تعريف تلوث المياه:

هو التغيرات غير المرغوبة في الخصائص الطبيعية للمياه (الفيزيائية والكيميائية والبايولوجية) الناتج عن إضافة أو طرح مادة أو طاقة بفعل الإنسان، ويقاس تلوث المياه بمدى صلاحيتها للإستخدامات البشرية المختلفة المفيدة

ومن ناحية التطبيق العلمي الصديق للبيئة فإن حماية المياه أسهل وأرخص بكثير من معالجتها بعد تلوثها، إستناداً إلى مبدأ "الوقاية خير من العلاج".

مصادر تلوث المياه:

إن أي جزء من أجزاء الدورة الهايدرولوجية يمكن أن يعتبر مصدراً للتلوث، إلا أن نشاطات الإنسان على سطح الأرض هي المصادر الأساسية للتلوث. حيث تتعدد المصادر التي يمكن أن تسبب تلوثاً في المياه والمجاري المائية، وتجعلها غير صالحة للإستخدامات البشرية المختلفة وتسبب أضراراً بالنظم البيئية. وتختلف مصادر الفضلات السائلة بإختلاف أوجه إستخدام المياه، وتتنوع بتنوع النشاط الزراعي والصناعي والتجاري، وإستعمال المياه في المنازل للغسيل والنظافة الشخصية وغيرها من أوجه الإستهلاك.

تتعرض المياه في الطبيعة الى خطر ظهور المركبات الغريبة كالمبيدات، أو زيادة واحد أو أكثر من المكونات الطبيعية كالأملاح عن حدودها الطبيعية، بما يؤدي الى إحداث تأثيرات ضارة على الإنسان أو الأحياء المائية، أو تشويه المعالم الطبيعية، هذا التعرض يمكن أن يكون على شكلين مختلفين إحداهما طبيعي والآخر تحت تأثير الإنسان.

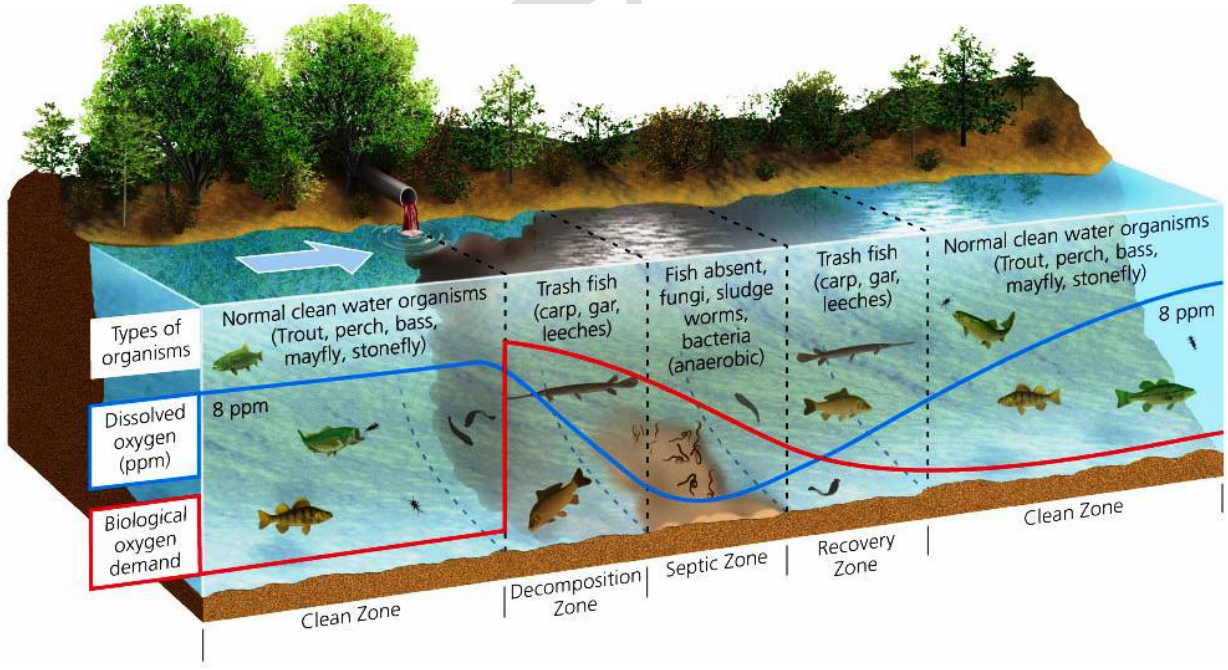
- **التلوث الطبيعي المنشأ (Natural Pollution):** ويسمى أحيانا بالتلوث ذو المنشأ الأرضي أو الجيولوجي (Geogenic pollution) ، ويقصد به ظهور أو زيادة المكونات الطبيعية في المياه كالأملاح اللاعضوية بأنواعها والطمى والغرين والغازات الكبريتية الذائبة والحرارة والإشعاع وما إلى ذلك، ولا يكون للإنسان شأناً في زيادتها بل تحدث نتيجة العوامل الطبيعية كالأمطار الغزيرة والسيول وثورات البراكين في قعر البحار، وأغلب هذه الملوثات تكون غير سامة عادةً رغم وجود تأثيرات ضارة مختلفة لها على الأحياء المائية، كما يكون التلوث الناتج ضمن قدرة الطبيعة على أن تتخلص منه في غالب الأحيان، ما عدا المواد المشعة وبعض الملوثات الطبيعية الأخرى.

