الفصل الخامس

التلوث بالأسمدة الكيميائية

Pollution by Chemical Fertilizers

منذ القدم كان الإنسان يعتمد على السماد البلدي (مخلفات الحيوان وبقايا النبات) والمعروف حاليًا بالأسمدة العضوية لتحسين التربة وزيادة خصوبتها، وعندما لجأ الإنسان للزراعة الكثيفة لسد احتياجاته من المواد الغذائية- حدث انخفاض مستمر للعناصر الغذائية الموجودة في التربة، وأصبحت الأسمدة العضوية غير كافية لمعالجة هذا الانخفاض المستمر للعناصر الغذائية؛ لذلك كان لابد من إيجاد وسيلة جديدة وفعالة للحفاظ على خصوبة التربة، وأصبح من الضروري اللجوء إلى الأسمدة الكيميائية، وبالرغم من الفائدة العظيمة لهذه الأسمدة في تحسين خصوبة التربة وجودة إنتاج المحاصيل الزراعية المختلفة، إلَّا أنّ لها تأثيرات بيئية سيئة وخطيرة؛ بسبب احتوائها على أنواع من السموم الكيميائية والعناصر الثقيلة، مثل: الكوبلت والكروم والنحاس والمنجنيز والنيكل والرصاص والزنك وغيرهم.

ويعد التلوث بالأسمدة الكيميائية أحد الملوثات الكيميائية الخطرة التي تحدث تغيرًا سلبيًّا في البيئة في حالة استخدامها بطرق غير صحيحة، ويمكن لهذه التغيرات أن تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر في البيئة المحيطة، وذلك عن طريق الطعام والهواء والماء والمنتجات الزراعية المختلفة، وما يترتب عليها من أضرار تصيب الإنسان والحيوان.

1- تأثير الأسمدة على التربة :

- إن استخدام الأسمدة الكيميائية أو العضوية أو المعدنية لزيادة خصوبة التربة، وكذلك لزيادة الإنتاج الزراعي حاليًا- تعتبر ضرورة لقيام الزراعة الناجحة لتعويض فقر التربة وتوفير أفضل الظروف المناسبة لنمو النباتات، ولكل نوع من أنواع التربة قابلية محدودة لقبول أنواع معينة من الأسمدة الكيميائية، حسب الظروف الجغرافية الطبيعية ونوعية المحاصيل ومدى حاجتها إلى العناصر الكيميائية.

- إن استخدام الأسمدة الزراعية بالطرق الصحيحة، وكيفية إضافتها للأرض باتباع

خطوات أساسية- يؤدى ذلك إلى تحسين التربة الزراعية، وبالتالي تحسن البيئة؛ لأن الأسمدة والبيئة تجمعهما علاقات متبادلة؛ حيث تعمل الأسمدة عند إضافتها بالأسلوب الأمثل وبالطرق الصحيحة على تنقية الهواء وتقليل التعرية وزيادة المحصول الزراعي، وكذلك تقليل تلوث المياه.

- تكمن خطورة الأسمدة إذا زادت نسبتها إلى درجة تتجاوز المدى الطبيعي لتركيز هذه المواد في التربة، أو تم استخدامها بشكل غير صحيح، فعندها يحدث تلوث التربة بالأسمدة الكيميائية، وهذا يؤدى إلى حدوث خلل بالبيئة وتلوث التربة والنبات، وكذلك الجو. ولذلك فالتحكم في كمية ونوع وموعد إضافة مثل هذه الأسمدة- من الأمور الضرورية لحماية التربة والمزروعات والبيئة على حدٍّ سواء.

2- تلوث التربة بالأسمدة الكيميائية:

تؤثر الأسمدة على التربة بطرق مختلفة كالتالى:

1- تغير في الرقم الهيدروجيني للتربة (حموضة التربة - pH) بالزيادة أو الانخفاض، وكلاهما غير مرغوب فيه؛ لأن الزيادة في الرقم الهيدروجيني (pH) ضارة بالأرض، أما خفض الرقم الهيدروجيني فقد يصبح مشكلة في الأراضي ذات التنظيم الضعيف- إذا لم تتخذ تدابير لخفض الرقم الهيدروجيني (التأثير الحامضي) قبل أن يؤثر على حركة المغذيات والأحياء بالتربة. ولا يوجد شك أن أحياء التربة تتأثر بالرقم الهيدروجيني، ويحدث ذلك نتيجة الإضافات الخاطئة للأسمدة، مثلما يحدث نتيجة إضافة الأسمدة الحامضية أو القاعدية أو التمليح بصورة غير صحيحة.

2- الإفراط في إضافة الأسمدة يؤدي إلى تجمع المواد السامة في الأرض خصوصًا العناصر الثقيلة؛ حيث يؤدي إضافة معدلات عالية من الأسمدة إلى تجمعات غير مرغوب فيها من العناصر الثقيلة. ومن أمثلة ذلك: زيادة هذه العناصر الناتجة عن استخدام أسمدة الفضلات دون اعتبار لمحتواها من الأملاح الناتجة عن إضافتها إلى الكمبوزيت. وتكمن المشكلة في مدى مقاومة التربة للمواد الضارة أو زيادة العناصر، خاصةً إذا كانت الإضافة ليست للتسميد، بقدر ما هي للتخلص من الفضلات.

3- تأثير الأسمدة الكيميائية وخاصةً المعدنية ذات تأثير سلبي على أحياء التربة، وهذا

يعتبر دليلًا على الأثر غير الحيوي لهذه الأسمدة.

4- من المعروف أنه كلما ازداد ذوبان السماد الكيميائي - كلما زاد ضغطه الأسموزي المتوقع، لذلك فإن الأسمدة الذائبة تزيد من ملحية التربة، وبناءً عليه، فإنه لا ينصح بإضافة السماد ملامسًا لجذور النبات أو البذور أو البادرات.

5- التلوث الهيدروبيولوجي، والمقصود به تلوث المياه بأملاح النترات والبوتاسيوم والفوسفات، وما يترتب على ذلك من نمو غزير لكثير من النباتات المائية، وخاصة الأعشاب والنباتات الضارة التي تمتص كميات كبيرة من الأكسجين وتشكل خطرًا على حياة الأسماك، وتعرقل الجريان الطبيعي للمياه، مما يعطي فرصة لنمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة.

6- في بعض المناطق الزراعية الواسعة تستخدم الطائرات لرش الأسمدة على الحقول، فتساعد مثل هذه العمليات على تلوث الهواء بتلك المواد.

7- تشير بعض الدراسات إلى أن جزءًا كبيرًا من الأسمدة الكيميائية المضافة إلى التربة يدخل على شكل ملوثات إلى المياه الجارية، ويترتب على ذلك أضرار بالغة بالنسبة لنوعية المياه، وبالتالي صحة الإنسان والحيوان.

8- يمكن اعتبار العنصر البشرى أحد العوامل الأساسية لإحداث خلل في التوازن البيئي من جراء العمليات التالية:

ا- زيادة إضافة الفضلات الحيوانية عما هو مطلوب، مما يؤثر على وضع الكائنات الحية الدقيقة والنترات في التربة.

ب- حرق الوقود البترولي مما يؤثر سلبًا على التربة والنبات؛ نتيجة لتساقط أبخرة الحرق على النبات والتربة فضلًا عن زيادة أكاسيد النيتروجين في الجو.

ج- زيادة رطوبة الأرض وفقد النيتروجين إلى البحيرات والأنهار نتيجة لطرق الري والزراعة الخاطئة.

د- إنتاج الأسمدة النيتروجينية باستخدام النيتروجين الجوي.

وسنتعرض إلى بعض الآثار السيئة من جراء الاستخدام السيئ للأسمدة بأنواعها المختلفة كالتالي:

3- الآثـار السلبيـة للأسمدة العضوية:

بالنسبة لاستخدام الأسمدة العضوية، والتي تستعمل بكميات كبيرة من قبل المزارعين- فهي، بطبيعة الحال، أقل خطرًا من الأسمدة الكيميائية، فهي تحتوي على نسبة كبيرة من المـواد العضوية الضرورية لتغذية النبات، وتساعد على تحسين تركيب التربة، حيث توجد أنواع مـن النباتات تعتمد على الأزوت الذي يتحرر من المادة العضوية، ولكن لا تخلـو مـن المـشاكل إذا استخدمت بكميات تزيد عن حاجة التربة والنبـات. فمـثلًا، عنـد إضـافة الـسماد العـضوي للتربة بكميات زائدة فوق حاجة النبات- فإن جـزءًا منـه يمـتص بواسـطة النبـات، والجـزء الآخر يبقـى في التربـة، وقـد يفقـد النيتروجـين عـن طريـق تطـايره مـن الأراضي القاعديـة أوالأراضي سيئة التهوية على شكل غاز إلى الهواء الجوي.

