تلوث المياه

Water Pollution

مقدمة

يعد الماء عصب الحياة إذ بدونه لا توجد حياة. فله أهمية بالغة في حياة الإنسان وبقية الكائنات الحية. وهو أكثر المركبات وفرة في جسم الكائن الحي, وتصل نسبته في الكتلة الحية إلى 80% أو أكثر وفي بعض الحالات تصل نسبته إلى أكثر من % 99 في الخلايا كما هو الحال في ثمار بعض النباتات كما في البطيخ والخيار. كما أنه الوسط الذي تحدث فيه جميع التفاعلات الحيوية والكيميائية داخل أجسام الأحياء. وله أهمية خاصة في حياة الإنسان من حيث الفوائد والاستعمالات مثل الملاحة والصناعة والزراعة فضلاً عن ممارسات الإنسان الترفيهية التي تعتمد على الماء مثل الحدائق والمتنزهات والسباحة.

ويمكن تلخيص بعض مجالات استخدام المياه من قبل الإنسان في النواحي الآتية:

1- يستخدم ثلثا الماء العذب على اليابسة للأغراض المنزلية المختلفة وتشمل مياه الشرب والطبخ والغسل والنظافة العامة مثل غسل المرافق والمركبات وسقي الحدائق. أما الثلث الآخر فيتم استهلاكه في الصناعة والمرافق التجارية.

2- تستخدم المياه لأغراض التبريد أو توليد البخار وفي تصنيع المواد وتصريف الفضلات.

3- يستخدم الماء في توليد الطاقة الكهربائية من السدود المقامة على الأنهار.

4- يستخدم الماء في الصناعات الغذائية وفي تربية الحيوانات والإنتاج الزراعي.

5- يستخدم لأغراض الترفيه والمتعة كالاستحمام ومختلف أشكال الرياضة المائية فضلاً عن كونه أحد وسائل النقل المهمة في العالم.

وعلى الرغم من أن الماء مركب كيماوي ثابت التكوين فإنه غالباً ما يكون محتوياً على عناصر ومركبات متباينة قد تفيد الكائن الحي وعند زيادتها عن الحد المطلوب فإنها تسبب التلوث الذي يسبب عدم إمكانية استخدامه في الصناعة والزراعة أو لأغراض الشرب والاستخدامات المنزلية وقد لا يصبح صالحاً حتى لمعيشة الأحياء التي تعتمد عليه.

لقد ساهم الإنسان ومنذ تطور أقدم الحضارات بتلويث المياه الطبيعية بأشكال ودرجات مختلفة رغم أن للطبيعة سلاحها الذاتي في مقاومة وتخفيف التأثيرات الضارة لتداخلات الإنسان.

لقد ساهم نمو وتطور المجتمعات الإنسانية وتقدم الزراعة والصناعة وزيادة الرفاهية والقضاء على الأوبئة والأمراض الأمر الذي أدى إلى إطالة عمر الإنسان والنمو السكاني وما صاحب ذلك من نمو المدن والحضارة التي باتت تنتج أشكالاً من النفايات والملوثات لم تكن تعرفها المياه مسبقاً. وهكذا تحولت المسطحات المائية الطبيعية إلى مستودعات للمياه القذرة وإلى برك ومجار متسممة تنعدم فيها العديد من أشكال الحياة المائية.

الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء

تؤدي الخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه دوراً مباشراً في توزع الأحياء المائية وسلوكها وتكيفها. ومن بين أهم هذه الخواص التي لها علاقة بتلوث المياه ما يأتي:

1- التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity

2 - الملوحة Salinity

3- الأوكسجين المذاب: Dissolved oxygen

4- الأس الهيدروجيني pH

5 - اللون Color تعد المياه النقية عديمة اللون وعكسه يعد ملوثاً

6- الكدرة Turbidity

ملوثات المياه Water pollutants

تعريف تلوث الماء: يُعد الماء ملوثاً عند حدوث أي تغير في خواصه الفيزيائية والكيميائية حيث تجعله غير صالح للاستخدامات المعروفة أو لحياة الكائنات المائية. وقد وردت عدة طرق لتصنيف ملوثات المياه من بينها التصنيف المستخدم من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية وشملت ثمانية ملوثات أساسية وهي:

أولاً: الفضلات المتطلبة للأوكسجين Oxygen demanding wastes

تشمل المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي والتي تتواجد في مياه المجاري المنزلية وبعض مجاري المياه الصناعية Industrial discharges. وعندما تتحلل هذه المركبات عن طريق

البكتيريا خاصة الهوائية فإن الأوكسجين سوف يزال من المياه وبذلك تتأثر الأحياء المائية كافة التي تعتمد في تنفسها عليه. ومن المعلوم فإن هناك أربع عمليات تؤثر في نسب الأوكسجين المتوافرة في المياه وهي:

1- الاحتكاك بالهواء (التهوية)
2- البناء الضوئي
3- التنفس
4- أكسدة الفضلات

وتزيد العمليتان الأولى والثانية نسب الأوكسجين في حين تعمل الثالثة والرابعة على إنقاصه.

