرض كلما كان ضغطه كبيراً فتزداد تبعاً لذلك سرعة الرشح.
* درجة الحرارة: يقل الجذب السطحي واللزوجة للماء كلما إرتفعت درجة الحرارة وبذلك تزداد سرعة الرشح.
* درجة الرطوبة بالأرض: سرعة الرشح في الأرض الجافة تكون أكبر من مثيلتها في الأرض المبتلة.
* وجود شقوق في الأرض: تُزيد الشقوق الموجودة بالأرض من سرعة الرشح في باديء الأمر، ولايكون لها تأثير عندما تنهدم هذه الشقوق.

يتحرك الماء خلال مسام التربة في صورة سائلة أو غازية. وأهم العوامل المسئولة عن حركة الماء السائل هو الجذب السطحي والجاذبية الأرضية. أما بالنسبة للحركة على الصورة الغازية فإن الفرق بين ضغط البخار في المسام يكون هو المسئول عن حركة بخار الماء فيها. وعلى ذلك يتأثر معدل تحريك الماء في الأرض بكلٍ من القوة المُحركة للماء والتوصيل الهيدروليكي. ويُمكن تمثيل العلاقة بين هذين العاملين وبين حجم الماء المُتحرك خلال الأرض بالمعادلة الآتية:

$$V = - K \times F$$

حيث:

V = حجم الماء النافذ في الثانية في مقطع مساحته الوحدة.

F = القوة المحركة للماء أو مايُسمي التدرج الهيدروليكي.

K = معامل التوصيل الهيدروليكي (معامل النفاذية).

وتُقدر القوة المحركة للماء والتي سيطلق عليها القوة الدافعة بعاملين هما:

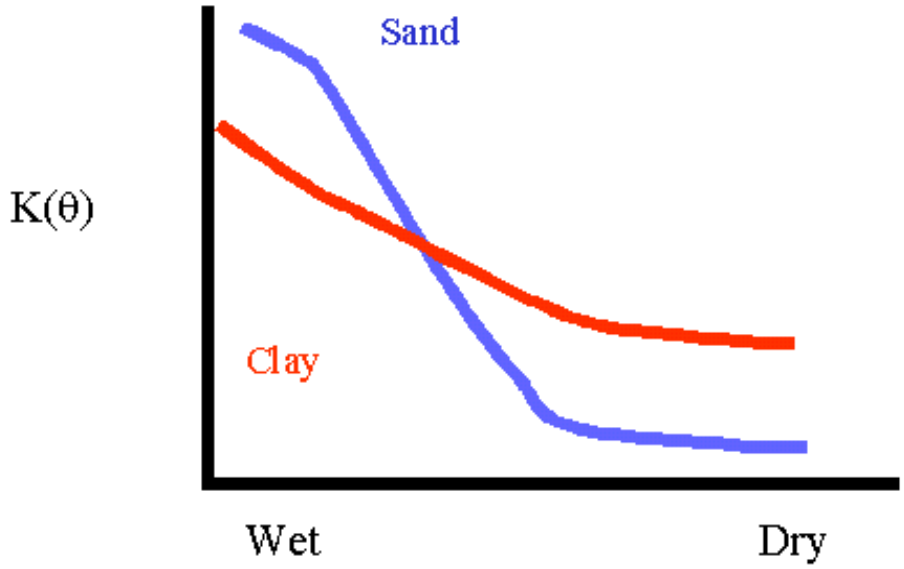
1- الإختلاف في الشد الغشائي أي إنحدار الشد.

2- الجاذبية الأرضية.

ومن الطبيعي أن الجاذبية الأرضية تؤثر على الحركة إلى أسفل فقط، أما إنحدار الشد فإن تأثيره قد يكون في أي إتجاه. وبالتالي فإن المحصلة بين هاتين القوتين تكون هي القوة الدافعة لحركة الماء. وهذه القوة يتوقف مقدارها وكذلك إتجاهها كما يحدث عند الحركة إلى أعلى في الخاصية الشعرية. ويُطلق على هذه القوة معامل التوصيل الهيدروليكي (أو معامل النفاذية) في حالة التربة المُشبعة بينما يُطلق عليها معامل التوصيل الشعري في حالة التربة غير المشبعة. وعلى ذلك يُعرف معامل النفاذية بأنه عبارة عن مُعدل مرور الماء خلال وحدة المساحة عمودياً على إتجاه حركة المياه في التربة في وحدة من الزمن عند درجة حرارة 60 فهرنهيتية (15.5 مئوية).

ويتأثر معامل النفاذية بعدة عوامل منها قوام الأرض وطبيعة بناء الأرض وقوي الشد التي يُمسك بها الماء عند مستويات الرطوبة المختلفة ولزوجة الماء التي تتأثر بتغير درجة الحرارة. وفي حالة السريان المُشبع يكون الشد الرطوبي مساوياً للصفر ولأن التوصيل الهيدروليكي في الأراضي يتأثر بحجم المسام فإن درجة التوصيل الهيدروليكي في الأرض الطينية تكون مُنخفضة جداً إذا ماقورنت بالأرض الرملية. أما إذا إنخفض المستوى الرطوبي في الأرض إلى أقل من التشبع فإن التوصيل الهيدروليكي والذي يُفضل أن يُطلق عليه هنا التوصيل الشعري في الأرض غير المشبعة بالماء يقل بسرعة كلما زادت قوة الشد للماء نتيجة لإنخفاض

المستوى الرطوبي. والتوصيل الشعري يكون أكبر في الأراضي الطينية عنه في الأراضي الرملية لأنه يتأثر بشدة بالتوزيع الحجمي للمسام.



شكل يوضح تأثير قوام التربة على معامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع

حركة بخار الماء في الأرض

ينتقل الماء على حالة بخار من مكان لآخر في الأرض وقد ينتقل من الجو إلى الأرض ومن الأرض إلى لجو. وحركة بخار الماء تنشأ كما سبق الذكر من إختلاف ضغط البخار فينتقل من المكان ذو الضغط البخاري العالي إلى المكان ذو الضغط البخاري المنخفض. وطالما أن المحتوى الرطوبي في الأرض لايقل عن المعامل الهيجروسكوبي لها فإن الرطوبة النسبية في الهواء الأرضي تقترب من 100%. وعلى ذلك يُتوقع حركة بخار الماء في التربة نتيجة التغيرات في نسبة الرطوبة بها عن المعامل الهيجروسكوبي. وضغط بخار الماء في هواء الأرض يزداد بزيادة درجة الحرارة، وعلى ذلك فإذا حدث تغيُر في درجة الحرارة على مختلف أعماق التربة فإنه يترتب على ذلك حركة بخار الماء من المكان الدافيء إلى المكان البارد ويتكثف فيه. وعندما يكون الجو حاراً نهاراً ترتفع درجة حرارة سطح الأرض وعندما يكون الجو بارداً ليلاً فإن السطح يبرد سريعاً وتكون النتيجة أن كمية من بخار الماء تتحرك من الطبقة السفلى التي مازالت دافئة إلى الطبقة العليا الباردة ويتكثف فيها، كذا قد تتكثف بعض الرطوبة على سطح التربة من الهواء الجوي. وحركة بخار الماء قد يكون له شيء من الأهمية في إمداد النباتات الصحراوية المقاومة للجفاف بالمياه، فكثير منها يُمكنه أن يعيش على مستويات من الرطوبة أقل من معامل الذبول. وهذه النباتات مُكيفة لذلك بقلة عدد الثغور وزيادة طبقة الكيوتين. وعموماً فإن حركة الماء على صورة بخار ليس لها تأثير على الإنتاج الزراعي.

يُمكن أن يُطلق لفظ غطاء (Mulch) على أي مادة توضع على سطح التربة ويكون الغرض الأساسي منها منع فقدان الماء بالتبخر. ومن هذه الأغطية القش أو أوراق الأشجار أو بقايا النباتات من المحاصيل السابقة، وكلها تعمل على تقليل البخر من سطح الأرض، وقد يستعمل البلاستيك الأسود كغطاء لمنع البخر وكذلك لمنع نمو الحشائش.

ومن الطرق الشائعة هو عمل غطاء ترابي (Soil Mulch) وذلك بتفكيك سطح التربة بالعزيق أو الخربشة. وبهذه العملية تحتفظ الأرض بالرطوبة ويقل الفقد بالبخر وذلك بتقليل نقاط التلامس بين حُبيبات سطح التربة وحبيبات الطبقة السفلى مما يُضعف حركة الماء إلى أعلى وبالتالي قلة فقد الماء بالبخر. وأوضحت بعض الأبحاث أن تفكيك سطح التربة بغية تكوين غطاء طبيعي منها ليس من الضروري أن يحفظ الرطوبة بل أنه في بعض الحالات قد يُشجع على فقدان الطوبة للأسباب الآتية:

1- أن كمية كبيرة من الرطوبة تُفقد بالتبخير قبل أن تجف التربة إلى درجة تسمح بإجراء عمليات الخدمة.

2- في كثير من الحالات تنشأ طبقة سطحية رقيقة واقية نتيجة لفقد الماء الذي يسبق عمليات الخدمة، وهذه قد تصلح في حد ذاتها للحد من التبخير.

3- أن المحصول نفسه إذا كانت جذوره كثيفة نسبياً ومنتشرة في حيز كبير فإنها تعترض طريق الرطوبة المُتحركة إلى أعلى والتي كانت تصل إلى سطح التربة.

ويبدو من كل ذلك أن الغشاء الترابي قد لاينجح في منع الماء من الفقد بالبخر من سطح الأرض حتى لو كانت فترة الجفاف طويلة. وهذا لايُعني أن عمليات الخدمة من عزيق أو خربشة لاتفيد ولكن أهميتها تظهر بوضوح في الإبقاء على ظروف التهوية الجيدة ومقاومة الحشائش التي تنافس النباتات في الماء والغذاء.

الباب الثالث

كيميـــــاء الأراضي والميـــاه

Soil and Water Chemistry

مقدمـة

تُعتبر دراسة كيمياء الأراضي والمياه من الأهمية بمكان، فهي تمد الدارس بالمعرفة عن مسار التفاعلات التي تتم على أسطح الحبيبات الغروية في التربة والتي أهمها الطين (Clay) والدبال (Humus)، حيث إن هذه الغرويات تعتبر الجزء النشط كيميائياً في التربة مقارنة بغيرها من حبيبات التربة الخشنة (السلت والرمل). والدبال يُعبر عن المركبات العضوية المتبقية بعد عمليات التحلل البيولوجي للمواد النباتية والحيوانية التي تضاف للأرض، وهي البقايا العضوية المقاومة نسبياً للتحلل في التربة. وبالتالي فإن كيمياء الأراضي تشمل دراسة ومعالجة نظام الأرض باعتباره أكثر النظم اتصالاً بنمو النبات. لذلك فهي تهتم بالوقوف على مكونات التربة وتحديد مشاكلها من أجل حلها عن طريق برامج الإصلاح الكيميائي للأراضي بغرض تجهيز بيئة ملائمة لنمو النبات. كما تساهم أيضاً في دراسة التغيرات في طبيعة العمليات الكيميائية التي تُحدثها العمليات الزراعية في التربة للكشف عن الظروف المُثلى لنمو النباتات المختلفة في الأراضي بأنواعها. بالإضافة إلى معرفة مدى جودة المياه وتحديد نوعية مياه الري المناسبة والعمل على تجنب مخاطر تلوثها.

لذا فقد احتوى هذا الباب على أربعة فصول. إهتم الفصل الأول منها بالتركيب الكيميائي والمعدني لمكونات التربة، مع التركيز على شحنات سطح الغروي والأيونات المتبادلة عليه. بينما تطرق الفصل الثاني إلى عملية التبادل الأيوني والسعة التبادلية للأراضي والتي يتحدد بناءً عليها تبادل الأيونات بين الطور الصلب والطور السائل مع دراسة موسعة لحموضة التربة لأهميتها في تحديد التفاعلات الكيميائية الحادثة بها وبالتالي تحديد مدى احتفاظ التربة بالعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات. واختص الفصل الثالث بدراسة تركيب وكيمياء المادة العضوية بالتربة كمصدر لتحسين الصفات الطبيعية والخصوبية للتربة. واهتم الفصل الرابع بدراسة الصفات الفريدة للمياه ومصادرها ومعايير جودتها ومدى صلاحيتها للري.

المحاضرة الأولى

التركيب الكيميائي والمعدني للأراضي

Chemical and Mineralogical Composition of Soils

التركيب الكيميائي لمكونات التربة

تُعتبر التربة نظام مُعقد غير متجانس يُمثل نظام طبيعي مفتوح. وتتركب التربة من ثلاث مكونات (أطوار) هي:

▪ المكون الصلب (Solid Phase): يتكون أساساً من جزئين أحدهما معدني في مراحل مختلفة من التجوية للصخور الأصلية، والآخر عضوي ناتج من بقايا النباتات وجذورها علاوة على نشاط الكائنات الحية والتي تضيف للأرض بقايا أجسامها المتحللة، ويكون الجزء الصلب حوالي نصف حجم التربة وأكثر من ثلاثة أرباع وزنها.

والجزء المعدني يتكون من:

* معادن أولية: وهي التي تتكون نتيجة التجوية الطبيعية (تفتيت) للصخور.

* معادن ثانوية: وهي التي تتكون نتيجة التجوية الطبيعية والكيميائية والحيوية وبالتالي تختلف المعادن الثانوية عن مادة الأصل في صفاتها الطبيعية والكيميائية. مثال ذلك التحلل المائي لمعدن الأورثوكليز ليتكون الكاءولينيت، طبقاً للمعادلة التالية:

$$KAlSi_3O_8 \longrightarrow {}^{Hydrolysis} \longrightarrow HAl\,Si_3O_8 \longrightarrow H_4\,Si_3O_8 + Al_2Si_2O_5(OH)_4$$

الأورثوكليز مركب وسطي الكاءولينيت

والحبيبات المعدنية يمكن تقسيمها حسب حجمها إلى رمل (ذات أقطار بين 2 و 0.02 mm) وسلت (ذات أقطار بين 0.02 و 0.002 mm) وطين (ذات أقطار أقل من 0.002 mm).

والجزء الصلب الآخر عضوي، وهو إما:

* مواد عضوية آخذة في التحلل ناتج من بقايا النباتات وجذورها علاوة على نشاط الكائنات الحية والتي تضيف للأرض بقايا أجسامها المتحللة.

* مواد عضوية تحللت بالفعل ووصلت إلى حالة النضج مُكونة مايسمى بالدُبال (Humus).

ويُكون الجزء الصلب (معدني وعضوي) أكثر من نصف حجم التربة وأكثر من ثلاثة أرباع وزنها.

والشكل التالي يوضح التركيب الحجمي للطبقة السطحية من أرض معدنية جيدة الصرف.

شكل يوضح التركيب الحجمي للطبقة السطحية من أرض معدنية جيدة الصرف

▪ المكون السائل (Liquid Phase): هو ما تحتويه التربة من مياه ومكونات ذائبة فيها فيما يعرف بمحلول التربة (Soil Solution).

▪ المكون الغازي (Gaseous Phase): وهو عبارة عن مجموعة الغازات التي تتواجد في الفراغات البينية للتربة ويطلق عليه هواء التربة أو الهواء الأرضي (Soil Air). وكمية الهواء بالتربة تتوقف على مسامية التربة ونسبة الماء بها. ويختلف الهواء الأرضي عن الهواء الجوي في نسب مكوناته. والجدول التالي يبين % بالحجم لتلك المكونات:

نوع الهواء	(%) O_2	(%) CO_2	(%) N_2
الهواء الجوي	20.93	0.03	79.04
الهواء الأرضي	19.99	0.66	79.35

يُلاحظ من الجدول أن:

* ال CO_2% في الهواء الأرضي أكبر بحوالي 22 مرة قدر نسبته في الهواء الجوي. ويرجع ذلك إلى تنفس جذور النباتات والكائنات الدقيقة وتحلل المواد العضوية.

* نقص O_2% في الهواء الأرضي مقارنة بنسبته في الهواء الجوي أيضاً نتيجة تنفس جذور النباتات والكائنات الدقيقة وتحلل المواد العضوية.

ويمثل المكون السائل والغازي معاً نحو نصف حجم التربة ورُبع وزنها. والمكونات الثلاثة في حالة تداخل وتغير مستمر نتيجة العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الحادثة بها. ويمثل المكون السائل والغازي معاً نحو نصف حجم التربة ورُبع وزنها.

تتفاعل أطوار النظام الأرضي مع بعضها بطرق مختلفة ومتعددة، الأمر الذي ينعكس أثره الكبير على النباتات النامية. من أكثر هذه التفاعلات أهمية من الناحية التطبيقية هو ذلك النوع من التفاعلات التي تتم بين الطورين الصلب والسائل، ويتكون بذلك النظام المعقد.

التركيب الكيميائي والمعدني للرمل والسلت

تُعتبر حبيبات الرمل والسلت أجزاء دقيقة من الصخور والمعادن لمادة الأصل بمعنى أنها تحمل نفس صفات مادة الأصل التي تكونت منها التربة. والمعادن إما أن تكون معادن أولية (الكوارتز، الفلسبارات ومنها الأورثوكليز، الأمفيبولات ومنها الهورنبلند، والميكا البيضاء والسوداء) أو معادن ثانوية (أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألومنيوم). وهناك معادن غير سيليكاتية شائعة في الرمل والسلت (الكالسيت، الجبس). ويعتبر الكوارتز من أكثر المعادن شيوعاً بين حبيبات السلت والرمل لمقاومته عمليات التجوية.

التركيب الكيميائي والمعدني للطين

الطين عبارة عن حبيبات صلبة ذات أقطار أقل من 2 ميكرون (بحسب التقسيم الدولي). ويُطلق عليها إسم المعادن الثانوية السيليكاتية نظراً لأنها تُكون الغالبية العظمى لرواسب الطين الطبيعية الموجودة على سطح الأرض. وتعتبر معادن الطين السيليكاتية أهم معادن الطين المعروفة كما يوضحها الجدول التالي.

جدول يوضح التركيب الكيميائي لبعض معادن الطين السيليكاتية

إسم المعدن	التركيب الكيميائي للمعدن
الكاءولينيت (Kaolenite)	$Al_2O_3. 2SiO_2. 2H_2O$
المونتموريللونيت (Montmorillonite)	$CaOMgO. Al_2O_3. 4SiO_2. nH_2O$
الهالوسيت (Halloysite)	$Al_2O_3. 2SiO_2. 4H_2O$
النترونيت (Nontronite)	$CaOMgOFe_2O_3. 4SiO_2. nH_2O$
السيريسيت (Sericite)	$K_2O_3Al_2O_3. 6SiO_2. nH_2O$
الباليجورسكيت (Palygorskite)	$MgOAl_2O_3. 4SiO_2. nH_2O$

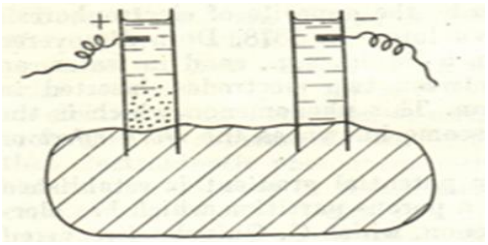
جميع تلك المعادن تحتوي على أكسيد السيليكون بجانب أكاسيد أخرى بنسب مختلفة.

يمكن توضيح أقسام المعادن السيليكاتية حسب نسبة السيليكون إلى الأكسوجين بها كما في الجدول الآتي:

Type	i : O
1- Nesosilicate	1 : 4
2- Sorosilicate	2 : 7
3- Cyclosilicate	1 : 3
4- Chainsilicate	
Single	1 : 3
Double	4 : 1
5- Phyllosilicate	2 : 5
6- Tectosilicate	1 : 2

يُلاحظ فى هذا الجدول أنه كلما اتجهنا إلى أسفل تقل نسبة الأكسوجين : السيليكون، وكذلك تزيد المقاومة للتجوية. ويحتوى قسم Phyllosilicate على مجموعة المعادن السيليكاتية الهامة والتى تشكل جزء كبير من كيمياء الأراضي.

وقد إكتشف العالم Reuss عام 1808م أن حبيبات الطين تحمل شحنة كهربائية، حيث استعمل التدرج في فرق الجهد الكهربي لإلكترودات مغمورة في أنابيب زجاجية مملؤة بالماء ومثبتة بقطعة من الطين الخام كما يوضحه الشكل التالي:



شكل يوضح أن حبيبات الطين تحمل شحنات كهربية

ولتوضيح ذلك هب أننا أخذنا قمع به ورقة ترشيح ووضع بها كمية من التربة وأضيف إليها محلول خلات الأمونيوم واستقبل المترشح في دورق، واختبر محتويات المترشح فإننا نجد أنه يحتوي علي كميات قليلة من الكالسيوم والماغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم وقد يظهر الهيدروجين وكذلك الألومنيوم. وعند مقارنة كمية كاتيون الأمونيوم التي أضيفت على صورة خلات الأمونيوم بكمية كاتيون الأمونيوم في المترشح نجد أنها نقصت في المترشح بمقدار يكافيء (علي أساس أوزان مكافئة) أنواع جديدة من الكاتيونات لم تكن موجودة أصلاً في المحلول المضاف. فإذا حللنا بعد ذلك التربة التي على ورقة الترشيح نجد أن كمية الأمونيوم التي امتصتها التربة تكافيء الكمية التي نقُصت من كمية كاتيون الأمونيوم في المترشح عن الأمونيوم في المحلول الأصلي المضاف، أي أن:

$$(NH_4^+) \text{ في المحلول الأصلي} = NH_4^+ \text{ (في المترشح)} + NH_4^+ \text{ (في التربة)}$$

فمن ذلك نري أن (NH_4^+) حل محل الكالسيوم والماغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والهيدروجين علي سطح حبيبات الطين والدبال، وأن هذه الكتيونات خرجت في المترشح. وهذه العملية يُطلق عليها تبادل الكاتيونات.

بناء على ماسبق يُعتبر الطين من أهم مكونات التربة للعديد من الأسباب منها:

1- يدخل الطين في تفاعلات كيميائية هامة نتيجة لخواصه الكهروكيميائية وسطحه النوعي العالي تجعله يشارك بقوة في تفاعلات التبادل الأيوني وتثبيت الأيونات بالتربة وبالتالي فهو مهم في تحديد الصفات الكيميائية للتربة ومدي ملائمتها لتغذية النبات.

2- يؤثر الطين على الصفات الطبيعية للتربة (النفاذية والبناء الأرضي) لقدرته على الإنتفاخ والإنكماش والتجمع والإنتشار.

3- تُعتبر معادن الطين نفسها مصدر لبعض العناصر اللازمة لنمو النبات وخاصة العناصر الصُغرى.

البناء البللوري لمعادن الطين

عند تحليل الطين كيميائياً وجد أن معظمه يحتوي على سيليكون وألومنيوم وماء بالإضافة إلى كميات مختلفة من الحديد والكالسيوم والماغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وغير ذلك. وكان الإعتقاد السائد أن هذا الجزء المعدني من غرويات الأرض غالبيته غير متبلور، ولكن باستخدام الأشعة السينية (X-Rays) وجد أن معظم معادن الطين ذات بناء بللوري مميز ولها صفات طبيعية وكيميائية مميزة. ويمكن القول بأنها مكونة من صفائح رقيقة جداً بعضها فوق بعض، وهذه الصفائح مكونة من وحدات بنائية مميزة.

وحدات بنائية ← صفيحة ← مجموعة صفائح ← معدن طين

وتختلف معادن الطين فيما بينها بعدد الوحدات البنائية المكونة لكل صفيحة من الصفائح.

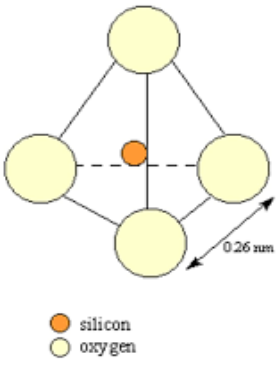
من أهم الطرق المستعملة الأن لتمييز نوع معدن الطين ما يلي:

1- الميكروسكوب الإلكتروني (Electron Microscope).

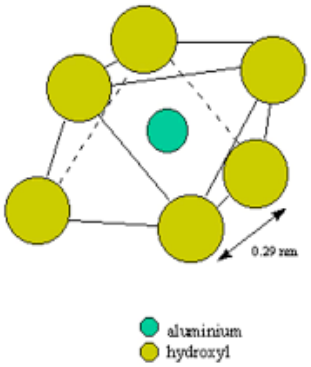
2- الأشعة السينية (X- Rays).

3- التحليل الحراري التفاضلي (D.T.A).

والوحدات البنائية الأساسية لتكوين بللورة معدن الطين إما أن تكون سيليكا تتراهيدرا أو الألومينا أوكتاهيدرا كما توضحه الأشكال التالية.



شكل يوضح تركيب
السيليكا تتراهيدرا



شكل يوضح تركيب
الألومينا أوكتاهيدرا

* سيليكا تتراهيدرا (Si- Tetrahedral) وهي عبارة عن إرتباط أيون سيليكون على مسافات متساوية مع أربع أيونات أكسوجين أو هيدروكسيل.

* ألومنيوم أوكتاهيدرا (Al- Octahedral) وهي عبارة عن طبقتين من أيونات الأكسوجين (O) أو الهيدروكسيل (OH) المتحدة مع بعضها في تجمع ثماني الأوجه في منتصفه كاتيون ألومنيوم أو أي كاتيون آخر مثل الحديد، الماغنيسيوم.

علي ضوء التركيب البللوري والبنائي أمكن تقسيم معادن الطين إلى مجاميع عديدة نذكر منها ثلاثة مجموعات أساسية هي:

1- مجموعة الكاؤلينيت (Kaolinite Group).

2- مجموعة المونتموريللونيت (Montmorillonite Group).

3- مجموعة الميكا (Illite Group).

▪ *مجموعة الكاؤلينيت (Kaolinite Group)*

يُمثلها معدن الكاؤلينيت ذو الطبقتين (Two Layer Type)، وهي تتركب من طبقة من السيلكا ترهيدرا وطبقة من الألومنيوم أكتاهيدرا كما يوضحه الرسم التخطيطي التالي.

OH	AL^{3+}	$O^{=}$
$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$

مسافة غير قابلة للتمدد

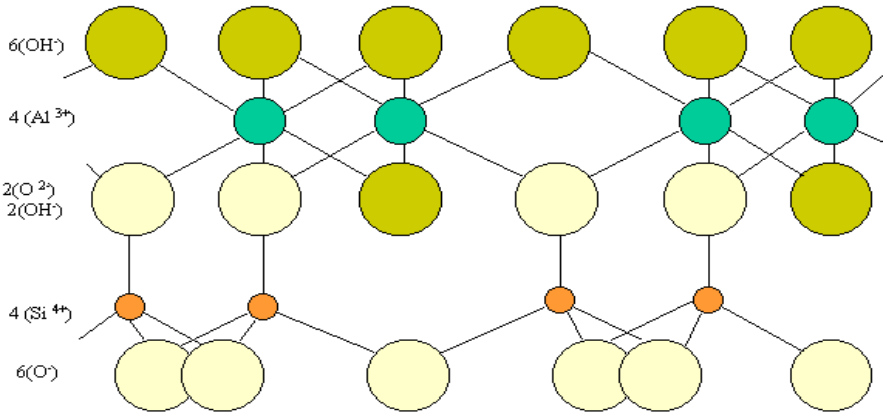
OH	AL^{3+}	$O^{=}$
$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$

والرمز الكيميائي لهذه المجموعة هو $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$.

ونسبة السيليكا إلى الألومنيوم (1 : 1).

ومن أهم مميزات هذه المجموعة الآتي:

* تتماسك الوحدات البنائية بقوة بروابط هيدروجينية تمنع تمدده لأكثر من المسافة الطبقية له (7.2 أنجستروم). وعلى ذلك لا يحدث تمدد بين هذه الوحدات وكذلك لاتُدخل الكاتيونات وجزيئات الماء بينها.
* خواص البلاستيكة والإلتصاق والإنكماش والإنتفاخ منخفضة جداً.
* تتفاوت سعة تبادل الكاتيونات بين 3 و 15 ملليمكافيء لكل 100 جرام من المعدن.



شكل يوضح التركيب البنائي لمعدن طين الكاءولينيت

▪ *مجموعة المونتموريللونيت (Montmorillonite Group)*

يمثلها معدن المونتموريللونيت ذو الثلاث طبقات

(Three layer type)، ويتكون من طبقتين من السيليكا تترهيدرا بينها طبقة واحدة من الألومنيوم وكل منهما ذات تركيب بنائي بللوري مميز. والرسم التخطيطي التالي يبين التركيب البنائي لمعدن المونتموربللونيت.

$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$
OH	AL^{3+}	$O^{=}$
$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$

مسافة قابلة للتمدد

$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$
OH	AL^{3+}	$O^{=}$
$O^{=}$	Si^{4+}	$O^{=}$

والرمز الكيميائي لهذه المجموعة هو $Si_8AL_4O_{20}(OH)_4\text{-}n(H_2O)$

ونسبة السيليكا إلى الألومنيوم (بدون حدوث استبدال) هي (2 : 1).

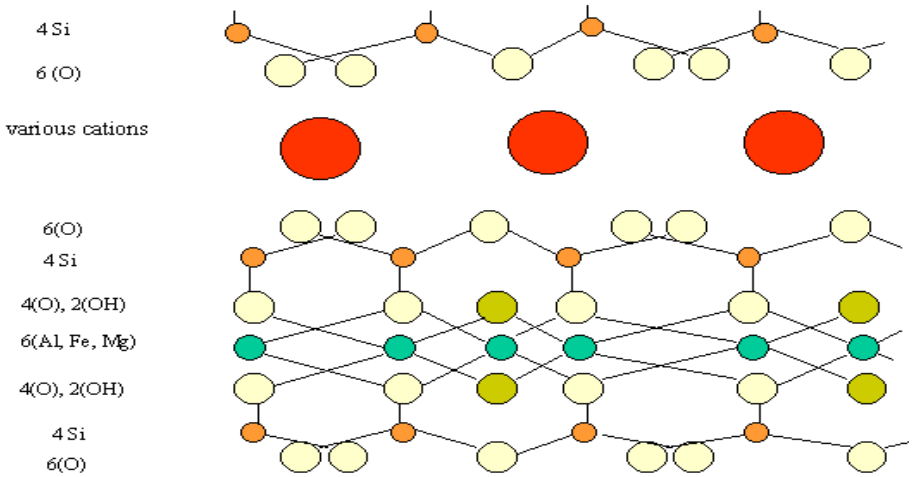
من أهم مميزات هذه المجموعة الآتي:

* ترتبط الوحدات بقوة ضعيفة بواسطة روابط الأكسوجين مما يسمح بتمدد المعدن تمدداً واسعاً نسبياً. وعلي ذلك يمكن للكاتيونات وجزيئات الماء والجزيئات العضوية أن تدخل بين الوحدات، فالمعدن قابل للتمدد (Expanding Type). لهـذا فالمسافـة بين الطبقات غير ثابتة وتتراوح بين 9.6 و 19.0 أنجستروم. وعملية التمدد والإنكماش تسبب بعض المشاكل الهندسية عند البناء أو إقامة الكباري على أرض يسود فيها هذا المعدن.

* تُعتبر السعة التبادلية لهذا المعدن مُرتفعة إذ تتراوح بين 80 و 150 ملليمكافيء لكل 100 جرام من المعدن.

* يتميز المونتموريللونيت بعملية الإحلال المتماثل في طبقاته فيمكن أن يحل أيون الألومنيوم (Al^{3+}) محل أيون السيليكون (Si^{4+}) في طبقة التراهيدرا، أو أن يحل أيونات الحديد أو الزنك أو المنجنيز (Mn ,Zn ,Fe) محل أيون الألومنيوم (Al^{3+}) في طبقة الأوكتاهيدرا.

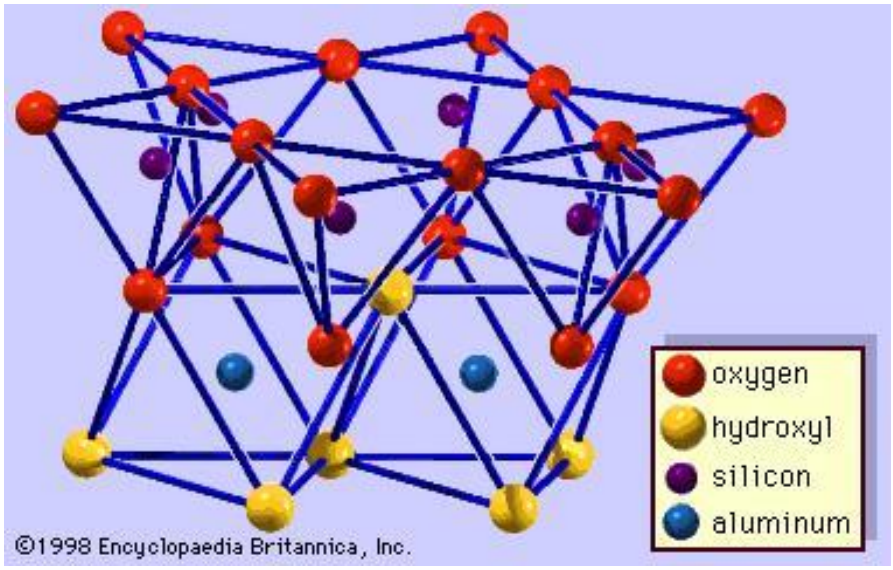
* خواص البلاستيكية والإلتصاق والإنكماش والإنتفاخ مرتفعة.



شكل يوضح التركيب البنائي لمعدن طين المونتموريللونيت

- *مجموعة الميكا (Illite Group)*

يُمثل تلك المجموعة معدن الكلوريت ومعدن الإلليت ذو الثلاث طبقات (Three Layer Type)، ويتكون هذا المعدن مثل معدن المونتموريللونيت (نسبة السيليكا إلى الألومنيوم 2 : 1) إلا أن نحو حوالي 15% من السيليكون يُستبدل بواسطة الألومنيوم. وتُغطى فروق التكافؤ الناشئة من هذا الإحلال بواسطة أيونات البوتاسيوم التي تدخل بين الصفائح وتربط الوحدات مع بعضها بقوة كبيرة. وعلي ذلك نجد أن هذا المعدن غير قابل للتمدد وأن سعة تبادل الكاتيونات له تتراوح بين 15 و 45 ملليمكافيء لكل 100 جرام من المعدن.



شكل يوضح تركيب معدن الكلوريت

المحاضرة الثانية

الخواص الكيميائية للأراضي

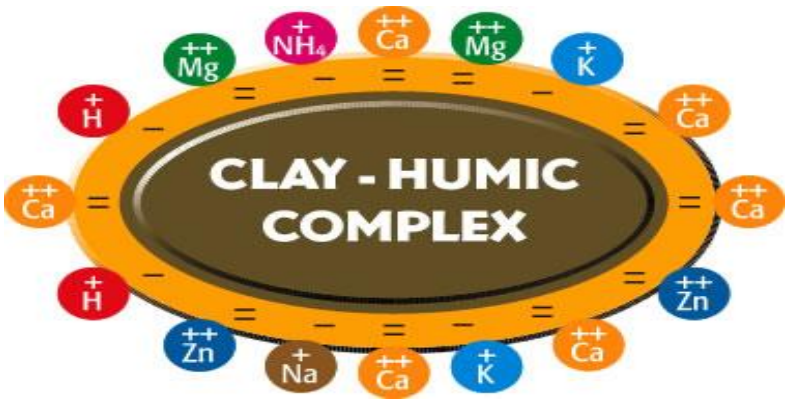
Chemical Properties of Soils

التبادل الأيوني (Ion Exchange)

يُقصد بالتبادل الأيوني العملية العكسية التي يتم بواسطتها تبادل الكاتيونات مع بعضها أو الأنيونات مع بعضها بين الطور الصلب والطور السائل من النظام الأرضي، أو بين الأطوار الصلبة إذا كانت قريبة من بعضها.

يُطلق على تبادل الكاتيونات (الموجبة) إصطلاح التبادل الكاتيوني وعلى تبادل الأنيونات (السالبة) إصطلاح التبادل الأنيوني.

ترجع عملية التبادل الأيوني كليةً إلى الجزء الغروي في الأرض (ويشمل الجزء الطيني والمادة العضوية المتحللة). ويمكن تعريف الجزء الغروي على أنه حبيبات التربة ذات الأقطار أقل من واحد ميكرون (واحد على مليون من المتر) وتتميز بسطح نوعي عالي جداً، ويكون السطح المعرض منه عادة نشط جداً كيميائياً كما أن حبيباته تحمل في معظمها شحنات كهربية سالبة.



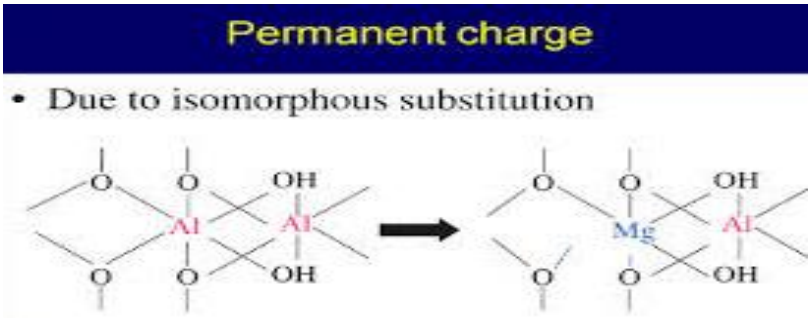
شكل يوضح الترابط بين غروي التربة والعناصر المختلفة

منشأ وسيادة الشحنة السالبة على أسطح المواد الغروية بالتربة

تنشأ وتسود الشحنة السالبة على أسطح حبيبات المواد الغروية بالتربة بسبب:

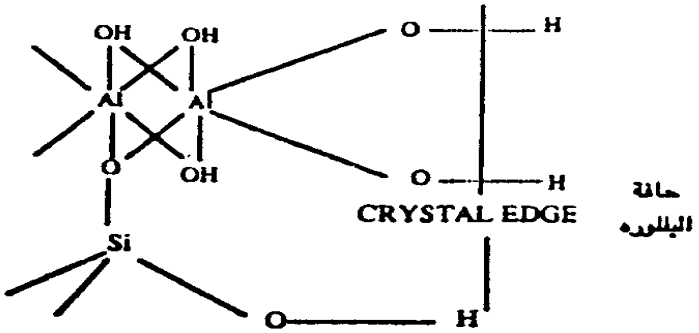
- عملية الإحلال المتماثل في داخل التركيب الشبكي لمعادن الطين وهي شحنة دائمة وموزعة بانتظام على السطح. حيث يؤدي الإحلال المتماثل بأيونات ذات تكافوء أقل محل أيونات ذات تكافوء أعلى إلى تكوين

شحنة سالبة على سطح المعدن. ومن الأمثلة الشائعة في معادن الطين إحلال أيون الألومنيوم الثلاثي محل أيون السيليكون الرباعي في طبقة السيليكا تتراهيدرا مُكوناً شحنة سالبة قريبة من السطح، وكذلك إحلال أيون الماغنيسيوم الثنائي محل أيون الألومنيوم الثلاثي في طبقة الأوكتاهيدرا مُكوناً شحنة سالبة بعيدة عن السطح.



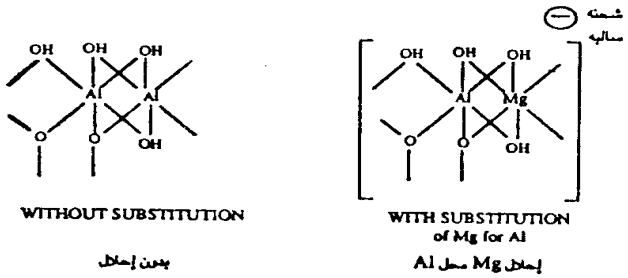
شكل يوضح عملية الإحلال المتماثل لأيونات الماغنيسيوم محل الألومنيوم في طبقة الأوكتاهيدرا

ويُعتبر الإحلال المتماثل مصدراً أساسياً للسعة التبادلية الكاتيونية في معادن الطين مثل المونتموريللونيت والفيرميكيوليت. بينما معدن الكاءولينيت فيتسم بانخفاض شحنته لعدم وجود إحلال متماثل في وحداته البنائية، ويتكون عند حوافه المكسورة فقط.



شكل يوضح تواجد الروابط (الحواف) المكسورة لمعدن الكاءولينيت

وبناءً على ذلك يمكن تعريف الإحلال المتماثل (Isomorphous substitution) بأنه إحلال كاتيون محل آخر داخل التركيب الشبكي (البللوري) للمعدن بحيث يكون مساوياً له في نصف القطر ومختلف عنه في التكافوء.



شكل يوضح عملية الإحلال المتماثل بطبقة الأوكتاهيدرا
بمعادن الطين السيليكاتية

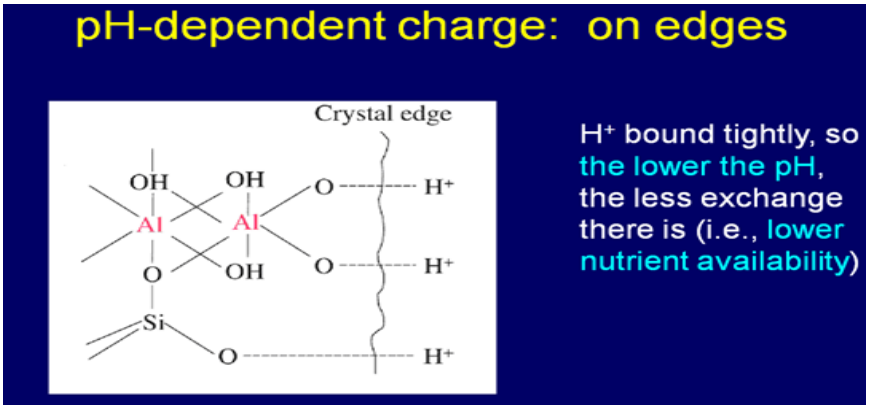
- عملية تأين مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بالسيليكون نتيجة كسر طبقة السيليكا تتراهيدرا لتكوين شحنة متغيرة ومتركزة عند الحواف وتتوقف على رقم الحموضة (pH) كالتالي:

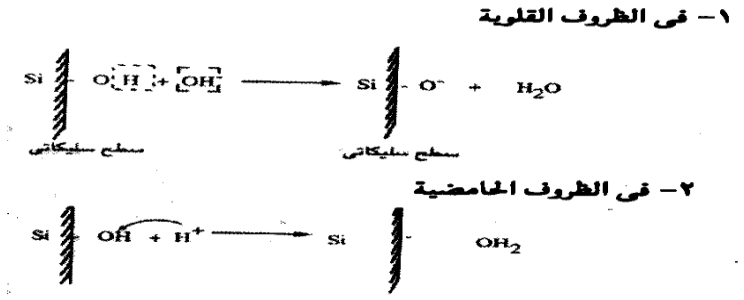
$$-Si\text{-}OH + H_2O \longrightarrow SiO^- + H_3O^+$$

أو قد تحدث هذه العملية في طبقة الألومينا أوكتاهيدرا كالتالي:

$$-Al\text{-}OH + O\,H^- \longrightarrow -Al\text{-}O^- + H_2O$$

وهذا يحدث في الوسط القلوي، حيث يكتسب التركيب البللوري شحنة سالبة. ولهذا تزداد الشحنات السالبة (وبالتالي تزداد السعة الإدمصاصية الكاتيونية)، وتنخفض الشحنات الموجبة في الوسط القلوي كنتيجة لزيادة تأين المجاميع الحامضية ونقص اكتساب البروتونات إلى المجاميع القاعدية، والعكس بالعكس. هذا النوع من الشحنات السالبة له أهمية كبرى في معادن الطين (1: 1) والغرويات العضوية.





