الفصل الرابع

صور مهمة من الملوثات البيئية

٤-١. التلوث بالمواد البلاستيكية

٤-١-١. المخلفات البلاستيكية

٤-١-٢. المنتجات البلاستيكية وصحة المستهلك

٤-١-٣. الأضرار التي تسببها المخلفات البلاستيكية على الإنسان والبيئة

٤-١-٤. التحكم في التلوث بالمخلفات البلاستيكية

٤-١-٥. الهندسة الوراثية والتحكم في التلوث بالمواد البلاستيكية

٤-٢. تلوث البيئة بالعناصر الثقيلة

٤-٢-١. أهمية العناصر الثقيلة للإنسان والحيوان والنبات

٤-٢-٢. التحكم في التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة

٤-٣. التلوث البيئي بالملوثات العضوية الثابتة والمواد السامة الأخرى

٤-٤-١. سمية الملوثات العضوية الثابتة

٤-٤-٢. ثبات وانتقال الملوثات العضوية الثابتة

٤-٤. التلوث بالنفط

٤-٥. التلوث بالمواد المشعة

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الرابع

صور مهمة من الملوثات البيئية

٤-١. التلوث بالمواد والمنتجات البلاستيكية

مقدمة

أصبح البلاستيك جزءًا لا يتجزأ من حياتنا اليومية ، فهو موجود في كل مكان حولنا مصاحبا لنا في مأكلنا ومشربنا وفي عملنا وفي سيارتنا وجميع وسائل النقل، وأيضًا في أجساسنا دون أن ندري، فقد تسللت المواد البلاستيكية إلى أجسامنا. فقد احتل البلاستيك مكان كثير من المواد الأخرى مثل الزجاج والورق والخزف والبورسيلين وذلك لرخص ثمنه وخفة وزنه وقابليته للتشكل بسهولة. فتصنع منه الآن كثير من الأشياء مثل المقاعد والأسرة ومقاعد السيارة وأغطية الحمامات وخراطيم المياه وبعض أنواع الملابس وزجاجات المياه المعبأة وعبوات حفظ الألبان والجبن واللحوم والبقوليات وأجزاء كثيرة من الأجهزة الكهربية والأدوات المنزلية وأيضًا الأدوات المعملية .

ففي هذا العصر الجديد لا يكاد يخلو منزل أو مكان من المنتجات البلاستيكية والألياف الصناعية. حيث أصبحت من متطلبات الحياة لما تقدمه من خدمات جليلة للحياة العصرية .

٤-١-١. المخلفات البلاستيكية

تعريف المواد البلاستيكية :

يعتبر البلاستيك أحد البوليمرات التي تتكون نتيجة تكرار اتحاد جزيء Monomer (مونومر) تحت ظروف كيميائية محددة لتكوين الجزئي العملاق المسمى (بوليمير)، وهذه العملية تسمى Polymerization ويمكن إدخال الكثير من التعديلات على المونومرات monomer حيث يتم الدمج والخلط والمزج للخامات المختلفة معًا، مع تعديل خصائص الخامة الأساسية، وذلك بعد إنتاجها على شكل بوليمر.

أنواع البوليمرات :

تنقسم البوليمرات إلى:

١ - طبيعية:

مثل : النشا (Starch) والسليلوز Cellulose

٢ - صناعية مثل :

١ - polyethylene .

٢- polyester .

٣- polypropylene.

الخواص الطبيعية للبوليمرات : Physical Properties

تنقسم البوليمرات الطبيعية أو الصناعية إلى :

- مواد صلبة في صورة راتنجات Resins
- مواد لينة على شكل لدائن Latix
- مواد سائلة ومنها الأصماغ Gums

نلاحظ حدوث انتعاش وتطور في صناعة البلاستيك خلال الثلاثين سنة الماضية إلى إنتاج أنواع متعددة وكميات هائلة من البوليمرات الصناعية، التي تستخدم في تصنيع الأفلام البلاستيكية، والتي تجد تطبيقاتها في مجالات كثيرة منها التعبئة والتغليف. ونلاحظ أن معظم البوليمرات الصناعية (أغلبها مشتقات بتروكيميائية) لا تتحلل بالعوامل البيئية الطبيعية عند التخلص منها مما أدى إلى تراكم هذه المخلفات والتسبب في مشكلات بيئية عديدة وخطيرة؛ نظراً للكمية الهائلة التي يستهلكها العالم سنويًا. وأصبحت هناك ضرورة حتمية لإيجاد حل للتخلص من هذه المخلفات والحد من آثارها على البيئة.

obeikandl.com

حيث أشارت الإحصائيات سنة ١٩٩٧ إلى أن مقدار الاستهلاك السنوي في مصر من منتجات البلاستيك في جميع المجالات يبلغ ٩ × ٥١٠ طن (وهي كمية كبيرة)، ونظراً لعدم قابلية البلاستيك للانضغاط ومقاومته لعوامل التحلل الطبيعية من هواء وشمس ورطوبة ومطر، وعدم قدرة الكائنات الحية الدقيقة أو الإنزيمات على تحلله، فإن مخلفات البلاستيك تعد من أنواع القمامة غير المرغوب فيها، والتي تتراكم باستمرار وتمتلىء بها أماكن التخلص من القمامة، وتصبح بؤرًا لتجميع أنواع أخرى من المخلفات؛ مما يوفر أماكن جذب وتوالد الحشرات ومصدرًا للأوبئة والأمراض . وقد أشارت الإحصائيات سنة ١٩٩٧ أن مخلفات المنزل المصري من البلاستيك تصل الى ٣٨٠ طن (٢٪ من إجمالي المخلفات) وان نسبة الاسترجاع لهذا النوع من المخلفات ١٧.٨ ٪ لهذا كان يجب وجود ضرورة حتمية للتخلص من هذه المخلفات وإحدى هذه الطرق إنتاج بلاستيك قابل للتحلل في البيئة Biodegradable Plastic.

٤-١-٢. المنتجات البلاستيكية وصحة المستهلك

يتضح مدى استهلاك البلاستيك في تغليف الأغذية من الجدول التالي الذي يبين الاستخدام النسبي للأنواع المختلفة من مواد تغليف الأغذية في الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً:

جدول (٤-١)

الاستخدام النسبي لمنتجات البلاستيك المستخدمة فى تغليف الأغذية

مادة التغليف	نسبة الاستخدام ٪
الزجاج	١٠
بلاستيك مغلف بالمعدن	١٧
معدن غير مغلف	٣
بلاستيك – مغلف بالورق	٢٠
ورق غير مغلف	١٠
بلاستيك	٤٠

أي ما يزيد عن ٨٠ ٪ من الأغذية في الولايات المتحدة الأمريكية مغلفة بالبلاستيك، أو بأغلفة يدخل فيها البلاستيك كمكون أساسي، وبالتالي يمكن تصور حجم النفايات البلاستيكية الناتجة من تغليف الأغذية فقط ، حيث تشير الإحصائيات إلى كمية النفايات البلاستيكية في بلدان الاتحاد الاوروبي، تصل إلى ١٠ ملايين طن سنويًا تشكل نصفها تقريباً الأغلفة البلاستيكية الغذائية.

المنتجات البلاستيكية النهائية المخصصة للأستخدامات الغذائية تخضع لاختبارات عديدة للتأكد من صلاحيتها لهذه التطبيقات، ومن أهم هذه الاختبارات اختبار الانتقال الشامل (GLOBAL MIGRATION TEST) والذي يجري بموجب الأنظمة الأوربية التالية 48/ 8.97/ 711.93/ 11.87/ 39.9.95/ 128.92/ 572.90/ 85 حيث يتم تعرض المنتج البلاستيكي لعديد من السوائل التي تماثل الأطعمة ، مثل زيت الزيتون ومحلول حمض الخل بتركيز 3٪ ، ومحلول الإيثانول بتركيز ١٥٪ وغيرها من المواد ، يتم التعريض لمدد متفاوتة تصل إلى عشرة أيام ، وعند درجات حرارة تصل إلى ١٠٠ درجة مئوية، بعد ذلك يتم استخلاص مستحلبات يفترض أن تحتوي على العناصر والمركبات التي انطلقت (Migrated) من المنتج البلاستيكي إلى محاليل الاستخلاص، ويلي ذلك فحص المستحلبات لمعرفة مكوناتها والوقوف على احتمالات احتوائها على عناصر سامة أو مسببة للسرطان أو غيره من الأمراض، وبالتالي تحديد درجة تركيزها في المستحلب ، ومقارنة ذلك بالنسبة المسموح بها في الأنظمة المذكورة أعلاه .

يتبين من ذلك أن فحوص إجازة المادة البلاستيكية لتغليف الأغذية تجرى تحت ظروف قاسية، تتجاوز الظروف العادية التي يتم عندها استعمال وسائط التغليف البلاستيكية لتغليف المواد الغذائية .

بناء على ذلك يمكننا القول : إنه لا خطر على صحة المستهلك من كون الأطعمة أو المشروبات الساخنة توضع أو تعبأ في أكياس أو صحون أو قوارير بلاستيكية مرخصة ، هذا علما بأن شركات البيتروكيماويات تسعى لتزويد جميع مصنعي ومستخدمي منتجاتها

بهذه الشهادات العالمية لتبعث مزيدا من الاطمئنان ،ولتؤكد حرصها الدائم على سلامة المستخدم و المستهلك .

لكن قد يتساءل البعض عن النواحي البيئية للمواد البلاستيكية من حيث العمر الزمني اللازم لكي تتحلل هذه المواد، والواقع أنها تحتاج لزمن طويل جدًّا، إلا أن عملية تدوير المواد البلاستيكية واستخدامها في تطبيقات أخرى ثانوية قلل خطورتها على البيئة، ويظل الوعي وإدراك الإنسان هما الدافع الأكبر للمحافظة على البيئة .

كذلك قد يثير البعض قضية المواد القابلة للتحليل كمواد البولي بروبيلين المستخدمة في صناعة أكياس تعبئة الحبوب كالقمح والشعير، ومدى استخدام هذه التقنية في المدى القريب، والواقع يقول إن هذه التقنية حديثة جداً، ولا تزال في طور البحث والتطوير في بعض الدول الصناعية المتقدمة مثل كندا والولايات المتحدة؛ لذا سيكون لاستخدامها في الوقت الراهن صعوبة للمنتج والمستهلك ، بالإضافة إلى ضرورة وعي المستهلك بهذه المواد؛ حيث تختلف بطبيعتها عن المنتج من حيث التحلل والتخزين.

وبوجه عام فإن استخدام المواد البلاستيكية والألياف الصناعية يعتبر آمنًا صحيًّا وليست هناك مخاوف حقيقية تدعو للقلق أو الخوف من استخدام هذه المنتجات إذا تمت عملية تصنيعها واستخدامها بصورة متوافقة مع توصيات مصانع المواد الخام ، وضمن الشروط المنصوص عليها لكل مادة بلاستيكية.

٤-١-٣. الأضرار التي تسببها المخلفات البلاستيكية على الإنسان والبيئة

تسبب المخلفات البلاستيكية العديد من الأضرار على الإنسان وهي الأضرار الصحية كما تسبب أضرارًا بيئية على البيئة المحيطة.

ومن أهم تلك الأضرار:

١- الكثير من المواد البلاستيكية هي مواد شديدة الثبات وعالية المقاومة لأنواع التحطم (التحلل) المختلفة الحيوية وغير الحيوية في البيئة.

٢- عملية دفن المخلفات البلاستيكية في التربة عجزت عن القضاء على المخلفات البلاستيكية لكونها غير قابلة للتحلل داخل التربة وبالتالي تظل متواجدة مسببة تلوث التربة.

٣- عملية حرق المخلفات البلاستيكية تسبب تلوثًا هوائيًا بسبب المواد الكربونية شديدة الضرر المنبعثة من تلك الحرائق التي نتج عنها تصاعد أبخرة غاز الفوسجين وحمض الهيدروكلوريك نتيجة حرق عبوات PVC المسببة للتسمم، وكذلك تصاعد مركبات الدايوكسين Dioxins الكلورونية شديدة الخطورة.

٤- عملية إعادة التصنيع وإعادة الاستخدام في التصنيع الغذائي عملية ذات خطورة؛ لأنه معرض أن تصبح العبوة نفسها أكثر خطورة على صحة الإنسان من خلال مركبات العبوة البتروكميائية، التي تنتقل للغذاء المعبأ بها، وكذلك تصبح العبوة أقل جاذبية للمستهلك.

٥-أثبتت الاختبارات التي أجريت على آلاف الأشخاص أن دماءهم تحتوي على كميات متفاوتة من مادة الفيثالات، والتي تشتق من الحمض العضوي الفيثاليك ، ويتم تقديرها بواسطة أجهزة التحليل الكروماتوجرافي والذي يتيح لنا قياس تركيزات منخفضة تصل إلى ٩-١٠ من الجرام اي جزء في البليون ، مما يدل على أن هذه المواد البلاستيكية تدخل أجسامنا عن طريق الغذاء والماء والدواء، وحتى الهواء لتحدث تراكمًا شديدًا، يصل مع الوقت إلى درجة التسمم أو إتلاف الأعضاء الداخلية للكائن الحي .

٦- هناك دراسات أجريت على بعض العبوات البلاستيكية الخاصة بالأغذية، ثبت من خلالها أن ثمة تفاعلات داخلية تحدث بين مادة العبوة والأطعمة؛ خاصة الأطعمة المحتوية على مواد دهنية والذي من السهل ذوبان المواد البلاستيكية فيها ، لقد لوحظ هجرة بعض الدهون من مادة الغذاء إلى مادة العبوة، وفي نفس الوقت تحدث هجرة عكسية ، وأثبتت النتائج وجود علاقة خطية بين هجرة الدهون

والهجرة العكسية (المواد البلاستيكية والمواد الغذائية)، وتتوقف هذه الهجرة على درجة الحرارة المحيطة وطول فترة تخزين المادة الغذائية بالعبوة ، وكلما زادت تلك العوامل زادت معدلات الهجرة .

٧- هناك دراسات أجريت على حفظ الدم في العبوات البلاستيكية ، وقد تعرفنا من خلال تلك الدراسات أن حفظ الدم في أكياس تسع ٦ لترات في درجة حرارة ٥ مئوية لمدة أسبوعين أدى إلى تسرب ٠.٢٥ جرام من مادة الفثالات إلى الدم، وهي كمية لا يستهان بها وخاصة في عمليات نقل الدم .

٨- ثبت من خلال الأبحاث أن مادة القثالات تنتقل إلى الجنين، من خلال المشيمة في رحم الأم .

٩- نشرت أكاديمية العلوم الأمريكية إحصائية، تفيد بأن وزن النفايات الصلبة التي تلقي في البحار والمحيطات يقدر بأكثر من ١٤ بليون رطل سنويًا ، بمعدل أكثر من ١.٥ بليون رطل في الساعة، ويمثل البلاستيك ١٠٪ من هذه الكمية . وقد وجد أن خيوط الألياف البلاستيكية تعمل على سد خياشيم التنفس في الأسماك؛ مما يؤدي إلى موت جماعي لهذه الأسماك ، وعند دخول المواد البلاستيكية إلى جسم السمكة تغير من عمليات البناء والهدم لدى السمكة (الميتابوليزم) فتفقد السمكة توازنها في عمود الماء لتعوم في اتجاهات مختلفة في نفس الوقت؛ مما يضعف قوتها مما يؤدي في النهاية لموت كثير من الأسماك، وانخفاض النتاج السمكي، وانخفاض القيمة الغذائية في الأسماك .

١٠- قد تلتف المواد البلاستيكية التي ألقيت في البحار على الشعاب المرجانية الخلابة وتغطي علب الطعام والمشروبات والمنظفات البلاستيكية الفارغة مما سيقلل من وصول ضوء الشمس إلى الشعاب، وسيحرمها من التيارات المائية الداخلة والخارجة التي تجدد مياهها المليئة بالغذاء والأكسجين ، مما سيؤدي في النهاية إلى هلاك تلك الشعاب المرجانية، وهلاك كثير من الكائنات المائية التي تعيش بين وداخل هذه الشعاب الخلابة، وهذا بالطبع خسارة طبيعية واقتصادية هائلة.

زجاجات المياه المعبأة البلاستيكية تكلف البيئة ثمنا باهظا [*]

كشفت دراسة نشرها معهد أميركى أن المياه المعدنية المعبأة فى زجاجات بلاستيكية والتى تضاعف استهلاكها العالمى ليبلغ ١٥٤ مليار ليتر عام ٢٠٠٤ تكلف البيئة ثمنا باهظا، إضافة إلى أن تكلفتها تفوق غالبا تكلفة الوقود. وذكرت ا ف ب أن معدة الدراسة التى نشرها معهد سياسة الأرض أكدت أن المياه المعدنية المعبأة ليست فى غالب الأحيان أكثر سلامة من المياه التى تصل إلى المنازل عبر شبكات التوزيع فى الدول الصناعية وقد تكلف عشرة آلاف مرة أكثر، إذا أخذت بالاعتبار الطاقة المستخدمة لتعبئة وتسليم وإعادة تدوير الزجاجات. ومع سعر يقارب ٢ر٥٠ دولار للتر الواحد، فإن كلفة المياه المعبأة تفوق تكلفة الوقود .

وعلى مستوى الاستهلاك يأتى الأميركيون فى المرتبة الأولى مع استهلاك ٢٦ مليار ليتر من المياه المعبأة فى العام ٢٠٠٤ ، ويأتى بعدهم المكسيكيون بمعدل ١٨ مليار لتر، ثم الصينيون والبرازيليون ١٢ مليار لتر لكل من البلدين. أما على مستوى الاستهلاك الفردي، فيأتي الإيطاليون فى المقدمة بنحو ١٨٤ لترًا أى أكثر من كوبين من المياه المعبأة يوميًّا فى العام ٢٠٠٤، ثم المكسيكيون بمعدل ١٦٩ لترًا، والإماراتيون ١٦٤ لترًا فالبلجيكيون والفرنسيون ١٤٥ لترًا.

وتشير إحصاءات المعهد الى ان الدول النامية أصبحت أكثر استهلاكًا للمياه المعبأة بين عامى ١٩٩٩ و٢٠٠٤ بحيث ازداد الاستهلاك فى الهند ثلاثة أضعاف فيما تضاعف فى الصين ونتجت عن هذا الازدياد الكبير فى استهلاك المياه المعبأة تكاليف ضخمة أيضًا لجهة تصنيع الزجاجات وغالبيتها من البلاستيك ونقلها البحرى أو البرى.

وفى المقابل يتم تأمين مياه المنازل عبر شبكة توزيع أكثر حماية للبيئة وأقل كلفة وفى حين يكفى إغلاق الصنبور بعد الاستهلاك فى المنزل، فان مصير القوارير البلاستيكية

(*) نقلاً عن مجلة البيئة والتنمية» عدد أيار/ مايو ٢٠٠٦

الفارغة، غالبًا ما يكون فى المكبات، علمًا بأنه يتم تصنيع الزجاجات عادة من أحد مشتقات النفط الخام البوليثيلين / تيريفتالات .وبالنسبة للولايات المتحدة، فإن تصنيع هذه الزجاجات يمثل أكثر من ١ر٥ مليون برميل نفط سنويًا ما يسمح لمئة ألف سيارة بالسير لمدة سنة، أما على المستوى العالمى فيتطلب تصنيع الزجاجات البلاستيكية من مادة البوليتين تيريفتالات ٣ر٧ مليون طن سنويًا من هذا النوع من البلاستيك.

ويستخدم نحو ٢.٧ مليون طن من البلاستيك في أنحاء العالم سنويًا لتعبئة المياه. بعد استهلاك المياه، يجب التخلص من العبوات. ويفيد معهد إعادة تدوير العبوات في الولايات المتحدة أن ٩٦ في المئة من عبوات المياه البلاستيكية المستهلكة في البلاد تصبح قمامة، وحرقها يولد منتجات ثانوية سامة مثل غاز الكلور والديوكسين والرماد المحتوي على معادن ثقيلة. وقد تبقى مطمورة نحو ألف عام قبل أن تتحلل طبيعياً

وتتطرق الدراسة أيضًا إلى مسألة النفايات إذ تشير إلى أن ٨٦ بالمئة من الفراغات البلاستيكية المستهلكة فى الولايات المتحدة تنتهى فى المكبات؛ وفقا لأرقام معهد إعادة تدوير محتويات مستوعبات القمامة، وتكمن خطورة هذا الواقع فى أن عملية الطمر تؤدى إلى انبعاث غازات سامة، وإلى رماد يحتوى على معادن ثقيلة فى حين أن رمى الفراغات البلاستيكية فى المكبات يوفر لها استمرارية، قد تصل إلى ألف سنة قبل تحللها البيولوجى الكامل.

والأسوأ من ذلك هو أن أربعين بالمئة من الفراغات البلاستيكية التى تم تجميعها فى الولايات المتحدة عام ٢٠٠٤ تم نقلها الى دول بعيدة جدا مثل الصين، مما زاد أيضًا من الأضرار التى تلحق بالبيئة، وقد أدى إنتاج قوارير المياه المعدنية على النطاق الواسع إلى نقص فى مياه الشرب، وهذا ما حصل فى الهند حيث تراجعت الطبقات المائية بصورة ملحوظة فى خمسين قرية، فى حين كانت شركة كوكا كولا تستخرج منها المياه، دون أى رقابة لتنتج مياه داسانى التى يتم تصديرها لاحقًا.

