جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية
السنة الثالثة

خصوبة التربة وتغذية النبات

المحاضرة النظرية الأولى

The Soil as a Plant Nutrient Medium

1/4/2026

مقدمة

لم يُتفق بعد على تعريف علمي واحد للتربة لتعدد المدارس، وتباين وجهات النظر العلمية بين دارسي التربة. فمن **الوجهة الجيولوجية**، تشكل التربة الطبقة العليا من الغلاف الصخري Lithosphere التي تفككت تحت تأثير الغلافين الجوي Atmosphere، والمائي Hydrosphere.

من **الوجهة البيدولوجية**، تعد التربة "نظاماً مفتوحاً Open System" رباعي الأطوار مبعثراً غير متجانس، ومتميزاً إلى آفاق، يشغل الجزء السطحي من القشرة الأرضية المجواة، ويعد تابعاً مركباً للصخور الأم، والمناخ والأحياء والتضاريس والزمن والإنسان.

أمّا من **الوجهة الزراعية**، فتعرّف التربة بأنها "جسم طبيعي مفكك البنية، متغير العمق ينجم عن تجوية الصخور والفلزات وتفكك المادة العضوية، وتحولاتها مجتمعة تحت تأثير مجموعة العوامل الفيزيائية والكيميائية والحيوية، ويشكل وسطاً ميكانيكياً وفيزيائياً وكيميائياً وحيوياً صالحاً لنمو النبات، بما يتميز به من عوامل الخصوبة الطبيعية، أو المكتسبة أو كليهما معاً".

1-1 أطوار التربة Soil Phases

تتكون التربة من ثلاثة أطوار هي الطور الصلب Solid phase، والطور السائل Liquid phase، والطور الغازي Gaseous phase.

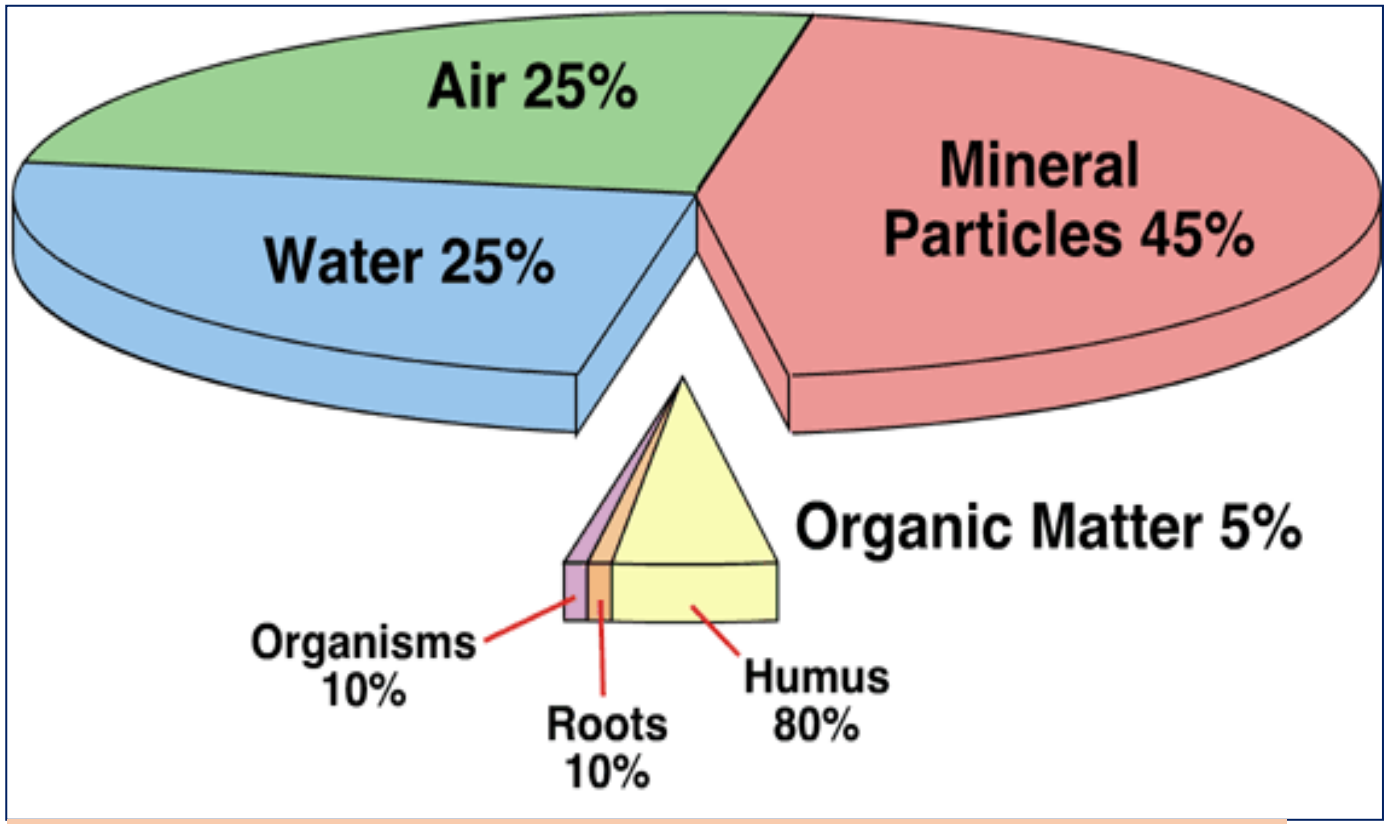
ويبين الشكل (1-1) النسب المئوية التقريبية لهذه الأطوار في تربة لومية سلتية في حالة الظروف المثلى لنمو النبات، ويلاحظ من هذا الشكل أن 50 % من حجم التربة عبارة عن مواد صلبة (معدنية وعضوية)، أما النسبة المتبقية من حجم التربة (50 %) فهي عبارة عن فراغات محصورة بين حبيبات الطور الصلب Pore space تكون مشغولة بالماء والهواء،

كما يلاحظ من هذا الشكل أيضاً أن المواد المعدنية تشكل حوالي 45% من الحجم الكلي للتربة (90 % من الطور الصلب).

