الفصل الأول
مصادر التلوث وخصائص المياه الملوثة
Sources of Pollution and Characteristics of Contaminated Water

1.1 مقدمة Introduction :

قال الله تعالى في كتابه الكريم: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ﴾[الأنبياء:30].

وتكمن أهمية الماء للحياة في كونه يدخل في تركيب الخلايا بنسبة 75-95٪ من الكتلة البروتوبلازمية لكل خلية، كما يدخل في الأنسجة المختلفة لجسم الإنسان والحيوان ومكونات النبات، وكل مخلوقات الله .. كما أنه لا يتم أي من عمليات الهضم والامتصاص والتمثيل الغذائي إلا في وجود وسط مائي. وعلى الرغم من أن بقاء الإنسان مرتبط ببقاء الماء ونقائه، إلا أنه لم يحسن التعامل مع هذا الماء؛ نتيجة ازدياد الأنشطة السكانية الزراعية والصناعية بالقرب من مصادر هذه المياه؛ مما أثر سلبًا على خواصها الطبيعية والكيميائية؛ نتيجة ازدياد تركيز العديد من الملوثات في هذه المياه. وكنتيجة لازدياد هذه الأنشطة، فقدت هذه المياه قدرتها على التخلص من الملوثات، وأصبحت المياه - في العديد من المناطق والأماكن - غير صالحة للاستهلاك أو الاستعمال الآدمي، وهذا كله أدى إلى انخفاض كميات الماء الصالح للشرب، حيث من المعروف أن أغلب مصادره من الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية، وهذا مصداقًا لقوله تعالى: ﴿ظَهَرَ ٱلْفَسَادُ فِى ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِى ٱلنَّاسِ﴾[الروم:41].

ويعتبر الماء ملوثًا عندما تتغير عناصره المكونة له كمًّا أو نوعًا، أو تتغير حالته بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، بحيث تصبح هذه المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها. وأهم ملوثات المياه هي المواد التي تستهلك كميات عالية من

الأكسجين حتى تتم أكسدتها، سواء أكانت هذه الأكسدة حيوية أو كيماوية، وتشمل المواد العضوية الناتجة عن الأغذية، ومخلفات النباتات، وبقايا المحاصيل والمياه العادمة (المنزلية، والصناعية والزراعية). وهذه الأكسدة وهذا التحلل لهذه المواد يؤدي إلى استهلاك الأكسجين المذاب في الماء واستنزافه، وبالتالي تموت الأحياء المائية، مثل الأسماك والكائنات الحية الدقيقة الهوائية خنقًا، وفي الوقت نفسه تزداد الكائنات الحية الدقيقة اللا هوائية في الماء، فتتحلل المواد العضوية لا هوائيًا، وينتج عن ذلك غازات سامة وروائح كريهة بسبب هذه الغازات، مثل الأمونيا (NH_3)، وثاني أكسيد الكبريت (H_2S).

وأيًّا كان مصدر تلوث المياه، فإن حالة وطبيعة التلوث تكون أحد أربعة أنواع من التلوث، فقد يكون التلوث تلوثًا فيزيائيًّا، أو كيميائيًّا أو بيولوجيًّا أو إشعاعيًّا.

2.1. التلوث الفيزيائي Physical pollution :

التلوث الفيزيائي هو شكل من أشكال التلوث البيئي، ينتج عنه تغيير المواصفات القياسية للماء، عن طريق تغير درجة حرارته أو ملوحته، أو ازدياد المواد العالقة به، سواء أكانت من أصل عضوي أو غير عضوي. وينتج ازدياد ملوحة الماء غالبًا عن ازدياد كمية البخر لماء البحيرة أو الأنهار في الأماكن الجافة دون تجديد لها، كما تزداد الملوحة أيضًا نتيجة وجود نقص في المصادر الطبيعية للمياه؛ مما يؤدي إلى عدم تجديدها. وتؤثر ملوحة مياه الري على خصوبة التربة، عن طريق تراكم الأملاح الذائبة على سطح التربة، وفي منطقة الجذور بحسب نوع التربة؛ حيث يؤدي استخدام المياه المالحة في الري - وخاصة في الأراضي الطينية - إلى هدم بناء التربة، وجعلها قليلة النفاذية وعديمة التهوية. ومن المعلوم أن المياه المالحة الغنية بالكاتيونات - وخاصة الصوديوم Na^+ - تحول الطين الموجود في التربة إلى طين صودي غير ثابت، يتفكك بسرعة تحت تأثير مياه الأمطار ويتفرق. كذلك تؤثر ملوحة مياه الري على إنتاجية النباتات؛ حيث تختلف المحاصيل الزراعية في حساسيتها للأملاح الذائبة في مياه الري.

وبالنسبة للتلوث الحراري، فإن السبب الشائع له هو استخدام المياه كمبرد لمحطات الطاقة وللصناعات النووية، حيث عندما ترجع المياه للطبيعة بدرجة حرارة أعلى يقل الأكسجين الميسر أو الصالح للكائنات الدقيقة؛ وذلك نتيجة فرق درجة الحرارة؛ مما يؤثر تمامًا على التركيب البيئي. وعلى ذلك، فإن التلوث الفيزيائي الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة، يكون في غالب الأحوال، نتيجة صرف مياه تبريد المصانع والمفاعلات النووية القريبة من المسطحات المائية في هذه المسطحات بدون معالجة؛ مما ينتج عنه ازدياد درجة الحرارة، ونقص الأكسجين؛ مما يؤدي إلى موت الكائنات الحية في هذه الأماكن. أما الصناعات الأخرى - كصناعة الحديد والصلب وصناعة الورق ومصافي تكرير النفط وغيرها - فهي جميعًا تعد مصدرًا ثانويًّا للتلوث الحراري.

3.1. التلوث الكيميائي Chemical pollution :

ينتج التلوث الكيميائي - غالبًا - عن ازدياد الأنشطة الصناعية أو الزراعية بالقرب من المسطحات المائية؛ مما يؤدي إلى تسرب المواد الكيميائية المختلفة إليها. وتعد كثيرًا من الأملاح المعدنية والأحماض والأسمدة والمبيدات، من نواتج هذه الأنشطة، التي يؤدي تسربها في الماء إلى التلوث، وتغير صفاته. أي أن هناك تلوثًا بفعل الري والزراعة؛ وذلك لما تحمله معها مياه الزراعة من أملاح معدنية من الحقول المروية، ويتم صرفها إلى أقرب مجرى مائي أو بحيرة، وربما تحمل مياه الصرف الزراعي معها أيضًا مزيدًا من أملاح النترات، وغيرها من الكيماويات الموجودة في الأسمدة الزراعية، أو في مبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية من الأراضي التي تمت معالجتها بمثل هذه الكيماويات.

وهناك العديد من الفلزات السامة في الماء، تؤدي إلى التسمم إذا وجدت بتركيزات كبيرة، مثل الباريوم والكادميوم والرصاص والزئبق. أما الفلزات غير السامة - مثل الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم - فإن زيادتها في الماء تؤدي إلى بعض الأمراض، إضافة إلى تغير خصائص الماء الطبيعية، مثل الطعم وجعله غير مستساغ. كما أن هناك أيضًا التلوث بالمواد العضوية، والتلوث بالأسمدة الفوسفاتية والأزوتية، التي يؤدي وجودها في الماء إلى تغير رائحته، ونمو الحشائش والطحالب؛ مما يؤدي إلى زيادة

استهلاك الماء وزيادة البخر، وقد يؤدي في النهاية إلى ظاهرة الشيخوخة المبكرة للبحيرات، أو ما يسمى بالتشبع الغذائي Eutrophication؛ حيث تتحول هذه البحيرات إلى مستنقعات مليئة بالحشائش والطحالب، وقد تتحول في النهاية إلى أرض جافة.

إن تلوث المياه بزيوت البترول الخام يعتبر كارثة بحق .. وأمر كهذا هو محل اهتمام العلماء والمسئولين، وعند بحثهم لكارثة مثل هذه وجدوا أن زيت البترول يطفو على الماء، وله تأثير قاتل للطيور البحرية، التي تحط على سطح البحر، أو تغوص لصيد فرائسها تحت الماء، وكان الزيت يغطي ريشها، وتفقد الطيور القدرة على الطفو فوق الماء، والنتيجة تكون موت الآلاف من الأنواع المختلفة للطيور. كذلك فإن المنظفات الكيميائية التي تستخدم لتنظيف التلوث البترولي للمياه، تتحول إلى مبيد شديد السمية بالنسبة لبعض الكائنات البحرية الدقيقة، خاصة في منطقتي المد والجزر بالنسبة للكائنات التي تعيش على صخور الشاطئ.

4.1. التلوث البيولوجي Biological pollution :

وينتج هذا التلوث عن ازدياد الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات في المياه. وتنتج هذه الملوثات - في الغالب - عن اختلاط فضلات الإنسان والحيوان بالماء، بطريق مباشر عن طريق صرفها مباشرة في مسطحات المياه العذبة أو المالحة، أو عن طريق غير مباشر، عن طريق اختلاطها بماء صرف صحي أو زراعي. ويؤدي وجود هذا النوع من التلوث إلى الإصابة بالعديد من الأمراض؛ لذا يجب عدم استخدام هذه المياه في الاغتسال أو في الشرب، إلا بعد تعريضها للمعاملة بالمعقمات المختلفة، مثل الكلور والترشيح بالمرشحات الميكانيكية.

قد تحتوي المياه الملوثة على مستويات عالية من العناصر الغذائية، مثل النيتروجين والفوسفور، وصرف هذه العناصر بكميات كبيرة إلى البيئة يمكن أن يؤدي إلى تكوين بيئة غنية بالعناصر الغذائية السابق الإشارة إليها بمصطلح التشبع الغذائي Eutrophication، والتي بدورها تشجع على النمو الزائد Overgrowth للحشائش

والطحالب والسيانو بكتيريا أو الطحالب الخضراء المزرقة، وهذا قد يسبب النمو السريع جدًّا للطحالب، والذي يسمى Algal bloom. هذه الطحالب غالبًا ما تموت ثم تتحلل بواسطة البكتيريا؛ مما يستهلك كميات كبيرة من الأكسجين، حتى أن معظم - أو ربما كل - الحيوانات الأخرى تموت، وبالإضافة إلى ما تسببه هذه العناصر من نقص في الأكسجين، فإن بعض الطحالب تنتج سمومًا تصرف إلى البيئة. هذا علاوة على أن صرف هذه المواد إلى البيئة، قد يسبب اختزانها في أجسام النباتات التي تؤكل طازجة في صور ضارة بصحة الإنسان. ومن هنا كانت هناك ضرورة لإزالة العناصر الغذائية من مياه المجاري، وتستعمل لذلك عدة طرق سوف تتم مناقشتها في هذا الكتاب.

5.1. التلوث الإشعاعي Radioactive pollution :

ومصدر هذا التلوث يكون - غالبًا - عن طريق التسرب الإشعاعي من المفاعلات النووية، أو عن طريق التخلص من نفايات المفاعلات النووية في البحار والمحيطات والأنهار. وفي الغالب لا يحدث هذا التلوث أي تغيير في صفات الماء الطبيعية؛ مما يجعله أكثر الأنواع خطورة؛ حيث تمتصه الكائنات الموجودة في هذه المياه في غالب الأحوال، وتتراكم فيه، ثم تنتقل إلى الإنسان أثناء تناول هذه الأحياء، فتحدث فيه العديد من التأثيرات الخطيرة، منها الخلل، والتحولات التي تحدث في الجينات الوراثية.

6.1. مصادر تلوث المياه Sources of wastewater:

1.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات الزراعية Agricultural wastewater :

هي تلك المياه الناتجة عن الأنشطة الزراعية، وهي تشمل ما يلي:

- **مخلفات الحيوانات Animals wastes** :

وهي عبارة عن مادة عضوية قوية، بها تركيز عالٍ من المواد الصلبة، ومحتوى عالٍ من النترات والفوسفور، ومضادات حيوية، وهرمونات مصنعة، وكميات كبيرة من

الطفيليات وبيض الطفيليات. كما تحتوي أيضًا على طفيل الـ Cryptosporidium وهي طفيليات ضارة، تسبب الإسهال الشديد، ولا تقتلها عمليات تطهير مياه الشرب، وعلى الرغم من أن هذه الطفيليات يمكنها الانتشار بطرق عديده، إلا أن أسهل وأشهر طرق انتشارها تكون عن طريق الماء؛ ولذلك فإن الأمراض التي تسببها هذه الطفيليات هي من الأمراض التي تسمى Waterborne disease، أي الأمراض المنقولة عن طريق الماء.

تحتوي أيضًا مخلفات الحيوانات على البروتوزوا التي تسمى Giardia، وهي بروتوزوا لا هوائية متطفلة، تستعمر الأمعاء الدقيقة للإنسان، وتتكاثر بداخلها، مسببة الأمراض، حيث تلتصق بالخلايا الطلائية المبطنة للأمعاء، وتنقسم ثنائيًّا، ولا تنتشر في أجزاء أخرى من القناة الهضمية، وإنما تظل في الأمعاء الدقيقة، لتعيش في هذه الظروف غير الهوائية على غذاء الإنسان المهضوم، هذه البروتوزوا تصيب الحيوانات - بما فيها الإنسان - عند تناوله مياهًا ملوثة بمخلفات حيوان مصاب.

كما تحتوي مخلفات الحيوانات أيضًا على كثير من البكتيريا الممرضة للإنسان، مثل البروسيلا Brucella، وهي بكتيريا تسبب أنواعًا خطيرة من الحمى، وتصيب الحيوانات وتنتقل من مخلفات الحيوان إلى الإنسان عند تناوله ماء ملوثًا بمخلفات الحيوان المصاب. تحتوي أيضًا مخلفات الحيوانات على بكتيريا السالمونيلا Salmonella، وهي بكتيريا تسبب التسمم الغذائي، وتنتقل من الحيوانات المصابة إلى الإنسان، وتسبب أنواعًا عديدة من التسمم.

والمخلفات الحيوانية إما أن تكون صلبة، أو شبه صلبة، أو قريبة من السائلة، فيما يعرف بالـ Slurry، وهو معلق غليظ القوام لمخلفات الحيوان، وخصوصًا أبقار اللبن التي تربى في البيوت. ومن ناحية أخرى فقد أدى الطلب المتزايد على الدواجن والإنتاج الحيواني - في كل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية - إلى تراكم كميات

كبيرة من النيتروجين في المخلفات المائية الناتجة من هذا النشاط. وقد تناولت عدة أبحاث منشورة تركيز مركبات النيتروجين في هذه المخلفات، ووجد أن تركيز الملوثات النيتروجينية يختلف اختلافًا كبيرًا، وفقًا للمصدر ونوع وعمر الحيوانات، وطبيعة وكيفية تغذيتها، والطقس والمناخ، وكلها أمور تساهم في تكوين مياه الصرف الصحي. فعلى سبيل المثال، وجد أن أن مخلفات الدواجن الواردة من مزرعة بالقرب من إسطنبول تحتوي على 1318 ملليجرام نيتروجين / لتر في صورة NH_4، والجدول رقم (1-1) يوضح الاختلاف في تركيزات الأمونيوم (مجم / لتر) في مياه صرف ثماني مزارع أبقار في مقاطعة واترفورد جنوب أيرلندا، وذلك في قياس استمر ما يقرب من عقد من الزمن.

وعندما يتم إضافة كميات زائدة من الأسمدة النيتروجينية الكيميائية في الزراعة - كما هو الحال في كثير من أنحاء العالم، وخصوصًا في دول العالم الثالث، ومنها مصر، وفي إطار مجموعة واسعة من الظروف المناخية - فإن هذا قد يسبب رشح نترات؛ مما يؤدي إلى تلوث موارد المياه السطحية والمياه الجوفية؛ مما يجعل هذه المصادر غير صالحة لاستخدامها كمصادر لمياه الشرب دون معالجة.

ونظام الصرف المغطى الأفقي، يؤدي إلى السيطرة على المياه الجوفية، وغسيل الأملاح الذائبة الضارة من التربة، إلا أنه - أيضًا - يسبب خسائر في أشكال مختلفة من النيتروجين، عن طريق وصولها إلى مياه الصرف؛ مما يسبب تدهورًا في البيئة، وهذا من شأنه أن يحدث ضررًا للحياة المائية والنباتات والحيوانات. وقد قام الباحثون بدراسة رشح النيتروجين وتسربه من خلال أنظمة الصرف المغطى، وفي إحدى هذه الدراسات المهمة وجد Gheysari وآخرون سنة 2009، أن النترات NO_3 تتسرب

بمعدل يتراوح من 3.1 كجم / هكتار في حالة عدم التسميد النيتروجيني إلى 40.8 كجم / هكتار عند التسميد النيتروجيني، بمعدل 142 كجم / هكتار والري الكامل.

