

## الفصل الثانی

**Soil Solution** المحلول الأرضی

**Ion Exchange** التبادل الأیونی

**Soil PH** رقم حموضة الأرض



## المحلول الأرضي Soil Solution

يقصد بالمحلول الأرضي ذلك السائل الذي يوجد في الأرض تحت الظروف الحقلية العادية، وهو عبارة عن محلول إلكتروليتي (ممسوك ضد قوى الجاذبية الأرضية) مخفف لأملاح  $Na, K, NH_4, NO_3, HCO_3, Ca, Mg, Cl, SO_4$ ، وكميات صغيرة لأيونات صعبة الذوبان في الماء من أملاح  $Cu, Fe, Mn$  ومركبات عضوية ذائبة لها صفات مخلبية تساهم في زيادة نشاط صلاحية العناصر للنبات، ومواد غروية كما قد يحتوي على ملوثات عضوية أو غير عضوية كنتيجة للنشاط الإنساني، وكل هذه المكونات السابقة تكون في حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض، ويعتبر المحلول الأرضي أكثر أجزاء الأرض نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية ويكون مصدراً مباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية والتي تتعدد مصادرها في التربة (نتائج تجوية معادن الأرض- تحلل المادة العضوية- ترسب من الجو- إضافة الأسمدة- تسرب العناصر من مناطق أخرى).

ويحفظ الماء الأرضي في الفراغات البينية الموجودة بين حبيبات التربة والتجمعات الأرضية بدرجات متفاوتة من الارتباط، حيث يوجد قوى كبيرة للالتصاق **Adhesion forces** بين جزيئات الماء وحبيبات التربة، والتي تحدد بشكل كبير حركة الماء في التربة، وبالتالي الكمية المتاحة للاستهلاك بواسطة النبات. وقوى الالتصاق هذه كبيرة للدرجة التي لا تجعل كل الماء الأرضي ميسراً للامتصاص بواسطة جذور النبات. فعند ظهور بؤادر الذبول على النباتات، أو حتى تعرضها للموت فإن ذلك لا يعني أن الأرض أصبحت خالية تماماً من الماء، ولكن الماء الموجود بها عند هذه الحالة يكون ممسوكاً حول حبيبات التربة بقوة أكبر من قدرة جذور النباتات على استخلاصه وامتصاصه.

عادةً لا تمثل الكمية الذائبة من العنصر إلا كمية بسيطة من الكمية الكلية في النظام الأرضي. فمثلاً متوسط مخزون البوتاسيوم في الأرض حوالي 30000 كجم / فدان لعمق 15 سم، بينما لزيادة الكمية الذائبة عن 10-30 كجم / فدان فقط. وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية في المعادن إلى 1000 كجم / فدان 15 سم، ولكن

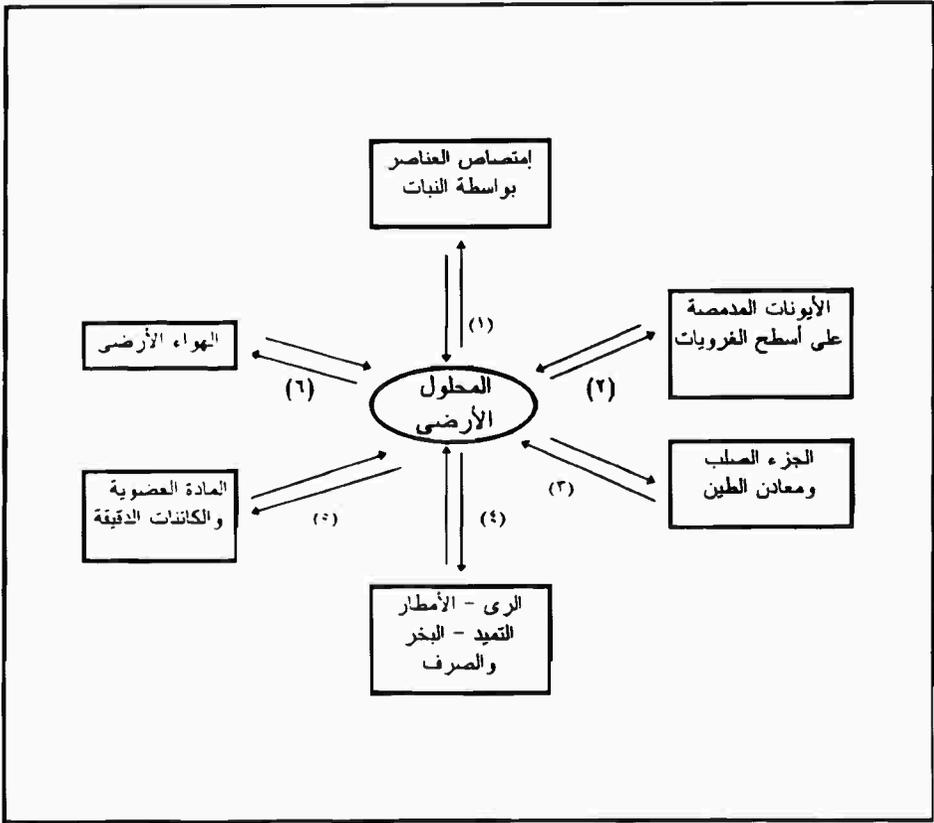
الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لاتزيد عن ٠,١ - ١ كجم. والعكس مع الكلوريد حيث يمكن أن يتواجد جزء كبير من مخزونه الكلى الموجود فى الأرض ذائباً فى المحلول الأرضى وذلك لارتفاع درجة ذوبان مركباته (أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢).

ويتوقف تركيب وتركيز المحلول الأرضى على عدة عوامل منها نسبة الرطوبة فى الأرض- نوع الأرض وعوامل تكوينها- المناخ (الحرارة والرطوبة)- والمعاملات الزراعية (رى، صرف، زراعة، تسميد)، وعلى هذا تتغير المكونات الموجودة فى المحلول الأرضى باستمرار لأنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بعمليات كيميائية وحيوية وينظم أخرى محيطة به تؤدي إلى تغير نوع وتركيز مكوناته باستمرار يوضح الرسم التخطيطى شكل (٢-١) التفاعلات بين المحلول الأرضى وكل مكون من مكونات الأرض وكلها تفاعلات عكسية (أى يحدث اتزان) ويمكن مناقشة هذه التفاعلات فيما يلى:

١- يحدث امتصاص للعناصر المغذية من المحلول الأرضى، وفى نفس الوقت يحدث انفراد لبعض المركبات العضوية البسيطة والأيدروجين وغاز ثانى أكسيد الكربون (من جذور النباتات) الذى يذوب فى الماء ويصبح الوسط حامضى وينتج عن ذلك ذوبان بعض مركبات الأرض الصلبة.

٢- تدخل الكاتيونات والأنيونات الموجودة فى المحلول الأرضى فى تفاعلات التبادل الأيونى، والإدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية.

٣- حدوث انحلال وإذابة لبعض المعادن، وبالتالي تنطلق بعض العناصر إلى المحلول الأرضى أو يحدث ترسيب لبعض العناصر فى صورة معادن ويتوقف ذلك على درجة التشبع لمكونات هذا المعدن وخاصة المعادن غير المتبلورة Amorphous (إذا أصبحت مكونات المعدن فوق درجة التشبع فى المحلول الأرضى فيحدث ترسيب والعكس إذا كان المحلول تحت التشبع لهذا المعدن).



شكل (١-٢): العلاقة بين تركيز مكونات المحلول الأرضي ومكونات الأرض الأخرى

٤- مياه الأمطار والرى تُحدث تخفيف للمحلول الأرضي، بينما عمليات الصرف والتسميد والتبخير تُزيد من تركيز الأيونات به.