وتكمن خطورة هذا النوع من الأسمدة في أنه يؤدي إلى زيادة كبيرة في النشاط البكتـيري والميكروبات الموجودة في التربة، والتي تنتقل بدورها مباشرة من التربة إلى الإنسان مسببة لـه بعض الأمـراض؛ كمـرض التيتـانوس، وحـالات التـسمم المعروفـة باسـم (Botulism)، ومرض الغنقرينا (Eangrena) الغازي، ومجموعة أخرى من الأمراض التي تـصيب الجهـاز الهضمي، مع العلم بأن التربة هي المكـان الملائـم لتكـاثر مختلـف أنـواع الحـشرات الـضارة، وخاصة الذباب الذي ترتبط دورة حياته بالتربة الملوثة.

ولحماية التربة من التلوث بالأسمدة العضوية فهي بسيطة، وفي استطاعة المـزارعين، عـن طريق استعمال الكمية اللازمة من الأسـمدة، بحيـث تكفـي حاجـة المحـصول في الأوقـات المحددة، مع اتباع الطرق السليمة عند التسميد.

4- الآثـار السلبيـة للمخلفات العضوية المعالجة :

توجد بعض المخلفات العضوية المعالجة وخاصة تلك التي تنتج من معالجة مياه الصرف الصحي، حيث تمر بمعالجة كيميائية وبيولوجية، والناتج النهائي المتحصل عليه بعد المعالجة والمسمى بالحمأة- يحتوي على مواد عضوية وأخرى غير عضوية.

وأهم العناصر غير العضوية التي تحتوي عليها هي:

الزئبـق، الكـروم، الخارصـين، النحـاس، الرصـاص، الكـادميوم، المنجنيـز، النيكـل، البورون، النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، الكبريت، الكلور (Zn, Cr, Hg Cu, Pb, ,

.Cd, Mn, Ni, B, N, P, k, S, CL)، كما تحتوي أيضًا على كميات كبيرة من العناصر الصغرى والسامة.

وتحتوي الحمأة على كميات كبيرة من عناصر الخارصين والنحاس والنيكل والكادميوم والزئبق والرصاص، وهذه العناصر قد تكون سامة للنبات، علمًا بأن صلاحية أي عنصر للنبات يتوقف على عديد من العوامل، منها: الرقم الهيدروجيني (درجة الحموضة) للتربة، ومحتوى التربة من المادة، ونوع وكميات معادن الطين، والسعة التبادلية الكاتيونية للتربة، وغير ذلك.

أما المواد العضوية فهي مخلوط معقد يتكون من:

1- مكونات مهضومة (digested) مقاومة للتحلل اللاهوائي.

2- خلايا كائنات دقيقة حية وميتة.

3- مركبات تم تخليقها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية الهضم .

والمكون العضوي الناتج من الحمأة يكون عادة غنيًّا بعناصر النيتروجين والفسفور والكبريت، وتتراوح نسبة الكربون إلى النيتروجين (C:N) في الحمأة المهضومة بين 12–7 ، وبمتوسط 10، ومحتوى الحمأة من النيتروجين الصالح للنبات في صورة أمونيا ونترات (NO_3 ، NH_3) يكون منخفضًا؛ نتيجة المعالجة البيولوجية التي تعمل على ثبات النيتروجين العضوي.

- بعض مخاطر إضافة المخلفات العضوية:

1- تلوث المجاري المائية والبحيرات بالمواد العضوية:

عند وصول المخلفات العضوية إلى المجاري المائية، سواء بطرق مباشرة أو غير مباشرة، بواسطة الجريان السطحي والغسيل- يحدث التلوث البيئي مغيّرًا صفات وخواص الماء، شاملة زيادة تركيز العناصر الغذائية بها والروائح الكريهة مما يسبب تلوثها بالطفيليات.

ويتم تقويم المخلفات العضوية من ناحية مقدرتها على التلوث عن طريق تقدير الأكسجين الحيوي المستهلك [Biological Oxygen Demand (BOD)]، والأكسجين الكيميائي المستهلك [Chemical Oxygen Demand (COD)].

والأكسجين الحيوي المستهلك (BOD) هو كمية الأكسجين المستهلكة، بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، خلال عملية أكسدة المادة العضوية في فترة خمسة أيام، ويعتبر مقياس للمواد القابلة للأكسدة، أما الأكسجين الكيميائي المستهلك (COD) فهو عبارة عن قياس المواد العضوية الكلية المؤكسدة، ويقدر عن طريق أكسدة المواد العضوية باستخدام ثنائي كرومات البوتاسيوم وحمض الكبريتيك، وهذا المقياس يستخدم بصورة أقل من BOD . وعمومًا تعتبر المخلفات الحيوانية ذات قيمة BOD عالية نسبيًّا، بينما حمأة المخلفات الحيوانات المعالجة معالجة صحيحة -لها قيمة BOD منخفضة في ماء الجريان السطحي، وهذا يتوقف على مدى التخفيف وتحلل المواد العضوية في الماء.

2- زيادة تركيز العناصر الثقيلة السامة في التربة:

يمكن أن تؤدي الإضافات المتتالية من المخلفات العضوية، وخاصة الحمأة إلى التربة، ولفترة طويلة، إلى تجمع العناصر الثقيلة في التربة وزيادة تركيزها إلى مستويات قد تكون سامة للنبات، وبالتالي للحيوان والإنسان.

وأكثر العناصر الثقيلة السامة نسبةً هي النحاس، الكادميوم، النيكل، الخارصين (Cu ، Zn، Ni،Cd)، ويعتبر الكادميوم بصفة خاصة أكثرها سمية للإنسان والحيوان، ولذلك يجب الحرص على تجنب دخوله إلى السلسلة الغذائية إلا في الحدود الآمنة، وكثير من العناصر في الحمأة تكون مرتبطة بالمادة العضوية، ويحدث لها تحرر عند تحللها في التربة، وتصبح صالحة للامتصاص بواسطة النبات.

وتعتبر محاصيل الخضروات أقل المحاصيل مقاومة؛ لزيادة تركيز العناصر الثقيلة في التربة، في حين أن المحاصيل الحقلية تعتبر مقاومة نسبيًّا، بينما تكون محاصيل الأعلاف أكثرها مقاومة، وإن كانت درجة المقاومة تختلف من محصول لآخر، ولذلك فإن استخدام الحمأة في الزراعة لمدى طويل سوف يضع قيودًا على نوع المحصول الواجب زراعته.

3- زيادة تركيز العناصر الغذائية في المياه السطحية والجوفية :

عند إضافة معدلات عالية من الحمأة ومخلفات الحيوانات إلى التربة -يمكن أن يؤدي إلى زيادة تركيز العناصر الغذائية في المياه السطحية والجوفية؛ فعند إضافة 40 طن من السماد الحيواني سنويًّا إلى التربة- يعني إضافة 540 kg نيتروجين للهكتار، وهذا المقدار يمتص

النبات جزءًا ضئيلًا منه فقط، أما الجزء المتبقي فيتعرض للغسيل من التربة، وينتقل إلى الماء الأرضي، ومنه إلى الآبار أوالأنهار أوالبحيرات. أما إضافة 10 ٪ كمادة صلبة من الحمأة المعالجة لاهوائيًّا إلى الهكتار- سوف يضيف الكميات التالية من العناصر الغذائية:

NH_4-N هذه الكمية يحدث لها نترتة سريعة	252-280 Kg / ha
N نيتروجين عضوي	336 kg / ha
P فسفور	200-336 kg / ha
K بوتاسيوم	45-90 kg / ha

وحيث إن تلوث المجاري المائية بالنيتروجين يحدث بدرجة كبيرة عند إلقاء المخلفات العضوية والحمأة في المجاري المائية، ويزداد التلوث بشدة بزيادة المعدلات التي يتم التخلص منها.

4- زيادة نسبة الأملاح الذائبة:

تحتوي مخلفات الحيوانات والحمأة على أملاح غير عضوية ذائبة، مثل: البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والماغنيسيوم، ولذلك فإضافة معدلات عالية من هذه المخلفات (المخلفات الحيوانية والحمأة) إلى التربة- يؤدي إلى زيادة نسبة الأملاح في التربة، وتزيد في أراضي المناطق الجافة عنها في أراضي المناطق الرطبة ؛ لأن كمية الأملاح المضافة إلى التربة تزيد عن كمية الأملاح المغسولة من التربة بواسطة الأمطار، والنتيجة هي تراكم الأملاح بهذه الأراضي.