وفى أربعين بالمئة من الحالات تجرى تعبئة القارورة بالمياه التى تصل إلى المنازل ثم يضاف إليها بعض المعادن التى ليست صالحة دائما لصحة المستهلكين، وهو ما ذكرته الدراسة بالإشارة إلى توصيات مجلس الشيوخ الفرنسى بتغيير نوعية المياه المعدنية المستهلكة؛ لتجنب استهلاك كميات كبيرة من المعادن ذاتها.

٤-١-٤. التحكم في التلوث بالمخلفات البلاستيكية

١. التعامل الرشيد والاستهلاك المنظم للمواد البلاستيكية، وذلك باتباع ما يلي :

- الإقلال ما أمكن من استخدام المواد البلاستيكية
  - الاعتماد على الحقائب التي تستخدم لأكثر من مرّة
  - تجنّب شراء المواد المغلّفة بشكل مفرط.
- إعادة استخدام المواد البلاستيكية لنفس الغرض أو لأغراض أخرى.
- الإقلال من الاعتماد على المواد البلاستيكية التي تستخدم لمرة واحدة ثم يتم التخلص منها.
- عند المفاضلة بين مادتين بلاستيكيتين، يجب انتقاء المادة التي تمكن إعادة استخدامها و/ أو تدويرها.

٢. إعادة تدوير البلاستيك:

لإعادة تدوير البلاستيك الكثير من الفوائد للإنسان وللبيئة :

- الحد من استنفاذ المصادر وتحقيق التنمية المستدامة.
- التوفير في الطاقة.
- تأمين المواد الأولية.
- حماية الهواء من الملوثات مثل الديوكسينات.
- حماية الهواء تعني حماية الماء أيضاً .

- إقلال المساحات اللازمة للتخلص من النفايات ، واستغلال هذه المساحات لأغراض زراعية.
- تأمين فرص عمل.

٣. إنتاج بلاستيك قابل للتحلل في البيئة Biodegradable Plastic.

كان اتجاه البحث العلمي واتجاه العالم كله إلى إنتاج عبوات تكون في المستقبل، سهلة التخلص منها عن طريق التحلل البيولوجي لها، سواء باستخدام الكائنات الحية الدقيقة أو عن طريق الإنزيمات.

وكان ذلك بإنتاج أنواع من البوليمرات قابلة التحلل البيولوجي، ولها قدرة الارتباط مع استخدام مادة substrate من مواد زراعية (مخلفات) لها قابلية التحلل البيولوجي وقدرة الارتباط مع البوليمرات الكيميائية وهي Biodegradable Films

٤-١-٥. الهندسة الوراثية والتحكم في التلوث بالمواد البلاستيكية [*]

وجهت كثير من الأبحاث والدراسات لمحاولة إنتاج مواد تماثل خواص البلاستيك، ولكنها سهلة التحطيم والتحلل بواسطة الكائنات الأولية الدقيقة . وبينما تميل الحيوانات إلى تخزين الطاقة في صورة دهون داخل أجسامها والنباتات، تخزن الطاقة في صورة نشا . ولكن الحال يختلف بالنسبة للبكتريا، فإن المادة التي تختزن الطاقة بالبكتريا عبارة عن حبيبات. وبدراسة هذه الحبيبات تبين أن تنتمي إلى اللدائن مثلها مثل البلاستيك ولكن نوع اللدائن في البكتريا قابل للتحلل في البيئة بواسطة أنواع أخرى من البكتريا أو بواسطة بعض أنواع الفطريات، التي تحلله إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ومواد نهائية بسيطة ،مع احتفاظ اللدائن البكتيري بنفس قوة وتحمل وثبات البلاستيك الصناعي، وقامت إحدى المؤسسات الكيميائية البريطانية بالعمل على سلالة بكتيرية تسمى الكاليجينس ابوتروفاس، لها قدرة على تحويل السكر إلى بولي استر بكتيري يشبه في صفاته الطبيعية مادة

(*) د على محمد على، التلوث البيئي والهندسة الوراثية ١٩٩٩ م

البلاستيك إلى حد كبير . وقد توقف علماء البيولوجيا الجزيئية أمام هذا الكائن، ويحاولون التوصل إلى الاستفادة منه ومن نشاطه التخزيني في إنتاج البلاستيك على نطاق تجاري. ويتميز الإنتاج البيولوجي للدائن البكتيرية بأن معدل إنتاجها أسرع من إنتاج اللدائن البلاستيكية الكيميائية الصناعية، بالإضافة إلى أنها أعلي في درجة النقاء . وقد تلقف علماء الهندسة الوراثية هذا الميكروب المعجزة وراحوا يطورونه عن طريق التعديل الجيني، وبالفعل تم إنتاج سلالة محسنة تعطي إنتاجًا أوفر من البولي إستر البكتيري، والذي يتكون من نوع طبيعي من البوليمرات يسمي بولي هيدروكسي بيوتيرات PHP ليحل محل البلاستيك ويصل إنتاج هذا الكائن من هذه المادة إلى ٨٠ ٪ من وزنه الجاف .

وحاليًا يعكف العلماء على التحسين من خواص البلاستيك الطبيعي بتغيير البيئة التي يتم تربية البكتريا عليها، والمدهش حقًا أن علماء البيئة أبدوا ارتياحهم وترحيبهم بالوافد الجديد، فهو مادة سهلة التحلل بالميكروبات ، فمجرد دفن عينة منه في التربة تتحلل تمامًا في فترة مشابهة لفترة تحلل الورق. وجد أحد الباحثين في إحدى الشركات الكيميائية البريطانية أنه يمكن التحايل على هذه الكائنات؛ لتصنيع مادة لدنة أكثر تماسكًا ومرونة تصلح لإنتاج أنواع أخري من اللدائن، تدخل في صناعة الأواني الزجاجية والأواني البلاستيكية. ولكن المدهش أن العلماء وجدوا أن إنتاج هذه اللدائن القوية يمثل ٢٠ ٪ من إنتاجها الأساسي من اللدائن الهشة. وقد تم نقل الجين المسئول عن إنتاج مثل هذه اللدائن لبكتريا أخرى هي بكتريا ايشيريشيا كولاي، وبدأت تنتج هذه اللدائن بصفات محسنة . ولكنها لا تكفي لعمل مصانع لإنتاجها على المستوى التجاري.وقد نجح فريق من علماء الهندسة الوراثية في عمل تهجين بكتيري بين البكتريا المنتجة للدائن الطويلة السلسلة والبكتريا المنتجة للدائن القصيرة السلسلة لإنتاج مادة بلاستيكية ذات صفات جديدة غير مألوفة . ولم تقف طموحات علماء الهندسة الوراثية عند إنتاج اللدائن من البكتريا، بل إنهم أجروا تجارب على نقل هذه الجين المسئول عن إنتاج هذه البلاستيك الطبيعي إلى الشريط الوراثي (لأحد النباتات الراقية، وبدأت التجارب على النباتات التي

تخزن النشا بكميات كبيرة كغذاء كالبطاطس والبطاطا وبنجر السكر، وتعديل مخزونها من النشا لمخزون من المواد البلاستيكية الجديدة، ولكن ثمة عقبات لهذا التعديل، ولكن الأمل يحدو العلماء في أن يجيء اليوم الذي ينجح فيه العلم في زراعة البلاستيك.

٤-٢. تلوث البيئة بالعناصر الثقيلة

تعتبر المعادن الثقيلة ، مثل الزئبق والرصاص والزرنيخ والكادميوم والسيلنيوم من اخطر المواد التي تلوث التربة والماء.

وتعرف العناصر الثقيلة بأنها تلك العناصر التي تزيد كثافتها على خمسة أضعاف كثافة الماء ٥ مجم / سم٣ المكعب وهي لها تأثيرات سلبية على البيئة عند الإفراط في استخدامها، كما تؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات.

وأن جميع هذه المعادن تشترك كثيرًا في صفاتها الطبيعية إلا أن تفاعلاتها الكيميائية مختلفة وينطبق هذا على آثارها البيئية فبعض هذه المعادن كالزئبق والرصاص والكادميوم منشؤها خطر على الصحة العامة بينما المعادن الاخرى مثل الكروم والحديد والنحاس تقتصر آثارها على أماكن العمل الذي يحدث فيها التعرض لفترات طويلة ولهذا فهي أقل خطرًا من المعادن الأخرى كالرصاص، الذي زاد انتشاره في الآونة الأخيرة، وأصبح موجودًا بكثرة في الماء والهواء والغذاء. وأن كثيرًا من المعادن الثقيلة ضرورية للحياة حتى ولو استخدمت بمقادير قليلة جدًّا ولكنها تكون سامة إذا وصل تركيزها إلى مستوى عالٍ في الجسم، تصبح بعده قادرة على التدخل في نمو الخلايا والجهاز الهضمي، ويحدث التسمم بالمعادن الثقيلة عندما:-

١ - تدخل إلى جسم الإنسان كمركب بيوكيميائي.

٢ - تدخل الجسم بكميات مرتفعة أعلى من الحدود المسموح بها على مدى زمني قصير (تسمم تراكمي).

٣ - تدخل أيضًا للجسم بتركيزات منخفضة على مدى فترة زمنية طويلة، تؤدي إلى الإصابة بالمرض المهني.

٤ - تدخل الجسم عن طريق مغلوط وبتركيز عالي.

ولقد ازداد تعرض الإنسان لأضرار هذه المعادن من جراء الزيادة المفرطة في استخداماتها في الحياة اليومية، حيث زاد من انتشارها في معظم دول العالم الصناعية بالذات؛ وحيث إن عمليات إذابة وتنقية المعادن أدخلت إلى البيئة تلوث الماء والهواء، ومع أن ذلك كان محصورًا على أماكن محددة في بادئ الأمر، لكنه بدا يتخطى هذه الحدود منذ زمن بعيد.

٤-٢-١. أهمية العناصر الثقيلة للإنسان والحيوان والنبات :-

على الرغم من سمية المعادن الثقيلة وأثرها السلبي على البيئة، إلا أنه تعد بعض المعادن مهمة وضرورية للكائنات الحية، فنجد أن الزنك والنحاس والمنجنيز ضرورية للإنسان والحيوان والنبات، والكوبلت والكروم بالنسبة للحيوان، والألمونيوم بالنسبة للنبات، أما ضرورة هذه العناصر لحياة هذه الكائنات فيرجع الى كونها تدخل في تركيب الخمائر وبعض البروتينات الأخرى، التي تلعب دورًا نسبيًا في بعض العمليات الانقلابية فنقصها قد يؤدي إلي خلل في الوظائف الفسولوجية وبالتالي تنتج أمراض عديدة ؛ أما العناصر التي لا تعتبر ضرورية لأي وظيفة حيوية في الجسم، فإن كثيرًا ما يطلق عليها اسم المعادن السامة، ومن أهمها الزئبق والرصاص والزرنيخ والكادميوم والفانديوم والبلوتونيوم والتيتانيوم واليورانيوم ؛ فهذه المعادن تسبب سمية للكائنات الحية عند تراكيز معينة أو عالية أما غيابها عن الجسم لا يؤدي إلى أضرار صحية، كما هو الحال بالنسبة للعناصر الضرورية كالحديد مثلا.

أما على الصعيد الكيموحيوي، فإن التأثيرات المترتبة على المعادن السامة هي:

- تأثيرها على الأغشية الخلوية.
- إحلالها محل بعض الأيونات في الجسم.
- منافسة المعادن السامة مع بعض المكونات الاستقلابية في الجسم.
- تفاعلها مع مجموعة الفوسفور لكل من. (ATP-ADP)

- وتختلف الكائنات الحية في قدرتها على تحمل تراكيز عالية من المعادن، إلا أن الزيادة المفرطة للتعرض تؤدي إلى الإصابة بالسرطان وأحيانًا الوفاة.

والجدول التالي يبين التركيزات والنسب المؤثرة، التي تتسبب الأخطار المحتملة للعناصر الثقيلة، وهذه الأخطار تضم التركيزات الخطرة في المياه وهواء بيئة العمل ودرجة السمية .

جدول ٤-٢

أمثلة لمؤشرات الأخطار المحتملة للعناصر الثقيلة

	المياه		السمية	هواء مكان العمل
المعادن أو المركبات	مياه الشرب١ (ميلليجرام/ لتر)	حماية النظام الأيكولوجي٢ (ميلليجرام/ لتر)	(الجرعة المميتة ٥٠، ميلليجرام/ كجم من وزن الجسم)٣	(TWA٤ (ميلليجرام/ م٣)٥
الأنتيمون	,٠٠٥	-	٧٠٠٠	,٥
الزرنيخ	,٠١	,٠٥	٧٦٣	,٢
البريليوم	-	-	-	,٠٠٢
الكادميوم	,٠٠٣	,٢ - ١,٨	٢٢٥	,٠١
الكروم (سداسي التكافؤ)	,٠٥	,٠٠٢	٥٠ ($Na_2Cr_2O_7$)	,٠٥
النحاس	٢	,٠٠٢ - ,٠٠٤	٣٠٠ (C_uSO_4)	,٢
الرصاص	,٠١	,٠٠١ - ,٠٠٧	٤٥٠ (TDLo)	,١٥
الزئبق	,٠٠١	,٠٠٠٠١	١ (H_gCL_2)	,٠٥
السيلينيوم	,٠١	,٠٠١	٦٧٠٠	,٢
التيلليوريوم	-	-	٨٣	,١
الثاليوم	-	-	٦ (LDLo)	,١ (الجلد)
الزنك	-	,٠٣	٣٠٠٠	١٠٠ ١

١-منظمة الصحة العالمية (١٩٩٦).

٢-المبادئ التوجيهية الكندية الخاصة بنوعية المياه من أجل حماية الحياة المائية بالمياه العذبة. المجلس الكندي لوزراء البيئة (١٩٩٥).

٣-لويس (١٩٩٢)، الجرعة المميتة، ٥٠ عن طريق الفم. قيم إرشادية فقط: غالباً ما تختلف السمية الخاصة بالمركبات الإفرادية.

٤-TWA متوسط مرجح زمنيًا للتركيزات المحمولة جوًا عند حسابه خلال ثمان ساعات، في يوم عمل عادي خمسة أيام عمل في الأسبوع.

المؤتمر الأمريكي لعلماء الصحة الصناعية الحكوميين (١٩٩٤).

وسوف نستعرض بعضًا من العناصر الثقيلة المهمة، والتي تعتبر ملوثات ضارة جدًا وتشكل انتشارا في البيئة وهي الرصاص والزئبق والكادميوم والزرنيخ.

أولاً : التلوث بالرصاص

الرصاص Lead (Pb) معدن لين مرن لونه أبيض مزرق، قابل للتشكل والطرق، موصل ردئ للحرارة ومقاوم للتآكل، رقمه الذري 82 ووزنه الذري 207 ووزنه النوعي 11.35. تحتوي خامات الرصاص عادة على عناصر الكبريت والزنك والنحاس ومن أهمها وجودًا في الطبيعة خام جالينا Galena، الذي يتركب من كبريتيد الرصاص (Pb S) والذي يستخدم في طلاء المرايا، كما يستخدم كصبغة زرقاء.

يوجد الرصاص في صور أخرى مختلفة، منها: أكاسيد الرصاص وتشمل أول أكسيد الرصاص (PbO) وهو أكثرها استخدامًا في صناعات الرصاص غير العضوية كما يستخدم في تصنيع لوح البطاريات وفي صناعة السيراميك والزجاج. ومن الأكاسيد الأخرى أكسيد الرصاص الأحمر (Pb_3O_4) وهي صبغة حمراء لامعة وتستخدم في دهانات المنازل وأسطح المعادن لمنع تآكلها وفي التشحيم وفي صناعة الزجاج والكريستال. من أملاح الرصاص كبريتات الرصاص ($PbSO_4$) والتي تدخل في صناعة الصبغات الزرقاء والبيضاء وسليكات الرصاص ($PbSiO_3$) وتستخدم في الدهانات وفي صناعة الزجاج والسيراميك والمطاط، وكرومات الرصاص ($PbCrO_4$) الذي يستخدم في الأحبار والصبغات والصناعات الجلدية.

مصادر التلوث بالرصاص في الهواء

- صناعة وسباكة الرصاص:

تعتبر صناعة وسباكة الرصاص من أهم مصادر تلوث الهواء بأتربة الرصاص، وكذلك فهي صناعة مهمة جدًا على الرغم من تلويثها للبيئة، فهي صناعة تحويلية تتعامل مع المخلفات و تدويرها للوصول إلى منتج، يمكن إعادة استخدامه (المواسير ، الوصلات .....)، تعتمد سباكة الرصاص على بطاريات المركبات المستعملة والتي

يتم الاستغناء عنها والتي تعتبر دوليًا من المخلفات الخطرة التي لا يسمح بتداولها أو إعادة تصديرها بين الدول بموجب الإتفاقيات الدولية فمن هنا تظهر أهمية تلك الصناعة كصناعة تحويلية وتدوير للمخلفات الخطرة، يجب الاهتمام بها وتغير وتطوير التكنولوجيا المستخدمة في تلك الصناعة، والتي تعتبر بالمنظور العالمي بدائية، مما يتسبب في التلوث الظاهر في البيئة المحيطة بها.

- الوقود المحتوي على الرصاص:

في إطار تحسين مواصفات وقود البنزين كان يتم إضافة بعض مركبات الرصاص إليها لتحسين خواصه مما كان يتسبب في ارتفاع نسب وتركيز أتربة الرصاص المتصاعدة إلى الهواء الجوي نتيجة الانبعاثات الصادرة من تلك المركبات ، والتي كان تتزايد أعدادها والوقود المستخدم في تسييرها، وبالتالي فقد لوحظ زيادة متطردة في نسب وتركيزالرصاص في الهواء الجوي المحيط والذي أثبتته الدراسات و البحوث العلمية التي تم إجراؤها خلال الفترة الأولى من العقد الأخير من نهاية القرن الماضي.

- عملية الاحتراق (الحرق، حرق جثث الموتى، حرق النفايات في الخلاء):

تعد عملية حرق نفايات وجثث الموتى من مصادر التلوث بالرصاص إذ يتصاعد للهواء كميات من مركبات الرصاص أثناء الحرق

الرصاص في المياه والتربة

من أهم مصادر تلوث التربة والماء بالرصاص المصانع التي تنتج البطاريات، كما يحدث هذا التلوث على إثر خروج عوادم السيارات في الطرق السريعة؛ حيث تلوث التربة ومصادر المياه المجاورة لهذه الطرق.ويؤدي تلوث المحاصيل الزراعية ومياه الشرب بالرصاص إلى إصابة الإنسان بأمراض في الجهاز العصبي والهضمي والكلية والدم. ومرض الأنيميا.

ومحتوى المياه الطبيعية في المسطحات المائية العذبة من الرصاص من ١ إلى ٥ أجزاء في المليون ، وعمليات المعالجة بالمروبات تزيل نسبة كبيرة من أملاح الرصاص مما يقلل نسبته في المياه الناتجة المعالجة، ولكن يمكن أن تصل الملوثات من أملاح الرصاص من خلال شبكة التوزيع، مما يزيد من تركيز الرصاص في مياه الشرب إلى ٠.٢ إلى ١.٠ مجم / لتر .

إذا ارتفعت نسبة الرصاص عن ٠.١ مجم / لتر في مياه الشرب، فإنه يؤدي إلى التسمم بالرصاص، التي تظهر أعراضه ببطء.حيث يبدأ الإنسان بالشعور بآلام شديدة في الجهاز الهضمي،وقد يرافقه قيء واضطرابات عصبية،وقد يؤدي الى حدوث شلل بالأطراف، وتشنجات عصبية شاملة. ويمكن أن يصاب الإنسان بالصرع وتصيبه غيبوبة لأن الرصاص يؤثر على الجهاز العصبي المركزي.ومن أعراضه أيضاً ظهور خط أزرق مائل للسواد داخل أنسجة اللثة، ويقل عدد كريات الدم الحمراء وقلة في نسبة الهيموجلوبين وحدوث أنيميا. وعمومًا يتعرض الأطفال لتسمم الرصاص أكثر من الكبار.من مصادر التسمم أنابيب التوصيل المنزلية، ومن طلاء بعض الأواني الفخارية (السيراميك)، ويدخل في صناعة الوقود.تم مقارنة استعمال الرصاص في عام ١٩٩٠ فتبيّن أن الإنتاج زاد بـ -٦ أضعاف خلال ٣٠ عام.

وأوصت منظمة الصحة العالمية بتركيز ٠.٠٥ مجم / لتر للرصاص كحد أقصى في مياه الشرب.

