**حركة العناصر في التربة: Mobility of Elements in Soil**

تتأثر حركة العناصر في التربة بالعوامل الآتية:

1- الشكل الكيميائي وطبيعة العنصر **Chemical Form an Natural of Element**

تتصف أغلب العناصر الكاتيونية بضعف الحركة **Low Mobility** في التربة وذلك لأنها تدمص بقوة على المعادن والمادة العضوية أو لأنها تترسب على صورة أكاسيد وكاربونات وكبريتات وبعض العناصر توجد بصورة أنيونية مثل البورون B تكون متحركة نسبياً. بينما العناصر الأخرى مثل الفسفور P تعتبر غير متحركة لأنها تترسب بصورة غير ذائبة وترتبط بقوة على سطوح المعادن.

2- التركيب الكيميائي والمعدني للتربة **Chemical an Mineralogical Nature of Soil**

تصبح العناصر أقل حركة في التربة التي تحتوي على كمية كبيرة من مواقع الامدصاص وكذلك التربة التي خصائصها الكيميائية تشجع على ترسيب هذه العناصر فأكاسيد الحديد والالمنيوم والمنغنيز تحتوي على مواقع أمدصاص للعناصر سواء أكانت أنيونية أو كاتيونية.

- معادن الأطيان السليكاتية تحتوي على مواقع تبادل للكاتيونات وبعض مواقع أمدصاص على حواف المعادن لكلاً من الكاتيونات والأنيونات.
- الألومينوسليكات غير المتبلورة (الألوفان) تمتلك كميات كبيرة من مواقع الأمدصاص لكلاً من الكاتيونات والأنيونات.
- المادة العضوية تدخل أيضاً في تفاعلات الأمدصاص.
- وبصورة عامة فان التربة الغنية بالأطيان والأكاسيد والهيومس لها قدرة عالية على مسك العناصر الدقيقة بقوة.
- وكذلك فان الصفات الكيميائية للتربة تؤثر على أمدصاص العناصر فالفلزات الكاتيونية تمدص بدرجة اكبر وتترسب على صورة اكاسيد وهيدروكسيدات وكاربونات في درجات الـ**pH** العالية بينما الصور الأيونية مثل المولبيدات والسليت تمدص وتترسب عند **pH** المنخفض.
- قلوية التربة غالباً ما تكون مصحوبة بزيادة حركة الأنيونات وذلك لارتفاع مستوى الـ**Na** والـ**K** بالنسبة للـ **Ca** و **Mg** لأن كثير من الأنيونات يكون مركبات ذائبة مع **Na** والـ**K**

بدرجة أكبر من **Ca** و **Mg** ولذلك يحصل سهولة لغسل **Mo** والـ**B** من التربة القلوية من المناطق الجافة.

أيضاً قلوية التربة قد تساعد على حركة كاتيونات الفلزات مثل **Ca** لأن الظروف القلوية تساعد على تكوين معقدات الفلزات مع المادة العضوي والهيدروكسيل.

- ملوحة التربة تؤدي الى زيادة أيونات الهاليدات وخاصة الكلوريدات التي لها القدرة على تسهيل حركة بعض العناصر الثقيلة **(Cd ، Pb ، Hg)**.
- جهد الأكسدة والاختزال يؤثر بدرجة كبيرة على حركة العناصر فبعض العناصر تكون أكثر ذائبية وحركة في الحالة المؤكسدة أكثر من المختزلة والعكس صحيح ومثال على ذلك **(Cr ،Mn ، Se)**.
- في ظروف الأختزال تقل حركة كل من **(Hg ،Cu ،Pb ،Cd ،Zn ،As ،Se)** لأنها تكون معادن الكبريتيدات غير الذائبة.

3- الخواص الفيزياوية والبيولوجية للتربة

**The Physical and Biological Environment of The Soil**

كثير من العناصر توجد بكميات كبيرة في التربة وتلوثها نتيجة للنشاط الصناعي والزراعي وأيضاً نتيجة لضعف حركة العناصر مثال على ذلك عنصري **Cu** و **Pb**.

