(المحاضرة الاولى)

مدخل لمادة التلوث النظام البيئي ومكوناته وأنواعه وأجزائه ومميزاته، بعض الامثلة عن النظم البيئية

التسارع في النمو السكاني والزيادة في عدد سكان العالم أحدث نمو سريع و توسع هائل في القطاع الصناعي والزراعي والتجاري في القرن الماضي من اجل تحقيق الاكتفاء لسكان العالم . وقد أحدثت الزيادة في عدد السكان الى زيادة في استهلاك مصادر الطاقة والذي كان مصحوبا بتراكم النفايات. مما زاد في الضغط على البيئة الطبيعية والى احداث تحولات في تكوين الغلاف الجوي والتربة وموارد المياه كافة . وهذه الامور مجتمعة عملت بدورها إلى خلل في النظام الطبيعي وتدهور البيئة. وكلما ازدادت الكثافة السكانية في مكان ما اصبح المجتمع البشري أكثر عرضة للتغير الطبيعي وخاصة للتغير البيئي.

إن ملاحظة التلوث بالعين المجردة يعد من الامور التي تحمل الكثير من الصعوبة ,لذلك يشق على العاملين في هذا المجال الكشف عن التدهور في بدايات حدوثة ,والذي تسبب في تجاهل القضايا البيئية. ومع التطور العالمي ونضج الوعي العام بدأ القلق بشأن حالة البيئة المحلية والعالمية والذي نما بشكل كبير في منتصف القرن الماضي .وقد جذب تلوث الهواء والماء والتربة حرص الكثير بسبب تأثيراته السلبية المباشرة وغير المباشرة على المناظر الطبيعية والنظام الإيكولوجي متمثل بالأنهار والبحيرات والجداول ومياه العيون والاراضي الرطبة والاراضي ذات الأعشاب والغابات واراضي المراعي المناطق الاثرية والجزء الاهم تأثيرها علي الصحة البشرية .لذلك اخذت الاصوات تتعالى وبدا الوعي ينتشر عن طريق نشرات تثقيفية علمية اوائل النشرات البارزة التي ناشدت العالم إلى الانتباه في الاستخدام المستمر للمبيدات الحشرية الخطرة مثل ثنائي كلور ثنائي فينيل ثلاثي كلور وايثان dichloro diphenyl trichloroethane (DDT) والتي اطلقها العالم راشيل كارسون عام 1962 ثم تتالت الصرخات محذرة ومنذرة وقد اثار النقاش حول قضايا البيئة الكثير من الجدل. واستنادا إلى احد نماذج المحاكاة الحاسوبية الأولية ,توقع العلماء الى حدوث انخفاض كبير في قدرة الأرض على الحفاظ على الحياة في المستقبل في غضون فترة زمنية 100 عام بسبب الزيادة المتسارعة في عدد سكان العالم والنمو المصاحب للاستهلاك والتلوث البيئي

وفي السبعينيات القرن الماضي ركز النقاش البيئي على النمو السكاني والعناصر الثقيلة والاستخدام المفرط لمبيدات الآفات، ثم توسع في الثمانينيات والتسعينات ليشمل الضباب الدخاني المنبعث من المصانع والأمطار الحامضية التي يسببها والنشاط الإشعاعي ومشكلة القرن ثقب الأوزون وتأثيره على الاحتباس الحراري والتنوع البيولوجي.

عالميا ازداد عدد التخصصات التي تدرس علوم البيئة ومشاكلها كالجيولوجيا والجيوكيمياء والهيدرولوجيا وعلوم التربة وفي الهندسة المدنية والهندسة الزراعية مجموعة من الابحاث الموجهة بيئيا، والتي اثمرت عن فتح واصدار العديد من المجلات العلمية المختصة في مجال علوم البيئة من المجلات الدولية المتخصصة في مجال التلوث البيئي، مجلة التلوث البيئي الزيفر 1970. وفي مجال تلوث المياه والهواء والتربة مجلة كلوير وتسمى الآن سبرينغر 1971 ومجلة جودة البيئة والعديد من المجلات مثل مجلة الجمعية الامريكية لعلوم التربة ومجلة الجمعية الامريكية للعلوم الزراعية مجلة جمعية علوم المحاصيل الامريكية جميعها في عام 1972.وذاك خير دليل على الاهتمام العالمي بهذا الشأن.

وعالميا تم انشأ وزارات تعنى بأمور البيئة بالإضافة الى وكالات حكومية وجمعيات لتزويد اصحاب القرار بمستجدات التغيرات في البيئة الغاية منها وضع سياسات فعالة لحماية وتحسين النظام البيئي من خلال منع التلوث البيئي ومكافحته والحد منه. وقد أنشأت الأمم المتحدة برنامج الأمم المتحدة للبيئة ومقره في نيروبي، كينيا عام 1972. وفي عام 1991 تم تأسيس الوكالة الأوروبية للبيئة تابعة للاتحاد الأوروبي في كوبنهاغن، الدانمارك. وعلى الرغم من إنجاز الكثير من أجل الحد من التلوث البيئي والتحكم فيه في العالم الغربي، فقد عكس تقييم الأمم المتحدة للنظم الإيكولوجية 2005 وجوب اجراء تغييرات كثيرة للحد من التدهور البيئي.

الان يجب أن نتعرف على النظام البيئي ومكوناته وما هو التلوث

يعرف النظام البيئي على أنه مساحة من الطبيعة، وتشمل هذه المساحة المكونات الحية متمثلة بالكائنات الحية التي تعيش في ذلك النظام كالإنسان والحيوانات وكذلك النباتات بأنواعها، ومكونات غير حية، تشمل عوامل مائية وعوامل جوية مثل الضوء والحرارة.

ويعد النظام البيئي هو الوحدة الأساسية في علم البيئة، والنظام يشير الى مساحات متنوعة مثل الغابة او البحيرة او البركة الصغيرة الصحراء المدينة المزدحمة الحقول الراعية، ويعتمد النظام البيئي على التفاعل الحيوي لمكوناته الحية وغير الحية في نفس البيئة، وذلك للوصول لحالة من التوازن البيئي المستقر.

فالنظام البيئي هو عينة مصغر عن البيئة في أشكالها المختلفة، والنظم البيئية تشمل مكونات حية واخرى غير حية، مرتبطة مع بعضها البعض وتعمل بشكل مستقل عن الآخر في حلقة متكاملة من مستويات الطاقة يكمل بعضها البعض، فالإنسان والحيوان هما بحاجة للأوكسجين المهم الضروري في عملية التنفس والنباتات هي التي تنتج الأوكسجين بالبناء الضوئي، و يطرح الإنسان والحيوان ثاني أوكسيد الكربون الذي يحتاجه النبات للنمو، وللأنظمة البيئية أنواع مفتوحة وهي التي تحتوي على كافة المكونات البيئية وكذلك أنظمة منغلقة تفتقر إلى أحد المكونات، والأمثلة على هذه النظم كثيرة ومنتشرة في جميع أنحاء الأرض، ومع ذلك يحدث خلال في التوازن البيئي بسبب عدة عوامل اهمها الانسان ونشاطاته.

مكونات النظام البيئي

يمكن تجزئة النظام البيئي إلى جزئين أساسيين هما

أولاً: المكونات غير حية، ويشمل عوامل طبيعية تؤثر على حياة الكائنات الحية، وهذه العوامل تقوم بحصر منطقة تواجد الكائنات الحية وأيضا نوع الكائنات في مناطق مختلفة، وتحدد نوع العلاقة بين هذه الكائنات، هذه العوامل تشمل :

1. عوامل المناخ ، مثل الحرارة والضوء والضغط والرطوبة والرياح والغازات.

2. عامل المياه، ويشير الى مواقع و تواجد المياه العذبة والمياه المالحة في مختلف البيئات، وكذلك كميات الماء الموجودة في اليابسة.

3. عوامل التربة، وتلعب عوامل التربة دورا كبيرا في تحديد نوعية الكائنات التي تعيش عليها، وتضم تركيب التربة وموقع التربة نفسها، وكميات المواد العضوية والمواد غير العضوية الموجودة، ونسب الرطوبة، وموقع لتربة والتركيب الجيولوجي للتربة.

ثانياً: المكونات الحية، وتعرف المكونات الحية في أي نظام بيئي بالعوامل الحيوية، وهي كل ما هو حي بالنظام، مثل الحيوانات والإنسان والنباتات وحتى الكائنات الدقيقة، والمجتمع الحيوي، هو الاسم الذي يطلق على النظم البيئية التي ترتبط الكائنات فيها بعلاقات متبادلة. ويمكن تقسيم هذه العناصر إلى ما يلي:

1. كائنات مُنتجة : ويقصد بها أي كائن حي ذاتي التغذية أي الكائنات التي تصنع غذائها بنفسها دون الحاجة للكائنات الأخرى في تغذيتها ومثل النباتات بأنواعها وبعض انواع الطحالب.

2. كائنات مستهلكة: وهي الكائنات التي تعتمد في تغذيتها على الكائنات الحية الأخرى كالنباتاتٍ، ومن امثلتها الانسان والحيوانات.

3. كائنات مُحللة: هي العناصر التي تُحلل بقايا وجثث الكائنات الحية من خلال تحرير وإفراز مواد تُفكك التركيبة الكيماوية للمادة العضوية للكائنات، وذلك من أجل استغلالها مرة أخرى من قبل كائنات أخرى كالنباتات مثل: البكتيريا، والفطريات. كما يُقصد بها أيضا بأنه التفاعل المنظم والدائم بين عناصر النظام البيئي، وما ينتج عن هذا التفاعل من توازن بين عناصر البيئة ويعد الإنسان واحد من أهم المكونات الحية المستهلكة المتواجدة بالنظام البيئي والمؤثرة فيه، وقد يكون سبب رئيسي في اختلال توازن النظام بتدخله بشكل سلبي، حين يقوم بعض البشر بإفساد الغطاء النباتي والرعي العشوائي وتلويث مصادر المياه والهواء، ولكن يمكن للإنسان أن يلعب دور مهم في إعادة التوازن للبيئة من خلال إنشاء الحدائق والتشجير المستمر في البيئات الصناعية، وإنشاء محميات طبيعية للحفاظ على الحياة الحيوانية والنباتية.

أنواع النظام البيئي

يمكن تقسيم النظام البيئي الى قسمين اساسيين وموجوعة اجزاء تقسم الأنظمة البيئية في العالم على نوعين رئيسيين، وهما:

1. النظام المفتوح هو نظام يحتوي على كل مكونات النظام البيئي، المكونات الحية وغير الحية نوع النظام الذي يتفاعل مع البيئة المحيطة

2. النظام المغلق وهو النظام البيئي غير المتكامل أو المغلق، وهذا النظام قد ينقصه أحد المكونات الحية أو غير الحية، أو حتى أكثر من مكون، ولا تصل الشمس لهذا النظام، ويفتقر لبيئات منتجة مثل البحار والمحيطات.

اجزاء النظام البيئي

يشمل النظام البيئي مجموعة من الاغلفة والتي تكون بمجملها النظام البيئي وتحيط بالأرض اربعة اغلفة رئيسية متكاملة في عملها وتشمل:

1. الغلاف المائي

والذي يجسد كل اشكال المياه الموجودة على سطح الارض ما نسبته 70 % من سطح الأرض متمثلا بجميع البحار والمحيطات بالإضافة الى جليد قطبي الكرة الأرضية وقممها الجبلية، والمياه المخزنة في طبقات الصخور، فهي تعتبر واحدة من مكونات الغلاف المائي .

يتصف كوكب الأرض عن باقي كواكب المجموعة الشمسية بوجود الغلاف المائي فيه اذ تألف المياه نسبة 78 % من إجمالي المساحة الكلية فوق سطح الكرة الأرضية، والذي يعد المورد الطبيعي الأكثر اهمية على الإطلاق، نظراً لأهميته للحياة وايضا لاحتوائه على ثروات عظيمة، ويتميز الماء بأهميةٍ بالغةٍ للكائنات الحية الموجودة فوق سطح الكرة الأرضية وباطنها إذ يعتبر مكوناً أساسيا لأجسادها، ويتكون الماء من ذرتي هيدروجين وذرة أوكسجين. مكونات الغلاف المائي يتكون الغلاف المائي من مختلف أشكال المسطحات المائية، كالمحيطات، والبحار، والأنهار، والأمطار، وتشكل المياه المالحة ما نسبته 96.5 % من الغلاف المائي، أما نسبة الماء العذب، فتشكل حوالي 3% أما المياه الجوفية، فتشكل النسبة الباقية.

2. الغلاف الصخري

يشكل الغلاف الصخري نسبة 29 % من مساحة الأرض، وهو يشمل اليابسة وهنا نشير الى التربة. ويشكل الغلاف الصخري الغطاء الخارجي الأرضي الصلب الذي يكون القارات وقيعان المحيطات، ويُسمّى الغلاف الصخري بالقشرة الأرضية، ويتكون من طبقات متباينة السمك من الصخور، حيث يزداد سمكها على اليابسة وخاصة تحت المناطق المرتفعة بينما يقل سمكها في قيعان المحيطات. ويبلغ سمك القشرة الأرضية 45 كم وقد يصل الى 60 كم تحت الجبال العالية، التركيب الصخري للقشرة الأرضية تتكوّن القشرة الأرضية كيميائيا من 91 عنصرا ، معظم هذه العناصر نادر الوجود وبعضها شائع. وتتركز عناصر القشرة الأرضية الأكثر انتشارا في تسعة عناصر، وهي تكوّن 98 % من وزن القشرة الأرضية، حيث يمثّل الأوكسجين نصف هذه النسبة، يليه عنصر السيلكون الذي يمثّل ربع هذه النسبة، كما يحتوي الغلاف الصخري للقشرة الأرضية أيضا على عناصر نادرة حرة كالذهب، والفضة، والبلاتين، والنحاس، والكبريت. وتوجد هذه العناصر التي تتكون منها القشرة الأرضية على شكل مركّبات متجانسة تُعرف بالمعادن، حيث وجد العلماء أن اتحاد واندماج المعادن مع بعضها البعض يُنشئ ما يسمى بالصخور، وفي بعض الأحيان قد يتركّب الصخر من معدن واحد كالرخام.

3. الغلاف الجوي

وهو عبارة عن جميع الغازات التي تحيط بالكرة مثل النيتروجين والأوكسجين. وهو عبارة عن طبقة رقيقة تحيط بالكرة الأرضية لتحفظ لها عوامل الحياة، وتتكوّن هذه الطبقة من بعض الغازات، والمركبات الكيميائية والتي تقلّ كثافتها كلّما اتجهنا إلى الأعلى، كما أنّها تنجذب إلى سطح الأرض بفعل الجاذبية الأرضية، ويمتدّ الغلاف الجوي إلى مئات الكيلومترات فوق سطح الأرض

أهمية ومكونات الغلاف الجوي

ما هي أهمية الغلاف الجوي

* يجهز الكائنات الحية الموجودة على سطح الكرة الأرضية بالهواء اللازم للتنفّس من أجل البقاء على قيد الحياة، حيث أنه يحتوي على العديد من المكوّنات الأساسية اللازمة للحياة كالأوكسجين، والنيتروجين، وثاني أوكسيد الكربون، بالإضافة إلى غازات ومركّبات كيميائية أخرى تدخل في معظم أنشطة الإنسان سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

* يسمح بمرور الأشعة الضوئيّة والحراريّة الصادرة من الشمس، بحيث تعمل الأرض على امتصاصها، مما يوفر لها الحماية والدفء.

* يمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية الضارّة إلى سطح الأرض .

* يساعد على توزيع درجة الحرارة على سطح الأرض، حيث إنّه ينظم وصول أشعة الشمس، كما أنّه يمنع نفاذ كل الإشعاع الأرضي إلى الفضاء الخارجي، فلولا وجود الغلاف الجوي لتجاوز المدى اليومي لدرجة الحرارة على سطح الأرض حوالي 200 درجة مئوية .

* يعمل بمثابة الدرع الواقي الذي يحمي سطح الأرض من وصول الشهب التي تحترق في أعلى الغلاف الجوي لتصل إلى الأرض على شكل نيازك صغيرة .

* يكون واسطة اتصال بين الأرض والفضاء الخارجي، وتستخدمه الطائرات للتنقّل من مكان إلى آخر.

* يكون وسطا لانتقال الأصوات؛ فلولا وجوده لساد هدوء مخيف على سطح الأرض .

* يشارك في توزيع بخار الماء في الأماكن المختلفة من العالم

* تساعد حركة الغلاف الجوي في حدوث الكثير من الظواهر الطبيعية مثل: تكوّن السحب والغيوم، وحدوث الأمطار، وتجانس مكوّنات الهواء، وهبوب الرياح، كما أنّه يسهم في حفظ كوكب الأرض من التغيّرات الكبيرة والمفاجئة التي قد تحدث نتيجة ارتفاع درجات الحرارة

* يعطي السماء اللون الأزرق الجميل في أثناء النهار، والذي ينعكس على المسطحات المائيّة التي تظهر باللون الأزرق أيضا .

4. الغلاف الحيوي

هو الوسط الذي تعيش فيه الكائنات الحيّة، ويمتدّ من أكبر عمق في البحار والمحيطات ويُقدَّر ب 13 كم، ويصل إلى أعلى ارتفاع فوق الجبال ويُقدَّر ب 11 كم ، تقسيم البيولوجيّين لمكوّنات الغلاف الحيويّ عالم غير حيّ: ويشمل ما يلي :

* المحيط المائيّ أو النظام المائيّ: حيث يتطلّب وجودُ الحياة فيه توفُّرَ المياه في الحالة السائلة، وهو ركن أساسيّ لتهيئة الحياة واستمرارها.

* المحيط الجويّ: الأرض من الكواكب المحاطة بغلاف جويّ، يحافظ على توازن الحياة فيها، مثل: الجاذبية، والضغط الجويّ، وغازات الهواء، ويتكوّن هذا الغلاف من عدّة طبقا ت تمتدّ من سطح الأرض إلى طبقات الجوّ العليا .

* المحيط اليابس: هو الجزء الصلب من الكرة الأرضيّة، ويصل إلى عمق ثلاثة أمتار تقريبا ، حيث تنعدم الحياة بعد هذا العمق؛ بسبب ارتفاع درجة الحرارة، وانعدام الهواء، وعدم توفّر الغذاء، ويتكوّن هذا الجزء الصلب من الصخور التي تختلف في أنواعها؛ لاختلاف المعادن المكوّنة لها .

* العالم الحي: ويشمل الكائنات الحيّة كلّها التي تستخدم المكوّنات غير الحيّة للتمكّن من الحياة والتكاثر . ترتبط هذه المكوّنات الحيّة مع المكوّنات غير الحيّة بنظام ديناميكيّ؛ حيث يؤثر كلٌّ منهما في الآخر، ولا يمكن أن يوجد أحدهما بمعز ل عن الآخر، ولكن بسبب بعض السلوكيّات الخاطئة أُصيبت المكوّنات غير الحيّة بالتلوّث، وهدّدت حياة الكائنات الحيّة، وأدّت إلى انقراض الكثير منها .

(المحاضرة الثانية)

مفهوم التلوث ومصادره وأنواعه واثاره السلبية

مفهوم التلوث

هو عبارة عن ادخال المواد بمختلف أشكالها :الصلبة أو السائلة أو الغازية او علي هيئة طاقة كالحرارة، أو الصوت، أو النشاط الإشعاعيّ إلى البيئة الطبيعية مع تجاوز النسب التي يمكن للبيئة التعامل معها من خلال تخزينها، أو تحليلها، أو تحويلها، مما يسبب الضرر و الاضطراب في النظام البيئي وهذه الملوثات إما أن تكون مواد دخيلة على البيئة، أو مواد طبيعية، ولكن تجاوزت المستويات المقبولة وقد تكون هذه الملوثات مواد اصطناعية أو طبيعية، ولا يقترن التلوث بالمواد الكيميائية فقط.

هناك بعض المصطلحات المهمة المتعلقة بالتلوث البيئي، من الجدير توضيحها .حيث يستخدم التلوث pollution والتلوث contamination بصورة مترادفة لبيان إدخال مواد من قبل البشر تكون ضارة أو سامة على الناس والنظم الإيكولوجية في حدود معينة .هذه المواد تدعى ملوثات pollutants أو ملوثات contaminants تنتج هذه الملوثات في اغلب الاحيان عن الانشطة البشرية، وهذا لا يعني أن جميع الملوثات هي من صنع الإنسان أو انها مواد كيميائية تم تصنيعها، مثل ثنائي كلور و ثنائي فينيل ثلاثي كلور وايثان(دي .دي .تي)أو عنصر البلوتونيوم؛ ويمكن للمركبات الكيميائية التي تنتج بشكل طبيعي في البيئة أن تكون بشرية المنشأ. اذ يشمل التلوث البيئي الأكثر انتشار على مركبات طبيعية على سبيل المثال، ثاني أوكسيد الكربون والأسمدة مثل النترات .كما يمكن ان يكون التلوث بشكل نفايات لمصادر الطاقة كالحرارة والضوء والضوضاء ، وفي جميع هذه الحالات ينتج عن التلوث تغيير في السلامة البايولوجية والكيميائية والفيزيائية والاشعاعية للهواء والتربة والمياه من خلال قتل الانواع او التدخل في السلسلة الغذائية والتأثير على معدلات النمو والذي يوثر بصورة سلبية على صحة الانسان.

بعض العاملين في مجال البيئة يميز في الاستخدام بين التلوث pollution والتلوث contamination . اذ يستخدم مصطلح contamination في الاوضاع التي يكون فيها التلوث موجوداً في البيئة ولا يحدث اي ضرر فيها، في حين يستخدمون مصطلح التلوث

pollution في الاوضاع التي تظهر الآثار الضارة على البيئة. لكن في كثير من الاحيان يمكن ان يكون الضرر موجود لكنه غير مسجل.

تلوث البيئة

تلوث البيئة (Environmental Pollution) بأنه التخلص من النفايات الكيميائية والتي تلحق الضرر للبيئة، وهو يصنف الى ثلاثة أنواع رئيسية هي : تلوث الغلاف الجوي، وتلوث الماء، وتلوث التربة، وهناك العديد من الملوثات مثل : المركبات العضوية وغير العضوية السامة والحرارة والضوضاء وغيرها.

مصادر تلوث البيئة

تقسم مصادر التلوث إلى مصادر محددة وهي عبارة عن التلوث الذي يمكن تحديد مصادره بسهولة، بالإضافة إلى المصادر غير المحددة وهي التي يصعب تحديد مصدر التلوث فيها، ومن

الأمثلة على مصادر التلوث:

1. المصادر المنزلية : وتضم المراحيض والمياه العادمة من المنازل، بالإضافة للملوثات الغازية مثل ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج من عملية الاحتراق في المنازل.
2. الانابيب للمياه السطحية
3. الصناعات التي تسبب التلوث: تصنيع الاغذية والمدابغ والمنسوجات وغيرها
4. النشاط الزراعي: استعمال المبيدات الحشرية، والأسمدة، بالإضافة إلى غاز الميثان الناتج من المواشي، والملوثات الصلبة من مخلفات المحاصيل، ومواد التعبئة والتغليف، وغيرها.
5. وسائل النقل :حيث تنتج مركبات محركات الديزل مثلا غازاً ملوّثاً من العادم.