وبصفة عامة، يمكن خفض مخاطر تجمع الأملاح الذائبة في التربة، نتيجة إضافة المخلفات العضوية الحيوانية، عن طريق خفض المحتوى الملحي لأغذية الحيوانات.

5- التأثير على الملوثات الحيوية:

تعد الطفيليات من الملوثات الحيوية التي تصيب الإنسان والحيوان، والحقيقة أن الطفيليات تموت عند أكسدة الحمأة بيولوجيًّا، أو عندما تخزن مخلفات الحيوانات في أحواض؛ كالبحيرات (Lagoon) ، ولذلك فإن الحمأة المؤكسدة ومخلفات الحيوانات المخزنة- لا تمثل أخطارًا صحية من ناحية **الطفيليات** عند إضافتها للتربة.

أما من حيث البكتريا، فتعتبر البكتريا Escherichia coli من الملوثات الحيوية، وإن كانت تتواجد طبيعيًّا في أمعاء الفقاريات، أما النوعان Streptococci, Escherichia فيستخدمان للدلالة على حدوث التلوث، وللتعرف على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للمرض، والتي يحتمل تواجدها. ولقد تم التعرف على أكثر من 70 نوعًا من الفيروسات في الحمأة غير المعالجة، والتي غالبًا ما توجد في براز الإنسان، وثبت حاليًا أن فيروسًا واحدًا كافٍ لنقل المرض.

ويوجد أيضا في الحمأة غير المعالجة أنواعًا عديدة من البكتريا المسببة للأمراض، ولكن بتركيزات منخفضة، ولذلك فقد تم استخدام البكتريا من نوع Coli للتعرف على مدى تلوث الوسط بالبكتريا الممرضة، ويمكن توضيح أعداد البكتريا (Coli) والفيروسات المحتمل تواجدهما في الحمأة غير المعالجة، من خلال الأرقام التالية:

a)-	1×10^6 -- 100×10^6	(CMPN / 100 m l) coli form
b)-	200 -- 7000	(PFU/ L)

وتستخدم هذه الوحدات لقياس تركيز الفيروس

a- M.P.N. = Most probable Number العدد الأكثر احتمالًا

b- P.F.U. = Plaque-Forming unit وحدة تشكيل اللوحة

كما توجد في الحمأة غير المعالجة: الديدان الممرضة، أو البروترزر، ويعتبر البيض الخاص بها مشكلة لصعوبة التخلص منه. ولتعظيم الاستفادة من المخلفات العضوية- فإنه يجب اتباع الاقتراحات التالية:

6- اقتراحات بشأن استخدام الحمأة والمخلفات الحيوانية في الزراعة:

1- معالجة مياه الصرف الصحي بالأساليب العلمية الحديثة ومراقبة محتواها من العناصر الصغرى؛ وذلك لخفض تركيز العناصر الصغرى والأملاح في المنتجات الزراعية المعالجة بها.

2- يجب استخدام معدلات إضافة آمنة لمياه الصرف الصحي والحمأة والمخلفات العضوية؛ لأن ذلك سوف يشجع على استخدامها، كما يجب أن تكون معدلات الإضافة المقترحة مبنية على حقائق ونتائج عملية، تؤكد الاستخدام الآمن للحمأة، بدلًا من أن تكون مبنية فقط على مبدأ التخلص من تأثير المخلفات الضارة على البيئة.

3- تحسين خواص وصفات المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة والمخلفات الحيوانية؛ لتنافس خواص وصفات المنتجات الزراعية الناتجة تحت نظام الأسمدة الكيميائية، وهذا يستلزم نظام مراقبة جيدًا للأغذية الزراعية.

4- تطوير نظم إدارة جديدة تؤدى إلى عدم تأخير تجهيز الأرض في المزارع التي تستخدم مياه الصرف الصحي والحمأة- من شأنه أن يعمل على إقبال المزارعين على استخدامه.

5- الآثار السلبية للأسمدة الفوسفاتية:

تستخدم الأسمدة الفوسفاتية في إخصاب التربة الزراعية، وعادةً ما يبقى جزء منها في التربة الزراعية، وهذا يسبب كثيرًا من الأضرار المتنوعة، وأهمها :

1- أنها تكون مركبات غير ذائبة مع كثير من العناصر الهامة الموجودة بالتربة الزراعية، مثل: الكالسيوم والحديد، فكل من فوسفات الحديد وفوسفات الكالسيوم لا تذوب في الماء، ويترتب على ذلك عدم قدرة الجذور على امتصاص هذه المعادن، وبذلك تظهر أعراض نقصها على النبات.

2- تعتبر مركبات الفوسفات من أهم المركبات التي تسبب تلوث المياه، وتؤدي زيادة نسبتها إلى الإضرار بحياة كثير من الكائنات الحية، التي تعيش في مختلف المجاري المائية، وتتفاوت نسبة مركبات الفوسفات التي تحملها مياه الصرف حسب مقدار الأسمدة الفوسفاتية المستخدمة ونوعها.

3- زيادة نسبة مركبات الفوسفات لها عواقب وخيمة سامة للإنسان والحيوان، كذلك إضافة الأسمدة الفوسفاتية بكميات زائدة عن الحد اللازم للنبات- يؤدي إلى حدوث ضرر بالتربة؛ وذلك لأن الأسمدة الفوسفاتية المضافة تكون نسبة الاستفادة منها لا تتعدى 15 – 20 ٪ ، وقد تصل في بعض الأحيان إلى 30٪ في الأراضي المتعادلة والحمضية، ومع استمرار إضافة الأسمدة الفوسفاتية عامًا بعد عام- يحدث تراكم للفوسفات وما بها من شوائب

معدنية، وأخطرها (الكروم – النيكل – الكادميوم – الرصاص).

– ويتضح من ذلك أنه من الضروري أن يكون هناك اتزان بين كمية الأسمدة المضافة وحاجة النبات لها؛ حتى لا تؤدي الكميات الزائدة منها إلى إحداث أضرار بالبيئة المحيطة.

6- الآثار السلبية للأسمدة النيتروجينية :

يعد المصدر الرئيسي للنيتروجين في التربة هو الأسمدة النيتروجينية، وتشمل الأسمدة الأمونيومية واليوريا والأسمدة النتراتية والأسمدة المخلوطة، بالإضافة إلى الأسمدة العضوية الطبيعية. وبالرغم من الفائدة العظيمة لهذه الأسمدة وخاصةً الكيميائية على إنتاجية المحاصيل المختلفة وتحسين التربة- إلا أن لها تأثيرات بيئية سيئة؛ بسبب احتوائها على العناصر الثقيلة، مثل: (الكوبلت – الكروم – النحاس – المنجنيز – النيكل – الرصاص – الزنك). والمشكلة الكبرى مع الأسمدة النيتروجينية هي وجود شوائب غير مرغوب فيها بنسبة عالية، وما يحدث من أضرار من جراء الإسراف في إضافة اليوريا، وتراكم مشتق البيوريت الضار في التربة، كما سيأتي الحديث عن ذلك في موضعه.

ونتيجة الاستخدام المتزايد للأسمدة النيتروجينية، فإن تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية أصبح أمرًا خطيرًا، لابد من مواجهته، فالأسمدة الامونيومية تتعرض للأكسدة، وتتحول إلى نترات، وتصبح عرضة للغسيل والفقد، وذلك في خلال 4 أسابيع من المعاملة، ويكفي أن يعرف القارىء أن حوالي 2 مليون طن من السماد تذهب إلى مياه الصرف سنويًّا مما يسبب تلوث المياه. وأيضا التسميد بالأسمدة النتراتية يؤدي إلى فقد جزء كبير منها عن طريق الغسيل، والنترات المفقودة من التربة عن طريق الغسيل تؤدى إلى تلوث المياه الجوفية والسطحية بالنترات، وتتوقف كمية النترات المغسولة من قطاع التربة على عدة عوامل أهمها:

1- كمية النترات في التربة.

2- نوع التربة.

3- نظام الزراعة.

4- كمية المياه المتخللة للتربة.

وبوجه عام يكون الفقد أكبر ما يمكن في الأراضي الرملية عنه في الأراضي الطينية، كما يكون الفقد قليلًا في الأراضي المزروعة بالأعلاف (حشائش)، وكبيرًا عند زراعة محاصيل ذات موسم نمو قصير. وعمومًا توجد علاقة قوية بين كمية النترات القابلة للغسيل في التربة، ونظم إضافة النيتروجين كسماد إلى التربة.

