تلوث المياه
Water pollution

مقدمة:

الماء هو سائل الحياة، جوهر وجودنا وأساس استمرارية كل كائن حي. تأتي أهمية الماء للإنسان بعد الأكسجين مباشرة، فهو شريان نشاطاته اليومية، من الشرب والغذاء إلى الصناعة والزراعة. يشكل الماء داخل أجسامنا أكثر من 60% من تكوين البالغين، وهو المحرك الأساسي للعمليات الحيوية التي تنظم حرارة الجسم وتخلصه من الفضلات. ولكي يؤدي هذه الوظائف بكفاءة، يجب أن يكون هذا الماء **نقياً**.

ولكن هل أدركنا حقاً قيمة هذا المورد الثمين؟ تأملوا هذه الحقائق الصادمة: على الرغم من أن الماء يغطي 71% من كوكبنا، فإن المياه العذبة الصالحة للاستخدام البشري لا تمثل سوى **أقل من 1 %**من إجمالي مياه الأرض. ومع ذلك، يعاني اليوم ما يقرب من 6 مليارات شخص من نقص المياه، ويموت طفل كل دقيقتين بسبب مرض مرتبط بتلوث المياه.

هنا يبرز السؤال المحوري لمحاضرتنا: كيف يحول التلوث هذه الهبة الإلهية من مصدر حياة إلى ناقل للأمراض والموت؟ وكيف نحمي ما تبقى لنا من هذا المورد النادر؟

إن المياه ليست مجرد ضحية للجفاف، بل هي مرآة عاكسة لأنشطتنا. فمياه الأمطار التي نعتقد أنها الأكثر نقاءً، تذيب الغازات الملوثة في الجو (مكونة الأمطار الحمضية)، ثم تجرف على الأرض المخصبات والمبيدات والفضلات لتلقي بها في أنهارنا وبحيراتنا. ورغم أن معظم تجمعاتنا البشرية تقع على ضفاف هذه المجاري المائية، فإن قدرتها على التنقية الذاتية لم تعد تتناسب مع حجم التلوث الذي نلقيه بها. ولهذا فإن حماية مصادر المياه لم تعد ترفاً بيئياً، بل أصبحت مسألة بقاء.

مصادر المياه:

تنقسم مصادر المياه التي يمكن استعمالها لإمداد التجمعات السكنية بالمياه إلى:

1- المياه الجوية (مياه المطار):

هي كل ما أمطرته السماء من مطر وثلج وبرد. وهي بالنسبة لغيرها من أنقى المياه في طبيعتها. ولكنها تتلوث قليلا أو كثيرا بما تجرفه أو تذيبه أثناء نزولها من غبار الهواء وغازاته

ولاسيما في بدء المطر. فلو جمعت هذه المطار بعد بدء المطر في كل مرة، كانت هذه الأمطار نقية، ولكنها فقيرة بالأملاح.

2- المياه الجوفية (الآبار السطحية والارتوازية):

وهي المياه الغائرة في التربة، وتذيب هذه المياه أثناء تسربها في مسام الأرض نسبة كبيرة من الأملاح التي تقابلها. ويمكن القول بصفة عامة، أنه يفضل باستمرار الاعتماد على المياه الجوفية كمصدر للمياه، مادامت تتوفر بكميات مناسبة صالحة للاستعمال من ناحية عدم احتوائها على أملاح تزيد عن الحدود المقررة دولياً أو مسببات التلوث التي تمنع استعمالها. وتستخرج المياه الجوفية من الآبار، ويفضل صحياً الآبار العميقة التي تخترق القشرة الأرضية الصماء نظراً لأنها تعمل كحاجز يمنع وصول الملوثات إليها. وتعد الينابيع من المصادر الطبيعية للمياه الجوفية وهي كغيرها عرضة للتلوث عند فوهة الينبوع ومن المفروض المحافظة عليها.

3- المياه السطحية (الأنهار والبحيرات):

هي المياه التي على سطح الأرض وتكون إما جارية كالأنهار أو راكدة كالبحيرات العذبة. وبالرغم من التلوث الشديد الذي تتعرض له المياه السطحية (جرفها لأجسام ومواد مختلفة وجراثيم – طرح مخلفات الإنسان والصناعة دون معالجة) فإنها تعد المصدر الرئيسي لإمداد التجمعات السكنية الكبيرة بالمياه. وهنا لابد من التأكيد على ضرورة معالجتها قبل الاستعمال لتحسين الصفات الطبيعية للمياه (إزالة العكارة، قتل الجراثيم ولاسيما الجراثيم الممرضة على سبيل المثال).

تلوث المياه Water pollution:

تعرف منظمة الصحة العالمية (1961) **تلوث المياه العذبة** بأنه: تغير تركيب عناصر الماء أو حالته بشكل مباشر أو غير مباشر، بسبب نشاطات الإنسان، بحيث تصبح هذه المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها. هذا التعريف يركز على التغير البشري المنشأ. غير أنه من الناحية العلمية يمكن أن يتعرض الماء أيضاً لتغيرات طبيعية (مثل زيادة الأملاح بسبب ثورات براكين قاع البحار، أو ورود الطمي والغرين بفعل السيول)، وهذه تسمى **التلوث الطبيعي المنشأ** أو التلوث الجيولوجي. ولكن الفارق الجوهري هو أن التلوث الطبيعي يبقى غالباً ضمن قدرة الطبيعة على التنقية الذاتية (باستثناء المواد المشعة وبعض الملوثات الطبيعية الأخرى)، بينما **التلوث البشري** المنشأ يكون مستمراً ومتراكماً ويحمل مركبات غريبة عن البيئة) كمبيداتDDT ، والمركبات الصناعية، والمواد المشعة النووية، لذلك ستركز هذه المحاضرة على التلوث البشري بوصفه الأشد خطورة.

المؤشرات العملية والمخبرية لتلوث المياه:

لا يمكن الاعتماد على الحواس وحدها للكشف عن جميع أنواع التلوث، ولكنها تصلح كمؤشرات أولية سريعة.

المؤشرات الحسية:

- طعم غير مستساغ لماء الشرب.
- ازدهار الطحالب الخضراء المزرقة على سطح الماء.
- روائح كبريتيد الهيدروجين (تشبه البيض الفاسد) بالقرب من الشواطئ.
- تناقص أعداد الأسماك والطيور المائية.
- ظهور بقعة نفطية أو طبقة لامعة على سطح الماء.

ولكن هذه المؤشرات النوعية تحتاج إلى تأكيد بوسائل كمية مخبرية.

المؤشرات التحليلية الأساسية:

1. **مؤشرات استهلاك الأكسجين (خاصة بالتلوث العضوي):**

- **الطلب الحيوي للأكسجين (BOD)** يقيس كمية الأكسجين التي تستهلكها البكتيريا الهوائية خلال خمسة أيام عند درجة حرارة 20 °C لأكسدة المادة العضوية القابلة للتحلل. الماء النقي له BOD أقل من 1 جزء/مليون، والمياه المقبولة للاستخدامات العامة تكون BOD ≤ 3 أجزاء/مليون. أما مياه الري فتسمح منظمة الأغذية والزراعة (FAO) بقيم تصل إلى 30 جزء/مليون للري غير المقيد، وحتى 50 جزء/مليون لري المحاصيل الحقلية في تربة جيدة التهوية.
- **الطلب الكيميائي للأكسجين (COD)** يقيس أكسدة المادة العضوية (بما فيها الصعبة التحلل بيولوجياً) بواسطة مؤكسد كيميائي (ديكرومات البوتاسيوم) خلال ساعتين. يعطي COD قيماً أعلى منBOD ، والفرق بينهما يدل على وجود مواد عضوية مقاومة للتحلل الحيوي.
- **الكربون العضوي الكلي (TOC)** يعبر عن الكمية الإجمالية للكربون المرتبط في المركبات العضوية الموجودة في عينة ماء. وبعبارة أخرى هو تقدير كمية المادة العضوية (سواء كانت قابلة للتحلل أو صعبة التحلل) الموجودة في الماء معبراً عنها بوحدة ملغ/لتر أو جزء/مليون. ويقاس بحرق كامل للمادة العضوية عند 900-1000 °C وتحويل الكربون إلى CO_2 ويتميز بالسرعة (دقائق) والدقة.