أنواع تلوث البيئة :

1. تلوث الهواء :

أن حرق الوقود الأحفوري يعد المصدر الأساسي لتلوث الهواء، حيث يشارك في تشكيل الضباب الدخاني، بالإضافة للغازات المنبعثة من المركبات والمصانع التي تعد من المصادر المعروفة لتلوث الهواء ويمكن أن يكون تلوث الهواء مرئيا ظاهرا ، أو ذا رائحة فقط، وأخطر أنواع التلوث الذي يصل إلى الإنسان في كل وقت ويؤثّر عليه، أن تلوّث الهواء يعني احتوائه غازات، أو جسيمات صلبة، او غبار أو كميات غير طبيعيّة من المواد الكيميائية، مثل :أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والأوزون،

والنترات، والكبريتات، والهيدروكربونات العضوية التي تسبب ضررا كبيرا للكائنات الحية، فأول أكسيد الكربون يعدّ خطيرا على البشر، وثاني أكسيد الكربون هو العامل الرئيسيّ للتلوث وتغيير المناخ، ويسبب تلوث الهواء مشاكل تنفسية مثل :الربو، وسرطان الرئة، والتهاب الشعب الهوائية، وغيرها، كما تُكوّن أكاسيد الكبريت والنيتروجين المطر الحامضي، الذي يؤذي الغابات، والكائنات الحية المائية.

2. تلوث المياه:

هو تَغيّر الخصائص الكيميائيّة، أو الفيزيائيّة، أو البايولوجيّة للمياه، الأمر الذي يجعلها غير صالحة للاستعمال، وعندها تحدث ضررا للكائنات الحية، وتعتبر المياه الجارية المنسابة من الحقول الزراعية، والمراكز الصناعية، والمناطق السكنية الحضرية والريفية المصدر الأساسي لتلوث الماء، حيث تحتوي هذه المياه على سماد أو مواد كيميائية سامة، وتعد مياه الصرف الصحي من مصادر تلوث المياه اذ تؤدي إلى مشاكل في المعدة، والجهاز الهضمي، والتيفوئيد، أو الزحار عند وصولها لمياه الشرب، وكذلك النفايات؛ مثل الأكياس البلاستيكية، وخيوط صنانير الصيد التي يتم التخلص منها بطريقة غير سليمة، وبالتالي تراكمها في المياه، ومن الجدير بالذكر أنّ التلوث يصيب مياه الأنهار، والبحيرات، الموجودة على سطح التربة، وقد يصل إلى المياه الجوفيّة الموجودة في باطن الأرض.

3. تلوث التربة :

ويُسمى عند غير المختصين بتلوث الأراضي، يحدث تلوث التربة من خلال انواع من النفايات، ومنها النفايات السائلة التي تشتمل على المواد الكيميائية السامة، أو الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض على سطح الأرض التي تتسرّب إلى التربة، وإلى المياه الجوفية ببطء، وبالتالي تؤثّر على الأشخاص الذين يستخدمون الآبار، أو الينابيع في هذه المناطق، أمّا النوع الآخر فهي النفايات الصلبة، مثل النفايات الغذائية التي تتحلل في التربة وتنتج سائلا يُطلق عليه اسم المادة المترشحة (Leachate) التي تعتبر ملوّثا بتركيز عال، لاحتوائه على مواد كيميائية سامة وكائنات دقيقة مسببة للأمراض، إلى جانب انبعاث رائحة سيئة منه تجذب الحشرات . وقد تكون النفايات عبارة عن دقائق صغيرة تحملها الرياح وتستقر فوق سطح التربة وتنتج المصادر الصناعية، والتصريف الخاطئ للمواد الكيميائية السامة ملوثات التربة، ومن المواد الشائعة الأسبستوس، والرصاص، ومركبات ثنائي الفينول متعدد الكلور، واستعمال المبيدات الحشرية، ومبيدات الأعشاب بكثرة.

الآثار السلبية للتلوث :

للتلوث العديد من الآثار السلبية والتي تؤثر على حياة الانسان :

1. الاوبئة والامراض : ان تلوث الهواء مشكلة أساسية للأفراد الذين يعيشون بالقرب من الطرق الرئيسية، بسبب المركبات التي تطلق تركيزا عاليا من الملوّثات، والمجمعات الصناعية وما ينتج عنها من ملوثات وسكان المدن المزدحمة وقد سجلت وكالة حماية البيئة بأنّ التعرّض للملوّثات يرتبط ارتباطا مباشرا بأمراض السرطان، وأمراض القلب.

2. ظاهرة الاحتباس الحراري : الاحتباس الحراري أو ما يسمى بالغازات الدفيئة، كونها تساهم في زيادة حرارة جو الأرض السطحيّ بسبب حرق الوقود الأحفوريّ، مثل: الفحم، والغاز الطبيعي، لأجل الحصول على الطاقة، ممّا يؤدي إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون، والعديد من السموم إلى الغلاف الجوي للأرض.

3. تدهور الاقتصاد : الناتج من اصابة الأفراد والمجتمعات بالأمراض والاوبئة ، الأمر الذي سيقلّل من عدد الموظّفين للقيام بالأنشطة اللازمة للحفاظ على النشاط التجاريّ، والتعليميّ، كما

أنّ زيادة الأمراض تسبّب ضغوطا مالية على شركات التأمين والبرامج الصحية المموّلة من الحكومة.

4. تلوث الاغذية التي يتناولها الانسان.

5. تلوث مصادر المياه الصالحة للشرب والاستخدامات المنزلية.

6. فقدان الراحة النفسية بسبب كثرة تداول الامراض

7. قلة النشاط السياحي والاقتصادي والتجاري فلا أحد يغامر بزيارة مناطق ملوثة أو العمل بها أو استيراد منتوجاتها

تصنيف الملوثات

يمكن أن تصنف الملوثات على اساس اثارها الضارة التي تحدث آثار ضارة في الشكل الذي يتم فيه إطلاقها إلى البيئة هي ملوثات أولية primary pollutants أما الملوثات الثانوية secondary pollutants فهي تتشكل كنتيجة لعملية كيميائية في البيئة، وغالبا تتشكل من مواد أقل ضررا . تصبح المواد ملوثات إذا كانت ضارة أو سامة وأدخلت إلى داخل البيئة من قبل البشر، أو كنتيجة للأنشطة البشرية .هناك العديد من المواد التي لا تصنف عادة ملوثات ولكن قد تسبب التلوث إذا تم إطلاقها في البيئة بكميات كبيره أو في وقت ومكان غير مناسبين . فالحليب وعصير الفواكه والسكر، على سبيل المثال، لا تعتبر ملوثات ، ولكن إذا تم إطلاقها مباشرة في مياه سطحية فإنها تضر بالحياة المائية، لأن أكسدة المواد العضوية تستنزف الاوكسجين المذاب في الماء. الكثير من المواد التي يعتقد انها ملوثات توجد في الطبيعة في التربة والمياه مثل العناصر الثقيلة، النترات، والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات polycyclic aromatic hydrocarbons ويمكن تصنيف الملوثات بطرق عديدة استنادا إلى خواصها الفيزيائية او الكيميائية، الوفرة، الثبات في البيئة، التأثير على النظم الايكولوجية أو السمية. والملوثات العضوية هي مواد تتكون من الكربون والهيدروجين وعدد قليل من العناصر الأخرى وباستثناء النويات المشعة الاصطناعية والمركبات العضوية الصناعية، فإن كل هذه المواد تحدث بشكل طبيعي في البيئة، ولكنها تعتبر ملوثات رئيسية لأنها مركزة بدرجة كبيرة وتنتشر على نطاق واسع في البيئة نتيجة للأنشطة البشرية.

النشاط البشري

يساهم النشاط البشري في زيادة تركيز المواد الملوثة في التربة والمياه والهواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة. وتسفر الإطلاقات المباشرة للملوثات من موقع واحد أو مصدر نقطي point source مثل انوب تصريف نفايات سائلة، أو تسرب حاوية بنزين إلى التربة، أو مكشف طبيعي لعرق معدني غني بالعناصر الثقيلة . ويقتصر التلوث حول مصدر نقطي في الغالب على شكل شبيه بالريشة plume في اتجاه المصب من المصدر. ويتوقف مدى انتشار واجهة الشكل الشبيه بالريشة من المصدر على عمر مصدر التلوث وسرعة التدفق والاحتجاز على طول مسارات التدفق. إن التشتت المتعامد مع اتجاه التدفق يكون محدود عموما. بشكل عام، يتم مراقبة المصادر النقطية بسهولة نسبيا والتحكم فيها، لأنها غالبا ما يتم تحديدها بأنها ناجمة عن فرد أو منظمة بعينها.

كما يمكن دخول الملوثات الى البيئة عبر منطقة واسعة .ومن الأمثلة على ذلك ترسبات من الغلاف الجوي المدعوم بشريا للمركبات الحامضية(المطر الحامضي)، التدهور الجوي العالمي للنويات المشعة بعد اختبار واستخدام القنبلة النووية في خمسينات وستينات القرن الماضي والحوادث النووية، الأسمدة المترشحة من الحقول الزراعية. والجريان السطحي الملوث من شوارع المدينة، وترسب الملوثات المتصاحبة مع الرواسب على السهول الفيضية .

يمكن لمصادر نقطية صغيرة نسبيا في اكثر من موقع مختلف والتي لا يمكن تمييزها بشكل فردي والتي تكون ذات اثر ضئيل نسبيا لكن الاثر التراكمي للمواقع مجتمعة يمكن أن يكون كبير، على سبيل المثال، تصريف مياه صرف منزلية إلى داخل مياه جوفية حضرية او من خلال خزانات الصرف الصحي أو مياه سطحية، أو عدد كبير من حاويات متسربة في موقع واسع لرمي الفضلات .أن امتزاج الملوثات مع المياه الجوفية أو المياه السطحية يصبح من المستحيل تحديد مساهمة كل مصدر على حدة، وبالتالي فإن مجموع مواقع المصادر المرجعية المختلفة يعمل كمصدر منتشر.

هناك نوع اخر من التلوث البيئي يتكون من جرا مصدر نقطي أو ادخالات مصدر منتشر، والذي يعمل بدوره على إطلاق بعض المواد في البيئة تلوث غير مباشر. مثلا الزيادة في ترسب المركبات الحامضية يعمل بشكل فعال في ارتفاع معدل التجوية الطبيعية لصخر الأساس المادة

الام . والذي يزيد من معدل تحرر المعادن، ومنها العناصر الثقيلة، من الصخر الأساس متجها الى التربة ومحلولها ثم الى المياه .ويعتمد مدى غنى المواد الملوثة في المياه والتربة بفعل الأنشطة البشرية على خلفية التركيز، الكمية المتحررة، نوع المصدر وميل الملوث للتشتت في البيئة.

(المحاضرة الثالثة)

غاز النتروجين ودورته في البيئة حقائق عن النتروجين مصادر استهلاك النتروجين ومدخلاته الى البيئة عنصر الفسفور ودوره البيئي دورة الفسفور مصادر الفسفور وطرق استهلاكه

غاز النتروجين

هو خامس أكثر عنصر وفرة في الكون ، يرمز للنتروجين في الجدول الدوري بحرف N ويعتبر من اللافلزات ، يؤلف غاز النتروجين (78%) من الهواء ، وهو غاز عديم اللون والرائحة ويشبه الماء في حالته السائلة كونه عديم اللون والرائحة، كما انه لا فلز ويكون على شكل جزئ من ذرتين..

غاز النتروجين ضروري للحياة لأنه مكون من جميع البروتينات ويمكن العثور عليه في جميع الانظمة الحية، ومركبات النتروجين موجودة في المواد العضوية والاغذية والاسمدة والمتفجرات والسموم، كما يشكل العديد من المركبات المهمة كالأمونيا وحامض النتريك والسيانيد. يستخدم ايضا في صناعة الاسمدة والنتروجين مهم جدا في الحياة لكنه في ذات الوقت من الممكن ان يكون ضاراً للبيئة

عند تفاعل النتروجين مع الهيدروجين مكوناً غاز الامونيا، وهو غاز عديم اللون مع رائحة نفاذة ويتم استخدامه كغاز تبريد واكثر من 80% من هذا الغاز يذهب الى صناعة الاسمدة النتروجينية ويدخل ايضا في صناعة البلاستك والاصباغ والمبيدات الحشرية. وتم استخدام النتروجين في صناعة الاسمدة الكيميائية من اجل الحصول على نمو اسرع للمحاصيل الزراعية وكان الافراط في استخدامه ذو اثار سلبية على البيئة من خلال تلوث المياه الجوفية والسطحية.

الدور البيئي للنتروجين :

يكوّن النتروجين مع الاوكسجين خمسة اكاسيد مختلفة هي : الاوكسيد النتروجيني N_2O واوكسيد النتروجين NO وثنائي اوكسيد النتروجين NO_2 وثلاثي اوكسيد النتروجين N_2O_3 وخماسي اوكسيد النتروجين N_2O_5

ويمكن ان يتواجد النتروجين في حالات أكسدة 1+ و 3+ و صفر و–3 ، ويتواجد في البيئة كمركبات غازية كنتروجين حر (N_2) وأوكسيد النتريك (NOx) واوكسيد النتروز (N_2O) والامونيا (NH_3) أو النترات (NO_3^-) أو النتريت (NO_2^-) أو الامونيوم (NH_4^+) أو كنتروجين عضوي في شكل مواد نباتية أو مركبات عضوية اخرى.

وهو مكوّن أساسي للاحماض النووية والبروتينات، والكلوروفيل النباتي. والاشكال المذابة الرئيسية من النتروجين هي الامونيوم والنترات.

الأمونيوم قابل للذوبان جدا في الماء، ولكنه أيضا يمتز بسهولة على مواقع تبادل الكاتيونات المشحونة بشحنة سالبة للجسيمات الغروية (المعادن الطينية والمواد العضوية) تثبيت الأمونيوم Ammonium fixationهو العملية التي من خلالها تأسر المعادن الطينية (وخاصة الإلايت، الفيرميكيولايت والمونتموريلونايت) الأمونيوم بإحكام بين الشبكات المعدنية .معظم هذا الأمونيوم الثابت يرتبط بشكل غير معكوس ولا يمكن تبادله مع المحلول الكلي . كمية تثبيت الأمونيوم هي أقل بكثير بالمقارنة مع الكميات الممتزة على مواقع التبادل الكاتيوني. الأمونيوم هو حامض ضعيف وتحت ظروف قاعدية يتحول إلى أمونيا متطايرة:

$$NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+ \qquad (pK = 9.24)$$

وعلى غرار الأمونيوم، تكون النترات قابلة للذوبان في المياه، ولكن لأن النترات لا تتفاعل مع جزيئات التربة، فإنها تتحرك نوعا ما وتنتقل بسهولة في اتجاه المصب مع رطوبة التربة أو المياه

الجوفية أو المياه السطحية حتى يتم امتصاصها بواسطة الكائنات الحية أو تتحول من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال .

على الرغم من أن النيتروجين هو نتروجين مائي مغذي رئيسي غير عضوي، فهو كأي مادة، سام للنباتات والحيوانات والبشر بتراكيز عالية. ومن المعروف أن ارتفاع مستويات النترات أو النتريت في مياه الشرب يسبب اضطرابات دموية قاتلة في الرضع دون ستة أشهر من العمر، وتسمى ميثوغلوبينيميا الدَّم methemoglobinemia أو" متلازمة زرقة الطفل"، حيث تقل قدرة حمل الأوكسجين من الدم . تراكيز عالية من الأمونيوم في محلول التربة تكون سامة للنباتات . وعلاوة على ذلك، فإن الأمونيا الحرة المكونة من الأمونيوم تحت ظروف قاعدية في المياه السطحية تكون شديدة السمية بالنسبة للأسماك . وقد نوقش أعلاه دور النيتروجين كعامل رئيسي في عملية الإغناء الغذائي ونمو الطحالب.

دورة النتروجين

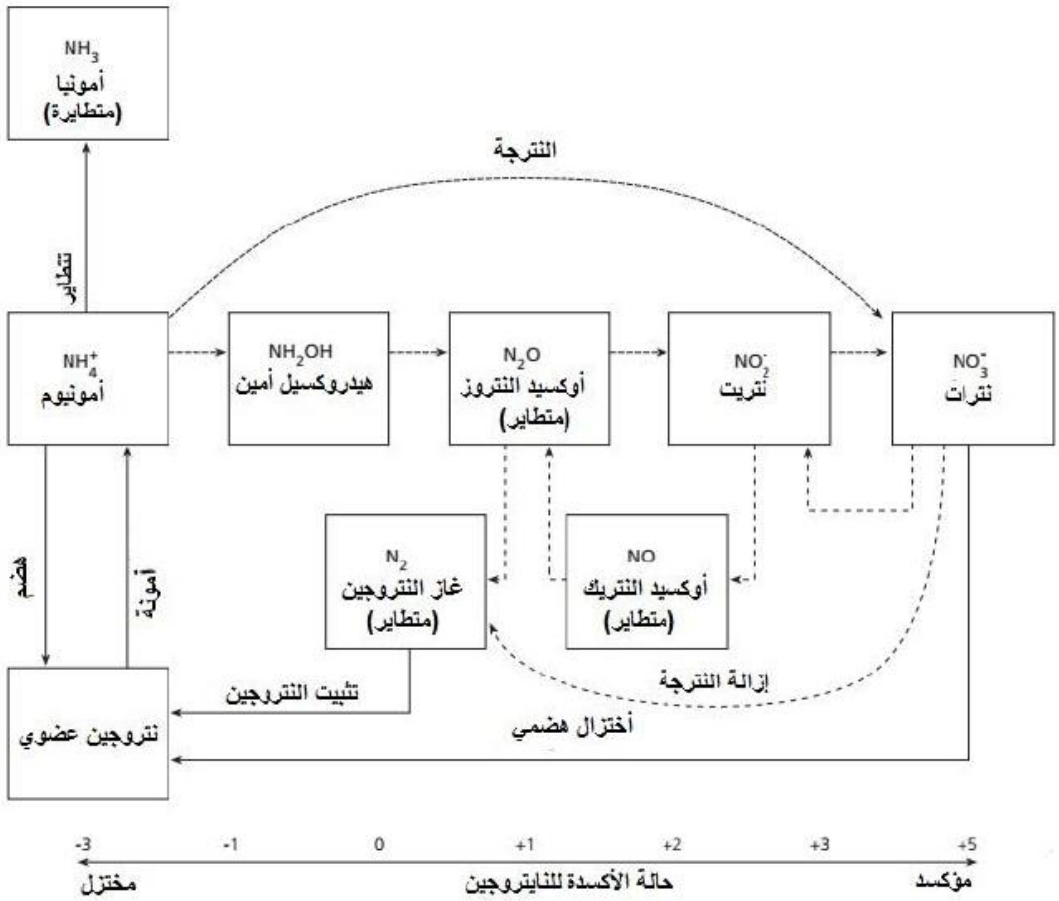
المنتجات الاولية(كالنباتات الخضراء والطحالب والاشنات) وبعض البكتيريا تمتص النيتروجين أساسا في شكل نترات مائية أو أمونيوم . لأن الأمونيوم هو في الأساس سام داخل الخلايا، فإنه يتم هضمه الى نيتروجين عضوي بسرعة كبيرة . بعض النباتات (مثل البسلة والبرسيم، وبعض النباتات الأخرى) تستضيف البكتيريا المثبتة للنيتروجين أو البكتيريا الزرقاء، والتي هي قادرة على تثبيت النيتروجين N_2 من الغلاف الجوي. هذه العملية تدعى بتثبيت النيتروجين nitrogen fixation لهذا السبب، يتم تضمين البقوليات عادة في دورات المحاصيل الزراعية على التربة الرديئة الخصوبة لزيادة كمية نيتروجين التربة وتقليل الحاجة إلى استخدام الأسمدة .يتم توفير النيتروجين العضوي من خلال التحلل والتمعدن اللاحق للمادة العضوية عن طريق بكتيريا عضوية التغذية(أي البكتيريا التي تستمد كربون خليتها من الكربون العضوي) والفطريات .يتم أكسدة النيتروجين العض وي أولا إلى أحماض أمينية وأخيرا إلى أمونيومammonification

في ضل ظروف غنية بالاوكسجين تتسبب البكتيريا ذاتية التغذية في اكسدة الامونيوم الى نترات في عملية النترجة متعددة الخطوات ويمكن تلخيص عملية النترجة من خطوتين:

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$$

بكتريا الـ Nitrosomonas تنجز الخطوة الاولى وبكتريا Nitrobacter تنجز الخطوة الثانية وهذه الخطوة تسير بسرعة كبيرة



(دورة النتروجين في الطبيعة)

يتطلب تفاعل النترجة أوكسجين، وبالتالي لا يحدث التفاعل إلا في التربة الجيدة التهوية أو المياه السطحية . وعلاوة على ذلك، لأن تفاعل النترجة يتم من قبل البكتيريا الحية، يعتمد معدل التفاعل إلى حد كبير على العوامل البيئية مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة .في درجات حرارة أقل من 10 درجة مئوية يتم تثبيط التفاعل . بين 10 درجة مئوية وحوالي 31 درجة مئوية يزداد معدل التفاعل مع درجة الحرارة . ويكون الرقم الهيدروجيني الأمثل للنترجة بين 6.6 و 8 يتباطأ التفاعل عند الرقم الهيدروجيني أقل من 6 ويصبح في حالة من الركود عند الرقم الهيدروجيني أقل من4.5

دعم الانسان لدورة النتروجين

تدعم الانشطة البشرية بشكل كبير دورة النتروجين العالمية الطبيعية بعدة طرق يؤدي الى

1. يسبب احتراق الوقود الاحفوري الى اضافة 30 – 40 مليون طن سنويا من انواع النتروجين للتفاعل مع الجو

2. تثبيت اكثر من 40 مليون طن من النتروجين الجوي المثبت في التربة بواسطة النباتات البقولية

3. ارتفاع معدلات التثبيت الصناعي من 5 مليون طن قبل الحرب العالمية الثانية الى اكثر من 95 مليون طن في الوقت الحاضر من نتروجين جوي الى امونيوم لانتاج الاسمدة الاصطناعية

ونتيجة لذلك ارتفع معدل تثبيت النتروجين اصطناعياً من قبل البشر أكثر من عمليات التثبيت الطبيعية في النظم الايكولوجية الارضية

مصادر استهلاك النتروجين ومدخلاته للبيئة :

1. تطاير الامونيا ، اوكسيد النتريك واوكسيد النتروز هي مصارف في دورة النتروجين للنظم الايكولوجية

2. حصاد الكتلة الحيوية المحتوية على النتروجين والترشح أو الجريان السطحي للنتروجين المذاب الى مناطق المصب

3. تثبيت النتروجين بواسطة بكتريا التربة، مصادر خارجية اخرى هامة من مصادر النتروجين هي مدخلات الاسمدة

4. تدفق المياه الملوثة من مناطق المنبع وترسب الغلاف الجوي

5. الزراعة المكثفة ، تضيف مدخلات نتروجين من خلال الاسمدة من 50 الى اكثر من 250 كغم نتروجين / هكتار/ سنة

6. وتستمد المدخلات الناتجة عن ترسب الغلاف الجوي من انبعاثات النتروجين من خلال الصناعة وحركة المرور اكاسيد النتروجين والزراعة

7. يحدث اكبر انبعاث للأمونيا 83% اثناء تحلل الروث ويرتبط تطاير الامونيا من الروث ارتباطا ايجابيا بالرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومحتوى الرطوبة في السماد.

