

تلوث الماء

6-1 مقدمة:

يعتبر الماء أحد المكونات الضرورية لحياة كل من الإنسان والحيوان والنبات. وتغطي المياه حوالي 71 % من مساحة الكره الأرضية، ويقدر الحجم الإجمالي لهذه المياه بحوالي 1370 مليون كيلو متر مكعب (جدول 6-1)، وبالطبع فإن هذه الكميات الهائلة ليست في متناول الإنسان، لأن معظمها 97.2 % مياه مالحة موجودة في المحيطات والبحار، أما الباقي فهو عبارة عن مياه حلوة: (أي 2.14 %) أي 29 مليون كيلو متر مكعب على شكل كتل جليدية في القطبين، وهذه يتذر الاستفادة منها، لذا لا يتبقى في متناول أيدينا من المياه سوى (0.66 %) أي 9 ملايين كيلو متر مكعب من المياه العذبة (أي ما يعادل 10^{12} غالون أمريكي)، وهذه عبارة عن مياه الآبار والبحيرات والأنهار. وللماء دورة طبيعية حيث تتبخر المياه بفعل الطاقة الشمسية من المسطحات المائية كالبحار والمحيطات والبحيرات، كما تتبخر من التربة والنباتات حيث تتكاثف وتعود ثانية إلى الكره الأرضية على شكل أمطار وثلوج، يسقط بعضها فوق المحيطات والبحار (حوالي 75 %) والباقي يسقط فوق اليابسة، ومع أن هذه الأمطار لا يستفاد منها كلها، إذ أن جزءاً كبيراً منها يضيع في الجريان السطحي ويعود ثانية إلى البحار والمحيطات، كما يضيع في التبخر، إلا أن ما يتبقى منها يعد المصدر الرئيسي للموارد المائية على سطح هذا الكوكب.

جدول (6-1) : توزيع المياه في الكره الأرضية .

| النسبة المئوية من المجموع (%) | الحجم بالملايين (كم^3) | الخزان الطبيعي للماء |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 97.25 | 1370 | المحيطات والبحار والبحيرات المالحة |
| 2.05 | 29 | المياه المتجمدة |
| 0.68 | 9.5 | المياه الجوفية |
| 0.01 | 0.125 | البحيرات العذبة |
| 0.005 | 0.065 | ماء التربة |
| 0.001 | 0.013 | ماء الغلاف الجوي |
| 0.0001 | 0.0017 | الأنهار |
| 100 | 1408.7 | المجموع |

6- تلوث الماء :

عرفت مشكلة تلوث الماء منذ زمن بعيد ، ومع زيادة عدد السكان وزيادة النشاط الصناعي وتتنوعه ازداد تلوث مياه الأنهار والبحار والمحيطات حتى وصل إلى درجة أن الكثير من الأنهار والبحيرات وشواطئ البحار لم تعد قادرة على التغذية الذاتية . ويقال إن الماء ملوث إذا ما تغير تركيب عناصره ، أو تغيرت حالته بطريقة مباشرة بفعل نشاط الإنسان ، بحيث يصبح الماء أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة له أو بعضها .

كما يمكن تعريف تلوث الماء بطريقة أخرى :

يقال إن الماء ملوث إذا ما احتوى على مواد غريبة كان تكون مواد صلبة معينة أو علاقة أو مواد عضوية أو غير عضوية ذاتية ، أو كائنات دقيقة مثل البكتيريا ، أو الطحالب ، أو الطفيليات ، وتغير هذه المواد من الخواص الطبيعية أو الكيميائية أو الحيوية للماء ، وبذلك يصبح غير مناسب للشرب أو للاستهلاك المنزلي أو في الزراعة أو في الصناعة .

6- مصادر ملوثات الماء :

تصاب المياه بالتلويث من مصادر متعددة تتوقف على نوعيات ومواضع هذه الخزانات المائية . ومن مصادر

تلويث المياه ما يلي :

1- التلوث الطبيعي :

ينتج التلوث الطبيعي للمياه من وجود مخلفات طبيعية نباتية أو حيوانية في هذه البيئات المائية ، بشرط ألا يكون الإنسان دخل في هذا النوع من التلوث . وتشتمل هذه المخلفات على الأجسام الميتة للكائنات الحية أو المواد العضوية المختلفة عنها وغير ذلك من المصادر . ومما يساعد على انتشار هذا النوع من التلوث ، الدمار الذي لحق بالغطاء النباتي على الكره الأرضية مثل أشجار الغابات والأحراش بسبب التصحر أو بسبب نشاط الإنسان . ويجب أن يكون معلوماً أن الغطاء النباتي على سطح الكره الأرضية يقوم بدور فعال في درء هذا النوع من التلوث .