بينما تشكل المادة العضوية والدبال حوالي 5 % فقط من هذا الحجم. وعند الظروف المثلى للنمو النباتي فإن 50 % من الفراغات البينية (25 % من الحجم الكلي) تكون مملوءة بالماء، ونصفها الآخر يكون مملوءاً بالهواء.

ومن الجدير بالذكر أن هذا التوزع بين الماء والهواء في التربة تحت الظروف الطبيعية يتأثر بالظروف المناخية والري ونمو النبات وخلافه.

ومن المؤكد أن هناك تداخلاً واختلاطاً شديداً بين المكونات الأربعة للتربة (المكونات المعدنية، المادة العضوية، ماء التربة، هواء التربة)، مما يؤدي إلى حدوث العديد من التفاعلات داخل المكون الواحد، وبين هذه المكونات الأمر الذي يقود إلى جملة من المتغيرات التي تنعكس في النهاية على نمو النبات سواء بطريقة مباشرة، أو غير مباشرة.



الشكل (1-1): التوزع الحجمي التقريبي لأطوار تربة لومية سلتية عند الظروف المثلى لنمو النبات

1-1-1 الطور الصلب The Solid Phase

يشكّل الطور الصلب بجزئيه المعدني والعضوي Mineral and organic parts الخزان الرئيسي للعناصر المغذية التي يحتاجها النبات. ويبين الجدول (1-1) المحتوى الوسطي التقريبي للطور الصلب للتربة من العناصر الأكثر انتشاراً فيه.

وتجدر الإشارة إلى أن العناصر المختلفة المكونة للطور الصلب للتربة لا تتواجد عادةً في صورة منفردة في التربة، بل تتواجد في صورة مركبات كيميائية بعضها معدني وبعضها الآخر عضوي.

يشغل الجزء المعدني من الطور الصلب 90-97% من الوزن الجاف للتربة. ترتبط فلزات التربة Soil Minerals من حيث نشأتها وتركيبها ارتباطاً وثيقاً بفلزات الصخور المكوِّنة للتربة، وتقسم هذه الفلزات تبعاً لنشأتها إلى فلزات أولية وفلزات ثانوية.

الجدول (1-1): متوسط النسبة المئوية الوزنية لأكثر العناصر انتشاراً في الطور الصلب للتربة			
العنصر	%	العنصر	%
O	49	P	0.08
Si	33	S	0.08
Al	7.13	Mn	0.08
Fe	3.8	Ba	0.05
Ca	1.37	Sr	0.03
Na	0.63	Zr	0,02
K	1.26	F	0.02
Mg	0.6	Cr	0.02
Ti	0.46	Cl	0.01
H	0.5	V	0.01
N	0.1		

1-1-1-1 الفلزات الأولية Primary Minerals

تنشأ الفلزات الأولية في التربة عن التجوية الفيزيائية للصخور الأم المكونة للتربة، وتبقى هذه الفلزات محافظة على تركيبها الكيميائي الأساسي، وتتصف بكون أقطار حبيباتها كبيرة نسبياً ولذلك يلاحظ تركزها في الجزء الخشن من حبيبات الطور الصلب (حبيبات الرمل والسلت)، ويبين الجدول (1-2) أهم الفلزات الأولية الشائعة في الصخور الأم والترب.

وترجع أهمية الفلزات الأولية إلى كونها تعد بمثابة مخزن للعناصر المغذية الضرورية للنبات، وبخاصة العناصر الكاتيونية مثل:K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu التي تتحرر من الفلزات الحاوية عليها عبر عملية التجوية بأشكال قابلة لإفادة النبات. يضاف إلى ذلك أن لفلزات الكربونات أهمية خاصة في تنظيم تفاعل (pH) التربة، كما تعمل أكاسيد الحديد كمواد لاحمة لحبيبات التربة وكمواد مغلفة لها وتساهم في إكسابها الألوان المميزة لها.

الجدول (1-2): الفلزات الأولية الشائعة في الصخور الأم والترب		
اسم الفلز	الصيغة الكيميائية	المجموعة الفلزية
الفلزات السيليكاتية		
اورثوكلاز	$KAlSi_3O_8$	فلدسبارات Feldspars
البيت	$NaAlSi_3O_8$	
اوجيت	$(Ca)(MgAlFe)Si_2O_6$	بيروكسينات Pyroxenes
موسكوفيت	$K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4$	مايكا Micas
بيوتيت	$K_2[Si_6Al_2]Mg_4Fe_2O_{20}(OH)_4$	
الفلزات غير السيليكاتية		
الكالسيت	$CaCO_3$	الكربونات Carbonates
الآراغونيت	$CaCO_3$	
الماغنيزيت	$MgCO_3$	
الدولوميت Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	
السيدريت Siderite	$FeCO_3$	
الجبس Gypsum	$CaSO_4.2H_2O$	الكبريتات Sulphates
الانهيدريت	$CaSO_4$	
الأباتيت	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	الفوسفات Phosphates
السترنجيت	$FePO_4.2H_2O$	
البيريت	FeS	الكبريتيدات Sulphides
الغالينا	PbS	
الهاليت	$NaCl$	الهاليدات Halides
الفلوريت	CaF_2	
الكوارتز	SiO_2	الأكاسيد والهيدروكسيدات Oxides and Hydroxides
الهيماتيت	Fe_2O_3	
ليمونيت	$FeO(OH).nH_2O$	

2-1-1-1 الفلزات الثانوية Secondary Minerals

تشمل الفلزات الثانوية كافة الفلزات التي أصبح لها تركيب كيميائي جديد نتيجة لتأثير عوامل وعمليات التجوية الكيميائية في الفلزات الأولية. وتتواجد هذه الفلزات غالباً في الجزء الناعم من التربة والذي تقل أقطار حبيباته عن 2 ميكرون (الطين).

وتُعزى أهمية الفلزات الثانوية إلى امتلاكها سطوحاً نوعية كبيرة تحمل شحنات كهربائية سالبة عموماً، مما يسمح بادمصاص كاتيونات العناصر المغذية عليها. ويمكن للكاتيونات المدمصة هذه ترك مواقع ادمصاصها والخروج إلى محلول التربة من خلال عملية تبادل كاتيوني Cation exchange، مما يعني أن الفلزات الثانوية تتحكم إلى حد بعيد في تركيز الأيونات المختلفة في محلول التربة.

