

النشرة البيئية

لكلية العلوم - جامعة طنطا



نشرة نصف سنوية يعدها ويصدرها قطاع

شئون خدمة المجتمع وتنمية البيئة

أكتوبر ٢٠٢٥ م

تحت رعاية

أ.د/ محمد حسين محمود

رئيس جامعة طنطا

أ.د/ محمود فاروق عبد الحميد سليم

نائب رئيس جامعة طنطا لشئون خدمة المجتمع وتنمية البيئة

أ.د/ عبير عبد الحميد علم الدين

عميد كلية العلوم

أ.د/ زينهم السعيد سالم

وكيل كلية العلوم لشئون خدمة المجتمع وتنمية البيئة

قام بإعداد النشرة البيئية
د. دعاء محمد السيد عارف

محتويات العدد

غزو الميكروبلاستيك : خطر يهدد النظم البيئية وصحة الإنسان

إعداد

أ.د/ انصاف السيد الجيار

أستاذ علم البيئة – قسم علم الحيوان – كلية العلوم – جامعة طنطا

٢- النشاط الإشعاعي: الأسس والتطبيقات

إعداد

أ.د/ محمد ثروت صلاح هيكل

أستاذ متفرغ - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة طنطا

٣- استخدام المواد النانوية في معالجة المياه والتخلص من المعادن الثقيلة

إعداد

أ.د/ مروة نبية محمد النحاس

أستاذ الكيمياء الفيزيائية – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة طنطا

١- غزو الميكروبلاستيك: خطر يهدد النظم البيئية وصحة الإنسان

إعداد

أ.د/ انصاف السيد الجيار أستاذ علم البيئة – قسم علم الحيوان



في صمت، تتسلل جزيئات الميكروبلاستيك الدقيقة إلى كل زاوية من كوكبنا، من أعماق المحيطات إلى قمم الجبال الجليدية، وحتى إلى أجسادنا. هذه القطع البلاستيكية متناهية الصغر، التي يقل حجمها عن 5 مليمترات، ليست مجرد مشكلة بيئية مرئية كجزر ”القمامة البلاستيكية العائمة؛ بل هي مخاطر خفية تُهدد النظم البيئية، السلسلة الغذائية، وصحة الإنسان بطرق لم نفهمها بشكل كامل بعد. إنها أزمة صامتة تتطلب اهتماماً عاجلاً وفهماً عميقاً لمصادرها وتأثيراتها والحلول الممكنة.

لظالما كان يُنظر إلى التلوث البلاستيكي على أنه مشكلة مرئية يمكن جمعها والتخلص منها. لكن الميكروبلاستيك يُغير هذه المعادلة، فجزيئاته صغيرة جداً لدرجة أنها تُصبح جزءاً لا يتجزأ من البيئة. سواء أكانت ناتجة عن تكسير قطع البلاستيك الأكبر، أو منسوجات الملابس الصناعية، أو حتى من منتجات العناية الشخصية، فإنها تُشكل تحدياً معقداً يواجه العلماء، الحكومات، والأفراد على حد سواء.

هناك أنواع عديدة للبلاستيك وأقربها للمستهلك هي الأرقام الموجودة أسفل العبوات من 1 حتى 7، فالبلاستيك أحادي الاستخدام (1) هو عبارته عن جميع الأغراض البلاستيكية التي تستخدم مرة واحدة قبل إلقائها أو إعادة تدويرها.

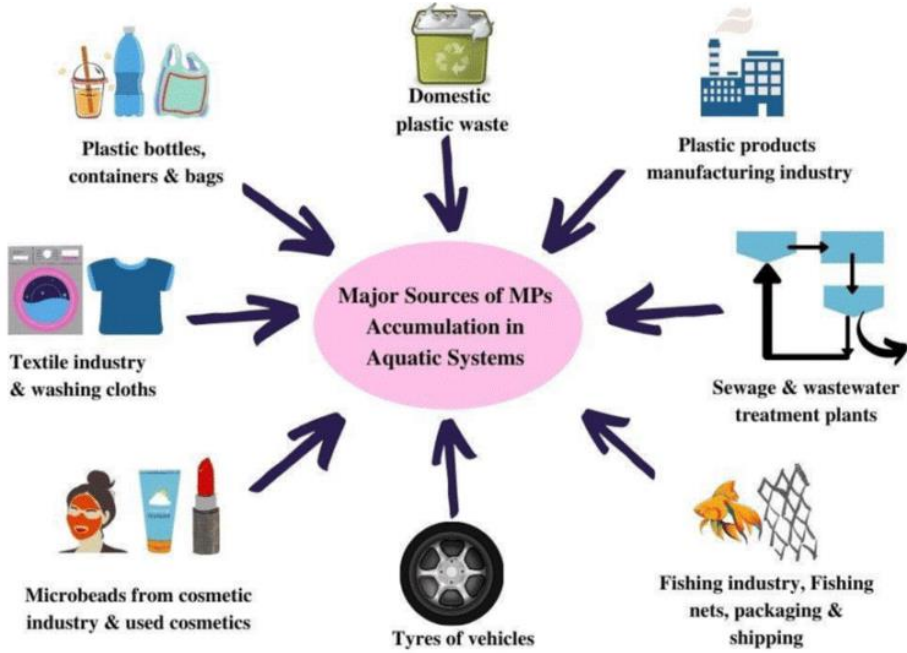
هذه الأغراض تشمل أشياء مثل الأكياس البلاستيكية والقش وعبوات المياه ومعظم أغلفة المواد الغذائية، ولا يمكن استخدام مرة أخرى حيث أن هناك جزيئات منها ”

الميكروبلستيك ”تذوب في المياه والعصائر والمواد التي تحفظ بداخلها مرة أخرى، وكذلك أطباق الفووم.

وقد تم اكتشاف المواد الكيميائية الضارة في البلاستيك في مختلف القطاعات و المنتجات (مثل ألعاب الأطفال، والتغليف ، والمعدات الكهربائية والإلكترونية، والمركبات، والمنسوجات الاصطناعية والأثاث، ومواد البناء، والأجهزة الطبية، ومنتجات العناية الشخصية، والمنزلية، والتغليف) بما في ذلك المواد الملامسة للأغذية والتي يسبب استخدامها خلل في التنوع البيولوجي خاصة الأكياس البلاستيكية(1).

وتشير الدراسات إلى أن المواد الكيميائية الضارة في البلاستيك قد تؤثر سلباً على الصحة البشرية والبيئة، ليتم تحديد أكثر من 3,200 مادة من هذه المواد ذات خصائص ضارة للصحة، وتشمل الآثار الصحية لتعرض الأشخاص للمواد الكيميائية في البلاستيك: تلف الجهاز العصبي، وانخفاض الخصوبة، وأمراض القلب، والأوعية الدموية، وخلل في وظائف الهرمونات، وسرطان الكبد والرئة.

وتعد مشكلة الميكروبلستيك تحدياً عالمياً مُعقداً يتطلب استجابة جماعية من الحكومات، الصناعات، والأفراد. إن فهم هذه المخاطر الخفية هو الخطوة الأولى نحو مستقبل أكثر صحة واستدامة لكوكبنا ولنا جميعاً (٢).



١ - كيف تُهدد جزيئات الميكرو بلاستيك أجسادنا وكوكبنا؟

١.١ - تلوث النظم البيئية على نطاق واسع:

المحيطات والمسطحات المائية: تُعد المحيطات المصرف الأكبر للميكرو بلاستيك، حيث تبتلعها الكائنات البحرية، وتُدخلها إلى السلسلة الغذائية البحرية (٣)

التربة والهواء: تتسرب جزيئات الميكرو بلاستيك إلى التربة وتؤثر على صحتها، وتُحملها الرياح لتنتشر في الغلاف الجوي، مما يعني أننا ننتفصها

المياه العذبة: تم العثور على الميكرو بلاستيك في الأنهار، البحيرات وحتى مياه الشرب المعبأة والصنبور.

١.٢. التأثير على الحياة البرية:

الابتلاع والانسداد: تبتلع الكائنات البحرية والبرية جزيئات الميكرو بلاستيك عن طريق الخطأ، مما يُسبب انسداداً في الجهاز الهضمي، أو شعوراً زائفاً بالشبع يؤدي إلى سوء التغذية

المواد الكيميائية السامة: يُمكن للميكروبلستيك امتصاص المواد الكيميائية السامة من البيئة، وعند ابتلاعها، تُطلق هذه السموم داخل أجساد الحيوانات (٤)

٣,١. المخاطر على صحة الإنسان

التناول والاستنشاق: تُدخل جزيئات الميكروبلستيك إلى أجسامنا عن طريق الغذاء (خاصةً المأكولات البحرية)، الماء، وحتى عن طريق استنشاقها من الهواء

التأثيرات المحتملة: تُشير الدراسات الأولية (مع الحاجة للمزيد من الأبحاث) إلى أن الميكروبلستيك قد يُؤثر على صحة الجهاز الهضمي، يُسبب التهابات، ويُحتمل أن يُساهم في مشكلات صحية أخرى بسبب المواد الكيميائية المرتبطة به

وجودها في الأعضاء البشرية: تم العثور على جزيئات الميكروبلستيك في الرئة، الدم، وحتى المشيمة البشرية، مما يُثير قلقاً كبيراً بشأن تأثيرها (٥)

ويلفت أن يوم البيئة العالمي للعام ٢٠٢٥ الذي تستضيفه "سيؤول"، يرفع شعار "إنهاء التلوث البلاستيكي". وسيُصار إلى توقيع اتفاقية عن البلاستيك الذي وصل إنتاجه العالمي إلى ٤٠٠ مليون طن متري سنوياً في ٢٠٢٢، ويؤمل أن تشكل نقطة تحول في الحفاظ على البيئة.

وتظهر دراسات علمية واسعة أن الشخص العادي يتناول نحو ٥ غرامات من البلاستيك أسبوعياً، تؤدي إلى تسرب ٥٠,٠٠٠ جسيم من الميكروبلستيك إلى جسمه سنوياً. وقد يرتفع هذا العدد لدى الأشخاص الذين يتبعون نظاماً غذائياً غنياً بالأطعمة المصنّعة، وفق ما أفادت صحيفة "الغارديان".

تذكيراً، بلغ الإنتاج العالمي من البلاستيك في العام ٢٠٢٠ نحو ٣٨٠ مليون طن، فيما وصل معدل استهلاك الفرد من الألياف البلاستيكية سنوياً في بعض الدول العربية إلى ٤٠ كيلوغراماً للفرد مقابل المعدل العالمي الذي يبلغ ٢٤ كيلوغراماً.

وفي العام ٢٠٢٢، أثبت العلماء للمرة الأولى أن جزيئات ميكروبلستيك تدخل إلى الدورة الدموية للبشر. وبعد سنتين، عثر علماء صينيون على تلك الجزيئات في قلوب أشخاص أُجريت لهم عمليات جراحية في ذلك العضو. (٦)

٢- الجسيمات البلاستيكية خطر جديد يهدد صحة الدماغ



كشفت دراسة حديثة أجراها فريق دولي من الأكاديميين بقيادة الأكاديمية الصينية للعلوم البيئية، بالتعاون مع الجامعة الوطنية في سنغافورة وجامعة ديوك الأمريكية، عن مخاطر كبيرة ترتبط بالجسيمات البلاستيكية الدقيقة المنتشرة في البيئة

وأوضحت الدراسة أن هذه الجسيمات تشكل تهديداً مباشراً لصحة الدماغ والجهاز العصبي عند تجاوزها حاجز الدم في الدماغ

أظهرت دراسة أخرى أجريت على الفئران أن الجسيمات البلاستيكية الدقيقة، التي يقل حجمها عن 5 ميكرومتر، يمكنها اختراق حاجز الدماغ، حيث يتم ابتلاعها بواسطة الخلايا المناعية ما يؤدي إلى تكوين تكتلات تسد الأوعية الدموية في الدماغ. وقد تسببت هذه الانسدادات في حدوث جلطات استمرت لفترات طويلة تصل إلى 28 يوماً، مما أدى إلى تراجع في وظائف الذاكرة والمهارات الحركية (٧).