التحكم في التلوث بالرصاص

لمعالجة التأثيرات السلبية للرصاص على المستويات العالمية والإقليمية والوطنية والمحلية **تتخذ الإجراءات التالية** :

- تشجيع استخدام البنزين غير المعالج بالرصاص في كافة القطاعات.
- الحاجة إلى الرصد (وخاصة في حالة الأطفال)، ومنها الرصد البيولوجي لمستويات الرصاص.

- تحديد الاستخدامات وأفضل الحلول والتكنولوجيات المتاحة الأقل سمية.
- تقييم المخاطر البيئية الخاصة بتلوث الرصاص .
- زيادة الخبرة، القدرة على زيادة الوعي، المشاريع النموذجية.
- الجرد الدولي للمواقع الملوثة (كافة المناجم القديمة ومدافن القمامة)
- الأثر الصحي وتقييم التكلفة ذات الصلة.
- تفعيل السياسات الوطنية الخاصة بسلامة المواد الكيميائية.
- خطط وضع العلامات الدولية.
- برامج العمل الإقليمية – من خلال التنسيق على المستوى الدولي.
- البحث عن تكنولوجيا صديقة للبيئة وتنميتها.

ثانيًا : التلوث بالزئبق

الزئبق هو أحد المعادن الثقيلة، ويكون على هيئة سائلة تحت درجة الحرارة العادية، لذلك يعد من العناصر الكيماوية الخاملة نوعاً في هذه الحالة السائلة. إلا أن الزئبق العنصري يتأكسد إلى زئبق ثنائي الشحنة تحت الظروف الطبيعية. وهذا الزئبق المؤكسد يمكن أن يشبع أو يمزج بالميثان عن طريق البكتيريا الهوائية واللاهوائية، أو في كبد وأحشاء الكائنات الحية.

مركبات الزئبق

يقسم الكيميائيون مركّبات الزئبق إلى مجموعتين :

١ – مركبات الزئبقوز، أو الزئبق I.

٢ – مركبات لزئبقيك، أو الزئبق II .

تشمل مركبات الزئبقوز كلوريد الزئبقوز`(Hg_2CL_2) ، ويُسمّى أيضًا الكالوميل، وكبريتات الزئبقوز .(Hg_2SO_4) ويستخدم الكالوميل مُطهّرًا لقتل البكتيريا،

كما يستخدم الكيميائيون كبريتات الزئبقوز لزيادة سرعة الكشف على بعض المركّبات العضوية.

وتشمل مركّبات الزئبقيك كلوريد الزئبقيك ($HgCL_2$)، وهو مركّب شديد السمية، وقد استخدمه الجرّاحون في السابق لتطهير الجروح. ويسمّى كلوريد الزئبقيك أيضًا ثاني كلوريد الزئبق أو الآكل المتسامي .ويستخدم مركب فولمينات الزئبقيك($Hg[OCN]_2$) في صناعة جميع أنواع الذخائر، لتفجير المادة المتفجرة. كما يستخدم مركب كبريتيد الزئبقيك (HgS)، في صناعة البويات، لتكوين الصّبغات الحمراء التي تسمى الفيرمليون .وتحتوي بطاريات الزئبق على أكسيد الزئبقيك .(HgO) ولعديد من المركّبات العضوية، والتي تحتوي على الزئبقيك، أستخدامات مهمة في الطب. فهنالك أدوية تسمى المبيلات يستخدمها الأطباء لعلاج أمراض الكلى، وهي مركبات عضوية تحتوي على الزئبقيك. كما أن المطهر المعروف باسم المركروكروم أحد مركبات الزئبقيك.

هذه العملية تتم بواسطة بكتيريا مُختزلة للكبريت، والتي تعيش في بيئة ذات معدل ذوبان منخفض للأوكسجين، مثل مصبّ أو قاع بحيرة رسوبية. ميثيل الزئبق يمكن أن تقلل مستوياته في البيئة، إمّا بتفاعلات التحلل الضوئي الذي يحدث بدون مساعدة البكتيريا أو الكائنات الحية الأخرى، أو بالبكتيريا وذلك خلال عمليات حيوية مختلفة

وقد جاء الزّئبق من مخلّفات الصّناعة التي طُمّرت في الخليج الذي تمّ منه اصطياد تلك الأسماك. وفي بداية عام ١٩٧٠م، بيعت أسماك التونا وأسماك السيف في الولايات المتحدة، والتي أثبتت التحاليل أنها تحتوي على كميات خطرة من الزّئبق؛ ممّا أدّى بالحكومة إلى مصادرة الأسماك من الأسواق وإنذار السكان.

تعمل الحكومات والمصانع على إبعاد الزئبق خارج البيئة، فبعض الدول تمنع طمر المخلّفات الصّناعية التي تحتوي على الزئبق، وقد يصل كثير من الزئبق إلى البيئة بطرق أخرى مختلفة.

ويعتمد تأثير الزئبق على الكائنات الحية على عدة عوامل، أهمها: حالة الزئبق (عنصري، مؤكسد، مشبع بالميثان)، ونوع الكائن الحي وحجمه وعمره ومدة تعرضه للملوث، ونوعية المياه خاصة مقدار عسر الماء Hardness. لذلك، نجد أن الأنواع المختلفة من الكائنات الحية تتباين درجة تحملها لسمية الزئبق الحادة في المياه العذبة.

التأثيرات الخطيرة للتعرض للزئبق

١ - للزئبق طائفة من التأثيرات المعاكسة الكبيرة والموثقة على صحة الإنسان والبيئة في مختلف أنحاء العالم. والزئبق ومركباته شديدة السمية وخاصة بالنسبة لنمو الجهاز العصبي. ويتباين مستوى السمية في الإنسان والكائنات الأخرى بحسب الشكل الكيماوي للزئبق وكميته وطريقة التعرض له ومدى ضعف الأشخاص الذين يتعرضون له. ويمكن أن يتعرض الإنسان للزئبق بطرق مختلفة بما في ذلك، وإن لم يكن يقتصر على تناول الأسماك والاستخدامات المهنية والأسرية وملاغم الأسنان والأمصال المحتوية على الزئبق.

٢ - ويؤثر ميثيل الزئبق سلبيًا في كل من الإنسان والحيوانات البرية. فهذا المركب يمر بسهولة من خلال حاجز المشيمة وحاجز الدم – المخ كما أنه عامل سام للأعصاب وهو الأمر الذي يمكن أن يكون له تأثيرات معاكسة خاصة على المخ الذي يمر بمرحلة نمو. وقد أظهرت الدراسات أن وجود ميثيل الزئبق في غذاء الحوامل يمكن أن يكون له تأثيرات معاكسة طفيفة ولكنها مستمرة على نمو الأطفال حسبما يلاحظ من بداية سن الدراسة. وعلاوة على ذلك تشير بعض الدراسات إلى أن زيادة طفيفة في التعرض لميثيل الزئبق قد يكون لها تأثيرات معاكسة على الأوعية الدموية في القلب. وتتعرض الآن أعداد كبيرة من الناس والحيوانات البرية لمستويات من الزئبق تشكل مخاطر حدوث هذه التأثيرات المعاكسة وربما غيرها أيضًا.

٣ - وثمة مجموعات مهيأة بصورة خاصة للتعرض للزئبق وعلى وجه الخصوص الأجنة وحديثي الولادة والأطفال نتيجة لحساسية الجهاز العصبي النامي فيها. ولذا ينبغي

للآباء والحوامل والنساء اللاتى قد يحتمل أن يكن بصورة خاصة على وعى بالأضرار المحتملة لميثيل الزئبق. ومن المستبعد أن يسفر الاستهلاك المعتدل للأسماك (المصابة بمستويات منخفضة من الزئبق) عن مستوى خطير من التعرض. غير أن السكان الأصليين والفئات الأخرى التي تستهلك كميات أكبر من الأسماك أو الثدييات البحرية الملوثة، والعمال المعرضين للزئبق مثل استخراج الذهب والفضة على النطاق الصغيرة قد يكونوا معرضين لمستويات عالية من الزئبق ومن ثم فهم معرضون للمخاطر.

٤ - وإلى جانب ما للأسماك من أهمية في كثير من الثقافات المحلية، فإنها تشكل عنصرًا شديد الأهمية في النظام الغذائي للإنسان في كثير من أنحاء العالم حيث توفر المغذيات التي تتوافر في كثير من الأحياء من مصادر الأغذية البديلة. ويشكل الزئبق خطرًا كبيرًا على هذه الإمدادات من الأغذية. وكذلك فإن الأسماك الملوثة يمكن أن تتسبب في مشكلات اقتصادية خطيرة للمجتمعات المحلية والأقاليم التي تعتمد على الثروة السمكية في بقائها الاقتصادي.

٥ - كما أن هناك بعض النظم الإيكولوجية وعشائر الحياة البرية المعرضة بصورة خاصة. وتشتمل هذه المفترسات على قمة شبكات الأغذية المائية (مثل الطيور والثدييات الآكلة للأسماك) والنظم الإيكولوجية للمناطق المتجمدة الجنوبية والأراضي الغدقة والنظم الإيكولوجية الاستوائية والأوساط الميكروبيولوجية في التربة.

مصادر التلوث بالزئبق

ويأتي التلوث بالزئبق من المصادر التالية:

(أ) الإطلاقات من تراكم شوائب الزئبق التي تشمل:

- الطاقة الناجمة عن حرق الفحم وإنتاج الحرارة (أكبر مصدر وحيد للانبعاثات في الجو).

- إنتاج الطاقة من الأنواع الأخرى من الوقود الكربوني الأحفوري.
- إنتاج الأسمنت (الزئبق في الجير).
- التعدين وغير ذلك من الأنشطة المعدنية بما في ذلك استخلاص وتجهيز المواد المعدنية الخام والمعاد دورانها مثل إنتاج ما يلي:
  - الحديد والصلب.
  - حديد المنجنيز.
  - الزنك.
  - ومعادن أخرى غير الحديدية.
- إنتاج البترول.

(ب) الإطلاقات من الاستخلاص والاستخدام المتعمدين للزئبق والتي تشمل:

- استخراج الزئبق من المعادن
- استخراج الذهب صغير النطاق (عملية الملغمة).
- إنتاج الكلور – القلوي.
- استخدام المصابيح الفلورسنتية، والأدوات، وملغم حشو الأسنان وغير ذلك.
- صناعة المنتجات المحتوية على الزئبق مثل:
  - ميزان الحرارة.
  - أدوات القياس اليدوية وغيرها.
  - البدالات الكهربائية والإلكترونية.
- المبيدات الحيوية (مثل تعفير البذور ومبيدات الآفات والمبيدات الضئيلة).
- استخدام المنتجات الأخرى مثل البطاريات والألعاب النارية وكيماويات المختبرات.

(جـ) الإطلاقات من معالجة النفايات، وحرق الجثث وغير ذلك (الناشئة عن كل من الشوائب والاستخدام المعتمد للزئبق، والتي تشمل:

- حرق النفايات (البلدية والطبية والنفايات الخطرة).
- مواقع ردم النفايات.
- حرق الجثث.
- المدافن (الإطلاق في التربة).
- إعادة التدوير والتخزين.

وتعد الزيوت والمبيدات المستخدمة لمكافحة الفطريات Fungicides وأنواع أخرى من الفطريات الغروية Slimicides من أخطر المصادر الملوثة للبيئة البحرية بعنصر الزئبق.

وأوصت منظمة الصحة العالمية بتركيز ٠.٠٠١ مجم / لتر للزئبق كحد أقصى في مياه الشرب.

دورة الزئبق داخل البيئة المائية

تتلخص دورة الزئبق في الماء في المسارات الآتية:

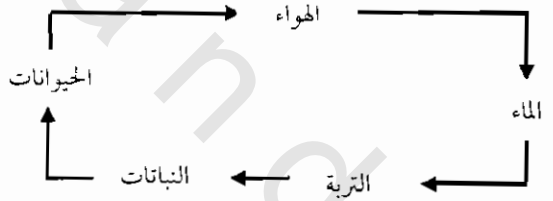
ينطلق الزئبق من مصادر انبعاثه مثل عمليات استخراج وتعدين الذهب ، حيث ينطلق الزئبق في صورة عنصر الزئبق متصاعدا في الهواء مسببا تلوثه.كما انه قد ينطلق مباشرة للماء اذا كانت عمليات التعدين تتم في ماء البحر مسببا تلوث الماء بالزئبق .

يحدث عملية أكسدة للزئبق العنصري المتطاير في الهواء(في وجود الأكسجين الجوي) ويتحول إلى زئبق ثنائي والذي يختلط بماء الأمطار الساقطة ويسقط على الغابات والأراضي والبحار والمحيطات ، وقد يتسرب من الغابات والأراضي إلى المسطحات المائية مع عمليات الانجراف المائي والفيضانات.

كما يمكن للزئبق أن يصل للماء من خلال المياه الجوفية الملوثة بالزئبق، وهناك طريقة أخرى لوصول الزئبق إلى المسطحات المائية وهي صرف مياه الصرف الصناعية غير المعالجة التي تصرف على الأنهار والبحار.

الزئبق العنصري الذي سقط في ماء البحر قد يحدث له حجز (تخزين) داخل البيئة المائية عن طريق الترسب في أعماق المياه أو الاتحاد مع مركبات أخرى بالمياه، وتترسب هذه المركبات أيضًا في القاع.

قد يتحول الزئبق العنصري في داخل ماء البحر إلى ميثيل الزئبقMethyl Mercury الذي يمكنه التراكم بسهولة شديدة داخل الأنسجة في الكائنات الحية، وهو أحد المركبات العضوية التي لها قدرة كبيرة على الذوبان في الدهون، وهي من الصور السامة جدًّا والتي تبتلعه الأسماك ويتراكم داخل أجسامها مسببة ضررًا للإنسان، الذي يتناول هذه الأسماك. والشكل التالي يبين دورة مبسطة الزئبق داخل البيئة بين الهواء والماء والأرض.



شكل (٤-٢) دورة الزئبق خلال البيئة.

المحددات العالمية والحدود المسموح بها عالميًا

١- إن الحدود المسموح بها عالميًّا وحسب منظمة الصحة العالمية للزئبق في مياه الشرب هي ٠.٠٠١ جزء بالمليون كأقصى حد مسموح به.

٢- أما الحدود المسموح بها حسب نظام صيانة الأنهار رقم ٢٥ المعدل فهي:

□ الأنهار وروافدها وتفرعاتها (٠.٠٠١) ملجم / لتر.

□ الجداول والترع والقنوات (٠.٠٠١) ملجم / لتر.

□ البحيرات والأحواض (٠.٠٠١) ملجم / لتر.

□ المياه المتخلفة والمصرفة للمصدر المائي (٠.٠٠٥) ملجم / لتر.

□ المياه المتخلفة والمصرفة الى المجاري العامة (٠.٠٠١) ملجم / لتر.

٣. أما بالنسبة للهواء فإن أقصى نسبة تسمح بها الهيئات الصحية لتركيز الزئبق في الهواء هي ٠.٠٥ مليجرام في كل متر مكعب في الهواء، ومن ثَمَّ حينما ترتفع نسبة تركيز أبخرته إلى نحو (٢ - ٨) مليجرامات في المتر المكعب الواحد.. فإنها تشكل إنذارًا خطيراً على صحة الإنسان .

التسمم بالزئبق المعدني ومركباته اللاعضوية

قد يحدث التسمم بالزئبق بشكل حاد أو مزمن . وقد تدخل المادة عن طريق الجهاز الهضمي أو التنفسي او نتيجة تعرض الجلد. يبلغ العمر النصفي للزئبق ٤٠ – ٦٠ يومًا، ويفرغ عن طريق الكلية بشكل رئيسي.

الزئبق عنصر ينجذب بشراهة ويرتبط بمجموعة السلفهيدريل في البروتينات والإنزيمات وذلك يؤثر على وظائف الخلايا والأعضاء وبالتالي يؤثر على عمل أجهزة الجسم.

المخاطر الصحية :

إن استنشاق أبخرة الزئبق يسبب رعشة في اللسان والشفتين والأصابع تبدأ بالخجل وعدم المقدرة على العمل مع قلة النوم وكما يظهر في الفم طعم معدني لاذع وتتأثر اللثة ويصير لونها رماديًا وتتساقط الأسنان .

إن مادة الزئبق الفلزية تسبب الحساسية – الإكزيما والتهيج للجلد وتحدث للعمال في عمليات تنظيف الأصباغ والتي تعقبها أعراض رئوية تخص الجهاز التنفسي والأعراض

المعوية والأعراض العضلية كالآلام، ويسبب أيضا العجز للكبد والكليتين نتيجة زيادة البروتين في الدم ويسبب تأثيرات مبكرة لحالات التسمم في الجهاز العصبي.

إن الزئبق مادة تراكمية التأثير تترسب في الكبد والكلى مسببة عجزهما وكذلك عجز القلب وشلل الجهاز العصبي وتسبب أيضا العمى والشلل حتى الموت.

مكافحة التلوث بالزئبق ومعالجة تأثيراته

لمعالجة التأثيرات السلبية للزئبق على المستويات العالمية والإقليمية والوطنية والمحلية تشمل الخيارات التالية :

١ - استبدال المنتجات والعمليات بأخرى، وهي تشمل النقاط الآتية :

(أ) الحد من استخدام الزئبق في المنتجات التي توجد لها بدائل أو منع هذا الاستخدام ، والترويج لاستحداث بدائل ملائمة أخرى لاستخدامات أساسية متبقية؛

(ب) الحد من الاستخدام المتوخى للزئبق أو منع هذا الاستخدام باستثناء الاستخدام في أنشطة التعدين الحرفية إلى أن يمكن نقل تكنولوجيا ملائمة وميسرة إلى القطاع المذكور.

(جـ) الحد من استخدام التكنولوجيا القديمة أو وقف هذا الاستخدام والإصرار على أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية للحد من انبعاثات الزئبق في الهواء والمياه أو منعها.

(د) الوقف التدريجي للزئبق والمنتجات المحتوية على الزئبق، التي مازالت تستخدم وذلك بعد الترويج لاستحداث بدائل فعالة وميسرة للزئبق، واستخدام تكنولوجيا بديلة.

٢ - خفض تراكم الزئبق الجديد في الغلاف الجوي

(أ) إعادة استعمال الزئبق المكتشف أو المعاد تدويره في الاستخدامات الضرورية بطريقة تخضع لرقابة صارمة، على العكس من استخراج وصهر الزئبق الخام والاستخدام العشوائي وتصريفه.

(ب) الحد من وجود الزئبق في شكل شوائب في الوقود أو التخلص من ذلك.

(جـ) خفض عمليات استخراج الزئبق الخام ووقف هذه العملية بالتدريج، حيثما أمكن ذلك عمليًّا.

٣ -الحد من استهلاك الزئبق:

(أ) الحد من وجود الزئبق في شكله المعروف أو في شكل شوائب في المواد ذات الحجم الكبير (مثل التعبئة) أو وقف هذه العملية.

(ب) الحد من تسويق المنتجات المحتوية على الزئبق أو منع هذه العملية على الصعيد الوطني.

(جـ) الحد من تصدير واستيراد المنتجات المحتوية على الزئبق، مثل البطاريات والمواد الصيدلانية ومواد التجميل وغير ذلك) أو منع هذه العملية.

(د) الحد من تسويق الزئبق المستعمل أو من الدرجة السلعية أو منع هذه العملية.

(هـ) إنشاء "بنك للزئبق" لتتبع استخدام الزئبق الخام والزئبق المستعاد أو المعاد تدويره والاحتفاظ به تحت رقابة محكمة.

٤ -التحكم في الانبعاثات والإطلاقات ورصدها

(أ) خفض أو منع الإطلاقات المباشرة للزئبق من مختلف العمليات (مثل مصادر النقاط الصناعية بما في ذلك صناعة الكلور القلوي، وإنتاج النفط والغاز، والصناعات المعدنية وغير ذلك، والمصادر الأخرى مثل عمليات حرق البلدية والطبية، وبعض الأنشطة مثل التعدين صغير النطاق) في البيئة والهواء والمياه والتربة من خلال تقنيات التحكم في الانبعاثات.

(ب) خفض أو منع انبعاثات الزئبق من حرق الوقود الأحفوري، وتصنيع المواد المعدنية من خلال تكنولوجيا التحكم في الانبعاثات أو التدابير التنظيمية؛

(جـ) خفض أو منع إطلاق الزئبق من العمليات إلى نظم معالجة الماء العادم (من أجل الحد من الانطلاقات إلى مستخدمي المياه وإتاحة استخدام الرواسب الطينية).

(د) مراقبة وتعزيز وتحسين كفاءة التدابير الرامية إلى خفض أو منع الانبعاثات والإطلاقات الزئبقية من خلال تكنولوجيا التطبيق عند نهاية العمل، ولهذا الغرض القيام بوضع معايير للانبعاثات وعمليات رصد ملائمة للبيئة تتسم بكفاءة التكاليف.

٥ -إدارة النفايات:

(أ) خفض أو منع الإطلاق المباشر للزئبق في مخلفات المنتجات والعمليات في البيئة من خلال عمليات جمع النفايات المتسمة بالكفاءة.

(ب) خفض أو منع مزج الزئبق الموجود في مخلفات المنتجات والعمليات بنفايات أقل خطورة في المسار العام للنفايات، عن طريق جمعها ومعالجتها بصورة منفصلة.