2- التلوث الحراري :

وينتج هذا النوع من التلوث من استعمال كميات كبيرة من المياه لتبريد المفاعلات النووية أو الحرارية في محطات الطاقة ، ثم إعادة صرفها إلى البحر مرة ثانية ، وهذا من شأنه أن يؤدي إلى إحداث تغيير واضح في التوازن الحيوي في هذه البيئات ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة المياه عدة درجات مئوية . كما قد يساعد ارتفاع درجة حرارة المياه على ازدهار نمو أحد الكائنات الحية في النظام الحيوي الجديد بدرجة تؤثر على التوازن السائد لهذا النظام الحيوي ، وهذا من شأنه أن يؤدي في النهاية لإحداث أضرار حيوية

بالغة لهذا المسطح المائي . ومن التغيرات الحرارية للماء انخفاض محتواه من الأكسجين الذائب مع زيادة درجة الحرارة ، ومن ذلك زيادة نشاط الكائنات الحية نتيجة لزيادة سرعة العمليات الحيوية بها مما يترب على زيادة الطلب على الأكسجين الذي تقل نسبته مع زيادة درجة الحرارة . كما يؤدي الارتفاع في درجة الحرارة إلى نمو أنواع جديدة من النباتات التي تتلاعُم مع درجات الحرارة هذه ، والتي بدورها تنافس النباتات الطبيعية في هذه البيئة والذي بدوره ينعكس على الكائنات الحيوانية في تلك البيئة المائية التي قد لا تستطيع أن تعيش على تلك الأنواع الجديدة من النباتات .

3- تلوث المياه بالنفط ومشتقاته :

وينتج هذا النوع من التلوث من انتشار البترول ومشتقاته على مساحات شاسعة من المياه ، والذي يؤدي إلى تقليل التبادل الغازي بين الوسط المائي والهواء المحيط به ، مما يترب عليه تقليل نسبة الأكسجين الذائب في الماء وبطبيعة الحال فإن هذا يؤثر بدوره على الكائنات البحرية . كما أن للنفط ومشتقاته سمية واضحة على الكائنات الحيوانية والنباتية الدقيقة العالقة في الماء ، والتي تعد الغذاء الأولي للأسمدة . كما تقتل بقع التلوث بالنفط الكثير من الأحياء البحرية الأخرى ، وتقتل كذلك الطيور البحرية التي تتلامس أجسامها مع التلوث البترولي في المياه . وفيما يلي نورد أهم الأسباب التي تؤدي إلى تلوث المياه بالنفط :

- حوادث ناقلات النفط غير المعتمدة .
- تفريغ مياه التوازن التي تعبأ بها الناقلات وهي فارغة .
- تسرب النفط أثناء تحمل وتفريغ الناقلات .
- النفط المتسرّب نتيجة الحفر في قيعان البحار والمحيطات وما يصاحبها من حوادث .
- مصايف النفط ومصانع البتروكيماويات ومعامل التكرير الشاطئية .
- الهجوم على المنشآت النفطية وناقلات النفط أثناء الحروب .
- النفايات والمخلفات النفطية التي تلقّيه ناقلات النفط .

4- الأمطار الحمضية :

تعبر أحماض الكبريتิก والنيدريك المكونين الرئيسيين للأمطار الحمضية ، والتي تعمل على تغيير الرقم الهيدروجيني للمسطحات المائية مما يؤثر على الكائنات الحية المائية وقد تؤدي إلى موتها أحياناً . وتعتبر الأمطار حمضية إذا انخفض رق默ها الهيدروجيني إلى 5 فما دون . كما أن هناك ما يعرف بالأمطار القاعدية التي يصل الرقم الهيدروجيني لها إلى 8 فما فوق وعادة ما تكون غنية بالكلاسيت وغيرها من

الماء كالكربونات المذابة وينحصر سقوطها في المناطق الجافة وشبه الجافة ولا تشكل أخطاراً مقارنة بالأمطار الحمضية .