وأكدت أن هذه الانسدادات قد تزيد من مخاطر الإصابة بالأمراض العصبية التنكسية مثل الزهايمر، بالإضافة إلى الاكتئاب وأمراض القلب (١).

ولم يقتصر التأثير على الإنسان فقط، بل يمتد ليشمل النظام البيئي بأكمله، ما يجعل هذه الجسيمات تهديداً بينياً وصحياً غير مسبوق. نُشرت نتائج الدراسة في مجلة “**science advances**”

وفي ظل هذه المخاطر، تم تطوير بعض الوسائل للحد من تأثير الجسيمات البلاستيكية الدقيقة، مثل غلي المياه الذي أثبتت دراسة سابقة أنه يزيل ما يصل إلى 90 % من هذه الجسيمات.

ومع ذلك، يبقى التركيز على تقليل مصادر التلوث وتعزيز الوعي ضرورة ملحة للحد من هذا الخطر المتزايد.

وفي دراسة نُشرت في ١٥ أيار الماضي، وُجدت تلك الجزيئات الدقيقة في الأجهزة التناسلية للرجال.

إذن، تتراكم الأدلة على أن البلاستيك يشقّ طريقه إلى أجسامنا، ويشكّل تهديداً جدياً لصحة مختلف الأعضاء.



٤- تعرّف على "البلاستيك الخفي"

وما زالت التأثيرات طويلة الأمد للجزيئات البلاستيكية الدقيقة على صحة الإنسان غير معروفة إلى حدّ كبير. ثمة دراسات ربطت هذه الجزيئات بمجموعة واسعة من الأمراض. ويحتاج الأمر إلى مزيد من الدراسات لتقصّي التأثيرات المحدّدة للميكروبلستيك على الاضطرابات الصحية المختلفة.



في المقابل، لم تُلاحظ تغيّرات واضحة في السلوكيات الشخصية المتعلقة باستهلاك البلاستيك، بالرغم من تكاثر المعلومات عن تأثيراته السلبية. وفي منطقتنا، ينتج كلّ شخص نحو ٦ كيلوغرامات من النفايات البلاستيكية سنوياً. ويعدّ البحر الأبيض المتوسط أحد المناطق الأكثر تلوثاً بالنفايات البلاستيكية في العالم. ويشار إلى أن إعادة التدوير لا تشمل سوى ١٠٪ من النفايات البلاستيكية، في حين ينتهي ما لا يقلّ عن ١٤ مليون طن في المحيطات كلّ عام. (٨)

٥- الميكروبلاستيك خطر يخترق جسم الإنسان ويهدد الخصوبة البشرية

هناك أدلة علمية متزايدة تشير إلى أن الميكروبلاستيك قد يشكل تهديداً مباشراً لصحة الجهاز التناسلي لدى الإنسان، بما في ذلك المبيض والخصية

كشفت دراسة حديثة صدرت عن منظمة غرينبيس الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وجود جزيئات ميكروبلاستيك في السائل الجريبي للمبيض البشري، وهو السائل الذي يحيط بالبويضة أثناء تطورها. (Greenpeace MENA)

هذا الاكتشاف يمثل جرس إنذار حقيقي ويدفعنا للتساؤل عن هذا الخطر الداهم وكيف يمكن لهذه الجسيمات الدقيقة أن تؤثر على مستقبل الأناجب لدى البشر.



٦- الأساليب الحالية للكشف عن الميكرو بلاستيك

تستخدم تقنيات متطورة في مجال تحليل الميكرو بلاستيك، بما في ذلك المجاهر الإلكترونية والبيانات الطيفية لتحليل المواد. يساعد هذا التوجه في قياس تواجد الميكرو بلاستيك في عينات المياه والتربة. على سبيل المثال، تُستخدم مجاهر الإلكترون لتصوير الجسيمات الصغيرة، مما يتيح للباحثين فهم تكوينها وخصائصها. كما أن تقنيات مثل الطيف الكتلي تقدم فهماً أعمق للتفاعلات الكيميائية للميكرو بلاستيك مع المحيطات والبيئة.

٧- التحديات التقنية في تكرير ومعالجة الميكرو بلاستيك

تظل التحديات التقنية قائمة في مجال معالجة وتكرير الميكرو بلاستيك. تحتاج العمليات الحالية إلى الابتكار لتحسين كفاءة الإزالة من الأنظمة البيئية. يشمل ذلك البحث عن تقنيات جديدة يمكن أن تفصل بين الميكرو بلاستيك ومواد أخرى دون الإضرار بالنظم البيئية. فالعقبات الرئيسية تتعلق بكفاءة التكاليف وسرعة المعالجة؛ لذلك يتطلب الأمر استثمارات كبيرة في البحث والتطوير لتحقيق تقدم فعال.

٨- الحلول المبتكرة لمواجهة التلوث البلاستيكي

تمثل المنافسات والمشاريع البحثية وسيلة قوية لتحفيز الابتكار في مجال الميكرو بلاستيك. حيث تقدم هذه الفعاليات منصات للعلماء والطلاب والمبتكرين لعرض أفكارهم وحلولهم لمواجهة هذه الأزمة. من خلال الدعم المادي والمعنوي، بإمكان

المشاريع التجريبية أن تسلط الضوء على ممارسات جديدة وتكنولوجيا مبتكرة، مما يساهم في تعزيز البحث والتطوير حول تقنيات إزالة الملوثات وتحسين استراتيجيات الحد منها.

لتحقيق هدف الحد من استخدام البلاستيك وإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية يتطلب اتخاذ عدة خطوات، ومن بين هذه الخطوات:

تشجيع استخدام البدائل البينية للبلاستيك: يمكن للحكومات والمنظمات البينية تشجيع استخدام البدائل البينية للبلاستيك، مثل الأكياس القابلة لإعادة الاستخدام والأكواب الورقية والحاويات الزجاجية والمعدنية.

توعية المواطنين: يمكن للحكومات والمنظمات البينية توعية المواطنين حول أهمية تقليل استخدام البلاستيك وإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية، وذلك عن طريق الإعلام والحملات التثقيفية وورش العمل.

تحفيز المواطنين على إعادة التدوير: يمكن للحكومات تقديم حوافز وتحفيزات للمواطنين لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية، مثل الحوافز المالية والتخفيضات الضريبية.

العمل على تحسين بنية التحويل: يجب على الحكومات العمل على تحسين بنية التحويل، وذلك بتوفير المرافق والمعدات اللازمة لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية، وتشجيع الشركات على تطوير تقنيات إعادة التدوير.

تشجيع الصناعات على استخدام المواد القابلة للتحلل: يمكن للحكومات تشجيع الصناعات على استخدام المواد القابلة للتحلل، مثل المواد الحيوية والألياف النباتية، وذلك لتقليل استخدام البلاستيك وتحسين جودة المنتجات.

التعاون الدولي: يمكن للدول التعاون على المستوى الدولي للحد من استخدام البلاستيك وإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية، وذلك من خلال تبادل الخبرات والتجارب والتعاون في مجال البحث والتطوير. وبهذه الخطوات، يمكن للحكومات والمواطنين تحقيق هدف الحد من استخدام البلاستيك وإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية، وبذلك تحسين البيئة والحفاظ على

التنوع الحيوي والاستدامة. ويمكن للجميع أن يساهم في هذا الجهد بتغيير بعض العادات اليومية، وتقليل استخدام البلاستيك وإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية بشكل مستمر. (٩)

٩- كيف تواجه مصر (الغول البلاستيكي)؟

- مصر تفتتح نافذة أمل: 12 بديلاً صحياً وآمناً للبلاستيك في الطريق
- البحث العلمي في مواجهة: ابتكارات لإعادة التدوير وبلاستيك آمن
- فلنعد إلى الطبيعة: الكرتون والقماش بديلاً للبلاستيك: دعوة للحفاظ على كوكبنا وصحتنا
- معاً للمكافحة: حملات توعية وتنظيف للشواطئ من أجل بيئة أفضل

تحت شعار “الكوكب مقابل البلاستيك” مصر شاركت العالم الاحتفال بيوم الأرض بالعام الماضي ورفعت مصر شعار “لا للبلاستيكي أحادي الاستخدام” خلال الاحتفال باليوم الوطني للبيئة أيضاً، وقد أصدر مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار بمجلس الوزراء، تقريراً حول “التلوث البلاستيكي”، الذي يشكل تهديداً متزايداً للبيئة؛ مما يؤثر في النظم البيئية، والتنوع البيولوجي، والمناخ، وصحة الإنسان، مما يؤثر سلباً على النمو الاقتصادي المستدام، ورفاهية الإنسان.

١- جهود مضمّنية:

أوضحت الدكتورة ياسمين فؤاد وزيرة البيئة أنه في إطار توجيهات رئيس الوزراء، يتم التنسيق مع الوزراء المعنيين لتفعيل استراتيجية الحد من استخدام الأكياس البلاستيكية أحادية الاستخدام، وتفعيل المادة رقم 27 بقانون تنظيم إدارة المخلفات ولائحته التنفيذية حول تداول الأكياس البلاستيكية أحادية الاستخدام، والمادة رقم 11 من اللائحة التنفيذية للقانون حول المسؤولية الممتدة للمنتج، والذي يتم العمل على تطبيقه على الأكياس البلاستيكية أحادية الاستخدام للوصول لمعدل استهلاك 50 كيس للفرد في العام بحلول 2030 بدلاً من متوسط 565 للفرد في السنة في القاهرة الكبرى وما بين 500 - 350 كيس للفرد على مستوى الجمهورية، والتنسيق مع وزير التجارة والصناعة لصدور قرار رقم 559 بشأن اعتماد تطبيق المواصفات

القياسية المصرية المعنية بأكياس التسوق البلاستيكية والبلاستيك القابل للكمز المنزلي، فقد تم إصدار مواصفة للأكياس البلاستيكية أحادية الاستخدام بالتنسيق مع الهيئة المصرية العامة للمواصفات والجودة ليكون الحد الأدنى لسماك الكيس البلاستيك 55 مايكرون، و توقيع مذكرة تفاهم لإقامة مشروع لتصنيع بدائل البلاستيك من الحجر الجيري باستثمارات للمشروع بقيمة 50 مليون دولار

ويرى د. مجدي علام مستشار برنامج المناخ العالمي أن هناك نوعاً من البلاستيك ” وهو البلاستيك المذاب المتآكل ” أي ذاتي التحلل ليس له أي ضرر، حيث أنه مصنع من مواد طبيعية، ويستخدم في بعض الدول ومصر لديها توجه للقضاء على استخدام البلاستيك بالتحول لمنتجات أخرى من 12 بديل، فهناك الزجاج والخشب الحبيبي من مخلفات الأشجار وقش الأرز أي المخلفات الزراعية، وباقي القماش مثال منتجات سيوه، لافتاً إلى تفعيل القانون بتجريم استخدام البلاستيك الذي يتسبب في العديد من الأضرار من التلوث الكيميائي، مع تكثيف التوعية لمنع استخدام البلاستيك واللجوء للبدائل الآمنة من أقمشة ومصنعات الأخشاب

المراجع البحثية:

- 1- Williams, G. (2022, July 15). Microplastics and the human health impact. UK. Retrieved 1 November, 2023.
- 2- What are the sources of microplastics? (2021, January 2). Mikroplastik.org – Microplastic; mikroplastik.org. Retrieved 1 November, 2023.
- 3- Rogers, K. (2023). microplastics. In Encyclopedia Britannica. Retrieved 1 November, 2023.
- 4- Yu, H., Zhang, Y., Tan, W., & Zhang, Z. (2022). Microplastics as an emerging environmental pollutant in agricultural soils: Effects on ecosystems and human health. Frontiers in Environmental Science,. Retrieved 1 November, 2023.
- 5-P.Pavani, T.Raja Rajeswari (-2014), "Impact Of Plastic On Environmental Pollution", Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, Issue 3, Page 89.
- 6- Charles Moore (2020), "Plastic pollution"- "It's Time to End Single-Use Plastic", www.wwf.org.au, Retrieved 2020).