8. الامونيا هي واحدة من اهم الغازات التي تعادل حامض النتريك في الغلاف الجوي وحامض الكبريتيك الناتجين على التوالي من أكسدة أكاسيد النتروجين NOx وثاني اوكسيد الكبريت SO_2

ميكانيكية وصول الامونيا الى الامونيا الى سطح الارض

ترسيب جاف : ازالة الغازات من الغلاف الجوي دون تدخل الهطول (المطر والثلج والبرد)

ترسيب رطب : غسل الغازات من الغلاف الجوي بمحلول عن طريق هطول الامطار.

تسيب خفي : ازالة الغازات من الغلاف الجوي من خلال الانتشار عبر سطح بيني بين الهواء والسطح الرطب، تلعب خشونة السطح دور بارز في عملية الترسيب الجاف والرطب .

الفسفور :

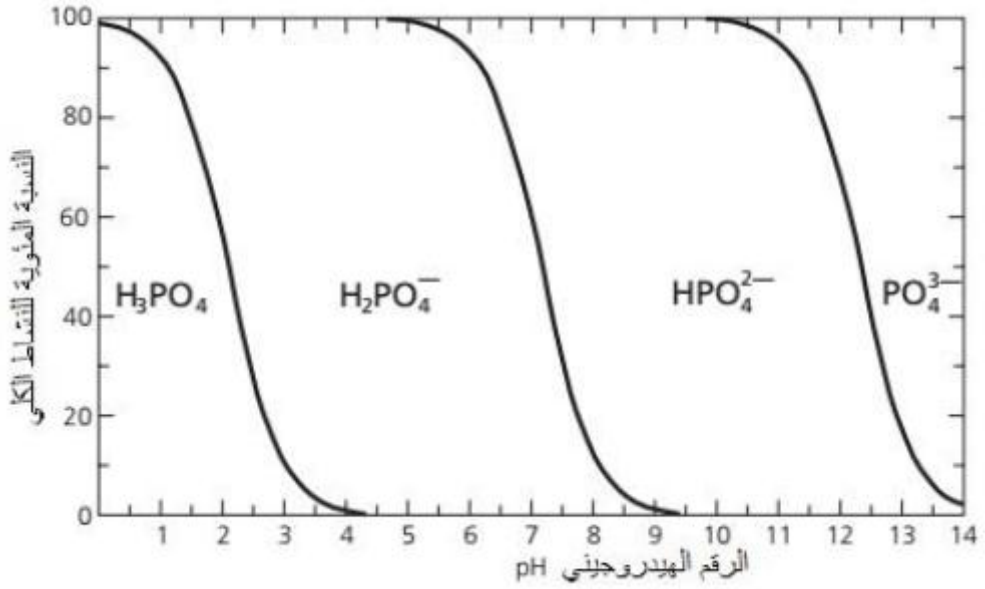
عنصر كيميائي في الجدول الدوري، رمزه الكيميائي P وعدده الذري 15، يدخل في تركيب كافة الخلايا الحية وبسبب نشاطه الكيميائي فهو لا يوجد في الطبيعة بشكل حر.

الدور البيئي وتواجد الفسفور

الفسفور هو المغذي النباتي الرئيسي الثاني في الكائنات الحية يشكل الفسفور جزءا من البروتينات الحاسمة مثل الحامض النووي وأواصر أستر فوسفات في ثلاثي فوسفات الادينوسين (Adenosine triphosphate) وثنائي فوسفات الادينوسين (Adenosine diphosphate) هي مخزن الطاقة الرئيسي واواصر نقل الطاقة في الخلايا. ثلاثي فوسفات الادينوسين هي نيوكليوتيدات عالية الطاقة لديها سكر ريبوز (الادينوسين) وثلاث مجاميع فوسفات. يؤدي تكسر ثلاثي فوسفات الادينوسين الى اطلاق قدر كبير من الطاقة التي تستخدمها الخلية لانشطتها

المختلفة. لدى ثنائي فوسفات الادينوسين سكر ريبوز ومجموعتين فوسفات. يستخدم ثنائي فوسفات الادينوسين لتوليف ثلاثي فوسفات الادينوسين مع الطاقة المتحررة في التنفس الخلوي. يلعب الفسفور دور في نمو الخلايا وتحفيز نمو الجذور في وقت مبكر وفي انتاج الثمار والبذور . في البشر والحيوانات يكون الفسفور ضروري لنمو العظام والاسنان المصنعة من فوسفات الكالسيوم.

يتواجد الفسفور في البيئة كفسفور عضوي، أي كجزء من مواد عضوية حية او ميتة او كمواد فوسفاتية غير عضوية، اي حامض الفسفوريك (H3PO4) وقواعده المترافقة (H2PO4 و HPO4 و PO4). وغالبا ما يتم اختصار اورثوفوسفات الى فوسفات، وعلى غرار حامض الكربونيك فان توزيع الفوسفات هو دالة للرقم الهيدروجيني



(النسب المئوية لانواع الفوسفات كدالة للرقم الهيدروجيني في محلول حامض فسفوريك 10 ملي مولاري)

المصدر الطبيعي الرئيسي للفسفور غير العضوي الذائب هو معدن الاباتايت . في الظروف الحامضية تتفاعل ايونات الفوسفات مع ايونات الالمنيوم والحديد المذابة وترسبها كفوسفات المنيوم وحديديك بالاضافة الى ذلك تمتص الفوسفات بشكل مفضل على اسطح الاكاسيد الاحادية النصفية وحواف المعادن الطينية. قدرة امتزاز المعادن الطينية للفوسفات هي اقل بكثير من قدرة امتزاز الاكاسيد الاحادية بسبب سطح الحافة الصغير للمعادن الطينية. يؤدي الامتزاز

الفوسفاتي المحدد على الاكاسيد الاحادية الى تبادل ليغاندات OH و OH2 مع الفوسفات (تبادل ليغاند)، كما هو مبين في التفاعلات التالية :

$$(Al, Fe) - OH_2^+ + H_2PO_4 \leftrightarrow (Al, Fe) - O - PO(OH)_2 + H_2O$$

$$O\begin{matrix}(Al, Fe) - OH \\ (Al, Fe) - OH\end{matrix} + H_2PO_4^- \leftrightarrow O\begin{matrix}(Al, Fe) - O \\ (Al, Fe) - O\end{matrix}P\begin{matrix}O \\ OH\end{matrix}$$

$$+ OH^- + H_2O$$

اما في الظروف الحامضية يترسب الفوسفات الى فوسفات الكالسيوم وذلك اساسا في شكل هيدروكسي اباتايت (Ca5OH(PO4)3) وفلور اباتايت (Ca5F(PO4)3). ويشار الى تفاعلات الفوسفات مع الحديد والالمنيوم والاكاسيد الاحادية والكالسيوم بشكل جماعي بتثبيت الفوسفات Phosphate fixation .

دورة الفسفور

دورة الفسفور تشبه تقريبا دورة النتروجين خلال السلسلة الغذائية ومع ذلك فانها اقل تعقيدا بكثير من دورة النتروجين وذلك لان الفسفور يحدث في اشكال اقل وليس هناك مركبات غازية متطايرة.

يستخدم الفوسفات الذائب من قبل المنتجات الرئيسية (كالنباتات الخضراء والطحالب والاشنات) وبعض البكتيريا عضوية التغذية. هذه الكائنات تحول الفوسفات غير العضوي الى فسفور عضوي. ومن ثم يتم نقل جزء من الفوسفور العضوي الى السلسلة الغذائية وتترك البقايا خلفها في شكل فتات (على سبيل المثال فسفور في جذور النباتات). وبالتالي تموت جميع المواد العضوية الحية وتصبح بقايا . التحلل الميكروبي للمادة العضوية يعزل الفسفور المرتبط عضويا بالفوسفات غير العضوي. معدل دوران الفسفور العضوي يكون سريع في ظروف مواتية للكائنات الدقيقة. اذا كانت نسبة الكاربون : الفسفور العضوي حوالي 200 : 1 أو أصغر يتمعدن الفسفور بسهولة ويتحرر في المحلول ويصبح متاحاً لامتصاص النبات. اذا كانت نسبة الكاربون : الفسفور العضوي أكبر من 300 : 1 (أقل من حوالي 2 غرام/كغم فسفور المادة العضوية)، فان الكائنات الحية الدقيقة تستخدم معظم الفسفور وتجمده في خلاياها بدلا من تحريره لامتصاص

النبات. ومع ذلك يبقى جزء من الفسفور في شكل عضوي . بعض الفسفور العضوي موجود في بوليمرات دبال معقدة ولكن معظمه (حوالي 60%) موجود في شكل مركبات جزيئية صغيرة، مثل فوسفات الاينوسيتول (linositol phosphates). فوسفات الاينوسيتول هي بكتيرية في الاصل وتتواجد اساسا في شكل املاح الكالسيوم ، الحديد ، والالمنيوم غير القابلة للذوبان. وهي تتمعدن ببطء. عموماً يرتبط الفسفور العضوي للتربة بشكل جيد بمحتوى المادة العضوية والنتروجين العضوي، ولكن نسبة الكاربون : الفسفور العضوي تعرض تبايناً أكبر من نسبة الكاربون : النتروجين، لان الفسفور العضوي اقل ارتباطاً مع بوليمرات الدبال الكبيرة من النتروجين العضوي.

مصادر الفسفور وطرق استهلاكه

تعد الاسمدة العضوية والكيميائية هي المصدر الرئيسي للفسفور في التربة الزراعية وقد تصل النسبة الى 1000 هكتار سنوياً. والجدول التالي يبين انواع الاسمدة الحاوية على الفوسفات

السماد	الصيغة الكيميائية	الفسفور %	الذوبانية
سوبرفوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2+CaSO_4.2H_2O$	9 – 8	عالية
ثلاثي سوبرفوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2$	20	عالية
فوسفات أحادي الامونيوم	$NH_4H_2PO_4$	26	عالية
فوسفات ثنائي الامونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	23	عالية
فوسفات ثنائي الكالسيوم	$CaHPO_4.2H_2O$	18	واطئة
فوسفات ثلاثي الكالسيوم	$Ca_3(PO_4)_2$	16 – 12	واطئة

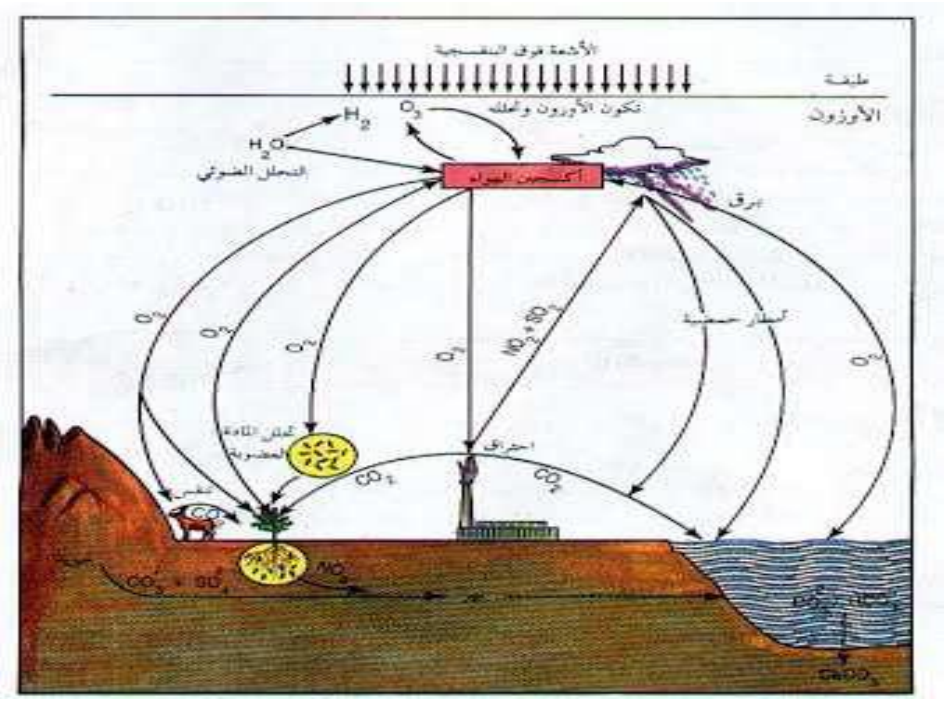
السبب الرئيسي في خسارة الفسفور تعود الى حصاد المحاصيل والرعي مما يؤدي الى ازالة 5 الى 40 كغم فسفور /هكتار/ سنة. ولان الفسفور مرتبط بمعادن التربة لذا يندر فقدانه بعملية الرشح لكن قد يحدث ترشيح الفوسفات في المناطق الزراعية بسبب الاضافات العالية للأسمدة بحيث تصبح قدرة ربط الفوسفات مشبعة في حالة منسوب المياه الجوفية الضحل قد يحدث اختراق فوسفات الى المياه الجوفية. في المياه الجوفية اللاهوائية يكون الفوسفات أكثر تنقل بكثير بسبب عدم وجود هيدروكسيدات الحديديك. ويحدث فقدان للفسفور في الاراضي الزراعية ناتج من تعرية التربة .

(المحاضرة الرابعة)

دورة الاوكسجين في الطبيعة ، دورة الكربون في الطبيعة ، دورة الكبريت في الطبيعة

دورة الاوكسجين في الطبيعة

الاوكسجين واحد من اهم العناصر الموجودة في الطبيعة ، يتواجد في القشرة الارضية بنسب عالية تصل الى 46.6 % وفي الغلاف الجوي 21 % ، وهو جزء من الغلاف المائي ومن خلال تواجده في الاغلفة الثلاث لذا فهو متواجد في الغلاف الحيوي. تواجده في القشرة الارضية بشكل ايونات سالبة الشحنة متحداً مع عناصر اخرى ليشكل الجزء السالب لتشكيلات المعادن كالسليكات SiO_4 والكربونات CO_3 في الحجر الجيري، والفوسفات PO_4 في صخور الفوسفات والكبريتات SO_4 في بعض صخور المتبخرات كالجبس، ومجموعة النترات NO_3 مثل صخور تشيلي وغيرها. وعندما تتحطم البنية الكيميائية للمعادن بفعل عمليات التجوية الكيميائية فان الجزء السالب من تشكيلات هذه المعادن لا يتحطم وانما ينتقل بعد ذلك عبر مسارات المياه الى المحيطات ذائباً في الماء، واذا انتقلت الى اليابسة تبقى ايضا كما هي . وبناءً على ذلك فان الاوكسجين الذي يدخل في تركيب القشرة الارضية تكون مساهمته في الدورة الكيميائية الحيوية محدودة جدا عدا الاوكسجين الذي يدخل في تركيب مجموعتي الكبريتات والنترات . والاوكسجين نشط من الناحية الكيميائية لوجوده بصورة حرة في الغلاف الجوي فيعد على شكل جزيئات تحوي ذرتين من الاوكسجين O_2. وتواجده بشكل O_3 بكميات قليلة، ويكون بصيغته الذائبة في الماء. كيف ينتقل الاوكسجين من مستودع الى آخر ضمن النظام البيئي؟ وما العمليات المسؤولة عن ذلك؟ وما علاقة دورته مع الكربون؟



الشكل يوضح دورة الاوكسجين في البيئة

من خلال الشكل نلاحظ مدخلات الاوكسجين الى البيئة واستهلاكه

1. عملية البناء الضوئي: تحدث هذه العملية في النباتات الخضراء والطحالب الخضراء، اذ يتم انتاج معظم الاوكسجين الجوي

2. التحلل الضوئي للماء: وهذه العملية تنتج كمية قليلة من الاوكسجين بفعل تاثير الاشعة فوق البنفسجية على جزيئات الماء ، لذا فان الاوكسجين في تزايد لكن حقيقة حالة التوازن فالاوكسجين يستهلك يتحد مع غيره من العناصر نتيجة لـ :

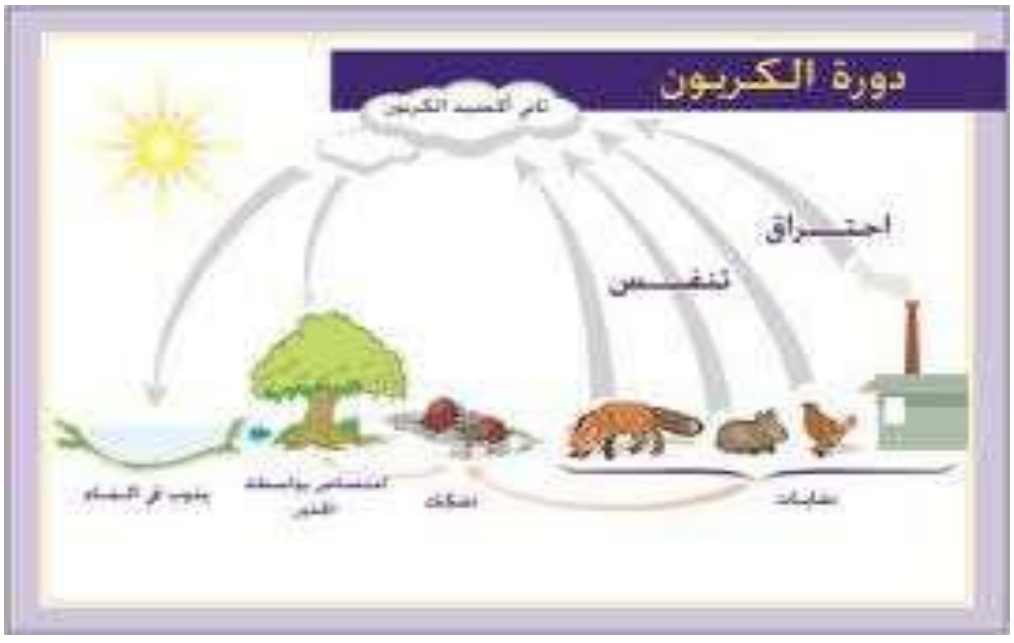
1- التنفس : وهي عملية احتراق ولكنها بطيئة ومتدرجة عبر خطوات، وانزيمات خاصة بكل خطوة حتى لا تنطلق الطاقة دفعة واحدة

2- تحلل المواد العضوية : وفي هذه العملية يتم استهلاك الاوكسجين المذاب في الماء في حالة وجود المادة العضوية، ويتم استهلاكه ايضا في وجوده ضمن البيئة الهوائية المحيطة بالمادة العضوية.

3- احتراق الوقود الاحفوري: عند احتراق الوقود الاحفوري يتحد الاوكسجين الحر مع الكربون، او النتروجين، او الكبريت، او الهيدروجين وغيرها. وينتج من ذلك أكاسيد لهذه العناصر مثل CO_2 و NO_2 و SO_2 التي توجد على شكل غازات وهذه الغازات تتصاعد على الغلاف الجوي.

دورة الكربون في الطبيعة

الكربون هو واحد من اهم ثمان عناصر في النظام البيئي اذ يشكل نسبة 18 % من المادة الحية فيه. ينتمي الى الجدول الدوري ويرمز له بالرمز C . يتم تحويل الكربون اللا عضوي الى كربون عضوي في النظام البيئي من خلال النباتات وهو اساس عملية التركيب الضوئي وتنتقل من النباتات الى الحيوانات التي تتغذى عليها ، ثم يرجع الكربون الى الجو كغاز من خلال عملية التنفس كما تتحول المادة العضوية بعد موت تلك الكائنات الى CO_2 الجوي (عملية التحلل التي تقوم بها الكائنات المحللة مثل البكتريا والفطريات) الكربون احد مكونات الصخور الطبيعية والتي تتركب من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم ومنشأ هذه الصخور عضوي اذ يعتقد ان عظام الحيوانات تحولت الى هذا الشكل منذ ملايين السنين وبفعل حركات القشرة الارضية وعوامل التجوية يمكن ان يتحول الى الشكل الغازي.



الشكل يوضح دورة الكربون في البيئة

من خلال الشكل نلاحظ وجود مدخلات لهذا الغاز ومستهلكات وبينها نسبة اتزان هذا الغاز في الهواء الجوي 0.03 % هناك عمليات مستهلكة لغاز ثاني اوكسيد الكربون تبدأ بادخاله الى اجسام المنتجات بعملية التركيب الضوئي والتي تحوله الى مركبات عضوية. ذوبانه في المياه السطحية والبحيرات والانهار وكذلك ذوبانه في ماء المطر مكوناً الامطار الحامضية. اما مدخلات هذا الغاز الى البيئة تتمثل بتنفس الكائنات الحية.

تعد دورة الكربون من الدورات الكاملة في الطبيعة وذلك بسبب تميز مكوناتها الاساسية ولان الكربون الذي يعود الى المحيط بنفس السرعة التي يزال فيها من المحيط الجوي (المخزن الرئيسي) الى الكائنات المنتجة ومن ثم الى الكائنات المستهلكة ومن المجموعتين الاخيرتين الى الكائنات المحللة.

دورة الكبريت

هو واحد من اهم العناصر اللا فلزية رمزه الكيميائي S وعدده الذري 16 ولون الكبريت اصفر ويوجد في الطبيعة بشكل خام ويدخل في صناعة البارود وعيدان الثقاب . ويحوي النفط المستخرج على الكبريت من خلال غاز H_2S وتحتاج عمليات التصدير او الاستغلال في الصناعة ومصافي النفط التخلص من هذا الغاز وبالتالي استخراج الكبريت من هذا الغاز ويكون على شكلين اما على شكل كتل وبودرة صفراء اللون او على شكل شرائح صفراء اللون . وهو من املاح المعادن. والكبريت هو عنصر مهم في جسم الانسان ويحتوي الجسم على 14 غرام منه حيث انه موجود في كل خلية حية.