جدول (1-1): الاختلاف في تركيزات الأمونيوم (مجم / لتر) في المخلفات المائية باختلاف الزمن

السنة	عدد الحالات تحت الدراسة	الحد الأدنى لتركيز الأمونيوم المتسرب	الحد الأقصى لتركيز الأمونيوم المتسرب	متوسط تركيز الأمونيوم المتسرب
2001	46	179.89	480.00	41.30
2002	6	5.88	470.00	85.95
2003	92	0.10	1900.00	93.42
2004	120	0.19	654.00	67.45
2005	193	0.03	613.90	41.80
2006	77	0.27	180.44	36.76
2007	80	0.07	185.70	32.50
2008	62	0.00	262.12	47.05
2009	14	4.85	152.27	43.86

- **سوائل السيلاج Silage leachiate** :

السيلاج هو علف أخضر عالي المحتوى من الرطوبة، يصنع عن طريق الحفظ بمعزل عن الهواء. ويتم الحفظ بواسطة عمليات التخمر في أماكن تعرف بالصومعة أو السيلو، وهي إما تكون في صورة حفرة أو حوائط أو أبراج أسمنتية. ومدة التخمر

35 يومًا (5 أسابيع). يتم تصنيع السيلاج بغرض تغذية الحيوانات المجترة - مثل الأبقار والأغنام - عليها، وقد تستخدم كمغذيات للمفاعلات المصممة لإنتاج الغاز الحيوي تحت ظروف لا هوائية، والسيلاج يتم تخميره وتخزينه في عملية تسمى سيلجة، وعادة يتم تصنيعه من الحشائش أو المحاصيل، بما فيها الذرة الشامية والذرة السكرية، باستخدام النبات كله، أي المجموع الخضري بما يحمله من حبوب. وأحيانًا يتم عمل السيلاج من خليط من محصولين، مثل الشوفان وعرش البسلة، ويستخدم السيلاج في تغذية المواشي بشكل واسع في أوربا وأمريكا أثناء فصل الشتاء؛ حيث لا توجد حشائش نامية. السيلاج لابد أن يصنع من مواد نباتية لها درجة رطوبة تتراوح من 55 إلى 75٪، طبقًا لظروف التخزين، ودرجة الضغط المعرض لها المادة الخام أثناء التصنيع، وكمية الماء المفقود من المادة الخام أثناء تخزينها قبل التصنيع.

وفي صناعة السيلاج يتم تجميع المواد الخام، ثم تقطع ميكانيكيًّا إلى قطع صغيرة، طول كل منها حوالي 14مم، ثم توضع هذه المواد على الأرض، ويتم كبسها بواسطة الجرارات الزراعية؛ وذلك لاستخراج الهواء من المسافات البينية، ثم تغطى هذه الكومات بواسطة أغطية من البلاستيك؛ بحيث تكون مشدودة جيدًا، ولا تسمح بدخول الهواء، وسواء تم تكويم المواد الخام بهذه الطريقة أو بطريقة أخرى، فإن عملية السيلجة تتم عن طريق حدوث تخمر لا هوائي، والذي يبدأ بعد 48 ساعة من إعداد المواد وجعل الظروف غير هوائية. وتقليديًّا تقوم البكتيريا الموجودة أساسًا في المواد الخام بعملية التخمير، ولكن حديثًا يتم التلقيح بالبكتيريا المتخصصة لإسراع عملية التخمير، أو لتحسين خواص السيلاج الناتج. إن العملية تتلخص في تحويل السكريات إلى أحماض، وفي استهلاك الأكسجين الموجود، ويكتمل التخمر خلال أسبوعين، وتقوم به بكتيريا حامض اللاكتيك، وأكثر الأنواع شيوعًا في هذا الصدد هو النوع *Lactobacillus plantarum*.

وهناك مواد تضاف لرفع القيمة الغذائية للسيلاج، مثل اليوريا، وهي منتج آزوتي، والأمونيا التي تضاف في صورة فوسفات الأمونيوم الأحادية، ومخلوط الأمونيا بالماء. كما تضاف الأمونيا اللامائية، وهي تستخدم مخلوطة مع الماء والمولاس في عمل

السيلاج، أو يتم تبريد غاز الأمونيا؛ حتى يتحول إلى الصورة السائلة؛ مما يسهل استخدامها، كما يضاف أيضًا حامض البروبيونيك، الذي يعتبر أحد نواتج عملية التخمر في الكرش؛ ولذا فإن إضافته للسيلاج تزيد من قيمته الغذائية، وتضاف أيضًا الأملاح المعدنية، مثل فوسفات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم، وفي صناعة السيلاج قد تضاف أيضًا مواد معقمة وحافظة للعلف الأخضر، كالفورمالدهيد أو ثاني أكسيد الكبريت أو ميتا بيوسلفات الصوديوم (كلور الصوديوم).

هذه الإضافات تزيد من تركيز هذه المواد في سوائل السيلاج، وتسبب تلوثًا شديدًا عندما تصل إلى مصادر المياه السطحية أو الجوفية. علاوة على ذلك، فإن التخمر ينتج عنه كميات كبيرة من السوائل التي تحتوي على كميات كبيرة من حامض النيتريك (HNO_3)، كما أن عملية السيلجة تتطلب - في بعض الأحيان - إضافة محسنات حامضية، مثل حامض الكبريتيك أو حامض الفورميك؛ ولذلك - وكما ذكرنا - تتخلف عن عملية السليجة سوائل ذات لون أصفر، ورائحة شديدة النفاذية، وهي سوائل غنية جدًّا بالسكريات والكحولات والأحماض العضوية قصيرة السلسلة.

هذه السوائل يمكن أن تسبب تلوثًا شديدًا إذا ما تم صرفها إلى البيئة بدون معالجة. وهناك عدة طرق يتم عن طريقها معالجة السوائل المتخلفة عن عملية السليجة، أهمها استخدامها في الزراعات المائية التي سبق شرحها، ولكن ترك النباتات المستخدمة لتصل إلى درجة جيدة من الذبول قبل عملية السليجة، وهو ما يقلل بشدة من السوائل المنتجة، كما يغير من طبيعة هذه السوائل، حتى أنه يمكن استخدامها كغذاء لبعض الحيوانات.

- **السوائل المتخلفة عن استخدام المبيدات Leachiate from pesticides usage:**

المبيدات هي مواد كيميائية تقضي على الكائنات الحية غير المرغوب بها، ومنها المبيدات الحشرية (Insecticides) التي تستخدم في مكافحة الحشرات الضارة، والمبيدات العشبية (Herbicides) التي تستخدم في مكافحة الأعشاب والحشائش الضارة، والمبيدات الفطرية (Fungicides) التي تستخدم في مكافحة الفطريات

الضارة، التي تسبب مرض النبات، ومبيدات القوارض (Rodenticides) التي تستخدم في مكافحة الفئران وسائر القوارض الضارة. وهناك بعض المبيدات التي تستخدم في تطبيقات صناعية مختلفة، مثل مبيدات الطحالب، ومبيدات الجراثيم، وغيرها. وتشترك المبيدات في كونها تتداخل لوقف العمليات الحيوية في الكائن الحي غير المرغوب به بشكل أو بآخر؛ لذا فهي - بالطبع - سامة.

وتعتبر المبيدات الكيميائية ملوثات خطيرة للغلاف الجوي والبيئة المائية، كما تعمل عادة على قتل العديد من الكائنات الحية غير المستهدفة مع الكائنات الضارة المستهدفة، ويمكن تقسيمها من الناحية الكيميائية إلى قسمين رئيسن؛ القسم الأول: هو المبيدات التي يدخل فيها الكلور (Chlorinated Pesticides)، ومن أشهرها الدي دي تي (DDT)، والقسم الثاني: هو المبيدات الفوسفورية العضوية (Organ phosphorous Pesticides)، ومن أشهرها الباراثيون (Parathion)، ولكننا نعرف أيضًا أن الآفات تشمل آلافًا من الأجناس، وأنها تختلف باختلاف أنواعها وأجناسها وأصنافها، ومن البديهات أن ما يصلح من مبيدات في مكافحة آفة حشرية لا يصلح غالبًا في مكافحة آفة فطرية، ولهذا تتعدد المبيدات بتعدد أنواع الآفات، وقد يصل الاختلاف إلى ما بين أنواع الجنس الواحد من أي آفة. فالحشرات مثلًا لكل جنس منها خصائص، تناسبها أنواع محددة من المبيدات، ولا تناسبها أنواع أخرى. كذلك فإن الحشرات التي تصيب الحبوب تناسبها مبيدات، تختلف عن المبيدات التي تناسب الحشرات التي تصيب النباتات، وهذا سبب آخر من أسباب تعدد المبيدات وتعدد مستحضراتها.

إن بقايا كثير من المبيدات الكيميائية التي تصرف إلى مصادر المياه قد تصل إلى تركيزات تسبب أمراضًا قاتلة، مثل السرطانات والعقم والتشوهات الخلقية، وغيرها من الأمراض الخبيثة، ولا ندري ماذا يخبئ لنا القدر من استخدامنا للمبيدات الكيميائية التي نستخدمها اليوم، ويبيعها لنا الغرب. إن كثيرًا من الدول الغربية تقوم بتصنيع المبيدات والأسمدة الكيماوية فقط؛ من أجل بيعها إلى دول العالم الثالث؛ حيث إن قوانين البيئة تحظر استخدامها هناك.

إن الاستخدام غير السليم للمبيدات الذي ينتج عنه وصول المخلفات المائية الملوثة بهذه المبيدات إلى البيئة، يمكن أن يؤدي إلى مخاطر شديدة. هذا التلوث يظهر بوضوح - مثلًا - نتيجة استخدام مبيدات الحشرات في مكافحة الحشرات التي تصيب قطعان الأغنام؛ حيث إن كمية المياه المستخدمة تكون كبيرة، وبالتالي فإن المخلفات المائية الملوثة بالمبيدات الحشرية تكون كبيرة، وفي كثير من الأحيان يتم صرف هذه المخلفات المائية في بحيرات صناعية، وتركها فترة طويلة حتى تهدم تمامًا، كذلك فإن رشها على مساحة أرض واسعة في مناطق خاصة تعتبر أيضًا طريقة مشروعة.

وبصفة عامة، يؤدي استخدام المبيدات إلى اختلال التوازن البيئي، من خلال تلويث عناصر البيئة المختلفة - من تربة وماء ونبات وحيوان - بشكل يصعب إعادة توازنها. والمياه الجوفية والآبار والينابيع والأنهار والبحيرات والخزانات المائية والبرك، تدخل ضمن المواقع المعرضة للتلوث بالمبيدات. وتتلوث مياه الشرب بالمبيدات بأكثر من وسيلة، منها الانتقال العرضي من المناطق المجاورة أثناء عملية الرش، أو من جراء التسرب من الأراضي التي تتعامل مع مبيدات بالتزامن مع حركة الماء، أو يحدث التلوث المباشر باستخدام المبيدات في القضاء على نبات ورد النيل مثلًا، الذي ينتشر على صفحة نهر النيل في مصر، وبالتالي تمثل مخلفات المبيدات مشكلة خطيرة، سواء بالنسبة لصحة الإنسان؛ من حيث تأثيره على الجهاز التنفسي والجلد والعين، أو باعتباره مهلكًا للأسماك وضارًّا بالزراعات؛ خاصةً نبات القطن عند ريه بمياه تم التعامل معها بتلك المبيدات في حالة القضاء على ورد النيل مثلًا. كما أنه ضار بالحيوانات المنتجة للبن عند شربها لمياه ملوثة.

هناك أيضًا تأثيرات صحية ضارة للمبيدات المذابة في المياه، التي قد تنتقل إلى التربة وينتج عنها زراعة نباتات ملوثة، أو نتيجة تناول الحيوانات لنباتات تم ريها بالماء الملوث، أو شربها من الماء الملوث مباشرةً، وهي:

1. ظهور أعراض الحساسية الصدرية والربو وتصلب الشرايين، وظهور أعراض السرطان.
2. تضخم الكبد، وظهور الأمراض الجلدية وأمراض العيون، وحدوث اضطرابات في المعدة.

3. فقدان الذاكرة، ومن أعراضها التبلد والخمول.
4. تدمير العناصر الوراثية في الخلايا، وتكوين أجنة مشوهة.

- **مخلفات حلب اللبن وذبح الحيوانات Wastewaters of dairy and slaughter animals:**

نتحدث هنا عن مخلفات عمليات الحلب وتفريغ اللبن في أواني التصدير إلى أماكن الاستهلاك، فعلى الرغم من أن اللبن له مكانة يستحقها كمادة غذائية عالية القيمة، إلا أن وجوده في المخلفات المائية نتيجة غسيل أواني الحلب معًا مع غسيل ضروع الحيوانات ومواد التطهير، يجعلها شديدة الخطورة كأحد ملوثات البيئة؛ وذلك لاحتوائه على كميات كبيرة من المواد العضوية؛ مما يجعلها تستهلك أكسجين مياه الترع أو الأنهار بسرعة، فتسبب خسارة في الثروة السمكية. ومعالجة هذه المخلفات المائية تتم من خلال صرفها في مجاري الصرف الصحي، كذلك فإن صرفها عن طريق الرش على مساحة واسعة من الأرض يعتبر أيضًا أحد الخيارات المشروعة.

وبالنسبة لمخلفات ذبح حيوانات المزرعة فإنها تشبه مخلفات حلب اللبن، غير أنها نسبيًّا قد تكون أقوى في محتواها من المواد العضوية، وتعالج أيضًا عن طريق صرفها في مجاري الصرف الصحي. إن المجازر تخلف كميات هائلة من النفايات التي تحتوي على نسبة مرتفعة من الماء والأحياء الدقيقة والإنزيمات، وبذلك فهي قابلة لتفاعلات حيوية كثيرة؛ ولذلك يجب معالجتها للحد من التلوث والروائح الكريهة. وقد تمثل هذه النفايات بعض المواد الصالحة للاستهلاك والغنية بالمواد الغذائية التي يمكن استرجاعها وإعادة استعمالها، وعلى الرغم من أن مخلفات المجازر الصلبة يمكن أن يتم تجميعها والاستفادة من جزء كبير منها، إلا أن الدم لا زالت المجازر لا تجمعه وطبعًا فإنه يصرف مع مياه الصرف؛ ليزيد من حمولتها بالمواد الملوثة، فتصبح موضع خطر للمياه وللطبيعة بشكل عام.

وإذا كان الدم في الدول الصناعية يعالج قبل رميه في مجاري المياه، وقد تستخرج منه بعض المركزات البروتينية الغنية، والتي تستعمل في المواد العلفية، فإن الدم في

الدول النامية قد يرمى مباشرة في المجاري المائية، ونعلم أن الذبح على الطريقة الشرعية يخلف كميات هائلة من الدم؛ ولذلك فإن حجم التلوث يكون أكبر.

تشمل صناعة اللحوم ومنتجاتها العديد من المجازر ومصانع اللحوم، التي تختلف في الحجم والمساحة من مصنع إلى آخر، حيث تعتبر المخلفات الناتجة عن تلك الصناعة متشابهة إلى حد كبير، رغم اختلاف حجم المصنع أو المجزر. والحقيقة أن المياه الناتجة عن تلك المصانع التي تحمل الكثير من المخلفات العضوية، تؤدي إلى تلوث كبير في البيئة، ويصبح تأثيرها أكبر إذا ما صبت في الأنهار دون معالجة مناسبة.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية - في دراسة على تأثير تلك المياه - لوحظ أن المياه الناجمة عن المجازر ومصانع اللحوم، لها تأثير ضار في البيئة، يعادل أضعاف التأثير الناجم عن أي مصنع غذائي آخر، وهذا يرجع إلى:

- انتشار العديد من المجازر في المدينة الواحدة.
- الكميات العالية من المواد العضوية المحملة بها تلك المياه.
- التكلفة الاقتصادية العالية في معالجة تلك المياه.

ويمكن تقسيم المخلفات الناتجة عن صناعة اللحوم ومنتجاتها إلى:

1. مخلفات الماشية والحيوانات المختلفة قبل الذبح (أثناء الأربعة والعشرين ساعة الراحة) في الأحواض المخصصة داخل المجازر، حيث يعرف أن الحيوان يحجز في تلك الأحواض لمدة 24 ساعة للراحة قبل عملية الذبح؛ وذلك لإجراء الكشف الطبي عليه، وتقدير مدى ملاءمته لعملية الذبح.
2. مخلفات المجازر بعد عمليات الذبح وإعداد اللحوم، مثل الدماء الناتجة عن الذبح والسلخ ومخلفات الجهاز الهضمي (الأحشاء وغيرها)، واللحوم غير الصالحة للاستهلاك الآدمي، التي تعدم.