٥- تؤثر كل من المادة العضوية والكائنات الدقيقة الحية على مكونات المحلول الأرضي، حيث تستمد الكائنات الحية الدقيقة حاجتها من العناصر من المحلول الأرضي وأيضاً تنفرد عناصر أخرى نتيجة تحلل المادة العضوية بفعل هذه الكائنات وأيضاً تحلل هذه الكائنات بعد موتها.

٦- المحلول الأرضي في حالة اتزان مع الطور الغازي والهواء الأرضي، فقد يحدث انطلاق لبعض الغازات الموجودة بالمحلول الأرضي إلى الهواء الجوى أو يحدث إذابة لبعض مكونات الهواء الأرضي في المحلول الأرضي.

وعلى هذا نجد أن كل أيون ذائب في المحلول الأرضي يكون في حالة اتزان مع الصورة الصلبة والصورة المدمصة منه في التربة.

والواقع أن استخلاص هذا المحلول من الأرض بحالته الطبيعية عملية عسيرة ولكنها ضرورية، لأن اختلاف كميات الماء وزيادتها عند الاستخلاص بأحد الطرق الصناعية تغير كثيراً في التركيب الكيميائي له، ويوجد عدة طرق للحصول على المحلول الأرضي كما ذكرها (شفيق وآخرون) سنة ١٩٩٢ ونذكر منها مايلي:

١- طريقة العصر **Squeeze Method**: وذلك بوضع الأرض في مكبس خاص لعصرها حتى تُخرج ما بها من محلول. وبصفة عامة يزداد الضغط اللازم للاستخلاص كلما قلت نسبة الرطوبة في الأرض، وبهذه الطريقة لا يمكن الحصول على مقادير كبيرة من المحلول إلا إذا كانت كمية الرطوبة بالأرض كبيرة تزيد على ماتوجد به في الظروف الحقلية.

٢- طريق غشاء الضغط **Pressure Membrane Method**: وتستخدم هذه الطريق إذا كانت الأرض بها نسبة رطوبة قريبة من السعة الحقلية. حيث يتم تعريض عينة من الأرض لضغط على أغشية من النايلون أو السيليلوز ذات مسام ضيقة داخل إناء من الصلب، وتكون قوة الضغط المستخدمة في هذه الحالة حوالي ١٥ ض ج، وهي كافية لاستخلاص المحلول الأرضي حتى نقطة الذبول. وتعتبر هذه الطريقة وطريقة العصر السابق ذكرها من أفضل الطرق، حيث إنها لا تسبب تغيراً في التركيب الكيميائي للمحلول ويكون مائلاً للحقيقة تقريباً. وإن عابهما قلة الكمية المتحصل عليها من المحلول.

٣- طريقة الإحلال أو الإزاحة **Displacement Method**: وفيها يتم إحلال سائل غير فعال **Inert liquid** محل المحلول الأرضي، حيث يزاح المحلول الأرضي منها دون أن يتأثر تركيبه الكيميائي بشرط أخذ احتياطات معينة مثل قياس الانخفاض في درجة التجمد، ومتابعة التغير في تركيز المحلول بقياس درجة التوصيل الكهربائي له.

٤- طريقة الترشيح **Filtration Method**: وفيها توضع الأرض في جهاز ترشيح يعمل تحت جهاز تفريغ عالٍ يُساعد على استخلاص المحلول بالرشح.

٥- طريقة المستخلصات **Extractants Method** : وذلك عن طريق معاملة التربة بنسب مختلفة من الماء مثل مُستخلصات العجبية المشبعة، ١:١، ١:٥، ١:١٠... إلخ، ثم توضع على قرص مسامي به ورقة ترشيح مثل قمع بخنر **Buchner funnel**، وتُعرض لتفريغ كافٍ للحصول على المحلول الأرضي.

٦- طريقة الطرد المركزي السريع **Rapid Centrifugation** : وتعتبر أحسن وأسرع الطرق التي تؤدي إلى الحصول على المحلول الأرضي الحقيقي.

ولقد أثبتت البحوث أن التركيب الكيميائي للمحلول الأرضي يختلف تبعاً لفصول السنة؛ كما يختلف قبل الحصول عنه بعده. وبالرغم من أن دراسة المحلول الأرضي مهمة من ناحية تغذية النبات، غير أنه لا يمكن حتى الآن استخدام المعلومات الخاصة بتركيبه لمعرفة حاجة الأرض للتسميد بالعناصر المختلفة، إذ تتدخل عوامل أخرى تزيد من قدرة النبات على امتصاص العناصر من المركبات غير القابلة للذوبان في المحلول الأرضي منها:

١- خروج بعض الأيونات من على أسطح الغرويات الأرضية والتي يمكن أن يستفيد منها النبات بعد خروجها مباشرة.

ب- التحولات المستمرة في المادة العضوية طوال فترة نمو النبات مع تغير معدل هذه التحولات بتغير فصول السنة، مما يؤدي إلى اختلاف كميات العناصر الناتجة من التحول في فترات النمو المختلفة.

ج- اختلاف معدل امتصاص النبات للعناصر المختلفة تبعاً لدرجة نموه وعمره.

د- إن النبات لا يأخذ كل احتياجاته من العناصر الذائبة في المحلول، بل يمكنه الحصول على بعض العناصر بالتبادل الأيوني المباشر بين الجذور ومركب الأدمصاص بالأرض (التبادل بالتماس).

هـ- إن النباتات تفرز من جذورها مركبات تؤثر موضعياً على مكان التصاق الجذور بحبيبات الأرض، فتذيب بعض العناصر المغذية مثل: الفوسفات، وبذلك يمكن للجذور امتصاصها دون وصولها وانتشارها في المحلول الأرضي.

## العناصر الموجودة فى الهواء الأرضى

يعتبر الجزء الغازى Gaseous phase من التربة من أهم محتوياتها، ويطلق عليه اسم الهواء الأرضى . ويوجد فى المسافات البينية فى صورة حرة كما يوجد ذائباً فى ماء التربة . وهو جزء فعال فيها ولكنه غير ثابت التركيب والمكونات حتى فى التربة الواحدة، وعلى الرغم من أنه أساساً جزء من الهواء الجوى، غير إنه يختلف عنه فى ثلاثة اعتبارات :

١- احتواؤه على نسبة أعلى من غاز ثانى أكسيد الكربون .

٢- احتواؤه على مقدار أقل من الأكسجين .

٣- يكون مشبعاً ببخار الماء إلا فى الأراضى الجافة . ويرجع ذلك لبطء حركته فى التربة وعدم اتصاله السريع بالهواء الجوى واتصاله الدائم بالأغشية المائية المغلقة لحبيبات التربة، مع وجود عمليات حيوية دائمة فى التربة مثل : تنفس الجذور والأحياء الأرضية مما يزيد من نسبة  $CO_2$  عنها فى الهواء على حساب نقص الأكسجين (جدول ١-٢) . ويتوقف تركيب الهواء الأرضى على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيوية وخواص الأرض الطبيعية المتصلة بعملية التهوية .