- **التلوث البشري المنشأ (Anthropogenic Pollution):** وهي التغيرات الحاصلة في المياه بسبب النشاط البشري سواء كان صناعياً أو زراعياً أو ضمن معيشة الإنسان في حياته اليومية العامة.

ويمكن تقسيم مصادر تلوث المياه من حيث تولدها إلى: نقطية وغير نقطية (منتشرة).

- **مصدر نقطي Point Source:** وهي نقاط التصريف للمياه الملوثة بأنواعها المنزلية والصناعية وقنوات الري والبزل وما شاكل ذلك، والتي يمكن تأشيرها على الخارطة بنقطة محددة، مثل أنابيب تصريف المخلفات السائلة كالصرف الصحي والصرف الصناعي.

- **مصدر غير نقطي Non-Point Source:** وهي جميع ما يؤدي إلى ظهور ملوثات غير معلومة المنشأ أو المصدر، مثل سقوط المطر الحامضي والإنسياب السطحي من الأراضي الزراعية.



شكل تخطيطي يوضح تأثير مصادر المياه النقطية الملوثة على التنوع الأحيائي للكائنات وقيم كل من BOD والأوكسجين المذاب

ويمكن تقسيم نوعية المياه في المصادر المائية في العالم إلى خمس فئات رئيسية وهي كما في الجدول التالي، وتحمل الأرقام (1 – 5)، وتتدرج من النوعية الأعلى وفئتها تحمل الرقم (1) وهي مياه الينابيع والعيون الجبلية الناتجة مياهها عن ذوبان الجليد والثلوج وتنتهي بالفئة (5) وهي أردئ النوعيات.

الوصف	الفئة	الإستخدامات والصلاحية
نوعية عالية High quality	1	مياه نقية تستخدم للشرب وبقية الإستخدامات مثل مياه الينابيع الجبيلة
نوعية جيدة Good quality	2	مياه نقية وبدرجة أدنى من الفئة 1 وتستخدم بعد تصفية وتعقيم بسيط
نوعية معتدلة Fair quality	3	مياه حاوية على ملوثات غير سامة تزال بتصفية متقدمة وتستخدم للري وتربية الأسماك
نوعية ضعيفة Poor quality	4	مياه ملوثة بواحد أو أكثر من الملوثات، تعالج وتستخدم لبعض الأغراض الصناعية
نوعية رديئة Bad quality	5	مياه ملوثة بعدة ملوثات خطرة أو سامة