كل تلك المخلفات لها خاصية تعفنية ورائحة كريهة؛ لاحتوائها على تركيزات عالية من المواد البروتينية، وإذا صرفت بدون معاملة إلى أي مصدر مائي كالأنهار، فإنها

تؤدي إلى نفاد واستنفاد الأكسجين الذائب؛ ومن ثم إلى إلحاق أضرار شديدة بالكائنات البحرية، كما تؤدي إلى انتشار الروائح الكريهة، وترسبات طينية، ووجود رغاوي أو زبد بشع الشكل يطفو على سطح المياه، وعلى كل حال يمكن تلخيص أهم المصادر المؤثرة في المياه المستخدمة في المجازر فيما يلي:

1. روث الحيوانات والبول.
2. غسل الذبائح والأراضي والأواني.
3. الدم والدهون.
4. المياه المستخدمة في طهي أو تمليح اللحوم.

- **المخلفات المائية لغسل الخضروات وحرائق المزارع Wastewaters of washing vegetables and farm fires:**

إن غسيل كل الخضروات قبل تصديرها إلى أماكن البيع ينتج عنه كميات كبيرة من المياه التي تحتوي على تربة وعلى قطع من الخضار، ومستويات منخفضة من المبيدات التي استعملت في معاملة الخضروات، وكذلك مستويات من كيماويات أخرى مثل الكلورين. هذه المياه لا يجب صرفها مباشرة إلى البيئة بدون معالجة. والواقع أنه ليس هناك طريقة مخصصة لمعالجة هذه المياه، وإنما تصرف في مجاري الصرف الصحي، كما تستخدم مرشحات كبيرة لفصل قطع الخضار والتربة، وإعادتها مرة أخرى إلى الأرض.

وبالنسبة للمخلفات المائية للحرائق، فهناك مزارع قليلة مزودة بخطة لمكافحة الحرائق؛ ولذلك فإن الحرائق تحدث في المزارع بنسبة أكبر من المصانع. والواقع أن مخازن المبيدات ومبيدات الحشائش ومخازن الأسمدة الكيماوية عندما تتعرض للحريق، فإنها يمكن أن تجعل المخلفات المائية لمكافحة الحرائق بها كميات قاتلة من هذه المواد، والطريق الأمثل لمعالجة المخلفات المائية لمكافحة الحرائق هو صرفها في بحيرات صناعية خاصة وملحقة بالمزرعة لهذا الغرض؛ وذلك لأن التركيز الشديد للكيماويات في هذه المياه يجعل من الصعب معالجتها بالطرق العادية، مثل صرفها في

مجاري الصرف الصحي، كما وجد أن رش هذه المياه على مساحة واسعة من الأرض لا يؤدي إلى التخلص منها بالكامل.

2.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات الصناعية Industrial wastewaters:

المخلفات المائية الصناعية هي تلك المياه التي تلوثت نتيجة النشاط الإنساني في مجال الصناعة أو النشاط التجاري السابق لخروج هذه المياه إلى البيئة. وعلى الرغم من المحاولات التي تجرى في البلاد النامية لتقليل كمية المياه الملوثة من العمليات الصناعية، فمازالت معظم الصناعات ينتج عنها كميات هائلة من المياه الملوثة، وللأسف فإن معظم البلاد النامية ليست لديها أنظمة لمعالجة المخلفات الملوثة نتيجة النشاط الصناعي.

إن تركيز مركبات النيتروجين في بعض مياه الصرف الصناعية أعلى بشكل كبير من تلك التي توجد في مياه الصرف الزراعي والمنزلي، ومركبات النيتروجين الأكثر سيادة في هذا النوع من مياه الصرف الصحي هي الأمونيا والنترات. يتم التخلص من الأمونيا عادة في مياه الصرف الصناعي، من خلال عملية التأزت التي تحقق أكسدة كاملة للأمونيا إلى نترات. وإزالة النترات من هذه الأنواع من مياه الصرف الصناعي هو خطوة لا مفر منها في العلاج.

وتفيد تقارير مختلفة - وردت فيما نشره مؤلف هذا الكتاب جابر بريشة و Josef Winter سنة 2010 - أن مياه الصرف الصناعية والزراعية تحتوي على أكثر من 200 مجم NO_3 / لتر، وبعضها تحتوي على مستويات أعلى من النترات، فعلى سبيل المثال، تحتوي مياه الصرف الصحي من الصوب الزجاجية على 325 مجم NO_3 / لتر.

وهناك العديد من الصناعات الأخرى يتولد عنها مياه صرف صحي تحتوي على كميات مختلفة من النترات، تتراوح من 222 ملجم نترات / لتر في مياه الصرف الصحي لبعض المدابغ في إيطاليا إلى 2320 ملجم نترات / لتر في مياه الصرف الصحي لمصانع إنتاج مادة ملونة تستخدم في مستحضرات التجميل، 3600 ملجم نترات / لتر من عمليات إنشاء مصنع للمتفجرات في الصين، 4000- 6000 ملجم نترات / لتر تنتج أثناء عملية تبريد الزجاجات في مصنع الخمور. والمخلفات المائية لشركة النصر

للصناعات للكيماويات والدوائية، جنوب شرق القاهرة تحتوي على أكثر من 6000 ملجم نترات / لتر، وهي تصرف في بركة مجاورة بدون معالجة حسب التقرير الذي نشره بدوي وآخرون سنة 2009. وفيما يلي نتناول أهم مصادر تلوث المياه بالمخلفات الصناعية:

- **المياه الملوثة بمخلفات صناعة الحديد والصلب Wastewaters of iron and steel industry:**

تعتبر صناعة الحديد والصلب من أكثر الصناعات استهلاكًا للطاقة، وبالتالي من أكثرها تلويثًا للبيئة. وقد ذكر العلماء أن إنتاج طن واحد من الحديد والصلب ينتج عنه صرف 460 مترًا مكعبًا من الغاز، و59 جرامًا من الزيت، واستهلاك 1400 ك.و.س من الكهرباء. وهكذا يمكن إدراك ما يمكن أن يترتب على هذا من تلوث للهواء والماء والتربة. ونظرًا للاستخدام الضروري للمياه في صناعة الحديد والصلب ينتج عن ذلك تلوث للمياه، وإحداث ضرر على البيئة، ومن أهم استخدامات المياه الصناعية التبريد المباشر، الذي ينتج عنه إزالة القشور من على سطح الحديد، وتختلط هذه القشور بالزيوت والشحوم المستعملة، فيحدث تلوث شديد للمياه.

إن إنتاج الحديد من مناجمه يشتمل على تفاعلات اختزال كثيرة، ينتج عنها مواد ملوثة للمياه المستخدمة في عمليات التبريد، مثل الأمونيا والسيانيد، ويجدر الإشارة إلى أن مياه التبريد تستخدم بكميات كبيرة، وبالتالي فإن تلوثها بمواد ضارة يعرض البيئة إلى خطر ملموس لا يمكن الاستهانة به. إن إنتاج فحم الكوك يتطلب أيضًا استخدام كميات كبيرة من المياه في مصانع الفحم؛ وذلك بغرض التبريد، وبغرض فصل النواتج الثانوية. وبصفة عامة، فإن صناعة فحم الكوك ينتج عنها تلوث المياه المستخدمة بالمواد التي تتحول إلى الصورة الغازية، مثل البنزين والنفتالين والأنثراسين والسيانيد والأمونيا والفينولات، هذا بالإضافة إلى معقد من المواد المتجمعة معًا، والتي تسمى هيدروكربونات.

كذلك فإن تحويل الحديد إلى ألواح عريضة أو إلى أسلاك أو قضبان، يتطلب مراحل متعاقبة من التسخين والتبريد باستخدام المياه، وفي هذه المراحل تتكون

ملوثات المياه من الزيوت المائية وجزئيات من المواد الصلبة، والأخطر من ذلك أن المراحل الأخيرة في صناعة الحديد والصلب تتطلب نقع الحديد الناتج في محاليل قوية من الأحماض المعدنية، فيما يعرف بعملية التخليل Pickling؛ وذلك بغرض إزالة الصدأ، وتجهيز أسطح الحديد الناتج لعمليات الطلاء بمواد مثل الكروم، أو تجهيز هذه الأسطح لمزيد من المعالجة، مثل عمليات الجلفنة Galvanization. وأكثر الأحماض استخدامًا لهذه الأغراض هما حامضي الهيدروكلوريك والكبريتيك؛ ولذلك فإن المخلفات المائية لهذه الصناعة عادة ما تكون شديدة الحموضة، على الرغم من أن كثيرًا من المصانع عادة ما تكون بها نظام استقبال الأحماض قبل خلطها بالمياه، وخصوصًا تلك المصانع التي تستخدم حامض الهيدروكلوريك، حيث تتم عمليات غليان لهذه الأحماض؛ لتتبخر بعيدًا عن الحديد، وتستقبل منفصلة، إلا أن هناك كميات ضخمة من أملاح الحديد الحامضية، سواء أكانت كلوريد الحديد أو كبريتات الحديد، وهي تختلط بالمياه، وهي شديدة الحموضة والخطورة.

- **المياه الملوثة بمخلفات المناجم والمحاجر Wastewaters of mines and quarries:**

إن أهم ما تسببه المناجم والمحاجر من تلوث للمياه هي جزئيات من الصخور، تجرفها مياه الأمطار إلى المجاري المائية التي تقع قريبة من أسطح هذه المناجم والمحاجر. ومن الملوثات الشائعة أيضًا التي تسببها المناجم والمحاجر الزيوت المائية، أما المخلفات المائية لمناجم المعادن فعادة ما تتلوث بالمعادن الموجودة في الصخور، فبعد جرش الصخور واستخلاص المواد المراد إنتاجها، فإن المواد غير المرغوبة تصبح ملوثة للمخلفات المائية. وبالنسبة لمناجم المعادن، فإن هذه المواد غير المرغوبة قد تكون الزنك ومواد أخرى مثل الزرنيخ، كما أن استخلاص المواد عالية القيمة مثل الذهب والفضة قد ينتج عنه مواد دقيقة جدًّا يصعب إزالتها ميكانيكيًّا، وتسبب تلوثًا للمخلفات المائية.

"إذا كانت هناك سيليكا، فالمسألة ليست مجرد غبار" .. عبارة سجلها المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة الأمريكية .. عبارة تشير إلى كثير من المسكوت عنه في

الصناعة "القذرة"، حسب التوصيف البيئي السائد لصناعة السيراميك .. تلك الصناعة التي لفظتها الدول الأوربية، وتراجع معدل إنتاجها منه بعدما ثبتت أضرارها على العاملين بها، وعلى بيئة التصنيع المحيطة؛ بل وعلى حياة المستهلكين .. دراسات عديدة أكدت خطورة هذه الصناعة وما يستتبعها من أعراض وأمراض، مثل تحجر رئوي للعاملين .. وأمراض جهاز تنفسي لسكان المناطق المجاورة .. وسرطانات للمستهلكين. ورغم كل هذه الدراسات التي أكدت احتواء أتربة الصناعة على مادة السيليكا المسببة للتحجر الرئوي، ورغم تراجعها في دول العالم للسبب نفسه، إلا أنها تنامت - وبشكل كبير جدًّا - في مصر.

إن المخلفات السائلة الناتجة أيضًا عن تلك الصناعة، تعد أحد أهم مصادر تلوث البيئة؛ حيث تنتج عن صناعة السيراميك كميات كبيرة من المياه الملوثة من عمليات غسيل القوالب لإزالة المواد العالقة بها، كما تمثل أيضًا الملوثات التي يتم فصلها بعد عملية الصب وقبل التجفيف مصدرًا آخر لتلوث المياه، كذلك فإن "زيوت التزليق المستهلكة إذا تم صرفها على خطوط الصرف، فإنها تتسبب في تلوث مياه الصرف بالزيوت، وكذا عملية تلميع المنتجات تنتج كميات كبيرة من المياه الملوثة التي تحتوي على الجسيمات العالقة والجسيمات المترسبة، بالإضافة إلى مياه الصرف الصحي الملوثة". ورغم كميات التلوث البيئي والضرر البشري الناتج عن تلك الصناعة، إلا أن حجم نموها في مصر أصبح يتزايد بشكل كبير، مقارنة بالدول الأخرى، فطبقًا لمعلومات وزارة التجارة الخارجية، احتلت مصر عام 2000 المركز السادس عشر في الترتيب العالمي للدول المنتجة للسيراميك، بحصة إنتاجية تصل إلى 60,7 مليون متر مربع، مقابل نصيب دول الاتحاد الأوربي الذي انخفض في العام نفسه، وتراجعت إيطاليا التي تحتل المركز الأول لإنتاج السيراميك عام 2000، وتؤكد أيضًا المعلومات الواردة من اتحاد الصناعات المصرية أن حجم إنتاج مصر من السيراميك تزايد في السنوات الأخيرة، حتى أنه وصل إلى 200 مليون متر في عام 2010، وأن مصر تقوم بتصدير 20٪ من الإنتاج للخارج، ويتوقع أن صادرات مصر من السيراميك ستزداد خلال الفترة القادمة إلى 30٪ من حجم الإنتاج، مشيرًا إلى أنها أصبحت من إحدى الدول العشر

الأولى في إنتاج السيراميك. وتتعامل الدول الأجنبية مع الدول النامية - بما فيها مصر - باعتبارها "مخزن" الصناعات الملوثة، فتواجد صناعة السيراميك في مصر وتناميها لا يعتمد فقط على الأيدي العاملة الرخيصة، التي تتقاضى أجورًا هزيلة في بيئة عمل سيئة لا تتناسب مع نوعية الصناعة التي يقومون بإنتاجها، لكن تناميها يعتمد - بشكل أساسي - على مقدار ما تنتجه من تلوث.

- **المياه الملوثة بمخلفات صناعة الأغذية Wastewaters of food industry**:

إن المخلفات المائية التي تنتج عن عمليات الصناعات الغذائية لها خصائص تقترب من خصائص مياه المجاري الشائعة؛ حيث إنها تحتوي على مواد عضوية قابلة للهدم، ولكنها لها BOD عالٍ، كما تحتوي على مستوى عالٍ من المواد الصلبة المعلقة. والحقيقة أن مكونات المخلفات المائية لصناعة الأغذية تختلف من مكان إلى آخر؛ نظرًا لوجود فروق في الـ BOD ودرجة الـ pH في المخلفات المائية للخضروات والفاكهة ومنتجات اللحوم، ونظرًا أيضًا لاختلاف المواد الخام باختلاف المواسم، وكذلك باختلاف مواعيد الحصاد، فإن عمليات التصنيع الغذائي تتطلب كميات كبيرة من المياه شديدة النقاء؛ فغسيل الخضروات قبل تصنيعها يتطلب كميات كبيرة من الماء النقي، والذي يتلوث بكثير من المواد العضوية، والمضادات الحيوية، وهرمونات النمو، وبقايا المبيدات التي استخدمت لمكافحة الطفيليات. وكذلك فإن تجهيز اللحوم يتطلب استخدام كميات كبيرة من المياه التي تتلوث بكميات كبيرة من الدم ومحتويات كروش الحيوانات. كذلك فإن عمليات تصنيع الغذاء وتجهيزه للأسواق تتطلب عمليات طبخ، ينتج عنها ملوثات عضوية للمخلفات المائية، كما أن المخلفات المائية لعمليات الطبخ قد تتلوث أيضًا بالأملاح، والمواد الخاصة بالنكهة، والمواد الملونة، والأحماض والقلويات، وكميات كبيرة جدًّا من الزيوت والدهون.

- **المياه الملوثة بمخلفات صناعة الكيمياويات العضوية المعقدة Wastewaters of complex organic chemicals industry:**

هناك مواد كيماوية عضوية كثيرة يتم تصنيعها، ويتخلف عنها مخلفات شديدة التلويث للمياه، قد تسبب أضرارًا شديدة جدًّا، هذه الصناعات تشتمل على صناعة

المبيدات، وصناعة الأدوية، وصناعة زيوت الطلاء والصبغات، وصناعة البتروكيماويات، وصناعة المنظفات، وصناعة البلاستيك، والنفايات الطبية الناتجة عن المختبرات والمستشفيات ... إلخ. إن المخلفات المائية لهذه الصناعات قد تحتوي على بقايا من المنتج الرئيس في صورة ذائبة أو غير ذائبة، أو تحتوي على كثير من النواتج الوسطية لهذه المنتجات التي قد تكون أكثر خطورة. وبشكل عام، تصل كميات كبيرة من المواد العضوية الخطيرة الناتجة من هذه الصناعات إلى المياه، وتسبب خطورة شديدة إذا لم يتم معالجتها.