وهناك طرق متعددة لقياس علاقة الأوكسجين بالتلوث الحاصل في المياه ومن أكثرها استخداماً هي:

1 – المتطلب أو الاحتياج الحيوي للأوكسجين Biological Oxygen Demand (BOD)

ويستخدم هذا القياس على نطاق واسع حيث يمكن بوساطته تقدير كمية الفضلات العضوية في الماء من خلال قياس كمية الأوكسجين اللازمة للبكتيريا لأكسدة الفضلات هوائياً إلى ثنائي أوكسيد الكربون والماء. ويرمز له بالرمز BOD.

ويتم استعمال قيمة BOD لأي نموذج مائي عند حفظه في إناء مغلق لمدة خمسة أيام ودرجة حرارة 20م. ويتم حساب كمية الأوكسجين المذاب قبل وبعد حفظ النموذج. ولا تتجاوز قيمته للماء النقي عن جزء واحد بالمليون، وتكون النقاوة مقبولة في قيمة 3 أجزاء بالمليون، في حين تصل حالتها الحرجة في القيمة المساوية إلى خمسة أجزاء بالمليون. وقد تتجاوز القيمة إلى 10000 جزء بالمليون كما في مياه مجاري معامل التعليب والصناعات الغذائية حيث تشكل هذه الفضلات خطورة كبيرة على نوعية المياه عند رميها إلى الأنهار أو البحيرات دون معالجة.

ومع أن طريقة قياس BOD شائعة الاستخدام ومقبولة وجيدة إلا أنها تتطلب وقتاً طويلاً لإجرائها ولا تتسم بالدقة الكافية حيث لا يتم الحصول على نفس القيم عند إعادتها.

2 – المتطلب أو الاحتياج الكيماوي للأوكسجين Chemical Oxygen Demand (COD)

يرمز له COD. ويتم بهذه الطريقة قياس كمية المواد القابلة للتأكسد كيمائياً بعوامل كيمائية مؤكسدة قوية مثل ديكرومات البوتاسيوم في حمض الكبريتيك وبذلك يتم التأكسد بصورة سريعة لا تتجاوز الساعتين.

ويتم حساب كمية ثنائي أوكسيد الكربون الناتجة من التأكسد أو قياس كمية الديكرومات المستهلكة في التأكسد. ويتم ضبط هذه القيم مع كمية المادة العضوية الموجودة في الماء.

تكون قيم COD أعلى عادة من قيم BOD بسبب الأكسدة التامة لجميع المادة العضوية (المذابة وغير المذابة). كما قد تكون البكتيريا في طريقة BOD عاجزة عن الأكسدة التامة لبعض المركبات العضوية المذابة في حين يتم تأكسدها بصورة تامة بطريقة COD. غير أنه من الضروري الحذر من التداخلات الممكنة عند استخدام هذه الطرق حيث قد تتأكسد بعض الشوائب اللاعضوية كما أن بعض المواد العضوية تكون مقاومة للتأكسد أو التحلل حتى عند استعمال طريقة COD.

3 – الكربون العضوي الكلي Total Organic Carbon

يرمز له TOC حيث يتم في هذه الطريقة الحرق التام للمادة العضوية وبدرجات حرارة عالية تتراوح بين 900–1000 درجة مئوية وبوجود محفزات Catalysts ملائمة .

ويتحول جميع الكربون في هذه الطريقة الموجود في المادة العضوية إلى غاز ثنائي أوكسيد الكربون، ويتم قياسه بالطرق الآلية المتقدمة. وبذلك يمكن الحصول على قيم TOC في ظرف دقائق قليلة. وتوجد حالياً أجهزة متطورة ذاتية القياس لقيم TOC.

ثانياً: العوامل المسببة للمرض Disease causing agents

تشمل مجاميع الكائنات الدقيقة الممرضة المختلفة والتي تدخل إلى الماء عادة مع فضلات الإنسان فتنتقل إلى الآخرين عن طريق الشرب أو الاستخدامات المختلفة للمياه.

