جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ميسان _ كلية العلوم
قسم علوم الكيمياء

(تلوث المياه والتربة بالمركبات الغير عضوية)

أعداد الطالبتان:
1- رقية تحسين راشد
2- غدير صباح شنون
الى كلية العلوم / قسم الكيمياء

وهو جزء من متطلبات نيل شهادة
البكالوريوس في علوم الكيمياء

بإشراف: د. علي طه صالح

1946 هـ ----------2025 م

الاهداء:

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِين)

الحمدُ لله حباً وشكراً وامتناناً على البدء والختام اهدي هذا المشروع لنفسي اولاً بعد مسيرة دراسية حملت في طياتُها الكثير من الصعوبات والمشقة والتعب، ها انا اليوم أقف على عتبة تخرجي اقطف ثِمار تعبي وارفع قبعتي بكل فخر.

الى من كلل العرق جبينه وعلمني أن النجاح لا يأتي الا بالصبر وبالأصرار، الى من لا ينفصل اسمي عن اسمه، الى من كان لي مصدراً للدعم والعطاء، الى داعمي الاول وسندي وقوتي بعد الله الى فخري واعتزازي والدي الغالي.

الى التي جعلت الجنة تحت اقدامها، الى من أضاءت في ليالِ العتمة طريقي الى من ظلت دعواتها تضم اسمي أمي الغالية.

شكر وتقدير:

الى استاذي الدكتور علي طه صالح مشرف بحثنا الذي كان دليلنا العلمي ونورا يضيء تعقيدات البحث، فلك منا كل التقدير على صبرك وحرفيتك وحسن توجيهنا حتى اكتمال هذا العمل.

قائمة المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الأول	2
1-1 التلوث البيئي وانواعه	2
1-2 التلوث الكيميائي	3
1-3 المركبات الغير عضوية	4
1-4 تلوث المياه بالمركبات غير عضوية	5
1-5 مصادر تلوث المياه بالمركبات غير العضوية	6
1-6 النشاط الزراعي	7
1-7 الآثار السلبية لتلوث المياه بالمركبات غير العضوية	8
1-8 تلوث التربة بالمركبات غير العضوية	9
1-9 مصادر تلوث التربة بالمركبات غير العضوية	10
1-10 الآثار على التنوع البيولوجي في التربة	12
1-11 الآثار على صحة الإنسان	13
الفصل الثاني	14
2-1 تصنيف المركبات غير العضوية الملوثة للتربة والمياه	14
2-2 التأثيرات البيئية والصحية للمركبات غير العضوية الملوثة للتربة والمياه:	18
2-3 التأثيرات الصحية للمعادن الثقيلة	19
2-4 التأثيرات البيئية والصحية للأكاسيد غير العضوية	21
2-5 التأثيرات البيئية والصحية للأملاح غير العضوية	23
2-6 التأثيرات البيئية للمركبات الهالوجينية	24
2-7 أنواع الملوثات غير العضوية في العراق	25
2-8 مصادر التلوث غير العضوي في العراق	26
الفصل الثالث	28
3-1 طرق وتقنيات معالجة تلوث المياه بالمركبات الغير عضوية	28
3-2 طرق وتقنيات معالجة تلوث التربة بالمركبات الغير عضوية	33
المصادر	35

الفصل الاول

م/ التلوث

1- المفهوم العام للتلوث:

هو يعني وجود كمية مرتفعة من مركب ما في غير مكانه الصحيح، لذلك من غير الصحيح إطلاق مسمى غير ملوث او سامة على بعض المواد، اذ من اللازم التحديد الدقيق والواضح للكمية القصوى غير المؤثرة، والتي لا زالت آمنة وغير مُحدثة للتلوث او (السمية).

وينشأ التلوث من أي خلل من أنظمة الماء او الغذاء او التربة، ويؤثر على نحو مباشر او غير مباشر على الكائنات الحية، وكذلك على البيئة وبما بها من ممتلكات اقتصادية وما يُسبب الخسائر المختلفة.

1-1 التلوث البيئي وانواعه:

بما ان البيئة هي كل ما يحيط بالإنسان من التربة والماء والهواء والحيوان والنبات وحتى التكنولوجيا التي يستخدمها الانسان، ومدى تفاعل او تأثير كل منهما على الاخر، لذلك فإنه تتباين الآراء في تحديد

مفهوم التلوث البيئي مثلا يختلف كل من علماء البيئة والمناخ في تعريف دقيق ومحدد للمفهوم العلمي للتلوث البيئي، كما ان مفهوم التلوث البيئي يختلف من تخصص الى اخر، فقد ينظر الفيزيائي الى التلوث على انه التلوث الفيزيائي للبيئة والكيميائي على انه التلوث الكيميائي للبيئة وأيا كان التعريف فإن المفهوم العلمي للتلوث البيئي مرتبط بالدرجة الأولى بعلم البيئة (بالنظام الايكولوجي)

وعموما اهم أنواع التلوث تبعا للمكان الذي يعاني من التلوث تلوث التربة والمسطحات المائية والهواء والنظم الزراعية كما ان هذا التلوث يختلف باختلاف نوعية الملوث او المصدر حيث يُقسم الى تلوث بالمبيدات عادية كانت او نانو مترية، تلوث بالعناصر الثقيلة عادية كانت او نانو مترية، تلوث بالأسمدة

العادية او النانو مترية، تلوث بالمخلفات الالكترونية، تلوث بالإشعاعات، تلوث بالانبعاثات وغيرها.

1-2 التلوث الكيميائي:

ان مشكلة التعرض الى عدد هائل من المواد الكيميائية التي يواجهها الانسان كل يوم في المصنع والمنزل والمكتب بفضل التطور الصناعي والتكنولوجي في العصر الحديث أصبحت مشكلة معقدة وخطيرة ولها اثارها السيئة على حياة الانسان وكل الكائنات الحية، لاسيما ان المواد الكيميائية تمثل 10% تقريبا من اجمالي التجارة العالمية من حيث القيمة الاقتصادية ويوجد الان في الأسواق وبالتالي في البيئة أكثر من عدة ملايين من المواد الكيميائية الجديدة، الكثير منها يدخل السوق دونما اختبار مسبق كافل او تقييم لأثارها.

واستنادا على عينة لمركز الأبحاث القومي الأمريكي تضم (65725) مادة كيميائية قيد الاستعمال الشائع، لم تتوفر البيانات اللازمة لأجراء تقييمات كاملة للمخاطر الصحية عنها، وليس ذلك فقط، بل لم تتوفر بيانات عن المؤثرات السمية الا عن قرابة 80% من المواد الكيميائية المستخدمة في المنتجات التجارية التي تم جردها بموجب قانون مراقبة المواد السامة.

ولذلك فإنه يجب ان يكون للحكومة دور أكثر فعالية في نظام اختبار المواد الكيميائية الجديدة قبل طرحها في الأسواق، بالإضافة الى المواد الكيميائية الموجودة في الأسواق والتي تبين خطرها وضررها، فلابد من وضع لوائح شديدة وصارمة بسحبها من علميات الترخيص بواسطة أجهزة الرقابة او بتقييدها بفرض حظرا شاملا عليها بمنع استيرادها.

1-3 المركبات الغير عضوية:

هي مركبات كيميائية لا تحتوي على روابط كاربون – هيدروجين، وتتكون عادة من عناصر معدنية او غير معدنية مرتبطة مع بعضها البعض. وتختلف هذه المركبات عن المركبات العضوية التي تحتوي على الكاربون والهيدروجين كعناصر أساسية في تركيبها. وتتكون عادة من عناصر معدنية او غير معدنية مرتبطة مع بعضها البعض، تتميز المركبات الغير عضوية بخصائص فيزيائية وكيميائية متنوعة، فبعضها صلب وبعضها سائل او غازي، وبعضها قابل للذوبان ف الماء وبعضها غير قابل للذوبان. كما تختلف في درجة انصهارها وغليانها وتفاعلاتها الكيمائية.

مصادر المركبات الغير عضوية:

اولاً: مصادر طبيعية: تتواجد المركبات الغير عضوية في البيئة بشكل طبيعي:

1- التجوية الصخرية: تؤدي عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية للصخور الى إطلاق المعادن والعناصر غير عضوية في البيئة.

2- النشاط البركاني: تتطلق البراكين كميات كبيرة من الغازات والمعادن الغير عضوية في الغلاف الجوي والتربة والمياه.