شكل يوضح عملية تكوين الشحنة السالبة المتوقفة على
التغير في رقم الحموضة

كما يزداد عدد الروابط المكسورة وبالتالي السعة التبادلية نتيجة عملية الطحن. وتعتبر الروابط المكسورة في معدن الكاءولينيت وأيضاً الهالوسيت المصدر الرئيسي للسعة التبادلية الكاتيونية لهذه المعادن.

- عملية تأين مجاميع الكربوكسيل والفينول في المواد العضوية، والتي يزداد تأينها بزيادة رقم الحموضة وبالتالي فهي من النوع المتغير.

منشأ الشحنة الموجبة على أسطح المواد الغروية بالتربة

هُناك أيضاً شحنات موجبة على أسطح الحبيبات الغروية ولكنها أقل بكثير من تلك السالبة. ويرجع وجود الشحنة الموجبة إلى:

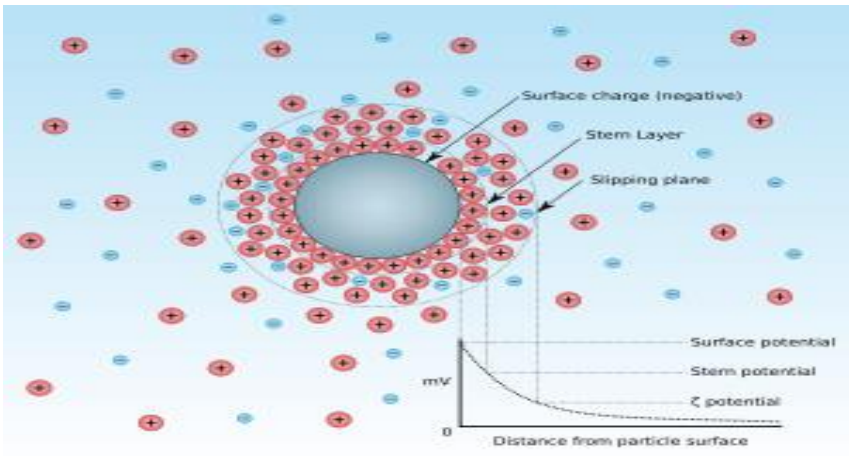
- إكتساب مجاميع الهيدروكسيل لأيون هيدروجين لتكون أيون هيدرونيوم.

$$OH^- + H^+ \longrightarrow H_2O + H^+ \longrightarrow H_3O^+$$

- إكتساب مجاميع النيتروجين القاعدية في المواد العضوية لأيون هيدروجين.

$$R\text{-}NH_2 + HCl \longrightarrow R\text{-}NH_3^+ + Cl^-$$

وهنا يجب ملاحظة أن الشحنة الكهربية وفي نفس الوقت كثافة الشحنة السطحية غير ثابتة وتتغير بالزيادة والنقصان حسب درجة حموضة الوسط، فبزيادة رقم الحموضة تزداد الشحنة السالبة بينما تنقص الشحنة الموجبة ويرجع ذلك إلى تأين المجاميع الحامضية وتقليل إضافة بروتونات إلى المجاميع القاعدية. وبالطبع يحدث تغير في الإتجاه العكسي عند انخفاض رقم الحموضة.



شكل يوضح توزيع ونوع الشحنة على سطح غروي وفي محلول التربة

ويمكن إجمال تأثير رقم الحموضة على تكوين شحنات متغيرة كالتالي:

* عند رقم الحموضة المرتفع: تزداد الشحنة السالبة وتقل الموجبة لسببين الأول زيادة تأين مجامع الهيدروكسيل المرتبطة بالسيليكون، والثاني زيادة تأين مجاميع الكربوكسيل والفينول.
* عند رقم الحموضة المنخفض: تزداد الشحنة الموجبة وتقل السالبة لتوافر البروتونات في الوسط.

الأيونات المتبادلة (Exchangeable Cations)

تتعادل الشحنة الكهربية الموجودة على سطح حبيبات التربة بكميات مكافئة من أيونات مضادة في الشحنة، تسمى هذه الأيونات بالأيونات المتبادلة أو الأيونات المضادة (Counter Ions). ترتبط هذه الأيونات بسطح حبيبات التربة عن طريق روابط متعددة منها رابطة فان ديرفالس ورابطة لندن والرابطة الإلكتروستاتيكية. ومن أهم تلك الروابط وأكثرها شيوعاً الرابطة الإلكتروستاتيكية (أو الكولومبية).

وتكون حبيبة الطين وما عليها من شحنات سالبة والمتعادلة بشحنات من أيونات مضادة للشحنة ما يسمى بالطبقة الكهربية المزدوجة (Electric Double Layer). هذه الطبقة تتكون من شحنة الحبيبة الغروية وكمية متكافئة من الشحنة الأيونية المتجمدة فى السائل القريب من سطح الحبيبة المتجمعة بالإضافة إلى الأيونات المضادة في الشحنة والتي يُطلق عليها الأيونات المتبادلة تكون محاطة بجزيئات الماء.

وعلى ذلك يُمكن اعتبارها مكونة للمحلول والذي يسمي غالباً بالمحلول الداخلي (Micellar Solution) وذلك للتمييز بينه وبين المحلول الخارجي المحتوي علي الإليكتروليتات الحرة Intermicellar (Solution). فمن ذلك نجد أن حبيبة الطين تكون مصحوبة دائماً بعدد هائل من الكاتيونات المدمصة تكافيء الشحنة السالبة الموجودة علي سطح الغروي.

وإذا غُمرت حبيبة الطين في الماء فإنها تسلك مسلك الإلكتروليتات، ويمثل الجزء الغروي بما عليه من الشحنة السالبة الشق الأنيوني لحامض ضعيف ويطلق عليه الميسيل (Micelle) بينما تنتشر الكاتيونات

المدمصة في المحلول حيث تأخذ مراكز على مسافات مختلفة من سطح الغروي السالب، ويقل تركيز الكاتيونات الموجبة كلما بعدنا من السطح. والكاتيونات المدمصة الموجبة يمكن أن تتبادل مع كاتيونات أخرى من المحلول وعلى هذا يُطلق على هذه الكاتيونات بالكاتيونات المتبادلة (Exchangeable Cations).

إن من أكثر الكاتيونات المتبادلة شيوعاً في الأراضي الكالسيوم (Ca^{+2}) والماغنيسيوم (Mg^{+2}) والأمونيوم (NH_4^+) والصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) والهيدروجين (H^+). بينما تسود أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الألومنيوم (Al^{+3}) ومشتقاتها في الأراضي الحامضية.

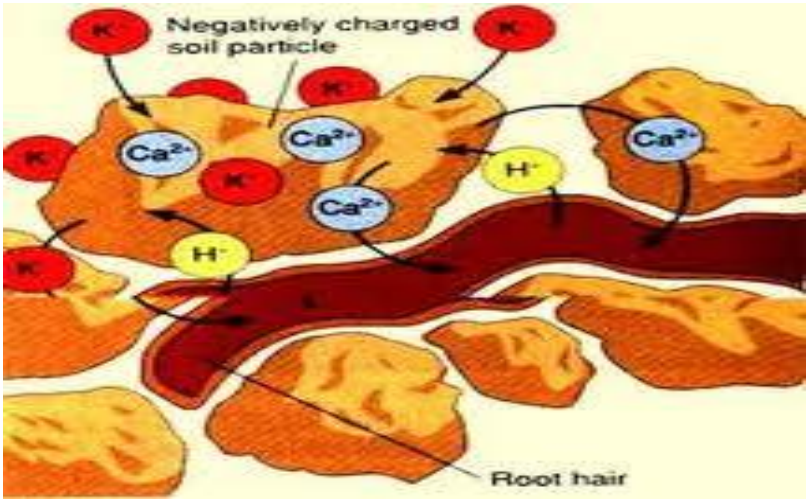
أما الأنيونات الشائعة فهي الكبريتات (SO_4^{2-}) والكلوريدات (Cl^-) والنترات (NO_3^-) والكربونات (CO_3^{2-}) والفوسفات (PO_4^{3-}) وبعض الأنيونات العضوية. ومن الجدير بالذكر أن هذه الأنيونات أو بعضها لاتكون متبادلة على سطح الغروي ولكن غالباً ما توجد في محلول التربة. وتختلف الأراضي فيما بينها من حيث قدرتها على تبادل الأيونات إختلافاً كبيراً تبعاً لمحتواها من الطين ونوعه وكذلك نسبة المواد العضوية بها.

من الملاحظات العملية في حياتنا أنه عند مكان إتصال مياه النهر بمياه المحيط أو البحر الذي يصب فيه يترسب طمي ليكوّن دلتا هذا النهر أو يترسب مختفياً تحت الماء فيذهب ضحيته سُفن كثيرة حيث تُدمر عند إصطدامها برواسب الطمي المختفي. ويرجع سبب تكوّن هذه الرواسب في أن الطمي مادة غروية سالبة الشحنة ومياه المحيطات والبحار تحتوي على أيونات موجبة الشحنة، فتتعادل الشحنتان عند تقابلهما فتترسب رواسب ناعمة من الطمي والتي تكون الدلتا أو تترسب تحت الماء.

شكل يوضح دلتا نهر النيل والتقائها بالبحر المتوسط

السعة التبادلية الكاتيونية (Cation Exchange Capacity)

هي كمية الكاتيونات (بالملليمكافيء لكل 100 جرام تربة) المرتبطة بالتربة بصورة متبادلة عند رقم حموضة يساوي 7 أو أي رقم آخر مناسب. لذلك لابد من ذكر رقم الحموضة الذي قيست عنده السعة التبادلية الكاتيونية.



شكل يوضح ارتباط الكاتيونات المتبادلة على أسطح الغروي

تُعتبر عملية التبادل الكاتيوني من أهم التفاعلات المؤثرة في العديد من المجالات خاصة في مجال خصوبة التربة (حيث محاولات الوصول للإتزان بين الصور الذائبة من العناصر الغذائية الهامة للنبات مثل البوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والصورة المتبادلة منها تغير من خصوبة التربة)، وأيضاً مؤثرة في تصحيح حموضة وقلوية التربة وفي تغيير الخواص الفيزيائية لها.

العوامل التي تتوقف عليها السعة التبادلية للأرض

تتوقف السعة التبادلية للأرض (كما بالجدول التالي) على الآتي:

1- قوام الأرض أو مقدار ماتحتويه الأرض من طين: حيث تتفاوت سعة تبادل الكاتيونات في الأرض حسب قوامها، فقد تكون بسيطة جداً في الأراضي الرملية التي تحتوي علي كمية بسيطة من الغرويات المعدنية والعضوية (الأراضي الرملية الناعمة بين 5- 10 ملليميكافيء/ 100 جم تربة)، وقد تصل إلى أكثر من 50 ملليكافيء أو أكثر في الأراضي الطينية الثقيلة.

2- مقدار ماتحتويه الأرض من مواد عضوية: حيث ترتفع سعة التبادل الكاتيونية في الأراضي كلما زادت نسبة المادة العضوية بها، حيث تتراوح سعة التبادل في الغرويات العضوية مابين 200- 400 أو أكثر ملليمكافيء لكل 100 جم غروي عضوي وهي أعلى كثيراً عن قيمتها للغرويات المعدنية (كالطين).

3- نوع معدن الطين السائد بالأرض: حيث أن السعة التبادلية تختلف من معدن طين الي آخر.
4- درجة تشبُع الأرض بالقواعد: حيث إذا كانت مواقع التبادل كلها مشغولة بالقواعد فتُسمى الأرض مشبعة بالقواعد كما في حالة أراضي المناطق الجافة. أما في حالة أراضي المناطق الرطبة فنجد أن الهيدروجين يحل محل بعض القواعد في صورة أيونات H^+ وفي هذه الحالة نجد أن:

سعة التبادل = كمية الهيدروجين المتبادلة (بالملليمكافيء) + كمية القواعد المتبادلة (بالملليمكافيء).

والجدول التالي يوضح القيم التقريبية للسعة التبادلية الكاتيونية لبعض معادن الطين وبعض الأراضي وبعض جذور النباتات المختلفة.

نوع معدن الطين أو نوع الأرض أو جذور النبات	السعة التبادلية الكاتيونية لكل 100 جرام (عند pH 7)
معدن طين الكاءولينيت	3 – 15
معدن طين الإليت	20 - 50
معدن طين المونتموريللونيت	90 - 130
معدن طين الفيرموكيوليت	50 - 180
المادة العضوية	100 -200
أرض رملية	3 - 5
أرض طميية	5 – 20
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى 40
جذور نبات القمح	23
جذور نبات الذرة	29
جذور نبات اللوبيا	54
جذور نبات الطماطم	62

وبصفة عامة فإن السعة التبادلية الكاتيونية للأراضي في مصر تتراوح بين 4 (للأراضي الرملية) و 40 (للأراضي الطينية الثقيلة).

الطبقة الكهربية المزدوجة (Electrical Double Layer)

تُشكل حبيبة التربة وماعليها من شحنات سالبة والمُعَادلة بشحنات من أيونات مضادة ما يسمى بالطبقة الكهربية المزدوجة. وبالتالي تتكون تلك الطبقة من شحنة الحبيبة الغروية وكمية مكافئة من الشحنة

الأيونية المتجمعة في السائل القريب من سطح تلك الحبيبة. هذه الأيونات المضادة (المتبادلة) تكون مُحاطة بجزيئات ماء مُكونة مايُسمى بالمحلول الداخلي (Inner Solution) وذلك للتمييز بينه وبين المحلول الخارجي (Outer solution) المحتوي على الإلكتروليتات الحرة.

العوامل التي يتوقف عليها تركيب (سُمك) الطبقة الكهربية المزدوجة

يتوقف تركيب (سُمك) الطبقة الكهربية المزدوجة على الآتي:

1- كثافة الشحنات على سطح الحبيبة.

2- تركيز الأملاح (الإلكتروليتات) في المحلول المحيط بالحبيبة.

3- نوع وتكافوء الأيونات المتبادلة.

4- درجة حرارة المحلول.

جهد زيتا (ζ) أو الجهد الحرج (Critical Zeta Potential)

هو الجهد الكهربي على سطح الحبيبة الذي يكون عنده التنافر بين الحبيبات أقل مايمكن مما يسبب في تجميعها (ترسيبها). ويمكن ملاحظة ذلك عند إضافة محلول ملحي بتركيزات متدرجة إلى معلق تربة في الماء، حيث بزيادة تركيز الأملاح المضافة يمكن الوصول إلى جهد زيتا الحرج الذي عنده تتجمع حبيبات الطين ولاتتنافر. ويمكن تلخيص ذلك في أنه:

* بزيادة قيمة جهد زيتا يحدث تنافر بين الحبيبات ويظل المُعلق في حالة انتشار، ويكون ذلك في حالة التركيز المنخفض من المحلول الملحي.

* بخفض قيمة جهد زيتا يحدث تجاذب بين الحبيبات وتتجمع وترسُب الحبيبات، ويكون ذلك في حالة التركيز المرتفع من المحلول الملحي.

* يتناسب جهد زيتا عكسياً مع تركيز المحلول الملحي.

بعض الظواهر العملية المفسرة لنظرية الطبقة الكهربية المزدوجة

- *ظاهرة تجمع حبيبات التربة الغروية (Coagulation)*

سبق الذكر بأن زيادة تركيز الأملاح في محلول التربة يؤدي إلى نقص سُمك الطبقة الكهربية المزدوجة. فإذا تقاربت حبيبات التربة نتيجة لذلك النقص فإن الشحنات السالبة على سطح حبيبة ما يمكن أن تتجاذب مع الشحنات الموجبة للأيونات المتبادلة لحبيبة مجاورة لها وبالتالي تتجمع الحبيبتان معاً. تحدث ظاهرة التجمع هذه في الأراضي الملحية مما يُحسن من نفاذيتها (بشرط التخلص من الأملاح المضافة في مياه الري

بالغسيل). ففي الأراضي الصودية (القلوية) يعمل إضافة كاتيونات الكالسيوم ثنائية الشحنة إليها (كالجبس الزراعي) على إزالة الأيونات الأحادية (الصوديوم) وتتجمع الحبيبات ويتحسن الصرف.

- *ظاهرة الإنتفاخ (Swelling)*

تعتبر ظاهرة الانتفاخ والانكماش في معادن الطين واحدة من أكبر المشاكل عند إنشاء الطرق وقواعد الكباري وأعمدة الكهرباء والمباني، يرجع ذلك إلى الترطيب أو التجفيف حيث يتميز الطين بقدرته على إدمصاص الماء (ماء تأدرت) على سطحه وبين وحداته مما يسبب زيادة حجمه بدرجة تصل إلى 100 ضعف كما في معدن المونتموريللونيت. يرجع الانتفاخ أساساً إلى حدوث تنافر بين الطبقة الكهربية المزدوجة للحبيبات مما يسبب تباعدها أو حتى تباعد وحدات المعدن عن بعضها.

- *ظاهرة الإدمصاص السالب (Negative Adsorption)*

ترجع هذه الظاهرة إلى التوزيع غير المتكافيء للأيونات في الطبقة الكهربية المزدوجة المنتشرة عند رقم حموضة معين. ويمكن توضيح ذلك بإضافة محلول مخفف متعادل من كلوريد البوتاسيوم إلى معدن المونتموريللونيت، فنلاحظ أن تركيز أيونات الكلوريد يزداد في محلول التوازن (ويحدث ذلك أيضاً مع أي أنيون وأي معدن طين أو أرض طينية).

القوة الأيونية لمحلول التربة (Ionic Strength of Soil Solution, μ)

تُعبر القوة الأيونية عن قوة المحلول الأرضي بما يحتويه من أيونات، وبالتالي فهو مقياس لتأثير تركيز (نشاط) الأيونات المختلفة في محلول التربة.

$$\mu = 1/2 \; \Sigma \; Cn^2$$

حيث:

μ = القوة الأيونية لمحلول التربة.

Σ = مجموع.

C = تركيز (نشاط) الأيون في المحلول.

n = تكافؤ الأيون.

$$\mu = 1/2 \; (C_1n_1^2+C_2n_2^2+C_3n_3^2+\dots)$$

إذاً فالقوة الأيونية لمحلول التربة تتأثر بنشاط الأيونات الذائبة فيه بالإضافة إلى تكافؤ كل منها.

ومما يجب معرفته أنه عند غمر التربة يزيد ذوبان العناصر القابلة للذوبان (نتيجة اختزالها مثلما يحدث للحديد الثلاثي وتحوله للثنائي) فتزداد قيمة القوة الأيونية لمحلول التربة. وقد يحدث العكس بمعنى أن تقل القوة الأيونية بمرور الزمن نتيجة استهلاك النبات للعنصر أو نتيجة فقده مع ماء الصرف أو تثبيته على مُعقد التبادل أو إرتباط العنصر الذائب بآخر ليتكون راسب، مثال ذلك ذوبان الحديد الثلاثي وتكوين الثنائي الذي في وجود أيون الكبريتيد يُكون كبريتيد الحديد الثنائي الراسب (FeS) فتقل تبعاً لذلك القوة الأيونية لمحلول التربة.

حموضة التربة (Soil Reaction)

يُقصد بحموضة التربة مُحتوى محلول التربة من أيونات الهيدروجين النشطة مُقابل أيونات الهيدروكسيل النشطة والتي تتحكم بدرجة كبيرة في التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية الحادثة بها. فمثلاً تكون أراضي المناطق الرطبة حامضية بينما أراضي المناطق الجافة فتكون قاعدية. ويحتوي المحلول الأرضي للتربة الحامضية على أيونات هيدروجين أكثر من أيونات الهيدروكسيل، بينما يحتوي المحلول الأرضي للتربة القاعدية على أيونات هيدروكسيل أكثر من أيونات الهيدروجين.

ولفهم ذلك يتطلب الأمر إلقاء بعض الضوء على حموضة الماء كوسط هام لحدوث التفاعلات المختلفة. فالماء يكون متعادلاً (لا حمضي ولا قاعدي) وذلك بسبب تساوي تركيز كل من أيونات الهيدروجين وأيونات الأيدروكسيل فيه. وعند التعادل تكون قيمة رقم الحموضة (pH) = 7.

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

وعند الإتزان يتجه التفاعل بشدة إلى اليسار منتجاً الماء ويكون تركيز الماء مساوياً 55.4 مول في اللتر. وعندئذ يكون:

تركيز أيونات الهيدروجين = 1×10^{-7} مول في اللتر

تركيز أيونات الهيدروكسيل = 1×10^{-7} مول في اللتر

وهنا يجب ملاحظة نقطتين:

الأولى: أن جزيء واحد فقط من كل 554 مليون جزيء من الماء يحدث له تأين.

والثانية: أن تركيز أيونات الهيدروجين يكون مساوياً لتركيز أيونات الهيدروكسيل معبراً عنه بالمول في اللتر (مولار) = 10^{-7} مولار.

ويعرف pH بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين النشطة في المحلول، أي أن:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

حيث $[H^+]$ عبارة عن تركيز أيونات الهيدروجين بالمولار.

وفي حالة الماء النقي فإن:

تركيز الهيدروجين × تركيز الهيدروكسيل = 10^{-14} مولار

وأن لوغاريتم تركيز الهيدروجين + لوغاريتم تركيز الهيدروكسيل= 14-

بالضرب في سالب لكلا الطرفين يصبح:

$$\log [OH^-] + \log [H^+] = 14$$

$$pH + pOH = 14$$

يُلاحظ هنا أن كل وحدة تغير في pH يقابله تغير في تركيز كل من الهيدروجين والهيدروكسيل بمقدار عشرة أضعاف.

وعلي ذلك يعرف pH التربة بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين_النشطة (Active H^+) في المحلول الأرضي.

وهنا يجب أن نُفرق بين الحموضة النشطة (Active Acidity) والحموضة الكامنة (Reserve Acidity). فالحموضة النشطة تشمل أيونات الهيدروجين الموجودة في المحلول الأرضي والتي تكون مسئولة عن قيم pH محلول التربة، بينما تشمل الحموضة الكامنة أو المحتجزة أيونات الهيدروجين الموجودة علي مركب أو معقد الإدمصاص. وتوجد هذه الأيونات على صورتيها في حالة إتزان مستمر.

active H^+ ⟵⟶ reserve H^+

ويمكن قياس الحموضة النشطة باستخدام جهاز ال p^H- Meter، أما الحموضة الكامنة فتُقدر بالمعايرة بواسطة قلوي في وجود دليل مناسب. ومجموع الحموضة النشطة والكامنة يعطي ما يسمى بالحموضة الكلية.

شكل يوضح جهاز تقدير حموضة التربة بالمعمل

شكل يوضح تقدير حموضة التربة بالحقل

مصادر الحموضة بالتربة

تتعـدد مصـادر الحموضة الكلية بالتربة، ويُمكن تلخيصهـا في خمسة مصـادر هي:

* التحلل المائي للكاتيونات المتبادلة وإحلال H^+ مكانها على مواقع التبادل.

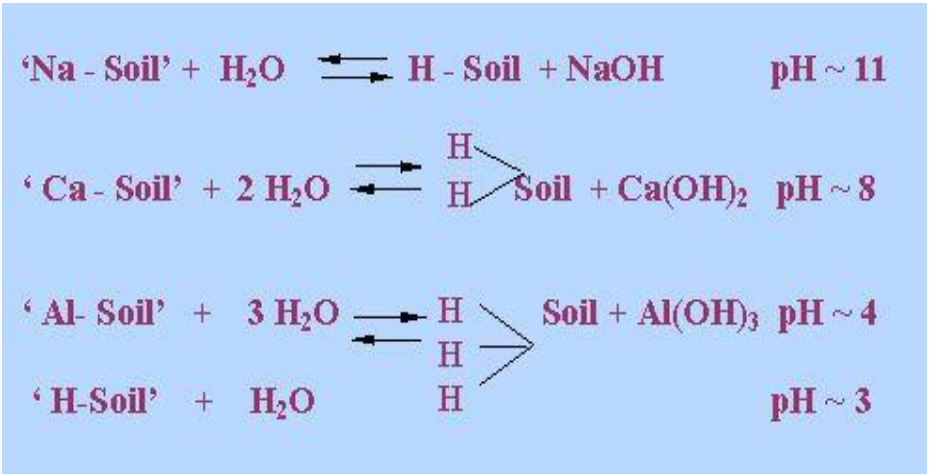
* التحلل المائي لمركبـات الحديد والألومنيـوم في الأراضي الحـامضية (pH أقل من 6).

$$Al + 3H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3 + 3H^+$$

* تحلل المواد العضوية بالتربة ميكروبياً فتنتج أحماض (كما في أراضي البيت Peat soils).

* تنفس جذور النباتات حيث تنتج ثاني أكسيد كربون يذوب في الماء مكوناً حمض كربونيك (H_2CO_3).

* أكسدة الأمونيا إلى نترات والكبريت إلى كبريتات ذات تأثير حامضي كما يحدث في الأراضي المجاورة للمصانع والتي تروى بمياه صرفها. والشكل التالي يوضح علاقة نوع الكاتيون السائد بالتربة ورقم حموضتها.



شكل يوضح علاقة نوع الكاتيون السائد بالتربة ورقم حموضتها

يتراوح رقم حموضة التربة تحت الظروف العادية بين حوالي 4 إلى حوالي 9.5 وغالباً لايقل أو يزيد عن تلك القيم. ويرجع ذلك أساساً إلى ما يسمى بالفعل التنظيمي (Buffering Action) للتربة الناتج عن وجود HCO_3^- الذي ينتج من ذوبان ثاني أكسيد الكربون المتكون من نشاط الكائنات الدقيقة في الماء بجانب فعل $Si(OH)_4$ الذي يُعتبر مكوناً أساسياً لمعادن الطين بالإضافة إلى مكونات التربة من كربونات وهيدروكسيدات الحديد والمنجنيز. تلك المكونات تتحول من صورة إلى أخرى لإنتاج H^+ أو OH^- لمقاومة التغير في رقم حموضتها.

حموضة التربة الجيرية

تحتوي الأرض الجيرية على كربونات كالسيوم ($CaCO_3$)، فإذا عوملت بواسطة حامض الهيدروكلوريك يُشاهد ظهور فقاقيع تُمثل خروج ثاني أكسيد الكربون. وتكون كربونات الكالسيوم غير ذائبة نسبياً، ولكن عند وجودها في التربة فإنها تعمل ضغطاً ثابتاً يساعد على تشبيع مواقع التبادل بالكالسيوم. وبذلك تكون الأراضي الجيرية 100% مشبعة بالقواعد ويكون التحلل المائي لكربونات الكالسيوم هو المُتحكم الرئيسي في pH التربة كالتالي:

$$CaCO_3 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H_2CO_3$$

وينتج عن إنقسام هيدروكسيد الكالسيوم تكوين أيونات الهيدروكسيل وهذه يكون تركيزها أكبر بكثير من تركيز أيونات الهيدروجين الناتجة من إنقسام حامض الكربونيك الضعيف. وبذلك يكون محصلة التأثير قلوياً، لهذا فإن pH الأراضي الجيرية عادة ما يتراوح بين 7- 8.5 (أكبر قيمة له).

العوامل المؤثرة على pH التربة

- *تأثير الصوديوم على pH التربة*

ينطلق الصوديوم من تجوية المعادن. وفي المناطق الرطبة تقوم عملية الغسيل بإزالة الصوديوم لضعف التجاذب بينه وبين مراكز التبادل على سطح الغروي. أما في المناطق الجافة فإن الصوديوم قد يتراكم في صورة كربونات صوديوم كما يميل الصوديوم إلى شغل بعض مواقع التبادل. وينتج عن التحلل المائي لكل من كربونات الصوديوم والصوديوم المتبادل مركب شديد القاعدية هو هيدروكسيد الصوديوم.
فإذا تشبعت التربة بمقدار 15% أو أكثر بالصوديوم أو وجد بها نسبة معقولة من كربونات الصوديوم فإن قيمة pH التربة قد تقع بين 8.5 و 10.

▪ *تأثير الأملاح على pH التربة*

تحتوي الأراضي الملحية علي كمية من الأملاح تكفي لتعطيل النمو النباتي وذلك بسبب رفع الضغط الإسموزي للمحلول الأرضي وتقليل إمتصاص الماء بواسطة النبات، بالإضافة إلى التأثير النوعي لأيونات الأملاح على النبات نفسه.

تتراكم الأملاح الذائبة طبيعياً في أراضي المناطق الجافة أو تتراكم نتيجة لإضافة مياه الري أو الأسمدة بكميات كبيرة، كما هو الحال في استعمال كلوريد البوتاسيوم كسماد رئيسي. وتميل الأراضي الملحية لأن يكون لها pH = 7 أو قريب منها.

▪ *ظروف أخرى قد تؤثر في pH التربة*

1- يذوب ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفس الجذور والكائنات الحية في المحلول الأرضي مكوناً حامض الكربونيك الضعيف.

2- الكبريت منتج ثانوي من صناعة الغازات فيكون مسئول أحياناً عن حموضة التربة في الأراضي القريبة من المصانع نتيجة تكوين حامض الكبريتيك.

3- يحتوي ماء المطر على غازات حامضية مثل SO_2 الذي يتسبب في أمطار حامضية تُنقص من نمو أشجار الغابات ونمو الغطاء النباتي بصفة عامة.

نظرية تغيير pH التربة

يُقدر pH التربة في الأراضي المغسولة والتي لايوجد بها كميات ملموسة من الأملاح عن طريق التشبع بالقواعد أو الهيدروجين. ونظرياً إذا كان pH التربة = 5.5 فإن التشبع بالقواعد يكون 50%، فإذا ازدادت نسبة التشبع بالقواعد لهذه التربة إلى 85% فإن pH التربة يصبح 7. وعلى العكس إذا إنخفض التشبع بالقواعد من 85 إلى 50% فإن pH التربة ينقُص من 7 إلى 5.5. وعلى ذلك فإن تعديل pH الأرض تحت هذه الظروف يتوقف على التغيرات في نسبة التشبع بالقواعد (أو الهيدروجين)، أي أنه ينتج عن زيادات التشبع بالقواعد زيادات في الـ pH، وينتج عن نقص التشبع بالقواعد نقصاً في ال pH. مثال آخر تطبيقي في حساب الإحتياجات الجيرية (Lime Requirements) نجد أن قياس pH التربة لايمكن أن يُتخذ أساساً لحساب الإحتياجات الجيرية، حيث تختلف كل تربة عن الأخرى في السعة التنظيمية لها والتي تتوقف علي السعة التبادلية للكاتيونات لها. فمثلاً الإحتياجات الجيرية لتربة رملية ذات pH = 4.5 تقل كثيراً عن تلك التربة الطينية التي لها نفس الـ pH لأن الأخيرة تحتوي على كمية أكبر بكثير من الهيدروجين المتبادل بسبب زيادة معقد التربة بالأرض الطينية مقارنة بالأرض الرملية.

جهد الأكسدة والإختزال (Eh)

يُعتبر جهد الاكسدة والإختزال بالترب الزراعية مؤشراً هاماً للآتي:

1- تشخيص ظروف التهوية بالتربة.

2- تشخيص نوع النشاط البيولوجي (هوائي- لاهوائي) بالتربة.

3- دلالة على مدى توافر الأكسوجين بالتربة من عدمه.

4- مؤشر للحالة التي يمكن أن تتواجد عليها العناصر المختلفة بالتربة (ذائبة- راسبة).

5- دلالة على تحديد نوعية الغازات التي يمكن أن تتواجد بالتربة.

وبصفة عامة فإن الترب الزراعية في حالة مستمرة من التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية بين مكوناتها. وعادة ماتكون التفاعلات البيوكيميائية هي السائدة حيث تنفس الكائنات الحية الدقيقة وأكسدة المواد العضوية ينتج عنها بروتونات (H^+) وإلكترونات (e^-) لتلعب الدور الرئيسي في عمليات الأكسدة والإختزال بالتربة. والأكسدة تعني فقد إلكترونات، بينما الإختزال يعني إكتساب الإلكترونات. وتتراوح قيمة جهد الأكسدة والإختزال بالترب الزراعية (عند p^H =7) بين +700 و -300 ملليفولت. وتعتبر التربة جيدة التهوية عندما يكون (E_h) بين +700 و +400 بينما تعتبر سيئة التهوية عندما يكون (E_h) بين -200 و -300 ملليفولت.

العلاقة بين رقم الحموضة (pH) وجهد الأكسدة والإختزال (Eh)

هناك علاقة علاقة عكسية بين رقم الحموضة وجهد الأكسدة والإختزال تتمثل في المعادلة الرياضية التالية:

$$Eh = a - 60\ p^H$$

ويمكن تمثيلها على صورة خط مستقيم ميله سالب (يساوي 60-) والقاطع يساوي (a) وتختلف قيمة هذا القاطع باختلاف نوع التربة.

المحاضرة الثالثة

كيميـاء المادة العضويـة في التربة

Chemistry of Organic Matter in Soil

تحتوي التربة على عدد هائل من المركبات العضوية في حالات مختلفة من التحلل، وتستخدم كلمة دبال (Humus) للدلالة على المادة العضوية التي تعرضت لتحلل شامل وأصبحت مقاومة لأي تغير آخر أي أصبحت مقاومة للتحلل.

الخصائص الكيميائية للدبال

- مركب غير ثابت ذو لــون أسود أو بني غـامق، يحتوي على 40- 50% لجنين وعلى 30- 35% مواد بروتينية، ويختلف تركيبه باختلاف تركيب المواد العضوية المكونة له، وكذلك الميكروبات المحللة لها.
- تواجده مرحلي في الأرض حيث يكاد يختفي تماماً بزيادة درجة الحرارة والتهوية.
- يتراكم في الأراضي المغمورة بالماء لسوء تهويتها، حيث تتراكم المواد العضوية لعدم وجود ظروف ملائمة لأكسدتها وانحلالها.
- كثافتة النوعية منخفضة تتراوح بين 0.3 و 0.4 جم/ سم^3.
- مسـاحة سطحه النوعي عاليــة حيث تبلـغ من 800 إلى 900 م^2/ جرام.
- غير ذائب في الماء بالرغم من أن جزءاً منه قد يتحول إلى معلق غروي في الماء النقي.
- يذوب إلى حد كبير في القلوي المخفف.
- يحتوي على من 3 إلى 6% نيتروجين.
- محتواه الكربوني حوالي 58%، ويمكن تقدير محتوى التربة من المادة العضوية بضرب النسبة المئوية للكربون في 1.724.
- نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/ N) به تكون في حدود 10.
- يعتبر الدبال مخزناً هاماً للفوسفور والكبريت.
- السعة التبادلية الكاتيونية للدبال مرتفعة جداً وذلك لارتباطه بمجموعات نشطة كيميائياً مثل مجموعة الكربوكسيل (COOH-) وغيرها.
- السعة التبادلية الكاتيونية للدبال تكون أكثر بعدة مرات من تلك الخاصة بالمخلفات العضوية التي تُضاف أصلاً إلى الأرض. حيث يتميز بسعة تبادليــة عاليــة تتــراوح بين 150 و 300 ملليمكافيء/ 100جرام.

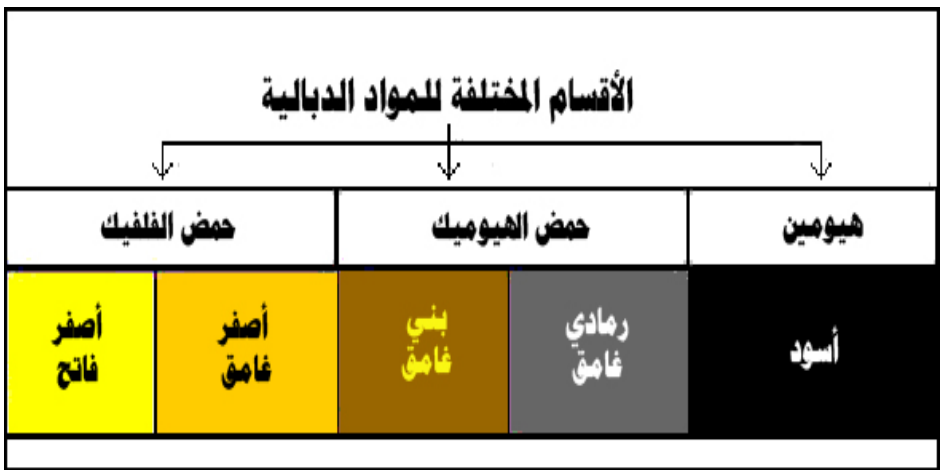
- تدمص مواقع التبادل الكاتيوني على أسطح الدبال كاتيونات مثل الكالسيوم، الماغنيسيوم، البوتاسيوم، الحديد، الزنك وغيرهم مما يؤدي إلى تشابه فعل الدبال بفعل الطين في حفظ العناصر الغذائية الميسرة ضد الغسيل والفقد، وبالتالي حفظها في صورة ميسرة للنبات. وعلى سبيل المثال يدمص البوتاسيوم على الدبال عن طريق تفاعل البوتاسيوم الذائب في الماء مع مجموعات الكربوكسيل في الدبال وينتج عن ذلك الإدمصاص عدم فقد البوتاسيوم من التربة بالغسيل ولكنه يظل سريع التيسر للإستخدام بواسطة النبات.
- يمتص الدبال كميات كبيرة من الماء ويُظهر خواص التمدد والإنكماش.
- الدبال عامل هام في تجميع حبيبات التربة وتكوين البناء الأرضي.
- يُحسن الدبال من الخواص الطبيعية والكيميائية للأراضي عموماً.
- يعمل الدبال على إذابة المكونات غير الذائبة في التربة.
- يُقلل الدبال من تثبيت العناصر أي يقلل من تحويلها إلى صورة غير قابلة للإستفادة بواسطة النبات. كما أنه يُنشط الكائنات الدقيقة بالتربة.

التركيب الكيميائي للمواد الدبالية في التربة

أمكن التعرف على مركبين أساسيين في الدبال هما:

- حامض الهيوميك (Humic Acid).
- حامض الفلفيك (Fulvic Acid).

ويتركب حامض الهيوميك من مركبات فينولية ومركبات نتروجينية، وقد تشارك معها بعض المركبات الكربوهيدراتية.



شكل يوضح الأقسام المختلفة لدبال الأرض

أما الجزء من المواد الدبالية والذي لايتم استخلاصه من الأرض بالمحاليل القاعدية فيُطلق عليه إسم الهيومين، وهو عبارة عن معقد من المواد الدبالية يتكون من أحماض الهيوميك والفلفيك، إلا أن أحماض الهيوميك والفلفيك في الهيومين تكون ذات درجة عالية من التجمع.

مميزات حامض الهيوميك

يتميز حامض الهيوميك بالتركيب الآتي:

- يحتوي على مجاميع نشطة من الكربوكسيل والفينول وهو بذلك يساهم في عملية التبادل الأيوني.
- تبلغ السعة التبادلية الكاتيونية له من 340 حتى 500 ملليمكافيء/ 100 جم من الحامض.
- يحتوي الحامض على روابط زوجية.
- يعتبر الهيوميك حامض ضعيف وبذلك يساهم في القدرة التنظيمية للتربة.
- الوزن الجزيئي عالي يتراوح من 1200 إلى 1500، وقد يكون أكثر من ذلك بكثير.

مميزات حامض الفلفيك

- عبارة عن مجموعة المواد الدبالية ذات اللون الأصفر أو الأحمر الخفيف.
- تمثل مجموعة من المركبات ذات الأوزان الجزيئية المرتفعة والمتشابهة في بنائها التركيبي.
- تتميز أحماض الفلفيك بأنها محبة للماء بعكس أحماض الهيوميك فهي كارهة.
- المجاميع الفعالة في أحماض الفلفيك فتشمل مجاميع الكربوكسيل (-COOH) والهيدروكسيل الفينولية (–OH) بالإضافة إلي مجاميع الميثوكسيل (-OCH_3).
- أحماض الفلفيك ذائبة في الماء وتُعتبر من الأحماض العضوية القوية.

المحاضرة الرابعة

الأراضي ومشاكلها وكيفية إستصلاحها

Soils, their Problems and Reclamation

مقدمـــــة

تتنوع مشاكل الأراضي لأسباب عديدة منها مايتعلق بالتركيب الكيميائي لمادة الأصل أو نتيجة المناخ السائد بالمنطقة أو نتيجة موقع الأرض الفسيوجرافي وأخيراً قد يكون نتيجة سوء الإستخدام. وتتنوع الأراضي المُستهدفة بالإستصلاح مابين أراضي رملية وأخرى جيرية وكذلك أراضي متأثرة بالاملاح. لذا يحتاج الأمر إلى ضرورة البدء بعمل تشخيص ثم وضع خطة للإصلاح الذي قد يكون كيميائياً أو ميكانيكياً أو فيزيائياً أو كل ماسبق. يلي ذلك النظر في أولويات الإستصلاح والذي يرتكز على عوامل عديدة أهمها سرعة إستجابة الأرض لعمليات الإستصلاح وتكاليفه بجانب البحث في إستدامة هذا الإستصلاح.

الأراضي المتأثرة بالأملاح

هي تلك الأراضى التي تعوق نمو معظم النباتات لاحتوائها على نسبة عالية من الأملاح الذائبة والصوديوم المتبادل أو كلاهما مما يؤثر على الإنتاج الزراعي عموماً وبصورة سلبية. وتتصف تلك الأراضي بأنها الأراضي التي يزيد فيها التوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity, EC) لمستخلص عجينة الأرض المشبعة عن 4 ديسي سيمينز/ متر ولاتزيد النسبة المئوية للصوديوم المتبادل بها (ESP) عن 15% وعادة مايكون pH هذه الأراضي أقل من 8.5 لأن معظم الأملاح الموجودة بها تكون متعادلة (ليس لها تأثير حامضي أو قاعدي).
ونظراً لزيادة محتوى هذه التربة من الأملاح فإنه يحدث تجمع لحبيباتها وتزداد نسبة الحبيبات المُركبة بها مما يؤدي إلى زيادة المسام المسئولة عن صرف الماء الزائد.
وتتكون مثل هذه الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي يقل فيها مُعدل الأمطار السنوي عن معدل التبخير. وفي مثل هذه الظروف يكون غسيل وإنتقال الأملاح من القطاع الأرضي بطيئاً وغير كاملاً، كما أن زيادة البخر والنتح تحت ظروف الجفاف يساعدان على تجمُع الأملاح في القطاع الأرضي ويزداد تركيز الأملاح وخصوصاً المتعادلة في المحلول الأرضي. وتتكون الأملاح الذائبة عادة من الصوديوم والكالسيوم والماغنيسيوم والكلوريد والكبريتات بصفة أساسية ومن البوتاسيوم والبيكربونات والنترات بصفة ثانوية. إن زيادة تجمع الأملاح في المحلول الأرضي يؤدي إلى رفع الضغط الأسموزي له مما يؤثر سلباً على إمتصاص النبات للماء.

ورغم أن هذه الأراضي تُعتبر أراضي مُنتجة وإن كانت إنتاجيتها ضعيفة إلا أنها لاتصل لمرحلة الإنتاج القصوى إلا بتطبيق الأساليب الفنية لإدارة ومعالجة مشكلة الملوحة والقلوية (الصودية) بها.

وهُناك مساحات شاسعة من أراضي العالم تتوافر فيها كافة عناصر الإنتاج إلا أنها خرجت من قائمة الأراضى المُنتجة بسبب تجمُع الأملاح بها.
وتنتشر الأراضي المُتأثرة بالأملاح على نطاق واسع في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي تُعتبر مصر من المناطق المُمثلة لها. وتبلغ مساحة الأراضي المتأثرة بالأملاح في مصر نحو 2 مليون فدان بنسبة تمثل حوالي 35% من المساحة الكلية المنزرعة تتوزع كالآتي:
60% من أراضي شمال الدلتا.
25% من أراضي وسط وجنوب الدلتا.
15% من أراضي الوادي.