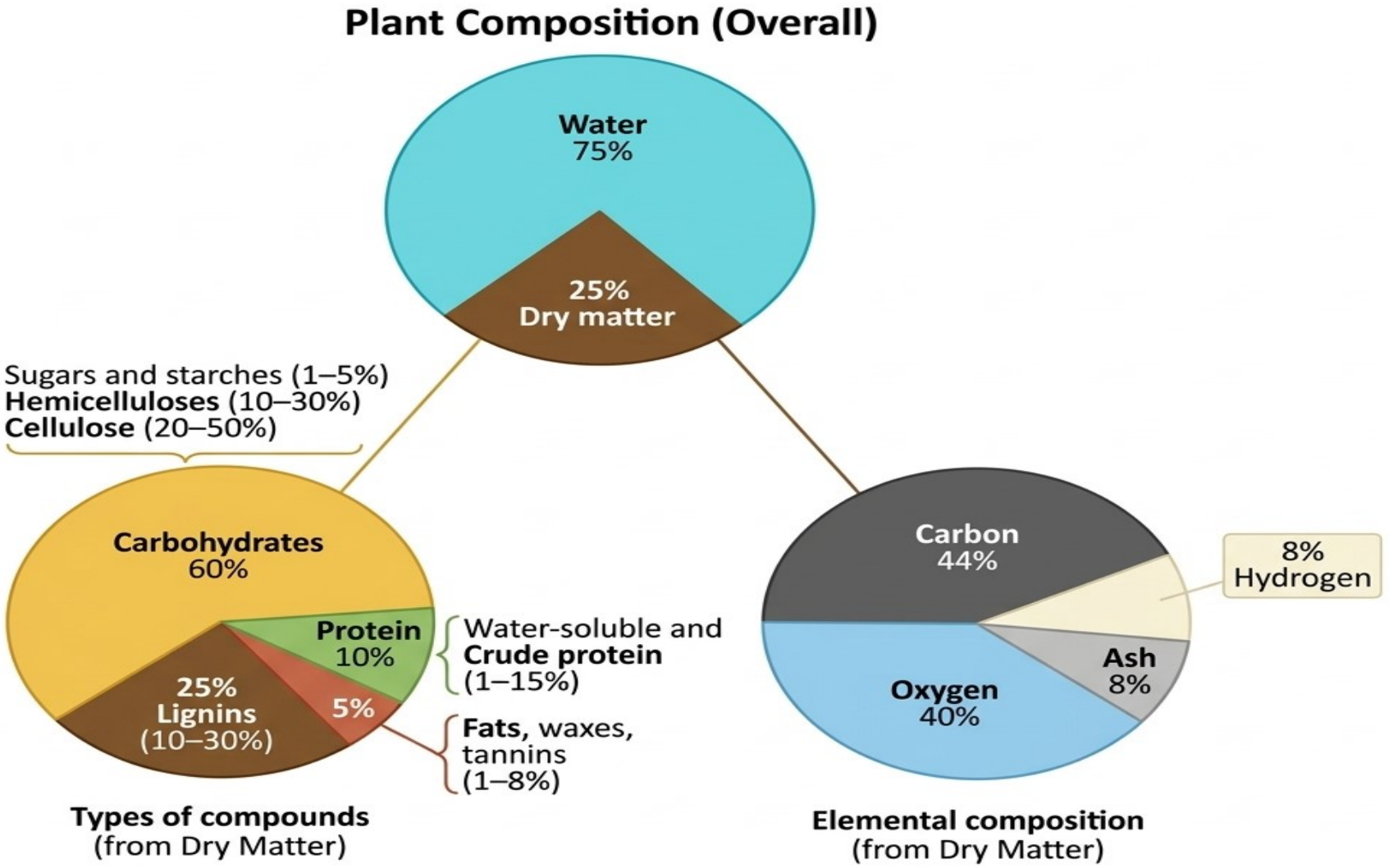
ولعلّ فلزات الطين Clay minerals من أهم الفلزات الثانوية في التربة على الإطلاق. وتنتمي هذه الفلزات إلى السيليكات الطبقية Layer silicates، هناك ثلاث نماذج رئيسية للسيليكات الطبقية يمثلها الكاؤولينيت Kaolinite، والمايكا Mica، والسمكتيت Smectite.

1-1-1- 3 المادة العضوية Organic Matter

تؤدي المادة العضوية في التربة دوراً بالغ الأهمية في كيمياء التربة وخصوبتها. وعلى الرغم من الدراسات العديدة والمكثفة، فإن كيمياء المادة العضوية ما زال غير مفهوم تماماً.

ويقصد بالمادة العضوية في التربة Soil Organic Matter (SOM) كل ما يصل التربة، أو ينشأ فيها من بقايا ومخلفات عضوية من أصل نباتي(الشكل 1-4) أو حيواني، وذلك بغض النظر عن درجة تحللها. ويتراوح محتوى الطبقة السطحية للترب المعدنية من المادة العضوية بين 0.5 و 5 % وزناً، وينخفض هذا المحتوى مع العمق.

تُشتق المادة العضوية من المخلفات النباتية والمفرزات الحيوانية المختلفة، لتعطي بتحللها وتفككها بفعل الأحياء الدقيقة والنشاط الحيوي، عناصر معدنية ذائبة أو غازية (NH_3, CO_2) من جهة، ويطلق على هذه المرحلة عملية تمعدن المادة العضوية Mineralization، ولتعطي من جهة أخرى معقدات دبالية غروية Humic Complexes أو ما يسمى بالمعنى الدقيق "الدبال Humus" ويطلق على هذه العملية عملية التدبل Humification التي تترافق باصطناع مركبات دبالية جديدة انطلاقاً من مواد أبسط تركيباً ناتجة عن عملية التمعدن.