جدول (١-٢) : مقارنة بين مكونات الهواء الجوى والهواء الأرضى (%)

الغاز	الهواء الأرضى	الهواء الجوى :
الأكسجين	٢٠	٢١
النيتروجين	٧٨,٦	٧٨,٣
ثانى أكسيد الكربون	٠,٢-٠,٥	٠,٠٣

والهواء الأرضى لازم أساسى لحيوية التربة والنبات النامى بها ولعمليات الأكسدة والكربنة الحاصلة داخلها، فأحياء التربة بما تقوم به من دور هام فى تحليل المادة العضوية وفى تثبيت الأزوت الجوى للأرض، يلزم لها الهواء بما فيه من أوكسجين لكى تقوم بدورها فى التربة . فإذا طُرد الهواء من الأرض نتيجة لتراكم الماء بها وقلت كمية الأكسجين اللازم لها، وقف نشاط الكائنات الهوائية وحل محلها فى النشاط البكتيريا اللاهوائية التى تستمد الأكسجين من مركباته فى التربة، فتعمل على اختزال هذه المركبات ومنها النترات والكبريتات .

أما النبات النامي فى الأرض فيلزم له الهواء فى طورى الإنبات والنمو، وفى طور الإنبات تحتاج البذور إلى نسبة معينة من الأكسجين تتوقف على نوع البذور. فالبقوليات تحتاج إلى كثير منه، بينما البصل والأرز لا تحتاج إليه إلا بمقادير قليلة. وبعض النباتات النصف مائية يمكنها استعمال الأكسجين الذائب فى ماء التربة مثل نباتات الأرز. ولكن الهواء عموماً لازم لتنفس الجذور أياً كان نوع النبات النامى. وفى الوقت نفسه تحتاج عمليات الأكسدة والكربنة فى التربة إلى وجود مكونات الهواء وهى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون إما منفردين أو ذائبين فى المحلول الأرضى.

ويعتبر الهواء الأرضى مصدراً هاماً لإمداد النبات بالنيتروجين وإن كانت معظم النباتات لا تستطيع الاستفادة من هذا النيتروجين مباشرة. وتقوم بعض الكائنات الدقيقة بتثبيت هذا النيتروجين وتحويله من الصورة الغازية  $N_2$  إلى صورة يمكن للنبات الاستفادة منها.

### صور تواجد العناصر الغذائية فى الأرض

يوجد العنصر الواحد فى التربة على أكثر من صورة يمكن إيجازها كما يلى:

- ١- ذائبة فى المحلول الأرضى وهى تامة الصلاحية للنبات.
- ٢- متبادلة على أسطح الغرويات (الطين والمادة العضوية) وهى صالحة للنبات، حيث إنها قابلة للانتقال إلى المحلول الأرضى بسرعة نتيجة لتفاعلات التبادل الأيونى.
- ٣- موجودة فى صورة معادن شحيحة الذوبان على صورة غير صالحة لامتصاص النبات، ولكن يمكن أن تتحول ببطء إلى صورة صالحة نتيجة لفعل عوامل التجوية الكيميائية.

٤- موجودة فى المادة العضوية على صورة غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص، تعمل الكائنات الدقيقة على تحلل هذه المواد وتحويلها إلى الصورة الصالحة للامتصاص.

ويمكن تعريف الصورة الصالحة من العنصر بأنها الصورة أو الصور من العنصر التى يستطيع النبات أن يمتصها بسهولة والتى عند حدوث تغير فى كميتها يقابله تغير فى نمو النبات وأيضاً فى محصوله.

وتتوقف قدرة الأرض على إمداد النبات بحاجته من العناصر الغذائية كما اقترح Schofeld سنة ١٩٥٥ على:

١- كمية العنصر الذائب في المحلول الأرضي ويمثل ذلك بما يسمى بعامل الشدة Intensity factor حيث إن ذلك يمثل المصدر الأول والمباشر للعناصر الممتصة بواسطة النبات. ويمكن القول بأن وفرة العنصر الغذائي بالتربة لتلبية احتياجات النباتات لا تعتمد على تركيز العنصر في المحلول الأرضي بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب والتي يعبر عنها بعامل الكم أو عامل السعة.

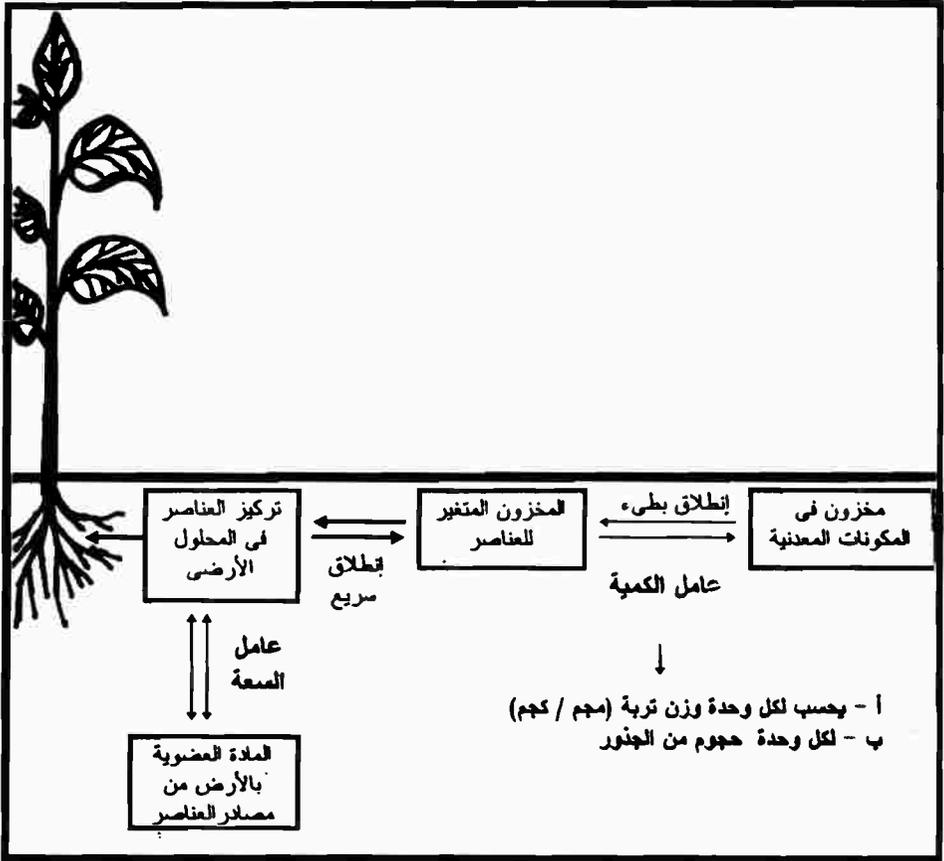
٢- قدرة الأرض على تجديد النقص في تركيز المحلول الأرضي من العنصر والذي يُعرف بعامل السعة Capacity factor أو عامل الكم Quantity factor ويمثل المخزون الاستراتيجي من العنصر في الطور الصلب والقابل للانتقال إلى المحلول الأرضي لتعويض نقصه خلال فترة حياة النبات، ويوضح شكل (٢-٢) توزيع العنصر في الصور المختلفة (حسب درجة تيسره) وطبيعة التوازن بين هذه الصور. ويمكن تحديد عامل السعة (الكمية) بالتالي:

أ- كمية العنصر الموجودة في حالة توازن سريع مع ما هو موجود منه في المحلول الأرضي. مثال ذلك أيونات البوتاسيوم والفوسفور المدمصة على الأسطح الخارجية للغرويات الأرضية.

ب- الكمية من العنصر التي في حالة اتزان متوسط مع ما هو موجود منه في المحلول الأرضي، مثال ذلك البوتاسيوم والأمونيوم المثبت Fixed والفوسفور المرسب حديثاً.

ج- الكمية الموجودة في حالة اتزان بطيء مع الكمية الموجودة في المحلول الأرضي، ومثال ذلك النيتروجين والفوسفور والكبريت الموجود في تركيب المادة العضوية والذي يحتاج إلى وقت لكي يتحول إلى صورة صالحة للنبات. أيضاً المركبات القليلة الذوبان مثل: مركبات الفوسفور وبعض مركبات العناصر الصغرى.