الكبريتات والكبريتيد

الصورة الاكثر تواجداً للكبريت بشكل مذاب أو مؤكسد هو الكبريتات SO_4^{-2} كما يوجد الكبريت في حالات اكسدة تتفاوت من 1− الى 6+ ، سلوكه الكيمياوي محددة بقوة بتفاعلات الاكسدة والاختزال بالاضافة الى تواجده بصورة كبريتات، ويمكن للكبريت ان يتواجد طبيعيا على كبريتيد S_2 الذي هو حالة تأكسد 1− وبدرجة اقل في حالة تأكسد متعادلة S وبشكل $(SO_3)^{-2}$ السلفايت حالة تأكسد 4+ .

الكبريت هو احد مكونات الاحماض الامينية وبالتالي يشكل جزء اساسي للبروتينات ، محتوى الكبريت في المواد البروتينية يمكن ان يصل الى 2 % لذلك فهو عنصر غذائي مهم لكل النباتات والحيوانات . الكبريتات هي ايضا مادة مؤكسدة في التحلل الميكروبي للمادة العضوية ، في حال تم استنفاذ الاوكسجين تحت ظروف لا هوائية. في هذه العملية يتم اختزال الكبريتات الى كبريتيد، والتي اما تترسب او تشكل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S الذي هو غاز سام لكثير من النباتات كما في مرض اكيوتشي Akiochi في بعض الارز.

المعادن المحتوية على الكبريتات تتواجد بمدى شاسع في رواسب المتبخرات. واهم هذه الصور هو الجبس $CaSO_4.2H_2O$ والانهايدرايت $CaSO_4$. يوجد الكبريت بصورة كبريتيدات فلزية، الصيغة الاكثر وفرة والشائعة على نطاق واسع لكبريتيد فلزي هو البايرايت FeS_2 ، وهو موجود في الفحم، وفي التربة يكون مصدر تجهيزها بالكبريت هو تحلل المادة العضوية والتي تكون بشكل بروتينات وتوفره للنباتات. وتعد ارسابات الغلاف الجوي من المصادر الاخرى المهمة للكبريت في التربة والمياه والتي تكون مصدرها طبيعي كالانبعاثات البركانية او مصدر بشري كالحرائق وصهر خامات المعادن والتي تبعث اوكسيد الكبريت SO_2 وبسهولة تتم اكسدته الى حامض الكبريت H_2SO_4 والذي يعد من اهم مصادر الكبريت للغلاف الجوي. ان هذه الارسابات ساهمت كثيرا في التدهور البيئي للمناطق البرية كما هو الحال في اوروبا وامريكا الشمالية. ويكون الامر اكثر وضوحا في اوروبا الوسطى لاستخدامهم منذ قرون الفحم البني الغني بالكبريت والمعروف باللكنايت في التدفئة وتوليد الطاقة الكهربائية، وقد تسقط الكثير من اشجار الغابات بسبب تلك الحوامض وفي المناطق الجبلية حيث ارتفاع نسبة الكبريت المترسب فيها الى اكثر من 150 كغم/ هكتار/ سنة كما ادى الى الترسب الجوي للكبريتات SO_4 الى ارتفاع كبير في تركيز الكبريتات في مياه الجريان السطحي من تجمعات مياه الامطار في البلدان الصناعية. ويعد المصادر البشرية من المصادر المعززة للكبريتات والكبريتيدات أو الكبريت العضوي كما في اكوام المناجم ومواقع التخص من الفضلات المنزلية.

وبخلاف الكبريتيدات تكون الكبريتات ذات قابلية أعلى للذوبان بشكل عام والتي تكون نواتج ذوبانها اكبر من 5 باستثناء كبريتات الباريوم وكبريتات الرصاص وكبريتات الكالسيوم. الكبريتات لا تمتز على الاسطح المعدنية والعضوية لكنها تنتقل في المحلول، وهي تميل الى تشكيل

معقدات مع الكاتيونات في المياه الطبيعية، اهم معقدات الكبريتات هي كبريتات الصوديوم وكبريتات الكالسيوم. والتي تكون سائلة تحت ظروف حامضية اي درجة التفاعل اقل من 4 ، اقوى المعقدات تتكون مع كاتيونات ثنائية او ثلاثية التكافؤ بالنسبة لكبريتات الكالسيوم المائية.

يتم اختزال الكبريتات الى كبريتيد في ظروف مختزلة ويتم اختزال الكبريتات الى كبريتيد بواسطة البكتريا التي تستخدم الكبريتات كمصدر للطاقة في الظروف اللا هوائية. واذا احتوت المياه على بعض ملغم باللتر من كبريتيد الهيدروجين تبدأ باطلاق رائحة البيض الفاسد ويبين الشل مجالات هيمنة انواع الكبريت عند التوازن كدالة للرقم الهيدروجيني وجهد الاكسدة والاختزال عند درجة حرارة 25 وضغط جوي واحد. لاحظ ان تفاعلات الاكسدة والاختزال المنطوية على انواع الكبريت تكون بطيئة عموما مالم تحكمها كائنات حية دقيقة وبالتالي فان المحلول قد لا يكون بالضرورة في حالة توازن.

ان تكون الكبريتيدات الفلزية تسيطر على قابلية ذوبان العديد من العناصر الصغرى في ظل ظروف مختزلة مع زيادة جهد الاكسدة والاختزال ، ويعاد أكسدة الكبريتات الفلزية وذوبانها ، يمكن تلخيص تفاعل الاكسدة الكلي للبايرايت بالمعادلة التالية :

$$FeS_2 + 15/4\ O_2 + 7/2\ H_2O \longleftrightarrow Fe(OH)_3 + 4H^+ + 2SO_4^{-2}$$

هذه المعادلة تبين الحموضة العالية الموافقة لأكسدة البايرايت في المياه الجوفية البعيدة عن سطح الارض يكون تركيز الاوكسجين المذاب محدود لعدم امكانية تجديد الاوكسجين بالتبادل مع الغلاف الجوي .

(المحاضرة الخامسة)

التلوث الكيميائي للترب الزراعية Chemical Pollution of Agricultural Soils

تعريفه وصوره Definition and Forms

يعرف التلوث الكيميائي للترب الزراعية بأنه وصول ملوثات اليها من خلال الهواء او الماء أو من مصادر اخرى كالمبيدات والاسمدة والتي تؤدي الى تدهور انتاجية التربة بسبب الحاقها الضرر بالنباتات والميكروبات المفيدة . وبما ان التربة هي جزء اساسي من البيئة فهي تتلقى ملوثات آتية من كل انواع النشاط البشري. وتعتبر التربة ملوثة اذا ما تجاوزت كمية المعدن أو العنصر المعين الحدود العليا للتركيز المسموح به . كما استمرار تراكم المعادن الضارة وبقاؤها في التربة يجعل من هذا التلوث مشكلة كبيرة عن مثيلاتها في الهواء والماء نظراً لثبات وجود تلك الملوثات في التربة لفترات طويلة. ويبين الجدول التالي الحدود المسموح بها من العناصر في الترب الزراعية. ويعتبر النشاط الصناعي المتزايد هو اهم مصادر التلوث الكيميائي واستمراره بما ينفثه من غازات وأدخنة وغبار في الهواء وما يصرفه في الماء من عناصر ثقيلة ومركباتها والتي تصل الى التربة الزراعية سواء عن طريق التساقط مع الامطار او مع مياه الري. ويساهم في التلوث الكيميائي (غير عضوي وعضوي) للتربة الزراعية كل من مياه الصرف الصناعي والصحي ومبيدات الافات والاسمدة (معدنية وعضوية) وغيرها.

الجدول التالي يوضح الحدود المسموح بها من العناصر الثقيلة في الترب الزراعية

العنصـــــر	تركيز العنصر في الأرض (ملليجرام/ كجم أرض)		
	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأمثل
الحديد	١٠٠٠٠	٢٠٠٠٠٠	٤٠٠٠٠
المنجنيز	١٠٠	٣٠٠٠	٨٠٠
الزنك	١٠	٣٠٠	٨٠
النحاس	٢	١٠٠	٢٠
الكوبلت	١	٤٠	١٥
النيكل	٥	٥٠	٥٠
الكادميوم	٠,٠١	٠,٧٠	٠,١٠
الرصاص	٢	٢٠٠	٣٠
البورون	٢	١٠٠	١٠
الموليبدنم	١>	٥	١
الباريوم	١٠٠	٤٠٠٠	١٠٠٠
الفضة	١>	١>	١>
الزرنيخ	٠,١٠	٤٠	٦
البريليوم	١>	٤٠	٣
الكروم	٥	١٠٠٠	١٠٠
الزئبق	٠,٠١	٠,٣٠	٠,٠٣
الليثيوم	٥	٢٠٠	٥٠
السيلينيوم	٣>	٢٠	٨
التيتانيوم	١٠٠٠	٢٠٠٠٠	٤٠٠٠
الفاناديوم	٢٠	٥٠٠	١٠٠
الزركون	٦٠	٢٠٠٠	٥٠٠

انواع ومصادر التلوث الكيميائي للترب الزراعية

Types and Sources of Chemical Pollution in Soil

أولا : التلوث بالمعادن الثقيلة Pollution by Heavy Metal

تصل الى التربة عناصر معدنية سامة من مصادر وبطرق مختلفة وتبقى في التربة وتتراكم بكميات كبيرة.

تعتبر العناصر الغذائية الصغرى هي الملوثات الكيميائية الاساسية وذلك في حالة زيادتها بالتربة عن الحدود المسموح بها حسب الجدول اعلاه . واهم العناصر الملوثة للتربة (الكاديوم والكروم والرصاص والزنك والحديد والنحاس والكوبلت والنيكل والمنغنيز والسيلينيوم والزئبق) وتضم المعادن الثقيلة الصور التالية :

* ايونات معادن حرة ومركبات ومعادن ذائبة في المحلول الارضي

* ايونات متبادلة مدمصة على سطوح الطين

* ايونات غير متبادلة ومترسبة أو مركبات غير عضوية غير ذائبة

* معادن في معقدات مع مواد عضوية ذائبة أو غير ذائبة

* معادن مرتبطة في مواد سيليكاتية

ومن ضمن المعاملات الزراعية المعتادة والتي قد تكون مصدرا للعناصر الثقيلة هي الاسمدة (عضوية ومعدنية) ومبيدات آفات .

وعادة لا تتوقف الحدود المسموح بها (الجدول السابق) فقط على نظام التربة – النبات، ولكن أيضاً على النسب بين العناصر وكمياتها الكلية في التربة والاثر المتبادل بينهم. وقد تنمو بعض النباتات بطريقة طبيعية في ترب ملوثة الا انها حينئذ لا تصلح لاستهلاك الانسان او الحيوان رغم عدم ظهور اي مظاهر للتلوث على نموها

الجدول التالي يوضح الاسمدة والمبيدات المحتوية على معادن ملوثة للتربة

المعدن الثقيل (الملوث)	أسمدة عضوية ومعدنية				مبيدات آفات (%)
	سماد المزرعة	سماد المجاري	سماد نيتروجيني	سماد فوسفاتي	
	نسبة المعدن في السماد (ميكروجرام/ جرام)				
أرسينك	٣-٢٥	٢-٢٦	٢,٢-١٢٠	٢-١٢٠٠	٢٢-٦٠
كاديوم	٠,٣-٠,٨	٢-١٥٠٠	٠,٥-٨,٥	٠,١-١٧٠	–
كوبلت	٠,٣-٢٤	٢-٢٦٠	٥,٤-١٢	١-١٢	–
كروم	٥,٢-٥٥	٢٠-٤٠٦٠٠	٣,٢-١٩	٦٦-٢٤٥	–
نحاس	٢-٦٠	٥٠-٣٣٠٠	١-١٥	١-٣٠٠	١٢-٥٠
زنبق	٠,٠٩-٠,٢٠	٥٠-٥٥	٠,٣-٢,٩	٠,٠١-١,٢٠	٠,٨-٤٢
نيكل	٧,٨-٣٠	١٦-٥٣٠٠	٧-٣٤	٧-٣٨	–
رصاص	٦,٦-١٥	٥٠-٣٠٠٠	٢-٢٧	٧-٢٢٥	٦٠
زنك	١٥-٢٥	٧٠٠-٤٩٠٠٠	١-٤٢	٥٠-١٤٥٠	١,٣-٢٥
منجنيز	٣٠-٥٥٠	٦٠-٣٩٠٠	–	٤٠-٢٠٠٠	–
موليبدنم	٠,٠٥-٣	١-٤٠	١-٧	٠,١-٦٠	–

وهناك العديد من العوامل التي تحدد معدلات الاضافات المقبولة الى الترب الزراعية والتي يجب وضعها في الاعتبار مثل

1. المحتوى الكلي للتربة من العناصر الثقيلة
2. الكميات الكلية من العنصر المضاف بالنسبة للعناصر الثقيلة الاخرى
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 (التبادل والتنافس)

7. خواص التربة الكيميائية (درجة التفاعل، نسبة الكاربونات ، محتوى الطين ، المادة العضوية)

8. مدى حساسية وشدة تأثر النبات بمستويات العناصر الثقيلة

وتختلف النباتات في مدى تأثرها بتلوث التربة بالعناصر الثقيلة وذلك تبعاً لنوع النبات وطبيعة ومرحلة نموه والمعاملات الزراعية التي يتعرض لها ، وبالطبع يرتبط تأثر النبات بالمعدل المسموح به من عنصر ما أو بالتأثير المشترك لأكثر من عنصر ثقيل. وتلعب السعة التبادلية الكاتيونية للتربة دوراً هاماً في هذا الشأن .

تزداد مشكلة تلوث الترب الزراعية لتصبح أكثر شدة مع تزايد الانشطة الصناعية وما ينتج عنها من أدخنة وغازات وأبخرة، والتي تصل الى التربة مع الامطار وأشهرها المطر الحامضي الذي يحمل العديد من الملوثات الكيميائية في صورة احماض مثل حامضي النتريك والكبريتيك الناتجين من تفاعل اكاسيد النتروجين والكبريت الغازية مع الماء، وايضا الملوثات الاشعاعية التي تنتقل مع الرياح من أماكن مختلفة الى اخرى .

ثانياً : التلوث بمبيدات الآفات Pollution by Pesticides

تعتبر مبيدات الآفات أحد مستلزمات الانتاج الزراعي التي تستخدم بهدف الحد من أضرار الآفات المختلفة (نيماتودية ، حشرية ، ميكروبية ، حشائشية) والمحافظة على مستوى الانتاج النباتي. وهي مركبات كيميائية تضاف مباشرة الى التربة أو تعامل بها البذور قبل الزراعة بغرض الوقاية من أو مكافحة آفات التربة. كما انها ترش على اوراق النباتات النامية وفي هذه الحالة يصل جزء منها الى التربة مع الرياح أو المطر أو مع بقايا النباتات او مع الاسمدة العضوية. وقد يصل تراكم هذه المبيدات في التربة الى تراكيز قد تضر بنمو النباتات وانتاجيتها أو أن تضر الكائنات الحية النافعة الموجودة بالتربة. أو انها تؤثر مبدئياً على معدل إنبات البذور او تشوهات في اجزاء النبات . كما وان هذه المبيدات قد تتفاعل مع مكونات التربة المعدنية والعضوية وبذلك تؤثر على خواص التربة الكيميائية والحيوية وبالتالي تؤثر على انتاجيتها.

وقد ينتج عن استخدام مبيدات الآفات بعض الاضرار، منها ما يلي :

1. تحويل بعض الآفات الزراعية الثانوية لآفات رئيسية

2. زيادة قدرة الآفات على تحمل تركيزات عالية من المبيدات

3. قتل الكثير من الكائنات النافعة للانسان والنبات. كما حدث على وجه المثل لبعض الطيور

4. تلوث محاصيل الخضر والفاكهة

5. زيادة نسبة متبقيات المبيدات ونواتج تحطمها التي قد تكون أشد سمية من المركب الأصلي في التربة والهواء ومياه الصرف الصحي

6. الاضرار بسياسة تصدير الحاصلات الزراعية في حالة ما اذا تجاوز مستوى متبقيات المبيدات أعلى من الحد المسموح به لدى الدول المستوردة

7. اكتساب بعض الآفات للمناعة من التراكيز المستخدمة مما يؤدي الى زيادة التركيز وبالتالي زيادة التلوث أو تغيير المبيد واضافة مواد سمية جديدة

ثالثاً : التلوث بالاسمدة Pollution by Fertilizers

لقد تزايد استخدام الاسمدة خاصة المعدنية منها بغرض تعويض التربة عما تفقدة من العناصر الغذائية بامتصاص النبات ونقص المحتوى العضوي من جانب وكأحد وسائل التوسع الرأسي في الانتاج النباتي من جانب آخر. تعتبر الاسمدة النتروجينية اهم تلك الاسمدة واوسعها انتشارا والاسمدة النتروجينية اما امونيومية او نتراتية . والاولى تتحول في التربة بواسطة بكتريا ذاتية التغذية هوائية الى نترات كذلك. وتمتص النباتات بعض النترات اما الكثير منها فيتشرب مع مياه الري سطحياً أو بالرشح داخل قطاع التربة ليصل كليهما الى المجاري المائية ليؤثرا سلباً على مياه الشرب للانسان والحيوان وحياة الاسماك. كما يشجع وجود النترات في الماء من نمو النباتات المائية وما لذلك اضرار على تنفس الاسماك بسبب استهلاك تل النباتات للاوكسجين الذائب في الماء. كما ان للنترات تأثير على صحة الانسان بوجودها في مياه الشرب فما ان

تدخل النترات الى الجسم تختزل بفعل بكتيريا القولون الى نتريت الذي ينتص ليتفاعل مع هيموكلوبين الدم فيعيق من قدرته على نقل الاوكسجين مما يؤدي الى حدوث مرض خطير يسمى (ميثوموكلوبينيميا) الذي يسبب موت الاطفال الصغار، وأيضا نفوق كثير من الماشية. وكذلك يحدث في الارض عندما تتعرض لظروف لا هوائية، كما في حالة الغمر بالماء او سوء الصرف فتقوم بعض انواع البكتريا غير ذاتية التغذية اللاهوائية باختزال النترات الى نتريت الذي يتفاعل مع الامينات الناتجة من تحلل المواد العضوية ليكون مركب (النيتروز أمين) وهومن مسببات السرطان.

وهناك نشاط هام آخر لتلك البكتريا اللاهوائية حيث تختزل النترات الى نتريت ثم الى أكاسيد نتروجينية غازية تتصاعد في طبقات الجو العليا حيث تتفاعل مع طبقة الاوزون (O3) (التي تعتبر درعاً واقياً من شدة حرارة الشمس وأشعتها)، مؤدية الى تآكلها وبالتالي الاضرار بصور الحياة على الارض، ومنها زيادة نفاذ الاشعة الفوق بنفسجية ووصولها الى الارض وتسببها في حدوث أمراض السرطان خاصة سرطان الجلد وضعف نمو النبات. كما تؤدي اضمحلال الاوزون الى رفع درجة حرارة الجو.

وتسمى عملية اختزال النترات الى نتريت ثم الى اكاسيد النتروجين غازية بعملية تحرير النتروجين Denitrification والتي فيها تستخدم النترات والنتريت مصدر للاوكسجين المرتبط في الجزئ غير العضوي لأكسدة المواد العضوية بغرض الحصول على الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية لتلك البكتريا ، وتبين المعادلات التالية تلك التفاعلات :

$O_2 + O \longrightarrow O_3$

molecular oxygen atomic oxygen ozone

$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO$

nitrate nitrite nitric oxide

$N\,O \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

nitric oxide nitrous oxide molecular nitrogen

$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

nitric oxide ozone nitrite molecular oxygen

$N_2O + O_3 \rightarrow NO + 2O_2$

nitrous oxide ozone nitric oxide molecular oxygen

$O_3 \xrightarrow{light} O_2 + O + heat$

التلوث الكيميائي لمياه الري Chemical Pollution of Irrigation Water

أنواع ومصادر التلوث الكيميائي لمياه الري

Types and Sources of Chemical Pollution of Irrigation Water

عادة ما يتسبب الانسان في تلوث المياه بجميع استخداماتها وتعدد أغراضها ، وتتنوع الملوثات الكيميائية للمياه ما بين العضوية وغير العضوية.

وتعتبر مصادر الصرف الصناعي والصحي والزراعي الملوثات الرئيسية للمياه السطحية النهرية والجوفية، كما يساهم في تلوث المياه كل من صرف المناجم وغبار المصانع والمطر الحامضي. وبالنسبة لمياه الشرب فقد اخضعها الانسان لمعاملات التنقية والتعقيم . اما مياه الري عادة ما تستخدم على حالتها الواقعية ، ولكن على الانسان ان يدرك تماماً أن مياه الري الملوثة سوف تنعكس حالياً أو بعد حين على صحته واقتصاده ، بل وعلى البيئة التي يعيش فيها عامة. فتلوث مياه الري سينتقل حتماً الى النبات ومنه الى الحيوان ومنهما معاً الى البشر. كما ان تلوث مياه الري يلعب دوراً متبادلاً من خلال التبخر والتساقط مع تلوث الهواء الذي تستنشقه الكائنات الحية.

ويختلف نوع تلوث مياه الري ومعدله تبعاً للمصدر ونظام صرف نفاياته وبعده عن المجرى المائي. فمن تلك الملوثات الكيميائية ما هو شديد الخطورة أو أقل خطورة أو قليلها. ولا تقتصر خطورة الملوثات الكيميائية على كميتها المتاحة للاستخدام بل تعتمد على كذلك على نوعية تلك الملوثات وهي كما يلي :

* ملوثات عضوية تستهلك كميات كبيرة من الاوكسجين لتحللها
* مواد تحتوي على نسبة عالية من النترات والفوسفات
* مواد سامة مثل المبيدات والمعادن الثقيلة والمواد البترولية
* مواد صلبة مترسبة
* مواد مشعة
* كائنات حية ممرضة

هذا ويرتبط بتلوث المياه نمو وانتشار النباتات المائية كنبات ورد النيل والطحالب التي تسبب انخفاض تركيز الاوكسجين في الماء نتيجة لتنفسها وزيادة كل من المحتوى العضوي من ناحية الاملاح الذائبة بسبب النتح والتبخر من ناحية اخرى. وتستخدم قياسات معدل استهلاك الاوكسجين في المياه بتقدير معدل كل من الاوكسجين المستهلك كيميائيا وبيولوجيا .

Oxygen Demands : Chemically (COD) & Biologically (BOD)

وتتعدد مصادر التلوث الكيميائي لمياه الري وكما يلي :

أولاً : الصرف الصناعي Industrial Drainage

تعتمد الاراضي الزراعية على مياه النهر كمصدر رئيسي لري الاراضي الزراعية، وتتعرض مياه النهر في المجرى الرئيسي وفروعه وقنواته للتلوث الكيميائي أساساً من المصادر الصناعية التي تختلف في كثافتها وطبيعتها من مكان الى آخر .