3- حرائق الغابات الطبيعية: يؤدي حرائق الغابات الى إطلاق العديد من المركبات غير عضوية في الغلاف الجوي.

4- التحلل الطبيعي للمواد العضوية: ينتج من تحلل المواد العضوية في ظروف معينة غازات غير عضوية مثل الامونيا وكبريتيد الهيدروجين.

ثانياً: المصادر البشرية: تسبب الأنشطة البشرية في إطلاق كميات كبيرة من المركبات غير عضوية في البيئة من خلال:

1- النشاط الزراعي: يؤدي استخدام الأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية الى تلوث التربة والمياه بالمركبات غير عضوية.

2- النشاط الصناعي: تتطلق المصانع ومحطات توليد الطاقة كميات كبيرة من المعادن الثقيلة والغازات غير عضوية في البيئة.

3- التعدين واستخراج المعادن: تؤدي عمليات التعدين واستخراج المعادن الى إطلاق المعادن الثقيلة والمركبات غير عضوية في البيئة.

4- النفايات المنزلية والصناعية.

5- وسائل النقل: تطلق وسائل النقل خاصة السيارات كمية كبيرة من اكاسيد النتروجين واكاسيد الكبريت في الغلاف الجوي.

4-1 تلوث المياه بالمركبات غير عضوية:

تعريف تلوث المياه: تلوث المياه هو أي تغيير فيزيائي او كيميائي في نوعية المياه، بطريقة مباشرة او غير مباشرة، يؤثر سلباً على الكائنات الحية، او يجعل المياه غير قابلة للاستخدام المطلوب.

آليات تلوث المياه بالمركبات غير العضوية

تلوث المياه بالمعادن الثقيلة

تصل المعادن الثقيلة إلى المياه من خلال عدة آليات:

1 .التصريف المباشر: تصريف مياه الصرف الصناعي المحتوية على المعادن الثقيلة مباشرة في المسطحات المائية.

2 .الترشيح والتسرب: تسرب المعادن الثقيلة من مواقع التخزين أو مكبات النفايات إلى المياه الجوفية.

3 .الترسب الجوي: ترسب المعادن الثقيلة من الغلاف الجوي على المسطحات المائية.

4 .جريان المياه السطحية: جرف المعادن الثقيلة من التربة الملوثة إلى المسطحات المائية بواسطة مياه الأمطار.

5. التآكل: تآكل الأنابيب والمعدات المعدنية وإطلاق المعادن الثقيلة في المياه.

تلوث المياه بالأملاح غير العضوية.

تصل الأملاح غير العضوية إلى المياه من خلال:

1 .الجريان السطحي الزراعي.

2 .تصريف مياه الصرف الصحي.

3 .تسرب المياه المالحة.

4. التبخر.

1-5 مصادر تلوث المياه بالمركبات غير العضوية:

النشاط الصناعي

يعتبر النشاط الصناعي من أهم مصادر تلوث المياه بالمركبات غير العضوية، حيث:

1 .الصناعات الكيميائية: تطلق كميات كبيرة من المعادن الثقيلة والأملاح غير العضوية في مياه الصرف الصناعي.

2 .صناعة المعادن: تطلق معادن ثقيلة مثل الرصاص والزئبق والكادميوم في البيئة.

3 .صناعة الورق والنسيج: تستخدم مواد كيميائية غير عضوية في عمليات التصنيع.

4 .محطات توليد الطاقة: تطلق أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت التي تتحول إلى أحماض في المياه.

1-6 النشاط الزراعي:

يساهم النشاط الزراعي في تلوث المياه بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .الأسمدة الكيميائية: تحتوي على النترات والفوسفات التي تتسرب إلى المياه السطحية والجوفية.

2 .المبيدات الحشرية: تحتوي بعض المبيدات على معادن ثقيلة مثل الزرنيخ والزئبق.

3 .مياه الصرف الزراعي: تحتوي على كميات كبيرة من الأملاح والمعادن.

النفايات المنزلية والصرف الصحي

تساهم النفايات المنزلية ومياه الصرف الصحي في تلوث المياه بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .مياه الصرف الصحي: تحتوي على النترات والفوسفات والمعادن الثقيلة.

2 .النفايات المنزلية: تحتوي على بطاريات ومصابيح فلورسنت وأجهزة إلكترونية تحتوي على معادن ثقيلة.

3 .مكبات النفايات: يمكن أن تتسرب المعادن الثقيلة والمركبات غير العضوية من مكبات النفايات إلى المياه الجوفية.

التعدين واستخراج المعادن

تؤدي عمليات التعدين واستخراج المعادن إلى تلوث المياه بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .مياه الصرف من المناجم: تحتوي على معادن ثقيلة ومركبات كبريتية.

2 .نفايات التعدين: تحتوي على معادن ثقيلة يمكن أن تتسرب إلى المياه.

3 .تصريف المناجم الحمضي: يتكون عندما تتعرض المعادن الكبريتية للهواء والماء، مما يؤدي إلى تكوين حمض الكبريتيك الذي يذيب المعادن الثقيلة.

1-7 الآثار السلبية لتلوث المياه بالمركبات غير العضوية:

الآثار على صحة الإنسان

يؤدي تلوث المياه بالمركبات غير العضوية إلى العديد من المشاكل الصحية للإنسان، منها:

1 .التسمم بالمعادن الثقيلة: يسبب تلف الجهاز العصبي والكلى والكبد والدم.

2 .مرض "الميثيموغلوبينيميا": يحدث عند الرضع نتيجة لشرب مياه ملوثة بالنترات.

3 .أمراض الجهاز الهضمي: مثل الإسهال والقيء نتيجة لشرب مياه ملوثة

4 .السرطان: ترتبط بعض المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والكادميوم بزيادة خطر الإصابة بالسرطان.

5. تشوهات خلقية: يمكن أن تسبب بعض المعادن الثقيلة مثل الزئبق تشوهات خلقية للأجنة.

الآثار على النظام البيئي المائي

يؤدي تلوث المياه بالمركبات غير العضوية إلى العديد من الآثار السلبية على النظام البيئي المائي، منها:

1 .موت الأسماك والكائنات المائية: تسبب المعادن الثقيلة والأملاح غير العضوية موت الأسماك والكائنات المائية الأخرى.

2 .الإثراء الغذائي: تؤدي النترات والفوسفات إلى نمو الطحالب بشكل مفرط، مما يستهلك الأكسجين في الماء ويؤدي إلى موت الكائنات المائية.

3 .تراكم المعادن الثقيلة في السلسلة الغذائية: تتراكم المعادن الثقيلة في أجسام الكائنات المائية وتنتقل عبر السلسلة الغذائية.

4. تغير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه: تؤدي المركبات غير العضوية إلى تغير درجة حموضة المياه ودرجة حرارتها وشفافيتها.

1-8 تلوث التربة بالمركبات غير العضوية:

تعريف تلوث التربة

تلوث التربة هو تغير في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية للتربة، بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، يؤثر سلباً على الكائنات الحية أو يقلل من جودة التربة وإنتاجيتها. ويحدث تلوث التربة عندما تتجاوز نسبة الملوثات في التربة النسبة الطبيعية والمتعارف عليها.

آليات تلوث التربة بالمركبات غير العضوية

تلوث التربة بالمعادن الثقيلة

تصل المعادن الثقيلة إلى التربة من خلال عدة آليات:

1 .الترسب الجوي: ترسب المعادن الثقيلة من الغلاف الجوي على التربة.

2 .الري بمياه ملوثة: استخدام مياه ملوثة بالمعادن الثقيلة في ري الأراضي الزراعية.

3 .إضافة الأسمدة والمبيدات: تحتوي بعض الأسمدة والمبيدات على معادن ثقيلة تتراكم في التربة.

4 .التخلص من النفايات: دفن النفايات المحتوية على معادن ثقيلة في التربة.

5 .التسرب من المنشآت الصناعية: تسرب المعادن الثقيلة من المصانع ومواقع التخزين إلى التربة المحيطة.

1-9 مصادر تلوث التربة بالمركبات غير العضوية:

النشاط الصناعي

يساهم النشاط الصناعي في تلوث التربة بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .تصريف النفايات الصناعية: تحتوي النفايات الصناعية على معادن ثقيلة ومركبات غير عضوية أخرى.

2 .الانبعاثات الهوائية: تترسب الملوثات الهوائية من المصانع على التربة المحيطة.