ويتضح مما سبق أن التفاعل المستمر مابين المحلول الأرضي ومكونات الأرض المختلفة يتأثر ببعض العمليات الكيميائية والتي من أهمها:



شكل (٢-٢): مفهوم تأثير النسبة بين عامل الشدة إلى عامل السعة على تيسر العناصر الغذائية للنبات

- ١- التبادل الأيوني وتأثره بالسعة التبادلية الكاتيونية.
- ٢- عمليات ذوبان وترسيب العناصر ويتحكم فيها رقم  $pH$  الأرض. وسوف نتناول فيما يلي كل عملية بشيء من الإيجاز وأثرها على توفر العناصر الغذائية في صورة ذائبة.

## التبادل الأيوني والسعة التبادلية الكاتيونية

### Ion Exchange and Cation Exchange Capacity

تعتبر تفاعلات التبادل الأيوني من أكثر التفاعلات الموجودة في الطبيعة أهمية بعد عملية التمثيل الضوئي لما لها من أهمية في تغذية النبات . وكما هو معروف بأن غذاء النبات عبارة عن مجموعة من العناصر الكيميائية في صورة أيونية، وتؤثر كمية ونوعية هذه الأيونات الموجودة في التربة على إمداد النباتات بحاجتها من الغذاء . ولتوضيح أهمية التبادل الأيوني فإنه من الأهمية معرفة أن غذاء النبات يكون في الصورة الأيونية للعناصر، وهذه الأيونات لا توجد في المحلول الأرضي فقط بل توجد أيضاً مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية . وخاصة الأدمصاص هذه هي التي تحفظ أيونات العناصر، فلو أن غذاء النبات كان ذائباً في المحلول الأرضي، فإنه سرعان ما يفقد بالغسيل، وبالتالي يحرم النبات من الاستفادة منه .

والتبادل الأيوني ببساطة عبارة عن عملية عكسية **Reversible process** للتبادل بين الأيونات الموجودة في المحلول الأرضي وتلك الموجودة على أسطح معقدات التبادل، وفي حالة تلامس أسطح معقدات التبادل فمن الممكن أن يحدث التبادل بين الأيونات دون مرور الأيون بالمحلول الأرضي وهذا ما يعرف بالتبادل بالتماس بين الغرويات الأرضية . ويشمل التبادل الأيوني تبادل كل من الكاتيونات والأنيونات، ويعتبر تبادل الكاتيونات أكثر أهمية ووضوحاً من تبادل الأنيونات بالنسبة لتغذية النبات .

بعد أن عرفنا بأن هناك ثلاثة مكونات للأرض وما يهمننا من تلك المكونات هو الجزء الصلب سواء كان معدنياً أو عضوياً . ويتكون الجزء المعدني من مكونات صلبة للمعادن الأولية والثانوية وهي عبارة عن حبيبات من الصخور ذات أحجام الغروى . بينما الجزء العضوي يتكون من البقايا النباتية والحيوانية الموجودة في مختلف مراحل تحللها، بما فيها من دبال . ويعتبر الجزء الناعم من التربة والذي يقل قطر حبيباته عن ٢٠ ميكرون هو قاعدة التبادل الأيوني، ويشمل هذا الجزء كل معادن الطين وجزء من السلت، بالإضافة

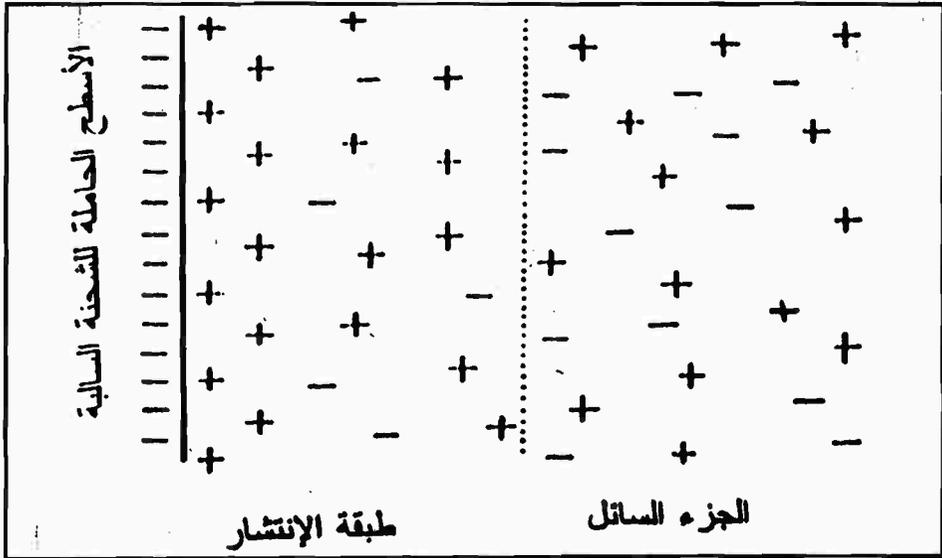
إلى الغرويات العضوية . وعلى ذلك نجد أن الطين هو المحدد لخواص الأرض الطبيعية والكيميائية والعامل الأساسى فى تفاعلاتها . ولذلك فإن لبناء الطين وحببياته دور كبير فى القدرة على ربط الأيونات على سطوحها وتبادلها مع غيرها من الأيونات فى الوسط المحيط . ويجب أن نتخيل الصورة العامة للتربة ككتلة من الحبيبات المحاطة بالمحلول الأرضى ، وهذه الحبيبات يكون لها القدرة على التجاذب ومسك الأيونات المخالفة لها فى الشحنة ، وتتنافر مع الأيونات ذات الشحنة المتشابهة طبقاً لقوانين التعادل الكهربى Laws of electrical neutrality حيث تتراكم كمية متساوية من الشحنات العكسية فى المحلول الأرضى بالقرب من السطح المشحون . وعندها تتجاذب الكاتيونات الموجبة الشحنة مع الشحنات السالبة والموجودة على السطح وتعمل قوى الانتشار على وضعها فى اتجاه المحلول المتزن . وظروف توزيع الكاتيونات فى طبقة الانتشار **diffuse layer** تعتمد على زيادة تركيز الكاتيونات بقيمة عالية فى اتجاه سطح حبيبة الغروى عنه فى المحلول والتي تقدر بمقدار شحنة السطح . وفى نفس الوقت نجد أن الأنيونات التى تحمل شحنة سالبة تتنافر وتكون قوى انتشارها فى اتجاه مغاير مما يقلل من تركيز الأنيونات عند السطح . ومن خلال عمليات تجاذب الكاتيونات للسطح وتنافر الأنيونات بعيداً عن السطح تنشأ طبقة مزدوجة كهربياً ويوضحها شكل (٢-٣) .

وكما سبق القول فإن معظم معادن الطين تحمل شحنة سالبة **Negative charge** وهذا حقيقى فى أراضى المناطق المعتدلة والجافة ، وعلى ذلك فهذه الشحنات السالبة يتم معادلتها بواسطة الأيونات الموجبة الشحنة والسابحة فى المحلول الأرضى ( الكاتيونات ) بقوة جذب الكترولستاتيكية ( تسمى قوى كولومب **Coulomb forces** ) ، وتناسب شدة التجاذب تناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنة الكاتيون ( الشحنة الموجبة )  $\times$  شحنة الطين ( الشحنة السالبة ) وكذلك تناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين ( قانون كولومب **Coloumb Law** ) كما فى المعادلة التالية :

$$F = a^+ \cdot a^- / D \cdot r^2$$

حيث **F**: قوة الجذب ، و  $a^+$  ،  $a^-$  شحنة كل من الكاتيون والانيون على التوالى و **D** ثابت و **r** المسافة بين الشحنتين .