فمثلا الترب التي تستخدم كبريتات النحاس وزرنيخات الرصاص كمبيدات فأنها تحتوي على كميات كبيرة من هذين العنصرين في التربة حتى في المناطق الرطبة التي يكون فيها الغسيل شبه مستمر فأن ازالة مثل هذه العناصر في التربة قد يأخذ الاف السنين.

وبصورة عامة يمكن القول:

1. تحتوي الأتربة الغنية بالطبقة السليكاتية والأكاسيد على تراكيز عالية من العناصر الصغرى بالمقارنة مع الأتربة خشنة القوام مثل التربة الرملية والحصوية.
2. الأتربة الغنية بالهيومس تحتوي على كميات كبيرة من العناصر الصغرى.
3. الأتربة ذات **pH** العالي تحتوي على تركيات أعلى لمعظم العناصر الصغرى مقارنة بالتربة التي تأثرت بالمطر الحامضي.

**تركيز العناصر الصغرى في الأراضي الملوثة:**

**1**- الأراضي الملوثة بالزرنيخ **Arsenic Polluted Soils**

حدد الاتحاد الأوربي أقصى تركيز مسموح للزرنيخ **(As)** في الأراضي المضاف لها (الحمأة) **Sewage Sludge** بـ**20mg/kg** بينما صدرت وزارة البيئة في المملكة المتحدة تركيز الزرنيخ المسموح به في الأراضي المزروعة **10mg as/kg Soil** بينما الحد المسموح به في الحدائق العامة والأماكن الترفيهية للرياضة بـ **40 mg as/kg soil** .

- تلوث الأراضي بالزرنيخ قد يكون كبيراً في الأراضي المحيطة بالمناجم ففي كندا وعلى بعد بـ**0.82** كيلومتر في منجم استخراج الذهب وصل تركيز الزرنيخ في التربة الى **20000 mg/kg** ويقل هذا التركيز مع البعد عن مصدر التلوث (منجم استخراج الذهب) فعلى بعد 8 كيلومترات من نفس المنجم وصل تركيز الزرنيخ **As** في التربة الى **600 mg/kg**

**2**- الأراضي الملوثة بالكادميوم **Cadmium – Polluted Soils**

تعتبر مناجم الرصاص والزنك وكذلك إضافة (الحمأة) بكميات كبيرة على مدى زمني كبير من اهم مصادر تلوث الأراضي بعنصر الكادميوم. ولقد وجد أن تركيز الكادميوم في الأراضي القريبة من منجم استخراج **Pb – Zn** في بريطانيا وصلت الى **540 mg/kg soil** أما في موتانا في أمريكيا فقد وصل تركيز الكادميوم في الأراضي المحيطة بمنجم استخراج **Zn** حوالي **750 mg cd/kg soil** وقد أدى استخراج الزنك من المنجم الموجود في بريطانيا لمدة 30 عاماً الى تلوث الأراضي بعناصر ( **Zn ، Pb ، Cd**) ووصل متوسط ومدى تركيز **Cd** و**Pb** و **Zn** ومن عينة تربة من هذه المنطقة ما يلي:

**Cd 2- 360 (91) ، Pb 108 – 6540 (2340) ، Zn(250 – 37200) 7600 mg/kg.**

وقد وصل تركيز الكادميوم في الخضراوات النامية في هذه المناطق حوالي 60 ضعف تركيز الكادميوم في الخضراوات النامية في هذه المناطق غير الملوثة.