3 .تسرب المواد الكيميائية: تسرب المواد الكيميائية من المصانع ومواقع التخزين إلى التربة.

4 .مخلفات الصناعات التحويلية: تحتوي مخلفات الصناعات التحويلية على معادن ثقيلة ومركبات غير عضوية.

النشاط الزراعي

يساهم النشاط الزراعي في تلوث التربة بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .استخدام الأسمدة الكيميائية: تحتوي الأسمدة الكيميائية على النترات والفوسفات التي تتراكم في التربة.

2 .استخدام المبيدات الحشرية: تحتوي بعض المبيدات على معادن ثقيلة مثل الزرنيخ والزئبق.

3 .الري بمياه ملوثة: استخدام مياه ملوثة في ري الأراضي الزراعية.

4 .تربية الحيوانات المكثفة: تؤدي تربية الحيوانات المكثفة إلى تراكم النترات والفوسفات في التربة.

النفايات الصلبة

تساهم النفايات الصلبة في تلوث التربة بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .مكبات النفايات: تتسرب المعادن الثقيلة والمركبات غير العضوية من مكبات النفايات إلى التربة المحيطة.

2 .النفايات الإلكترونية: تحتوي النفايات الإلكترونية على معادن ثقيلة مثل الرصاص والزئبق والكادميوم.

3 .البطاريات والمصابيح الفلورسنت: تحتوي على معادن ثقيلة مثل الزئبق والكاديوم والرصاص.

4 .مواد البناء والهدم: تحتوي بعض مواد البناء والهدم على معادن ثقيلة ومركبات غير عضوية.

التعدين واستخراج المعادن

تؤدي عمليات التعدين واستخراج المعادن إلى تلوث التربة بالمركبات غير العضوية من خلال:

1 .نفايات التعدين: تحتوي على معادن ثقيلة ومركبات كبريتية.

2 .تصريف المناجم الحمضي: يؤدي إلى تحرير المعادن الثقيلة في التربة.

3 .عمليات المعالجة والصهر: تطلق معادن ثقيلة في البيئة.

4 .التعدين السطحي: يؤدي إلى تعرية التربة وتلوثها بالمعادن الثقيلة.

الآثار السلبية لتلوث التربة بالمركبات غير العضوية

الآثار على النبات والإنتاج الزراعي

يؤدي تلوث التربة بالمركبات غير العضوية إلى العديد من الآثار السلبية على النبات والإنتاج الزراعي، منها:

1 .انخفاض إنتاجية المحاصيل: تؤثر المعادن الثقيلة والأملاح على نمو النباتات وإنتاجيتها.

2 .تراكم المعادن الثقيلة في النباتات: تتراكم المعادن الثقيلة في أنسجة النباتات وتنتقل إلى الإنسان والحيوان عند تناولها.

3 .تثبيط امتصاص العناصر الغذائية: تؤثر المعادن الثقيلة على قدرة النباتات على امتصاص العناصر الغذائية الضرورية.

4 .تلف الجذور: تؤدي المعادن الثقيلة والأملاح إلى تلف جذور النباتات.

1-10 الآثار على التنوع البيولوجي في التربة:

يؤدي تلوث التربة بالمركبات غير العضوية إلى العديد من الآثار السلبية على التنوع البيولوجي في التربة، منها:

1 .انخفاض نشاط البكتيريا المفيدة: تؤثر المعادن الثقيلة على نشاط البكتيريا المفيدة في التربة.

2 .انخفاض أعداد ديدان الأرض: تؤثر المعادن الثقيلة على أعداد ديدان الأرض التي تلعب دوراً مهماً في تهوية التربة وتحلل المواد العضوية.

3. اختلال التوازن البيولوجي: يؤدي تلوث التربة إلى اختلال التوازن بين الكائنات الحية في التربة.

4 .انخفاض قدرة التربة على تحلل المواد العضوية: تؤثر المعادن الثقيلة على قدرة التربة على تحلل المواد العضوية.

الآثار على المياه الجوفية

يؤدي تلوث التربة بالمركبات غير العضوية إلى تلوث المياه الجوفية من خلال:

1 .تسرب الملوثات إلى المياه الجوفية: تتسرب المعادن الثقيلة والأملاح من التربة الملوثة إلى المياه الجوفية.

2 .تلوث مصادر مياه الشرب: تؤدي المياه الجوفية الملوثة إلى تلوث مصادر مياه الشرب.

3 .صعوبة معالجة المياه الجوفية الملوثة: من الصعب معالجة المياه الجوفية الملوثة بالمعادن الثقيلة والمركبات غير العضوية.

1-11 الآثار على صحة الإنسان:

يؤدي تلوث التربة بالمركبات غير العضوية إلى العديد من المشاكل الصحية للإنسان، منها:

1 .التسمم بالمعادن الثقيلة: يحدث عند تناول محاصيل زراعية ملوثة أو استنشاق غبار التربة الملوثة.

2 .أمراض الجهاز التنفسي: تحدث نتيجة لاستنشاق غبار التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة.

3 .أمراض الجلد: تحدث نتيجة للتلامس المباشر مع التربة الملوثة.

4. السرطان: ترتبط بعض المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والكادميوم بزيادة خطر الإصابة بالسرطان.

الفصل الثاني

المركبات الغير عضوية الملوثة للتربة والمياه

مقدمة

يعد تلوث التربة والمياه من أخطر المشكلات البيئية التي تواجه العالم في العصر الحديث، حيث يؤثر بشكل مباشر على جميع مكونات النظام البيئي بما فيها الإنسان والنبات والحيوان. ويشمل التلوث كل ما يؤثر على عناصر البيئة، سواء أكانت الحية بما فيها الإنسان والنبات والحيوان، وكذلك في عناصرها غير الحية مثل الهواء والتربة والبحيرات وغيرها.

وتعد الملوثات الكيميائية للبيئة من أهم وأبلغ وأخطر أنواع الملوثات، لأنه قد تزايدت احتمالات التسمم الكيميائي في الآونة الأخيرة. وقد تنتج الملوثات الكيميائية من مصادر صناعية نتيجة استعمال طرق غير عملية في الإنتاج، أو تحدث نتيجة للنشاط المتصل بالحياة والإنتاج.
بالإضافة إلى ما يصدر عن الصناعات من مخلفات وما يخرج من وسائل النقل وانتقال الغازات والأبخرة وكذلك نواتج الاحتراق غير التام للمشتقات البترولية وما يتراكم في البيئة من بقايا الكيميائيات الزراعية التي تشمل المخصبات الزراعية والمبيدات الزراعية والمنزلية.

2-1 تصنيف المركبات غير العضوية الملوثة للتربة والمياه:
تشمل المركبات غير العضوية الملوثة للتربة والمياه مجموعة واسعة من المواد الكيميائية التي تختلف في تركيبها وخصائصها وتأثيراتها البيئية. يمكن تصنيف هذه المركبات إلى عدة فئات رئيسية بناءً على تركيبها الكيميائي وخصائصها:
1 -المعادن الثقيلة

تعتبر المعادن الثقيلة من أخطر الملوثات غير العضوية للتربة والمياه، وهي عناصر كيميائية ذات كثافة عالية تتجاوز 5 جرام/سم^3. تتميز هذه المعادن بقدرتها على التراكم الحيوي في الأنسجة الحية وعدم قابليتها للتحلل البيولوجي، مما يجعلها ملوثات مستديمة في البيئة. من أهم المعادن الثقيلة الملوثة:

1-الرصاص(Pb)
-مصادر التلوث: صناعة البطاريات، الطلاء، الوقود، النفايات الإلكترونية
-آلية التلوث: يترسب في التربة ويتراكم في النباتات، ويمكن أن ينتقل إلى المياه الجوفية

2- الزئبق(Hg)

-مصادر التلوث: التعدين، حرق الفحم، النفايات الطبية، صناعة الإلكترونيات

-آلية التلوث: يتحول في البيئة المائية إلى ميثيل الزئبق (CH_3Hg^+) وهو شكل أكثر سمية

3- الكادميوم(Cd)

-مصادر التلوث: صناعة البطاريات، الأسمدة الفوسفاتية، النفايات الصناعية

-آلية التلوث: يمتص بسهولة من قبل النباتات ويتراكم في السلسلة الغذائية

4- الزرنيخ(As)