ثانياً : الصرف الصحي Sanitary Drainage

تتكون مياه الصرف الصحي أساساً من بقايا الانسان الصلبة والسائلة ومخلفات استخداماته اليومية وتصل هذه المياه الى المجاري المائية اما بعد تنقيتها وتعقيمها في المحطات المخصصة في المدن أو قبل ذلك بطريقة جزئية او حتى بدون. وهي بذلك تؤدي في النهاية الى تلوث مياه الري بدرجات مختلفة.

وتشترك مياه الصرف الصحي مع مياه الصرف الصناعي كثيرا في محطات معالجة المجاري وبذلك نجد أن مياه المجاري تحتوي على العديد من الملوثات الصناعية، وعادة ما تحتوي مياه الصرف الصحي المنزلي على نفايات الانسان والمطابخ والمنظفات وغيرها.

ويعتمد تأثير مياه الصرف الصحي على معدلاتها ومكوناتها، وعدد سكان المدينة وطبيعة الانشطة البشرية بها، وكذلك حجم المجرى المائي التي يتم الصرف فيه وسرعة جريان المياه به. فشدة التلوث تقل كلما قل عدد سكان المدينة وانشطتهم وكذلك اذا ما اتسع المجرى المائي التي تصرف فيه مياه الصرف او زيادة سرعة تيار المياه به. ومن الضروري الا تزيد كميات مياه الصرف الصحي التي تصرف في المجاري عن الحدود التي لا تسمح بوجود قدر كافي من

الاوكسجين الذائب في الماء الذي تستخدمه الميكروبات في تحلل المواد والمركبات العضوية الموجودة بمياه المجاري.

ثالثاً : الصرف الزراعي Agricultural Drainage

تعتبر مياه الصرف الزراعي تلك التي تنتقل الى المجاري المائية بحركة مياه الي سطحياً وجوفياً أو بخلط مياه المصارف الزراعية مع المياه النهرية لأغراض الري. وتتعدد مصادر تلوث مياه الصرف الزراعي من الاسمدة المعدنية والعضوية ومبيدات الآفات والتساقط من الجو بواسطة الرياح والامطار، فعادة ما تحتوي الاسمدة الكيميائية على عناصر ثقيلة مختلفة ولو بكميات صغيرة. بل وان بعض مركبات تلك الاسمدة غير العضوية خاصة النتروجينية تؤدي تفاعلاتها في التربة الى تكوين مركبات ضارة كالنتريت وغازات النتروجين التي تظهر مع ارتفاع المحتوى الرطوبي في التربة الذي يتكون معه كذلك غاز كبريتيد الهيدروجين، أما الاسمدة العضوية فيظهر تأثيرها الضار في حالتين أولهما اذا اضيفت غير ناضجة التحلل، أو انها تعرضت لظروف لا هوائية بالأرض حيث تتراكم حينئذ مركبات وسطية ضارة بسبب عدم تمام التحلل. وهذه المركبات قد تجد طريقها الى مياه الصرف الزراعي.

وتحتوي مياه الصرف الزراعي ايضا على ملوثات وصلت مع مياه الري المحتوية على ملوثات من مصادر مختلفة. وتلعب المعاملات الزراعية دوراً في مدى حدة تلوث مياه الصرف الزراعي مثل زيادة كميات مياه الري وقرب فتراته مع ضعف حالة الصرف مما يتسبب في حدوث التلوث الناتج عن الظروف اللاهوائية، وبالاضافة الى ذلك يأتي التسميد الكيميائي الغزير والمبالغة في استخدام مبيدات الآفات والتسميد بأسمدة عضوية غير ناضجة أو ملوثة من مصادر نباتية أو حيوانية

(المحاضرة السادسة)

التلوث الكيميائي وتأثيره على نمو النبات وصحة الانسان

Chemical Pollution Affecting Plant Growth and Human Health

التلوث الكيميائي ونمو النبات Chemical Pollution Affecting Plant Growth

تصل الملوثات الكيميائية الى النباتات من التربة والماء والهواء. فالنباتات تمتص العناصر الثقيلة في صورتها الذائبة (وهي عادة بنسبة محدودة من المحتوى الكلي) من التربة ومياه الري وكذلك من الصورة المدمصة على سطوح الطين أو المرتبطة ببعض عوالق المياه. كما تصل تلك العناصر الى النباتات من الهواء بالترسيب من غبار المصانع او بالتساقط مع ماء المطر على اوراق النباتات. وبرغم ان كثيراً من العناصر الدقيقة تعتبر ضمن المغذيات الصغرى للنباتات، الا ان زيادة كمية تلك العناصر عن الحدود المطلوبة للنبات تتسبب في اضرار تؤثر على نمو النبات وكمية ونوع المحصول. وتختلف النباتات من حيث نوعها ومرحلة نموها في احتياجاتها من تلك العناصر وحدودها القصوى الممكن تحملها. كما تلعب خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية أدواراً هامة في مدى صلاحية العناصر الثقيلة للامتصاص النباتي، فمثلا ارتفاع نسبة كل من الطين والرطوبة والمادة العضوية وانخفاض درجة التفاعل تزيد من معدل حركة الكثير من العناصر الثقيلة. كما ان هناك عدد من العناصر الثقيلة يؤدي وجودها في البيئة النباتية حتى لو بكميات قليلة الى الاضرار الشديد بالنبات بل قد تكون سامة. كما ان هناك بعض النباتات تحتمل تراكم عناصر ثقيلة معينة في بعض انسجتها دون أن تؤثر بشدة على نموها، وفي جميع الاحوال يصل تأثير العناصر الثقيلة بالنبات الى الانسان والحيوان بالتغذية، وبالتالي مالم يؤثر عنصر ما على النبات فقد يؤثر على كائنات حية اخرى. وتشترك الظروف البيئية عامة والمناخ خاصة (الحرارة والرطوبة) في تأثير العناصر الثقيلة على النباتات وصور الحياة الاخرى، حيث يقل هذا التأثير في المناطق البادرة الرطبة ويزداد في المناطق المعتدلة والحارة والجافة أو شبه الجافة.

وتمتص العناصر بواسطة جذور النبات بالميكانيكيات التالية :

1. التبادل الكاتيوني مع الجذور

2. الانتقال داخل الخلايا بواسطة مركبات مخلبية أو احماض عضوية مثل الستريك والاوكزاليك والماليك وغيرهم

3. تأثيرات منطقة الجذور (الرايزوسفير) من انشطة ميكروبية وبيوكيميائية ، حيث تفرز بعض بكتريا منطقة الجذور (Rhizobacteria) مركبات ذات امكانية مخلبية يطلق عليها Siderophores وهي ذات وزن جزيئي منخفض

تختلف قدرة النباتات فيما بينها على امتصاص العناصر الثقيلة وكذلك تبعاً لطبيعة العنصر نفسه. فمثلا تمتص عناصر البروم والبريليوم بينما تقل هذه السهولة بالنسبة للباريوم والتيتانيوم والحديد الى حد ما. هذا وبجانب الجذور تلعب اوراق النبات دوراً هاماً في امتصاص العناصر الثقيلة التي تضاف بطريقة الرش كأسمدة العناصر الغذائية الصغرى أو ما يتساقط عليها من غبار أو امطار.

تأثير مبيدات الآفات على التلوث

تعتبر مبيدات الآفات سواء المضافة منها الى التربة أو المضافة بطريقة الرش على النباتات من أهم مصادر تلوث النباتات بالعناصر الثقيلة وتعتمد شدة التلوث على نوع النبات وطبيعة نموه فالنجيليات ذات قدرة قليلة على امتصاص وتراكم المبيدات، أما محاصيل الالياف فذات قدرة على متوسطة، والورقية ذات قدرة عالية. كما انه كلما زادت معدلات النتح من النبات كلما زاد امتصاص المبيدات وتعتبر المحاصيل الورقية اكثير امتصاصا للمبيدات نسبياً عن تلك الثمرية والبذرية.

ولا يتوقف تأثير المبيد على تركيبه الاصلي فقط بل أن نواتج تفاعلاته في النبات قد تكون اكثر سمية وتؤدي اضرار المبيدات الى تحور الاوراق وجفافها او حرقها وسقوطها ، كما تحدث خللا في النظام الانزيمي داخل انسجة النبات وبالتالي توقف عمليات التمثيل الغذائي ثم موت النبات.

وكذلك فان نوع المبيد وتركيزه وطريقة ومعدل اضافته تؤثر في مدة شدة احداثه للتلوث، فالمبيدات التي تذوب في الماء تمتص اكثر من غيرها والتي تضاف الى الارض قرب الجذور اعلى امتصاصاً من التي تحرث مع الارض وهكذا مع الطرق الاخرى.

كما ان خواص التربة لها تأثير في قدرة امتصاص النبات للمبيد فالتربة الثقيلة والغنية بالمادة العضوية تحد من معدل امتصاص المبيد وطول مدة بقاءه في التربة وذلك بسبب امكانية ادمصاصه على سطوح الطين او تفاعلاته مع محتويات التربة المعدنية والعضوية.

وكذلك المعاملات الزراعية لها تأثير في قدرة امتصاص النبات، اذ نجد انه كلما زادت التهوية في التربة بواسطة الحراثة او قلة الرطوبة يقل معدل امتصاص المبيد وكلما زادت الرطوبة عن السعة الحقلية كلما زاد فقد المبيد بالترشيح، وبالرغم من ان حفظ رطوبة التربة عند السعة الحقلية يناسب امتصاص المبيد، الا انها تناسب كذلك نشاط العديد من الميكروبات ذات القدرة على تحلل المبيد من جهة اخرى.

وتختلف النباتات فيما بينها في مواقع تراكم المبيدات بها ، فمنها ما يحدث به التراكم في الاوراق او الثمار او البذور وبالتالي يؤثر تلوث النبات على الانسان والحيوان تبعاً لاستهلاكه لتلك الاجزاء النباتية.

التلوث الكيميائي وصحة الانسان Chemical Pollution and Human Health

يتعرض الانسان في حياته للتلوث الكيميائي في صورة معادن ثقيلة أو مركبات غير عضوية وعضوية ضارة من مصادر متباينة. من الهواء الذي يستنشقه والماء الذي يشربه والطعام الذي يأكله، هذا بجانب ما يمكن أن يتعرض له من اشعاعات ضارة. وهذا كله او بعضه يمكن ان يسبب له مشاكل صحية وأمراض عضوية مختلفة.

وتصل الملوثات الكيميائية العضوية وغير العضوية الى رئة الانسان ومعدته من هواء وماء وغذاء ملوثين بتلك المركبات وتسبب هذه الملوثات اذا ما تجاوزت الحدود الآمنة حدوث العديد من الامراض العضوية التي قد يكون منها ما يمكن أو ما لا يمكن علاجه أو مميتاً. وبجانب هذه الامراض فان هذه الملوثات تتسبب بطريق غير مباشر في ضعف مناعة جسم الانسان ومقاومته للأمراض الميكروبية. ويبين الجدول التالي بعضاً مما تسببه اهم العناصر الثقيلة الملوثة من أمراض.

الجدول يوضح اعراض مرضية تسببها بعض المعادن الثقيلة في الانسان

أعراض مرضية	Pb	Hg	Cd	As	Zn	Cu	Cr	Ni
سرطان	√			√			√	√
تليف الكبد	√	√	√			√		
إلتهاب كلوي	√	√						
آلام البطن	√	√		√				
أنيميا	√	√		√	√			
صداع	√	√	√	√				
قيئ وغثيان	√	√	√	√		√		√
تعب	√	√		√				
لين عظام			√					

التحكم في التلوث الكيميائي للترب الزراعية ومياه الري

Control of Chemical Pollution of Agricultural Soils and Irrigation Water

الوقاية من التلوث الكيميائي Protection From Chemical Pollution

الماء بجانب استخدامه للشرب وري النبات هو اساس الغذاء والحياة عامة لجميع الكائنات الحية. ولعل اهم مصادر التلوث الكيميائي للماء هي الهواء والامطار والانهار والقنوات ، ويصل تلوث الماء الى التربة ثم النبات ومنه الى الحيوان والانسان

وفيما يلي بعض الضوابط للوقاية من التلوث الكيميائي :

1. التحكم في التلوث الصناعي باستخدام الفلاتر للأدخنة والغازات والغبار والمرشحات والمرسبات للعوادم السائلة. وكذلك ابعاد الانشطة الصناعية عن المجاري المائية والزراعية والمناطق السكنية وبأن تنشأ توسعاتها عكس اتجاه الرياح

2. وضع قيود صارمة لكل من الصرف الصناعي والزراعي والصحي الى المجاري المائية

3. مقاومة النباتات المائية والطحالب بكفاءة وانتظام، وتفضل الطرق الميكانيكية لجمعها، حيث يمكن حينئذ استخدامها لتحضير السماد الاصطناعي compost

4. العمل على كفاءة عمل المبازل الزراعية ومتابعة تنظيفها وانتظام سريان الماء اليها وفيها

5. وضع معايير محددة لاستخدام مياه الصرف في الري سواء بالمباشر أو بالخلط مع ماء النهر

6. الالتزام بقياسات مياه الصرف الصحي المعالجة لاستخدامها في الري تبعا لما يبينه الجدول التالي

7. تشجيع وتوفير وسائل تطبيق الزراعة العضوية خاصة في الاراضي الجديدة

8. ترشيد استخدام مبيدات الآفات

9. الاتجاه الى المقاومة الحيوية باستخدام الكائنات الدقيقة في مكافحة الآفات المختلفة وكذلك استنباط وزراعة أصناف نباتية مقاومة الآفات والامراض والعناصر الثقيلة من خلال تقنيات التهجين والهندسة الوراثية

10. الاهتمام بزيادة المساحات الخضراء داخل المدن واقامة أحزمة خضراء حولها وكذلك زراعة اشجار مصدات الرياح في المناطق المعرضة وهذا بغرض تنقية الهواء والامطار

11. التوعية المجتمعية بأضرار التلوث الكيميائي من مصادره المختلفة، وذلك من خلال وسائل الاعلام المختلفة

12. وضع التشريعات الحازمة والملزمة للحفاظ على البيئة من التلوث ومتابعة تطبيقها عن طريق نشر محطات ومواقع الكشف عن التلوث ومراقبته ودق ناقوس الخطر في حالة تجاوزه الحدود الآمنة وذلك بتوجيه وإنذار الجهة المسببة وعقابها عند اللزوم أو ايقاف نشاطها.

الجدول يبين مواصفات مياه المجاري الصالحة للري

المكون	الحد الأقصى المسموح به	المكون	الحد الأقصى المسموح به
الأكسوجين الحيوي "BOD"	١٠ ملجم/ لتر	كلور	٢٨٠ ملجم/ لتر
المواد الصلبة	١٠ ملجم / لتر	فلور	٢ ملجم/لتر
الرقم الهيدروجيني pH	٦–٨	سيانيد	٠,٠٥ ملجم/لتر
الزيت والنفط	–	ليثيوم	٠,٠٧ ملجم/لتر
العكارة	١%	منجنيز	٠,٢٠ ملجم/لتر
بكتيريا القولون	٥٠ مستعمرة/مل	زئبق	٠,٠٠١ ملجم/لتر
ألومينيوم	٥ملجم/لتر	موليبدنم	٠,٠١ ملجم/لتر
زرنيخ	٠,١٠ ملجم/لتر	نيكل	٠,٠٢ملجم/لتر
بيريليوم	٠,١٠ ملجم/لتر	نيتريت	١٠ ملجم/لتر
بورون	٠,٥٠ملجم/لتر	سيلينيوم	٠,٠٢ملجم/لتر
كادميوم	٠,١٠ ملجم/لتر	فانديم	٠,١٠ ملجم/لتر
كوبلت	٠,٠٥ ملجم /لتر	زنك	٠,٤ ملجم/لتر
نحاس	٠,٤٠ملجم/لتر	فينول	٠,٠٠١ملجم/لتر
رصاص	٠,١٠ ملجم/لتر		

(المحاضرة السابعة)

معالجة التلوث الكيميائي Remediation of Chemical Pollution

أولاً: معالجة التلوث بالنباتات Phytoremediation of Pollution

تعرف معالجة التلوث الكيميائي من خلال النباتات (المعالجة النباتية) بأنها استخدام النباتات لإزالة أو تدمير المواد الضارة او الحد من اثارها في البيئة، وتأخذ هذه الطريقة عدة صور لإزالة المعادن والمركبات غير العضوية او تقليل تركيزها الى الحد المسموح به مثل (الاستخلاص النباتي) وهو عبارة عن امتصاص تلك المعادن وتركيزها في جذور وسيقان النبات (والترشيح الجذري) وهو استخدام جذور النباتات لإزالة المعادن من المحلول الارضي وهو استخدام النباتات لتقليل او للحد من انتشار المعادن في التربة وهو امتصاص النباتات للمواد المتطايرة في الجو.

وتعرف النباتات التي لها القدرة الطبيعية على تراكم كميات كبيرة من المعادن بأنها (مراكمات المعادن Metal Hyperaccumulators) حيث تنمو عادة في المناطق ذات التراكيز العالية من المعادن في التربة وعادة ما يكون معدل تراكم العناصر الثقيلة أعلى في الجذور عن باقي أجزاء النبات.

وقد أظهرت الدراسات أن بعض أصناف النباتات وخاصة ذات الفلقة الواحدة Monocotyledon لها قدرة تحمل Tolerance أكبر من ذات الفلقتين Dicotyledon للعناصر الثقيلة ويبين الجدول التالي بعض النباتات ذات قدرة الامتصاص العالية للمعادن الثقيلة

الجدول التالي يبين أنواع بعض النباتات التي تتحمل تراكيز مرتفعة من العناصر الثقيلة

العنصر	النسبة (%)	نوع النبات
نيكل	أكثر من ١٠	*Alyssum bertolonii*
زنك		*Thaspi calaminare*
كروم	٣-١	*Pimelen suteri*
كوبلت		*Crotalaria cobaltica*
نيكل		*Alyssum bertolonii*
سيلينيوم		*Alstragolus racemosus*
سترانثيوم		*Arabis stricta*
يورانيوم		*Uncinia lepostachya*
		Coprosma arobrea
نحاس	٠,١-٠,٠١	*Becium homblei*
زئبق		*Ebtala papyrifera*
زنك		*Egaisetam arvense*

ثانياً : معالجة التلوث حيوياً Bioremediation of Pollution

يقصد بمعالجة التلوث حيوياً Bioremediation بأنه استخدام المواد العضوية أو الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms في التخلص من ضرر التلوث الكيميائي أو الحد من تأثيره على النبات.

أ. معالجة التلوث بالمواد العضوية

تعتبر الاسمدة العضوية وهي السماد البلدي الاصطناعي Compost وحامض الهيوميك Humic acid معالجات حيوية فعالة للتربة الملوثة بالمعادن الثقيلة. وهذه الاسمدة هي اساساً محسنات لخواص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية ومصدراً هاماً لمغذيات النبات ومنشطات نموه. وتتميز هذه الاسمدة عن وسائل المعالجة الاخرى بأنها تدخل ضمن المعاملات الزراعية المعتادة بالإضافة الى قلة تكلفتها الاقتصادية وسهولة اضافتها للتربة وقلة تأثيرها على تلوث البيئة بشكل عام.

يعتمد دور المواد العضوية في معالجة التربة بتحديد حركة المعادن الثقيلة على عدة عوامل :

* كمية المادة العضوية وطبيعتها : من حيث مدى كفاية الكمية المستخدمة ودرجة نضجها (نسبة C:N) التي تحدد معدل تحللها في التربة بواسطة الميكروبات وتركيبها من العناصر المختلفة خاصة الثقيلة منها والاملاح.

* نوع التربة وخواصها : من حيث تركيبها المعدني والعضوي ، رقم pH ، سعتها التبادلية الكاتيونية ، محتواها من الاملاح الذائبة وغير الذائبة ، معاملاتها الزراعية ، النباتات المزروعة، معدلات التسميد العضوي والمعدني، طريقة الري ، ومحتواها من العناصر الثقيلة كماً ونوعاً.

*مواصفات مياه الري : من حيث مصدرها (أنهار ، آبار) وتركيبها الكيميائي.

ب. معالجة التلوث بأحياء التربة :

تستخدم الاحياء الدقيقة كمعالجات حيوية بغرض تنظيف التربة من الملوثات الكيميائية وأساس هذه التقنية هو تنشيط التحلل الميكروبي Microbial Biodegradation للملوثات وبالذات العضوية منها وتحديداً مبيدات الآفات. ويتم ذلك بتوفير الظروف المناسبة لهذه العملية في التربة مثل توفر المغذيات والمحتوى المائي ودرجة الحموضة وكمية الاوكسجين. وعند مقارنة هذه التقنية بطرق المعالجات الفيزيوكيميائية نجد أن المعالجة الحيوية أنسب من النواحي البيئية والاقتصادية. وتعود أفضلية المعالجة الحيوية الى الاسباب التالية :

1. أنها عملية طبيعية
2. غالبا ما تكون نواتج المعالجة غير ضارة
3. امكانية زراعة التربة بعد معالجتها دون مشاكل
4. اعتبار هذه التقنية مشروعة ومقبولة مجتمعياً

من عيوب المعالجة الحيوية هو ان هناك بعض الملوثات غير ممكنة التحلل بواسطتها أو تتراكم بعض المركبات السامة خلال عمليات التحلل ، ومن المشاكل التي تواجه هذه التقنية هو وجود ملوثات مختلطة كما في حالة تلوث التربة بملوثات عضوية مع معادن ثقيلة.

تعمل الميكروبات على هدم بعض المركبات العضوية مثل المشتقات النفطية ومبيدات الافات ، فمن هذه المركبات ما هو قابل للتحلل ومنها ما هو غير قابل للتحلل وتشترك أنواع عديدة من الميكروبات غير ذاتية التغذية حيث تعمل على المركبات القابلة للتحلل. فهي تستمد الكربون والطاقة اللازمة لتكوين المركبات البنائية لخلاياها من تحليلها لتلك المواد العضوية التي تضاف للتربة أو تصل اليها مع المخلفات النباتية أو غيرها.

ومن الجدير بالذكر أن هناك بعض الميكروبات يمكنها تراكم العناصر الثقيلة في خلاياها ويطلق عليها المراكمات البايولوجية Metal Bioaccumulators حيث تكون تلك الميكروبات بامتصاص المركبات الذائبة لبعض العناصر الثقيلة في محلول التربة الى داخل خلاياها وبالتالي تحدد من حركتها في التربة ومن امثلتها أنواع من : Amanita , Lactarias , Glomus

جـ . معالجة التلوث بمبيدات الآفات بواسطة ميكروبات التربة

مبيدات الآفات هي كيمياويات مصنعة بغرض مكافحة الآفات المختلفة. وتختلف المبيدات فيما بينها تبعاً لأنواع الكائنات التي ستعمل عليها. وتنقسم المبيدات بصفة عامة الى مضادات للميكروبات وحيوية وكيميائية، وكذلك تتنوع المبيدات تبعاً لأهدافها المحددة الى مجموعات هي الحشرية والحشائشية والفطرية والنيماتودية. وتصل هذه المبيدات الى التربة الزراعية اما مباشرة لاستهداف الآفة المحددة أو غير مباشرة عن طريق مياه الري أو التساقط مع الامطار أو من تلك المرشوشة على النباتات أو مع البقايا النباتية.