5- تلوث المياه بالخلفات الصناعية :

تشكل المخلفات الصناعية والحدة من أخطر ملوثات البيئات المائية ، فقد يترتب على صرف هذه المخلفات في البحيرات والأنهار والمحيطات والبحار نتائج سيئة جداً على الكائنات الحية فيها ، أو المرتبطة بها . ومن أخطر أنواع التلوث البحري بالمخلفات الصناعية تلك التي تنتج من الصناعات الكيماوية ، مثل صناعات الورق أو البويات أو النسيج أو صناعات المبيدات ومستحضراتها . فمخلفات هذه الصناعات تلوث البيئات المائية بمركبات كيماوية شديدة الخطورة والسمية أو بمعادن ثقيلة سامة مثل الزئبق والرصاص والكادميوم والزرنيخ وغيرها .

وتتمثل خطورة هذه الملوثات في :

- التأثير المباشر على الحياة البحرية وما يترتب عليه من إخلال في التوازن الحيوي فيها .
- إن بعض هذه الملوثات صفة التراكم داخل أجسام الكائنات البحرية الحية كالزئبق ، مما يهيئ الفرصة لانتقالها للإنسان من خلال السلسل الغذائية .
- كثرة عدد مثل هذه الملوثات الضارة وزيادة المنتجات المركبة الجديدة بصورة أسرع من تطور الدراسات التي تدور حول معرفة أضرارها .

6- التلوث بالمواد المشعة :

تتلوث المياه بالمواد المشعة نتيجة لسقوط الأمطار الملوثة بها ، أو من مياه التبريد لمحطات القوى النووية ، بالإضافة لردم النفايات المشعة في أعماق البحار ، أو تفريغ السائل منها بشكل مباشر في مياه البحار والمحيطات ، مما أدى إلى زيادة نسبة المواد المشعة في المياه .

وترجع خطورة هذا النوع من الملوثات ، إلى الآثار السيئة للإشعاع في كونه يتراكم حيوياً داخل أجسام الكائنات البحرية ، إلى أن يصل تركيزها فيها إلى مستويات عالية . ولتصل في النهاية إلى الإنسان من خلال السلسل الغذائية ، مسببة له أخطر الأمراض . هذا بالإضافة إلى تأثيرها المباشر على الحياة البحرية

7- التلوث بالمبيدات :

تلوث البيئات المائية بالمبيدات واحدة من أخطر أنواع التلوث ، بسبب أن للمبيدات تأثيرات شديدة السمية على البيئات المائية ، وعلى الكائنات الحية بها . وللمبيدات أنواع عدّة فمنها المبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش ومبيدات الفطريات ومسقطات الأوراق النباتية ومبيدات القوارض ومبيدات الرخويات ومبيدات الطيور وغيرها . وت تكون المبيدات من مركبات كيماوية متباعدة ، ولذلك فهي تؤثر على

الكائنات الحية بطرق مختلفة . كما أنها تنقسم حسب فترة بقائها في البيئة إلى مبيدات غير باقية وهي التي يستمر تأثيرها من عدة أيام حتى حوالي أربعة أسابيع ، ومبيدات متوسطة البقاء وهي التي يستمر وجودها في البيئة من شهر واحد وحتى 18 شهراً ، ومبيدات طويلة البقاء وهي التي يستمر وجودها في البيئة من عدة شهور وحتى عشرون عاماً ، ومبيدات دائمة وهي التي تستمرة في البيئة إلى ماشاء الله . وهنا تبرز خطورتها في حال انحلالها في الماء ووصولها إلى البيئات المائية من بحار ومحيطات وأنهار وبحيرات وغيرها ، ودخولها ضمن السلالس الغذائية للإنسان .