(جـ) خفض أو منع إطلاق الزئبق في البيئة من خلال معالجة النفايات المنزلية والنفايات الخطرة والنفايات الطبية بواسطة تكنولوجيا مكافحة الانبعاثات.

(د) الحد من نشر المحتوى الزئبقي في رواسب المجارير على الأراضي الزراعية والحد من استخدام مخلفات الحرق الصلبة المحتوية على الزئبق في بناء الطرق وغير ذلك.

(هـ) خفض أو منع إعادة تسويق النفايات المحتوية على الزئبق.

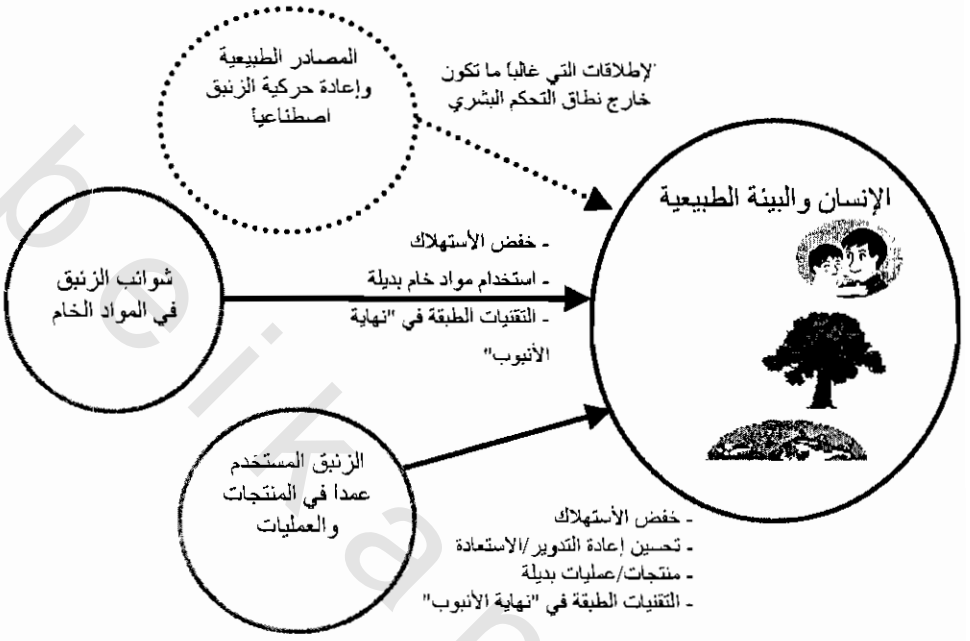
(و) سحب الزئبق الزائد من خلال ترتيبات إدارة النفايات طويلة الأجل (التخزين النهائي).

(ز) منع إطلاقات الزئبق في البيئة من خلال إدارة مبيدات الآفات البالية أو نفاياتها والمواد الكيماوية المحتوية على الزئبق.

(ح) تعزيز الالتزامات القانونية الرامية إلى تشجيع منتجي المواد، التي يدخل فيها الزئبق على تحمل مسؤولية المعالجة الكافية للنفايات، والتخلص النهائي من منتجاتها.

(ط) خفض أو منع حرق المنتجات والمواد والنفايات المحتوية على الزئبق.

يوضح الشكل التالي فئات الإطلاقات للزئبق مع الأنواع الأساسية من آليات التحكم الممكنة.



شكل (٤-٣) مخطط يبين المصادر الأساسية لإطلاقات الزئبق في البيئة، وخيارات التحكم الرئيسية.

التلوث بالكادميوم

وهو فلز كان حتى مطلع القرن العشرين شيئا جديدا ولكنه يستخدم اليوم بشكل كبير، وعلى نطاق واسع في كثير من الصناعات وتكون فضلاته أو مخلفاته الصناعية مصدرًا رئيسيًّا لتلوث البيئة.

وجوده: يوجد قسم كبير منه في التربة والهواء والماء ويرجع ذلك إلى النشاطات البشرية والذي يقدر بنحو (٧٠٠٠) طن سنويًّا، ومصادره الرئيسية هي الأسمدة الفوسفاتية والأوساخ المنزلية، ويعادل ذالك نحو ١٠ أضعاف مصادره الطبيعية، وحيث إن الكادميوم يدخل التربة، فإنه يمكن أن يظل فيها لعدة سنوات يترك فيها آثارًا من الحموضة.

أما عن أهم الصناعات التي يستخدم فيها الكادميوم فهي صناعات البلاستيك والبطاريات ، كما يختلط بالمعادن الخام ، مثل الزنك والنحاس والرصاص ، ولذلك فإن الكادميوم يتواجد في التربة والماء القريبة من المصانع التي يصهر فيها المعادن التربة الزراعية بالكادميوم. ويعتبر الكادميوم من المعادن التي تلوث التربة والماء والمحاصيل الزراعية التي تستهلك على نطاق واسع مثل الأرز والقمح. ولقد دلت الدراسات على إن تلوث التربة والماء بالكادميوم يؤدي إلى إصابة الإنسان بأمراض الكلية والرئة والقلب والعظام.

وتحتوي مياه الشرب عادة على تركيز منخفض جدًّا من الكادميوم، وإن كانت مياه الآبار تحتوي على تركيزات مرتفعة من الكادميوم. ويزداد تركيز الكادميوم في الماء اليسر وذات الرقم الهيدروجيني المنخفض .

مصادر التعرض للكادميوم:

- الانبعاثات من المصادر الطبيعية.
- المناجم (الزنك...).
- (البحر) الغذاء.
- تدخين التبغ.
- لعب الأطفال.
- المخلفات مثل اللعب الملوثة بالكادميوم.
- البطاريات التي لم يتم التخلص منها بطريقة ملائمة:
  - مدفن القمامة (التسرب).
  - الحرق..
  - الحرق في الهواء الطلق.
- أسمدة الفوسفات:
  - يمكن أن يدخل عنصر الكادميوم في الغذاء.

- يمكن أن تجمع بعض أنواع النباتات كميات كبيرة من الكادميوم (أستراليا).

- الخلايا الشمسية (كلوريد كادميوم).
- احتراق الوقود الأحفوري.
- غبار الطريق ربما المنبعث من إطارات السيارة.
- صبغات الألوان التي تعتمد على الكادميوم، وخاصة في الدول التي ليست عضوًا في منظمة التعاون والتنمية الأقتصادية.
- إحراق البخور.

فالكادميوم من المعادن غير الأساسية للحياة، أي إنه غير ضروري أبدًا لجميع وظائف الحياة في الجسم، وتؤكد جميع الدراسات والأبحاث أنه شديد السمية ويضر بجميع الكائنات الحية، وليس له أي دور حيوي، وخطورة هذا المعدن تتمثل في أن الكميات الضئيلة للغاية التي تدخل في الجسم في حدود عشرات الميكروجرامات، وربما تتراكم في الكليتين والكبد، فهذه الأعضاء تعتبر كمخازن للكادميوم.

أخطار الكادميوم

إفساد وظائف الكلى: فإذا تراكم الكادميوم في الكليتين ووصل تركيزه إلى الحدود الحرجة فإن ذلك سيضر بهما ويفسد وظائفهما وربما تصل مرحلة الضرر إلى الفشل الكلوي وغالباً ما تحدث أمراض الكلى المزمنة عندما يصل تركيز الكادميوم في الكلى من ٢٠٠ إلى ٣٠٠ ملجم/ كجم.

ويتخلص الجسم من الكادميوم عادة ببطء عن طريق البول أساساً، وهذا التخلص يرتبط بنوعية الغذاء.

ارتفاع ضغط الدم: هناك أدلة تدل على حدوث نمط ضغط الدم بعد تعرض فموي منخفض المستوى طويل الأجل، ويشير أحد أهم المراجع العلمية في علم التسمم إلى أن

الدراسات في علم الأوبئـــة تدل على أن الكادميوم يُعتبر عاملاً مسبباً لمرض ضغط الدم الحقيقي (Essential Hypertension).

تضخم القلب: يؤثر تراكم الكادميوم في الجسم على **القلب** ويسبب تضخمه.

الهيكل العظمي: تؤثر سمية الكادميوم على عملية تأيض الكالسيوم أي استقلابه (Metabolism).

مرض إتي إتي: قد يتسبب شرب الماء الملوث بتركيز عال من الكادميوم في الإصابة بمـــرض، يُطلـــق عليه مـــرض إتي إتي (disease iti iti)، وقد أدى شرب الماء الملوث بالكادميوم إلى إصابة بعض اليابـــانيين بهذا المرض، ويتميز هذا المرض بأعراضه الروماتيزمية المصحوبة بآلام مبرحة في العظام، نتيجة افتقارها إلى المعادن، فتصبح العظام لينة كالأنسجة نفسها.

فقر الدم: تؤدي زيادة كمية الكادميوم المتراكمـــة في الجسم إلى حالة فقـــر الدم.

الجهاز المعدي المعوي: إن شراباً - مثلاً- يحتـــوي على كمية بسيطة من الكادمـــيوم في حـدود ١٦ ملغم/ لتر يكفي لإصابةالإنسان بالغثيـان، والتقيـؤ والإسهال، والتهاب غشاء القولون المخاطي.

وأوصت منظمة الصحة العالمية ألا يزيد المدخول اليومي للكادميوم للشخص البالغ عن ٥٠ مليجرام. وقدرت الجرعة المميتة بعدة مئات من المليجرامات . وقد أوصي ألا يزيد محتوي الكادميوم في مياه الشرب عن ٠.٠٥ مجم / لتر كحد أقصي.

الزرنيخ

تستخدم مركبات الزرنيخ كمبيدات للآفات، وكمواد حافظة للأخشاب وكملونات للزجاج والسيراميك وفي علاجات الحيوانات. ويستهلك معظم الزرنيخ في صورة أكسيد ثلاثي، وبصورة رئيسية في تصنيع المواد الحافظة للأخشاب المعالجة بالضغط. وهذه الأشياء لا يحتمل أن تصبح مصادر لمواد يمكن إعادة تدويرها.

وقد عرفت مركبات الزرنيخ منذ العصور القديمة وقد تم فصله بهيئته المعدنية منذ أكثر من سبعمائة عام مضت. ويعتبر عنصر الزرنيخ غير العضوي سامًا بشكل حاد وسريع. وقد استخدم القتلة تلك الخاصية في قتل الضحية قتلاً بطيئًا بأسباب تبدو طبيعية؛ لأن الجرعات الكبيرة - التي تفوق بكثير الموجودة في بالماء - تسبب التدهور السريع والوفاة . أما التعرض البطيء، كما يحدث في تلوث المياه بكميات ضئيلة يسبب آثاراً متعددة، بعيدة المدى. وتحتاج آثار التسمم بالزرنيخ إلى عدد من الأعوام (وبالتحديد من٥-٢٠ عاما) كي تظهر.

تتلوث التربة ومصادر الماء بالزرنيخ في الأماكن القريبة من مصانع صهر المعادن مثل النحاس والرصاص والزنك ، ويعتبر احتراق الفحم واستعمال مبيدات الآفات، التي تحتوي على عنصر الزرنيخ من أهم مصادر تلوث التربة والماء بالزرنيخ.

ويؤثر الشكل الكيميائي للزرنيخ على امتصاصه ، فنرى أن عنصر الزرنيخ يمتص بمعدل منخفض جدًّا بينما مركبات الزرنيخ اللاعضوية ثلاثية وخماسية التكافؤ تمتص بسهولة . وعند التعرض للزرنيخ، فإنه يدخل الدم ثم إلى الكبد والكلي والطحال والعضلات كما توجد كميات صغيرة منه في الرأس والأظافر والشعر . وتتوقف كمية الزرنيخ على الشكل الكيميائي والفيزيائي للمركب وطريقة دخوله إلى الجسم والجرعة ومدة التعرض والعمر والجنس للفرد المتعرض .

التعرض المهني لعنصر الزرنيخ فهو أساسًا عن طريق الاستنشاق، وقد أبلغ عن زيادة مخاطر الإصابة بسرطان الرئة في حالات التعرض التراكمي لمستوي ٠,٧٥ مجم أو أكثر من الزرنيخ لكل متر مكعب. وقد يمتد هذا إلى نحو خمسة عشر عاما من التعرض في غرفة العمل إلى تركيز خمسين ميكرون لكل متر مكعب. كما وجد أن التبغ يتفاعل مع عنصر الزرنيخ في زيادة مخاطر التعرض لسرطان الرئة. والعلاقة بين عنصر الزرنيخ وتأثيره على حدوث بعض الأمراض مثل السكري وأمراض الدماغ الوعائية، ليست واضحة تمامًا، نظرًا للتعرضات المتعددة لهذا العنصر وكذلك تفاعله مع التعرضات السامة الأخرى.

الزرنيخ غير العضوي أكثر سمية من الزرنيخ العضوي، ويشمل التسمم الحاد بالزرنيخ إصابة الجهاز العصبي المركزي، كما يمكن أن يصاب الجهاز الهضمي والعصبي والتنفسي والجلد بإصابات شديدة، وتسبب إلى ألم ووهن العضلات وإصابات جلدية والأعصاب.

وأوصت منظمة الصحة العالمية بتركيز ٠.٠٥ مجم / لتر للزرنيخ كحد أقصي في مياه الشرب.

الكروم

يتعرض الشخص لمعدن الكروم من خلال التنفس، الطعام أو الشراب أو بالتلامس الجلدى لمعدن الكروم أو مركباته. معدلات الكروم فى المياه أو الهواء بوجه عام قليلة جدًّا، إلا أن مياه الآبار الملوثة به تحتوى على "الكروم ٦".

معظم ما يتناوله الفرد من هذا المعدن من خلال الأطعمة هو "الكروم ٣" الثلاثي ، والمتوافر بشكل طبيعى فى الخضراوات والفاكهة واللحوم والخميرة والحبوب. وطريقة تحضير الأطعمة والتخزين من الممكن أن تغير محتوى الكروم ونسبه، فإذا تم تخزين الكروم فى تنكات أو علب حديدية فإن تركيزاته قد ترتفع.

هذا النوع من الكروم مهم لصحة الإنسان ، وعدم حصول الإنسان على القدر الكافى منه يسبب اضطرابات للقلب، واضطرابات فى عملية الآيض (التمثيل الغذائى)، الإصابة بالسكر. والكميات الزائدة منه تسبب اضطرابات صحية أيضاً مثل الطفح الجلدى.

الكروم "٦" ضار لصحة الإنسان ويمثل خطورة على الأشخاص التى تعمل فى مجال صناعة الصلب والمنسوجات.

أما الأشخاص التى تدخن التبغ، فتتعرض لنسب كبيرة من معدن الكروم، وعند استخدامه فى الجلود قد يكون هناك رد فعل من الحساسية عند بعض الأشخاص مثل الطفح الجلدى. كما أن تنفسه يسبب اهتياجًا للأنف ونزيفًا منها.

أما المخاطر الأخرى المرتبطة بهذا المعدن:

- الطفح الجلدى.
- اضطرابات المعدة والقرح.
- اضطرابات فى التنفس.
- ضعف فى كفاءة الجهاز المناعى.
- ضمور فى الكلى والكبد.
- تغير فى المواد الجينية.
- سرطان الرئة.
- الموت.

وهذه المخاطر تعتمد على حالة التأكسد. والصورة المعدنية له تكون درجة سميتها ضئيلة، أما النوع السادس فهو سام.

وأوصت منظمة الصحة العالمية بتركيز ٠.٠٥ مجم / لتر للكروم الكلي كحد أقصى في مياه الشرب.

٤-٢-٢. التحكم في التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة

سن أهم الطرق العلاجية للتحكم في التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة هو معالجة وتنقية مياه الصرف الصناعي للصناعات المختلفة من العناصر الثقيلة.

إزالة العناصر الثقيلة من مياه الصرف الصناعي كإحدى طرق التحكم في التلوث البيئي.

تعد المعالجة الكيميائية من أفضل الطرق لإزالة المواد السامة مثل العناصر الثقيلة ، وتختلف المعالجة الكيميائية باختلاف الصناعة فتعالج مخلفات الطلاء غير المحتوية على مركبات السيانيد أو الكرومات برفع قيمة الأس الهيدروجيني باستخدام الجير أو الصودا الكاوية لمعادلة ما بها من أحماض وترسيب ايونات المعادن، على هيئة هيدروكسيدات أو أملاح قاعدية .

إزالة العناصر الثقيلة بالترسيب الكيميائي

نظرًا للتأثير الضار للعناصر الثقيلة على الموارد المائية فان هناك معايير لتركيزها في مياه الصرف الصناعي عند صرفها على المجاري المائية أو في شبكات الصرف الصحي . وقد تتطلب الحاجة إزالة العناصر الثقيلة من مياه الصرف الصحي المعالجة، وذلك عند استخدام هذه المياه في أغراض الري والزراعة .

وهناك عدة طرق لإزالة العناصر الثقيلة من المياه من أشهرها عمليات الترسيب الكيميائي ،فالترسيب العادي يسهم فقط في التخلص من ٣٠ إلى ٤٠ ٪ من العناصر الثقيلة في مياه الصرف ، بينما الترسيب بالكيماويات مثل الجير مثلاً يسهم في التخلص من حوالي ٨٠ ٪ منها . وهذا يتضح من الجدول التالي :

جدول (٤-٣)

الترسيب الكيميائي لبعض العناصر الثقيلة

العنصر	تركيزه في مياه الصرف	نسبة الإزالة بالترسيب العادي ٪	نسبة الإزالة بالترسيب الكيميائى (باستخدام الجير)٪
الحديد	٦.٣	٤٨	٨٠
النحاس	٠.٦	٢٨	٦٠
الكروم	٠.٣٤	٤٠	٥٨
الرصاص	٠.١٢	٣٣	٥٥
الزئبق	٠.٠٢٨	١٥	٥٠
النيكل	٠.٠٨	١٥	١٥
الزنك	٠.٧	٣٨	٧٠

ترسيب العناصر الثقيلة بالقلويات

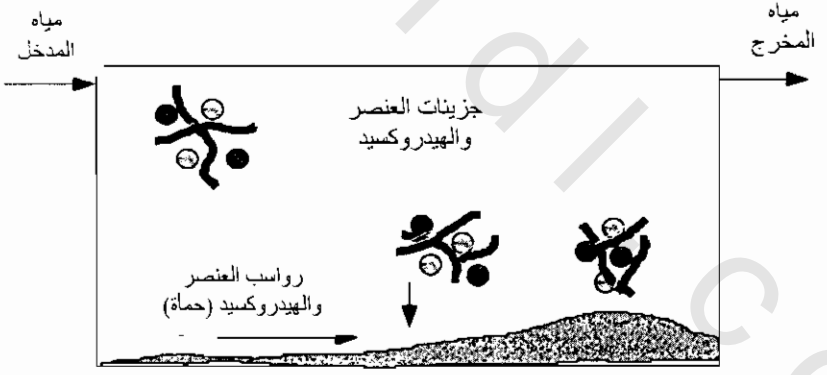
ويعد الترسيب باستخدام القلويات من اشهر وأهم الطرق التي تستعمل لترسيب العناصر الثقيلة وأهم القلويات المستخدمة هي الهيدروكسيدات مثل هيدروكسيد الصوديوم والكالسيوم .

حيث يعتمد ترسيب العنصر على قيمة الرقم الهيدروجيني الموجودة وبالتالي فان وجود المادة القلوية يوفر الظروف المناسبة لترسيب العناصر الثقيلة على هيئة هيدروكسيدات العنصر الثقيل ، وطريقة الترسيب بالقلويات يمكن أن تخفض من تركيز العناصر الثقيلة في الماء ليصل إلى ٢ مليجرام لكل لتر أو اقل . فعادة المعادن الثقيلة تذوب في الأحماض المعدنية كحمض الهيدروكلوريك وتترسب في وجود القلويات، ومن ثم فإن ارتفاع الرقم الهيدروجيني بفعل إضافة القلويات يعمل على ترسيب العناصر الثقيلة كهيدروكسيدات ،ولكل عنصر من العناصر الثقيلة مجال معين من الرقم الهيدروجيني يترسب خلاله على صورة هيدروكسيد.

والمعادلة الاتية تبين ترسيب المعادن كهيدروكسيد :

$$\text{Metal} + \text{Hydroxide (from caustic} \longrightarrow \text{Metal Hydroxide Precipitates}$$

والصورة التالية توضح تكون هيدروكسيد المعدن بإضافة القلوي حيث يتضح فيها اتحاد العنصر مع القلوي مكونًا الهيدروكسيد الذي يترسب مكونًا رواسب من اتحادات العنصر والهيدروكسيد وتخرج المياه نقية بدون العنصر المراد إزالته.



حوض ترسيب يتكون فيه ترسيب لرواسب العناصر الثقيلة والهيدروكسيدات بدون حواجز داخل الحوض ولا يوجد أي إضربات تموجية لتدفق الماء داخل الحوض

شكل (٧-٥): ترسيب العناصر الثقيلة بالقلويات.