ملوثات المياه الرئيسية:

كما تناولنا سابقاً فإن أي تغير في خواص الماء من شأنها أن تجعله غير صالح للإستخدامات المعروفة أو لمعيشة الكائنات المائية يعد ملوثاً، وتمثل الملوثات التالية الملوثات الرئيسية للمياه:

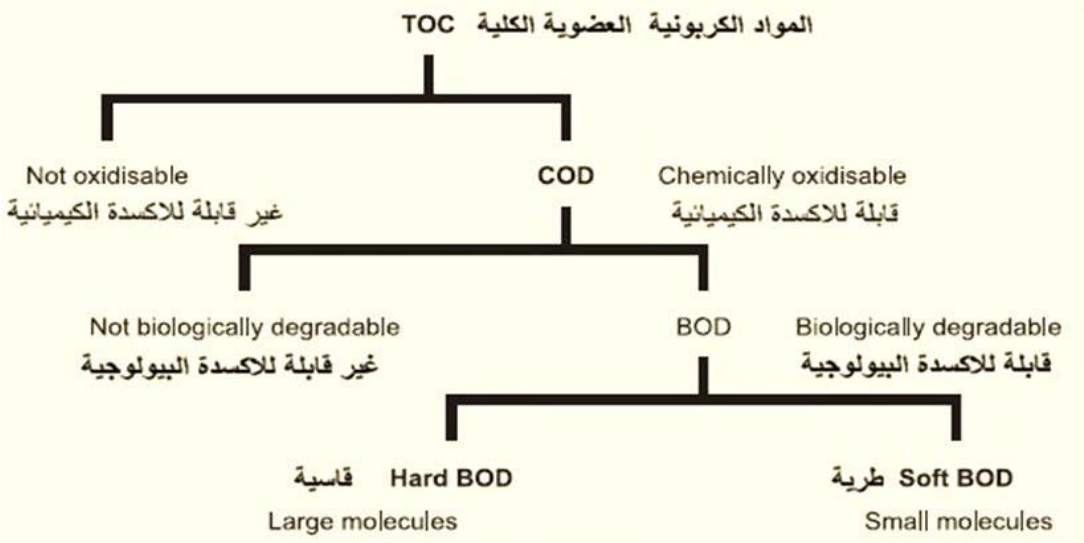
١. مياه الصرف والفضلات الأخرى التي تتطلب الأوكسجين Oxygen Demanding Wastes.
٢. العوامل المعدية Infection agents.
٣. الكيمياويات العضوية المصنعة Synthetic Organic Chemicals.
٤. المغذيات النباتية Plant nutrients.
٥. الكيمياويات غير العضوية والمواد المعدنية Inorganic chemicals and mineral substances.
٦. الترسبات Sediments.
٧. المواد المشعة Radioactive substances.
٨. التلوث الحراري Thermal pollution.

أولاً: مياه الصرف والفضلات الأخرى التي تتطلب الأوكسجين Oxygen Demanding Wastes

وتشمل المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي Bio-degradation، والتي تتواجد في مياه المجاري المنزلية وبعض المتدفقات الصناعية. وعندما تتحلل هذه المركبات عن طريق البكتيريا خاصةً الهوائية فإن الأوكسجين سوف يزال من المياه وبذلك تتأثر الأحياء المائية التي تعتمد في تنفسها عليه، ومن المعلوم أن هناك أربعة عمليات تؤثر في نسبة الأوكسجين المتوافرة في المياه وهي:

١. الإحتكاك ٢. البناء الضوئي ٣. التنفس ٤. أكسدة الفضلات

حيث تزيد العمليتان الأولى والثانية نسب الأوكسجين، في حين تعمل الثالثة والرابعة على إنقاصه. ويقاس هذا النوع من التلوث عن طريق معرفة كمية الأوكسجين الجزيئي الذائب في الماء واللازم لتحليل المواد العضوية، إن الفحص المعياري لذلك هو إختبار المتطلب الحيوي للأوكسجين Biochemical Oxygen Demand (BOD) ويعبر عما تستهلكه الأحياء المجهرية الهوائية المعيشة (البكتيريا والخمائر) من الأوكسجين اللازم لتنفسها أثناء تحليلها للمواد العضوية. أما المتطلب الكيمياوي للأوكسجين Chemical Oxygen Demand (COD) فهو كمية الأوكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية القابلة للتحلل أو غير القابلة للتحلل الحيوي، وذلك بإستخدام عوامل مؤكسدة قوية، وتكون قيمة COD أكبر من قيمة BOD لأنها تحتاج إلى كمية أكبر من الأوكسجين للتحلل.



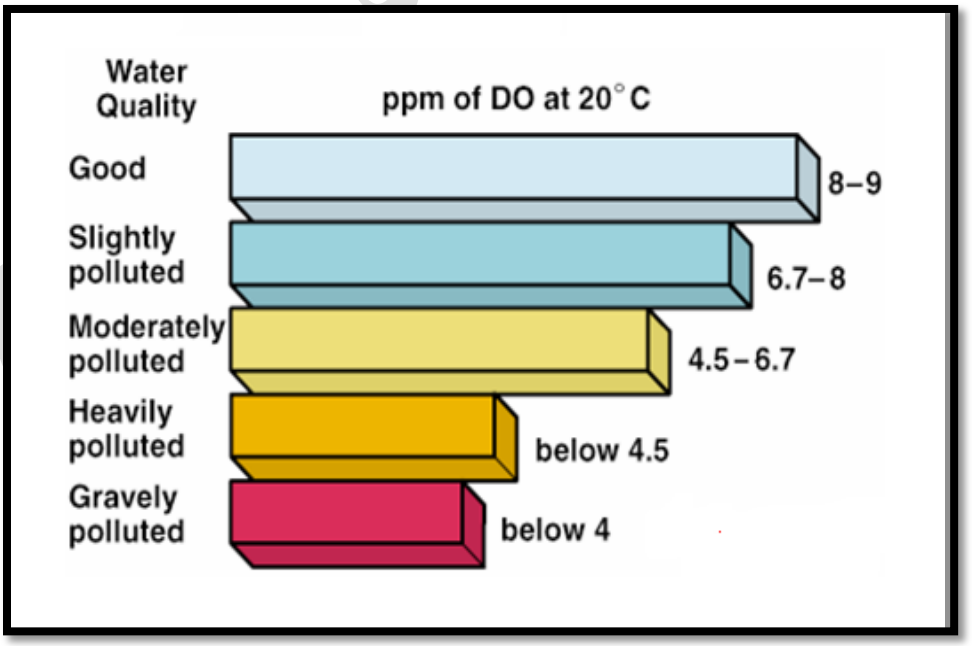
إن للتلوث بالمواد العضوية تأثيرات عديدة على النظام البيئي الذي يتواجد فيه، وأهم التأثيرات التي تحدثها المواد العضوية على الماء هي ما يأتي:

- التأثير على تبادل وإتزان الأوكسجين الذائب في الماء.
- التأثير على الصفات والخواص الكيميائية للمجاري المائية.
- التأثير على نواتج البناء والهدم.
- التأثير على تنوع الأحياء المائية والتأثير على الكائنات الحية المائية.