كذلك فإن النفايات الصناعية الناتجة من عمليات التصنيع الكيماوي تصل إلى المياه، وتشمل هذه النفايات معادن ثقيلة كالرصاص والزئبق ومذيبات عضوية ومركبات السيانيد وأحماض ومركبات عضوية مهلجنة ومركبات فسفورية، وغيرها. والمركبات العضوية الهالوجينية هي مركبات عضوية تحتوي جزئياتها على بعض ذرات الهالوجين، مثل ذرات الكلور، أو الفلور، ولهذه المواد استعمالات متعددة في كل نواحي الحياة الزراعية والمنزلية والصناعية، مثل مركبات الفريون، وبعض المبيدات الحشرية مثل (د.د.ت) واللندين، ومركبات ثنائي الفينل عديدة الكلور، والديوكسين، وغيرها. وتتصف هذه المواد بسميتها الشديدة، وتفككها البطيء الذي يستمر عشرات السنين، وهناك بعض المركبات العضوية الأخرى التي تحتوي على الهالوجينات، والتي انتشر استعمالها، وتأتي في أغراض عديدة، ومن هذه المواد البوليمر المعروف باسم بولي فينل كلوريد. وتأتي خطورته من احتوائه على نسبة ضئيلة من الفنيل كلوريد الحر، الذي يسبب السرطان. وتعتبر مركبات السيانيد من المواد ذات الخطورة الشديدة والسمُية العالية؛ نظرًا لتأثيرها على صحة الإنسان والبيئة، وتستخدم مركبات السيانيد في عمليات الطلاء وتنظيف المعادن، وفي صناعة المطاط، ومواد تلميع الفضة ومبيدات القوارض، كما تستخدم في فصل الذهب والفضة من خاماتهما، وتوجد مركبات السيانيد على شكل صلب أو غاز أو سائل ويمكن تصنيفها إلى نوعين:

أ- **مركبات السيانيد البسيطة**: وهي مركبات كيميائية يرتبط فيها أيون السيانيد مع شق قاعدي (صوديوم، بوتاسيوم) أو شق معدني، ومن أمثلتها سيانيد الصوديوم

وسيانيد النحاس، وعند ذوبان هذه الأملاح في الماء فإنها تتأين إلى أيونات، فمثلًا سيانيد الصوديوم يتأين إلى سيانيد وصوديوم، وأيونات السيانيد خطرة جدًّا، خاصة عندما تكون درجة الحموضة أقل من 6؛ لأن هذه الأيونات تتفاعل مع الهيدروجين بسرعة، مكونة سيانيد الهيدروجين، الذي يعتبر - بدوره - غازًا سامًّا جدًّا.

ب- مركبات السيانيد المعقدة: توجد السيانيد المعقدة في صور مختلفة، حيث ترتبط مع شق قاعدي ومعادن ثقيلة (نحاس، نيكل، كادميوم ... إلخ)، وتستخدم مركبات السيانيد المعقدة في الطلاء الكهربائي بشكل واسع. وانتشار مركبات السيانيد في البيئة من خلال انبعاثها إلى الهواء أو المياه السطحية والجوفية أو التربة، تؤدي إلى تلوث ومخاطر سمية على الإنسان والكائنات الحية الأخرى؛ حيث يؤدي تحلل مركبات السيانيد إلى إنتاج السيانيد الحر، الذي يتحد مع أيون الهيدروجين، وينتج غازًا سامًّا، وينتشر في البيئة ويتكون سيانيد الهيدروجين HCN - كما أسلفنا.

- **المياه الملوثة بمخلفات الصناعات النووية Wastewaters of nuclear industry:**

المخلفات الإشعاعية هي مصطلح يطلق على كل مخلفات تحتوي على مواد إشعاعية، وغالبًا ما تنتج عن عمليات الصناعات النووية كالانشطار النووي، ولكن هنالك الكثير من الصناعات التي تنتج مخلفات إشعاعية ولا تتم فيها تفاعلات نووية. غالبية المخلفات النووية لا تحتوي على تراكيز عالية من النظير المشع، ولكنها تبقى مصدر خطر وتلوث إشعاعي على الجسم البشري. وأهم مصادر المخلفات الإشعاعية هي ناتج استخدام الوقود النووي وعملية إنتاج الأسلحة النووية، كما تساهم بعض الصناعات الطبية والدوائية وبعض الصناعات التكنولوجية في إنتاج المخلفات الإشعاعية.

وما زال التخلص من المخلفات الإشعاعية قضية شائكة تواجه الصناعات النووية، وكان هنالك قناعة سابقة بأن هذه القضية قد تم حلها، إلا أن تقريرًا صادرًا عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام 2007، أظهر أن التخلص عبر الدفن العميق لا يمكنه منع المخلفات الإشعاعية من الوصول إلى التربة ومصادر المياه، وتهديد وجود الكائنات الحية على سطح هذا الكوكب.

إن تلوث المخلفات المائية للمفاعلات النووية والكيماويات المشعة، يأتي من معالجة المخلفات النشطة إشعاعيًّا، وهي عبارة عن مخلفات تحتوي على عناصر كيماوية مشعة، وليس لها استخدام عملي. هذه المواد أحيانًا تنتج من العمليات النووية، مثل عملية الاندماج النووي، ولكن هناك صناعات لا ترتبط بشكل مباشر بالصناعات النووية، وينتج عنها كميات كبيرة من المخلفات المشعة، فعلى سبيل المثال فإنه خلال الـ 20 عام الماضية فإن محاولات إنتاج الزيت أو البترول في الولايات المتحدة الأمريكية نتج عنها تراكم 8 مليون طن من المخلفات المشعة. وفي الولايات المتحدة أيضًا - على سبيل المثال - تظهر الأرقام الصادرة عن دائرة الطاقة وجود ملايين الجالونات من المخلفات الإشعاعية، وآلاف الأطنان من الوقود النووي المستهلك، بالإضافة لكميات هائلة من التربة والماء الملوث إشعاعيًّا، وأن تنظيف هذه المخلفات الموجودة حاليًا سوف يستغرق عشرات السنين.

- **المياه الملوثة الناتجة من معالجة المياه Wastewaters resulting from water treatment:**

معالجة المياه بغرض إنتاج مياه الشرب ينتج عنها أيضًا ملوثات، أو ينتج عنها مخلفات مائية ملوثة لابد من معالجتها، كذلك فإن هناك صناعات كثيرة تحتاج إلى معالجة الماء العادي؛ للحصول على مياه ذات درجة عالية من النقاء؛ لاستخدامها في أغراض خاصة. هذه المعالجة ينتج عنها أوحال Sludge عضوية وأخرى معدنية؛ نتيجة عمليات الترشيح والترسيب، وعلى سبيل المثال، فإن عمليات التبادل الأيوني باستخدام مواد طبيعية أو مصنعة، ينتج عنها إزالة لأيونات الكالسيوم والماغنسيوم والكربونات من الماء، واستبدالها بأيونات الهيدروجين والهيدروكسيل. كما أن إعادة تنشيط أعمدة التبادل الأيوني - باستخدام الأحماض والقلويات القوية - ينتج عنه مخلفات مائية غنية جدًّا بهذه الأيونات، أي مخلفات مائية شديدة التلوث.

3.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات المنزلية Domestic wastewaters:

مياه الصرف الصحي المنزلية تحمل التراب، والصابون، والغذاء، والشحوم، وأوساخ الأجسام، هذه المياه العادمة، التي تبدأ في المصارف، والمراحيض والاستحمام،

والغسالات، يمكن أن تحمل أيضًا العناصر الغذائية والميكروبات الممرضة، والعناصر الغذائية، وكل ذلك يسبب تلوثًا إذا لم تتم المعالجة. كما أن الميكروبات الممرضة تسبب كثيرًا من الأمراض الخطيرة، ويجب تصميم أنظمة لمعالجة المياه العادمة؛ لإزالة وتحطيم هذه الملوثات قبل أن تدخل المياه الجوفية أو البحيرات القريبة أو الترع. ويجب أن نعرف أساسيات نظم الصرف الصحي، واتخاذ إجراءات وقائية بسيطة؛ للمساعدة على منع حدوث مشاكل في المستقبل قد تحملنا إصلاحات مكلفة. وفي البلاد النامية تزايد في السنوات الأخيرة تقسيم المياه المنزلية إلى:

1. **المياه الرمادية Gray water**: وهي مياه ليست من المخلفات المائية الصناعية، ولكنها تنشأ نتيجة النشاطات المنزلية، مثل غسيل الأطباق والملابس والاستحمام، وتكون 50- 80٪ من المخلفات المائية.
2. **المياه السوداء Black water**: وهي المياه التي تحتوي فقط على براز وبول الإنسان، وتعرف أيضا بالمياه البنية، وتختلف عن المياه الرمادية من حيث إنها شديدة التلوث، وصعبة المعالجة؛ بسبب ما تحتويه من نسبة عالية من الملوثات العضوية.

وكثير من مياه المجاري تحتوي أيضًا على مياه سطحية، مثل المياه التي توجد فوق أسطح المنازل، وكذلك المياه التي تحتجزها الأماكن غير المستوية، كما قد تشتمل مياه المجاري أيضًا على المياه الناتجة من ذوبان الثلوج المتراكمة أو مياه الصرف الناتجة عن الري الزائد للأرض الزراعية، والتي لم تجد طريقها للماء الأرضي. وعلى أي حال، فإنه نادرًا ما يتم تصميم نظام لصرف المجاري بحيث يستوعب هذه الأنواع من المياه؛ لأنها أنواع غير ثابتة من حيث التركيب؛ ولذلك فإن دخولها إلى نظم صرف المجاري سوف يؤدي إلى تقليل كفاءة المعالجة؛ ولذلك يفضل في كثير في البلاد - مثل الولايات المتحدة الأمريكية - أن يكون لهذه الأنواع من المياه نظام صرف خاص؛ حتى تسهل معالجتها أو استخدامها، فيما يعرف بالزراعة المائية، كنوع من المعالجة والاستفادة في الوقت نفسه. وفي البلاد المطيرة، فإن مياه الأمطار - بما قد تحمله من ملوثات، مثل حبيبات التربة والمواد العضوية ومخلفات الحيوانات ومخلفات

الصناعات البترولية - تتبع الأنواع الأخيرة من المياه، ولا يتم صرفها إلى المجاري العادية.

إن مياه الصرف المنزلية تحتوي أيضًا على تركيزات عالية من النيتروجين والملوثات غير العضوية، التي تؤدي إلى زيادة المغذيات في المياه المستقبلة، ففي ولاية راجاستان بالهند - على سبيل المثال - وجد الباحثون أن مياه الصرف الصحي الواردة في محطة الحمأة المنشطة، تحتوي على نيتروجين كلي من 600-800 ملجم / لتر، وتركيز نيتروجين في صورة أمونيا من 80-110 ملجم / لتر خلال فصل الصيف. والتخلص من مياه الصرف الصحي المحلية في المناطق التي لا تخدمها شبكات الصرف الصحي يتم عن طريق استخدام خزانات وحقول التسرب؛ ولذلك فإن المخلفات السائلة في خزانات الصرف الصحي تحتوي - عادة - على نسبة عالية جدًّا من الملوثات، خصوصًا الملوثات النيتروجية. وعادة ما يتم التخلص من المخلفات المائية في الخزانات عن طريق صرفها في مساحات أرضية واسعة، تعرف بحقول التسرب الهوائية، حيث يتم تحويل الأمونيا والنيتروجين العضوي إلى نترات، والتي قد تتسرب إلى المياه الجوفية.

وتطبيق العمليات التقليدية لإزالة النيتروجين البيولوجي في محطات معالجة مياه الصرف ينطوي على أكسدة النشادر (NH_4) إلى نترات (NO_3) خلال عملية التأزت، ولا يجب أن تتوقف عملية إزالة النيتروجين عند عملية التأزت؛ حتى لا تتراكم النترات وتصل إلى المياه الجوفية، مسببة مشاكل بيئية خطيرة، ويتم التخلص من النترات عن طريق عملية عكس التأزت - كما سيأتي شرحه.

7.1. تلوث المياه السطحية أكثر خطورة Surface water pollution is more serious:

يعد تلوث المياه السطحية من أخطر أنواع تلوث المياه على الإطلاق؛ لأنه يؤثر على مياه الشرب والمياه المستخدمة في الزراعة والري. وينتج تلوث الأنهار والبحيرات عن عدة مصادر، منها صرف الملوثات الكيميائية المختلفة الناتجة عن المصانع، والصرف الصحي في هذه الأنهار والمحيطات، كما أن مخلفات الصرف الزراعي المحملة بالعديد

من الأسمدة العضوية، ومياه السيول المحملة بالمواد الذائبة العضوية والكيميائية، تعد من المصادر الخطيرة لتلوث مياه الأنهار والبحيرات، التي لا يمكن تحديد كميتها أو التحكم فيها. إلا أنه في العصر الحديث، ومع ازدياد النشاط الصناعي وتلوث الجو، أصبحت مشكلة الأمطار الحمضية من الأخطار التي تهدد مصادر المياه العذبة في العالم، وبصفة خاصة في البلدان الصناعية. إن حوالي 70٪ من الماء العذب يستخدم بواسطة الإنسان في أنشطته العادية وفي إنتاج الغذاء والتغذية. وعلى الرغم من أن إجراءات الأمان التي تتخذ بشأن مياه الشرب تحسنت بشكل متزايد خلال العقود القليلة الماضية في كثير من بلاد العالم، إلا أنه في البلاد النامية فإن 90 في المائة من النفايات الصناعية والزراعية يتم صرفها في الأنهار والترع بدون معالجة، وهذا يقلل من درجة أمان المياه. وهناك 50 دولة - تشكل حوالي ثلث سكان العالم - تعاني من مشاكل في تلوث المياه بدرجة متوسطة أو شديدة، وهذه الدول بالذات هي التي تعاني من نقص مصادر المياه، حتى أنها تستخدم المياه الجوفية بشكل منتظم، في الوقت الذي يجب أن تبقى فيه هذه المياه الجوفية كمخزون إستراتيجي لهذه الدول. إن ظاهرة الـ Eutrophication السابق الإشارة إليها تنتج من صرف المياه الملوثة التي تحتوي على تركيزات عالية من النيتروجين، أو تحتوي على مركبات بها نيتروجين إلى مصادر المياه الطبيعية؛ مما يتسبب عنه تلوث شديد لهذه المياه. هذا التلوث ينتج عنه تدهور في صفات المياه؛ مما يجعلها خطرة على صحة الإنسان والحيوان بشكل مباشر، وكذلك نتيجة نمو كائنات ونباتات سامة. إن وجود كميات كبيرة من النيتروجين في البيئة يسبب تدهورًا وخللًا في دورة العناصر الغذائية الطبيعية ما بين عالم الأحياء والتربة والماء والغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال، فإن وجود تركيزات عالية من النترات في المياه الجوفية يسبب أمراضًا خطيرة مثل السرطان، وما يسمى بمرض الطفل الأزرق Blue-baby disease الذي يصيب الأطفال حديثي الولادة، والذي يؤدي إلى الوفاة. ولقد ضربنا مثلًا بتلوث المياه بالنيتروجين، إلا أن هناك ملوثات أخرى لا تقل خطورة عن النيتروجين، مثل العناصر الغذائية الأخرى، والمضادات الحيوية، ومخلفات

المستشفيات، والسكريات الناتجة عن النشاط الصناعي والمواد العضوية المعقدة أو البسيطة، والمواد المشعة. وتذكر بعض المصادر أن المياه الملوثة تتسبب في وفاة ما يقارب من 14000 شخص سنويًّا، وعلى الرغم من استفحال المشكلة وضخامة حجمها، إلا أنها تزداد سوءًا يوميًّا، سواء في الدول النامية أو الدول المتقدمة، ولكنها أسوأ بكثير في الدول النامية.

8.1. خصائص المياه الملوثة Characteristics of contaminated water:

إن فهم طبيعة المياه الملوثة ضرورة ملحة في تصميم مشروعات وعمليات تجميع ومعالجة وصرف هذه المياه بعد المعالجة، كما أن فهم محددات استخدام المياه المعالجة يحدد – أيضًا - مجالات استخدامها، ومدى جودة البيئة التي نعيش فيها. وتتضمن مواصفات المياه مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، وتشمل الخصائص الفيزيائية اللون والرائحة والمواد الصلبة الذائبة (TDS)، والمواد الصلبة العالقة (TSS)، ودرجة الحرارة والعكورة، وغيرها. بينما تشمل الخصائص الكيميائية؛ الرقم الهيدروجيني (pH) والقلوية والحمضية والأكسجين المذاب، والعناصر الثقيلة وغيرها، أما الخصائص البيولوجية فتشمل أنواع الكائنات الحية الدقيقة مثل ميكروبات القولون وغيرها. كذلك فإن دراسة خصائص المياه الملوثة قبل تصميم نظم المعالجة تشتمل أيضًا على تحديد تركيز جميع الملوثات في هذه المخلفات، كما تشتمل أيضًا على تحديد أحسن الوسائل لتخفيض تركيز هذه الملوثات أو إزالتها تمامًا. ولكي نتوصل إلى فهم طبيعة المياه الملوثة، فيجب الإلمام بهذه الخواص إلمامًا جيدًا. وفيما يلي نلقي الضوء على خواص المياه الملوثة كل على حدة بمزيد من التفصيل.

