الفصل الثانى

المحـــلـــول الأرضـــى Soil Solution

التبـــادل الأيـــونـــى Ion Exchange

رقم حموضة الأرض Soil PH

obeikandl.com

obeikandl.com

المحلول الأرضى Soil Solution

يقصد بالمحلول الأرضى ذلك السائل الذى يوجد فى الأرض تحت الظروف الحقلية العادية، وهو عبارة عن محلول إلكتروليتى (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 فى الماء من أملاح Cu, Fe, Mn, ومركبات عضوية ذائبة لها صفات مخلبية تساهم فى زيادة نشاط صلاحية العناصر للنبات، ومواد غروية كما قد يحتوى على ملوثات عضوية أو غير عضوية كنتيجة للنشاط الإنسانى، وكل هذه المكونات السابقة تكون فى حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض، ويعتبر المحلول الأرضى أكثر أجزاء الأرض نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية ويكون مصدراً مُباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية والتى تتعدد مصادرها فى التربة (ناتج تجوية معادن الأرض- تحلل المادة العضوية- تترسب من الجو- إضافة الأسمدة- تسرب العناصر من مناطق أخرى) .

ويحفظ الماء الأرضى فى الفراغات البينية الموجودة بين حبيبات التربة والتجمعات الأرضية بدرجات متفاوتة من الارتباط، حيث يوجد قوى كبيرة للالتصاق Adhesion forces بين جزيئات الماء وحبيبات التربة، والتى تحدد بشكل كبير حركة الماء فى التربة، وبالتالى الكمية المتاحة للاستهلاك بواسطة النبات. وقوى الالتصاق هذه كبيرة للدرجة التى لاتجعل كل الماء الأرضى ميسراً للامتصاص بواسطة جذور النبات. فعند ظهور بوادر الذبول على النباتات، أو حتى تعرضها للموت فإن ذلك لايعنى 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 فى النظام الأرضى. فمثلاً متوسط مخزون البوتاسيوم فى الأرض حوالى ٣٠٠٠٠كجم/ فدان لعمق ١٥ سم، بينما لاتزيد الكمية الذائبة عن ١٠-٣٠كجم/ فدان فقط. وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية فى المعادن إلى ١٠٠٠ كجم/فدان ١٥سم، ولكن

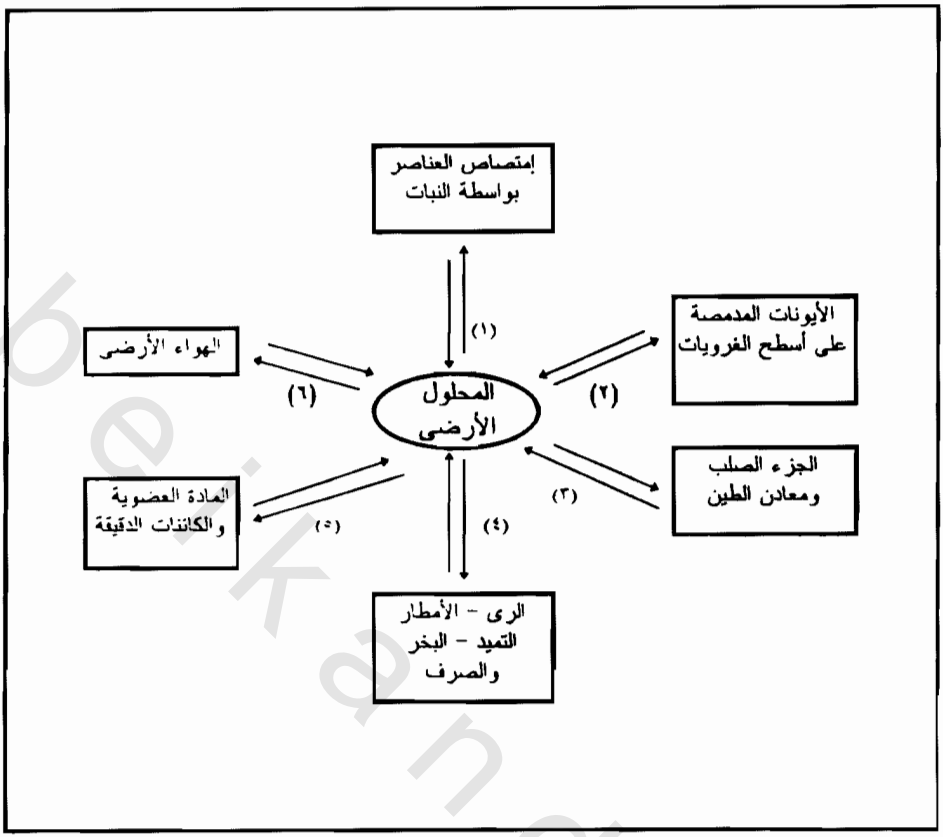
الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لاتزيد عن ١,٠ -١ كجم. والعكس مع الكلوريد حيث يمكن أن يتواجد جزء كبير من مخزونه الكلى الموجود فى الأرض ذائباً فى المحلول الأرضى وذلك لارتفاع درجة ذوبان مركباته (أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢).