Bui, X. T., Vo, T. D. H., Nguyen, P. T., Nguyen, V. T., Dao, T. S., & Nguyen, P. D. (2020). Microplastics pollution in water: Characteristics, occurrence and removal technologies. *Environmental Technology and Innovation*, 19,. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101013>

7-Fauziah, S. H., Liyana, I. A., & Agamuthu, P. (2015). Plastic debris in the coastal environment: The invincible threat? Abundance of buried plastic debris on Malaysian beaches. *Waste Management and Research*, 33(9), 812–821. <https://doi.org/10.1177/0734242X15588587>

1078-Ghosh, S., Sinha, J. K., Ghosh, S., Vashisth, K., Han, S., & Bhaskar, R. (2023). Microplastics as an Emerging Threat to the Global Environment and Human Health. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151410821>

9-Jessieleena, A., Rathinavelu, S., Velmaiel, K. E., John, A. A., & Nambi, I. M. (2023). Residential houses — a major point source of microplastic pollution: insights on the various sources, their transport, transformation, and toxicity behaviour. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(26), 67919–67940. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26918-1>

النشاط الإشعاعي: الأسس والتطبيقات

إعداد

أ.د/ محمد ثروت صلاح هيكل - أستاذ متفرغ، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة
طنطا، طنطا ٣١٥٢٧

Mohamed.hekal1@science.tanta.edu.eg



المخلص

يمكن العثور على النشاط الإشعاعي بمستويات مختلفة في بيئات متنوعة مثل التربة، الصخور، المياه الجوفية، الغذاء، وفي الهواء. من حيث المبدأ، يمكن تصنيف مصدر النشاط الإشعاعي البيئي إلى مجموعتين تُسمى الطبيعية والصناعية. يمكن أن تكون مصادر الإشعاع الطبيعي ذات أصل كوني أو أرضي. تنشأ مصادر الإشعاع الأرضي من النويدات المشعة الأولية في قشرة الأرض التي وُجدت منذ بداية العالم. النويدات المشعة الأولية الأكثر أهمية من حيث الخطر الإشعاعي على البشر هي ^{238}U ، ^{232}Th وتحللاتها. بشكل عام، تعكس تراكيزات النشاط الإشعاعي الطبيعي التي تُلاحظ في التربة الخلفية الطبيعية للصخور التي نشأت منها. من ناحية أخرى، تؤدي الأنشطة البشرية مثل حرق الفحم لتوليد الطاقة الكهربائية وتطبيق الإنتاج الزراعي الصناعي إلى زيادة تراكيزات النشاط الإشعاعي الطبيعي في البيئة. يُعد النشاط الإشعاعي الطبيعي مصدر قلق فوري وحيوي للأشخاص والجهات المسؤولة عن حماية البيئة. ولهذا السبب، تم تخصيص العديد من الدراسات والمشاريع لتحديد ومراقبة مستويات الإشعاع في البيئات المختلفة. يمكن أن تُسهم الدراسات المستمرة حول مستويات الإشعاع في البيئات المختلفة، سواء من مصادر الإشعاع الطبيعي أو من إطلاق النويدات المشعة في البيئة بفعل الأنشطة البشرية، في معرفتنا بمخاطر

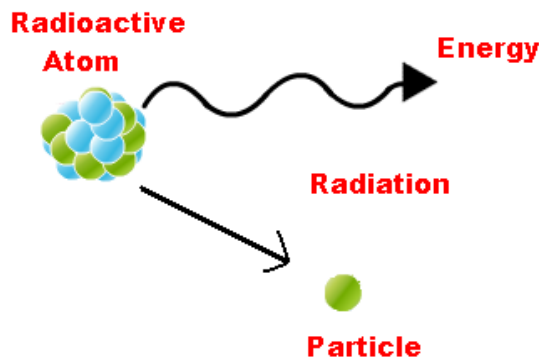
الإشعاع ومخاطر الأسمدة المشعة المحتوية على الفوسفات التي تزيد من مستوى الخطر.

١. الأسس

١,١. المقدمة

تصبح الذرات غير مستقرة نتيجة لنسبة عالية بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات. هذا النوع من النوى غير المستقرة يصدر إشعاعات معينة ويتحول إلى نواة مستقرة أخرى، وتُعرف هذه العناصر بالعناصر المشعة.

تُسمى هذه الإشعاعات بالأشعة المشعة، وهي عادةً ما تتكون من جسيمات مثل جسيمات ألفا وبيتا، وفي بعض الأحيان تُصدر أشعة غاما غير المشحونة (انظر الشكل ١).



الشكل ١: الإشعاع في صورة مبسطة

Source: <https://chemistry.tutorvista.com/nuclear-chemistry/radioactivity.html>

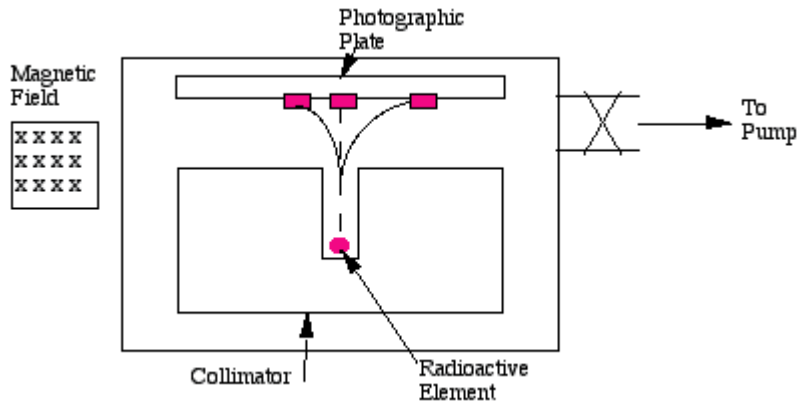
٢,١. اكتشاف النشاط الإشعاعي:

في عام ١٨٩٦، كان هنري بيكريل يستخدم معادن فلورية طبيعية لدراسة خصائص الأشعة السينية، التي اكتشفها فيلهلم رونجن عام ١٨٩٥. قام بيكريل بتعريض

كبريتات اليورانيوم لأشعة الشمس، ثم وضعها على ألواح تصوير مغلقة بورق أسود، معتقدًا أن اليورانيوم يمتص طاقة الشمس ثم يطلقها على شكل أشعة سينية.

لكن هذا الافتراض تم دحضه في يومي ٢٦ و ٢٧ فبراير، عندما "فشل" تجربته بسبب الطقس الغائم في باريس. ولسبب ما، قرر بيكريل تجميع ألواح الفوتوغرافية على أي حال. ولدهشته، كانت الصور قوية وواضحة، مما أثبت أن اليورانيوم يصدر إشعاعًا دون وجود مصدر خارجي للطاقة مثل الشمس. وهكذا اكتشف بيكريل النشاط الإشعاعي.

استخدم بيكريل جهازًا مشابهًا لذلك المعروف في الشكل أدناه لإثبات أن الإشعاع الذي اكتشفه لا يمكن أن يكون أشعة سينية، لأن الأشعة السينية متعادلة كهربائيًا ولا تنحرف في المجال المغناطيسي. أما الإشعاع الجديد فقد انحرف بفعل المجال المغناطيسي، مما يدل على أنه مشحون ومختلف عن الأشعة السينية. وعندما وضعت مواد مشعة مختلفة في المجال المغناطيسي، انحرفت في اتجاهات مختلفة أو لم تنحرف إطلاقًا، مما أظهر وجود ثلاث فئات من النشاط الإشعاعي: سالبة، موجبة، ومحيدة كهربائيًا (انظر الشكل ٢).



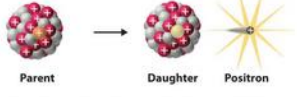

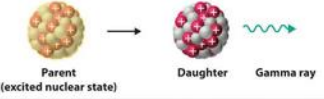
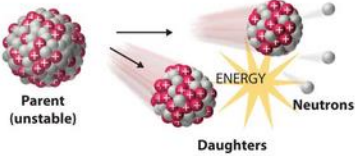


الشكل ٢: المادة المشعة والمجال المغناطيسي

في الواقع، كانت ماري كوري هي من صاغت مصطلح "النشاط الإشعاعي"، وهي التي بدأت مع زوجها ببيير كوري في دراسة الظاهرة التي اكتشفها بيكريل مؤخرًا. قام الزوجان باستخلاص اليورانيوم من الخام، ولدهشتهم، وجدوا أن الخام المتبقي أظهر نشاطًا إشعاعيًا أكبر من اليورانيوم النقي. واستنتجوا أن الخام يحتوي على عناصر مشعة أخرى، مما أدى إلى اكتشاف عنصر البولونيوم والراديو. وقد استغرق الأمر أربع سنوات إضافية من معالجة أطنان من الخام لعزل كمية كافية من كل عنصر لتحديد خصائصه الكيميائية.

٣,١ - التحلل الإشعاعي:

يحدث التحلل النووي (أو التحلل الإشعاعي) عندما تفقد الذرة غير المستقرة طاقتها عن طريق إصدار إشعاع مؤين. يُعد التحلل الإشعاعي عملية عشوائية على مستوى الذرات الفردية، حيث إنه وفقًا لنظرية الكم، من المستحيل التنبؤ بموعد تحلل ذرة معينة بعبارة أخرى، لا تمتلك نواة النويدات المشعة "ذاكرة"، ولا "تشيخ" بمرور الوقت، وبالتالي فإن احتمال تحللها لا يزداد مع الزمن، بل يظل ثابتًا مهما طال عمر النواة خلال هذا التحلل غير المتوقع، تتحلل النواة غير المستقرة تلقائيًا وبشكل عشوائي لتكوّن نواة مختلفة (أو حالة طاقة مختلفة - كما في تحلل غاما)، وتُطلق إشعاعًا في صورة جسيمات ذرية أو أشعة عالية الطاقة يحدث هذا التحلل بمعدل ثابت وقابل للتنبؤ يُعرف باسم "العمر النصف" (انظر الشكل ٣). أما النواة المستقرة، فلا تخضع لهذا النوع من التحلل، وبالتالي فهي غير مشعة وهناك ثلاث أنماط أساسية من التحلل الإشعاعي:

Decay Type	Radiation Emitted	Generic Equation	Model
Alpha decay	${}^4_2\alpha$	${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^4_2\alpha$	
Beta decay	${}^0_{-1}\beta$	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}X' + {}^0_{-1}\beta$	
Positron emission	${}^0_{+1}\beta$	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}X' + {}^0_{+1}\beta$	
Electron capture	X rays	${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \longrightarrow {}^A_{Z-1}X' + \text{X ray}$	
Gamma emission	${}^0_0\gamma$	${}^A_ZX^* \xrightarrow{\text{Relaxation}} {}^A_ZX' + {}^0_0\gamma$	
Spontaneous fission	Neutrons	${}^{A+B+C}_Z X \longrightarrow {}^A_Z X' + {}^B_Z X' + C {}^1_0 n$	

الشكل ٣: التحلل الإشعاعي"

Source: chemwiki.ucdavis.edu Notation of nuclear reactions – radioactive decays

التحلل ألفا (Alpha Decay)

يمثل التحلل ألفا تفكك النواة الأم إلى نواة ابنة من خلال انبعاث نواة ذرة الهيليوم. تتكون جسيمات ألفا من بروتونين ونيوترونين مرتبطين معاً لتشكل جسيم مطابق لنواة الهيليوم. وبسبب كتلتها الكبيرة جداً (أكثر من ٧٠٠٠ ضعف كتلة جسيم بيتا) وشحنتها، فإنها تحدث تأثيراً قوياً للمادة ولها مدى قصير جداً. ونظراً لحجمها وشحنتها، فإن جسيمات ألفا بالكاد تخترق الجلد ويمكن إيقافها تماماً بورق واحد فقط.