-مصادر التلوث: المبيدات الحشرية، التعدين، حرق الوقود الأحفوري

-آلية التلوث: يتواجد في التربة والمياه بأشكال مختلفة مثل الزرنيخيت (AsO_4^{3-}) والزرنيخيت (AsO_3^{3-})

5- الكروم(Cr)

-مصادر التلوث: صناعة الجلود، الطلاء، صناعة الفولاذ

-آلية التلوث: يوجد بشكلين رئيسيين: الكروم الثلاثي (Cr^{3+}) والكروم السداسي(Cr^{6+}) ، والأخير أكثر سمية وحركة في البيئة

2- الأكاسيد غير العضوية

تشمل مجموعة من المركبات الناتجة عن اتحاد العناصر مع الأكسجين، وتعتبر من الملوثات الرئيسية للهواء التي تنتقل إلى التربة والمياه من خلال الترسب الجوي:

1- أكاسيد الكربون

-ثاني أكسيد الكربون :(CO_2) يساهم في تحمض التربة والمياه

-أول أكسيد الكربون :(CO) سام للكائنات الحية ويتحول في التربة إلىCO_2

2- أكاسيد الكبريت

-ثاني أكسيد الكبريت :(SO_2) ينتج من حرق الوقود الأحفوري

-ثالث أكسيد الكبريت :(SO_3) يتفاعل مع الماء مكوناً حمض الكبريتيك(H_2SO_4)

-آلية التلوث: تسبب الأمطار الحمضية التي تؤدي إلى تحمض التربة والمياه

3- أكاسيد النيتروجين

-أكسيد النيتريك :(NO) ينتج من احتراق الوقود

-ثاني أكسيد النيتروجين :(NO_2) يتكون في الهواء من أكسدةNO

-آلية التلوث: تتحول في البيئة إلى حمض النيتريك (HNO_3) مسببة الأمطار الحمضية

3 -الأملاح غير العضوية

تشمل مجموعة واسعة من المركبات الأيونية التي تتكون من اتحاد الأيونات الموجبة والسالبة:

1- النترات والنيتريت

-نترات الأمونيوم :(NH_4NO_3) تستخدم كسماد زراعي

-نترات البوتاسيوم :(KNO_3) تستخدم في الأسمدة والمتفجرات

-آلية التلوث: تتسرب إلى المياه الجوفية مسببة ظاهرة الإثراء الغذائي(Eutrophication)

2- الفوسفات

-فوسفات الكالسيوم :($Ca_3(PO_4)_2$) يستخدم في الأسمدة

-فوسفات الأمونيوم :($(NH_4)_3PO_4$)) سماد شائع الاستخدام

-آلية التلوث: تساهم في الإثراء الغذائي للمسطحات المائية

3- الكلوريدات

-كلوريد الصوديوم :(NaCl) يستخدم في إذابة الثلوج وفي الصناعات المختلفة

-كلوريد الكالسيوم :($CaCl_2$) يستخدم في إذابة الثلوج والتحكم بالغبار

-آلية التلوث: تزيد من ملوحة التربة والمياه مما يؤثر على النباتات والكائنات المائية

4- المركبات الهالوجينية غير العضوية

تشمل مركبات الفلور والكلور والبروم واليود:

1- مركبات الفلور
-فلوريد الهيدروجين :(HF) يستخدم في صناعة الألمنيوم
-فلوريد الصوديوم :(NaF) يستخدم في معاجين الأسنان ومعالجة المياه
-آلية التلوث: تتراكم في التربة والنباتات مسببة التسمم الفلوري(Fluorosis)

2- مركبات الكلور
-الكلور الحر :(Cl_2) يستخدم في تعقيم المياه
-حمض الهيدروكلوريك :(HCl) يستخدم في الصناعات الكيميائية
-آلية التلوث: تتفاعل مع المواد العضوية في المياه مكونة مركبات ثلاثي هالوميثان (THMs) المسرطنة

5- السيانيدات والمركبات السيانيدية

-سيانيد الصوديوم :(NaCN) يستخدم في التعدين واستخراج الذهب
-سيانيد البوتاسيوم :(KCN) يستخدم في الطلاء الكهربائي والتعدين
-آلية التلوث: شديدة السمية للكائنات الحية، تتسرب من مخلفات التعدين إلى التربة والمياه

6 -الأحماض والقواعد غير العضوية
1- الأحماض
-حمض الكبريتيك :(H_2SO_4) يستخدم في البطاريات والصناعات الكيميائية
-حمض النيتريك :(HNO_3) يستخدم في صناعة الأسمدة والمتفجرات
-آلية التلوث: تخفض درجة حموضة التربة والمياه مما يؤثر على توازن النظام البيئي

2- القواعد

-هيدروكسيد الصوديوم :(NaOH) يستخدم في صناعة الصابون والورق

-هيدروكسيد الكالسيوم :($Ca(OH)_2$) يستخدم في معالجة المياه والبناء

-آلية التلوث: ترفع درجة قلوية التربة والمياه مما يؤثر على الكائنات الحية

2-2 التأثيرات البيئية والصحية للمركبات غير العضوية الملوثة للتربة والمياه:

التأثيرات البيئية للمعادن الثقيلة

تعتبر المعادن الثقيلة من أخطر الملوثات البيئية نظراً لخصائصها المتمثلة في:

-الثبات والاستمرارية: لا تتحلل بيولوجياً وتبقى في البيئة لفترات طويلة جداً

-التراكم الحيوي: تتراكم في أنسجة الكائنات الحية بتركيزات أعلى من تركيزها في البيئة

-التضخم الحيوي: تزداد تركيزاتها كلما ارتفعنا في السلسلة الغذائية

وتشمل التأثيرات البيئية للمعادن الثقيلة:

1- تدهور خصوبة التربة: تؤثر المعادن الثقيلة على نشاط الكائنات الدقيقة في التربة مما يقلل من خصوبتها وقدرتها على دعم النمو النباتي.

2- تثبيط نمو النباتات: تتداخل المعادن الثقيلة مع العمليات الأيضية للنباتات وتمنع امتصاص العناصر الغذائية الضرورية، مما يؤدي إلى:

- **انخفاض معدل التمثيل الضوئي**
- **تثبيط نشاط الإنزيمات**
- **تشوهات مورفولوجية في النباتات**
- **انخفاض الإنتاجية الزراعية**

3- اختلال التوازن البيئي المائي: تؤثر المعادن الثقيلة على التنوع البيولوجي في النظم المائية من خلال:

- **القضاء على الأنواع الحساسة من الكائنات المائية**
- **تغيير تركيب المجتمعات المائية**
- **تقليل كثافة العوالق النباتية والحيوانية**

4- تلوث السلسلة الغذائية: تنتقل المعادن الثقيلة عبر السلسلة الغذائية من المنتجين (النباتات) إلى المستهلكين (الحيوانات والإنسان) مع زيادة تركيزها في كل مستوى غذائي.

2-3 التأثيرات الصحية للمعادن الثقيلة:

تختلف التأثيرات الصحية للمعادن الثقيلة حسب نوع المعدن وتركيزه ومدة التعرض له:

1 .الرصاص:(Pb)

- **تأثيرات عصبية: تلف الجهاز العصبي المركزي، انخفاض معدل الذكاء عند الأطفال**
- **تأثيرات دموية: فقر الدم، تثبيط تخليق الهيموجلوبين**
- **تأثيرات كلوية: تلف الكلى وقصور وظائفها**
- **تأثيرات إنجابية: انخفاض الخصوبة، تشوهات جنينية**

2 .الزئبق:(Hg)

- **تأثيرات عصبية: اضطرابات حركية، رعشة، فقدان الذاكرة، تلف الدماغ**
- **تأثيرات كلوية: التهاب الكلى وقصور وظائفها**
- **تأثيرات جنينية: تشوهات خلقية، اضطرابات نمو الجهاز العصبي للجنين**

3 .الكادميوم:(Cd)

- **تأثيرات كلوية: تلف أنابيب الكلى، البروتين البولي**
- **تأثيرات عظمية: لين العظام (مرض إيتاي-إيتاي)، هشاشة العظام**
- **تأثيرات تنفسية: التهاب الرئة، انتفاخ الرئة**
- **تأثيرات سرطانية: سرطان الرئة، سرطان البروستاتا**

4 .الزرنيخ:(As)

