

## أهمية دراسة كيمياء التربة

التربة هي الطبقة السطحية الهشة أو المفتتة التي تغطي سطح الأرض، وتتكون من مواد صخرية مفتتة خضعت من قبل الى تغيرات بسبب تعرضها للعوامل البيئية والبيولوجية والكيميائية، من بينها عوامل التعرية ومن الجدير بالذكر إن التربة تختلف عن مكوناتها الصخرية الأساسية والتي يرجع السبب في تغييرها لعمليات التفاعل التي تحدث بين الأغلفة الأربعة لسطح الأرض وهي الغلاف الصخري والغلاف المائي والغلاف الجوي والغلاف الحيوي. ونستنتج من ذلك إن التربة تعد مزيجاً من المكونات العضوية والمعدنية التي تتكون منها التربة في حالاتها السائلة (الماء) والغازية (الهواء).

## مكونات القشرة الارضية

ان القشرة الارضية تتكون اساسا من الصخور، وان هناك ثلاثة انواع من الصخور هي الصخور البركانية او النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة. وان هذه الصخور تتكون من المعادن المختلفة. تتكون الصخور من معادن minerals، وتعرف المعادن بدورها على انها وجود طبيعي لمواد غير عضوية تكون تركيبا كيمياويا خاصا كما ان لها تركيبا ذريا خاصا. وتعتبر المعادن من الناحية الكيماوية بانها كلها عبارة عن مركبات compounds ويكون معظمها بلوريا. والبلورات crystals عبارة عن اشكال هندسية صلبة تكون حدود اوجها متطابقة مع البلورات الاخرى المكونة لنفس المعدن. وتتكون المعادن عادة من اتحاد بعض العناصر مع بعضها الاخر، فعلى سبيل المثال يتكون معدن الكالسايت من اتحاد عناصر الكالسيوم والكربون والاكسجين، ويتكون معدن الدولومايت من اتحاد عناصر المغنسيوم والكالسيوم والكربون والاكسجين.

ويبلغ عدد المعادن المعروفة حاليا في حدود 2000 معدن غير ان حوالي 24 منها يكون القسم الاعظم من صخور القشرة الأرضية، ومن اكثر المعادن شيوعا في صخور القشرة الارضية مجموعة معادن السليكات التي توجد في الصخور النارية وهي عبارة عن مركبات تتكون من اتحاد عنصري السليكون والاكسجين مع عنصر

او اكثر من العناصر الفلزية. ويعتبر معدن الكوارتز من بين اكثر معادن السليكات شيوعا في الصخور.

يضم الغلاف الصخري كافة العناصر التي عرفت الى حد الان، فيما عدا بعض العناصر الغازية، غير انه يتضح لنا ان عددا صغيرا من العناصر يؤلف القسم الاعظم من صخور القشرة الارضية. وبذلك لا تساهم العناصر جميعا في تكوين الصخور بنسبة واحدة حيث يساهم الاوكسجين لوحده بـ46.6% من نسبة وزن الصخور القشرة الارضية ويساهم ايضا في حدود 93،77% من حجم صخورها.

تنشأ غالبية الصخور الارضية من تجمع للمعادن سواء كانت لنفس الفصيلة المعدنية او لمعادن مختلفة حيث تعرف الاولى بالصخور المتجانسة المعادن وتعرف الثانية بالصخور المتناقضة المعادن. ولهذا التركيب دوره في مقدار تأثير الصخور بعمليات التجوية المختلفة.

#### انواع الصخور

يتفق كل المهتمين بعلم الصخور على انها تقسم الى ثلاثة انواع هي : الصخور النارية والرسوبية والصخور المتحولة . ويضيف بعض الباحثين نوعا رابعا من الصخور التي تضم بعض خصائص النوعين الاولين مثل الرماد البركاني ذي الاصل الناري والطبيعة الرسوبية وتعرف هذه المجموعة من الصخور بـ pyroclastic

#### العناصر الداخلة في القشرة الارضية:

من المعلوم ان المادة تتكون أساسا من الذرات وان الذرة نفسها تتكون من عدة مكونات مثل البروتون والنيوترون والالكترون، وان كل عنصر يتكون من واحد او أكثر من هذه الذرات كما ان اتحاد ذرات العناصر بشكل او بأخر ينتج عنه المعادن المختلفة التي بدورها تكون الصخور التي تؤلف القشرة الأرضية. وبالرغم من ان هناك أكثر من 92 عنصرا معروفا، فان عدد محدودا فقط من هذه العناصر هي السائدة في القشرة الارضية والتي تتكون منها معظم المعادن والصخور التي تغطي القشرة

الارضية. اذ ان 8 عناصر فقط تكون اكثر من 90% من وزن القشرة الأرضية، وان جميع هذه العناصر 8 ذات عدد ذري اقل من 30.

يلاحظ في الجدول ادناه ان عنصر الاوكسجين يكون حوالي نصف وزن القشرة الارضية واكثر من 90% من حجمها وان عنصري الاوكسجين والسليكون يكونان حوالي 75% من وزن القشرة الارضية. وحوالي 95% من حجمها، وعليه، فإنه من المتوقع ان تحتوي معظم المعادن المكونة للقشرة الارضية على هذين العنصرين مكونة معادن تدعى بالسليكا Silicates.

#### التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

العنصر	الرمز	النسبة المئوية	النسبة الحجمية
الأوكسجين	O	46.60	93.77
السليكون	Si	27.72	0.86
الألمنيوم	Al	8.13	0.47
الحديد	Fe	5.00	0.43
المغنيسيوم	Mg	2.09	0.29
الكالسيوم	Ca	3.63	1.03
الصوديوم	Na	2.83	1.32
البوتاسيوم	K	2.59	1.83

## معادن التربة:

تتكون المعادن الموجودة في التربة نتيجة التجوية للصخور بفعل عوامل التجوية المختلفة. ولذلك فان نسبة وجود معدن ما تتأثر بالعامل الوراثي أي نوع الصخور الام ومكوناتها التي تكونت منها التربة وبمعايير التجوية والتكون المختلفة. واثناء عملية التجوية قد تفقد عناصر معينة او معادن معينة وتتركز عناصر ومعادن اخرى فالتجوية هي تعبير عن العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تؤدي الى أحداث تغييرات في الصخور والمعادن التي تغطي سطح الكرة الأرضية. ومصدر الطاقة لهذه العمليات هو الطاقة الشمسية. إذ ان حركة المياه والرياح وعوامل الانجماد والذوبان والعمليات الأخرى ترتبط بشكل او اخر بالطاقة الشمسية والتجوية من العمليات المهمة لادامة الحياة على الأرض حيث يتم تكون التربة التي هي مصدر العناصر الغذائية والحياة على سطح الأرض.

يمكن تقسيم التجوية الى:

1- تجوية ميكانيكية او فيزيائية وتشمل التغييرات التي تحصل للصخور والمعادن نتيجة تغييرات درجة الحرارة ومناوبة الانجماد والذوبان او الحركة الميكانيكية للرياح والتيارات المائية والانهيئات الناجمة بتأثير الجاذبية الأرضية وكذلك تأثير حركة الاحياء المختلفة من نباتات وحيوانات.

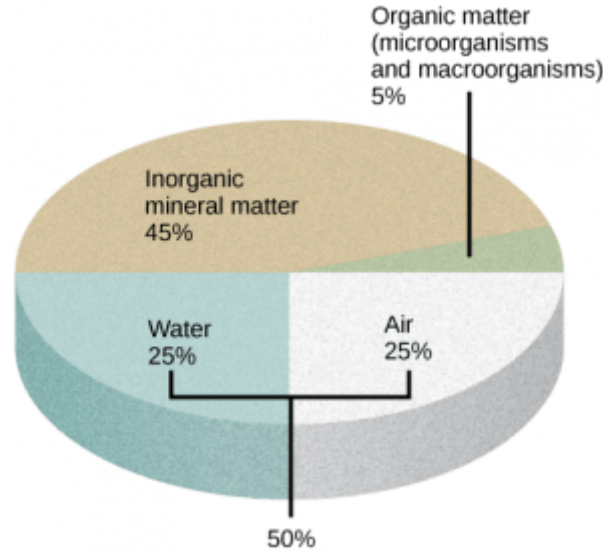
2- تجوية كيميائية تشمل على العمليات التي تتم بوجود الماء وينتج عنها تغييرات كثيرة في تركيب المعادن والصخور مثل التحلل المائي (Hydrolysis) والتميو (Hydration) والكربنة (Carbonation) والاكسدة والاختزال (Oxidation reduction) والذوبان (Solution). ونتيجة لعمليات التجوية المختلفة تتحلل الصخور والمعادن وتتكون معادن اخرى. وتختلف المعادن في مدى مقاومتها لعمليات التجوية المختلفة ويتوقف ذلك على طبيعة تكون المعدن وتركيبه البلوري فمثلا يعتبر معدن الاولفين من المعادن السريعة التجوية بينما معدن الكوارتز من المعادن المقاومة لعملية التجوية. وقد اوضح بووين وآخرون ان المعادن التي تتبلور من الصهير في درجات الحرارة العالية تكون اسرع في

عملية التجوية وذلك لعدم توازنها مع الظروف الطبيعية السائدة بينما تلك التي تبلورت في درجات حرارة منخفضة تكون اكثر مقاومة للتجوية

## كيمياء التربة Soil Chemistry

تعرف التربة Soil بانها خليط مختلف التركيب من معادن نتجت من عمليات التجوية weathering الفيزيائية والكيميائية والحيوية للصخور والرواسب المكونة لمادة الأصل نسبة كبيرة من الطور الصلب او الام Parent material، ومواد عضوية نتجت من النشاط الحيوي للكائنات الحية بانواعها المختلفة، والتي تأخذ من التربة العناصر اللازمة لتكوين اجسامها والقيام بنشاطها ثم تعطي للتربة نواتج هذا النشاط الحيوي، وفي نهاية حياتها تعطي للتربة أيضا بقايا اجسامها المتحللة. هذه المواد العضوية والمعدنية تكون الطور الصاب solid phase من نظام التربة، ويكون هذا الطور اكثر من نصف حجم الأرض ومن 60-99% من وزنها، حسب محتوى التربة من المادة العضوية. من الناحية الحجمية، فان المادة العضوية تشغل حجما كبيرا من الحجم الكلي للمواد الصلبة في التربة، بسبب انخفاض الكثافة الظاهرية للمادة العضوية (حوالي 0.5 غم سم<sup>-3</sup>)، مقارنة بالكثافة الحقيقية للمادة المعدنية التي تتراوح 2.4-2.7 غم سم<sup>-3</sup>.

المكونات الأخرى لنظام التربة بالإضافة الى الطور الصلب هما الطور السائل Liquid phase والطور الغازي Gaseous phase، وكلاهما معا يكونان حوالي نصف حجم التربة الكلي، تختلف نسبة كل منهما الى الاخر حسب ظروف الري والبيزل والجفاف، والشكل (1) يوضح التركيب العام للتربة.



شكل (1) يوضح التركيب الحجمي للطبقة السطحية من تربة معدنية جيدة البزل بالاضافة الى الاطوار الثلاثة السابقة، تحتوي التربة على كائنات حية تعيش فيها وعلى سطحها، مثل الديدان والطحالب والفطريات والبكتريا والفطريات الشعاعية او الاكتينومايسيت وغيرها، ويمكن ان نسيميها بالمكون البيولوجي Biological component.

ان التربة نظام مفتوح، يعني ان هذا الجسم المتكون من الاطوار الثلاثة بينها توازن متبادل وبينها والظروف المحيطة توازن اخر، فمثلا يذوب جزء من طورها الصلب في الطور السائل (ذوبان الاملاح والمعادن)، او ان يذوب طورها الغازي في الطور السائل (ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء)، او ترسيب الطور السائل على الطور الصلب (ترسيب الاملاح وتكوين معادن جديدة).

يوجد هناك حالة توازن بين التربة ككل وباقي النظم المحيطة بها، هناك حالة توازن بين الطور الغازي للتربة والهواء الجوي بما فيه من رطوبة. وهناك توازن بين الطور السائل وما يضاف الى التربة من مياه او امطار.

وهذا يعني (ان التربة نظام مفتوح) يضاف اليه او يؤخذ منه بواسطة النبات او الحيوان او الانسان او الماء، لذلك فان خواص التربة عبارة عن صفات وخواص

ومميزات مكوناتها والتي تتأثر بأي تغير يحدث لها أو لأي منها ويكون التغيير بقدر الفعل المؤثر.

س1 ما هي مكونات أو أطوار التربة الزراعية؟

ج/ أولاً: الطور الصلب: ويتكون من:

1- الجزء المعدني ويشمل:

أ- الرمل

ب- الغرين

ت- الطين

2- الجزء العضوي ويشمل:

أ- المواد العضوية غير الحية (المتحللة وغير المتحللة)

ب- المواد العضوية الحية (الاحياء المجهرية وغير المجهرية)

ثانياً: الطور الغازي أو هواء التربة

ثالثاً: الطور السائل أو ماء التربة

الجزء المعدني

يتكون الجزء المعدني من خليط من حبيبات مختلفة الاحجام وبنسب مختلفة على حسب عوامل وظروف تكوين التربة، والجدول ادناه يوضح النظام الأمريكي لحجم حبيبات التربة

ت	القسم الرئيسي	القسم الفرعي	قطر الحبيبة
1	رمل Sand	1	2-1 very coarse رمل خشن جدا sand
		2	1-0.5 coarse sand رمل خشن
		3	0.5-0.25 medium sand رمل متوسط
		4	0.25-0.1 fine sand رمل ناعم
		5	0.1-0.05 very fine sand رمل ناعم جدا
2	غرين Silt		0.05-0.002
3	طين Clay		0.002>

### التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

يوجد في القشرة الأرضية أكثر من 92 عنصرا كيميائيا، وهذه العناصر تدخل في تركيب أكثر من 2000 من المركبات الكيميائية او المعادن Minerals. الا انه رغم وجود هذا العدد الهائل من العناصر ، فان عددا قليلا منها فقط هو الذي يدخل في تركيب الجزء الأكبر من القشرة الأرضية ، كما موضح في الجدول (1) ، ومن الجدول يتبين لنا الاتي:

1- ان 8 عناصر فقط تشكل 98% على أساس الكتلة من تركيب القشرة الأرضية، وان بقية العناصر تشكل 2% فقط من التركيب، وهذه العناصر



الثمانية هي: الاوكسجين والسيليكون والالمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم.

- 2- ان الاوكسجين يكون نصف كتلة القشرة الأرضية تقريبا، ويشكل 93% من حجمها. ويوجد الاوكسجين في حالة ارتباط كيميائي وليس حرا طليقا.
- 3- على أساس عدد الذرات، يوجد من بين كل 100 ذرة في القشرة الأرضية، 60 اوكسجين و 21 ذرة سيليكون و 6 ذرات المنيوم.

يبدو ان القشرة الأرضية في هيئة هيكل من ذرات الاوكسجين تترك فيما بينها فراغات صغيرة تدخلها ايونات السيليكون والالمنيوم بصفة أساسية ، وهي ايونات صغيرة الحجم وكبيرة الشحنة. وفي الفراغات البينية توجد ايونات أخرى اكبر حجما من السيليكون والالمنيوم، الا انها اقل حجما من الاوكسجين مثل المغنيسيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم في حالات ارتباط وتناسق تتناسب مع نصف قطر ايون كل منها. وتقوم الايونات الموجبة الصغيرة العالية الشحنة بمسك هذا الهيكل ، وتؤدي الى ارتباطها ارتباطا قويا ، وهذا يعطي معادن القشرة الأرضية صلابتها المعروفة.

