

جدول يوضح بعض العناصر الصغرى في المعادن الأولية

المعدن	العناصر الصغرى	المقاومة للتجوية
أوليفين	Ni , Co , Mn , Li , Zn , Cu , Mo	سهلة المقاومة
هورنبلند	Ni , Co , Mn , Li , V , Zn , Cu	متوسطة المقاومة
بيوتايت	Ba , Ni , Co , Li , Mn , V , Zn , Cu	
أباتيت	Ca , Mn	
انورثيت		
الاييت	Cu	
جرانيت	Mn , Cr	
اورثوكلاز	Rb , Ba , Cl , Cu	
مسكوفاييت	F , Ba , Sp , Ni , V	
ماجنييت	Zn , Co , Ni , V	
تورمالين	Li , F	
زركون	U	شديدة المقاومة
كوارتز		

وفي قطاع التربة تتواجد عناصر Zn ، Ag ، Pb ، Hg ، Cu ، Cd ، As بتركيزات عالية في الأفاق السطحية نتيجة لتحلل بقايا النباتات والترسبات الجوية وادمصاص هذه العناصر بواسطة مادة التربة العضوية.

أما العناصر التي وجدت بتركيزات عالية في الأفاق تحت السطحية فتشمل Mg ، Ni ، Ti ، Al ، Fe ، وذلك لأرتباط هذه العناصر بالطين السليكاتية والأكاسيد المتأدته التي تنتقل الى الأسفل. مما سبق يتبين بأن العناصر الصغرى تتواجد طبيعياً في التربة لأنها جزء من مكونات التربة.

ب- مصادر ناتجة عن النشاط الإنساني **Anthropogenic**

على الرغم من وجود العناصر الصغرى والسامة في الصخور الأصلية التي تكونت منها التربة فإن المصادر الرئيسية لهذه الملوثات يكون عن طريق النشاط الإنساني ويشمل:-

1. استخراج المعادن من المناجم.

2. المواد والكيماويات المستخدمة في الزراعة.

3. مخلفات الصرف الصناعي والصحي.

4. احتراق الوقود (فحم - بترول).

5. الصناعات التعدينية (تصنيع - استخدام - مخلفات).

6. الصناعات الألكترونية.

7. التخلص من النفايات **West Disposal**.

8. الحروب والتدريبات العسكرية.

1- الفضة **Silver**

تعتبر الحالة المؤكسدة **Oxidation State** الثانية للفضة **Ag** هي **+1** وحيث ان كاتيون الفضة **Ag⁺** يمتلك نصف قطر كبير لا يتحلل مائياً **Hydrolyze** الى **(AgOH)** إلا في **pH** المرتفع.

ويترسب **Ag₂O** عند **pH** المرتفع ويصل الحد الأدنى للأذابة قريباً من **pH = 12**. ويعتبر كاتيون **Ag⁺** هو الصورة الهامة الذائبة في مدى الـ **pH** الطبيعي لمعظم التربة وعند درجات **pH** المنخفضة فان عنصر الفضة يكون متوسط الحركة **Modium Mobility** في التربة ويمتص اختبارياً على مواقع التبادل الموجودة على سطوح الأطيان والأكاسيد والهيومس أما عند درجات الحموضة المتعادلة والقلوية يصبح كاتيون الفضة ضعيف الحركة جداً وذلك لأن أمدصاص العنصر على المعادن والمادة العضوية يزداد بازدياد درجة الحموضة **pH**. ويميل أيون الفضة **Ag** الى الاتحاد مع المجاميع التي تحتوي على الكبريت مثل الكبريتيد ولما كانت المادة العضوية تحتوي على مجاميع الكبريتيد فأن أيون الفضة يتواجد مع الجزء العضوي في التربة.

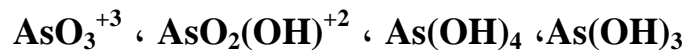
وتحت الظروف اللاهوائية للتربة فأن الكبريتيد يرسب الفضة **Ag** على صورة مركب صلب غير ذائب وبالتالي تصبح حركة **Ag⁺** ضعيفة جداً.