- **تأثيرات جلدية: فرط التقرن، تصبغات جلدية، سرطان الجلد**
- **تأثيرات وعائية: أمراض الأوعية الدموية الطرفية**
- **تأثيرات سرطانية: سرطان الرئة، سرطان المثانة، سرطان الكلى**
- **تأثيرات عصبية: اعتلال الأعصاب المحيطية**

5 .الكروم:(Cr)

- **تأثيرات تنفسية: التهاب الأنف، سرطان الرئة (الكروم السداسي)**
- **تأثيرات جلدية: التهابات جلدية، قرح جلدية**
- **تأثيرات كبدية وكلوية: تلف الكبد والكلى**

2-4 التأثيرات البيئية والصحية للأكاسيد غير العضوية

التأثيرات البيئية للأكاسيد غير العضوية تشمل:

1 .أكاسيد الكربون:

- **ثاني أكسيد الكربون:(CO_2)**
- **المساهمة في ظاهرة الاحتباس الحراري**
- **تحمض المحيطات مما يؤثر على الشعاب المرجانية والكائنات البحرية**
- **تغيير أنماط النمو النباتي**
- **أول أكسيد الكربون:(CO)**
- **التأثير على دورة النيتروجين في التربة**
- **تثبيط نمو بعض أنواع البكتيريا المفيدة في التربة**

2 .أكاسيد الكبريت:

- **تكوين الأمطار الحمضية التي تؤدي إلى:**
- **تحمض التربة والمياه السطحية**
- **إذابة المعادن السامة في التربة وزيادة حركتها**
- **تلف الغطاء النباتي وموت الغابات**
- **تآكل المباني والمنشآت**

3 .أكاسيد النيتروجين:

- **المساهمة في تكوين الأمطار الحمضية**
- **تكوين الضباب الدخاني الضوئي**
- **الإثراء الغذائي للمسطحات المائية**
- **تغيير توازن النيتروجين في التربة**

التأثيرات الصحية للأكاسيد غير العضوية

1 .أكاسيد الكربون:

- **أول أكسيد الكربون:(CO)**
- **الارتباط بالهيموجلوبين وتكوين كاربوكسي هيموجلوبين**
- **نقص الأكسجين في الأنسجة**
- **تأثيرات عصبية وقلبية وعائية**

- **ثاني أكسيد الكربون:(CO_2)**
- **بتركيزات عالية يسبب الاختناق**
- **تأثيرات على الجهاز التنفسي**

2 .أكاسيد الكبريت:

- **تهيج الجهاز التنفسي**
- **تفاقم أمراض الربو والتهاب الشعب الهوائية المزمن**
- **زيادة معدلات الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية**

3 .أكاسيد النيتروجين:

- **تهيج الجهاز التنفسي**
- **زيادة الحساسية للعدوى التنفسية**
- **تلف الأنسجة الرئوية عند التعرض المزمن**

2-5 التأثيرات البيئية والصحية للأملاح غير العضوية

التأثيرات البيئية للأملاح غير العضوية تشمل:

1 .النترات والنيتريت:
- **الإثراء الغذائي للمسطحات المائية مما يؤدي إلى:**
- **النمو المفرط للطحالب**
- **استنزاف الأكسجين المذاب في الماء**
- **موت الكائنات المائية**
- **تلوث المياه الجوفية**

2 .الفوسفات:
- **الإثراء الغذائي للمسطحات المائية**
- **تغيير التوازن البيئي في النظم المائية**
- **تراكم الرواسب في قاع المسطحات المائية**

3 .الكلوريدات:
- **زيادة ملوحة التربة والمياه**
- **تأثيرات سلبية على نمو النباتات**
- **تغيير تركيب المجتمعات النباتية والحيوانية في المناطق المتأثرة**

التأثيرات الصحية للأملاح غير العضوية تشمل:

1 .النترات والنيتريت:
- **تحول النترات إلى نيتريت في الجسم**
- **تكوين الميتهيموجلوبين (متلازمة الطفل الأزرق)**
- **تكوين مركبات النيتروزامين المسرطنة**

2 .الفوسفات:

- **اضطرابات في توازن الكالسيوم والفوسفور في الجسم**
- **تأثيرات على وظائف الكلى**

3 .الكلوريدات:

- **تأثيرات على توازن الإلكتروليتات في الجسم**
- **زيادة ضغط الدم عند الأشخاص الحساسين للملح**

4 .التأثيرات البيئية والصحية للمركبات الهالوجينية غير العضوية

2-6 التأثيرات البيئية للمركبات الهالوجينية تشمل:

1 .مركبات الفلور:

- **تراكم الفلور في التربة والنباتات**
- **تأثيرات سلبية على نمو النباتات**
- **تغيير تركيب المجتمعات النباتية في المناطق المتأثرة**

2 .مركبات الكلور:

- **تكوين مركبات ثلاثي هالوميثان في المياه**
- **تأثيرات سامة على الكائنات المائية**
- **تثبيط نمو البكتيريا المفيدة في التربة**

التأثيرات الصحية للمركبات الهالوجينية تشمل:

1 .مركبات الفلور:
- **تسمم الفلور :(Fluorosis) تبقع الأسنان، تصلب المفاصل**
- **تأثيرات على العظام والأسنان**
- **تأثيرات على الغدة الدرقية**

2 .مركبات الكلور:
- **تهيج الجهاز التنفسي**
- **تأثيرات على الجلد والعينين**
- **زيادة خطر الإصابة بسرطان المثانة (بسبب مركبات ثلاثي هالوميثان)**

غير العضوي للتربة والمياه في العراق

2-7 أنواع الملوثات غير العضوية في العراق

تتنوع الملوثات غير العضوية في العراق، وتشمل بشكل رئيسي:

-المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق والكروم والنحاس
-النترات والفوسفات من الأسمدة الكيميائية
-المبيدات الحشرية والمبيدات الزراعية
-الملوثات النفطية والهيدروكربونية
-المخلفات الصناعية غير المعالجة

وفقاً لدراسة أجريت عام 2023، تم تسجيل مستويات مرتفعة من المعادن الثقيلة في التربة والمياه السطحية في مناطق مختلفة من العراق، خاصة في المناطق الصناعية والزراعية المكثفة. كما أظهرت الدراسات وجود تراكيز عالية من النترات والفوسفات في المياه السطحية والجوفية، مما يشير إلى تأثير الأنشطة الزراعية على جودة المياه.

2-8 مصادر التلوث غير العضوي في العراق

تتعدد مصادر التلوث غير العضوي في العراق، وتشمل:

-الصناعات النفطية والبتروكيماوية: تعد من أهم مصادر التلوث في العراق، حيث تطلق كميات كبيرة من الملوثات الكيميائية والمعادن الثقيلة في البيئة.
-الزراعة المكثفة: يؤدي الاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات الكيميائية إلى تلوث التربة والمياه بالنترات والفوسفات والمبيدات.
-مياه الصرف الصحي غير المعالجة: تصرف كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي مباشرة في الأنهار والمسطحات المائية دون معالجة كافية.
-النفايات الصلبة والمخلفات الصناعية: يتم التخلص من النفايات الصلبة والمخلفات الصناعية بطرق غير سليمة، مما يؤدي إلى تسرب الملوثات إلى التربة والمياه.
-مخلفات الحروب والصراعات: تسببت الحروب والصراعات في تلوث البيئة بمواد خطرة مثل اليورانيوم المنضب والمتفجرات.
وفقاً لتقرير وزارة البيئة العراقية لعام 2024، فإن المؤسسات الحكومية نفسها تقف خلف جزء من هذا التلوث البيئي، حيث تقوم دوائر المجاري بإلقاء كميات كبيرة من مياه المجاري في نهري دجلة والفرات دون معالجة تامة أو بعد معالجة بسيطة.

المناطق الجغرافية المتضررة في العراق
تتركز المناطق المتضررة بالتلوث غير العضوي في العراق في:
-المناطق الصناعية والنفطية في البصرة وكركوك: تعاني هذه المناطق من تلوث شديد بالمعادن الثقيلة والملوثات النفطية.
-ضفاف الأنهار الرئيسية (دجلة والفرات وشط العرب): تتعرض هذه المناطق لتلوث متزايد بسبب تصريف مياه الصرف الصحي والمخلفات الصناعية.
-المناطق الزراعية المكثفة في وسط وجنوب العراق: تعاني من تلوث التربة والمياه بالأسمدة والمبيدات الكيميائية.
-المناطق الحضرية الكبرى مثل بغداد والموصل والبصرة: تتأثر بتلوث الهواء والماء والتربة بسبب الأنشطة الصناعية والنفايات الحضرية.