1- مصادر النيتروجين:

بالإضافة إلى الأسمدة الكيميائية المحتوية على نيتروجين، فإن الأسمدة العضوية (مخلفات الحيوانات) والحمأة تعتبر من المصادر الطبيعية للنيتروجين في التربة، ويتوقف محتوى السماد العضوي من النيتروجين على تركيب أعلاف الحيوانات، ونوع الحيوان، وكيفية عمل وتخزين السماد الطبيعي.

وبوجه عام، فإن السماد العضوي الناتج من الدواجن يحتوي على نسبة N ٪ 4- 2 ، بينما السماد الناتج من الأبقار والخنازير يحتوي على N٪ 0.6 ، وفي السنة الأولى من إضافة الأسمدة الناتجة من مخلفات الحيوانات إلى التربة --- يصبح تركيز النيتروجين فيها حوالي ٪30 ، وهو صالح للامتصاص بواسطة النبات، وتحتوي الحمأة الناتجة من الصرف الصحي على N g / kg 60-20 ، أغلبه في صورة عضوية، لذلك فإن إضافة معدلات كبيرة من الحمأة إلى الأراضي الزراعية يمكن أن يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية والسطحية بالنترات.

2- أنواع الأسمدة النيتروجينة والأضرار الناتجة من سوء استخدامها:

يمكن تلخيص أهم مركبات النيتروجين المضافة كسماد إلى التربة أو الموجودة في التربة، مع ذكر الأضرار الناتجة من الاستخدام السَّيِّئ لها كالآتي:

1- النترات:

أ- تعتبر مركبات النترات أحد صور النيتروجين المستخدمة في تغذية النبات، ولكن الإسراف في استخدامها يؤدي إلى زيادة نسبة النترات في التربة، وبالتالي في النبات وكذلك المياه، ومن الجدير بالذكر أن وجود النترات أو أحد أملاحها بتركيز أعلى من 20 جزء في المليون (20 ppm) - تصبح ضارة جدًّا بصحة الإنسان؛ لأنها تتحول في الجهاز الهضمي إلى نيتريت، وهذا بدوره يتحد مع هيموجلوبين الدم ليعطي مركب ميتاموجلوبين الذي يسبب زرقة الأطفال.

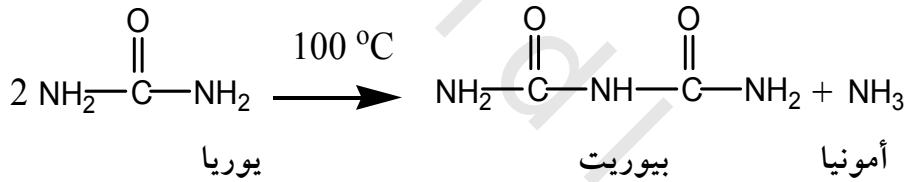
ب – زيادة تركيز النترات أعلى من3 أجزاء في المليون (3 ppm) في البحيرات والأنهار– يؤدي إلى حالة التشبع الغذائي للطحالب والنباتات المائيـة، ممـا يـؤدي إلى اخـتلال مـستوى الأكسجين الذائب، ويؤدي ذلك إلى تغير طعم المياه ورائحتها؛ نتيجة زيادة كثافة الطحالـب، مما يزيد من تكلفة تنقية المياه.

ج – تتجمع مركبات النترات بمستويات ملحوظة في أنـسجة بعـض النباتـات وبالتـالي تصل إلى جسم الإنسان عن طريق تناول هذه النباتات .

وتقوم النباتات بامتصاص أيون النترات من التربة ضـمن المحاليـل التـي تمتـصها مـن التربة ، وتكون سرعة امتصاص النبات لأيون النترات من التربة أعلى من السرعة التي يحـول بها النبات هذه النترات إلى المركبات الحيوية مما يؤدي إلى وجود فائض من مركبـات النـترات تخزن في مناطق خاصة بالنبات.

2– اليـوريـا:

أ – الإسراف في استخدام سماد اليوريا ينتج عنه تراكم مشتق البيوريت الضار في التربة.



ب – اليوريا وسلفات الأمونيوم تتحول في خلال أربعة أسـابيع مـن المعاملـة إلى نترات، مما بجعلها عرضة للفقد بالغسيل، وتذهب إلى مياه الصرف، وتـسبب تلـوث المياه، فضلًا عن وجـود النـترات بمعـدلات عاليـة في بعـض النباتـات، مثـل: الـذرة والسبانخ والخس.

3 – أكاسيد النيتروجين :

1– هناك مصدر آخر للتلوث من متبقيات الأسمدة النيتروجينية؛ نتيجة لعمليـة تكـسر النترات التي تنتج عنها أكاسـيد النيتروجـين المختلفـة، مثـل: NO، NO_2، كـما تبعـث هـذه الأكاسيد؛ نتيجة لعديد من الأنشطة الإنسانية، ومن التسميد الزراعي الكثيف.

2- ويعتبر وجود أكسيد النيتروز (NO) بتركيزات منخفضة على سطح الأرض غير ضار، لكن الأمر يختلف في طبقات الجو العليا؛ حيث يؤثر على طبقة الأوزون، ويساهم في تدمير طبقة الأوزون؛ نتيجة لسلسلة من التفاعلات الآتية :

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O \xrightarrow{u.v} N O + O_2$$

$$O_2 + O \longrightarrow O_3$$

كشفت بعض الأبحاث العلمية أن كميات غاز أكسيد النيتروز، التي تنتج من التحولات البيولوجية بفعل البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى- تفوق بكثير ما ينتج بفعل النشاط الإنساني، وتتفاوت شدة تأثير غاز أكسيد النيتروجين على صحة الإنسان بصفة خاصة من تهيج العيون وبطانة الجيوب الأنفية إلى احتقان رئوي والتهاب بالقصبة الهوائية، تبعا لنسبة التركيز الملوث، والفترة الزمنية للتعرض لهذا الغاز، وسبب التأثير الضار لهذا الغاز أنه يتحول إلى حمض النيتروز، وفي بعض الأحيان إلى حمض النيتريك المخفف الذي يؤثر على أنسجة الرئة، ويسبب تهيج بطانتها وتليفها.

ولقد ثبت أن أكاسيد النيتروجين كلها لها تأثير ضار على قدرة الإنسان على الإحساس والإدراك، خصوصا حاسة الشم والقدرة على التأقلم مع التغيرات الضوئية. ولقد حددت منظمة الصحة العالمية الحدود المسموح بها، كأقصى تركيز يسمح بالتعرض له، بحوالي210 جزء البليون (210 PPb) من أكاسيد النيتروجين في الساعة الواحدة، أو 80 جزء البليون (80ppb) في اليوم.

- سمية النيتريت على الإنسان:

حيث إن معظم الأسمدة النيتروجينية تتحول غالبًا إلى نيتريت- لذلك فإنه يجب الحديث عن سمية النيتريت؛ وذلك بسبب تأثير أيون النيتريت المباشر في الدم، حيث يغير من طبيعته، ويمنعه من القيام بوظيفته الرئيسية الخاصة بنقل الأكسجين من الرئتين إلى جميع خلايا الجسم.

ويتم ذلك عادة عندما يختزل أيون النيتريت في الدم إلى أيون النيتروزيل.

$$NO_2 + (H) \longrightarrow \overset{(+)}{NO} + OH$$

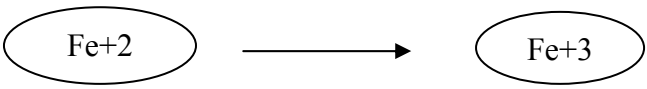
أيون النيتروزيل

ويؤدي أيون النيتروزيل إلى أكسدة ذرات الحديد ثنائية التكافؤ (Fe^{+2})، الموجودة بالهيموجلوبين إلى حديد ثلاثي (Fe^{+3})، وتؤدى هذه العملية إلى منع ارتباط الأكسجين بالحديد ثلاثي التكافؤ، وبذلك يفشل الهيموجلوبين في نقل الأكسجين إلى خلايا الجسم. وهو ما يطلق عليه بتسمم الدم، وهى حالة خطيرة تسبب موت الخلايا، وبالتالي موت الكائن الحي.

$$Fe^{+2} + NO^{+} \longrightarrow Fe^{+3} + NO$$

ويطلق على الهيموجلوبين المحتوي على ذرة حديد ثلاثية التكافؤ اسم ميثيموجلوبين (methemoglobin) ، ولا يوجد هذا النوع في دم الإنسان السليم إلا بكمية ضئيلة، لا تتجاوز 0.8 ٪ على أكثر تقدير. ويؤدي هذا التحول في تركيب الهيموجلوبين إلى حدوث نقص شديد في الأكسجين في جميع خلايا الجسم، أي حدوث نقص كفاءة الجهاز التنفسي في قدرته على تبادل الأكسجين، خاصة في الأطفال الرضع وكبار السن أيضا.