1.8.1. الخواص الفيزيائية Physical characteristics:

- **المواد الصلبة الكلية (Total solids (TS**:

من الناحية التحليلية فإن محتوى المياه الملوثة من المواد الصلبة الكلية، تعرف بأنها كل المواد التي تبقى بعد تبخير الماء على درجة حرارة من 103 إلى 105 درجة مئوية. وعلى ذلك فإن المواد التي تفقد عن طريق التبخير عند هذه الدرجة من الحرارة لا تعرف على أنها مواد صلبة. والمواد الصلبة الكلية أو البقايا بعد التبخير يمكن أن تقسم إلى مواد صلبة عالقة، وغرويات تمر من مرشح حجم مسامه 1 ميكرون، ومواد صلبة ذائبة. والمواد الصلبة العالقة هي مواد شديدة الدقة من حيث الحجم. وإذا صرفت المياه الملوثة إلى البيئة بدون إزالة المواد الصلبة، فإنها تتراكم - بما تحتويه من عناصر غذائية وميكروبات - في صورة وحل، وتنشأ عن ذلك ظروف جيدة للتفاعل غير الهوائي؛ مما يعرض البيئة للتلوث. والمواد الصلبة العالقة تشمل أيضًا كل المواد الصلبة التي سوف تترسب في قاع الوعاء (وعاء معين لتقدير المواد الصلبة) خلال 60 دقيقة. وبمعرفة كمية هذه المواد يمكن - إلى حد كبير - معرفة كمية الوحل التي سوف تتسرب في وحدة معالجة المياه الملوثة، والتي سوف تزال عن طريق عملية الترسيب.

أما المواد الصلبة القابلة للترشيح فهي تتكون من غرويات ومواد صلبة ذائبة. الغرويات تتكون من جزئيات قطرها يتراوح من 1 مللي ميكرون إلى 1 ميكرون، والمواد الصلبة الذائبة تتكون من جزئيات عضوية وأخرى غير عضوية، وأيونات ذائبة في المحلول المائي.

والمصادر الطبيعية للمواد الصلبة الذائبة في المصدر أو المجرى المائي تأتي نتيجة لجرف مياه الأمطار والسيول وذوبان الثلوج، ومن مصادر أخرى، مثل المخلفات البشرية والزراعية والصناعية؛ حيث إن الماء يعتبر مذيبًا جيدًا للمواد التي تدخل إليه والقابلة للذوبان. ويجب أن يكون معلومًا أن الجزء الغروي من المكونات الصلبة لا يمكن إزالته عن طريق الترسيب، ولكن عادة تتم أكسدته أولًا عن طريق

الميكروبات، ثم ترسيب المتبقي بعد الأكسدة. وبالإضافة إلى المتبقي بعد التبخير على درجات حرارة معينة، فإن خاصية العكارة تستخدم أيضًا لتقدير جودة المياه الملوثة بالنسبة لاحتوائها على مواد غروية. والمقصود بالعكارة هي خواص مرور الضوء من المياه، والتي تقاس باستخدام أجهزة القياس الضوئي.

- **الروائح Odors**:

إن روائح أو رائحة المياه الملوثة يكون سببها غازات تنتج عن تحلل المواد العضوية، كما هو مبين في الجدول رقم (2-1). والمياه الملوثة الطازجة أي غير المتحللة لها رائحة مميزة، وإلى حد ما غير مقبولة، ولكنها أقل حدة من رائحة المياه الملوثة التي تحللت بها المواد العضوية. ومن أكثر الروائح كراهة في المياه الملوثة هي رائحة غاز كبريتيد الهيدوجين، التي تنتج تحت الظروف غير الهوائية، بواسطة الميكروبات غير الهوائية التي تختزل الكبريتات إلى كبريتيد. والمياه الملوثة الصناعية قد تحتوي على مواد لها رائحة أو مواد تنتج رائحة أثناء عملية المعالجة. ومنذ فترة زمنية ليست طويلة، أصبح التخلص من الرائحة الكريهة للمخلفات المائية هو أحد الأهداف المهمة التي لم تكن تؤخذ في الحسبان عند بدايات تصميم أنظمة معالجة المياه الملوثة.

وقد بدأت أنظمة معالجة المياه الملوثة تهتم بإزالة الرائحة بعد ما عرفت الأضرار التي تسببها هذه الرائحة. فبالإضافة إلى أن الرائحة الكريهة غير مقبولة، فقد وجد أن لها تأثيرًا ضارًّا جدًّا على صحة الإنسان؛ حيث تسبب فقد الشهية وتقلل من قابلة شرب الماء، وضيق التنفس، وغثيان وقيء، واضطراب في الجهاز العصبي، كما وجد أن الرائحة شديدة الحدة لها أضرار اقتصادية كبيرة؛ فهي - على الأقل - تمنع الاستثمار في المناطق التي تنتشر بها.

جدول (2-1): أهم المواد المسببة للروائح الكريهة في المياه الملوثة

المركب المسبب للرائحة	الصورة الكيماوية	وصف الرائحة
الأمينات Amines	$CH_3NH_2(CH_3)_3N$	رائحة السمك
الأمونيا Ammonia	NH_3	رائحة النشادر
الداي أمين Diamines	$NH_2(CH_2)_4NH_2.NH_2)_5NH_2$	رائحة اللحم الفاسد
كبريتيد الهيدوجين Hydrogen sulfide	H_2S	رائحة البيض الفاسد
المركبتان Mercaptans	$CH_3SHCH_3(CH_2)SH$	رائحة حيوان الظربان النتنة
الكبريتيدات العضوية Organic sulfide	$(CH_3)_2SCH_3SSCH_3$	رائحة الكرنب العطن
الإسكاتول Skatole	$C_8H_5NHCH_3$	رائحة الغائط

إن تقدير رائحة المياه الملوثة تعتمد على حاسة الشم عند الإنسان، ولكن من الصعب أن يحدد الإنسان وجود المياه الملوثة من خلال الرائحة فقط؛ وذلك بسبب النظرية التي ليس لها تفسير دقيق حتى الآن، وهي "أن المركبات ذات البناء المتشابه قد يكون لها روائح مختلفة جدًّا، وقد يكون لها رائحة متشابهة".

- **الحرارة Temperature**:

إن درجة حرارة المياه الملوثة غالبًا ما تكون أعلى من درجة حرارة المياه العادية؛ وذلك بسبب احتوائها على ماء دافئ، مثلما يوجد في المياه الملوثة المنزلية، وكذلك المياه الملوثة الصناعية. وبصفة عامة، فإن درجة حرارة المياه الملوثة غالبًا ما تكون أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط، ما عدا في فصل الصيف؛ حيث تكون درجة حرارة الهواء أعلى من درجة المياه الملوثة. وبالاعتماد على الموقع الجغرافي، فإن متوسط درجة حرارة المياه الملوثة على مدار العام يتراوح ما بين 10 إلى 21 درجة مئوية.

إن معرفة درجة حرارة الماء لها أهمية كبيرة؛ بسبب تأثيرها على الحياة المائية، والتفاعلات الكيماوية، ومعدل حدوث هذه التفاعلات، ومدى ملاءمة المياه لاستخدامها في أغراض مفيدة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن ذوبان الأكسجين في المياه الدافئة يكون أقل منه في المياه الباردة؛ ولذلك فلابد من أخذ هذه الأمور في الاعتبار عند تصميم نظام معالجة المياه الملوثة؛ فعلى سبيل المثال، فإن معدل التفاعلات المطلوبة أثناء المعالجة قد يزداد أثناء فصل الصيف، ولكن ذلك قد يكون مصحوبًا بعدم وجود كمية كبيرة من الأكسجين الذائب؛ مما يقلل من كفاءة المعالجة.

- **اللون Color**:

من الخواص التي قد تبدو غير مهمة لغير المتخصصين هي لون المياه الملوثة، ولكن هذه الخاصية لها أهمية شديدة في تحديد عمر المياه الملوثة. فالمياه الملوثة الطازجة غالبًا ما يكون لونها رماديًّا، ولكن بمرور الوقت تتحلل بعض المواد العضوية بواسطة البكتيريا، ويختزل الأكسجين الذائب في المياه، إلى أن يصل مستواه إلى صفر، فيتحول لون المياه إلى اللون الأسود، وفي هذه الحالة يقال إن المياه تعفنت. وأحيانًا تضاف ألوان معينة إلى المياه الملوثة المنزلية عند اختلاطها بالمياه الملوثة الصناعية.

وعمومًا فإن الماء النقي لا لون له؛ بسبب درجة صفائه أو شفافيته؛ إذ يسبب تلوث الماء ووجود المواد العضوية أو غير العضوية (بعض الأملاح المذابة) على شكل مذاب أو معلق - تغيرًا ملحوظًا في لون المياه. والمياه النقية على عمق 2 متر لا لون لها، ويكون لونها أزرق سماويًّا، وعلى عمق ثلاثة أمتار قد يوجد للماء لون يعزى للمواد العالقة، أو لانعكاس القاع أو السماء، فيسمى اللون الظاهري. وقد يوجد للماء لون يعزى للمواد المذابة فيه، يسمى اللون الحقيقي. ومن أسباب تلون الماء الحديد والمنجنيز، واللذان يعطيان للمياه لونًا مميزًا، وتسمى المياه في هذه الحالة بالمياه الحمراء، أما النحاس فيسبب لونًا يميل إلى اللون الأزرق، وهو اللون نفسه الناتج من وجود المواد العضوية المتحللة، والحشائش والنباتات المائية، وكثير من المخلفات الصناعية.

2.8.1. الخواص الكيميائية Chemical characteristics:

في هذا الجزء سوف نتناول الخواص الكيميائية للمخلفات المائية من نواح أربع، وهي المادة العضوية، قياس المحتوى العضوي، المواد غير العضوية، والغازات.

- **المادة العضوية (Organic matter (OM**:

فى المياه الملوثة متوسطة القوة، فإن 75٪ من المواد الصلبة العالقة، و40٪ من المواد الصلبة القابلة للترشيح عبارة عن مواد عضوية. هذه المواد جاءت من أصل حيواني أو نباتي، أو كلاهما معًا، بالإضافة إلى أنشطة الإنسان الخاصة بتصنيع المكونات العضوية. والمكونات العضوية عادة ما تتكون من تداخل أو اتحاد ما بين الكربون والهيدروجين والأكسجين، بالإضافة إلى النيتروجين في بعض الحالات. كما أن هناك عناصر أخرى مهمة، مثل الكبريت، الفوسفور، والحديد، قد تكون أيضًا موجودة في بعض المكونات العضوية.

والمجموعات الرئيسة من المواد العضوية الموجودة في المياه الملوثة - بصفة عامة - هي البروتينات التي تكون من 40 إلى 60٪ من المواد العضوية، والمواد الكربوهيدراتية التي تكون 25 إلى 50٪، والدهون والزيوت حيث يكونان حوالي 10٪ من المواد العضوية. كما أن اليوريا - وهي المكون الرئيس للبول - هي أيضًا إحدى المواد العضوية المهمة في المياه الملوثة. ونظرًا لأن اليوريا تتحلل بشكل سريع جدًّا، فإنها نادرًا ما توجد في المياه الملوثة، ما عدا الطازجة جدًّا منها. بالإضافة إلى البروتين والكربوهيدرات والدهون والزيوت واليوريا، فإن المياه الملوثة قد تحتوي على كميات صغيرة من المواد العضوية المصنعة، والتي تتراوح من مواد بسيطة جدًّا إلى مواد شديدة التعقيد، ومن أمثلة هذه المواد الفينولات والمبيدات الزراعية. وفي كل عام تزداد كميات المواد العضوية المصنعة في المياه الملوثة؛ مما سبب مشاكل عديدة في السنوات الأخيرة في معالجة المياه الملوثة؛ لأن كثيرًا من هذه المواد أو معظمها قد لا يتحلل حيويًّا بالمرة، أو قد يكون تحلله بطيئًا جدًّا، وهذا العامل أدى إلى تزايد الاتجاه نحو استخدام عملية الترسيب الكيماوي كأحد الخطوات للوصول إلى معالجة كاملة للمخلفات المائية.

- **البروتينات Proteins**:

البروتينات هي المكونات الرئيسة لكل من الحيوانات والميكروبات، وتوجد بمستوى أقل في النباتات. وكل المواد الغذائية - من أصل حيواني أو نباتي - تحتوي بالطبع على بروتين. وتختلف كميات البروتين في المواد الغذائية من كميات قليلة في المواد الغذائية مثل الطماطم، إلى كميات كبيرة في البقوليات واللحوم الحمراء. والبروتينات هي مواد معقدة في تركيبها الكيماوي، ولكنها غير ثابتة؛ مما يجعلها عرضة لعدة أنواع من التحلل. بعض البروتينات ذائبة في الماء، والبعض الآخر غير ذائب، وكيمياء تكوين البروتينات تشتمل على ارتباط عدد كبير جدًّا من الأحماض العضوية بروابط كيماوية، مكونة جزئيات ذات وزن جزيئي كبير جدًّا، يتراوح ما بين 20000 إلى 20 مليون. وكل أنواع البروتينات تحتوي على كربون، وهو العنصر السائد في كل المواد العضوية، كما هو الحال بالنسبة للهيدروجين والأكسجين. بالإضافة إلى ذلك، فإن البروتينات تحتوي دائمًا على نسبة عالية وثابتة من النيتروجين بالنسبة لكل مادة، وهي في معظم الأحوال حوالي 16٪. وفي كثير من الحالات، فإن الكبريت والفوسفور والحديد، هي أيضًا مكونات للبروتين، وتعتبر اليوريا والبروتينات هي المصادر الرئيسة للنيتروجين في المياه الملوثة. وعندما توجد البروتينات بكميات كبيرة في المياه الملوثة، ينتج عن ذلك روائح شديدة عندما تتحلل.

- **المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates**:

تتكون المواد القابلة للهدم الحيوي والسائدة في المياه الملوثة - أساسًا - من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون. وتركيز هذه المواد يقاس بما يعرف بالـ BOD والـ COD، وإذا صرفت المياه الملوثة إلى الترع أو الأنهار بدون إزالة هذه المواد، فإن ذلك يؤدي إلى نقص الأكسجين، وإلى تعريض الثروات المائية لخطر كبير. تنتشر المواد الكربوهيدراتية بشكل كبير في الطبيعة، وتشمل السكريات، والنشويات، والسليلوز، وألياف الخشب، وكل هذه المواد من الممكن أن توجد في المياه الملوثة. وتحتوي المواد الكربوهيدراتية على الكربون والهيدروجين والأكسجين. وكل جزيء من جزيئات

المواد الكربوهيدراتية الشائعة يتكون من 6 ذرات كربون أو مضاعفاتها مع هيدروجين وأكجسين يناسب عدد ذرات الكربون.

بعض المواد الكربوهيدراتية - وخصوصًا السكريات - تكون ذائبة في الماء، والبعض الآخر - مثل النشويات - يكون غير ذائب في الماء. والسكريات تتحلل تدريجيًّا بواسطة إنزيمات بعض البكتيريا والخمائر في العملية التي تسمى تخمر، وينتج عن ذلك كحول وثاني أكسيد الكربون. ومن ناحية أخرى، فإن النشويات أكثر ثباتًا من السكريات، ولكن تتحول إلى سكريات؛ بفعل النشاط الميكروبي، وكذلك بسبب وجود بعض الأحماض المخففة. ومن وجهة النظر الآخذة بالكمية ومقاومة التحلل، فإن السليلوز يعتبر أهم المواد الكربوهيدراتية الموجودة في المياه الملوثة، ومن المعروف أن السليلوز في التربة يتحلل بفعل نشاط الفطريات، وخصوصًا إذا ما توفرت ظروف حامضية.

- **المواد غير العضوية الذائبة Soluble inorganic substances**:

هناك عديد من المكونات غير العضوية في المياه الملوثة والمياه الطبيعية، التي تلعب دورًا مهمًّا في التحكم في جودة المياه. المكونات غير العضوية الذائبة - مثل الكالسيوم والصوديوم والكبريت - تصل إلى المياه عن طريق المياه الملوثة المنزلية، ويتحتم إزالتها إذا كانت المياه الملوثة سوف يعاد استخدامها بعد المعالجة. وتركيز المواد غير العضوية في المياه الطبيعية يزداد بزيادة المكونات الجيولوجية التي يمر عليها الماء؛ حيث تذوب فيه بعض الصخور والعناصر، كما يتأثر تركيز المواد غير العضوية بنوعية المياه الملوثة التي تصرف في الماء، وما إذا كانت معالجة أو غير معالجة. وباستثناء المياه الملوثة الصناعية، فنادرًا ما يتم معالجة المياه الملوثة لإزالة المواد غير العضوية. كما يزداد تركيز المواد غير العضوية أيضًا في المياه الملوثة بزيادة البخر الطبيعي. ويمكن أن يضاف إلى هذه المواد كل من النيتروجين والفوسفور، وهي عناصر ضرورية لنمو جميع الكائنات الحية. وعندما تصرف المياه الملوثة المحتوية على هذه العناصر بدون معالجة، فإنها تؤدي إلى نمو حياة غير مرغوب بها؛ مما يسبب تلوثًا للبيئة عمومًا، وقد يصل هذا التلوث إلى الماء الأرضي.