التركيب الكيميائي للمادة العضوية النباتية

يتكون الدبال من بعض المكونات الذائبة في الماء، والحموض الفولفية والهيومية، والهيومين. وأكثر المركبات الذائبة في الماء شيوعاً في الدبال هي الحموض الكرينيه Crenic acids، والحموض العضوية البسيطة وغيرها. وتتميز الحموض الفولفية Fulvic acids بلونها الأصفر– البرتقالي، وبكونها ذائبة في الماء والحموض والأسس. كما تتصف بوزنها الجزيئي المرتفع نسبياً، وبغناها بالمجموعات الوظيفية الأوكسيجينية مما يكسبها تفاعلاً حمضياً واضحاً، أما الحموض الهيومية (الدبالية) Humic acids فتتصف بلونها البني الداكن– الأسود وبكونها غير قابلة للذوبان في الماء والحموض لكنها تذوب في الأسس، كما تتصف بارتفاع أوزانها الجزيئية، وانخفاض محتواها من المجموعات الوظيفية الأوكسيجينية بالمقارنة مع الحموض الفولفية. ويمثل الهيومين الجزء من الدبال غير القابل للذوبان في الأسس أو الحموض الشائعة، ولا زال الكثير من الغموض يكتنف ظروف وطريقة نشوء هذا الجزء من الدبال، إضافة إلى تركيبه الكيميائي.

لعل أهم ما يميز الدبال امتلاكه للمجموعات الوظيفية الفعّالة Functional Groups، التي تحدد مقدار فعالية المواد الدبالية في الوسط، وتعطي المواد الفولفية والهيومية التفاعل الحمضي المميز لها، وأهم هذه المجموعات:

الكربوكسيل (-COOH) Carboxyl، والهيدروكسيل (-OH) Hydroxyl بنوعية الفينولي والكحولي، والكربونيل Carbonyl (>C=O)أوالكيتون Ketone، والميتوكسيل (-OCH3) Methoxyl.

2-1 غرويات التربة The Soil Colloids

تتصف غرويات التربة بأبعاد صغيرة جداً، ولقد اعتبر الحد الأعلى لأبعاد فلزات الطين (2 µ m) حداً أعلى الغرويات التربة.

كما تتصف أيضاً بخواص الانتفاخ والانكماش واللدونة والتجمع والتبعثر.

وبالإضافة إلى ما سبق، تتصف غرويات التربة بالخواص المرتبطة بالحالة الغروية العامة كظاهرة تندال Tyndall، والحركة البراونية Brownian movement، والرحلان الكهربائي Electrophoresis.

تتكوّن غرويات التربة من نوعين مختلفين في الطبيعة الكيميائية:

1- النوع الأول معدني Mineralic colloids، يتكون من فلزات الطين وأكاسيد الحديد والألمنيوم نصف الثلاثية Sesquioxides والمكوّنات الأخرى غير البلورية كالألوفان والأكاسيد المائية.

2- النوع الثاني عضوي Organic colloids، ويتكون من المكونات الدبالية كالحموض الهيومية والفولفية بالإضافة للمعقدات العضوية- المعدنية Organo-metallic complexes.

وبغض النظر عن الطبيعة الكيميائية لغرويات التربة، فإنه يمكن التمييز بين نوعين من هذه الغرويات تبعاً لنوع الشحنات الكهربائية للسطوح الغروية:

أ- الغرويات موجبة الشحنة Electro-positive colloids أو القاعدية، وهي الأقل انتشاراً في التربة، وتشمل أكاسيد الحديد والألمنيوم المائية (الأكاسيد نصف السداسية). وتسلك سلوك القواعد الضعيفة، وتتبعثر في الأوساط الحمضية وبوجود الكاتيونات، وتتجمع في الأوساط القلوية وبوجود الأنيونات المختلفة.

ب- الغرويات سالبة الشحنة Electro-negative colloids أو الحمضية، وهي الأكثر انتشاراً في التربة، وتضم كلاً منة فلزات الطين والغرويات الدبالية، والمعقدات العضوية- المعدنية. وتسلك سلوك الحموض الضعيفة، وتتبعثر في الأوساط القاعدية، بينما تتجمع في الأوساط الحمضية وبوجود الكاتيونات أيضاً .

1-2-1 مصدر الشحنات الكهربائية لغرويات التربة

يمكن التمييز بين نوعين من الشحنات الكهربائية لغرويات التربة، الأول يدعى بالشحنات الدائمة، والثاني بالشحنات التابعة للـ pH.

أ- الشحنات الدائمة Permanent charges

يحمل الجزء الأعظم من غرويات التربة شحنة سطحية سالبة، وهناك مصدران رئيسيان للشحنات السالبة في فلزات الطين هما الإحلال الأيوني المتماثل Isomorphic Ion Substitution وتأين مجموعات الهيدروكسيل السطحية.

يتم الإحلال الأيوني المتماثل بأن يحل الألمنيوم (Al^{3+}) مكان السيليكون (Si^{4+}) في طبقة رباعيات الوجوه، أو يحل المغنزيوم (Mg^{2+}) مكان الألمنيوم (Al^{3+}في طبقة ثمانيات الوجوه ضمن البنية البلورية لفلزات الطين، ومثل هذا الإحلال شائع الحدوث في العديد من فلزات الطين كالإيلليت والفيرميكيوليت والمونتموريونيت.

$SiAlO_4^-$
رباعية وجوه بوجود استبدال أيوني

Si_2O_4
رباعية وجوه بدون استبدال أيوني

كما يمكن أن تنشأ الشحنة السطحية السالبة في فلزات الطين نتيجة لتأين مجموعات الهيدروكسيل السطحية المرتبطة بالسيليكون في طبقات رباعيات الوجوه المهشمة، وذلك وفق التالي:

$$-Si-OH + H_2O \rightleftharpoons -SiO^- + H_3O^+$$

الكربوكسيلية والهيدروكسيلية:

$$-COOH \rightleftharpoons -COO^- + H^+$$

أما الشحنات الموجبة فيمكن أن تنشأ في فلزات الطين كنيجة للإحلال الأيوني المتماثل أيضاً إذا حل كاتيون أعلى شحنة من الكاتيون الأساسي، كأن يحل Al^{3+} مان Mg^{2+} في طبقة ثمانيات الوجوه. ويمكن ملاحظة هذا النوع من الاحلال الأيوني المتماثل في فلزي الفرميكيوليت والكلوريت.