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 وبنُظم أخرى محيطة به تؤدى 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 أوكسيد الكربون (من جذور النباتات) الذى يذوب فى الماء ويُصبح 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، وبالتالى 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 (٢-١) : العلاقة بين تركيز مكونات المحلول الأرضى ومكونات الأرض الأخري

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

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

٦- المحلول الأرضى فى حالة اتزان مع الطور الغازى والهواء الأرضى، فقد يحدث انطلاق لبعض الغازات الموجودة بالمحلول الأرضى إلي الهواء الجوى أو يحدث إذابة لبعض مكونات الهواء الأرضى فى المحلول الأرضى.

وعلى هذا نجد أن كل أيون ذائب فى المحلول الأرضى يكون فى حالة اتزان مع الصورة الصلبة والصورة المدمصة منه فى 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 فى التركيب الكيميائى له، ويوجد عدة طرق للحصول على المحلول الأرضى كما ذكرها (شفيق وآخرون) سنة ١٩٩٢ ونذكر منها مايلى:

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

٢- **طريق غشاء الضغط Pressure Membrane Method**: وتُستخدم 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 فى هذه الحالة حوالى ١٥ ض جـ وهى كافية لاستخلاص المحلول الأرضى حتى نقطة الذبول. وتعتبر هذه الطريقة وطريقة العصر السابق ذكرها من أفضل الطرق، حيث إنها لاتسبب تغيراً فى التركيب الكيميائى للمحلول ويكون مماثلاً للحقيقة تقريباً. وإن عابهما قلة الكمية المُتحصل عليها من المحلول.

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

٤- **طريقة الترشيح Filtration Method**: وفيها توضع الأرض فى 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 العجيبة المشبعة، ١:١، ١:٥، ١:١٠... إلخ، ثم توضع على قرص مسامى به ورقة ترشيح مثل قمع بخنر Buchner funel، وتُعرض لتفريغ كافٍ للحصول على المحلول الأرضى.

٦- **طريقة الطرد المركزى السريع Rapid Centrifugation**: وتعتبر أحسن وأسرع الطرق التى تؤدى إلى الحصول على المحلول الأرضى الحقيقى.

ولقد أثبتت البحوث أن التركيب الكيميائى للمحلول الأرضى يختلف تبعاً لفصول السنة ؛كما يختلف قبل المحصول عنه بعده. وبالرغم من أن دراسة المحلول الأرضى مهمة من ناحية تغذية النبات، غير أنه لايمكن 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 فى المحلول الأرضى منها:

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

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

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

د- إن النبات لايأخذ كل احتياجاته من العناصر الذائبة فى المحلول، بل يمكنه الحصول على بعض العناصر بالتبادل الأيونى المباشر بين الجذور ومركب الادمصاص 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 فى المحلول الأرضى.

العناصر الموجودة فى الهواء الأرضى

يعتبر الجزء الغازىGaseous 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 الأكسيجين.

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 الأكسيجين (جدول ٢-١). ويتوقف تركيب الهواء الأرضى على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيوية وخواص الأرض الطبيعية المتصلة بعملية التهوية.

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

الغـــاز	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 أوكسيجين لكى تقوم بدورها فى التربة. فإذا طُرد الهواء من الأرض نتيجة لتراكم الماء بها وقلت كمية الأكسيجين اللازم لها، وقف نشاط الكائنات الهوائية وحل محلها فى النشاط البكتريا اللاهوائية التى تستمد الأكسيجين من مركباته فى التربة، فتعمل على اختزال هذه المركبات ومنها النترات والكبريتات.

أما النبات النامى فى الأرض فيلزم له الهواء فى طورى الإنبات والنمو، ففى طور الإنبات تحتاج البذور إلى نسبة معينة من الأكسيجين تتوقف على نوع البذور. فالبقوليات تحتاج إلى كثير منه، بينما البصل والأرز لاتحتاج إليه إلا بمقادير قليلة. وبعض النباتات النصف مائية يمكنها استعمال الأكسيجين 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 الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون إما منفردين أو ذائبين فى المحلول الأرضى.

ويعتبر الهواء الأرضى مصدراً هاماً لإمداد النبات بالنيتروجين وإن كانت معظم النباتات لاتستطيع الاستفادة من هذا النيتروجين مباشرةً. 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 وتحولها 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 فى المحلول الأرضى ويمثل ذلك بما يسمى بعامل الشدة Intensity factor حيث إن ذلك يمثل المصدر الأول والمباشر للعناصر الممتصة بواسطة النبات. ويمكن القول بأن وفرة العنصر الغذائى بالتربة لتلبية احتياجات النباتات لاتعتمد على تركيز العنصر فى المحلول الأرضى بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب والتى يعبر عنها بعامل الكم أو عامل السعة.