التحلل بيتا (Beta Decay)

يمثل التحلل بيتا أو β تفكك النواة الأم إلى نواة ابنة من خلال انبعاث جسيم بيتا. جسيمات بيتا هي إلكترونات أو بوزيترونات عالية الطاقة وسرعة، تُصدرها أنواع معينة من النوى المشعة مثل البوتاسيوم-٤٠. تتمتع جسيمات بيتا بقدرة اختراق أكبر من جسيمات ألفا، لكنها لا تزال أقل بكثير من أشعة غاما. تُعد جسيمات بيتا شكلاً من أشكال الإشعاع المؤين وتُعرف أيضاً باسم أشعة بيتا. يُطلق على إنتاج جسيمات بيتا اسم التحلل بيتا. الإشعاع بيتا يحمل شحنة سالبة، ويبلغ حجمه حوالي ١/٧٠٠٠ من حجم جسيم ألفا، مما يجعله أكثر قدرة على الاختراق. ومع ذلك، يمكن إيقافه باستخدام حاجز بسيط مثل ورقة بلاستيكية.

التحلل غاما (Gamma Decay)

يمثل التحلل غاما أو γ تفكك النواة الأم إلى نواة ابنة من خلال انبعاث أشعة غاما (فوتونات عالية الطاقة). أشعة غاما هي إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد والطاقة، وتنتج عندما تنتقل النوى من حالة طاقة عالية إلى حالة أقل، ويُعرف ذلك بتحلل غاما. معظم التفاعلات النووية يصاحبها انبعاث أشعة غاما. يُعد إشعاع غاما نوعاً شديداً للاختراق من الإشعاع، وبما أنه لا يحمل كتلة أو شحنة، فإنه يمكنه المرور عبر جسم الإنسان، لكنه يُمتص بواسطة المواد الكثيفة مثل الخرسانة أو الرصاص.

٢. مصادر الإشعاع

١, ٢. الإشعاع الطبيعي:

الإشعاع الكوني

يتعرض الغلاف الجوي الخارجي للأرض باستمرار لقصف من الإشعاع الكوني عادةً ما يتكون الإشعاع الكوني من جسيمات سريعة الحركة موجودة في الفضاء، وتنبعث من مصادر متنوعة مثل الشمس والظواهر الكونية الأخرى في الكون. تتكون الأشعة الكونية غالباً من البروتونات، لكنها قد تشمل جسيمات أخرى أو طاقة موجية بعض الإشعاعات المؤينة تخترق الغلاف الجوي للأرض وتُمتص بواسطة البشر، مما يؤدي إلى التعرض الطبيعي للإشعاع تختلف الجرعات الناتجة عن المصادر الطبيعية

للإشعاع حسب الموقع والعادات فالمناطق الواقعة على ارتفاعات أعلى تتلقى إشعاعًا كونيًا أكثر.

الإشعاع الأرضي

يُعد تركيب قشرة الأرض مصدرًا رئيسيًا للإشعاع الطبيعي. وتتمثل المكونات الأساسية في الرواسب الطبيعية لليورانيوم والبوتاسيوم والثوريوم، والتي تطلق كميات صغيرة من الإشعاع المؤين أثناء عملية التحلل الطبيعي. يُعتبر اليورانيوم والثوريوم "منتشرين في كل مكان"، أي أنهما موجودان تقريبًا في كل مكان. وتوجد آثار من هذه المعادن أيضًا في مواد البناء، لذا يمكن أن يحدث التعرض للإشعاع الطبيعي من داخل المباني كما من خارجها.

*Uranium series(U238-Pb206)

*Thorium series(Th232-Pb208)

*Actinium series (U235-Pb207)

٢, ٢. الإشعاع الصناعي:

تستخدم أجهزة مثل أفران الميكروويف، أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS)، الهواتف المحمولة، محطات التلفزيون، إذاعات FM و AM، أجهزة مراقبة الأطفال، الهواتف اللاسلكية، أجهزة فتح أبواب الجراج، وأجهزة الراديو للهواة، جميعها إشعاعًا غير مؤين. تشمل الأشكال الأخرى المجال المغناطيسي للأرض، بالإضافة إلى التعرض للمجالات المغناطيسية الناتجة عن خطوط النقل الكهربائية، الأسلاك المنزلية، والأجهزة الكهربائية.

٣. التأثير البيئي على مخاطر صحة الإنسان

يُعد التعرض للإشعاع الخلفي سمة مستمرة ولا مفر منها في الحياة. ومع ذلك، فإن معرفة مستويات الإشعاع ومصادره المحتملة أمر مهم لتقييم تأثيرات التعرض واتخاذ الاحتياطات اللازمة لتقليلها. نظرًا لأن أعضاء وأنسجة الإنسان محمية جزئيًا، فإن مساهمة أشعة غاما هي الأكثر أهمية في تقدير الإشعاع الخارجي. أكثر من ٩٥٪ من إجمالي انبعاثات أشعة غاما تأتي من الراديوم-٢٢٦ والراديوم-٢٢٤ في سلاسل تحلل اليورانيوم-٢٣٨ والثوريوم-٢٣٢ على التوالي. يمكن امتصاص بعض

النويدات المشعة عن طريق الإنسان من خلال الابتلاع أو الاستنشاق، مما يؤدي إلى التعرض الداخلي للإشعاع. الرادون ومنتجاته قصيرة العمر مثل Rn-222 و Po-218 و Po-214 تُعد من أهم العناصر المشعة من حيث التعرض الداخلي.

الابتلاع

توجد كميات ضئيلة من المعادن المشعة طبيعيًا في محتويات الطعام ومياه الشرب. فعلى سبيل المثال، تُزرع الخضروات عادةً في تربة ومياه جوفية تحتوي على معادن مشعة. وبمجرد ابتلاعها، تؤدي هذه المعادن إلى التعرض الداخلي للإشعاع الطبيعي. تتمتع النظائر المشعة الطبيعية مثل البوتاسيوم-40 والكربون-14 بنفس الخصائص الكيميائية والبيولوجية لنظائرها غير المشعة، وتُستخدم هذه العناصر في بناء وصيانة أجسامنا. تُعرضنا النظائر المشعة الطبيعية باستمرار للإشعاع. يوضح الجدول التالي كمية النشاط الإشعاعي من البوتاسيوم-40 الموجودة في حوالي 500 جرام من منتجات غذائية مختلفة. الوحدة المستخدمة هي "بيكريل"، وهي وحدة قياس النشاط الإشعاعي وتساوي تحللًا واحدًا في الثانية.

الاستنشاق

ينتج معظم التفاوت في التعرض للإشعاع الطبيعي عن استنشاق الغازات المشعة الناتجة عن المعادن المشعة الموجودة في التربة والصخور. الرادون هو غاز مشع عديم اللون والرائحة، يُنتج من تحلل اليورانيوم. أما الثورون فهو غاز مشع يُنتج من الثوريوم. تختلف مستويات الرادون والثورون بشكل كبير حسب الموقع، اعتمادًا على تركيب التربة والصخور. وبمجرد إطلاقها في الهواء، عادةً ما تتبدد هذه الغازات إلى مستويات غير ضارة، لكنها أحيانًا تُحبس وتتراكم داخل المباني ويتم استنشاقها من قبل السكان. يشكل غاز الرادون خطرًا صحيًا ليس فقط على عمال مناجم اليورانيوم، بل أيضًا على أصحاب المنازل إذا تُرك ليترام داخل المنزل. وعلى العموم، يُعد الرادون أكبر مصدر للتعرض الطبيعي للإشعاع. لمزيد من المعلومات حول غاز الرادون وطرق التحكم فيه، يمكنك زيارة موقع (Health Canada's website) (انظر الشكل ٧)

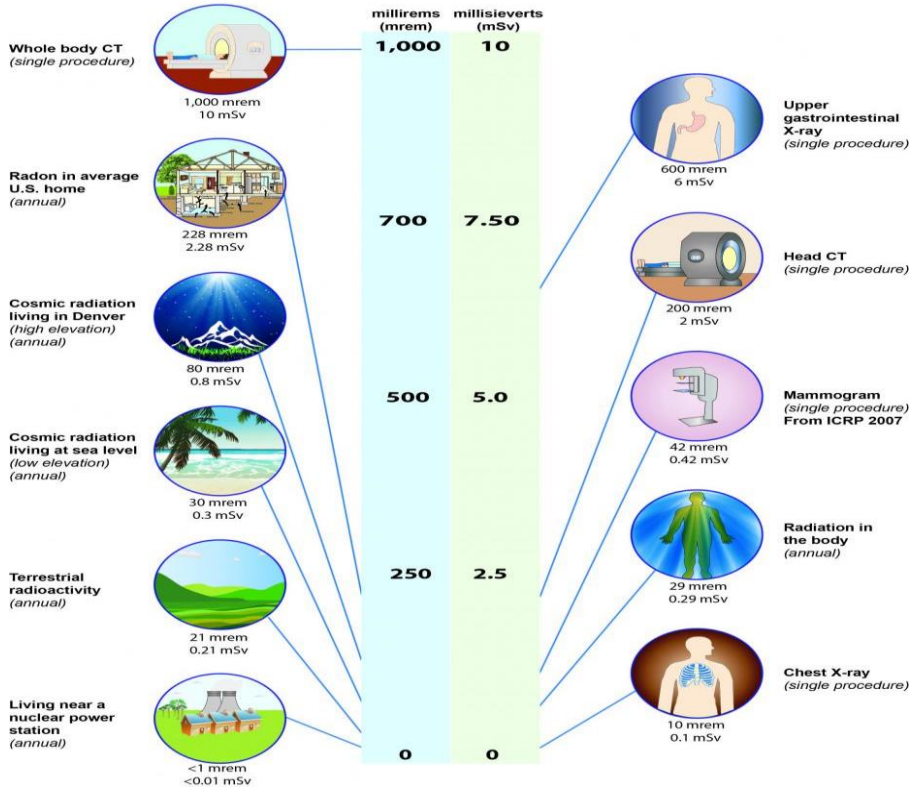
كان تقدير مخاطر الإصابة بالسرطان نتيجة التعرض للإشعاع المؤين موضوعاً لعدة تقارير صادرة عن منظمات دولية مثل لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) في أعوام ١٩٧٧ و١٩٨٨، واللجنة الدولية للحماية من الإشعاع (ICRP) في عام ١٩٩١. وقد استندت التقديرات الكمية الدقيقة للتعرض الإشعاعي بشكل كبير إلى بيانات التعرض لمستويات عالية من الإشعاع المؤين، بينما تظل الأدلة العلمية المتعلقة بالمخاطر الصحية الناتجة عن التعرض لمستويات منخفضة من الإشعاع محدودة نسبياً. ومع ذلك، يجب القول إن هناك احتمالاً لوجود خطر الإصابة بالسرطان وتأثيرات وراثية حتى عند التعرض لجرعات منخفضة من الإشعاع المؤين البيئي (European Comission, 2001; UNSCEAR, 2000).

تم تحديد التعرض للإشعاع الناتج عن النويدات المشعة في الجرانيت، وقد أجريت تقييمات لمخاطر الإشعاع من قبل العديد من المؤلفين خلال السنوات الماضية (Abdel-Razek, 2016; Orgün et al., 2007; Kapdan et al., 2012; Rangaswamy et al., 2015; Heikal et al., 2016).

تجري العديد من الدول دراسات حول انبعاث الرادون ومستويات الإشعاع في الجرانيت لوضع لوائح تنظيمية للجرانيت وغيره من مواد البناء متعددة الاستخدامات والمشعة بشكل طفيف.