- **الدهون والزيوت والشحوم Fats, oils and grease**:

الدهون والزيوت هي ثالث أكبر مكون للمواد الغذائية، ومصطلح الشحم Grease هو المصطلح الشائع للتعبير عن هذه المكونات؛ حيث يشمل الدهون والزيوت والشموع والمكونات الأخرى التي لها علاقة بهذه المكونات، والتي توجد في المياه الملوثة.

ويتم تقدير محتوى المياه الملوثة من الشحوم عن طريق استخلاص عينة المياه الملوثة بواسطة الهكسان؛ حيث إن الشحم يذوب في الهكسان. وهناك مجموعة أخرى من المواد الذائبة في الهكسان، يتم تقديرها بالطريقة نفسها، وهي الزيوت المعدنية مثل الكيروسين. ومن المعروف أن الدهون والزيوت هي مكونات (إسترات) للكحول أو الجليسرين مع أحماض دهنية. وجليسريدات الأحماض الدهنية التي هي في الأصل سائلة عند درجات الحرارة العادية، تسمى زيوتًا؛ أما الصلبة فتسمى دهونًا، وهما متشابهان تمامًا من الناحية الكيماوية؛ حيث يتكونان من كربون وهيدروجين وأكسجين بنسب متفاوتة. وتصل الدهون والزيوت إلى المياه الملوثة المنزلية من خلال بقايا الزبد المستخدمة، والدهون النباتية، والزيوت النباتية والمارجرين وغيرها. كما توجد هذه المكونات أيضًا في اللحوم، وفي أجنة الحبوب، وفي كثير من البذور، وفي بعض الفاكهة. والحقيقة أن الدهون تقع ضمن المواد العضوية الثابتة، والتي لا تتحلل بسهولة بواسطة البكتيريا، ويمكن تحليلها بواسطة الأحماض المعدنية؛ ولكن يتخلف عن ذلك الجليسرين والأحماض الدهنية. وفي وجود القلويات - مثل هيدروكسيد الصوديوم - يتحرر الجليسرين، وتتكون أملاح قاعدية للأحماض الدهنية. والأملاح القاعدية تعرف بالصابون، وهو مثل الدهون ثابت، ولا يتحلل بسهولة. والصابون الشائع يتم تصنيعه عن طريق عملية تصبين الدهون بواسطة هيدروكسيد الصوديوم. وهذه الأنواع ذائبة في الماء، ولكن في بعض الأحوال تتحول هذه الأنواع من الصابون إلى أملاح الكالسيوم والماغنسيوم للأحماض الدهنية، وهي غير ذائبة. ولابد من بيان أن احتواء المياه الملوثة على الشحم وتركه دون إزالة، ينتج عنه مشاكل خطيرة في محطات المعالجة، فإذا لم تتم إزالة هذه المكونات، فإنها يمكن

أن تتداخل مع الحياة البيولوجية على سطح الماء، وتكون طبقة سطحية تعوق عملية التحلل البيولوجي لمكونات المياه الملوثة.

- **المواد النشطة سطحيًّا Surfactant materials** :

المواد النشطة سطحيًّا والتي تسمى Surfactants، هي مواد عضوية ذات جزئيات كبيرة الحجم، وهي تذوب ببطء في الماء، وتسبب رغاوي شديدة في محطات معالجة مياه المجاري، وعلى سطح أية مياه تصرف إليها، وتتجمع هذه المواد بشدة عند مناطق تداخل سطح الماء مع الهواء، فأثناء تهوية المياه الملوثة، فإن هذه المواد تتجمع على سطح فقاعات الهواء، وهكذا تكون كميات ضخمة من الرغاوي، مقاومة جدًّا لعملية التحلل. هذه المواد تأتي أساسًا من المنظفات، ويؤدي تزايد تركيز المواد النشطة سطحيًّا في مياه المجاري المنزلية، والمياه الصادرة عن النشاط الصناعي، إلى صعوبات جمة في محطات معالجة مياه المجاري، وخاصة في أقسام الفصل وأحواض الترسيب؛ حيث تغطي الرغوة - في كثير من الحالات - 100٪ من سطوح الأحواض والأقسام المختلفة الأخرى، لدرجة تتعذر فيها متابعة العمل قبل التخلص منها. ولم تكن هذه المصاعب قائمة عندما كان الصابون العادي هو المنظف الأساسي السائد؛ لأن العسر العادي للمياه المرتبط بوجود أملاح الكالسيوم والماغنسيوم كان كافيًا لترسيب جميع كميات الصابون الداخلة إلى مياه المجاري. ولكن الآن فإن معظم المنظفات تحتوي على مادة نشطة سطحيًّا تعرف بـ Alkyl Benzene Sulphonate (ABS)، والتي لا تتحلل تمامًا في محطات معالجة مياه المجاري. وعلى الرغم من تطور صناعة المنظفات، بحيث أصبحت تحتوي على مادة نشطة سطحيًّا عرفت بـ Linear Alkl Benzene Sulphonate (LAS)، التي تتحلل بسرعة بفعل البكتيريا، إلا أن كثيرًا من الدول المنتجة للمنظفات لا تزال تنتج المنظفات التي لا تتفكك، وتصدرها إلى الدول النامية، وتروج لها الدعايات المختلفة، رغم منع استعمالها في بلد المنشأة.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن العديد من المنظفات يعتبر مبيدًا للميكروبات والبكتيريا النافعة اللازمة لعمليات التنقية والتحلل الحيوي في محطات المعالجة؛ لذلك كان لابد من التخلص من الرغوة التي أضرت كثيرًا بالتوازن الحيوي للعديد من الأوساط

الطبيعية، وما يلحق بذلك من أضرار. وعادة يتم تقدير كميات المواد النشطة سطحيًّا، عن طريق تقدير مدى التغير في اللون لمحلول قياسي من صبغة الميثلين الأزرق بعد إضافة العينة إليه.

- **الفينولات Phenols**:

الفينولات هي أيضًا مواد عضوية، توجد بكميات قليلة في المياه الملوثة، وعدم التخلص منها يؤدي إلى مشاكل بيئية وصحية خطيرة، ويسبب الفينول مشاكل في مذاق مياه الشرب إذا ما وصل إليها. وتنتج الفينولات أساسًا من العمليات الصناعية؛ ولذلك يكثر وجودها في المياه الملوثة الصناعية، وعلى أية حال فإن الفينولات يمكن أكسدتها بيولوجيًّا حتى تركيزات 500 مجم / لتر، وتصبح مقاومة للتحلل عند تركيزات أعلى من ذلك.

- **المبيدات والكيماويات الزراعية Pesticides and agricultural chemicals:**

هناك مواد شديدة المقاومة للتحلل الطبيعي، مثل الفينولات والمبيدات الزراعية، تسمى المواد المقاومة، وبالتالي فإن صرف المياه الملوثة المحتوية عليها إلى البيئة الطبيعية - اعتمادًا على أن هذه المواد سوف تتحلل طبيعيًّا - يعتبر من الأخطاء الخطرة جدًّا على صحة الإنسان. المبيدات والكيماوات الزراعية هي ضمن المواد العضوية التي قد توجد في المياه الملوثة بكميات متفاوتة .. هذه المواد سامة وقاتلة للحياة المائية؛ ولذلك فهي تعتبر من الملوثات شديدة الخطورة، وهي ليست شائعة في المياه الملوثة المنزلية، ولكنها تسود في المياه الملوثة الزراعية. ووجود هذه المواد في المياه يؤدي إلى إبادة الثروة السمكية، وإن لم تؤدِّ إلى قتل الأسماك، فإنها - في أقل الأحوال - تؤدي إلى تقليل أهمية الأسماك كمصدر غذائي. ويتم قياس تركيز المبيدات عن طريق فصل هذه الملوثات من عينة المياه الملوثة، عن طريق إمرار العينة على عمود من الكربون النشط، ثم استخلاص الملوثات من عمود الكربون، عن طريق إذابتها في الكلوروفورم، ثم تبخير الكلوروفورم ووزن المخلفات المتبقية، ولقد وجد أن وجود المبيدات - ولو بتركيز 1 جزء في المليون أو أقل - يمكن تقديره بدقة بطرق عديدة.

وقد لجأ المزارعون إلى استخدام بعض المواد الكيميائية التي تساعد على إخصاب التربة الزراعية؛ لتعويض النقص في بعض العناصر الغذائية الذي يحدث نتيجة ظروف معينة. فعلى سبيل المثال، لوحظ أن مداومة زراعة المحاصيل نفسها في الرقعة الزراعية نفسها يضعف هذه الأرض، ويتسبب في حدوث نقص كبير في العناصر المهمة الموجودة بها. ومثل ذلك أن البنجر يمتص نحو 300 كيلو جرام في كل هكتار من مركبات النيتروجين، ونحو 400 كيلو جرام في كل هكتار من البوتاسيوم، ونحو 45 كيلو جرام في كل هكتار من الماغنسيوم. كما أن نبات الذرة يمتص نحو 70 كيلو جرامًا في كل هكتار من مركبات الفوسفات؛ ولذلك يجب تعويض هذه العناصر بمواد أخرى تضاف إلى التربة، وهي ما نطلق عليها اسم المخصبات الزراعية، وأهم المخصبات الزراعية المستخدمة اليوم هي مركبات الفوسفات ومركبات النترات. ويجب عدم الإسراف في استخدام هذه المخصبات؛ لأن النباتات والمحاصيل لا تستطيع أن تمتص كل ما يضاف منها إلى التربة؛ ولذلك يبقى جزء لا بأس به من هذه المخصبات في التربة الزراعية. وهذا الجزء الذي يزيد على حاجة النباتات يعد إسرافًا لا مبرر له من الناحية الاقتصادية، بالإضافة إلى أنه يعد عاملًا مهمًّا من عوامل تلوث التربة، وقد يذهب بعض هذا الجزء المتبقي في التربة مع مياه الري أو مياه الأمطار إلى المياه الجوفية، ثم يصل بعد ذلك إلى المجاري المائية الأخرى، ويجعل مياهها غير صالحة للشرب، ويخل بالتوازن القائم بين الكائنات التي تعيش فيها.

- **المعادن الثقيلة (Heavy metals (HM)** :

تصل المعادن الثقيلة إلى المياه نتيجة النشاط التجاري والصناعي، وإذا كانت المياه الملوثة سوف يعاد استخدامها، فيتحتم إزالة المعادن الثقيلة منها، وإلا فسوف يكون لها خطر شديد؛ نظرًا لقدرة هذه الكائنات على تخزين هذه العناصر داخل أجسامها، وتركيزها؛ مما قد يحدث خللًا في وظائفها الحيوية بالإضافة إلى انتقال هذه العناصر من خلال السلاسل الغذائية للإنسان مسببةً له كثير من الأضرار الصحية. وتعرف العناصر الثقيلة بأنها تلك العناصر التي تزيد كثافتها على خمسة أضعاف كثافة الماء، فكثافة الماء 1جم / سم^3، وعلى ذلك فإن المواد التي تزيد كثافتها عن 5 جم / سم^3

تعرف بالعناصر الثقيلة. وهذه العناصر لها تأثيرات سلبية على البيئة عند الإفراط في استخدامها، كما تؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات. وبعض هذه المعادن - كالزئبق والرصاص والكادميوم - خطر على الصحة العامة، بينما المعادن الأخرى مثل الكروم والحديد والنحاس تقتصر آثارها على أماكن العمل الذي يحدث فيها التعرض لفترات طويلة؛ ولهذا فهي أقل خطرًا من المعادن الأخرى.

وتتركز المعادن الثقيلة في المياه الملوثة لكثير من المصانع، مثل مصانع الأسمنت التي تحتوي مخلفاتها المائية على تركيز عالٍ من الزئبق، وكذلك صناعات التعدين، وكل الأنشطة المعدنية، بما في ذلك استخلاص وتجهيز المواد المعدنية الخام في صناعات الحديد والصلب، وحديد المنجنيز، والزنك. كذلك فإن المياه الملوثة لصناعات إنتاج البترول، واستخراج الزئبق من المعادن، وإنتاج الكلور القلوي، والمنظفات تحتوي على تركيزات عالية من المعادن الثقيلة. والكائنات المائية تستطيع أن تجمع العناصر الثقيلة بسهولة في أجسامها، وتمتلك الكائنات قدرات مختلفة لتركيز العناصر الثقيلة؛ فالأسماك مثلًا لها القدرة على التقاط الآثار الضئيلة من فلز الزئبق من المياه التي تعيش فيها، وتقوم بتركيز هذا الفلز في أجسامها، وتخزينه على هيئة مركبات عضوية، مثل ثنائي فينيل الزئبق، والتي ترتبط بالبروتينات الخلوية داخل أنسجة الأسماك. أما التركيز والتعاظم الحيوي، فهو عملية تركيز للعناصر من سلسلة غذائية إلى أخرى، ويبلغ هذا التركيز أقصاه في الكائنات التي تقع في نهاية السلسلة الغذائية؛ فالكائن الذي يقع في نهاية السلسلة يقوم بتركيز العناصر الثقيلة داخل أنسجته حوالي عشر مرات ضعف التركيز الذي يقوم به الكائن الذي يقبع في بداية السلسلة.

وميكانيكية التراكم والتعاظم الحيوي تشمل ابتلاع العناصر الثقيلة عن طريق الغذاء المأكول؛ حيث يتم هضم الغذاء وامتصاصه، ثم تمثيله وإخراج نواتج التمثيل الغذائي، مسببًا تراكم العناصر داخل الأنسجة الحية للكائن الحي؛ فقد يقوم طحلب بامتصاص فلز الزئبق من الماء، ثم تتغذى إحدى القشريات بعشرات من هذا الطحلب، ثم تتغذى الأسماك بمئات من هذه القشريات وفي نهاية السلسلة يتغذى الدب القطبي أو طائر البنجوين بعشرات من هذه الأسماك الملوثة، ويصحب كل ذلك

زيادة في تركيز الزئبق في كل حلقة من حلقات هذه السلسلة؛ بل قد يؤدي ذلك إلى نقل التلوث من المناطق الملوثة إلى مناطق نظيفة تمامًا وخالية من عناصر التلوث.

3.8.1. الخواص الحيوية للمياه الملوثة Biological characteristics of wastewater:

إن المهندس الذي يعمل في مجال الصرف الصحي لابد أن يكون ملمًّا بالخواص الحيوية للمياه العادمة، وفي هذا الخصوص يجب أن يعرف ما يلي:

1. المجموعات الميكروبية الرئيسة التي توجد في المياه الطبيعية والمياه الملوثة، وكذلك المجموعات الميكروبية المسئولة عن معالجة المياه الملوثة.
2. الكائنات الممرضة الموجودة في المياه الملوثة.
3. الميكروبات التي يتخذ وجودها بأعداد معينة دليلًا على تلوث المياه.
4. الطرق المستخدمة لتقييم سمية المياه الملوثة المعالجة.

