تلوث المياه

Water Pollution

د. صخر عجوز

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.

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.

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.

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.

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.

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.

ووضعت عدة مقترحات للسيطرة على الإثراء الغذائي:

1. منع وصول وتدفق المغذيات النباتية إلى المياه كالفوسفور والنتروجين والحديد وغيرها.
2. التحكم بإزالة الفوسفات من المنظفات المنزلية من الوسائل الناجحة رغم صعوبة إيجاد بدائل لهذه المنظفات خالية من الفوسفات.
3. التحكم في نمو الطحالب بالطرق الكيميائية بخاصة استخدام كبريتات النحاس كمادة مزيلة للطحالب الخضراء المزرقة.
4. إدخال أنواع من الأسماك التي تقتات على النباتات ومنها الطحالب لتحد من انتشارها.
5. إصابة النباتات بأمراض فيروسية للقضاء عليها.

6. 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.

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.

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

1. منع أو تقليل تدفق الفضلات المتطلبة للأوكسجين والمغذيات النباتية إلى مصادر المياه الطبيعية.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. 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 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.

إجراءات الحد من تلوث المياه بالنفط :

1. التأكيد من سلامة عمليات التحميل في الموانئ النفطية البحرية واتخاذ إجراءات الوقاية ومنها إنشاء أرصفة التحميل النفطي.
2. إنشاء الأجهزة الخاصة بمعالجة المياه التي تطرحها البواخر قبل إلقائها مجدداً في مياه البحر.

طرق معالجة تلوث المياه بالنفط:

1. استعمال الأحزمة أو الحواجز الطافية أو العوامات البحرية التي يمكنها فصل النفط ومنع انتشاره. وقد صممت بواخر خاصة لهذه المهمة.
2. استخدام 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.

3. هناك طرق ميكانيكية لإزالة النفط تتمثل باستخدام طرق المص أو القاشطات أو استخدام أجهزة الحزام الناقل.
4. 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.
5. 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.

د. صخر عجوز