RELATIVE DOSES FROM RADIATION SOURCES

All doses from the National Council on Radiation Protection & Measurements, Report No. 160 (unless otherwise denoted)



Source: <https://www.epa.gov/radiation/radiation-sources-and-doses>

٤. تطبيقات النشاط الإشعاعي

٤.١. في الطب:

لقد وجد النظائر المشعة استخدامًا واسعًا في التشخيص والعلاج، وقد أدى ذلك إلى ظهور مجال سريع النمو يُعرف باسم الطب النووي. لقد أثبتت هذه النظائر المشعة فعاليتها بشكل خاص ككواشف في بعض الإجراءات التشخيصية. نظرًا لأن النظائر المشعة متطابقة كيميائيًا مع النظائر المستقرة لنفس العنصر، فإنها يمكن أن تحل محل الأخيرة في العمليات الفسيولوجية. علاوة على ذلك، وبسبب نشاطها الإشعاعي، يمكن تتبعها بسهولة حتى بكميات ضئيلة باستخدام أجهزة الكشف مثل مطياف أشعة غاما وعدادات النسبة. على الرغم من استخدام العديد من النظائر المشعة ككواشف، فإن اليود-١٣١، الفسفور-٣٢، والتكنيتيوم-٩٩م تُعد من بين الأهم. يستخدم الأطباء

اليود-١٣١ لتحديد النتاج القلبي، حجم البلازما، واستقلاب الدهون، وخاصة لقياس نشاط الغدة الدرقية حيث يتراكم هذا النظير. يُعد الفسفور-٣٢ مفيدًا في تحديد الأورام الخبيثة لأن الخلايا السرطانية تميل إلى تراكم الفوسفات أكثر من الخلايا الطبيعية. يُستخدم التكنيتيوم-٩٩م مع أجهزة المسح الشعاعي، وهو ذو قيمة لدراسة البنية التشريحية للأعضاء. تُستخدم نظائر مشعة مثل الكوبالت-٦٠ والسييزيوم-١٣٧ على نطاق واسع لعلاج السرطان. يمكن إعطاؤها بشكل انتقائي للأورام الخبيثة وبالتالي تقليل الضرر الذي يلحق بالأنسجة السليمة المجاورة.

١,٤ . في الصناعة:

من بين التطبيقات الصناعية، يأتي توليد الطاقة في المقام الأول، وذلك اعتمادًا على إطلاق طاقة الانشطار لليورانيوم (انظر الانشطار النووي؛ المفاعل النووي: مفاعلات الانشطار النووي). تشمل التطبيقات الأخرى استخدام النظائر المشعة لقياس (والتحكم في) سمك أو كثافة الصفائح المعدنية والبلاستيكية، لتحفيز الترابط المتقاطع في البوليمرات، لإحداث طفرات في النباتات بهدف تطوير أنواع أكثر صلابة، وللحفاظ على أنواع معينة من الأطعمة عن طريق قتل الكائنات الدقيقة التي تسبب التلف. في تطبيقات الكواشف، تُستخدم النظائر المشعة، على سبيل المثال، لقياس فعالية المحرك. وأيضًا، قدرة السبائك على العمل في حلقات المكبس وجدران الأسطوانات في محركات السيارات.

٣,٤ . في الجيولوجيا:

لقد استفادت الأبحاث في علوم الأرض بشكل كبير من استخدام تقنيات التأريخ الإشعاعي، والتي تستند إلى مبدأ أن نظيرًا مشعًا معينًا (الأب المشع) في المادة الجيولوجية يتحلل بمعدل ثابت ومعروف إلى نظائر الابنة. وباستخدام هذه التقنيات، تمكن الباحثون من تحديد أعمار الصخور والتكوينات الصخرية المختلفة، وبالتالي تحديد مقياس الزمن الجيولوجي. يُعد تطبيق خاص لهذا النوع من طرق تأريخ النشاط الإشعاعي، وهو تأريخ الكربون-١٤، مفيدًا بشكل خاص لعلماء الأنتروبولوجيا الفيزيائية وعلماء الآثار. لقد ساعدتهم على تحديد التسلسل الزمني

للأحداث الماضية بشكل أفضل من خلال تمكينهم من تأريخ الحفريات والقطع الأثرية بدقة أكبر من ٥٠٠ إلى ٥٠,٠٠٠ سنة.

تُستخدم كواشف النظائر المشعة في الدراسات البيئية، مثل تلك المتعلقة بتلوث المياه في الأنهار والبحيرات، وتلوث الهواء الناتج عن انبعاثات المداخن. كما تم استخدامها لقياس التيارات المائية العميقة في المحيطات ومحتوى المياه في الثلوج في أحواض التصريف. وقد استخدم الباحثون في العلوم البيولوجية أيضاً الكواشف المشعة لدراسة العمليات المعقدة. فعلى سبيل المثال، تم إجراء آلاف الدراسات حول أيض النباتات باستخدام الأحماض الأمينية ومركبات الكبريت، والفسفور، والنيروجين.

٤,٤ . في التربة:

قد توجد المعادن المشعة إما على شكل رواسب متبقية أو رواسب ثانوية في التربة:

*تتكون الرواسب المتبقية بسبب الوزن الثقيل للمعادن الحاملة لليورانيوم والثوريوم. تميل إلى التركز مع الحصى الخشن في الجداول، وفي الرمال السوداء على الشواطئ.

*تتكون الرواسب الثانوية نتيجة لغسل اليورانيوم من المعادن أثناء التجوية الكيميائية. اليورانيوم متحرك في المياه الجوفية، لكنه يترسب بسهولة بواسطة الأحماض الدبالية في التربة. قد يوجد في بقايا نباتية أو حيوانية متفحمة، وقد يملأ أيضاً الفتحات في التربة المسامية.

تُصنّف مصادر الإشعاع التي تُشكّل النشاط الإشعاعي البيئي إلى ثلاث مجموعات – ذات أصل كوني، ذات أصل أرضي، وإشعاع صناعي.

إن تطور الصناعة النووية في القرن العشرين والانتشار السريع للتقنيات التي تزيد من التلوث الإشعاعي استدعى تحديد الإشعاع في بيئتنا الطبيعية. ينشأ الإشعاع الطبيعي ذو الأصل الأرضي من النويدات المشعة الأولية في قشرة الأرض التي وُجدت منذ بداية العالم.

النويدات المشعة الأولية الأكثر أهمية من حيث الخطر الإشعاعي هي ^{238}U ، ^{40}K ، ^{232}Th ومنتجات التحلل لكل من السلاسل المشعة الطبيعية. ^{87}Rb و ^{235}U هما نويدان

أوليان من الدرجة الثانية، يتم تجاهلها بسبب مساهمتها الضئيلة في الجرعة البشرية. بشكل عام، تعكس تركيزات النشاط الإشعاعي الطبيعي التي تلاحظ في التربة الخلفية الطبيعية للصخور التي نشأت منها. ومع ذلك، فإن الأنشطة البشرية مثل حرق الفحم لتوليد الطاقة الكهربائية واستخدام الأسمدة الصناعية المحتوية على الفوسفات لزيادة الإنتاج الزراعي تؤدي إلى زيادة تركيزات النشاط الإشعاعي الطبيعي في البيئة. تم الكشف عن أنواع مختلفة من الصخور والتربة في تركيا ومقارنتها بالقيم الدولية.

تحتوي التربة على حوالي ٦٠ نظيرًا مشعًا طبيعيًا وصناعيًا. نظرًا لنسبة الوفرة والمساهمة في الجرعة المعرضة، تُجرى دراسات النشاط الإشعاعي في التربة حول العالم.

٥,٤. في الأغذية:

توجد النويدات المشعة في الأغذية. تتغير تركيزات النويدات المشعة في الأغذية حسب نوع الغذاء والمنطقة الجغرافية التي تم إنتاجه فيها. U^{238} ، Ra^{226} ، K^{40} ومنتجاتها التابعة هي النويدات المشعة الشائعة في الأغذية. بشكل عام، يُعد K^{40} أكثر النظائر المشعة الطبيعية شيوعًا. توجد نظائر مشعة طبيعية أو صناعية أخرى بتركيزات أقل بكثير.

يمكن أن تترسب النويدات المشعة الموجودة في المياه أيضًا في رمال الأنهار والبحر، وتتراكم على الأسماك والمأكولات البحرية. تدخل العناصر المشعة الموجودة في البيئة إلى السلسلة الغذائية من خلال امتصاصها بواسطة النباتات، أو المأكولات البحرية، أو عن طريق تناولها من قبل الحيوانات (منظمة الصحة العالمية - ٢٠١٩).

٦,٤. المياه الجوفية:

يعتمد مستوى النويدات المشعة في المياه الجوفية على كمية العناصر المشعة الموجودة في التكوينات الجيولوجية، وبالتالي على تركيبها المعدني وتركيبها الجيوكيميائي، وعلى التغيرات الثانوية التي تتعرض لها الصخور مثل التجوية

الكيميائية، والتحول الحراري المائي، وما إلى ذلك؛ ومن هذه الناحية، تبرز الصخور الفلسية.

بالإضافة إلى الخصائص الجيولوجية للصخور الفلسية، فإن عوامل مثل تركيب المياه، الموصلية الكهربائية، ظروف الأكسدة والاختزال، ومدة إقامة المياه الجوفية لها تأثير كبير على زيادة أو نقصان مستوى النشاط الإشعاعي في المياه الجوفية.

أظهرت العديد من الدراسات أن المياه الجوفية التي تمر عبر الصخور الفلسية قد تحتوي على مستويات من النويدات المشعة قد تتجاوز المعايير المعترف بها لمياه الشرب.

تحتوي المياه الجوفية على العديد من باعثات ألفا (α) وبيتا (β) الطبيعية، وتتغير تركيزات هذه الباعثات ضمن نطاق واسع اعتمادًا على العمليات الطبيعية مثل الامتصاص من الصخور والترتبة. تُعطى قيم تركيز النشاط الإجمالي لألفا وبيتا لعينات الفترات الممطرة والجافة أدناه، إلى جانب قيم الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف (MDA).

كما يمكن ملاحظته، تتراوح القيم الإجمالية لألفا وبيتا بين أقل من ٠,٠١ بيكريل/لتر و ٠,٣٧ بيكريل/لتر، وأقل من ٠,٠١ بيكريل/لتر و ٠,٩٨ بيكريل/لتر، على التوالي.

Agar O, Boztosun I, Korkmaz ME, Özmen SF (2014) Measurement of radioactivity levels and assessment of radioactivity hazards of soil samples in Karaman, Turkey. Rad Prot Dosim 162:630-63.7

Akkaya G, Kaynak G, Kahraman A, Gurler O (2012) The investigation of radionuclide distributions in soil samples collected from Bursa, Turkey. Rad Prot Dosim 152:376-383

Aközcan S, Yılmaz M, Külahcı F (2014) Dose rates and seasonal variations of ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey. J Radional Nucl Chem 299:95-101

Akbulut S, Taskın H (2014) Determination of natural radioactivity by gross α and β measurements in tap waters in Rize province. J Radioanal Nucl Chem 303:413-420

Aksever F, Davraz A, Karaguzel R (2018) Determination of stable isotope characteristics and natural radioactivity in drinking waters in Sandikli basin (Afyonkarahisar- Turkey. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 24:545-553

Doi K, Hirono S, Sakamaki Y (1975) Uranium mineralization by ground water in sedimentary rocks, Japan. Econom Geol 70:628-646

Heikal, M.Th.S., El Dousky, B.T., Ghoneim, M.F. and Sherif, M.I. (2013): Natural Radioactivity in basement rocks and stream sediments, Sharm El Sheikh area, South Sinai, Egypt: Radiometric levels and their significant contributions. Arab Journal Geosci. 6: 3229-3239.