تزداد كمية الأوكسجين المذاب في الماء كلما إنخفضت درجة الحرارة، وتبلغ هذه الكمية في ماء مشبع بالأوكسجين 9.2 ملغم/ لتر في درجة حرارة 20 مئوي. ولهذه الكمية أهمية كبيرة في تخليص الماء من المواد العضوية، فالكاربون يتحول إلى ثاني أوكسيد الكاربون، والفوسفور يتحول إلى فوسفات، والكبريت إلى كبريتات، والنيتروجين يتحول إلى نترات وأمونيا، وبالعكس عندما تكون الكمية غير كافية من الأوكسجين المذاب فالكاربون يتحول إلى ميثان، والنيتروجين يتحول إلى أمينات ذات رائحة خاصة، والكبريت يتحول إلى كبريتيد الهايدروجين.

عند إنخفاض تركيز الأوكسجين الذائب في المياه وإقترابه من الصفر تبدأ البكتيريا الهوائية (Aerobic bacteria) التي تتنفس الأوكسجين الذائب بالتحوّل إلى الصورة اللاهوائية، وتسمى بهذه الحالة بالبكتيريا اللاهوائية (Anaerobic bacteria) وفيها تستخدم هذه البكتيريا الأوكسجين الموجود في بعض المركبات لتقوم بإكمال عملية أكسدة المواد العضوية.

وعليه كلما زاد تركيز المواد العضوية في المياه كلما إنخفض تركيز الأوكسجين الذائب في المياه. ومن المعروف أن نسبة تحلل المواد العضوية تزداد مع إرتفاع درجة الحرارة، لذلك فإن العلاقة بين الأوكسجين المذاب DO ودرجة حرارة المياه هي علاقة عكسية . ويعتبر تركيز الأوكسجين المذاب في المياه دليلاً على جودة المياه وكما في الشكل الآتي:



بالإضافة إلى طريقة الأوكسجين الذائب في الماء DO، تعد طريقة الأوكسجين الحيوي الممتص (المستهلك) BOD من أشهر الطرق للكشف عن كمية المواد العضوية الملوثة للماء والمستهلكة للأوكسجين من قبل المخلفات البشرية والصناعية التي تصل للمسطحات المائية. إن أكسدة المواد العضوية من قبل البكتيريا يؤدي إلى إستهلاك جزء من الأوكسجين الذائب في المياه إلى الحد الذي قد يؤثر على الحياة في البيئة المائية نفسها، ويبلغ الأوكسجين الحيوي الممتص في المياه الصافية حتى 5 ملغم \ لتر، وتزداد قيمته مع زيادة تركيز المواد العضوية في الماء، وقد يصل لعدة آلاف كما هو الحال في المخلفات الصناعية. أي أنه كلما زادت قيمة الأوكسجين الحيوي الممتص قل تركيز الأوكسجين الذائب في المياه لإستهلاك الكائنات الدقيقة الهوائية له لغرض أكسدة المواد العضوية بايولوجياً. والجدول التالي يبين بعض أنماط تقسيم الأنهار حسب قيمة الأوكسجين الحيوي الممتص والمواد الصلبة العالقة وكمية الأوكسجين الذائب (إذ أن هذه القيم تقيس درجة التلوث).

نمط النهر	الأكسجين الحيوي الممتص BOD mg/l	المواد الصلبة العالقة T.S.S mg/l	الأكسجين الذائب D.O %
نظيف جدا	اقل من ١	اقل من ٤	٩٠
نظيف	٢	١٠	٩٠-٧٥
نظيف نسبيا	٣	١٥	٧٥-٥٠
مشكوك فيه	٥	٢١	اقل من ٥٠
ضعيف	٧,٥	٣٠	اقل من ٤٠
سيئ	١٠	٣٥	-
سيئ جدا	٢٠	٤٠	-

ويلاحظ من الجدول بأنه كلما زادت قيم مؤشرات التلوث العضوي وهي الأوكسجين الحيوي الممتص والمواد العالقة زادت درجة تلوث النهر، بينما يدل الأوكسجين الذائب على نظافة النهر من الملوثات العضوية، فكلما كان مستوى الأوكسجين الذائب مرتفعاً وقريباً من مستوى درجة تشبع النهر بالأوكسجين دل ذلك جودة مياه النهر وخلوها من التلوث العضوي الذي يعد أمثل الملوثات استهلاكاً للأوكسجين الذائب.