## جدول (1) التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

ت	العنصر	الرمز	% على أساس الكتلة	% على أساس الحجم	% على أساس عدد الذرات	نصف قطر ذرة العنصر (انكستروم)
1	اوكسجين	O	46.46	91.77	62.55	1.40
2	سيلكون	Si	27.61	0.80	21.22	0.42
3	المنيوم	Al	8.07	0.76	6.47	0.51
4	حديد	Fe	5.06	0.68	1.92	0.74
5	كالسيوم	Ca	3.64	1.48	1.84	0.66
6	صوديوم	Na	2.75	1.60	1.94	0.99
7	بوتاسيوم	K	2.58	2.14	2.64	0.97
8	مغنيسيوم	Mg	2.07	0.56	1.42	1.33
9	هايدروجين	H	0.14	0.06		
10	تيتانيوم	Ti	0.62			
11	فسفور	P	0.12			
12	كاربون	C	0.09	0.01		
13	منغنيز	Mn	0.09			
14	كبريت	S	0.06			
15	كلورين	Cl	0.05	0.04		
16	برومين	Br	0.04			
17	فلورين	F	0.03			
18	عناصر اخرى		0.52	0.1		

### التركيب المعدني للقشرة الأرضية

تتكون المعادن او المركبات من اتحاد عنصرين او اكثر، والصخور تتكون من معدن واحد او مجموعة من المعادن. يمكن اعتبار الصخرة الوحدة الأساسية في بناء الأرض ، اما المعدن فهو وحدة بناء الصخرة، تختلف الصخور بعضها عن بعض من خلال اختلاف المعادن المكونة لها ومكان تكوينها في الكرة الأرضية. يمكن تقسيم الصخور حسب نشأتها الى ثلاثة اقسام رئيسية وهي:

## 1- الصخور النارية Igneous Rocks:

وتسمى أيضا بالصخور الأولية Primary Rocks، وتنشئ من تصلب المادة الصخرية المنصهرة الموجودة في باطن الأرض والتي تعرف بالصهير Magma، وعند خروجه الى سطح الأرض بواسطة البراكين يطلق عليه اسم الحمم البركانية Lava. تتكون الصهير Magma من مجاميع معقدة من معادن السيليكات والتي هي مصدر جميع الصخور الموجودة في الأرض. تتكون القشرة الداخلية للأرض من الصخور النارية مثل Basalt و Cyenite و Granite وغيرها، وتتصف جميع هذه الصخور ببناء بلوري، وتشكل الصخور النارية 95% من صخور القشرة الأرضية.

## 2- الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

يطلق عليها أيضا بالصخور الثانوية Secondary Rocks وهي عبارة عن تراكم مواد ناتجة من تفتت الصخور النارية او من تراكم مواد عضوية نباتية او حيوانية او من المصدرين معا، ثم تماسكت هذه المواد بالضغط والتجفيف او بترسب مواد أخرى بين حبيباتها. وتتكون الصخور الرسوبية بفعل عمليات التجوية Weathering والنقل Transportation والترسيب Deposition. ان تفتت الصخور التي سبق تكوينها ثم ترسب المواد الناتجة في مكان جديد بفعل عوامل النقل كالانهار والرياح تحت ظروف اعتيادية من ضغط وحرارة، ومن امثلتها الحجر الرملي Sandstone والحجر الكلسي Limestone والحجر الطيني Claystone. يمكن النظر الى ان التربة صخر رسوبي، لذا تعتبر مصدرا هاما لتكوين الصخور الرسوبية في الدورة الجيوكيميائية في الطبيعة. تغطي الصخور الرسوبية حوالي 75% من سطح الأرض، الا انها تمثل 5% من حجم الصخور المكونة للقشرة الأرضية.

## 3- الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

وهي صخور كانت في اول تكوينها اما صخور نارية او رسوبية، ثم تأثرت بالحرارة المرتفعة جدا او بالضغط كبير او الاثنين معا، فاكتسبت من جراء

ذلك صفات جديدة ليست لاي نوع من نوعي الصخر الأصليين . مثل صخر Slate و Gneiss والمرمر Alabaster. يوضح الشكل الاتي الدورة الطبيعية للصخور والتي تبين العمليات الجيولوجية المختلفة التي تؤدي الى نشأة الأنواع المختلفة من الصخور، وتعرف دورة التغير الصخري او دورة التحول، وان هذه الدورة تتكرر الى ما لا نهاية. ان دورة التغير الصخري تمر بمرحلتين وهي: عمليات الهدم Katamorphism وعمليات البناء Anamorphism.

تتعرض الصخور الصلبة الى عمليات تجوية تقوم بها العوامل الطبيعية المختلفة، مما يؤدي الى تكسيروها وتحللها، وتنقسم عمليات التجوية الى قسمين:

أ- التجوية الفيزيائية او الميكانيكية Physical or Mechanical Weathering

وتشمل الفعل الميكانيكي للعوامل الجوية مثل الرياح والحرارة والبرودة والمياه والثلج، والذي يؤدي الى تكسير وتفتيت الصخر الى أجزاء صغيرة بدون تغير التركيب المعدني للصخور.

ب- التجوية الكيميائية Chemical Weathering

يطلق على التجوية الكيميائية أحيانا بالتحلل Decomposition، وتعمل على تغيير مكونات الصخور الاصلية الى مواد أخرى تختلف عنها اختلافا كليا. ونتيجة لهذه العمليات تتكون التربة التي تعكس صفاتها الكيميائية والمعدنية الصفات الاصلية للصخر الام وما حدث له من تغيرات. ان المعادن التي ترثها التربة من الصخور النارية تسمى بالمعادن الأولية، اما المعادن التي تكونت اثناء التجوية وتكوين التربة فتسمى بالمعادن الثانوية. اي ان المعادن الثانوية تتكون من المعادن الأولية نتيجة تاثير العوامل الفيزيائية والكيميائية والبايولوجية. ان معظم معادن الطين عبارة عن معادن ثانوية تتواجد في الجزء الناعم من مكونات التربة الأقل من 0.002 ملم، بينما تتركز المعادن الأولية

مثل الفلدسبار Feldspar والكوارتز Quartz والبايروكسينات Pyroxens والامفيبولات Amphiboles والمايكا Mica في الجزء الخشن من مكونات التربة كالرمل والغرين.

### التركيب الكيميائي المعدني للرمل والغرين

يطلق لفظ الرمل على الحبيبات التي قطرها 0.05-1 ملم، اما لفظ غرين فيطلق على الحبيبات التي قطرها بين 0.002-0.05 ملم، وحبيبات الرمل والغرين يا عبارة عن اجزاء صغيرة من الصخور والمعادن الموجودة في الصخور او المعادن الموجودة في الصخور الاصلية التي نتجت منها التربة. فان الرمل والغرين الرمل والغرين من الناحية المعدنية يحتويان على معادن اولية مثل معدن السيليكات و الفلسبار والمايكا بالاضافة الى مركبات ومعادن ثانوية نتجت من عمليات التجوية الكيميائية مثل الاكاسيد الحرة وخاصة اكاسيد الحديد والالمنيوم ومعادن الشائعة في التركيب المعدني للرمل والغرين هي:

### أولاً: معدن الكوارتز Quartz minerals

يعتبر معدن الكوارتز  $SiO_2$  مقاوم للتجوية، اذ لا يزيد ذوبانه في الماء عن 0.0006%، ولا يحتوي على اي عناصر ذات اهمية في تغذية النبات، ولكنه يسهم في بناء الهيكل العام للتربة.

### ثانياً: معادن الفلدسبار Feldspar minerals

تختلف الفلدسبارات في تركيبها حسب نوع القواعد الموجودة فيها، كالبيوتاسيوم او الصوديوم او الكالسيوم، ويمكن تقسيمها الى:  
أ- اوثوكليز Orthoclase وصيغتها الكيميائية هي  $KAlSi_3O_8$  وتشمل:  
1- مايكروكلاين Micocline وصيغتها الكيميائية هي  $KAlSi_3O_8$   
2- سانيدين Sandine وصيغتها الكيميائية هي  $KAlSi_3O_8$

جميع هذه المادن لها ذات الصيغة الكيميائية، ولكن تختلف فيما بينها في الشكل البلوري.

ب- بلاجيو كليز Plageoclase وتشمل على:

1- انورثايت Anorthite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

2- الباييت Albite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

ثالثا: معادن المايكا Mica minerals

واكثرها شيوعا في أجزاء الرمل والغرين هي:

1- مسكوفاييت Muscovite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{KAl}(\text{Al}, \text{Si}_3) \text{O}_{10}\text{OH}_2$

2- بايوتايت Biotite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Al}, \text{Si}_3)\text{O}_{10}\text{OH}_2$

رابعا: امفيبولات Amphiboles

مثل هورنبلند Hornblende وصيغتها الكيميائية هي  $\text{CaNa}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5$

$\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22}$

خامسا: بايروكسينات Pyroxenes

مثل اوكايت Augite وصيغتها الكيميائية هي  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$

سادسا: اوليفينات Olivines

مثل فورستيرايت Forsterite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$

سابعا: معادن أخرى غير سليكاتية

أ- اباتايت Apatite وتشمل:

1- فلورأباتايت Fluorapatite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$

2- كلورأباتايت Chlorapatite وصيغتها الكيميائية هي  $\text{Ca}_{10}\text{Cl}_2(\text{PO}_4)_6$

3- هيدروكسي أباتايت Hydroxyapatite وصيغتها الكيميائية

$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$

ب- اكاسيد الحديد Iron Oxides وتشمل على سبيل المثال:

1- جيوثايت Geothite وصيغتها الكيميائية  $FeO.OH$

2- هيماتايت Haematite وصيغتها الكيميائية  $Fe_2O_3$

3- ماكنيتايت Magnetite وصيغتها الكيميائية  $Fe_3O_4$

ت- اكاسيد الالمنيوم Aluminium Oxides وتشمل على سبيل المثال:

جيسايت Gibbsite وصيغتها الكيميائية  $Al_2(OH)_6$

ث- معادن الكربونات Carbonates Minerals وتشمل على سبيل المثال:

1- كالسايت Calcite وصيغتها الكيميائية  $CaCO_3$

2- مكنيسايت Magnesite وصيغتها الكيميائية  $MgCO_3$

3- دولومايت Dolomite وصيغتها الكيميائية  $CaCO_3.MgCO_3$

ج- معادن الكبريتات Sulphates Minerals وتشمل على سبيل المثال:

جيسوم Gypsum وصيغتها الكيميائية  $CaSO_4.2H_2O$

## كيمياء مادة التربة العضوية

تقدر كمية الكربون العضوي للتربة بحدود  $10^3 * 10^{14}$  كيلوغرام وهي اكبر كمية في الطبيعة، فالكربون الموجود في الجو بصورة ثاني اوكسيد الكربون بحدود  $10^7 * 10^{14}$  كيلوغرام ، والكربون في الموارد الحية  $10^4 * 10^{14}$  كيلوغرام، في المياه العذبة  $10^2 * 10^{14}$  كيلوغرام، في المحيطات بحدود  $10^5 - 10^8 * 10^{14}$  كيلوغرام. ان 60-70% من كربون التربة موجود بشكل مواد دبالية.

ان ماده التربة العضوية تشمل كل المواد العضوية في التربة من

1- طبقة الاوراق المتساقطه على سطح التربة

2- الكتلة الاحيائية

3- الاجزاء العضوية الذائبة في الماء

4- والاجزاء العضوية المستقره

مصطلح المادة العضوية الطبيعيه يستعمل حديثا لوصف المركبات العضوية الطبيعيه في التربة والترسبات والماء. الجزء العضوي الكامل يتكون من الاحياء الحيه والنباتات وبقاياها غير المتحلله جزئيا والمتحللة جزئيا والمتحللة بشكل كامل وبقاياها المتحوله، وهي مزيج غير متجانس يتكون بشكل كبير من منتجات نتجت عن التحولات البيولوجيه والكيميائية للبقايا العضوية، هذه التحولات مجتمعه يطلق عليها بعملية التبدل الناتج النهائي الدبال وهو الذي عباره عن مزيج من مواد وصلت الى مرحله من الاستقرار وتقاوم اي تحلل متقدم.

ماده التربة العضوية تتكون من

1- جزء قابل للتغير (النشط)

2- جزء مستقر

الجزء النشط يتكون من ماده النبات غير الحيه (البقايا النباتيه المبعثره على سطح الارض و لا سيما في تربة الغابات) المهمه في دوران المغذيات، و الكتله الاحيائية والمواد غير المتدبله والتي لم ترتبط مع معادن التربة. يحتوي محيط التربة على عدد كبير من الاحياء المجهرية، و تضمن

1- البكتيريا

2- الفيروسات

3- الاكتينومييسيتات

4- الفطريات

5- البروتوزوا

6- احيانا النيماتودا

تقويم الاحياء المجهرية بدور حيوي في عملية تحولات و تحلل المواد العضوية وبعض المواد غير العضوية في الترب. هذه الاحياء وافرازات النباتات تعد مصدرا للانزيمات في محيط التربة و مسؤولة عن المواد العضوية الذائبه في محلول التربة.



وحدثا تم التركيز على اهميه ماده التربة العضوية في نوعيه البيئه والاحتباس الحراري. وتعد اداره التربة مهمه لعلاقتها بدور التربة مصدرا ومصبا للكربون في البيئه وهي مهمه في ظاهرة الاحتباس الحراري. وتسهم ماده التربة العضوية في انتاج ثاني اكسيد الكربون والميثان و اكسيد النيتروجين وغازات أخرى.

### الكربون في بيئه التربة

تم تشخيص تاثيرات تدهور التربة التي تترافق مع فقدان مادتها العضوية منذ مده طويله، ومن المؤكد ان تدهور بناء التربة الذي يلي انخفاض الماده العضوية يؤدي الى سهولة فقدان التربة بالتعريه المائيه او الريحيه، ولذا من المهم المحافظه على مستوى جيد من ماده التربة العضوية من اجل المحافظه على نظام انتاجي و اقتصادي مستدام. هناك تاكدت على ضروره تحديد ثاني اكسيد الكربون الجوي المنبعث من ماده التربة العضوية بسبب الاهتمام العالمي حول الاحتباس الحراري، الا ان هذا الموضوع يجب ان لا يؤثر على مستوى ماده التربة العضوية في الترب لاهميتها في المحافظه على خصوبه التربة وبناء التربة ودوران المغذيات

### دورة الكاربون في الطبيعة:

كاربون التربة العضوي هو احد اجزاء دورة الكاربون في الطبيعة التي تشمل دورة الكاربون خلال التربة والغطاء النباتي والمحيطات والغلاف الجوي. تقدر كمية الكاربون العضوي في المتر الأول من التربة 1500 كيكاً طن كاربون ، وهذه الكمية اكبر من كمية الكاربون الموجود في الغلاف الجوي وتقدر بحوالي 800 كيكاً طن كاربون ، وكميتها في النباتات الارضية مجتمعة 500 كيكاً طن كاربون. إنَّ مخزون الكاربون العضوي الهائل غير ثابت ، ويدور باستمرار بين مخازن الكاربون في الطبيعة باشكال جزيئية مختلفة. إنَّ غاز الميثان وثاني اوكسد الكاربون هما الغازانَّ الاساسيانَّ في الغلاف الجوي ، فإنَّ الكائنات الحية ذاتية التغذية (وبشكل اساسي النباتات) وكذلك الميكروبات ذاتية التغذية الكيميائية والضوئية تحول غاز ثاني اوكسيد

الكاربون إلى مادة عضوية من الغلاف الجوي ، المواد العضوية الميتة (وخصوصا مخلفات النباتات و افرازاتها) تخط مع التربة بواسطة حيوانات التربة ، وتقوم الكائنات غير ذاتية التغذية بتحليل المواد العضوية واطلاق الكاربون إلى التربة الناتج من عملية التحلل.