التربة العضوية **Peaty Soils** قد يصل محتواها من الفضة الى **(1ppm)** وعليه فأن المستويات العالية من الفضة في التربة **(710 ppm)** تدل على أن التربة قد تلوثت بفعل النشاط الإنساني مثل المناجم **Mining**.

مدى محتوى التربة من الفضة = **0.3 - 5 ppm**.

2- الزرنيخ **Arsenic**

يتواجد الزرنيخ **As** في التربة على الصورة المؤكسدة **(+5 ، +3)** وتحت ظروف الأختزال القلوية يحتمل وجود الزرنيخ في الحالة المؤكسدة **(+3)** ويعتبر **(+3)** هو الزرنيخ في الحالة المختزلة وغالباً ما يتواجد في التربة في الظروف اللاهوائية ويأخذ عدة أشكال مثل:



أما في الظروف الهوائية فأن الزرنيخ يتواجد في التربة على صورة **AsO₄⁻³**.

والسلوك الكيميائي للزرنينخ في التربة يشابه السلوك الكيميائي للفوسفات فنجد أنه يمدص على هيئة أكاسيد الحديد والألمنيوم والسليكات الألومينية غير المتبلورة وكذلك على معادن الطين السليكاتية. ولأن الزرنينخ **As** يعتبر انيون حامض قوي (H_3AsO_4) فإنه يمدص بدرجة كبيرة عند درجات الحموضة المنخفضة وتبعاً لذلك نجد أن حركة هذا الأيون تكون ضعيفة في التربة الحامضية ذات المحتوى العالي من الطين والأكاسيد.

أما في التربة المتعادلة والقلوية وخاصة القلوية نجد أن **As** يكون متحرك على صورة **Na arsenate** الذائب.

يتأكسد **Arsenite** الى **Arsenate** تحت الظروف الهوائية بفعل ميكروبات التربة. ويمدص أيون **Arsenite** بقوة أكبر على الطين والأكاسيد من **Arsenate** ومع ذلك فإن $As(OH)_3$ يسلك سلوك حامض البوريك **Boric Acid** مكوناً أنيون عند درجات الحموضة العالية. وعند الحموضة الضعيفة فإن $As(OH)_3$ ضعيف الأمدصاص **Arsenite** على الأكاسيد والتربة بالمقارنة مع **Arsenate** وخاصة عند **pH** أقل من 7.

وعند الظروف اللاهوائية يتحرك كل من **Arsenite** ، **Arsenate** في المحلول عن طريق انحلال أكاسيد الحديد والألمنيوم وتبعاً لذلك فإن **Arsenate** المتحرر يختزل الى **Arsenite**. ويتحول بعد ذلك الى الصورة غير الذائبة.

لذلك فإن ذائبية الزرنينخ تزداد في البداية ثم تقل بعد ذلك وشريطة الحفاظ على الظروف اللاهوائية.

عبارة الظروف اللاهوائية في التربة لفترة طويلة تؤدي الى تنافس وتشابك كثير من العمليات الكيميائية.

فالكبريتيد المتكون تحت الظروف اللاهوائية يعمل على ترسيب الزرنينخ وفي نفس الوقت تتكون مركبات **Alkylarsnate** المتطايرة والتي تؤدي الى فقد بعض صور الزرنينخ في التربة

مدى الزرنينخ في التربة = **2.2 – 25 ppm**

3- البورون **Boron**

يتواجد البورون في المحلول على صورة حامض البوريك $B(OH)_3$ (حامض ضعيف) وبدلاً من أن يفقد هذا الحامض بروتون مثل بقية الحوامض فإنه يستقبل OH^- ويتحول الى **Borate** عند درجات الحموضة المرتفعة:



ويمدص البورون بقوة على سطوح معادن الطين السليكاتية وأكاسيد الحديد والألمنيوم في مدى **pH = 8 – 9** ولذلك نجد أن صلاحية هذا العنصر تكون منخفضة في التربة خشنة القوام والترب الكلسية.