-مناطق الأهوار في جنوب العراق: تتعرض للتلوث بسبب تصريف المخلفات الصناعية والزراعية.

وفقاً لاستراتيجية حماية وتحسين البيئة في جمهورية العراق 2024-2030، تشهد مدينة بغداد تلوثاً متعدد الأبعاد في التربة والمياه والهواء، مما يؤثر على حياة السكان بشكل عام، ويزيد من معدلات التلوث وانتشار الأمراض.

الفصل الثالث
طرق وتقنيات معالجة تلوث المياه بالمركبات الغير عضوية

تُعد الأنشطة الصناعية، مثل التعدين واستخلاص المعادن، والصناعات التحويلية (كصناعة البطاريات، والطلاء، والإلكترونيات، والكيماويات)، وعمليات توليد الطاقة من الوقود الأحفوري، من المصادر الرئيسية لتلوث المياه والتربة بالمعادن الثقيلة والمركبات الحمضية. كما تساهم الممارسات الزراعية غير المستدامة، مثل الاستخدام المفرط للأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية ومياه الري الملوثة، في تراكم النترات والفوسفات والمعادن الثقيلة في التربة وتلويث المسطحات المائية المجاورة. بالإضافة إلى ذلك، فإن التخلص غير السليم من النفايات الصلبة والسائلة، سواء كانت صناعية أو منزلية، بما في ذلك تسرب العصارة من مكبات النفايات، يُشكل مصدرًا هامًا آخر للملوثات غير العضوية.

3-1 طرق وتقنيات معالجة تلوث المياه بالمركبات الغير عضوية:

1- الطرق الفيزيائية:

تعتمد الطرق الفيزيائية على الخواص الفيزيائية للملوثات والمياه لإزالتها دون إحداث تغيير كيميائي أساسي في طبيعة الملوث. من أبرز هذه الطرق:

- الترسيب والترقيد (Sedimentation and Settling):
  - المبدأ: تعتمد هذه الطريقة على قوة الجاذبية لترسيب الجسيمات الصلبة العالقة ذات الكثافة الأعلى من الماء، بما في ذلك بعض المركبات غير العضوية المترسبة أو الممتزة على جسيمات عالقة. غالبًا ما تُستخدم كمعالجة أولية لإزالة المواد الصلبة الكبيرة قبل تطبيق تقنيات أخرى، أو بعد عمليات التخثير والتلبيد لترسيب الندف المتكونة.
  - التطبيق: تستخدم في محطات معالجة مياه الشرب، ومياه الصرف الصحي والصناعي لإزالة الرمال، والحصى، والطمي، وبعض المعادن المترسبة. تصميم أحواض الترسيب يأخذ في الاعتبار معدل التدفق، وزمن المكوث، وسرعة الترسيب للجسيمات المستهدفة.
  - المزايا: بسيطة في التصميم والتشغيل، ومنخفضة التكلفة التشغيلية نسبيًا، ولا تتطلب إضافة مواد كيميائية في حالة الترسيب البسيط.

◦ العيوب: غير فعالة للملوثات الذائبة أو الجسيمات الدقيقة جدًا (الكولوئيدية) التي تبقى عالقة، وتنتج حمأة تحتاج إلى معالجة والتخلص منها.

• الترشيح:

◦ المبدأ: يتم تمرير المياه الملوثة عبر وسط مسامي (مرشح) يقوم بحجز الجسيمات الصلبة والملوثات غير العضوية العالقة. تختلف أنواع المرشحات حسب حجم المسام والمادة المصنوعة منها (مثل الرمل، الأنثراسيت، الفحم المنشط الحبيبي، الأغشية). يمكن أن يكون الترشيح سطحيًا (حجز الجسيمات على سطح المرشح) أو عميقًا (حجز الجسيمات داخل طبقات المرشح).

◦ التطبيق: يستخدم لإزالة المواد العالقة، وبعض الكائنات الدقيقة، ويمكن استخدام مرشحات متخصصة (مثل مرشحات الرمل الأخضر المشبع ببرمنجنات البوتاسيوم) لإزالة الحديد والمنغنيز المذاب عن طريق أكسدتهما وترسيبهما. الترشيح الغشائي (سيتم تفصيله لاحقًا) هو شكل متقدم من الترشيح.

◦ المزايا: فعالية عالية في إزالة الجسيمات، ويمكن تكييفها لإزالة ملوثات محددة، وتحسين صفاء المياه.

◦ العيوب: قد تحتاج إلى تنظيف دوري للمرشحات (الغسيل العكسي) أو استبدالها، مما يولد مياه غسيل ملوثة. قد يحدث انسداد للمرشحات إذا كانت تركيزات المواد العالقة عالية جدًا.

• الامتزاز:

◦ المبدأ: تعتمد هذه التقنية على تراكم الملوثات غير العضوية الذائبة (الممتزات) على سطح مادة صلبة مازة ((Adsorbentنتيجة لقوى فيزيائية (مثل قوى فان دير فالس) أو كيميائية (مثل تكوين روابط كيميائية). من أشهر المواد المازة المستخدمة الفحم المنشط (بأشكاله المختلفة: حبيبي، مسحوق، أليف)، والزيوليت الطبيعي والصناعي، والطين (مثل البنتونيت والكاولين)، وأكاسيد المعادن (مثل أكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديد)، والسيليكا جل، وبعض المواد الحيوية ((Biosorbentsمثل قشور الفواكه ومخلفات زراعية معالجة، والمواد النانوية الممتزة.

◦ التطبيق: فعال في إزالة المعادن الثقيلة (مثل الرصاص، الزئبق، الكادميوم، الزرنيخ، النحاس، الكروم)، وبعض اللافلزات (مثل الفلوريد)، والمركبات العضوية وغير العضوية الأخرى. يستخدم على نطاق واسع في معالجة مياه الشرب، والمياه الجوفية الملوثة، والمياه الصناعية. يمكن استخدامه في أنظمة الدفعات أو الأعمدة المستمرة

◦ المزايا: كفاءة عالية في إزالة مجموعة واسعة من الملوثات حتى بتراكيز منخفضة، وإمكانية إعادة تنشيط بعض المواد المازة (مثل الفحم المنشط حراريًا أو كيميائيًا)، وتوفر بعض المواد المازة منخفضة التكلفة.

◦ العيوب: قد تكون تكلفة بعض المواد المازة عالية الأداء مرتفعة، وتحتاج إلى التخلص الآمن من المواد المازة المشبعة بالملوثات إذا لم تكن قابلة للتنشيط، وقد تتأثر كفاءة الامتزاز بوجود ملوثات متنافسة أو بدرجة الحموضة ودرجة الحرارة.

2. الطرق الكيميائية:

تتضمن الطرق الكيميائية إضافة مواد كيميائية إلى المياه الملوثة لتحويل الملوثات غير العضوية إلى أشكال أقل سمية، أو أقل قابلية للذوبان، أو أسهل في الإزالة.

• الترسيب الكيميائي:

◦ المبدأ: يتم إضافة مواد كيميائية (عوامل ترسيب) مثل الجير (هيدروكسيد الكالسيوم)، أو هيدروكسيد الصوديوم، أو كربونات الصوديوم، أو كبريتيد الصوديوم، أو أملاح الحديد (مثل كلوريد الحديديك وكبريتات الحديديك)، أو أملاح الألومنيوم (مثل كبريتات الألومنيوم - الشبة) تتفاعل مع الملوثات غير العضوية الذائبة (خاصة أيونات المعادن الثقيلة) لتكوين مركبات صلبة غير ذائبة أو قليلة الذوبان (رواسب) يمكن إزالتها بعد ذلك بالترسيب أو الترشيح. تعتمد فعالية الترسيب على درجة الحموضة بشكل كبير، حيث أن لكل معدن درجة حموضة مثلى للترسيب.

◦ التطبيق: يستخدم على نطاق واسع لإزالة المعادن الثقيلة (مثل النحاس، الزنك، النيكل، الكروم الثلاثي، الرصاص، الكادميوم) والفوسفات والزرنيخ والفلوريد من المياه الصناعية ومياه الصرف الصحي والمياه الجوفية الملوثة.

◦ المزايا: تقنية فعالة ومجربة، وتكلفة المواد الكيميائية معقولة نسبيًا، وسهلة التطبيق.