2. المؤشرات البكتيرية (الدليل الحيوي على التلوث البرازي):

تستخدم بكتيريا **الإشريكية القولونية (E. coli)** كدليل حيوي على التلوث البرازي الحديث. ومن المهم تصحيح معلومة شائعة: معظم سلالات الإشريكية القولونية غير ممرضة بل مفيدة في الأمعاء البشرية، ولكن وجودها في الماء يعني أن الماء قد تلوث ببراز بشري أو حيواني، وبالتالي يحمل احتمال وجود ممرضات حقيقية مثل السالمونيلا، الفيروسات المعوية، والطفيليات (كالجيارديا). ولذلك تشترط منظمة الصحة العالمية أن تكون مياه ري الخضروات التي تؤكل طازجة (كالخس، البقدونس، الفراولة) خالية تماماً من الإشريكية القولونية في كل 100 مل. أما لري الأشجار المثمرة أو المحاصيل التي تطهى حرارياً فيمكن قبول تعداد يصل إلى 1000 بكتيريا قولونية لكل 100 مل، بشرط التوقف عن الري قبل الحصاد بفترة كافية.

ملوثات المياه:

هناك عدة طرق لتصنيف ملوثات الماء ويعتبر التصنيف التالي هو الأكثر استعمالاً من قبل أكثر وكالات حماية البيئة في العالم:

1. الفضلات المستهلكة للأكسجين
2. العوامل الممرضة (المعدية)
3. المواد الكيميائية اللاعضوية
4. المبيدات والمركبات العضوية المصنعة
5. الترسبات (المواد الصلبة العالقة)
6. المواد المشعة
7. المغذيات النباتية
8. النفط ومشتقاته
9. الطاقة الحرارية (التلوث الحراري)

وبشكل عام لا يمكن تجنب بعض التشابك بين الفئات الواردة فيما ذكر سابقاً لأن بعض الفضلات تشمل أكثر من ملوث واحد. فمثلا مياه المجاري هي من الفضلات المستهلكة للأكسجين ويمكن أن تحتوي أيضاً على عوامل مسببة للأمراض ومغذيات النبات.

أهم مصادر تلوث الماء:

أولاً: الفضلات المتطلبة للأوكسجين

تشمل المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي والتي تصل إلى المياه من مياه المجاري المنزلية، ومخلفات الصناعات الغذائية، ومياه الصرف الصحي الزراعي، بالإضافة إلى مخلفات الثروة الحيوانية (الروث والبول) في المزارع الكبيرة. عندما تتحلل هذه المواد العضوية بواسطة البكتيريا الهوائية، فإنها تستهلك الأكسجين المذاب في الماء (DO). عندما ينخفض الأكسجين المذاب عن 4 ppm تبدأ الأسماك واللافقاريات الهوائية بالاختناق والموت. وفي الحالات الشديدة يصل الأكسجين إلى الصفر وتتحول البيئة المائية إلى ظروف لاهوائية ينتج عنها غازات كريهة مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والأمونيا (NH_3). والجدول التالي يلخص العلاقة بين مستوى التلوث العضوي وقيم BOD وDO

جدول (1): العلاقة بين التلوث العضوي وقيم BOD و DO وتأثيرها على الحياة المائية

التأثير على الحياة المائية	الأكسجين المذابDO ppm	قيمةBOD ppm	مستوى التلوث
حياة طبيعية	8-10	أقل من 1	ماء نقي جداً
مقبول	6-8	2-3	ماء مقبول للاستخدام العام
إجهاد للأسماك الحساسة	4-5	5-10	ماء ملوث بشكل متوسط
موت جماعي، روائح كريهة	أقل من 2	أكثر من 20	ماء ملوث بشدة

ثانياً: العوامل المسببة للمرض (المعدية):

تشمل البكتيريا والفيروسات والطفيليات والأوليات التي تدخل المياه مع فضلات الإنسان أو الحيوان. وفقاً لمنظمة الصحة العالمية لعام 2022 يموت سنوياً حوالي 1.4 مليون شخص بسبب الأمراض المنقولة بالمياه الملوثة، ويعاني نحو ثلثي سكان العالم من عدم توفر مياه آمنة

خالية من المسببات المرضية. أما في الزراعة فإن الخطر الأكبر يكمن في انتقال هذه الممرضات إلى الخضروات والفواكه التي تؤكل نيئة عند ريها بمياه غير معالجة أو عند غسلها بمياه ملوثة. وقد سجلت حالات تفشٍ واسعة للأمراض المنقولة بالغذاء بسبب بكتيريا الإشريكية القولونية السلالة الممرضة (O157:H7) والسالمونيلا، وكان مصدرها مياهاً زراعية ملوثة بالبراز.

ثالثاً: المواد الكيميائية اللاعضوية:

تشمل هذه الفئة جميع المركبات الكيميائية التي لا تحتوي على الكربون في تركيبها الأساسي (ما عدا بعض الاستثناءات مثل الكربونات والسيانيدات البسيطة). تصل هذه المواد إلى المياه من مصادر طبيعية (تجوية الصخور، تسرب الأملاح من الطبقات الأرضية) ومصادر بشرية (الصرف الصناعي، الأسمدة، مياه الصرف الصحي، جريان المياه فوق الأراضي المالحة). تكمن خطورتها في تأثيرها المباشر على صحة الإنسان والحيوان والنبات، وعدم قابليتها للتحلل (معظمها ثابت في البيئة). تنقسم هذه الفئة إلى أربع مجموعات رئيسية:

أ – المعادن الثقيلة، ب – الملوحة والأملاح، ج – النترات والمركبات النيتروجينية، د – الكبريتات والكلوريدات والسيانيد والأمونيا.

أ- المعادن الثقيلة:

تصل المعادن الثقيلة مثل الزئبق، الرصاص، الكادميوم، الزرنيخ، النحاس، والزنك إلى المياه من المخلفات الصناعية والتعدينية، ومن بعض الأسمدة الفوسفاتية غير النقية، ومن مياه الصرف الصحي غير المعالجة. وتكمن خطورة هذه المعادن في أنها غير قابلة للتحلل، وتبقى في التربة والماء لمئات السنين، وتتراكم في أنسجة الكائنات الحية (التراكم الحيوي).

أخطرها هو **الزئبق**: إن سمية الزئبق قد ظهرت بعد حادثة التسمم لسكان منياماتا Minamata في اليابان عام 1956، وذلك نتيجة لاستهلاك السكان كميات كبيرة من الأسماك المراكمة لهذا العنصر حيث وصل تركيز الزئبق لـ 50 جزء بالمليون وحسب الإحصائيات مات 234 شخص ولحق ضرر كبير بأكثر من 30 ألف شخص آخرين. تتجلى الآثار السمية للزئبق بإصابة خطيرة للجهاز العصبي المركزي مما يؤدي إلى اضطرابات حركية واضطرابات في الرؤية ورجفان، اضطرابات في النطق والعمى والصمم وبعد ذلك فقدان الوعي ثم الموت، كما وجد أن الزئبق يؤدي إلى التشوهات الجنينية. تقوم الأحياء المائية (قشريات ورخويات) بتحويل الزئبق المعدني إلى زئبق عضوي هو ميتيل الزئبق (CH_3Hg) الشديد السمية للمخ

والمخيخ ويخرب الخلايا العصبية. أيضا قد سبب استعمال مبيدات الفطور الزئبقية في حقول الأرز مشكلات كثيرة للسكان في اليابان. لذلك حاليا حددت نسبته في المبيدات الفطرية بـ 350 ملغ/طن = 0.3 ppm، بينما في مياه الشرب الحد المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية هو 1 ميكروغرام/لتر.