ينتج من عملية تحويل المواد العضوية بالتحلل إنتاج خليط كيميائي حيوي معقد من مركبات بقايا .النباتات ونواتج التحلل الميكروبي في مراحل مختلفة من التحلل، يمكن إن ترتبط مع معادن التربة وتغلف داخل مجاميع حبيبات التربة ، وبهذه الطريقة يمكن لكاربون التربة العضوي إن يبقى في التربة لمدة عقود وقرون او حتى الاف السنين.

ينبعث غاز ثاني اوكسيد الكاربون مرة اخرى إلى الغلاف الجوي عندما تتعرض المادة العضوية للتحلل او التمدن من قبل الاثنيات الحية الدقيقة ، ويمكن إن يفقد الكاربون من التربة إلى الإنهار والمحيطات بصورة كاربون عضوي مذاب او من خلال تعرية التربة ، تعتمد كمية الكاربون العضوي المخزنة في التربة على التوازن بين كمية الكاربون التي تضاف إلى التربة وكمية الكاربون المفقودة منها كغازات بسبب عملية التنفس الناتجة عن التمدن الميكروبي وبدرجة أقل عن طريق غسل الكاربون العضوي المذاب ، وموقعا يمكن إن يفقد الكاربون او يضاف من خلال التعرية او ترسب التربة ، ما يؤدي إلى اعادة توزيع الكاربون في التربة. ومن ثمّ يمكن التحكم في مستويات تخزين الكاربون التربة العضوي بشكل اساسي من خلال ادارة كمية ونوعية المخلفات العضوية التي تضاف إلى التربة وتقليل من كمية الكاربون المفقودة.

### **كمية الكاربون المثبت والمنبعث من وإلى الغلاف الجوي:**

إنّ العوامل التي تتحكم في سرعة تحلل المواد العضوية في التربة هي درجة الحرارة والمحتوى الرطوبي الذي يؤثر بشكل كبير في مخزون الكاربون في التربة من خلال تأثيرها على النشاط الميكروبي في التربة.

من الناحية العلمية من المهم جداً قياس كمية الكربون المنطلق إلى الغلاف الجوي ، ودور النظم البيئية التي تعمل على تثبيت غاز ثاني اوكسيد الكربون عن طريق التمثيل الضوئي اكثر من عودتها إلى الغلاف الجوي من خلال عملية التنفس ، ويتم تحديد انزائ الكربون العالمي من تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الغلاف الجوي وكميته الممتص من الغلاف الجوي عن طريق المحيطات واليابسة والإنبعاثات الناتجة من الوقود الاحفوري واستعمالات الاراضي وتغيير استعمالات الاراضي.

تقدر كمية الكربون المنبعث إلى الغلاف الجوي من سنة 2006- 2015 تزيد عن ضعف مجموع كمية الكربون في المحيطات واليابسة ، وإن 90% من هذه الإنبعاثات هي من الوقود الاحفوري والصناعة.

يستعمل مصطلح مادة التربة العضوية لوصف المكونات العضوية في التربة في مراحل مختلفة من التحلل مثل إنسجة النباتات والحيوانات الميتة والمواد التي يقل حجمها عن 2 ملم والكائنات الحية في التربة.

يؤدي تحلل مادة التربة العضوية إلى اطلاق العناصر الغذائية المعدنية وتصبح متاحة لنمو النبات، ومن ثمّ تسأهم في نمو النبات وزيادة الإنتاجية لضمان الامن الغذائي.

### صور الكربون في التربة:

- 1- خزين سريع التحلل: يحدث بعد اضافة الكربون العضوي الطازج إلى التربة وتتحلل وتفقد كمية كبيرة من الكتلة الحيوية الأولية في أقل من 1-2 سنة.
- 2- خزين وسطي التحلل: وتتضمن الكربون العضوي المجهز ميكروبيا والذي يستقر على الاسطح المعدنية و/ او المحمي داخل تجمعات حبيبات التربة ، وتتحلل 10-100 سنة.
- 3- خزين بطيء التحلل: وهو مستقر للغاية ويتحلل خلال 100- >1000 سنة.

كربون التربة العضوي هو احد اجزاء دورة الكربون في الطبيعة والتي تشمل دورة الكربون خلال التربة والغطاء النباتي والمحيطات والغلاف الجوي. الكتلة الحيوية تتضمن كمية كبيرة من المواد العضوية المختلفة وتتضمن الجزء العضوي من مخلفات المدن وحمأة مياه الصرف الصحي ونفايات العام ودمن الحيوانات. دمن الحيوانات هو الأقل كلفة لإنتاج الغاز الحيوي من ضمن المواد العضوية المختلفة وهو غني بالكربوهيدرات ، إنَّ دمن الحيوانات عند تحلله ينتج الغازات الدفيئة وتنطلق إلى الجو مسببة التلوث بيئيا ، وإنَّ الحل الذكي لهذه المشكلة هي تحويل الدمن الحيواني إلى طاقة حيوية.

### التربة مصدر ومصب للغازات الكربونية الدفيئة:

يمكن إنَّ تكون التربة سيفاً ذو حدين عندما يتعلق الأمر بإنبعاثات الكربون ، وإنَّ العوامل البشرية المؤثرة على التربة يمكن إنَّ تحول التربة مصدراً أو مصباً للغازات الكربونية الدفيئة ، وتكون التربة مصدراً للغازات الكربونية الدفيئة المنطلقة إلى الغلاف الجوي بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري. إنَّ غاز ثاني اوكسيد الكربون والميثان من اكثر العوامل بشرية المنشأ. وايضا غاز اوكسيد النتروز الذي اصبح إنبعاثه متزايدا بسبب الممارسات البشرية وخصوصا من الترب الزراعية ومنشآت الثروة الحيوانية .

إنَّ غاز ثاني اوكسيد الكربون هو اكثر غاز كربوني مؤثر في الغلاف الجوي. وكان تركيزه في الغلاف الجوي قبل الثورة الصناعية يتراوح من 180-290 ppm، وإنَّ نسبة زيادته تركيزه بلغ 40% بعد الثورة الصناعية ، وسبب ذلك يعزى إلى احتراق

### حجز الكربون العضوي في التربة:

حجز الكربون العضوي في التربة هو عملية تثبيت الكربون من الجو عن طريق النباتات او البقايا العضوية وتخزينها في التربة ، يتضمن حجز ثاني اوكسيد الكربون والكربون العضوي في التربة من خلال ازالة ثاني اوكسيد الكربون من

الجو ونقله إلى الكتلة الحيوية النباتية ومن ثم نقل الكربون من الكتلة الحيوية النباتية إلى التربة إذ يتم تخزينه.

### اليات تثبيت الكربون المضاف حديثا إلى التربة تشمل ما يلي:

- 1- من الناحية الفيزيائية: وذلك من خلال حجز الكربون في داخل التجمعات الصغير والكبيرة لحبيبات التربة ، إذ يتعذر وصول الكائنات الحية له.
- 2- من الناحية الكيميائية: ربما قد يكون عن طريق الامتزاز القوي للكربون حول الاطيان بواسطة الروابط الكيميائية التي تمنع استهلاك الكربون من قبل الكائنات الحية.
- 3- من الناحية الكيموحيوية: ربما يمكن اعادة تصنيع الكربون في هياكل جزيئية معقدة تعيق تحلله من قبل الكائنات الحية.

### التشبع الكربوني للتربة:

إنّ مفهوم التشبع الكربوني للتربة يعني إنّ مخزون الكربون في التربة قد وصل إلى القدرة الاستيعابية القصوى لتخزين مدخلات الكربون في التربة. او انه اقصى قدرة على تثبيت الكربون في التربة.

يعتمد مفهوم التشبع الكربوني على العديد من العوامل التي ترتبط بخواص التربة الديناميكية وتفاعلاتها مع العوامل اللاحيائية.

إنّ التربة ذات المحتوى المنخفض من الكربون لها قدرة اكبر على تخزين الكربون العضوي ، ولكن لها الميل بعدم القيام بذلك. إنّ غالبية الترب في العالم بعيدة عن عتبة التشبع الكربوني ، وهناك امكانيات كبيرة لزيادة مدخلات الكربون وادارته التي تحمي المخزون الحالي من اجل زيادة حجز الكربون في التربة إلى اقصى حد.

## التركيب العام للمواد العضوية

يمكن تقسيم المواد العضوية وفقا للترتيب الكيماوي الى :

أ- مواد عضوية لا تحتوي على عنصر النيتروجين:

أولا- الكربوهيدرات Carbohydrates

وهي التي تحتوي على الكربون و الاكسجين والهيدروجين وتشمل

1- السكريات الأحادية مثل كلوكوز والكالكتوز

2- السكريات الثنائية مثل السكروز والمالتوز

3- السكريات الثلاثية مثل الرافينوز

4- السكريات المتعددة مثل النشأ السيليلوز البكتين والصمغ والهيميسيليلوز

ثانيا- اللكنين Lignin

عادة ما يوجد اللكنين متحدا مع السليلوز والهيميسيليلوز في صورة

مركبات تعرف باللكنوسيليلوز. ويتكون من الكربون والاكسجين والهيدروجين.

ثالثا- الاحماض العضوية واملاحها

مثل حامض الخليك واللاكتيك والبيوتريك والاكساليك والستريك وغيرها

واملاحها مثل اكسالات الكالسيوم وسترتها.

رابعا- الدهون والزيوت

وجميعها تحتوي على الكربون والاكسجين والهيدروجين وهي عبارة عن

سترات الاحماض الدهنية والكليسيرونول.

ب- المركبات العضوية النيتروجينية

وتتكون من الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين الموجودة في

بعض المركبات وتشمل

1- البروتينات والبروتينات النووية Proteins and Nucleoproteins

- 2- عديد الببتيدات Polypeptides
- 3- الاحماض الامينية Amino acids
- 4- الامينات Amines
- 5- البيورينات Purines
- 6- الاحماض النووية Nucleic acids

### تحلل المواد العضوية

تضاف المواد العضوية الى التربة اما طبيعيا مثل جذور النباتات المتبقية بعد حصاد المحصول او الصناعية مثل الاسمدة العضوية التي تضاف التربة عن قصد وتتحلل هذه المركبات المختلفة في التربة اذا كانت الظروف الملائمة لنمو ونشاط الاحياء الدقيقة وخاصة من حيث الرطوبة والحرارة والتهوية حيث تقوم هذه الميكروبات بتحلل المركبات البسيطة مثل السكريات والنشأ و الاحماض العضوية والاحماض الامينية واليوريا اولا ثم يتبع ذلك على المركبات صعبة الانحلال كل بروتينات والكنين وينتج عن انحلال المواد العضوية في التربة تجزئة كثير من العناصر الداخلة في تركيبها مثل الكربون و النيتروجين والفسفور والكبريت واليوتاسيوم والحديد وغيرها من العناصر الضرورية في صورة صالحه للاستعمال ان النبات.

### تحلل المركبات العضوية غير النيتروجينية

تنقسم المركبات العضوية غير النيتروجينية حسب سرعة تحللها الى قسمين:

- 1- مركبات سريعة تتحلل مثل السكريات والنشأ والسيليلوز والهيميسيليلوز
- 2- مركبات بطيئة التحلل مثل اللكنين والدهون والاصماغ

يتضمن تحلل المواد العضوية غير النيتروجينية ما يلي:

أولا- تحلل مائي ويتم ذلك بواسطة ميكروبات التربة سواء كانت بكتيريا وفطريات، ويتوقف مقدرة اي نوع من هذه الميكروبات على احداث التحلل المائي لاحد المركبات

المعقدة على انتاج الانزيم الخارجي الذي يساعد على احداث التحلل المائي. في الظروف الهوائية فان الفطريات والاكثينوميسيتات والبكتيريا الهوائية هي المسؤولة غالبا عن التحلل المائي، اما في ظروف غير الهوائية، فان البكتيريا اللاهوائية والبكتيريا اللاهوائية اختياريا هي التي تنشط في احداث التحلل المائي. ونواتج هذا التحلل اكثر بساطة من ناحية الكيميائية واكثر قابلية للذوبان في الماء من المركبات الاصلية.

ثانيا- استعمال نواتج التحلل المائي بواسطة الميكروبات سواء تلك التي قامت بعملية التحلل المائي او غيرها ممن ليست لها القدرة على عملية التحلل كمصدر للطاقة والكربون اللازمة لنموها.

### **1- تحلل السيليلوز**

يعتبر السيليلوز من الكربوهيدرات الشديدة المقاومة للتحلل بواسطة الاحياء الدقيقة التي لها القدرة على افراز انزيم السيلوليز الذي يحلل السيليلوز الى سكر السيلوببوز الذي يتحول الى سكر الكلوكوز بواسطة انزيم السيلوببوز.

### **2- تحلل الهيميسيليلوز**

تقوم الاحياء المجهرية التي لها القدرة على افراز انزيم هيميسيلوليز بتحليل الهيميسيليلوز الى سكريات، ومعدل تحلل الهيميسيليلوز اسرع من السيليلوز، بسبب عدم تجانس تركيبه.

### **3- تحلل النشأ**

تقوم الاحياء المجهرية بافراز انزيم اميليز لتحليل النشأ الى مالتوز (سكر ثنائي)، وبوجود الماء وانزيم المالتيز يتحول المالتوز الى كلوكوز والكلوكوز يتحول الى ماء وثاني اوكسيد الكربون ومكونات اخرى في اجسام الاحياء المحللة.

### **4- تحلل البكتين**



يتواجد البكتين بكثرة في النباتات، وهي تعمل على تماسك الخلايا ببعضها البعض، يتحلل البكتين بسهولة مائياً بواسطة عدد من الميكروبات الى سكريات بسيطة مثل الكالكتور.

## 5- تحلل الكيتين

هو عديم الذوبان في الماء والمذيبات العضوية والقلوية المركزة او الاحماض المعدنية المخففة ، ولكن يمكن ان يذوب ويتحلل اما بفعل الانزيمات او بواسطة الاحماض المركزة. ان مصدر الكيتين في التربة هو بقايا الحشرات او انسجة بعض الفطريات التي يدخل في تكوينها الكيتين.

الكيتين يتحلل بفعل انزيم الكيتينيز ويتحول الى سكريات امينية ذائبة بالماء والأخيرة تتحلل الى ايون الامونيوم وثاني أكسيد الكربون وماء وقسم يصبح مركبات في اجسام الاحياء المحللة.