مثال لترسيب العناصر الثقيلة بالعمليات الكيميائية

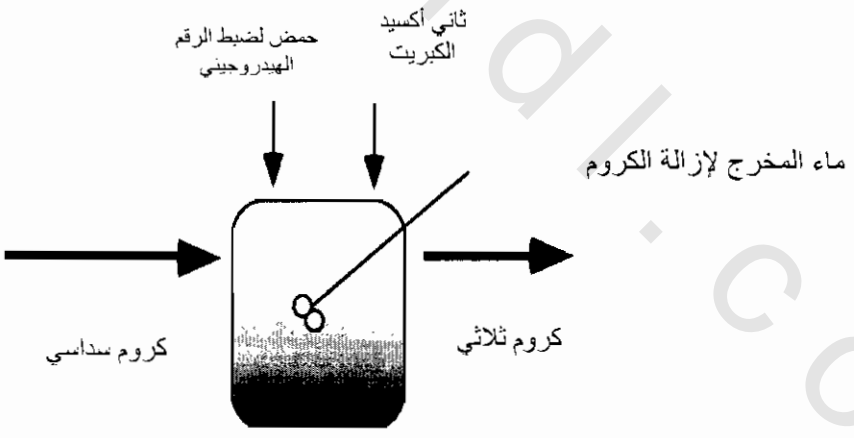
اختزال الكروم السداسي

لكي يتم ترسيب الكروم بالهيدروكسيد، لابد من اختزال الكروم السداسي التكافؤ إلى الكروم ثلاثي التكافؤ لأن الكروم السداسي لا يرسب كهيدروكسيد مع إضافة القلوي. ولهذا يمكن تحويل الكروم السداسي إلى كروم ثلاثي بالاختزال الكيميائي .

أ - يتم اختزال الكروم أولاً بتخفيض الرقم الهيدروجيني بواسطة حمض الكبريتيك إلى رقم ٢ ثم اختزال الكروم السداسي إلى ثلاثي باستخدام ثاني أكسيد الكبريت أو كبريتات الصوديوم.

ب- بعد ذلك يرسب الكروم كهيدروكسيد كما تبين المعادلة التالية.

$$Cr^{+3} + 3OH^{-} \longrightarrow Cr(OH)_3 \downarrow$$



شكل (٤-٣): مخطط لاختزال الكروم السداسي إلى ثلاثي .

٤-٣. التلوث البيني بالملوثات العضوية الثابتة

الملوثات العضوية الثابتة هي مركبات عضوية أساسها عنصر الكربون، قد تكون من صل طبيعي أو تكوين صناعي، ولها خصائص طبيعية وكيميائية تتضمن مقاومة التحلل ي البيئة (ثابتة)، السمية، التراكم إحيائيًّا، والانتقال عن طريق الهواء والماء والأنواع لمهاجرة عبر الحدود، وتستقر بعيدا عن مكان إطلاقها حيث تتجمع في النظم لأيكولوجية والأرضية والمائية. ولها تأثير خطر على صحة الإنسان و البيئة.

POPs هي اختصار للعبارة الإنجليزية Persistent organic pollutants أي لملوثات العضوية الدائمة (الثابتة) التي تمثل مجموعة من أخطر الملوثات المعروفة في لعالم.

٤-٣-١. سمية الملوثات العضوية الثابتة

الملوثات العضوية الثابتة هي مركبات كيماوية عالية السمية، تقاوم التحلل، متطايرة وتنتشر في الهواء عبر آلاف الأميال وهي شحيحة الذوبان في المياه وسهلة الذوبان في لشحوم والدهون؛ مما يساعد على تراكمها في الأنسجة الدهنية للكائنات الحية البحرية والبرية ، وهي تسبب السرطان وتدمر الهرمونات وجهاز المناعة، وأشد تأثير لها على لحوامل والأطفال، حيث تؤثر على نمو الجهاز العصبي للجنين. ومما لاشك فيه أن لكيماويات قد لعبت دورًا مهمًّا في تطور المجتمعات البشرية من خلال استخدامها في كافة الأنشطة العلمية والصناعية والزراعية والبترولية، والعلاجية والتجارية، والحربية، والمنزلية، كما ساعدت الكيماويات على ارتقاء مستوى الحياة، كما أدت في نفس الوقت إلى تعرض صحة الإنسان وبيئته إلى مخاطر كثيرة . وتضم الملوثات العضوية الثابتة ١٢ ملوثا، حيث تسمى (بالدستة القذرة، وتشمل ١٠ مبيدات زراعية، وهي (الدرين –أندرين – كلوردان – د.د.ت – ميركس – ديلدرين – هيبتا كلور- توكسافين – ميكا كلوروبنزين – بي.سي.بي) ومادتين كيميائيتين هما (ديوكسين- فيوران)

ويتعرض الإنسان للملوثات العضوية الثابتة عن طريق:

- المأكولات من الحبوب والبطاطس والفواكه والخضروات وثمار الموالح التي تنمو في تربة ملوثة .
- مأكولات الأسماك أو الكائنات البحرية أو الطيور أو اللحوم الملوثة .
- منتجات الألبان، ورضاعة ألبان من أمهات تعرضن للملوثات .
- شرب مياه من مصادر ملوثة .
- الإقامة بالقرب من مصانع إنتاج الكيماويات .
- الإقامة بالقرب من أماكن حرق المخلفات .
- الامتصاص عن طريق الجلد أو الطعام أو الشرب أو الاستنشاق .

٤-٣-٢. ثبات وانتقال الملوثات العضوية الثابتة

تستطيع POPs أن تنتقل آلاف الأميال في رحلات معقدة عبر الهواء والتيارات المائية ومن خلال الشبكة الغذائية، حتى أصبح استخدام إحدى الدول لها مشكلة للعالم أجمع؛ حيث اكتشف العلماء نسبًا مركزة من هذه الملوثات في مناطق، هي أبعد ما تكون عن مناطق استخدامها، فمثلاً وجد العلماء مادة "التوكسافين" في أسماك بحيرات القطب الشمالي الكندي، في حين أنها لم تستخدم قط في أي منطقة قريبة منها. كما وجدت ملوثات دائمة في طيور "القطرس" المقيمة على جزيرة "ميدواي" المنعزلة في وسط المحيط الهادي، كما أن بطاريق "آنتاركتيكا" أصبحت ملوثة بإحدى نتائج تحلل مادة "الكلوردين" وملوثات دائمة أخرى .

كما قلنا فإن الملوثات العضوية الدائمة ذات سمية عالية، ولا تقتصر سمّيتها على التركيزات العالية منها فقط التي تتسبب في الوفاة أو في أمراض خطيرة، بل إن التركيزات الضعيفة منها تتسبب في مشكلات عديدة للبيئة ولصحة الإنسان ؛ لدرجة أن تركيزًا من هذه الملوثات يصل فقط إلى جزء من ترليون يؤثر على درجة ذكاء الإنسان، كما أن هذه الملوثات تقوم بتعطيل الغدد الصماء، ويكون التأثير سيئًا إذا تعرض الجنين لها وهو في بطن أمه؛ حيث تؤثر من خلال تعطيلها للغدد الصماء على نمو الجنين بالإضافة إلى تأثيرها على قدرته على التعلم، ومقاومته للأمراض وللإنجاب مستقبلاً .

أما كونها دائمة فبسبب عدم تحللها بالطرق المعروفة الطبيعية من تعرض للضوء والتفاعلات الكيميائية والعمليات الحيوية التي كانت ستحيلها إلى مواد غير ضارة. بل على النقيض فإن مادة الـ DDT مثلا تتحول إلى مادة الـ DDE في جسم الإنسان التي تعتبر أكثر استقرارًا ودوامًا من المادة الأصلية، لا يستطيع جسم الإنسان أن يتخلص من هذه المواد إلا عن طريق الرضاعة؛ وبالتالي تستمر هذه المواد في التركيز في جسم الإنسان على مدى السنين .

من ضمن أكبر مخاطر POPs على صحة الإنسان آثاره السيئة على الجنين والطفل الرضيع. فأثناء حياة أية امرأة تستمر هذه الملوثات في التركيز في الأنسجة الدهنية. وبسبب متطلبات الحمل والرضاعة التي تتسبب في تكسير الخلايا الدهنية من أجل الاستفادة بها تغرق دورتها الدموية في وقت قصير بكل الملوثات التي تراكمت في الأنسجة الدهنية على مر السنين التي تمر بالتالي على الجنين أو تفرز في اللبن إلى الطفل الرضيع، وبالتالي يتعرض الإنسان إلى هذه الملوثات في مرحلة حساسة جدًّا من حياته .

تؤثر الملوثات العضوية الدائمة على الجهاز المناعي للإنسان وعلى جهازه العصبي، كما أنها تتسبب في مشكلات سلوكية له بالإضافة إلى تأثيرها على الإنجاب .هناك دراسة أقيمت في السويد أثبتت أن هناك علاقة بين كميات الـ PCBs والدايوكسينات والفيورانات في غذاء الإنسان وانخفاض ملحوظ في أعداد الخلايا الطبيعية القاتلة natural killer cells التي تلعب دورًا مهمًّا في مقاومة السرطان. كما أثبتت دراسة كندية أن تعرض الأطفال للملوثات العضوية الدائمة يعرضهم للإصابة بالالتهابات بنسبة ١٠ إلى ١٥ مرة أكثر من غيرهم، ودراسة هولندية وجدت أن هناك تأثيرًا لـ POPs على نمو الجهاز المناعي للطفل الذي قد يتسبب في مشكلات مستقبلية من إخماد المناعة immune suppression والحساسيات والإيدز .

قدم منتدى الحكومات للأمان الكيميائي IFCS في عام ١٩٩٦ تقريرًا لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP ، يقرر فيه أنه لا بد من إجراءات عالمية للتقليل من آثار اثنتي عشرة مادة ملوثة عضوية دائمة على صحة الإنسان والتي تعرف بالدستة القذرة كما ذكرنا من قبل. ومن ضمن المشكلات التي على تلك الحكومات معالجتها إيجاد بدائل لتلك المواد التي تستخدم كلها كمبيدات حشرية سواء زراعيًّا أو لإبادة الناموس. فمثلا في الدول الحاضنة لمرض الملاريا ما زال استخدام الـ DDT منتشرًا، فما زالت دول أفريقيا والهند والاتحاد السوفييتي السابق تستخدم الكثير من الملوثات العضوية الدائمة لإبادة الحشرات والناموس .

مشكلة أخرى هي الملوثات القديمة المخزونة بشكل غير سليم، التي لابد من التعرف على أماكنها وتجميعها وتدميرها بشكل سليم حتى لا تؤثر على البيئة .

إن مشكلة الملوثات العضوية الدائمة مشكلة عالمية وبالتالي لابد لها من حل عالمي. ولن تكفي اتفاقية عالمية بل لابد من تعاون جميع الحكومات والمؤسسات الصناعية والجمعيات الأهلية والمستهلكين؛ لمنع استخدام هذه المواد الضارة بالبيئة وبالإنسان وبالحيوان

اتفاقية استوكهلم للحد من الملوثات العضوية الثابتة

تحدد اتفاقية استوكهلم للملوثات العضوية الثابتة التدابير الوقائية من مخاطر هذه الملوثات، وتتلخص أهم عناصرها فيما يلي:

- تحديد وإنشاء نظم للمراقبة والرصد للملوثات العضوية الثابتة .
- التوعية بها وبمخاطرها على كافة المستويات .
- تطوير استخدام نظم الإدارة المتكاملة للمبيدات، واستخدام بدائل أقل خطورة.
- استبدال هذه المواد التي تستخدم في الصناعة ببدائل أقل خطورة .
- استخدام التكنولوجيا الأنظف (قليلة النفايات) .

- إيقاف الحرق المكشوف والحرق غير المحكوم للنفايات .
- التقليل إلى أدنى حد من تولد النفايات الخطرة، وإعادة تدويرها .
- استخدام طرق محسنة لتنظيف غازات المداخن، مثل: الترميد الحراري، الامتصاص وتعديل تقسيمات العمليات لتحسين الاحتراق .
- الإلزام والالتزام بالقوانين والتشريعات البيئية ذات الصلة .

وتطالب الاتفاقية الدول بوضع برامج وطنية للتخلص من المخزون لديها من الملوثات العضوية الثابتة .

٤-٤. التلوث بالنفط والمشتقات النفطية

تعد مشكلة تلوث المياه بالنفط مشكلة حديثة نسبيًّا، إذ لم تبدأ في الظهور إلا في النصف الثاني من القرن العشرين. ويأتي في مقدمة الأسباب التي تؤدي إلى تلوث المياه بالنفط حوادث صهاريج نقل النفط، وتسرب النفط من آبار النفط وأنابيب النقل.

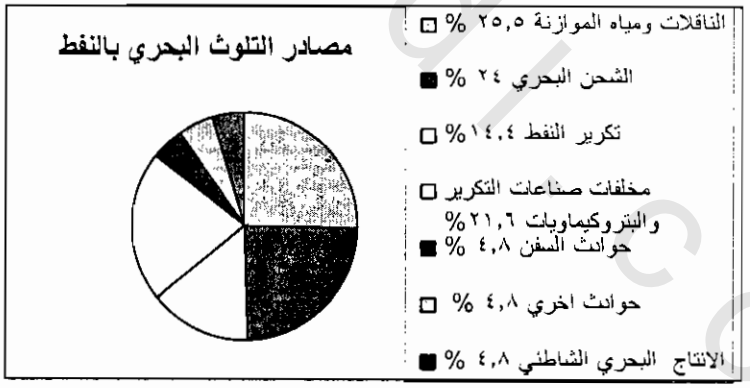
٤-٤-١. مصادر التلوث بالنفط

هناك العديد من المصادر المسئولة عن التلوث البحري بالنفط ومنتجاته، واهمها الاتي:

- إفراغ ماء التوازن لناقلات البترول في البحر .
- الحوادث التي تحدث أثناء عمليات الحفر والتنقيب والتي تسبب تلوث المياه بكميات هائلة.

- تسرب النفط إلى البحر أثناء عملية التحميل أو التفريغ في الموانيء النفطية.
- اشتعال النيران و الحرائق بناقلات النفط في عرض البحر.
- تسرب النفط الخام بسبب حوادث التآكل .
- التسرّب بانفجار آبار النفط في البحر أو بأجهزة إنتاج النفط الموجودة في البحر أو على الشواطئ أو حدوث تآكل كيماوي في خطوط أنابيب النفط البحرية.
- الحوادث البحرية والتي من أهمها ارتطام هذه الناقلات بالشعاب المرجانية أو بعضها ببعض حيث تسبب ناقلات النفط وحدها في تسرب الزيت الخام إلى مياه البحار و المحيطات بمعدل يصل إلى ٢ مليون طن سنويًّا، على الرغم من أنه تبين أن الحوادث البحرية الواقعة لناقلات النفط لا تساهم في هذا التلوث إلا بما لا يزيد على ٤.٨ ٪ فقط.
- تسرب النفط إلى البحر أثناء الحروب كما حدث في حرب الخليج الثانية.

والشكل التالي يبين مصادر التلوث البحري بالنفط ومساهمة كل مصدر ونسبته المئوية في هذا التلوث . ونلاحظ من الشكل أن تسرب المياه من الناقلات ومياه الاتزان لهذه الناقلات يشكلان النسبة الأكبر من مصادر التلوث النفطي للبحار والمحيطات (٢٥.٥ ٪) .



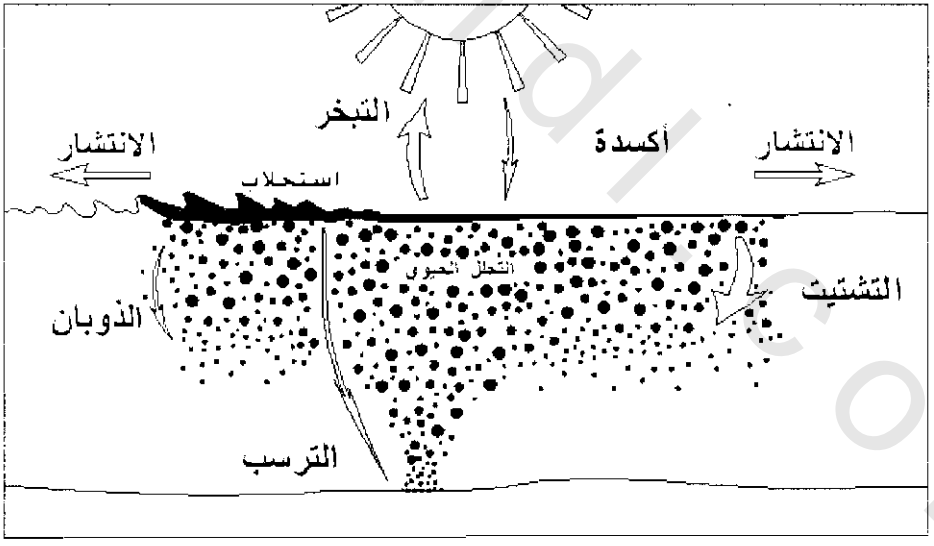
ويعد النفط المنتج من المناطق الشاطئية مسئولاً عن ٥٪ فقط من كمية النفط الكلية التي تدخل البيئة البحرية، وتتضمن أيضًا كلاً من الموانيء التجارية وموانيء الشحن

والشواطيء الملاحية والمنشأت الشاطئية من أهم مصادر انسكاب وتسرب النفط للبحار والمحيطات . وتؤدي عمليات إنتاج وتوزيع ونقل النفط إلى دخول النفط للنظام البيئي مثل: الغلاف المائي (البحار والمحيطات غالبًا) والغلاف الصخري (اليابسة) والغلاف الجوي .

وقد قدر إجمالي كميات النفط المتسرب والمتدفق للبيئة ب ٦٥ – ٩٠ مليون طن، أي حوالي من ٢.٤ –٣.٣٪ من إجمالي إنتاج النفط في العالم (Connel 1981).

٤-٤-٢. مسار وحركة النفط في البيئة البحرية

النفط المنسكب في البحر ينتشر ويتوزع طبيعيا في المياه ، وهذا الانتشار ينتج عن كثير من العمليات الفيزيائية والكيميائية والتي قد تغير من خواص الزيت عن صورته قبل وصوله للماء وتلامسه مع البيئة البحرية .وكل العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث للزيت تسمى عمليات تجوية الزيت Oil Weathering، فبعض هذه العمليات يشمل انتشار الزيت في الماء ، وبعضها يشمل تبخر جزء من الزيت من سطح البحر، بينما هناك عمليات أخرى مثل تكون مستحلبات مستقرة ثابتة مع الماء



شكل (٤-٤): مخطط التلوث بزيت البترول ومسار الزيت
والمركبات البترولية داخل وعلى سطح البحر.

وانتشار الزيت داخل البيئة البحرية يعتمد على خواص الزيت نفسه فالمنتجات الخفيفة مثل الكيروسين والجازولين تميل للتبخر، وتسمى هذه الزيوت بالزيوت الخفيفة الغير ثابتة، وعلى العكس هناك زيوت ثابتة مثل النفط الخام تنتشر ببطء شديد في البيئة البحرية وتمكث فترات طويلة داخل الماء وذلك لكثافتها العالية .

وعموما هناك ثماني عمليات رئيسية تتم وتحدث عند انسكاب النفط في البحر:

١ - **الانتشار والتوزع** وهو يحدث فور وقوع الانسكاب ويعتمد على حركة الرياح والتيارات البحرية وحركة الأمواج وشدتها.

٢ - **التبخر** يحدث تبخر بنسبة ٣٠ – ٣٥ ٪ كحد أدنى خلال ٢-٣ أيام من بدء الانسكاب بسبب احتواء الزيت المنسكب على مواد خفيفة سهلة االتطاير وخاصة بتأثير درجة حرارة الشمس وحسب المساحة السطحية المتوزعة.

٣ - **التشتت** ويحدث داخل ماء البحر فتتشتت الملوثات داخل المياه.

٤ - **الاستحلاب** (تكوين مستحلبات) يتشكل مستحلب الزيت النفطي بالماء أي مزج الزيت بالماء وتستغرق هذه العملية عدة أيام فتشكل محلولاً غرويًّا متجانسًا يقاوم تاثير المواد المشتتة عند رشها على البقعة النفطية. .

٥ - **الذوبان** وهو يحدث لبعض المواد الموجودة في الزيت التي تذوب في الماء فهناك مشتقات نفطية قابلة للذوبان والانتشار في الماء بعد فترة تفقد ماهيتها بنسبة ٢٠-٢٥ ٪ خلال ٢يوم وتقل سماكة البقعة النفطية بنسبة ٢٠ ..٪ .

٦ - **الأكسدة** . تتعرض البقعة النفطية الزيتية على سطح البحر لعوامل جوية مباشرة أهمها الأوكسجين الجوي وأشعة الشمس، فتتأكسد البقعة السطحية منها، وتمتص الأشعة مما يزيد من عملية الأكسدة وبذلك يزول من البقعة ما نسبته ١٠٪ من حجمها بالتأكسد إذا كانت هناك شدة إشعاع شمسي قوية، ويقل التأكسد في عدم وجود أشعة شمسية.