ثانياً: العوامل المعدية Infection agents

يعتبر التلوث الحيوي أو البايولوجي من أقدم صور التلوث التي عرفها الإنسان، وينشأ هذا التلوث نتيجةً لوجود كائنات حية مرئية أو غير مرئية نباتية أو حيوانية كالبكتيريا والفطريات وغيرها في الوسط البيئي كالماء أو الهواء أو التربة، فإختلاط الكائنات المسببة للأمراض بالطعام الذي يأكله الإنسان أو الماء الذي يشربه أو الهواء الذي يستنشقه، يؤدي إلى حدوث التلوث البايولوجي، مما يؤدي إلى الإصابة بالأمراض. ويحدث التلوث البايولوجي عند التخلص من مياه المجاري والصرف الصحي قبل معالجتها كيميائياً بإلقائها في موارد المياه العذبة، أو بسبب إنتشار القمامة المنزلية في الشوارع دون مراعاة للقواعد الصحية في جمعها ونقلها والتخلص منها بطريقة علمية، أو بسبب ترك الحيوانات النافقة في العراء أو إلقائها في موارد المياه، وكذلك عند عدم إتباع الطرق الصحية في حفظ الأطعمة وتصنيعها مما يعرضها للتلوث.

تحتوي المياه الطبيعية على العديد من الأحياء المجهرية، وإن إزدياد تلك الأحياء المسببة للأمراض في المياه يؤدي إلى التلوث الميكروبي للمياه، تعتبر المياه الواردة من مياه الصرف الصحي والمستشفيات ومصانع الدباغة والألبان والمجازر وصناعات الأغذية المختلفة من أهم مصادر المياه الحاوية على البكتيريا الممرضة والأحياء المجهرية وحيدة الخلية والطفيليات المعوية والفايروسات والطحالب، مسببةً الأمراض الخطير للإنسان والحيوان على حدٍ سواء. وهذا التلوث يحصل في الغالب عند إختلاط فضلات الإنسان بالماء بطريقة مباشرة عن طريق تصريف الصرف الصحي مباشرةً إلى المسطحات المائية. ويؤدي وجود الملوثات الحيوية في المياه السطحية بكثافات عالية، إلى الإصابة بالعديد من الأعراض المرضية كما في الجدول التالي الذي يبين أهم أنواع البكتيريا الممرضة في المياه والأعراض المرضية التي تسببها:

اسم البكتيريا في المياه	الأعراض المرضية
Escherichia coli	إسهال وحمى وصداع وتلف الكلية
Salmonella	تشنجات معوية وتقيؤ وإسهال
Typhus	حمى شديدة
Streptococcus	آلام في المعدة وإسهال وحمى وأحياناً القيء
Plesiomonas shigelloides	غثيان وأوجاع في المعدة وإسهال وأحياناً حمى وصداع وتقيؤ
Vibrio	الكوليرا
Aeromonas	إسهال ومخاط دموي

يتطلب تشخيص العوامل الممرضة في الماء أخذ عينات كثيرة وعديدة وإستخدام تقنيات معقدة. والطريقة المعيارية المعتمدة هي تحديد العدد الأكثر إحتمالاً Most Probable Number (MPN) للكائنات المعوية القولونية Coliforms في عينة الماء المراد دراستها، وعلى ذلك فإن وجود هذه البكتيريا في المياه هو دليل على تلوثه ببكتيريا مرضية، وقد أعتمدت أعدادها في أي عينة ماء على الصلاحية للإستخدام البشري، لذا فإن عددها 1 خلية/100 مل يعتبر ماء صالح للشرب، و 200 خلية/100 مل يعتبر ماء صالح للسباحة.

د. سفيان محمد شرتوح