## تحلل المواد العضوية النيتروجينية

تنقسم المواد العضوية النيتروجينية الى

1- مركبات عضوية نيتروجينية بروتينية

وتتحلل حسب الخطوات الآتية

أ- تحلل البروتينات تحللاً مائياً بواسطة انزيم بروتينيز الى مركبات

نيتروجينية بسيطة بالببتيدات

ب- تتحلل الببتيدات تحليلاً مائياً بواسطة انزيم خاص يعرف بوليبيبتيديز الى

احماض امينية

ت- الاحماض الامينية الناتجة تحلل بواسطة انزيم ديامينيز

2- تحلل المركبات العضوية النيتروجينية غير البروتينية

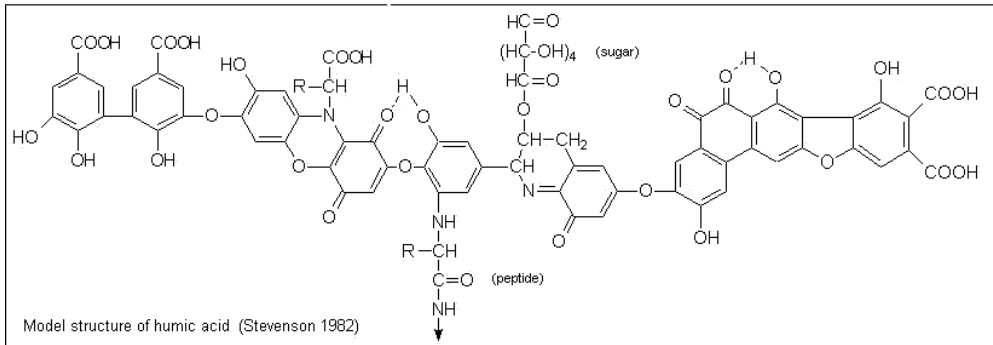
وافضل الامثلة هو اليوريا وتحلل اليوريا مائياً بواسطة انزيم اليوريز الى ثاني

اوكسيد الكربون و غاز الامونيا

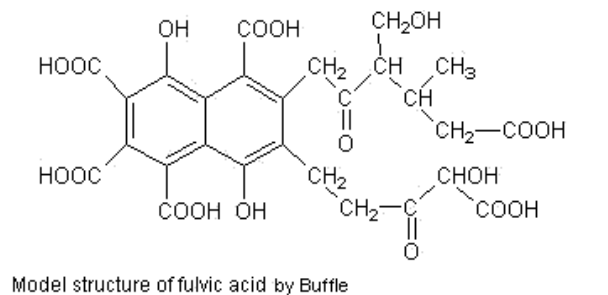
## اجزاء المادة العضوية (الدبال Humus)

تشمل جزيئات المادة العضوية الفعالة على المركبات البسيطة والسكريات والنشويات والبروتينات وهي ذات اوزان جزيئية واطنة. معظم هذه المواد تهاجم بسهولة من قبل احياء التربة المجهرية ومدى حياتها قصيرة نسبيا والتي يكون عمرها ايام الى عدة اشهر. وعندما تحلل المادة العضوية تنتج الدبال Humus والذي يتكون من الاحماض الدبالية يكون عمره سنوات الى عشرات السنين ويكون اكثر استقرارا وهو مادة غامقة اللون حامضية اروماتية ومحبة للماء ومعقدة كيميائيا و ذات اوزان جزيئية من مئات الى عدد من الالاف، ويضمن الدبال ثلاثة مجاميع اعتمادا على ذوبانيتها او استخلاصها بالقاعدة وبالحامض وتنقسم الى:

1- حامض الهيوميك Humic acid وهذا الحامض يكون ذائب في الوسط القاعدي المخفف ويطرسب عند تحميض المستخلص بحامض الهيدروكلوريك.



2- حامض الفولفيك fulvic acid وهو الجزء الذي يكون ذائب في القاعدة والحامض.



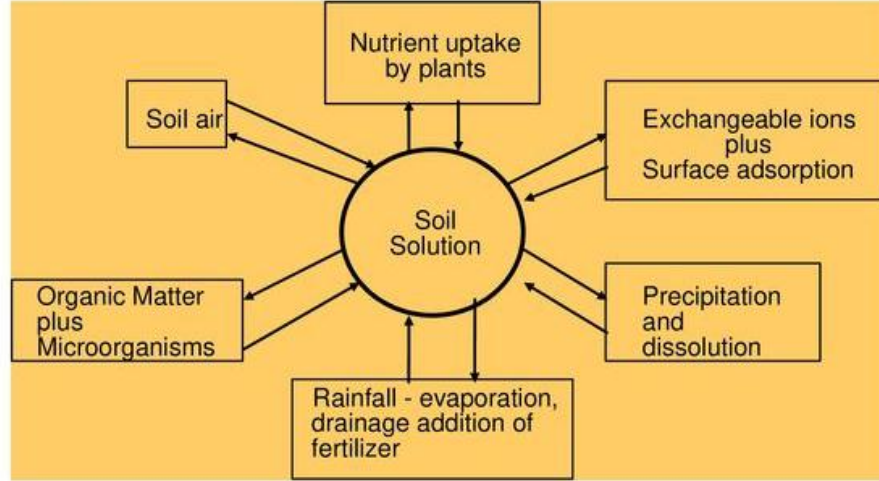
3- الهيومين Humin والذي يكون راسب في الوسطين القاعدي والحامضي .

ان الاختلاف الاكثر وضوحا بين الحامضين الدباليين يكون في الوزن الجزيئي، لان حامض فولفيك يمتلك وزن جزيئي اقل واكسجين اعلى وكربون والنيتروجين اقل من حامض الهيوميك، كما ان حامض الفولفيك يحتوي على نسبة عالية من المجاميع الوظيفية الحاوية على الاوكسجين (مثل OH و C=O و COOH) لوحدة الوزن بالقياس الى المكونات الاخرى.

### محلول التربة Liquid phase

يطلق على الطور السائل في التربة اسم محلول التربة ويعرف بانه محلول مائي يحتوي على العديد من المواد الذائبة في صورة ايونات حرة متأدرة ومركبات عضوية وغير عضوية وفي حالة اتزان ديناميكي مع بقية مكونات التربة الاخرى. فالعديد من التفاعلات الكيميائية المعقدة التي تحدث في التربة تتفاعل مع بعضها البعض من خلال محلول التربة. فمحلول التربة هو الوسط الذي يستمد منه النبات معظم العناصر الغذائية اللازمة لنموه، كما ان النبات يمد محلول التربة بكميات من الاحماض العضوية. الايونات في محلول التربة يمكن ان تدمص على المكونات العضوية وغير العضوية في التربة، ويمكن لهذه الايونات الممتصة ان تنطلق ثانية الى محلول التربة، واذا اصبح محلول التربة فوق الاشباع بالنسبة لمعدن ما، فان هذا المعدن يترسب حتى يحدث الاتزان. اما اذا كان محلول التربة لم يصل الى حالة التشبع بالنسبة لمعدن ما فيحدث اذابة لهذا المعدن حتى يحدث الاتزان. الايونات في محلول التربة قد يحدث لها تخفيف نتيجة للمطار وعمليات الري وانتقالها الى الماء الجوفي، او يحدث لها تركيز نتيجة عمليات التبخير وازافات الأسمدة. تركيز العناصر في محلول التربة يتأثر بوجود الاحياء الدقيقة حيث تستمد الاحياء الدقيقة العناصر اللازمة لنموها منه، وفي نفس الوقت تطلق العناصر الى محلول التربة عند موت هذه الكائنات الحية الدقيقة

وبتحلل المادة العضوية تنطلق الغازات من محلول التربة الى الهواء او تذوب في محلول التربة.



يعد محلول التربة المصدر الرئيس والمباشر للماء والعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات وحيث ان تركيز العناصر الغذائية في محلول التربة منخفضة ولا يفي بحاجة النبات لإتمام دورة حياته، فبالتركيز الكمية الذائبة في محلول التربة لاي عنصر لا تمثل الكمية الكلية لذلك العنصر في التربة، وانما تمثل كمية العنصر الصالحة للامتصاص بواسطة النبات، والتي يتم تعويض ما يمتصه النبات منها بواسطة الجزء الصلب، ولفهم قدرة الطور الصلب على تعويض ما يمتص من المحلول بواسطة النبات يجب معرفة العوامل التي تؤثر على صلاحية اي عنصر للنبات. النباتات يجب ان تجيز بالعناصر الغذائية بصورة مناسبة خلال فترة نموها ولهذا السبب فان تركيز العناصر الغذائية في محلول التربة يجب ان يبقى بمستوى ملائم لنمو النبات . ان جاهزية العناصر الغذائية لا تعتمد فقط على تركيز هذه العناصر في محلول التربة في اي فترة زمنية بل تعتمد ايضا على قدرة التربة للمحافظة على تركيز العناصر. ان مقدرة التربة على تنظيم تركيز العناصر الغذائية لمحلول التربة هو العامل الاكثر اهمية

في جاهزية العناصر. في التربة يوجد عاملان مهمان يؤثران على جاهزية اي عنصر للنبات وهي:

- 1- عامل الشدة Factor Intensity ويعرف بانه تركيز العنصر في محلول التربة
- 2- عامل السعة Factor Quantity ويعرف بانه مقدرة الصورة الصلبة في التربة على تعويض الانخفاض في تركيز عنصر ما في محلول التربة، فكما نعلم بانه نتيجة امتصاص النبات للعناصر من محلول التربة يحدث انخفاض في تركيز هذه الايونات في المنطقة الملاصقة للجذر ويترتب على ذلك حدوث ظاهرة الانتشار

لغرض تقدير علاقات السعة والشدة للبوتاسيوم، فقد استعمل الأسلوب المقترح من قبل Beckett (1964) والمتضمن استعمال محلول يحتوي على كلوريد الكالسيوم وكلوريد البوتاسيوم بنسبة 1:5، يحتوي المحلول تركيز ثابت من كلوريد الكالسيوم (20 ملي مول/لتر) ويحتوي المحلول على تراكيز متزايدة من كلوريد البوتاسيوم (0، 1.3، 2.6، 3.9، 5.2 ملي مول/لتر). رجت المعلقات لمدة ساعة وتركت (24) ساعة على درجة حرارة المختبر لغرض الاتزان، رشحت المعلقات وقدر تركيز EC، Ca, Mg, K وحسب:-

$AR^{K_e}$  : نسبة فعالية البوتاسيوم المعبرة عن شدة البوتاسيوم في المحلول (مول.لتر<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>(

$\Delta K_{ex}$ :التغير في كمية البوتاسيوم المتبادل : المعبر عن عامل السعة (سنتيمول.كغم<sup>-1</sup>)

P. B.C.K: السعة التنظيمية للتربة، سنتيمول.كغم<sup>-1</sup>/ (مول.لتر<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>

**القوة الايونية:**

القوة الايونية = نصف مجموع حواصل ضرب تركيز كل ايون X مربع شحنته

$$= \frac{1}{2} (m_1z_1^2 + m_2z_2^2 + m_3z_3^2 + \dots)$$

حيث  $m_1, m_2, m_3$  هي تراكيز الايونات المختلفة في المحلول بالمول / لتر ،  
 $z_1, z_2, z_3$  شحناتها

او تحسب في المستخلصات المائية للتربة من قيم الأيصالية الكهربائية وحسب  
ما جاء به Griffin وJurnak (1973).

$$I=0.013 \times EC$$

$I$  = القوة الايونية مول . لتر<sup>-1</sup>

$EC$  = الأيصالية الكهربائية للمستخلص ديسي سيمنز.م<sup>-1</sup>

**الفعالية ومعامل الفعالية:**

تحسب معامل الفعالية ( $f_i$ ) للأيون المنفرد باستعمال معادلة Debye و  
Huckel الموسعة الواردة في Lindsay (1979).

$$\log f_i = -A z_i^2 ( I )^{0.5} / 1 + B d_i ( I )^{0.5}$$

اذ ان: –

$A, B$  = ثوابت المعادلة

$A = 0.509$  عند 25 درجة مئوية

$B = 0.328$  عند 25 درجة مئوية

$d_i$  = الحجم المؤثر للأيون او قطر الايون الفعال

$Z_i$  = تكافؤ الأيون او شحنة الايون

حيث ان قطر الايون للعناصر الاتية:

$$3 = K$$

$$6 = \text{Ca}$$

$$8 = \text{Mg}$$

وحسبت الفعالية (ai) للبوتاسيوم والأيونات الأخرى من التركيز المولاري ومن العلاقة الآتية (عواد ، 1986)

$$a_i = f_i \times c_i$$

اذ ان:-

$$a_i = \text{الفعالية (مول.لتر}^{-1}\text{)}$$

$$c_i = \text{التركيز المولاري للايون في المحلول (مول.لتر}^{-1}\text{)}$$

$$f_i = \text{معامل فعالية الايون}$$

**نسبة نشاط او فعالية الايونات:**

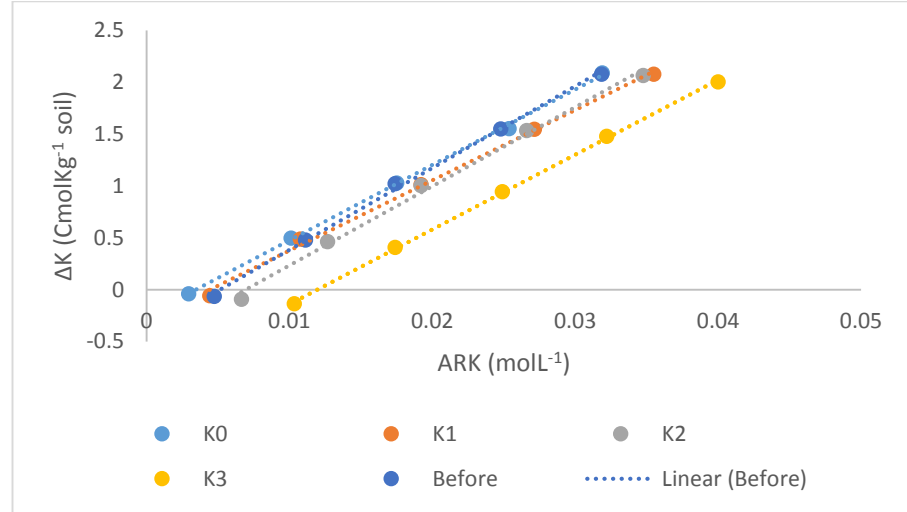
حسبت نسبة نشاط البوتاسيوم (ARK) وفق الأسلوب المقترح من قبل (Beckett ، 1964a) في المستخلصات من قيم الفعالية الايونية لكل من البوتاسيوم، الكالسيوم والمغنيسيوم وحسب المعادلة الآتية:-

$$ARK = aK / (aCa + aMg)^{0.5}$$

**منحنيات السعة والشدة:**

لغرض تقديرها استعمل الأسلوب المقترح من قبل (Beckett ، 1964b) اذ حسبت نسبة الفعالية الايونية المتزنة للبوتاسيوم (ARKe) من خلال رسم العلاقة بين نسبة النشاط الايوني للبوتاسيوم (ARK) المعبرة عن شدة البوتاسيوم والتي تمثل المحور السيني وبين التغير في قيمة البوتاسيوم المتبادل ( $\Delta K$ ) الذي يمثل المحور الصادي ، وان قيمة نسبة الفعالية الايونية المتزنة للبوتاسيوم (ARKe) عند الاتزان هي عبارة عن قيمة نسبة النشاط الايوني للبوتاسيوم (ARK) عندما يكون التغير في قيمة البوتاسيوم ( $\Delta K$ ) صفر.

اما حساب السعة التنظيمية للبوتاسيوم والبوتاسيوم المتحرك فقد تم حسابهما من خلال معادلة الخط المستقيم ( $Y = a + bx$ ) ، اذ ان البوتاسيوم المتحرك تساوي قيمة  $a$  الموجودة في المعادلة وان قيمة السعة التنظيمية تساوي قيمة  $b$  الموجودة في المعادلة.





التفاعلات الخاصة بانطلاق البروتونات او الالكترونات

هناك الكثير من التفاعلات التي ينطلق من خلالها عدد من البروتونات والالكترونات اي انها تعمل كواهب لتلك المكونات، وقد يكون الامر معكوس لتكون مكتسبة لتلك المكونات. وبشكل عام فان لهذه التفاعلات تاثيراتها في تحديد طبيعة خواص محلول التربة ومكوناتها المختلفة ومن خلال معرفة قيمة الفعالية او ما يطلق عليه بثابت الثرموداينمك يمكن حساب قيم فعالية هذه المكونات الناتجة.