أسباب تكوين الأراضي الملحية

يرجع تمليح الأراضى غير المنزرعة لعدة أسباب تُسمى المصادر الأولية للأملاح، ومن هذه المصادر مايلي:
1- تجوية بعض المعادن الموجودة بمادة الأصل التي نشأت منها الأراضي وتكوين أملاح ذائبة.
2- إنتقال الأملاح للأرض من مواقع غنية في الأملاح مثل مياه البحار.
3- بخر كميات كبيرة من المياه كما يحدث في البحيرات.

أما فى الأراضى المزروعة فإن تراكم الأملاح يرجع إلى مايُسمى بالمصادر الثانوية للأملاح وذلك عند توافر الظروف الآتية:
1- زيادة معدل البخر عن المطر أو قلة مايصل إلى الأرض من مياه الري كما يحدث فى المناطق الجافة.
2- إنخفاض منسوب الأرض حيث تتجمع الأملاح عادة في المناطق المُنخفضة نتيجة لصرف المناطق المرتفعة وإنتقال الأملاح منها للمناطق المنخفضة المجاورة لها.
3- إرتفاع منسوب مستوى الماء الأرضي حيث تتجمع الأملاح في المناطق ذات مستوى الماء الأرضي المرتفع والذي يصل إلى سطح الأرض بالخاصية الشعرية.
4- تباعد الفترة بين الريات المُتعاقبة وطول فترة الجفاف مما يُشجع على صعود وتراكم الأملاح بالطبقة السطحية.
5- عدم وجود نظام صرف أو وجود نظام صرف مُنخفض الكفاءة.

6- الري بمياه مرتفعة الأملاح حيث تتركز الأملاح بالأرض خاصةً إذا لم تضاف المياه بكميات كافية لغسيل مايتراكم من هذه الأملاح بالأرض.

أقسام الأراضي المتأثرة بالأملاح

تُقسم الأراضي المتأثرة بالأملاح بوجه عام إلى:
1- الأراضي الملحية (غير الصودية).
2- الأراضي الملحية القلوية (الملحية الصودية).
3- الأراضي القلوية (الصودية).

خصائص الأراضي الملحية

الخصائص المورفولوجية على سطح التربة وعلى النبات النامي

هُناك مظاهر عامة للأراضي الملحية منها مايظهر على الأرض ومنها مايظهر على النباتات النامية عليها. ومن أهم المظاهر المورفولوجية المميزة للأراضي الملحية ظاهرة تزهُر الأملاح فوق سطح الأرض والتي تأخذ عادةً اللون الأبيض وكذلك نمو بعض النباتات شديدة التحمل للملوحة مثل الخريزة والزيتة والطرفة والسمار ... الخ. أما التي تظهر على النباتات المنزرعة بالأرض الملحية فهي:
1- ضعف الإنبات.
2- تقزُم النباتات وتلونُها باللون الأخضر المزرق.
3- جفاف حواف أنصال الأوراق في البداية ثم تجف باقي الورقة كاملة حيث يبدأ جفاف أوراق النباتات من أسفل إلى أعلى.
4- إتجاه النباتات المنزرعة في الأرض الملحية إلى التزهير المُبكر عن الموعد المناسب.
5- إنخفاض نسبة عقد الثمار وتساقُط نسبة كبيرة من الأزهار والثمار.
6- قلة مساحة الأوراق وصغر حجمها.

الخصائص الفيزيائية (الطبيعية)

تتأثر جميع الخواص الطبيعية للأراضي بوجود نسبة عالية من الأملاح الذائبة. ويتوقف مقدار التأثير على حسب درجة تركيز الأملاح ونوعها. فمثلاً أملاح كلوريد الصوديوم والكالسيوم والماغنيسيوم تُساعد على تجميع حبيبات التربة مما يؤدي إلى تفتيح مسام التربة وسهولة تشرُبها للمياه, بينما يسبب وجود أملاح

الكربونات تلفاً كبيراً في خواص الأرض الطبيعية حيث تنفرد حبيباتها ولاتتشرب مياهها كما تُصبح شديدة الصلابة بحيث يتعذر معها إجراء العمليات الزراعية.

الخصائص الكيميائية

1- تحتوي الأرض على نسبة عالية من الأملاح الذائبة وعلى ذلك فإن درجة التوصيل الكهربى لمستخلص عجينة التربة المشبعة يكون أكبر من 4 ديسي سيمينز/ متر ونسبة الصوديوم المتبادل (ESP) بها أقل من 15%.

2- رقم الحموضة (pH) لايتعدى 8.5 لأن الأملاح التي بها تكون من النوع المتعادل.

3- الكاتيونات السائدة بها هي الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم أما الأنيونات السائدة بها فهي الكلوريد والكبريتات والبيكربونات.

4- إرتفاع الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي وبالتالي قد تنعدم حركة الماء إلى النبات, أي ينخفض معدل إمتصاص النبات للماء.

الأراضي القلوية (الصودية- غير الملحية)

هي الأراضى التي تكون فيها درجة التوصيل الكهربي لمستخلص عجينة التربة المشبعة أقل عن 4 ديسي سيمينز/ متر ودرجة حموضة التربة تزيد عن 8.5 وكذا نسبة الصوديوم المتبادل على مُعقد التبادل أكبر من 15%.

أسباب تكوين الأراضى الصودية

تتكون الأراضى القلوية (الصودية) نتيجة عملية تبادل بسيطة تحدث بين كاتيونات الصوديوم الذائبة وبين الكاتيونات الأخرى المُدمصة على أسطح الطين في الأرض والتي من أهمها كاتيونات الكالسيوم. وتسود هذه العملية في المناطق الجافة حيث يسود التبخير ويزيد تركيز الأملاح في المحلول الأرضي. وترتبط الظروف التي يرتفع فيها التركيز الكلي للأملاح في المحلول الأرضي بزيادة نسبة الصوديوم المتبادل في الأراضي. ويرجع ذلك الإرتباط إلى أن كاتيونات الكالسيوم والماغنيسيوم وهي الكاتيونات التي تمنع نشوء القلوية. تتفاعل تلك الكاتيونات مع أنيونات الكربونات أو البيكربونات لتكوين كربونات الكالسيوم والماغنيسيوم شحيحة الذوبان في الماء وبذلك يتحول الكالسيوم والماغنيسيوم إلى الصورة غير الفعالة. وبزيادة ترسيب الكالسيوم والماغنيسيوم في المحلول الأرضي يرتفع التركيز النسبي للصوديوم في المحلول

الأرضي مما يزيد من إحتمال تراكُمه على الطين خلال عملية تبادل الكاتيونات وبالتالي تنشأ القلوية (الصودية).

ويُزيد تراكم الأملاح في التربة من كمية الصوديوم المتبادل وذلك إذا أدى تراكمها إلى زيادة نسبة الصوديوم : (الكالسيوم + الماغنيسيوم) في محلول التربة بحيث يُمكن أن يتنافس الصوديوم بفاعلية أكبر مع أيونات الكالسيوم والماغنيسيوم على مواقع التبادل الكاتيوني. ونظراً لأن الصوديوم يتميز بانخفاض قابليته للإدمصاص، فإنه لايُعتبر منافساً قوياً إلا إذا تجاوز تركيزه مجموع تركيز الكالسيوم والماغنيسيوم معاً أي زادت نسبة الصوديوم الذائب عن 50% من مجموع الكاتيونات الذائبة.

وقد يكون الصوديوم الأيون السائد في محلول التربة بسبب طبيعة الأملاح الذائبة المُضافة للتربة أو بسبب ترسيب الكالسيوم والماغنيسيوم من هذه الأملاح في صورة مركبات مثل الجبس والجير. وهذا يؤدي بدورة إلى زيادة فرصة إدمصاص الصوديوم على معقد التبادل وتحول الأرض إلى أرض قلوية (صودية). ويدل إرتفاع نسبة الصوديوم المتبادل بالمقارنة بقيمتها الأصلية في الأرض على مدى تحول الأرض نحو القلوية (الصودية).

أيضاً يؤدي تراكم كربونات الصوديوم في الأراضي إلى تحول الأرض نحو القلوية (الصودية) حيث يؤدي وجودها بالتربة إلى رفع رقم حموضة التربة لأكثر من 8.5.

وقد يرجع تكوين كربونات الصوديوم في التربة إلى التفاعل الذي يحدث بين كلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم مع كربونات الكالسيوم. وهذا التفاعل هو الأساس في تكوين كربونات الصوديوم في الأراضي.

الخصائص الكيميائية

1- يتشبع مُعقد الإدمصاص بالصوديوم المتبادل فتحتوى الأرض على معقد إدمصاص صودي ترتفع فيه نسبة الصوديوم المتبادل عن 15%.

2- وجود تركيز عالي من كربونات الصوديوم مما يعمل على رفع رقم الـ pH إلى أعلى من 8.5.

وبصفة عامة لاتصبح السيادة بين القواعد المتبادلة لصالح الصوديوم إلا عند تجمع نسبة عالية من أملاح الصوديوم الذائبة، أو عندما يكون مجموع الكالسيوم والماغنيسيوم الذائب قليلاً جداً.

إستصلاح الأراضى الصودية- غير الملحية

يتم إستصلاح هذا النوع من الأراضي عن طريق إضافة مُصلحات كيميائية أو مُحسنات للأرض, والهدف الأساسي هو إضافة الكالسيوم إلى الأرض سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بحيث يقوم الكالسيوم

بالإحلال محل الصوديوم المُدمص على مُعقد الإدمصاص (حبيبات الطين والمادة العضوية) ثم يخرج الصوديوم مع ماء الصرف (ماء الغسيل) إلى المصارف.

يهدف علاج الأراضي الصودية إلى تقليل كمية الصوديوم المتبادل المُدمص على حبيبات التربة ويحتاج ذلك لإضافة مُحسنات مع عملية الغسيل. وأهم هذه المُصلحات الكيميائية وأكثرها إنتشاراً لرخص ثمنها هو الجبس الزراعي ($CaSO_4.2H_2O$) وكمية الجبس الواجب إضافتها لاستصلاح الأرض القلوية يُطلق عليها الإحتياجات الجبسية (Gypsum Requirements). ويمكن إستخدام كمية تقريبية تقدر بـ 2 طن للهكتار أي 840 كيلو جرام للفدان من الجبس الزراعي لاستصلاح عمق الـ 5 سنتيمترات السطحية من التربة، وتضاف كميات مُحسنات أكبر لمعالجة عمق تربة أكبر. ويوجد أسلوب آخر لإضافة الجبس مخلوطاً مع ماء الري وهذا الأسلوب يُعتبر أفضل من الناحية الإقتصادية.

وقبل القيام بإجراء عمليات إستصلاح الأرض يجب بداية معرفة إذا ما كانت الأرض صودية أم لا وذلك عن طريق تقدير محتوى الأرض من الصوديوم المتبادل. فإذا كانت نسبة الصوديوم المتبادل أكبر من 15% من مجموع الكاتيونات المتبادلة (أي من السعة التبادلية الكاتيونية كانت الأرض قلوية (صودية)، وفى هذه الحالة يتم تقدير الإحتياجات الجبسية اللازم إضافتها لخفض نسبة الصوديوم المتبادل وتوصيلها إلى أقل من 15%. والمثال التالي يوضح كيفية حساب الإحتياجات الجبسية.

بتحليل عينة تربة وجد أن كمية الصوديوم المتبادل بها 8 سنتي مول شحنة/ كجم تربة والسعة التبادلية الكاتيونية لها 33 سنتي مول شحنة/ كجم تربة- والمطلوب معرفة هل الأرض صودية أم لا؟ وإذا كانت الأرض صودية فما هي كمية الجبس الواجب إضافتها لخفض نسبة الصوديوم المتبادل إلى 10%، علماً بأن درجة نقاوة الجبس المستخدم 90%؟

أولاً لتحديد (صودية) الأرض من عدمه لابد من حساب نسبة الصوديوم المتبادل في هذه الأرض، فإذا زاد عن 15% تكون الأرض صودية والعكس صحيح. ويمكن حساب نسبة الصوديوم المتبادل من العلاقة التالية:

$$ESP = (\text{Exchangeable Na}/ \text{CEC}) \times 100$$

حيث:

ESP هي النسبة المئوية للصوديوم المتبادل.

EX Na هي الصوديوم المتبادلبوحدات السنتي مول شحنة/ كجم تربة.

CEC هي السعة التبادلية الكاتيونية للأرض سنتي مول شحنة/ كجم تربة.

$$ESP = (8/ 33) \times 100 = 24.24\%$$

من العلاقة السابقة يتضح أن النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) هي 24.24% أي أن الأرض صودية وبالتالي يلزم إضافة الجبس الزراعي لاستصلاحها. ويُمكن حساب كمية الجبس الزراعي بالطن والواجب إضافتها لمساحة فدان لاستصلاح عمق قدره 30 سم من خلال العلاقة التالية:

$$GR = [(ESP_i - ESP_f)/ 100] \times CEC \times 1.72$$

حيث:

ESP_i نسبة الصوديوم المتبادل الموجودة أصلاً في الأرض (24.24%).

ESP_f نسبة الصوديوم المتبادل المراد الوصول إليها بعد الإستصلاح ولتكن 10%.

1.72 هو رقم ثابت للتحويل من سنتي مول شحنة/ كجم تربة إلى طن/ فدان بعمق 30 سم. وإذا كان عمق الإستصلاح 15 سم فقط فإن هذا الثابت يصبح 0.86 فقط.

وبالتعويض في العلاقة السابقة يتضح أن كمية الجبس الواجب إضافتها للأرض لمساحة فدان لعمق 30 سم هي:

$$GR = [(24.24 - 10)/ 100] \times 33 \times 1.72 = 8.08 \text{ Ton/ Fed}$$

هذه الكمية (8.08 طن/ فدان/ 30 سم) تكفي لاستصلاح فدان لعمق 30 سم. ولكن نقاوة الجبس ليست 100% بل 90% لذا يجب ضرب الناتج في مقلوب النقاوة لتلاشي كمية الشوائب الموجودة في الجبس الزراعي أي أن:

الكمية = 8.08 × (100 ÷ 90) = 8.98 طن تقريباً للفدان لعمق 30 سم.

ولكن نظراً لأن التفاعل بين الكالسيوم المُضاف في صورة جبس والصوديوم المُدمص تفاعل عكسي أي غير تام فإن كمية الكالسيوم المُضاف لاتحل محل الصوديوم المُدمص إحلالاً تاماً لذلك يجب إضافة الجبس بمعدل أعلى من المحسوب كإحتياجات جبسية بنسبة تعادل 125%، لذلك فإن الإحتياجات الجبسية الفعلية = الإحتياجات الجبسية المحسوبة × 1.25

= 8.98 × 1.25 = 11.23 طن/ فدان بعمق 30 سم.

الأراضي الجيريـــــــة

هي الأراضى التي تحتوي على نسبة من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) تؤثر على خواصها الطبيعية والكيميائية بحيث تجعلها وسطاً غير مناسباً لنمو النباتات نمواً جيداً.

وتتراوح نسبة كربونات الكالسيوم في الأراضى الجيرية من أقل من 10% إلى مايزيد عن 80% من كتلة التربة. ونظراً لسيادة كربونات الكالسيوم في الأراضي الجيرية فإن أيون الكالسيوم يُصبح هو الكاتيون السائد في محلولها الأرضي وعلى مُعقد التبادل الأرضي.

وتتواجد الأراضي الجيرية في مصر على طول الساحل الشمالي الغربي حتى السلوم وفي شبه جزيرة سيناء وبعض أراضي محافظة الفيوم.

أسباب تكون الأراضي الجيرية

تتكون الأراضى الجيرية نتيجة لعدة أسباب منها:

1- إحتواء الأرض على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$).

2- إذا كانت مادة الأصل عبارة عن صخور جيرية ودولوميت وكالسيت وبازلت (غنية بالكالسيوم).

3- المناخ السائد في المنطقة عبارة عن مناخ جاف مُعظم فصول السنة مما يسمح بتراكم كربونات الكالسيوم دون أن يحدث لها غسيل.

وعادة مايتراوح رقم حموضة هذه الأراضي من 8.2 إلى 8.5. وعلى الرغم من ذلك فإن وجود ثاني أكسيد الكربون في الهواء الأرضي يمنع تراكم أيونات الهيدروكسيل بها. وعلى النقيض من ذلك فإن نقص ضغط ثاني أكسيد الكربون في الهواء الأرضي قد يجعل الأرض الجيرية فائقة القلوية.

والأراضي الجيرية فقيرة في المادة العضوية لسرعة تحللها تحت ظروف المناخ الجاف وشبه الجاف الذي تنشأ تحته هذه الأراضي. وحيث أن المادة العضوية هي المصدر الرئيسي للنيتروجين في التربة فإن الأراضى الجيرية تعاني بوجه عام من نقص محتواها من هذا العنصر. ولاتقتصر مشكلة النيتروجين في الأراضي الجيرية على فقر هذه الأراضي منه حيث أن مايُضاف من هذا العنصر في صورة سمادية يكون عُرضة للفقد عن طريق الغسيل مع ماء الصرف بجانب أن إضافة هذا العنصر في صورة أمونيومية (NH_4^+) يجعله عُرضة للفقد بالتطاير نتيجة إرتفاع رقم الـ pH في هذه الأراضي من ناحية أخرى كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$NH_4^+ + OH^- \longrightarrow NH_3\uparrow + H_2O$$

كما يُمكن أن يُفقد النتروجين نتيجة تفاعل الأسمدة الأمونيومية مع كربونات الكالسيوم كما يتضح من المعادلات التالية:

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 + CaSO_4$$

$$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_3\uparrow + CO_2 + H_2O$$

كذلك يؤدي تركيز كربونات الكالسيوم المُرتفع والرقم الهيدروجيني القاعدي إلى ترسيب الفوسفور في صور مختلفة فضلاً على أن لكربونات الكالسيوم القُدرة على إدمصاص الفوسفات المُضافة إلى التربة في صورة مُيسرة وتحويله بالتالي إلى صورة غير ميسرة للنبات. وتزداد قدرة كربونات الكالسيوم على إدمصاص

الفوسفات وتحويله إلى صورة غير ميسرة كلما كانت حبيباته أقل حجماً أي أكبر في مساحة سطحها النوعي.

المحاضرة الخامسة

خواص الماء الفريدة وجودته للري

The Unique Properties of Water

and its Quality for Irrigation

مقدمـة

لاشك أن الماء يُعتبر قوام الحياة على الأرض وأساسها الذي لايمكن الإستغناء عنه، كما أنه عماد كل حضارة وتنمية، حيث تتجلى خصوصية الماء في أنه أثمن شيء خلقه الله تعالى بعد البشر، قال الله سبحانه في مُحكم التنزيل:

" وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاء كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلا يُؤْمِنُونَ" (سورة الأنبياء: 30).

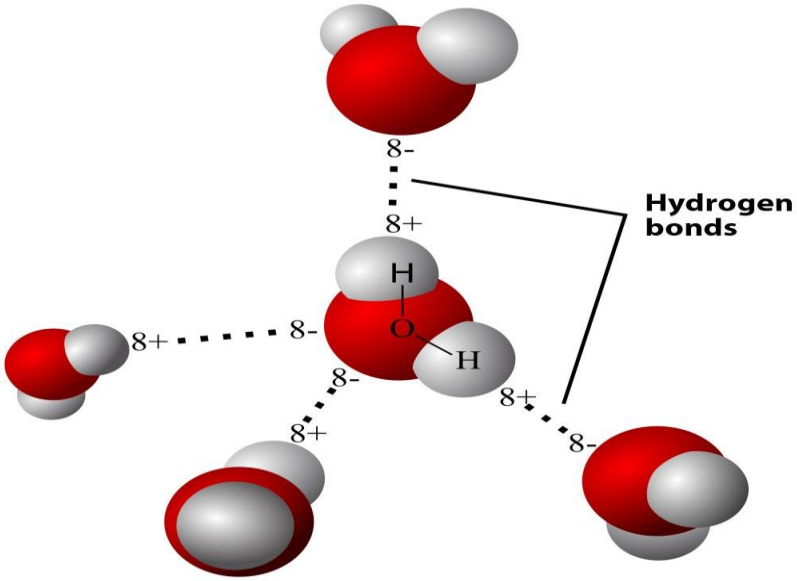
إن الدور المهم الذي يلعبه الماء في حياة الكائنات الحية يمكن أن ندركه عندما نقارن حال الأرض قبل وبعد هطول المطر عليها فهي جرداء قاحلة في غياب الماء وخضراء يانعة بعد هطوله عليها، قال تعالى:

"وَتَرَى الأرض هَامِدَةً فَإذا أنزَلْنَا عليهَا الْمَاء اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ وَأنبَتَتْ
مِن كُلِّ زَوْجٍ بَهِيجٍ" (سورة الحج: 5).

وتعتمد التنمية الزراعية على الموارد المائية المتاحة للإستغلال الزراعي والتي أصبحت العنصر الحاكم في هذه التنمية. وبقدر مايتوفر من مياه سوف تزداد الرقعة الزراعية إلى أقصى قدر مستطاع. ويُعتبر ذلك التوسع ضرورة أساسية من ضرورات التنمية لمواجهة الطلب المتزايد على الغذاء نتيجة التزايد السكاني المستمر.

خواص الماء الفريدة (The Unique Properties of Water)

يمتاز الماء النقي بخواص فريدة تُميزه عن السوائل الأخرى، وهذا ناتج عن أن مكوناته الأساسية (الجزيئات) مترابطة فيما بينها بروابط هيدروجينية فريدة تُغير من صفاته مقارنة بمثيلاته من السوائل الأخرى.



شكل يوضح كيفية الترابط بين جزيئات الماء بروابط هيدروجينية

ويرجع سر الخواص الفريدة للماء إلى الرابطة الهيدروجينية, رابطة الحياة والتى تجعل الماء يتميز بخواص فريدة تكون في بعض الحالات غير متوقعة. فالأبحاث في خواص الماء مُتعددة ومُتسارعة في جميع الإتجاهات, ومع ذلك لم يتم بعد إكتشاف جميع خباياه، وهذه بعض الأمثلة:

- يتميز الماء بأنه المادة الوحيدة التي تتواجد تحت الظروف الطبيعية لسطح الأرض على حالات ثلاث (صلب وسائل وبخار).

شكل يوضح التحولات بين الحالات الثلاث للماء

- يتميز الماء (مقارنة مع المواد الأخرى) بمميزات غير عادية، فهو يحوي عناصر من نفس مجموعة الأكسوجين من جدول ماندليف التي يتبين أنه كلما زادت الكتلة الذرية ارتفعت درجات حرارة الغليان

ودرجة الذوبان. لكن الماء يتعارض مع هذه القاعدة, فالماء كان من المفروض أن يغلي في درجة حرارة -80 مئوية ويذوب في درجة حرارة -110 مئوية ولكن بفضل مميزاته غير العادية فقد أبى إلا أن يغلي في 100 درجة مئوية، وأن يذوب في صفر درجة استجابة لمتطلبات الحياة على سطح هذه الأرض. ودرجة غليان الماء المرتفعة نتيجة لقوة رابطته التشاركية تجعله يمتص قدر كبير من الحرارة لكي يتبخر، حيث كل جرام من الماء السائل يحتاج إلى 540 كالوري ليتحول إلى بخار. هذه الخاصية تعطي الماء دوراً فريداً في نقل القدرة من مكان لآخر، فالماء الذي يتبخر من المحيطات تسوقه الرياح مئات وآلاف الكيلومترات إلى أماكن باردة فعندما يبرد البخار ويتحبب يتساقط على شكل قطرات مطر تنشر معه الطاقة التي إمتصها أثناء تبخُره فيساهم في رفع درجة الحرارة في تلك المناطق وتلطيف حرارة الجو وكذلك في أثناء تساقط الثلوج فكم هذه الحرارة المنتشرة كبير إذا علمنا أنه يتبخر كل عام نحو 520 ألف كيلو متر مكعب من الماء.

- القاعدة العامة تقول بكثافة (ثقل) الحالة الصلبة على الحالة السائلة لنفس المادة الواحدة، لكن الماء على خلاف هذه القاعدة, فالماء الصلب أخف من الماء السائل. حيث تبلُغ كثافة الماء في الحالة السائلة 1000 كيلو جرام لكل متر مكعب، وعندما يصبح جليداً تكون كثافته أقل (917 كيلو جرام لكل متر مكعب). وهكذا يبدأ الماء بالتجمد على السطح فيطفو الثلج على الماء السائل, فيكون حاجزاً حرارياً يمنع تجمد الماء في الأعماق, فيحافظ على الحياة في أعماق البحيرات والمحيطات بما يؤكد عظمة الخالق ودقة صنعه وإتقانه.

صورة توضح أن الماء في الحالة الصلبة أخف من الماء في الحالة السائلة

وعندما يتجمد الماء يزيد حجمه بنحو 10% نتيجة تركيبته الرباعية الأوجه وهذا مايُلاحظ في قنينة الزجاج المليئة بالماء السائل, حينما تتجمد تنكسر. وكذلك الماء الذي انسل إلى شقوق الصخور, عندما يتجمد يزيد حجمه محدثا ضغطاً عالياً فيُفجر الصخر, وهكذا تتم تعرية الجبال، فالماء يستطيع أن

يفجرها بتلك القوة الكامنة في تحوله إلى جليد. وتبريد الماء يؤدي إلى تقلص حجمه حتى تصبح درجة حرارة الماء 4 درجات مئوية، ولكنه بعد ذلك ينعكس هذا الوضع إلى تمدد فيزداد حجم الماء تحت هذه الدرجة حتى درجة صفر مئوية والتي عندها يتحول الماء إلى جليد صلب ذي كثافة أقل. فجميع السوائل تتقلص باستمرار عندما تنخفض درجة حرارتها حتى تتجمد، أما الماء فيستمر في التقلص مع انخفاض درجة حرارته حتى الدرجة 4 مئوية، يبدأ بعدها بالتمدد حتى يتجمد. ولولا وجود ميزة تمدد الماء تحت الدرجة 4 مئوية، لانعدمت الكثير من أشكال الحياة في أعماق البحار، ولأدى ذلك على مدى ملايين السنين لانعدام الحياة بأكملها على وجه الأرض. وتنعكس هذه الظاهرة على الحياة في البحار العميقة والمتجمدة، حيث نلاحظ أن الطبقة العليا من البحر قد تجمدت وعندما نغوص في هذا البحر نجد أن الأسماك والحيوانات البحرية والكائنات الحية تعيش حياة طبيعية، فسبحان الله الذي لم ينسَ هذه الحيوانات في أعماق البحار وظلماتها وبرودة مائها.

- للماء قدرة عالية على تخزين الحرارة، ولذلك فهو يلعب دوراً مهماً في تغيرات المناخ والتوازن البيئي. ويأخذ الماء أشكالاً متعددة في الطبيعة، فهو يظهر على شكل مياه في الحالة السائلة كما في البحار والأنهار، ويمكن أن يظهر بشكل صلب كما في الجبال الجليدية والمحيطات المتجمدة، ويمكن أن يظهر على شكل غاز، كما في بخار الماء الموجود في الجوّ، أو الغيوم الموجودة في طبقات الجو. كما يمكن أن يظهر الماء على شكل رطوبة أو قطيرات صغيرة من الماء مختزنة في تراب الأرض.
- الماء سائل كثير السيولة, فمن المستحيل الحفاظ على الماء في كف اليد لمدة أطول.
- الماء لاينضغط بحيث يمكننا أن نجعل نفس الكمية في حجم أصغر كما نفعل بالهواء مثلاً، لهذا يستفاد منه في العمليات الهيدروليكية التي جاء اسمها من الماء (لأن كلمة هيدرو تعني الماء)، ويستفاد منه حالياً في عمليات قص الصخور والحديد الصلب، فالآن يُستخدم الماء المضغوط جداً كمنشار لقص تلك المعادن الصلبة، فهو أفضل من الليزر على دقته، لأنه يترك الجزء المقطوع ناعماً، فلم يكن أحد يتصور أن الماء سيقطع الحديد، لكن إعجاز الله في خلقه لا حدود له.
- كلما ضغطت على الماء ازدادت سيولته (خلافاً للقاعدة العامة), لهذا لا يمكن إنتاج الثلج بالضغط على الماء. ونلاحظ أنه كلما زاد الضغط على الماء نقصت درجة حرارة تجمده, وهكذا يبدأ الجليد في الذوبان من القاعدة حيث الضغط أكبر, وهـو ما يسهل تحرك جبال الجليد فوق ماء البحر في فصل الصيف في القطب الشمالي والجنوبي. وهذه الخاصية الفريدة هي التي تمكن من التزحلق على الجليد, فحينما تضغط الصفيحة الحديدية للحذاء على الجليد تتكون رقيقة ناعمة من الماء السائل وهو ما يسهل التزحلق على الجليد. وعلى العكس, كلما نقص الضغط على الماء انخفضت درجة حرارة غليانه. ففي المناطق الجبلية, حيث يكون الضغط منخفضاً, تكون درجة حرارة الغليان منخفضة, مقارنة مع المناطق الساحلية. لذلك يتطلب الطهي مدة أطول في المناطق الجبلية. فمثلاً على قمة جبل إفريست (بارتفاع 8,848 متر) يغلي الماء في 72 درجة مئوية, علما أنه يغلي في 100 درجة مئوية في المناطق الساحلية.

▪ يمتاز الماء بشده (توتره) السطحي المرتفع, وهو الأعلى بالنسبة لجميع المواد عدا الزئبق. وهذا مهم لتكوين قطرات ماء المطر, بحيث أن التوتر السطحي المرتفع هو الذي يحافظ على تماسك قطرة الماء في الهواء, على شكل كرة, ويمنع تشتتها. وهذا الشد السطحي المرتفع يساعد على إيصال الطاقة الهوائية إلى ماء البحر فيحدث تموجات على سطحه, والموج بانكساره يشحن الماء بالأكسوجين, الذي هو ضروري للحياة داخل البحر. كما إنه هو المسئول عن تحريك الماء في المسامات والفراغات والأقنية والشقوق الدقيقة في التربة والصخور نحو الأعلى حتى تتساوى قوة التوتر السطحي للماء مع قوة الجاذبية الأرضية مم يسهل على جذور النباتات الحصول على الماء في المناطق الجافة والصحراوية.

▪ الماء سائل متعادل كيميائياً، إذ أن درجة الحموضة أو القاعدية فيه هي (pH = 7)، وهذا يعني أنه لايمكن إعتبار الماء مادة حمضية أو قاعدية، لأنه مادة متعادلة كيميائياً.

▪ تُعد قيمة ثابت العزل الكهربائي للماء عالية جداً (نحو 80) حيث في جزيئات الماء تكون مراكز الشحنات الموجبة والسالبة منزاحة كثيراً عن بعضها البعض. فنلاحظ أنه عند غمر جسم ما في الماء أن القوى الناشئة بين الجزيئات أو الذرات على سطحه تضعف تحت تأثير الماء مئة مرة تقريباً، فإذا أصبحا الرابطة بين الجزيئات غير قادرة على مقاومة فعل الحركة الحرارية بدأت جزيئات الجسم أو ذراته بالإنفصال عن سطحه والإنتقال إلى الماء، وبدأ الجسم عندئذ بالذوبان حيث يتفكك إلى جزيئات مستقلة كما يحدُث للسكر عند ذوبانه في كأس من الشاي أو يتفكك إلى جسيمات مشحونة (أيونات) كما يحدث لملح الطعام.

▪ يُعتبر الماء من أقوى المذيبات بفضل ثابت عزله الكهربائي الكبير جداً، إذ أنه باستطاعته أن يُذيب أي صخرٍ كان على سطح الأرض. فالماء يفتت ببطء الجرانيت ويسحب أو يمتص منه الأجزاء سهلة الذوبان. ولهذه الخاصية أهمية كبيرة للنبات فالماء يُذيب الأملاح والمعادن الضرورية لحياة النبات التي تنتقل عبر الأنابيب الشعرية إلى الخلايا النباتية.

▪ للماء قدرة فائقة على تحليل جميع المعادن والمواد العضوية. ويكاد لاتوجد مادة على الأرض, غير مذابة داخل الماء ولو بدرجة بسيطة, لهذا من شبه المستحيل أن تجد ماءً خالصاً مائة في المائة.

▪ التفاعلات الكيميائية تتم عادة داخل المحلول المائي. فجسم الإنسان يحتوي على 70% من الماء ويحتاج إلى لترين من الماء في اليوم، والإنسان لايمكن له أن يعيش بدون ماء لأكثر من بضعة أيام. وغذاء الإنسان يتكون أساساً من الماء (الطماطم 95%, السبانخ 91%, الحليب 90%, التفاح 85%, البطاطس 80%, لحم البقر 61%).

▪ الماء لايحتاج إلى هضم، وهذا الأمر ليس سهلاً فلو احتاج إلى هضم، لاحتاج إلى أنزيمات هاضمة أو هرمونات.

▪ إن أغلب الخواص الفيزيائية للسوائل تتغير بشكل تصاعدي أو تناقصي مستمر, بخلاف الماء الذي تمر خواصه حين تتغير, بالحدود القصوى أو الدنيا. ومن هذه الخواص أن سرعة الصوت تمر بأقصى قيمة

لها داخل ماء البحر عند 74 درجة مئوية، كثافة الماء تمر بأقصى قيمة لها عند 4 درجات مئوية. كما أن الخواص التالية تصل إلى أدنى قيمة لها عند درجات الحرارة التالية وهي ذوبان الأكسوجين في الماء عند 80 درجة مئوية، الحجم النوعي عند 4 درجة مئوية، الحرارة النوعية عند 34 درجة مئوية، ذوبان الهيدروجين في الماء عند 37 درجة مئوية، قابلية الإنضغاط عند 44 درجة مئوية، سرعة الضوء عند -1 درجة مئوية.

- يمتاز الماء على غيره من المواد بحرارة نوعية مرتفعة، وهذا يجعل الماء يمتص أو يُعطي حرارة أكثر عند التبادل الحراري, مقارنة مع المواد الأخرى. أو بعبارة أخرى يمتاز الماء بقصور حراري كبير, ولهذا يستعمل الماء في الصناعة للتبريد أو التسخين. والمحيطات تختزن, بفضل الله وهذه الخاصية كمية هائلة من حرارة الشمس, حيث يتم توزيعها من خلال التيارات البحرية وتبخر الماء, الذي يعمل على تلطيف الجو خصوصاً في المناطق الساحلية.
- الماء له القدرة على إمتصاص الأشعة تحت الحمراء بشدة، وبما أن الأشعة تحت الحمراء قريبة من الأشعة الحمراء في الطيف الضوئي، فإن الماء يمتص قسماً من الأشعة الحمراء، وهذا ما يجعل الماء يبدو مائلاً إلى اللون الأزرق عندما ننظر إليه في البحيرات والمحيطات. وعندما ننظر إلى البحر في يوم غائم فإننا نلاحظ أن لون الماء يميل للأزرق، وهذا يعني أن اللون الأزرق ليس ناتجاً عن انعكاس لون السماء. كما أن وجود المعادن في الصخور مثل معدن الحديد يسهم في إعطاء الماء اللون الأحمر، كما أن وجود الصخور الكلسية في مجرى النهر مثلاً تُحول لون الماء إلى الفيروزي، بينما وجود صخور حديدية يجعل لون الماء يميل للأحمر والبني. أما الصخور التي تحوي مركبات نحاسية فإنها تلون الماء باللون الأزرق، وأخيراً فإن وجود الطحالب في الماء يميزه بلون أخضر. وهناك مواد تذوب في الماء بسهولة مثل الأملاح وتسمى المواد المحبة للماء (Hydrophilic)، وهناك مواد لاتذوب جيداً في الماء مثل الشحوم والزيوت، وتسمى المواد غير المحبة للماء (Hydrophobic).

جودة المياه للري (Water Quality for Irrigation)

تتحدد جودة مياه الري بمعايير تختلف عن معايير قياس جودة المياه المستخدمة في الشرب أو الصناعة. فمياه الشرب تتمثل في جودتها في عوامل اللون والطعم والرائحة، أما في الصناعة فمواصفاتها تتعلق بعدم إحتوائها على مواد تسبب تآكل للأنابيب المعدنية أو مواد سامة في صناعة العصائر مثلاً.

أما المياه التي تستخدم في الري فتتحدد قيمتها بقدرتها على تحسين العلاقة بين النبات والتربة، بالإضافة إلى تحسينها للخواص الطبيعية والكيميائية للتربة والتي ينعكس تأثيرها على الإنتاجية والمحصول.

العوامل التي تتحكم في صلاحية المياه للري

هُناك العديد من العوامل التي تحد من صلاحية المياه للري، نذكر منها مايلي:

- التركيز الكلي للأملاح (Total Soluble Salts).
- تركيز الصوديوم ونسبته إلى نسبة الكالسيوم والماغنيسيوم والبيكربونات.
- نوع أنيونات الأملاح السائدة مثل أملاح HCO_3، CO_3، Cl ، NO_3 ، NH_4.
- وجود بعض العناصر الثقيلة نتيجة خلط مياه الصرف الصناعي بدون معالجة بتركيزات تؤدي إلى تسمم النبات مثل Pb، Cd، Hg، Cr، Ni، Co، As، Se.
- وجود بعض العناصر الصغرى بتركيزات مرتفعة تسبب أضرار للنبات مثل Fe،Cu Zu، Mn، B.
- كميات مياه الري المُتاحة والفترة بين الريات وتوفر موارد مائية أخرى منخفضة الملوحة يُمكن إستخدامها في غسيل الأملاح المتراكمة نتيجة استخدام المياه العادمة.
- خواص التربة الطبيعية والكيميائية والمائية.
- طوبوغرافية الأرض.
- طريقة الري المستخدمة (ري بالغمر- بالرش– بالتنقيط).
- وجود بعض الميكروبات المرضية في مياه الري نتيجة الخلط بمياه الصرف الصحي غير المعالجة مثل:

* بكتريا القولون البرازية (Fecal Coliform Bacteria).
* بكتريا القولون السبحية الكروية (Fecal Streptococci Bacteria).
* بكتريا القولون (Coliform bacteria).

المشاكل التي قد تنشأ بسبب عدم جودة مياه الري

- عدم التوازن بين العناصر الغذائية فى التربة.
- تأثر الكائنات الحية الدقيقة المتعايشة في التربة والمواد العضوية المتحللة بها سلباً مع حدوث إضطراب في عمليات تحولات النيتروجين بالتربة.
- تكوين بؤر من المواد الرسوبية مثل تكوين طبقات صماء في المزرعة.
- تغير الصفات الطبيعية والكيميائية والبيولوجية للتربة بطريقة تؤدي إلى خفض إنتاجيتها.

التقسيم الأمريكي الحديث لمياه الري حسب جودتها

أكدت الأبحاث التي أجريت حديثاً في جامعات ولاية أوكلاهوما الأمريكية بالتعاون مع دائرة الزراعة الأمريكية (USDA) أنه يُمكن تقسيم مياه الري إلى ستة مراتب. إن من أهم الأضرار التي تسببها مياه الري منخفضة الجودة هو تراكم الأملاح الذائبة في التربة وأيضاً أيونات الصوديوم. فالأملاح الذائبة تعمل على عدم تمكين النبات من الحصول على الرطوبة اللازمة لنموه. كما أن تراكم أيونات الصوديوم على أسطح

حبيبات غرويات التربة يجعلها تطفو وتسد مسامها وبالتالي ضعف حركة المياه داخل التربة فلا تستطيع جذور النبات الحصول على كفايتها من المياه رغم وجودتها على سطح التربة.

بناء على ذلك يُمكن تقسيم مياه الري إلى ستة مراتب على النحو التالي:

- المرتبة الأولى (Class I): مياه ممتازة (Excellent)، تتميز بأن الأملاح الكلية الذائبة والنسبة المئوية للصوديوم بها منخفضة لدرجة لايسبب إستخدامها أي مشكلة.
- المرتبة الثانية (Class II): مياه جيدة (Good)، تناسب معظم المحاصيل تحت معظم الظروف البيئية المختلفة. بالرغم من ذلك فإن الإستخدام المفرط لهذه المياه (خاصة في الترب الطمية) يؤدي إلى عدم صرف المياه الزائدة وبالتالي حدوث مشاكل تملح للتربة، وفي حالة زيادة أملاح الصوديوم عن 30% فمن الضروري اللجوء إلى إضافة الجبس الزراعي للتربة بصفة دورية.
- المرتبة الثالثة (Class III): مياه ري مناسبة (Fair)، يمكن إستخدامها بنجاح مع معظم المحاصيل بعد إتخاذ الإحتياطات اللازمة لمنع تراكم الأملاح الذائبة في التربة بما في ذلك الصوديوم. بناء على ذلك لابد من إتباع برنامج ري جيد للحد من تراكم الأملاح بها مع عمل نظام صرف جيد والمحافظة على أن يكون مستوى الماء الأرضي بعمق لايقل عن ثلاثة أمتار.
- المرتبة الرابعة (Class IV): مياه فقيرة (Poor)، يتحدد إستخدامها فقط في الترب جيدة الصرف وري محاصيل تتحمل الملوحة. ويجب إستخدام مياه ري زائدة لغسيل الأملاح ومنع تراكمها. وهذه المياه لاتناسب الري في الأراضي ناعمة القوام.
- المرتبة الخامسة (Class V): مياه رديئة للغاية (Very Poor)، تستخدم في الأراضي الرملية ذات الصرف الجيد جداً. ولايجب إستخدام تلك المياه إلا تحت إشراف فني وتقني عالي حتى لايتهدم بناء التربة.
- المرتبة السادسة (Class VI): مياه غير ملائمة للري (Unsuitable).

المعايير الدولية لتحديد صلاحية المياه للري

تُعتبر المعايير الدولية لتحديد صلاحية مياه الري من الأهمية بمكان حيث كانت كل دولة في الماضي تضع معايير خاصة بها. وتتمثل المعايير الدولية التي يُمكن بها تقييم صلاحية المياه للري في الآتي:

1- الأملاح الكلية الذائبة.

2- العناصر النادرة والثقيلة.

3- المعايير البيولوجية.

▪ *الأملاح الكلية الذائبة* ***(The Total Soluble Salts)***

هناك العديد من التقسيمات التي تتعلق بتركيز الاملاح الكلية الذائبة في مياه الري، نذكر منها التقسيمات الآتية:

▪ *تقسيم شوفيلد (Schofield 1936)*

قسم شوفيلد مياه الري تبعاً للتركيز الكلي للأملاح والنسبة المئوية للصوديوم الذائب إلى الأقسام التالية:

رتبة المياه	درجة التوصيل الكهربي (ملليموز/ سم عند 25^{5}م)	مجموع الأملاح الذائبة (جزء في المليون)	النسبة المئوية للصوديوم الذائب
ممتازة	أقل من 0.25	أقل من 150	أقل من 20
جيدة	0.75 -0.25	450 -150	40 -20
مسموح بها	2.0 -0.75	1200 -450	60 -40
مشكوك في صلاحيتها	2.0 -3.0	1200 -1800	60 -80
غير صالحة	أكبر من 3	أكبر من 1800	أكبر من 80

كما قُسمت المياه حسب محتواها من البورون إلى خمسة أقسام وأيضاً على حسب درجة تحمل النبات له كما هو موضح في الجدول التالي:

رتبة المياه	تركيز البورون (جزء في المليون)		
	المحاصيل الحساسة	المحاصيل متوسطة الحساسية	المحاصيل المقاومة نسبياً
ممتازة	أقل من 0.33	أقل من 0.67	أقل من 1
جيدة	0.67 –0.33	1.33 –0.67	2 –1
مسموح بها	1.0 –0.67	2.0 –1.33	3 –2
مشكوك في صلاحيتها	1.25 –1.0	2.50 –2.0	3.75 –3
غير صالحة	أكبر من 1.25	أكبر من 2.50	أكبر من 3.75

▪ *تقسيم ويلكوكس (Wilcox, 1948)*

قسم ويلكوكس الماء حسب محتواه من الأملاح الذائبة (جزء في المليون) ومحتواه من للصوديوم الذائب (كنسبة مئوية من مموع الكاتيونات الذائبة) إلى الأقسام الآتية:

1- إذا كانت الأملاح الكلية الذائبة أكثر من 1800 جزء في المليون أعتُبر هذا الماء غير صالح للري بتاتاً مهما إنخفضت النسبة المئوية للصوديوم الذائب فيه.