8- التلوث بأسمدة النباتات :

عند استخدام الأسمدة الزراعية فإن الزائد منها يذوب في مياه الري ويتم غسله ويصل في نهاية الأمر إلى المياه الجوفية كما تقوم مياه الأمطار بنقل هذه الأسمدة التي تبقى في التربة إلى المجاري المائية كأنهار والبحيرات . ومن أهم هذه الأسمدة المستخدمة ، مركبات الفسفور والتي تتصرف بأثرها السام لكل من الإنسان والحيوان ، ومركبات النترات التي يتحول جزء منها إلى أيون النتрит ، والذي يؤدي إلى تسمم الدم وقد يفضي إلى الوفاة .

9- تلوث المياه بمسببات العدوى :

تعتبر مسببات العدوى من بكتيريا وفيروسات وفطريات وبيوض لطفيليات وناقلات العدوى من أخطر ملوثات المياه لما لذلك من تأثير مباشر على صحة الإنسان عند استخدام هذه المياه لأغراض الشرب والاستحمام والزراعة والصناعة . تتلوث المياه بمسببات العدوى من مصادر كثيرة أهمها هو طرح مخلفات الصرف الصحي إلى المسطحات المائية مباشرة وبدون معالجة بيولوجية أو كيميائية . ومن أمثلة ذلك التهاب الكبد الفيروسي الدستاري وشلل الأطفال والكولييرا كما أن مخازن الأسلحة الجرثومية قد تكون سبباً في تلوث المياه بمسببات العدوى الخطيرة مثل جرثومة الجمرة الخبيثة وجرثومة الكولييرا والطاعون والجدري وغير ذلك من الكائنات المستخدمة في الحروب البيولوجية .

10- المخلفات البشرية السائلة :

يؤدي التلوث المائي بالمخلفات البشرية إلى زيادة واضحة في كمية المواد العضوية في مياه هذه البيئات . كما يؤدي إلى زيادة التلوث بمواد أخرى مصاحبة مثل المنظفات الصناعية الشائعة الاستعمال في المنازل والمستشفيات والمصانع خاصة مصنع الأدوية المستخدمة كبديل للصابون . حيث أن الكثير من هذه المنظفات لا تتحلل حيوياً بسهولة كالصابون ، مما يجعلها تترافق في هذه البيئات ، بالإضافة لسميتها الواضحة على بعض الكائنات المائية . وغالباً ما تصل المنظفات إلى مصادر المياه المتعددة دون الشعور

بذلك كما أظهرت إحدى الدراسات في الولايات المتحدة الأمريكية أن 40 % من الآبار الارتوازية ملوثة بمواد التظيف .

6- 4 معالجة مياه الصرف Waste Water Treatment

نتيجة للزيادة المئوية في عدد السكان و ما صاحب ذلك من تطور تقني فقد زادت نتيجة مياه الصرف الصحي المنزلي وكذلك مياه الصرف الصناعي . وتكون الأغراض الأساسية من معالجة المياه في ما يلي :

- المحافظة على التربة وعلى المنشآت العمرانية من وجود هذه المياه سائبة على السطح .
- منع تلوث البيئة بالبكتيريا والجراثيم والمخلفات الضارة الموجودة في المياه المستهلكة .
- منع تلوث المياه الجوفية قرية المستوى حديثة التكوين .
- المحافظة على المياه الصالحة من الاختلاط بهذه المياه الملوثة .
- استعمال المياه المعالجة في أغراض مختلفة .

إنه من الممكن أن تتنقى مياه الصرف الصحي المنزلي طبيعيا وذلك بفعل التحلل الحيوي الهوائي واللاهوائي للمواد العضوية وكذلك بفعل الترشيح الطبيعي بفعل الطبقات الصخرية . وتم المعالجة الطبيعية من خلال الدورات الطبيعية لكل من النتروجين ، الكربون ، الكبريت بالإضافة لعملية التبادل الأيوني .

غير أن المعالجة الطبيعية بطبيعة ولا تكفي وحدها لتنقية مياه الصرف الصحي خاصة بالنسبة للمدن الكبيرة المزدحمة بالسكان لذا لابد من اللجوء إلى إيجاد محطات تنقية للإسراع بهذه العملية الطبيعية ، ويمكن تقسيم طريقة معالجة مياه الصرف المنزلي في محطات التنقية إلى عدة مراحل سنشير إليها باختصار فيما يلي :

أولاً : مرحلة تمهيدية Preliminary treatment

وتتضمن هذه المرحلة على ما يلي :

1- المصافي Screens

التي تقوم بحجز المواد الطافية الكبيرة الحجم مثل الأوراق والأخشاب والبلاستيك والأقمشة وغيرها حيث يتم التخلص منها بالردم أو التجفيف والحرق.