1- تعادل الاحماض والقواعد من طلاق الفوتونات لا بد من الاشارة الى بعض التفاعلات التي تساهم في انطلاق البروتونات في المحاليل المائية و يمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الاتية



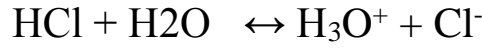
ووفقا لتطبيقات قانون فعل الكتلة على الأمثلة السابقة فان:

$$\text{ثابت الفعالية} = \frac{\text{الناتج}}{\text{المتفاعلات}}$$

$$\text{Ka} = \frac{(\text{H}^+)(\text{Cl}^-)}{(\text{HCl})}$$

من خلال معرفة ثابت الفعالية Ka يمكن حساب فعالية احد المكونات اذا كانت الاخرى معروفة، وفي اكثر الحالات يكون التركيز معروفا، او باستخدام الجداول الخاصة بمعاملات الفعالية يمكن معرفة الفعالية حسابيا، وقد يكون الامر معقدا لمعرفة فعالية

البروتون المتحلل، كما في حالة الحوامض الضعيفة التي تطلق كمية قليلة من البروتون، اما في حالة وجود مخاليط ثنائية فيمكن ان توصف بالمعادلة الاتية:



$$K_d = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = \frac{(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{Cl}^-)}{(\text{HCl})(\text{H}_2\text{O})}$$

حيث ان فعالية الماء = 1 وبالتالي تصبح المعادلة كالآتي:

$$K_d = \frac{(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{Cl}^-)}{(\text{HCl})}$$

عند ادخال اللوغارتم على المعادلة تصبح:

$$-\text{Log } K_d = -\text{Log } \text{H}_3\text{O} + \text{Log } \text{Cl} - \text{Log } \text{HCl}$$

حيث ان  $\text{pH} = -\text{Log } \text{H}_3\text{O}$  وبالتالي تصبح المعادلة:

$$-\text{Log } K_d = \text{pH} + \text{Log } \text{Cl} - \text{Log } \text{HCl}$$

نلاحظ من المعادلة السابقة ان قيمة pH الوسط يعتمد على :

1- تركيز الحامض والقاعدة

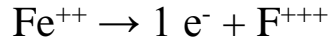
2- وثابت الفعالية

تفاعلات الاكسدة والاختزال:

الاكسدة Oxidation

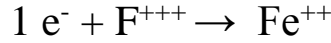
عملية يحصل فيها زيادة في الشحنات الموجبة او نقصان في الشحنات السالبة،

بمعنى اخر امكانية العنصر للتخلي عن الالكترين (زيادة في رقم الاكسدة):



## الاختزال Reduction

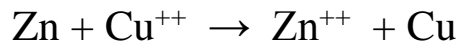
يحصل فيها زيادة في الشحنات السالبة او نقص في الشحنات الموجبة، بمعنى اخر استعداد عنصر ما لاستقبال الكترولون (انخفاض رقم الاكسدة):



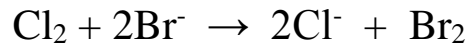
عموما يمكن مقارنة عملية الاكسدة والاختزال مع تفاعل الحامض والقاعدة، الا انه في تفاعل الحامض والقاعدة يحصل نقل للبروتونات (H)، بينما في عملية الاكسدة والاختزال فانه يحصل نقل للالكترولونات.

حتى تحصل عملية الاكسدة لا بد من توفر مركب قادر على استقبال الالكترولون المتحرر من المركب الاخر، وعندما ياخذ المركب الالكترولون، فاما ان يحصل نقص في الشحنات الموجبة او زيادة في الشحنات السالبة، بمعنى اخر ان هذا المركب قد اختزل.

عمليا في حالة الاكسدة والاختزال، هناك مادة تتاكسد واخرى تختزل:



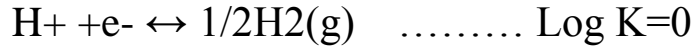
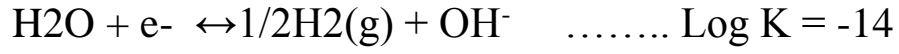
في التفاعل السابق نجد ان الزنك قد تاكسد والنحاس قد اختزل.



وهنا نجد ان الكلور قد اختزل والبروم قد تاكسد.

تعتبر تفاعلات الاكسدة والاختزال شائعة في الترب، اذا اصبح امر دراستها يتصف بالاهمية التطبيقية العلمية. ان درجة تفاعل التربة (pH) هو اللوغارتم السالب لفعالية البروتون الحر، اما جهد الاكسدة (Pe) Potential redox فهو اللوغارتم

السالب لفعالية الالكترن الحر. عند ظروف الاختزال فان المعادلة التالية تصف الحالة:



حيث (g) يعني الصورة الغازية، ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي:

$$K = \frac{(\text{H}_2)^{1/2}}{(\text{H}^+)(\text{e}^-)}$$

$$\text{Log K} = 1/2 \text{Log}(\text{H}_2)(\text{g}) - \text{Log}(\text{H}^+) - \text{Log}(\text{e}^-)$$

$$\text{Pe} = -\text{Log}(\text{e}^-) = \text{Log K} - \text{pH} + 1/2\text{Log}(\text{H}_2)(\text{g})$$

وبالتعويض عن قيمة الثابت  $0 = \text{Log K}$  فانه يمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي:

$$\text{Pe} + \text{pH} = -1/2 \text{Log}(\text{H}_2)(\text{g})$$

$$\text{Pe} + \text{pH} = 1/2 \text{pH}_2$$

وعندما يكون تركيز  $(\text{H}_2)(\text{g}) = 1$  ضغط جوي، فان  $0 = \text{pH}_2$

ونعوض قيمته بالمعادلة

$$\text{Pe} + \text{pH} = 0$$

$$\text{Pe} = -\text{pH}$$

ولو افترضنا ان  $\text{pH}$  التربة = 9 فان قيمة  $\text{Pe}$  الوسط = -9

## التداخلات بين محلول التربة و سطح الطور الصلب

### Solid Phase Surface and Soil Solution Interaction

حاولنا في المحاضرات السابقة ان تعامل مع مكونات نظام التربة على اساس انها مكونات مستقلة ومنفصلة، ولكن الحقيقة تشير الى التداخل القوي بين هذه المكونات، وقد يكون التداخل بين الطورين الصلب والسائل ظاهرة شائعة. كما ان السطح الفاصل بين الطور الصلب والطور السائل يمتلك خواص معينة نظرا لوجود حقل كهربائي في طبقة السائل القريبة من السطوح الصلبة. وهذا الحقل الكهربائي هو نتيجة وجود الشحنات الكهربائية على أسطح غرويات التربة والايونات المضادة المنجذب الى تلك الغرويات لمعادلة الشحنة، لهذا فان دراسة طبيعة التداخل ستساهم في فهم المشاكل المعقدة المرتبطة بعلاقة التربة مع النبات، حيث ان النبات وامتصاصه للمغذيات يتاثر بشكل او باخر بتركيب محلول التربة، الذي هو بدوره مرتبط بطبيعة السطح الفاصل بين الطورين الصلب والسائل وكثافة الحقل الكهربائي القريبة من السطوح الصلبة.

### مصادر الشحنة على اسطح غرويات التربة

أولاً: مصادر الشحنة على اسطح الغرويات المعدنية (الطين):

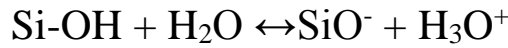
#### 1- الاواصر المكسورة:

عندما يتكسر المعدن الى حبيبات صغيرة، فان الاواصر الموجودة على حواف المعدن تصبح اواصر غير مشبعة، حيث يتم توازنها عن طريق امتصاص ايونات موجبة من المحلول الخارجي. هذه الاواصر المكسورة غير المشبعة تميل الى التواجد حول وحدات السيليكا والالمنيوم. ويزداد عدد الاواصر المكسورة وبالتالي السعة التبادلية (الشحنة السالبة) الناشئة عنها بعد عملية طحن وتحطيم حبيبات الطين. كذلك تؤدي التشوهات التي تحدث في الهيكل البنائي لمعادن الطين الى زيادة الاواصر المكسورة، وبالتالي تزداد السعة التبادلية كلما قلت درجة التبلور وازداد التشوه البلوري.

تعتبر الاواصر المكسورة المصدر الاساسي للسعة التبادلية لمعادن الكاؤولينايت والهالوسايت. وبنفس الوقت تعتبر مصدرا هاما للسعة التبادلية في معادن الاليت والكلورايت. وعندما تكون هذه المعادن ذات درجة عالية من التبلور فان الاواصر المكسورة تصبح المصدر الاساسي للسعة التبادلية فيها. اما في حالة العينات ضعيفة التبلور من هذه المعادن المذكورة فان الاحلال المتماثل يصبح مسؤولا جزئيا عن سعادتهم التبادلية.

اما الحال في معادن السمكتايت والفيرميكيولايت فان الاواصر المكسورة تساهم بمقدار قليل حوالي 20% من مصدر السعة التبادلية. اما بقية السعة التبادلية فتتشا عن طريق الاحلال المتماثل في البناء.

اما عن طبيعة هذه الاواصر المكسورة فان معظم الابحاث تشير الى ان المجامع الهيدروكسيلية المتصلة بذرة السيليكون او الالمنيوم في وحدات البناء المكسورة تتاين تاركة شحنة سالبة على حافة المعدن كما في المعادلة الاتية:



هذه المجامع يمكن ان تتفاعل كقواعد عن طريق اكتساب بروتونات وبالتالي تكتسب شحنة موجبة. هذه الشحنات تزداد او تنقص حسب درجة تفاعل الوسط. فمثلا تزداد الشحنة السالبة في الوسط القلوي كنتيجة لزيادة تاين المجامع الهيدروكسيلية. وبالمثل فان الشحنة تسلك عكس هذا المسلك في حالة انخفاض رقم التفاعل للتربة. لهذا يطلق على مثل هذه الشحنات اسم الشحنات المعتمدة على قيمة pH التربة.

## 2- الاحلال المتماثل Isomorphous substitution:

لقد سبق ان اوضحنا ما يقصد بالاحلال المتماثل وما يهمننا هنا هو اكتساب البلورات شحنات سالبة عندما يحل ايون موجب منخفض التكافؤ محل ايون مرتفع التكافؤ في التركيب البلوري. وقد يحدث في مواقع الاوكتوهيدرية، لذا تكون الشحنة السالبة بعيدة عن السطح او في المواقع التيتراهدرية حيث تكون

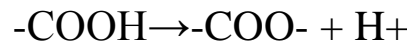
الشحنة قرب السطح وتتم موازنة الشحنات عادة عن طريق امتصاص ايونات من الخارجي مما يكسب المعدن القدرة على تبادل الايونات، ولكن قد تتم معادلة الشحنة الناتجة ببعض التغييرات في البناء مثل استبدال الاوكسجين بالهيدروكسيل. والمعروف ان الاحلال المتماثل يعتبر مسؤولا عن 80% على الاقل من السعة التبادلية لمعادن المايكا والفيرميكلولايت والسمكتايت. اما في حالة معادن 1:1 فان كمية الاحلال المتماثل ضئيلة جدا قد يصعب اكتشافها بالتحليل الكيميائي.

### 3- العيوب البلورية Crystal defects:

يحدث في كثير من الاحيان ان لا تكون الظروف مناسبة ولا الزمن كافيا لحدوث التبلور المثالي للبلورات. وينشأ عن ذلك وجود فراغات في البلورة ترجع الى نقص عدد الايونات السالبة والموجبة. فاذا كان نقص في عدد الايونات الموجبة اكبر من النقص في عدد الايونات السالبة المكونة للبلورة ادى ذلك الى اكتساب جسم البلورة شحنات سالبة. وتتعاد هذه الشحنات عن طريق جذب ايونات خارجيه الى البلوره. وهذه الطريقة يمكن ان تؤدي الى اكتساب البلورات شحنات موجبه ايضا ان توفرت الظروف المناسبه لذلك ويجدر الاشاره هنا الى ان هذا المصدر ذا اهميه قليل في تحديد شحنة معادن الطين بصفه عامه.

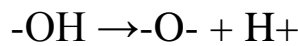
ثانيا: مصادر الشحنة على اسطح الغرويات العضوية:

1- تاين المجاميع الكاربوكسيلية التي تعطي شحنة سالبة كما في المعادلة الاتية:



ويحدث هذا التاين عندما تكون درجة التفاعل ما بين 4-7.

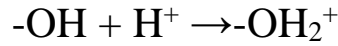
2- تاين المجاميع الفينولية التي تعطي شحنة سالبة كما في المعادلة الاتية:



ويحدث هذا التاين عندما تكون درجة التفاعل اكثر من 7.

وهذه الشحنة السالبة الناتجة من تأين المجاميع الكربوكسيل والفينول يطلق عليها الشحنة المعتمدة على درجة تفاعل التربة  $\text{pH dependent charge}$

3- تأين المجاميع الامينية والفينولية التي تعطي شحنة موجبة كما في المعادلتين الاتيتين:



مما سبق يتبين ان مصادر الشحنة السالبة متعددة، وان الاواصر المكسورة الموجودة على حواف المعدن والاحلال المتماثل المصدر الاساسي للشحنة السالبة، بالاضافة الى المصادر الاخرى كتأين الهيدروجين من المجاميع الهيدروكسيلية التي تدخل في التركيب البلوري.

كما ان تأين الهيدروجين من المجاميع الفعالة الداخلة في تركيب المادة العضوية تساهم في زيادة كثافة الشحنة السالبة على غرويات التربة. وقد يتراوح مصدر الشحنة في معظم التربة من المادة العضوية بين 10 الى 60% من السعة التبادلية الكلية وتعتمد على خصائص التربة ومكوناتها.

وبشكل عام فان الشحنة السالبة في الترب تنقسم الى قسمين رئيسيين:

#### 1- الشحنة الدائمة $\text{Permanent charge}$ :

وتنشأ الشحنة الدائمة نتيجة لعملية الاحلال المتماثل في معادن الطين و تكون موزعة توزيعا منتظما.

#### 2- الشحنة المتوقفة على درجة تفاعل التربة $\text{Soil pH dependent charge}$ :

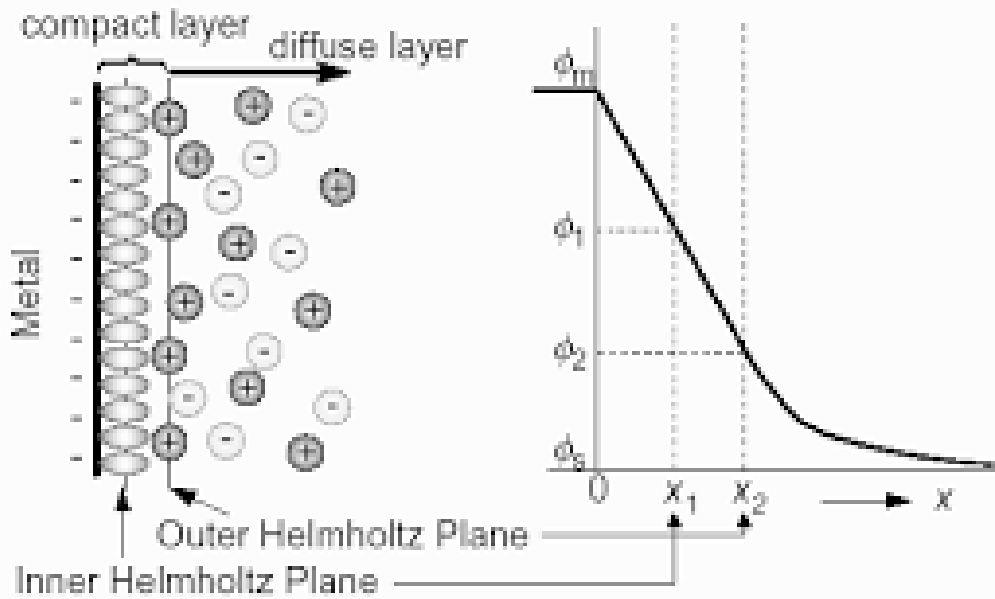
فهي متغيرة و تنشأ نتيجة لتأين مجموعة الـ  $\text{OH}$  المرتبطة بالسيليكون، وذلك اذا حدث كسر في تيتراهدرا السيليكا او تنشأ نتيجة لتأين المجاميع الكربوكسيلية والفينولية الداخلة في تركيب المادة العضوية.