ويتم التفاعل بين أيون النتريت وبين هيموجلوبين الدم على خطوتين، الأولى: تكوين مركب معقد بين الهيموجلوبين الحامل للأكسجين وأيون النيتريت، والخطوة الثانية يتم فيها انحلال هذا المركب إلى methemoglobin وأيون النيتريت، وبذلك يستهلك الأكسجين الذي يحمله هيموجلوبين الدم بواسطة أيون النيتريت حيث يتحول مرة أخرى إلى أيون النيتريت. وتظهر أعراض التسمم عندما تصل نسبة methemoglobin إلى نسبة 10٪ من الوزن الكلي للهيموجلوبين، وعندما تصل النسبة إلى 20٪ تسبب بعض الاضطرابات في النبض وفي التنفس. وتحدث الوفاة إذا وصلت النسبة إلى 70٪.



Hemoglobin	Methemoglobin
ينقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم بطريقة طبيعية لاحتوائه على Fe^{+2}	يفشل فى نقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم لاحتوائه على Fe^{+3}

ولقد أثبتت الدراسات العلمية أن تلوث مياه الشرب بأيون النيتريت يسبب تسمم الدم، وظهور أعراض لبعض الأمراض الأخرى، مثل: ارتفاع ضغط الدم وبعض أمراض الحساسية فضلًا عن بعض أنواع السرطانات، ويرجع ذلك إلى أن أيون النيتريت يتحد مع بعض المركبات الأمينية الموجودة في أجسام الكائنات الحية أو تتفاعل مع المركبات الأخرى الناتجة من تحلل أنواع من المبيدات، سواء في التربة أو مياه الشرب أو النبات أو الحيوان، وتنتج مركبات N- نيتروزو أمين (N- Nitroso amines)، وهي مركبات تعد ضمن الأسباب المؤدية إلى الإصابة بمرض السرطان وأورام المريء والبنكرياس والكبد والرئتين.

$$R_2\ N\text{-}H \quad + \quad O\text{-}N=O \longrightarrow R_2N\text{-}NO \quad + \quad OH$$

أمين ثانوى — أيون نتريت — نيتروزو أمين – (N- nitroso –amine)

كما تسبب مركبات N – النيتروزو في معدة الإنسان؛ نتيجة لنشاط بعض أنواع البكتريا، تحول النيتريت إلى مركب هيدروكسي الأمين (هيدروكسيل أمين)، وهذه هي المركبات المسببة للطفرات الجينية، وهي أخطر ما تكون على الأجنة في الأرحام .

ومن ذلك يتضح أنه يجب عدم الإسراف في تناول الخضروات: المحتوية على النترات الموجودة في أوراقها وجذورها، ومن هذه الخضروات البنجر والخس والكرنب والسبانخ وغيرها، ويجب أيضًا أخذ الحذر من وجود النترات في مياه الشرب، وقد يمكن التخلص من بعض هذه النترات بتخفيفها بمياه أخرى خالية من النترات، أو بمساعدة بعض أنواع البكتريا، أو بالتقطير، ولكن أيسر طريقة للتخلص من النترات، وأعلاها فاعلية، هي ألا نسرف في استخدام مركبات النترات، أو الأسمدة النيتروجينية كمخصبات زراعية، فهذه المخصبات وما يتبقى منها في التربة- هو الذى يصل إلى مياه الشرب، ويزيد من نسبة النترات فيها.

7 – الآثـار السلبيـة للأسمـدة المعدنيـة:

– تعد الأسمدة المعدنية هي المصدر الرئيسي للملوثات غير العضوية في التربة الزراعية .

– المركبات الكيميائية غير العضوية تلوث التربة؛ لأنـه عنـد دخـول هـذه المركبـات إلى التربة تصبح جزءًا منها، وبالتالي تؤثر على جميع صور الحياة. وهـذه المركبـات غـير العـضوية تكون سامة للإنسان والحيوان عند تواجدها في التربـة بتراكيـز عاليـة، وتختلـف سُـمية هـذه المركبات تبعًا لنوع العنصر الموجود بها.

– وقد أوضحت بعض الدراسـات العلميـة أن إضـافة الأسـمدة الفوسـفاتية تـضيف كميات متزايدة من الكادميوم والفلور للتربة.

– كما أن استخدام المخلفات العضوية بعد تخمرها أو معالجتها يؤدي إلى تراكم تركيزات المعادن الثقيلة في التربة.

– ومن مصادر التلوث بالمعادن الثقيلة أيضًا هي الكيميائيات الزراعيـة، مثـل: المبيـدات ومشتقات المجاري؛ حيث تضيف إلى رصيد المعادن الثقيلـة بالتربـة كميـات متزايـدة سـنويًّا بحسب نوع المادة الملوثة وطبيعتها.

– استخدام مياة المجاري في الري بعد معالجتها؛ نظرًا لقلـة الميـاه العذبـة، وخاصـةً مـع التوسع الزراعي في الأراضي الصحراوية الجديدة، وكان ذلك في بدايـة الأمـر لا يـسبب أيـة مشكلة، إلا أن تكرار استخدام هذه المياه أدى إلى زيادة محتـوى التربـة مـن العنـاصر الثقيلـة، ومن المؤسف أن هذه العناصر تتركـز في المجمـوع الجـذري والخـضري والثمـري للنباتـات المزروعة.

– ولقد أثبتت العديد مـن الدراسـات أن التربـة تتـأثر بالإضـافات المـستمرة لمخلفـات المجاري، سواء أكانت صلبة أو سائلة في مجال الزراعة.

ولذلك فقد تم وضع الكثير مـن الإرشـادات الواجـب اتباعهـا والمـستويات القياسـية اللازمة؛ حتى يمكن استخدامها بأمان، وضمان عدم زيادة مستويات المعادن الثقيلة في التربـة والبيئة عن حدود الأمان، منها الآتي:

1– المحتوى الكلي الأساسي للتربة من المعادن الثقيلة.

2- الكميات الكلية من العنصر المضاف بالنسبة للعناصر الثقيلة الأخرى.

3- الحمل التراكمي الكلي للعناصر الثقيلة.

4- القيود التي يجب وضعها في الحسبان للجرعة المسموح بها للعناصر الثقيلة.

5- قيمة معامل السمية لكل عنصر من العناصر النادرة بالنسبة للنباتات النامية.

6- النسب بين العناصر المتداخلة (الأثر المتبادل والتنافس).

7- خواص التربة الكيميائية من درجة الحموضة (PH) ، نسبة الكربونات – محتوى المادة العضوية والطين والرطوبة.

8- الموازنة بين المدخلات والمخرجات في البيئة المحلية.

9- مدى حساسية وشدة تأثير النبات بمستويات العناصر الثقيلة.

يختلف تلوث التربة بالمعادن الثقيلة اختلافا واسعا؛ ويرجع ذلك إلى الاختلاف في طبيعة التربة ونوعها ونوع النباتات النامية عليها وظروف النمو وعوامله المختلفة، ويستخدم مصطلح مقاومة التربة للتلوث بالعناصر الثقيلة الذي يرتبط بالمستويات الحرجة للملوثات المعدنية (غير العضوية)، والتي تظهر تأثيرًا سامًّا على النباتات والبيئة عموما، وهناك علاقة قوية بين هذا العامل والسعة التبادلية للتربة. ومقاومة التربة للتلوث تزيد بزيادة نسبة الطين وقلة الحموضة وزيادة المادة العضوية وتقل كثيرًا في الأراضي الرملية الحمضية، وقد تتراكم كميات عالية من العناصر الثقيلة في التربة الرملية المتعادلة، ويكون تأثيرها أقل على البيئة، ولكن يحدث عدم اتزان كيميائي في مثل هذه التربة، مما يؤثر سلبًا على الأنشطة الحيوية فيها.