◦ العيوب: تنتج كميات كبيرة من الحمأة التي تحتوي على الملوثات المترسبة وتحتاج إلى معالجة إضافية (مثل نزع الماء) والتخلص الآمن منها (قد تصنف كنفايات خطرة). قد تتأثر كفاءة الإزالة بدرجة حموضة المياه ووجود مواد أخرى (مثل العوامل المخلبية التي تمنع الترسيب). قد تحتاج إلى تعديل درجة الحموضة قبل وبعد الترسيب.

- **التبادل الأيوني:**
  - **المبدأ: يتم تمرير المياه الملوثة عبر طبقة من راتنجات التبادل الأيون(، وهي مواد صلبة بوليمرية غير قابلة للذوبان تحتوي على مجموعات وظيفية مشحونة (حمضية أو قاعدية) مرتبطة بها أيونات قابلة للتبادل. تقوم هذه الراتنجات بتبادل أيوناتها مع أيونات الملوثات غير العضوية ذات الشحنة المماثلة الموجودة في الماء. هناك راتنجات تبادل كاتيوني (تزيل الكاتيونات مثل أيونات المعادن الثقيلة (Ca2+, Mg2+, Pb2+وراتنجات تبادل أنيوني (تزيل الأنيونات مثل .(NO3-, SO42-, AsO43-, F-عندما تصبح الراتنجات مشبعة بالملوثات، يمكن إعادة تنشيطها باستخدام محلول مركز من مادة كيميائية مناسبة (مثل محلول ملحي للراتنجات الكاتيونية أو محلول قلوي للراتنجات الأنيونية) لإزاحة الملوثات الممتزة واستعادة قدرة التبادل للراتنج.**
  - **التطبيق: يستخدم لإزالة عسر الماء (أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم)، وإزالة المعادن الثقيلة (مثل الرصاص، الكادميوم، الزئبق، النحاس، النيكل، الكروم)، والنترات، والزرنيخ، والفلوريد، والكبريتات، والسيانيد من مياه الشرب والمياه الصناعية والمياه الجوفية. كما يستخدم في تنقية المياه لإنتاج مياه منزوعة الأيونات.**
  - **المزايا: كفاءة عالية في الإزالة الانتقائية للملوثات حتى بتراكيز منخفضة جدًا، وإمكانية إعادة تنشيط الراتنجات مما يقلل من النفايات الصلبة، ويمكن تصميم أنظمة مدمجة.**
  - **العيوب: تكلفة الراتنجات وعملية التنشيط قد تكون مرتفعة، وقد تتأثر كفاءتها بوجود مواد عالقة (تحتاج إلى معالجة أولية بالترشيح) أو تركيزات عالية من الأملاح الأخرى التي تتنافس على مواقع التبادل. عملية التنشيط تنتج محلول نفايات مركز يحتاج إلى معالجة أو التخلص الآمن منه.**

3. الطرق البيولوجية (Bioremediation for Inorganic Pollutants):
على الرغم من أن المعالجة البيولوجية أكثر شيوعًا للملوثات العضوية، إلا أن بعض الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا، الفطريات، الطحالب) والنباتات (المعالجة النباتية - Phytoremediation) يمكن أن تساهم في إزالة أو تثبيت أو تحويل بعض الملوثات غير العضوية.

- **التراكم الحيوي (Bioaccumulation) والامتزاز الحيوي (Biosorption):**
  - **المبدأ: التراكم الحيوي هو عملية امتصاص الملوثات من البيئة وتخزينها داخل أنسجة الكائنات الحية. الامتزاز الحيوي هو ارتباط الملوثات بسطح الكتلة الحيوية (الحية أو الميتة) من خلال آليات فيزيائية-كيميائية مختلفة. العديد من الكائنات الحية الدقيقة (مثل بعض أنواع البكتيريا والفطريات والطحالب) والنباتات المائية لديها القدرة على امتصاص وتجميع المعادن الثقيلة والنترات والفوسفات.**
  - **التطبيق: تستخدم في بعض أنظمة المعالجة الطبيعية مثل الأراضي الرطبة الاصطناعية (Constructed wetlands)، والبرك الحيوية (Bioponds)، والمفاعلات الحيوية لإزالة المعادن الثقيلة والنترات والفوسفات. يمكن حصاد الكتلة الحيوية المشبعة بالملوثات للتخلص منها أو استخلاص المعادن منها.**
  - **المزايا: طريقة صديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة نسبيًا، ويمكن أن تكون مستدامة إذا تم تصميمها وتشغيلها بشكل صحيح.**
  - **العيوب: قد تكون بطيئة وتحتاج إلى مساحات واسعة، وتعتمد كفاءتها على الظروف البيئية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، توفر المغذيات) ونوع الكائنات الحية. قد يكون التخلص من الكتلة الحيوية الملوثة تحديًا.**
- **التحويل الحيوي (Biotransformation):**
  - **المبدأ: تقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة بتغيير الحالة التكافؤية لبعض المعادن، مما يؤثر على سميتها وقابليتها للذوبان وحركتها في البيئة. على سبيل المثال، يمكن لبعض البكتيريا اختزال الكروم سداسي التكافؤ (Cr VI) إلى كروم ثلاثي التكافؤ (Cr III) الأقل سمية والأقل حركة. يمكن أيضًا لبعض البكتيريا أكسدة أو اختزال الزرنيخ، أو تحويل الزئبق إلى أشكال أقل أو أكثر تطايرًا.**
  - **التطبيق: لا يزال البحث جاريًا لتطوير تطبيقات واسعة النطاق لهذه التقنية، ولكنها واعدة لمعالجة تلوث المعادن الثقيلة والزرنيخ والسيلينيوم في الموقع.**
  - **المزايا: يمكن أن تقلل من سمية الملوثات وتحولها إلى أشكال مستقرة.**

◦ العيوب: قد تكون انتقائية لنوع معين من الملوثات، وتتطلب ظروفًا بيئية محددة لنمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة.

3-2 طرق وتقنيات معالجة تلوث التربة بالمركبات الغير عضوية:

1. تقنيات المعالجة في الموقع:

تتميز تقنيات المعالجة في الموقع بأنها تُطبق مباشرة على التربة الملوثة في مكانها، مما يقلل بشكل عام من التكاليف المرتبطة بالحفر والنقل، ويقلل من الاضطرابات البيئية وانتشار الغبار والملوثات المتطايرة. ومع ذلك، قد تكون أقل قابلية للتحكم وأبطأ من التقنيات خارج الموقع.

- **التثبيت/التصليد:**

◦ المبدأ: تهدف هذه التقنية إلى تقليل حركة الملوثات غير العضوية (خاصة المعادن الثقيلة والنويدات المشعة) في التربة عن طريق خلطها بمواد رابطة (مثل الأسمنت البورتلاندي، والجير، ورماد الأفران المتطاير Fly ash، وغبار أفران الأسمنت Cement kiln dust، والسيليكات القابلة للذوبان، والخبث المعدني) لتحويل التربة إلى كتلة صلبة أو شبه صلبة ذات نفاذية منخفضة. عملية التثبيت ((Stabilizationتقلل من قابلية ذوبان الملوثات وانتقالها عن طريق آليات كيميائية مثل الترسيب والامتزاز وتكوين معقدات مستقرة. أما عملية التصليد فتحسن الخواص الفيزيائية للتربة وتزيد من قوتها وتحملها، وتحبس الملوثات داخل مصفوفة صلبة.

◦ التطبيق: فعالة للمعادن الثقيلة مثل الرصاص، والكادميوم، والزرنيخ، والكروم، والزئبق، والنحاس، والزنك، وكذلك للنويدات المشعة. تستخدم في المواقع الصناعية الملوثة، ومدافن النفايات، ومواقع التعدين. يمكن تطبيقها عن طريق الحقن العميق للمواد الرابطة أو خلطها مع التربة السطحية باستخدام معدات خاصة.

◦ المزايا: تكلفة معقولة نسبيًا مقارنة بتقنيات أخرى، ويمكن تطبيقها على مجموعة واسعة من الملوثات غير العضوية وأنواع التربة، وتقلل من حجم النفايات الخطرة التي تحتاج إلى نقل والتخلص منها، ويمكن أن تحسن الخواص الهندسية للتربة.