أما في الأراضي التي أستخدمت فيها الحماة بمعدلات عالية فقد وصل تركيز الكادميوم الى **64 mg cd/ kg soil.**

**3**- الأراضي الملوثة بالنيكل والكروم **Nickel – Chromium Polluted Soils**

الحالة القوية التي توضح تلوث الأراضي بالنيكل حدثت بكندا في الأراضي المحيطة بمنجم استخراج النيكل ويوضح الجدول الآتي تركيز النيكل في الأراضي على مسافات مختلفة من منجم النيكل.

| المسافة من المنجم **(km)** | **1.1** | **1.6** | **2.9** | **10.4** | **24.1** | **32.1** | **49.8** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تركيز النيكل في التربة **mg/kg** | **5104** | **1351** | **1202** | **28.2** | **101** | **35** | **35** |

ولقد وضعت العديد من الدول الحدود العظمى لتركيز كلاً من النيكل والكروم في الأراضي التي تستقبل مخلفات مثل الحمأة وغيرها.

ويوضح الجدول التالي الحدود القصوى لتركيز النيكل والكروم المسموح بها في الأراضي التي تستقبل الحمأة:-

| الحدود limit | Ni | Cd |
|---|---|---|
| **الاتحاد الأوربي** | **75- 30** | ------ |
| **الدنمارك** | **15** | **30** |
| **المانيا** | **30** | **100** |
| **فلندا** | **60** | **200** |
| **فرنسا** | **50** | **150** |
| **ايطاليا** | **50** | **100** |
| **النرويج** | **30** | **100** |
| **اسبانيا** | **30** | **30** |
| **السويد** | **15** | **400** |
| **بريطانيا** | **75** | **150** |
| **الولايات المتحدة الأمريكية** | **75** | **150** |
| **التركيزات في الأراضي غير الملوثة** | **210** | **150** |
| **المانيا** | **30** | **30** |
| **انكلترا** | **25** | **50** |

**4-** الأراضي الملوثة بالنحاس **Copper - Polluted**

تعتبر المناجم واستخراج المعادن هي المصدر الرئيسي للتلوث بالنحاس في الأراضي المحيطة مباشرة المناجم وغالباً ما يكون تركيز النحاس في التربة أعلى ما يمكن في الأراضي المجاورة ويقل تركيز النحاس في الأراضي بالبعد عن مصدر التلوث.

وفيما يلي جدول يبين تركيز عنصر النحاس في الأراضي القريبة من منجم استخراج النحاس الموجود في كندا:-

| **المسافة من المنجم** (km) | **1.1** | **1.6** | **2.9** | **10.4** | **24.1** | **12.1** | **40.3** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **تركيز النحاس في التربة** mg/kg | **2892** | **2416** | **1657** | **287** | **43** | **45** | **26** |

ترتبط التركيزات العالية من النحاس في الأراضي الزراعية ارتباطاً وثيقاً باستخدام مبيدات الفطريات لرش حدائق الفاكهة سنوياً بالنحاس لرش حدائق الموز والتفاح والموالح والعنب والمحاصيل الأخرى.

ويتراوح تركيز النحاس في مثل هذه الأراضي ما بين **110 -1500 mg Cu/kg**.

ويتراوح تركيز النحاس بالأراضي غير الملوثة من **20 – 30 mg Cu/kg**.

- تمثل اضافات الحمأة بمعدلات عالية الى الأراضي الزراعية مصدراً هاماً لتلوث الأراضي بعنصر النحاس فإضافة النحاس بمعدل صغير يكافئ **805mg/kg** في بعض ولايات أمريكيا (بنسلفانيا) أدى الى تلوث التربة بالنحاس لدرجة أن التربة لم تصلح للزراعة بأي نوع من المحاصيل فيها.

**5**- الأراضي الملوثة بالرصاص **Lead Polluted Soils**

تعتبر الانبعاثات الناتجة من عوادم السيارات ودخان المصانع المصدر الرئيسي لتلوث الأراضي بعنصر الرصاص ولذلك نجد أن تركيز الرصاص في أراضي المدن أعلى بكثير من مثيلاتها في القرى ولقد وصل تركيز الرصاص في بعض الأراضي في واشنطن الى **550 – 5300 mg pb/kg**.