2– إذا كانت كمية الأملاح الذائبة في حدود 1200– 1800 جزء في المليون فإن هذا الماء يكون مشكوك في صلاحيته للري أو يُعتبر غير صالح.

3– إذا كانت كمية الأملاح الذائبة 900 جزء في المليون فإن صلاحية الماء للري تتوقف على النسبة المئوية للصوديوم الذائب فيه على النحو التالي:

* إذا كانت نسبة الصوديوم أكثر من 97% من الكاتيونات الذائبة أعتُبر الماء غير صالح للري على الإطلاق.

* إذا كانت نسبة الصوديوم أكثر من 77% وأقل من 97% من مجموعة الكاتيونات الذائبة كان الماء مشكوك في صلاحيته للري أو قد يُعتبر غير صالح.

* إذا كانت نسبة الصوديوم أكثر من 52% وأقل من 77% من مجموع الكاتيونات الذائبة كان الماء مسموحاً به للري أو مشكوك في صلاحيته.

* إذا كانت نسبة الصوديوم أقل من 52% من مجموع الكاتيونات الذائبة أعتُبر الماء مسموحاً به للري أو جيد الصلاحية.

* إذا كانت كمية الأملاح الذائبة 300 جزء في المليون أعتُبر هذا الماء صالحاً للري مالم تزد نسبة الصوديوم عن 72% من مجموع الكاتيونات الذائبة.

▪ *تقسيم دونيين (Doneen, 1954)*

قسم دونيين المياه تبعاً لمحتواها من الكلوريد والكبريت إلى ثلاثة أقسام والذي أطلق عليه جهد الملوحة (Potential Salinity) علماً بأن هذا التركيز يتوقف على نفاذية الأرض للماء كما هو موضح بالجدول التالي:

درجة الماء	تركيز $Cl^- + 0.5\ SO_4^=$ (ملليمكافيء/ لتر)		
	نفاذية منخفضة	نفاذية متوسطة	نفاذية عالية
	غسيل قليل	غسيل متوسط	غسيل جيد
جيدة	أقل من 3	أقل من 5	أقل من 7
متوسطة	3- 5	5- 10	7- 15
رديئة	أكثر من 5	أكثر من 10	أكثر من 15

▪ *التقسيم الأمريكي للمياه حسب صلاحيتها للري تبعاً لملوحتها*

(تقسيم ثورن وثورن) (Thorne and Thorne 1951)

قسم الصلاحية	درجة التوصيل الكهربائي (ملليموز/ سم عند 25م^5)	مجموع الأملاح الذائبة (جزء فى المليون)	مدى الصلاحية للري
1	أقل من 0.750	أقل من 500	يُمكن إستعمالها بدون خطورة على الأراضي.
2	من 0.750 إلى 1.750	من 1100 إلى أقل من 2000	تصلح لري الأراضي جديدة الصرف مع الإكثار من كمية المياه المُستعملة ليتسنى إزالة الأملاح المُتبقية في التربة من الريات السابقة.
3	من 1.750 إلى 3	من 200 إلى 3200	يُمكن استعمالها في ري الأراضي جيدة النفاذية والصرف مع الإكثار من كمية المياه المستعملة واختيار الملوحة المتوسطة والعالية.
4	من 3 إلى 5	أكثر من 3200	يُمكن إستعمالها بنجاح فقط في الحاصلات شديدة المقاومة للملوحة في الأراضي جيدة النفاذية والصرف.
5	أكثر من 5		هذه المياه غير صالحة للري غالباً إلا في ظروف خاصة جداً.

▪ *التقسيم الأمريكى للمياه لتحديد صلاحيتها للري حسب نسبة إدمصاص الصوديوم (SAR).*

	الإستعمال
أقل من 10	يُمكن استعمال مثل هذه المياه في جميع أنواع الأراضي مع إحتمال قليل جداً لزيادة الصوديوم المدص بالأرض لدرجة تسبب أي تلف في الخواص الطبيعية، وبالرغم من ذلك فإنه قد يُخشى إستعمالها في الحدود العليا للملوحة على بعض المحاصيل الحساسة جداً للصوديوم مثل الفواكه ذات النواة الحجرية.
10- 18	إستعمال هذه المياه يزيد من إحتمال زيادة الصوديوم المدمص بدرجة قد تسبب تدهور للأراضي الطينية الثقيلة الفقيرة في المادة العضوية إلا إذا كانت الأراضي الخفيفة القوام والأراضي العضوية ذات النفاذية العالية.
18- 26	من المؤكد أن يرتفع الصوديوم المدمص بالأرض نتيجة إستعمال هذه المياه، ولذا يجب أن تُراعى العناية الكافية بالصرف والغسيل كما يُراعى إضافة المواد العضوية والجبس إذا كانت الأرض خالية منها كلما إحتاج الأمر.
أكثر من 26	تُعتبر هذه المياه غير مرضية في إستعمالها عموماً إلا إذا كانت الملوحة منخفضة أو متوسطة مع مراعاة كافة الإحتياطات السابقة من حيث العناية بالصرف والغسيل مع إضافة الجبس والمصلحات الأخرى.

▪ *تقسيم آتون (Eaton 1950)* حسب تركيز كربونات الصوديوم المتبقية (RSC) بالنسبة لتركيز الكالسيوم والماغنيسيوم طبقاً للمعادلة التالية إلى:

$$RSC = (CO_3^{=} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

الصلاحية	كربونات الصوديوم المتبقية
ماء صالح للري	أقل من 1.25 ملليمكافيء/ لتر
ماء متوسط الصلاحية	تتراوح بين 1.25- 2.5 ملليمكافيء/ لتر
ماء غير صالح للري	أعلى من 2.5 ملليمكافيء/ لتر

▪ *التقسيم الأمريكي المُقترح عام 1985 لتقييم صلاحية المياه للري*

إعتمد على نتيجة دراسة أعدها أيرس و ويستكوت (Ayers & Westcot) وتناولت تقييم ماء الري حسب عدة محددات مثل درجة تركيز الأملاح الكلية الذائبة (مُقدرة حسب درجة التوصيل الكهربي بالملليموز/

سم)، مشاكل نفاذية الأرض، تسمم النباتات من حيث تركيز الكلوريد والبورون، بالإضافة إلى آثار أضرار مختلفة من حيث النتروجين والبيكربونات كما يلي:

نوع المشكلة	الوحدات	عندها مشاكل		
مشاكل الملوحة				
		بدون مشاكل	**مشاكل متزايدة**	**مشاكل خطيرة**
التوصيل الكهربى	ملليموز/ سم	أقل من 0.7	0.7- 3	أكبر من 3
درجة تركيز الأملاح	ملليجرام/ لتر	أقل من 450	450-2000	أكبر من 2000
مشاكل نفاذية	ECw			
SAR صفر- 3		أكبر من 0.7	0.7- 0.2	أقل من 0.2
6- 3		أكبر من 1.2	1.2- 0.3	أقل من 0.3
12- 6		أكبر من 1.9	1.9- 0.5	أقل من 0.5
20- 12		أكبر من 2.9	2.9- 1.3	أقل من 1.3
40- 20		أكبر من 5.0	5.0- 2.9	أقل من 2.9
مشاكل التسمم				
الصوديوم رى سطحى رى بالرش	ملليمكافئ/ لتر	أقل من 3 أقل من 3	9- 3 أكثر من 3	أكبر من 9 -
الكلوريد رى سطحى رى بالرش	ملليمكافئ/ لتر	أقل من 4 أقل من 3	10- 4 أكثر من 3	أكبر من 10 -
البورون	ملجم/ لتر	أقل من 0.7	3- 0.7	أكبر من 3

آثار متنوعة				
النترات	ملجم/ لتر	أقل من 5	5- 30	أكبر من 30
البيكربونات	ملليمكافئ/ لتر	أقل من 1.5	1.5- 8.5	أكبر من 8.5
pH	6.5- 8.4			

ويُشير أيرس وويستكوت أنه في حالة تقييم الماء من ناحية أثره على تمليح التربة يكون التقييم على أساس الإحتياجات الغسيلية (Leaching Requirement) التي تضاف عادة.

▪ ***العناصر النادرة والمعادن الثقيلة (The Trace and Heavy metals)***

تُمثل العناصر النادرة والمعادن الثقيلة أهم مشكلة فيما يتعلق باستعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في البلدان التي توجد بها صناعات ثقيلة.

وتسبب المعادن التي قد توجد في مياه الصرف الصحي (مثل الكادميوم، النحاس، المولبدينوم، النيكل، الزنك) مخاطر صحية لايُستهان بها بالنسبة للإنسان والحيوان. كما أنها قد تؤثر على المحاصيل التي تُروى بتلك المياه. ففى معظم الحالات تتراكم هذه المعادن في المحصول، ويمكن أن تُحدث تأثيرات ضارة بالإنسان أو الحيوانات التي تتناولها.

والجدول التـــالي يُبين الحـدود الموصى بها للعناصر النــادرة والثقيلة في ميـاه الصرف الصحي المعالجــة المستخدمة في الــري طبقاً للكـود المصري (2005– 501– ECP).

العنصر	الإستعمال طويل الأجل* مليجرام/ لتر	الإستعمال طويل الأجل** مليجرام/ لتر
الألومنيوم	5.00	20.00
الزرنيخ	0.10	2.00
البيريليوم	0.10	0.50
البورون	0.75	2.00
الكادميوم	0.01	0.05
الكروم	0.10	1.00
الكوبالت	0.50	5.00
النحاس	0.20	5.00
الفلوريد	1.00	15.00
الحديد	5.00	20.00

الرصاص	5.00	10.00
الليثيوم	2.50	2.05
المنجنيز	0.20	10.00
الموليبدينوم	0.01	0.05
النيكل	0.20	2.00
السيلينيوم	0.02	0.02
الفاناديوم	0.10	1.00
الزنك	2.00	10.00

* يُمكن إستعمال المياه باستمرار وفي جميع أنواع التربة.

** يُمكن إستعمال المياه لمدة تصل إلى 20 سنة في أنواع التربة ناعمة القوام سواء كانت متعادلة أو قلوية.

▪ ***المعايير البيولوجية (The Biological Criteria)***

تُعد المعايير البيولوجية والخطوط التوجيهية الخاصة بنوعية المياه ضرورية جداً لنجاح أي مشروع يقوم على إستعمال مياه الصرف الصحي المعالجة.

وتُعد نوعية المياه من حيث ماتحتويه من المواد الميكروبيولوجية في غاية الأهمية بالنسبة للأفراد الذين قد يتعرضون لمياه الصرف الصحى بشكل مباشر أو غير مباشر. ويمكن أن يكون إستعمال هذه المياه مقيداً أو غير مقيد تبعاً لنوعية المياه من الناحية الميكروبيولوجية. والجدول التالي يوضح الخطوط التوجيهية التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية بالنسبة لنوعية مياه الصرف الصحي المستعملة في الزراعة.

فئة	شروط الإستعمال	المجموعة المعرضة	الديدان المعوية (المتوسط الحسابي لعدد البويضات في اللتر)	البكتريا البرازية (المتوسط الهندسي للعدد بكل 100 ملليلتر^2)	المعالجة اللازمة لمياه الصرف الصحي لتحقيق النوعية البيولوجية المطلوبة
ج	ري المحاصيل التي من المُحتمل تناولها دون طهي، والملاعب الرياضية والمتنزهات العامة.	العمال، المستهلكون والعامة.	واحد أو أقل.	أقل. 1000 أو	سلسلة من أحواض الترسيب مُصممة لتحقيق النوعية البيولوجية المُشار إليها أو مايعادلها من المعالجة.

ب	ري محاصيل، الحبوب والمحاصيل الصناعية، والمحاصيل العلفية، والمراعى والأشجار	العمال.	واحد أو أقل.	لايوجد معيار.	إبقاء مياه الصرف الصحي في أحواض الترسيب لمدة 8- 10 أيام، أو معالجتها لإزالة الديدان المعوية والبكتريا البرازية.
أ	نظم الري الموضعي للمحاصيل من الفئة باء إذا أمكن تفادى تعرُض العمال والعامة للمياه.	لايوجد.	لاينطبق.	لاينطبق	معالجة المياه حسب مقتضيات نظام الري المُستخدم بشرط ألا تقل عن أحواض الترسيب الأولية.

المصدر: منظمة الصحة العالمية (WHO, 1989)

وينبغي في حالات محددة مراعاة العوامل الإجتماعية والثقافية والوبائية وتعديل الخطوط التوجيهية بناءً على ذلك.

والجدول التالي يوضح الحد الأقصى لمعايير إعادة إستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة المسموح بها ودرجة المعالجة (حسب قرار وزارة الإسكان والمرافق رقم 44 لسنة 2000).

م	البيان	الوحدة	مجموعة1 (مياه معالجة إبتدائياً)	مجموعة2 (مياه معالجة ثانوية)	مجموعة3 (مياه معالجة متقدمة)
1	الأكسوجين الحيوي الممتص (BOD).	جزء في المليون	300	40	20
2	الأكسوجين الكيماوي المُستهلك (COD).	جزء في المليون	600	80	40
3	المواد الصلبة العالقة (T.S.S).	جزء في المليون	350	40	20

4	الزيوت والشحوم.	جزء في المليون	غير محددة	10	5
5	عدد الخلايا أو البيض (النيماتودا المعوية).	العدد/لتر	5	1	1
6	عدد خلايا الكوليفورم البرازي.	لكل 100 ملليلتر	غير محددة	1000	100
7	أقصى تركيز للأملاح الكلية الذائبة (حسب درجة تحمُل النبات).	جزء في المليون	حتى 2500	حتى 2000	حتى 2000
8	نسبة إدمصاص الصوديوم (النفاذية حسب نوع التربة والنبات).	نسبة	25	20	20
9	تركيز الكلوريدات.	جزء في المليون	حتى 350	300	300
10	تركيز البورون.	جزء في المليون	حتى 5	حتى 3	حتى 3
11	تركيز الكادميوم.	جزء في المليون	0.05	0.01	0.01
12	تركيز الرصاص.	جزء في المليون	10	5	5
13	تركيز النحاس.	جزء في المليون	غير محددة	0.2	0.2
14	تركيز النيكل.	جزء في المليون	0.5	0.2	0.2
15	تركيز الزنك.	جزء في المليون	غير محددة	2	2
16	تركيز الزرنيخ.	جزء في المليون	غير محددة	غير محددة	0.1
17	تركيز الكروم.	جزء في المليون	غير محددة	غير محددة	0.1
18	تركيز الموليبدينوم (الأعلاف الخضراء فقط).	جزء في المليون	غير محددة	0.1	0.1
19	تركيز المنجنيز.	جزء في المليون	0.2	0.2	0.2
20	تركيز الحديد.	جزء في المليون	غير محددة	5	5
21	تركيز الكوبلت.	جزء في المليون	غير محددة	0.5	0.5

الباب الرابع

الإحتياجات المائية والغذائية للنبات

Requirements of Water and Nutrition for Plant

مقدمـة

تعتمد جمهورية مصر العربية في إنتاجها الزراعي كما سبق الذكر على مصادر مياه النيل والمياه الجوفية وقليل من الإمطار. ولما كانت هذه المصادر محدودة الإيراد، لذا كان من الضروري الإقتصاد في إستغلال هذه المياه بأقصى حد مُمكن وعدم الإسراف في إستعمالها لإيجاد وفر يسمح بالتوسع الأفقي في الرقعة الزراعية.

المحاضرة الأولى

الإحتياجات المائية للحاصلات الزراعية

Water Requirements for Agricultural Crops

لما كانت مصادر المياه محدودة الإيراد في مصر، لذا كان من الضروري الإقتصاد في إستغلال هذه المياه بأقصى حد مُمكن وعدم الإسراف في إستعمالها لإيجاد وفر يسمح بالتوسع الأفقي في الرقعة الزراعية.
تُعتبر دراسة الإحتياجات المائية لمحاصيل الحقل والخضر والفاكهة من أولى الدراسات التي يجب أن يوجه إليها الإهتمام لرفع مستوى الإنتاج الزراعي وذلك للإستفادة من مصادر المياه إلى أقصى حد ممكن. هذا بجانب الدراسات التي تقضي بتحسين وسائل الصرف والعناية بالتسميد وعمليات الخدمة الزراعية واختيار السلالات المناسبة وعمليات المقاومة للآفات والحشائش إلى غير ذلك من العوامل التي تؤدي إلي رفع القدرة الإنتاجية للأراضي المنزرعة حالياً أو أراضي التوسع الزراعي.
وبدراسة الإحتياجات المائية يُمكن التوصل إلى إعطاء كل محصول أنسب كمية من المياه تُعطى في أطوار نموه المختلفة، للحصول على أفضل محصول كماً ونوعاً. وعلى ذلك كان من المهم استغلال الموارد المائية أحسن استغلال والعمل على تقليل الفاقد أثناء توزيع المياه وأثناء الري إلى أقل حد ممكن.

العوامل المؤثرة على مواعيد الري وكميات المياه المستعملة

تتوقف مواعيد الري على درجة أو معدل استنفاذ مياه الري المختزنة في مجال الجذور وهذه تتوقف على:
1- نوع النبات ودرجة نموه.
2- الظروف الجوية خاصة درجة الحرارة والرطوبة وطبيعة الرياح.
3- مراعاة عدم الوصول بمستوى الرطوبة الأرضية قبل الري إلى معامل الذبول خصوصاً في مراحل النمو الحساسة لنقص الرطوبة الأرضية، مثل ظهور البادرات ووقت التزهير ... إلخ، ويفضل الري عموماً عندما ينفذ من 50 إلي 85% من الماء الميسر، حيث الماء الميسر =

نسبة الرطوبة عند السعة الحقلية - نسبة الرطوبة عند معامل الذبول.

4- يراعى ضرورة إضافة كميات مياه إضافية في حالة إحتواء الأرض على أملاح أو إستخدام مياه ري بها ملوحة زائدة نسبياً وذلك لإتمام عملية الغسيل.
5- مراعاة الحالات الخاصة التي تتعلق بالنمو الخضري والإزهار والنمو الثمري ونضج المحصول وصفاته ومقاومة الآفات الفطرية والحشرية ... إلخ، والتي تؤثر في مواعيد الري.

العوامل التي يتوقف عليها كمية مياه الري الواجب إستعمالها

تتوقف كمية مياه الري الواجب إستعمالها في كل مرة على العوامل الآتية:

1- عمق مجال الجذور وهذا يتوقف على نوع النبات ودرجة نموه.

2- السعة الحقلية للتربة ومعامل الذبول ومقدار الماء الميسر في منطقة انتشار الجذور.

3- النسبة المئوية للرطوبة في منطقة انتشار الجذور قبل الري.

4- الكثافة الظاهرية للأرض.

تقدير وحساب الإحتياجات المائية

هناك عوامل كثيرة تعمل على فقد الكثير من مياه الري ولاتستفيد منه النباتات وهي:

* الفقد أثناء نقل وتوزيع مياه الري عن طريق الرشح من القنوات بجانب البخر.

* الفقد بالرشح العميق أسفل مجال الجذور.

* الفقد على صورة جريان سطحي من سطح التربة.

والماء المُخزن بعد ذلك في مجال الجذور تستفيد منه النباتات ويُفقد عن طريق النتح (Transpiration)، كما يفقد جزء آخر من سطح التربة عن طريق البخر (Evaporation) ويُطلق على الماء المستهلك في كل من عملية النتح وعملية البخر من سطح الأرض بالإستهلاك المائي (Consumptive Use).

الإستهلاك المائي (نسبة البخر والنتح) (Evapo-Transpiration Ratio, E.T R.)

تحت الظروف البيئية المتماثلة يُستهلك ماء التربة وتُنتج النباتات دائماً كمية من المادة الجافة تختلف باختلاف النبات. وبطريقة أخرى كل وحدة مادة جافة نباتية يلزمها عدد من الوحدات المائية تختلف بإختلاف نوع النبات والظروف المناخية والبيئية، وهذه يُعبر عنها بنسبة البخر والنتح (E.T R.)، وهذه النسبة تختلف بإختلاف نوع النبات وصنفه وظروف نموه. فمثلاً إذا قيل أن نسبة البخر والنتح للبرسيم هي 1000 كيلو جرام، معنى هذا أن إنتاج واحد كيلو جرام من المادة الجافة للبرسيم تحتاج لتكوينها إلى 1000 كيلو جرام من الماء تُستهلك عن طريق النتح والبخر. وبالمثل إذا قيل أن E.T R. للذرة 400 كيلو جرام، معنى ذلك أن إنتاج واحد كيلو جرام مادة جافة من الذرة تحتاج إلى 400 كيلو جرام ماء. وقد تحتسب E.T R. على أساس المادة الجافة للمحصول الكلي (النبات كله) أو جزء منه كالكيزان فقط في حالة الذرة أو الحبوب فقط في حالة القمح.

تقدير الاستهلاك المائي في الحقل تحت الظروف الطبيعية

تُقدر نسبة الرطوبة قبل الري وبعده طوال فترة نمو المحصول وذلك في طبقات مجال الجذور المختلفة ومن ذلك يمكن حساب كميات المياه المستهلكة في كل رية طوال فترة نمو المحصول كذلك يمكن معرفة الفاقد غير المنتفع به في النمو وذلك بعد معرفة الكمية الواردة من مصادر المياه (سواء ري أو مطر) وتقدير كمية الماء المخزون في التربة في مجال الجذور، وعن طريق العمليات الحسابية يُمكن معرفة الكميات التي إستهلكها النبات.

تقدير الإستهلاك المائي باستخدام الليسيمترات (Lysimetres)

الليسيمترات عبارة عن أحواض أسمنتية قد تبلغ أبعادها واحد متر طولاً وواحد متر عرضاً وواحد متر عمقاً، ويوجد بقاع الحوض مصفاة متصلة بأنابيب ينتقل خلالها الماء الفائض (ماء الصرف) إلى زجاجات مدرجة كبيرة وبذلك يمكن معرفة حجم هذا الماء بالضبط. ولتقدير الإستهلاك المائي بهذه الطريقة تُملأ الأحواض بتربة معينة منقولة من الحقل وتوضع طبقاتها في الحوض بنفس الترتيب التي كانت موجودة عليه في الحقل ثم تزرع بالمحصول المراد تقدير إحتياجاته المائية (أو معرفة الفقد في المغذيات الميسرة عن طريق ماء الصرف).

ويُمكن حساب الإستهلاك المائي كالتالي:

$$M = (a + b + c) - (d + e)$$

حيث:

M = الماء المُستهلك.

a = كمية الماء المضافة في الريات المختلفة.

b = كمية المطر أثناء نمو المحصول.

c = كمية الماء المُخزن قبل بدء التجربة في الأرض.

d = كمية الماء المفقود إلى أسفل خلال الرشح (ماء الصرف).

e = كمية الماء المُخزن في الأرض بعد انتهاء التجربة.

تقدير كفاءة الري (Water Use Efficiency)

لتقدير الإحتياجات المائية لمساحات شاسعة فإنه يُقدر الإستهلاك المائي للمحاصيل النامية بهذه المساحات ثم يُقدر الفقد بأنواعه المختلفة فيها أثناء توزيع وإستخدام المياه، ومن ذلك يُمكن حساب كفاءة الري (Irrigation Efficiency) أي النسبة المئوية للماء الذي يستهلكه النبات (المحصول) إلى كمية

المياه المنقولة من مصادر المياه. ويرجع الفرق بين الكميتين إلى مجموع مايفقد في الطريق أثناء توزيع المياه إلى الحقل خلال قنوات الري المختلفة ويمثل هذا مايُفقد بالبخر والترشيح.

إستخدام الأرصاد الجوية لتقدير البخر والنتح

تُستخدم الأرصاد الجوية في تقدير وحساب الإستهلاك المائي للمحاصيل وذلك بإيجاد علاقة بين الظواهر الجوية خصوصاً درجة الحرارة والرطوبة وطول النهار وبين الماء المُستهلك بواسطة المحاصيل المختلفة. ويُمكن أن يُستفاد من هذه العلاقة لتقدير الإستهلاك المائي لمناطق أخرى تختلف في ظواهرها الجوية وطبيعي أن هذه الطريقة تُعتبر تقريبية.

المحاضرة الثانية

العناصر الغذائية للنباتات

Plant Nutritional Elements

تحتاج النباتات إلى التغذية لنموها، حالها في ذلك حال جميع الكائنات الحية الأخرى. فمن المعروف أن الإنسان والحيوان يُمكنه أن يبقى حياً فقط بتناوله الغذاء على شكل مواد عضوية مستخلصة من النبات أو المُنتجات الحيوانية. أما النباتات الخضراء فإن لها القدرة على بناء الأنسجة العضوية مباشرة من المواد غير العضوية، فهي تعيش وتنمو وتتكاثر بامتصاصها للماء والمواد المعدنية من التربة وثاني أكسيد الكربون من الهواء والطاقة من الشمس لبناء الأنسجة النباتية المختلفة.

العناصر الغذائية الضرورية للنباتات

إن من بين العدد الكبير من العناصر التي تم التعرف عليها والمتواجدة في الأنسجة النباتية ستة عشر عنصراً قد ثبت أنه لايمكن الإستغناء عنها لنمو وتطور وتكاثر النباتات، وهذه العناصر الأساسية تُسمى بالعناصر الغذائية. ولكي يُصنف العنصر بأنه عنصر غذائي أساسي أو ضروري يجب أن يستوفي الشروط التالية:

* نقص العنصر يؤدي إلى إستحالة إكمال النبات لدورة حياته.
* العنصر له دور محدد في حياة النبات بغض النظر عن تأثيره في تحسين خصائص بيئة النمو.
* يُمكن منع أو تصحيح أعراض النقص المباشر للعنصر بإضافة العنصر نفسه فقط.

بناءاً على ذلك فإن العناصر التي يتوافر فيها هذه الشروط والتي يمكن إعتبارها عناصر ضرورية لنمو جميع النباتات هي الكربون والهيدروجين والأكسوجين والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والكبريت والحديد والزنك والمنجنيز والنحاس والبورون والموليبدنوم والكلور. ويتم الحصول عليها من الهواء أو الماء أو التربة والبقايا النباتية والحيوانية أو من الأسمدة الكيماوية المضافة. وقد لوحظ أن بعض أصناف النباتات يمكن أن تستفيد من وجود بعض العناصر مثل الصوديوم والكوبالت والسيليكون والفاناديوم ولكن هذه العناصر لاتعتبر من العناصر الغذائية الأساسية حيث لايتوافر فيها الشروط المذكورة.

وتستخدم النباتات كميات كبيرة نسبياً من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والكبريت ولذلك تُسمى بالعناصر الغذائية الكبرى (Macronutrients). أما الحديد والزنك

والمنجنيز والنحاس والبورون والموليبدنوم والكلور فتحتاجها النباتات بكميات أقل ولذلك تُسمى بالعناصر الغذائية الدقيقة أو العناصر الغذائية الصغرى (Micronutrients).

التركيب الكيميائي للنبات

يتكون النبات من الماء والمادة الجافة (Dry Matter). وتحتوي النباتات على حوالي 80% من وزنها ماء، وقد ترتفع نسبة الماء في عدد من النباتات أو أجزاء منها لتصل إلى حوالي 95- 98% كما هو الحال في بعض نباتات الخضر الورقية والطحالب. وقد تقل أيضاً إلى حوالي 20- 25% في أجزاء نباتية أخرى مثل الحبوب والبذور. وتتكون المادة الجافة من جزء عضوي وآخر غير عضوي (أو معدني). وتشكل المادة العضوية حوالى 95- 98%، بينما تشكل المادة غير العضوية حوالى 10- 20% من وزن المادة الجافة.

وتسمى المادة المعدنية في مجموعها بالرماد ويمكن الحصول عليها بحرق أو هضم المادة الجافة للنبات فيتأكسد الكربون العضوى إلى غاز ثاني أكسيد الكربون ويتبقى الجزء المعدني الذى يطلق عليه الرماد (Ash) الذي يتكون من أملاح أو أكاسيد تكونت أثناء عملية الحرق أو الهضم.

ويتأثر التركيب المعدني للنبات بعوامل كثيرة منها إختلاف الإحتياجات الغذائية للنبات خلال مراحل النمو المختلفة تبعاً للمحصول المتوقع وإختلاف محتوى التربة من العناصر الغذائية الميسرة للإستفادة منها بواسطة النبات، إختلاف الظروف المناخية، إختلاف خصائص التربة ومياه الري والظروف المناخية التي تؤثر على قدرة النباتات على الإستفادة من العناصر الغذائية بالإضافة إلى إختلاف المحتوى من العناصر الغذائية تبعاً لنوع وصنف وعمر النبات والجزء المدروس. فقد لوحظ أن متوسط تركيز البوتاسيوم يزيد كثيراً عن متوسط تركيز الكالسيوم في النجيليات بينما يحدث العكس في النباتات البقولية التي تزيد فيها نسبة الكالسيوم عن البوتاسيوم.

وتوجد الأيونات الحرة التي لم تدخل في تركيب المواد العضوية بالنبات في حالة إتزان كهربي داخل الخلية، حيث أن الكاتيونات الحرة (Cu^{++}، Mn^{++}، Zn^{++}، Fe^{++}، Mg^{++}، Ca^{++}، K^{+}، NH_4^{+}) تكافيء الأنيونات الحرة (Cl^{-}، BO_3^{---}، HPO_4^{--}، $H_2PO_4^{-}$، SO_4^{--}، NO_3^{-}، ...) في الفجوة العصارية وبالتالي فإنه عادة مايمتص النبات تركيزات متكافئة من الكاتيونات والأنيونات للمحافظة على هذا التوازن الكهربي.

وفي حالة إمتصاص وتواجد تركيز أعلى للكاتيونات في الخلية بالنسبة للأنيونات فعادة يقوم النبات ببعض العمليات الفسيولوجية للمحافظة على التوازن الكهربي داخل الخلية والتي من أهمها إخراج كمية متكافئة من الكاتيونات الزائدة من الفجوة العصارية إلى خارج النبات أو إنتاج أنيونات من تأين الأحماض العضوية (RH) داخل الخلية إلى كاتيون الهيدروجين (H^{+}) وأنيون الحامض (R^{-}) ثم يتم إخراج كاتيونات الهيدروجين إلى خارج الخلية وتترك أنيونات الحامض. ويمكن أيضاً أن تتم العمليتين في نفس الوقت وبذلك يتم المحافظة على التوازن الكهربي داخل الخلية.

أما فى حالة إمتصاص وتواجد تركيز أعلى للأنيونات في الخلية بالنسبة للكاتيونات فعادة مايتم المحافظة على التوازن الكهربي في الخلية من خلال إتحاد كمية مكافئة من الأنيونات الزائدة مع المواد الكربوهيدراتية لتكوين مركبات عضوية تدخل في تركيب الخلية. وبناءاً على ذلك يُمكن تفسير سبب أن مجموع مكافئات العناصر التي تمتص على صورة أنيونات (B، Cl، S، P، N، ...) يزيد بحوالي 30% عن مجموع مكافئات العناصر التي تُمتص على صورة كاتيونات (Cu، Mn، Zn، Fe، Mg، Ca، K، ...) حيث يرجع ذلك إلى أن جزء من العناصر التي تُمتص على صورة أنيونات تدخل في تركيب المواد العضوية في الخلية بينما لاتدخل العناصر التي تُمتص على صورة كاتيونات بما فيه النيتروجين في صورة كاتيون بكمية محسوسة في تركيب المادة العضوية في الخلية.

وتتركب المادة العضوية أساساً من الكربون والأكسوجين والهيدروجين كما يدخل في تركيبها أحياناً النيتروجين والكبريت والفوسفور. ومن أهم المركبات العضوية التي يتركب منها النبات الكربوهيدرات والأحماض العضوية والزيوت والدهون والبروتينات والأحماض الأمينية والفوسفاتيدات والقلويدات والبروتينات النووية والإنزيمات والفيتامينات والهورمونات النباتية.

دور العناصر الغذائية في نمو النباتات

إن كل عنصر من العناصر الغذائية الضرورية أو الأساسية له دور محدد وخاص بالنسبة لنمو وتطور النباتات وأي نقص في أحد هذه العناصر سوف يؤثر سلبياً على نمو النبات أو يجعل نموه غير طبيعي. وسوف نذكر فيما يلي وبإيجاز أهم ماتم حصره وتأكيده علمياً للدور الذي تقوم به العناصر الغذائية في نمو النباتات.

الأكسوجين والهيدروجين والكربون (O، C and H)

تُشكل هذه العناصر الهيكل الرئيسي للمادة الخضراء في الكائنات الحية ويدخل الأكسوجين في عملية التنفس التي هي أساس تكوين الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية في النبات مثل النمو وامتصاص وانتقال العناصر الغذائية والمواد العضوية. أما بالنسبة للهيدروجين فهو يُكون مايقرب من 5- 10% من المادة الجافة للنبات، ويكون الكربون 40- 45% من المادة الجافة للنبات. ويُعتبر الكربون عنصر أساسي في تكوين الهيكل الكربوني للنبات الذي يتكون أساساً من خلال عملية التمثيل الضوئي. ولحدوث هذه العملية بكفاءة عالية لابد من توفر غاز ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة الضوئية.

ويحصل النبات على حاجته من الأكسوجين من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، بينما يحصل على حاجته من الهيدروجين من الماء ويحصل على حاجته من الكربون من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الهواء الجوي بنسبة حوالي 0.03% ويدخل عن طريق الثغور الموجودة على أسطح الأوراق.

النيتروجين (N)

يُعتبر النيتروجين عنصر أساسي في تركيب كل من الكلوروفيل (المادة الخضراء في النبات) والبروتوبلازم والبروتين والأحماض النووية، ويعمل على زيادة نمو وتطور جميع الخلايا الحية في النبات. وقد لوحظ أن زيادة التسميد النيتروجيني خاصة خلال مرحلة الإثمار تؤدي إلى نقص السكر، ويرجع ذلك إلى زيادة المجموع الخضري الذي يتطلب استهلاك السكريات الحرة من العصير الخلوي لتكوين المواد الكربوهيدراتية والبروتينية. كذلك فإن زيادة التسميد النيتروجيني يؤدي إلى تأخر النضج والإثمار مما يؤثر على كمية ونوعية المحصول.

ومن الجدير بالذكر أن النباتات البقولية مثل البسلة والفول والحمص وبعض محاصيل الأعلاف مثل البرسيم يمكنها الحصول على جزء من إحتياجاتها من النيتروجين من الهواء بفعل البكتيريا المُثبتة للنيتروجين الموجودة فى عقدها الجذرية.

الفوسفور (P)

يدخل الفوسفور فى تركيب الفوسفوليبيدات والأحماض الأمينية والبروتينات، كما يدخل في مركبات الطاقة (أدينوزين تراي فوسفات ATP وأدينوزين داي فوسفات ADP) التي تلعب دوراً هاماً في معظم العمليات الحيوية التي تحدث داخل النبات مثل التنفس والتمثيل الضوئي وتخليق المركبات العضوية. ويُعتبر الفوسفور ضروري في تركيب البروتينات النووية والكروموسومات التي لها أهمية كبيرة في عمليات التكاثر وإنقسام الخلية وتخليق الهورمونات وتنشيط عملية الإزهار ونمو وتطور الجذور والبذور. لذلك يوجد الفوسفور بتركيزات مرتفعة نسبياً في الأنسجة النباتية الحديثة. وعادة مايظهر نقص الفوسفور على هيئة لون بنفسجي على السطح السفلي للأوراق الناضجة.

البوتاسيوم (K)

لايدخل البوتاسيوم في بناء المركبات العضوية الضرورية لنمو النباتات بل يوجد دائماً في صورة غير عضوية ذائبة ويكون متوفراً بتركيزات أعلى نسبياً في الأجزاء النباتية النشطة مثل البراعم والقمم النامية. ويعمل البوتاسيوم كمنشط للإنزيمات التي تدخل في عمليات تكوين البروتينات من الأحماض الأمينية وتكوين الكربوهيدرات من السكريات البسيطة. فعادة مايحدث تراكم للأحماض الأمينية والسكريات البسيطة في حالة نقص البوتاسيوم. ولذلك فإن عنصر البوتاسيوم يساعد بدرجة كبيرة على زيادة درجة تحمل هذه النباتات للإصابة بالأمراض، حيث يُعتبر وجود المركبات العضوية البسيطة الذائبة مثل الأحماض الأمينية والسكريات بتركيزات عالية في الخلية وسطاً ملائماً لنمو الكائنات الدقيقة مما يؤدي إلى

إنخفاض درجة تحمل هذه النباتات للإصابة بالجراثيم المرضية وتوفر الظروف الملائمة لزيادة سرعة إنتشار الإصابة.
كذلك يلعب البوتاسيوم دوراً هاماً فى نقل الماء والمركبات العضوية من مكان لآخر وضبط درجة الحموضة والضغط الأسموزي والتوازن الكهربي في الخلية.
وقد لوحظ أن البوتاسيوم يلعب دوراً هاماً في تحسين كفاءة الإستفادة من الضوء في الجو البارد وفي حالة وجود الغيوم. كما لوحظ أيضاً أن البوتاسيوم يساعد على زيادة قدرة النباتات على مقاومة البرد والظروف البيئية غير الملائمة، بالإضافة إلى ذلك يلعب البوتاسيوم دوراً أساسياً في تحسين نوعية الحبوب والثمار وحتى الأزهار والأفرع حيث يؤثر البوتاسيوم بدرجة إيجابية في الشكل والحجم واللون والمكونات العضوية والتي تزيد من القيمة التسويقية للمنتج. وعادة مايظهر نقص البوتاسيوم على هيئة إصفرار حواف الأوراق الناضجة.

الكالسيوم (Ca)

الكالسيوم عنصر بطيء الحركة في النبات، ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق المُسنة عنه في الأوراق الحديثة. ويدخل الكالسيوم في بناء الجُدر الخلوية وبالتالي يتحكم في نفاذية هذه الجُدر للعناصر والمواد المختلفة. وتؤدي زيادة الكالسيوم إلى زيادة درجة نفاذية الجُدر الخلوية بينما يؤدي البوتاسيوم إلى تقليل درجة نفاذية هذه الجُدر، ولذلك فإن النسبة بين الكاتيونات الأحادية إلى الثنائية (K/ Ca) تتحكم في درجة مرونة أو نفاذية الجُدر الخلوية.
ونظراً للدور الذي يلعبه عنصر الكالسيوم في زيادة سُمك الجُدر الخلوية فقد وجد أنه يساعد أيضاً على زيادة مقاومة هذه الجُدر للإختراق بواسطة الجراثيم، حيث تعمل كخط دفاع أول وبالتالي تزداد قدرة النبات على مقاومة الإصابة بالأمراض. وعادة مايظهر نقص الكالسيوم على هيئة إحتراق حواف الأوراق الحديثة.

الماغنيسيوم (Mg)

يُعتبر الماغنيسيوم عنصر سريع الحركة في النبات. ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق الحديثة عنه في الأوراق المُسنة، ويدخل في تكوين جزيء الكلوروفيل الذي يلعب دوراً هاماً في عملية التمثيل الضوئي ولذلك يوجد في الأجزاء الخضرية بتركيزات عالية. وعادة مايظهر نقص الماغنيسيوم على هيئة بُقع مصفرة بين عروق نصل الأوراق الناضجة.

الكبريت (S)

يُعتبر الكبريت عنصر سريع الحركة في النبات، ويوجد بنسبة أكبر قليلاً في الأوراق الحديثة عنه في الأوراق المُسنة، إلا أنه عادة مايوزع توزيعاً منتظماً بين الأعضاء والأنسجة النباتية المختلفة. ويدخل الكبريت في تركيب عدد من الأحماض الإمينية، كما يدخل في تركيب الجليكوزيدات وهي التي تُعطى الطعم والرائحة المميزة للثوم والبصل والفلفل الحريف. ويُعتبر الكبريت هاماً في تثبيت الأزوت الجوي في العُقد الجذرية. ويمتص النبات الكبريتات من الأرض والأسمدة والمبيدات ومياه الري ومياه الأمطار، وقد يمتص من الجو عن طريق الثغور. وعادة مايظهر نقص الكبريت على هيئة إصفرار الأوراق الناضجة.

الحديد (Fe)

الحديد عنصر بطيء الحركة في النبات، ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق المُسنة عنه في الأوراق الحديثة. ويلعب الحديد دوراً هاماً في عمليات تخليق الكلوروفيل في النباتات وأيضاً في تكوين مركبات السيتوكروم والتي لها دوراً أساسياً في عملية إنتقال الإلكترونات خلال عملية التنفس. وعادة مايظهر نقص الحديد على هيئة إصفرار الأوراق الحديثة.

الزنك (Zn)

الزنك عنصر بطيء الحركة في النبات، ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق المُسنة عنه في الأوراق الحديثة. ويدخل الزنك في التخليق الحيوي للأكسين وأندول حامض الخليك. ويؤدي نقص الزنك إلى خفض معدل تكوين الكلوروبلاست والنشا. وعادة مايظهر نقص الزنك على هيئة بُقع مصفرة بين عروق الأوراق الحديثة.

المنجنيز (Mn)

يُعتبر المنجنيز عنصر بطيء الحركة في النبات، ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق المُسنة عنه في الأوراق الحديثة. ويدخل المنجنيز كمساعد في العديد من التفاعلات الإنزيمية والفسيولوجية في النبات. ويلعب المنجنيز دوراً هاماً إختزال النترات والنتريت والهيدروكسيل أمين، ويساعد في تخليق الجلوتامين وتنشيط الإنزيمات التي ترتبط بالعمليات الحيوية للنيتروجين وتخليق الكلوروفيل. وقد لوحظ أن نقص المنجنيز يؤدي إلى تراكم الحديد في النبات نتيجة لعدم قدرة الأخير على الإنتقال داخل النبات نظراً لوجوده في صورة مؤكسدة (Fe^{+3}). لذلك فإن توفر المنجنيز يُساعد على وجود الحديد في صورة مختزله (Fe^{+2}) وبالتالي

يسهُل إنتقاله داخل النبات. لذلك يُراعى دائماً أن تتوفر نسبة متوازنة بين الحديد والمنجنيز في بيئة النمو. وعادة مايظهر نقص المنجنيز على هيئة بُقع بُنية مصفرة مابين عروق الأوراق الحديثة.

النحاس (Cu)

النحاس عنصر بطيء الحركة في النبات، ويوجد بنسبة كبيرة في الأوراق المُسنة عنه في الأوراق الحديثة. ويلعب النحاس دوراً هاماً في عمليات التمثيل الغذائي للجذور. وكذلك يلعب دوراً في تنشيط عمليات تكوين فيتامين (أ) في النباتات.

البورون (B)

تظهر أهمية البورون من خلال تأثيره على النشاط المرستيمي في مناطق نمو النبات والأنسجة الناقلة في النبات. ويُعتبر البورون ضروري لعملية إنقسام الخلية، كذلك يرتبط بعملية إمتصاص الكاليسوم واستخدامه بواسطة النباتات، كما ينظم نسبة عنصر البوتاسيوم إلى عنصر الكالسيوم في النباتات. وعادة مايظهر نقص البورون على هيئة موت للبراعم الجديدة.

الموليبدينوم (Mo)

يُعتبر الموليبدينوم أقل العناصر من حيث الكمية التي يحتاجها النبات فهي تحتاج إليه بتركيز أقل من 0.1 جزء في المليون. ويلعب الموليبدينوم دوراً هاماً في إختزال النترات حيث يُعتبر أحد مكونات إنزيمات نترات الريداكتيز والنيتروجينيز، ويساعد أيضاً على تنشيط بكتيريا تثبيت النيتروجين الجوي (Rhizobia). ولاتحتاج الأراضي المصرية إلى التسميد بالموليبدينوم خاصة تحت ظروف الأراضي ذات درجات الحموضة الأعلى من 7.