Heikal, M.Th.S., Ghoneim, M.F., ElGaly, M.M., ElDousky, B.T Sherif, M.I. (2013): Environmental Assessment of Radiation Impacts on Sharm

ElSheikh Area, South Sinai, Egypt. *Journal of KAU: Earth Sciences*, Vol. 24 (1), pp. 57-78.

Heikal, M.Th.S. and Top, Gulcan (2018): Assessment of radioactivity levels and potential radiation health hazards of Madsus granites and associated dikes nearby and around Ruwisat village, South Sinai, Egypt, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.01.005>, volume 146, pp. 191-208.

Heikal, M Th,S. (2023): *Environmental Natural Radioactivity: Fundamentals, Methodology and Radiation Assessment*. LAP Lambert Academic publishing House, London, United Kingdom. 96 p. ISBN- 978-620-6-16419-

IAEA, 1993, “High level of natural radiation (Proc. Int. Conf. Ramsar, 1990)”, IAEA Proceeding Series, Vienna.

Porcelli D, Swarzenski PW (2003) The behavior of U- and Thseries nuclides in groundwater. *Rev Mineral Geochem* 52(1):317– 361. [https:// doi. org/ 10. 2113/ 05203 17](https://doi.org/10.2113/0520317)

Torres,L.M.,Grastly, R.L.,1995,”The natural radioactivirt msp of PRotugal”, *Application of URanium Exploration Data and Techniques in Environmental Studies*, IAEA-TECDOC-827, IAEA, Vienna

Tauchid M, Grasty R.L.,1995, “Natural background radioactivity of the earth’s surface- essential information for environmental impact studies”, IAEA-SM-362/25

WHO (2019) Nuclear accidents and radioactive contamination of foods, 30 March 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.who.int/foodsafety/fs_management/radionuclides_and_food_300311.pdf (Accessed august 23, 2019).

إستخدام المواد النانوية في معالجة المياه والتخلص من المعادن الثقيلة

إعداد

أ.د/ مروة نبية محمد النحاس – أستاذ الكيمياء الفيزيائية – قسم الكيمياء



الملخص

شهدت العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بالمواد النانوية، ولا سيما الجسيمات النانوية، نتيجة لخصائصها الفيزيائية والكيميائية المتميزة مقارنة بالمواد السائبة. تتمثل هذه الخصائص في المساحة السطحية الكبيرة، وصغر الحجم، وقابلية التعديل السطحي، والقدرة على التحلل الحيوي، مما أتاح استخدامات متعددة في مجالات متنوعة تشمل الطب، الإلكترونيات، الزراعة، وصناعة الأغذية، إلى جانب التطبيقات البيئية حيث تُعد إزالة الملوثات السامة من المياه، وخصوصًا المعادن الثقيلة مثل الرصاص، الزئبق، الكاديوم، الكروم، الزرنيخ، النيكل، والكوبالت، من أبرز هذه التطبيقات. تستعرض هذه الدراسة تطور علم النانو وتصنيف المواد النانوية، مع تسليط الضوء على أحدث استخداماتها في معالجة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة، بما في ذلك أكاسيد المعادن النانوية، الجسيمات المغناطيسية، المركبات البوليميرية، الأطر الفلزية العضوية (MOFs)، وهيدروكسيدات الطبقات المزدوجة، والتي أظهرت كفاءة عالية في الامتزاز والاستقرار الكيميائي وتعدد البنى، مما يجعلها حلولاً واعدة في هذا المجال.

1- علم وتكنولوجيا النانو

يُعد علم النانو فرعًا من فروع العلوم يهتم بدراسة خصائص المواد عندما تصبح في نطاق النانومتر، أي بحجم صغير جدًا لا يتجاوز ١٠٠ نانومتر. ومما يميز هذا

المجال هو أن المواد تظهر خصائص فريدة ومختلفة تمامًا عند هذا الحجم مقارنة بما تكون عليه في حالتها الطبيعية.

أما تكنولوجيا النانو، فهي تُعنى بتصميم وتصنيع واستخدام هذه المواد النانوية في تطبيقات متنوعة، وتتراوح أحجامها بين ١ و ١٠٠ نانومتر.

تعود بداية علم النانو الحديثة إلى محاضرة مشهورة ألقاها الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل "ريتشارد فاينمان" عام ١٩٥٩، بعنوان "هناك متسع كبير في القاع"، حيث أشار فيها إلى الإمكانيات الهائلة للعمل على مستويات صغيرة جدًا. لكن في الواقع، يعود استخدام المواد النانوية إلى آلاف السنين قبل ذلك، حتى وإن لم تكن مفهومة علميًا في ذلك الوقت.

ففي مصر القديمة، على سبيل المثال، كان الناس يصبغون الشعر باللون الأسود باستخدام مكونات لم يكن يُدرك حينها أنها تُنتج جسيمات نانوية. كشفت دراسات حديثة أن هذا الصبغ كان يتم من خلال تفاعل مزيج من الجير وأكسيد الرصاص مع الشعر، مما يؤدي إلى تكوّن جسيمات نانوية من كبريتيد الرصاص (PbS)، تعطي لونًا ثابتًا ودائمًا.

ومن أشهر الأمثلة على الاستخدام القديم لتقنيات النانو هو "كأس ليكورجوس" الروماني من القرن الرابع الميلادي، والذي يغيّر لونه تبعًا لمصدر الإضاءة. فعندما يُضاء من الخارج يبدو لونه أخضر، بينما يتحول إلى الأحمر عندما يُضاء من الداخل. وقد أظهرت التحاليل الحديثة أن الكأس يحتوي على جسيمات نانوية من الذهب والفضة، وهي المسؤولة عن هذه الظاهرة البصرية الفريدة نتيجة لما يُعرف بتأثيرات البلازمون السطحي.

وليس الرومان والمصريون فقط من استخدموا هذه الظواهر النانوية، بل هناك أيضًا أدلة على أن حضارات قديمة أخرى مثل حضارات ما بين النهرين، والهند، والمايا، استعملت أساليب شبيهة تعتمد على التفاعلات على المستوى النانوي، وإن كان ذلك دون فهم نظري لها كما هو الحال اليوم.

٢- لماذا تختلف المواد النانوية عن المواد التقليدية؟

تستخدم المواد النانوية اليوم في العديد من التطبيقات الحديثة مثل معالجة المياه، التحفيز الكيميائي، تخزين الطاقة، الطب، الزراعة وغيرها، وذلك بفضل خصائصها الفريدة. والسبب في اختلاف سلوك المواد النانوية عن نفس المواد بحجمها الأكبر يعود إلى عاملين أساسيين هما: تأثيرات السطح والخصائص الكمومية.

أولاً، التأثيرات السطحية: تحدث لأن المواد النانوية تحتوي على عدد هائل من الذرات على سطحها مقارنة بالمواد التقليدية. هذا يؤدي إلى زيادة في مساحة السطح النشطة، مما يجعلها أكثر تفاعلاً من الناحية الكيميائية. على سبيل المثال:

كلما صغر حجم الجسيمات، زادت نسبة الذرات الموجودة على السطح.

الذرات الموجودة على سطح الجسيمات النانوية تكون أقل ترابطاً مع جيرانها، مما يجعلها أكثر نشاطاً.

وهذا يؤدي إلى تغييرات في الخواص الفيزيائية مثل انخفاض درجة الانصهار، فعلى سبيل المثال يمكن أن تكون درجة انصهار جزيئات الذهب النانوية (بحجم ٢,٥ نانومتر) أقل بـ ٤٠٧ درجة مئوية من الذهب العادي.

لكن هناك تحدي في هذا الجانب، وهو أن الجسيمات النانوية قد تلتصق ببعضها بسبب قوى الجذب، مما يقلل من مساحة سطحها النشطة. ولمنع ذلك، يمكن تحسين بعض العوامل مثل شحنة السطح (جهد زيتا)، ودرجة الحموضة (pH)، وخواص الوسط المحيط بها.

ثانياً، التأثيرات الكمومية: تصبح واضحة عندما يكون حجم الجسيمات صغيراً جداً (بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر)، حيث تبدأ الجسيمات في التصرف بطرق غير تقليدية بسبب ظاهرة تُعرف بـ "الحبس الكمي". في هذه الحالة، يتم تقييد حركة الإلكترونات داخل الجسيم، مما يؤدي إلى خصائص جديدة وغير متوقعة.

فعلى سبيل المثال، مع أن الذهب والبلاتين في حالتها الطبيعية ليست مغناطيسية، فإنها تصبح مغناطيسية عند تقليصها إلى أحجام نانوية. كما يمكن أن تتغير قدرة المادة على التفاعل أو تحفيز التفاعلات الكيميائية حسب عدد الذرات داخل الجسيم. وايضا أظهرت دراسات أن مجموعات البلاتين التي تحتوي على أعداد معينة من

الذرات تكون أكثر نشاطاً من غيرها. كل هذه الخصائص المميزة تجعل المواد النانوية أدوات قوية في تصميم مواد جديدة ومتقدمة للتطبيقات البيئية، والصناعية.

٣- تصنيف المواد النانوية

تُعتبر المواد النانوية العنصر الأساسي في تقنيات النانو. وهي مواد يكون أحد أبعادها على الأقل أصغر من ١٠٠ نانومتر، أي بحجم صغير جداً لا يُرى بالعين المجردة. حسب عدد الأبعاد التي تقع ضمن هذا النطاق النانوي، تُقسم المواد النانوية إلى أربع أنواع رئيسية كما هو موضح في شكل (١) [1].

▪ المواد النانوية صفرية الأبعاد (0-D)

في هذا النوع، تكون جميع الأبعاد (الطول والعرض والارتفاع) ضمن مقياس النانو. أي أن الجسيمات صغيرة جداً من جميع الجهات. أمثلتها تشمل النقاط الكمومية، والفوليرينات، والجسيمات النانوية.

▪ المواد النانوية أحادية البعد (1-D)

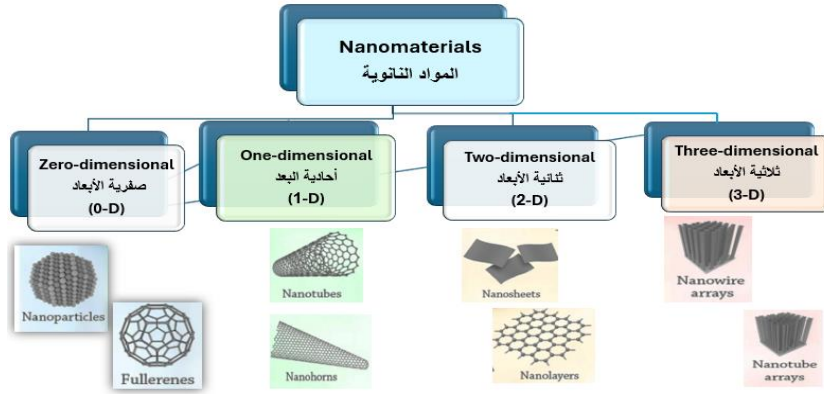
في هذا النوع يكون بُعدان من أبعاد المادة ضمن النطاق النانوي، بينما يكون البُعد الثالث أكبر. هذا يجعلها على شكل خيوط أو أنابيب رفيعة. من الأمثلة عليها: الأنابيب النانوية، والألياف النانوية، والقضبان والأسلاك النانوية.

▪ المواد النانوية ثنائية الأبعاد (2-D)

يحتوي هذا النوع على بُعدين (مثل الطول والعرض) في النطاق النانوي، بينما يكون البُعد الثالث أكبر. تتميز بشكل يشبه الصفائح أو الطبقات الرقيقة. من الأمثلة: الأغشية النانوية، والصفائح، والطبقات النانوية.

▪ المواد النانوية ثلاثية الأبعاد (3-D)

في هذا النوع، لا تكون أبعاد الجسيمات صغيرة بالكامل، بل تكون المادة مجمعة من وحدات نانوية داخل بنية أكبر. تشمل هذه الفئة: المساحيق النانوية السائبة، والمشتتات النانوية، وهياكل مكونة من أسلاك أو أنابيب نانوية متجمعة.