يعتمد نشاط الميكروبات في تحللها لمبيدات الآفات على ظروف التربة والنبات والمناخ وطبيعة المبيد وتركيبه وكميته والمعاملات الزراعية وكما يلي :

أ- خواص التربة

1. الفيزيائية :

- النسجة : يزيد نشاط الميكروبات في التربة الطينية الخفيفة

- المحتوى الرطوبي : تلائم الميكروبات الظروف الهوائية في وجود رطوبة كافية

2. الكيميائية :

– السعة التبادلية الكاتيونية : وهي ترتبط بنسبة كل من الطين والمادة العضوية حيث تزداد بزيادتهما وهو ما يناسب الميكروبات والنبات

– درجة التفاعل pH : درجة التفاعل التي تلائم معظم الميكروبات هي (6.5 – 7.5)

– العناصر الثقيلة : من حيث وجودها كماً ونوعاً على ان تكون في الحدود الآمنة

3. الحيوية والغذائية

– المادة العضوية : من حيث توفرها بكمية كافية فهي مصدر الغذاء والطاقة للميكروبات المحللة ويرتبط الغذاء كذلك توفر العناصر الغذائية من مصادر اخرى

ب– النبات

يحدد نوع النبات النشاط الميكروبي في تحلل المبيدات وذلك من حيث طبيعة الجذور وانتشارها وما تتميز به منطقة الجذور (الرايزوسفير) بإفرازاتها المشجعة. وهذا مما يجعل النباتات البقولية لها منطقة جذور غنية، كما يرتبط بتأثير النبات مرحلة نموه اذ يكون نشاط الميكروبات أعلى ما يمكن في مرحلة النمو الخضري

جـ – المناخ :

ويشمل الحرارة والامطار، فمعظم ميكروبات التربة يلائمها الحرارة المتوسطة (20–35 درجة مئوية) كما ان الامطار توفر الرطوبة المطلوبة في المناطق التي يعتمد عليها نظام الري وكذلك للأمطار دوراً اساسياً في انتقال المبيدات المضافة الى التربة.

د– طبيعة المبيد :

يحدد نوع المبيد وتركيبه الكيميائي مدى قابليته للتحلل الميكروبي ويشترك في ذلك تركيزه، كما تحدد طريقة الاضافة الكمية التي تصل الى التربة من المبيد. فان كمية المبيد المضافة بطريقة الرش على النباتات وتصل الى التربة عادة ما تكون اقل من تلك المضافة مباشرة للتربة.

هـ – المعاملات الزراعية :

وهذه تشمل الحراثة والتسميد (عضوي ومعدني) والري (نوعه ومواصفات المياه) ومكافحة الآفات (نوعها وطريقة اضافتها وكميتها) وجميعها ذات تأثير هام على ميكروبات التربة.

هذا ويؤدي الاسراف في استخدام مبيدات الآفات الى اضرار بيئية مختلفة مالم تتخذ الاجراءات الحاسمة والالتزام بالمعايير البيئية والترشيد والحفاظ على الانسان والحيوان والنبات ومن هذه الاضرار :

1) ان قدرة ميكروبات التربة على تحليل المبيدات ليست مطلقة حيث تتحدد بنوع المبيد وكميته كما انها تتطلب وقتاً طويلاً وكذلك هناك الكثير من المبيدات لا يمكن للميكروبات تحليلها.

2) تحول بعض الآفات الزراعية الثانوية الى آفات رئيسية

3) زيادة قدرة الآفات على تحمل تراكيز عالية من المبيدات

4) قتل الكثير من الكائنات والحشرات النافعة للإنسان

5) تلوث المحاصيل وخاصة الفواكه والخضر

6) زيادة نسبة متبقيات المبيدات ونواتج تحطمها التي قد تكون أشد سمية من المركب الاصلي في التربة والهواء المحيط ومياه الصرف الزراعي

7) الاضرار بسياسة تصدير الحاصلات الزراعية في حالة ما اذا تجاوز مستوى متبقيات المبيدات اعلى من الحد المسموح به لدى الدول المستوردة

8) تأثر بعض المحاصيل التالية للمحصول السابق معاملته بالمبيد

9) اكتساب بعض الآفات للمناعة من التراكيز المستخدمة وزيادة التلوث أو تغيير المبيد واضافة مواد سامة جديدة

(المحاضرة الثامنة)

الميكروبات الممرضة للانسان والحيوان في التربة

Soil – Borne Human and Animal Pathogens

تصل الميكروبات التي تسبب امراضا للانسان والحيوان الى التربة من خلال افرازات وبقايا العوائل المصابة وكذلك من المياه السطحية الملوثة. ولعل من اهم تلك المصادر هو مياه المجاري التي تستخدم في الري بدون معالجة، وتشير الدراسات الى احتواء مياه الصرف الصحي على الميكروبات المسببة لامراض التيفوئيد والباراتيفوئيد والكوليرا والحمى والنزلات المعوية وامراض الجلد وغيرها. هذا بجانب الطفيليات المتوطنة كالاسكارس والانكلستوما وعلاوة على ذلك بعض فيروسات الامراض الخطيرة ، كما وان السماد غير المحضر جيدا له دور مهم في نقل عدد من الامراض . يتراوح عدد الميكروبات الممرضة في مياه الصرف الصحي غير المعالجة في حدود 10^5 الى 10^7 خلية / مل، ونفي نفس الوقت الذي يجب فيه الا يتجاوز هذا العدد من تلك الميكروبات عن عشرة خلايا لكل مللتر، وذلك بمعالجة مياه الصرف الصحي بطريقة فعالة تجعل استخدامها في الري آمناً. وقد يستمر نشاط بعض تلك الميكروبات بالتربة احيانا الى عدة اسابيع او شهور وهذا مما يشكل خطورة تلك الميكروبات على الصحة العامة، حيث تحتوي المياه غير المعالجة عامة على فيروسات ، بكتريا (مجموعة القولون ، سالمونيلا التيفوئيد ، كوليرا ، بروتوزوا، بيض الاسكارس وغيرها) . وتتحدد مدة بقاء الميكروبات الممرضة للانسان والحيوان تبعاً لوجود العائل، نوع التربة ورقم تفاعلها ، مياه الري (مصدرها ومحتواها الميكروبي ومعدلها وفترات الري)، الموسم الزراعي (حرارة الجو)، ونوع المحصول النامي.

من أهم الامراض التي يكون للتربة الزراعية دوراً فيها :

أ) للإنسان Human Diseases

حمى التيفوئيد Typhoid Fever الكوليرا Cholera الالتهاب الرئوي Pneumonia السل Tuberculosis الجذام Liprosy التيتانوس Tetanus وغيرها

ب) للحيوان Animal Diseases

التهاب الضرع Mostitis الاجهاض Abortion في الماشية وأمراض التيفوئيد والاسهال في الدجاج وغيرها.

وتعزى سرعة اختفاء البكتريا الممرضة في التربة الى عدم ملائمة الظروف البيئية او نقص الغذاء المناسب او غياب العائل، او تدميرها بواسطة كائنات أخرى تلتهمها كالبروتوزوا أو بكتريا أخرى أو فطريات.

وقد وجد ان بكتيريا التيفوئيد اذا ما اضيفت الى تربة رطبة ومزروعة يتم تدميرها بسرعة. ووجد ان بكتريا التيفوئيد تختفي في التربة خلال اسبوع وبكتريا القولون تختفي بسرعة في اكوام السماد وان بكتريا السل تبقى حية وفعالة في روث البقر المعرض على سطح أراضي المراعي لمدة خمسة أشهر شتاءً وتقل المدة بارتفاع حرارة الجو ووجد ان بكتريا البروسيللا تعيش في التربة لمدة ثلاثة أسابيع.

الميكروبات الممرضة للنبات في التربة

Soil – Borne Plant Pathogens

تنقسم الكائنات الدقيقة التي تسبب أمراض النبات الى خمسة مجموعات مميزة هي :

الفطريات Fungi

الاكتينومايسيتات Actinomycetates

البكتريا Bacteria

الصور الحيوانية Animal Forms

الفيروسات Viruses

وجميع هذه المجموعات موجودة في التربة ومعظمها يمكنه العيش لفترات طويلة وخاصة في وجود النبات العائل.

وتعتبر الفطريات هي اكبر واهم هذه المجموعات كما يلي :

- Myxomycetes : Plasmodiophora brassiceae.
- Phycomycetes : Phytophthora infestans,
- Ascomycetes : Botrytis cinerea,
- Fungi Imperfecti : phomo betae,

وقد تم عزل فطريات مختلفة من كل التربة المزروعة وغير المزروعة حتى في عدم سبق وجود النبات العائل. ومن المعروف ان فطريات Rhizoctonia Solani و Fusarium radicola التي تصيب البطاطا قد عزلت من اراضي لم يسبق زراعتها بالبطاطا بل ومن اراضي صحراوية. ووجد ان بعض البذور الخالية من المرض والمزروعة في اراضي جديدة غالبا ما تعطي انتاجاً مريضاً ، كما وجد ان الترب التي سبق زراعتها بالبرسيم او الحبوب تكون اكثر ملائمة لانتاج البطاطا من الاراضي البكر. ويمكن لبعض الفطريات الممرضة البقاء في الارض لسنوات طويلة، ومن النباتات التي يفضل أن تزرع بداية في أرض بر هو الكتان.

وهناك الكثير من الفطريات تعتبر اختيارية التطفل بامكانية نموها في غياب النبات العائل.

المكافحة غير الحيوية للميكروبات الممرضة في التربة
Non – Biological control of soil - Borne Pathogens

في البداية يجب ان نتذكر المثل القائل (الوقاية خير من العلاج) واذا ما طبقناه هذا فاننا نوجه الى تدارك الخطأ قبل وقوعه، باتباع ما يلي للحد من حدوث التلوث الميكروبي للترب الزراعية :

1) الالتزام بمعايير استخدام مياه الصرف الصحي في الري ليس فقط من ناحية تركيبها الكيميائي وبل ايضا وبصفة اساسية محتواها الميكروبي وكذلك بنوعية المحاصيل المسموح بريها بهذه المياه

2) عزل الحيوانات المريضة في الحضائر لعدم دخول افرازاتها في السماد الحيواني

3) عدم ضم بقايا النباتات المصابة في تحضير الكومبوست بل ومن الضروري حرقها في موقعها

4) تحضير السماد العضوي والكومبوست بطرق صحية سليمة

5) استنباط اصناف نباتية مقاومة للامراض الميكروبية المختلفة بتقنيات التهجين والهندسة الوراثية

6) الاتجاه الى تطبيق ضوابط الزراعة العضوية كلما أمكن خاصة في مناطق التوسع الزراعي الجديدة

وننتقل من وسائل الوقاية الى طرق المكافحة غير الحيوية للميكروبات المرضية وبعض الآفات في التربة وكما يلي :

أ) الدورة المحصولية Crop Rotation

هناك العديد من الميكروبات المرضية تبقى حية لفترات طويلة في التربة طالما تستمر زراعة وتواجد النبات العائل، بل ان بعض تلك الميكروبات المتطفلة يمكنها العيش في التربة لبعض الوقت وللتغلب على تلك الطفيليات يجب عدم توفر الظروف التي تسمح باستمرارها في التربة، وذلك بتغيير الدورة المحصولية في المنطقة باستبعاد زراعة المحصول العائل للمرض المعين وذلك لعدة سنوات. مثلا مرض تشوه الجذور لبنجر السكر والذي تسببه ديدان النيماتودا حيث لا يمكن التخلص منه الا بعدم زراعة هذه النباتات في المنطقة قبل مرور مدة تتراوح ما بين خمس الى ست سنوات.

ب) معاملة التربة بالطرق الكيميائية والفيزيائية

Chemical and physical methods of soil treatment

يعتبر التحكم في درجة التفاعل للتربة هو احد الطرق الفعالة في مقاومة الامراض المعدية وذلك باستخدام الكلس للترب الحامضية ومركبات البريت (الجبس ، كبريتات الامونيوم، الكبريت المعدني) للترب القلوية.

وتضاف الكميات من تلك المصلحات بما يناسب رقم تفاعل التربة الفعلي، مع الاخذ في الاعتبار قدرة التربة التنضيمية، حتى يتحقق الهدف من اضافة هذه المواد الكيميائية، ولا يتعلق تأثير مركبات الكبريت على تعديل رقم التفاعل فقط بل ان عنصر الكبريت نفسه له تاثير ذاتي مثبط على بعض الميكروبات الممرضة في التربة. فعنصر الكبريت يؤثر على ميكروب جرب البطاطا، كما انه يمكن لنفس العنصر تحديد قدرة ميكروب تقشر وجرب البطاطا.

وتؤدي اضافة أسمدة الفوسفات الحامضية الى الحد من نشاط الميكروبات المسببة لمرض الجرب، وكذلك تقوم الاسمدة الخضراء بتثبيط نفس المرض. كما تحدد الرطوبة العالية من نشاط الاكتينومايستات المسببة لمرض الجرب الذي تلائمه ظروف الجفاف. ولدرجة الحرارة دوراً في التاثير على الممرضات الميكروبية التي يلائمها الاعتدال عند درجات حرارة 20 – 30 درجة

مئوية، فاذا ما ارتفعت درجة الحرارة او انخفضت عن المعدلات المناسبة لتلك الميكروبات يقل نشاطها الممرض.

ج) التعقيم الكلي او الجزئي للتربة Complete or Partial Sterilization of Soil

يمكن اجراء تعقيم كلي للتربة أو فقط جزئي الذي لا يتم به تدمير جميع الممرضات وانما بعض مجموعات فقط. ويعتبر التعقيم الكلي للتربة صعباً في الحقل ، مما يجعل التربة معرضة لعودة التلوث مرة اخرى، ولذلك فهذا الاجراء غير مفضل. وعادة يتبع تعقيم التربة في المعمل بفرض تنمية ميكروب معين واختبار نقاء سلسلة محددة. وتستخدم لاغراض التعقيم اكثر من طريقة. فمنها الحرارية تحت ضغط باستخدام الاوتوكليف او فرن الهواء الساخن ومنها الاشعاشية باستخدام اشعة كاما.

ويستخدم التعقيم الجزئي للتربة بهدف تدمير حشرات ضارة معينة أو فطريات ممرضة، وليس كل التجمع الميكروبي في التربة. ويجري التعقيم الجزئي بالحرارة الجافة او الرطبة، أو ببعض المواد المعقمة (المطهرة) الطيارة أو غير الطيارة. ومن المعقمات الطيارة ثنائي كبريتيد الكربون ، تلوين، فورمالديهايد، حامض الهيدروسيانيك، ومن المعقمات غير الطيارة الفينول الكريزول وهذه المعقمات لا تتراكم في التربة، فهي اما ان تتطاير او تتحلل بواسطة الميكروبات.

د) استخدام كيمياويات خاصة Use of Special Chemicals for Treatment of Soil

يستخدم عدد من المركبات الكيميائية لمكافحة الفطريات والنيماتودا المختلفة، واهمها الفورمالديهايد ، حيث تعامل به التربة الملوثة بمعدل 0.045 – 0.050 % فيعطي نتائج جيدة، كما في حالة نيماتودا بنجر السكر حتى عمق 60 سم وليس أبعد من ذلك. ويستخدم الالفورمالين احيانا عقب البنزول الخام لمكافحة مرض ذبول البطاطا، وكذلك يستخدم ثنائي كلوريد الزئبق ومطهرات اخرى لمكافحة امراض نبات مختلفة. فقد وجد ان استخدام محلول كلوريد الزئبقيك بتركيز 1:1100 أو 1:1200 تخلص التربة من امراض الجذور (اليرقات ، التشوه ، العفن الاسود)

المكافحة الحيوية للميكروبات الممرضة في التربة

Biological control of soil – Borne Pathogens

أولاً : التضاد فيما بين ميكروبات التربة

يقصد بالتضاد بين ميكروبات التربة تثبيط او تدمير ميكروب أو مجموعة ميكروبية بواسطة ميكروبات اخرى وهذا التضاد يرجع الى عدة اسباب كما يلي :

1) استهلاك المصادر الصالحة للغذاء

2) تغيرات فيزيوكيميائية في الوسط نتيجة نشاط بعض الميكروبات والتي بدورها تؤثر سلباً على نشاط ميكروبات اخرى. وهذه الحالة مثل تغير اي من الضغط الازموزي او الشد السطحي او جهد الاكسدة والاختزال او رقم التفاعل

3) التنافس على موقع معين في الوسط

4) انتاج انزيمات او سموم من ميكروب تؤثر على آخر

5) تدمير أو تطفل بعض الميكروبات على غيرها، كتدمير البروتوتزوا للبكتريا او تغذيتها عليها، وتطفل النيماتودا على بعض الخنافس

وتأخذ عملية التضاد الصور التالية :

أ. التنافس Competition

يحدث التنافس بين ميكروبات التربة اساسا على ندرة الغذاء او اي من عناصره (الكربون، النتروجين، الفسفور) فاذا ما توفر ينتهي التنافس ، وكذلك يحدث التنافس مكانياً خاصة في منطقة الجذور وهذا يرتبط بتوفر الغذاء والمنشطات في هذه المنطقة

ب. الاضرار Amensalism

تعرف هذه الصورة من التضاد بانها الحالة التي يضار فيها ميكروب من آخر نتيجة افراز مادة سامة أو مواد من شأنها تغيير ظروف البيئة دون ان يتأثر الميكروب المسبب نفسه.

جـ. الافتراس والتطفل Predation and Parasitism

وهي الحالة التي يهاجم فيها ميكروب ما نوعاً آخر بفرض التهامه أو التطفل عليه . فالبروتوزوا تتغذى على البكتريا وبعض فطريات العفن. ويتم ذلك اما بتحلل الخلية البكتيرية انزيمياً او بالالتهام المباشر ، وكذلك تتعرض بعض الطحالب والفطريات والخمائر لعمليات التحلل بانزيمات الميكسو بكتريا وهناك الكثير من الميكروبات لها قدرة الافتراس مثل :

Bacillus , Pseudomonas , Flavobacterium

وبصفة عامة يبين الجدول التالي حالات التضاد فيما بين ميكروبات التربة

المرض والعائل	الميكروب المستهدف	الميكروبات المضادة
		Bacteria and actinomycetes
Crown gall of crucifers, roses, and fruit trees	*Agrobacterium tumefaciens*	*Agrobacterium radiobacter*
Damping off of cotton and legumes	*Pythium ultimum* *Rhizoctonia solani*	*Bacillus subtilis*
Fusarium wilt of radish	*Fusarium oxysporum f. sp. raphani*	*Pseudomonas fluorescens*
Damping off of crucifers	*Alternaria brassicicola*	*Streptomyces griseoviridis*
Carnation wilt	*Fusarium oxysporum f. sp. Dianthi*	
		Fungi
Sunflower disease	*Sclerotinia sclerotiorum*	*Coniothyrium minitans*
Fusarim wilt of sweet ptotato	*Fusarium oxysporum. f. sp. batatas*	*Fusarium oxysporum* (nonpathogenic)
Fusarium wilt of tomato and carnation	*Fusarium oxysporum*	
Fusarium wilt of basil, carnation, and tomato		
Damping off	*Pythium spp.*	*Gliocladium catenulatum*
Damping off of bedding plants	*Pythium ultimum and Rhizoctonia solani*	*Gliocladium virens*
Stem and root rot of pine	*Heterobasidion annosum*	*Peniophora (Phlebia) gigantean*
Damping off of sugar beet	*Pythium ultimum*	*Pythium oligandrum*
Fruit and vegetables	*Botrytis, Pythium, Sclerotinia and Verticillium spp.*	*Trichoderma spp.*
Honey fungus of trees	*Armillaria mellea*	
Stem and root rot of pine	*Heterobasidion annosum*	
Damping off of pea	*Pythium sp.*	*Trichoderma harzianum*

ثانياً : الميكروبات المقاومة لبعض الآفات والميكروبات الممرضة للنبات في التربة

وتعرف هذه العمليات التطبيقية كذلك بـ (المبيدات الحيوية ميكروبيا) وفيها يجري تلقيح للتربة بميكروبات فعالة في التخلص من آفات أو ميكروبات ممرضة محددة، وهذه الطريقة تعتبر آمنة وصديقة للبيئة، وتعتبر من اهم أسس الزراعة العضوية، ولا يعيب هذه التقنية الا بطئ تأثيرها على آفاتها المقصودة وكذلك محدودية نطاق تأثيرها فهي ذات تخصص محدد لعائل أو لعوائل معينة ، بجانب أن تستخدمها يحتاج لدقة في التوقيت والظروف المناسبة.

(المحاضرة التاسعة)

الفلزات الثقيلة

المعادن الثقيلة عبارة عن عناصر كيميائية بنائية للمعادن مثل الرصاص والزنك والزرنيخ والكادميوم والنحاس والتيتانيوم والالمنيوم والزئبق وغيرها وتكون على هيئة معدن فلزي او هيئة املاح ذائبة. وتستخدم في اشياء كثيرة جداً . حيث يستخدم معدن الرصاص على هيئة معدن فلزي في السبائك المعدنية والطلاء المعدني وفي صناعة الذخيرة وتستخدم برادته في صناعة الاحبار والصهر الخشن. كما تستخدم املاح الرصاص في الصناعات البلاستيكية كعامل حافز وتستخدم في بطاريات السيارات وكسموم للقوارض وتستخدم معقداته العضوية كمادة مضافة للوقود لزيادة عدد الاوكتان. اما النحاس فاستخداماته عديدة جداً فيستخدم في صناعة السيارات والاسلاك والاجهزة المنزلية واملاحه في صناعة المبيدات الحشرية، والزنك يشبه النحاس في استخداماته. كذلك الزئبق يستخدم كفلز سائل في صناعة الحساسات الحرارية وتستخدم املاحه في صناعة المبيدات الحشرية، والكادميوم في صناعة البطاريات الجافة.

مصادر المعادن الثقيلة في التربة

أولاً : مصادر طبيعية

التربة تكونت من خليط من معادن نتجت من ملوثات التجوية الفيزيائية والكيميائية والحيوية لصخور القشرة الارضية مكونة من مادة الاصل ومن ثم فانها تتواجد طبيعياً في التربة لانها جزء من مكوناتها

ثانياً : مصادر ناتجة عن النشاط الانساني

1. مخلفات الصرف الصحي والصناعي: حيث ان جميع انواع المخلفات تحتوي على تراكيز عالية من العناصر السامة الا ان المخلفات الناتجة من الصرف الصناعي تحتوي على ملوثات غير عضوية بتراكيز اعلى بكثير من المخلفات الناتجة من الصرف الصحي. وتعتبر عناصر الكادميوم والزنك والنيكل والنحاس من اهم العناصر التي تسبب مشاكل في الانتاج الزراعي عند اضافة المخلفات الى التربة

2. التخلص من المخلفات الصلبة والسامة : مثل مخلفات المنازل والمصانع والمستشفيات يمكن ان تؤدي الى تلوث التربة بالعناصر الصغرى والثقيلة فالتخلص منها سواء بالقائها او دفنها في التربة يؤدي الى تلوث التربة وانتقالها الى المياه الجوفية.