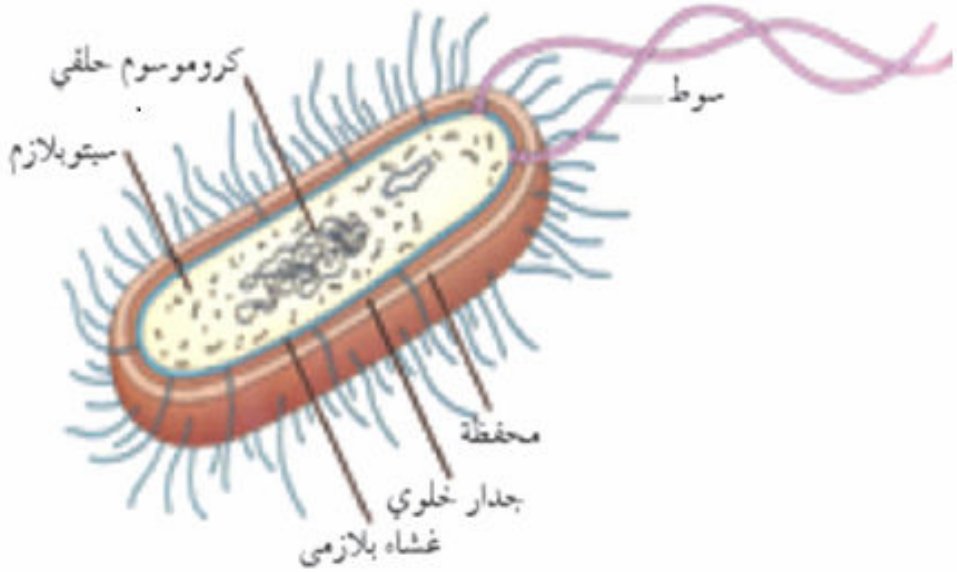
وعمومًا فإن البكتيريا والفطريات والفيروسات والطفيليات، تشكل الخصائص البيولوجية لمياه الصرف الصحي التي تحتوي على كميات هائلة من البكتيريا، وغيرها من الكائنات التي تنشأ في المياه الملوثة. وتغذية هذه الكائنات ينتج عنها تحلل مياه الصرف الصحي؛ حيث إن البكتيريا الهوائية تحلل المواد العضوية في وجود الأكسجين الحر. كما أن البكتيريا اللا هوائية تحلل المواد العضوية التي لا يصل إليها الأكسجين الحر، كما هو الحال في المناطق الداخلية من كتل الغائط أو الكائنات الميتة. ومنتجات التحلل اللا هوائي لها رائحة كريهة للغاية. وهناك عدد كبير من بكتيريا القولون، توجد في مياه الصرف الصحي، وهي تلك البكتيريا الموجودة في الجهاز الهضمي للإنسان، وفي حين أن معظم هذه البكتيريا غير ضارة، فإن مسببات الأمراض عادة ما تكون موجودة في مخلفات كثير من الأشخاص. ومن هذه الكائنات المسببة للأمراض، فإن كمية قليلة نسبيًّا هي التي تشكل خطرًا كبيرًا على الصحة العامة، ومياه الصرف الصحي التي لم تعالج بالشكل الصحيح قد تجد طريقها في نهاية المطاف إلى مصادر المياه الطبيعية، وبالتالي تساعد على انتقال كثير من الأمراض، وبصفة عامة، تقسم

المجموعات الرئيسة للأحياء الموجودة في المياه الملوثة إلى (أ) بروتستا Protista، (ب) نباتات، (ج) حيوانات.

البروتستا تشمل البكتيريا والفطريات والبروتوزوا والطحالب. والبروتستا هي أهم المجوعات التي يجب على كل من يعمل في مجال الصرف الصحي أن يكون ملمًّا بكل شيء عنها، خصوصًا البكتيريا والطحالب والبروتوزوا والفطريات. وبسبب الدور الرئيس الذي تلعبه البكتيريا في هدم المواد العضوية في الطبيعة، وفي وحدات المعالجة، فإن خصائصها ووظائفها وعمليات الهدم والبناء التي تقوم بها، يجب أن تكون مفهومة جيدًا، أي أنه ومهما كانت دراسة وتخصصات العاملين في مجال المياه الملوثة، فلابد أن يكون لديهم فكرة جيدة عن خواص وتركيب ونشاط المجموعات الميكروبية المختلفة؛ ولذلك فسوف نتناول كل مجموعة بالقدر الذي يكفي هؤلاء العاملين كما يلي:

- **البكتيريا Bacteria**:

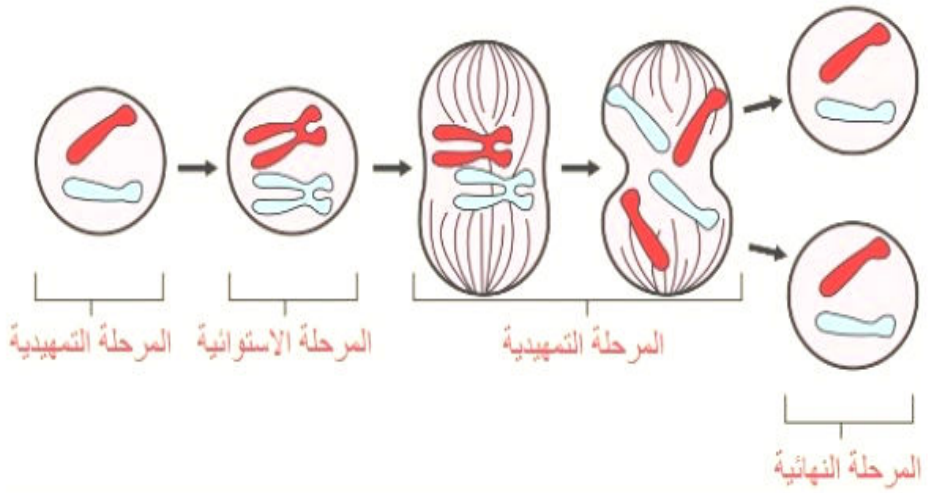
البكتيريا هي كائنات صغيرة جدًّا، تنتشر في كل مكان، وخصوصًا التربة والقناة الهضمية للإنسان، وعلى النباتات، وفي الماء، وفي مختلف الأغذية التي يتناولها الإنسان. وبصفة خاصة تتواجد بأعداد مهولة في مياه الصرف الصحي المنزلي، وتتميز بأن المواد الوراثية (الكروموسوم Chromosome) ليست محاطة بغشاء نووي محدد، ولكنها تسبح في السيتوبلازم Cytoplasm؛ ولهذا السبب سميت البكتيريا بالـ Prokaryotes، أي كائنات ليس لها نواة حقيقية، أو بدائية النواة، في حين أن باقي الكائنات الحية تتميز بوجود نواة ذات غشاء نووي محدد، وتسمى الـ Eucaryotes. وخلايا البكتيريا (الشكل رقم 1-1) لها ثلاثة أشكال مختلفة، وهي الشكل العصوي Rod like أو الكروي Spherical أو الحلزوني Spiral، كما أن خلايا البكتيريا قد توجد مفردة، أو في أزواج، أو في سلاسل، أو في عناقيد، أو في شكل تجمعات أخرى.



شكل (1-1) رسم مبسط للخلية البكتيرية

والخصائص العامة للبكتيريا - والتي يمكن ملاحظتها بالميكروسكوب الضوئي - هي:

- تقريبا كل أنواع البكتيريا لها جدار خلوي Cell wall شبه صلب، يحافظ على شكل الخلية.
- إذا كانت البكتيريا متحركة فإن حركتها تكون بواسطة أعضاء خاصة، تسمى أسواط أو فلاجلات Flagella.
- لكل خلية غشاء خلوي Cell membrane، ينظم خروج ودخول المواد من وإلى السيتوبلازم الذي تحدث فيه كل الأنشطة التمثيلية.
- البكتيريا كائنات وحيدة الخلية، فرغم أنها كثيرًا ما توجد في مجموعات، إلا أن الخلية الواحدة تؤدي جميع وظائف الميكروب.
- معظم البكتيريا تتكاثر عن طريق الانقسام الثنائي، وهي عملية تنقسم فيها الخلية إلى خليتين متشابهتين، كما في الشكل رقم (2-1).



شكل (2-1): الانقسام الثنائي (Binary fission) للخلية البكتيرية

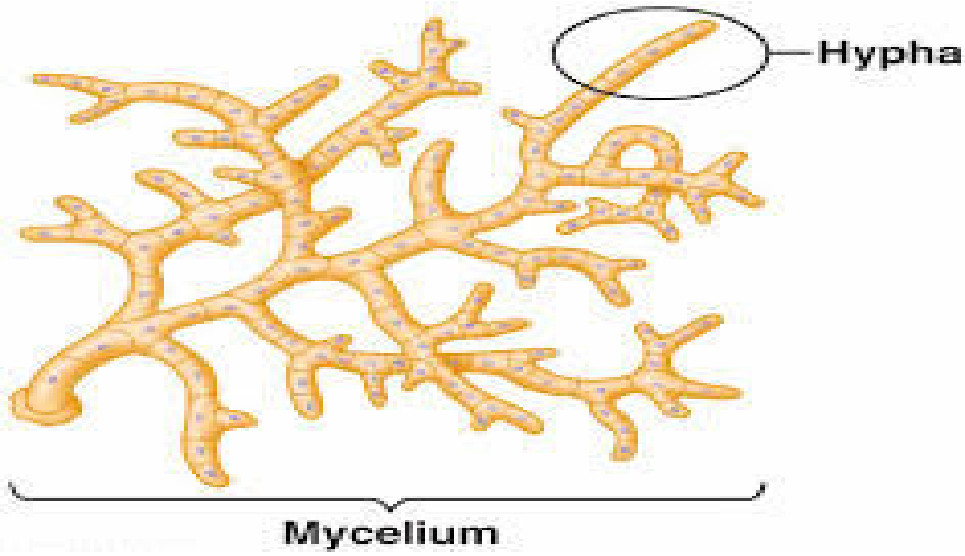
وهناك قسم من البكتيريا يمكن إعتباره كائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms وهذه البكتيريا يلزم لها وجود مواد عضوية كمصدر للكربون والطاقة اللازمة لحياتها، وقسم آخر يعتبر من الكائنات ذاتية التغذية Autotrophic organisms وهي البكتيريا التي تحتاج مواد غير عضوية كمصدر للكربون والطاقة التي تحتاجها.

كما أن بعض أقسام البكتيريا هوائية إجبارًا، أى لابد من وجود الهواء لكى تحيا وتعيش، وأقسام أخرى لا هوائية إجبارًا، أى أنها لا تستطيع أن تعيش في وجود الهواء، وأقسام أخرى تتمتع بميزة اختيارية للهواء، أي يمكنها أن تعيش في الظروف الهوائية وغير الهوائية.

- **الفطريات Fungi**:

الفطريات (شكل 3-1) مثل البكتيريا في أنها متنوعة جدًّا وهي كائنات Eucaryotes أى لها نواة تحتوي على المواد الوراثية ومحددة بغشاء نووي، والفطريات

كائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms، وهي كائنات هوائية أو اختيارية بالنسبة للهواء ولكن لم تعرف فطريات غير هوائية حتى الآن.



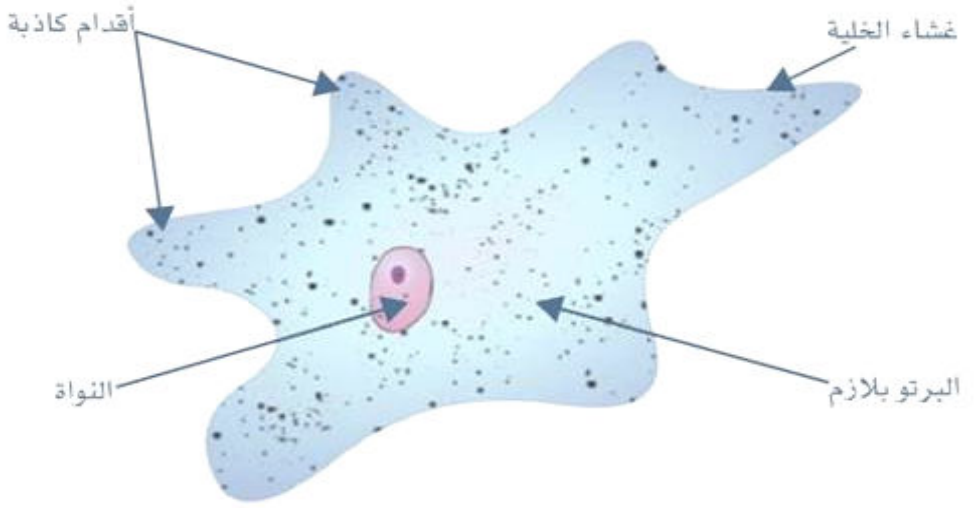
شكل (3-1): يوضح ميسيليوم الفطر

ومعظم الفطريات تعيش مترممة في التربة والماء، حيث تحلل المواد العضوية؛ لتحصل على العناصر الغذائية، وتفرز الفطريات إنزيمات خارجية مثل السليوليز والبكتينيز؛ مما يمكنها من تحليل الأجزاء الصلبة من النباتات، والتي لا تستطيع معظم الحيوانات أن تهضمها، ومن بين أكثر من 100000 نوع من الفطريات يوجد حوالي 100 نوع فقط ممرض للإنسان وللحيوانات الأخرى، ومن ناحية أخرى، توجد آلاف الأنواع من الفطريات وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا، والخمائر ضمن الفطريات وحيدة الخلية، وهي ميكروبات بيضاوية الشكل، وأكبر حجمًا من البكتيريا. ومن حيث المعلومات التقليدية عن الفطريات، فهي تلك الميكروبات التي تنمو نموًا خيطيًا،وتسمى الفطريات الخيطية، وتتميز بأنها تكون أنبوبة تشبه الخيط تسمى هيفا Hyphae، والهيفات قد تكون مقسمة أو غير مقسمة، ويمكنها أن تتكاثر بسرعة حتى تكون كتلة تسمى ميسيليوم Mycelium (الشكل رقم 3-1)، وهي الجزء المرئي

بالعين المجردة عندما ينمو الفطر على الخبز، أو أي مادة أخرى، والفطريات ذات الحجم الكبير مثل عيش الغراب تبدو وكأنها نبات.

- **البروتوزوا Protozoa**:

بالنسبة للبروتوزوا التي تهم العاملين في مجال الصرف الصحي، فأهمها الأميبا (شكل 4-1) بأنواعها المختلفة، والبروتوزوا المتحركة بواسطة الفلاجات أو البروتوزوا العائمة. هذه الطفيليات تتغذى على البكتيريا، وبعض الكائنات الميكروسكوبية الأخرى .. وتوفر معلومات كافية عن البروتوزوا لدى مهندسي الصرف الصحي ضروري في عمليات تنقية المياه.



شكل (4-1): خلية الأميبا

والبروتوزوا كائنات حيوانية وحيدة الخلية، أكثر رقيًّا من البكتيريا، فمعظم البروتوزوا تزيد في حجمها عن البكتيريا بعدة مئات من المرات، وليس لها جدار خلوي صلب، ولكن يوجد غشاء خلوي غير صلب عادة من مادة الكيتين أو المواد الشبيهة، ولا يحتوي على سليلوز. بداخل الغشاء الخلوي يوجد السيتوبلازم، الذي يحتوي على نواة الخلية، بالإضافة إلى عدد من الفجوات التي تتعدد في وظائفها، فعلى

سبيل المثال، توجد الفجوات الغذائية التي تمثل ما يشبه المعدة، حيث توجد بها المواد الغذائية التي عندما تصبح في صورة ذائبة تمر من خلال هذه الفجوات إلى السيتوبلازم؛ حيث تستهلك في العمليات الحيوية. كما يوجد نوع آخر من الفجوات تتراكم فيها نواتج التمثيل الغذائي قبل التخلص منها في البيئة المحيطة. يحتوي السيتوبلازم أيضًا على حبيبات تخزن بها المواد الغذائية؛ لتستخدمها البروتوزوا عند الحاجة إليها عندما تكون غير متوافرة في البيئة.

تتنفس البروتوزوا بالأكسجين الذائب في الماء، ويتم التخلص من CO_2 والمواد الضارة الأخرى من خلال السطح الخارجي، عن طريق فجوات منقبضة.

البروتوزوا حساسة للحرارة والضوء والمواد الكيماوية المختلفة، وعندما تصبح الظروف غير ملائمة، تتحول بعض البروتوزوا إلى حويصلات ذات جدار سميك، يحميها من الظروف غير الملائمة، وتعيش هذه الحويصلات في غياب الرطوبة لعدة سنوات لحين توافر الظروف الملائمة؛ ولذلك لا يعتبر إنتاج الحويصلات طريقة للتكاثر؛ حيث يخرج من كل حويصلة خلية واحدة، إلا أنه في بعض الحالات قد تحدث انقسامات للخلية قبل إنبات الحويصلة، وفي هذه الحالة يكون التحوصل وسيلة للتكاثر.

وهناك أنواع ممرضة من البروتوزوا تسبب أمراض الملاريا والدوسنتاريا الأميبية وغيرها. تتكاثر البروتوزوا بالانقسام الثنائي البسيط، إلا أن هناك بعض الأنواع تتكاثر جنسيًّا، وتنقسم طائفة البروتوزوا إلى أربعة أقسام، أهمها قسم Sarcodina أو Rhizopoda، الذي يضم الأميبا الشائعة، وتتحرك أفراد هذا القسم بالأقدام الكاذبة Pseudopodia (شكل 4-1)، التي تستخدم أيضًا في التهام المواد الغذائية، مثل البكتيريا والطحالب الصغيرة والبروتوزوا الأخرى، حيث يهضم الغذاء في الفجوات الغذائية، ثم ينتقل للسيتوبلازم؛ حيث يستخدم في العمليات الحيوية للخلية. الماء الزائد والفضلات يتم إخراجهم من خلال سطح الخلية، وكذلك عن طريق الفجوات المنقبضة، وتتكاثر الأميبا بالانقسام الثنائي البسيط، كما أن إنتاج الحويصلات هو أحد مراحل دورة الحياة.