وقد وضعت منظمة الصحة العالمية ومنظمة الفاو حدوداً قصوى لتراكيز هذه المعادن في مياه الري ومياه الشرب، كما في الجدول التالي.

جدول (2): الحدود القصوى لبعض المعادن الثقيلة في مياه الري حسب WHO/FAO

المعدن	الحد الأقصى في مياه الري µg/l	التأثير السمي الرئيسي
الكادميوم(Cd)	10	تلف الكلى – هشاشة العظام
الرصاص(Pb)	5	تلف عصبي – فقر دم
الزئبق(Hg)	2	اضطراب الجهاز العصبي المركزي
الزرنيخ(As)	100	مسرطن – تغيرات جلدية

لمعالجة المعادن الثقيلة قبل الري يمكن استخدام الترسيب الكيميائي (تحويلها إلى مركبات غير ذائبة)، أو التبادل الأيوني براتنجات متخصصة، أو الترشيح بالأغشية النانوية، أو تقنية المعالجة بالنباتات (Phytoremediation) .

💡 **النباتات مفرزة للتراكم** (Hyperaccumulators):

هي نباتات متخصصة طورت قدرة فريدة على امتصاص تركيزات عالية من المعادن الثقيلة والملوثات من التربة أو الماء، وتخزينها في أنسجتها الخضرية (الأوراق والسيقان) دون أن تتعرض للتسمم. تلعب هذه النباتات دوراً أساسياً فيما يُعرف **بالمعالجة النباتية** (Phytoremediation) لتنظيف البيئة.

أهم خصائص وأنواع هذه النباتات تشمل ما يلي:

آلية العمل:

- الامتصاص: تسحب جذور النباتات الأيونات المعدنية من التربة بتركيزات تتجاوز بمئات أو آلاف المرات الكميات التي تتحملها النباتات العادية.
- النقل والتخزين: تنقل المعادن بسرعة عبر نظام الأوعية وتخزنها في الفجوات العصارية للخلايا أو تعزلها بمركبات كيميائية لتجنب التأثير السام.

أبرز الأمثلة وأنواع الملوثات:

تستهدف كل نبتة عادةً نوعاً معيناً من الملوثات أو المعادن:

- نبات الخردل الهندي (Indian Mustard) ممتاز في امتصاص الرصاص، الكادميوم، النحاس، ويُستخدم أيضاً لاستخراج النظائر المشعة.
- نبات السرخس الصيني (Pteris vittata) من أكثر النباتات فاعلية في استخلاص الزرنيخ من التربة.
- نبات عباد الشمس (Sunflowers) يستخدم بفعالية لامتصاص الزنك، النحاس، والمنغنيز، بالإضافة إلى قدرته على تنقية المياه الملوثة.
- نبات القنب (Hemp) يتراكم فيه الكادميوم والنيكل والرصاص بمعدلات عالية.
- شجرة الصنوبر الصفصاف(Willows) تُستخدم بكثرة في التحكم الهيدرولوجي وامتصاص الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة من المياه الجوفية .

ب- الملوحة:

وهي من أكبر مشكلات المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تشكل معظم الأراضي الزراعية العربية.

الملوحة هي ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة الكلية(Total Dissolved Solids - TDS) ، وأكثرها شيوعاً كلوريد الصوديوم، كلوريد الكالسيوم، كبريتات المغنيسيوم، وبيكربونات الكالسيوم.

تصل الأملاح إلى المياه الزراعية من خلال:

- التبخر الشديد للمياه في الأحواض المائية المغلقة (تركز الأملاح).
- الري بالمياه الجوفية المالحة (خاصة في المناطق الساحلية أو الطبقات العميقة).

- جريان المياه فوق أراضي مالحة (طبيعياً أو بسبب سوء الإدارة).
- تصريف مياه الصرف الصناعي (خاصة من مصانع النسيج والدباغة).
- ارتفاع منسوب البحر في المناطق الساحلية (تداخل المياه المالحة مع المياه العذبة).

تقاس الملوحة عادة بـ الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity - EC)، لأن الأملاح الذائبة تزيد من قدرة الماء على توصيل التيار الكهربائي.

كل 1 ديسيزيمنز/متر ≈ 640 ملغ/لتر من الأملاح الكلية.

تأثير الملوحة على النباتات: تسبب الملوحة أضراراً للنباتات بثلاث آليات رئيسية:

1. **الضغط الأسموزي:** عندما يكون تركيز الأملاح مرتفعاً في التربة، يصبح الضغط الأسموزي لماء التربة أقل من الضغط داخل الجذور، فتعجز الجذور عن امتصاص الماء، فتذبل النباتات حتى في تربة رطبة (ظاهرة الجفاف الفسيولوجي).
2. **التسمم الأيوني:** تتراكم أيونات معينة (مثل الصوديوم أو الكلوريد) في الأنسجة النباتية، فتتلف الخلايا وتسبب احتراق أطراف الأوراق وموتها.
3. **تدهور بناء التربة:** يفرق أيون الصوديوم Na^+ جزيئات الطين، فيحول التربة إلى كتلة متماسكة غير منفذة للماء والهواء (ظاهرة قلوية التربة).

جدول (3): تصنيف المحاصيل حسب تحملها للملوحة وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة FAO

مستوى الملوحة (EC)	أمثلة على المحاصيل	درجة التحمل
أقل من 1.5	الفاصولياء، البصل، الجزر، الفراولة	حساسة
1.5 – 3.0	القمح، الشعير، الذرة، الطماطم، البرسيم	متوسطة التحمل
3.0 – 6.0	نخيل التمر، القطن، بنجر السكر، الشعير	متحملة
6.0 – 8.0	الشعير البري، نباتات المانجروف (القرم)	شديدة التحمل
أكثر من 8.0	أنواع نادرة من النباتات الملحية(Halophytes)	غير صالحة للري إلا لنباتات خاصة

لمعالجة الملوحة: يمكن اللجوء إلى غسل الأملاح من التربة بمياه زائدة، أو تركيب أنظمة صرف تحت سطح الأرض، أو استخدام طرق الري الموضعي كالتنقيط الذي يقلل التبخر، أو زراعة أصناف نباتية متحملة للملوحة.

ج- النترات:

النترات (NO_3^-) هي أكثر أشكال النيتروجين الذائبة شيوعاً في المياه الجوفية والسطحية. مصدرها الأساسي الأسمدة النيتروجينية ومياه الصرف الصحي وفضلات الحيوانات. تكمن خطورتها في:

- **متلازمة الطفل الأزرق:** عند الرضع تحول البكتيريا المعوية النترات إلى نيتريت (NO_2^-)، الذي يتحد مع الهيموغلوبين ليشكل ميثيموغلوبين لا يستطيع نقل الأكسجين، مما يؤدي إلى زرقة الجلد والاختناق.
- **تكوين النتروزامينات المسرطنة:** في المعدة يمكن أن تتفاعل النترات والنتريت مع الأمينات لتشكيل مركبات مسرطنة.

الحد المسموح به: توصي منظمة الصحة العالمية بألا تتجاوز النترات في مياه الشرب 50 ملغ/لتر كـ NO_3 أو 11.3 ملغ/لتر كنيتروجين نترات.