3. احتراق الوقود (فحم – بترول): وينتج عنه عدد كبير من العناصر الثقيلة والصغرى تشمل الرصاص والكادميوم والكروم والسيلينيوم والباريوم والنحاس والقصدير والزنك والتي تترسب على الاراضي المحيطة كما ان احتراق البترول الذي يحتوي على اضافات من الرصاص يعتبر من اهم مصادر تلوث التربة.

4. الصناعات التعدينية وذلك بعدة طرق منها :

* انبعاث الغبار المحتوي على هذه العناصر ويترسب على التربة والنبات

* المخلفات السائلة.

* استخدام العديد من العناصر في صناعة السبائك والصلب والتي ينتج منها مخلفات تؤدي الى تلوث التربة

5. المواد والكيميائيات المستخدمة في الزراعة بالممارسات الزراعية غير الرشيدة

والمصادر الرئيسية لهذه الممارسات تشمل :

* الشوائب والعناصر الثقيلة السامة الموجودة في الاسمدة الكيميائية

* أسمدة طبيعية من مخلفات المجازر والدواجن والتي تحتوي على تراكيز عالية من الزنك والنحاس وتسبب سمية للنبات

* المبيدات الكيميائية

* الاسمدة الطبيعية المصنعة من المخلفات

6. الحروب والتدريبات العسكرية حيث تتلوث الاراضي التي حدثت بها المواقع الحربية بعنصر الرصاص الناتج من الذخيرة وعنصري النحاس والزنك الناتجين من فوارغ الذخيرة ايضا بالعديد من الملوثات العضوية الناتجة من زيوت المدرعات والشحوم.

طرق وصول المعادن للبيئة :

* **عن طريق الجو** : حيث تطلق مداخن المصانع العديد من اكاسيد المعادن الى الهواء الذي يتلوث وينتقل هذا التلوث الى الانسان والحيوان والنبات

* **عن طريق عوادم السيارات** : أكاسيد الرصاص الناتجة من احتراق رابع ايثيل الرصاص الى الجو وهذه احدى أكبر طرق التلوث بالرصاص

* **عن طريق الماء** : حيث تصب مخلفات بعض المصانع المجاورة للبحر في المياه فتؤدي الى تلوث الكائنات البحرية بالمعادن وانتقالها عن طريق الصيد البحري الى الانسان والحيوان عن طريق التربة وهذه طريقة انتقال الفلزات حيث تصدأ المعادن المرمية على الارض بفعل الرطوبة فتذوب مع المياه والامطار وتنزل في طبقات التربة مؤدية الى تلوث المصادر مياه الشرب الجوفية والنباتات بالمعادن أخطار هذه المعادن كثيرة فتتراوح بين التسمم الغذائي والتسمم المعدني مرورا بالسرطانات والطفرات الجينية وانتهاء بالوفاة . ونأخذ بعض هذه المعادن كأمثلة :

الرصاص :

يعتبر الرصاص ملوثا خطيرا للجهاز العصبي يسمى علميا accumulative poison أي سم تراكمي يتراكم في الدماغ مسبباً الخرف المبكر والطفرات الجينية المسببة لتشوه الاجنة والسرطان.

الزئبق :

أحد أخطر الملوثات المعدنية يسبب التعرض لأملاحه الحكة الجلدية الشديدة ويسبب سرطان الجلد أما الفلز السائل الذي يلعب به اطفالنا عندما ينكسر مقياس الحرارة أو التيرمومتر فعند مرور السائل على جرح فيؤدي الى الوفاة فوراً

الزرنيخ :

يكسر الدم استخدام قديماً كسم قاتل في الاغتيالات .

النحاس :

في حالته الفلزية المعدنية لا يضر ولكن املاحه قاتلة وتسبب تكسر كريات الدم ولها لون أزرق مخضر مميز.

ثالثاً : التلوث بالاسمدة الكيميائية :

مع اتباع اسلوب الزراعة المكثفة اصبح هناك استنزاف مستمر للعناصر الغذائية الموجودة بالتربة وخاصة النتروجين ومع محدودية استخدام الاسمدة العضوية والاتجاه نحو استخدام الاسمدة الكيميائية وخاصة النتروجينية قد ادى الى التلوث بالنترات. بالاضافة الى ان مركبات الفسفور تؤدي الى ترسيب بعض العناصر النادرة الموجودة في التربة الزراعية والتي يحتاجها النبات في نموه وتحويلها الى مركبات عديمة الذوبان . فالبكتريا والكائنات الدقيقة الاخرى بالتربة وتقوم بتحويل المواد النتروجينية في هذه الاسمدة الى نترات وهذا يزيد من خطر تلوث التربة بالنترات . وتتوقف كمية النترات المغسولة من جسم التربة على عوامل عدة:

- كمية المياه الراشحة من التربة
- كمية النترات في التربة
- نوع التربة
- نظام الزراعة
- طريقة الري المستخدمة

– نوع السماد المستخدم

– نوع وعمر النبات النامي

ويكون الفقد اكبر ما يمكن في الاراضي الرملية وقليلا في الاراضي المزروعة بالحشائش وكبيراً عند زراعة محاصيل ذات نمو قصير وعموماً توجد علاقة قوية بين كمية النترات المفقودة بالغسيل من التربة ونظم اضافة السماد. وفي نفس الوقت يمتص النبات جزء منها ويكون هناك عدم اتزان بين العناصر الغذائية داخل النبات مما يؤدي الى تراكم كميات كبيرة من النترات في الاوراق والجذور وينتج عنه تغير في طعم الخضراوات والفاكهة وتغير ألوانها ورائحتها.

عوامل وأسباب التلوث بالاسمدة الكيميائية :

أ) **التكثيف المحصولي** : يؤدي الى استنزاف مستمر للعناصر الغذائية الموجودة في التربة وخاصة النتروجين مما يستدعي استخدام الاسمدة الكيميائية بغزارة

ب) **معدل سقوط الامطار والري** : تؤدي زيادة الى فقدان هذه الاسمدة النتروجينية في باطن الارض الامر الذي يؤدي الى تلوثها أو تشارك مع مياه الصرف الزراعي في نقلها الى المجاري المائية ومن ثم تضر الكائنات الحية والنباتات عند اعادة استخدامها في الري. اما الاسمدة الفوسفاتية فهي لا تذوب في الماء والاسراف فيها يؤدي الى ترسيب بعض العناصر النادرة في التربة والتي يحتاجها النبات في نموه وتحويلها الى مواد عديمة الذوبان في الماء حيث تمون هذه العناصر بعيدة عن جذور النباتات ولا تستطيع امتصاصها.

ج) **البكتريا والكائنات الدقيقة الحية** : تقوم بتحويل المواد النتروجينية في هذه الاسمدة الى نترات وهذا يزيد من خطر تلوث التربة بالنترات .

رابعاً: النظائر المشعة

وتشمل مصادر النظائر المشعة المصنعة اختبارات الاسلحة النووية السائلة للمفاعلات النووية ومحطات الطاقة – حوادث نقل الوقود الذري والمخلفات السائلة للمفاعلات النووية . وتلوث التربة بالنظائر المشعة عند اجراء اول اختبار نووي عام 1950 حيث تسربت كميات هائلة من عنصري Cesium (Cs 137) و Strantium (Sr 90) الى البيئة .

كيفية التعامل مع الاراضي الملوثة :

يجب ان يكون ذلك وفق طرق حديثة مثل استخدام نظم المعلومات الجغرافية لجمع البيانات عن الاراضي الملوثة . ان توفر البيانات الجيدة هو احد المتطلبات لأخذ القرار المناسب في تخطيط استعمال الاراضي الملوثة وان تجميع البيانات يكون ذا اهمية حيث يشمل النقاط التالية :

1. التعرف على التأثيرات الصحية والبيئية وتقييمه
2. تحديد اولويات العمل بالمناطق المتضررة
3. تخطيط الاستعمال المستقبلي للارض
4. وضع خطة عمل للاستصلاح
5. المساعدة في تقييم الاراضي

ويجب ان تشمل تلك المعلومات الآتي :

وصف الموقع وجيولوجية الموقع ونوعية التربة وهيدرولوجية وهيدروجيولوجية الموقع . تاريخ الموقع والدراسات السابقة والاعمال السابقة لمحاولة استصلاح الموقع التعرف على نوعية الملوثات .

وفي هذا الصدد يمكن الاستفادة من نظام البيانات الجغرافية بواسطة الحاسب الالي فيما يلي :

- **تقييم الموقع**

ان تقييم مقدار التلوث ضروري لاتخاذ القرار السليم بشأن الموقع الملوث وعليه يجب أن تتوفر فيمن يقوم بعملية التقييم الخبرة الكافية واستخدام الاستراتيجيات المناسبة للمعالجة وان خلاصة عمله وتوصياته تكون مدعمة بالبيانات التي يتم تجميعها اثناء الدراسة

- **تطبيق المعايير**

يوجد العديد من المعايير لتلوث التربة بالمواد الملوثة حيث يتم الاستناد الى احد تلك المعايير وتحديد التراكيز المسموح بها والتراكيز التي تشكل خطراً على البيئة

- **استراتيجيات تقييم الموقع**

ان عملية تقييم الموقع يجب ان تأخذ في الحسبان الخطر على الصحة والخطر على البيئة واختيار نهج معين من خلال :

- تحديد الخواص الطبيعية للتربة
- تحديد الملوثات وتوزيعها بالموقع
- تحديد مخاطر الملوثات على الصحة

وحتى يتم هذا العمل يجب ان يتضمن عمل مكتبي واستكشافي للموقع ودراسة طبيعة الموقع وتقييم الخطر الناتج عن الملوثات.

ينتج عن تقييم الموقع في العادة أحد القرارات الآتية :

1. ان الموقع مناسب للاستعمال الحالي والمقترح
2. ان الموقع غير مناسب للاستعمال الحالي أو المقترح الا بعد اجراء عمليات المعالجة المناسبة
3. ان الموقع غير مناسب للاستعمال الحالي او المقترح

(المحاضرة العاشرة)

معالجة الاراضي الملوثة

تتم عملية معالجة واستصلاح المواقع الملوثة بطرق عديدة مثل الطرق الهندسية والتي تتضمن جمع ودفن الملوثات بموقع اخر مناسب. التخلص من الملوثات في موضع يتم اعداده بالموقع وفق مواصفات معينة. عزل الموقع وذلك اما بسياج حوله او بعمل غطاء مناسب لمنع انتقال الملوثات.

طرق المعالجة :

1) **المعالجة الطبيعية** : غسيل التربة وتبخير المواد الكيميائية المتطايرة والفصل بالجاذبية

2) **المعالجة الحرارية** : التبخر والحرق

3) **المعالجة الكيميائية** : تعديل درجة التفاعل والاختزال / الاكسدة والتميؤ والتثبيت بواسطة المعالجة الكيميائية وتكوين مركبات غير قابلة للذوبان.

4) **المعالجة الحيوية** : ويستخدم لهذا الغرض البكتريا والفطريات والنباتات المراكمة للملوثات

اختيار عملية المعالجة تعتمد على :

1- نوعية الملوثات وكمياتها

2- التحكم في ادارة النفايات

السيطرة على العمليات الصناعية والتجارية ليس الحد من عمليات تصريف المواد الصلبة والسائلة فقط ولكن القيام برصد والسيطرة على حوادث التصرف (مثل حدوث تسرب من خطوط وخزانات الوقود الى المياه الجوفية والتربة) منع حدوث أي تلوث بالقرب من التجمعات السكانية وموارد مياه الشرب وذلك باختيار الاماكن المناسبة للتخلص من النفايات الصلبة والسائلة.

التقنيه	المميزات	العيوب	التكلفه النسبيه
في موقع التلوث In Situ			
- التطاير Volatilization	تستطيع ازالة المركبات المقاومه للتحلل البيولوجي	محدوده فقط للمركبات العضويه المتطايره	منخفضة
- التحلل البيولوجي Biodegradation	فعاله بالنسبه للمركبات غير المتطايره	تحتاج الى وقت طويل long-term time frame	متوسطة
- الغسيل Leaching	يمكن استخدامها في العديد من المركبات	غير شائعة الأستخدام	متوسطه
- العزل / الأحتواء isolation/ containment	تمنع أنتقال الملوثات طبيعيا physically	لايتم التخلص من الملوثات	قليلة-متوسطة
- phytoremediation	فعالة للعناصر الثقيلة	تحتاج لتكنولوجيا خاصة لإستخلاص الملوثات من النبات	قليلة
في غير موقع التلوث None - in situ			
- معالجة التربه Land treatment	تستخدم عمليات التحلل الطبيعيه	يتبقى بعض الملوثات	متوسطة
- المعالجه الحراريه Thermal treatment	يحتمل التخلص نهائيا من الملوثات	تحتاج الى معدات خاصه	عالية
- أستخدام الأسفلت Asphalt incorporation	يستخدم المعدات الموجوده	ازاله غير كامله للمركبات الثقيله	متوسطة
- التصلب Solidification	تجعل المركبات غير متحركه	غير شائعه الأستعمال في التربه	متوسطة
- الأستخلاص الكيميائي Chemical extraction		غير شائعه الأستعمال في التربه	عالية
- إزالة التربه Excavation	ازالة التربه من الموقع	إمكانية نقل الملوثات	متوسطة

تقنية ازالة الملوثات من التربة :

يوجد العديد من المحاولات لازالة الملوثات من التربة وذلك باستخدام تقنيات مختلفة. وللأسف فان هذه التقنيات غير كافية لازالة الملوثات وغالباً ما يستخدم أكثر من تقنية لتنظيف التربة حيث ان التركيب المعقد للتربة ووجود العديد من الملوثات يجعل ازالة الملوثات من التربة أمراً صعباً ومكلفاً.

أولاً: الطرق المستخدمة في موقع التلوث In Situ Methods

لا يتم في هذه الطرق نقل التربة من موقعها مما يخفض من احتمالات تلوث مناطق اخرى، ومن هذه الطرق :

1. التطاير Volatilization

وتتم هذه التقنية في الموقع وذلك عن طريق امرار تيار من الهواء خلال أنابيب شبكية تسمح بسريان الهواء في التربة. وفي هذه الحالة تستخدم بعض المعاملات مثل الكربون النشط activated carbon لادمصاص الملوثات المتطايرة وهذه التقنية محدودة فقط للمركبات العضوية الكربونية المتطايرة.

2. التحلل البيولوجي Biodegradation

وفي هذه الطريقة يتم زيادة قدرة الكائنات الدقيقة على تحلل الملوثات طبيعياً وذلك عن طريق زيادة اعدادها ونشاطها. وتتأثر عملية التحلل البيولوجي للملوثات بالصفات البيئية والكيميائية للتربة مثل الرطوبة ودرجة الحموضة pH ودرجة الحرارة والميكروبات الموجودة وصلاحية العناصر. وتتم عملية التحلل البيولوجي في التربة تحت الظروف الهوائية وفي مدى pH تتراوح بين 8 – 5.5 والدرجة المثلى (درجة الحموضة تساوي 7 ودرجة الحرارة من 293 الى 313 كلفن) ويجب أن نأخذ في الاعتبار ان الميكروبات قد تكون فعالة في تحلل ملوث ما دون آخر.

3. الغسيل Leaching

وفي هذه الطريقة يتم غسيل التربة بالماء وغالباً ما يستخدم ايضاً Surfactants (مادة نشطة سطحياً تتكون من مواد محبة للماء وأخرى كارهة للماء وتعمل على تخفيض التوتر السطحي) لازالة الملوثات. ويتم تجميع الماء بعد الغسيل باستخدام نظام تجميع ثم التخلص منه. واستخدام هذه الطريقة محدودة للغاية لأنه يتطلب استخدام كميات كبيرة من الماء لازالة الملوثات بالاضافة الى ان التخلص من الماء وما يحتويه من ملوثات يكون مكلفاً للغاية وكفاءة عملية الغسيل تعتمد على نفاذية ومسامية وقوام التربة والتركيب المعدني للتربة ودرجة تجانس التربة. حيث ان كل

هذه العوامل تؤثر على درجة تحرر وانطلاق desorption (release) الملوثات من التربة ومعدل غسيل الملوثات خلال التربة.

4. العزل Isolation / Containment

وفي هذه الطريقة يتم عزل الملوثات في مكانها ومنعها من الانتشار وذلك باستخدام عازل طبيعي physical barrier مثل الطين وذلك بتقليل الهجرة الافقية. وحديثاً فان العلماء يدرسون استخدام Surfactants مع الطين وذلك لزيادة امتصاص الملوثات العضوية على سطوح هذه المواد وبالتالي تقلل من حركة الملوثات.

ثانياً : الطرق المستخدمة بعيداً عن موقع التلوث Non-in Situ Methods

وفي هذه الطرق يتم ازالة التربة الملوثة ومعالجتها في مكان اخر. ويؤخذ على هذه الطرق احتمالات نقل التلوث الى مناطق اخرى خلال عمليات النقل والمعالجة ومن هذه الطرق:

1. معالجة الارض Land Treatment

وفي هذه التقنية يتم ازالة التربة ونشرها على مساحة من الارض حتى يمكن للعمليات الطبيعية مثل التحلل البيولوجي والتحلل الضوئي أن تأخذ مجراها للتخلص من الملوثات. وفي هذه الطريقة يتم ضبط درجة حموضة التربة = 7 لخفض حركة العناصر الثقيلة ولزيادة نشاط وفعالية ميكروبات التربة كما يتم اضافة المغذيات لتنشيط الميكروبات وبعد ذلك تخلط التربة الملوثة مع تربة اخرى وذلك لزيادة التلامس بين الملوثات والميكروبات وخلق ظروف هوائية.

2. المعالجة الحرارية Thermal Treatment

وفي هذه الطريقة يتم تعريض التربة لدرجة حرارة عالية باستخدام فرن حراري وتعمل درجة الحرارة العالية على تكسير الملوثات وتنطلق غازات ويتم تجميع الغازات وحرقها أو استخلاصها بواسطة مذيبات

3. استخدام الاسفلت Asphalt Incorporation

وفي هذه الطريقة يتم اضافة الاسفلت الساخن الى التربة وخلطها واستخدام المخلوط في رصف الطرق وهذه الطريقة تعمل على ازالة بعض الملوثات من التربة بالتطاير والجزء الباقي يصبح غير متحرك لخلطه بالاسفلت.

4. التصلب Solidification / Stabilization

وفي هذه التقنية يتم اضافة بعض المواد الى التربة المزالة وذلك لتغطيتها بمادة صلبة أي أن التربة تتحول الى ما يشبه الكبسولة encapsulated وبعد ذلك يستخدم المخلوط في Landfill وبذلك تصبح الملوثات غير قادرة على الحركة ويعيب هذه الطريقة أن الملوثات لم يتم التخلص منها وغالباً ما تستخدم هذه الطريقة لتقليل التلوث بالملوثات غير العضوية.

5. الاستخلاص الكيميائي Chemical Extraction

وفي هذه التقنية يتم خلط التربة المزالة بمذيب أو Surfactant أو مخلوط منهما. وذلك لفصل الملوثات واستخلاصها من التربة وبعد ذلك يتم غسل التربة للتخلص من المذيب وما يحمله من ملوثات ثم يتم ترشيح المذيب بعد ذلك ومعاملته لازالة الملوثات وهذه التقنية عالية التكاليف ونادراً ما تستخدم.

6. ازالة التربة Excavation

وفي هذه الطريقة يتم نقل التربة الملوثة الى مكان آخر وغالباً ما يكون Landfills التي تحتوي على حواجز طبيعية تمنع حركة الملوثات وعمليتي الازالة والنقل تكلفتهما عالية بالاضافة الى ان نقل التربة الى مكان آخر قد يؤدي الى تلوث الماء الارضي.

يتضح مما سبق ان التكنولوجيات المستخدمة لازالة الملوثات من التربة هي في الغالب مضيعة للوقت ومكلفة للغاية بالاضافة الى امكانية خلق مخاطر اضافية للعاملين وانتاج مخلفات ثانوية لذلك فانه من البديهي أن نتطلع الى تكنولوجيا جديدة يتم تطويرها بحيث تصبح قادرة على ازالة الملوثات من مواقع التلوث بكفاءة عالية وتكلفة معقولة وتعتبر التكنولوجيا الحيوية أحد البدائل

الواعدة لازالة الملوثات من التربة عن طريق تنشيط العمليات الطبيعية في التربة ويمكن للنباتات أن تلعب دوراً هاماً في هذا الشأن وبتكلفة بسيطة بالمقارنة الى الخيارات الاخرى.

ثالثاً : معالجة الاراضي الملوثة باستخدام النباتات (Phytoremediation)

يستخدم Phytoremediation أساساً للتعبير عن امكانية استخدام أنواع النباتات ذات القدرة العالية على امتصاص وتجميع وتركيز مستويات عالية من العناصر في انسجتها وذلك لمعالجة الاراضي الملوثة وأغلب هذه النباتات تكون عشبية محدودة النمو وتنمو في مواقع المناجم القديمة الغنية بالعناصر ولذلك تتركز الجهود الان على تحسين نمو النباتات المجمعة للعناصر hyperaccumulation لاستخدامها في معالجة الاراضي الملوثة ومن الناحية الاخرى ولمحدودية المجموع الخضري للنباتات المجمعة للعناصر فانه يجري دراسة استخدام وتقييم بدائل من النباتات ذات المجموع الخضري الكبير مثل الاشجار والحشائش لاستخدامها في المعالجة على الرغم من ضعف مقدرة هذه النباتات نسبياً على تجميع العناصر بالمقارنة بالنباتات العشبية الاخرى ان مجال استخدام النباتات في معالجة الاراضي الملوثة في الوقت الحاضر أصبح أكثر اتساعاً ليشمل جميع العمليات التي تستخدم فيها النباتات بهدف عزل أو ازالة الملوثات مثل خفض حركة وتحلل وتطاير الملوثات غير العضوية مثل العناصر الثقيلة والنظائر المشعة والملوثات العضوية وسوف يتم التركيز على استخدام النباتات بجميع انواعها بما في ذلك المحاصيل الحقلية في معالجة الاراضي الملوثة بالمواد العضوية وغير العضوية. ولما كانت المعالجة النباتية للأراضي الملوثة تعتبر تقنية جديدة فان معظم الدراسات التي اجريت عليها هي عبارة عن تجارب معملية او تجارب داخل البيت الزجاجي أو تجارب حقلية على نطاق ضيق كان الغرض منها اختبار وتطوير هذه التقنية الجديدة.