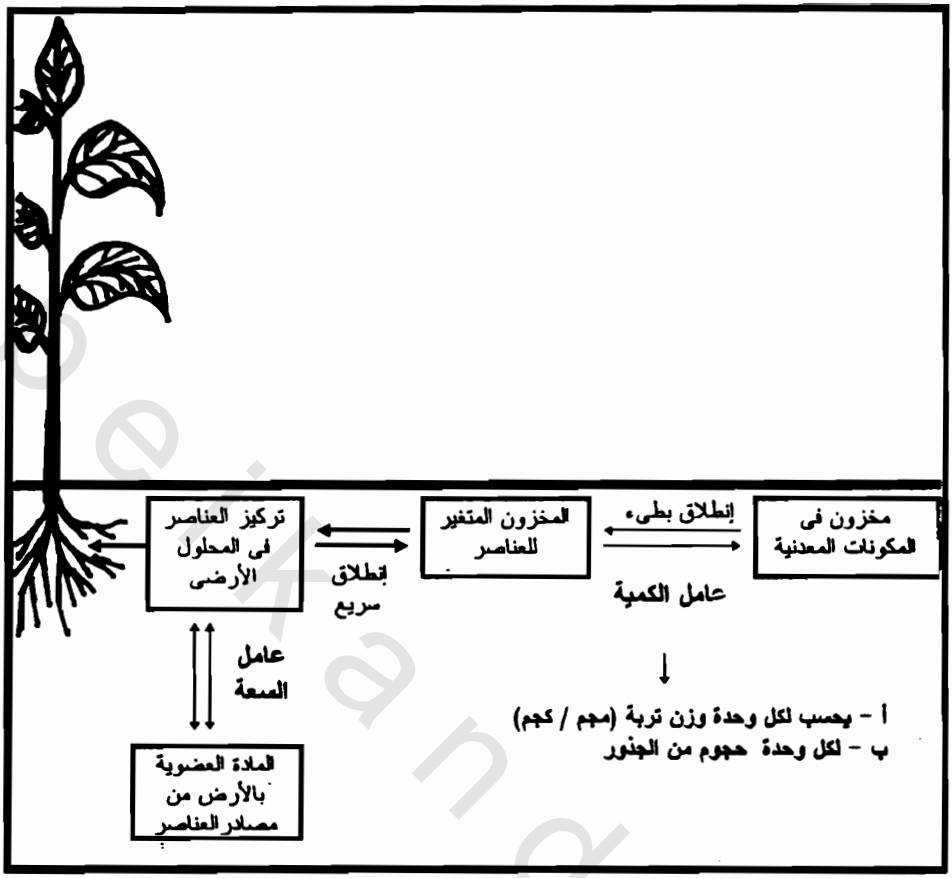
٢- قدرة الأرض على تجديد النقص فى تركيز المحلول الأرضى من العنصر والذى يُعرف بعامل السعة Capacity factor أو عامل الكم Quantity factor ويمثل المخزون الاستراتيجى من العنصر فى الطور الصلب والقابل للانتقال إلى المحلول الأرضى لتعويض نقصه خلال فترة حياة النبات، ويوضح شكل (٢-٢) توزيع العنصر فى الصور المختلفة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

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

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

جـ- الكمية الموجودة فى حالة اتزان بطىء مع الكمية الموجودة فى المحلول الأرضى، ومثال ذلك النيتروجين والفوسفور والكبريت الموجود فى تركيب المادة العضوية والذى يحتاج إلى وقت لكى يتحول إلى صورة صالحة للنبات. أيضاً المركبات القليلة الذوبان مثل: مركبات الفوسفور وبعض مركبات العناصر الصغرى.

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



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

١- التبادل الأيونى وتأثره بالسعة التبادلية الكاتيونية.

٢- عمليات ذوبان وترسيب العناصر ويتحكم فيها رقم pH الأرض.

وسوف نتناول فيما يلى كل عملية بشيء من الإيجاز وأثرها على توفر العناصر الغذائية فى صورة ذائبة.

التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية

Ion Exchange and Cation Exchange Capacity

تعتبر تفاعلات التبادل الأيونى من أكثر التفاعلات الموجودة فى الطبيعة أهمية بعد عملية التمثيل الضوئى لما لها من أهمية فى تغذية النبات. وكما هو معروف بأن غذاء النبات عبارة عن مجموعة من العناصر الكيميائية فى صورة أيونية، وتؤثر كمية ونوعية هذه الأيونات الموجودة فى التربة على إمداد النباتات بحاجتها من الغذاء. ولتوضيح أهمية التبادل الأيونى فإنه من الأهمية معرفة أن غذاء النبات يكون فى الصورة الأيونية للعناصر، وهذه الأيونات لاتوجد فى المحلول الأرضى فقط بل توجد أيضاً مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية. وخاصية الادمصاص هذه هى التى تحفظ أيونات العناصر، فلو أن غذاء النبات كان ذائباً فى المحلول الأرضى، فإنه سرعان مايفقد بالغسيل، وبالتالى يحرم النبات من الاستفادة منه.