لقد أصبحت مشكلة تلوث التربة الزراعية من أهم المشاكل في الوقت الحاضر، وسوف تستمر في المستقبل زيادة احتمالية تلوث التربة الزراعية؛ نتيجة لزيادة النشاطات الإنسانية المختلفة، ولقد تعدى الأمر نطاق العناصر الصغرى؛ حيث وصل الأمر إلى إضافة أحماض النيتريك والكبريتيك والفسفوريك والهيدروكلوريك لمياه الري؛ بهدف التسميد.

والتأثيرات الجانبية الضارة والخطيرة لهذه المركبات معروفة على المزروعات والتربة والبيئة. وبسبب الآثار السيئة للأسمدة المعدنية خاصةً، والأسمدة المصنعة عامة، زادت الآراء في العصر الحالي التي تنادي بعدم استخدام هذه الأنواع من الأسمدة إلا في حدود

وضوابط عالية، والتركيز على ما يعرف بالزراعة العضوية أي استخدام الأسمدة البلدية.

8 - مصادر العناصر الصغرى السامة في التربة:

يمكن تقسيم العناصر الصغرى السامة في التربة إلى:

1- مصادر طبيعية : Natural Sources

وتتمثل هذه المصادر في طبيعة القشرة الأرضية المكونة لمادة الأصل والتي تتم فيها الزراعة.

2- مصادر ناتجة عن النشاط الإنساني: Anthropogenic Sources

على الرغم من وجود العناصر الصغرى والسامة في الصخور الأصلية، التي تكونت منها التربة، ولكن المصادر الرئيسية لهذه الملوثات في التربة يكون عن طريق النشاط الإنساني. ومن بين هذه المصادر المواد الكيميائية المستخدمة في الزراعة، حيث تعتبر الممارسات الزراعية الخاطئة من أهم مصادر تلوث التربة بالعناصر السامة، والتي تؤدي إلى زيادة تركيز هذه العناصر فيها، خاصة الأراضي التي تستخدم في الزراعة المكثفة.

والمصادر الرئيسية الناتجة من الممارسات الزراعية الخاطئة والسيئة تشمل:

- الشوائب الموجودة في الأسمدة، مثل: الكادميوم، الكروم، الفاناديوم، اليورينيوم، الرصاص، الموليبيدينيوم، الخارصين، (Cd, Cr, V, U, Pb, Mo, Zn).

- الأسمدة الطبيعية المعالجة من المخلفات والمسماة بالكمبوست (Composite)، وهي تحتوي على بعض العناصر، مثل: الخارصين، الرصاص، النيكل، النحاس، الكادميوم، . (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd)

- أسمدة طبيعية ناتجة من مخلفات الخنازير والدواجن، وهي تحتوي على الخارصين، النحاس، الأرزينات، (Zn, Cu, As).

- مياه الصرف الصحي، وهي تحتوي على عناصر كثيرة، وأشهر هذه العناصر الخارصين، الرصاص، النيكل، النحاس، الكادميوم، (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd).

9- سلوك العناصر الثقيلة الموجودة في المخلفات العضوية المضافة للتربة:

1- النحاس - Cu

يعتبر النحاس من العناصر قليلة الحركة في التربة ذات درجة حموضة (قيمة رقم هيدروجيني- PH) قريبة من المتعادلة؛ وذلك لقابليته للامتصاص على غرويات التربة، ويؤدي ذلك إلى تجمع النحاس على السطح في التربة الملوثة وعدم انتقاله إلى أسفل. أما في التربة القاعدية فإنه يكون معقدات النحاس الذائبة، ويؤدي ذلك إلى زيادة ذائبية النحاس الكلى، وبالتالي تصبح حركة النحاس في هذه التربة عالية، والنحاس الذائب في التربة القاعدية يكون على صورة معقدات عضوية (Cu $^{+2}$ Organic Complex). وحيث إن النحاس عنصر سام (Phytotoxic) ونظرًا لوجوده بكميات كبيرة في المخلفات، مثل: المجاري -فيجب الحد من إضافة هذه المخلفات إلى التربة وتنقيتها، علمًا بأن المدى المسموح به لتركيز النحاس في التربة يكون في حدود 6.8 جزءًا في المليون (6.8 ppm).

2- الكادميوم - Cd

إن أهم ما يميز حركة الكادميوم في التربة عن العناصر الثقيلة الأخرى- هو تنوع مركباته من حيث خاصية الذوبان، فمنها ما هو ذائب تماما؛ كالنترات، والكبريتات، والكلوريدات، وجميع هذه الصيغ يتواجد فيها الكادميوم عند قيم منخفضة للرقم هيدروجيني (PH) أقل من 6 ؛ ويعزى ذلك إلى ضعف امتصاصه على مادة الأرض العضوية ومعادن الطين والأكاسيد عند درجات PH أقل من 6، ومنها ما هو غير ذائب؛ كالكبريتيدات، والفوسفات، والهيدروكسيدات، ويلاحظ أن ذائبية هذه المركبات تزداد بزيادة الحامضية (قيمة منخفضة للرقم هيدروجيني) أي عند قيم PH أقل من 6 ، أما عند PH أعلى من 7 - فإن الكادميوم يمكن أن يترسب على صورة $CdCO_3$ ، كما يعمل فوسفات الكادميوم على خفض ذائبية العنصر. وبوجه عام فإن أيونات الكادميوم تتحرك في التربة عندما تكون قيم PH منخفضة أقل من 6 ، وأن حركة وصلاحية الكادميوم في التربة المتعادلة والقاعدية تكون منخفضة.

وفى التربة المغلقة نجد أن ذائبية كبريتيد الكادميوم (CdS) المتكون ضعيفة مما يؤدي إلى ضعف حركة عنصر الكادميوم. أما في التربة جيدة التهوية والملوثة بالكادميوم يمكن للنبات امتصاص مستويات عالية من الكادميوم، في حين أن غمر هذه التربة بالماء وزراعتها بالأرز،

مثلًا، يؤدي إلى خفض امتصاص المحصول للكادميوم. وعمومًا فإن زيادة تركيز الكادميوم في التربة عن 0.5mg / Kg – يعد دلالة على تلوث التربة بالكادميوم.

ومن المصادر التي تؤدى إلى تلوث التربة بعنصر الكادميوم استخدام الأسمدة الفوسفاتية ذات المحتوى العالي من الكادميوم، فضلًا عن إضافة مخلفات الصرف الصحي. ويعتبر هذا العنصر شديدًا في سميته للنبات والحيوان على حدٍّ سواء؛ ولذلك فإن هذا العنصر يجب أن يدرس بعناية شديدة، وخاصةً إذا ما أخذ في الاعتبار إضافة مخلفات المجاري إلى التربة والمزروعات المأكولة. وبالرغم من ضآلة كمية الكادميوم التي تصل إلى جسم الإنسان إلا أن هذه الكمية الصغيرة تبقى في الجسم زمنًا طويلًا؛ لأن فترة عمر النصف البيولوجية للكادميوم- طويلة نسبيًّا وهذا يعني أن الكادميوم له قابلية للتراكم داخل الجسم، والمدى المسموح به لتركيز الكاديوم في التربة- 0.06 جزء في المليون (0.06 ppm).

3- النيكل – Ni

أعراض سمية النيكل على النباتات تظهر في التربة الحمضية المتكون من السربنتين والصخور القاعدية، ووجود مستويات عالية من المادة العضوية في التربة الغنية بالنيكل- يمكن أن تزيد من ذائبية النيكل، وذلك عن طريق تكوين معقدات عضوية، وذلك عند درجات حموضة عالية (PH)، ويعتبر النيكل من العناصر شديدة السُمية، وتبلغ سُميته أضعاف سُمية النحاس، ويتواجد النيكل في مخلفات الصرف الصحي بمستويات عالية، وقد يصل إلى مستويات سامة للنبات عند إضافة هذه المخلفات إلى التربة. والمدى المسموح به لتركيز عنصر النيكل في التربة 4.55 جزء في المليون (4.55 ppm).

4- الخارصين – الزنك – Zn

إذا احتوت التربة على مستويات عالية من الخارصين فإن ذلك يؤدي إلى ترسيب **الخارصين**، ويكون على صورة أكاسيد وهيدروكسيدات وكربونات، وهذه المركبات تخفض من ذائبية الزنك، وخاصة عند درجات حموضة أقل من أو تساوي 6 (**pH ≤ 6**)، وتظهر سمية الخارصين للنبات في التربة الحمضية خاصة عند إضافة المخلفات التي تحتوي على عنصر الخارصين إلى هذه التربة. والمدى المسموح به لتركيز عنصر الزنك في التربة 125-17 جزءًا في المليون (125ppm-17).