$Mg_2AlO_2(OH)_2^+$
ثمانية وجوه بوجود استبدال أيوني

$Mg_3O_2(OH)_2$
ثمانية وجوه بدون استبدال أيوني

ب- الشحنات التابعة للـ pH pH-Dependent Charges

تتميز بعض غرويات التربة بمقدرتها على تغيير إشارة شحناتها جزئياً أو كلياً، في ظروف خاصة من pH التربة، إذ تكون مشحونة بشحنات سالبة وتسلك سلوك الحموض تارة، وبشحنات موجبة وتسلك سلوك القواعد تارة أخرى، وتمر بين الحالتين بمرحلة تفقد عندها كل شحناتها، حيث تكون متعادلة كهربائياً، وتسمى هذه المرحلة نقطة التعادل الكهربائي Isoelectric point.

وتعود الطبيعة الازدواجية Amphoteric في التربة إلى بنية وخواص كل من أكاسيد الحديد والألمنيوم وبعض فلزات الطين كالكاؤولينيت إضافة إلى بعض مكونات المادة العضوية كالحموض الأمينية والبروتينات والمعقدات العضوية- المعدنية.

بعض الشحنات التابعة للـ pH تعزى أساساً إلى مجموعات الهيدروكسيل (-OH) المتوضّعة على حواف وسطوح الغرويات المعدنية والعضوية. وتوجد مجموعات الهيدروكسيل مرتبطة مع الحديد و/أو الألمنيوم في الغرويات المعدنية (مثل >Al-OH) ومع مجموعات CO- في الدبال (مثل -CO-OH). وفي الظروف معتدلة الحموضة، يكون لهذه الجزيئات شحنة سطحية صغيرة أو لا يكون لها شحنة نهائياً.

3-1 التبادل الأيوني The Ion Exchange

يمثل التبادل الأيوني أحد أهم الظواهر المميزة للكثير من التفاعلات العكوسة التي تحصل في التربة، ويتم خلاله تبادل الأيونات بين الطور الصلب والطور السائل للتربة. فإذا تم التبادل بين الأيونات موجبة الشحنة سمي بالتبادل الكاتيوني، وإذا حدث بين الأيونات سالبة الشحنة سمي بالتبال الأنيوني.

1-3-1 التبادل الكاتيوني Cation Exchange

تجذب الشحنات السالبة لغرويات التربة إليها الكاتيونات المختلفة الموجودة في محلول التربة مثل: H^+, Al^3, K^+, Mg^{2+} Ca^2 بقوى جذب إلكتروستاتيكية، لتصبح هذه الكاتيونات في تماس مباشر مع سطح الغروي وملازمة له وهذا ما يُعرف الادمصاص (الامتزاز) Adsorption.

إلا أنه يمكن استبدال هذه الكاتيونات وإحلال كاتيونات أخرى مكانها مع المحافظة على تعادل السطوح كهربائياً، وهذا ما يُعرف بالتبادل الكاتيوني Cation Exchange. ويطلق على العملية المرافقة لعملية الادمصاص والمعاكسة لها والتي تقود إلى تحرر الكاتيونات المدمصة إلى الطور السائل للتربة بالإزاحة (الانتزاز) Desorption.

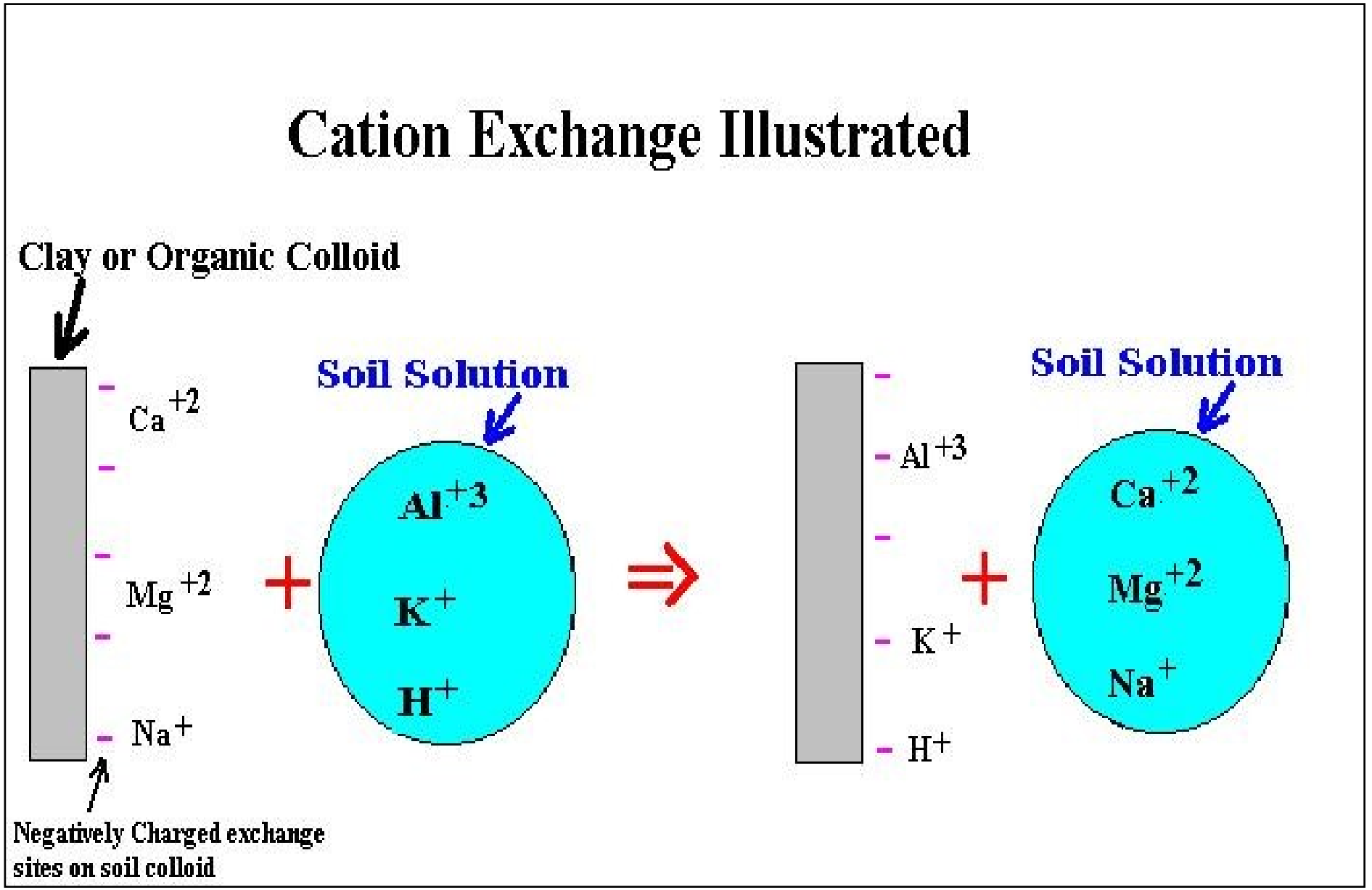
ويتصف التبادل الأيوني بكونه تفاعل موزون Stoichiometric reaction كونه يحدث بمقادير متكافئة كيميائياً، فأيونين من البوتاسيوم مثلاً يتبادلان مع أيون واحد من الكالسيوم.