٧ - **الترسب والغوص** يعتمد على التداخلات الجيوكيميائية وتكون بنسبة ترسب قليلة جدا من ٣-٥ ٪ من حجم البقعة حسب نوع المياه نهر أو بحر أو بحيرة ، وغالبًا تغوص المركبات الثقيلة الكبيرة الحجم.

٨ - **التحلل الحيوي** (البيولوجي) نسبته ٥٪ من حجم الزيت المنسكب بحسب الظروف الجوية من حرارة مناسبة وتهوية لتجعل الأحياء الدقيقة والبكتريا تكسر جزيئات النفط لأنه هناك على المدى البعيد جدًّا تستطيع هذه الكائنات الحية من استخدام المشتقات النفطية كمصدر للكربون، تتغذى عليه وتساهم في تحليل النفط لعناصره الأولية ،وهناك ظروف بيئية، مثل: توافر الكائنات الدقيقة المحللة وتوافر المواد المغذية لها والتهوية الملائمة ليتم ذلك، وعلى الرغم من ذلك فهناك عنصر الزمن الطويل إذا تستغرق عمليات التحلل البيولوجي أيامًا وقد تمتد لشهور .

وإذا جمعنا النسب السابقة لإزالة التلوث يكون تقريبا ٧٠-٧٥٪ ، ويبقى التلوث بنسبة ٢٥-٣٠ ٪ نفط متبقي، وبذلك تكون البيئة البحرية قد أخذ حصتها من التلوث بحسب الظروف الطبيعية والزمن اللازم ، والأمر المجدي هي أن تعالج البقعة النفطية من اللحظة الأولى للتسرب النفطي.

٤-٤-٣. تأثير التلوث النفطي على البيئة البحرية

يتعدد تأثير التلوث النفطي على البيئة البحرية، فهو يؤثر على كافة الأنشطة الطبيعية والحيوية والكيميائية لهذه البيئة وسوف نستعرض أهم التأثيرات التي يحدثها التلوث النفطي .

تأثير التلوث النفطي على كل من الأنشطة الشاطئية والتكوينات الطبيعية (الفيزيائية).

* من أهم مظاهر انسكاب النفط هو تلويثه لمساحات كبيرة من الشاطيء؛ مما يسبب الكثير من الازعاج وعدم الراحة لمستخدمي هذه الشواطيء، ويؤدي ذلك الي التأثير على الأنشطة الاستجمامية لمرتادي الشواطيء، مثل: السباحة

وركوب الزوراق للنزهات البحرية والصيد والغوص، ومالكي الفنادق والمطاعم البحرية، والذي تكون السياحة هو مصدر دخلهم يتأثرون بالتلوث النفطي .

* قد تتجمع بعض أجزاء النفط وتكون على شكل كرات صغيرة سوداء تعيق حركة الزوارق وعمليات الصيد بالشباك وتُفسد جمال الشواطئ الرملية وتتلف الأصداف البحرية والشعاب المرجانية، وبالتالي تؤثر أيضاً على الحياة السياحية.
* المركبات الزيتية الثابتة ومستحلبات الماء في الزيت تؤثر على صفاء ونقاء الماء ، كما أن النفط الخام والزيوت الخفيفة تكون قابلة للاشتعال والانفجار في منطقة الشواطيء مما يعرض المصطافين للخطر .
* كما يؤثر التلوث النفطي على محطات القوى والطاقة ومحطات تحلية المياه بالتقطير والتي تستلزم مصدر دائم للماء النقي من البحر .

ثانيًا : تأثير التلوث النفطي على الكائنات الحية

التلوث بزيت البترول يؤثر على الكائنات الحية بعدد من الطرق، تعتمد على خصائص المكونات الزيتية وتركيزاتها في الماء. وهذه التأثيرات تتراوح بين آثار ميكانيكية بسيطة إلى تأثيرات سامة. وقام العالم ميلر بقياس استجابة العديد من الكائنات المائية لتركيزات مختلفة من زيت البترول داخل الماء، وتراوحت الاستجابة بين تراكم حيوي بسيط إلى حدوث موت لبعض الكائنات. وعمومًا تتلخص بعض تأثيرات التلوث النفطي على الكائنات الحية في المظاهر الآتية:

١- للنفط تأثير خانق لمعظم الكائنات المائية وخاصة الحيوانات .

٢- كثير من الحيوانات البحرية مثل القواقع وأسد البحر وثعالب الماء تتأثر بالزيت؛ حيث إن تراكم النفط على جسم الحيوان يحرمه من القدرة على تكييف درجة حرارة جسمه الداخلية، ويسبب له تسممًا قد يؤدي إلى موته .

٣- يحتفظ جسم الطيور بحرارته من خلال حرق الغذاء المخزن في العضلات، وتفقد الطيور التي تلوثت بالزيت قدرتها على التقاط الطعام بكفاءة، ويمكن أن تموت لانخفاض درجة حرارتها.

٤- يمكن أن تتأثر كثير من الكائنات الحيوانية الوبرية مثل أسد البحر بالزيت مثل الطيور عندما يخترق الزيت النسيج الوبري للحيوان.

٥- تصاب الكائنات الحيوانية الصغيرة بالاختناق والسعال لوجود طبقات الزيت الطافية وتموت.

٦- تعتبر المواد المشتتة للتلوث القائمة على الكيروسين والمحتوية على نسبة عالية من المركبات العطرية خطرة بنوع خاص وقد عانت الكائنات الصغيرة القاعية الواقعة خارج نطاق حركة المد والجزر مباشرة أو داخله أضراراً بالغة نتيجة تسربان نفطية خفيفة أو ثقيلة وقد تستغرق عودتها إلى حالتها الطبيعية سنوات. وفي المناطق الواقعة تحت تأثير المد والجزر، قد يؤدي إلى نفوق اللافقاريات التي تتغذى بالعشب مثل (قنفذ البحر) إلى استفحال نمو الطحالب الخضراء، التي تلحق ضرراً بالنظام الإيكولوجي، وقد عزيت إلى هذه الطحالب كارثة نفوق الأسماك التي شهدتها مياه الكويت.

والنظم الإيكولوجية الساحلية أكثر تعرضاً للمخاطر؛ لأن أثر التسرب النفطي أشد وطأة في الأماكن الساحلية، التي تلتقي فيها المياه الساحلية باليابس .

ومن الجدير بالذكر بأن مصائد الأسماك الرئيسة في العالم توجد في المناطق الساحلية، و٩٠٪ من أسماك هذه المصائد تتوالد في مياه الأجراف القارية التي تشكل ١٠٪ من مساحة المحيطات .

٧- زيادة درجة التلوث في منطقة الحادث؛ حيث تعمل بقعة الزيت كمذيب، وتستخلص الكثير من المواد الكيماوية الأخرى المنتشرة في مياه البحر مثل (المبيدات الحشرية – المنظفات الصناعية – العناصر الثقيلة.....) .

وتعمل الرياح وحركة الأمواج على زيادة التلوث برفع أجزاء من بقعة الزيت نحو الشاطئ وتلوث الرمال وتحيلها إلى منطقة عديمة النفع؛ لذلك تكون الشواطئ

المجاورة لخطوط نقل النفط مهددة بتسر بات نفطية لأنها تقع تحت رحمة حركة الرياح والمد والجزر والأمواج التي يمكنها دفع البقع النفطية نحوها.

٨ - قد يصحب تلوث المياه بزيت النفط نوع آخر من التلوث يشبه التلوث الكيميائي، فبعد انتشار طبقة الزيت ورقتها بمرور الزمن تستطيع أشعة الشمس اختراقها، ويتمكن أكسجين الهواء من الانتشار خلالها، وبهذا التأثير يحدث تفاعل كيميائي ضوئي؛ يشترك فيه كل من أشعة الشمس وأكسجين الهواء، ويحفزه بعض الفلزات الثقيلة الموجودة في المستحلبات المتكونة من اختلاط الزيت بالماء، وينتج عن هذا التفاعل تأكسد بعض السلاسل الهيدروكربونية التي يتكون منها زيت البترول وتحدث بعض التفاعلات لتعطي - بعد مدة من الزمن - أصنافاً جديدة من المواد الكيميائية مثل : (الكحوليات - الألدهيدات - الكيتونات - بعض المركبات الحلقية) وهي مواد لم تكن موجودة سابقًا، وتصبح في متناول كثير من الكائنات الحية؛ لأنها تتصف بصغر حجم جزيئاتها وسهولة ذوبانها في الماء وتؤدي هذه المواد السامة إلى حدوث مزيد من الضرر بالبيئة البحرية، وتكون سبباً في قتل الأسماك وغيرها من الكائنات الحية .

٩ - يؤدي نفوق المرجان إلى فقدان الشعاب المرجانية موائلها الطبيعية، ولا تتجدد غالبية الكائنات الحية في نظامها الإيكولوجي، وهذا يطيل مدة تأثير التلوث البحري بالتسربات النفطية، سواء على الشواطئ أو في عرض البحر، حتى لو اختفى النفط أو أزيل كما تتأثر الطيور البحرية، ففي المحيط المتجمد الشمالي تتأثر البيئة بالتلوث النفطي أكثر من المناطق المعتدلة لبطء عمليات تحلل النفط في ظروف البرد والظلمة .

١٠- إن المركبات النفطية الأكثر دوامًا، والتي تستغرق فترة طويلة للتخلص منها تنتقل عن طريق السلسلة الغذائية، وتختزن في كبد ودهون الحيوانات البحرية، وهذه لها آثار بعيدة المدى، والتي لا تظهر على الجسم البشري إلا بعد سنوات عدة .

١١- إن تلوث الأسماك يجعلها غير صالحة للاستخدام الآد، ي فعلى سبيل المثال وجد في عينة من الأسماك - تم صيدها في خليج جاكرتا في إ ونيسيا - أن نسبة الرصاص

فيها تزيد بمقدار ٤٤٪ عن الحد المسموح به وأن الزئبق يزيد بنسبة ٣٨٪ كما ورد في تقرير منظمة الصحة الدولية .

من هنا نستنتج الآثار المباشرة وغير المباشرة للتسريبات النفطية على الإنسان وفي طليعتها نقص البروتين الغذائي اللازم لتغذية أعداد السكان المتزايدة كما أن وصول التسريبات النفطية إلى الشواطئ يضر بالسياحة من خلال التشويه لمنظر البيئة، إضافة إلى كون البحار والمحيطات مصدراً لمحطات التحلية في المناطق، التي تعاني شحًّا في إمدادات المياه العذبة .فضلاً عن أن التربة الزراعية نفسها كثيرًا ما تتأثر تأثرًا بليغًا بالتلوث النفطي لا سبيل إلى إزالة آثاره وتداعياته وعواقبه إلا بعد زمن ومشقة ومحاولات مستمرة في سبيل ذلك .

٤-٤-٤. مسارات التحكم في التلوث البترولي

يتم التحكم في التلوث البترولي من خلال مسارين اثنين مهمين هما:

الأول : التحكم قبل حدوث التلوث وهو ما يعرف بالاجراءات الوقائية لمنع حدوث التلوث .

الثاني : مكافحة التلوث الحادث، من خلال أنواع معينة من أنظمة المكافحة والتي تعتمد على طبيعة ودرجة التلوث البترولي داخل المسطح المائي .

أولاً : الإجراءات الوقائية لمنع التلوث البترولي

هناك العديد من الإجراءات الوقائية لمنع التلوث البترولي للمياه، وهذه الإجرءات تهدف إلى تقليل حدوث مسببات تسرب البترول أو المياه الملوثة بالبترول إلى البيئة المائية. ومن أهم هذه الإجراءات ما يلي :

(أ) التصميم الجيد لناقلات البترول مما يحد من عمليات تسرب البترول الخام منها أثناء رحلاتها.

(ب) الحد من التلوث بمياه الصابورة (مياه الاتزان المائي للناقلات).

(جـ) تطبيق معايير الأمان والسلامة داخل المنشآت البترولية مما يقلل من حوادث الانفجار والتسرب البترولي.

(د) وضع برامج لمراقبة وفحص نوعية مياه البحر والرواسب والكائنات البحرية الحية الموجودة في المنطقة، وكذلك تبادل الخبرات ما بين بلدان العالم المختلفة وإنشاء وتدعيم المراكز الإقليمية لمكافحة تلوث النفط خاصة في البحار شبه المغلقة (البحر الأحمر - البحر المتوسط - البحر الأسود -الخليج العربي) وغيرها .

(هـ) استحداث طرق حديثة لمعالجة مخلفات الحفر البري وخاصة الوحل، وذلك بجمع المخلفات ومزجها بمواد تعمل على تثبيتها كيميائيًا وفيزيائيًا مما يقلل من آثارها .

(و) في مراقبة السفن التي تزور الموانئ كما اقترحت المفوضية الأوربية والتعامل بقسوة مع السفن التي لا تستوفي مقاييس السلامة، وتعتزم المفوضية منع السفن التي يزيد عمرها عن١٥ سنة من دخول موانئ بلدان الاتحاد الأوربي، إذا احتجزت أكثر من مرتين في سنتين متتاليتين، وتخطط المفوضية لنشر لائحة سوداء بهذه السفن كل ستة أشهر، واستنكرت الاستعمال الواسع للأعلام الأجنبية على ناقلات النفط التي تستأجرها شركات أوربية لأسباب ضريبية .

(ز) التوسع في إنشاء محطات لاستقبال النفايات الزيتية السائلة والصلبة والقمامة ومياه التوازن .

(ح) تشديد الرقابة على الموانئ التي لا تطبق القوانين بشكل جاد على السفن التي تقصدها وضرورة إيجاد نوع من التنسيق الفعلي والفعال بين الجهات المعنية وضبط المخالفين .

(ط) إلزام السفن بالإبلاغ عن نظيراتها المتسببة في التلوث أمام شواطئ المنطقة.

(ي) لعلاج مشكلة التلوث النفطي على الشاطئ يتم تنظيف الشواطئ بجرف كميات كبيرة من رمال الشاطئ الملوثة، والتخلص منها بعيدًا عن الشاطئ.

وسوف نتحدث عن الحد من التلوث بمياه الاتزان للناقلات؛ حيث إنها من اكبر مصادر التلوث البترولي للبيئة المائية .

الحد من التلوث بمياه الصابورة (مياه الاتزان المائي للناقلات).

تعد ناقلات النفط من السفن العملاقة نظرًا لحمولتها العالية التي تصل إلى آلاف الأطنان من النفط الخام ، ونتيجة لتلك الحمولات الكبيرة يجب أن يكون هناك نظام لحفظ توازن السفن وهو ما يراعي عند تصميم السفينة ولزيادة التوازن بدرجة أكبر تحمل السفن وزنًا إضافيًّا سائلاً يُسمى الصابورة. وبدون هذا السائل، قد تنقلب سفينة الشحن الفارغة وتجنح في المحيط كقطعة الفلين. وتستخدم معظم السفن ماء البحر في عملية التثبيت، ويتم تفريغ ماء حفظ التوازن هذا من السفينة أثناء تحميلها بالنفط . فعند تفريغ الشحنة في مرفأ يبقى ١.٥٪ من كمية النفط بالعنابر، وعند العودة إلى المرفأ يملأ ٣٠ ٪ من حجم المستودعات الناقلة بمياه البحر لحفظ توازنها فتمتزج بكمية ١.٥ ٪من النفط والذي يسمى الصابورة وقبل التوجه إلى ميناء شحن النفط تفرغ ما لديها من مزيج: «نفط + ماء في البحر» ويكون قد أصبح مستحلبًا، يطفو على سطح الماء مسببًا تلوثًا لماء البحر .

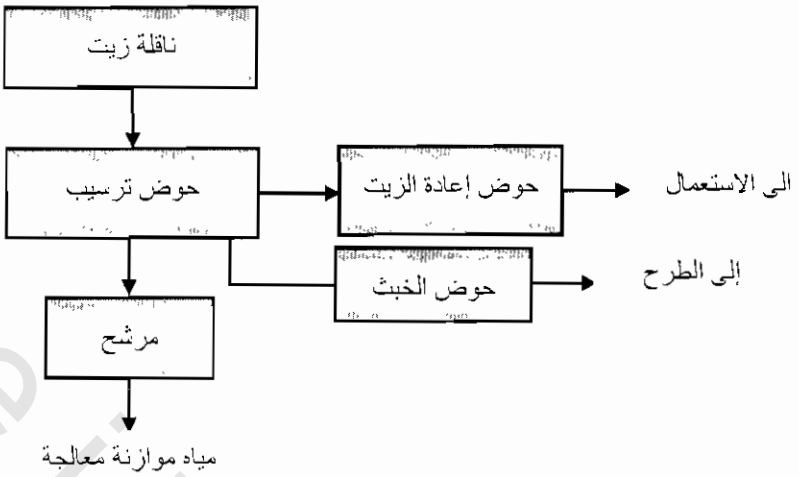
ويمكن الحد من مياه الصابورة بإتباع إحدى الطريقتين :

١- قبل شحن الخزانات بمياه الصابورة تغسل جيدًا، ويخزن الماء الملوث في خزان خاص ليفصل الماء عن النفط ببطء، وقرب موانى الشحن يفرغ الماء المنفصل في البحر ويعبأ النفط الجديد فوق ترسبات السابقة .

٢- بناء أحواض في موانئ التصدير تفرغ فيها مياه الصابوره؛ حتى يتم تصفيتها تخليصا للنفط.

٣- استخدام أنظمة معالجة لمياه الصابورة داخل الموانى؛ حتى يمكن معالجة مياه الصابورة داخل هذه الأنظمة ودون إلقائها في البحر دون معالجة .

والشكل التالي يبين مخططًا لمعالجة مياه الصابورة.



شكل (٧-١٣): مخطط لمعالجة مياه الاتزان للناقلات .

نظام الطفو الهوائي المذاب (DAF) لمعالجة مياه الصابورة

في هذا النظام يتم ملامسة الهواء لمياه الصابورة تحت ضغط عال مما يؤدى إلى إذابة الهواء. ويتم خفض الضغط على سطح المياه من خلال صمام ضغط خلفي، ينتج عنه فقاقيع هواء تماثل حجم الميكرون، تزيل المواد العالقة والزيوت من مجرى المياه الملوثة وإلى سطح الوحدة. يتم كشط الرغوة من سطح المياه بعد المعالجة.

ورغم أن هذه الوحدات لم تكن مستخدمة فى الماضي إلا نادراً فى الصناعات الكيميائية ومعامل التكرير، إلا أن الاهتمام بها يزيد لكونها وحدة محكمة تماما ويمكن أن تستخدم الغازات المسترجعة في عملية الطفو.

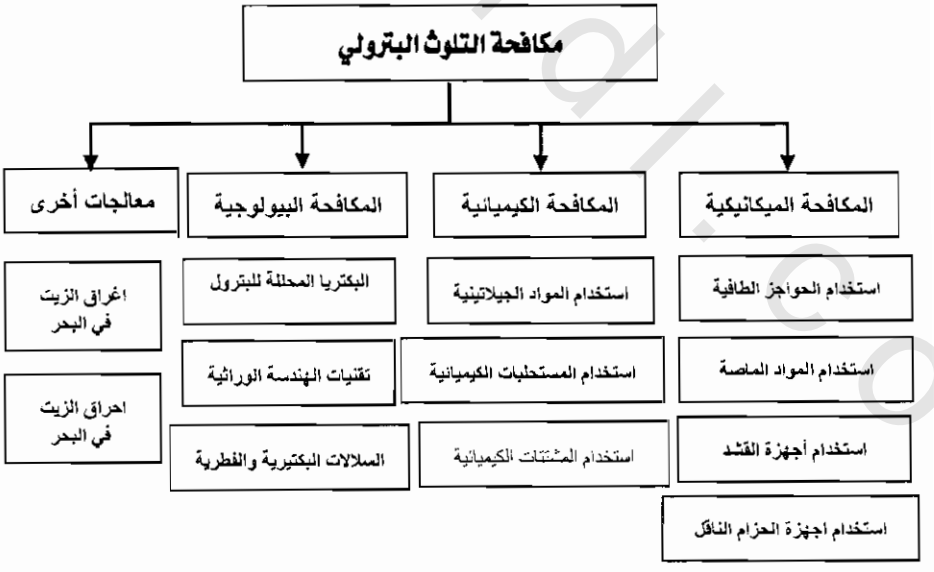
التصاق فقاقيع الهواء من خلال المزيج المعلق يجعل الحبيبات تطفو على السطح نتيجة تراكم الهواء على سطح الجزيئات واصطدام الفقاعات المتصاعدة مع الجزيئات العالقة وانحباس فقاعات الغاز أثناء تصاعدها أسفل الجزيئات، وامتزاز الغاز من خلال الكتل الهلامية المكونة أو المترسبة حول فقاعات الهواء.

تعمل الوحدة على التغذية بواسطة البوليمر وتحتوي عادة على أربعة مضارب على شكل مضرب البيض لعمل رغاوي من أجل تسهيل عملية الطفو. وتستهلك الوحدة كميات كبيرة من الطاقة ولكنها تتطلب مساحة أقل بكثير من وحدات الـ DAF. وبذلك تعتبر في مستوى الكفاءة نفسها، إن لم تكن أكفأ، من وحدة الـ DAF تبعاً لمواصفات الزيوت والمستحلبات.