تسبب المياه الملوثة وفاة 25 ألف شخص يومياً في العالم ويعاني ثلثا سكان العالم من عدم توفر مياه آمنة ونقية خالية من المسببات المرضية Pathogens. كما يبلغ مجموع وفيات الأطفال دون سن الخامسة في العالم ما يقرب عن 4.6 مليون طفل/سنة بسبب الإصابة بالإسهال الذي ينتقل عادة بالمياه الملوثة.

تتلوث المصادر المائية بكثرة بالمسببات المرضية خلال تصريف الفضلات البشرية أو الحيوانية إليها.

تشمل هذه المسببات العديد من الكائنات الحية مثل البكتيريا والأحياء المجهرية وحيدة الخلية الحيوانية Protozoa والطفيليات المعوية التي تنتقل على هيئة بيوض أو أطوار أخرى وغيرها من الأحياء، فضلاً عن الفيروسات. ولقد زاد الاهتمام في الآونة الأخيرة بدراسة الفيروسات المعوية التي تصيب الإنسان والتي تسبب أمراضاً في الجهاز الهضمي بخاصة تلك الفيروسات المحمولة بوساطة المياه والتي تسبب الالتهابات الكبدية ذات العدوى الانتقالية.

إن المصادر الرئيسة للبكتيريا والفيروسات المتسببة في عدوى الإنسان هي براز وبول الحيوانات. كما يمكن أن تكون بكتيريا القولون Coliform من مصادر عديدة أهمها البراز الذي يشكل 90% من مصادر العدوى ، لذا فإن **بكتيريا *Escherichia Coli* يمكن استخدامها في تقييم جودة المياه. وتعتمد هذه البكتيريا بوصفها دليل حيوي Biological indicator** . ففي حالة العثور عليها فإن ذلك يعد دليلاً أكيداً على تلوث هذه المياه بفضلات بشرية أو حيوانية و احتمال وجود أي مسبب مرضي من المسببات المرضية التي يُعرف انتقالها فيتطلب ذلك إجراءات الوقاية منه مثل تعقيم المياه بإحدى الطرق المعروفة أو تجنب استهلاكها.

يقدر العدد المطروح من بكتيريا *E.coli* في غائط الإنسان يومياً في حدود 100–400 مليار بكتيريا، وهي عديمة الضرر للإنسان، بل أن لها فائدة بعد طرحها في البيئة مع الغائط حيث أنها تعمل على تكسير المواد العضوية فتحولها إلى مواد بسيطة التركيب. ولأجل إقرار نوعية المياه فيجب قياس مجموع البكتيريا هذه. وهناك حدود معينة يمكن القبول بها أحياناً فيجب ألا يزيد تعداد بكتيريا *E.coli* بمفردها عن 3 بكتيريا لكل 100 سم^3 في عينات عشوائية غير متعاقبة. كما لا يجب ألا يزيد تعداد مجموع البكتيريا القولونية Total coliform عن 5000 بكتيريا لكل 100 سم^3.

إن الحاجة ما زالت قائمة إلى المزيد من طرق الكشف المستعملة حول الكائنات المرضية المحمولة بالماء بخاصة ما يتعلق بمعدلات انتشارها وطرق تواجدها في المياه الترفيهية كالبكتيريا المسببة للأمراض مثل الكوليرا والحمى التيفوئيدية والدزانتري وفيروسات شلل الأطفال فضلاً عن يرقات وبيوض الطفيليات الحيوانية كالديدان التي تصيب الأبقار والأغنام.

تكثر البكتيريا والفيروسات المرضية في مياه فضلات المجاري ومنها تنتقل إلى مصادر المياه الطبيعية. وتعد المؤسسة العامة لمياه الشرب هي المسؤولة عن مراقبة المياه التي تنقل إلى المنازل للكشف وتخليص الماء من المسببات المرضية المختلفة.

ثالثاً: المركبات العضوية المصنعة Synthetic organic compounds

تشمل المبيدات والمنظفات والكيماويات الصناعية التركيبية الأخرى ومعظمها سام للإنسان والأحياء المائية المختلفة. وتتكون **مساحيق الغسيل** من ثلاثة مكونات أساسية وهي:

1– مادة ذات فعالية سطحية تدعى Surfactant تحضّر عادة من المشتقات النفطية تؤدي دوراً في تنظيف الدهون والأوساخ.