10- تخليق مركبات مسببة للسرطان

ينتج من نشاط بعض الكائنات الحية الدقيقة في التربة على المخلفات العضوية بعض المركبات العضوية الفلزية ذات تأثير سام أو المسببة للسرطان، وهذه المركبات تشمل ميثيل الزئبق (methyl mercury) ، ثنائي ميثيل الزرنيخ (dimethyl arsine) ، ثنائي ميثيل السيلينيوم (dimethyl selenide) ، نيتروزو أمين (nitroso amine). وهذه المركبات لا تتواجد في الأراضي الزراعية تحت الظروف العادية، ولكنها تتكون في الأراضي الملوثة بفعل أنواع معينة من البكتريا، ويمكن الإشارة إلى كل نوع من المركبات السابق ذكره في إيجاز، كالتالي:

1- ميثيل الزئبق - Methyl Mercury

يعد التخلص من مياه الصرف الصناعي المحتوية على عنصر الزئبق في المجاري المائية أحد الاسباب التي تؤدي إلى تكوين مركب ميثيل الزئبق{(methyl (CH_3Hg)} -mercury من خلال النشاط الميكروبي، وهذه المركبات السامة تتجمع في الأسماك التي تستهلك بواسطة الإنسان، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى أمراض خطيرة للإنسان، ولقد تم رصد حالات وفاة نتيجة التسمم بميثيل الزئبق.

كما أن الرسوبيات في قاع كثير من البحيرات والمجاري المائية ثبت تلوثها بالزئبق، والتحول البطيء لذلك العنصر على صورة ميثيل- أمر محتمل على المدى القريب. ومصادر تلوث الأراضي الزراعية بعنصر الزئبق بسبب المبيدات والمخلفات العضوية- مثل: الحمأة الناتجة من الصرف الصحي.

2 - ثنائي ميثيل الزرنيخ - Dimethyl Arsine

يلقى عنصر الزرنيخ اهتماما بيئيًّا كبيرًا؛ نتيجة استخدامه في تصنيع المبيدات ومواد رش الأوراق، وأيضا لسميته الشديدة للإنسان. وتكمن المشكلة في عنصر الزرنيخ في أنه يتحول إلى ثنائي ميثيل الزرنيخ بواسطة الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية، وهذا المركب له قدرة عالية على التجمع في الأسماك، ومن ثم الانتقال إلى الإنسان مسببًا أمراضًا خطيرة، فضلًا عن التسمم، وميكانيكية تكون ثنائي ميثيل الزرنيخ- تشبه إلى حد كبير تلك الخاصة بالزئبق.

3- ثنائي ميثيل السيلينيوم – Dimethyl selenide

تتعرض الصور الأنيونية للسيلينيوم إلى النشاط الميكروبي، وتتحول إلى ثنائي ميثيل السيلينيوم، ونتيجة لخاصية التجمع الحيوى للسيلينيوم فإن النباتات النامية في أراضٍ ذات محتوى عالٍ من السيلينيوم- تعمل على تجميع السيلنيوم في أجزائها بتركيزات تكون سامة للحيوانات، يتكون ثنائي ميثيل السيلينيوم في الأراضى الملوثة بالسيلنيوم، وهناك مؤخرًا بعض الاراء العلمية عن أن هذه الصورة لمركب السيلينيوم (ثنائي ميثيل السيلينيوم – dimethyl selenide) يمكن أن تفقد في الأراضي بالتطاير.

4 - نيتروزو أمين – Nitroso amines

يتكون النيتروزو أمين السام عن طريق التفاعل الكيميائي بين الأمينات الثانوية (R_2NH) والنيتريت (NO_2)؛ شريطة تواجد هذين المركبين في نفس الوقت ، ولقد سبق الحديث عنها في سمية النيتريت. ويعتبر أيون النيتريت المطلوب لإتمام التفاعل- مركبًا وسيطًا، ينتج خلال التحولات البيوكيميائية للنيتروجين ونادرًا ما يتواجد في الأراضي في صورته الأيونية، إلا أن تجمع أو تكوين هذا المركب في بعض المواقع- أمر وارد ومحتمل، حينما يحدث تنشيط للبكتريا المؤكسدة للنيتريت (نيتروباكتر) بواسطة الأمونيا الحرة.

ولقد أوضحت بعض الدراسات أن تكوين ثنائي ميثيل أمين (dimethyl amine) وثنائي إيثيل أمين (diethyl amine)، يحدث عند تفاعل بعض المبيدات مع مكونات الأراضي، وهذا بدوره يمكن أن يؤدي إلى تكوين نيتروز أمين إلا أنه لا يوجد إثبات قاطع حتى الآن على تكوين نيتروزو أمين في الأراضي طبيعيًّا.

11- معالجة الأراضي الملوثة باستخدام النباتات phytoremediation

تعرف هذه المعالجة (phytoremediation) بأنها التقنية التي تستخدم النباتات الخضراء لمعالجة الأراضي الملوثة بالمواد الكيميائية والمواد المشعة. وتوجد العديد من العمليات الأساسية التي يمكن عن طريقها استخدام النباتات لمعالجة الأراضي والمياه الملوثة.

ومن هذه العمليات:

1- عمليات عزل الملوثات Containment Processes

وتنقسم هذه العمليات إلى:

أ- التثبيت بواسطة النباتات Phyto Stabilization

ويتم فيها استخدام النباتات المقاومة للملوثات لغرض التثبيت الميكانيكى للتربة الملوثة؛ وذلك لمنع انتقال حبيبات التربة الملوثة بواسطة عوامل التعرية والهواء إلى البيئات الأخرى، بالإضافة إلى أن غسيل الملوثات يقل بشدة؛ نتيجة لارتفاع معدل التبخر الناتج من التربة المزروعة بالمقارنة بالتربة غير المزروعة.

ب- تقييد الحركة بواسطة النباتات Phyto immobilization

وهي استخدام النباتات لتقييد حركة وانتقال الملوثات الذائبة في التربة، وسنتحدث عن هذا النوع بعد ذلك بنوع من التفصيل.

2- عمليات إزالة الملوثات Removal Processes

وتنقسم هذه العمليات إلى الآتى:

أ- عمليات الاستخلاص بواسطة النباتات phytoextraction processes

وهي عمليات استخلاص المكونات العضوية والمعدنية من التربة عن طريق الامتصاص بواسطة النباتات وانتقالها إلى المجموع الخضري للنبات.

ب- عمليات التحلل بواسطة النباتات phytodegradation

وهي عمليات تحلل المواد العضوية بواسطة النباتات بمساعدة الميكروبات في منطقة الجذور.

ج- عمليات التطاير بواسطة النباتات phytovolatalization

وتتم عن طريق إنزيمات متخصصة، يمكنها أن تحلل العناصر، وتعمل على تطايرها في نظام التربة – النبات والميكروبات.

3- عمليات مقاومة النبات للملوثات المعدنية

Metallic Resistance Processes

وتعتمد هذه العملية على مقاومة النبات لتأثير بعض العناصر، مثل: النحاس- الكادميوم-الخارصين (Zn ، Cd ، Cu)، ويقاوم النبات التأثيرات السامة لهذه العناصر كما يلي:

obeikandl.com

أ- مقاومة النبات لعنصر النحاس Cupper Resistance

زيادة تركيز النحاس الحر Cu^{++} في خلايا النباتات يؤدي إلى تلف جميع العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات من خلال الأكسدة والتبادل الأيوني، ويعتقد أن تكوين مخلب مع عنصر النحاس (phytochelation) تلعب دورًا كبيرًا في مقاومة النباتات لزيادة تركيز النحاس في الخلايا.

ب- مقاومة النبات لعنصر الزنك Zinc Resistance

يمكن للنبات أن يتحمل التركيزات العالية في الزنك عن طريق خلب الزنك الحر بواسطة الأحماض العضوية وتجميعها في الفجوات داخل خلايا النباتات.

ج- مقاومة النبات لعنصر الكادميوم Cadmium Resistance

تقوم النباتات بتخليق بعض المركبات لها القدرة على تكوين مخلب أو متراكب (phytochelation) مع عنصر الكادميوم، مما يساعد النبات على مقاومة التركيزات العالية من الكادميوم، سواء أكانت هذه التركيزات موجودة أصلًا في التربة أو مضافة عن طريق الأسمدة الكيميائية. وتتراوح نسبة الكادميوم المرتبط بالفيتوكلاتين (phytochelation) داخل النبات بين 19-59 ٪ من الكادميوم الكلي، كما يمكن للنبات أن يقاوم الكادميوم بتجميعه في الفجوات العصارية للخلايا.