2- أحواض حجز الرمل Grit chambers

والغرض منها ترسيب المواد غير العضوية إلى قاع الأحواض مثل الأتربة والرمائ والمعادن التي تصل إلى شبكة التصريف ، لذا تمرر مياه المخلفات البشرية السائلة في أحواض ترسيب رملية بسرعة مناسبة حيث تترسب المواد غير العضوية في قاع الحوض أما المواد العضوية فتبقى عالقة في الماء .

ثانياً : المعالجة الابتدائية Primary treatment

والغرض من هذه المرحلة تحسين خواص المخلفات السائلة وتهيئتها لمرحلة المعالجة البيولوجية ، وتشمل أحواض الترسيب الابتدائي حيث يتم فيها ترسيب المواد سواء كانت عضوية أو غير عضوية ونتيجة لذلك تخضع المواد العالقة بنسبة تصل إلى 55 % من التركيز الموجود في مياه المجاري قبل معالجتها ، كما ينخفض الأكسجين الحيوي المستهلك بنسبة تصل إلى 40 % ، ومن أجل ترسيب هذه المواد تمرر مياه المخلفات السائلة في أحواض الترسيب الابتدائي بسرعة 30 سم في الدقيقة ، وبهذا تترسب معظم المواد العضوية العالقة إلى قاع الحوض حيث تزال منه على فترات (مرتين أو أكثر في اليوم) ، هذا وقد تستعمل في بعض الأحيان المواد الكيميائية لزيادة فعالية الترسيب .

ثالثاً : المعالجة البيولوجية Biological treatment

حيث يتم فيها أكسدة المواد العضوية في مياه المخلفات ، وتعتمد هذه المعالجة على نشاط البكتيريا الهوائية ، ويستخدم في هذه المعالجة إما المرشحات البيولوجية Trickling filters أو أحواض التهوية (عملية الحمأة المنشطة Activated sludge) وذلك بعد خروج الماء من أحواض الترسيب الابتدائي .

1- المرشحات البيولوجية Trickling filters

وتتكون وحدات المرشحات البيولوجية من أحواض ذات جدران وقاع غير منفذة مملوءة بالحصى أو بالحجارة الصغيرة ، يتم توزيع مياه المجاري (بعد خروجها من حوض الترسيب الابتدائي) بواسطة أنابيب مثبتة تدور بسرعة محددة ، وأثناء دورانها تتدفع المياه من الثقوب وتسقط على سطح المرشحات وتتخالل فجوات الحصى مكونة طبقة شبه هلامية على سطح الحصى ، وتحتوي هذه المادة الهلامية على ملايين البكتيريا والكائنات الدقيقة التي تقوم بامتصاص الأكسجين (الوجود في الهواء الذي يتخلل مسام الحصى) لتكلس الماء العضوية . وبين فترة وأخرى تفقد المواد الهلامية قدرتها على الالتصاق بحببيات الحصى فتخرج مع الماء وهذا يساعد على عدم انسداد المرشحات إلا أنه يستوجب استعمال أحواض ترسيب ثانوية Secondary settling tanks تي المرشحات لحجز هذه المواد .

2- عملية الحمأة المنشطة Activated sludge (أو أحواض التهوية)

وتعتمد هذه العملية على تنشيط الكائنات الحية الدقيقة ، إذ تتم بتهوية وتقليل المخلفات السائلة بعد مرورها في أحواض الترسيب الابتدائي وبعد خلطها بنسبة معينة من الحمأة التي سبق تنشيطها والتي تحتوي على أعداد كبيرة من البكتيريا والكائنات الدقيقة حيث تتشط وتقوم بعملية أكسدة المواد العضوية ، كما أن التقليل المستمر يساعد على تخثر المواد العالقة وتجمعها في كتل كبيرة نسبياً يسهل ترسيبها في أحواض الترسيب الثانوية التي تتلقى المياه الخارجة من أحواض التهوية .