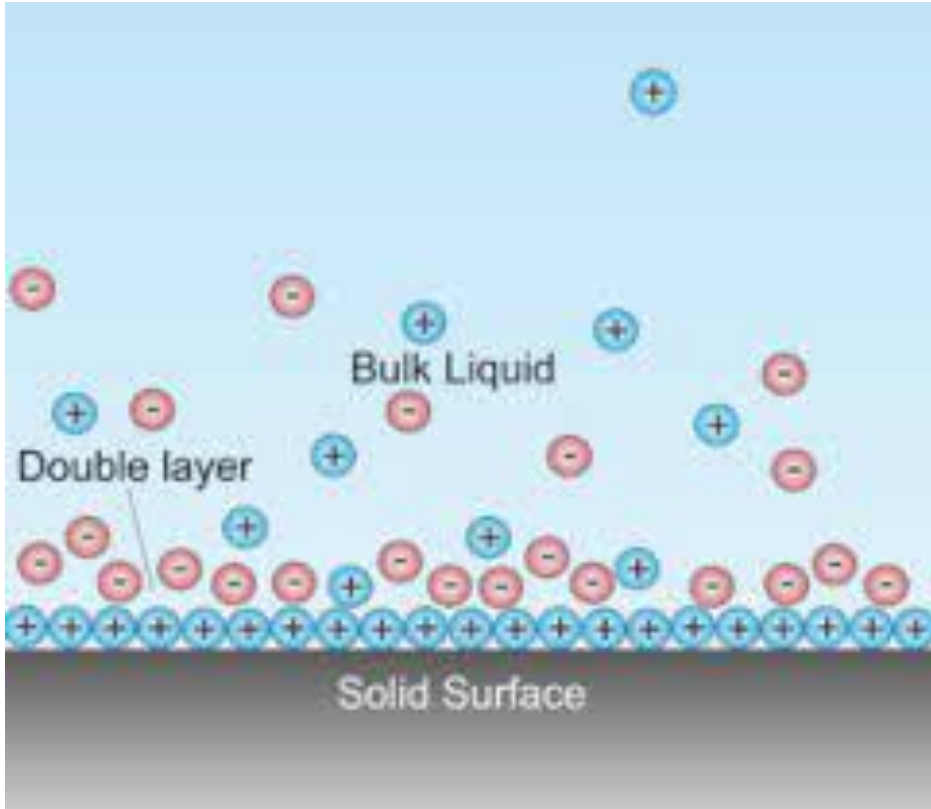


## الصفات الخاصة بسطح الانفصال بين الطور الصلب والطور السائل

لما كان نظام المكون من غرويات التربة ذو سطح مشحون بشحنات كهربائية فان طبقة السائل المحيطة به تحتوي على كميات متكافئة من الايونات المضادة بالشحنة. ويطلق على الايونات التي لها شحنة مخالفة لشحنة السطح الغروي اسم الايونات المضادة. والنظام المكون من غرويات لها سطح عليه شحنات كهربائية والمحاط بطبقات من السائل لها شحنة مخالفة لشحنة السطح يسمى الطبقة الكهربائية المزدوجة.

وتتميز الايونات المضادة ليس فقط بانجذابها الى السطح بل بمقدارها على الحركة بحرية خلال الطور السائل تحت تاثير الطاقة الحركية او الحرارية. وهذا يعني ان الايونات المضادة تسير في اتجاهين هما انجذابها الى السطح بواسطة المجال الكهربائي وتوزيعها خلال محلول التربة (حالة الانتشار).





ان الايونات المضادة تنجذب بقوه كولومب الى السطح المشحون بشحنة سالبة. ثم يقل تركيزها كلما ابتعدنا عن السطح المشحون وبنفس الوقت يزداد تركيز الايونات المصاحبة بعد ان كان تركيزها قرب السطح المشحون يكاد ان يكون صفرا.

عموما فان الطبقة الكهربائية المزدوجة تتكون من شحنات سالبة وكمية متكافئة من الايونات المضادة المجمعة على سطح الحبيبة. وتكون هذه الايونات محاطة بجزيئات الماء وعلى ذلك يمكن اعتبارها مكونة لمحلول يسمى غالبا بالمحلول الداخلي Inner Solution و ذلك للتمييز بينه و بين المحلول الخارجي المحتوي على الالكترونوليتات الحرة والمسمى Outer Solution

يتوقف سمك الطبقة الكهربائية المزدوجة على:

1- تركيز محلول الاتزان (المحلول الخارجي)

حيث يقل سمك هذه الطبقة بزيادة تركيز محلول الاتزان. بمعنى ان الطبقة الكهربائية المزدوجة تكون منضغطة وسمكها اقل في التركيز المرتفع من التركيز المنخفض.

## 2- تكافؤ الايونات المضاد

يتأثر سمك الطبقة الكهربائية المزدوجة بتكافؤ الايون المضاد. حيث ان زياده التكافؤ تؤدي الى تقليل سمك الطبقة الخارجية. ويرجع تفسير ذلك الى ان زيادة شحنة الايون المضاد يؤدي الى انجذاب اقوى وبذلك يقل سمك الطبقة الكهربائية المزدوجة.

## 3- ثابت العزل الكهربائي

يعرف ثابت العزل الكهربائي بانه مقياس لمدى انفصال الشحنة في جزء المادة وخاصة المواد القطبية. والعلاقة بين ثابت العزل الكهربائي و سمك الطبقة الكهربائية المزدوجة طردية، اي يزداد السمك بازياد هذا الثابت وينخفض بانخفاضه.

## بعض تطبيقات الطبقة الكهربائية المزدوجة:

### 1- التجمع والتشتت (Flocculation and dispersion)

من التطبيقات العملية المهمة لنظرية الطبقة الكهربائية المزدوجة هي تفسيرها لبعض الظواهر الفيزيوكيميائية التي تحدث في التربة والتي لها تأثير كبير على الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة ومن هذه الظواهر هي التجمع اوالتخثر (Coagulation) أي ترسيب الدقائق الغروية وتحولها من حالة سول (sol) أو المعلق الى حالة الجيل (Gel).

والظاهرة الأخرى هي التشتت وهي عكس التجمع أي تحول النظام الغروي من حالة الجيل الى السول. وتعتبر درجة التحلل مقياس كمي لمدى تحول الكاتيونات من

طبقة الايونات الملاصقة للطبقة المحددة لشحنة الغروية الى طبقة الايونات المتحللة أو المنتشرة. ويتميز Na بدرجة تحلل عالية جداً بالمقارنة مع Ca و Mg.

## 2- الانتفاخ (Swelling) والانكماش (Shrinkage)

ان الانتفاخ والانكماش من الظواهر التي لهما علاقة بالطبقة الكهربائية المزدوجة. فالانتفاخ يجري بمرحلتين الاولى هي تأدرت الدقائق الغروية (معادن الطين)، أي امدصاص جزيئات الماء على السطوح الداخلية والخارجية. وبالطبع فإن امدصاص الماء يؤدي الى تباعد الطبقات الغروية، مما يسبب انتفاخ الدقيقة نفسها. اما المرحلة الثانية فيؤدي الى تنافر ايونات الطبقة الكهربائية المزدوجة للغرويات والانتفاخ في هذه المرحلة يطلق عليها بالانتفاخ الازموزي ويكون التغيير الحاصل هنا كبير جداً.

### الامدصاص السالب

هو ظاهرة تجمع الايونات السالبة في طبقة الانتشار للطبقة الكهربائية المزدوجة. لوحظ انه اذا شبع طين بايونات مختلفة توازن مع ايوناتها السالبة او املاحها على هيئة كلوريد، فانه يلاحظ ان الامدصاص السالب يتناقص تبعا للتسلسل التالي:



كذلك لو ان عينة من طين المونتمورولينايت قد شبع بايون الصوديوم مثلاً، وفي حالة توازن مع املاح صوديوم مختلفة فانه يلاحظ ان



أي ان الامدصاص السالب متساو في حالتها كلوريد الصوديوم و نترات الصوديوم ، الا انه اقل من الامدصاص السالب في حالة كبريتات الصوديوم وهكذا.

يتاثر الامدصاص السالب بما يلي:

### 1- نوع المعدن الطيني

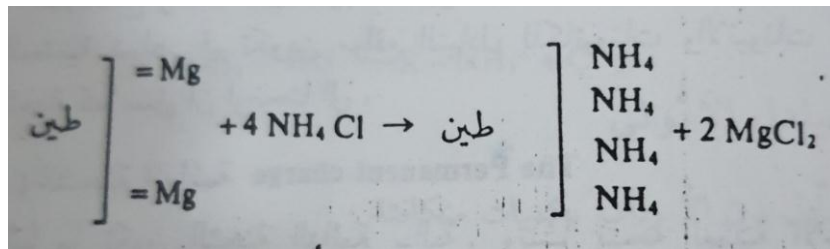
2- كمية الطين

3- السعة التبادلية

يقبل الامدصاص السالب بزيادة تركيز الاملاح وبارتفاع pH التربة ، ولكن بزيادة السعة التبادلية فان الامدصاص السالب يزداد. وتؤثر مساحة السطح النوعي للطين على الامدصاص السالب الذي يزداد بزيادتها

### التبادل الايوني Ion Exchange

يتم التبادل الايوني على سطوح المواد الحاملة لشحنة كهربائية، بحيث ان الاجسام ذات الشحنة تجتذب الى سطحها ايونات ذات شحنة مختلفة لشحنتها ومكافئة لها تماما، وتسمى هذه الايونات بالايونات المتبادلة Exchangeable Ion. ويمكن ان تتبادل الايونات التي تعادل شحنة الجسم مع ايونات مماثلة لها في الشحنة كما ونوعا، اي تكافئها تماما. بمعنى ان الجسم السالب الشحنة يجذب الى سطحه كاتيونات بالقدر الذي يعادل شحنته السالبة. وان الجسم الذي يحمل شحنة موجبة يجذب الى سطحه انيونات تعادل شحنته الموجبة. ويمكن في جميع الاحوال حدوث تبادل كاتيوني او تبادل انيوني بين الكاتيونات والانيونات الملتصقة بسطح الجسم وتلك التي قد تتوفر في محلول التربة. بحيث يتم التوازن بين الايونات المتبادلة والسائدة في محلول التربة المحيطة بمعقد التبادل. والمخطط التالي يبين كيفية انجذاب كاتيونات المحلول الخارجي باستبدالها بكاتيونات اخرى من الطبقة المشبعة وبكميات مكافئة لها، والايونات المستبدلة (المزاحة) تنتقل بدورها نحو محلول التربة على الوجه الاتي:



من المصطلحات التي تستعمل في هذا المجال هي:

- الامدصاص الايوني **Ion Adsorption** ويعنى به الزيادة في تركيز او تجمع نوع معين من الايونات على سطح صلب نتيجة لعملية التبادل الايوني او تفاعل اخر.

- Desorption ويعنى به استبدال او احلال ايون معين في حالة ممدصة Adsorbed اي انطلاق الايون الممدص.

- الامتصاص Absorption هو تحرك الايون الى داخل الجسم الماص وعدم التصادقه بالسطح فقط.

اثبت مجموعة من الباحثين سنة 1930 ان معادن الطين هي المسؤولة عن عملية التبادل الايوني. ولازال ظاهرة التبادل الايوني حتى يومنا هذا موضوعا هاما من دراسات كيمياء التربة.

وتعتبر تفاعلات تجوية المعادن وامتصاص العناصر الغذائية بواسطة النبات وانتفاخ وانكماش بعض معادن الطين وغسل الاملاح من التربة من التفاعلات الهامة التي لها علاقة وثيقة بعملية التبادل الايوني.

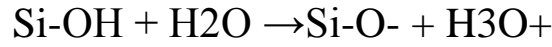
### مصادر الشحنة المسؤولة عن مواقع التبادل في التربة

#### 1- الشحنة الدائمة The permanent charge

غالبا ما تكون الشحنة الدائمة سالبة، وتنشأ نتيجة لعملية الاحلال المتماثل في معادن الطين وتكون موزعة توزيعا منتظما. هذه الشحنة ثابتة في مدى درجة التفاعل بين 2.5-10. حيث ان في درجة تفاعل اقل من 2.5 يؤدي الى تكسير معادن الطين ببطء او زيادة فرصة تكسر الحواف، مما يؤدي الى زيادة كمية الشحنة السالبة.

#### 2- الشحنة المعتمدة على درجة تفاعل التربة Soil pH dependent charge

تنشأ نتيجة لتأين مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بالسيليكون عند حدوث كسر في تيتراهدرا السيليكا و يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية



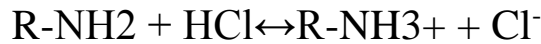
ومثل هذا النوع من الشحنات تكون مركزة عند الحواف والزوايا التي يحدث عندها الكسر، و تزداد كمية الشحنة المتكونة بهذه الطريقة مع زيادة السطح النوعي للمعادن.

كما ان مصدر هذه الشحنة هو المجاميع الفعالة مثل مجموعة الكاربوكسيل التي تتاين في حدود pH من 3-5، ومجموعة الفينولات التي تتاين بعد ارتفاع pH الى اكثر من 7. وبذلك تزداد الشحنة السالبة مع ارتفاع في pH الوسط، اي تزداد السعة التبادلية الكاتيونية مع ارتفاع في pH الوسط.

ويختلف مقدار مشاركة هذه الانواع من مصادر الشحنات تبعا للتركيب المعدني للتربة وكذلك حجم الحبيبات ومحتوى التربة من المادة العضوية.

3- الشحنة الموجبة المتوقعة على درجة تفاعل التربة The pH dependent positive charge

من الممكن ان تكتسب الحبيبات الغروية بالتربة شحنات موجبة تأتي نتيجة لاكتساب مجموعة الهيدروكسيل في طبقة الاوكتايدرا المعرضة لبروتون، وبالتالي تحمل شحنة موجبة. وفي المادة العضوية فان المجامع النيتروجينية القاعدية تكتسب هذه هي الاخرى بروتونا وتصبح موجبة الشحنة ويمكن تشبيه ذلك بالمعادلة التالية



## خصائص التبادل الايوني

- 1- يحدث التبادل الايوني بين الايونات بكميات متكافئة
- 2- التفاعل العكسي
- 3- التفاعل سريع لانه تفاعل ايوني وقد يكتمل في فترة اقل من دقيقة
- 4- تخضع التفاعلات الى قانون فعل الكتلة وهو قانون كيميائي كما تخضع التفاعلات لقوانين التبادل السطحي
- 5- يتوقف التفاعل الايوني على مساحة السطح في الحبيبات الصغيرة ذات السطوح اكبر من الحبيبات الخشنة، ولذلك تكون قابلية الحبيبات الصغيرة على امتصاص الايونات الموجبة اكبر
- 6- ترتبط الايونات بالسطح بواسطة انواع مختلفة من الروابط اهمها الروابط الالكتروستاتيكية

## العوامل المؤثرة على تفاعلات التبادل الايوني

يجب الاشارة اولا الى انه عند معاملة الدقائق الغروية مع محلول الكتروليتي فان كاتيونات هذا المحلول ستزح جزء من الكاتيونات الموجودة على سطح هذه الدقائق الغروية وتحل محلها الكاتيونات المزاحة الى المحلول تحاول بدورها ازاحة تلك الكاتيونات والاحلال محلها مره اخرى و تستمر هذه العملية الى ان تحدث حالة التوازن بين الدقائق والمحلول.