2– مواد نشطة Builder التي تقوم بحجز الأيونات المسببة للقساوة (قساوة الماء: هو تعبير يستخدم لوصف حالة الماء عندما تكون نسبة الأملاح المعدنية فيه عالية، والتي غالباً ما تكون أملاح الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنسيوم (Mg^{2+})، بالإضافة إلى بعض الأملاح المنحلة من البيكربونات والكبريتات). كما أنها تتحلل بالماء وتعطي محلولاً قاعدياً يساعد أكثر في عملية التنظيف.

3– مواد إضافية متنوعة كالملمعات والألوان والروائح ومواد مضادة للتآكل وأخرى مانعة لإعادة تراكم الأوساخ بالإضافة لبعض الأنزيمات المنشطة لعملية التنظيف.

لقد بدأت مشاكل مساحيق الغسيل على البيئة منذ بداية النصف الثاني من القرن الماضي (العشرين) وتمثلت بتراكم الرغوة وصعوبة تفككها بوساطة البكتيريا الطبيعية فضلاً عن عرقلتها للتبادل الغازي بين الماء والهواء. وقد تبين فيما بعد أن سبب عدم التفكك يعود إلى العامل المنشط وليس إلى العامل المنظف كما كان يُعتقد في السابق. وتتوضح المشكلة البيئية أيضاً من الفوسفور الموجود في المساحيق الذي يشجع نمو الطحالب للدرجة التي قد يصبح فيها الأوكسجين غير كاف لتنفس الأحياء المائية المختلفة.

أما المبيدات Pesticides فهي مجموعة واسعة من المركبات العضوية بدرجة رئيسية وتضم عدة مجموعات أهمها (بالنسبة لتلوث المياه) مبيدات الحشرات Insecticides: مثل الهيدروكربونات الكلورية العضوية hydrocarbons Chlorinated كالالدرين و DDT والاندرين والكلورين،

والمركبات الفوسفورية العضوية Organdophosphorus compounds كالملاثيون والديازنون، ومركبات أخرى.

استخدام هذه المبيدات سلاح ذو حدين بخاصة إذا لم يُحسن استعمالها. وتصل إلى المجمعات المائية ومصادر المياه خلال عمليات الرش لاسيما الرش على الحقول الزراعية بالطائرات، وخلال تصريف مياه مجاري المصانع أو المنازل الحاوية على المبيدات.

تختلف مدة بقاء هذه المبيدات في البيئة. وتتراكم هذه المبيدات في أجسام الحيوانات وقد تنتقل عبر سلاسل الغذاء لتصل إلى جسم الإنسان فضلاً عن احتمالية إصابتها لبعض الأحياء المفيدة غير المقصودة بالمكافحة.

هناك دراسات واسعة عن المبيدات في العالم ومن بعض هذه الدراسات هو لأحد المبيدات التي استخدمت على نطاق واسع وهو مبيد ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإيثان dichlorodiphenyltrichloroethane أو كما يعرف باختصاره الشهير دي دي تي **DDT**. وقد تم تحضيره في عام 1874م ولم يُلفت النظر إلى أهمية استخدامه حتى عام 1939م، حيث استخدم بوصفه مبيداً للحشرات والقضاء على وباء التيفوس. وبعد مدة من الاستخدامات الواسعة فقد تم التوصل إلى أن لهذا المبيد أخطاراً وأضراراً على مختلف أشكال الحياة كالطيور والأسماك وصولاً إلى الإنسان. كما تبين أن لبعض الحشرات والأحياء الأخرى مقاومة فعالة ضد هذا المبيد، وذلك من خلال تحويله داخل أجسامها إلى مواد غير سامة. وتأتي المشكلة البيئية لهذا المركب من خاصيته في المقاومة العالية للتحلل الطبيعي وإمكانية تجميعه بصورة متسلسلة عبر أحياء السلسلة الغذائية Food chain طبقاً لظاهرة التراكم البيولوجي Biological amplification.

من الوسائل المعروفة لتلويث المياه بهذا المبيد الرش المباشر للمياه والرش غير المباشر بوساطة الطائرات عند رش الحقول الواسعة أو الغابات وغسل الجو المحمل به بوساطة الأمطار وأخيراً انجراف السيول المارة بالتربة الملوثة بهذا المبيد. إن درجة ذوبان هذا المبيد في الماء قليلة لا تتجاوز 1.2 جزء بالمليون، لذلك فقد منع استعماله في العديد من دول العالم رغم معارضة البعض القائمة على اعتبارات فوائد استخدامه في الأغراض المختلفة والمتعددة. وما زال العلماء منهمكين في إيجاد بدائل مناسبة لهذا المبيد الخطير.