الكلور (Cl)

يُعتبر الكلور أحد مكونات الأكسين كلوروأندول حامض الخليك والذي يحل محل إندول حامض الخليك (IAA) في البذور غير الناضجة، ويدخل في تركيب العديد من المركبات التي توجد في الفطريات والبكتيريا. كما يساعد على تنشيط فعالية كثير من الإنزيمات، ويؤثر في التفاعلات الحيوية الخاصة بتكوين الكربوهيدرات وقدرة الأنسجة النباتية على تخزين الماء. الكميات الموجودة منه في مياه الري وأسمدة العناصر الأخرى تكفي لسد حاجة النباتات منه.

تَمتص النباتات العناصر الغذائيــة عادة وبصفة رئيسية من خلال جذورهــا، وتستطيع أيضــاً إمتصــاص كميات صغيرة منهــا من خلال المجموع الخضرى (الأوراق) عند رشهــا بمحلول مغــذي فيما يُسمى بالتغذية الورقيــة (Foliar Fertilization). وتُمتص العناصر الغذائية بواسطة جذور النباتات على صورة أيونية. والأيونات هي دقائق صغيرة الحجم والكتلة وتحمل شحنات كهربائية، وتسمى الأيونات التي تحمل شحنة موجبة بالكاتيونات مثل البوتاسيوم (K^+) والكالسيوم (Ca^{++}) والماغنيسيوم (Mg^{++}) والأمونيوم (NH_4^+) أما الأيونــات التي تحمل شحنة سالبة فتُسمى بالأنيونات مثل الكلوريد (Cl^-) والنترات (NO_3^-) والكبريتات ($SO_4^=$) والفوسفات ($H_2PO_4^-$، $H_2PO_4^=$).

وتُمتص معظم العناصر الغذائية من خلال المناطق الدقيقة الأمامية للجذور الشعرية والتي تُسمى بالقمم النامية للجذور والتي تتوقف كثافتها وتوزيعها في قطاع التربة على عديد من العوامل والتى من أهمها:

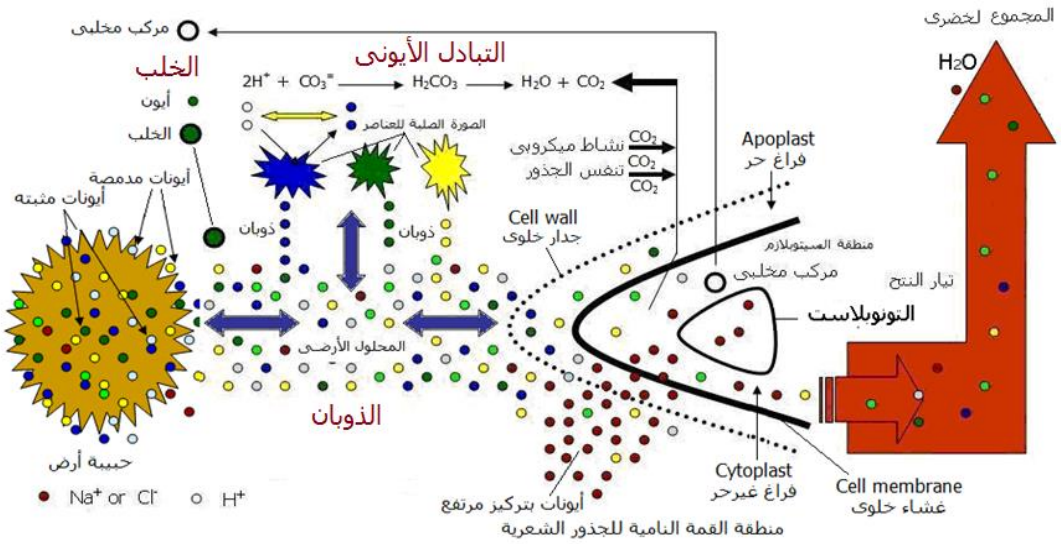
* نوع وطبيعة نمو النبات ومايتعلق بنظام وكثافة وتوزيع التفرعات الجذرية.
* طبيعة بيئة النمو من حيث خصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية.
* نظام الري المستخدم من حيث معدلات ومناوبات وطريقة توزيع مياه الرى.
* أسلوب الخدمة المُتبع.

وبصفة عامة فإنه من المُتوقع وجود ملايين من هذه القمم النامية في النظام الجذري للنبات، وتحدد كميتها مدى كفاءة وفاعلية النبات للإستفادة من العناصر الغذائية الموجودة في المحلول الأرضي (في المسام البينية لحبيبات التربة)، ويتكون هذا المحلول من العناصر الذائبة فيه والتي يتغير تركيزها والنسبة فيما بينها بشكل كبير تبعاً لعديد من العوامل من أهمها نوع الأرض وطبيعة مادة الأصل التي نشأت منها، ومعدلات الأسمدة المضافة سواء العضوية أو المعدنية، ونوعية مياه الري وطبيعة التذبذب في المحتوى المائي للتربة والذي يتوقف على أسلوب الري، بالإضافة إلى نوع النبات.

والمحلول الأرضي هو غشاء شعري من الماء يُحيط بالدقائق الغروية للأرض وممسوك بقوة ويستطيع النبات الإستفاده منه. وفى الحقيقة فإن كمية العناصر الغذائية الذائبة في هذا المحلول قد لاتكفى حاجة النبات في فترة زمنية معينة قبل الإضافات السمادية التالية، ولذلك لابد وأن يكون للجزء من العناصر الغذائية المدمصة أو الممسوكة على المادة الصلبة للأرض دوراً في إعادة التوازن الغذائي للجزء الذائب في المحلول الأرضي. وبناءاً على ذلك يمكن حصر خطوات حصول النباتات على العناصر الغذائية في الصورة الأيونية من بيئة النمو فيما يلي:

1- إنتقال الأيونات من المادة الصلبة إلى محلول الأرض

يتم إنتقال الأيونات من المادة الصلبة إلى محلول الأرض بواحد أو أكثر من الطرق التالية:



شكل يوضح طرق إنتقال الأيونات من المادة الصلبة إلى محلول الأرض

▪ *الذوبان (Solubility)*

تُعبر عملية الذوبان عن تأثير الماء على إنطلاق العنصر من الصورة الصلبة إلى الصورة السائلة الذائبة في محلول التربة. وتزداد درجة الذوبان بارتفاع درجة حرارة الأرض وبزيادة المحتوى الرطوبي بالتربة بالقدر الذى لايؤثر على توفر النسبة الملائمة من الأكسوجين في بيئة النمو. ويلعب ثاني أكسيد الكربون دوراً هاماً في زيادة درجة ذوبان عديد من الأملاح، وبالتالي فإنه من المتوقع أن يكون لنشاط الكائنات الحية الدقيقة في الأرض دوراً هاماً في هذه العملية من خلال تأثيرها على إنتاج ثاني أكسيد الكربون وزيادة تركيزه في وسط نمو النبات. ويزداد نشاط هذه الكائنات مع توافر المادة العضوية وتوافر الأكسوجين والذي يعبر عنه عادة بالتهوية الجيدة بالتربة.

▪ *التبادل الأيوني (Ion Exchange)*

حيث يؤدي خروج ثاني أكسيد الكربون من الجذور خلال عملية التنفس إلى تكوين حامض الكربونيك، وعند إتصال هذا الحامض مع أسطح الحبيبات الغروية للأرض يتم تبادل كاتيون الهيدروجين (في حامض الكربونيك) مع كاتيون آخر (من على الأسطح الغروية للمادة الصلبة) لينتقل الملح الذائب المتكون بعيداً عن هذه الأسطح في إتجاه محلول الأرض.

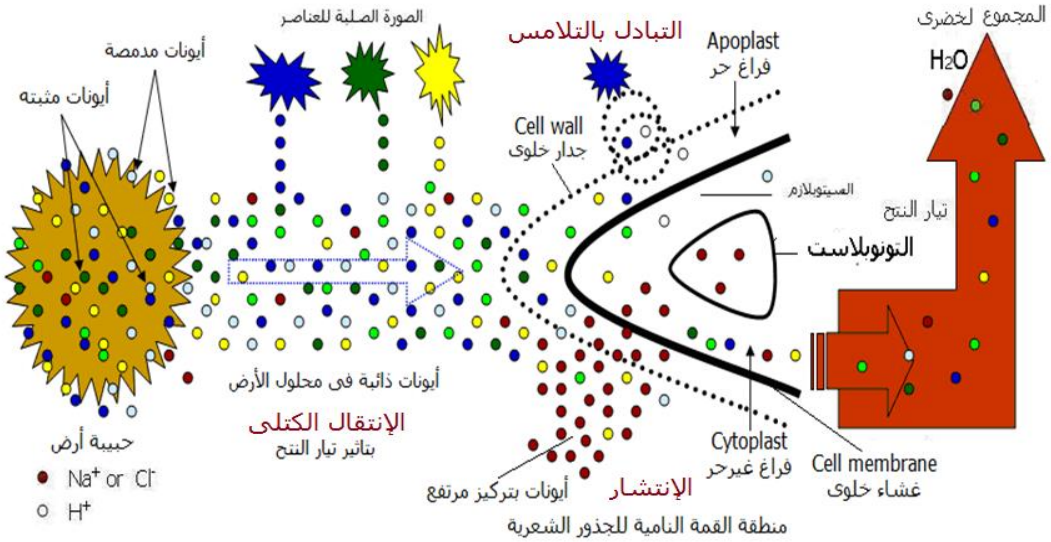
▪ *الخلب (Chelation)*

فى هذه الحالة تفرز الجذور بعض المركبات العضوية الذائبة التي تتحرك في إتجاه المواد غير الذائبة المحيطة بالجذور ثم ترتبط مع العنصر بقوة أكبر من قوة إرتباطه بالجزء الصلب لتنتزعه بالخلب وتتحرك به مرة أخرى في إتجاه محلول الأرض.

وعموماً يُعبر عن كفاءة العمليات السابقة في تحول العنصر من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة الميسرة للإستفادة بواسطة النبات بالقدرة الإمدادية للأرض. فكلما زادت القدرة الإمدادية للأرض من العناصر الغذائية كلما زادت خصوبتها وبالتالي قدرتها الإنتاجيه مع إمكانية إضافة الجرعات السمادية على فترات متباعدة.

2- إنتقال الأيونات من محلول التربة إلى منطقة إمتصاص الجذر

حيث تتحرك العناصر في هذه الحالة في صورة أيونية من نقطة ما في المحلول الأرضي إلى المنطقة التي تسمح بامتصاصها على الجذر، وعادة ما يتم ذلك بواحد أو أكثر من الطرق التالية:



شكل يوضح طرق إنتقال الأيونات من المحلول الأرضي إلى المنطقة التي تسمح بامتصاصها على الجذر

▪ *الإنتقال الكُتلي (Mass Flow)*

وفيه تنتقل الأيونات في إتجاه الجذر ذائبة في الماء، وفي هذه الحالة ترتبط حركة الأيونات باتجاه حركة تيار الماء. ويُعتبر تيار النتح هو القوة الدافعة لحركة الماء بما يحمله من أيونات في إتجاه الجذر. ويُعتبر البوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والنيتروجين من أهم العناصر التي تنتقل بهذه الطريقة.

▪ *الإنتشار (Diffusion)*

حيث تنتقل الأيونات في إتجاه الجذر تبعاً لتدرج التركيز، فتنتقل من مناطق التركيز المرتفع إلى مناطق التركيز المنخفض.

▪ *التبادل بالتلامس (Contact)*

حيث يفترض أن لكل أيون مجال نشاط معين على أسطح الجذر والحبيبات الغروية فإذا ماتداخل المجالان أمكن تبادل الأيونات بين الأسطح المختلفة ليحل كل منهما محل الأخر. ويعتبر الفوسفور من أهم العناصر التي تنتقل بهذه الطريقة، ويزداد نشاط هذه العملية في النباتات ذات التفرعات الجذرية الكثيفة.

3- إنتقال الأيونات من منطقة إمتصاص الجذر إلى داخل الجذر

إن تفاصيل العملية أو العمليات التي بواسطتها تحصل النباتات على العناصر الغذائية من الأرض لاتزال موضع حوار وجدل بين الباحثين في مجال فسيولوجيا وتغذية النبات ولكنها تزداد وضوحاً وفهماً يوماً بعد الأخر. وعلى آية حال فإن إمتصاص الأيونات بواسطة الجذور يمكن وصفه بأنه سلبي أو غير نشط (Passive Absorption). ويحدث هذا النوع من الإمتصاص عند إنتقال العناصر الغذائية من مناطق التركيز المرتفع إلى مناطق التركيز المنخفض دون أن يبذل النبات آية طاقة. غير أن أيونات العناصر الغذائية يمكن أن تنتقل ضد تدرج التركيز أي من المناطق ذات التركيز المنخفض (محلول الأرض) إلى المناطق ذات التركيز المرتفع (داخل الجذر) ويحدث ذلك بواسطة عملية حيوية نشطة أو إيجابية تحتاج إلى أن يبذل النبات طاقة.

وفي الحقيقة فإن الإمتصاص الحيوي أو النشط للعناصر الغذائية لازال عملية غير واضحة بالقدر المطلوب ولكنها بصفة عامة تتضمن إستخدام النبات لمركبات كيميائية (حوامل أو ناقلات للأيونات) ترتبط مع الأيون المراد إمتصاصه بطريقة معينة تسمح بالمرور معاً خلال الأغشية الخلوية. ويُعتقد أن هناك عدداً من المركبات الحاملة أو الناقلة يكون كل منها متخصص لنقل أيون معين أو أكثر وهو مايوصف بالنفاذية الإختيارية للأغشية النباتية الحية. ويلاحظ أن توفر القدر الكافي من الأكسوجين في بيئة نمو النبات يعتبر عاملاً ضرورياً للإمتصاص النشط أو الحيوى (Active Absorption). حيث أن

نقص الأكسوجين يُعتبر عائقاً لإنتاج الطاقة بواسطة الجذور، وهذا يقلل من كفاءة الإمتصاص النشط. ويحدث ذلك تحت ظروف زيادة الرطوبة الأرضية، كذلك يؤدي إنخفاض درجة حرارة بيئة النمو إلى خفض كفاءة الإمتصاص النشط.

4- إنتقال الأيونات من داخل الجذر إلى الأجزاء الأخرى من النبات

إن تفاصيل العملية أو العمليات التي يتم بواسطتها إنتقال الجزيئات والذائبات وأيونات العناصر الغذائية من منطقة إمتصاص الجذر إلى السيتوبلازم أو من خلية لأخرى ذهاباً وإياباً عبر الأغشية الخلوية أو مايطلق عليها الأغشية السيتوبلازمية لاتزال موضع حوار وجدل بين الباحثين في مجال تغذية النبات، ولكنها تزداد وضوحاً وفهماً يوماً بعد الأخر. وعلى آية حال فإنه لمحاولة فهم طريقة إنتقال الجزيئات والذائبات والأيونات عبر الأغشية الخلوية لابد أن يكون من المفيد التعرف على المواصفات الخاصة بمثل هذه الأغشية الخلوية (Plasma Membranes) والتي تتميز بنفاذية خاصة. لذلك يُطلق عليها الأغشية شبه المنفذة حيث تلعب دوراً في التحكم في مرور الماء والذائبات والأيونات من خلالها.

المحاضرة الثالثة

خصُوبـــــة الأراضي

Soil Fertility

تُعبر خصُوبة الأرض عن مدى توافر عوامل النمو الأرضية خاصة الهواء الأرضي والماء والعناصر الغذائية في منطقة إنتشار الجذور في صورة ميسرة وبكميات كافية وبنسب متزنة وفي الأوقات التي يحتاج إليها النبات خلال مراحل نموه المختلفة. ولاتكفى خصوبة الأرض لتقييم القدرة الإنتاجية للأرض حيث لابد أن يتوافر أيضاً جميع عوامل النمو الأخرى التي تتعلق بالظروف الجوية والتي تتعلق بخصائص المحصول بالإضافة إلى توافر عوامل الإنتاج التي تؤدي في النهاية إلى زيادة القدرة الإنتاجية للأرض للوصول إلى أعلى عائد بيولوجى أو إقتصادى ممكن.

عوامل النمو (The Growth Factors)

يُقصد بعوامل النمو جميع العوامل البيئية التي تؤثر على واحد أو أكثر من العمليات الفسيولوجية الخاصة بنمو النباتات. ومن هذه العوامل مايمكن التحكم فيه بسهولة بغرض تحسين ظروف البيئة التي ينمو فيها النبات والتي تؤدي في النهاية إلى زيادة المحصول كماً ونوعاً. وعادة ماتتعلق هذه العوامل بخصائص الأرض مثل القوام والبناء والنفاذية والمسامية ودرجة الحوضة ودرجة الملوحة والسعة التبادلية الكاتيونية وخصائص مياه الري من حيث الكمية والنوعية وكفاءة التوزيع التي تعكس قدرة الأرض على إمداد النباتات بإحتياجاتها من الهواء والماء والعناصر الغذائية الإمدادية للأرض أو حالة العناصر الغذائية بالتربة من حيث مدى توفرها في صورة ميسرة للإستفادة بواسطة النباتات. وهناك أيضاً من عوامل النمو ما يصعب التحكم فيه خاصة مايتعلق بخصائص النبات مثل شكل النموذج الجذري وطول مراحل النمو المختلفة مثل مواعيد الإزهار والعقد ونضج الثمار و ... إلخ، بالإضافة إلى الظروف الجوية مثل الحرارة والرطوبة وشدة الإشعاع الشمسي وعدد ساعات سطوع الشمس وسرعة وإتجـاه الرياح و ... إلخ. إلا أن بعض هذه العوامل يمكن التحكم فيه نسبياً تحت نُظم الزراعة المحمية خاصة في الصوب المغلقة.

عوامل الإنتاج (The Production Factors)

إن توافر جميع عوامل النمو سواء التي يُمكن التحكم فيها أو التي يصعب التحكم فيها لاتضمن إنتاجية الأرض. وقد يرجع ذلك إلى عدم توفر عوامل الإنتاج التي منها مايتعلق بتخطيط الإستغلال الأمثل للأرض مثل إختيار المحاصيل والأصناف والدورة الزراعية ومواعيد وطرق الزراعة المناسبة لخصائص الأرض والموارد المائية والظروف المناخية للمنطقة ومنها مايتعلق بمدى توفر رأس المال اللازم لتأمين مُستلزمات الإنتاج من آلات زراعية وأسمدة ومبيدات ومحسنات تربة وعمالة ومنها مايتعلق بكفاءة آداء عمليات الخدمة الزراعية المختلفة مثل الري والتسميد ووقاية النباتات ومكافحة الآفات الزراعية و ... إلخ. وبالتالى فإن توفر عوامل النمو جنباً إلى جنب مع توفر عوامل الإنتاج يؤدي إلى الوصول إلى أعلى عائد بيولوجي وإقتصادي ممكن من الإنتاج الزراعى.

وعــادة مايتحدد مستوى الخصوبة بعـامل النمو أو عامل الإنتــاج الموجود في الحــد الأدنى بالنسبة للعوامل الأخرى ويطلق عليه في هذه الحالة بالعامل المحدد (Limiting Factor). ويُعتبر تحسين هذا العامل هو المدخل الرئيسي لتحسين خصوبة الأرض وزيادة قدرتها الإنتاجية. ويمكن فيما يلي إيجاز أهم العوامل التي يجب أن تتوافر فى الأرض الخصبة:

1- أن يكون لها قدرة كافية على الإحتفاظ بالعناصر الغذائية في صورة ميسرة (Available) أو قابلة للإستفادة بواسطة النباتات سواء في الصورة العضوية (الدبال) أو الصورة المعدنية المدمصة على غرويات التربة أو الذائبة أو القابلة للذوبان في محلول الأرض.

2- أن يكون لها قدرة كافية على إطلاق العناصر الغذائية من الصورة غير الميسرة (المثبتة أو الصلبة) إلى الصورة الميسرة القابلة للإستفادة بواسطة النباتات وهو مايطلق عليه القدرة الإمدادية للأرض والتي تتوقف على الخصائص الطبيعية والكيميائية والحيوية للتربة.

3- أن يكون لها القدرة على حفظ التوازن مابين ماتفقده من مواد ومغذيات عن طريق الإمتصاص بواسطة النباتات النامية أو الغسيل أسفل منطقة إنتشار الجذور وماتُيسره من مغذيات. وعموماً فإن درجة خصوبة الأرض تقل كلما زادت الحاجة إلى إمداد خارجي بالأسمدة والمخصبات الأخرى.

4- أن لايكون بها تركيزات ضارة من المواد الكيميائية أو الكائنات الحية، وأن يكون لها القدرة على توفير عوامل النمو الأخرى والتي من أهمها الماء والهواء.

المُخصبات (Fertilizers)

هي أي مادة (عدا الماء) تُضاف للأرض بغرض زيادة قدرتها الإنتاجية. ويكون ذلك من خلال إضافة مُحسنات التربة بغرض زيادة درجة تيسر العناصر الغذائية في الأرض أو تحسين الخصائص الطبيعية والكيميائية والحيوية للأرض، أو إضافة عنصر غذائي لم يكن متوفراً بالقدر الكافي لحاجة النباتات

النامية في الأرض أو بيئة النمو. وقد أطلق القانون رقم 41 لسنة 1956 على المواد التي تقوم بالعمليات السابقة إسم المُخصبات والتي تتضمن كلٍ من الأسمدة ومحسنات التربة.

مُحسنات التربة (Soil Conditioners)

هى مواد عضوية أو غير عضوية تُضاف إلى الأرض بغرض تحسين خصائصها الطبيعية والكيميائية والحيوية. ومن أهم المحسنات الطبيعية: الجبس الزراعى، الكبريت الزراعى، الدبال، والمخصبات البيولوجية بالإضافة إلى البوليميرات (Polymers) مثل البولي أكريلامايـد (PAM) ذات الـوزن الجزيئي المرتفـع. والبوليميرات قد تكون غنيـة بالشحنات السالبة مثل Anionic Polyacylamide– APAM وهي تُضاف إلى الأراضى ذات القدرة المُنخفضة على الإحتفاظ بالماء (SP < 20) مثل الأراضي الرملية بغرض زيادة قدرتها على الإحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية وبالتالي تقليل الفاقد منها بالرشح العميق أسفل منطقة انتشار الجذور. وقد تكون البوليميرات مواد غنية بالشحنات الموجبة مثل Cationic Polyacylamide- CPAM وتُضاف إلى الأراضي ثقيلة القوام المُندمجة سيئة النفاذية وسيئة التهوية ويصعب إختراقها بواسطة الجذور أو النموات الأرضية للنباتات مثل الأراضى الطينية بغرض زيادة نسبة التجمعات الثابتة بها مما يُساعد على زيادة نفاذية الأرض للماء وتحسين ظروف التهوية وبالتالي توفير الوسط الملائم لنمو وحركة وإمتداد جذور النباتات بطريقة جيدة، وينعكس هذا إيجابياً على القدرة الإنتاجية للأرض وبالتالي المحصول.

كـذلك يُمكن إستخدام نـــاتج حـــرق النباتـــات كمحسنات للأرض والتي يُطلق عليهـا (بيوكا- Biochar) أو (شاركول- Charcoal) سواء كان الحرق بطريقة طبيعية في الغابات أو الحرق ببطء بفعل الإنسان في حُفر الحرق الترابية أو في هياكل مصنوعة يدوياً من الطوب أو حتى الحديد الصُلب تحت ظروف منخفضة التهوية (Limited Air). وتتميز هذه المواد بخصائص مُشابهة لمركبات الدبال وتكون ذات قابلية منخفضة للتحلل وبالتالي يُمكن الإستفادة منها لفترات طويلة نسبياً في تحسين خصائص الأرض الطبيعية والكيميائية والبيولوجية.

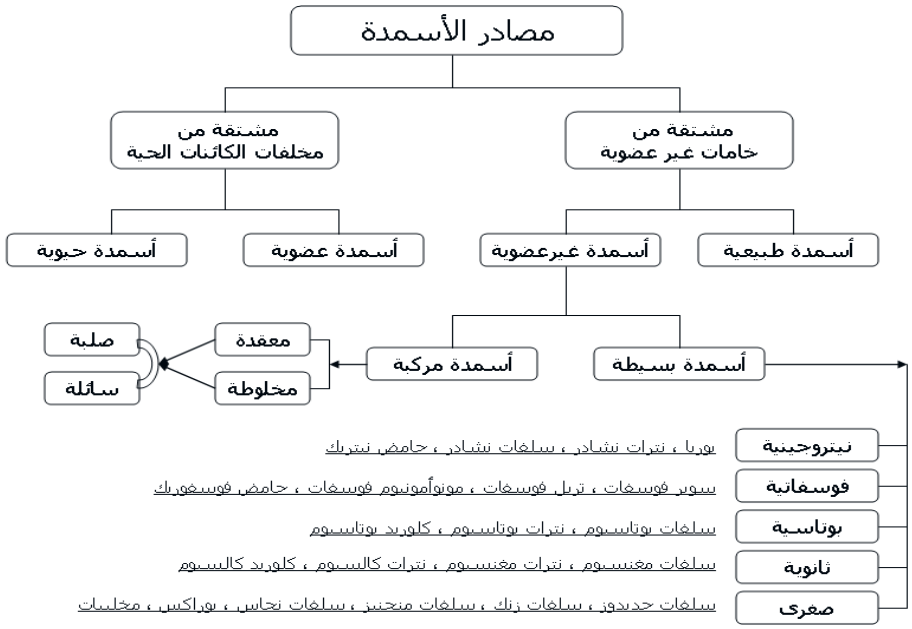
المحاضرة الرابــعة

الأسمدة والتسميد

Fertilizers and Fertilization

الأسمدة (Fertilizers)

هي مواد عضوية أو غير عضوية قد تكون مشتقة أساساً من خامات طبيعية غير عضوية أو معدنية وتُسمى في هذه الحالة بالأسمدة المعدنية، وقد تكون مشتقة أساساً من مُخلفات الكائنات الحية سواء الحيوانية أو النباتية وتُسمى بالأسمدة العضوية. (هناك استثناء من هذه القاعدة وهو أنه بالرغم من أن سماد اليوريا مركب عضوى إلا أنه لايعتبر سماداً عضوياً حيث أنه لم يُشتق من مخلفات الكائنات الحية بل من مواد طبيعية غير عضوية).



شكل توضيحي لمصادر الأسمدة المختلفة

تُضاف أي من الأسمدة المعدنية والعضوية من خلال عملية يُطلق عليها التسميد (Fertilization) والتى تتم بصفة أساسية بغرض تعويض النقص في محتوى التربة من العناصر الغذائية الناتج عن الإستنزاف المُستمر لها بواسطة زراعة المحاصيل المتتالية وبالتالي تُساعد على صيانة خصوبة الأرض وتحسين القدرة الإنتاجية لها وبالتالي زيادة المحصول.

الأسمدة العضوية (Organic Fertilizers)

عادة ماتُستخدم الأسمدة العضوية سواء من خلال التسميد الأخضر أو إضافة أسمدة المخلفات الحيوانية والنباتية بغرض تحسين خصائص الأرض الطبيعية والكيميائية والحيوية، حيث يؤدي إضافة الأسمدة العضوية إلى تحسين النفاذية للماء وتحسين الظروف الهوائية للتربة وتنشيط الكائنات الحية الدقيقة بالتربة. وتعمل أيضاً على زيادة قدرة الأرض على الإحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية وتقليل الفاقد منها بالرشح العميق أسفل منطقة إنتشار الجذور. وتعتبر الأسمدة العضوية مصدراً جيداً للعناصر الغذائية خاصة النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والماغنيسيوم والعناصر الصغرى بالإضافة إلى المركبات العضوية المختلفة مثل الأكسالات والسترات والطرطرات والأسيتات والتي تنطلق منها أثناء تحللها وهي تعمل على زيادة درجة تيسر العناصر الغذائية الموجودة في الأرض من خلال خفض درجة الحموضة أو من خلال قدرتها على الإرتباط مع العناصر الغذائية غير الميسرة مثل الحديد والزنك والكالسيوم لتصبح في صورة ميسرة للإستفادة بواسطة النباتات حيث هذه المركبات العضوية لها قدرة أعلى للإحتفاظ بمثل هذه العناصر بالمقارنة بالفوسفات الذي يؤدي إرتباطه مع هذه العناصر إلى تقليل فرصة تيسرها وإستفادة النباتات منها.

علاوة على ذلك فإن إعادة إستخدام المخلفات العضوية أو مايطلق علية تدوير المخلفات يؤدي إلى حماية البيئة من تراكمها أو التخلص منها بالحرق (كما يحدث في قش الأرز).

الأسمدة الخضراء (Green Manures)

حيث يتم زراعة محصول السماد الأخضر ثم يتم تقليبه في الأرض بغرض تحسين الخواص الطبيعية لها. وتُعتبر النباتات البقولية مثل الفول والبرسيم واللوبيا والبسلة والفاصوليا والعدس من أحسن الأسمدة الخضراء نظراً لقدرتها على تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة بكتيريا العقد الجذرية (Rhizobium leguminosum) التي تتعايش تعاونياً مع هذه المحاصيل البقولية وتتكاثر وتقوم بتثبيت النيتروجين الجوى بكفاءة عالية خلال الفترة من الإنبات وحتى الإزهار وبعد ذلك يقل نشاطها بدرجة كبيرة. وتتم عملية تحلل النباتات البقولية إذا مااستخدمت كسماد أخضر بعد حرثها في الأرض بمدة قصيرة بعكس المحاصيل الأخرى التي يلزم لتحللها إذا مااستخدمت في التسميد الأخضر مدة أطول. وقد يرجع ذلك بصفة أساسية إلى طبيعة المادة العضوية وإلى إختلاف نسبة الكربون إلى النيتروجين (ك : ن) في النباتات المختلفة المستخدمة كسماد أخضر. وعادة ماتكون نسبة (ك : ن) حوالي 80 : 1 في القمح والشعير و 50 : 1 في الذرة و 20 : 1 في النباتات البقولية. وكذلك تتحلل النباتات الخضراء أو المحتوية على نسبة عالية من الماء بسرعة أكبر من النباتات الجافة. إلا أن هناك بعض المواد التي تحتوي على نسبة ك : ن منخفضة نسبياً تحتاج لتحللها فترات زمنية طويلة جداً قد تصل إلى عدة أشهر أو سنوات وذلك

لإرتباط المواد العضوية فيها بمواد أخرى تحميها من تأثير البكتريات التي تقوم بعملية تحلل المادة العضوية. ومن أمثلة تلك المواد جلود وقرون وحوافر وشعر الحيوانات وكذا كيتين الحشرات. وعند التسميد الأخضر يجب حرث النباتات قبل التزهير حيث يقل نشاط بكتيريا العقد الجذرية في تثبيت النيتروجين الجوي.

أسمدة المُخلفات الحيوانية والنباتية (Farmyard Manures)

يُقصد بالمُخلفات الحيوانية والنباتية أنها بقايا نشاط الإنتاج الحيواني وزراعة المحاصيل المختلفة وبقايا الصناعات الغذائية التي لاتستخدم سواء في تغذية الإنسان أو الحيوان ولاتستخدم أيضاً في الأغراض الصناعية. فعادة مايَتبقى من نشاط الإنتاج الحيواني سواء في المزارع أو المجازر كميات ضخمة من الروث والدم والريش وبقايا الأحشاء والعظام والحوافر من الخلفات، كذلك بقايا المحاصيل الزراعية التي لايمكن إستخدامها حتى كغذاء للحيوان مثل أوراق نباتات الموز وحطب القطن وأعشاب (Straw) عدد كبير من المحاصيل خاصة تلك التي تزرع في مساحات كبيرة مثل البطاطس والطماطم والفلفل. كذلك هناك كميات كبيرة من مخلفات الصناعات الغذائية مثل بقايا صناعات المربى والعصائر المركزة وتعليب الأسماك وتعبئة محاصيل الخضر ومنها قشور وأغلفة وبذور بعض المحاصيل التي تُستخدم في هذه الصناعات مثل الموالح والموز والطماطم، بالإضافة إلى مخلفات تعليب الأسماك من قشور وجلد وعظم وأحشاء داخلية. هناك أيضاً كميات كبيرة من مخلفات المنازل خاصة في المدن الكبيرة مثل القاهرة والتي يُطلق عليها مخلفات المدن ويُمكن إعادة إستخدامها في صناعة الأسمدة مع مراعاة إزالة المواد الصلبة صعبة التحلل مثل بقايا الورق والبلاستيك والصيني والزجاج والصفيح والمعادن المختلفة.

وترجع أهمية إعادة إستخدام مثل هذه المخلفات كسماد عضوي إلى أنها تُعتبر غنية بمحتواها من العناصر الغذائية والمواد العضوية التي يمكن تحللها بسهولة (حيث لها نسب ك : ن منخفضة نسبياً)، والإستفادة من المركبات العضوية التى تنطلق منها. وهي تعمل على تنشيط الدور الحيوي للتربة وتحسين خصائص التربة الطبيعية والكيميائية وبالتالي زيادة المحصول مع تقليل إمكانية تلوث البيئة عند محاولة التخلص من هذه المخلفات بطرق أخرى. ولابد أن يكون واضحاً أنه لايُفضل إستخدام مثل هذه المخلفات مباشرة كسماد عضوي فعادة مايتم معاملة هذه المخلفات بالطريقة المناسبة للوصول بها إلى أسمدة عضوية ذات خصائص طبيعية وكيميائية مناسبة للإستخدام والإضافة مباشرة إلى الأرض لتحسين خصائصها الطبيعية والكيميائية. وتزداد قيمة السماد العضوي كلما قل تواجد الكائنات المسببة للأمراض وقل تركيز العناصر النادرة والكيماويات السامة وكلما زاد تركيز الكربون العضوى والنيتروجين والعناصر الغذائية الأخرى وكلما قلت نسبة ك : ن وكلما قلت الكثافة الحقيقية حيث تؤكد قلة المواد المعدنية الصلبة غير الذائبة.

الأسمدة المعدنية (Mineral Fertilizers)

تُضاف الأسمدة المعدنية إلى الأرض بغرض إمدادها بواحد أو أكثر من العناصر السمادية على صورة ميسرة للإستفادة بواسطة النباتات. وهناك العديد من أنواع الأسمدة المعدنية سواء في صورة صلبة أو في صورة سائلة للعناصر الغذائية المختلفة في صورة منفردة أو مركبة أو معقدة. وعادة ماتُقسم الأسمدة حسب عدد ماتحتويه من عناصر سمادية (وهي العناصر الغذائية التي لاتتوافر في بيئة النمو بالقدر الكافي لسد إحتياجات النباتات النامية بها وبالتالي يلزم إضافات خارجية منها). وعلى ذلك تُقسم الأسمدة إلى أسمدة بسيطة أو أحادية العنصر وأسمدة متعددة العناصر، ويمكن فيما يلي إيجاز لأهم هذه الأسمدة.

أسمدة معدنية بسيطة (Straight Fertilizers)

وهي التي تحتوي على عنصر سمادى واحد، وقد تسمى بالأسمدة المفردة. ومن أهمها الأسمدة النيتروجينية والأسمدة الفوسفاتية والأسمدة البوتاسية والأسمدة المفردة للعناصر الصغرى بالإضافة إلى أسمدة الكالسيوم والماغنيسيوم التي أعتبرت في حالات عديدة من العناصر السمادية التي تحتاج النباتات إلى إمداد خارجى منها خاصة تحت نظم الزراعة المكثفة في بعض أنواع الأراضي.

أسمدة معدنية متعددة العناصر (Multiple Fertilizer)

وهي التي تحتوي على أكثر من عنصر سمادى واحد. وقد تكون ذات تركيب كيميائي محدد (أى ناتجة عن خلط يؤدي إلى تفاعلات كيميائية ينتج عنها سماد جديد متعدد العناصر وتسمى بالأسمدة المعقدة (Complex Fertilizers) أو قد لايكون لها تركيب كيميائي مُحدد أي ناتجة عن خلط ميكانيكي لايؤدي إلى تفاعلات كيميائية. وتحتفظ كل مادة في هذا المخلوط بالخصائص الكيميائية لها وتُسمى بالأسمدة المركبة (Compound Fertilizers) أو الأسمدة المخلوطة (Mixed Fertilizers).

وقد كان لإنتاج الأسمدة المركبة سواء في صورة صلبة أو سائلة دوراً هاماً في تطوير إستخدام الأسمدة. حيث أمكن توفير مدى واسع من الأسمدة المركبة التي توفر أكبر عدد ممكن من العناصر الغذائية في نسب أو تركيزات متوازنة تتناسب مع الإحتياجات المختلفة للنباتات تبعاً لاختلاف الظروف الجوية ومرحلة النمو وخصائص بيئة النمو.

ولاتعرف الأسمدة سواء البسيطة أو المتعددة فقط بمحتواها من العناصر الغذائية السمادية بل أيضاً بتركيزات هذه العناصر (فيما يعرف بالرتبة السمادية) والنسبة فيما بينها (فيما يعرف بالنسبة السمادية).

الرتبة السمادية

تُعبر الرتبة السمادية عن النسبة المئوية (%) للعناصر الغذائية السمادية الميسرة أو الذائبة في الماء التي يحتويها السماد. وعادة مايُعبر عن محتوى الأسمدة من عناصر النيتروجين (الأزوت) والحديد والزنك والمنجنيز والنحاس والبورون والموليبدنيوم في صورة عنصرية أي N, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo. بينما يُعبر عن محتوى الأسمدة من عناصر الفوسفور والبوتاسيوم والماغنيسيوم والكالسيوم في صورة أكاسيد أي P_2O_5, K_2O, MgO, CaO على الترتيب.

وقد أتُفق على التعبير عن الرتبة السمادية (المعادلة السمادية) على أساس ترتيب النسب المئوية للعناصر السمادية بدءاً من النيتروجين يليه الفوسفور ثم البوتاسيوم وقد يليه الماغنيسيوم ثم/ أو الكالسيوم أي N- P_2O_5- K_2O - MgO – CaO. وبالتالي يكون المقصود بالرتبة السمادية 6-2-12-1-3 هو أن هذا السماد مُركب أو متعدد العناصر ويحتوي على 6% نيتروجين في صورة N، 2% فوسفور في صورة P_2O_5، 12% بوتاسيوم في صورة K_2O، 1% ماغنيسيوم فى صورة MgO، 3% كالسيوم في صورة CaO. أي أن الشيكارة التي تحتوى على 25 كيلو جرام من هذا السماد تتضمن: 1.5 kg N + 0.5 kg P_2O_5 + 3 kg K_2O + 0.25 kg MgO + 0.75 kg CaO.

شكل يوضح الرتبة السمادية على عبوة سماد مُركب

النسبة السمادية

وهي تُعبر عن نسبة العناصر الغذائية المكونة للسماد منسوبة إلى أقل العناصر الغذائية نسبة في السماد. فمثلاً السماد الذي رتبته 6-2-12 تكون نسبته السمادية 6:1:3. وكمثال آخر فإن السماد الذي رتبته

السمادية 10-10-10 تكون النسبة السمادية لـه 1:1:1، والسمـاد الذي رتبته 5-0-15 تكون النسبة السمـادية له 3:0:1.

وفيما يلي أهم المصادر السمادية التي يمكن إستخدامها لتعويض النقص في محتوى العناصر الغذائية في الأرض الناتج عن الإستنزاف المستمر بواسطة الزراعات المكثفة والمتتالية للمحاصيل.

مصادر الأسمدة المعدنية والتسميد

الأسمدة النيتروجينية

يُمكن فيما يلي حصر أهم مصادر الأسمدة النيتروجينية سواء البسيطة أو المركبة وتركيز العناصر السمادية بها معبراً عنها كنسبة مئوية (%).

جدول يوضح التركيب الكيميائي لأسمدة نيتروجينية ونسب العناصر بها (كنسبة مئوية).

السماد أو المركب	الرمز الكيميائي	N	K_2O	P_2O_5	CaO
حامض النيتريك (50- 60%)	HNO_3	11			
اليوريا	$CO(NH_2)_2$	46			
نترات النشادر	NH_4NO_3	33			
سلفات النشادر	K_2HPO_4	20.6			
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.2H_2O$	15.2			29
نترات البوتاسيوم	KNO_3	13	46		

وغالباً ماتمتص النباتات النيتروجين في صورة نترات (NO_3^-)، إلا أن هذا لايمنع قدرة النباتات على إمتصاص الصور الأخرى من النيتروجين سواء معدنية أو حتى عضوية ولكن بكميات أقل. لذلك فإنه في جميع أنواع الأراضي قد يتحول النيتروجين المُضاف في صورة أمونيوم أو أميد إلى نترات قبل الإمتصاص بواسطة النباتات. وتُعتبر الأسمدة النيتروجينية من أكثر المصادر السمادية إستخداماً وعادة ماتضاف على عدة دفعات خلال موسم النمو. ويستخدم التسميد النيتروجيني بكميات مرتفعة نسبياً خلال المراحل الأولى من نمو النباتات والتي يلزم فيها تكوين مجموع خضري قوي، بينما تقل تدريجياً الحاجة إلى التسميد النيتروجيني خلال مراحل الإزهار والعقد ونمو ونُضج الثمار.

تتميز الصورة النتراتية (NO_3) والأميدية (NH_2) بسهولة حركتها في التربة مع حركة المياه وبالتالي فإنها قابلة للفقد بسهولة بالغسيل عند زيادة معدلات الري. أما الصورة الأمونيومية (NH_4) مثل كبريتات الأمونيوم

(ويُطلق عليها تجارياً سفات النشادر أو الملح) فهي أقل قابلية للحركة في التربة نتيجة لتحولها إلى الصورة المتبادلة عند وجود قدر كافي من مركبات التبادل الغروية، وقد تُفقد بالتطاير في الأراضي الغنية بالجير (كربونات الكالسيوم) أو الأراضي القلوية ذات رقم الحموضة (pH) المرتفع أو عند إنخفاض مستوى الرطوبة بالتربة. ويمكن التقليل من تطاير الأمونيا عند إضافتها مع الأسمدة العضوية وعدم تعرض التربة للجفاف. أي أنه يتوقع تطاير الأمونيا بدرجة أكبر عند إضافتها تحت نُظم الري بالغمر خاصة في الأراضي الخفيفة القوام بالمقارنة بإضافتها تحت نُظم الري الحديثة. تُعتبر أسمدة نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم (يُطلق عليه تجارياً نترات الجير) من أفضل مصادر التسميد النيتروجيني للإستخدام خلال مرحلة مابعد العقد أو أثناء نُضج الثمار ويرجع ذلك إلى إحتياج النباتات إلى البوتاسيوم والكالسيوم بكميات كبيرة خلال مرحلة نمو ونضج الثمار. يُستخدم حامض النيتريك تحت نظم التسميد من خلال مياه الري كمصدر للتسميد النيتروجيني بالإضافة إلى تأثيره على خفض درجة حموضة مياه الري مما يساعد على تقليل فرصة ترسيب الأملاح في شبكة الري وبالتالي منع إنسداد فتحات الري سواء في نظام الري بالتنقيط أو الرش. كذلك فإن الري بمياه مُحمضة يؤدي إلى خفض مؤقت في درجة حموضة محلول التربة مما يؤدي إلى زيادة درجـــة تيسر العناصر الغذائيـة في بيئة نمو النبات. ويُمكن إستخدام حامض النيتريك بالتركيز المناسب لخفض درجة حموضة مياه الري إلى حوالي 6- 6.5.