$$CaR + 2K^{+} \rightleftharpoons (K)_2R + Ca^{2+}$$

(الطور الصلب) (محلول التربة) (الطور الصلب) (محلول التربة)

حيث (R) تعبِّر عن السطح المُبادِل لغروي التربة.

كما يتصف التبادل الأيوني بكونه تفاعل عكوس Reversible reaction، فعلى الرغم من الاصطفائية التي تتمتع بها غرويات التربة تجاه الكاتيونات الموجودة في محلول التربة وبخاصة الثنائية التكافؤ والثلاثيته، فإنه يمكن أن تستبدل معظم هذه الكاتيونات بكاتيونات أخرى في شروط محددة من التركيز الأيوني والفعالية الأيونية والـ pH (الشكل 1-5).



الشكل(1-5): استبدال الكاتيونات المدمصة على سطوح غرويات التربة بأخرى مكافئة لها من محلول التربة

2-3-1 التبادل الأنيوني Anion Exchange

من المعروف أن الشحنة السائدة لغرويات التربة هي الشحنة السالبة (في الظروف الطبيعية)، ولكن هذا لا ينفي أبداً امتلاك التربة لشحنات موجبة تنشأ أساساً نتيجة للطبيعة المزدوجة Amphoteric nature لبعض غرويات التربة العضوية منها والمعدنية كازدواجية أكاسيد الحديد والألمنيوم والمنغنيز، وازدواجية بعض فلزات الطين كالكاؤولينيت، كما ازدواجية بعض مكونات المواد الدبالية.

فأكاسيد الحديد المائية مثلاً تكتسب شحنات موجبة في الوسط الحامضي، وشحنات سالبة في الوسط القلوي.

وينتج عن امتلاك هذه الهيدروكسيدات لشحنات سطحية موجبة، انجذاب لبعض الأنيونات من محلول التربة مثل: Cl^- , NO_3^- , $H_2PO_4^-$

ويمكن احلال الأنيون المدمص على السطح المُبادِل لغروي التربة بأنيون آخر من محلول التربة بعملية تبادل أنيوني:

$$RNO_3 + Cl^- \rightleftharpoons RCl + NO_3^-$$

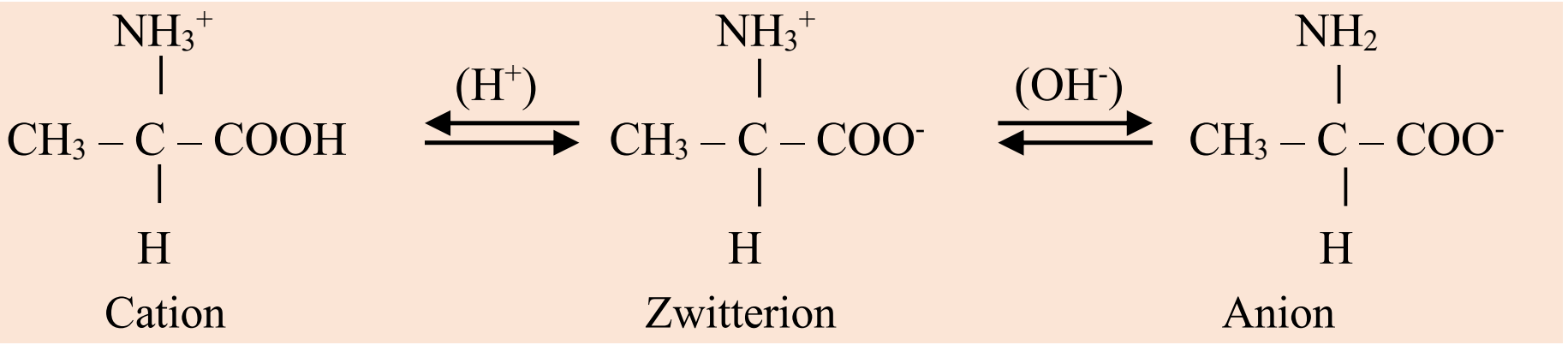
(الطور الصلب) (محلول التربة) (الطور الصلب) (محلول التربة)

حيث (R) تعبِّر عن السطح المُبادِل لغروي التربة.

وبالإضافة إلى ما سبق، يمكن للغرويات المعدنية أن تدمص الأنيونات عن طريق إحلالها مكان مجموعة هيدروكسيل (أو أكثر) سطحية:

$$Al(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^-$$

ويتيح امتلاك بعض المواد العضوية الأمفوتيرية (كبعض الأحماض الآمينية) لمجموعات كربوكسيلية وأمينية المقدرة على التواجد على شكل كاتيون أو أنيون، أو على شكل أيوني مزدوج Zwitterion وذلك تبعاً لـ pH التربة. إذ تكتسب شحنة سطحية موجبة في الوسط الحامضي، وسالبة في الوسط القلوي:



ويُعتقد أن **الفوسفات** من أكثر الأنيونات ميلاً للادمصاص على السطوح الغروية موجبة الشحنة في التربة، وأن النترات والكلور من أضعفها ادمصاصاً على هذه السطوح. ويمكن وضع الأنيونات السائدة في التربة من حيث شدة ادمصاصها على سطوح الغرويات موجبة الشحنة في التربة وفق الترتيب التالي: $HPO_4^{2-} > MoO_4^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$

ويطلق على كمية الأنيونات المدمصة (المتبادلة) مقدرة بالميلي مكافئ في 100 غرام تربة جافة تعبير "سعة التبادل الأنيوني Anion Exchange Capacity" ويرمز لها اختصاراً بـ(AEC).