ان عملية التبادل والوصول الى حالة التوازن تجري بسرعة كبيرة في جميع الحالات التي توجد فيها الكاتيونات المنجذبة على السطح الخارجي للدقائق. اما في تلك الحالات والتي يكون فيها الكاتيونات المنجذبة في فراغات ما بين الجيوب لمعادن الطين او على سطح الدقائق التي تكون متراسة ومكونه مجاميع متراسة، فان الوصول الى حالة التوازن يتطلب وقتا طويلا وفي بعض الاحيان يكون هذا الوقت اياما عديده. اي



ان في حالة التوازن توجد نفس الايونات على سطح الغرويات و في المحلول المحيط بها (اي ايونات الكالسيوم والصوديوم على سبيل المثال) ولكن بكميات غير متساوية و كلما كان حجم المحلول المحيط بالغرويات اكبر وتركيزه اعلى كلما كانت كمية ايونات الصوديوم الممتصه على سطح الغرويات والتي تحل محلها ايونات الكالسيوم اكبر حسب قانون فعل الكتلة.

ولغرض استبدال ايونات الكالسيوم بالصوديوم كليا يجب عند اذن وبعد الوصول الى حالة التوازن ازاحة نترات الصوديوم ونترات الكالسيوم و اضافته حجم جديد من محلول نترات الصوديوم. ففي هذه الحالة يجري استبدال كميات جديدة اخرى من ايونات الكالسيوم بايونات الصوديوم المضافة وتتكرر هذه العملية عدة مرات الى ان تستبدل ايونات الكالسيوم كليا و هذا المثال ينطبق على اى زوج اخر من الكاتيونات. وفي الظروف الطبيعية تحتوي غرويات التربة على سطوعها عددا كبيرا من الكاتيونات منها بدرجة رئيسية الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والامونيوم والهيدروجين والالمنيوم.

لنوع الكاتيون السائد على السطح اهمية في تحديد نوع التربة و بمعنى اخر ان التربة العادية تحتوي على سطوحها ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم و الهيدروجين والالمنيوم وقد تصل نسبة هذه الايونات الى 90% من مجموع الكاتيونات الموجودة على سطح التربة. ويجدر الاشارة هنا ان نسبة ايوني الهيدروجين والالمنيوم لا تزيد عن 20% من مجموعة الكاتيونات الموجودة على السطح. اما البقية المتمثلة بنسبة 10% فتشمل ايونات الصوديوم والبوتاسيوم و احيانا الامونيوم. ان زيادة نسبة ايوني الهيدروجين والالمنيوم الى اكثر من 20% يعني تحويل التربة الى حامضية Acid Soil. وفي الترب الحامضية لا تزيد نسبة الايونات المذكوره الاخرى عن 10%، اي السيادة في مثل هذه الترب الى ايوني الهيدروجين والالمنيوم. اما زيادة نسبة ايون الصوديوم على السطح الى اكثر من 10% يعني تكوين الترب الصودية Sodic Soil. وفي مثل هذه الترب تنخفض نسبة ايونات الهيدروجين والالمنيوم الى اقل من 10%،

وغالبا ما يندر وجودهما. وقد تحتوي بعض الترب وبالاخص ترب المناطق الجافه وشبه الجافه على نسبة عالية من ايوني الكالسيوم والمغنيسيوم.

وبغض النظر عن كمية ونوع الكاتيونات السائدة على سطح غرويات التربة فان جميع هذه الكاتيونات المتبادلة تكون في حالة توازن مع كاتيونات المحلول المحيط الغرويات (محلول التربة) وفي حالة حدوث اي تغيير في تركيب و تركيز محلول التربة، تتاثر حالة التوازن وتتغير ويحدث تبدل في تركيب الايونات الممدصه تبعا لذلك.

تحدد حالة التوازن بين كاتيونات السطح الخارجي للغرويات والمحلول المحيط بها بعوامل رئيسية هي:

أولا: نوع الكاتيون

تستطيع بعض الكاتيونات ان تزيح كاتيونات اخرى من سطح الطين وتحل محلها.

1- في حالة الكاتيونات ذات التكافؤ المتساوي مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم

اقترح اولاً ان قطر الكاتيون هو العامل الرئيسي في كلما قل القطر كلما زادت القوه التي يرتبط بها الكاتيون مع حبيبه الطين تبعا لقانون كولومب

$$F=A(Z_1Z_2/r^2)$$

حيث ان

$F$ =قوة التجاذب الالكتروستاتيكية

$A$ =ثابت

$Z_1$  = تكافؤ الايون الأول

$Z_2$  =تكافؤ الايون الثاني

$r$  = المسافة بين الايون الأول والثاني

ولما كان اغلب تفاعلات التبادل يتم في وسط مائي وان الكاتيونات في هذا الوسط تحيط نفسها بطبقة من الماء تلتصق بها وتكون معها وحدة واحدة، لهذا اصبح الكاتيون الاقل نصف القطر المتادرت اقدر على طرد الكاتيون ذي نصف القطر المتادرت الأكبر. ان اختلاف الايونات المتشابهة بالشحنة بسمك الطبقة او الغلاف المائي المحيط بها يرجع الى ان كثافته الجهد الكهربائي على سطح الايون تكون اعلى كل ما كان الايون اصغر، اي ان الايونات ذات الاقطار الصغيرة تجذب عدد اكبر من جزيئات الماء وبالتالي لها غلاف مائي اكبر بالمقارنة مع الايونات ذات الاقطار الكبيرة. وتبعاً لذلك يكون حجم الايونات الصغيرة مع غلافها المائي اكبر من حجم الايونات الكبيرة مع غلافها المائي. ويمكن ملاحظه هذه العلاقة من الجدول التالي

الايون	نق الايون غير المتأدرت (انكستروم)	نق الايون المتأدرت (انكستروم)
Li	0.60	10.0
Na	0.95	7.9
K	1.33	5.3
Rb	1.48	5.1
Cs	1.96	5.0

ويجدر الاشارة هنا الى ان لايون الهايدروجين وضعا خاصا بالنسبة الي القابلية على التأدرت وكذلك بقدرته على الامدصاص. فمن الناحيه الواقعيه لا يوجد ايون الهايدروجين بشكل حر في المحاليل وانما يتحد بجزيئة ماء مكونا ايون الهايدرونيوم  $H_3O^+$  الذي يتصف في قطر 1.35 انكستروم، ولهذا الحجم الصغير (بالمقارنة مع الايونات المتأدرتة) خاصية هامة في قدرته على الانجذاب من قبل

الغرويات اعلى من قدرة الايونات الاحادية الشحنة و بعض الايونات الثنائية الشحنة أيضا.

## 2- في حالة الكاتيونات ذات التكافؤ المختلف

ان قوه الارتباط بين الكاتيون وحببية الطين تزداد بزيادة الشحنة الكهربائية. فالكاتيونات ثنائية التكافؤ شحنتها اعلى من احادية التكافؤ ، فلذا هي اقوى ارتباطا بسطح الغروي وكلما زادت تكافؤ الكاتيون كلما زادت قدرته على الاحلال على سطح حبيبة الطين محل الكاتيونات الاقل تكافؤا.

ويمكن تفسير ذلك على اساس درجات تحلل المركبات المتكونة من اتحاد الكاتيون الممدص والشحنة السالبة السائدة على السطح الغروي ، و درجة التحلل تكون اقل كلما كان تكافؤ الايون اعلى.

بالاضافة الى التكافؤ، فان الغلاف المائي يلعب دورا هنا ايضا في تحديد استعداد الايون للازاحة من السطح الغروي، كلما كان الغلاف المائي للكاتيون اكبر كلما سهلت ازاحته من سطح الغروي. اذن تختلف قابلية الانجذاب وكذلك الاستعداد للازاحة باختلاف الكاتيونات.

والتقاعدة العامه هي كلما كان انجذاب الكاتيون اسهل كلما كانت ازاحته من سطح الغراوي اصعب، فلذا تتراح الكاتيون الاحادي التكافؤ بدرجة اسهل من الكاتيونات الثنائية التكافؤ والاخير اسهل من ثلاثية التكافؤ.

وهذا يؤكد قدرة الكاتيونات الثلاثية التكافؤ (الالمنيوم الحديد) مثلا من الامتصاص بدرجة كبيرة. فنتوقع من هذا زيادة نسبتهم بين الايونات الممدصه، الا ان الواقع ليس كذلك، وذلك لان قابلية ذوبان املاح الالمنيوم والحديد في درجات التفاعل الاعتيادية للتراب ( $pH = 4.7-7.5$ ) قليلة جدا. ونتيجة لذلك فان هذين الايونين يترسبان بشكل اكاسيد الحديد والالمنيوم ويدخلان في تركيب حبيبة الغرويات المعدنية وشبكاتها البلورية ويشكلان سوية مع اوكسيد السيليكون الكتلة الرئيسية لها.

## ثانيا: تركيز الكاتيون بالمحلول

- 1- عند تثبيت الحجم و زيادة تركيز الصوديوم في المحلول زادت قدرة الصوديوم على الحلول محل الكالسيوم والمغنيسيوم. وهذا يعني ان زيادة التركيز تدفع الى تجاوز التقاعدة العامه التي سبق ذكرها.
- 2- مقدار الكاتيون المطرود من سطح غروي لا يتناسب طرديا مع تركيز المحلول المستعمل فقد وجد انه عند استعمال 0.05 عياري من كلوريد الامونيوم كان مجموع الكالسيوم والمغنيسيوم المستبدلان 12.7 ملي مكافئ/100 غرام تربة، وفي حالة محلول 0.1 عياري كان مجموع الكالسيوم والمغنيسيوم المستبدلان 20 ملي مكافئ/100 غرام تربة. وهذا يعني ان مضاعفه التركيز اعطت زيادة حوالي 60% فقط في عملية التبادل.
- 3- باستعمال مقدار ثابت من الكاتيونات بالمحلول مع تغير التركيز اوضحت النتائج انه كلما زاد تركيز المحلول كلما زاد التبادل رغم ان كمية الكاتيونات المشتركة في التفاعل لم تتغير.

## ثالثا: تأثير نسبة التربة الى المحلول

لقد درس الباحث Gorbonov سنة 1948 ازاحة الكاتيونات من التربة عند نسب مختلفة من التربة الى الماء تبدا 0.3:1 و 0.5:1 (النسب الاعتيادية للظروف الحقلية) الى 20:1 و 50:1 (النسب المستعملة في المختبرات)، لاحظ ان زيادة نسبة المحلول الى التربة من 0.3:1 الى 1:1 ازدادت كمية الكالسيوم والمغنيسيوم المزاح بسرعه (بشكل تناسبي طردي تقريبا) وعند زيادة اللاحقه للتخفيف كانت الزيادة قليلة.

## رابعا: درجة الحرارة

وجد ان رفع درجة الحرارة يزيد من معدل التبادل الايوني السريع قليلا، وينصح في بعض الاحيان برفع درجة الحرارة نسبيا من اجل الاسراع في عملية

التبادل. وقد اشار البعض الى ان عملية التبادل يحسن ان تتم على درجة حرارة 25 درجة مئوية. وان رفع درجة الحرارة يؤدي الى حدوث الاتي:

1- تثبيت بعض الايونات وبالتالي يغير من نسب الايونات لبعضها الداخلة في

عملية التبادل الايوني

2- قد تؤثر درجة الحرارة على السعة التبادلية الكاتيونية للمعادن زيادة او نقصا

3- زيادة الحرارة تؤدي الى زيادة ذوبان بعض المكونات التي لم تكن داخل

اصلا في عملية التبادل الايوني

خامسا: صفات معقد التبادل

لقد اشرنا قبل قليل الى القدرة التبادلية للايونات المختلفة وكذلك للعلاقة بين هذه القدرة وصفات الكاتيون (تكافؤه وحجمه ودرجة تاثرته). وان هذه الصفات تعتبر المحدد الرئيسي للقدرة الاستبدالية للكاتيون. الا ان الحال ليس كذلك تماما. فان الطبيعة الكيميائية وبناء معقد التبادل لهما اهمية كبيرة في هذا المجال، ويمكن تلخيصها بما يلي:

1- السعة التبادلية لغرويات التربة، من المعروف ان لكل نوع من هذه

الغرويات قدرة معينة على امدصاص الكاتيونات

2- درجة انتظام توزيع الشحنتات على سطوح الانواع المختلفة من الطين

3- موافقه حجم الايون لموقع الامصاص، فاذا صادف ان حجم الايون يلائم

هذا الموقع فان ارتباطه بالسطح يكون اقوى من ايون اخر له حجم اكبر او

اقل من حجم الموقع مما يجعله مخلخله غير مستقر. وخير مثال على ذلك

قطر ايون البوتاسيوم غير المتأدرت او الامونيوم هو 1.33 انكستروم وهذا

يلائم الفجوات السداسيه الناتجة عن طبيعة ارتباطات ذرات الاوكسجين في

طبقة التتراهيدراسيليكا المكون لمعادن الطين. وينتج عن ذلك ارتباط هذه

الايونات بقوه مع الطين و تصبح مثل هذه الايونات مثبتة

- 4- تغطيه مواقع التبادل بواسطة الكاتيونات كبيرة الحجم فمثل هذه الكاتيونات لا تستطيع الدخول بين صفحات معادن الطين وتغطي جزءا كبيرا من سطح الطين فتمنع امدصاص كاتيونات اخرى على مواقع التبادل التي غطتها ولذلك تقل السعة التبادلية للغروي.
- 5- تستطيع المواد العضوية من ربط الكاتيونات بها بقوه مختلفة خصوصا بتقييدها Chelating، كما يحدث عادة مع اغلب العناصر الدقيقة.

### السعة التبادلية الكاتيونية للتربة

تعرف السعة التبادلية الكاتيونية على انها كمية الكاتيونات معبرا عنها بالتركيز المكافئ لوحده الكتلة من التربة المرتبطة بصورة متبادلة عند درجة تفاعل 7 او اي درجة تفاعل اخرى مناسبة. اي انها كبير اي انها تعبر عن كمية الشحنة السالبة الموزعة على اسطح غرويات التربة العضوية والمعدنية. اذا لابد من تحديد درجة التفاعل التي تقاس عنده السعة التبادلية الكاتيونية نظرا لتوقف الشحنة السالبة على درجة تفاعل الوسط ، كما سبق الاشارة بان كمية و كثافة الشحنة السالبة تزداد مع زيادة درجة التفاعل. وتتحدد قيمة السعة التبادلية الكاتيونية حسب محتوى التربة من الغرويات و التركيب الكيميائي والمعدني لها. فالترب الحاويه على كمية كبيرة من الحبيبات الدقيقة تتميز عادة بسعة تبادلية عالية، اي ان قيمة السعة التبادلية الكاتيونية في الترب الطينية اعلى من الترب الرملية.