الأسمدة الفوسفاتية

غالباً ماتمتص النباتات الفوسفور في صورة فوسفات أحادى ($H_2PO_4^-$) أو فوسفـات ثنائي ($HPO_4^=$). وتُمثل الأسمدة الفوسفاتية في المتوسط حوالي 10- 25% من إجمالي الإحتياجات السمادية للنباتات. وتُعتبر الأسمدة الفوسفاتية من أكثر المصادر السمادية إستخداماً وعادة مايُضاف الجزء الأكبر من إحتياجات النباتات من هذه الأسمدة في بداية فصل النمو. وقد تُضاف دفعات أخرى خلال موسم النمو لبعض النباتات خاصة تحت نظم التسميد من خلال مياه الري. والجدول التالي يوضح العديد من مصادر الأسمدة الفوسفاتية.

جدول يوضح التركيب الكيميائي لأسمدة فوسفاتية ونسب العناصر بها (%).

السماد أو المركب	الرمز الكيميائي	N	K_2O	P_2O_5	CaO
سوبر فوسفات أحادي	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O+$ $2.33CaSO_4.2H_2O$			15	
تربل سوبر فوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2.0.5CaSO_4.2H_2O$			37	15
حامض الفوسفوريك	$H_3PO_4$80%			60	

مونو أمونيوم فوسفات	$NH_4H_2PO_4$	12		61	
دى أمونيوم فوسفات	$(NH_4)_2HPO_4$	21		53	
مونو بوتاسيوم فوسفات	KH_2PO_4		34	51	
دى بوتاسيوم فوسفات	K_2HPO_4		54	41	

ويُستخدم التسميد الفوسفاتي بكميات مرتفعة نسبياً خلال المراحل الأولى للنباتات والتي يلزم فيها تكوين مجموع جذري قوي بينما تقل تدريجياً الحاجة إلى التسميد الفوسفاتي خلال مراحل الإزهار والعقد ونمو ونضج الثمار. وبالرغم من أن الفوسفور عنصر سهل الحركة في النبات إلا أنه بطيء الحركة في الأرض حيث يُثبت بسهولة في الأرض خاصة عند إرتفاع درجة حموضة التربة (pH) وإرتفاع نسبة الكالسيوم والماغنيسيوم الذائب كما هو الحال في الأراضي المصرية نتيجة لتكوين مركبات فوسفات الكالسيوم وفوسفات الماغنيسيوم $Ca_3(PO_4)_2$، $Mg_3(PO_4)_2$ الشحيحة الذوبان في الماء. ولذلك فإنه تحت هذه الظروف لاترتبط حركة الفوسفور في الأرض مع حركة الماء سواء أفقياً أو رأسياً، وبالتالي فإن إضافة الأسمدة الفوسفاتية بجوار الجذور النشطة للنباتات أو إضافته مع الأسمدة العضوية يؤدي إلى زيادة كفاءة الإستخدام والإستفادة بواسطة النباتات.

ومن الجدير بالذكر أنه عند ظروف إنخفاض درجة حموضة التربة إلى أقل من 6.5 تقل أيضاً درجة ذوبان وتيسر الفوسفات في الأرض نتيجة لثبيته في صورة فوسفات حديد ($FePO_4$) وفوسفات ألومونيوم ($AlPO_4$)، أما تحت ظروف القلوية حيث ترتفع درجة الحموضة إلى أعلى من 8.5 مع سيادة نسبة الصوديوم بالنسبة للكالسيوم والماغنيسيوم فيلاحظ زيادة درجة ذوبان وتيسر الفوسفور في الأرض حيث يتكون فوسفات صوديوم (Na_3PO_4) عالية الذوبان في الماء.

يُستخدم سماد سوبر الفوسفات الأحادي أو العادي للإضافة إلى الأرض مباشرة خلال عمليات التجهيز للزراعات الجديدة أو خلال عمليات الخدمة الشتوية خاصة في أراضي الوادي ويرجع ذلك إلى إمكانية الإستفادة من محتوى هذا السماد من الجبس التي تصل إلى حوالي 40% في تحسين الخواص الطبيعية لمثل هذه الأراضي. ويُعتبر إستخدام سماد تربل سوبر الفوسفات أفضل من الناحية الإقتصاديه للإستخدام في الإراضي الصحراوية حديثة الإستصلاح وذلك لإرتفاع نسبة الفوسفات به بالمقارنة بسماد سوبر الفوسفات العادي (15%) وبالتالي توفير تكاليف النقل لوحدة الفوسفات. وفي جميع الحالات يُفضل إضافة هذه الأسمدة الفوسفاتية مع السماد العضوي وليس من خلال مياه الري. يستخدم حامض الفوسفوريك كمصدر للتسميد الفوسفاتي للإضافة من خلال مياه الري حيث يتميز بأنه في صورة سائلة يحتوي على تركيز عالي من الفوسفات. ويتميز أيضاً بتأثيره الإيجابي على خفض درجة حموضة محلول الري وبالتالي محلول التربة ولو لأوقات محدودة لاتتعدى ساعة واحدة، إلا أنها تؤثر بشكل إيجابي على سهولة الحركة الأفقية والرأسية للفوسفات لمسافات أكبر نسبياً بالمقارنة بمصادر الفوسفات

الأخرى، حيث تقل فرصة ترسيب الفوسفات نتيجة لوجود الكالسيوم والماغنيسيوم في ماء الري والمحلول الأرضي. وهذه المميزات مطلوبة بدرجة كبيرة تحت ظروف الأراضي.

الأسمدة البوتاسية

لاتتوافر خامات البوتاسيوم في مصر ويتم الإعتماد كلياً على إستيرادها من الخارج. وعموماً فإن هناك العديد من مصادر الأسمدة البوتاسية يمكن حصرها في الجدول التالي.

جدول يوضح التركيب الكيميائي لأسمدة بوتاسية ونسب العناصر بها (%).

السماد أو المركب	الرمز الكيميائى	N	K_2O	P_2O_5	MgO
نترات بوتاسيوم	KNO_3	13	46		
كلوريد بوتاسيوم	KCl, Muriate		63		
مونو بوتاسيوم فوسفات	KH_2PO_4		34	51	
دى بوتاسيوم فوسفات	K_2HPO_4		41	54	
سلفات بوتاسيوم	K_2SO_4		50		

بالرغم من أن عنصر البوتاسيوم يتبادل على مُعقد التربة إلا أنه قابل للحركة في التربة بدرجة أكبر من مصادر الأسمدة الفوسفاتية المعدنية وبدرجة أقل نسبياً من مصادر الأسمدة النيتروجينية. وبالرغم من إستنزاف النباتات للبوتاسيوم المُيسر في التربة بسرعة تساوي أو تزيد قليلاً عن سرعة إستنزاف النيتروجين إلا أن النباتات النامية في أراضي الدلتا تُظهر إستجابة واضحة للأسمدة النيتروجينية عنها في حالة الأسمدة البوتاسية. وقد يرجع ذلك إلى سهولة فقد الأسمدة النيتروجينية من التربة سواء بالغسيل أو بالتطاير، بالإضافة إلى وجود البوتاسيوم بكميات وفيرة نسبياً في معادن الطين المكونة للمادة الأصلية في الأرض والتي تعتبر مصدراً دائماً لإمداد النباتات بالبوتاسيوم. أما في الأراضي حديثة الإستصلاح التي عادة ماتكون خفيفة القوام (رملية) فيُلاحظ إستجابة متساوية تقريباً لكلٍ من الأسمدة النيتروجينية والبوتاسية. ويرجع ذلك إلى عدم توفر معادن الطين وبالتالي عدم توفر مصدر إمداد دائم من البوتاسيوم. ومن الجدير بالذكر أن إزالة الأجزاء النباتية الغنية في محتواها من البوتاسيوم مثل الثمار وفي نفس الوقت ترك البقايا النباتية الغنية في محتواها من النيتروجين يؤدي إلى إستنزاف مستمر في محتوى التربة من البوتاسيوم وبالتالى تظهر إستجابة واضحة للتسميد البوتاسي تحت هذه الظروف خاصة إذا لم يتوافر فى الأرض إمداد ذاتي مستمر من البوتاسيوم. يمكن إستخدام سماد كلوريد البوتاسيوم بالإضافة من خلال مياه الري خاصة في الأراضي جيدة الصرف منخفضة الملوحة. ولايُفضل إضافة سماد كبريتات

البوتاسيوم (المعروف تجارياً بسلفات البوتاسيوم) مباشرة من خلال مياه الري نتيجة إنخفاض الحد الأقصى لذوبانه في الماء التي تقل عن 10% بينما تصل إلى 30% عند إستخدام كلوريد البوتاسيوم و 20% عند إستخدام نترات البوتاسيوم.

أسمدة الكالسيوم والماغنيسيوم

هناك العديد من مصادر أسمدة الكالسيوم والماغنيسيوم كما في الجدول التالي.

جدول يوضح التركيب الكيميائي لأسمدة الكالسيوم والماغنيسيوم ونسب العناصر بها (%).

السماد أو المركب	الرمز الكيميائى	N	CaO	MgO
نترات كالسيوم	$Ca(NO_3)_2.2H_2O$	15.2	29.0	
كلوريد كالسيوم	$CaCl_2.6H_2O$		25.0	
نترات ماغنيسيوم	$Mg(NO_3)_2.4H_2O$	10.5		15.5
سلفات ماغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$			16.0
كلوريد ماغنيسيوم	$MgCl_2$			46.0

تحتاج النباتات إلى الكالسيوم بنسبة أعلى من الماغنيسيوم خلال مراحل التزهير والعقد ونمو الثمار، بينما تحتاج النباتات إلى الماغنيسيوم بنسبة أعلى من الكالسيوم خلال مراحل النمو الخضري.

أسمدة العناصر الغذائية الصغرى

يُوجد العديد من مصادر التسميد بالعناصر الغذائية الصغرى منها ماهو في صورة عضوية أو مخلبية أو صورة معدنية كما هو واضح فيما يلي:

1- لوحظ إستجابة النباتات للتسميد بالعناصر الغذائية الصغرى خاصة الحديد والزنك والمنجنيز والنحاس في صورة معدنية (كبريتات) بدرجة أكبر عند إضافتها بالرش على النمو الخضري كتسميد ورقى وبدرجة أقل عند إضافتها للأرض مباشرة حتى من خلال مياة الري.

2- لوحظ كذلك إستجابة النباتات التي تُروى بمياه الترع لإضافة البورون وتزداد درجة إستجابة النباتات للإضافات الأرضية من خلال مياه الري عند إستخدام الصور المخلبية كمصدر للعناصر الغذائية الصغرى. وتتميز هذه الصورة المخلبية بقدرتها العالية على الذوبان في الماء وصعوبة تثبيتها في التربة وبالتالي سهولة تيسرها وحركتها في منطقة إنتشار الجذور بالتربة وبالتالي إمتصاصها بواسطة النبات.

وتتميز المركبات المخلبية أيضاً بقدرتها العالية على مقاومة الفقد بالغسيل. ويُفضل إستخدام الصورة المخلبية FeEDDHA (وهى عادة ذات لون أحمر طوبي) عن الصورة المخلبية FeEDTA (وهى ذات لون أخضر مصفر) كمصدر لعنصر الحديد للإضافة من خلال مياه الري حيث لايسهُل تثبيته في الأراضي المصرية ذات درجة الحموضة المرتفعة نسبياً حيث تكون الصورة الأخيرة للحديد المخلبي أكثر إستقرارا تحت هذه الظروف.

جدول يوضح التركيب الكيميائي لأسمدة العناصر الغذائية الصغرى ونسب العناصر بها (%).

السماد أو المركب	الرمز الكيميائى	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Mo
حديد مخلبي	Fe-EDDHA	6					
	Fe-EDTA	12.5					
زنك مخلبي	Zn-EDTA		13.5				
منجنيز مخلبي	Mn-EDTA			13			
حامض البوريك	H_3BO_3					17	
بورات صوديوم	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$					11	
موليبدات صوديوم	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$						39
موليبدات أمونيوم	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} .4H_2O$						49
سلفات حديدوز	$FeSO_4.7H_2O$	19					
سلفات زنك	$ZnSO_4.6H_2O$		22				
سلفات منجنيز	$MnSO_4$			34			
سلفات منجنيز	$MnSO_4.H_2O$			22			

سلفات نحاس	$CuSO_4.5H_2O$				23		
كلوريد حديدوز	$FeCl_2$	41					
كلوريد زنك	$ZnCl_2$		45				
كلوريد منجنيز	$MnCl_2.2H_2O$			25			
كلوريد نحاس	$CuCl_2$				33		

طُرق إضافة الأسمدة

تُضاف الأسمدة بغرض إمداد النباتات بما تحتاجه من عناصر غذائية أو عناصر سمادية. وتختلف طرق إضافة الأسمدة، فقد تُضاف إلى المجموع الجذري أي إلى الأرض أو البيئة التي تنمو فيها جذور النبات وهو مايطلق عليه بالتسميد الأرضي أو الجذري. أو قد تُضاف الأسمدة مباشرة إلى المجموع الخضري خاصة الأوراق وهو مايُطلق عليه بالتسميد الورقي. كذلك تختلف طرق التسميد تبعاً للصورة التي يُضاف عليها السماد، فقد تُضاف الأسمدة إلى الأرض مباشرة في صورة صلبة أو في صورة سائلة أو صورة غازية.

إضافة الأسمدة في الصورة الصلبة

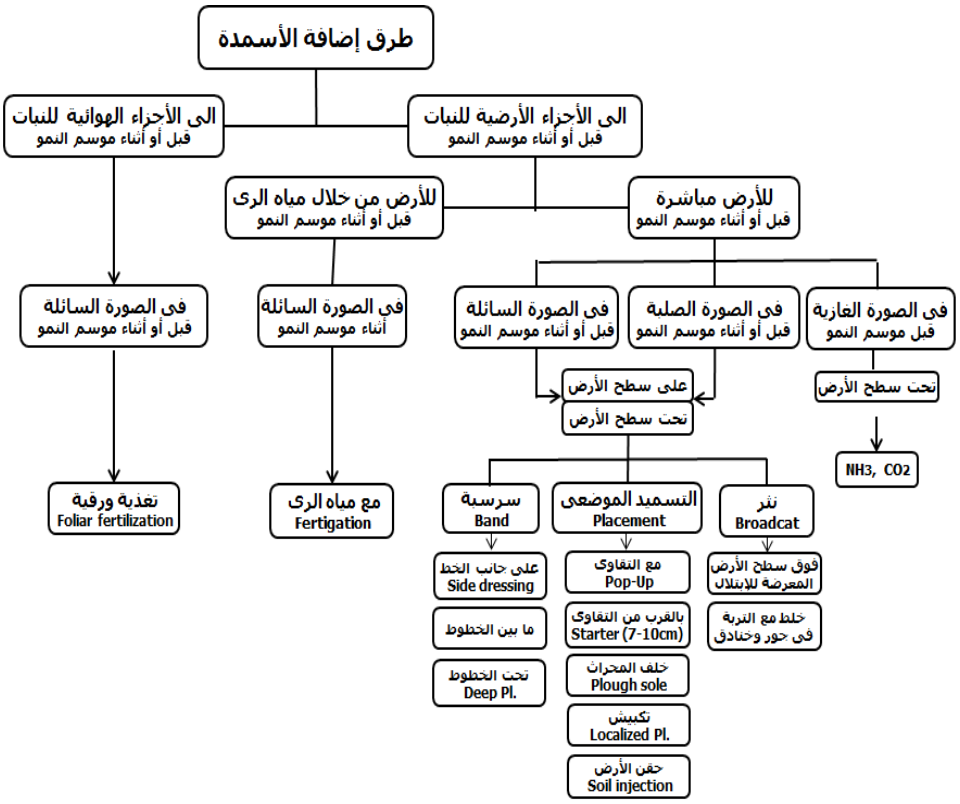
تُضاف الأسمدة في هذه الصورة الصلبة (بودر أو حبيبات أو بللورات) إلى الأرض مباشرة سواء قبل الزراعة أو خلال موسم النمو. وتتوقف طريقة الإضافة على الخصائص الطبيعية والكيميائية للسماد ونوع المحصول المنزرع أو المزمع زراعته ونوع التربة ونظام الري المُستخدم. وقد تضاف الأسمدة في الصورة الصلبة إما خلف المحراث في باطن الخط أو سراً في خطوط على أحد أو كلاً من جانبي صف الزراعة، وقد يُضاف السماد أيضاً تكبيشاً بجوار النباتات أو بحيث تلامس البذور مباشرة. وتُعتبر طريقة إضافة الأسمدة الصلبة نثراً على سطح الأرض قبل الزراعة أو مع الزراعة أو خلال موسم النمو وقد تُخلط مع الطبقة السطحية للتربة وقد تُضاف أيضاً في الطبقة تحت السطحية للتربة سواء تحت خطوط الزراعة أو في خنادق. وعادة ماتُضاف الأسمدة في الصورة الصلبة في الأراضي التي تروى بنظام الري بالغمر حيث تُضاف الأسمدة إلى التربة قبل الرى، وقد تُضاف الأسمدة المعدنية بعد خلطها مع الأسمدة العضوية إما نثراً على سطح التربة قبل الحرث لتُخلط مع الطبقة السطحية للتربة (0- 30سم). وعادة مايتم ذلك عند

التجهيز لزراعة معظم المحاصيل الحقلية وعدد كبير من محاصيل الخُضر خاصة التي تُزرع على مسافات ضيقة. وكذلك تُستخدم هذه الطريقة خلال الخدمة الشتوية لمعظم محاصيل الفاكهة في أراضي الوادي أو للأشجار الكبيرة المثمرة أي الأراضي خفيفة القوام. أو يُضاف هذا المخلوط في خنادق بطول خطوط الزراعة بعمق حوالي 20- 25سم حيث تُردم ويتم الزراعة فوقها. وعادة ماتستخدم هذه الطريقة في الأراضي خفيفة القوام عند التجهيز لزراعة عدد كبير من محاصيل الخُضر خاصة مثل البطيخ والخيار والكوسة والشمام والطماطم والبطاطس والباذنجان والفلفل وجميع الزراعات داخل الأنفاق والصوب البلاستيكية.

إضافة الأسمدة في الصورة السائلة

تُضاف الأسمدة في الصورة السائلة أو الذائبة في الماء إما إلى التربة مباشرة أو رشاً على المجموع الخضرى (خاصة الأوراق). وعادة مايتم التسميد الورقي في غير أوقات الري وفيه يتم خلط السماد مع جزء صغير جداً من المياه.

ويُطلق على إضافة الأسمدة في صورة سائلة مخلوطة مع أكبر جزء ممكن من مياه الري بالتسميد من خلال مياه الري أو التسميد مع مياه الري أو التسميد بالري (Fertigation). ويتم ذلك عادة تحت نُظم الري الحديثة سواء بالرش أو التنقيط.



شكل يوضح الطرق المختلفة لإضافة الأسمدة

إضافة الأسمدة من خلال مياه الري

تُعتبر طريقة إضافة الأسمدة من خلال مياه الري (Fertigation) من أكثر طرق إضافة الأسمدة إستخداماً تحت نُظم الري المتطورة سواء في الأراضي القديمة أو حديثة الإستصلاح. ويرجع ذلك إلى العديد من العوامل الإيجابية التي تتميز بها هذه الطريقة والتي من أهمها توفير جزء كبير من الأسمدة التي تُقفد بالغسيل بعيداً عن منطقة إنتشار الجذور. حيث تُضاف معدلات الري والتسميد بالكميات المناسبة التي لاتسمح بالفقد غير المرغوب بالإضافة إلى توفير الوقت والعمالة وبصفة خاصة في المناطق حديثة الإستصلاح حيث لاتتوافر العمالة الكافية وبالتالي يؤدي زيادة الطلب عليها إلى إرتفاع تكاليفها.

إضافة الأسمدة على الأوراق (التسميد الورقي)

وهي الطريقة التي تُستخدم لإمداد النبات بالعناصر الغذائية من خلال أجزاءه الهوائية التي لها القدرة على إمتصاص هذه العناصر والإستفادة منها. ويُطلق على هذا النوع من التسميد بالتسميد الورقي أو التسميد بالرش أو التغذية الورقية. وعادة مايُستخدم التسميد الورقي للمعاونة مع طرق التسميد الأخرى. ويختلف التسميد الورقي عن إضافة الأسمدة من خلال مياه الري تحت نُظم الري بالرش في أن الأول يعتمد أساساً على التغذية من خلال الأجزاء الهوائية والتي غالباً ماتكون الأوراق بينما الثاني يهدف أساساً إلى التغذية من خلال الأجزاء الأرضية (الجذور). وهذا بطبيعة الحال لاينفي إمكانية حدوث إمتصاص من الأجزاء الأرضية في حالة التسميد الورقي أو إمتصاص من الأجزاء الهوائية في حالة التسميد من خلال مياه الري تحت نظام الري بالرش. وتعتمد الفكرة الأساسية لتسميد النباتات بالرش على إمكانية إمتصاص الأجزاء الهوائية من النباتات خاصة الأوراق للعناصر الغذائية من خلال الفتحات الثغرية المُنتشرة على الأسطح العليا والسفلى للأوراق. ويُفضل عدم إجراء التسميد الورقي في الأيام الممطرة. وكذلك يُفضل عدم إجراء التسميد الورقي في مرحلة الإزهار أو خلال المراحل الأولى من العقد حتى لايؤدى الضغط الناشيء عن إندفاع محلول الرش إلى حدوث تساقط ميكانيكي للأزهار أو العقد الصغير.

وعادة مايُستخدم التسميد الورقي في حالة وجود نقص مباشرة لواحد أو أكثر من العناصر الغذائية على النبات، أو عند توقُع صعوبة تيسر عناصر غذائية معينة عند إضافتها إلى الأرض مباشرة مثل عناصر الحديد والزنك والمنجنيز عند إضافتها في تربة مرتفعة القلوية أو غنية بمحتواها من كربونات الكالسيوم، أو إصابة الجذور بأمراض التربة التي تؤدي إلى خفض كفاءتها لإمتصاص العناصر الغذائية من بيئة النمو، أو في حالة قلة المجموع الجذري خاصة في الفترة القصيرة التالية لزراعة الشتلات.

قائمة المراجع

List of References

المراجع العربية

- أحمد عبد الفتاح أحمد ابراهيم. 2013. تطبيقات الري والتسميد. الجزء الأول: الإحتياجات المائية للمحاصيل الحقلية والبستانية. رقم الإيداع: 1574/ 2013، الترقيم الدولي: 6-0327-90-977-978.
- أحمد عبد الفتاح أحمد ابراهيم 2013. تطبيقات الرى والتسميد. الجزء الثانى: الإحتياجات الغذائية للمحاصيل الحقلية والبستانية. رقم الإيداع: 1575/ 013، الترقيم الدولي: 3-0328-90-977-978.
- أحمد فوزى يوسف. 1987. البيدولوجي نشأة ومورفولوجيا وتقسيم الأراضي. الناشر عمادة شئون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض. المملكة العربية السعودية.
- السكري وآخرون. 2008. حصر وتقسيم الاراضي الصحراوية. مطبوعة جامعة القاهرة، مصر.
- المجلة المصرية لعلوم الاراضي. مطبوعة نصف سنوية. كلية الزراعة، جامعة عين شمس، القاهرة، مصر.
- جلال حافظ وآخرون. 2009. مباديء علم الأراضي. دار المعارف، القاهرة، مصر.
- جويفل وآخرون. 2008. أساسيات علم الأراضي. مطبوعة جامعة الإسكندرية، مصر.
- عبداللطيف صالح السباعي. 2014. أسرار الماء. فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية، الرياض، المملكة العربية السعودية. رقم الإيداع: 6468/ 1434، الترقيم الدولي: 8-117-507-603-978، ديوي 7288، 363.
- محمد نجيب حسن ومصطفى خضر مصطفى. 1973. أصول البيدولوجي. المكتب المصري الحديث للطباعة والنشر، القاهرة، مصر.
- مصطفى خضر مصطفى وفتحي محمد مقلد. 1966. المدخل لدراسة مورفولوجيا وتقسيم الأراضي. دار المعارف، القاهرة، مصر.

المراجع الإنجليزية

- Hanson, B., S. R.Grattan, and A. Fulton. 1999. Agriculture salinity and drainage. Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3375.
- Kovda, V.A.; Muratova, V.S. and Zakharina, G.V. (ed.). 1967. Amelioration of salt affected soils. IZD, Nauka, Moskova.

- Szabolcs, I. 1971. European solonetz soils and their reclamation. Akademia, Kiado, budapest, Hungary.
- Geology Chester R, Longwel & Richard F. Introduction to Physical Flint. John Wiley & Sonr, Inc., New York, London .
- Henry D. Foth. Fundamentals of Soil Science. 7th Ed, John Wiley & Sons. Inc. NY. NY 10158, ISBN 0-471-88352-2.
- Western Fertilizer handbook. produced by California Fertilizer Association, 8th Edition, 1985, ISBN 0-8134-2972-2.
- Bergmann W. 1992. Nutritional disorder of plant. Jena, Stuttgart, ISBN 3-334-60422-5.
- Ayers, R.S. and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO, Vol. 29. ISBN 92-5-102263-1.
- Tisdale S. and Nelson W.L. 1975. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co. Inc. ISBN 0-02-420860-4.
- Mengel K. and Kirkby E.A. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, CH-3048 Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Milton Whitney. Field Operation of the Division of Soil (U.S.A.). Department of Agriculture.
- Brady, N.C. 1990. The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.
- FAO 1987. Agriculture. Toward 2000. Rome, Italy. UN, Food and Agriculture Organization.
- Henry Foth.1984. Fundamentals of Soil Science. 7th Edition. John Wiley and Sons. New York, Toronto, Singapore.
- Miller and Donahue. 1997. Soils in Our Environment. 7th Edition. Prentice- Hall, Inc. New Gersey 07458, USA.
- Singer and Munns. 1992. Soil – an Introduction. 2nd Edition. Maxwell Macmillan Publishing Singapore Pte. Ltd.
- Hillel , D. (1982). Application of Soil Physics. Academic Press, New York.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the UN), 1994. Water Harvesting for Improved Agricultural Production. Water Reports 3, Proceedings of the FAO Expert Proceedings of the FAO.

مواقع إلكترونية

- http://www.osuextra.com
- www.ext.colostate.edu

مراجع للدروس العملية

- Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E. and Clark,F.E. (eds.) 1965. Methods of Soil Analysis: Parts 1 and 2, American Society of Agronomy, Madison Wisconsin, USA.
- Page, A.L.; Miller, R.H.; and Keeney, D.R.(eds.) 1982. Methods of Soil Analysis: Parts 1 and 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

جـامعة عين شمس

كليـــة الزراعـــة

قســـم الأراضي والمياه

برنامج الأراضي والمياه

الدروس العمليـــة

أساسيات الأراضي والميـــــاه

لطلاب المستوى الأول (علوم وهندسة زراعية)

إعداد

نخبة من أعضاء هيئة التدريس

جـامعة عين شمس

كليـــة الزراعـــة

قســـم الأراضي والمياه

برنامج الأراضي والمياه

الدروس العمليـــة

أساسيات علـوم الأراضي والميـــاه

لطلاب المستوى الأول (علوم وهندسة زراعية)

إعـــداد

نخبة من أعضاء هيئة التدريس

مذكـــــرة عملي أساسيات علـــــوم الأراضي والميـــاه

إسم الطـالب	.....
البرنـــــامج	.....
القســـــم	.....
الرقم الجامعي	.....

توزيـــــع الدروس العمليـــــة

رقم الدرس	عنوان الدرس	رقم الصفحة	توقيع القائم بالتدريس	الدرجة
1	جمع وتحضير عينات التربة.	5		
2	تقدير الرطوبة في عينات التربة والتعرف على بعض الصخور والمعادن.	12		
3	تقدير الكثافة الحقيقية للتربة.	16		
4	تقـدير الكثافـة الظاهريـة والمسـامية للتربة.	19		
5	التحليل الميكانيكي للتربة.	25		
6	التحليل الحبيبي للتربة والبناء الأرضي.	31		
7	حركة الماء في التربة.	34		
8	تقـدير معامـل التوصـيل الهيـدروليكي المُشبع في التربة.	38		
9	ثوابت الرطوبة الأرضية، تقدير الرطوبة في التربة بطرق غير مباشرة.	41		
10	تقدير الكربونات الكلية في التربة.	47		
11	تقـدير الأمـلاح الكليـة الذائبـة ودرجـة حموضة التربة.	51		
12	تقدير المادة العضوية في التربة.	58		
13	التحليل الوصفي للأسمدة.	62		
14	تقييم جودة المياه للري.	67		

توجيهـــات دخـــول المعمل

1- الحضور قبل الموعد المحدد للدرس العملي ولو بدقائق.
2- إرتداء البالطو الأبيض قبل دخول المعمل.
3- التأكد من جود مذكرة الدروس العملية معك.
4- المعمل ليس مكاناً للعب ولامكانا للتسلية وتبادل الحديث المستمر ولامكاناً للأكل والشرب، بل هو مكان لتحصيل العلم وإتقان المهارة.
5- إنتبه جيداً لشرح الدرس العملي واستفسر عما لم تستوعبه قبل بدء إجراء التجربة.
6- لاتعبث بمفاتيح الكهرباء والغاز ولاصنابير المياه.
7- سجل نتائجك بدقة.
8- أطلب من القائم بالتدريس مراجعة نتائج التجربة والتوقيع أمامها بجدول الدروس العملية.
9- مساهمتك في الحفاظ على الأدوات والأجهزة دليل وعيك.
10- بعد الإنتهاء من التجربة نظف الأدوات والأجهزة وأعدها إلى مكانها الطبيعي.
11- أبلغ فني المعمل أو الأستاذ القائم بالتدريس لأي طاريء.

الدرس العملي الأول

جمع وتحضير عينات التربة

تُعتبر عملية جمع عينة التربة من الأرض خطوة أولى للتعرف عليها وصفياً وكمياً. هذه الخطوة أساسية حيث يتوقف عليها تفسير جميع نتائج التحليلات والإختبارات المختلفة التى تُجرى عليها وبالتالي تُنتسب إلى الأرض التي تمثلها.

تعريف عينة التربـــــة

هى جزء بسيط جداً من التربة، يشترط فيها أن يكون مُمثلة تمثيلاً صحيحاً للتربة التي تؤخذ منها. ويتم جمع عينات الأراضي لأهداف عدة منها:

1- دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية والمعدنية للأراضي للوقوف على خواص التربة وتحديد مشاكلها بغرض إصلاحها.

2- دراسة مستوى العناصر الغذائية في التربة وتحديد مدى النقص أو الزيادة فيها وبالتالي الحاجة إلى التسميد وإضافة العناصر الغذائية للوصول إلى الحالة المُثلى لمستوى العناصر الغذائية.

3- دراسة نشأة وتكوين وتقييم الأراضي للإستخدامات المختلفة.

4- يمكن أن تُجمع العينات لأغراض أخرى كثيرة كأن يكون بغرض تقييم الأراضي لإستخدامات أخرى غير زراعية مثل إقامة الكباري والمنشآت للمنفعة العامة.

ولتحقيق الغرض من جمع العينة من الأرض لابد من إتخاذ كافة الإحيتاطات اللازمة من حيث تحديد موقع أخذ العينة، طريقة أخذ العينة، حفظ العينة حتى وصولها إلى المعمل، إعداد العينة للتحليلات المختلفة، وغير ذلك من الإحتياطات التي تضمن سلامة العينة وعدم تلوثها والمحافظة على تمثيلها جيداً للموقع الذي جُمعت منه.

أنواع عينات الأراضي

1- العينات غير المُثارة (Undisturbed Samples): هي عينات تؤخذ من الحقل أو الأرض مباشرة بأدوات خاصة. ويشترط في هذه العينة المحافظة على النظام الطبيعي الموجودة فيه من حيث ترتيب الحبيبات وعدم إثارتها والمحافظة على حالة المسام بها وغير ذلك.

2- العينـات المثـارة (Disturbed Samples): وهي العينـات التي لايُشـترط فيهـا المحافظـة على الحالـة الطبيعية للتربة وتؤخذ بأدوات مختلفة بشرط تمثيلها في العمق الذي تؤخذ من أجله مثلاً (0- 30 سم) أو من أي عمق داخل التربة.

تمثيل عينة التربة

1- العينات المُفردة: ويُقصد بها عينات التربة التي يتم جمعها إما من الطبقة السطحية للتربة أو أي عمق من أعماق قطاع التربة الذي يمتد من سطح الأرض حتى عمق يصل إلى 1.5 متر.
2- العينات الشاملة: وفيها يتم خلط أجزاء متساوية وزناً من الموقع الذي تُمثله وذلك بأن تكون مثلاً عينات سطحية أو عينات تحت سطحية. ويتم خلط العينات مع بعضها جيداً ويُؤخذ منها جزء يُمثل عينة شاملة لهذا العمق وهكذا.

مايجب مراعاته عند أخذ عينات التربة

1- إلا تكون الأرض شديدة الجفاف أو مروية حديثاً.
2- أخذ العينات قبل التسميد العضوي أو الكيماوي.
3- قشط طبقة سطحية من التربة لعمق 1 سم تقريباً للتأكد من عدم وجود غطاء نباتي.
4- في أراضي الفاكهة تؤخذ العينات بعيداً عن جذوع الأشجار بحوالي 0.5 إلى 1 متر ومن منطقة أعماق إنتشار الشعيرات الجذرية.

كيفية أخذ عينات التربة

يجب أخذ عينات التربة من مناطق إنتشار الشعيرات الجذرية النشطة والتي تختلف باختلاف المحصول حيث:
1- تؤخذ العينة من عمق صفر حتى 30سم للنباتات ذات الجذور السطحية.
2- يُضاف إليها عينة من عمق 30 حتى 60سم للنباتات ذات الجذور المُتعمقة.
3- يضاف إليها عينة من عمق ثالث هو 60 حتى 100سم في حالة النباتات ذات الجذور المُتعمقة بالتربة.

يتم تحديد الأعماق التي تؤخذ منها عينات التربة بعمل قطاع التربة وتحديد المناطق التي تنتشر بها 80 إلى 90% من الجذور النشطة. حيث أن هذه الأعماق تختلف باختلاف المحصول وكذلك باختلاف نوع التربة بالنسبة للمحصول الواحد.

إختلاف طريقة أخذ عينات التربة حسب المساحة والوسيلة المستخدمة

تختلف الطريقة المستخدمة لأخذ عينات التربة حسب المساحة والوسيلة المستخدمة كما يلي:

1- إستخدام فأس أو جرار غير صديء في الأراضي الثقيلة، وتُقسم كل 5 أفدنة إلى 5- 25 قسم تبعاً لمدى تجانس التربة على أن يكون كل قسم متجانساً بقدر الإمكان.

2- إستخدام مثقاب (Auger) لأخذ عينات التربة وذلك في الأراضي متوسطة القوام.

3- يختلف عدد المواقع المُمثلة وطريقة توزيعها باختلاف المساحة كما يلي:

أ- أكثر من ثلاثة أفدنة يؤخذ خمس مواقع لكل فدان.

ب- أقل من ثلاثة أفدنة يؤخذ خمسة عشر موقعاً موزعة على كل المساحة.

إختلاف المساحة التي تؤخذ منها العينة

تختلف المساحة التي تؤخذ منها العينة تبعاً لعوامل متعددة أهمها:

1- مساحة الحيازة الزراعية.

2- مساحة الحقل المنزرع بنفس المحصول.

3- مدى إتباع المعاملات الزراعية في الحقل.

4- مدى تجانس التربة.

5- إختبارات التربة السابقة التي أجريت بالمنطقة.

يؤخذ من كل قسم أو موقع عينة من منطقة إنتشار الشعيرات الجذرية مع خلط عينات المنطقة الواحدة المنزرعة في كيس بلاستيك يُغلق جيداً مع مراعاة مايلي:

1- إعطاء العينة رقم حقلي ويُكتب هذا الرقم على الكيس من الخارج بقلم حبر لايتأثر بالماء (ماركر).

2- وضع ورقة داخل الكيس موضح فيها جميع البيانات المُتعلقة بالعينة بقلم رصاص لضمان عدم ضياع بياناتها.

3- إرفاق بطاقة بالكيس البلاستيك مُسجل فيها جميع البيانات المُتعلقة بالعينة.

تحضير عينات الأراضي

تُجفف عينات الاراضي هوائياً وتوضع في أكياس من القماش عادة بعد وضع ورقة بالبيانات اللازمة، ثم تُرسل بعد ذلك إلى المعمل حيث يتم تجفيفها هوائياً مع تفكيك الطين في هون خشب وتمزج جيداً وتنخل بمنخل سعة ثقوبه 2 مم حيث يؤخذ ماينفذ من المنخل وهو يُسمى بناعم التربة ويحفظ في أوعية مُحكمة مع لصق ورقة على كل وعاء مدون فيها بيانات عينة التربة حيث تصبح حينئذ جاهزة للتحليل. وجدير بالذكر أنه في بعض الأحيان خاصة في الدراسات الخاصة بالعلاقات المائية قد يحتاج الأمر إلى جمع

العينات المبتلة التي تُمثل حالة الرطوبة في الحقل تحت الدراسة. أيضاً قد يحتاج الأمر إلى جمع عينات مُنفصلة للمناطق التي يتركز بها وجود الأملاح وذلك بهدف دراسة ملوحتها. وبالطبع فإنه يجب أن يتوفر لدى القائم بعملية جمع وتجهيز عينات التربة الخبرة الكافية.

أدوات أخذ العينات

توجد أدوات عديدة تُستعمل في أخذ عينات الأرض نذكر بعضها فيما يلي:

1- أنبوبة التربة (Soil Tube): وهي عبارة عن إسطوانة من النحاس الأصفر ذات نهاية حادة من الصلب قطرها الداخلي 2.5 سم تقريباً وطولها قد يصل إلى متر مُقسم إلى أقسام طول كل منها 15 سم. والأنبوبة لها يد تسهل من عملية إستعمالها.

2- إسطوانة التربة (Soil Cylinder): وهي عبارة عن إسطوانة من الصلب لها حرف قاطع.

3- مثقاب أو بريمة الأرض (Soil Auger): وهو عبارة عن بريمة قطرها حوالي 4 سم وطولها حوالي 15 سم ومُتصلة بساق طويلة تنتهي بيد. هذه البريمة تُستعمل عادة في الحصول على عينات تحت التربة حيث يمكن إطالة ساقها بوصلها بوصلات أخرى بحيث يُمكن بها الدفع إلى أعماق أكبر نسبياً داخل التربة.

3- مثقاب فرانكل (Frankel's Auger): وهو عبارة عن مثقاب يحتوي طرفه الأسفل على تجويف ذو حد قاطع. هذا المثقاب يُستعمل بدفعه في الأرض مع إدارته عكس إتجاه سير عقارب الساعة حتى يصل إلى عمق الأرض المطلوب والتجويف مُغلق. حينئذ يتم عكس دوران المثقاب فيفتح التجويف ثم يُملأ خلال الملف عدة دورات في إتجاه عقارب الساعة حيث يُغلق التجويف. بعد ذلك يُسحب المثقاب مع إستمرار حركة لفه حتى لاينفتح أثناء جذب المثقاب من الأرض. وأخيراً يُفرغ التجويف من العينة.

المطلوب

1- تعرف على قطاع أرض ممثل لمزرعة الكلية، ثم إرسم شكلاً تخطيطياً يوضح تتابُع طبقاته. قارن ذلك برسم تخطيطي آخر يُمثل قطاعاً نموذجياً ناضجاً.

2- تعرف على أدوات أخذ عينات التربة. إرسم شكل تخطيطي يوضح أجزاء كل منها.

الدرس العملي الثاني

تقدير الرطوبة في عينات التربة

والتعرف على بعض الصخور والمعادن

من دراسات البناء الأرضي يتبين أن الأراضي عبارة عن أجسام مسامية تحتوي على مسام بإحجام مُختلفة يتخللها الماء الذي ينفذ خلال التربة. جزء من هذا الماء تحتفظ به المسام الضيقة وعلى أسطح حبيبات التربة والمادة العضوية مؤثراً في الرطوبة الأرضية. بينما يفقد الجزء الأخر من خلال المسام الواسعة إلى طبقات القطاع الأعمق.

وحيث أن الماء يكون الجزء الرئيسي للطور السائل في الأراضي متغيراً في مستواه تبعاً لعوامل عديدة منها مايتعلق بالنباتات النامية ومنها مايتعلق بالظروف البيئية المختلفة، لذا كان تقدير رطوبة التربة من الدراسات الهامة في مجال الأراضي.

الفكرة الرئيسية

تعتمد الفكرة الرئيسية في تقدير الرطوبة في الأراضي المعدنية (بطريقة مباشرة) على تسخين وزن معين من الأرض المراد تقدير نسبة الرطوبة فيها في فرن كهربائي على درجة حرارة 105- 5110م وذلك لتجفيفها، ثم تقدير الفقد في الوزن المذكور والذي يكون نتيجة لفقد الماء الأرضي المتواجد بالعينة المبتلة. هذا الفقد يُعبر عنه عادة كنسبة مئوية منسوباً إلى وزن العينة الجاف تماماً.

وجدير بالذكر أن التربة المجففة هوائياً (السابق ذكرها في تجهيز عينات الأراضي) تحتوي على جزء من الماء يُطلق عليه الماء الهيجروسكوبي وهو ممسوك بقوة كبيرة لايستطيع النبات التغلب عليها. وهو لذلك يُعتبر ماء غير مُيسر للنبات أي غير صالح للإمتصاص. هذا الماء الهيجروسكوبي تقدر نسبته المئوية تبعاً لنفس الفكرة الرئيسية المذكورة حيث يمكن إعتباره أحد صور الرطوبة الأرضية.

طريقة التقدير

توضح كمية معينة من عينة الأرض المراد تقدير الرطوبة بها في زجاجة وزن أو علبة معدنية معروفة الوزن ثم توضع زجاجة الوزن أو العلبة (بما فيها من تربة) في فرن كهربائي على درجة حرارة 105- 5110م وذلك لمدة 12- 24 ساعة حيث تنقل بعدها إلى مجفف للتبريد وتوزن. تُكرر عملية التسخين والتبريد والوزن عدة مرات حتى نتحصل على وزن ثابت يُمثل وزن العينة الجافة تماماً.

تُحسب النسبة المئوية للرطوبة بالعينة المذكورة تبعاً للمعادلة التالية:

$$\%\ \text{للرطوبة} = \frac{\text{(الفقد في وزن العينة بالتسخين على درجة 105- 5110م)}}{\text{(وزن العينة الجافة تماماً بعد ثبوت الوزن)}} \times 100$$

بالطبع فإن الفقد في وزن العينة بالتسخين عبارة عن حاصل طرح وزن العينة الجافة تماماً بعد ثبوت الوزن من العينة الرطبة (أو الجافة هوائياً).

المطلوب

1- قدر النسبة المئوية للرطوبة في عينتي التربة التي إمامك موضحاً أسباب الإختلافات في قيم النسبة المذكورة، دون النتائج تبعاً لما يلي:

الخطوات	العينة رقم 1	العينة رقم 2
وزن العلبة فارغة		
وزن العلبة + عينة تربة رطبة (أو جافة هوائياً)		
وزن العلبة + عينة التربة الجافة تماماً (بعد ثبوت الوزن)		
وزن عينة التربة الرطبة		
وزن عينة التربة الجافة تماماً		
وزن الماء المفقود		
النسبة المئوية للرطوبة بالوزن		

% للرطوبة بالوزن = (وزن الماء المفقود ÷ وزن الأرض الجافة تماماً) x 100

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- تعرف على عينات المعادن والصخور التي أمامك ... أكتب إسم كلِ منها وصفه.

.....

.....

.....

.....

.....

الدرس العملي الثالث

تقدير الكثافة الحقيقية للتربة

كثافة المادة هي عبارة عن كتلة وحدة الحجوم منها، ويمكن الحصول عليها بقسمة كتلة جسم ما على حجمه. بناءً على ذلك فإن الكثافة الحقيقية للأرض هي عبارة عن النسبة بين كتلة حجم معين من التربة وحجم حبيبات هذه التربة أو مايطلق عليه الحجم الحقيقي لها. هذا الحجم الحقيقي يُعبر فقط عن الطور الصلب للتربة دون الأخذ في الإعتبار حجم مايشغله أي من الطورين السائل والغازي لها.