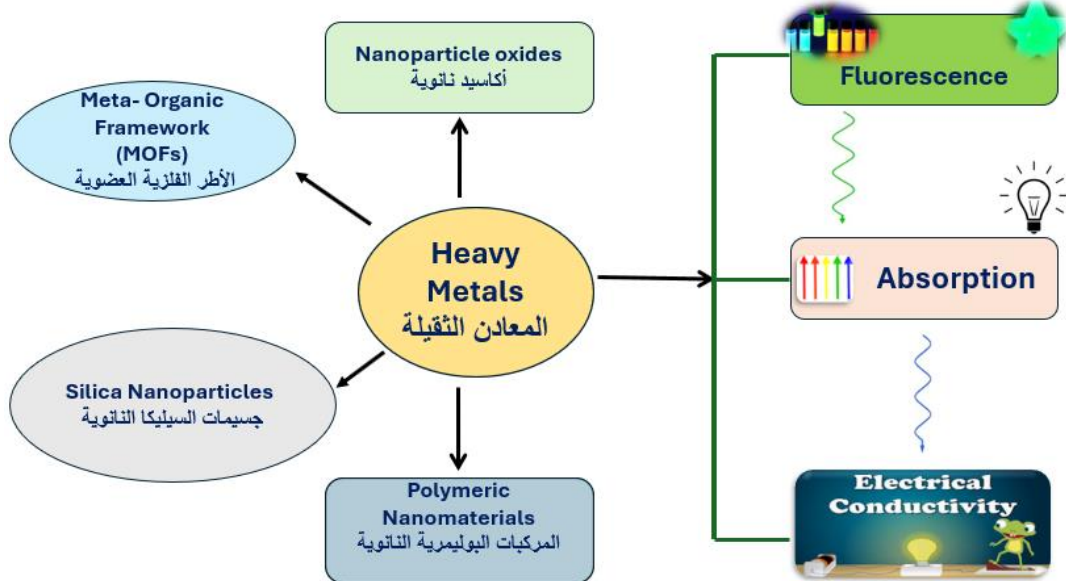


شكل (1): تصنيف المواد النانوية بناءً على الأبعاد الهندسية.

٤- مشكلة تلوث المياه

تُعد مشكلة تلوث المياه من أبرز التحديات البيئية في العصر الحديث نتيجة للنمو السكاني المتسارع والأنشطة الصناعية المتزايدة، مما أدى إلى ارتفاع مستويات الملوثات الكيميائية والفيزيائية في مصادر المياه. وتشمل هذه الملوثات المواد العضوية والميكروبات والأصباغ، بالإضافة إلى المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والنيكل والزرنيخ والكروم والزنبق، إلى جانب عناصر معدنية أخرى. وتُعد المعادن الثقيلة من أخطر أنواع الملوثات نظرًا لسميتها العالية، وعدم قابليتها للتحلل الحيوي، وقدرتها على التراكم داخل الكائنات الحية، الأمر الذي يتسبب في آثار صحية خطيرة مثل السرطان، والفشل الكلوي، وأمراض الكبد، والتشوهات الجينية، والاضطرابات العصبية. ونظرًا لصعوبة إزالة هذه المعادن باستخدام الطرق التقليدية، فقد برزت المواد النانوية كحلول مبتكرة وفعالة بفضل خصائصها الفريدة، مما حفّز الباحثين على دراسة إمكاناتها في إزالة هذه الملوثات حيث تُستخدم هذه المواد كأنظمة استشعار بصرية أو كهروكيميائية متقدمة تُمكن من الكشف الفوري والدقيق لتراكيز ضئيلة جدًا من هذه المعادن (شكل ٢) [2]. واليكم استعراضا لبعض المواد النانوية الأكثر استخداما وشيوعا للكشف عن المعادن الثقيلة

[3]



شكل (٢): مخطط توضيحي يربط بين أنواع المواد النانوية المختلفة وآليات الكشف (الانبعاث، الامتصاص، التوصيل الكهربائي).

أكاسيد المعادن نانوية

تلعب أكاسيد المعادن النانوية مثل ZnO و Fe_3O_4 و TiO_2 و CeO_2 وغيرها من الأكاسيد دورًا محوريًا في الكشف عن المعادن الثقيلة السامة بفضل خصائصها التي تشمل مساحة سطحية عالية، وتوصيلية كهربائية جيدة، واستقرارًا كيميائيًا. وتُستخدم هذه الأكاسيد كعناصر فعالة أو دعائمات في أجهزة الاستشعار الكهروكيميائية والبصرية، حيث تعتمد آلية الكشف على تفاعلات امتزاز انتقائية وسريعة بين سطح الأكاسيد النانوية وأيونات المعادن الثقيلة، ما يؤدي إلى تغييرات قابلة للقياس في الإشارات الكهربائية أو الطيفية. فعلى سبيل المثال، تم تطوير أقطاب كهروكيميائية معدلة بأكسيد الزنك النانوي لرصد أيونات الرصاص والزنبق بدقة باستخدام تقنيات الفولتمترية التفاضلية، حيث تساهم المساحة السطحية العالية في زيادة عدد مواقع الارتباط وتحسين الحساسية. كما يُستخدم أكسيد الحديد المغناطيسي في تصميم مجسات قابلة للفصل السريع من الوسط المائي، مما يسهل إعادة استخدامها، مع قدرتها العالية على الكشف عن أيونات الكاديوم والزرنيخ. وتُظهر المجسات المعتمدة على TiO_2

و CeO_2 تغيّرات طيفية مثل إخماد الفلورة أو إزاحة الطول الموجي عند وجود الأيونات المعدنية، مما يتيح استخدامها في أنظمة الكشف البصري. وقد تم تعزيز أداء هذه الأكاسيد بدمجها مع مواد نانوية أخرى مثل الجرافين أو أكسيد الجرافين، مما يحسن الانتقائية وكفاءة الاستجابة، كما أن تعديل الأسطح بمجموعات كيميائية مثل الأمين يعزز من الخصوصية تجاه أيونات معدنية معينة مثل الرصاص والنحاس. وبفضل هذه الخصائص، تُعد أكاسيد المعادن النانوية من أكثر المنصات الواعدة لتطوير مجسات منخفضة التكلفة، ومحمولة، وسريعة الاستجابة، وقادرة على الكشف عن تراكيز ضئيلة من المعادن الثقيلة في المياه، مما يجعلها أدوات فعالة للرصد البيئي في الوقت الحقيقي.

الجسيمات النانوية المغناطيسية

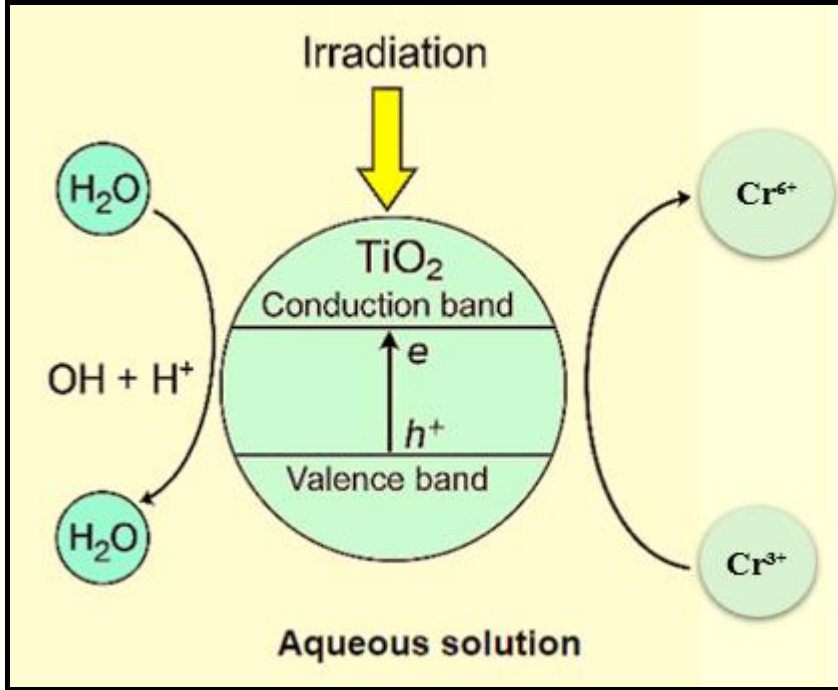
تُعد الجسيمات النانوية المغناطيسية من بين أكثر المواد النانوية استخدامًا في مجال الكشف عن المعادن الثقيلة، نظرًا لخصائصها الفريدة التي تجمع بين القدرة العالية على الامتزاز وسهولة الفصل من الوسط المائي باستخدام مجال مغناطيسي خارجي. وعادةً ما تتكون هذه الجسيمات من أكاسيد الحديد النانوية، مثل Fe_3O_4 أو $\gamma-Fe_2O_3$ ، والتي تُظهر خصائص مغناطيسية فائقة (superparamagnetic) عند أحجام دون 20 نانومتر، مما يمنحها قدرة على التشتت الجيد في الماء وسرعة التجميع عند تطبيق مجال مغناطيسي. تُستخدم هذه الجسيمات كمنصات فعالة لربط المستقبلات الكيميائية أو العوامل التعرفية، مثل الجزيئات العضوية المحتوية على مجموعات $-SH$ أو $-NH_2$ ، مما يسمح لها بالتفاعل النوعي مع أيونات المعادن الثقيلة مثل Pb^{2+} ، Cd^{2+} ، As^{3+} ، Hg^{2+} . تعتمد آلية الكشف على التغيرات التي تطرأ على الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للجسيمات عند تفاعلها مع المعادن، مثل تغير الإشارة المغناطيسية أو الكهروكيميائية أو حتى الطيفية، ويمكن استخدامها ضمن مجسات محمولة أو في أنظمة تحليل دقيق مدمجة. كما يتيح سهولة استرجاع هذه الجسيمات وإعادة استخدامها مرارًا دون فقد كبير في الكفاءة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للاستشعار البيئي السريع والدقيق في عينات المياه المعقدة.

المحفزات الضوئية النانوية

تُعد المحفزات الضوئية النانوية من أكثر التقنيات تطورًا وفعالية في معالجة الملوثات السامة في المياه، بما في ذلك المعادن الثقيلة والمركبات العضوية المعقدة، إذ تعتمد هذه التقنية على استخدام مواد نانوية شبيهة موصلية تمتص الضوء سواء فوق البنفسجي أو المرئي، مما يؤدي إلى إثارة إلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وتكوين أزواج من الإلكترونات

والفجوات. وتتفاعل هذه الأزواج مع جزيئات الماء أو الأكسجين لتوليد أنواع تفاعلية من الأكسجين مثل جذور الهيدروكسيل وجذور الأكسجين الفائقة، التي تسهم بدورها في أكسدة وتكسير الملوثات.