والتبادل الأيونى ببساطة عبارة عن عملية عكسية Reversible process للتبادل بين الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى وتلك الموجودة على أسطح معقدات التبادل، وفى حالة تلامس أسطح معقدات التبادل فمن الممكن أن يحدث التبادل بين الأيونات دون مرور الأيون بالمحلول الأرضى وهذا مايعرف بالتبادل بالتماس بين الغرويات الأرضية. ويشمل التبادل الأيونى تبادل كل من الكاتيونات والأنيونات، ويعتبر تبادل الكاتيونات أكثر أهمية ووضوحا من تبادل الأنيونات بالنسبة لتغذية النبات.

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

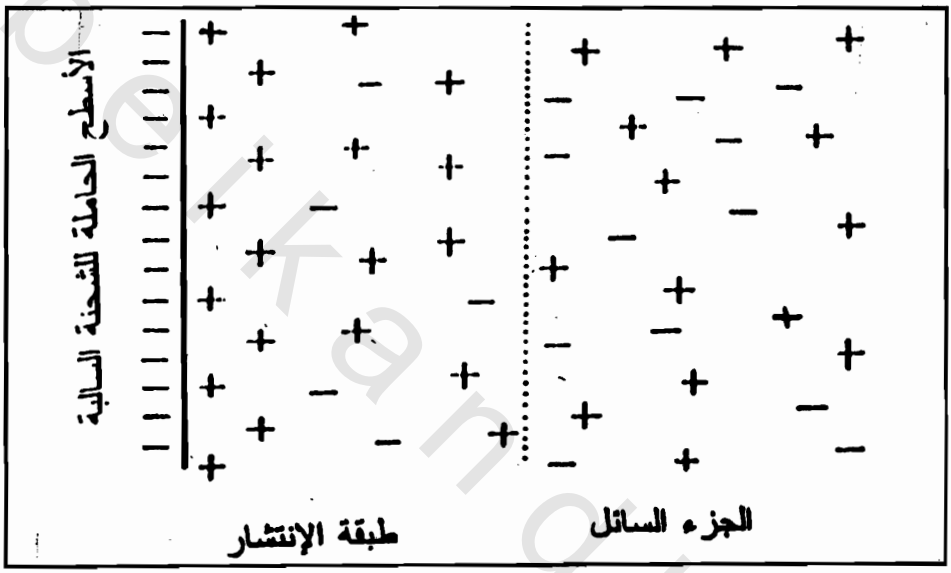
إلى الغرويات العضوية. وعلى ذلك نجد أن الطين هو المحدد لخواص الأرض الطبيعية والكيميائية والعامل الأساسى فى تفاعلاتها. ولذلك فإن لبناء الطين وحبيباته دور كبير فى القدرة على ربط الأيونات على سطوحها وتبادلها مع غيرها من الأيونات فى الوسط المحيط. ويجب أن نتخيل الصورة العامة للتربة ككتلة من الحبيبات المحاطة بالمحلول الأرضى، وهذه الحبيبات يكون لها القدرة على التجاذب ومسك الأيونات المخالفة لها فى الشحنة، وتتنافر مع الأيونات ذات الشحنة المتشابهة طبقا 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 والتى 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 كهربيا ويوضحها شكل (٢-٣).

وكما سبق القول بإن 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 الكتروستاتيكية (تسمى قوى كولومب **Coulomb forces**)، وتتناسب شدة التجاذب تناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنة الكاتيون (الشحنة الموجبة) x شحنة الطين (الشحنة السالبة) وكذلك تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين (قانون كولومب **Coloumb Law**) كما فى المعادلة التالية:

$$F = a^{+}. a^{-} / D.r^{2}$$

حيث :F قوة الجذب، و a-, a+ شحنة كل من الكاتيون والأنيون على التوالى وD ثابت وr المسافة بين الشحنتين.