4-1 محلول التربة The Soil Solution

يقصد بمحلول التربة ماء التربة وما انحل فيه من مواد مختلفة من أصل حجري ($K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+},$ Na^+)، أو حيوي ($NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}, H_2PO_4^-$) أو جوي ($O_2$, NH_3 , CO_2) تكون في حالة توازن مع الطور الصلب للتربة.

1-4-1 - تركيب محلول التربة

يتصف محلول التربة بكونه غير متجانس، فالجزء المحيط بالحبيبات الناعمة للتربة يكون أكثر تركيزاً من ذلك الجزء الموجود في الفراغات المسامية الكبيرة نسبياً. كما يتباين التركيب الأيوني لهذا المحلول من موقع لآخر في التربة ذاتها بسبب عدم تجانس الجزء المعدني من الطور الصلب للتربة. فعلى سبيل المثال يحتوي الجزء من محلول التربة المحيط بفلز الاورثوكلاز Orthoclase تركيزاً أعلى من البوتاسيوم بالمقارنة مع تركيز هذا العنصر في محلول التربة ككل.

كما أن المحلول القريب من فلز الكالسيت Calcite في التربة يكون عادةً أعلى تركيزاً بالكالسيوم من المحلول البعيد عن هذا الفلز.

يخضع محلول التربة لتغيرات دائمة في تركيبه، فهطول الأمطار يخفف من تركيز الأيونات المختلفة فيه، بينما امتصاص النبات للماء وتبخر الماء من التربة يزيد من تركيزها فيه. كما تكون نسب الأيونات الموجودة فيه عرضة للتغير لتعرض بعضها للترسيب أو الذوبان دون البعض الآخر.

يمكن القول إن تمديد محلول التربة يترافق مع انخفاض كبير في تركيز أيونات النترات NO_3^- والكلور Cl^-، بينما يبقى تركيز أيونات الفوسفات ($H_2PO_4^-$. HPO_4^{2-}) فيه ثابتاً تقريباً لضعف ذوبان المركبات الفوسفاتية بشكل عام.

ويكون محتوى محلول التربة من أيون النترات عرضة لتغيرات كبيرة بالمقارنة مع الأيونات الأخرى. ففي بداية فصل الربيع يكون تركيز النترات منخفضاً ثم يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وازدياد معدل تفكك المادة العضوية، ولكنه يعود للانخفاض ثانيةً نتيجة امتصاص النبات لهذا الأيون وتعرضه للغسل من التربة. أما في الخريف فيعود تركيز النترات في محلول التربة للارتفاع مجدداً.

ويكون تركيز كاتيون الكالسيوم في محلول التربة الأعلى عادةً بالمقارنة مع الكاتيونات الأخرى، ويعقبه كاتيون المغنزيوم، ومن ثم البوتاسيوم (الجدول1-6). أمّا تركيز كاتيون الصوديوم فيكون منخفضاً عادة في محلول التربة، لكنه يمكن أن يرتفع كثيراً في المحلول الأرضي للترب المالحة والترب القلوية الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة.

وبصورة عامة يكون تركيز محلول التربة من الأيونات في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة أعلى مما هو عليه في ترب المناطق الرطبة وشبه الرطبة.

الجدول (1-6): الحدود الدنيا والقصوى لتركيز العناصر المغذية الأساسية في محلول التربة		
العنصر	الشكل الأيوني	التركيز (ملغ/ل)
N	NO_3^-, NH_4^+	1700 - 6
K	K^+	156 - 3
Ca	Ca^{++}	450 - 8
Mg	Mg^{++}	204 - 3
P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}	7.0 – 0.03
S	SO_4^{--}	650 - 118
Fe	Fe^{++}, (Fe^{+++})	0.005 >
Mn	Mn^{++}	10 - 0.1
Zn	Zn^{++}	0.005 >
Cu	Cu^{++}	3.0 – 0.03
B	$B(OH)_4^-$, HBO_3^{--}	0.5 – 0.1
Mo	$HMoO_4^-$, MoO_4^{--}	0.01 – 0.001

1-4-2 استخلاص محلول التربة

يمكن استخلاص محلول التربة بطرائق شتى منها:

أ- طريقة التفريغ

تُجرى هذه الطريقة تحت التفريغ أو ضغط سالب مقداره 1/3 جو، إذ توضع عينة التربة فوق قرص مسامي خاص وتجرى عملية التفريغ.

ب- طريقة الضغط

وتستعمل لهذه الغاية مكابس خاصة، إذ توضع عينة التربة فوق قرص مسامي، أو أغشية من السيلوفان المنفذة ذات مسام دقيقة جداً داخل حجرة من الصلب، ويمكن رفع الضغط في هذه الحالة إلى 200 جو، غير أن الضغط المستخدم في أغلب الأحيان هو 15 جو، وهو الضغط اللازم للحصول على الماء الذي يزيد عن معامل الذبول.

جـ- طريقة الطرد المركزي

تستخدم هذه الطريقة للحصول على محلول التربة من العينات عالية الرطوبة القريبة في رطوبتها من السعة الحقلية، وتكون سرعة الدوران عادة بحدود 500 دورة في الدقيقة.

د- طريقة الإزاحة بسائل آخر

تعتمد هذه الطريقة على أن إضافة أي سائل إلى تربة متراصة ومضغوطة جيداً ستعمل على إزاحة محلول التربة. ويعد الكحول من أكثر السوائل استعمالاً لهذه الغاية، كما يمكن استعمال بعض المحاليل العضوية للغرض ذاته.