أما بخصوص الكيماويات الصناعية التركيبية الأخرى فإنها تشمل على قائمة من المواد الخطرة التي يصعب تحللها طبيعياً مثل ثنائي الفينول متعدد الكلور وحامض الكلوروفيونوكسي والفوسفات العضوية ومجموعة مواد الكاربامايت.

هناك حالات معروفة لانقراض أصناف عديدة من الطيور والفراشات بسبب استخدام المبيدات في مناطق محدودة من العالم, كما أن المبيدات الفطرية fungicides غالباً ما تحتوي على بعض المعادن السامة كالزرنيخ والكبريت والنحاس والزنك والزئبق. لذا فقد تم استبدالها حديثاً ببعض المستحضرات العضوية. وهناك مبيدات الأعشاب Herbicides: مثل مشتقات حامض الفينوكسي خليك Phenox acetic acid derivatives ومن أهمها مبيد الأعشاب المعروف باسم 4.2– D وغيره مثل الأميترول والدايكوات والباراكوت وغيرها والتي لها تأثير كبير على البيئة المائية فيما لو وصلت إليها.

رابعاً: المغذيات النباتية Plant nutrients

هي العناصر المغذية الأساسية للنباتات Essential elements، والتي تنتقل من الأراضي الزراعية المسمدة بها ومن المواد المتدفقة من المصانع ومحطات معالجة مياه المجاري. وتقوم هذه العناصر بتحفيز نمو العديد من الطحالب والنباتات المائية الأخرى. ويبرز من بين أهم تلك المغذيات المواد الغنية بالنتروجين (الآزوت) والفوسفور يؤدي وجودهما في المياه إلى ظاهرة **الإثراء الغذائي Eutrophication** والتي تحدث طبيعياً أو بتأثير الأنشطة البشرية. وتقوم هذه المواد بدعم نمو النباتات المائية السطحية كالطحالب وبذلك تتناقص عمليات التبادل الغازي بين الجو والمياه، و تبدأ الأحياء المائية الأخرى في الطبقات السفلى بالموت والتحلل فتزداد الحاجة لاستهلاك الأوكسجين، وبذلك ستموت العديد من الأحياء المائية بخاصة الأسماك ويؤدي نشاط البكتيريا اللاهوائية إلى إطلاق الروائح الكريهة.

إن قياس الإثراء الغذائي وتأثيراته يعتمد على مجموعة من الوسائل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. ومن الضروري مراقبة وتتبع المورد الغذائي اعتماداً على **قانون ليبج** للحد الأدنى الذي يؤكد أن المادة الغذائية الضرورية والموجودة بأقل كمية نسبية هي التي تحدد نمو النبات.

إن التحكم في تدفق المواد النيتروجينية والفوسفورية من الأمور الصعبة وذلك لإمكانية وصولها إلى الماء من مصادر عديدة كالمرافق العامة ومياه المصانع غير المعالجة ومن مياه الأمطار وفضلات

المدن والمزارع والمياه الجوفية ومخلفات الحيوانات المختلفة وتحلل أجسامها ومن عمليات تثبيت النيتروجين الجوي.

ووضعت عدة **مقترحات** للسيطرة على الإثراء الغذائي يقف في مقدمتها منع وصول وتدفق المغذيات النباتية إلى المياه كالفوسفور والنتروجين والحديد وغيرها.

كما أن التحكم بإزالة الفوسفات من المنظفات المنزلية من الوسائل الناجحة رغم صعوبة إيجاد بدائل لهذه المنظفات خالية من الفوسفات. كما يمكن التحكم في نمو الطحالب بالطرق الكيميائية بخاصة استخدام كبريتات النحاس ومركب عضوي آخر هو ثنائي كلورونافئوكينون كمادة مزيلة للطحالب الخضراء المزرقة, وله مشاكله الأخرى المتمثلة بظهور أنواع من الطحالب المقاومة فضلاً عن الأضرار التي تصيب الأنواع غير الضارة الأخرى من الأحياء المائية. كما يمكن إدخال أنواع من الأسماك التي تقتات على النباتات ومنها الطحالب لتحد من انتشارها. أو إصابة النباتات بأمراض فيروسية للقضاء عليها. أو تعطيل عمل مركبات الفوسفور باستخدام أملاح مثل كبريتات الألمنيوم لتحويلها إلى معقدات غير قابلة للامتصاص من قبل النباتات.