أى أن التبادل الأيونى 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 التى تعادل شحنة الجسم مع أيونات مماثلة لها فى الشحنة كماً ونوعاً أى تكافئها تماماً. وعلى ذلك نجد أن الجسم السالب الشحنة يجذب إلى سطحه كاتيونات بالقدر الذى يعادل شحنته السالبة، وأن الجسم الذى يحمله



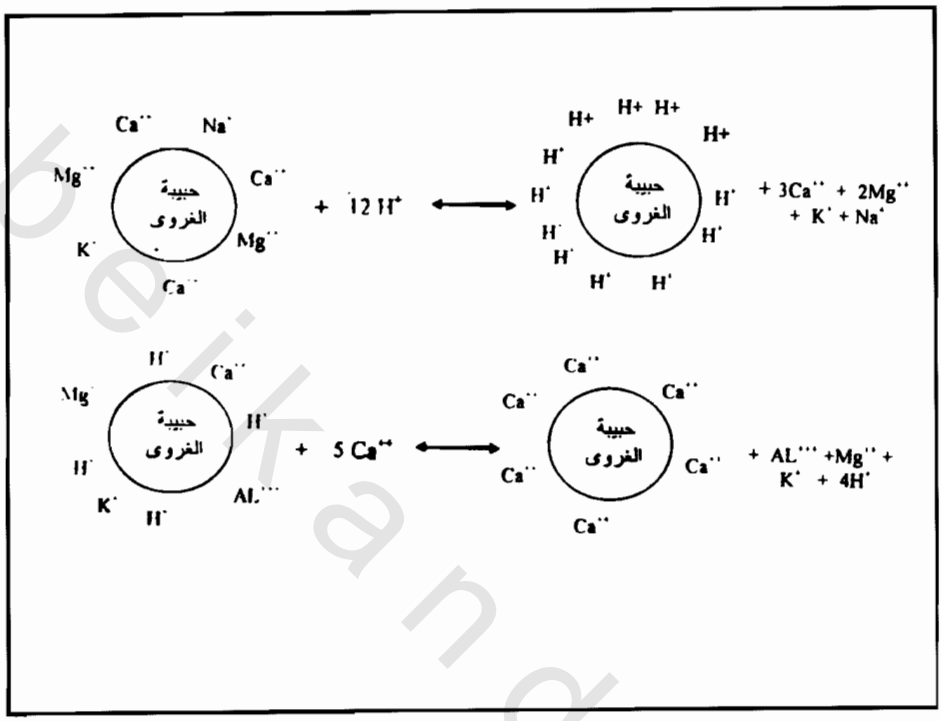
شكل (٢-٣): توزيع الشحنات الكهربائية فى الطبقة المزدوجة

شحنة موجبة يجذب إلى سطحه أنيونات تعادل شحنته الموجبة، ويمكن فى جميع الأحوال حدوث تبادل كاتيونى أو أنيونى بين تلك الممسوكة 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 الأيونى 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 الطمييية، والأخيرة أكبر من الرملية.



شكل (٢-٤): مثال توضيحى لعمليات التبادل الكاتيونى

فى المثال العلوى يحدث تبادل بنسبة ١٠٠٪ للقواعد الأرضية بواسطة أيون الأيدروجن وذلك بإضافة محلول يحتوى على الأيدروجين (وقد يحدث ذلك فى الطبيعة فى المناطق الرطبة وعند تعرض الأراضى المتعادلة إلى أمطار حمضية تحوى حمض كربونيك H_2CO_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 يللونيت، الفيرميكيولايت والإيلليت تكون أعلاها قدرة، بينما معادن طين ذات الشحنة المتغيرة والتى 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 فى الأرض.

وتقاس قدرة الأرض على التبادل الأيونى بمايسمى بالملليمكافىء أيون لكل ١٠٠ جرام من الأرض (الملليمكافىء = الوزن المكافىء للعنصر X ١٠$^{-٣}$) ويطلق على مجموع ملليمكافئات الكاتيونات المتبادلة على أسطح ١٠٠ جم أرض أسم السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (C.E.C) لهذه الأرض والتى تختلف من معدن لآخر ومن أرض لاخرى (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، والماغنسيوم Mg^{2+}يشغل من ٥-١٥٪ منها ثم البوتاسيوم K^{+} والصوديومNa^{+} وقليل من الأيدروجين والألومنيوم (H^{+},AL^{3+})حيث لايوجدان 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 الغروى	الـ C.E.C ملليمكافىء/ ١٠٠ جم
كاؤلينيت	٣-١٥
إيلليت	٢٠-٥٠
مونتيمور يللونيت	٩٠-١٣٠
فيريكيولايت	٥٠-١٨٠
مادة عضوية	١٠٠-٢٠٠
أرض رملية	٣-٥
أرض طميية	٥-٢٠
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى ٤٠

المعروف بانه عند إضافة الأسمدة للتربة الزراعية سرعان ما تذوب فى المحلول الأرضى 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 الكاتيونى من السماد على أسطح الغرويات الأرضية نتيجة حدوث عملية التبادل الأيونى، وفى النهاية تحفظ تلك الكاتيونات من الفقد، ثم تصبح ميسرة للنبات فيما بعد. ويمكن إيجاز مدلول قيمة السعة التبادلية الكاتيونية للأرض فيما يلى:

١- تدل السعة التبادلية للأرض على قدرتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية. فكلما كانت القيمة مرتفعة كلما دل ذلك على زيادة السطح النوعى للتربة وبالتالى كبر المخزون الغذائى.