د- الكبريتات والكلوريدات والسيانيد والأمونيا

جدول (4): مركبات لاعضوية أخرى المصادر والتأثيرات والحدود المسموح بها مياه الشرب

المركب	الحد المسموح (WHO)	التأثير	المصدر
الكبريتات (SO_4^{2-})	250 ملغ/لتر	طعم مر، تأثير ملين (إسهال) عند التركيزات العالية	تجوية الصخور، الصرف الصناعي (معامل الورق والمنسوجات)
الكلوريدات (Cl^-)	250 ملغ/لتر	طعم مالح، تآكل المعادن، تأثير سام على النباتات الحساسة	تداخل مياه البحر، الصرف الصناعي
السيانيد(CN^-)	0.07 ملغ/لتر	سام جداً (يثبط التنفس الخلوي)	الصناعات المعدنية والتعدين (استخلاص الذهب)

المركب	الحد المسموح (WHO)	التأثير	المصدر
الأمونيا(NH_3)	0.2 ملغ/لتر (لحماية الأسماك)	سامة للأسماك (حتى بتركيزات منخفضة)، تؤدي إلى الإثراء الغذائي	مياه الصرف الصحي، الأسمدة، الصناعات الكيميائية

رابعاً: المبيدات والمركبات العضوية الاصطناعية:

تُعرف المبيدات بأنها مواد كيميائية تُستخدم لحماية النباتات من الكائنات الضارة، أو للوقاية من آثارها، أو لتدمير النباتات غير المرغوب فيها. وهي تشمل مجموعة واسعة تضم مبيدات الحشرات، ومبيدات الفطريات، ومبيدات الأعشاب، بالإضافة إلى مبيدات متخصصة أخرى مثل مبيدات القوارض ومبيدات الرخويات ومبيدات الديدان.

من حيث التركيب الكيميائي تصنف المبيدات في **أربع** فئات رئيسية: الهيدروكربونات المكلورة (مثل الـ DDT واللندان والألدرين) وهي الأكثر ضرراً لثباتها وبطء تحللها، ومركبات الفسفور العضوية (مثل البارثيون والمالاثيون والفوليدول)، ومركبات الكربامات وهي الأحدث نسبياً، وأخيراً حموض الكلوروفينوكسي المستخدمة كمبيدات للأعشاب.

تتعدد السبل المؤدية إلى وصول هذه المبيدات إلى المصادر المائية، وأهمها: الجريان السطحي، بفعل مياه الأمطار، والرش الجوي، ومياه الصرف الزراعي، ومياه الصرف الصناعي، والرش المباشر على المسطحات المائية، والتسرب عبر التربة إلى المياه الجوفية.

تتمثل **أخطر خواص المبيدات** في: بطء تحللها (فالـ DDT يحتاج إلى حوالي 12 سنة لتحلله الكامل)، وسميتها العامة، وتأثيرها على الجهاز الوراثي للحيوانات. ومن أشد هذه الخواص خطورةً ظاهرة **التراكم الحيوي** و**التضخم الحيوي** خاصة في الـ DDT فهذا المبيد الذي حضر عام 1874 واكتشفت أهميته عام 1939 ثم مُنع لاحقاً، يتراكم في الأنسجة الدهنية للكائنات الحية ويتضخم تركيزه كلما ارتفعنا في السلسلة الغذائية.

فمثلاً، يمتص البلانكتون الـ DDT من الماء، ثم تتغذى عليه الأسماك الصغيرة، وعندما تفترسها الأسماك الكبيرة أو الطيور الجارحة كالنسر الأصلع والصقر الجوال، يصل تركيزه في أجسامها إلى مئات أضعاف تركيزه الأصلي. وقد تسبب هذا في ترقق قشور بيض تلك

الطيور وكسرها قبل الفقس، كما أدى إلى انخفاض التمثيل الضوئي للعوالق النباتية، وبالتالي نقص الأكسجين في النظم المائية.

وتشكل بقايا المبيدات في مياه الري خطراً مزدوجاً: فمن ناحية تمتصها النباتات وتنتقل إلى الثمار، مما ينقل التلوث مباشرة إلى غذاء الإنسان، ومن ناحية أخرى تقتل الكائنات المفيدة في التربة كدودة الأرض والميكروبات المحللة، مما يفسد خصوبة التربة ويخل بالتوازن البيئي. ولا تقتصر الأضرار على الآفات المستهدفة فقط، بل تمتد لتقتل الأعداء الطبيعيين لهذه الآفات، كالحشرات المفترسة والنافعة مثل النحل، وقد تكون المبيدات أكثر سمية لهذه الحشرات النافعة بسبب التراكم الحيوي نفسه. ومن الأمثلة الحديثة على المبيدات شديدة الخطورة: الغليفوسات، ومبيدات النيونيكوتينويد التي تؤثر على الجهاز العصبي للنحل. كما أن استعمال مبيد معين قد يؤدي إلى زيادة أعداد حشرات أخرى لا تتأثر به، مما يخلق مشكلة جديدة.

ونظراً لهذه المخاطر تبرز الحلول الواعدة في المكافحة المتكاملة للآفات (IPM)، والتي تشمل استخدام الأعداء الطبيعيين، والمبيدات الحيوية، والفرمونات الجاذبة، والطرق الوراثية كإطلاق ذكور عقيمة، وزراعة أصناف نباتية مقاومة للآفات، إلى جانب العودة إلى المكافحة الحيوية والحد من الاعتماد على الكيماويات. وكانت العالمة ريتشل كارسون أول من حذر من مخاطر التلوث بالمبيدات، من خلال كتابها (الربيع الصامت) الصادر عام 1962.

خامساً: الترسبات:

وهي حبيبات التربة والرمل والطمي التي تنجرف من الأراضي الزراعية والمناطق العمرانية والمشاريع التعدينية لتترسب في قيعان الأنهار والسدود والخزانات. تعمل هذه الترسبات على إخماد الحياة القاعية، وطمر الشعاب المرجانية، وملء الخزانات المخزنة لمياه الري مما يقلل سعتها التخزينية، كما تسبب في تعكير المياه وتقليل نفاذية الضوء مما يثبط عملية البناء الضوئي للهائمات النباتية. أكثر أنواع التربة تعرضاً للانجراف والترسيب هي التربة الطينية الخفيفة والأراضي التي فقدت غطاءها النباتي.

يمكن الحد من الترسبات: بتطبيق أساليب الحراثة الكنتورية والمصاطب، وإنشاء مصدات رياح، وزراعة أحزمة نباتية عازلة على طول المجاري المائية، واستخدام تغطيات التربة (المهاد) للحد من التعرية المائية.

سادساً: المواد المشعة:

تصل المواد المشعة إلى المياه إما من مصادر طبيعية كالقشرة الأرضية أو من مصادر بشرية كالتعدين وإنتاج الأسلحة النووية وتشغيل المفاعلات النووية واستخدام المياه في تبريدها.

من أخطر المواد المشعة على البيئة المائية الثوريوم والراديوم وهما يشبهان الكالسيوم في امتصاص العظام لهما. بالنسبة للزراعة يمكن أن تنتقل المواد المشعة من المياه الملوثة إلى التربة ثم إلى المحاصيل وتتراكم في الحبوب والخضروات وتصل إلى الإنسان عبر الغذاء. تعتبر الحوادث النووية مثل تشرنوبيل وفوكوشيما من أكبر مصادر التلوث الإشعاعي للأراضي الزراعية حيث تلوثت ملايين الهكتارات وخرجت عن الإنتاج لعقود.

وللكشف عن المواد المشعة في مياه الري تستخدم أجهزة قياس النشاط الإشعاعي بأجهزة وميضية أو عدادات جايجر، أما حدود السلامة فتحددها الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

سابعاً: المغذيات النباتية:

وهو من أهم ملوثات المياه من منظور زراعي، لأن مصدرها الرئيس هو الزراعة نفسها. نظرا لتزايد الطلب على الغذاء اليوم نتيجة الزيادة الهائلة في أعداد سكان الأرض ونظرا لان التربة الزراعية الصالحة للزراعة على مستوى الكرة الأرضية تعتبر محدودة إلى حد ما فقد دفع ذلك كثيرا من المزارعين إلى استخدام أنواع مختلفة من الأسمدة الزراعية لزيادة الإنتاج في وحدة المساحة (سياسة التكثيف الزراعي).