أى أن التبادل الأيوني يتم على أسطح المواد الحاملة للشحنة الكهربائية، حيث إن الأجسام ذات الشحنة تجذب إلى سطحها أيونات ذات شحنة مخالفة لشحنتها ومكافئة لها تماماً. ويمكن أن تتبادل الأيونات التي تعادل شحنة الجسم مع أيونات مماثلة لها في الشحنة كما ونوعاً أى تكافئها تماماً. وعلى ذلك نجد أن الجسم السالب الشحنة يجذب إلى سطحه كاتيونات بالقدر الذى يعادل شحنته السالبة، وأن الجسم الذى يحمله



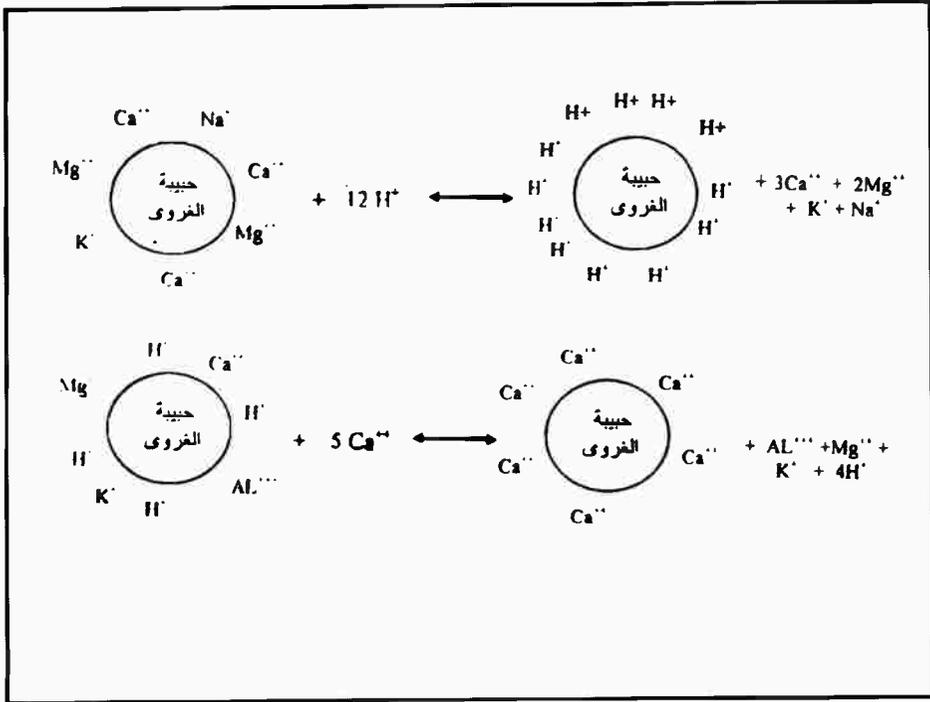
شكل (٢-٣): توزيع الشحنات الكهربائية فى الطبقة المزوجة

شحنة موجبة يجذب إلى سطحه أنيونات تعادل شحنته الموجبة، ويمكن فى جميع الأحوال حدوث تبادل كاتيونى أو أنيونى بين تلك المسوكة على أسطح التبادل ونظيرتها الموجودة فى الوسط المحيط، بحيث يتم التوازن بين الأيونات المتبادلة والذائبة فى الوسط، وشكل (٢-٤) مثال لعملية التبادل الكاتيونى.

والواقع أن الطين فى حالته الطبيعية فى الأرض تكون أسطحه محملة بكاتيونات مختلفة، كما أن الأرض تختلف فى قدرتها على تبادل الكاتيونات بصفة عامه. وتتوقف قدرة الأرض على التبادل الأيوني على:

١- كمية الطين: الزيادة أو النقص فى كمية الطين فى الأرض تؤثر على قدرتها على

التبادل باعتبار أن الطين هو الذى يقوم بهذه العملية فالأرض الطينية أكبر قدرة على التبادل من الأرض الطميية، والأخيرة أكبر من الرملية.



شكل (٢-٤): مثال توضيحي لعمليات التبادل الكاتيوني

فى المثال العلوى يحدث تبادل بنسبة ١٠٠٪ للقواعد الأرضية بواسطة أيون الأيدروجين وذلك بإضافة محلول يحتوى على الأيدروجين (وقد يحدث ذلك فى الطبيعة فى المناطق الرطبة وعند تعرض الأراضى المتعادلة إلى أمطار حمضية تحوى حمض كربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). وفى المثال الموجود لاسفل حدث تبادل بنسبة حوالى ٤٠٪ من الكاتيونات بإضافة محلول يحتوى على أيون الكالسيوم (ويحدث ذلك عند إضافة الجير للأراضى الحامضية).

٢- نوع معادن الطين: فمعادن الطين ذات الشحنات الثابتة أو الدائمة (permanent surface charge or constant) وتشمل معادن من نوع ٢:١ ومنها

المونتيمور يملونيت، الفيرميكيولايت والإيليت تكون أعلاها قدرة، بينما معادن طين ذات الشحنة المتغيرة والتي تتوقف على درجة تفاعل الأرض pH-dependant surface charge (or variable) ومنها معادن من نوع ١: ١ مثل الكاؤولينيت تكون أقلها.

٣- محتوى الأرض من المادة العضوية: حيث تزداد القدرة على التبادل بزيادة المادة العضوية المتحللة في الأرض.

وتقاس قدرة الأرض على التبادل الأيوني بما يسمى بالمليمكافىء أيون لكل ١٠٠ جرام من الأرض (المليمكافىء = الوزن المكافىء للعنصر  $\times 10^{-3}$ ) ويطلق على مجموع مليمكافئات الكاتيونات المتبادلة على أسطح ١٠٠ جم أرض أسم السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (C.E.C) لهذه الأرض والتي تختلف من معدن لآخر ومن أرض لأخرى (جدول (٢-٢)).

والواقع أن هذه السعة التبادلية الكاتيونية تُشغل بالقواعد الأرضية وهى الكالسيوم  $Ca^{2+}$  ويشغل حوالى ٨٠٪ من الـ C.E.C للأرض، والمغنسيوم  $Mg^{2+}$  يشغل من ٥-١٥٪ منها ثم البوتاسيوم  $K^+$  والصوديوم  $Na^+$  وقليل من الأيدروجين والالومنيوم ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ) حيث لا يوجدان على صورة مُتبادلة على أسطح الطين إلا فى الأراضى الحامضية.

وبصفة عامة فإن نسب الكاتيونات المتبادلة على أسطح الطين ليست ثابتة وتتغير باستمرار نتيجة للعمليات الزراعية المختلفة مثل: إضافة الأسمدة أو الجبس الزراعى - امتصاص النبات للأيونات المختلفة وعمليات الغسيل (الصرف) وخلافه.