٢- تدل على توافر معادن معينة ذات سعة تبادلية عالية أو وجود نسبة عالية من المادة العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعة التبادلية المرتفعة فى تلك الأرض.

٣- من معرفة نوع الكاتيون السائد على معقد الادمصاص 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. وعمومًا 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 مرتبطًا 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 الأمثلة على قيم الـ C.E.C لبعض النباتات المختلفة.

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

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

عن Marschner سنة ١٩٩٥.

obeikandl.com

رقم حموضة الأرض (pH)

وعلاقته بصلاحية العناصر الغذائية للنبات

يعتبر تفاعل التربة من العوامل المهمة التى تجعل الأرض وسط ملاءم 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 فى الوسط معبراً عنه بالمول / لتر (pH= -log [H]).

فى معظم الحالات يتم تقدير درجة حموضة التربة فى معلق تربة لمحلول إلكتروليتى مخفف (غالبًا ٠,٠١ مولار من كلوريد الكالسيوم أو بواسطة الماء، علمًا بان فى الحالة الأولى تكون القيمة المتحصل عليها أقل منها فى 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 الأرضى وفى صورة نشطة). عمومًا تكون الأراضى الحامضية ذات مشاكل أكثر بالمقارنة بالأراضى القاعدية، وتتركز الأراضى الحامضية فى وسط أوروبا، حيث يتراوح رقم الـ pH فيها من ٣-٨ بمتوسط ٥-٦,٥. فى حين نجد أن الأراضى القاعدية تتركز فى المناطق الجافة وتكمن مشاكلها فى زيادة نسبة الأملاح أو الصوديوم بها.

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

$$Al^{+3} + 3H_2O \Rightarrow Al(OH)_3 + H^+$$

أساس تفاعل التربة Principle of Soil Reaction

تعتبر معقدات التبادل بالتربة أملاح حامضية ضعيفة أو أملاح للقواعد التى تختلف فى قوتها من الضعيفة إلى القوية ($Al(OH)_3$ إلى NaOH) والتى لها القدرة على التحلل المائى. وفى سنة ١٩٨٤ ذكـر (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 وحدوث التحلل المائى له نجد أن قيمة رقم الـ pH للوسط ترتفع إلى حوالى ١١، فى حين نجد أن الألومنيوم يؤدى إلى خفض قيمة رقم pH إلى حوالى ٤.

$$\text{"Na- Soil"} + H_2O \overset{\leftarrow}{\rightarrow} \text{H-Soil} + NaOH \qquad pH \sim 11$$

$$\text{"Ca- Soil"} + 2\,H_2O \overset{\rightarrow}{\leftarrow} \begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} \Big\rangle \text{Sail} + Ca(OH)_2 \qquad pH \sim 8$$

$$\text{" Al-Soil"} + 3\,H_2O \overset{\leftarrow}{\rightarrow} \begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} \Big\rangle \text{Soil} + Al(OH)_3 \qquad pH \sim 4$$

$$\text{" H-Soil"} + H_2O \qquad pH \sim 3$$

وطبيعى أن هذا المثال لا ينطبق على الأراضى تحت الظروف العادية؛ وذلك لأنها فى الغالب تحتوى على خليط من الكاتيونات المختلفة. ويجدر الإشارة هنا إلى أن تأثير البوتاسيوم يكون مماثلا لتأثير الصوديوم، فى حين يكون تأثير الماغنسيوم مماثلا لتأثير الكالسيوم. وعلى هذا نجد أن درجة الحموضة أو القاعدية يتحكم فيها بدرجة كبيرة سيادة أيونات $Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, AL^{3+}$ بالإضافة إلى الأيدروجين. عمومًا تصبح الأرض شديدة الحموضة عندما يسود أيون الأيدروجين، فى حين تقل الحموضة وتتجه إلى التعادل مع سيادة الكالسيوم (مع الماغنسيوم والبوتاسيوم والأيدروجين)، بينما بسيادة الصوديوم تصبح الأرض قلوية (نسبة الصوديوم أكبر من ١٥٪ من الـ C.E.C للأرض 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 في المناطق الممطرة، أيضًا يتأثر pH التربة الزراعية بمعادن الأرض السائدة، وبمعنى أدق مادة الأصل 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 الأصل 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 وأيضًا الناتج من عملية الأكسدة للمادة العضوية بالتربة:

$$CO_2 + H_2O \Rightarrow HCO_3^- + H^+$$

وبالتالى يكون الهواء الأرضى ذا محتوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون، وبالتالى 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 $K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$ أو أى كاتيونات أخرى لابد أن يحدث توازن أيونى داخل الجذر، وعلى هذا تفقد الجذور جزءًا من محتواها من الأيدروجين لإحداث هذا التوازن.