تشمل هذه المغذيات عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والعناصر الصغرى التي تضاف إلى الحقول كأسمدة. ينجرف جزء كبير من هذه الأسمدة مع مياه الأمطار أو الري الزائد إلى المجاري المائية، حيث تحفز نمو الطحالب والنباتات المائية الغازية.

تؤدي زيادة المغذيات إلى الظاهرة المعروفة بالإثراء الغذائي. يوصف قانون ليبج للحد الأدنى هذه الظاهرة بأن المادة الغذائية الضرورية الموجودة بأقل كمية نسبية هي التي تحدد سرعة النمو. في المياه العذبة غالباً ما يكون الفوسفور هو العامل المحدد، وفي المياه البحرية يكون النيتروجين غالباً هو المحدد.

للسيطرة على الإثراء الغذائي من المصادر الزراعية:

- اتباع شرائح نباتية عازلة بين الحقول والمجاري المائية لامتصاص الفائض من المغذيات.
- تطبيق التسميد الدقيق القائم على تحليل التربة واحتياجات النبات الفعلية، واستخدام أسمدة بطيئة الذوبان أو المغلفة.
- إنشاء أراضٍ رطبة اصطناعية لمعالجة مياه الصرف الزراعي.
- استخدام كبريتات النحاس كمبيد للطحالب لكن مع الحذر من سميتها للأسماك واللافقاريات.
- إدخال أنواع من الأسماك العاشبة كالمبروك العشبي للحد من نمو النباتات المائية.
- استخدام مركبات كيميائية مثل شبّة الألمنيوم (كبريتات الألمنيوم) لترسيب الفوسفور على شكل معقدات غير قابلة للامتصاص.

ثامناً: التلوث بالنفط:

تعد ظاهرة تلوث المياه (البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات) بالنفط من أخطر القضايا البيئية المعاصرة، وتتنوع مصادر هذا التلوث: بين حوادث ناقلات النفط كحادثي (توري كانيون Torry- Canyon) في عام 1967 الذي تسرب منه 120 ألف طن وامتد لمسافة 320 كم، و(آموكو كاديز) في عام 1978 الذي بلغت حمولته 220 ألف طن، مروراً بتسربات آبار الاستخراج كتلك التي حدثت في الخليج العربي عام 1983 (نصف مليون برميل خلال ثلاثة أشهر)، وصولاً إلى المخلفات اليومية لناقلات النفط (كمية النفط الملقاة قد تصل إلى 1% من الحمولة في كل رحلة)، ومصافي التكرير الساحلية (تقدر كمية النفط الملقاة في البحر المتوسط من 50 مصفاة فقط بحوالي 20 ألف طن/سنة)، بالإضافة إلى التسريبات أثناء التعبئة والنقل والتفريغ، بل وحتى التبخر والهطول الجوي للهيدروكربونات.

ونظرًا لكون **زيت البترول أخف من الماء** فإنه يشكل طبقة رقيقة جداً على السطح (سماكتها من أجزاء الميكرون إلى 2 سم) حيث تنتشر قطرة واحدة من النفط على مساحة قد يصل قطرها إلى 30 سم وأكثر ويمكن أن يغطي الطن الواحد مساحة 12 كم^2، وبمجرد انتشار النفط فوق سطح البحر تبدأ الأجزاء الطيارة من هذا الزيت بالتبخر وتعمل على تلوث الهواء، بينما تتأكسد الأجزاء الثقيلة مكونة (كرات القار) التي تنتشر بالتيارات أو تترسب في القاع.

الأضرار البيئية:

1. يحتوي النفط على مركبات سامة (كالبنزوبيرين المسبب للأورام، والنفتالين، والثيوفين، والبيريدين).
2. يعمل كمذيب فيزيد تركيز المبيدات والعناصر الثقيلة (كالرصاص والكادميوم والزئبق) في الأنسجة الحية (الدهنية، الكبد، البنكرياس، الأعصاب).
3. تخفض طبقة النفط نفاذية الضوء بنسبة 5-10% مما يعيق التمثيل الضوئي ويقلل العوالق النباتية فالحيوانية، وبالتالي هجرة أو موت الأسماك.
4. يستهلك تحلل الهيدروكربونات بواسطة البكتيريا الأكسجين المذاب (لتر واحد من البترول يستهلك أكسجين 400 ألف لتر من ماء البحر).
5. يلوث ريش الطيور المائية فيفقدها العزل الحراري والقدرة على الطيران (تسبب حادث توري كانيون وحده في موت 10 آلاف طائر، ويقدر الموت السنوي بـ 50-250 ألف طائر).
6. أضراره على الصناعات الساحلية كتحلية المياه وتبريد المصانع.

طرق معالجة التلوث النفطي في المسطحات المائية:

ويمكن تصنيفها إلى طرق فيزيائية، كيميائية، وبيولوجية.

أولًا: المعالجة الفيزيائية:

وتشمل إحاطة البقعة النفطية بحواجز عائمة لمنع انتشارها، ثم استخدام كاسحات ميكانيكية لشفط النفط من على سطح الماء، واستخدام مواد مازة (كالقش، أو البولي بروبيلين) لامتصاص النفط ثم التخلص منها بحرق أو دفن آمن.

كما يمكن اللجوء إلى الحرق الموضعي للبقعة السميكة بشرط أن يكون في منطقة مفتوحة وبسرعة لتفادي تلوث الهواء.

ثانياً: المعالجة الكيميائية:

وتشمل استخدام مواد مشتتة تعمل على تكسير البقعة إلى قطرات دقيقة تنتشر في عمود الماء لتتسارع عملية تحللها بواسطة البكتيريا، إلا أن هذه المواد قد تكون سامة للحياة البحرية. كذلك تُستخدم مواد تصلب النفط لتحويله إلى مادة صلبة يسهل كسحها.

ثالثاً: المعالجة البيولوجية:

وهي الأكثر استدامة وأقل ضرراً وتتم بإضافة سلالات بكتيرية مستخلصة محلياً (كالبكتيريا الآكلة للهيدروكربونات من أجناس Pseudomonas و Alcanivorax) أو تعزيز نموها

بإضافة مغذيات (نيتروجين وفوسفور) لتسريع تحلل النفط إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. أثبتت هذه التقنية فعاليتها في سواحل ألاسكا بعد حادثة إكسون فالديز في عام 1989.

تجدر الإشارة إلى أن لكل طريقة مزايا وعيوب مرتبطة بظروف الحادث (نوع النفط، حالة البحر، قرب الشواطئ، وكثافة الكائنات الحية) وأن الوقاية تكون عبر تطبيق معايير السلامة البحرية، والصيانة الدورية للناقلات والمنصات، وإنشاء أنظمة إنذار مبكر، تظل الخيار الأمثل لحماية البيئة المائية من هذا التهديد الخطير.

تاسعاً: التلوث الحراري:

يعرف التلوث الحراري بأنه ارتفاع درجة حرارة المسطحات المائية عن معدلها الطبيعي نتيجة تصريف المياه الساخنة الناتجة عن أنشطة بشرية مختلفة.

أبرز مصادر هذا التلوث هي محطات توليد الكهرباء (التقليدية والنووية)، والمفاعلات النووية، ومعامل الحديد والصلب، ومصافي النفط. تحدث هذه الظاهرة عادة حيثما توجد هذه المنشآت التي تحتاج إلى ماء التبريد، فتُقام بالقرب من البحار (مثل البحر المتوسط)، أو البحيرات (مثل بحيرة قطينة)، أو الأنهار (مثل نهر العاصي)، ثم تُعيد المياه الساخنة إلى نفس المصدر المائي.