4 - مقاومة النبات للملوثات العضوية

Organic Resistance Processes

تختلف النباتات فيما بينها اختلافًا كبيرًا في درجة مقاومتها للملوثات العضوية؛ ولذلك فإن أهم متطلبات عملية اختيار النباتات لغرض معالجة الأراضي الملوثة- هو قدرة هذه النباتات على إنتاج مجموع خضري غزير في الأراضي الملوثة. وأحد الطرق التي تتبعها النباتات لزيادة مقاومتها للملوثات العضوية- هو تحويل الملوثات إلى صورة أقل سمية في منطقة الجذور، حيث تفرز جذور النباتات خليطًا مكونًا من السكريات والكحولات والفينولات والأحماض العضوية التي يتم استخدامها بواسطة ميكروبات التربة الموجودة في منطقة الجذور، لتحويل الملوثات العضوية إلى صورة أقل سمية.

وإزالة سمية الملوثات العضوية في منطقة الجذور، لا تكون فعالة بالنسبة لجميع المركبات، وقد يكون معدل تحول الملوثات العضوية إلى مركبات غير سامة- غير كافٍ لمنع امتصاص النبات لهذه المركبات؛ ولذلك فبعد امتصاص النبات لهذه الملوثات بواسطة الجذور- يتم انتقالها إلى السيقان، ثم تفقد بالتطاير، أو يتم تحويلها داخل خلايا العمليات الحيوية للنبات إلى مواد أقل سمية؛ ثم تخزينها في فجوات الخلايا.

هذه هي بعض الطرق المستخدمة في التخلص من الملوثات، حيث يقاوم النبات زيادة الملوثات العضوية، أو بعض المعادن في التربة. كما يقوم **بتثبيت** الملوثات؛ كالتالي:

5- تثبيت الملوثات بواسطة النباتات Phyto Stabilization

تعتمد هذه الطريقة على استخدام تكنولوجيا لمنع حركة وانتقال الملوثات العضوية وغير العضوية من التربة إلى المناطق المجاورة وإلى المياه الجوفية.

تعتمد تكنولوجيا الملوثات بواسطة النبات بالدرجة الأولى على مدى تحمل أنواع النباتات للملوثات. وأحد المتطلبات الأساسية لعملية تثبيت الملوثات بواسطة النباتات هو سرعة إنشاء غطاء نباتي، ويجب أن يتم ذلك بناء على انتقاء أنواع النباتات المتحملة لظروف ونوع الملوثات الموجودة في المنطقة المراد تثبيت الملوثات بها.

ومن البدهي إنشاء غطاء نباتي سريع لابد وأن يعتمد على زراعة نباتات حولية يتم تحويلها تدريجيا إلى زراعة أصناف مستديمة، ويستحسن أن تكون حشائش؛ وذلك لأن لها مميزات كبيرة في عملية تثبيت الملوثات. وأيضا يوجد بعض أنواع من الأشجار قادرة على النمو في الأراضي ضعيفة الخصوبة ذات البناء الرديء؛ ولأن معدل النتح في هذه الأشجار يكون عاليًا- فإن الأشجار في هذه الحالة تعمل كحاجز، يمنع غسيل الملوثات وانتقالها إلى المياه الجوفية، كما أن امتداد جذور الأشجار إلى أسفل عدة أمتار- يعمل على تثبيت الملوثات، ويمنع انتقالها .

مميزات هذه الطريقة :

إنشاء الغطاء النباتي في الأراضي الملوثة له مميزات عديدة، منها: إضافة مواد عضوية طبيعية للتربة، وتحسين البناء، وحماية التربة من عوامل التعرية، وزيادة نشاط الكائنات الحية الدقيقة، وبالأخص تثبيت النيتروجين بواسطة الاكتينومسينات والبكتريا التكافلية/ وما

يتبعه من إمداد النباتات باحتياجاتها من النيتروجين. وعملية تثبيت الملوثات تعتبر إستراتيجية، ليس الهدف منها إزالة الملوثات من التربة، وإنما تعمل على عزل الملوثات لفترة؛ حتى يمكن تطوير تكنولوجيا إزالة الملوثات، واستخدامها بعد ذلك في هذا الموقع لإزالة الملوثات منه نهائيًا.

12- تقييد حركة الملوثات بواسطة النباتات phytoimmobilization

تعرف هذه العملية phytoimmobilization بأنها التكنولوجيا التي تهدف إلى تقييد حركة الملوثات في منطقة الجذور.

وتعتمد ميكانيكية تقييد النباتات لحركة الملوثات في التربة على الآتي:

1- ادمصاص وامتصاص الجذور للملوثات.

2- مساعدة النباتات في ترسيب وتكوين مركبات ضعيفة الذوبان.

3- تغيير خواص التربة التي تؤثر على حركة الملوثات .

4- تثبيت الملوثات بواسطة الميكروبات أي زيادة النشاط الميكروبي، مما يؤدي إلى تقييد حركة الملوثات بواسطة الميكروبات، من خلال الادمصاص والامتصاص- أو تخليق الميكروبات لمركبات قليلة الحركة، وينتج عن ذلك أن تصبح الملوثات جزءًا من دبال التربة.

وفيما يلي نورد الميكانيكيات التي يستخدمها النبات لتقييد حركة الملوثات العضوية وغير العضوية.

أولا : تقييد حركة الملوثات غير العضوية بواسطة النبات :

- ميكانيكية تقييد الملوثات غير العضوية تشمل الامتصاص بواسطة الجذور، وتفاعلات الأكسدة والاختزال مثل: اختزال (Cr^{+6}) السام إلى (Cr^{+3}) غير الذائب.

- أيضا تكوين مركبات فوسفاتية قليلة الذوبان في منطقة الجذور يمكن أن يؤدي إلى تقييد حركة بعض العناصر السامة، مثل: الرصاص، ويجب التنويه أن خفض انتقال الملوثات غير العضوية من الجذور إلى السيقان تعتبر مهمَّة جدًّا في عملية تقييد حركة الملوثات، وذلك لمنع انتقال الملوثات ودخولها إلى السلسلة الغذائية.

ثانيًا : تقييد حركة الملوثات العضوية :

تقييد حركة الملوثات العضوية في التربة بواسطة النباتات يشمل أيضا الامتصاص

obeikandl.com

بواسطة الجذور والتثبيت الميكروبي، ويمكن القول بأن استخدام النباتات لتقييد حركة الملوثات العضوية في التربة- يطبق أساسًا مع الملوثات العضوية التي تكون مركبات قليلة الذوبان، أو المركبات التي تدمص بقوة على سطوح معادن الطين .

وقد أثبتت بعض الدراسات أن تطبيق هذه التكنولوجيا (phytoimmobilization) في بعض المواقع الملوثة، مثل: المناطق المضاف إليها الحمأة باستخدام بعض النباتات المقاومة للملوثات العضوية- قد أمكن تقييد حركتها.

ثالثا : إزالة الملوثات العضوية بواسطة النباتات:

قد أمكن إثبات قدرة النباتات على إزالة الملوثات العضوية من التربة عن طريق التطاير، فمثلًا: أظهرت الأبحاث العلمية قدرة نبات poplarhybrids على امتصاص وأكسدة كميات كبيرة من الملوثات، وأيضا أكثر من 10٪ من الملوثات المضاف إلى التربة- يمكن تطايرها من خلال أوراق نبات Loblolly pine (Pinus taedal).

وبناءً على ما تقدم يمكن القول بأن موضوع الأسمدة من الأمور الحيوية والهامة في العصر الحالي؛ لأنها ترتبط بالزراعة، ولها تأثير مباشر، أو غير مباشر، على صحة الإنسان، بالإضافة إلى الأهمية الاقتصادية المترتبة عليها.

ويمكن الاستنتاج أن أسباب التلوث بالأسمدة الكيميائية الآتي:

1- الاستعمال السيئ يؤثر سلبًا على الإنتاج الزراعي.

2- لكل نوع معين من الأسمدة طريقة إضافة محددة.

3- الاستعمال الخاطئ لأنواع محددة من الأسمدة، مثل: النترات وما شابها يكون أحد الأسباب لأمراض خطيرة.

4- يجب مراعاة نوع النبات والتربة مع نوع السماد المستخدم.

5- استخدام الأساليب العلمية الحديثة لاستخدام الأسمدة العضوية الطبيعية لقلة أثرها الضار.

6- عدم الإفراط في استخدام الأسمدة الكيميائية المصنعة (أي يجب الاستخدام الأمثل لها).

* * *