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

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

	ثانى أكيد الكربون (حجم ٪)	قيمة الـ pH
الهواء الجوى	٠,٠٣	٥,٦
الهواء الأرضى	٠,٣٠	٥,٢
	١,٠٠	٥,٠
	١٠,٠٠	٤,٥

عن Schroeder سنة ١٩٨٤.

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

٥- التلوث البيئى: كما هو الحال فى المناطق الصناعية ذات الهواء الغنى فى الأكاسيد الكبريتية والأزوتية، ومع ذوبان تلك الأكاسيد فى مياه الأمطار ينتج عنها مياه أمطار شديدة الحموضة ذات pH حوالى ٤ بالمقارنة بمياه الأمطار النظيفة والتى تحوى ثانى أكسيد الكربون فقط والتى تكون ذات pH قدرة ٥,٦ .

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

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

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

أولاً : انخفاض pH التربة عن ٥,٥ :

١- الفوسفور يحدث له ترسيب لاتحاده مع الحديد والألومنيوم وتتكون مركبات غير ميسرة للنبات.

٢- العناصر الصغرى Micronutrients كل العناصر الصغرى فيما عدا الموليبدنم Mo تصبح أكثر ذوبانا بزيادة الحموضة، وأعراض نقص هذه العناصر نادر ظهورها عند pH أقل من ٧ تقريبًا.

٣- الألومنيوم مع انخفاض رقم pH الأرض عن ٥,٥ ينفرد الألومنيوم نتيجة لتهدم معادن الطين، ويصبح ذائبًا لدرجة السمية بالنسبة للنبات.

٤- عملية التأزت Nitrification بانخفاض pH التربة عن ٥,٥ يقل النشاط البكتيرى، وبالتالى تقل عملية معدنة النيتروجين العضوى، وبالتالى عملية التأزت مما يؤثر على مستوى النيتروجين الصالح للنبات فى الأرض. حيث وجد أن السيادة تكون للفطريات عند pH أقل من ٥,٥، بينما تكون السيادة للبكتريا عند pH أكبر من ذلك.

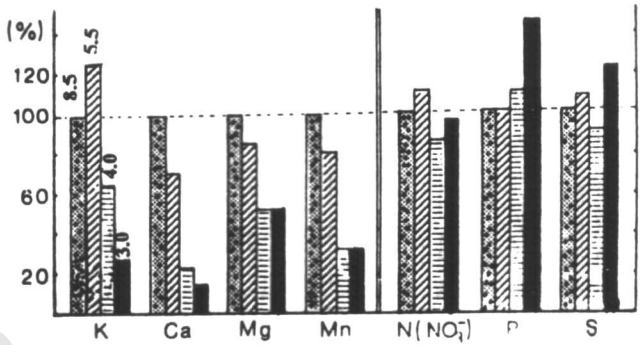
ثانيًا : ارتفاع pH التربة عن ٨ :

١ - الفوسفور: فى وجود الكالسيوم، يتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية ثم الثلاثية، وبالتالى يقل الفوسفور الميسر للنبات. ومع ارتفاع الرقم عن ٨,٥ وفى وجود الصوديوم يصبح الفوسفور ذائبًا فى صورة فوسفات صوديوم ذائبة.

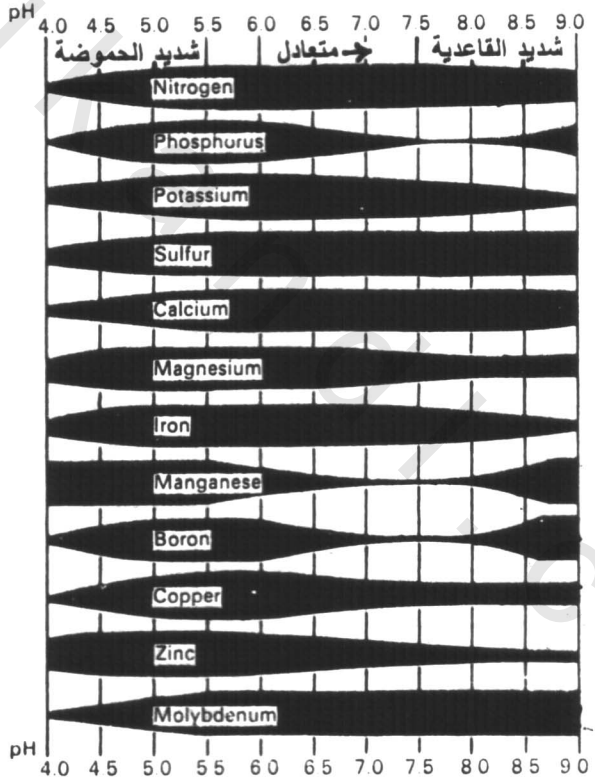
٢ - البورون: يصبح ميسراً لدرجة السمية وخاصة فى الأراضى الملحية والصودية.