خامساً: الكيماويات غير العضوية والمواد المعدنية Inorganic chemical and mineral substances

تشمل المواد الحامضية والقاعدية اللاعضوية والمعادن الثقيلة وغيرها من المواد المتدفقة من تصريف مياه المناجم والمصانع والمعامل وغيرها. وتكون معظم المياه الحامضية الناتجة من المناجم آتية من مناجم الفحم بخاصة المناجم المهجورة تحت الأرض. كما أن مياه بعض المناجم ذات خواص قلوية أقل ضرراً من المياه الحامضية.

إن زيادة سرعة تسرب المعادن الثقيلة Heavy metals إلى البيئة تعود إلى وفرتها في الطبيعة، حيث هناك 84 عنصراً معدنياً من بين 106 عناصر (معروفة حتى الآن) ذات تأثير ضار على البيئة المائية. علماً أن من بين هذه العناصر ما هو من تحضير الإنسان. وتتسرب هذه العناصر إلى البيئة المائية عن طريق المخلفات الصناعية وتؤدي إلى تلويثها، كما أن بعضها يأتي عن طريق المطر والبعض الآخر بوساطة الانجراف والسيول والتعرية الأرضية.

تترسب هذه العناصر في أنسجة وأجسام الكائنات الحية من نباتات أو حيوانات وغيرها فتحدث أضرارا مهلكة.

سادساً: الترسبات Sediments

تشمل حبيبات التربة والحبيبات الرملية والمعدنية التي تنجرف من اليابسة لتترسب في قاع الأنهار والبرك والبحيرات وغيرها وتعمل هذه الترسبات على إخماد الحياة في القاع فتضر كثيراً بحياة الحيوانات القاعية كالمحار والمرجان والقواقع والديدان وغيرها. كما أن هذه الترسبات تعمل على ملئ الخزانات وطمر قيعان الموانئ والشواطئ. وتعد عمليات تعرية التربة من أهم مصادر الترسبات فضلاً عن أنشطة الإنسان الحضرية والتعدينية مثل حراثة الأراضي وحفرها لأغراض إنشاء الأبنية والتعدين السطحي وشق الطرق.

إن أكثر أنواع الترب ترسيباً في المياه هي الرمال (SiO_2) أما الترب الطينية (سليكات الألمنيوم) فقد تبقى معلقة لفترات مختلفة تعتمد على طبيعة سكون وجريان المياه.

للترسبات آثار سلبية عندما تكون عالقة في المياه فهي تقلل نفاذية الضوء مما تؤثر سلباً في عملية البناء الضوئي للهائمات النباتية في عمود الماء, فضلاً عن كونها تجعل المياه غير صالحة للاستعمالات المنزلية والصناعية.

سابعاً: المواد المشعة Radioactive substances

تصل المواد المشعة إلى المياه قادمة من القشرة الأرضية بصورة مباشرة حيث توجد بشكل طبيعي منتشرة في البيئة دون تدخل الإنسان. غير أن هناك العديد من المواد المشعة من صنع فعاليات الإنسان كعمليات تعدين خامات المواد المشعة واستعمالاتها في إنتاج الأسلحة النووية أو في إنتاج الطاقة الكهربائية. ومع أن التفجيرات النووية تحت الأرض قد تقلصت كثيراً مما قلل من كميات الإشعاع المسربة إلى البيئة، إلا أن الشقوق التي تدخل عن طريقها القنابل إلى باطن الأرض لا تستطيع مقاومة الانفجار بل إنها سوف تتشقق بصورة أكبر مما تؤدي إلى انهيار الصخور والطبقات الأرضية وإلى زيادة التجاويف والتسرب الإشعاعي.

من أهم المواد المشعة وأخطرها على البيئة هي الثوريوم –320 والراديوم –226 حيث تتسرب هذه العناصر إلى البيئة المائية بفعل الأمطار وهما يشبهان الكالسيوم في الامتصاص من قبل العظام. وتحتوي خامات اليورانيوم العادية من 1–3 كغ من أوكسيد اليورانيوم U_2O_3 في الطن الواحد، مما يستدعي حفر كميات كبيرة من الراضي للحصول عليه.

كما أن استخدام المياه في تبريد المفاعلات النووية من أكبر المصادر في تلويث مصادر المياه بالمواد المشعة في تلك المناطق في الوقت الحاضر.