**6- الأراضي الملوثة بالزئبق:-**

أدى النشاط الانساني مثل التعدين وحرق الوقود الحفري والمخلفات وبعض الأنشطة الصناعية الى زيادة انبعاث الزئبق وبالتالي تلوث الأراضي.

ويتراوح متوسط تركيز الزئبق في الأراضي غير الملوثة بين **188 – 20** نانو غرام/كغم . أما الأراضي الملوثة والقريبة من مناطق تعدين الزئبق فيصل التركيز في التربة **100 mg/ kg**.

**7**- الأراضي الملوثة بالسيلبزيوم:-

أحد المزارع الهامة في كاليفورنيا والتي تعرضت للتلوث بعنصر السليزيوم في وادي **senjoabuin** والتي تبعد **400** كيلومتر وتعتبر من مناطق انتاج الخضر الهامة في كاليفورنيا.

ويعتقد أن وجود السليزيوم في هذه الأراضي يرجع الى مصادر طبيعية منذ القدم حيث تعتبر هذه الأراضي ترسبات الحجر الرملي والتي تحتوي على سيلزيوكبريتات الحديد وتعتبر هذه الترسبات ادى الى تحرر أملاح السليزيت والسليزيات واستخدام الري في هذه المناطق أدى الى تملح التربة ولأزالة الأملاح ثم استخدام معدلات غسيل عالية ادى الى ارتفاع منسوب الماء الأرضي بسبب الطبقة غير نفاذة وتملح منطقة الجذور ووصل تركيز السليزيوم في مياه الصرف الى **4000 mg**.

**8-** الأراضي الملوثة بالزنك **Zink Polluted Soils**

يعتبر النشاط الانساني وخاصة التعديني أهم مصادر تلوث الأراضي بالزنك فلقد تم تحليل عينات من التربة في منطقة التعدين بالمملكة المتحدة واوضحت أن محتوى الأراضي من الزنك هناك يتراوح بين **250 – 37200 mg Zn/kg**.

أيضاً يعتبر أضافة الحماة من المصادر المهمة لتلوث الأراضي بالزنك فلقد أرتفع تركيز الزنك في التربة من **8.1 mg Zn/kg** الى **107 mg Zn/kg** نتيجة لأضافة معدلات عالية من الحمأة الى التربة.

النتروجين **Nitrogen**

النتروجين هو احد العناصر الكبرى التي يحتاجها النبات لنموه وغالباً ما يوجد في التربة بتركيزات منخفضة لا تكفي حاجة النبات. والنتروجين الموجود في التربة يكون معظمه في صورة عضوية وبالتالي يكون غير صالح للنبات وبالتالي تحدث عمليات بيولوجية في التربة حيث فيها تحويل النتروجين من صورة عضوية الى معدنية ($NH_4$ ، $NO_3$) صالحة للأمتصاص بواسطة النبات. والنتروجين المعدني قد يمتص من قبل النبات أو يفقد بالتطاير أو بالغسيل أو يتحول الى مكونات عضوية في اجسام ميكروبات التربة أي ان النتروجين العضوي والمعدني يتعرضان لعديد من العمليات التي تؤثر على صلاحية النتروجين للنبات.

المصدر الرئيسي للنتروجين في التربة هو الأسمدة النتروجينية وتشمل الأسمدة النتراتية، اليوريا، الأسمدة الامونيومية والأسمدة المخلوطة.

ولقد زاد استخدام الأسمدة النتروجينية في الزراعة زيادة كبيرة في الآونة الأخيرة على مستوى العالم فمن المتوقع أن تصل كمية الأسمدة المستخدمة في العالم **2000 – 100** مليون طن.

علماً أن انتاج الأسمدة النتروجينية في العالم هو **1994** وصل الى **92** مليون طن.

ونتيجة للاستخدام المتزايد للأسمدة النتروجينية فأن تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية أصبح أمراً خطيراً لابد من واجهته.