ماذا تعنى الـ C.E.C للأراضى الزراعية:

إن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية تعتبر ميسرة للنباتات النامية فى تلك الأرض، حيث يكون من السهل تبادلها مع أيونات الأيدروجين الموجود على أسطح الشعيرات الجذرية للنبات عن طريق التبادل بالتماس، أو التبادل مع الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى ثم الامتصاص مباشرة من المحلول بواسطة الجذور. ومن

جدول (٢-٢): السعة التبادلية الكاتيونية (C.E.C) لبعض معادن الطين وبعض الأراضي

نوع الأرض أو الغروي	الـ C.E.C ملليمكالي/ ١٠٠ جم
كازلينيت	١٥-٣
إيلليت	٥٠-٢٠
مونتموريللونيت	١٣٠-٩٠
فيريكولوايت	١٨٠-٥٠
مادة عضوية	٢٠٠-١٠٠
أرض رملية	٥-٣
أرض طميية	٢٠-٥
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى ٤٠

المعروف بأنه عند إضافة الأسمدة للتربة الزراعية سرعان ما تذوب في المحلول الأرضي ولو أن هذا هو كل ما يحدث فسوف تُفقد بنفس السرعة مع مياه الصرف. ولكن مع وجود قيمة مرتفعة للسعة التبادلية الكاتيونية للتربة يحدث ادمصاص للشق الكاتيوني من السماد على أسطح الغرويات الأرضية نتيجة حدوث عملية التبادل الأيوني، وفي النهاية تحفظ تلك الكاتيونات من الفقد، ثم تصبح ميسرة للنبات فيما بعد. ويمكن إيجاز مدلول قيمة السعة التبادلية الكاتيونية للأرض فيما يلي:

- ١- تدل السعة التبادلية للأرض على قدرتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية. فكلما كانت القيمة مرتفعة كلما دل ذلك على زيادة السطح النوعي للتربة وبالتالي كبر المخزون الغذائي.
- ٢- تدل على توافر معادن معينة ذات سعة تبادلية عالية أو وجود نسبة عالية من المادة العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعة التبادلية المرتفعة في تلك الأرض.
- ٣- من معرفة نوع الكاتيون السائد على معقد الأدمصاص يمكن معرفة بعض الخواص

الكيميائية السائدة فى تلك الأرض، فمثلاً إذا كان الكاتيون السائد هو الأيدروجين اعتبرت الأرض حامضية وتعالج مشاكلها بإضافة الجير. وإذا ساد كاتيون الصوديوم تكون الأرض قلوية وتعالج بإضافة الجبس الزراعى. فى حين أنه عند سيادة أيون الكالسيوم تصبح الصفات الطبيعية للتربة جيدة نتيجة تكوين التجمعات الأرضية. ويمكن الرجوع إلى موضوع التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية بتفصيل أكثر من مجال كيمياء الأراضى وخصوبة الأراضى.

### التبادل الأيونى على جذور النبات :

تتميز جذور النبات بأن لها خواص غروية مثل : حبيبات الطين أو المواد العضوية المتحللة، ويمكن أن تقوم بعملية التبادل الكاتيونى والإدمصاص ولذلك فإن للجذور سعة تبادلية كاتيونية C.E.C وتعرف على أنها ملليمكافئات الكاتيونات المدمصة على أسطح ١٠٠ جم جذر، وتتغير السعة التبادلية الكاتيونية للجذور حسب عدة عوامل منها: عمر النبات -نوع النبات- العناصر الغذائية المستعملة وقت النمو -درجة الحرارة التى ينمو فيها النبات.

وتحمل جذور النبات شحنة سالبة سطحية، وتختلف كثافتها حسب نوع النبات وعمره وتركيب البيئة النامى فيها. وعموماً تكون الجذور صغيرة السن نشطة، وبالتالى تصبح السعة الامتصاصية لها عالية وتقل بزيادة العمر. ومن الدراسات المختلفة لوحظ أن السعة التبادلية الكاتيونية لجذور النباتات ذات الفلقتين (مثل العائلة البقولية) أكبر منها للنباتات أحادية الفلقة (مثل محاصيل الحبوب)، كذلك فإن الجذور ذات السعة التبادلية العالية تمتص الكاتيونات الثنائية والثلاثية أكثر من الكاتيونات الأحادية والعكس صحيح. ولذلك يمكن تفسير سبب استفادة النباتات البقولية من الفوسفات صعبة الذوبان فى الأرض عن النباتات النجيلية، حيث إن البقوليات لها جذور ذات سعة تبادلية عالية فتمتص الكالسيوم من فوسفات الكالسيوم صعبة الذوبان وتترك الفوسفات فى صورة صالحة للامتصاص بسهولة عن وجوده مرتبطاً بالكالسيوم.

أى أن النباتات ذات الجذور التى سعتها التبادلية الكاتيونية العالية مثل : البرسيم الحجازى يمتص الكالسيوم بقوة أكبر وتفضله عن البوتاسيوم. أما النباتات ذات الجذور منخفضة فى السعة التبادلية الكاتيونية مثل : القمح يقل احتفاظها بالكالسيوم وتستطيع

أن تمتص البوتاسيوم بسهولة. وجدول ( ٢-٣ ) يعطى بعض الامثلة على قيم الـ C.E.C لبعض النباتات المختلفة.

جدول (٢-٣): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات

نوع النبات	السعة التبادلية الكاتيونية (مليمكافىء/ ١٠٠ جم مادة جافة)
القمح	٢٣
الذرة	٢٩
اللوبياء	٥٤
الطماطم	٦٢

عن Marschner سنة ١٩٩٥.

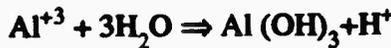
## رقم حموضة الأرض (pH)

### وعلاقته بصلاحية العناصر الغذائية للنبات

يعتبر تفاعل التربة من العوامل المهمة التي تجعل الأرض وسط ملائم لنمو النباتات والكائنات الدقيقة الموجودة بها، والمقصود بتفاعل التربة هو كون هذه التربة حامضية -متعادلة- أو قاعدية. ودرجة الحموضة أو القاعدية تقاس بما يعرف برقم الـ pH ( اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في الوسط معبراً عنه بالمول / لتر )  
(pH = -log [H]).

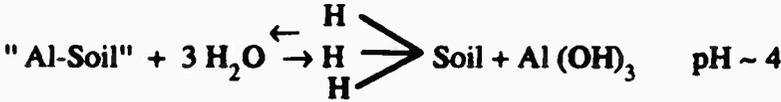
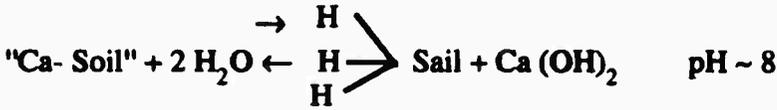
في معظم الحالات يتم تقدير درجة حموضة التربة في معلق تربة مهلول إلكتروليتي مخفف (غالباً ٠,٠١ مولار من كلوريد الكالسيوم أو بواصلة الماء، علماً بأن في الحالة الأولى تكون القيمة المتحصل عليها أقل منها في الحالة الثانية بمقدار يتراوح بين ٠,٣-١,٠ وحدة بمتوسط ٠,٦ وحدة، ويرجع ذلك لإحلال الكالسيوم محل الأيدروجين المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية وينطلق الأيدروجين إلى المحلول الأرضي وفي صورة نشطة). عموماً تكون الأراضي الحامضية ذات مشاكل أكثر بالمقارنة بالأراضي القاعدية، وتتركز الأراضي الحامضية في وسط أوروبا، حيث يتراوح رقم الـ pH فيها من ٣-٨ بمتوسط ٥-٦,٥. في حين نجد أن الأراضي القاعدية تتركز في المناطق الجافة وتكمن مشاكلها في زيادة نسبة الأملاح أو الصوديوم بها.