تعتمد شدة التلوث الحراري على حجم المصدر وقوة التدفق. فمن المعتقد أن محطة نووية بطاقة 500 ميغاواط تستطيع مياه الصرف الساخنة الناتجة عنها أن ترفع درجة حرارة نهر لا تزيد

غزارته على 30 متراً مكعباً في الثانية بمقدار 10 درجات مئوية. وفي أمريكا الشمالية توجد عدة حالات لأنهار سخنت إلى درجة أصبحت تماماً من دون حياة، حيث تصل درجة حرارتها إلى 50 درجة مئوية أو أعلى.

ومع أن التلوث الحراري يتميز بتأثيره الموضعي (أي أنه ينحصر في المنطقة القريبة من مصدر التصريف)، فإن أضراره قد تكون كارثية على تلك المنطقة، بل وقد تمتد إلى البحار المفتوحة عندما تلقي المحطات النووية المقامة على الشواطئ مياهها الساخنة قرب الساحل، مما يؤدي إلى قتل أغلب الكائنات الحية في المياه الساحلية.

أما الآليات الفيزيائية والبيولوجية للتأثير فتنطلق من علاقة عكسية أساسية: كلما ارتفعت درجة حرارة الماء، انخفضت كمية الأكسجين المذاب فيه .(Dissolved Oxygen - DO) فعند درجة حرارة 5 مئوية، يستطيع لتر واحد من الماء احتواء 9 سم^3 من الأكسجين، بينما عند درجة 20 مئوية لا يذوب فيه سوى 6 سم^3 فقط. وفي الوقت نفسه يؤدي ارتفاع الحرارة إلى زيادة معدلات الأيض (البناء والهدم) للكائنات الحية، مما يرفع حاجتها للأكسجين بمعدل أربعة أضعاف تقريباً حين ترتفع الحرارة من 5 إلى 20 مئوية. هذا التناقض الحاد بين انخفاض الأكسجين المتاح وارتفاع الطلب عليه يؤدي إلى اختناق الكائنات المائية؛ فعند درجة 37 مئوية يبدأ السمك بالاختناق لنقص الأكسجين المذاب.

تترتب على هذه الآلية المزدوجة تأثيرات متعددة على الحياة المائية. فقد يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى هجرة كثير من الكائنات الحيوانية إلى مناطق جديدة، أو تغيير مواعيد تكاثرها وهجرتها، مما يسبب نقصاً في أعدادها ويخل بالتوازن البيئي. أما النباتات المائية، فتتأثر أيضاً بارتفاع الحرارة، وقد يؤدي ذلك إلى انقراض بعض أنواعها، مما يحدث خللاً في التوازن الطبيعي القائم بين مختلف عناصر البيئة. وعندما لا يوجد عامل آخر يستطيع تعويض النقص الناشئ عن اختفاء أحد الأنواع، قد يخرب النظام البيئي بأكمله ويصبح المجرى المائي خالياً من كل أشكال الحياة.

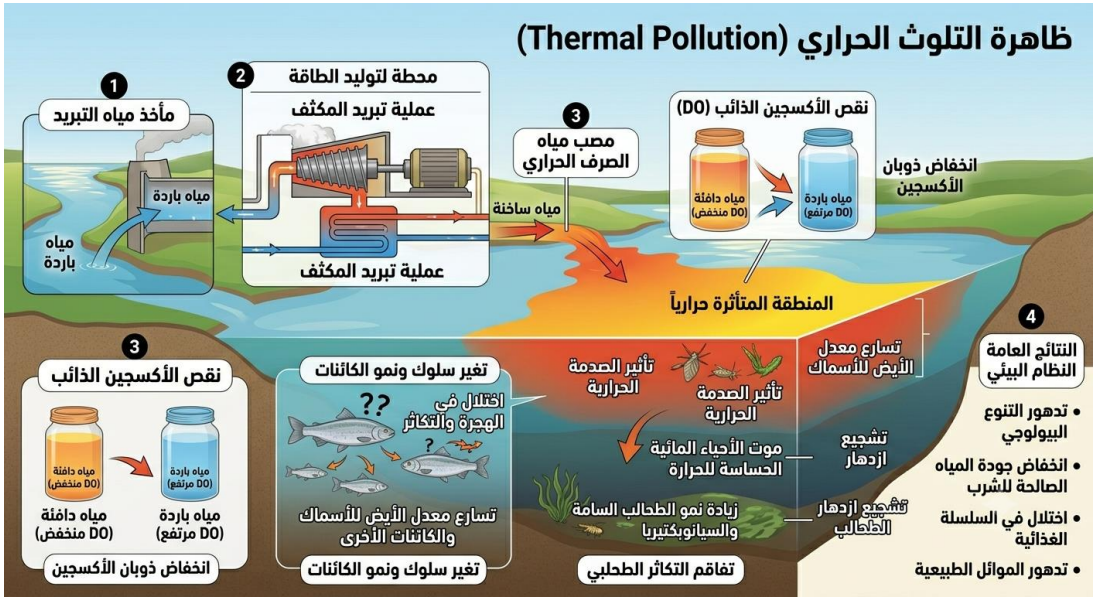
هناك عامل هام وغير مباشر للتلوث الحراري، وهو أن العديد من الصناعات الثقيلة تلقي الكثير من الملوثات المعدنية (مثل الحديد والمنغنيز) وهي في حالتها الأولية غير ملوثة بالضرورة، ولكن المشكلة تكمن في تحول هذه العناصر إلى أكاسيد سامة للكائنات الحية. وهذه العملية التحويلية تستهلك جزءاً إضافياً من الأكسجين المذاب في الماء، كما تعطي طعماً غير مستساغ للمياه، وتكاليف التخلص منها من الناحية الاقتصادية مرتفعة جداً.

خلاصة القول :إن التلوث الحراري يؤدي إلى أخطار بيئية فادحة يمكن تلخيصها في أربع نقاط رئيسية:

1. **انقراض بعض الكائنات المائية** (حيوانية ونباتية) بسبب الصدمة الحرارية أو نقص الأكسجين أو تدمير الموائل.
2. **الإقلال من كمية الأكسجين المذاب** مما يؤدي إلى تغيرات جوهرية في البيئة المائية واختناق الكائنات الهوائية.
3. **تكاثر بعض الطحالب (الأشنيات) غير الصالحة كغذاء** للكائنات المائية، مما يشوه جمال البيئة ويخفض الأكسجين المذاب بدرجة أعلى.
4. **تنشيط التفاعلات الكيميائية للملوثات المعدنية** وتحويلها إلى أكاسيد سامة للكائنات المائية، مما يضيف عبئاً سماً إلى جانب العبء الحراري.

ويكفي سبب واحد من هذه الأسباب لنعرف أهمية هذا الموضوع وخطره على البيئة المائية، وبالتالي على صحة الإنسان واقتصاده .

لمعالجة التلوث الحراري: تستخدم برادات حرارية أو أحواض تبريد قبل إعادة المياه الساخنة إلى المصادر الطبيعية لكن الوقاية تبقى خيراً من العلاج.



ظاهرة الإثراء الغذائي (اضطراد النمو البيولوجي Eutrophication) في البحيرات:

تتلوث البحيرات كغيرها من الأنظمة البيئية المائية (البحار والأنهار)، إلا أنها تتميز بظاهرة خاصة بها تقلق الإنسان المعاصر، وهي النمو الزائد للأشنيات المائية ويطلق عليها اضطراد النمو البيولوجي وهي تعبر في الحقيقة عن عدم توازن في السلسلة الغذائية وهذا هو مصدر القلق.