الفكرة الأساسية

تعتمد الفكرة الأساسية لتقدير الكثافة الحقيقية للتربة على وزن التربة الجافة تماماً وتقدير حجم السائل المزاح من التربة (الماء عادة).

وجدير بالذكر أن الماء هو السائل الذي يُستعمل عادة في تقدير الكثافة الحقيقية للأراضي وهو سائل قطبي. وبالرغم من هذا فإنه يُمكن إستعمال سوائل أخرى غير قطبية كالبنزين والتولوين آخذين في الإعتبار أن هذه السوائل تعطي قيمة أقل للكثافة المذكورة مما يعطيه الماء الذي يؤثر (نتيجة لقطبيته) ووجود الشحنات على أسطح حبيبات التربة الدقيقة على النتائج المتحصل عليها وبالتالي فإن قيمة الحجم الحقيقي لها سوف يتأثر .

كذلك يجدر الإشارة إلى أن تقدير الكثافة الحقيقية للتربة بطريقة القنينة يلزمُه تجنب وجود فقاقيع الهواء التي يجب التخلص منها بالتسخين على الحمام المائي والرج. ويرجع سبب ذلك إلى أن هذه الفقاقيع تؤثر على قيمة الحجم الحقيقي الحسابية وبالتالي فإن الكثافة الحقيقية تقل.

خطوات العمل

هناك طُرق عديدة لتقدير الكثافة الحقيقية للتربة أهمها إستعمال قنينة الكثافة تبعاً للخطوات التالية:

1- إملأ القنينة تماماً بماء مُقطر سبق غليه (لطرد الهواء الذائب فيه) لدرجة حرارة المعمل. جفف القنينة تماماً من الخارج باستعمال ورق ترشيح ثم زنها مع قياس درجة حرارة الماء المُستعمل.

2- أُسكب حوالي ثلثي كمية الماء من القنينة وجففها بعدئذ من الخارج جيداً ثم زنها.

3- خذ كمية من عينة التربة المراد تقدير كثافتها الحقيقية وانقلها بواسطة قمع إلى القنينة المحتوية على ثلثها ماء مع الحذر من إلتصاق أي جزء من التربة بجدار رقبة القنينة لتجنب إضافة أي كميات أخرى من الماء.

4- زن القنينة المملوءة جزئياً بالماء وبها عينة التربة وذلك لمعرفة وزن التربة المُستخدم (وذلك بمساعدة الوزن المتحصل عليه في الخطوة 2).

5- ضع القنينة على حمام مائي لمدة حوالي عشر دقائق مع تحريكها حركة رحوية من وقت لآخر، إنقلها بعدها القنينة من الحمام المائي واتركها لتبرد لدرجة حرارة المعمل، ثم إملأها بالماء وجففها من الخارج وزنها.

6- إحسب الكثافة الحقيقية للتربة من المعادلة التالية:

$$\text{الكثافة الحقيقية} = \frac{\text{كتلة عينة التربة الجافة تماماً}}{\text{الحجم الحقيقي لعينة التربة المستخدمة}}$$

حيث كتلة عينة التربة الجافة تماماً يُمكن الحصول عليها من الخطوة 2 و 4 بعد تحويل الوزن هوائياً إلى وزن جاف تماماً بمعرفة النسبة المئوية للرطوبة في الأرض الجافة هوائياً. إما الحجم الحقيقي للعينة المذكورة فيمكن الحصول عليه بمعرفة حجم السائل المزاح المساوي له وهو عبارة عن وزن السائل المزاح (باعتبار أن كثافة الماء حوالي 1 جرام/ سم^3). وبالتالي يُمكن معرفة الحجم الحقيقي من الخطوات 1 و5 بالإضافة إلى وزن التربة الجافة تماماً.

المطلوب

قدر الكثافة الحقيقية لعينة التربة التي أمامك مع تدوين نتائجك تبعاً لما يلي:

الخطوات	النتائج
1- وزن القنينة مملؤة تماماً بالماء	
2- وزن القنينة مملوءة جزئياً بالماء	
3- وزن القنينة مملوءة جزئياً بالماء + عينة التربة	
4- وزن القنينة مملوءة بالماء + عينة التربة بعد طرد الهواء المحبوس (بالرج).	
5- وزن العينة الجافة هوائياً (الخطوة 2- الخطوة 3)	
6- وزن العينة الجافة تماماً (بمعرفة نسبة الرطوبة بالتربة)	
7- حجم السائل المزاح = وزن السائل المزاح [(وزن التربة الجافة تماماً + الخطوة 1)] – (الخطوة 4)	

الكثافة الحقيقية =

(كتلة عينة التربة الجافة تماماً ÷ الحجم الحقيقي لعينة التربة المستعملة).

الدرس العملي الرابع

تقدير الكثافة الظاهرية والمسامية للتربة

أولاً: الكثافة الظاهرية

كما سبق الذكر فإن كثافة الجسم هي عبارة عن كتلة وحدة الحجوم منه. وحيث أن الأرض جسم مسامي فإن لها حجمان:

1- الحجم الحقيقي (الذي سبق دراسته) ويُعبر عن حجم الطور الصلب للتربة فقط.

2- الحجم الظاهري ويأخذ في الإعتبار كلٍ من حجم الطور الصلب والمسام البينية.

وبناءً على ذلك فإن للتربة كثافتان الأولى حقيقية والثانية ظاهرية. وحيث أن كل من الكثافتين يعتمد على الكتلة والحجم وأن الكتلة ثابتة (بالنسبة للتربة الجافة تماماً) فإن الكثافة لابد وأن تتغير تبعاً لتغير الحجم. وحيث أن الحجم الظاهري للتربة أكبر من الحجم الحقيقي لها، لذا فإن الكثافة الحقيقية للتربة تكون أكبر من الكثافة الظاهرية. أيضاً فإنه نتيجة ثبات الحجم الحقيقي للتربة بصفة عامة بالمقارنة بحجمها الظاهري فإن الكثافة الحقيقية للتربة تعطي رقماً شبه ثابت بعكس الحال بالنسبة للكثافة الظاهرية والتي تختلف كثيراً تبعاً لنوع وقوام التربة وبنائها والعمليات الزراعية المختلفة التي تؤثر على مسامية التربة.

الفكرة الرئيسية

تعتمد الفكرة الرئيسية لتقدير الكثافة الظاهرية للأرض (شأنها في ذلك شأن الكثافة الحقيقية) في محاولة الحصول على قيمة الحجم الظاهري لكتلة معينة من التربة موضع الدراسة.

طرق التقدير

يمكن تقدير الكثافة الظاهرية لعينة تربة خلال طرق عديدة أهمها مايلي:

1- طريقة إسطوانة التربة ذات الحجم المعلوم: وهي عبارة عن طريقة يُستخدم فيها إسطوانة من الصُلب صغيرة ذات حجم معلوم يمكن الحصول عليه بمعرفة أبعادها. هذه الإسطوانة ذات حافة سفلية حادة مقطعها أقل قليلاً مع مقطع الإسطوانة نفسها (بحيث يقل إحكام عمود التربة داخل الإسطوانة عند دفعها خلال الأرض). توزن الإسطوانة فارغة ثم تُدفع داخل الأرض إلى العلامة المحددة للحجم المعلوم ثم تُسحب برفق حيث تجفف (بما فيها من تربة) في فرن كهربائي على درجة حرارة 105- 5110م لمدة كافية

تُبرد بعدها وتوزن ويُحسب حينئذ الكتلة الجافة للأرض. من قيمة هذه الكتلة الجافة للأرض وحجم عمود التربة داخل الاسطوانة (الذي يُحسب من القطر الداخلي للإسطوانة وإرتفاع العمود المذكور) يُمكن حساب الكثافة الظاهرية لعينة التربة.

2- طريقة السائل اللزج: وفيها تُحفر حفرة في الأرض إلى العمق المطلوب مع الإحتفاظ بالتربة المستخرجة من الحفرة لتقدير وزنها الجاف تماماً وذلك بعد التجفيف على درجة 105- 5110م في فرن كهربائي. يُحضر مخبار مدرج كبير مملوء بسائل لزج (كالزيوت الثقيلة أو المولاس) ثم يُصب هذا السائل تدريجياً في الحفرة (التي يراعى عدم وجود إي شقوق بها) بسرعة حتى تمتلىء. تحسب الكمية المتبقية من السائل اللزج في المخبار وتُطرح من الكمية الأصلية لمعرفة حجم السائل المُستعمل والذي يُمثل حجم الحفرة المُعبرة عن الحجم الظاهري لعينة التربة الجافة التي أُستخرجت من الحفرة. من هذا الحجم الظاهري للعينة وكتلتها الجافة تماماً يُمكن حساب الكثافة الظاهرية للأرض.

3- طريقة الغمس في شمع البرافين: تتلخص هذه الطريقة في إحاطة كتلة معينة من التربة (تؤخذ من العمق المطلوب) بشمع البرافين ثم تقدير وزن الماء الذي يمكن إزاحته بهذه الكتلة من التربة بعد غمرها فيه. هذا الماء المزاح يكون مساوياً في حجمه لمجموع حجمي شمع البرافين والأرض، بحيث لو طُرح منه حجم شمع البرافين (الذي يقدر بمعلومية وزنه وكثافته) يُمكن الحصول على الحجم الظاهري للتربة والذي يُحسب منه الكثافة الظاهرية لها بمعلومية الكتلة الجافة للعينة المأخوذة وذلك تبعاً للخطوات التالية:

1- تُربط كتلة التربة في خيط رفيع وتوزن مُعلقة على الميزان الكهربائي.

2- تُغمس الكتلة المذكورة في شمع برافين منصهر بعد تبريده لدرجة حرارة حوالي 60^{5}م تُرفع بعدها سريعاً وتترك لتبرد مع مراعاة التأكد من إحاطة الكتلة كلها بالشمع حتى يتم تجنُب تسرب الماء فيما بعد إلى داخل الكتلة.

3- توزن كتلة التربة المغطاة بالشمع وهي مُعلقة على الميزان.

4- يوضع كأس مملوء بالماء على الميزان وإلغاء (تصفير) وزنه.

5- تُغمر كتلة التربة المُغلفة بالشمع في الماء بحيث تكون مغمُورة داخل الكأس ولاتلامس القاع أو الجدران، ثم يؤخذ وزن كتلة التربة.

أخيرا يجرى حساب الكثافة الظاهرية تبعاً لما يلي:

- من الخطوة الخامسة يُحسب وزن الماء المزاح الذي يكون مساوياً لحجم الماء المزاح (باعتبار كثافة الماء حوالي 1 جرام/ سم^{3}).

- من الخطوة الأولى والثالثة يُحسب وزن الشمع الذي بمعرفة كثافته يُمكن حساب حجمه.

- من حجم الشمع وحجم الماء المزاح يُمكن حساب حجم كتلة التربة الظاهري.
- من وزن كتلة التربة (الخطوة الأولى) يُعاد تحويله إلى وزن جاف تماماً (بمعلومة النسبة المئوية للرطوبة في الأرض تحت الدراسة) والحجم الظاهري للعينة يُمكن حساب الكثافة الظاهرية للأرض.

خطوات العمل

1- أربط كتلة التربة في خيط رفيع حيث تُعلق على الميزان وتوزن.
2- إغمس الكتلة المذكورة في شمع برافين منصهر بعد تبريده لدرجة حرارة حوالي 60^{5}م، إرفعها بعدها سريعاً واتركها لتبرد مع مراعاة التأكد من إحاطة الكتلة كلها بالشمع حتى يتم تجنُب تسرب الماء فيما بعد إلى داخل الكتلة.
3- زن كتلة التربة المغطاة بالشمع وهي مُعلقة على الميزان.
4- ضع كأس مملوء بالماء بحيث تكون كتلة التربة مغمورة تماماً فيه دون ملامسة جدران أو قاع الكأس.
5- زن كتلة التربة المغطاة بالشمع وهي مغمورة في الماء بداخل الكأس بعد إلغاء (تصفير) وزن الكأس.

أخيراً إجرى حساب الكثافة الظاهرية تبعاً لما يلي:
- من الخطوة الثالثة والخامسة إحسب وزن الماء المزاح الذي يكون مساوياً لحجم الماء المزاح (باعتبار كثافة الماء حوالي 1 جرام/ سم^{3}).
- من الخطوة الأولى والثالثة إحسب وزن الشمع الذي بمعرفة كثافته يُمكن حساب حجمه.
- من حجم الشمع وحجم الماء المزاح يُمكن حساب حجم كتلة التربة الظاهري.
- من وزن كتلة التربة (الخطوة الأولى) يُعاد تحويله إلى وزن جاف تماماً (بمعلومة النسبة المئوية للرطوبة في الأرض تحت الدراسة) والحجم الظاهري للعينة يُمكن حساب الكثافة الظاهرية للأرض.

المطلوب

بمعلومية الكتلة الجافة للعينة التي أمامك قدر الكثافة الظاهرية بطريقة الغمس في شمع البرافين تبعاً للخطوات التالية:

خطوات العمل	النتائج
1- وزن كتلة التربة في الهواء.	
2- وزن كتلة التربة + شمع البرافين في الهواء.	
3- وزن كتلة التربة + شمع البرافين في الماء (وهو عبارة عن حجم السائل المُزاح).	
4- حساب حجم شمع البرافين بدلالة كثافته.	
5- حجم عينة الأرض (3 - 4).	
6- وزن عينة الأرض الجافة تماماً (بمعلومية النسبة المئوية للرطوبة).	

الكثافة الظاهرية لعينة التربة = وزن عينة التربة الجافة تماماً ÷ حجمها الظاهري

= ..... جرام/ سم^3

ثانياً: المسامية

المسامية الكلية لتربة ما هي عبارة عن النسبة بين حجم المسام والحجم الظاهري لها والذي يُعبر عن أحجام كل من الطور الصلب والمسام التي يُمكن أن يشغلها كل من الماء والهواء. بعبارة أخرى فإن المسامية الكلية يُمكن حسابها تبعاً لما يلي:

المسامية = (الحجم الظاهري (ح$_{ظ}$) – الحجم الحقيقي (ح$_{ق}$)/ الحجم الظاهري (ح$_{ظ}$)

= (ح$_{ظ}$ - ح$_{ق}$) / ح$_{ظ}$

وحيث أن الكثافة الظاهرية (ث$_{ظ}$) عبارة عن حاصل قسمة الكتلة (ك) على الحجم الظاهري وأن الكثافة الحقيقية عبارة عن حاصل قسمة نفس الكتلة على الحجم الحقيقي فإنه يُمكن تحويل المعادلة السابقة إلى:

المسامية = (الكثافة الحقيقية (ث$_{ق}$) – الكثافة الظاهرية (ث$_{ظ}$)/الكثافة الحقيقية (ث$_{ق}$)

= (ثق - ثظ) / ثق

= 1 – (ثظ / ثق)

وبالطبع فإنه إذا كان المطلوب تقدير النسبة المئوية للمسامية فإن الكسر الناتج من أي من المعادلات السابقة لابد وأن يُضرب في 100.

المطلوب

من الأرقام التي حصلت عليها لكل من الكثافة الحقيقية والكثافة الظاهرية لعينة التربة المعطاة لك قدر النسبة المئوية للمسامية موضحاً ماتُعبر عنه هذه النسبة.

الدرس العملي الخامس

التحليل الميكانيكي للتربة

التحليل الميكانيكي للتربة عبارة عن عملية تجرى بهدف معرفة قوام الأرض من خلال تقدير النسب المئوية لمجاميع حبيبات التربة الفردية ذات الأحجام المختلفة.
وهناك طرق عديدة للتحليل الميكانيكي يعتمد أغلبها على سرعة سقوط حبيبات التربة المختلفة تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

أولاً: طريقة الماصة (Pipette Method)

الفكرة الأساسية

تعتمد الفكرة الأساسية في طريقة الماصة على تقدير مدى تغير تركيز مُعلق التربة في الماء مع الزمن وذلك عند عمق معين ثابت (عادة 10 سم).

خطوات العمل (طريقة الماصة)

يتم ذلك من خلال الخطوات الرئيسية التالية:
1- إجراء معاملة إبتدائية لوزن معين من التربة المراد دراستها (عادة 20 جرام) وذلك للتخلص من المواد العضوية والأملاح لتفرقة حبيبات التربة ثم إضافة عوامل مُفرقة خاصة والرج لمدد معينة.
2- إمرر التربة المذكورة بعد المعاملة الإبتدائية من خلال منخل قطر ثقوبه 0.2 مم في مخبار حجمه عادة لتر حيث يكمل للعلامة بالماء المقطر. أما عن حبيبات التربة المفصولة على المنخل المذكور فتُمثل مجموعة الرمل الخشن والتي تنقل إلى جفنة من الصيني ثم تجفف وتوزن.
3- رج المُعلق المتواجد في المخبار رجاً جيداً ويترك ليهدأ لمدة معينة تبعاً لقانون خاص يأخذ في إعتباره سرعة سقوط الحبيبات عند درجات حرارة مختلفة حيث تأثير الجاذبية الأرضية وهو قانون ستوك. هذه المدة الزمنية هي 4 دقائق و48 ثانية وذلك عند درجة حرارة 20^{5}م، يرسب خلالها الرمل الناعم لمسافة 10سم ويتبقى السلت والطين. تؤخذ بعدها عينة من المُعلق بماصة خاصة معلوم الحجم (ح) وذلك من عمق 10 سم حيث توضع في جفنة صيني لتُجفف وتوزن لتمثل مجموعة السلت والطين.
4- يُرج المُعلق ثانيــة وتكرر الخطوة الســابقة مع تغيير مدة أخــذ العينــة إلى 8 ساعات (على درجة 20^{5}م) لتُمثل مجموعة الطين.
5- يُسكب معظم المُعلق الموجود بالمخبار ويُنقل المُتبقي إلى كاس طويل حيث يُكمل بالماء المقطر إلى ارتفاع 10 وتُقلب محتويات الكأس ثم يترك لمدة 4 دقائق و48 ثانية (درجة حرارة 20^{5}م) بعدها يُسكب

المُعلق مع الإحتراس من عدم فقد أي شيء من مجموعة الرمل الناعم الذي يكون متواجد في قاع الكأس. تُكرر عملية إضافة الماء المُقطر والترسيب والسكب حتى يُصبح المُعلق رائقاً بعد مرور المدة المذكورة، حيث تكون مجموعة الرمل الناعم حينئذ نظيفة وتُنقل إلى جفنة من الصيني وتجفف وتوزن.

6- تجرى الحسابات منسوبة للوزن الجاف لعينة التربة (ك) تبعاً لما يلي:

% للرمل الخشن = (وزن الرمل الخشن المجفف ÷ ك) × 100

% للرمل الناعم = (وزن الرمل الناعم المجفف ÷ ك) × 100

% للسلت والطين = (وزن السلت والطين × $\frac{1000}{\text{ح}}$ × $\frac{1}{\text{ك}}$) × 100

% الطـــين = (وزن الطين × $\frac{1000}{\text{ح}}$ × $\frac{1}{\text{ك}}$) × 100

% للســـلت = % للسلت والطين - % للطين

حيث ح: حجم الماصة ، ك: وزن التربة.

ثانياً: طريقة الهيدروميتر (Hydrometer Method)

الفكرة الأساسية

تعتمد الفكرة الأساسية في طريقة الهيدروميتر على فكرة أدخلها العالم بيوكس (Bouxouees) إعتمدت على إختلاف سُقوط حبيبات التربة تحت تأثير الجاذبية الأرضية باختلاف كثافة معلق التربة والماء في أزمنه معينة. وقياس ذلك باستعمال هيدروميتر خاص.

الهيدروميتر المستخدم يكون مُدرج بحيث تدل قراءته بعد 40 ثانية ثم بعد ساعة على عدد جرامات حبيبات التربة ذات الأقطار الفعالة أقل من 0.05 مم وأقل من 0.002 مم على الترتيب، وذلك بفرض أن كثافة الحبيبات المُعلقة هي 2.65 جرام/ سم^3 وأن وسط المُعلق هو الماء. وفي الحقيقية فإنه بالرغم من سهولة هذه الطريقة ودقتها النسبية من الناحية العملية فإن بعض الإنتقادات قد وجهت إليها. من أهم هذه الإنتقادات صُعوبة تحديد عمق المُعلق ذو التركيز الذي يبينه الهيدروميتر بعد وضعه في المُعلق وتركه مده معينة، مما يجعل تحديد أحجام الحبيبات المسئولة عن الكثافة المبينة على الهيدروميتر أمر غير مؤكد. وعموماً فإن طبقة المُعلق التي يُقاس فيها تغير الكثافة مع الزمن ليست بالضبط طول الجزء المغمور من الهيدروميتر إلا بعد ضربه في معامل تقريبي معين.

وجدير بالذكر أن الهيدروميتر المذكور يكون مُدرج عند درجة حرارة 19.4^{5}م، وعلى ذلك يُضاف 0.4 إلى قراءته لكل درجة حرارة أعلى من ذلك أو طرح نفس المقدار لكل درجة حرارة أقل من ذلك. يُجرى هذا التعديل نتيجة للتغير في لزوجة وسط الإنتشار باختلاف درجة الحرارة.

ويُلاحظ أن وجود حدود أقطار الحبيبات في هذه الطريقة ليست هي المتفق عليها دولياً في أجزاء التحليل الميكانيكي بطريقة الماصة. والجدول التالي يبين المجاميع المختلفة وأبعادها:

المجموعة	قطر الحبيبات
الرمل	أكبر من 0.05 مم
السلت	0.05 – 0.005 مم
الطين	أقل من 0.002 مم

وهذه الطريقة أسرع بكثير من طريقة الماصة وتُعطي نتائج تقريبية. ويجب ألا تُستعمل هذه الطريقة في التحليل الميكانيكي للأراضي العضوية أو الأراضي الملحية ولا في الأراضي المعروف عنها أنها صعبة التفرقة ولا في الأراضي الجيرية لأنه لاتوجد في هذه الطريقة معاملة إبتدائية بالمعنى المعروف.

خطوات العمل (طريقة الهيدروميتر)

1- زن مايعادله 50 جرام من التربة الجافة تماماً بمعلومية النسبة المئوية للرطوبة (أو 100جرام إذا كانت التربة خشنة).

2- إنقل التربة إلى وعاء التفريق بعد إجراء المعاملة الإبتدائية عليها أولاً، وأضف إليها ماء مقطر يُغطي السطح بحوالي 7 سم ثم أضاف بعد ذلك حوالي 5سم^3 من محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.2 عياري.

3- ضع الوعاء المذكور بجهاز التقليب الذي يُدار لمدة تتراوح بين 5- 15دقيقة مع تجنب ملامسة المحرك لجدار الوعاء.

4- إنقل مُعلق الأرض كمياً إلى مخبار سعة لتر ثم كمل للعلامة بالماء المقطر.

5- قلب المُعلق المذكور جيداً حتى التجانس، ثم ضع الهيدروميتر بهدوء قبل الوقت المحدد للقراءة الأولى بحوالي 40 ثانية. بعدها خذ القراءة وأخرج الهيدروميتر بهدوء.

6- نظف الهيدروميتر وجففه وكرر العملية السابقة بالنسبة للقراءة الثانية في وقتها المحدد.

7- صحح قراءات الهيدروميتر تبعاً لدرجة حرارة المُعلق التي يجب قياسها عقب القراءة الثانية.

8- إجري عمليات الحساب تبعاً لما يلي:

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.05مم فأقل (السلت والطين) ..... (1)

= (قراءة الهيدروميتر بعد 15 ثانية / وزن الأرض الجاف تماماً بالجرام)× 100

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.005 مم فأقل (الطين) ..... (2)

= (قراءة الهيدروميتر بعد ساعة / وزن الأرض الجاف تماماً بالجرام) × 100

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة بين 0.05 و 0.005 مم (السلت)

= الخطوة (1) - الخطوة (2)

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة أكبر من 0.05 مم (الرمل) ..... (3)

= 100- الخطوة (1)

أخيرا يُمكن التعبير عن النتائج المتحصل عليها من التحليل الميكانيكي بطرق عديدة يمكن بها تمثيل قوام التربة، من أهم هذه الطرق مايلي:

1- منحني المجموع (Summation Curve).

2- مثلث القوام (Triagonal diagram of Soil texture).

المطلوب

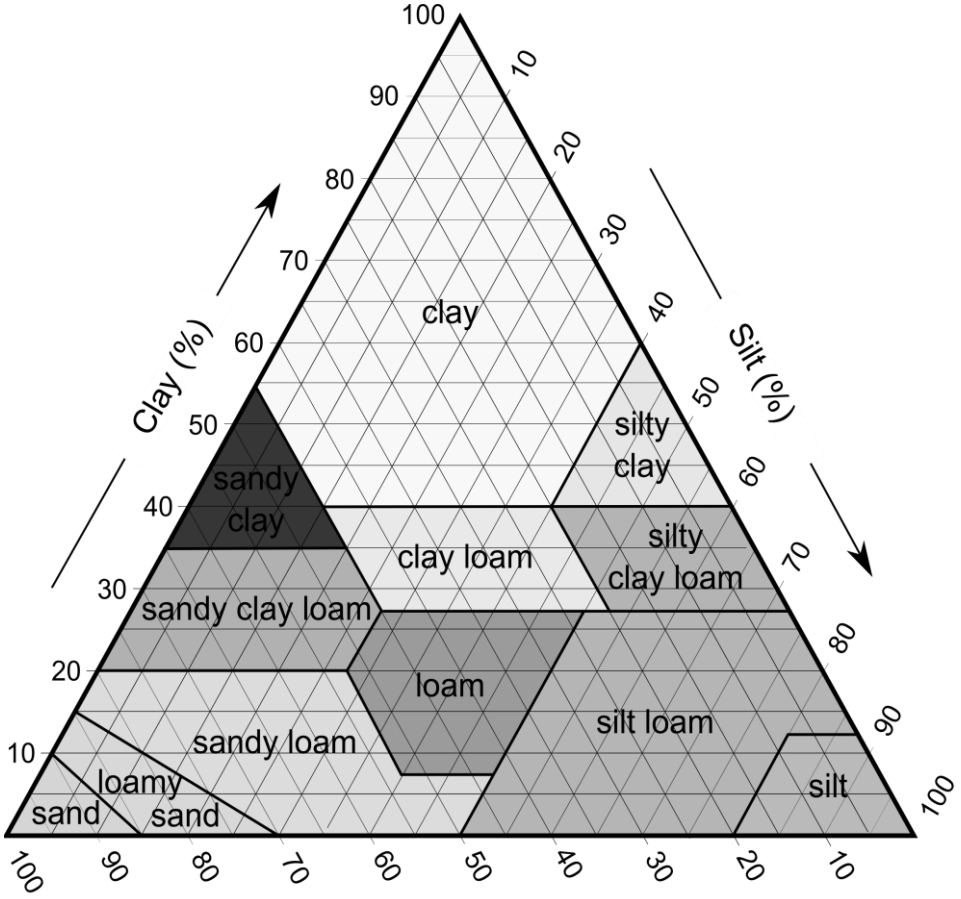
1- دون النتائج التي حصلت عليها من قراءات الهيدروميتر خلال عملية التحليل الميكانيكي لعينة التربة المعطاة لك وذلك تبعاً لما يلي:

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.05 مم فأقل = ... %

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.005 مم فأقل = ... %

%للحبيبات ذات الأقطار الفعالة بين 0.05 و 0.005 مم = ... % %للحبيبات ذات الأقطار الفعالة أكبر 0.05 مم = ... %

2- إستعمل النتائج المتحصل عليها أعلاه في التعبير عن قوام الأرض باستعمال كلٍ من منحني الجموع ومثلث القوام.



مثلث القوام

3- دون النتائج التي حصلت عليها من قراءات الهيدروميتر الخاصة بالحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.05 فأقل خلال عمليتي التحليل الميكانيكي والحبيبي لعينة التربة المعطاة لك وذلك تبعاً لما يلي:

%	التحليل الحبيبي	التحليل الميكانيكي
% للحبيبات ذات الأقطار الفعالة 0.05 مم فأقل.		
% للحبيبات ذات الأقطار الفعالة أكبر من 0.05 مم		
حالة التحبب في عينة التربة		
درجة التحبب في عينة التربة		

4- علق على النتائج التي تحصلت عليها

.....

.....

.....

الدرس العملي السادس

التحليل الحبيبي للتربة والبناء الأرضي

يُعتبر بناء الأرض من الخواص الهامة التي يقصد بها نظام ترتيب حبيبات التربة مع بعضها والذي يختلف تبعاً لكمية وطبيعة الحبيبات المركبة أو التجمعات. بناءً على ذلك فإن دراسة هذه التجمعات يُعتبر ذات أهمية كبيرة بالنسبة للأراضي، ويُعبر عنها بطرق عديدة منها التحليل الحبيبي الذي يتناول دراسة عدد ومدى ثبات الحبيبات المركبة. أي أنه يُعتبر دليلاً على بناء الأرض وليس على نوع هذا البناء. أيضاً فإن هناك مايسمي بحالة التحبب وتُعبر عن نسبة الحبيبات المركبة الأكبر من حجم معين والموجود بصورة ثابتة (Stable) ضد القوى الميكانيكية التي تُستعمل في عملية التحليل الحبيبي. ولتحديد الحجم المذكور يُجرى كلٍ من التحليل الميكانيكي والتحليل الحبيبي ثم يوقع لها منحنيات مجموع على رسم واحد فيكون نقطة تقاطع المنحنيين هي الحد الأدنى للحبيبات المركبة التي تؤثر على بناء الأرض.

الفكرة الأساسية

إن الفكرة الأساسية في تقدير حالة التحبب هي الحصول على نسبة الحبيبات المركبة ذات الأقطار أكبر من 0.05 ثم طرح قيمتها مع نسبة الحبيبات المفردة المُتحصل عليها من التحليل الحبيبي حيث يكون الفرق معبراً عن نسبة الحبيبات المركبة التي لها الحجم المحدد. هذه النسبة المعبرة عن حالة التحبب إذا قُسمت على النسبة المئوية للحبيبات الكلية ذات الحجم المحدد المذكور والناتج من التحليل الحبيبي ينتج مايُسمى بدرجة التحبب والتي تُستعمل في مقارنة الأراضي ببعضها.

خطوات العمل

1- إجرى التحليل الحبيبي لعينة التربة بدون أجراء أي تفرقة للحبيبات المركبة (بدون معاملة إبتدائية) وذلك باستعمال طريقة الهيدروميتر. من نتائج التحليل قدر النسبة المئوية للحبيبات ذات الأقطار الفعالة أكبر من 0.05 مم.

2- إجرى التحليل الميكانيكي لنفس العينة وباستعمال طرق التفرقة المعروفة للحبيبات المركبة باستخدام طريقة الهيدروميتر. من نتائج التحليل قدر النسبة المئوية للحبيبات (المفردة) ذات الأقطار الفعالة أكبر من 0.05 مم.

المطلوب

1- إحسب درجة التحبب في عينة التربة المذكورة تبعاً لما يلي:

حالة التحبيب = % للحبيبات الكليــة ذات الأقطار أكبر من 0.05 مم الناتجــة من التحليل (نتيجة الخطوة 1) - % للحبيبات الفردية ذات الأقطار أكبر من 0.05 مم الناتجة من التحليل الميكانيكي (نتيجة الخطوة 2).

2- إحسب درجة التحبب من المعادلة التالية:

درجة التحبب = [(نتيجة الخطوة 1) - (نتيجة الخطوة 2)] / (نتيجة الخطوة 1)

الدرس العملي السابع

حركة المـــــاء في التربة

من المعروف أن دراسة الرطوبة في التربة تعتمد كثيراً على قوة الإرتباط بين الأغشية المائية والطور الصلب بها، أو مايمكن التعبير عنه بالجهد اللازم لإزالة الماء من التربة. فمثلاً نجد أن الماء الذي يتواجد بالمسام الواسعة يُمكن إزالته بسهولة إذا ماقورن بالماء الموجود في المسام الضيقة وذلك لاختلاف قوة مسك الحبيبات للماء في الحالتين. هذا الجهد (Potential) يُمكن التعبير عنه بأنه مقياس لقوى جذب الأرض للماء عند نقطة معينة. وبناءً على ذلك فإن هناك علاقة بين حركة الماء في التربة ومدى التدرج في الجهد في مناطق الأرض المختلفة. هذه العلاقة تتمشى مع المعادلة المعروفة باسم قانون دراسي Darcy's (Law).

$$V = - K I$$

حيث V عبارة عن سرعة سريان الماء معبراً عنها بحجم الماء (سم^3) الذي يسري في وحدة الزمن (الثانية) خلال وحدة المساحة (سم^2) من مستوى عمودي على إتجاه حركة الماء.

K عبارة عن التوصيل الشعري (Capillary Conductivity) في حالة التربة غير المُشبعة والذي يُمكن التعبير عنه بكمية الماء التي تسري في ثانية من الزمن عبر وحدة المساحة من مقطع الأرض في مستوى عمودي على إتجاه سريان الماء وذلك عندما يكون تغيُره بمعدل وحده لكل 1 سم يُعبر عن تدرج الجهد الذي يمثل تغير الجهد/ وحدة المسافة في إتجاه زيادة الجهد. هذا التدرج في الجهد يشمل كلٍ من تدرج الجهد الشعري وتدرج جهد الجاذبية الأرضية. بعبارة أخرى فإن هذا التدرج يُعبر عن كل من الحركة العلوية والسفلية للماء.

وجدير بالذكر أن سريان الماء يحدث دائماً من المنطقة ذات الجهد المائي المرتفع إلى المنطقة ذات الجهد المائي المنخفض أي في عكس إتجاه تدرج الجهد (I)، وبالتالي فإن إتجاه سريان الماء لابد وأن يكون سالباً عندما يكون تدرج الجهد المذكور موجباً.

وجدير بالذكر أيضاً أنه بالرغم من إمكانية تطبيق القانون السابق بالنسبة لكل من الظروف غير المشبعة (Unsaturated) والظروف المشبعة (Saturated) حيث يكون في هذه الحالة K معبراً عن التوصيل الهيدروليكي المُشبع، فإن بعض الباحثين يقترح إضافة عامل غير محدد لايرتبط بالمحتوى الرطوبي فقط بل يتأثر بعوامل أخرى أيضاً.

حركـــة الماء في التربة

أولاً: حركة صعود الماء لأعلى من مستوى حر

تتم هذه الحركة تحت تأثير الخاصية الشعرية والتي يُمكن دراستها بالنسبة لأنواع أراضي مختلفة القوام تبعاً للخطوات التالية:

1- تُجهز أنبوبة زجاجية مُغلقة من أحد طرفيها بشبكة من السلك أو قطعة من الشاش.

2- تُملأ الأنبوبة بالأرض المراد دراسة حركة الماء فيها وذلك تدريجياً مع الطرق الخفيف بين آن وآخر حتى الحصول على عمود من التربة إرتفاعه حوالي 40 سم.

3- يُغمر طرف الأنبوبة المُغطى بقطعة الشاش في كأس به ماء وذلك لعمق نصف سنتيمتر بحيث يكون وضع عمود الأرض رأسيا تماماً.

4- تُلاحظ حركة الماء العلوية في عمود التربة مع قياس إرتفاع الماء على فترات منتظمة ومتقاربة (خاصة في بداية التجربة).

ثانياً: حركة الماء لأسفل تحت تأثير ضغط ثابت

تتم هذه الحركة من خلال رشح الماء في التربة والذي يُمكن دراسته تبعاً للخطوات التالية:

1- تجهز أنبوبة زجاجية كالموضحة سابقاً مع وضع علامة على إرتفاع 5 سم من سطح الأرض بالأنبوبة.

2- توضع ورقة ترشيح على سطح التربة حيث يصب فوقها ماء حتى العلامة.

3- تُلاحظ حركة الماء السفلية عند إبتداء الرشح خلال عمود التربة مع قياس مسافات الحركة على فترات منتظمة لمدة ساعتين على الأقل بحيث تكون هذه الفترات متقاربة (خاصة في بداية التجربة) مع إكمال فرق الماء بصفة مستمرة حتى العلامة.

خطوات العمل

أولاً: حركة صعود الماء لأعلى من مستوى حر

قم بإجراء التجربة على نوعين من التربة مختلفين في القوام لدراسة حركة صعود الماء بكلٍ منهما باتباع الخطوات الآتية:

1- جهز أنبوبة زجاجية مُغلقة من أحد طرفيها بشبكة من السلك أو قطعة من الشاش.

2- إملأ الأنبوبة بالأرض المراد دراسة حركة الماء فيها وذلك تدريجياً مع الطرق الخفيف بين آن وآخر حتى الحصول على عمود من التربة إرتفاعه حوالي 40 سم.

3- أغمر طرف الأنبوبة المُغطى بقطعة الشاش في كأس به ماء وذلك لعمق نصف سنتيمتر بحيث يكون وضع عمود الأرض رأسيا تماماً.

4- لاحظ حركة الماء العلوية في عمود التربة مع قياس إرتفاع الماء على فترات منتظمة ومتقاربة (خاصة في بداية التجربة).

5- دون النتائج في الجدول التالي:

الزمن	مقدار إرتفاع عمود الماء (سم)	
	عينة التربة الأولى	عينة التربة الثانية

ثانياً: حركة الماء لأسفل تحت تأثير ضغط ثابت

قم بإجراء التجربة على نوعين من التربة مختلفين في القوام لدراسة حركة الماء لأسفل بكلٍ منهما باتباع الخطوات الآتية:

1- جهز أنبوبة زجاجية كالموضحة سابقاً مع وضع علامة على إرتفاع 5 سم من سطح الأرض بالأنبوبة.

2- ضع ورقة ترشيح على سطح التربة حيث يصب فوقها ماء حتى العلامة.

3- لاحظ حركة الماء السفلية عند إبتداء الرشح خلال عمود التربة مع قياس مسافات الحركة على فترات منتظمة لمدة ساعتين على الأقل بحيث تكون هذه الفترات متقاربة (خاصة في بداية التجربة) مع إكمال فرق الماء بصفة مستمرة حتى العلامة.

4- دون النتائج في الجدول التالي:

الزمن	مقدار إنخفاض عمود الماء (سم)	
	عينة التربة الأولى	عينة التربة الثانية

5-علق على النتائج

الدرس العملي الثامن

تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي المُشبع في التربة

يُمكن قياس معامل التوصيل الهيدروليكي في تربة مُشبعة بالمعمل وذلك من خلال إستعمال ضغط هيدروليكي ثابت نتحصل عليه في وجود ضاغط هيدروليكي من الماء بارتفاع ثابت حيث في هذه الحالة تكون القوة الدافعة لحركة الماء في التربة هي الجاذبية الأرضية خلال عمل الضغط الهيدروليكي لعمود الماء.

طريقة تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي المُشبع

باستعمال الجهاز يُمكن قياس حجم الماء النافذ بعد فترة زمنية معينة حيث يُمكن حساب معامل التوصيل الهيدروليكي من المعادلة التالية:

$$K = QL / HAT$$

حيث:

K = معامل التوصيل الهيدروليكي المُشبع لعينة التربة.

Q = حجم الماء (سم^3) المار خلال عمود التربة بعد فترة زمنية معينة.

L = طول عمود التربة (سم).

H = الضاغط الهيدروليكي (سم).

A = مساحة مقطع إسطوانة التربة الداخلي (سم^2).

T = الزمن (ثانية).

خطوات العمل

أولاً : تعيين معامل التوصيل الهيدروليكي المُشبع

1- ضع عينة التربة التي أمامك على ورقة الترشيح في القمع الإسطواني (مساحة مقطعه الداخلي = A) لإرتفاع معين (L)، وتبث القمع على الحامل الخشبي.

2- أضف ماء فوق عينة التربة حتى قرب فوهة الإسطوانة، وعلى ذلك يكون الضاغط الهيدروليكي (H) هو مجموع إرتفاع التربة والماء معاً.

3- ثبت المصدر المائي (دورق مملوء بالماء) فوق مستوى الماء بالقمع لتعويض الفاقد في الماء بالرشح.

4- ضع مخبار مدرج أسفل القمع لاستقبال الماء الراشح من التربة، سجل حجم الماء الراشح خلال فترات زمنية ثابتة (T).

5- دون النتائج في الجدول التالي مع ملاحظة حجم الماء الراشح الثابت (Q) مع الزمن.

الزمن	حجم الماء (سم^3)	
	عينة التربة الأولى	عينة التربة الثانية

المطلوب

1- عوض بما حصلت عليه من نتائج في قانون دارسي التالي لحساب معامل التوصيل الهيدروليكي المُشبع (K_{sat}):

$$K_{sat} = Q\ L/\ HAT$$

2- ناقش البيانات التي حصلت عليها- أذكر أسباب الإختلاف بين عينتي التربة.

الدرس العملي التاسع

ثوابت الرطوبة الأرضية

وتقدير الرطوبة في التربة بطرق غير مباشرة

من المعروف أن هناك عديد من ثوابت الرطوبة الأرضية لها أهمية في التعبير عن العلاقات المائية بالتربة. من هذه الثوابت الآتي:

المعامل الهيجروسكوبي

يُعبر المعامل الهيجروسكوبي (Hygroscopic Water) عن النسبة المئوية للرطوبة المرتبطة بقوة مع سطح حبيبات التربة تحت ظروف معروفة من الرطوبة النسبية. هذه الظروف يُمكن الحصول عليها باستخدام حيز مُغلق يحتوي على وعاء به حامض كبريتيك بتركيز معينة.

معامل الذبول

تمثل نقطة الذبول (Wilting Point) المحتوى الرطوبي للتربة الذي لايمكنه أمداد الماء بمعدل كافي للإحتفاظ بانتفاخية (Turgisity) الخلايا النباتية وبالتالي فإن النبات يذبل ذبولاً دائماً.
وجدير بالذكر أن قوة شد التربة للماء عند حدوث الذبول الدائم تكون مساوية لحوالي – 15 ضغط جوي. وبناءً على ذلك فإن معامل الذبول يُمكن تقديره باستعمال جهاز الضغط الغشائي Pressure (Membrane) الذي يستخدم فيه ضغطاً يُعادل 15 ضغط جوي لطرد الأغشية المائية الممسوكة (في عينات تربة مشبعة بالماء) بقوة شد تقل عن 15 ضغط جوي من خلال غشاء خاص بذلك وتكون الرطوبة المتبقية بالتربة حينئذ مُعبرة عن معامل الذبول.

السعة الحقلية

تُعبر السعة الحقلية (Field Capacity) عن نسبة الماء الممسوكة بالتربة بعد رشح الماء الحر أو مايسمى بماء الجاذبية الأرضية مع البطء الشديد في حركة الماء السفلية. عند حدوث هذا الثابت تكون قوة شدة التربة للماء مساوية لحوالي ⅓ ضغط جوي. ولذلك فإن السعة الحقلية يُمكن تقديرها باستعمال حلة

الضغط والتي يستخدم فيها ضغطا يعادل ⅓ ضغط جوي لطرد الأغشية المائية الممسوكة (في عينات مشبعة بالماء) بقوة أشد تقل عن ⅓ ضغط جوي وذلك خلال غشاء خاص بحيث تكون الرطوبة المتبقية حينئذ مُعبرة عن السعة الحقلية للأرض.

المكافيء الرطوبي

يُعبر المكافيء الرطوبي (Moisture equiveient) عن كمية الماء التي تحتفظ بها التربة (التي سبق تشبيعها بالماء) بعد تعريضها لقوة طرد مركزي قدرها 1000 مرة قدر قيمة الجاذبية الأرضية على الجرام الواحد وذلك لمدة نصف ساعة. ويُستعمل في ذلك جهاز خاص يسمى جهاز الطرد المركزي (Centrifuge).