ثامناً: التلوث الحراري Thermal Pollution

يُعرّف **التلوث الحراري** بأنه حالة الحرارة الزائدة في المسطحات المائية الناجمة عن مصادر مختلفة وسوف يؤدي ذلك إلى خفض كميات الأوكسجين المذابة في المسطح المائي مما يؤثر على مختلف أشكال الحياة في المياه. وتأتي مصادر الحرارة الزائدة من خلال استخدام المياه في محطات توليد الطاقة الكهربائية والمفاعلات النووية ومعامل الحديد والصلب ومعامل تكرير النفط وغيرها من الصناعات التي تطرح في مصادر المياه القريبة كميات هائلة من المياه الساخنة التي ترفع من درجة حرارة تلك المصادر المائية حيث يتعدى ضرر نقص الأوكسجين المذاب إلى إحداث زيادة في التفاعلات الكيميائية من وجهة نظر ثيرموداينامية وبذلك تزداد أنشطة العمليات الأيضية مما يضر بالأحياء بخاصة الأسماك. هذا مع العلم أن التلوث الحراري يتميز بتأثيره الموضعي مقارنة بالملوثات الأخرى.

المعالجة والحد من تلوث المياه

عند معالجة الفضلات المتطلبة للأوكسجين والتي تعمل على رفع قيمة BOD فإن التركيز ينصب على السيطرة في منع أو تقليل تدفق الفضلات المتطلبة للأوكسجين والمغذيات النباتية إلى مصادر المياه الطبيعية.

بخصوص العوامل المسببة للأمراض فإنه من الضروري التوصل إلى المعايير البكتيرية والفيروسية لجودة ونوعية مياه الشرب أو الاستحمام. ويبدو أن الأمر لا يتجاوز وسيلة استخدام عمليات إضافة الكلور إلى المياه قبل استخدامها. غير أنه من المعلوم عدم جدوى هذه المعالجة بالنسبة لمياه المجاري حيث أن بقاء جزء من الكلور الحر في الماء حتى 4.3 % كاف لقتل الأسماك وتعطيل دورة التحلل البيولوجي المسؤولة عن التنظيف الذاتي للمياه.

وعن المواد العضوية التركيبية فقد تم التوصل إلى إنتاج بعض المركبات البديلة للفوسفات ومنها الملح الصوديومي لمادة النيترولي ثلاثي حامض الخليك NTA

(Sodium salt of nitrolitriacetic acid) وذلك لرخص ثمنه وسهولة تحضيره وقابليته للتحلل البكتيري وحجزه للأيونات المسببة لقساوة الماء حيث يكون مع هذه الأيونات معقدات ثابتة ودائمة في الماء. وما تزال الأبحاث جارية للحصول على بدائل أخرى بخاصة بعد أن أظهرت استخدامات NTA مشاكل في التحلل بالبكتيريا اللاهوائية.

يجري العمل على تحضير بدائل للمبيدات على أن تكون قابلة للتحلل البيولوجي مع تأكيد الحد والتقليل من استخدامها واللجوء إلى طرق المكافحة الحيوية للآفات والأمراض. كما أن هناك طرقا مبتكرة أخرى تعتمد على استعمال الجاذبات الكيميائية (الفرمونات) للحشرات الضارة حيث تجمع وتقتل هذه الحشرات أو بوساطة السيطرة الجينية التي تنتج ذكوراً عقيمة فضلاً عن عمليات السيطرة الهرمونية وغيرها من البدائل التي يعول عليها في مجال بدائل المبيدات الكيميائية.

تعتمد طرق إزالة المعادن الثقيلة في المياه على ترسيبها كيماوياً عن طريق تحويلها إلى مركبات غير سامة أو حصرها في مواقع معينة لتقليل تأثيرها وانتشارها وأضرارها. وهناك طرق عديدة لتنقية المياه وتخليصها من المواد الملوثة تعتمد على نوعية المياه المراد تنقيتها وطبيعة الملوثات التي تحتويها هذه المياه. كمياه المجاري مثلا حيث تعالج معالجة أولية Primary treatment وتعتمد على وسائل فصل الكتل الصلبة أولاً بوساطة شباك التصفية واستخدام الحصى والطحن والتلبيد والترسيب. أما المعالجة الثانوية Secondary treatment فتشمل طرق الأكسدة البيولوجية للمواد الغروية والعضوية بوجود الكائنات الحية الدقيقة. أما المعالجة الثالثة Tertiary treatment فقد تستخدم للحصول على نوعية جيدة جداً من المياه حيث يتطلب الأمر تخليص المياه من البكتيريا والمواد والمركبات السامة الضارة كافة فضلاً عن إزالة المواد المغذية وتستخدم المعالجة الأولية فقط في حالة التوجه إلى رمي المياه في البحار، بينما تكون المعالجة الثانوية ضرورية للتوجه إلى إلقاء المياه مجدداً في المصادر المائية. أما المعالجة الثالثة فيراد منها إعادة استخدام المياه في الشرب مجدداً.