ثانيًا : مكافحة التلوث البترولي (الإجراءات العلاجية)

يمثل التخلص من بقع الزيت الكبيرة التي تتكون فوق سطح البحر عند غرق إحدى الناقلات أو تسرب البترول من إحدى المنشآت النفطية البحرية مشكلة كبيرة لا يمكن معالجتها بسهولة فور حدوثها ، وعملية تحلل بقع الزيت طبيعيًّا بفعل الكائنات الدقيقة عملية شديدة البطء وتحتاج إلى وقت طويل لاستكمالها ، ولذلك لا يمكن الاعتماد عليها في إزالة هذا التلوث. لذلك هناك العديد من أنظمة مكافحة التلوث البترولي الحادث فمنها ما هو ميكانيكي وما هو كيميائي يعتمد على المواد الكيميائية لإزالة التلوث، وما هو بيولوجي يعتمد على الكائنات الدقيقة.

والشكل التالي يبين أهم طرق مكافحة التلوث البترولي:



شكل (٤-٥): مخطط لطرق مكافحة التلوث البترولي

الأنظمة الميكانيكية لإزالة التلوث البترولي

(أ) استخدام الحواجز الطافية :

وتصلح هذه الطريقة لإزالة البقع التي كونت مع الماء مستحلبًا كثيفًا وهي تساعد على جمع الزيت في مكان محدد ،وتستخدم هذه الطريقة لحصر بقع الزيت العائمة للحيلولة دون انتشار النفط المكوّن منها وزيادة سمك طبقة الزيت وتقليل مساحتها وبالتالي يمكن امتصاصها تدريجيًّا من سطح الماء.

(ب) طريقة استعمال المواد الماصة:

المواد الماصة تعمل على امتصاص الزيوت البترولية ولها عدة أنواع :

النوع الأول مكون من مواد معدنية مثل الرماد البركاني، وهي مادة لها قدرة امتصاص من ٤-٨ مرات أضعاف وزنها من الزيت، ولكن يصعب استعمالها لأنها خفيفة وقابلة للتطاير.

النوع الثاني هو استخدام مواد ماصة طبيعية : (مثل مخلفات النشارة-التبن ... إلخ) تمص من ٣: ٦ أضعاف وزنها من الزيت. وقد تمتص الزيت مع الماء، وتغرق إلى القاع ويصعب التخلص منها بعد استعمالها.

النوع الثالث مواد ماصة مصنعة من مواد بلاستيكية وهي أحسنها، تمتص من ٢٠: ٣٥ صنفًا وزنها من الزيت، ولكن إحدى مشكلاتها صعوبة التوزيع والتجميع.

والمواد الماصة لها خاصية الامتصاص والامتزاز، ويفضل استخدام مواد غير ملوثة في إزالة الزيت من المياه كالكلأ المخفف والقش والتبن؛ حيث يمكن لهذه المواد أن تمتص من ٨ إلى ٣٠ مرة من وزنها. وبفضل استخدام الكلأ أو التبن في بقع زيتية محددة بحيث يمكن المزج بين هذه المواد والزيت . ويمكن استعمال مواد طافية أخرى لإزالة البقع الزيتية، وهي متوافرة تجاريًّا، ولكل مادة لها خواص امتصاص مختلفة عن الأخرى. ومن المهم ان تكون المادة الماصة لها قابلية وقدرة على امتصاص الزيت أكبر من قدرتها

لامتصاص الماء أو لا تمتص الماء كليًا؛ أى إن المادة تترطب بالزيت ولا تترطب بالماء . واستنادًا لهذه الخاصية المهمة، فإن البوليمرات المستعملة كمادة ماصة تترطب بالزيت بحيث لا يسقط الزيت مرة أخرى في الماء .وعمليًا يستخلص الزيت الملوث بإمرار الرغوة بين أسطوانتين متحركتين حيث يتم إرجاع الرغوة من جديد للماء بعد إزالة الزيت منها .

(جـ) استخدام أجهزة القشد (القواشد)

الهدف الرئيسي من استخدام قواشد الزيت هو استرجاع الزيت الخام المنسكب (أو خليط الزيت والماء الصافي فوق سطح الماء) وهي عدة أنواع تنقسم حسب النظرية التي تعمل بها وحسب تصميمها، واستخدام الحواجز البحرية المناسبة يرفع من كفاءة القواشد في عملية الاسترجاع، كما يؤثر على هذا أيضًا حالات الجو والبحر بمنطقة الحادث أو المحيطة بموقع العمل .

(د) استخدام أجهزة الحزام الناقل :

استخدام أجهزة الحزام الناقل التي تمرر حزامًا معدنيًا عبر طبقة النفط اللزجة حيث يلتصق النفط بالحزام ويمكن التخلص منه لاحقاً.

المكافحة الكيميائية

تعتمد المعالجة الكيميائية للتلوث البترولي على إضافة مواد كيميائية معينة، تساعد على حصر البقع البترولية أو تشتيتها وتخفيفها عن طريق تغيير خواص الزيت المنسكب. والطرق الآتية هي أشهر الطرق الكيميائية لمكافحة التلوث البترولي :

(أ) المواد الجيلاتينية لإزالة ومعالجة التلوث البترولي

المواد الجيلاتينية هي مواد تؤدي إلى تصلب السوائل كالزيت الخام عند إضافتها للسوائل ، والمواد الناتجة بعد إضافة هذه المواد الجيلاتينية يكون معدل جريانها بطيئًا، فعند حدوث انكسار في ناقلة النفط فإن الزيت المنسكب يمكن السيطرة عليه باستخدام هذه المواد.

وتنقسم المواد الجيلاتينية إلى نوعين: النوع الأول ينتج الجيلاتين بتفاعل مادتين كيميائيتين مضافتين إلى الزيت الخام ، أما النوع الثاني فينتج الجيلاتين بالانتشار الفيزيائي لمركبات معينة في الزيت التي بدورها تنتفخ وتؤدي إلى تثخين الزيت .وعندما تكون قابلية تماسك الجزيئات الغروية مع بعضها البعض، فإنه ستتكون المادة الجيلاتينية كالجيلاتين الشبيه بالصابون ، بتفاعل الأحماض الدهنية مع ٥٠٪ من الصودا الكاوية أو إضافة الأمينات مع السيانات.

(ب) استخدام المستحلبات الكيميائية مثل المنظفات الصناعية لإزالة التلوث البترولي:

هناك نوعان من المستحلبات البترولية:

"الماء في البترول"، مستحلبات أيدروفوبية Hydrophobic (كاره للماء)

و**"البترول في الماء"**، مستحلبات ايدروفيلية Hydrophilic. (محب للماء)

ومستحلبات النوع الأول أكثر انتشاراً من النوع الثاني. وفي مستحلبات النوع الأول يوجد الماء في البترول على صورة كمية لا حصر لها من القطرات المتناهية في الصغر. أما في مستحلبات النوع الثاني، فيكون البترول على صورة قطرات مفردة معلقة في الماء. وتتلخص عملية تكوين المستحلبات في الآتي: على الحد الفاصل بين سائلين لا يختلط بعضهما ببعض، وأحدهما مشتت في الآخر على صورة جسيمات صغيرة جدًّا، تتراكم مادة ثالثة ضرورية لتكوين المستحلب، وتسمى بالعامل المستحلب أو مثبت المستحلب. ويذوب العامل المستحلب في أحد السائلين مكوّناً ما يشبه الغشاء، ويحجب هذا الغشاء قطرات المادة المشتتة ويمنع اندماجها. وهذه العوامل المستحلبة في البترول هي الراتنجات والأسفلتينات وصابون الأحماض النفثية والأملاح. وعلاوة على المواد المذكورة، تؤثر الشوائب الصلبة المختلفة المشتتة في أحد الأطوار على ثبات المستحلب. والعوامل المستحلبة إما أيدروفيلية أو أيدروفوبية، وتُعدّ المواد الراتنجية الأسفلتية والأحماض النفثية الموجودة في البترول مركّبات طبيعية وعوامل مستحلبة أيدروفوبية. أما الصوابين الصوديومية والبوتاسيومية التي تتكوّن أساساً من تفاعل الأحماض النفثية الموجودة في

البترول مع أملاح المعادن الذائبة في ماء الحفر، فهي عوامل مستحلبة أيدروفيلية، وتتمتع نفثينات Ca, A1, Fe. Mg بخواص أيدروفوبية. والمعلقات الصلبة عديمة النشاط السطحي، إلا أن تراكمها على السطح البيني،interface، بين البترول والماء يجعل الغشاء أكثر متانة والمستحلب أكثر ثباتًا. ويعتمد تكون المستحلبات من النوعين المذكورين أعلاه على وجود هذا النوع أو ذلك من العوامل المستحلبة والمثبتة. ويكون المستحلب المتكون من خلط الماء والبترول ذا طابع "بترول في الماء" إذا كان المثبت يذوب في الماء. أما إذا كان المثبت يذوب في الوسط الأيدروكربوني فيتكون المستحلب من نوع "ماء في البترول".

(جـ) استخدام المشتتات الكيميائية

تستخدم المشتتات الكيميائية Dispersants لمكافحة التلوث البترولي؛ حيث انها تكون مستحلبًا ثابتًا إلى حد كبير – ويمكن لهذا المستحلب الانتشار تدريجيًّا في مياه البحر، فتختفي بقعة الزيت الطافية بعد مدة قصيرة من الوقت؛ أي إن هذه العملية هي عملية تشتيت لبقعة الزيت باستخدام الكيماويات.

ومن أهم مميزات استخدام المشتتات هي :

١- تساعد في عملية التحلل الحيوي للنفط ، بتشتيت البقعة في حجم أكبر من ماء البحر.

٢- تقلل من مخاطر اشتعال النفط الطافي؛ خاصة بالقرب من السواحل الهامة.

٣- تمنع وصول النفط إلى الأماكن الحساسة، مثل: الموانئ والمناطق الساحلية والمنصات العائمة وخلافه.

المعالجة البيولوجية لإزالة التلوث البترولي

وهذه العمليات بطيئة جدًّا؛ حيث إنها عمليات طبيعية وتعتمد على تواجد الكائنات الحية الدقيقة وخاصة البكتريا فوق سطح الماء، والتي من خصائصها تحليل جزيئات الهيدركربونات وتحويلها إلى جزيئات سهلة الذوبان في الماء – وهذا يحدث مع أغلب المخلفات والنفايات البترولية، ويعمل على تحللها طبقًا لفترة بقائها طافية فوق سطح الماء.

ومن المنطقي أن مثل هذه العمليات لا يمكن أن تتم في حالات التلوث الكبير إلا بعد انتهاء أعمال المكافحة التي يتم من خلالها إزالة كميات كبيرة من الزيت؛ حتى لا يصل إلى الشاطئ ويهدد الأماكن والمواقع الحيوية المهمة وحتميًا ستتخلف بعض بقايا من آثار التلوث تظل متفرقة وطافية، حيث تقع تحت تأثير الرياح والأمواج والحرارة والبكتيريا .

(أ) البكتريا المحللة للبترول

أدى جنوح ناقلة نفط وانسكاب كميات كبيرة من النفط قبالة شواطئ بريطانيا عام ١٩٦٧ ، إلى تكثيف الجهود من أجل البحث عن طرق لحل مشكلة تلويث البحار بالنفط. وقد أدى استعمال المعالجات الكيماوية آنذاك لحل هذه المشكلة إلى بعثرة النفط بدلاً من تحليله. أمّا اليوم، فمن المعروف أنّ أنجح طريقة لتحليل النفط هي بواسطة بكتيريا، لها القدرة على استغلال مركبات الكربون الموجودة في النفط كمصدرٍ للطاقة اللازمة لها.

إن الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في ماء البحر والشواطئ الرملية الملوثة يمكن أن تستخدم المواد الهيدروكربونية تحت الظروف الهوائية، واعتمادًا على توافر الأكسجين والمواد المغذية ودرجة الحرارة المناسبة . ويكون مزج الزيت مع هذه المواد الحية ضروريًا لحصول التأكسد الكامل، وتحت درجة الحرارة اقل من ٣٠ مئوية يكون الفصل الميكروبي يكون بطيئًا جدًا لذلك قد تدمر البقعة الزيتية ولكن بعد عدة شهور .

وتستخدم أساليب بيوتكنولوجية حديثة للقضاء على النفط حيث تستعمل كائنات دقيقة شرهة لالتهام جزيئات النفط . وقد أضيفت عام ١٩٨٨ في مقاطعة وستفاليا بالمانيا بكتريا شرهة على بقعة زراعية ملوثة بالنفط؛ مما أدى إلى خلو التربة الزراعية من مكونات النفط بعد أسابيع قليلة من المعالجة بهذه الكائنات الحية وتساعد المعالجة البيولوجية في الإسراع بالتخلص من البقع الزيتية عند استخدام أساليب فيزيائية معا.وكلما ازدادت الكائنات المجهرية كالسودوموناس في المنطقة التي يحدث فيها االانسكاب ، كان حدوث التأكسد أسرع . وتزداد فعالية التحلل البيولوجي كلما قل سمك بقعة الزيت ، وكذلك لأشعة الشمس تأثير في زيادة سرعة التحلل . وتزداد سرعة التحلل عند الطبقة

الملامسة لسطح البحر، وتكثر أعداد البكتريا المحللة للزيوت في ماء البحر في فصل الصيف؛ خاصة قرب الشواطئ لزيادة درجة الحرارة وتوافر مركبات النتروجين والفسفور .

(ب) استخدام تقنيات الهندسة الوراثية لمكافحة التلوث البترولي [*]

التلوث بالبترول يعد من الظواهر الحديثة نتيجة الاعتماد عليه كأحد المصادر الحيوية للطاقة، والمتأمل للكثير من الأماكن المطلة على البحار مثل المدن الساحلية يجده على رمال الشاطئ في صورة مخلفات أو بقع سوداء فوق مياه البحار والمحيطات؛ مما يسبب الكثير من الأضرار لرواد هذه الشواطئ ومختلف الكائنات البحرية.

لقد استطاعت تقنية الجينات عزل وتنقية وتعديل لبعض أنواع من البكتريا التي تعيش في مخلفات وشحوم البترول ومعدة الحيتان للاستفادة من قدرتها على التهام وتحليل جزيئات المركبات المعقدة في البترول الخام وتحويلها إلى مواد كبريتية يمكن استخدامها كغذاء للأسماك والحيوانات البحرية، وهو ما يعني تحقيق هدف آخر هو القضاء على بقع التلوث البترولي في صورته الخام.

وتتم عملية التخلص من البقع الزيتية بواسطة هذا النوع من البكتريا عن طريق استخدام المنظفات الصناعية أولاً حيث تُكَوِّن مع طبقة الزيت مستحلباً على درجة عالية من الثبات ينتشر تدريجيًّا في مياه البحر، فيتم بذلك تخفيف تركيز الزيت، حيث تستطيع البكتريا أن تقوم بتحليل المخلفات البترولية وبالتالي تختفي بقعة الزيت في مدة زمنية قصيرة، وقد استُخْدِمَت هذه الطريقة على نطاق واسع، كما يوجد بعض الدراسات والأبحاث للاستفادة من القدرة على عمل طفرات من هذه البكتريا التي تهاجم الكبريت دون مهاجمة المكونات الأخرى من الزيت الخام للبترول؛ مما يؤدي إلى رفع سعر البترول الخالي من الكبريت الذي يتحول مع آلة الأحتراق الداخلي إلى أكاسيد كبريتية تحول في وجود الماء إلى أحماض، تؤدي لتلف هذه الآلات في السيارات وكافة مركبات النقل.

(*) د. وجدي عبد الفتاح سواحل، مجلة المجتمع، ٢٠٠٥

(جـ) إنتاج السلالات البكتيرية والفطرية المحللة للمركبات البترولية [*]:

إن أهم العقبات لإنتاج كائنات دقيقة قادرة على التهام المركبات البترولية هو كيفية تخليق بكتريا قادرة على تحمل السمية الحادة للمركبات البترولية والتهامها ، فقد اختار العلماء ثلاثة أنواع من البكتريا الطبيعية، ولكن وجدوا أن كلاً منها قادرة على التهام البترول جزئيا وكل نوع يتخصص في تكسير عدد معين من المواد البترولية . ولما كانت ضالتهم المنشودة تطوير البكتريا القادرة على التهام المواد البترولية بكل مكوناتها فقد مضوا في تهجين أصناف البكتريا الثلاثة، وهي عمليات دقيقة مضنية تستوجب تغيير بيئات تربيتها وإجراء عدد كبير من التباديل والتوافيق بين جيناتها المستهدفة؛ للوصول إلى نوع واحد من البكتريا يحمل صفات الثلاثة أنواع. وبالفعل أثمرت التجارب على إنتاج تلك البكتريا الجديدة التي تستطيع التهام البترول كليّا، وقد حضرت منها سلالات نقية ويتم حاليا الاستعانة بها عند مكافحة البقع الزيتية وقد تم استخدامها لمعالجة مشكلات بحيرات البترول التي خلفتها حرب الخليج ١٩٩١ .

معالجات أخرى للتلوث البترولي

(أ) طريقة إغراق الزيت في البحر

ويتم ذلك بإضافة مواد أو مساحيق خاصة ذات قدرة عالية على التماسك بالزيت، وهي مواد ذات كثافة عالية؛ لاستخدام اقل كميات ممكنة في هذه العمليات .

كما يمكن رش بعض الرمال الناعمة على سطح الزيت، وبالتالى ترفع من كثافة البقع ويؤدى ذلك إلى رسوبه فى قاع البحر.

(ب) طريقة إحراق طبقة الزيت:

يمكن حرق زيت البترول بكفاءة بعد انسكابه مباشرة، وقبل أن يفقد مركباته الخفيفة الطيارة التي تمتاز بقابليتها للاشتعال السريع، وقد تم استخدام هذه الطريقة للحد من

(*) التلوث البيئي والهندسة الوراثية د / على محمد على عبدالله، مكتبة الأسرة، ١٩٩٩ م .

التلوث بالزيت الناتج من الناقلة توري كانيون في شواطئ جنوب غرب بريطانيا، وتم بواسطتها التخلص من كمية كبيرة من الزيت.

وطريقة حرق زيت البترول من الطرق المستخدمة وإن كانت قليلة الاستخدام ، إلا أنها تعمل على التخلص من بقعة الزيت بعيدا عن الشاطيء والأماكن الحساسة. وأن استخدامها يحتم ضرورة استخدام وسيلة مناسبة لإضرام النار في البقعة ولكن هذه الطريقة لا يسهل استخدامها في كل الأحوال ؛ لأن مياه البحر تساعد عادة على تبريد طبقة الزيت الطافية فوقها ، وقد تمنع اشتعالها وتمنع انتشار النار فيها.

٤-٥ التلوث بالمواد المشعة

إذا كان كل من الملوثات الكيميائية والملوثات البيولوجية ، يمثلون خطورة بالغة على صحة وحياة الإنسان والحيوان والنبات ، فإن هنالك نوعًا من الملوثات لا تقل خطورة عن هذه الصور من الملوثات ، بل قد تفوقها من حيث سرعة انتشارها ، ومن حيث حجم ونوعية الأمراض الناجمة عنها، ألا وهو الملوثات الإشعاعية.

والتلوث الإشعاعي يعد من صور التلوث الفيزيائي للبيئة ، حيث تعد المواد المشعة من العوامل الفيزيائية التي تلوث البيئة ويعمل على تغيير الخواص الفيزيائية، وتغيير المواصفات القياسية للأنظمة البيئية التي تصيبها .

ويعتبر التلوث الإشعاعي من أخطر أنواع التلوث؛ حيث إنه لا يرى أو يشم غالبًا، فهو يدخل إلى الجسم دون أن يدل على تواجده أو ترك أثر في باديء الأمر . وكثير من الأشعة ذات طبيعة تراكمية في الكائنات الحية أى تتراكم في الخلايا ويظهر تأثيرها عندما تصل إلى تركيز معين. ويختلف هذا التأثير حسب نوعية الإشعاع، فقد يكون ذا تأثير حراري فقط أو تأثير بيولوجي ويسبب الأمراض .

ولقد ازداد حجم التلوث الإشعاعي خلال الخمسين عاما الماضية، فبعد أن كانت مصادر الإشعاع مقصورة على الأشعة الكونية والمصادر الطبيعية الأخرى ، مثل الأشعة

المنبعثة من الصخور والأشعة المنبعثة من العناصر الطبيعية ، مثل البوتاسيوم ، تدخلت يد الإنسان لتضيف كمًّا من الإشعاعات التي لوثت الهواء والماء والغذاء.