٣ - الصوديوم: معظم الأراضى ذات pH أعلى من ٨,٦ تكون نسبة الصوديوم المتبادل (E.S.P) أكبر من ١٥٪، مما يؤثر على البناء الأرضى، وبالتالى لابد من استصلاحها بإضافة الجبس الزراعى لتحسين صفاتها.

٤ - عملية التأزت بارتفاع pH التربة يقل النشاط البكتيرى، وبالتالى تقل عملية التأزت. كذلك يؤدى ارتفاع رقم الـpH كما هو فى الأراضى القلوية إلى تطاير الأمونيا من الأرض عند إضافة الأسمدة النشادرية لها.



تأثير pH المحلول المغذى على امتصاص العناصر الغذائية بواسطة نباتات اللوبيا

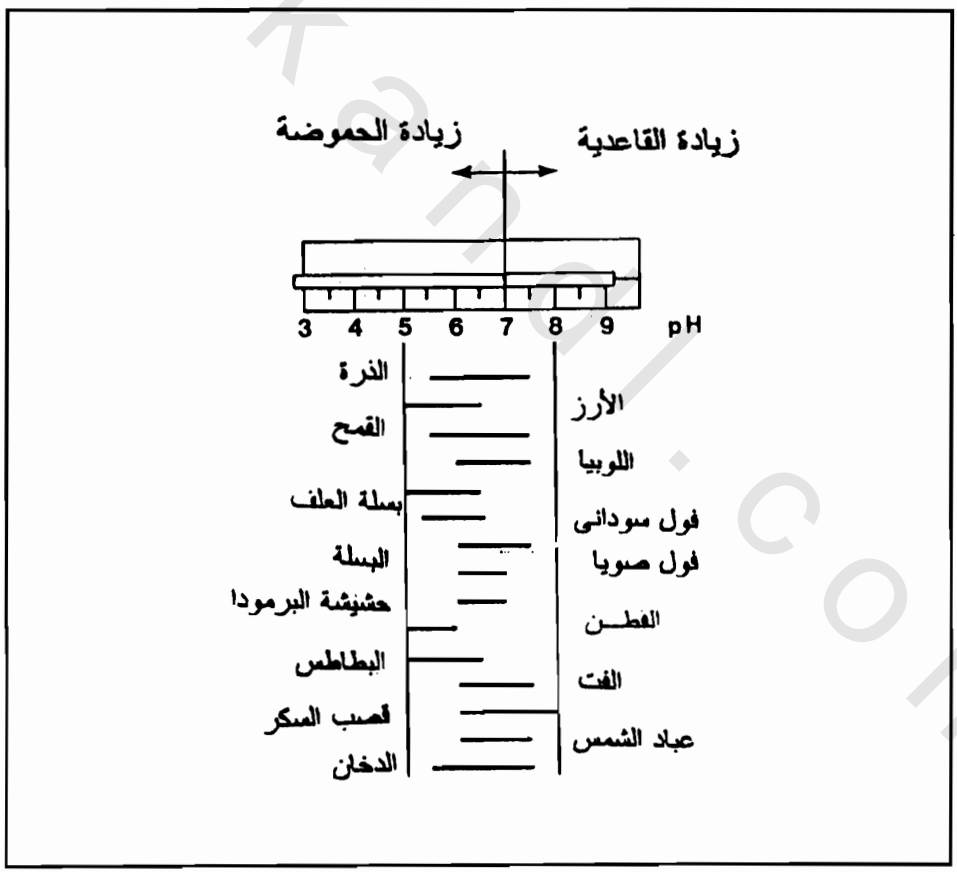


ويلاحظ أن أعرض جزء مظلل يمثل أقصى تيسر للعنصر

شكل (٢-٥) : العلاقة بين رقم pH التربة والتيسر النسبى للعناصر المغذية

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 فى الأراضى شديدة الحموضة نتيجة لذوبان الألمونيوم مما يؤدى إلى سمية الجذور. وتختلف النباتات فى مدى تحملها لدرجات متفاوتة من الـpH فى الأراضى، ويختلف الـpH الأمثل لنمو النبات من نبات إلى آخر فمثلاً نباتات الشاى والبطاطس والأنانس والصنوبريات تتحمل درجات شديدة من الحموضة وتنمو بدرجة جيدة بعكس نباتات أخرى مثل: الشعير والدخان والبرسيم والتى تنمو بطريقة جيدة فى الأراضى القاعدية الخفيفة، بينما الأرز والذى ينمو تحت ظروف الأرض المغمورة بالماء ينمو بدرجة جيدة فى مدى واسع من الـpH وشكل (٢-٦) يوضح المدى الملائم من الـ pH لبعض المحاصيل المهمة.



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