وجدير بالذكر أن المكافيء الرطوبي يُمكن أيضاً تقديره (تبعاً للباحث بيوكس) خلال عملية تفريغ يُعادل واحد ضغط جوي لعينة التربة (التي سبق تشبيعها بالماء) وذلك لمدة ربع ساعة بعد نزول آخر قطرة ماء مترشحة من الأرض. يستعمل في ذلك أقماع خاصة من الخزف أو الصيني تُسمى بأقماع بوخنر. وبالطبع فإن الرطوبة المتبقية بعينة التربة تكون حينئذ ممثلة للمكافيء الرطوبي.

وبصفة عامة فإن المكافيء الرطوبي يكون مساوياً تقريباً للسعة الحقلية بالنسبة للأراضي متوسطة القوام. بالرغم من هذا فإن قيمته تكون أقل من السعة الحقلية للأراضي الرملية وأكبر منها بالنسبة للأراضي ثقيله القوام.

بجانب ماسبق ذكره من أجهزة تقدير الرطوبة الأرضية يوجد أجهزة أخرى عديدة لكل منها ظروف خاصة لاستعماله. من أهم هذه الأجهزة مايلي:

أولاً: أجهزة تستخدم طرقاً كيميائية (Electrodes)

1- إلكترودات لقياس درجة التوصيل الكهربائي. إلا أنه وجد أن تأثرها بمستوى الملوحة يكون أكثر من تأثرها بمستوى الرطوبة.

2- إلكترودات متواجدة في قوالب جبسية مسامية (إلكترودين في كل قالب). يُمكن إستخدامها لقياس الرطوبة في مجال الماء الميسر (أي ما بين مستوي السعة الحقلية ومعامل الذبول). وتعتمد فكرة هذه الطريقة على علاقة الرطوبة الأرضية بمقاومة القوالب المذكورة للتيار الكهربائي.

ثانياً: أجهزة قياس الشد أو التنشيومترات (Tenchemeteres)

وهي أجهزة تتكون من وعاء صغير مسامي مملوء بالماء ويتصل بمانومتر أو أي وسيلة بيانية (عداد). يُستخدم هذا الجهاز بوضع وعائه المسامي في التربة حيث يتحرك الماء منه أو إليه تبعاً لمستوى الرطوبة في الأرض وبالتالي فإن المانوميتر أو العداد سوف تتأثر. وتستخدم هذه الأجهزة لقياس الرطوبة في مجال

رطوبي يُعادل قوة شد لاتزيد عن واحد ضغط جوي (أي 0.85 بار أو 85 كيلو باسكال) حتى لايدخل الهواء خلال الوعاء المسامي وبذلك لايعمل الجهاز إذا قلت الرطوبة عن المستوى المذكور.

المطلوب

1- إفحص الأجهزة الموجودة في المعمل والتي تُستخدم في قياسات الرطوبة الأرضية. ثم إرسم كلٍ منها رسماً مُبسطاً مع كتابة أسماء الأجزاء على الرسم على النحو التالي:

أ- الوعاء ذو الرطوبة النسبية المعروفة والمُستعمل لتقدير المعامل الهيجروسكوبي.

ب- جهاز الضغط الغشائي المُستعمل لتقدير معامل الذبول.

جـ - حالة الضغط المُستعملة لقياس السعة الحقلية.

د – جهاز الطرد المركزي لتقدير المكافيء الرطوبي.

هـ - القوالب الجبسية المُستعملة في قياس المقاومة للتيار الكهربائي وعلاقتها بالرطوبة الأرضية.

و- التنشيومترات أو أجهزة قياس قوة شد الماء بالتربة.

ز- تشتت النيوترونات.

2- قارن في جدول بين القيمة التي حصلت عليها للمكافئ الرطوبي لعينة التربة المُعطاة لك وبين القيم التي حصل عليها زملائك لعينات الأرض الأخرى مختلفة القوام موضحاً أسباب الإختلاف.

قوام التربة	قيمة المكافيء الرطوبي
تربة خفيفة (رملية)	
تربة متوسطة (طينية)	
تربة ثقيلة (طينية)	

الدرس العملي العاشر

تقدير الكربونات الكلية في التربة

تُعتبر الكربونات مكون طبيعي في التربة. وهى توجد في صورة كربونات شحيحة الذوبان مثل كربونات الكالسيوم (الكالسيت) أو كربونات الكالسيوم مع كربونات الماغنيسيوم (الدولوميت). ويُستعمل الكالسيت أو الدولوميت أو الحجر الجيرى كمصلحات للأراضي الحامضية. ونتيجة لعدم التوزيع المتماثل للكربونات في قطاع الأرض فإنه عند إجراء تحليل لمعرفة كمية الكربونات في عينة أرض يجب طحن عينة الأرض لدرجة نعومة عالية حتى يمكن تلافي الخطأ الناتج من عدم التوزيع المتماثل للكربونات.

طرق تقدير الكربونات الكلية

توجد طرق عديدة لتقدير الكربونات الكلية في التربة نذكر منها:

أولاً: طريقة المعادلة بالحامض (التعادل الرجعي)

تتلخص فكرة هذه الطريقة في أنه عند معاملة عينة تربة بحامض الهيدروكلوريك (HCl) المُخفف الساخن تتحلل جميع الكربونات. وعليه يُمكن إستخدام كمية الحامض الذي أُستخدم في معادلة الكربونات كأساس لتقدير كمية الكربونات. ويجب أن نضع في الإعتبار أن كمية الحامض المُستخدمة في معادلة الأرض دليل غير دقيق على كمية الكربونات.

المحاليل المطلوبة

1- حامض هيدروكلوريك 0.5 عياري.
2- هيدروكسيد صوديوم 0.25 عياري.
3- دليل الفينولفثالين 1% في كحول إيثانول 60%.

خطوات العمل

1- ضع 5 جرام من عينة التربة في كأس سعة 150 مل وأضف لها 50 مل من حامض هيدروكلوريك 0.5 ع وغطي محتويات الكأس بزجاجة ساعة.
2- إغلي محتويات الكأس لمدة 5 دقائق ثم أتركها لتبرد.
3- رشح محتويات الكأس خلال ورقة ترشيح وأغسل التربة بماء مُقطر لإزالة المُتبقي من الحامض على حبيبات التربة.
4- نقط الحامض المُتبقى في المترشح بإستخدام دليل فينولفثالين ومحلول هيدروكسيد صوديوم تركيزه 0.65 عياري.
5- إحسب الكربونات الكلية من المعادلات الآتية:

$= CaCO_3\%$

(ملليمكافئات HCl المضاف – ملليمكافئات NaOH المُستخدم) x 100

وزن التربة الجافة تماماً

ثانياً: الطريقة الحجمية بإستخدام الكالسيميتر

تتلخص فكرة هذه الطريقة في أنه عند مُعاملة الكربونات بحامض في نظام مُغلق فإنه يحدث زيادة في الحجم يُعتبر مقياساً مباشراً لغاز CO_2. والجهاز المُستعمل لقياس الزيادة في حجم CO_2 يُسمى الكالسيميتر. ويُمكن للطلاب مشاهدة الجهاز في المعمل ورسم أجزاؤه والتعرف على طريقة العمل به.

المحاليل المطلوبة

1- حامض هيدروكلوريك 4 ع.
2- كربونات كالسيوم ذات نقاوة عالية وناعمة جداً.

خطوات العمل

1- إنقل وزنة من كربونات الكالسيوم الناعمة جداً النقية المُجففة على 110°م (راعى أن يأخذ 5 ملليجرام لكل سم^3 من غاز CO_2 الناتج) إلى الأنبوبة البلاستيك.
2- ضع الأنبوبة البلاستيك وفوهتها إلى أعلى في دورق التفاعل المحتوي على 25 مل من محلول حامض هيدروكلوريك.
3- جهز الكالسيميتر للعمل بتوصيل غاز السحاحة بالهواء الجوي وبدورق التفاعل بفتح الصنبور، أضبط الكالسيميتر على الصفر.
4- إغلق سداده دورق التفاعل وإغلق الصنبور أيضاً.

5- رج دورق التفاعل أو إجعله في وضع مائل حتى تُقلب الأنبوبة البلاستيك وتتلامس عينة الكربونات (أو التربة) مع المحلول وإستكمل الرج لمدة 3 دقائق.

6- سجل قراءة حجم CO_2 على تدريج السحاحة.

7- كرر العمل للتأكد من تكرار الحصول على نفس النتيجة لنفس العينة.

8- إجري عمل بلانك (Blank) بدون إضافة أي شيء للأنبوبة البلاستيك وبنفس الخطوات التي أُجريت مع العينة. وتُعدل القراءات السابق الحصول عليها لأي عينة بطرح قيمة البلانك من قراءة العينة كالتالي:

القراءة المُصححة = القراءة – قراءة البلانك

9- عدل القراءة المُصححة حسب ظروف درجة الحرارة والضغط كما يلي:

القراءة تحت الظروف القياسية للضغط والحرارة =

$$\text{القراءة المُصححة} \times \frac{273}{273 + \text{درجة الحرارة}} \times \frac{760}{\text{الضغط} + 760}$$

وزن كربونات الكالسيوم بالملليجرام لكل 1 سم^3 غاز ثانى اكسيد الكربون =

$$\frac{\text{وزن كربونات الكالسيوم المستخدمة في الأنبوبة بالملليجرام}}{\text{القراءة تحت الظروف القياسية للضغط والحرارة}}$$

10- يجب أن تكرر عملية مُعايرة الكالسيميتر بإستخدام وزنات مُختلفة من كربونات الكالسيوم للتأكد ولتكون نتيجة وزن كربونات الكالسيوم لكل 1 سم^3 من ثاني أكسيد الكربون واحدة أي متساوية، ويكون ذلك دليلاً على صحة إستخدام الكالسيميتر.

11- المعامل (Factor) المُتحصل عليه يُمكن تطبيقه على عينات التربة بعد ذلك.

ويُطلق على وزن كربونات الكالسيوم لكل 1 سم^3 من ثاني أكسيد الكربون إسم المُعامل (Factor).

المطلوب

1- قدر الكربونات الكلية بطريقة التعادل الرجعي باستخدام الأدوات والمحاليل الموجودة أمامك قدر % لكربونات الكالسيوم الكلية في عينة التربة بطريقة التعادل الرجعي.

2- باستخدام جهاز الكالسيميتر قدر % لكربونات الكالسيوم الكلية في عينة التربة التي أمامك.

الدرس العملي الحادي عشر

تقدير الأملاح الكلية الذائبة في التربة

وقياس درجة حموضة التربة

من المعروف أن تركيز الأملاح ونوعيتها يختلف كثيراً بين الأراضي المختلفة بل ويختلف في طبقات القطاع الأراضي لنفس المنطقة. بالرغم من هذا فإن الأملاح الشائعة التي توجد عادة في التربة هي أملاح الكلوريد والكبريتات وأحياناً الكربونات والبيكربونات ولأيونات الصوديوم والكالسيوم والماغنيسيوم. هذه الأملاح أما أن تتواجد في صورة راسبة شحيحة الذوبان في الماء مثل كربونات الكالسيوم أو على هيئة مواد قابلة للذوبان وتتواجد كثيراً في المحلول الأرضي مثل كلوريد وكبريتات الصوديوم. وفي الحقيقة فإن تجمُع الأملاح الذائبة في الأراضي يُسبب أضراراً كبيرة للتربة حيث يؤثر في عديد من خواصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية، وهذا بدوره يؤثر على النبات بجانب:

1- رفع الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي ومايتبع ذلك من أضرار على جذور النبات وإمتصاصها للماء والعناصر الغذائية.

2- التأثير المُتخصص للأيونات خاصة الصوديوم والكلوريد على النباتات.

بناءً على ماسبق فإن تقدير الأملاح الكلية الذائبة له أهمية كبيرة بالنسبة لدراسات الأراضي وإنتاجيتها.
هذه الأملاح يُمكن تقديرها بإحدى طريقتين رئيسيتين الأولى مبنية على أساس وزني (Gravimetric)، والثانية على أساس قياس درجة التوصيل الكهربائي (EC) لمحلول التربة. كلا الطريقتين يُمكن إجراؤهما أما على مُستخلص عجينة التربة المُشبعة بالماء (Extract of Saturated Soil Paste) أو على المستخلص المائي للأرض (Soil-Water Extract).

تقدير الأملاح الكلية الذائبة

يتم تقدير الأملاح الكلية الذائبة في التربة إما في مستخلص عجينة التربة المشبعة بالماء أو في مستخلص مائي لعينة التربة بنسب مختلفة.

أولاً : مُستخلص عجينة التربة المُشبعة بالماء

عبارة عن المُستخلص الذي يُمكن الحصول عليه من خلال عملية تفريغ هوائي لعجينة التربة المشبعة بالماء باستعمال أقماع بوخنر. أما عن العجينة المذكورة فيُمكن تحضيرها بالخطوات التالية:

1- يوزن 250 جرام من التربة وتُنقل إلى جفنة كبيرة من الصيني أو كأس زجاجي.

2- يُضاف ماء مقطر سبق غليه لطرد غاز CO_2 وتبريده تدريجياً مع التقليب المُستمر بسكينة التربة (Spatula) حتى الحصول على عجينة لها الصفات الآتية:

أ- لمعان سطحها عند التعرض للضوء.

ب- تتحرك قليلاً داخل الجفنة أو الكأس عند طرقها.

ج- عند أخذ جزء من العجينة على طرف سكينة التربة ثم طرقها هيناً تنزلق العجينة بسهولة في كتلة واحدة دون ترك أي أثر واضح على السكينة.

د- عدم ظهور الماء على سطح العجينة.

3- تُغطى الجفنة (أو الكأس) بزجاجة ساعة لمدة ساعة على الأقل نتأكد بعدها من عدم حدوث أي تغيير في الصفات المذكورة لعجينة التربة وإلا تُعدل كمية الماء المضاف أو التربة.

ويُمكن حساب مايُسمى بالنسبة المئوية لتشبيع التربة بالماء (Saturation Percent) تبعاً للمعادلة التالية:

$$S.P. = \frac{\text{كمية الماء المُستعملة متضمنة الماء الهيجروسكوبي}}{\text{وزن التربة الجافة}} \times 100$$

هذه النسبة تُساوي تقريباً ضعف قيمة السعة الحقلية أو أربعة أضعاف قيمة معامل الذبول.

ثانياً : المُستخلص المائي للتربة

عبارة عن المُستخلص الذي يُمكن الحصول عليه من ترشيح مزيج من التربة والماء بعد إتزان المزيج. هذا المزيج يُمكن أن يكون بنسب مختلفة للتربة والماء وهي عادة بين 1 : 1 أو 1 : 2. وعلى ذلك فإن المستخلص المائي المذكور له مشاكل عديدة أهمها:

1- إختلاف الكمية الكلية للأيونات ونوعيتها تبعاً لنسبة المُستخلص المائي للتربة في حالة الأملاح صعبة الذوبان في الماء بالمقارنة مع الأملاح الذائبة التي لاتتأثر درجة ذوبانها كثيراً بالنسبة المذكورة.

2- إحتمال حدوث تحلل مائي (Hydrolysis) لبعض الأيونات بزيادة نسبة المُستخلص المذكورة.

بناءً على ذلك فإنه كثيراً مايُكتفى باستخدام المُستخلص المائي 1 : 5 والذي قد يُفضل عن المُستخلصات 1 : 10 والذي يُمكن الحصول عليه بوضع 50 جرام من التربة في دورق مخروطي ويُضاف

إليها 250 سم^3 ماء ثم الرج لمدة نصف ساعة يليها ترشيح المزيج فيكون الراشح ممثلاً للمستخلص المذكور.

والآن بعد أن ذكرنا كيفية الحصول على كلٍ من مُستخلص عجينة التربة المُشبعة بالماء والمُستخلص المائي للتربة نذكر طُرق تقدير الأملاح الكلية الذائبة في أي منهما.

1- الطريقة الوزنية

تعتمد الطريقة الوزنية في الحصول على حجم معين من المستخلص وليكن 100 سم^3 باستعمال الماصة، حيث توضع في جفنة جافة معلومة الوزن والتي تُنقل بعد ذلك إلى حمام مائي وتترك حتى تمام جفاف المُستخلص بها. وأخيراً تُنقل إلى فرن كهربائي لتجف على درجة حرارة 105- 110^{5}م لمدة كافية، ثم تبرد بعد ذلك في مجفف وتوزن ليُحسب بعد ذلك النسبة المئوية للأملاح الذائبة تبعاً للآتي:

$$\% \text{ للأملاح الكلية الذائبة في التربة} = \frac{\text{الزيادة في وزن الجفنة}}{\text{حجم المُستخلص المجفف}} \times \text{حجم المُستخلص الكلي} \times \frac{100}{\text{وزن التربة الجافة تماماً}}$$

2- طريقة التوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity)

وهي طريقة تعتمد على العلاقة بين درجة التوصيل الكهربائي لمحلول ما وبين عدد الأيونات الذي يُعبر عن تركيز الأملاح الذائبة به أي عدد الأيونات في حجم معين من الماء. هذه الطريقة أساسها قياس مقاومة محلول ما لمرور التيار الكهربائي إذا كان موجوداً بين إليكترودين من البلاتين كل منهما ذو مساحة 1 سم^2 والمسافة بينهما 1 سم. أما الأجهزة التي تُستخدم عادة في تقدير الأملاح الكلية الذائبة بالتربة فتقرأ مباشرة التوصيل الكهربائي باستخدام إلكترودات ذات مساحات مختلفة تحصر بينهما مسافات مختلفة. بناءً على ذلك فإن لكل جهاز ثابت معين (Cell Constant) تُعدل القراءة تبعاً له. وجدير بالذكر أن وحدة قياس التوصيل الكهربائي هي الموز [(mhos)/ سم] أو [المليليموز (m.mhos)/ سم]، وهي عكس وحدات المقاومة التي يُعبر عنها بالأوم (ohm). أما عن تحويل قراءات التوصيل الكهربائي إلى مايُقابلها من تركيز للأملاح في المستخلص فيتضح من الأتي:

تركيز الأملاح في المُستخلص (ملليمكافئ/ لتر) = EC × 10

تركيز الأملاح الذائبة في المُستخلص (جزء في المليون) = EC × 640

الضغط الأسموزي للمُستخلص (وحدات ضغط جوي) = EC × 0.36

وأخيراً قد يكون مفيداً أن تذكر ما يلي:

تركيز الأملاح الذائبة في التربة =

تركيز الأملاح الذائبة في مُستخلص التربة × حجم رطوبة التربة

100 × _____

وزن التربة الجافة تماماً

تركيز الأملاح بالجزء في المليون = % للأملاح × 10,000

ملحوظة: حجم رطوبة التربة =

حجم الماء المضاف + حجم الرطوبة في التربة الجافة هوائياً

المطلوب

1- من عينة التربة التي أمامك جهز عجينة مُشبعة بالماء واحسب النسبة المئوية لتشبع التربة بالماء مدوناً النتائج تبعاً لما يلي:

الخطوات	النتائج
وزن التربة جافة هوائياً	
حجم الماء المُقطر المُستعمل في تشبيع التربة	
النسبة المئوية للماء الهيجروسكوبي	
وزن التربة الجافة تماماً	
وزن الماء الهيجروسكوبي بالعينة الجافة هوائياً	
النسبة المئوية للتشبع	

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- قدر النسبة المئوية للأملاح الكلية الذائبة في المُستخلص المائي 1 : 5 لعينة التربة المُعطاة لك مدوناً النتائج تبعاً لما يلي:

الخطوات	النتائج
وزن الجفنة الجافة الفارغة	
وزن الجفنة + الأملاح بعد التجفيف	
وزن الأملاح الجافة	
حجم المُستخلص المُستعمل في التجفيف	
حجم المُستخلص الكلي	
وزن الأرض الجافة تماماً	
النسبة المئوية للأملاح الكلية الذائبة في التربة	

3- علق على النتائج التي تحصلت عليها

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

قياس رقم حموضة التربة (pH)

إن درجة الحموضة أو القلوية في الأراضي، والتي تُعرف أيضاً بتفاعل التربة (Soil Reaction) تُقدر بتركيز أيون الهيدروجين (H^+) النشطة في محلول التربة. فالأراضي الحامضية تحتوي على تركيز أعلى من أيونات الهيدروجين (H^+)، عن أيونات الهيدروكسيل (OH^-)، بينما الأراضي القاعدية أو القلوية تحتوي على تركيز أعلى من أيونات الهيدروكسيل عن أيونات الهيدروجين. ويُعرف رقم ال pH بأنه اللوغاريتم السالب لدرجة تركيز أيونات الهيدروجين النشط في المحلول، أي أنه يساوي:

$$pH = - \log_{10}[H^+]$$

وعلى أساس قيم الـ pH للتربة، فإنه يُمكن تحديد أنواع مختلفة من الأراضي كما يلي:

نوع التربة	pH	نوع التربة	pH

أراضى متعادلة	7	أرض ذات قلوية خفيفة	8-7
أرض ذات حموضة خفيفة	7-6	أرض ذات قلوية متوسطة	9-8
أرض ذات حموضة متوسطة	6-5	أرض ذات قلوية شديدة	10-9
أرض ذات حموضة شديدة	5-4	أرض ذات قلوية شديدة جداً	11-10
أرض ذات حموضة شديدة جداً	4-3		

طرق قياس رقم pH التربة

هناك طريقتان لقياس رقم حموضة (pH) التربة هما:

1- الطريقة الكهربية باستخدام جهاز الـ pH- Meter

وهي تعتمد على إستخدام جهاز كهربي للقياس (Electric pH Meter). وقبل قياس ال pH باستخدام جهاز pH- Meter لابد من ضبط الجهاز باستخدام محاليل قياسية معلومة ال pH وعادة مايُستخدم محاليل ذات أرقام pH = 4 أو 7 أو 9.2. ونظراً لأن معظم الأراضي المصرية تميل إلى القلوية فعادة مايتم الضبط باستخدام محاليل ذات رقم pH = 7 أو 9.2.

خطوات قياس ال pH

أضبط جهاز ال pH بوضع الإلكترود الزجاجى في محلول مُنظم (Buffer Solution) رقم pH له = 7. ثم إضبط الجهاز حتى يقرأ pH = 7، ثم يُرفع الإلكترود ويُغسل بالماء المقطر ويوضع مرة أخرى في محلول مُنظم رقم pH له = 9.2 ليقرأ الجهاز pH = 9.2، ويُرفع الإلكترود من المحلول المنظم ويُغسل بالماء المقطر ويجفف. ويجب مراجعة قراءة الجهاز باستعمال المحلول المُنظم قبل البدء في قراءة آية مجموعة من العينات ومرة أخرى بعد إختبار عدة عينات من المجموعة نفسها. وبعد إنتهاء القياس يُغسل الإلكترود جيداً بالماء المقطر ويحفظ في الماء المقطر. وعادة مايتم القياس إما في:

1- عجينة التربة المشبعة بالماء.

2- مُعلق تربة مع الماء 1: 2.

3- مُعلق تربة مع محلول كلوريد كالسيوم 0.01 مولار بنسبة 1: 2.

2- الطريقة اللونية (Colorimetric Method)

ويستخدم فيها ورق عباد الشمس مشبعاً بأدلة يتغير لونها مع تغير رقم pH التربة.

المطلوب

إفحص جهاز قياس التوصيل الكهربائي ثم إرسمه رسماً تخطيطياً موضحاً أجزاءه على الرسم.

الدرس العملي الثاني عشر

تقدير المادة العضوية في التربة

تُعتبر المادة العضوية أحد مكونات الطور الصلب للتربة، ولو أنها عادة ماتوجد بنسبة صغيرة تتراوح في المتوسط بين أقل من 1% بأراضي المناطق الجافة إلى قيمة لاتتجاوز 2%، إلا في الأراضي العضوية التي قد تصل نسبة المادة العضوية فيها إلى أكثر من 20%. وبالرغم من إنخفاض نسبة المادة العضوية بالأراضي إلا أن لها دوراً كبيراً في التأثير على صفات التربة سواء من الناحية الطبيعية أو الكيميائية أو الحيوية. وبالطبع لايمكن تجاهُل أثرها على خصوبة التربة وإنها أحد مصادر العناصر الغذائية للنبات.

الفكرة الرئيسية

تعتمـــد الفكرة الرئيسية في تقديـــر المـــادة العضوية تبعاً لطريقة (Walkley and Black) في أكسدة الكربون العضوي باستعمال كمية زائدة من حامض الكروميك في وجود حرارة تنبعث من توافر حامض الكبريتيك المركز حيث تُقدر كمية حامض الكروميك الزائدة باستخدام عامل مُختزل مناسب عادة كبريتات الحديدوز والأمونيوم $Fe\text{-}NH_4(SO_4)_2.6H_2O$ ومن معرفة هذه الكمية الزائدة يُمكن حساب كمية حامض الكروميك التي أستهلكت في أكسدة الكربون العضوي ومنها يمكن حساب مُحتوى التربة من المادة العضوية باعتبارها تحتوي على 58% كربون.

طريقة التقدير

1- يوزن من 0.5- 2جرام من عينة التربة المراد تقدير المادة العضوية فيها تبعاً لمدى إحتواء الأرض من مادة عضوية على أن تكون العينة ناعمة.

2- توضع العينة في دورق مخروطي سعة 250 سم^3 أو 500سم^3 حيث يُضاف لها 10 سم^{3}من محلول بيكرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) العياري ثم 20 سم^3 من حامض الكبريتيك المُركز الذي يحول البيكرومات إلى حامض كروميك مع إنبعاث حرارة هذا الحامض الساخن المُتكون والذي يؤكسد كربون المادة العضوية.

3- يرج الدورق المخروطي باحتراس لمدة دقيقة ثم يُترك نصف ساعة يُضاف بعدها 5 جرام من ملح فلوريد الصوديوم ثم حوالي 100 سم^3 ماء مقطر وأخيراً حوالي 15 نقطة من دليل داى فينيل أمين حيث يتكون لون أخضر مزرق معكر أو بنفسجي غامق.

4- تُجرى عملية تنقيط بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم وذلك من سحاحة ينساب خلالها المحلول بانتظام حتى تحول اللون إلى الأخضر الزرعي أو الأخضر المُتسخ.

5- تحسب النسبة المئوية للمادة العضوية تبعاً للمعادلات الآتية:

ملليمكافئات الكربون العضوي

= (ملليمكافئات العامل المؤكسد - ملليمكافئات العامل المختزل)

$$\% \text{ للمادة العضوية} = (\text{حجم البيكرومات المُستهلك} \times \text{ع} - \text{حجم كبريتات الحديدوز} \times \text{ع}) \times \frac{1}{\text{ك}} \times \frac{100}{58} \times \frac{100}{76} \times \frac{100}{1000}$$

حيث حجم البيكرومات العياري المُستهلك في التفاعل عبارة عن حاصل طرح حجم محلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم العياري من حجم محلول بيكرومات البوتاسيوم العياري المُستعمل (10 سم^3)، ك عبارة عن وزن التربة الجافة تماماً.

ملاحظات

1- يُنصح أحياناً بتسخين مزيج التربة وبيكرومات البوتاسيوم بعد إضافة حامض الكبريتيك حتى درجة 150 مئوية لمدة دقيقة بشرط الرج المُستمر حتى لايحدث تحلل البيكرومات.

2- إضافة ملح فلوريد الصوديوم فائدته المُساعدة في الحصول على نقطة تعادل واضحة.

3- إذا لم يتكون اللون المذكور بعد إضافة دليل داى فينيل أمين يُضاف 1 سم وأكثر من محلول بيكرومات والبوتاسيوم حتى الحصول على اللون. وتكرر نفس العملية في نهاية التقدير إذا زادت عملية

التنقيط بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم (خطأ) بحيث تجاوزت نقطة التعادل وحينئذ يُجرى التنقيط ثانية حتى الحصول على نقطة التعادل ذو اللون الأخضر الزرعي أو الأخضر المُتسخ.

4- التقدير المذكور يكون ذو كفاءة غير تامة من حيث أكسدة الكربون العضوي، وعلى ذلك يُستعمل عامل مقداره $\frac{100}{76}$ (يُعبر عن كفاءة التجربة) في حساب النسبة المئوية للكربون العضوي. أما العامل $\frac{100}{58}$ فهو لتحويل هذا الكربون العضوي حسابياً إلى مادة عضوية.

المطلوب

1- قدر محتوى المادة العضوية في عينة التربة المعطاة لك مدوناً النتائج على النحو التالي:

الخطوات	النتائج
1- وزن عينة التربة	
2- حجم محلول بيكرومات البوتاسيوم المُستعمل	
3- عيارية محلول بيكرومات البوتاسيوم المُستعمل	
4- حجم محلول كربونات الحديدوز والأمونيوم المُستعمل	
5- عيارية محلول كربونات الحديدوز والأمونيوم المُستعمل	
6- ∴ ملليمكافئات العامل المؤكسد (2 x 3)	
7- ∴ ملليمكافئات العامل المختزل (4 x 5)	
8- ملليمكافئات بيكرومات البوتاسيوم المستهلك في الأكسدة (الخطوة 6 - الخطوة 7)	

% للكربون العضوي في التربة = ملليمكافئات بيكرومات البوتاسيوم المُستهلك في الأكسدة x $\frac{1}{1000}$ x $\frac{100}{76}$ x $\frac{100}{ك}$

.....

.....

% للمادة العضوية في التربة =

ملليمكافئات بيكرومات البوتاسيوم المُستهلك $\frac{1}{1000} \times \frac{100}{ك} \times \frac{100}{58} \times \frac{100}{76}$

2- قارن نتائجك مع نتائج زملائك مُعلقاً تعليقاً عملياً على ماتذكر.

الدرس العملي الثالث عشر

التحليل الوصفي للأسمدة

يُجرى التحليل الوصفي للأسمدة من خلال الإختبارات الوصفية بهدف التعرف على نوعية السماد أو الأسمدة التي تتواجد في عينة سمادية معينة، بالإضافة إلى التعرف على نسبة الشوائب وحالات الغش بها. هذه الإختبارات تُجرى عادة بالنسبة للأسمدة غير العضوية حيث يُكتفى بالإختبارات الكمية للأسمدة العضوية. ويشمل تحليل الأسمدة غير العضوية ثلاثة أقسام قسم يتعلق بالجسم الصلب للعينة السمادية والثاني يُجرى على المستخلص المائي لها، إما القسم الثالث فيختص بالمستخلص الحامضي لها.

أولاً : إختبارات الجسم الصلب

الإختبارات التالية تُجرى على العينة السمادية نفسها وتشمل مايلي:

1- إختبار الشكل واللون: والذي يُجرى بهدف تحديد شكل حبيبات العينة السمادية، فقد تكون على هيئة بللورات أو مسحوق فإذا كان بللورياً يُحدد شكل البللورات المميز وحجمها. هذا بالطبع بجانب تحديد لون العينة السمادية.

2- إختبار اللهب: وذلك خلال تعريض ساق بلاتين مغموس مُسبقاً في العينة السمادية للهب بنزن غير المضيء بهدف الكشف عن بعض العناصر مثل عنصر الصوديوم (الذي يُعطي لوناً أصفر فاتح) وعنصر البوتاسيوم الذي يُعطي لوناً بنفسجياً.

3- إختبار حامض الهيدروكلوريك: وذلك بإضافة قليل من حامض HCl المُخفف إلى جزء من العينة السمادية في أنبوبة إختبار فإذا حدث فوران (يختلف في شدته تبعاً لكمية كربونات الكالسيوم في العينة) دل ذلك على وجود كربونات الكالسيوم في العينة.

4- إختبار الصودا الكاوية: بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى العينة السمادية في أنبوبة إختبار مع التسخين، فإذا يصاعد غاز النشادر دل ذلك على وجود مصدر أمونيومي معدني في العينة السمادية.

5- إختبار الصودا الجيرية: حيث تُضاف الصودا الجيرية جافة إلى جزء من العينة السمادية في أنبوبة إختبار مع التسخين والرج وذلك بغرض الكشف عن النتروجين العضوي الذي يُعطي غاز النشادر. ويجب ملاحظة عدم إجراء هذا الإختبار في وجود أي أملاح نشادرية بالعينة السمادية وإلا وجب التخلص منها أولاً.

6- إختبار عضوية السماد: بحرق جزء من العينة السمادية في جفنة من الصيني فإذا ظهرت رائحة الشعر المحروق دل ذلك على وجود سماد عضوي بالعينة السمادية.

ثانياً: إختبارات المُستخلص المائي

وهى إختبارات تُجرى على المُستخلص المائي للعينة السمادية والذي يُحضر بإضافة حوالي 25 سم^3 ماء مُقطر إلى حوالي واحد جرام من العينة في كأس زجاجي مع التسخين لمدة قصيرة من الزمن ثم الترشيح إذا لم يكن السماد تام الذوبان. يُقسم المُستخلص المائي الناتج على عدة أنابيب إختبار لإجراء الإختبارات التالية:

1- إختبار حموضة المُستخلص: وذلك بغمس ورقة عباد الشمس حمراء وأخرى زرقاء في جزئين من هذا المُستخلص لإعطاء فكرة مبدئية عن حموضة أو قلوية العينة السمادية.

2- إختبار الكشف عن الفوسفات: بإضافة محلول مولبيدات الأمونيوم إلى المُستخلص المُحمض بحامض النيتريك مع التسخين، فإذا تكون راسب أصفر من فوسفو مولبيدات الأمونيوم دل ذلك على أن العينة السمادية تحتوي على فوسفات قابلة للذوبان في الماء.

3- إختبار الكشف عن الكبريتات: باستخدام محلول كلوريد الباريوم، فإذا تكون راسب أبيض على البارد دل ذلك على إحتواء السماد على مجموعة الكبريتات.

4- إختبار الكشف عن الكلوريد: باستخدام محلول نترات الفضة، فإذا تكون راسب أبيض على البارد دل ذلك على إحتواء السماد على أيونات الكلوريد.

5- إختبار الكشف عن الكالسيوم: باستخدام محلول أكسالات الأمونيوم، فإذا تكون راسب أبيض على البارد دل ذلك على إحتواء السماد على أيونات الكالسيوم.

6- إختبار الكشف عن الماغنيسيوم: باستخدام البزارين بوردو.

7- إختبار الكشف عن البوتاسيوم والصوديوم: وذلك بغمس ساق بلاتين في المُستخلص ثم تعريضه للهب بنزن، فإذا ظهر لون أصفر دل ذلك على وجود عنصر الصوديوم. أما إذا لون بنفسجي دل ذلك على وجود عنصر البوتاسيوم.

وقد يجرى إختبار الصوديوم (في حالة عدم وجود الماغنيسيوم والأمونيوم) باستعمال محلول بيرو أنتيمونات البوتاسيوم الحمضية. كذلك يُمكن الكشف عن البوتاسيوم في حالة عدم وجود الأمونيوم باستعمال محلول كوبلتي نتريت الصوديوم الذي يُكون راسباً أصفر معه تحت ظروف التحميض بحامض الخليك.

ثالثاً : إختبارات المستخلص الحامضي

وهى إختبارات تُجرى فقط على الأسمدة المعدنية التي شحيحة الذوبان في االماء عن طريق غسل المتبقي من المُستخلص المائي على ورقة الترشيح عدة مرات بالماء المُقطر مع إهمال ماء الغسيل. ثم يُذاب الراسب على ورقة الترشيح في حامض النيتريك المُخفف والترشيح إن لزم الأمر. بعد ذلك يُقسم المُستخلص على عدة أنابيب إختبار للكشف عن الأيونات التالية:

1- إختبار الكشف عن الفوسفات: باستعمال محلول مولبيدات الأمونيوم (كما سبق ذكره إعلاه).

2- إختبار الكشف عن الكبريتات: باستخدام محلول كلوريد الباريوم (كما سبق ذكره إعلاه).

3- إختبار الكشف عن الكالسيوم: باستخدام محلول أكسالات الأمونيوم (كما سبق ذكره إعلاه).

وفيما يلي ملخصاً للإختبارات الوصفية التي يُمكن إجراؤها على بعض الأسمدة المعدنية الهامة في جمهورية مصر العربية وهي الأسمدة النتروجينية والفوسفاتية والبوتاسية.

الأسمدة النتروجينية

1- نترات الصوديوم: بللورات بيضاء تذوب تماماً في الماء. تُعطي إختبار موجب للصوديوم في إختبار اللهب، تُعطي نتيجة موجبة في إختبار النترات بالمُستخلص المائي.

2- نترات الكالسيوم: قطع جليدية اللون أو بنية تذوب تماماً في االماء. تُعطي نتيجة موجبة عند الكشف عن النترات والكالسيوم في المُستخلص المائي.

3- سلفات الأمونيوم: بللورات بيضاء تذوب تماماً في الماء. تُعطي نتيجة موجبة مع إختبار النشادر وإختبار الكبريتات في المُستخلص المائي.

4- نترات الأمونيوم: حبيبات بيضاء تذوب تماماً في الماء. تُعطي نتيجة موجبة مع محلول الصودا الكاوية في إختبار الكشف عن النشادر وكذلك مع إختبار الكشف عن النترات في المُستخلص المائي.

5- نترات الأمونيوم الجيرية: حبيبات بنية فاتحة اللون أو بيضاء تذوب جزئياً في الماء. تُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن النشادر، وكذلك مع حامض الهيدروكلوريك المجفف للكشف عن كربونات الكالسيوم. وإختبار الكشف عن كلٍ من النترات والكالسيوم في المُستخلص المائي. وإختبار الكشف عن الكالسيوم في المُستخلص الحامضي.

6- اليوريا: حبيبات بيضاء تذوب تماماً في الماء. تُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الصودا الجيرية للكشف عن النيتروجيت العضوي حيث يتصاعد غاز النشادر.

الأسمدة الفوسفاتية

1- السوبر فوسفات العادي: مسحوق تُرابي اللون يذوب جزئياً في الماء (شحيح الذوبان). يُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن الفوسفات والكبريتات والكالسيوم في المُستخلص المائي. ويُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن الفوسفات والكبريتات والكالسيوم في المُستخلص الحامضي.

2- السوبر فوسفات الثلاثي: حبيبات رمادية اللون تذوب جزئياً في الماء (أقل ذوباناً من السوبر فوسفات العادي). يُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن الفوسفات والكالسيوم في المُستخلص المائي وكذلك في المُستخلص الحامضي.

الأسمدة البوتاسية

1- سلفات البوتاسيوم: مسحوق ترابي اللون مُصفر يذوب في الماء. يُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن البوتاسيوم باستخدام لهب بنزن. يُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن الكبريتات في المُستخلص المائي.

2- كلوريد البوتاسيوم: مسحوق ترابي اللون يذوب في الماء. يُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن البوتاسيوم باستخدام لهب بنزن. ويُعطي نتيجة موجبة مع إختبار الكشف عن الكلوريد في المُستخلص المائي.

المطلوب

1- تعرف على الأسمدة المعدنية البسيطة المُعطاة لك خلال إجراء الإختبارات الوصفية على العينات السمادية التي أمامك.

2- دون النتائج الموجبة في الجدول التالي:

السماد	إختبارات الجسم الصلب	إختبارات المُستخلص المائي	إختبارات المُستخلص الحامضي

الدرس العملي الرابع عشر

تقييم جـــودة الميـــاه للري

إن إستعمال مياه ري منخفضة الجودة يؤثر سلباً على المدى الطويل وربما القصير على جودة التربة، وهذا ينعكس سلباً على النبات النامي بها وصحة وجودة المحصول. لذا من الضروري تحديد صفات المياه المُستخدمة للري.

العوامل التي تحدد إمكانية إستخدام المياه لأغراض الري

1- التركيز الكلي للأملاح.
2- التركيز النسبي للصوديوم، أي نسبة الصوديوم إلى مجموع الكالسيوم والماغنيسيوم.
3- درجة تركيز الكربونات والبيكربونات (البيكربونات المُتبقية).
4- وجود العناصر النادرة مثل البورون.
5- طبيعة التربة من حيث تركيبها الميكانيكي وكذلك درجة تركيز الأملاح الكلية الذائبة بها.
6- كمية السلت في مياه الري وآثره على مسامية التربة.
7- كمية المياه المطلوب إستعمالها وعدد الريات ووجود مصادر مياه أخرى بديلة يُمكن الإستفادة منها لتخفيف الضرر الذي قد ينجُم عن إستخدام مياه منخفضة الجودة للرى.
8- وسائل الصرف المُتاحة ومدى صلاحيتها.

9- المحاصيل المنزرعة وأنواعها وأطوار نموها.
10- العمليات الزراعية المختلفة وخصوصاً طرق إستخدام المياه.

الشروط الواجب إتباعها عند أخذ عينة من المياه لتقييم صلاحيتها للري

1- إن إتباع الأسلوب السليم في أخذ عينة المياه يُعتبر الخطوة الأولى والأساسية للحصول على نتائج دقيقة يُمكن الإعتماد عليها للحصول على تقييم جيد وتوصيات مناسبة لاستخدام تلك المياه.
2- تتوقف طريقة أخذ عينة المياه على عوامل عديدة من أهمها مصدر هذه المياه. فقد تؤخذ العينة من قنوات مائية مكشوفة مثل الترع والقنوات وفي هذه الحالة يجب تجنب أخذ العينة من المناطق الراكدة أو جوانب المجرى المائي. ويتم جمع عينات من مناطق مختلفة وعلى فترات مختلفة ثم خلطها لتعطي عينة ممثله تمثيلاً جيداً لمصدر المياه.
3- قد تؤخذ العينة من مصادر مياه غير مكشوفة مثل الآبار، فعند فحص مياه الآبار القديمة يجب أخذ عينة المياه بعد مرور نصف فترة التشغيل العادي. أما في حالة فحص الآبار الجديدة والتي يراد تشغليها لأول مرة فيجب أخذ عينات دورية على فترات متتالية تسمح بعمل منحنى لدراسة مدى تغير خصائص المياه مع الزمن ومنه يُمكن تحديد إمكانية البدء في إستخدام المياه للري وتحديد العدد المناسب لساعات التشغيل.
4- في جميع الحالات يجب جمع عينة تُقدر بحوالي 2 لتر من المياه في زجاجة يُفضل أن تكون من البلاستيك النظيف الجاف والتي سبق غسلها بحامض مُخفف ثم عده مرات بالماء المُقطر ثم تُرقم ويدون عليها كافة البيانات الخاصة بالعينة من حيث الموقع والتاريخ ووقت أخذ العينة بالنسبة لبدء التشغيل والغرض من التحليل. كذلك يُفضل إضافة نقطتين من التولوين إلى عينة المياه لمنع النشاط الميكروبي بها والذي قد يؤثر على مُكونات العينة. ويتوقف مدى دقة النتائج المُتحصل عليها على سرعة نقل العينة إلى المعمل وإجراء التحليلات المطلوبة.

أهم الصفات الواجب تقديرها لتحديد وتقييم صلاحية المياه للري

1- قياس رقم الحموضة (pH). 2- تقدير التركيز الكلي للأملاح.
3- تقدير مجموعة الكاتيونات مثل الكالسيوم، الماغنيسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم.
4- تقدير مجموعة الأنيونات مثل الكلوريد، الكبريتات، الكربونات، النترات.
5- تقدير البورون. 6- حساب قيمة SAR و RSC.

المطلوب

1- في عينة المياه التي أمامك قم بتقدير أهم الصفات الواجب توافرها لتحديد صلاحية المياه للري وهي:

الصفات	النتائج
1- قس رقم حموضة (pH) عينة المياه.	
2- قدر التركيز الكلي للأملاح بالعينة.	
3- قدر مجموعة الكاتيونات (الكالسيوم، الماغنيسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم).	
4- قدر مجموعة الأنيونات (الكلوريد، الكبريتات، الكربونات، النترات).	
5- قدر البورون.	
6- إحسب قيمة كلٍ من SAR و RSC.	

2- قارن النتائج التي حصلت عليها بالقيم المُثلى لتحديد مدى صلاحية المياه للري والواردة بالكتاب النظري.

.....

.....

.....

3- علق على النتائج التي تحصلت عليها.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....