3- الترسيب النهائي Final sedimentation

وتتم هذه العملية في أحواض خاصة هي أحواض الترسيب النهائي ، وتعتبر جزءاً لا يتجزأ من عملية المعالجة بالحمأة المنشطة ، حيث أن الماء بعد خروجه من أحواض التهوية يحتوي على تراكيز مرتفعة من المواد العالقة التي يجب ترسيبها لخروج مياه المخلفات السائلة تعد ذلك وقد تخلصت من أكبر نسبة من العكارة والمواد العضوية فيها . كما أن المواد العالقة التي تترسب في أحواض الترسيب النهائي تحتوي على العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بعملية الأكسدة لذا تستعمل هذه المواد المترسبة في أحواض الترسيب النهائي كحمأة منشطة ويعاد قسم منها إلى أحواض التهوية . و يؤدي جميع هذه العمليات إلى خفض كبير في تركيز المواد العضوية في الفضلات السائلة كما يتضح من الجدول التالي :

| نسبة المعالجة (%) | | | طريقة المعالجة |
|-------------------|------------|--------------------|------------------|
| بكتيريا | مواد عالقة | أكسجين حيوي مستهلك | |
| 20 - 10 | 20 - 2 | 10 - 5 | حجز بالمصايف |
| 75 - 25 | 70 - 40 | 40 - 25 | ترسيب ابتدائي |
| 95 - 90 | 90 - 80 | 95 - 85 | مرشحات حصى عادية |
| 90 - 85 | 85 - 70 | 85 - 70 | مرشحات حصى سريعة |
| 98 - 90 | 95 - 85 | 95 - 85 | حمأة منشطة |

4- معالجة المخلفات السائلة بالكلور :

يستعمل الكلور للتخلص من رائحة المياه المعالجة قبل صرفها في المسطحات المائية ولزيادة كفاءة التخلص من البكتيريا الضارة . وتم عملية الكلورة في أحواض خاصة حيث تتم فيها الملامسة بين المياه الخارجة من عملية التنقية والكلور مدة لا تقل عن 30 دقيقة ، ومن المفضل أن يتراوح الكلور المتبقى بعد هذه الفترة الزمنية بين 0.2 و 0.3 جزء في المليون ، حيث يؤدي هذا إلى قتل أكثر من 99.9 % من بكتيريا الكولييفورم الموجودة في الماء . ويبيين الجدول التالي الجرعات المطلوبة من الكلور لتعقيم مياه الفضلات السائلة :

| جرعات الكلور الالزمة للمعالجة(مجم /لتر) | مخلفات سائلة بعد خروجها |
|--|-------------------------|
| 24 - 6 | المصايف |
| 12 - 3 | الترسيب الابتدائي |
| 9 - 3 | الترشيح الحصوي |
| 9 - 2 | الحمأة المنشطة |

ولكي تستخدم مياه المخلفات البشرية المعالجة لأغراض الزراعة يجب أن تستوفي المواصفات لهذا الغرض والجدول التالي يوضح تلك المواصفات في المملكة العربية السعودية:

| المادة | الحد الأقصى المسموح به (مجم/لتر) |
|--------------------------|-------------------------------------|
| الأكسجين الحيوي المستهلك | 10 |
| المواد الصلبة المعلقة | 10 |
| الألومنيوم | 5 |
| الزرنيخ | 0.1 |
| البيريليوم | 0.1 |
| البورون | 0.5 |
| الكادميوم | 0.01 |
| الكلور | 280 |
| الكوبالت | 0.05 |
| النحاس | 0.4 |
| السيانيد | 0.05 |
| الفلور | 2.0 |
| الحديد | 5.0 |
| الرصاص | 0.1 |
| الليثيوم | 0.07 |
| المتاجانيز | 0.2 |
| الرئيق | 0.001 |
| الموليبدنيوم | 0.01 |
| النيكل | 0.02 |
| النتريت | 10.0 |
| الرقم الهيدروجيني | 8.4 - 6 |
| السيلينيوم | 0.02 |

| | |
|--------------------|----------------------------|
| 0.1 | الفاناديوم |
| 4.0 | الزنك |
| 0.001 | الفينول |
| لا يوجد | الزيت والنفط |
| 50.0 مستعمرة/مل | كولييفورم Coliform (Fecal) |
| 2.2 مستعمرة/100 مل | كولييفورم Coliform (Total) |