والأسمدة الامونيومية تتعرض للأكسدة وتتحول الى نترات وتصبح عرضة للغسل والفقد أيضاً.

أن التسميد بالأسمدة النتراتية يؤدي الى فقد جزء كبير منها عن طريق الغسل والنترات المفقودة من التربة عن طريق الغسل سوف تؤدي الى تلوث المياه الجوفية والسطحية بالنترات.

وتتوقف كمية النترات المغسولة من قطاع التربة على عدة عوامل أهمها:-

**1-** كمية المياه المفقودة من التربة.

**2-** كمية النترات في التربة.

**3-** نوع التربة.

**4-** نظام الزراعة.

أن أكثر صور النتروجين أهمية للنبات هو الأمونيوم والنترات التي توجد في التربة عن طريق تحلل المواد العضوية أو عن طريق أضافتها الى التربة على شكل أسمدة كيمياوية وكما يلي:-

**1-** تكوين النتروجين الاميني **Aminization**

ويتم فيها تكسير وتحويل المركبات العضوية المتعددة الى مركبات أبسط حسب المعادلة الآتية:-

$$\text{Soil Organic N (Protein)} \longrightarrow R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{طاقة} + \text{مواد أخرى}$$

**2-** تكوين الأمونيا أو النشدرة **Ammonification**

وفي هذه العملية تتحول الأمينات والأحماض الأمينية الناتجة من الخطوة الأولى الى أمونيا بوجود الماء والكائنات الحية غير ذاتية التغذية وحسب المعادلة الآتية:-

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + ROH + \text{طاقة}$$

والأمونيا الناتجة تكون الأمونيوم وحسب المعادلات التالية:-

$$2NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3$$
$$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_4 + CO_3$$

**3-** تتحول الامونيوم الى نتريت $NO_2$ بواسطة الجنس البكتيري **Nitrosomonase** ومن ثم تتحول الى نترات $NO_3$ بواسطة الجنس البكتيري **Nitrobacter** وتدعى هاتين العمليتين (التأزت) ( النترجة) **Nitrification**.

$$2NH + 3O_2 \longrightarrow 2NHO_2 + 2H_2O + 2H$$
$$NHO_2 + O_2 \longrightarrow 2H + 2NO_3$$
$$2NH_4 + 4O_2 \longrightarrow 2NO_3 + 4H + 2H_2O$$

مصير الأمونيا:

**1-** تفقد الأمونيا على هيئة غاز الى الجو وخاصة بالترب الكلسية وكما يلي:-

$$(NH_4)_Y + CaCO_3 \longrightarrow NH_4\,CO_3$$
$$NH_4\,CO_3 \longrightarrow 2NH_3 + 2HOH + CO_2$$