عادة يكون كل من الأيدروجين أو الأومنيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية هو المسبب لخفض درجة حموضة التربة pH، حيث يؤدي انطلاق الأيدروجين من على سطح الغروى إلى المحلول الأرضي إلى زيادة كمية الأيدروجين النشط به وهذا يؤدي إلى خفض درجة الحموضة، ونفس السبب أيضاً ينتج من خروج أيون الألومنيوم من على أسطح التبادل نتيجة عملية التبادل الأيوني ومع حدوث التحلل المائي للألومنيوم ينتج أيونات الأيدروجين كما توضحها المعادلة التالية:



## أساس تفاعل التربة Principle of Soil Reaction

تعتبر معقدات التبادل بالتربة أملاح حامضية ضعيفة أو أملاح للقواعد التي تختلف فى قوتها من الضعيفة إلى القوية (Al (OH)<sub>3</sub> إلى NaOH) والتي لها القدرة على التحلل المائى . وفى سنة ١٩٨٤ ذكر (Schroeder) مثال لتأثير التحلل المائى لبعض القواعد المتبادلة على رقم الـ pH ( فى حالة غياب ثانى أكسيد الكربون لتأثيره على خفض رقم الـ pH ) فعند خروج أيون الصوديوم من على أسطح التبادل و حدوث التحلل المائى له نجد أن قيمة رقم الـ pH للوسط ترتفع إلى حوالى ١١ ، فى حين نجد أن الألومنيوم يؤدي إلى خفض قيمة رقم الـ pH إلى حوالى ٤ .



وطبيعى أن هذا المثال لا ينطبق على الاراضى تحت الظروف العادية؛ وذلك لأنها فى الغالب تحتوى على خليط من الكاتيونات المختلفة . ويجدر الإشارة هنا إلى أن تأثير البوتاسيوم يكون مائلا لتأثير الصوديوم، فى حين يكون تأثير الماغنسيوم مائلا لتأثير الكالسيوم . وعلى هذا نجد أن درجة الحموضة أو القاعدية يتحكم فيها بدرجة كبيرة سيادة أيونات  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  بالإضافة إلى الأيدروجين . عموماً تصبح الارض شديدة الحموضة عندما يسود أيون الأيدروجين، فى حين تقل الحموضة وتنتج إلى التعادل مع سيادة الكالسيوم ( مع الماغنسيوم والبوتاسيوم والأيدروجين )، بينما بسيادة الصوديوم تصبح الارض قلوية ( نسبة الصوديوم أكبر من ١٥ ٪ من الـ C.E.C للارض وذات pH أعلى من ٨,٥ ) .

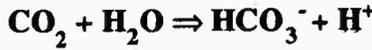
## مسببات حموضة التربة Causes Of Soil Acidity

كما سبق ذكره أن السبب الرئيسي فى انخفاض رقم pH التربة هو زيادة تركيز أيون الأيدروجين فى المحلول الأرضى، وفى نفس الوقت غسيل القواعد الأرضية كما هو الحال فى المناطق الممطرة، أيضاً يتأثر pH التربة الزراعية بمعادن الأرض السائدة، وبمعنى أدق مادة الاصل الناشئة منها تلك الأرض. حيث وجد أن مع سيادة القواعد بتلك المعادن ومع حدوث عمليات التجوية تنطلق تلك القواعد ويحدث تشبع لمواقع التبادل بهذه القواعد مما يؤثر على pH التربة، هذا بجانب عوامل أخرى مؤثرة ومنها المناخ، عمر الأرض، .. إلخ. ومن ناحية تأثير مادة الاصل يمكن ترتيب الصخور النارية على خفض الـ pH كما يلى:

البازلت Basalt < الديوريت Diorite < الجرانيت Granite

ومن أهم مصادر الأيدروجين فى التربة ما يلى:

١- ثانى أكسيد الكربون الناتج من تنفس الكائنات الدقيقة وجذور النباتات وأيضاً الناتج من عملية الاكسدة للمادة العضوية بالتربة:



وبالتالى يكون الهواء الأرضى ذا محتوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون، وبالتالي يكون له تأثير على خفض pH التربة وخاصة فى الأراضى ذات السعة التنظيمية المنخفضة، والبيانات الموجودة فى جدول (٢-٤) توضح قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذى محتوى مختلف من ثانى أكسيد الكربون.

٢- الأيدروجين الناتج من جذور النباتات: كما هو معروف عند امتصاص الجذور للكاتيونات مثل  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  أو أى كاتيونات أخرى لابد أن يحدث توازن أيونى داخل الجذر، وعلى هذا تفقد الجذور جزءاً من محتواها من الأيدروجين لإحداث هذا التوازن.

٣- تحلل المادة العضوية: بجانب انطلاق ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية الاكسدة ينتج العديد من الأحماض العضوية التى لها تأثيرها على خفض الـ pH ومنها حمض الفلبيك Fulvic acid وحمض الهيوميك Humic acid.

جدول (٢-٤): قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذات محتوى مختلف من ثاني أكسيد الكربون

قيمة الـ pH	ثاني أكسيد الكربون (حجم %)	
٥,٦	٠,٠٣	الهواء الجوي
٥,٢	٠,٣٠	الهواء الأرضي
٥,٠	١,٠٠	
٤,٥	١٠,٠٠	

عن Schroeder سنة ١٩٨٤.

٤- أكسدة بعض الصور المختزلة لبعض العناصر: ويتضح ذلك في أكسدة كبريتيد الأيدروجين  $H_2S$  إلى كبريتات أو حمض كبريتيك، أيضاً أكسدة الأمونيوم إلى نترات ثم نترات أو حمض النيتريك.

٥- التلوث البيئي: كما هو الحال في المناطق الصناعية ذات الهواء الغني في الأكاسيد الكبريتية والأزوتية، ومع ذوبان تلك الأكاسيد في مياه الأمطار ينتج عنها مياه أمطار شديدة الحموضة ذات pH حوالي ٤ بالمقارنة بمياه الأمطار النظيفة والتي تحوي ثاني أكسيد الكربون فقط والتي تكون ذات pH قدرة ٥,٦.

٦- الأسمدة ذات التأثير الحامضي: من هذه الأسمدة السوبر فوسفات وكبريتات الأمونيوم والسوبر فوسفات.

ولزيد من التفاصيل عن pH التربة ومسببات الحموضة وطرق قياس الـ pH يمكن الرجوع إلى مجال كيمياء الأراضي.

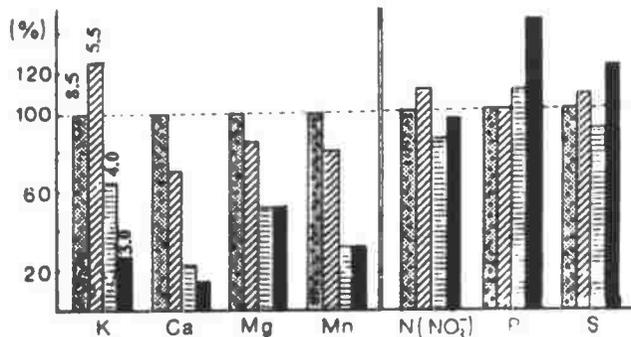
ولتفاعل التربة تأثيره الكبير على درجة صلاحية العناصر المغذية للنبات والتي تكون في أعلى درجة صلاحية لها عند رقم pH يتراوح ما بين ٦,٥ - ٧,٥ كما في (شكل ٢-٥). ويمكن إيجاز تأثير ارتفاع وانخفاض pH التربة على جعل العناصر المغذية في صورة أقل صلاحية كما يلي:

## أولاً: انخفاض pH التربة عن ٥,٥ :

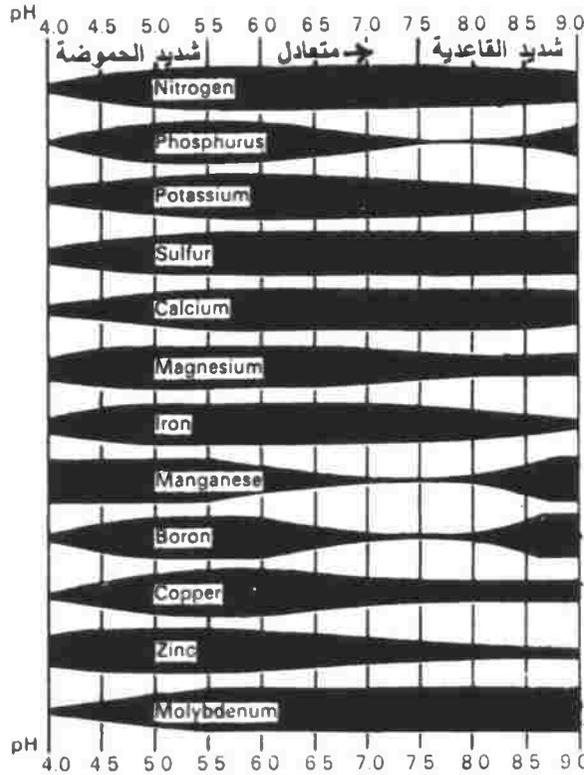
- ١- الفوسفور يحدث له ترسيب لآتحماده مع الحديد والالومنيوم وتتكون مركبات غير ميسرة للنبات.
- ٢- العناصر الصفري Micronutrients كل العناصر الصفري فيما عدا الموليبدنم Mo تصبح أكثر ذوباناً بزيادة الحموضة، وأعراض نقص هذه العناصر نادر ظهورها عند pH أقل من ٧ تقريباً.
- ٣- الالومنيوم مع انخفاض رقم pH الأرض عن ٥,٥ ينفرد الالومنيوم نتيجة لتهدم معادن الطين، ويصبح ذائباً لدرجة السمية بالنسبة للنبات.
- ٤- عملية التآزت Nitrification بانخفاض pH التربة عن ٥,٥ يقل النشاط البكتيري، وبالتالي تقل عملية معدنة النيتروجين العضوي، وبالتالي عملية التآزت مما يؤثر على مستوى النيتروجين الصالح للنبات في الأرض. حيث وجد أن السيادة تكون للفطريات عند pH أقل من ٥,٥، بينما تكون السيادة للبكتيريا عند pH أكبر من ذلك.

## ثانياً: ارتفاع pH التربة عن ٨ :

- ١ - الفوسفور: في وجود الكالسيوم، يتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية ثم الثلاثية، وبالتالي يقل الفوسفور الميسر للنبات. ومع ارتفاع الرقم عن ٨,٥ وفي وجود الصوديوم يصبح الفوسفور ذائباً في صورة فوسفات صوديوم ذائبة.
- ٢ - البورون: يصبح ميسراً لدرجة السمية وخاصة في الأراضي الملحية والصودية.
- ٣ - الصوديوم: معظم الأراضي ذات pH أعلى من ٨,٦ تكون نسبة الصوديوم المتبادل (E.S.P) أكبر من ١٥٪، مما يؤثر على البناء الأرضي، وبالتالي لابد من استصلاحها بإضافة الجبس الزراعي لتحسين صفاتها.
- ٤ - عملية التآزت بارتفاع pH التربة يقل النشاط البكتيري، وبالتالي تقل عملية التآزت. كذلك يؤدي ارتفاع رقم pH كما هو في الأراضي القلوية إلى تطاير الأمونيا من الأرض عند إضافة الأسمدة النشادرية لها.



تأثير pH المحلول المغذي على امتصاص العناصر الغذائية بواسطة نباتات اللوبيا

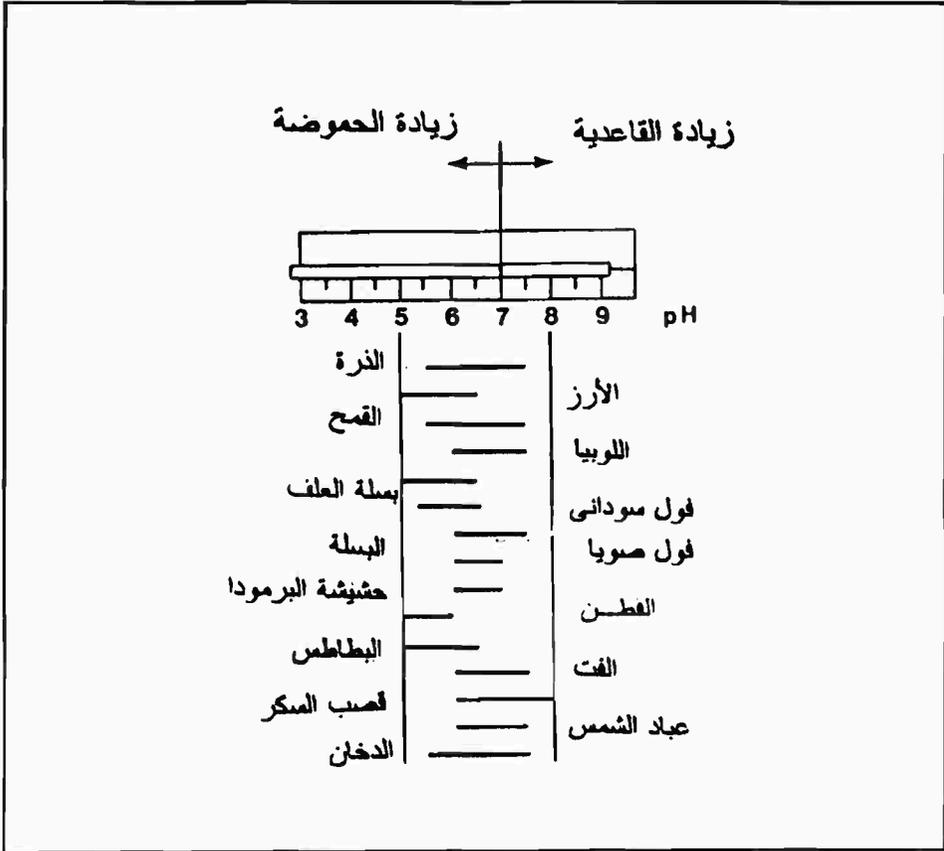


ويلاحظ أن أعرض جزء مظلل يمثل أقصى تيسر للعنصر

شكل (٢-٥): العلاقة بين رقم pH التربة والتيسر النسبي للعناصر الغذائية

٥- العناصر الصغرى تقل درجة صلاحيتها بزيادة pH التربة فيما عدا عنصر الموليبدنم Mo.

بالإضافة إلى ما سبق تتأثر جذور النباتات بتفاعل التربة حيث ينخفض نمو النبات بشدة في الاراضى شديدة الحموضة نتيجة لذوبان الألمونيوم مما يؤدي إلى سمية الجذور. وتختلف النباتات في مدى تحملها لدرجات متفاوتة من الـ pH في الاراضى، ويختلف الـ pH الامثل لنمو النبات من نبات إلى آخر فمثلاً نباتات الشاي والبطاطس والآناس والصنوبريات تتحمل درجات شديدة من الحموضة وتنمو بدرجة جيدة بعكس نباتات أخرى مثل: الشعير والدخان والبرسيم والتي تنمو بطريقة جيدة في الاراضى القاعدية الخفيفة، بينما الأرز والذي ينمو تحت ظروف الارض المغمورة بالماء ينمو بدرجة جيدة في مدى واسع من الـ pH وشكل (٢-٦) يوضح المدى الملائم من الـ pH لبعض المحاصيل المهمة.



شكل (٢-٦): المدى الملائم من الـ pH للمحاصيل المختلفة