تحتاج مياه المخلفات الصناعية إلى طرق تنقية أعقد تبدأ من وسائل التخثير والترسيب لغرض إزالة المواد المذابة والعالقة والمستحلبة ثم عمليات التعويم لجعل المواد تطفو على سطح الماء كما تضاف المواد القلوية لرفع الأس الهيدروجيني PH للفضلات الحامضية. وقد يستخدم التقطير

لفصل المواد العضوية والمذيبات، وقد تبرز الحاجة إلى طرق الأكسدة أو إجراء عمليات أخرى أكثر تعقيداً لإزالة المواد شديدة السمية.

تلوث المياه بالنفط Oil Pullution

ينتج تلوث المياه بالنفط من خلال عبور ناقلات النفط عبر البحار والمحيطات حيث تتسرب زيوت النفط ومشتقاته إلى المياه نتيجة بسبب غرق بعض الناقلات أو عند تنظيف خزاناتها أو قذف المنتجات الصناعية ومنتجات مصافي النفط في المياه مما يُلحق الضرر بالأحياء المائية.

بعد تكرار حوادث تسرب النفط في العديد من بلدان العالم كما حصل للناقلة توري كانيون Torry canyon التي تزيد حمولتها على 100 ألف طن التي لوثت الشاطئ الغربي في إنكلترا عام 1967، فقد زاد اهتمام الدول في معالجة تلوث المياه بالنفط.

لقد سبب التلوث النفطي كوارث متعددة حيث أدى إلى موت الملايين من الأسماك والطيور والعديد من النباتات والحيوانات البحرية أو تلك التي تعيش في مجاري الأنهار الكبيرة التي تستخدم في النقل التجاري للنفط. ويتم تأكيد سلامة عمليات التحميل في الموانئ النفطية البحرية واتخاذ إجراءات الوقاية ومنها إنشاء أرصفة التحميل النفطي وإنشاء الأجهزة الخاصة بمعالجة المياه التي تطرحها البواخر قبل إلقائها مجدداً في مياه البحر. وهناك العديد من طرق المعالجة مثل طريقة استعمال الأحزمة أو الحواجز الطافية أو العوامات البحرية التي يمكنها فصل النفط ومنع انتشاره. وقد صممت بواخر خاصة لهذه المهمة.

كما تُستخدم المواد الماصة التي تعرقل حركة الكتل النفطية جزئياً ثم يتم جمعها والتخلص منها بالحرق أو بترسيبها في القاع عندما يزداد ثقل المواد الماصة بعد التصاقها بجزيئات النفط. وتستخدم لهذا الغرض أيضاً العديد من المواد العضوية واللاعضوية كالحشائش الجافة والأعشاب البرية والقش والتبن ونشارة الخشب والصوف الزجاجي أو بعض الكيماويات النفطية المصنعة على شكل رغوة مثل البولي يورثين والنايلون والبولي إيثر والبولي اثيلين. وتعتمد الكمية المستخدمة من أي من هذه المواد على حجم مساحة ولزوجة النفط المراد التخلص منه. وتُرش هذه المواد بوساطة الشباك الدقيقة حيث يتم التخلص منها لاحقا بالحرق أو باستعادة المواد النفطية منها.

هناك طرق ميكانيكية لإزالة النفط تتمثل باستخدام طرق المص أو القاشطات أو استخدام أجهزة الحزام الناقل. وتُوجد طرق كيماوية لإزالة وتبديد البقع النفطية تعتمد أساساً على تسهيل عملية التكسير والتحلل البيولوجي. كما تُستخدم بعض المواد الكيميائية الجيلاتينية والتي يمكن جمعها لاحقا باستخدام التيارات الهوائية. وتعد عمليات استخدام المواد الكيميائية أو اللجوء إلى حرق البقع الزيتية هي من أكثر المعالجات ضرراً على البيئة المائية من التلوث نفسه.

أما الطرق البيولوجية لإزالة النفط فتعتمد على استعمال أنواع من البكتيريا التي تعمل على الأكسدة الحيوية للهيدروكربونات وتحويلها إلى مواد أبسط وهي برافينات ذائبة في الماء أقل خطورة.