**2-** يكون فقد الامونيا كبيراً عند اضافة الاسمدة النتروجينية على سطح التربة.

**3-** يكون فقد الأمونيا كبيراً في درجات الحرارة المرتفعة.

**مصير النترات**

إن النترات المتكونة نتيجة لإضافة الأسمدة النتروجينية الى التربة تفقد كالآتي:-

**1-** يفقد عن طريق مياه الصرف.

**2-** يفقد على هيئة غاز الى الجو بعملية **Denitrification**.

**3-** يمكن أن تستخدم النترات من قبل النبات والكائنات الحية في عمليات التمثيل الغذائي **Assimilation**.

- تكمن مشكلة النترات اذا تجمعت في غذاء وماء الانسان والحيوان بانها تسبب مشاكل صحية أهمها اصابة الاطفال الرضع بمرض **(Methomoglobinenia)** نتيجة لوجود $NO_2$ و $NO_3$ في مياه الشرب والطعام حيث تختزل النترات $NO_3$ الى نتريت $NO_2$ في القناة الهضمية وتتفاعل النتريت مع الهيموكلوبين عند وصولها الدم مكونة مركب **(Methomoglobin)** الذي يوقف انتقال $O_2$ خلال الدم وهذا المرض قاتل للأطفال الرضع.
- أيضاً بسبب وجود النترات بتركيزات عالية في مياه وغذاء الحيوانات نتيجة لتحول $NO_3$ في معدة الحيوان الى $NO_2$.
- وتعتبر الأراضي الزراعية وخاصة الأراضي التي يتم تسميدها بمعدلات علاية من الأسمدة النتروجينية مصدراً من مصادر تلوث المياه الطبيعية بالإضافة المصادر الأخرى مثل استخدام مياه الصرف الصحي والصناعي ومخلفات الصناعات الغذائية وغيرها.
- ويكون مساهمة كل مصدر من المصادر على الظروف البيئية.
- اضافة الى تلوث المياه السطحية بالنترات فيمكن ان تحدث تلوثاً في مياه الآبار اذا ما تم غسلها الى الطبقات السفلية من التربة وتجمعت في الآبار السطحية غير العميقة والمياه الجوفية.

**النظائر المشعة Radionu Clides**

تتواجد النظائر المشعة الطبيعية والمصنعة في التربة والعديد من النظائر المشعة لها فترة نصف عمر طويلة ولها القدرة على التجمع الحيوي في الكائنات الحية.

تشمل النظائر المشعة المصنعة اختبارات الاسلحة النووي، حوادث المفاعلات النووية ومحطات الطاقة حوادث نقل الوقود الذري والمخلفات السائلة للمفاعلات النووية.

- لقد لوحظ تجمع لعنصر ( السيزيوم) $\mathbf{CS^{137}}$ في النباتات النامية في الأراضي القريبة من مواقع اختبارات الاسلحة النووية علماً بان سلوك (السيزيوم) في الأراضي والنباتات تشابه تماماً سلوك البوتاسيوم **K** ولذلك فان نوع معادن الطين في الأراضي يؤثر تأثيراً كبيراً على صلاحية (السيزيوم) في بيئة النبات.
- العنصر المشع (السترونشيوم) $\mathbf{Sr_{38}^{90}}$ له فترة نصف عمر 28 سنة ويتسرب الى البيئة ويلوثها نتيجة لاختبارات الأسلحة النووية ولحوادث محطات الطاقة النووية ولذلك يلقى تلوث التربة بعنصر (السترونشيوم) كثير من الاهتمام لأن سلوكه يشابه سلوك الكالسيوم في السلسلة الغذائية وبالتالي يمكن أن يترسب في العظام نتيجة لوجوده في منتجات الألبان والأغذية الأخرى.
- التخلص من النفايات النووية الناتجة من مصانع الأسلحة النووية ومحطات الطاقة النووي بإلقائها في التربة أدى الى تلوث التربة بالنظائر المشعة الناتجة من تحلل اليورانيوم والبلوتونيوم $\mathbf{Pu^{239}}$ , $\mathbf{Am^{241}}$ حيث يمكن أن تدمص هذه النظائر المشعة على سطوح حبيبات التربة وترتبط بالمادة العضوية في التربة.
- الرأي العام العالمي في قلق تام من تلوث التربة بالنظائر المشعة وذلك لخطورة التعرض للأشعاعت الذرية على الصحة العامة ولقد أدت حادثة تسرب الأشعاعات النووية من المفاعل النووي في تشرنوبل عام 1986 الى تقوية هذه المخاوف حيث أن هذه الحادثة هددت البيئة في عصرنا الحاضر ليس فقط في أوكرانيا وإنما امتدت آثارها الى العديد من الدول.

ولقد أثرت هذه الكارثة على المناطق الزراعية في روسيا وأوكرانيا وبلاروسيا تأثيراً كبيراً حيث تعرضت الى الاشعاعات وتعدى التركيز الاشعاعي في هذه الأراضي الحد المسموح به عالمياً وأدى ذلك الى خروج هذه الأراضي من الإنتاج الزراعي كله.