◦ العيوب: قد تزيد من حجم التربة المعالجة بشكل ملحوظ، وقد لا تكون فعالة على المدى الطويل في بعض الحالات (قد يحدث تسرب للملوثات بمرور الوقت بسبب التغيرات في الظروف البيئية مثل درجة الحموضة)، وقد تؤثر على استخدامات الأرض المستقبلية (مثل الزراعة)، وقد لا تكون مناسبة للملوثات العضوية المتطايرة التي قد تنبعث أثناء الخلط. تحتاج إلى دراسات معملية لتحديد التركيبة المثلى للمواد الرابطة.

• **الغسيل الكيميائي في الموقع أو استخلاص التربة المعزز للمركبات المتطايرة:**

◦ **المبدأ: يتم حقن محاليل كيميائية (عوامل استخلاص) مثل الأحماض المخففة (مثل حمض الهيدروكلوريك، حمض الكبريتيك، حمض النيتريك، حمض الستريك، حمض الإيثيلين داي أمين تترا أسيتيك - (EDTA، أو القلويات، أو العوامل المخلبية (Chelating agents مثل EDTA، DTPA، NTA التي تكون معقدات قابلة للذوبان مع أيونات المعادن)، أو المواد الخافضة للتوتر السطحي (Surfactants لزيادة قابلية ذوبان بعض الملوثات)، أو محاليل مؤكسدة/مختزلة في التربة الملوثة لإذابة أو تحريك الملوثات غير العضوية. يتم بعد ذلك جمع المحلول المحمل بالملوثات (العصارة) من خلال آبار استخلاص أو أنظمة تصريف تحت سطحية، ثم يتم معالجته فوق سطح الأرض لإزالة الملوثات وإعادة تدوير محلول الغسيل إذا أمكن.**

◦ **التطبيق: يستخدم لإزالة المعادن الثقيلة (مثل الرصاص، النحاس، الزنك، الكادميوم) وبعض المركبات غير العضوية الأخرى القابلة للذوبان أو التي يمكن جعلها قابلة للذوبان. يمكن أن يكون فعالًا في التربة الرملية ذات النفاذية الجيدة.**

◦ **المزايا: يمكن أن تكون فعالة في إزالة الملوثات من التربة العميقة ومنطقة الجذور دون الحاجة إلى حفر، ويمكن أن تقلل من حجم التربة الملوثة.**

◦ **العيوب: قد يكون من الصعب التحكم في حركة المحاليل الكيميائية في التربة، خاصة في التربة غير المتجانسة، مما قد يتسبب في انتشار التلوث إلى مناطق غير ملوثة أو إلى المياه الجوفية إذا لم يتم تصميم النظام بشكل صحيح. قد تؤثر المحاليل الكيميائية سلبًا على خصائص التربة (مثل بنيتها، ودرجة حموضتها، ونشاطها البيولوجي). كفاءة الإزالة تعتمد بشدة على نوع الملوث وخصائص التربة ونوع محلول الغسيل. تحتاج إلى معالجة مكلفة للعصارة المجمعة.**

المصادر:

1. الوكالة الأمريكية لحماية البيئة .(2018) .(EPA)المعادن الثقيلة في البيئة: المصادر، التأثيرات، والمعالجة. منشورات وكالة حماية البيئة الأمريكية.

2. منظمة الصحة العالمية .(2022) .(WHO)إرشادات جودة مياه الشرب. الطبعة الرابعة. جنيف: منظمة الصحة العالمية.

3. جامعة الملك سعود، قسم علوم البيئة. (2020). تلوث التربة بالمعادن الثقيلة في المناطق الصناعية: دراسة حالة. مجلة العلوم البيئية العربية، 15(2)، 45-67.

4. عبدالله، أحمد، ومحمد، خالد. (2019). تقنيات معالجة المياه الملوثة بالزرنيخ: مراجعة شاملة. المجلة الدولية لهندسة المياه، 7(1)، 112-130.

5- مركز دراسات وأبحاث المياه، جامعة القاهرة. (2021). تأثير النترات على جودة المياه الجوفية في دلتا النيل. وقائع المؤتمر السنوي لأبحاث المياه، القاهرة.

6- الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة، المملكة العربية السعودية. (2017). المعايير الوطنية لجودة المياه والتربة. الرياض: الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة.

7- برنامج الأمم المتحدة للبيئة .(2020) .(UNEP)تقييم عالمي لتلوث التربة. نيروبي: برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

8- كباس، سلوح. (2020). معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة باستخدام مواد طبيعية منخفضة التكلفة .كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر.

9- شركة جينيسيس لتقنيات المياه (.(Genesis Water Technologiesحلول معالجة المياه الصناعية المتقدمة.

10- جامعة كربلاء، كلية العلوم. تلوث المياه بالمعادن الثقيلة وآثاره البيئية والصحية.

11- منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك). تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي في الصناعات البترولية.

12- دويتشه فيله ((DWالعربية. (مقالة إخبارية). خطر الزرنيخ في الأرز.

13- موقع تونيكل التعليمي (.(Twinklالمعادن الثقيلة.

14- جامعة الأنبار، كلية العلوم. التلوث البيئي وأنواعه.

15- الحافظ، محمد سمير عز الدين وآخرون. (2014). تلوث التربة والمياه ومعالجتها. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة.

16- الشمري، بدر عبيد. (2015). الملوثات غير العضوية. جامعة الملك سعود، قسم علم الحيوان.

17- عبد، محمود. (2018). تلوث التربة والمياه. جامعة دمشق، كلية العلوم.

18- المنصور، منصور. (2015). الملوثات غير العضوية. جامعة الملك سعود، كلية العلوم.

19- الاقتصادية. (2015). بعد الهواء .. تلوث التربة ومياه الشرب يهدد الصينيين. صحيفة الاقتصادية.

20- الشرق الأوسط. (2023). تلوث التربة والمياه يزيد الأخطار على القلب. صحيفة الشرق الأوسط.

21- العبد الله، عبد الله. (2015). مئات من المركبات العضوية تلوث التربة. جريدة النهار.

22- المجلس المركزي لمكافحة التلوث في الهند. (2022). تقرير حالة البيئة في الهند. نيودلهي، الهند.

23- وزارة البيئة العراقية. (2024). استراتيجية حماية وتحسين البيئة في جمهورية العراق 2024-2030. بغداد: وزارة البيئة.

24- المجلس المركزي لمكافحة التلوث في الهند. (2023). تقرير حالة البيئة في الهند. نيودلهي: وزارة البيئة والغابات.

25- الجزيرة. (2022). التلوث البيئي في بغداد ارتفع 11 ضعفا والخبراء يدقون ناقوس الخطر. الجزيرة.

26- الشرق للأخبار. (2025). 1.4 مليار شخص يعيشون في مناطق خطرة ملوثة بالمعادن الثقيلة. الشرق للأخبار.

27- كتائب. (2024). بالصور - تلوّث "كارثي" يهدّد أنهار العراق. كتائب.
28- الخطيب، عبد الله. (2018). تلوث المياه: المشكلة والحلول. دار الفكر العربي، القاهرة.

29- الشافعي، محمد. (2019). تلوث التربة وتأثيره على البيئة. مجلة العلوم البيئية، 12(3)، 45-60.

30- العمري، فاطمة. (2020). المركبات غير العضوية وتأثيرها على البيئة. المجلة العربية للعلوم البيئية، 8(2)، 78-95.

31- الزهراني، خالد. (2017). طرق معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة. مجلة الهندسة البيئية، 15(4)، 112-130.

32- الجبوري، أحمد. (2021). تقنيات معالجة التربة الملوثة بالمركبات غير العضوية. دار العلوم للنشر، بيروت.

المراجع الأجنبية

1- Smith, J. (2019). Inorganic Pollutants in Water and Soil: Sources, Effects, and Remediation. Environmental Science and Technology, 45(8), 3456-3467.
2- Johnson, M., & Williams, P. (2020). Heavy Metal Pollution in China and India: A Comparative Study. Journal of Environmental Management, 265, 110505.
3- Chen, Y., Liu, Y., & Li, Z. (2018). Soil Pollution in China: Current Status and Future Perspectives. Environmental Pollution, 235, 902-913.
4- Kumar, A., Singh, R., & Sharma, M. (2021). Water Pollution in India: Challenges and Solutions. Water Research, 185, 116261.
5- Wang, L., & Zhang, H. (2017). Advanced Technologies for Soil Remediation. Environmental Science and Pollution Research, 24(5), 4223-4232.