تتغذى البحيرة عادة بالمواد المعدنية الناتجة عن الانجراف الطبيعي للأراضي وعن الماء المتسرب داخل الصخور والذي يصل في النهاية إلى البحيرة. كما تتغذى أيضا بالمواد التي تحملها إليها مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي أو بقايا الحيوانات... الخ. إن جزء من العناصر المكونة لهذه المواد مثل الفسفور والآزوت والعناصر النادرة كالنحاس والزنك يلعب دورا هاما في تغذية النباتات المائية مما يؤدي إلى زيادة نموها.

في الظروف العادية تنمو هذه النباتات (الأشنيات) بشكل عادي إذ تقوم بعملية التركيب الضوئي حيث تأخذ CO_2 من الماء وتتلقى الأشعة الشمسية التي تخترق الماء وتطلق الأكسجين، وتستعين خلال نموها بالآزوت والفوسفور الناتجين عن المركبات الذائبة في الماء.

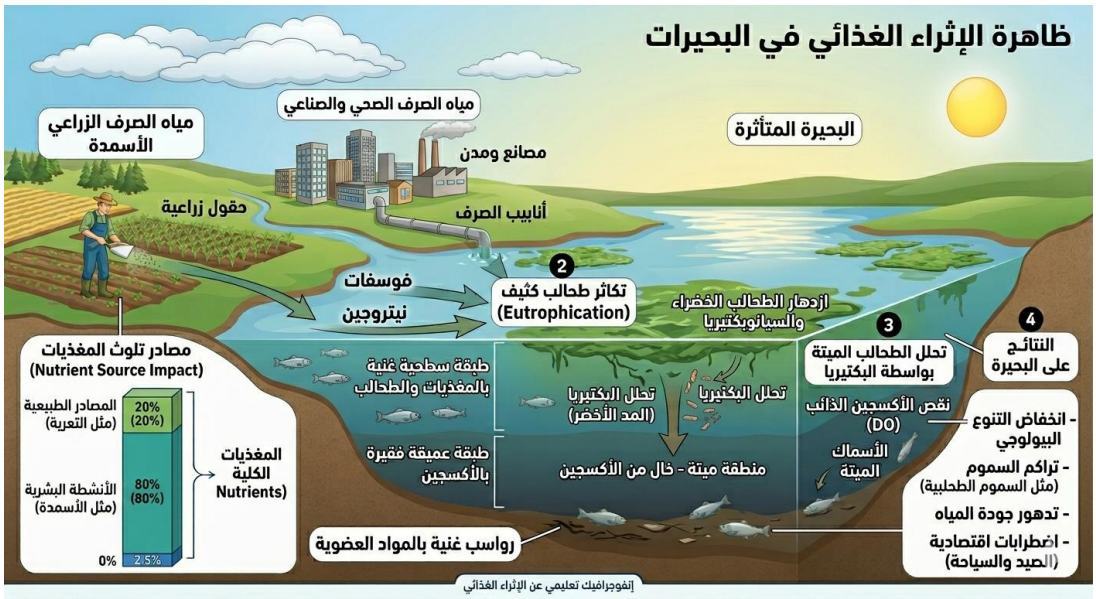
تتغذى في الظروف الطبيعية الكائنات الحيوانية الدقيقة (العوالق الحيوانية Zooplankton) على الأشنيات، وهي بدورها تشكل غذاء للكائنات الأكبر كالأسماك مثلا. أما البكتريا فتقوم بتفكيك كل الفضلات العضوية والجثث (الناتجة عن نشاط وموت كافة أشكال الحياة في البحيرة وهي الأشنيات والبلانكتون والأسماك) محولة إياها إلى مركبات غير عضوية هي حمض الكربونيك والنترات والفوسفات, وبذلك تغلف السلسلة الغذائية. ينطبق هذا الوصف على البحيرات غير الملوثة حيث تكون الكميات القادمة إليها من المواد المغذية كافية لكي تنمو الأشنيات بشكل محدود.

أن زيادة محتوى البحيرات من المواد المغذية للأشنيات يؤدي إلى النمو الزائد وغير المنضبط لهذه الأشنيات إلى الحد الذي لا تستطيع عنده الكائنات الحيوانية الدقيقة العالقة في الماء (الزوبلانكتون) وغيرها من استهلاكها، فيموت قسم كبير من الأشنيات ويترسب إلى القاع حيث يتحلل هناك بواسطة البكتريا الهوائية. ومن المعروف إن هذه الظاهرة تتطلب كمية كبيرة من الأكسجين الذائب في الماء، ويتم هذا الاستهلاك على حساب الأحياء المائية الأخرى، والتي تموت أو تهاجر نتيجة لفقر الماء بالأكسجين. وقد تستهلك البكتريا الهوائية في تفكيها للأشنيات الميتة كل ما هو متوفر من الأكسجين المنحل وتخلق بذلك ظروفا لا هوائية.

وكلما ماتت أو هاجرت الحيوانات المائية ازدادت أعداد النباتات وخاصة الأشنيات في الطبقة العلوية من البحيرة Epilimnion (إن مصطلح Limnology هو علم دراسة البحيرات)، إلا أنها سرعان ما تموت لعدم توفر من يستهلكها وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة عملية التحلل وما ينتج عنه نقص للأكسجين المنحل في الماء، وقد تصبح الطبقة الوسطى من البحيرة Metalimnion بدورها لا هوائية. بمعنى أن النشاط الحيوي الهوائي برمته سوف يتركز في الطبقة العلوية من البحيرة ومع الزمن يتسبب هذا النشاط في تعكر المياه مما يعمل على إنقاص كمية الضوء الذي ينفذ عبرها وبالتالي انخفاض نشاط الأشنيات في الطبقات السطحية مما يؤدي إلى تناقص كمية الأكسجين المنحل DO والتي تعطيها الأشنيات بفعل عملية التركيب الضوئي. وفي النهاية تصبح الطبقة العلوية من البحيرة بدورها لا هوائية وتختفي جميع أشكال الحياة المائية وتتلوث بغازات مختلفة وذات رائحة كريهة مثل NH_3 و H_2S وغيرها. وبسبب نفوذ الضوء المحدود تتركز الأشنيات على سطح البحيرة مشكلة حصيرة واسعة خضراء أو ما يسمى **إزهار الأشنيات** Algal blooms. وسوف تموت في النهاية هذه الأشنيات وتملأ في نهاية المطاف البحيرة كلها وتتشكل ما يعرف الآن بمستنقع الخث أو الطورب Peat bog وفي مراحل متطورة تتحول إلى مرج Meadow. ويقال في هذه الحالة عن البحيرة إنها في مرحلة اضطراد في النمو البيولوجي.

في الحقيقة هذه الحادثة هي طبيعية وتحدث بشكل مستمر وبطيء وعلى مدى مئات بل آلاف السنين. ولكن ما يحدث أن هذه العملية **تحدث في عقد من الزمن** نتيجة الكميات الفائضة من المغذيات التي تدخل إلى البحيرة كنتيجة للنشاطات البشرية الزراعية والصناعية وبالتالي تكون النتيجة تسارع لافت للنظر لعملية اضطراد النمو البيولوجي الطبيعي. وتطلق بعض المراجع على هذه العملية المتسارعة " اضطراد النمو البيولوجي الحضري Cultural Eutrophication" وذلك لتميزها عن العملية الطبيعية.