هـ- طريقة الليزيمتر Lysimeter

تستخدم هذه الطريقة عادةً لدراسة حركة محاليل التربة خلال مقطعها. والليزيمتر عبارة عن جهاز خاص يتيح الإمكانية للحصول على الماء الراشح في التربة. وهناك أنواع وأشكال عدة من الليزيمترات، توفر جميعها الإمكانية للحصول على محلول التربة عند وجود حركة للماء نحو الأسفل.

3-4-1 العمليات المؤثرة على تركيز الأيونات في محلول التربة

إنّ التوازن بين محلول التربة وكل مكون من مكوناتها هو توازن عكوس (الشكل 1-6). كما أن التغير في التوازن بين محلول التربة وأحد مكونات الطور الصلب يُحدِث تغيراً في التوازن القائم بين محلول التربة والمكونات الأخرى للتربة.

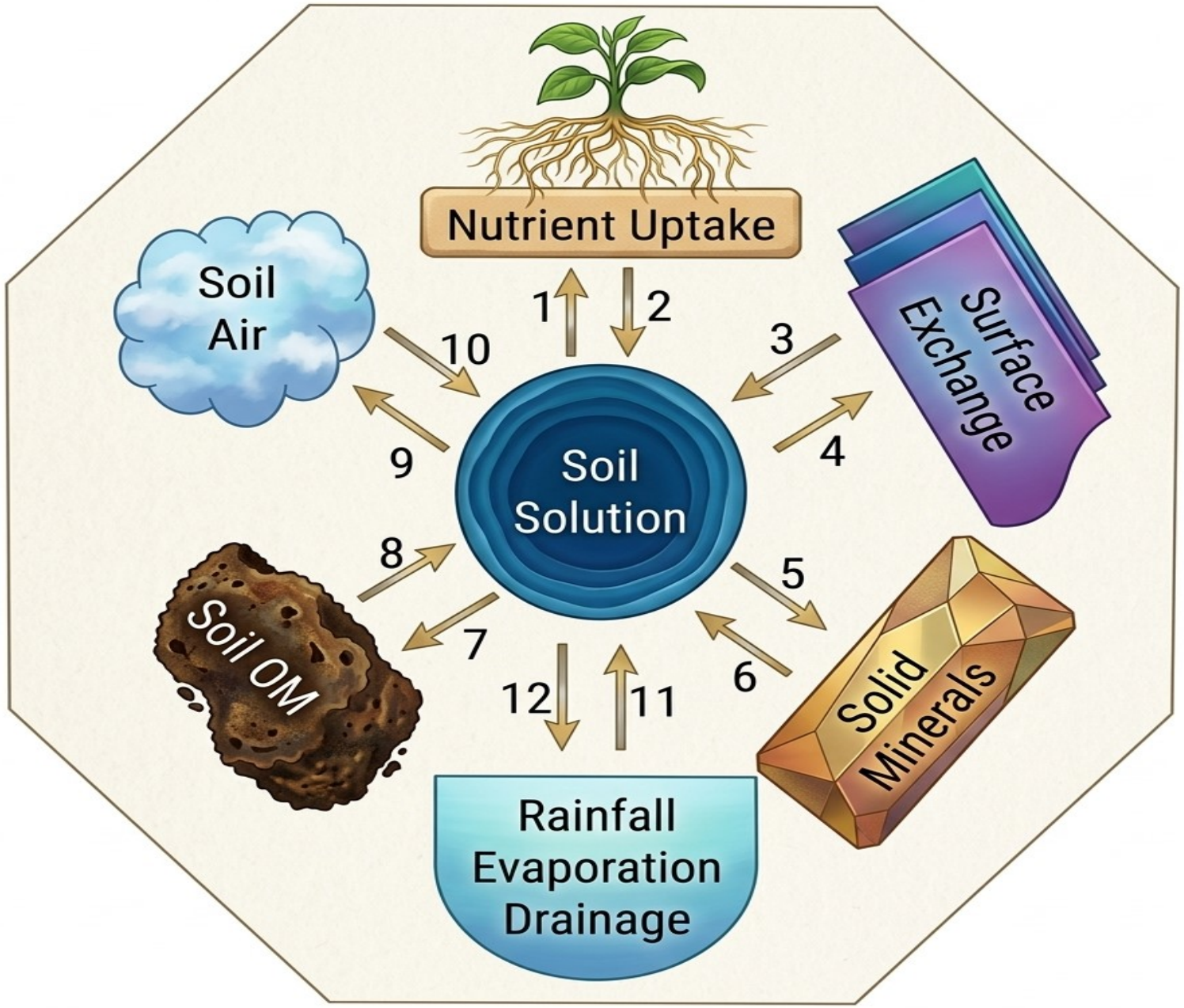
فإذا انخفض تركيز محلول التربة نتيجة الامتصاص النباتي مثلاً أو الغسل من التربة، فإن ذلك يعقبه خروج بعض الأيونات من الطور الصلب إلى محلول التربة لتعويض النقص الحاصل، ويحصل ذلك إما من خلال تحرر بعض الأيونات المدمصّة على سطوح غُرويات التربة Soil colloids،

أو ازدياد معدل ذوبان بعض الأملاح والأكاسيد، أو من خلال ارتفاع معدل معدنة Mineralization المادة العضوية في التربة.

وبالعكس، فإن زيادة تركيز محلول التربة نتيجة إضافة الأسمدة مثلاً يؤدي إلى عكس التفاعلات السابقة مما يؤدي إلى خفض تركيز المحلول من خلال حصول ادمصاص لبعض الأيونات من المحلول على سطوح الغرويات، أو ترسيب لبعضها الآخر على صورة مركبات ضعيفة الذوبان،

أو تمثيل حيوي Immobilization لأيونات بعض العناصر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في التربة.

يتضح مما سبق أن التفاعل المستمر بين محلول التربة ومكوناتها المختلفة يتأثر بالعديد من العمليات الكيميائية، والتي يعد التبادل الأيوني من أهمها على الإطلاق.



الشكل (1-6) : تفاعلات الاتزان الديناميكي المؤثرة في تركيب محلول التربة

المرجع: - (عودة وشمشم،2011) – كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات- كلية الزراعة - جامعة حمص.
- تمّ تحديث بعض الأشكال والرسوم بالاستعانة بالذكاء الصنعي 2026.

إلى اللقاء في المحاضرة القادمة