كما اننا المجاميع المعدنية و العضوية في التربة تختلف فيما بينها في قيمة السعة التبادلية. ويبين الجدول الاتي السعة التبادلية لبعض معادن الطين والمادة العضوية

المكون	السعة التبادلية الكاتيونية (ملي مكافئ/100غم)
معدن المونتموريلونايت	150-80
معدن الكاؤولينايت	15-3
معدن الفيرميكيولايت	180-50
معدن الاليت	30-10
معادن الكلورايت	30-20
المادة العضوية المتحللة	250-150
مادة معدنية غير متبلورة	200-80
حبيبات الطين	75-50
حبيبات الغرين	25-20
حبيبات الرمل	10-5

وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية بمدى واسع يتراوح من 1 الى 100 ملي مكافئ/100 غم تربة. ويندر وجود تربة ذات سعة تبادلية كاتيونية اقل من 1 ملي مكافئ/100 غم تربة. وغالبا لا تزيد السعة التبادلية الكاتيونية للتربة الرملية القليلة المحتوى من المادة العضوية عن 5 ملي مكافئ/100 غم تربة، بينما نجد قيمة السعة التبادلية للتربة الطينية الثقيلة الغنية بمعادن الطين ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية مثل معدن المونتموريلونايت والفيرميكيولايت او العالية المحتوى من المادة العضوية او الاثنين معا قد تزيد عن 75 ملي مكافئ/100 غم تربة. وتتراوح السعة التبادلية الكاتيونية للترب العراقية من حوالي



4 ملي مكافئ/100 غم تربة في التربة الرملية الصحراوية الى حوالي 30 ملي مكافئ/  
100 غرام التربة في التربة الطينية

الاهمية التطبيقية للسعة التبادلية الكاتيونية

1- التربة ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية تحتوي عادة على عناصر غذائية بكميات وفيرة وفي صورة صالحة لتغذية النبات، لان النبات يستطيع الاستفادة من الكاتيونات المتبادلة. اي ان ارتفاع قيمة السعة التبادلية الكاتيونية يعني ازدياد قابلية التربة على مسك المغذيات وحفظها من الضياع مع ماء الري

2- كلما كان السعة التبادلية الكاتيونية للتربة كبيرة دل على كبر السطح النوعي للتربة وكذلك قد يشير ذلك الى توفر معادن ذات سعة تبادلية عالية او منخفضه او وجود نسبة عالية من المواد العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعة التبادلية الكاتيونية العالية، او قد تحتوي على نسبة عالية من المواد غير المتبلوره ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية ايضا او خليط منها جميعا. و هذه النقطة تشير بوضوح الى اهمية دراسه السعة التبادلية الكاتيونية لما تمثله من مدلولات توضيحية لطبيعة التربة. وبمعنى اخر تشير السعة التبادلية الكاتيونية العالية الى:

أ- زيادة في نسبة الحبيبات الدقيقة او الغروية المشحونة مثل حبيبات الطين وبقايا التحلل عضوي او الدبال

ب-زيادة في نسبة معادن الطين ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية مثل معادن المونتموريلونايت او الفيرميكولايت

ت-زيادة في نسبة المادة العضوية المتحللة ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية

ث-زيادة في نسبة المادة المعدنية غير المتبلوره ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية

3- يدل نوع الكاتيونات السائدة على معقد التبادل على نوع الكاتيونات المتوفره في محلول التربة ومن ثم يمكن استنتاج خواص اخرى لهذه التربة كأن تكون صودية او حامضية ومن هذه الصفات الاخيريه يمكن استنتاج الظروف

الفيزيائية والكيميائية والحيوية التي تسود في هذه التربة، وربما يفيد ذلك في معرفه ظروف و طرايقة تكوين هذا النوع من التربة

### قياس السعة التبادلية الكاتيونية للتربة

نظرا لما لقيمة السعة التبادلية الكاتيونية للتربة من اهمية كبيرة وتطبيقات واسعة، ونظرا لما ينطوي عليه تقديرها من مشاكل.

يشمل قياس السعة التبادلية الكاتيونية ثلاث خطوات رئيسية وهي:

- 1- تشبييع التربة بمحلول مشبع. والغرض من ذلك هو شغل جميع مواقع التبادل بالتربة بايون المحلول المضاف
- 2- غسل الجزء الزائد من هذا المحلول المشبع عادة بكحول للتخلص منه ولا يستعمل الماء خوفا من حدوث عملية التحلل المائي
- 3- طرد الايون المشبع بايون اخر يسمى الايون المذيح ثم قياس الايون المزاح ونسبته الى وحده الكتلة للتعبير عن السعة التبادلية.

و في كل خطوه من الخطوات السابقه تظهر بعض المشاكل. ففي عملية التشبييع مثلا من الممكن ان يحصل ما يسمى بالتشبع غير الكامل نتيجة لان جميع مواقع التبادل في التربة لم تغطى بايون المحلول المشبع، ويمكن ان يرجع ذلك ايضا الى ان الايون المشبع غير قادر على طرد الايونات الاصلية الموجودة في مواقع التبادل. كذلك فان المحلول الطارد يجب ان لا يذيب او يزيد من ذوبان ايونات غير ذائبه أصلا. كما هو الحال في الترب الحاويه على كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم (الترب الكلسيه)، حيث يذيب محلول التشبع او محلول الايون الطارد كميات من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم لم تكن اصلا ذائبة. ويجب مع مراعاة هذه النقطة بدقه عند اختيار الطرايقة المناسبه لتقدير السعة التبادلية الكاتيونية في الترب العراقيه، نظرا لاحتوائها على نسبة ليست بالقليله من صور الكربونات الصلبه (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم). كما اكدنا سابقا

فانه لا يفضل استعمال الماء حتى لا يحل الهيدروجين محل الايون المتبادل. وكذلك يساهم الماء على تكوين طبقة كهربائية مزدوجة ذات سمك كبير قد تظم في داخلها تركيز من ايونات محلول التشبييع، وهذا يؤدي بالتالي الى خطأ عند تقدير الايون الطارد بعد ازاحته بالايون المزاح. وايضا لا يفضل ان يكون للمحلول الطارد القدرة على ترسيب الايونات المتبادلة ويستحسن ان يكون هذا الايون غريبا عن النظام الى حد ما. وفي عملية الطرد فانه من الممكن ان يحدث طرد غير كامل كما في حالة تثبيت بعض الايونات مثل الامونيوم والبوتاسيوم. ومن المحاليل الشائعة الاستعمال محلول خلات الامونيوم المتعادل (pH=7) او محلول خلات الصوديوم عند (pH=8) او محلول كلوريد الباريوم مع محلول منظم.

وكما سبق تعريف السعة التبادلية الكاتيونية بانها تمثل الكمية الكلية من الايونات الموجبة المتبادلة الممدصة على معقد التبادل. اذا لابد من اختيار طريقة خاصة بالترب الملحيه، نظرا لاحتوائها على كمية من الاملاح الذائبة. حيث يفضل البعض ازاله الاملاح الذائبة بغسلها ثم البدء في قياس الايونات المتبادلة. ولكن هذه الطريقة اصبحت حديثا غير مرضيه حتى لو استخدم الكحول في عملية الغسل. نظرا لحصول التحلل المائي. وفضل الطرق المستخدمه هو اجراء تقدير منفصل للايونات المكونه للاملاح الذائبة ثم طرحها من الكمية الكلية التي تمثل الكاتيونات الذائبة في محلول التربة والكيتونات المتبادلة الممدصه على سطح معقد التبادل.

اي ان السعة التبادلية الكاتيونية = الكمية الكلية من الكاتيونات - الكمية الكلية من الانيونات

وان الكمية الكلية من الانيونات ستكون مساوية لكمية الكاتيونات المنطلقه من الاملاح الذائبة في محلول التربة. ويجب استخدام هذه الطريقة الحسابيه ايضا في الترب غير الملحيه. لقد اوضحنا سابقا ان السعة التبادلية تنسب الى 100 غرام تربة (وزن جاف)، اي تنسب الايونات التي يتم تقديرها في الراشح المتحصل عليه لوزن جاف قدره 100 غرام تربة. وعند تشبييع هذه الكمية باضافه حجم من الماء فان محلول

التربة ايضا يحتوي على ايونات موجبة وسالبة يجب ان تطرح من الكمية الكليه المقدره في الراشح المتحصل عليه اثناء تقدير السعة التبادلية الكاتيونية رغم كون الكاتيونات الذائبه في المحلول قليله التركيز وغالبا ما تهمل. ولتوضيح هذا الامر يفضل اخذ عينه منفصلة وتقدير تركيز محلول التربة عند نقطة التشبع او تقدير الكمية الكليه من الكاتيونات والانيونات في الراشح المستخلص. ولو افترضنا انه يمثل:

الكمية الكليه من ايون الصوديوم = 3.40 ملي مكافئ / 100 غرام تربة

الكمية الكليه من ايون الكالسيوم = 22.12 ملي مكافئ / 100 غرام تربة

الكمية الكليه من ايون الكلوريد = 0.28 ملي مكافئ / 100 غم تربة

اذن السعة التبادلية الكاتيونية =  $0.28 - (22.12 + 3.40)$

= 25.24 ملي مكافئ / 100 غم تربة

وهذا يؤكد ضروره طرح الكاتيونات الحره المرتبطة مع الانيونات والمكافئه لها والذائبه في محلول التربة لكي تمثل الكاتيونات المتبقية الكاتيونات المتبادلة الممدصة علي معقد التبادل.

### معادلات التبادل الايوني

يستفاد من هذه المعادلات في معرفة وحساب نسبة الايونات الممدصة، اذا عرفت الكميات الموجودة في المحلول المتوازن مع الطور الصلب، او حساب النسب الموجودة اذا عرفت الكميات المتبادلة. وهذه الحسابات مهمة في حسابات استصلاح التربة وغيرها من التطبيقات العملية

ان الغرض الرئيسي من معادلات التبادل الايوني هو الايضاح النظري والحساب العملي لتوزيع الايونات في النظم والمعلقات الغروية.

ان جميع المعادلات تصف توزيع الايونات عند وجود خليط من ملحين فقط، وعند وجود اكثر من ملحين فانها تتعامل مع اثنين منها فقط، كما انها تصف التوزيع الايوني بالنسبة للمعلقات المخففة، اي انها لا تتصف ما يحدث في التربة نظرا لسيادة المادة الصلبة في الحالة الطبيعية.

بنيت معادلات التبادل الايوني فكرتين مختلفتين هما:

- 1- تعتمد على نظرية الطبقة الكهربائية المزدوجة
- 2- تفرض ان المعلق والغروي يحتوي على طورين منفصلين، الطور الاول يحتوي على الايونات المتبادلة والطور الثاني هو المحلول الالكتروليتي المتجانس، اي انها ستمثل التطبيق العملي لقانون فعل الكتلة.

ويمكن تقسيم معادلات التبادل الايوني الى:

#### 1- المعادلات الفيزيوكيميائية

وتصف التبادل الايوني على انه عملية مشابهة لامدصاص الغازات على السطوح الصلبة. واشهر معادلة هي معادلة:

أ- معادلة فروندلخ Freundlich

وضع هذه المعادلة العالم فروندلخ سنة 1959 لوصف امتصاص الغازات على السطوح الصلبة، وتنص المعادلة على ما يلي:

$$X=KC^b$$

حيث ان:

$X$  = تمثل الكمية المناسبة من الايون بالنسبة لوحدة الكتلة

$K$  = ثابت

$C$  = التركيز المتوازن

$b$  = ثابت اخر قيمته اكبر من الصفر واقل من واحد

من اجل الحصول على قيم ثوابت هذه المعادلة، فانه يتطلب تحويلها الى معادلة خط مستقيم بضرب المعادلة باللوغاريتم وتصبح كما يلي:

$$\text{Log}X=\text{Log}K + b \text{Log}C$$

استخدمت هذه المعادلة بكثرة في وصف امدصاص الفسفور على اسطح غرويات التربة المعدنية وكذلك بعض الانيونات الاخرى مثل البورون والمولبيدوم، وكذلك بعض الكاتيونات مثل الزنك.  
من ابرز عيوب هذه المعادلة هي:

- عدم مقدرتها على وصف اقصى حد امدصاصي

- كما ان هذه المعادلة تجريبية وان ثواب هذه المعادلة ليس لها اي معنى

فيزيائي

مزايا هذه المعادلة هي

- ان قابلية التربة للامدصاص تقل نسبيا بزيادة الكمية الممدصة.

ب- معادلة لانكماير

وهي ايضا معادلة مشتقة من امدصاص الغازات على السطوح الصلبة. وضعت من قبل العالم Langmuir سنة 1918 وهي تفرض امدصاص طبقة جزيئية واحدة على السطح. وهذه المعادلة لها تطبيقات واسعة في التربة وكذلك في تغذية النبات. والمعادلة هي:

$$X=KBC/(1+KC)$$

حيث ان

X = تمثل كمية الايون الممدص على وحدة الكتلة

C = التركيز بعد الاتزان

B = اقصى كمية امتصاص تمثل تكوين طبقة واحدة

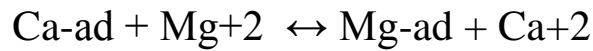
K = ثابت يعبر عن طاقة الربط

2- المعادلات الكيميائية:

وهي معادلات مشتقة من قوانين كيميائية معروفة وثوابت المعادلات تقدر عادة مختبريا، ومن هذه المعادلات هي:

أ- معادلة Kerr

استنبط Kerr هذه المعادلة سنة 1928 من قانون فعل الكتلة لوصف تبادل الايونات المتشابهة التكافؤ، الا انها تفشل في وصف تبادل الايونات المختلفة التكافؤ. ويمكن وصف التبادل الايوني بين ايني الكالسيوم والمغنيسيوم كما يأتي:



$$K= (Mg-ad)(Ca^{+2})/(Ca-ad)(Mg)$$

حيث ان :

K= ثابت الاتزان

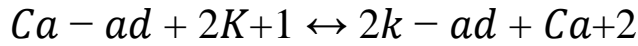
Ca-ad = الكالسيوم المتبادل

Mg-ad =المغنسيوم المتبادل

حيث يعبر عن تركيز ايون الكالسيوم  $Ca^{+2}$  وتركيز ايون المغنيسيوم  $Mg^{+2}$  بوحددة مول/لتر ، ويعبر عن فعالية الايونات المتبادلة Ca-ad و Mg-ad بوحددة مول/غم تربة

ب-معادلة Vanselow

استنبطت في 1935 م و تستعمل للتعبير عن تبادل الايونات غير المتساوية التكافؤ ، ففي تفاعل البوتاسيوم و الكالسيوم تكون معادلة التبادل الايوني كالآتي :

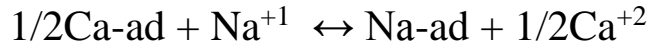


اي ان

$$K = (K - ad)^2(Ca^{+2}) / (Ca - ad)(K^{+})^2$$

ت-معادلة Gapon

استنبطت من قبل العالم كابون في سنة 1933، وتعتبر من اكثر المعادلات تبييقيا من الناحية العملية وخاصة في مجال الترب الملحية والصودية.



$$KG = (Na - ad)(Ca^{+2})^{1/2} / (1/2Ca - ad)(Na^{+1})$$

$$Na - ad / Ca - ad = KG(Na^{+1} / \sqrt{Ca^{+2}})$$

ونظرا لتشابه الكالسيوم والمغنيسيوم في خواص التبادل وكذلك لوجودهما معا في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة تكتب المعادلة كالاتي:

$$Na - ad / Ca - ad + Mg - ad = KG(Na^{+1} / \sqrt{Ca^{+2} + Mg^{+2}})$$

حيث ان تركيز المحلول بوحدة مول / لتر ، الا انه غالبا ما تقاس تراكيز الايونات بالمحلول بوحدة ملي مكافئ/لتر ، لذا فنقسم الكالسيوم والمغنيسيوم الموجودة في الطرف الأيمن على 2 من المعادلة أعلاه ونحصل على ما يسمى نسبة الصوديوم

الممدص (SAR) Sodium Adsorption Ratio

$$SAR = (Na^{+1} / \sqrt{Ca^{+2} + Mg^{+2}})$$

ويمثل الطرف الايسر (Na - ad / Ca - ad + Mg - ad) من المعادلة نسبة الصوديوم المتبادل (ESR) Exchange Sodium Ratio.