إن الأمثلة على هذه الظاهرة أصبحت معروفة في العالم ومنها Lake Erie في الولايات المتحدة الأمريكية والتي تعتبر رمزاً للتدهور الخطير في البحيرات, حيث أغلقت السلطات معظم المنتجعات على شواطئها خلال 10 سنوات كما اختفت الأسماك الجيدة تماما واستبدلت بأسماك أكثر مقاومة ولكنها غير مرغوبة من قبل الإنسان. أما بحيرة (البايكال) في سيبريا وهي أكبر بحيرة في العالم فقد اضطرت الحكومة السوفيتية في عام 1987 إلى إغلاق كافة المنشآت الصناعية التي تقذف فضلاتها حتى لا تلاقي نفس المصير الذي آلت إليه بحيرة إيريه الأمريكية.



تلوث الأنهار:

يعرف تلويث النهر بأنه إضافة شيء ما إلى مياهه مما يؤدي إلى تغير مواصفاته الطبيعية. فنتيجة لتلوث مياه النهر والذي تتعدد مصادره يلاحظ اختلاف مواصفات المياه في نهاية المجرى المائي عنها في بدايته. ونظرا لكثرة مجالات استعمال مياه الأنهار في الحياة فإن التعريف الأشمل لتلوث النهر يعبر عنه بتفريغ بعض المواد فيه مما يغير من طبيعته وينعكس على استعمالاته التي اعتاد الإنسان عليها مهما كانت هذه الاستعمالات، من ري أو سباحة أو صيد أو استجرار المياه للتغذية بمياه الشرب أو للأغراض الصناعية وغيرها.

لقد استخدمت الأنهار منذ فترة طويلة كمجاري مفتوحة لطرح مياه الصرف الصحي والفضلات الصناعية. ويمكن لأغلب الأنهار بسبب جريانها أن تستعيد عافيتها، وبشكل سريع نسبياً، من بعض أشكال التلوث، وخاصة التلوث بالنفايات العضوية المستهلكة للأكسجين والتلوث الحراري. ونطلق على هذه الظاهرة **التنقية الذاتية للأنهار** self or auto purification والتي تتم عبر الدورة البيولوجية الطبيعية حيث تعد البكتريا مفاتيح هذه الدورة، بمعنى أن هناك توازناً معيناً بين أشكال الحياة المختلفة في مياه النهر يحقق استمرارية الدورة البيولوجية الطبيعية.

وفي بعض الحالات قد تصفو مياه الأنهار الملوثة من تلقاء نفسها (التنقية الذاتية Auto purification) ويتم ذلك بالآليات التالية:

1- التثفيل: بأن يرسب ما في الماء من الأجسام الصلبة والمواد العالقة إلى القاع، ولاسيما إذا جرى الماء جرياناً طويلا وخاصة في الأراضي القاحلة.
2- فعل الشمس والهواء: وهما يقتلان الميكروبات السطحية.
3- الفعل الحيوي: ويتم ذلك عن طريق بعض الميكروبات التي تفكك المواد العضوية وتمنع نمو بعض الميكروبات الأخرى.
4- التمديد: ويكون نتيجة ورود ماء جديد جار جريانا طويلا.
5- الحيوانات والنباتات المائية: فهي تمتص الأوساخ وتتغذى بها كالبط والإوز والسمك والقصب والأشنيات.

إلا أن ذلك التوازن بين أشكال الحياة المائية المختلفة يمكن أن يختل عندما تصبح **حمولة مياه** النهر من الفضلات أكبر من طاقته على التنقية الذاتية، وحيث تبدأ **الشروط اللاهوائية لمياه النهر**، والتي ينتج عنها روائح مزعجة وألوان قاتمة وتصبح حياة الناس قرب هذه الأنهار الملوثة غير محتملة (حالة نهر قويق في مدينة حلب مثلا).

أن تقيم القدرة الذاتية عل التنقية في الأنهار يعتبر من الأمور الهامة جدا بالنسبة للمهتمين بشؤون البيئة والتي يجب المحافظة عليها. ومن أجل ذلك لا بد من معرفة العوامل المؤثرة عليها والتي يمكن أن تلخيصها كما يلي:

1- غزارة مياه النهر التي تساعد على تمديد الملوثات القادمة والتخفيف من أثرها، ولاسيما غذ كانت الشحنات المفرغة منها غير كبيرة.
2- تساعد التيارات على تشتت ونشر الفضلات وتمنع تركيز الملوثات في منطقة معينة.
3- سرعة الجريان التي تساعد على إعادة تهوية مياه النهر (يجب ألا يقل الحد الأدنى من الأكسجين المنحل عن 4 ppm).
4- التأثيرات الفصلية التي تنعكس على شدة الجريان في النهر حيث يكون أشده في الشتاء والربيع بينما يصبح أكثر عرضة للتلوث في الأشهر التي يقل فيها الجريان. لذلك نجد أن فترة الصيف تتطلب عناية خاصة من الجهات المهتمة بحماية البيئية لاستقصاء المعلومات وإجراء الاختبارات الضرورية لتحديد الكمية الأعظمية للملوثات العضوية وغيرها التي يمكن طرحها بأمان في الأنهار.

تتعرض الأنهار في القطر العربي السوري كبقية أنهار العالم لشتى أنواع التلوث: العضوي، الكيميائي والحراري، ولعل من أهم هذه الأنهار هما نهري العاصي وبردى. سنتحدث بإيجاز فيمل يلي عن تلوث نهر العاصي كمثال عن تلوث المياه.

تلوث نهر العاصي:

يعتبر نهر العاصي من المصادر المائية الهامة في سوريا نظراً لكونه مصدراً لتزويد العديد من المدن والتجمعات السكنية بالماء (الشرب، الزراعة، الأغراض التكنولوجية في المنشآت الصناعية، يغذي بحيرات: الرستن وقطينة).

أن من أهم مصادر التلوث لمياه نهر العاصي هي التالية:

1- **مصادر بشرية**: ناجمة عن إلقاء مياه الصرف الصحي لمدن حمص، حماة، الرستن ومحردة دون معالجة. وما يترتب عنه من طرح لكميات كبيرة من المخلفات العضوية وما ينتج عنها من نقص هائل في كمية الأكسجين المنحل والذي ينعدم تقريبا في فترة الصيف على طول المسافة الواقعة بين مخرج النهر من مدينة حمص وحتى الرستن، وهذا ما يفسر انعدام الثروة السمكية في مياه النهر على طول تلك المسافة.

2- **مصادر صناعية**: تتوضع على مسار النهر مجموعة منشآت صناعية نذكر منها: معمل السماد الآزوتي، مصفاة حمص، معمل الغزل والنسيج، معمل السكر حيث تؤدي هذه المنشآت إلى حدوث نوعين من التلوث في مياه النهر:

a. **تلوث كيميائي**: الناتج عن الفضلات الكيميائية المختلفة التي تلقيها هذه المصانع.

b. **تلوث حراري**: ناجم عن مياه التبريد التي تلقيها معامل الكهرباء ومعمل السماد الآزوتي ومصفاة البترول في حمص ومعامل القضبان الحديدية في مدينة حماة.

<u>بالطبع نتيجة لذلك يمكننا ذكر الآثار السلبية التي تلحق بالنهر:</u>

1- تغير الصفات الفيزيائية والكيميائية لمياه النهر.

2- انتشار الأمراض (التيفوئيد والأمراض المعوية).

3- التأثير السلبي على الثروة السمكية (بحيرة قطينة، الرستن).

3- التأثير السلبي على الأماكن السياحية والترفيهية على مسار النهر (روائح كريهة وأوساخ).

تلوث المياه الجوفية:

تتعرض المياه الجوفية للتلوث عبر تسرب الملوثات من مدافن النفايات غير الصحية، وخزانات الوقود تحت الأرض، والاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات، وآبار الصرف الصحي غير المعزولة. يتميز تلوث المياه الجوفية بأنه **بطيء وغير مرئي** (قد يستغرق عقوداً حتى يُكتشف)، و**صعب المعالجة** (غالباً ما يكون الحل الوحيد هو وقف المصدر وانتظار التنقية الطبيعية البطيئة).