وتظهر أعراض نقص البورون في التربة الحامضية بسبب الغسيل بينما أعراض نقص البورون في التربة الجيرية تكون بسبب أمصاص وترسيب البورون على صورة أملاح بورات الكالسيوم **Ca -Borate Salt** وعلى النقيض من ذلك نجد أن سمية الـ **B** تكون شائعة في الترب الصودية وفي المناطق الجافة وذلك لأحتواء هذه التربة على تركيزات عالية من **Na** الذي يتحد مع **B** الذائبة ونتيجة لقلة الغسل بالأمطار في هذه المناطق ويعتبر **B** من العناصر المتحركة فتغسل بسهولة من التربة في المناخ الرطب ويتجمع على السطح في ترب المناطق الجافة.

مدى تركيز البورون في التربة = **9 – 85 ppm**

4- الباريوم **Barium**

يتواجد الباريوم فقط في الحالة المؤكسدة ويتواجد في التربة مع الفلدسبارت والبيورنيت حيث يمكن أن يحل محل **K** في التركيب البنائي لشده المعادن وذلك لتشابه نصف القطر الأيوني لكل من **K** والـ **Ba**.

وعند حدوث عمليات التجوية ينطلق الباريوم ويصبح غير متحرك **Immoble** نتيجة للترسيب على صورة كاربونات وكبريتات أو نتيجة للثبيت **Fixation** على معادن الطين السليكاتية عالية الشحنة مثل الفيرميوكلايت تظهر مواقع التبادل الكاتيوني على الطين والهيومس أفضلية التبادل الكاتيوني للباريوم وذلك بالمقارنة مع الكاتيونات المتأثرته الأخرى مثل **Ca** والـ **Mg** ونتيجة لذلك فأن الباريوم يعتبر من العناصر غير المتحركة (**Immoble**) في التربة.

ومتوسط تركيز الباريوم في التربة عادة يكون أعلى من تركيز غالبية العناصر الصغرى

مدى تركيز الباريوم في التربة = **84 – 838 ppm**

5- الكاديوم **Cadmium**:

يتواجد الكاديوم جيوكيميائياً مع الزنك في المعادن الكبريتيدية للصخور ونتيجة للتجوية الكيميائية يتحرر الكاديوم كأيون ذائب ومتحرك. وهذا الكاديوم يكون أكثر ذائبية من الزنك في المحاليل الحامضية المؤكسدة.

يعتبر الكاديوم من العناصر متوسطة - عالية الحركة في التربة الحامضية جيدة الصرف. وتعزى حركة الكاديوم الى ضعف أمصاصه على المادة العضوية ومعادن الطين والأكاسيد عند درجات الحموضة أقل من 6.

أما عند **pH** أعلى من 7 يمكن أن يترسب على صورة (**CaCO₃**) وكما تعمل فوسفات الكالسيوم على خفض ذائبية العنصر ولذلك نجد أن حركة وجاهزية الكاديوم في التربة المتعادلة والقاعدية تكون منخفضة.

في الترب الغدقة نجد أن ذائبية **CdS** المتكون تكون ضعيفة مما يؤدي الى ضعف حركة عنصر الكاديوم ويمكن استخدام هذه الحقيقة في التربة الملوثة لتقليل امتصاص العنصر للنبات.

وعموماً زيادة تركيز الكاديوم في التربة عن (**0.5 mg/kg**) يعد دلالة على تلوث التربة بالكاديوم من أحد المصادر التالية:-

1. الصناعة والتعدين
2. القرب من الطرق السريعة
3. استخدام الأسمدة الفوسفاتية ذات المحتوى العالي من الكاديوم.
4. إضافة مخلفات الصرف الصحي.

أيضاً من المعروف أن العمليات الجيوكيميائية الطبيعية تعمل على زيادة الكاديوم في سطح التربة كما ان مستويات الكاديوم تكون عالية في التربة سيئة الصرف وكذلك في أتربة المناطق الجافة وشبه الجافة مما يشكل مشكلة حيث أن الغسيل في هذه المناطق يكون ضعيفاً مما يؤدي الى تراكم الكاديوم في هذه التربة.

وكما كان هذا العنصر يعتبر متحركاً وشديد الجاهزية للنبات بالإضافة الى سميته العالية للنبات والحيوان فأن هذا العنصر يجب أن يدرس بعناية شديدة وخاصة اذا أخذ بنظر الاعتبار اضافة مخلفات المجاري الى التربة.

مدى تركيز الكاديوم في التربة = **1.1 – 0.06**