ويُعد ثاني أكسيد التيتانيوم من أشهر المحفزات الضوئية النانوية بفضل خصائصه المثالية مثل الثبات الكيميائي والحراري، وعدم السمية، وانخفاض التكلفة، غير أن نشاطه يقتصر على الضوء فوق البنفسجي، ما دفع إلى تطوير نسخ مطعمة منه مثل $\text{TiO}_2\text{-N}$ و $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ و $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ لتوسيع نطاق الامتصاص إلى الضوء المرئي وزيادة الكفاءة. وعلى الرغم من أن التحفيز الضوئي لا يزيل المعادن الثقيلة عن طريق التفسير المباشر، إلا أنه يحدث تغييرات في حالتها التأكسدية تجعلها أكثر قابلية للامتزاز أو الترسيب، كما في حالة اختزال أيونات Cr^{6+} السامة إلى Cr^{3+} الأقل سمية،^[4] أو خفض As^{5+} إلى As^{3+} ، وهو ما يُسهل عمليات الإزالة اللاحقة. وقد تم تعزيز أداء TiO_2 بدمجه مع مواد مثل الزيوليت أو أكاسيد الفلزات لتحسين كفاءة فصل الشحنات وتقليل معدل إعادة الارتباط، كما يُستخدم بيروكسيد الهيدروجين لتوليد جذور هيدروكسيل إضافية ضمن ما يُعرف بتقنيات الأكسدة المتقدمة، مثل أنظمة TiO_2/UV و $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ والأنظمة الشبيهة بفنتون. كما تُستخدم أدوات التصميم التجريبي مثل Box-Behnken ضمن إطار تحليل استجابة السطح لتحديد الظروف المثلى مثل الرقم الهيدروجيني وتركيز TiO_2 ومدة التشعيع. ومن أبرز التطورات الحديثة في هذا المجال تطوير محفزات هجينة مثل TiO_2/GO لتحسين التوصيلية وفصل الشحنات، وتراكيب ZnO/CdS لتوسيع الاستجابة الطيفية، بالإضافة إلى محفزات مطعمة بالكربون لزيادة النشاط تحت الضوء المرئي. وقد أثبتت هذه الأنظمة قدرتها العالية على إزالة أكثر من 90% من الملوثات خلال فترات زمنية قصيرة، مما يجعلها من أكثر الوسائل الواعدة لمعالجة المياه الملوثة بطريقة مستدامة وفعالة.



شكل (٢): آلية عمل TiO₂ كمحفز ضوئي في اختزال Cr³⁺ إلى Cr⁶⁺ داخل وسط مائي تحت الإشعاع.

المركبات البوليمرية النانوية

تُعد المركبات البوليمرية النانوية من المواد الواعدة في مجال الكشف عن المعادن الثقيلة بفضل بنيتها المرنة، وقدرتها العالية على التعديل الكيميائي، ومساحتها السطحية الفعالة. تتكوّن هذه المركبات غالبًا من بوليمرات طبيعية أو صناعية (مثل الكيتوزان، البولي فينيل الكحولي، أو البولي أنيلين) محملة بجزيئات نانوية أو مدمجة مع مواد وظيفية، وتُصمم بحيث تحتوي على مجموعات وظيفية نشطة مثل الأمينات، الكربوكسيلات، أو الثيولات، القادرة على الارتباط النوعي مع أيونات المعادن الثقيلة مثل Pb^{2+} ، Cd^{2+} ، Ni^{2+} ، و Hg^{2+} . عند تفاعل هذه الأيونات مع المواقع النشطة في البوليمر، يحدث تغير واضح في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للمادة، مثل التغير في اللون، أو في الإشارة الطيفية أو الكهربائية، مما يسمح باستخدامها كمجسات بصرية أو كهروكيميائية.

وتمتاز هذه المواد بإمكانية تصميمها على شكل أغشية رقيقة، حبيبات، أو ألياف نانوية، مما يتيح تطبيقها في أنظمة استشعار مرنة وقابلة للحمل. كما أن إضافة الجسيمات المعدنية النانوية) مثل AgNPs أو ZnO) إلى هذه المركبات يعزز من حساسية المجس ودقته عبر تعزيز التوصيلية أو الاستجابة البصرية. تُظهر هذه الأنظمة فعالية عالية في الكشف عن

تراكيز ضئيلة من المعادن الثقيلة حتى في البيئات المعقدة، مع إمكانية استرجاعها وإعادة استخدامها، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات البيئية والصحية على نطاق واسع.

جسيمات السيليكا النانوية

تُعد جسيمات السيليكا النانوية (SiO_2 NPs) من المواد النانوية المتميزة في مجال الكشف عن المعادن الثقيلة نظرًا لخواصها الكيميائية والفيزيائية الفريدة، بما في ذلك مساحتها السطحية العالية، استقرارها الكيميائي، سهولة تعديل سطحها، وسميتها المنخفضة. وتستخدم هذه الجسيمات بشكل واسع كمنصات داعمة في تطوير أنظمة استشعار بصرية وفلورية، حيث يُعدّل سطحها بمجموعات وظيفية مثل $-\text{NH}_2$ ، $-\text{SH}$ ، أو $-\text{COOH}$ ، مما يسمح بارتباط انتقائي مع أيونات المعادن الثقيلة مثل Pb^{2+} ، Hg^{2+} ، و Cd^{2+} .

وتعتمد آلية الكشف غالبًا على التغيرات التي تحدث في الخصائص البصرية أو الطيفية نتيجة تفاعل الجسيمات المعدلة مع المعادن، مثل تغير في شدة الفلورة أو انزياح في الطول الموجي، ويمكن تحسين هذه الخصائص من خلال تحميل السيليكا بجزيئات فلورية أو مؤشرات كيميائية حساسة. كما يمكن دمجها مع مواد نانوية أخرى مثل الجرافين أو النقاط الكمية لتعزيز الإشارة وتحسين الحساسية والانتقائية. وإضافة إلى ذلك، تُستخدم جسيمات السيليكا النانوية في الأنظمة القائمة على "إيقاف/تشغيل" الفلورة، حيث تعمل كمجسات ذكية تستجيب لتواجد أيونات معينة بطرق قابلة للقياس. كما أن قابليتها لإعادة الاستخدام وسهولة تصنيعها بتكلفة منخفضة يجعلها مناسبة للتطبيقات البيئية في الكشف عن التلوث المعدني في مياه الشرب والبيئة.

الأطر الفلزية العضوية (Metal-Organic Frameworks, MOFs)

تُعد الأطر الفلزية العضوية (Metal-Organic Frameworks, MOFs) من أكثر المواد النانوية تطورًا في مجال الاستشعار الكيميائي، لما تتمتع به من بنية مسامية عالية، مساحة سطحية ضخمة، وقابلية غير مسبوقه للتعديل الكيميائي. تتكوّن MOFs من مراكز فلزية) مثل Zr^{4+} ، Fe^{3+} ، أو Cu^{2+} مرتبطة بروابط عضوية متعددة الوظائف، مما يسمح بتصميم مواقع ارتباط انتقائية تجاه أيونات المعادن الثقيلة مثل Pb^{2+} ، Hg^{2+} ، As^{3+} ، و Cr^{6+} . وتستخدم MOFs في تصميم مجسات بصرية وفلورية وكهروكيميائية تعتمد آلية عملها على التغيرات الفيزيائية أو الكيميائية التي تحدث عند ارتباط الأيونات الفلزية بالمواقع النشطة داخل الإطار.

تتميز MOFs بقدرتها على حبس الأيونات داخل بنيتها المسامية، مما يؤدي إلى تغيير في الخواص الطيفية، مثل إخماد أو تعزيز الفلورة، أو تغيير في الامتصاص، ويمكن تحسين هذه الاستجابة بدمج MOFs مع جزيئات فلورية أو مؤشرات لونية حساسة. كما أظهرت بعض MOFs المعدلة، مثل ZIF-8 و UiO-66، أداءً عاليًا في الكشف الانتقائي والسريع عن المعادن الثقيلة، بفضل استقرارها الكيميائي والقدرة على تحمل ظروف بيئية مختلفة. وتستخدم MOFs كذلك في تصميم أنظمة استشعار محمولة، أو مجسات مدمجة في أغشية أو ألياف، بفضل قابليتها للتشكيل على ركائز مختلفة. كما تتيح طبيعتها الهجينة (العضوية/اللاعضوية) مرونة كبيرة في ضبط التفاعلية والانتقائية، مما يجعلها من أكثر المواد تطورًا في هذا المجال، مع إمكانيات واعدة للتطبيقات البيئية والتحليلية في الوقت الحقيقي.

الخاتمة

تمثل المواد النانوية غير الكربونية تقنيات واعدة في مجال المعالجة البيئية وتنقية المياه، لما تتمتع به من خصائص فيزيائية وكيميائية متقدمة، مثل المسامية العالية، والانتقائية، وإمكانية التعديل، والتفاعل المتعدد الوظائف. أثبتت المواد مثل MOFs، و TiO_2 ، وجسيمات السيليكا النانوية، والمركبات البوليمرية، فعاليتها العالية في التخلص من المعادن الثقيلة السامة تحت ظروف بيئية متغيرة. كما أن دمج هذه المواد ضمن نظم هندسية نانوية مثل الأغشية المغزولة كهربائيًا والألياف النانوية يزيد من كفاءة الامتزاز والتصفية. يتطلب المستقبل تطوير مواد أكثر استدامة، قابلة لإعادة الاستخدام، منخفضة التكلفة، وقادرة على العمل في ظروف مائية واقعية (مثل وجود أيونات منافسة وتغيرات في الأس الهيدروجيني)، لضمان توفير حلول بيئية مستدامة وفعالة لمشكلة التلوث المعدني في المياه.

المراجع البحثية:

- [1] Joudeh, N., Linke, D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *J Nanobiotechnol* 20, (2022) 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>

- [2] Alhalili, Z., **Metal Oxides Nanoparticles: General Structural Description, Chemical, Physical, and Biological Synthesis Methods, Role in Pesticides and Heavy Metal Removal through Wastewater Treatment**, *Molecules* 2023, 28(7), 3086; <https://doi.org/10.3390/molecules28073086>
- [3] Olawade, DB., Wada, OZ, Egbewole, BI., Fapohunda, O., Ige, AO., Usman, SO., Ajisafe, O., **Metal and metal oxide nanomaterials for heavy metal remediation: novel approaches for selective, regenerative, and scalable water treatment.** *Front. Nanotechnol.* 6 (2024) 1466721;. [doi: 10.3389/fnano.2024.1466721](https://doi.org/10.3389/fnano.2024.1466721)
- [4] Acharya, R., Naikand, B., Parida, K., **Cr(VI) remediation from aqueous environment through modified-TiO₂-mediated photocatalytic reduction**, *Beilstein J. Nanotechnol.* 9 (2018) 1448–1470. <https://doi.org/10.3762/bjnano.9.137>

English Summary

Nanomaterials have significantly advanced the domain of analytical sensing for toxic heavy metal ions, owing to their remarkable physicochemical properties at the nanoscale. These properties include an exceptionally high surface area-to-volume ratio, which increases the density of reactive sites for ion binding; the presence of surface functional groups that can be chemically engineered to provide specific affinity toward target analytes; and quantum confinement effects that impart unique optical, electronic, and catalytic characteristics not found in their bulk counterparts. These features collectively facilitate rapid, selective, and ultrasensitive detection of trace-level metal ions, enabling real-time and in situ environmental monitoring.

This review highlights the deployment of various nanomaterial classes such as metal oxide nanoparticles (e.g., ZnO, TiO₂, Fe₃O₄), magnetic nanostructures with superparamagnetic properties, carbon-based nanomaterials (e.g., graphene oxide, carbon nanotubes), mesoporous silica nanoparticles, polymer-based nanocomposites, and highly crystalline metal-organic frameworks

(MOFs) as core components in next-generation sensing technologies. These materials have been effectively integrated into diverse sensor architectures utilizing optical (e.g., colorimetric, fluorescence, surface plasmon resonance), electrochemical (e.g., voltammetry, amperometry, impedance spectroscopy), and spectroscopic detection strategies to selectively identify hazardous metal ions such as Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , $\text{As}^{3+}/\text{As}^{5+}$, Cr^{6+} , Ni^{2+} , and Co^{2+} .

The high specificity of these nanosensors is primarily driven by targeted surface functionalization with metal-binding ligands, including thiol, amine, and carboxyl groups, which coordinate with heavy metal ions to form strong and stable complexes. Recent advancements have focused on the fabrication of hybrid nanostructures and hierarchically ordered composites that enhance signal transduction, broaden the detection range, and improve robustness under complex environmental matrices. Additionally, these materials offer significant advantages such as reusability, low production cost, environmental sustainability, and adaptability to miniaturized sensor designs for field applications.