ولقد اتضحت خطورة الإشعاعات الذرية بعد عام ١٩٤٠ م ، حينما اكتشف الباحثون والأطباء العلاقة بين تعرض النساء الحوامل للأشعة السينية (x -ray) وحدوث تشوهات للأجنة . ويعتبر الانشطار النووي وإنشاء أول مفاعل نووي في عام ١٩٤٢م هما البداية الحقيقية لتلوث البيئة بالإشعاعات النووية، ولقد ازداد حجم هذا التلوث على أثر إنتاج الأسلحة الذرية، في نهاية الحرب العالمية الثانية، وما أعقبها من حروب وانفجارات نووية، حيث شهد العالم في الفترة ما بين ١٩٤٥م إلى عام ١٩٦٣ نطاقاً واسعاً من تجارب الانفجارات الذرية، ولعل انفجار قنبلة هيروشيما ونجازاكي وما خلفه من غبار ذري قد أدى إلى تلوث البيئة بالإشعاع وسبب الكثير من الأمراض والتشوهات والكوارث.

وإذا كانت الانفجارات النووية تعد من أخطر مصادر التلوث الإشعاعي، فإن هناك مصادر أخرى أدت إلى زيادة حجم هذا التلوث، وتشتمل هذه المصادر على المفاعلات النووية وما ينجم عنها من تلوث إشعاعي بسبب استخدامها على نطاق واسع، وبسبب انفجارها في بعض الأحيان أمثلما حدث من تلوث على أثر انفجار مفاعل تشرنوبل النووي.

كما تشمل مصادر التلوث استخدام الذرة كمصدر للطاقة واستخدام النظائر المشعة في التجارب العلمية في مجال العلوم الطبية والعلوم البيولوجية، وتشخيص الأمراض وعلاجها إشعاعيًّا، بالإضافة إلى الإشعاعات الصادرة من أجهزة التليفزيون والكمبيوتر والأجهزة الإلكترونية الأخرى، وبعض الأجهزة الطبية وأجهزة القوى الكهربائية لأعمال وأبحاث الفضاء والطائرات. وتنتقل المواد المشعة إلى جسم الإنسان عن طريق تلوث الغذاء والماء بالنظائر المشعة إلى جسم الإنسان أو الغبار الذري المتساقط على النباتات والحيوانات والماء، أو عن طريق استنشاق المواد المشعة أو الغبار الذري الملوث للهواء.

ويكون التلوث الإشعاعي بفعل العناصر والمواد المشعة التي تؤثر على الحياة سلبًا ويتولد عنه العديد من المخاطر عبر فترة زمنية من خلال سلسلة من التفاعلات المطردة الناجمة عن هذا النوع من التلوث . وتعتمد المخاطر الصحية المتأتية عبر هذا النوع من التلوث على عوامل عديدة منها :

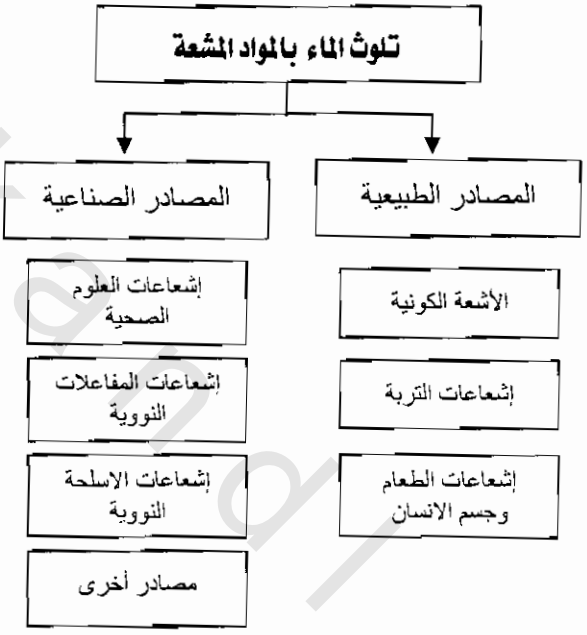
- حجم وكمية المادة المشعة الممتصة .
- نوع الإشعاع وطبيعته .
- قوة الإشعاع وقدرته على التغلغل داخل الخلايا .
- معدل الجرعة الصادرة عن المادة المشعة .
- نسبة الخلايا والأنسجة المعرضة للإشعاع .

وتكمن خطورة الإشعاعات في أنها تسبب إصابات وأمراضًا كثيرة وجسمية للإنسان والحيوان، وبخاصة الأمراض السرطانية وأمراض الدم والجلد والنخاع العظمي والجهاز الهضمي والجهاز العصبي والجهاز التنفسي. بالإضافة إلى الأمراض الوراثية والتشوهات الجنينية. وحينما تفاقمت مشكلة التلوث الإشعاعي، تزايد اهتمام العلماء من مختلف دول العالم بالدراسات والأبحاث التي تختص بصفات المواد المشعة وكيفية انتقالها إلى جسم الإنسان، بالإضافة إلى دراسة أثرها الضار على الكائنات الحية ووسائل الوقاية من هذا الضرر.

وقد أخذت المواد المشعّة تزداد في أنسجة الكائنات الحيّة؛ خاصة في بعض أقسام النباتات، ووصل تركيز المواد المشعّة في نسجها إلى ألف مرة أكثر من تركيز نسب هذه المواد في الماء، وبسبب كون هذه النباتات هي الغذاء الرئيسي للحيوانات البحرية، فقد أخذت المواد المشعّة تتركز في أجسام الحيوانات البحرية كالأسماك والطيور وغيرها؛ لدرجة أنها وصلت في أنسجة بعض الأسماك إلى (٢٠ أو ٣٠ ألف مرة) أكثر من تركيزها في الماء.

٤-٥-١ مصادر التلوث الإشعاعي

تشمل مصادر التلوث الإشعاعي مصادر طبيعية وأخرى ناتجة عن أنشطة الإنسان ، وتضم الإشعاعات الطبيعية الأشعة الكونية وأشعة إكس الأرضية وأشعة جاما المنبعثة من الصخور والبوتاسيوم المشع . أما المصادر الناتجة عن أنشطة الإنسان فتشمل أشعة إكس، والأدوية المشعة المستخدمة في المجالات الطبية والمواد المشعة المستعملة في العلوم البيولوجية ، بالإضافة إلى الأشعة الصادرة من المفاعلات النووية والأسلحة النووية والأجهزة الاليكترونية. والشكل التالي يبين مصادر التلوث الإشعاعي للماء.



شكل (٦-٢): مخطط لمصادر التلوث الإشعاعي.

أولاً : المصادر الطبيعية

تشمل المصادر الطبيعية ما يلي:

- الأشعة الكونية.
- الإشعاعات الناتجة من التربة .
- المواد المشعة الموجودة في الطعام وداخل جسم الإنسان.

١- الأشعة الكونية

تختلف كمية الإشعاعات الكونية باختلاف ارتفاع المكان عن سطح البحر وباختلاف الموقع الجغرافي، حيث يقل مقدارها في الأماكن القريبة من سطح البحر ، وتزداد كلما ارتفعنا عنه، فنجد كلما ارتفعنا عنه بمقدار عشرة آلاف قدم ، تضاعف مقدار الأشعة الكونية ثلاث مرات .

وتجد الإشارة إلى أن الغلاف الجوي يعتبر حاجزًا واقيًا من الأشعة الكونية، ويتكون في الغلاف الجوي بعض المواد المشعة نتيجة تفاعل مواد أخرى مع مكوناتها؛ حيث يتكون الكربون ١٤ المشع مثلاً نتيجة تفاعل الأشعة الكونية مع النيتروجين ١٤ .

٢-الإشعاعات الناتجة من التربة

تحتوي القشرة الخارجية للكره الأرضية على كميات ضئيلة من عناصر مشعة، مثل اليورانيوم والثوريوم، ويختلف تركيز العناصر المشعة بالتربة باختلاف نوعها ، فنجد أن تركيزها يزداد بالصخور الجرانيتية ويقل في التربة الرملية . تحتوي التربة أيضًا على نسبة ضئيلة من الكالسيوم ٤٨ المشع . تتكون الإشعاعات الصادرة من التربة أساسًا من إشعاعات جاما، حيث تمتص ألفا وبيتا داخل القشرة الخارجية للتربة.

٣- المواد المشعة الموجودة في الطعام وداخل جسم الإنسان

توجد بعض العناصر المشعة الطبيعية مثل الكربون ١٤ والبوتاسيوم ٤٠ في طعام الإنسان وداخل جسمه . ويوجد بجسم الإنسان أيضا الراديوم ٢٢٦ والبولونيوم ٢١٠ والاسترونشيوم ٩٠ ، وتختلف كمية الإشعاع من عضو لآخر بجسم الإنسان ؛ فمثلاً تزداد كمية الإشعاعات الطبيعية في الرئة عنها في نخاع العظام ، وتجدر الإشارة إلى أن رئات المدخنين تحتوي على قدر أكبر من المواد المشعة؛ بالمقارنة برئات غير المدخنين ، ويعتبر ارتفاع نسبة المواد المشعة في رئة المدخن من أهم أسباب الإصابة بسرطان الرئة.

ثانيًا: الإشعاعات المستخدمة أو الاصطناعية

تشمل المصادر الإشعاعية الاصطناعية جميع أنواع المواد المشعة المستخدمة في الصناعة أو الطب والنتيجة عن نشاط الإنسان والتي من أهمها:

١- الإشعاعات المستخدمة في مجال العلوم الصحية.

٢- المفاعلات النووية.

٣- الأسلحة النووية.

٤- مصادر أخرى.

١- الإشعاعات المستخدمة في مجال العلوم الصحية

تستخدم الأشعة السينية أو النووية في مجال تشخيص الأمراض وعلاجها، كما تستخدم الأدوية التي تحتوي على عناصر ضئيلة في علاج بعض الأمراض، مثل: التسمم الدرقي الذي يستخدم اليود المشع في علاجه.

وتشير الدراسات إلى أن استعمال الأدوية المشعة يتزايد عامًا بعد عام ، ولذلك فإن هذه الأدوية تعتبر مصدرًا مهمًّا من مصادر تعرض الإنسان للإشعاع.

٢- المفاعلات النووية

بعد اكتشاف الانشطار النووي ، أقيم اول مفاعل نووي في عام ١٩٤٢ ، ثم أعقبه مشروع مانهاتان بإنشاء أول أسلحة ذرية ، في نهاية الحرب العالمية الثانية . ولقد استخدمت المفاعلات النووية ، ومازالت تستخدم ، لتوليد الطاقة ، وينجم عن استعمال هذه المفاعلات تلوث البيئة بالإشعاع ، وبخاصة البيئة المحيطة بالمفاعلات ، وقد ترتفع نسبة التلوث البيئي ارتفاعا كبيرا بسبب حوادث انفجار المفاعلات النووية ، مثل حادث انفجار تشرنوبل النووي.

تنقسم المواد المتسربة من المفاعلات النووية بسبب الحوادث إلى مواد طيارة وأخرى غير طياره ، وتمثل المواد الطيارة المشعة ، مثل اليود والترتيوم والأجزاء المتناثرة من عنصر البلوتونيوم خطورة على الإنسان ، حيث يستنشق المواد المشعة مع هواء البيئة الملوث.

٣- الأسلحة النووية

فجر أول سلاح من الأسلحة النووية عام ١٩٤٥م في هيروشيما ونجازاكي في اليابان، ثم توالت تجارب الأسلحة النووية بعد ذلك على نطاق واسع حتى عام ١٩٦٣، حيث أجريت عدة تجارب نووية في الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي والمملكة المتحدة.

ولقد اتفقت القوى الثلاث في عام ١٩٦٣ على منع إجراء التجارب النووية فوق سطح الأرض ، إلا أن هذه التجارب لم تتوقف على المستوى العالمي حيث أجريت في فرنسا والصين تجارب محدودة بعد هذه الفترة.

ولقد استمرت التجارب النووية بعد الاتفاقية التي عقدت بين الدول الكبرى الثلاث ، وذلك بإجرائها تحت الأرض بهدف حماية البيئة من التلوث ، وعلى الرغم من هذه الاحتياطات ، إلا أن التجارب التي أجريت تحت الأرض أضافت قليلاً من الغبار الذري المحمل بالمواد المشعة للبيئة.

من النظائر التي مثلت خطورة على الإنسان على إثر الانفجارات النووية استونشيوم ٨٩ واسترونشيوم ٩٠ وزوركونيوم ٩٥ وروثينيوم ١٠٦ وروثينيوم ١٩٣ وسيزيوم ١٣٤ وسيزيوم ١٤١ وسيزيوم ١٤٤.

٤- مصادر أخرى

بالإضافة إلى المصادر السابقة التي تشكل الجزء الأكبر من تلوث البيئة بالإشعاع ، فإن هناك مصادر أخرى مثل التلفزيون والكمبيوتر والأجهزة الالكترونية، كما تشمل المصادر الأخرى ماكينات الأشعة السينية المستخدمة في الصناعة الطائرات ورحلات الفضاء ، بالإضافة إلى استعمال النظائر المشعة كمصدر لقوة ناظمة إيقاع القلب.

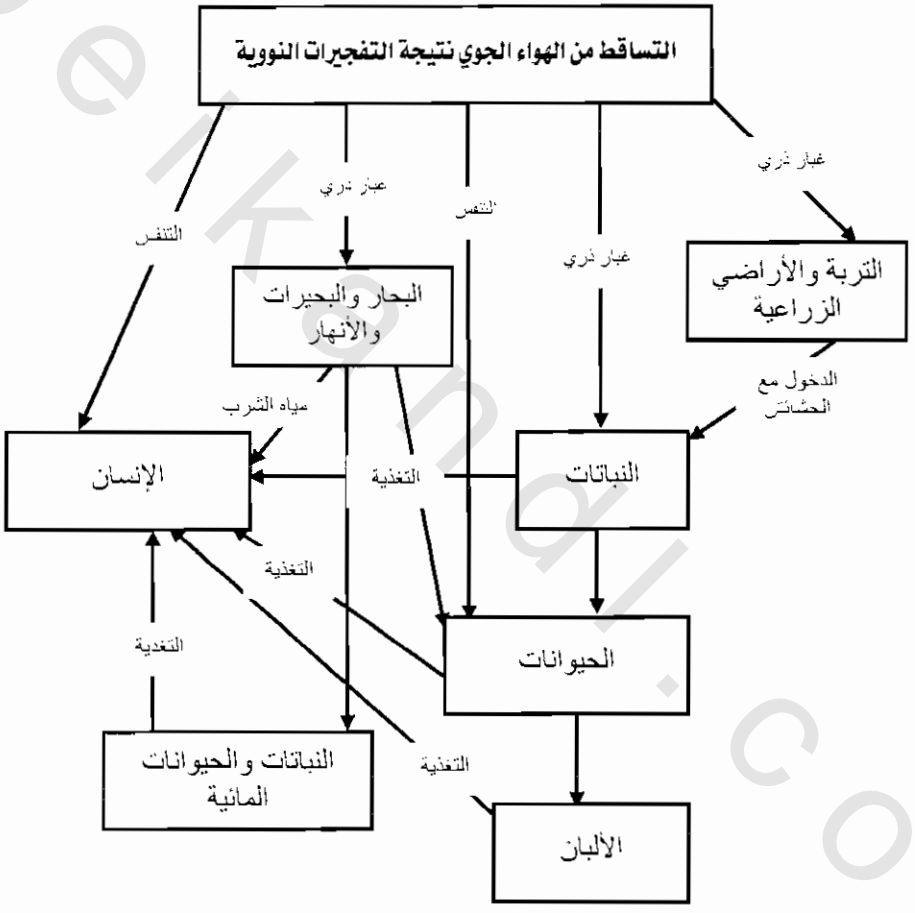
ويبين الشكل التالي يبين كيفية انتقال المواد ذات النشاط الإشعاعي في البيئة ووصولها إلى الإنسان ، وتتلخص هذه الطرق في الآتي :

تساقط المواد ذات النشاط الإشعاعي من الهواء الجوي نتيجة التفجيرات النووية في صورة غبار ذري متساقط، ويصل هذا التساقط إلى الإنسان بصورة مباشرة عن طريق

تنفس هذه الغبار الذري، أو بصورة غير مباشرة عن طريق الغذاء من النباتات والحيوانات ومصادر مياه الشرب والكائنات البحرية كالأسماك .

تساقط المواد ذات النشاط الإشعاعي على المسطحات المائية من البحار والمحيطات والأنهار ومنها إلى النباتات والحيوانات المائية ومنها إلى الإنسان عبر السلسة الغذائية .

تساقط المواد ذات النشاط الإشعاعي على الأراضي الزراعية، ومنها إلى النباتات ثم إلى الحيوانات البرية من خلال الحشائش.



شكل (٦-٣) : مخطط يبين كيفية انتقال المواد ذات النشاط الإشعاعي في البيئة ووصولها إلى الإنسان.

٤-٥-٢. التحكم في التلوث بالمواد المشعة

تنعدم عملية التنقية الذاتية أو الطبيعية لمياه الفضلات المشعة ، حيث يمكن أن تمتص جذور النباتات والكائنات الحية النباتية هذه المياه، وبالتالي تتراكم الملوثات الإشعاعية داخل هذه الكائنات الحية .

وغالبًا لا يتم طرح المياه المحتوية على مواد مشعة إلى المسطحات المائية ؛ فعادة يتم تركيز هذه المياه ثم توضع في عبوات خراسانية ثم تدفن على أعماق بعيدة داخل الأرض في الطبقات الصخرية الملحية، لأن هذه الصخور عادة لا تحتوي على مياه جوفية يخشى تلوثها بالمواد المشعة ، ويراعي أن يكون موقع الدفن بعيدًا عن التجمعات السكانية . والأماكن الأكثر ملاءمة للدفن العميق هي المناجم المهجورة والبعيدة عن السكان والمياه الجوفية ، وتعد طريقة الدفن مكلفة نسبيًا .

الفضلات الصناعية المشعة ذات المستوي الإشعاعي المنخفض غالبًا ما تنتج بكميات كبيرة ولها قدرة كبيرة لتلويث البيئة المحيطة ومن ثم فإن الهدف الأساسي هو إزالة هذا التلوث عن طريق إزالة النشاطية الإشعاعية لهذه الفضلات ثم صرفها مرة أخري بأمان داخل الأجسام المائية .

أما الفضلات الصناعية المشعة ذات النشاط الإشعاعي المرتفع فانه من الصعب إزالتها تمامًا ولكن يتم العمل على تركيزها ثم تخزينها بأمان داخل البيئة.

وتعد طريقة التركيز أو التخفيف ثم التخزين في إزالة المواد المشعة من المياه من أكثر الطرق المستخدمة للتحكم في الفضلات المشعة ذات النشاط الإشعاعي المرتفع. .

ويشمل تركيز المياه الطرق التالية :

١- التبادل الأيوني.

٢- الترسيب الكيميائي.

٣- الترسيب بالجاذبية .

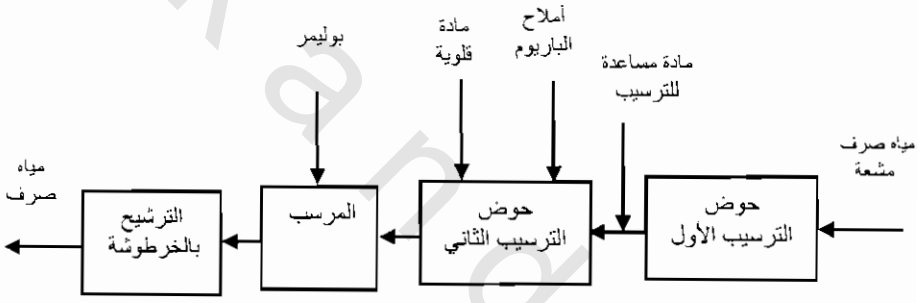
٤- الترشيح والفصل البيولوجي والتبخير.

٥- الحرق .

٦- ثم تخزن المادة المشعة المركزة.

وقد تتم معالجة المياه ذات المستوي المنخفض من الإشعاع، لإزالة المواد المشعة منها؛ فالترشيح يزيل فقط المواد المشعة المتحدة مع المواد العالقة . والمعالجة الكيميائية القلوية بالصودا الكاوية تزيل معظم المواد المشعة ،ويعد التقطير من أكثر الطرق فعالية لإزالة المواد المشعة من الماء.

والشكل التالي هو لمخطط يبين إحدى طرق معالجة المواد الإشعاعية، عن طريق عمليات المعالجة الفيزيائية والكيميائية.



شكل (٦-٤): مخطط يوضح المعالجة الفيزيائية الكيميائية لملوثات إشعاعية.

وملخص عمليات المعالجة يتم كالآتي :

تمرر النفايات على حوض ترسيب أولي حيث يتم ترسيب جزء منها بإضافة مادة معينة، تساعد على أن يكون الترسيب ترسيبًا فيزيائيًّا.

ثم تذهب إلى حوض ترسيب ثانٍ؛ حيث يتم ترسيب جزء آخر بإضافة أملاح الباريوم وإضافة مواد قلوية لضبط الاس الهيدروجيني لإتمام عملية الترسيب.

وهناك حوض ترسيب ثالث، يضاف إليه بعض البوليمرات، التي تساعد على الترقيد والترسيب الكيميائي.

وتمر المياه بعد ذلك إلى خرطوشة ترشيح؛ ليتم حجز وترشيح مواد أكثر دقة، وتخرج المياه المعالجة بعد ذلك لصرفها أو إعادة استعمالها .

obeikandl.com