العمليات الاساسية في معالجة الاراضي الملوثة باستخدام النباتات Phytoremediation

تعرف Phytoremediation بأنها التقنية التي تستخدم النباتات الخضراء لمعالجة الاراضي الملوثة بالكيمياويات والمواد المشعة. وتوجد خمس عمليات أساسية يمكن عن طريقها استخدام النباتات لمعالجة الاراضي والرسوبيات والمياه الملوثة. وهذه العمليات ينتج عنها ازالة الملوثات من التربة أو احتوائها وذلك تبعاً لاستراتيجية المعالجة.

عمليات المعالجة النباتية Phytoremediation Processes

أ. عمليات عزل الملوثات Containment processes

وهذه تنقسم الى :

(أ) تثبيت بواسطة النباتات Phytostabilization

وتعرف بأنها استخدام النباتات المقاومة للملوثات بغرض التثبيت الميكانيكي للتربة الملوثة وذلك لمنع انتقال حبيبات التربة الملوثة بواسطة عوامل التعرية والهواء الى البيئات الاخرى بالاضافة الى ان غسيل الملوثات يقل بشدة نتيجة لارتفاع معدل التبخر–نتح من التربة المزروعة بالمقارنة مع التربة غير المزروعة.

(ب) تقييد الحركة بواسطة النباتات Phytoimmobilization

وهي استخدام النباتات لتقييد حركة وانتقال الملوثات الذائبة في التربة ويعتبر هذا التعريف هو تعديل لتعريف Phytostabilization والذي نعتقد أنه يعبر تعبيراً صحيحاً عما يحدث في الواقع.

(ج) عمليات ازالة الملوثات Removal Processes

وهي عمليات استخلاص المكونات العضوية والمعدنية من التربة عن طريق الامتصاص بواسطة النباتات وانتقالها الى المجموع الخضري الموجود فوق سطح التربة

(د) عمليات التحلل بواسطة النباتات Phytodegradation

وهي عمليات الامتصاص والتحلل داخل النبات أو تحلل المواد العضوية بواسطة النباتات بمساعدة الميكروبات في منطقة الجذور الرايزوسفير

(هـ) عمليات التطاير بواسطة النباتات Phytovolatilization

وتتم عن طريق انزيمات متخصصة يمكنها تحوير وتحلل في النهاية تطاير الملوثات في نظام التربة – النبات والميكروبات.

وعن طريق الثلاث عمليات السابقة (الاستخلاص والتحلل والتطاير بواسطة النباتات) يمكن التخلص من ملوثات التربة وتتوقف درجة ازالة الملوثات من التربة على نوع الملوثات والخواص الجيوكيميائية للتربة. ونتيجة لان البكتريا والفطريات في التربة مع الجذور تلعب دوراً هاماً في هذه العمليات فاننا سوف نشير الى المعالجة النباتية بأنها نظام المعالجة النباتية والميكروبية.

النباتات المتحملة للملوثات Plant tolerance to pollutants

تكنولوجيا استخدام النباتات في معالجة الاراضي الملوثة تعتمد أساساً على مقاومة النباتات للملوثات والتي تعني مقدرة النباتات على تجميع تراكيز عالية من المواد السامة في انسجتها دون أن تتأثر دورة حياتها ولكي يتم تكوير النباتات المتحملة للملوثات يجب أولاً فهم مقاومة النباتات للأثر السام والضار للملوثات العضوية وغير العضوية فيعزى مقاومة النباتات للعناصر الثقيلة الى ما يلي :

1. ارتباط العنصر بجدران الخلايا
2. وجود غشاء مقاوم للعناصر الثقيلة
3. النشاط الزائد للخلايا للتخلص من العناصر الثقيلة.
4. وجود انزيمات مقاومة للعناصر الثقيلة.
5. حصر العناصر الثقيلة في مكان واحد مثل تجمع العناصر في فجوات الخلايا.
6. خلب العناصر بواسطة الروابط العضوية أو غير العضوية.
7. تركيب مركبات العنصر قليلة الذوبان.

ولقد أوضح العلماء حدوث عمليات بيوكيميائية تساعد على مقاومة النباتات للعناصر الثقيلة الى وجود جين معين متخصص فقد اثبت احد الباحثين وجود جين مقاوم للعناصر الثقيلة داخل بعض النباتات يعمل على التحكم في انتقال الكادميوم المخلوب عبر غشاء النواة الى مكان التخزين في خلايا الخميرة المقاوم للكادميوم وعموماً حتى الآن لم يثبت بالدليل القاطع أن مقاومة النباتات للعناصر الثقيلة يرجع الى جين واحد فقط أم الى مجموعة من الجينات داخل النبات

ويعتبر حصر التراكيز الزائدة من العناصر في الفجوات العصارية للخلايا أو في الاوراق استراتيجية فعالة يتبعها النبات لتفادي التأثير السام لهذه العاصر ولقد ثبت بالفعل تجمع عنصري الكادميوم والزنك في فجوات خلايا النباتات المقاومة للعناصر.

كما ان تجمع العناصر في الاوراق وسقوط الاوراق فيما بعد تعتبر ميكانيكية محتملة يتبعها النبات لمقاومة العناصر الثقيلة فاذا كانت النباتات المقاومة تتبع هذه الاستراتيجية لتحمل العناصر الثقيلة وكان كمية الاوراق المتساقطة كبيرة فهذا يعني أن هذه النباتات يجب ان لا تستخدم في المعالجة النباتية للأراضي الملوثة.

(المحاضرة الحادية عشر)

تلوث المياه

يعد الماء عصب الحياة فقد قال الله سبحانه وتعالى (وجعلنا من الماء كل شيء حي). ومن المعروف ان الغلاف المائي يمثل اكثر من 70 % من مساحة الكرة الارضية ويبلغ حجم هذا الغلاف حوالي 1400 مليون متر مكعب منها حوالي 97% من هذه الكمية مياه البحار والمحيطات والنسبة الباقية تشمل المياه الجليدية الموجودة في جبال الجليد بالقطبين الشمالي والجنوبي والانهار الجليدية والمياه الجوفية . أما المياه العذبة الموجودة في الانهار والبحيرات العذبة الموجودة في الارض كافية لتلبية احتياجات الانسان في الوقت الحاضر وفي المستقبل القريب ولكن هذه المياه في الواقع الطبيعي غير منتظمة التوزيع فعلى سبيل المثال يحتوي نهر الامازون على 10 % من اجمالي كمية المياه العذبة في حين يحتوي 15 نهراً اخرى في انحاء العالم على 33 % من هذا الاجمالي فقط. وفي الوقت الذي لا تستطيع فيه دول عديدة تأمين احتياجاتها وكفايتها من المياه العذبة نجد مناطق واسعة من العالم تعاني من الفيضانات الموسمية. وتعد الزراعة المستهلك الاكبر للمياه العذبة وللأسف فان نحو 75 % من مياه الري تضيع هباء بسبب استخدام اساليب عقيمة في الري. وعلى الرغم من ان الصناعة تحتاج كمية مياه اقل بكثير مما تحتاجه الزراعة الا انها تعمل على تلويثها بشكل مزعج ويبعث على القلق وحتى ان هناك بعض مياه الانهار قد فسدت تماماً ولم تعد صالحة للاستعمال الانساني او الصناعي .

فتلوث الماء من اوائل الموضوعات التي اهتم به العلماء والمختصون في مجال حماية البيئة والتلوث وذلك يعود لسببين :

الاول : اهمية الماء وضروريته ، فهو يدخل في كل العمليات البيولوجية والصناعية ولا يمكن لاي كائن حي مهما كان شكله أو نوعه أو حجمه أن يعيش بدونه، فالكائنات الحية تحتاج اليه والنباتات هي الاخرى تحتاج اليه لكي تنمو،

وقد أثبت علم الخلية ان الماء هو المكون الهام في تركيب مادة الخلية وهو وحدة البناء في كل كائن حي نباتً ام حيواناً ، وأثبت علم الكيمياء الحيوية ان الماء لازم لحدوث جميع التفاعلات

والتحولات التي تتم داخل اجسام الاحياء فهو اما وسط أو عامل مساعد أو داخل في التفاعل أو ناتج عنه. الماء يشكل 17 % من وزن الطفل الرضيع و 60 – 80 % من وزن الرجل البالغ و 95% من وزن الخيار والخس ، وان نقصاً قدره 10 – 20 % من الماء الموجود في جسم الانسان أو الحيوان قد يؤدي الى الموت ، وللماء دور اساسي في الصناعة وهذا سبب تركز معظم الصناعات حول مصادر المياه،

الثاني : ان الماء يشغل أكبر حيز في الغلاف الحيوي، وهو أكثر مادة منفردة موجودة به، اذ تبلغ مساحة المسطح المائي حوالي 70.8 % من مساحة الكرة الارضية مما دفع بعض العلماء الى ان يطلقوا اسم (الكرة المائية) على الارض بدلا من الكرة الارضية وبالتالي فان تلوث الماء يؤدي الى حدوث اضرار بالغة ذو اخطار جسيمة بالكائنات الحية ويخل بالتوازن البيئي الذي يكون له معنى ولن تكون له قيمة اذا ما فسدت خواص المكون الرئيسي له وهو الماء.

تعريف الماء :

هو مركب كيميائي سائل شفاف يتركب من ذرتين وذرة اوكسجين ورمزه الكيميائي (H_2O).

تعريف تلوث الماء :

هو احداث تلف أو فساد لنوعية المياه مما يؤدي الى حدوث خلل في نظامها البيئي بضورة أو باخرى بما يقلل من قدرتها على اداء دورها الطبيعي بل تصبح ضارة عند استعمالها أو تفقد الكثير من من قيمتها الاقتصادية وبصفة خاصة مواردها من الاسماك والاحياء المائية، وبعبارة اخرى فان المقصود بتلوث المياه القاء المواد الكيميائية والفيزيائية والمواد البيولوجية الى المياه العذبة أو مياه الانهار والبحار والمحيطات والتي تؤدي الى تردي نوعية المياه، مما يجعل هذه المياه غير صالحة للانسان أو الحيوان أو النبات أو الاحياء التي تعيش في المسطحات المائية.

صور تلوث الماء :

1. استنزاف كميات كبيرة من الاوكسجين المذاب (DO) في مياه المحيطات والبحار والانهار مما يؤدي الى تناقص اعداد الاحياء المائية فيها.

2. زيادة نسبة المواد الكيميائية في المياه مما يجعلها سامة للأحياء.

3. ازدهار ونمو البكتريا والطفيليات والاحياء الدقيقة في المياه مما يقلل من قيمتها كمصدر للشرب أو ري المحاصيل الزراعية.

ويتلوث الماء عن طريق المخلفات الانسانية او النباتية او الحيوانية او الصناعية او الكيميائية التي تلقى او تصب في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار كما تتلوث المياه الجوفية من تسرب مياه المجاري ومياه الصرف لكثرة ما فيها من البكتريا او المركبات الكيميائية.

أنواع تلوث الماء :

1) التلوث الطبيعي :

وينتج عن تغيير المواصفات القياسي للماء عن طريق تغير درجة حرارته أو ملوحته، أو ازدياد المواد العالقة به سواء كانت من اصل عضوي او غير عضوي. وازدياد ملوحة الماء تنتج غالباً من زيادة تبخر الماء من البحيرات او الانهار في الاماكن الجافة دون تعويض للمياه المفقودة او في وجود قلة من مصادر المياه. كما ان التلوث الفيزيائي الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة يكون في غالب الاحوال نتيجة صب مياه تبريد المصانع والمفاعلات النووية القريبة من المسطحات المائية في هذه المسطحات مما ينتج عنه ارتفاع درجة الحرارة ونقص الاوكسجين الذائب (DO) مما يؤدي الى موت الكائنات الحية في هذه الاماكن.

2) التلوث الكيميائي :

وينتج هذا التلوث غالباً عن الانشطة الصناعية أو الزراعية المقامة بالقرب من المسطحات المائية مما يؤدي الى تسرب المواد الكيميائية المختلفة اليها. مثل الاملاح المعدنية والاحماض والاسمدة والمبيدات . وتسرب الفلزات السامة الى الماء يؤدي الى التسمم اذا وجدت بتراكيز عالية، مثل الرصاص والزئبق. أم الفلزات غير السامة مثل الكالسيوم والمغنسيوم فان زيادتها في الماء يؤدي الى بعض الامراض اضافة الى تغير خصائص الماء الطبيعية مثل الطعم وجعله غير مستساغ. كما ان زيادة تركيز عناصر مثل الفوسفات والنتروجين يؤدي الى تغير رائحة الماء ونمو الحشائش والطحالب مما يؤدي الى زيادة فقد الماء وزيادة التبخر وقد يؤدي في النهاية الى ظاهرة الشيخوخة المبكرة للبحيرات حيث تتحول هذه البحيرات الى مستنقعات مليئة بالحشائش والطحالب وقد تتحول في النهاية الى ارض جافة.

3) التلوث البيولوجي :

وينتج هذا التلوث عن زيادة اعداد الكائنات الحية الدقيقة المسببة للامراض مثل البكتريا والفيروسات والطفيليات في المياه. وتنتج هذه الملوثات في الغالب عن اختلاط فضلات الانسان والحيوان بالماء بطريق مباشر عن طريق صرفها مباشرة في المسطحات المائية أو عن طريق غير مباشر من خلال اختلاطها بماء صرف صحي أو زراعي. ويؤدي وجود هذا النوع من التلوث الى الاصابة بالعديد من الامراض. لذا يجب عدم استخدام مثل هذه المياه في الاغراض الشخصية أو في الشرب الا بعد معالجتها المناسبة.

4) التلوث الاشعاعي :

مصدر هذا التلوث غالبا عن طريق التسرب الاشعاعي من المفاعلات النووية أو عن طريق التخلص من هذه النفايات في البحار والمحيطات والانهار. وفي الغالب لا يُحدث هذا التلوث اي تغيير في صفات الماء الطبيعية مما يجعله أكثر الانواع خطورة حيث تمتصه الكائنات الموجودة في هذه المياه في غالب الاحوال وتتراكم فيه ثم تنتقل الى الانسان اثناء تناول هذه الاحياء فتحدث فيه العديد من التأثيرات الخطيرة منها الخلل والتحولات التي تحدث في الجينات الوراثية.

5) التلوث الحراري :

وهو ينتج من استعمال المياه في عمليات تبريد مصانع الحديد والصلب والورق ومحطات الكهرباء والمفاعلات النووية وغيرها حيث تقوم هذه المصانع بصرف المياه الساخنة في مياه البرك والانهار والبحيرات مما يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة مياهها حيث تتعرض الاحياء الموجودة فيها الى الخطر. كما يؤدي ارتفاع درجة حرارة المياه الى زيادة نمو بعض الطحالب غير الصالحة كغذاء للأحياء المائية وعندما تموت هذه الطحالب وتتحلل فانها تستهلك كميات كبيرة من الاوكسجين الذائب في الماء اضافة الى ما ينتج عنها من غازات كريهة وسموم تتراكم سنة بعد اخرى لتقضي على الحياة في الوسط المائي الملوث بها وفي بعض الاحيان يعمل التلوث الحراري للمياه على أكسدة بعض الملوثات المعدنية التي تلقيها المصانع في المياه مما يؤدي الى وجود بعض الاكاسيد السامة فيه.

مصادر تلوث المياه :

1- مياه الامطار الملوثة :

خاصة في المناطق الصناعية وزيادة تركيز أكاسيد النتروجين والكبريت وهذه الملوثات تذوب في مياه الامطار وتتساقط مع الثلوج فتمتصها التربة لتضيف بذلك كماً جديداً من الملوثات الى المسطحات المائية كالمحيطات والبحار والانهار والبحيرات فيؤدي الى تلوثها والى تسمم الكائنات البحرية والاسماك الموجودة بها، وينتقل السم الى الانسان اذا تناول هذه الاسماك الملوثة ، كما تموت الطيور البحرية التي تعتمد في غذائها على الاسماك.

2- الانشطة الزراعية :

حيث يؤدي استعمال الماء بالطرق القديمة، مثل الغمر مع سوء استخدام المبيدات الحشرية والاسمدة ، الى زيادة تركيز الاملاح والفسفور والمعادن والنترات والمبيدات في المياه الجوفية بصفة خاصة اذا لم تتوفر أنظمة الصرف الزراعي.

3- استخدام آبار الحقن :

وهي آبار تستخدم لحقن النفايات الصناعية والاشعاعية، في الطبقات الجوفية العميقة الحاملة للمياه العذبة عن طريق الانابيب غير المحكمة، أو عن طريق سريانها في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة عن طريق التصدعات في الطبقات غير المنفذة.

4- بيارات الصرف :

وهي الحفر والحجرات التي تبنى في القرى والمدن التي لا يتوفر فيها أنظمة صرف صحي كوسيلة للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة واستخدام هذه البيارات يؤدي في كثير من الاحيان الى تسرب ما تحمله من بكتريا ومواد عضوية الى الطبقة الحاملة للمياه الجوفية والى تلوثها.

5- تداخل المياه المالحة :

وتحدث في الآبار القريبة من البحار المالحة نتيجة الضخ والاستخدام المفرط للمياه العذبة مما يؤدي الى تسرب المياه المالحة من البحر في اتجاه الطبقات الحاملة واختلاطها بالمياه العذبة ونتيجة لذلك تصبح هذه المياه غير صالحة للشرب أو الزراعة.

6- التخلص السطحي من النفايات :

ويحدث هذا غالباً في المناطق الصناعية حيث تدفن هذه المناطق نفاياتها الصناعية في برك تخزين سطحية . وقد يؤدي عدم احكام عزل هذه البرك الى تسرب هذه النفايات الى الطبقة الحاملة للمياه العذبة . وعند حدوث تلوث للمياه الجوفية يصعب ان لم يكن مستحيلاً التخلص من هذا التلوث أو اجراء أي معالجة للمياه الموجودة في الطبقات الحاملة . ومما يزيد الأمر تعقيداً وجود هذه المياه في باطن الأرض وبطء حركتها مما يؤدي الى انتشاره عبر المجاري والانهار الجارية في باطن الارض.

7- الصرف الصحي :

نظراً لقلة الموارد المائية تتجه أساليب الزراعة الحديثة الى استخدام مياه الصرف الصحي المعالج لري الاراضي الزراعية بأنواع مختلفة من المحاصيل. وتعتبر من المصادر الحديثة لاستغلال المياه في الري .

8- المفاعلات النووية :

وهي تسبب تلوثاً حرارياً للماء مما يؤثر تأثيراً ضاراً على البيئة وعلى حياتها مع احتمال حدوث تلوث اشعاعي لأجيال لاحقة من الانسان وبقية الكائنات.

9- تسرب البترول الى مياه البحار:

وهو اما نتيجة لحوادث غرق الناقلات التي تتكرر سنوياً واما نتيجة لقيام هذه الناقلات بعمليات التنظيف وغسل خزاناتها والقاء مياه الغسيل الملوثة في عرض البحر.

(المحاضرة الثانية عشر)

معايير تلوث التربة

حساب مؤشرات التلوث Pollution Indexes

1. عامل الاثراء Enrichment Factor (EF)

$$EF = \frac{(C_m / C_{Fe})\ \text{Sample}}{(C_m / C_{Fe})\ \text{Background}}$$

C m Sample : تركيز العنصر المدروس في التربة

C Fe Sample : تركيز عنصر الحديد في التربة

C m Background : تركيز العنصر في تربة المقارنة

C Fe Background : تركيز عنصر الحديد في تربة المقارنة

قيمة EF	حالة التربة
$EF \leq 1$	لا يوجد اثراء
$1 < EF \leq 3$	اثراء قليل
$3 < EF \leq 5$	اثراء معتدل
$3 < EF \leq 10$	اثراء معتدل - شديد
$10 < EF \leq 25$	اثراء شديد
$25 < EF \leq 50$	اثراء شديد جدا
$EF > 50$	اثراء اقصى حد

2. عامل التلوث Contamination Factor (CF)

$$CF = \frac{C_m \text{ Sample}}{C_m \text{ Background}}$$

C m Sample : تركيز العنصر المدروس في التربة

C m Background : تركيز العنصر في القشرة الارضية

قيمة CF	حالة التربة
$CF < 1$	تلوث قليل
$1 \leq CF < 3$	تلوث معتدل
$3 \geq CF < 6$	تلوث ضخم
$CF > 6$	تلوث عالي جدا

3. مؤشر التراكم الجيولوجي Geoaccumlation index (I_{geo})

$$I_{geo} = \frac{\text{Cm sample}}{1.5 \times \text{C m back ground}}$$

C m Sample : تركيز العنصر الملوث في التربة

C m back ground : تركيز العنصر في تربة المقارنة

1.5 : معامل التأثير الجيولوجي

قيمة (I_{geo})	حالة التربة
$I_{ge} < 0$	لا يوجد تلوث
$0 \leq I_{ge} < 1$	لا يوجد تلوث - تلوث معتدل
$1 \leq I_{ge} < 2$	تلوث معتدل
$2 \leq I_{ge} < 3$	تلوث معتدل – تلوث قوي
$3 \leq I_{ge} < 4$	تلوث قوي
$4 \leq I_{ge} < 5$	تلوث قوي – تلوث ضخم
$I_{ge} > 5$	تلوث ضخم

4. مؤشر حمل التلوث Pollution Load Index (PLI)

$$PLI = [\ CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \ldots \times CF_n]^{1/n}$$

CF_1 : عامل التلوث للعنصر الاول

CF_2 : عامل التلوث للعنصر الثاني

CF_3 : عامل التلوث للعنصر الثالث

n : عدد العناصر الملوثة

قيمة (PLI)	حالة التربة
$PLI < 1.5$	تلوث بدرجة قليلة جدا
$1.5 \leq PLI < 2$	تلوث بدرجة قليلة
$2 \leq PLI < 4$	تلوث بدرجة معتدلة
$4 \leq PLI < 8$	تلوث بدرجة عالية
$8 \leq PLI < 16$	تلوث بدرجة عالية جدا
$16 \leq PLI < 32$	تلوث بدرجة ضخمة جدا
$PLI > 32$	تلوث بدرجة فائقة

مثال : بعد اجراء تحليل لبعض العناصر الثقيلة (الرصاص ، الكروم ، الكادميوم) لبعض ترب منطقة بيجي التابعة لمحافظة صلاح الدين، اذ وجد أنها تحتوي على (الرصاص = 57 جزء بالمليون) و(الكروم= 42 جزء بالمليون) و(الكادميوم= 66 جزء بالمليون).

المطلوب : تقييم تلوث التربة وفق معايير التلوث المستخدمة عالمياً. علماً بأن محتوى القشرة الارضية من Pd = 10 و Cr = 5 و Cd= 3 جزء بالمليون.