- **الطحالب Algae**:

للطحالب أهمية خاصة في المعلومات الخاصة بمعالجة المياه الملوثة؛ لأن الطحالب تنمو على سطح الماء، وعندما تكون الظروف مناسبة فإنها تنمو بسرعة كبيرة، وتطفو على سطح الماء، مكونة كتلًا نباتية كبيرة تغطي أسطح المجاري المائية بالكامل. ونمو الطحالب في البحيرات والمجاري المائية يسبب ظاهرة لها أضرار بيئية، يطلق عليها التشبع الغذائي Eutrophication، ومعناها احتواء المياه على مواد وعناصر غذائية تكفي لنمو الحياة النباتية - أي الطحالب - بشكل كثيف يؤدي استهلاك كل المواد الغذائية والأكسجين؛ مما ينتج عنه موت بقية صور الحياة، ويتحول المجرى أو البحيرة إلى مكان ميت. ولذلك فإن صرف المياه الملوثة المحتوية على عناصر غذائية إلى المجاري المائية يتسبب في زيادة هذه الظاهرة.

ووجود الطحالب يؤثر أيضًا على قيمة المياه؛ حيث إنها غالبًا ما تتسبب في مشاكل خاصة باللون والرائحة. كما أن وجود الطحالب في المياه الطبيعية أيضًا يسبب مشاكل للحياة المائية، وقد يغير من البيئة المناسبة لنمو أنواع معينة من الأسماك، ويتم تقدير كمية الطحالب في المياه بأخذ عينة، ثم فحصها ميكروسكوبيًّا، ومن المشاكل المهمة جدًّا التي تواجه مهندسي الصرف كيفية معالجة المياه من مصادر مختلفة، بحيث لا تكون مناسبة لنمو الطحالب، وكذلك بعض النباتات المائية الأخرى، وقد يكون حل هذه المشكلة هو إزالة الكربون، وإزالة كل صور النيتروجين والفوسفور، ومن الممكن أيضًا إزالة بعض العناصر الصغرى، مثل الحديد والكوبالت.

والطحالب كائنات Eukaryotes، أي حقيقية النواة، وتقوم بعملية التمثيل الضوئي، ولها أشكال كثيرة ومختلفة، وتتكاثر جنسيًّا ولا جنسيًّا، وعادة ما تكون عديدة الخلايا، كما أنها تعد من النباتات الأولية؛ حيث تحتوي على الكلوروفيل، ولكنها تختلف عن النباتات الراقية في أنها لا تحتوي على سيقان ولا أوراق ولا جذور. ووجود الكلورفيل يكسب الطحالب اللون الأخضر، إلا أنه في بعض الأنواع قد يتغير اللون؛ لوجود صبغات أخرى في الخلية، فقد توجد صبغات زرقاء مثل blue phycocyanin، وحمراء مثل Red phycoerythrin، وبرتقالية مثل Orange

carotene، وصفراء مثل Yellow xanthophyll، ويختلف لون الطحالب باختلاف نوع وكمية الصبغات التي توجد بخلاياها. قد تكون الطحالب وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا، وبعض الطحالب ليس لها قشور سميكة، إلا أن الطبقة الخارجية من البروتوبلازم تكون أكثر قوة، والبعض الآخر له قشرة صلبة، تكون في معظم الأحوال من السليلوز والبكتين pectins، كما أن قشرة بعض الطحالب قد تكون مقواة بالسليكا أو الكالسيوم. خلايا الطحالب قد تكون وحيدة النواة أو عديدة الأنوية، وتوجد الصبغات في الطحالب في أجسام بلازمية معينة ذات أشكال مختلفة، تعرف بحوامل الصبغات Chromatophores، كما تحتوي خلايا الطحالب أيضًا على الزيوت والجلوكوز والنشا والمانيتول، وهذه المواد تمثل غذاء مخزنًا بالخلية.

تتكاثر الطحالب خضريًّا ولا جنسيًّا وجنسيًّا، وفي التكاثر الخضري تنقسم الخلية إلى نصفين في اتجاه طولي أو مستعرض أو مائل. أما في التكاثر اللاجنسي ينقسم بروتوبلاست الخلية الأم إلى عدة أجزاء؛ حيث يتطور كل جزء إلى خلية كاملة. البيئة الأساسية للطحالب هي المياه، ويرتبط نموها بفصول السنة، ومدى توافر المواد الغذائية، ومحتوى البيئة من الأملاح، فعلى سبيل المثال، تنمو الطحالب التي تسمى دياتومات Diatoms في الشتاء والربيع، بينما الطحالب الخضراء تنمو في الصيف في نفس المياه التي تنمو فيها الدياتومات. وتواصل الدياتومات نموها مرة أخرى في الخريف، حيث تثبط نمو الطحالب الخضراء، وتقسم الطحالب بناء على ألوانها والمواد المخزنة بها وطرق تكاثرها، إلى ما يلي:

1- الطحالب الخضراء Green algae: وهي أكثر أنواع الطحالب انتشارًا (شكل 5-1)، ومنها وحيدة الخلية وعديدة الخلايا، وتوجد في المياه العذبة والتربة، وتحتوي على مواد ملونة شبيهة بالموجودة في النباتات الراقية مثل الكلورفيل، والصبغات الأخرى مثل الزانثوفيل والكاروتين، حيث توجد في حوامل الصبغات Chromatophores؛ كما تتميز بوجود نواة واضحة وجدار خلوي، وتحتوي الخلايا على مواد مخزنة من النشا. ومن أكثر الطحالب الخضراء انتشارًا طحلب الإسبروجيرا، حيث يشاهد طافيًا على

سطح ماء البرك والمستنقعات، وهو طحلب عديد الخلايا؛ حيث تتراص الخلايا بجوار بعضها البعض، مكونة تركيبًا شريطي الشكل، ويتميز طحلب الإسبروجيرا بوجود شريط حلزوني من البلاستيدات الخضراء بالخلية، ويتم التكاثر اللاجنسي بالتجزئة، أما التكاثر الجنسي فيحدث من اندماج خليتين موجودتين في نفس الشريط، أو في شريطين مختلفين؛ حيث ينتج من الاندماج جرثومة مغلظة الجدار تنبت وينتج عنها شريط جديد.

شكل (5-1): الطحالب الخضراء

2- الطحالب البنية Brown algae: وتشمل أعشابًا بحرية بنية اللون (الشكل رقم 6-1)، تحتوي على صبغات بنية وصفراء اللون، بالإضافة إلى الكلورفيل. وهذا النوع من الطحالب معقد التركيب وكبير الحجم، تصل في طولها لعدة مئات من الأمتار، وتوجد في البحار والمحيطات الباردة، وتتكاثر جنسيًّا ولا جنسيًّا.

شكل (6-1): الطحالب البنية

3- الطحالب الحمراء Red algae: وتشمل أعشاب البحر الحمراء، وتحتوي على الكلورفيل، بالإضافة إلى صبغات أخرى حمراء وزرقاء، وتحتوي على مواد كربوهيدراتية مخزنة (شكل 7-1). والطحالب الحمراء شريطية وكبيرة الحجم، إلا أنها أصغر حجمًا من الطحالب البنية؛ فنادرًا ما يصل طولها لعدة أقدام (3-4 أقدام)، وتوجد مغمورة في البحار والمحيطات الدافئة، وتتكاثر جنسيًّا ولا جنسيًّا.

شكل (7-1): الطحالب الحمراء

تغذيــة الطحالــب: الطحالــب نباتــات ذاتيــة التغذيــة، أي أنهــا تمثــل المــواد غــير العضوية وفي وجـود الـضوء (ضـوء الـشمس)، وتقـوم مـادة الكلورفيـل بتحويـل ثـاني أكـسيد الكربون والماء إلى مادة عضوية، كما في المعادلة رقم (1-1):

$$CO_2 + 2H_2O \rightarrow (CH_2O) + O_2 + H_2O \quad (1\text{-}1)$$

وتماثـل احتياجـات الطحالـب مـن العنـاصر الغذائيـة البكتيريـا ذاتيـة التغذيـة، فـهي تتطلــب الكربــون، والذي تحــصل عليــه مــن ثــاني أكــسيد الكربــون، كمــا تحــصل على النيتروجـين مـن الأمونيـا والنيتريـت أو النيـترات. كمـا تحتـاج الطحالـب أيـضًا للفوسـفور والكبريــت؛ حيــث تحــصل عليهمــا مــن الفوســفات والكبريتــات، بالإضــافة إلى كميــات ضـئيلة مـن عنـاصر الـصوديوم والبوتاسـيوم والكالـسيوم والمغنـسيوم والحديـد والكوبلـت والمولبـدنوم؛ ولذلـك يجـب أن تحتـوي البيئـات المعـدة لتنميـة الطحالـب على هـذه العنـاصر. وتـسود الطحالــب في المــاء العــذب والمــاء المــالح والتربــة والنبــات. والطحالــب الــتي تقــوم بعملية التمثيـل الـضوئي تحتـاج إلى ضـوء وإلى هـواء، ولكـن لا تحتـاج - بـصفة عامـة - إلى مــادة عــضوية، وتلعــب الطحالــب دورًا مهمًّــا في التــوازن الطبــيعي، عــن طريــق إنتاجهــا للأكسجين الذي يستهلك بواسطة الكائنات الأخرى، بما فيها الحيوانات.

- **الفيروسات Viruses**:

إن الفيروسات التي تـصل إلى الميـاه - والـتي مـن أصـل إنـساني - لهـا خطـورة شـديدة على الـصحة العامـة، فعـلى سـبيل المثـال - ومـن الدراسـات التجريبيـة - فقـد وجـد أن جرامًـا واحـدًا مـن بـراز أحـد المـصابين بمـرض التهـاب الكبـد يحتـوي مـن 10000 إلى 100000 فيروس قادر على إحداث الإصابة بهذا المرض.

ومـن المعـروف أن بعـض الفيروسـات تظـل حيـة لمـدة 41 يومًـا في الميـاه، والميـاه الملوثـة على درجـة 20 درجـة مئويـة، أو 6 أيـام في الأنهـار، وقـد وجـد أن هنـاك أعـدادًا مـن البـشر أصيبت بفـيروس التهـاب الكبـد نتيجـة التعامـل مـع ميـاه ملوثـة، ومـا زالـت هنـاك كثـير مـن الدراسـات والمعلومـات الـتي يجـب معرفتهـا للتوصـل إلى إزالـة تامـة للفيروسـات مـن المياه، ومن المياه الملوثة.

الفيروسات تختلف تمامًا عن باقي الميكروبات؛ فهي صغيرة جدًّا ومعظمها لا يمكن رؤيتها إلا بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني، وهي ليست خلوية، ومن ناحية البناء فإن الفيروسات بسيطة جدًّا؛ حيث تحتوي على نوع واحد من الأحماض النووية؛ إما DNA أو RNA، وليس لها تنظيم خلوي، بينما كل الخلايا الحية تحتوي على أحماض DNA وRNA، ويمكنها أن تقوم بالتفاعلات الكيماوية وأن تتكاثر. والفيروسات لا يمكنها التكاثر إلا في داخل خلايا حية، وعلى ذلك فإن الفيروسات تتطفل على باقي الأحياء، وتوجد ثلاث مجموعات من الفيروسات؛ المجموعة الأولى: هي الفيروسات التي تصيب الحيوان، حيث تخترق الخلايا الحيوانية، وتنسخ نفسها داخل الخلية حتى تدمرها، والمجموعة الثانية: هي الفيروسات التي تصيب النبات، والتي تنسخ نفسها داخل الخلية النباتية، أما المجموعة الثالثة: فهي الفيروسات التي تصيب البكتيريا، والتي تعرف بالبكتيريوفاج Bacteriophages، حيث تنسخ نفسها داخل الخلية البكتيرية. والبكتيريوفاج فيروسات متخصصة؛ حيث إن الفاج الذي يصيب نوعًا معينًا من البكتيريا لا يمكنه أن يصيب نوعًا آخر، حتى أنه يمكن استخدام خاصية الفاج في تعريف البكتيريا.

- **كائنات الكوليفورم Coli-form organisms**:

إن القناة الهضمية للإنسان تحتوي على بكتيريا عصوية الشكل، تعرف ببكتيريا القولون، ومن المدهش أن مخلفات الغائط للشخص الواحد في اليوم الواحد تحتوي على 100- 400 بليون خلية من هذه البكتيريا، بالإضافة إلى أنواع أخرى من البكتيريا. وبكتيريا القولون غير ضارة للإنسان؛ بل هي - في الواقع - مفيدة في هدم المواد العضوية في عمليات المعالجة الحيوية للمخلفات المائية. ونظرًا لأن عدد الميكروبات الممرضة الموجودة في المياه الملوثة قليل ومن الصعب عزله، فإن بكتيريا القولون الأكثر سيادة والأسهل عزلًا، تتخذ كدليل لتلوث المياه.

إن وجود بكتيريا القولون يتخذ دليلًا على احتمال تواجد الميكروبات الممرضة، وغياب بكتيريا القولون يتخذ دليلًا على أن المياه قد تكون خالية من الميكروبات الممرضة. وتشمل بكتيريا القولون جنسي Escherichia وAerobacter. واستخدام

بكتيريا القولون دليلًا على التلوث بمياه المجاري يصطدم بالحقيقة التي مؤداها أن جنس Aerobacter، وبعض الأنواع من جنس Escherichia تعيش في التربة، وعلى ذلك فإن وجود بكتيريا القولون في المياه لا يعني دائمًا التلوث بمخلفات الإنسان.

ويبدو أن البكتيريا *Escherichia coli (E.coli)* هي النوع الذي من المؤكد أنه موجود في براز الإنسان، لكن هناك صعوبة في تقدير *E. coli* بمعزل عن بكتيريا الكوليفورم التي تعيش في التربة؛ ولذلك فإن مجموعة بكتيريا الكلويفورم تؤخذ كلها دليلًا على تلوث المياه بالغائط. وحديثًا تطورت الاختبارات التي تميز ما بين التقدير الكلي لمجموعة الكوليفورم، وكليفورم الغائط، وبكتيريا الغائط السبحية Streptococci، وتستخدم النسبة ما بين كوليفورم الغائط وما بين سبحيات الغائط؛ لتقدير مدى التلوث - كما سيتم توضيحه لاحقًا.

الطريقة العادية لتقدير مجموعة الكوليفورم تتكون من اختبار احتمالي واختبار تأكيدي .. الاختبار الاحتمالي يعتمد على أن مجموعة الكوليفورم لها القدرة على تخمير بيئة اللاكتوز وإنتاج غاز، والاختبار التأكيدي يتكون من تنمية مزارع من بكتيريا الكوليفورم على بيئات تثبط نمو الميكروبات الأخرى. ثم هناك الاختبار الكامل، الذي يتكون من تنمية الميكروبات التي نمت على بيئة الاختبار التأكيدي مرة أخرى على بيئة الاختبار الاحتمالي لتخمير اللاكتوز .. هذا بالنسبة للكشف عن تواجد بكتيريا الكوليفورم.

أما بالنسبة لتقدير أعداد بكتيريا الكوليفورم، فهناك طريقتان مقبولتان لتقدير أعداد هذه الميكروبات الموجودة في حجم معين من الماء. الطريقة الأولى تتكون من عمل تخفيفات من المياه، ثم الكشف عن بكتيريا الكوليفورم، ثم تحديد التخفيفات التي أعطت نتائج إيجابية، والتخفيفات التي أعطت نتائج سلبية، ثم يتم عمل تحليل إحصائي لهذه النتائج باستخدام جداول معينة، وهي جداول العدد الأكثر احتمالًا

The most probable number (MPN)، أما الطريقة الثانية فتتكون من تقنية استخدام غشاء راشح له مسام ضيقة جدًّا، حيث يسمح لحجم معين من عينة الماء بالمرور خلال الغشاء. هذا الغشاء يحجز البكتيريا؛ لأنها أكبر حجمًا من المسام. يتم بعد ذلك وضع هذا الغشاء على بيئة الأجار الخاصة بالكوليفورم، والتي تحتوي على المواد الغذائية اللازمة للنمو .. بعد التحضين يمكن حصر مستعمرات الكوليفورم النامية. هذه الطريقة تتميز عن طريقة الجداول الاحتمالية بأنها أسرع، وأنها تعطي أعدادًا مباشرة لبكتيريا الكوليفورم.

- **الكائنات الممرضة Pathogenic organisms**:

لا شك أن عدم إزالة مسببات الأمراض من المياه الملوثة - سواء أكانت ميكروبات أو طفيليات أو فيروسات - سوف يؤدي إلى انتشار أمراض خطيرة في البيئة. الكائنات الممرضة التي توجد في المياه الملوثة مصدرها مخلفات الإنسان المصاب أو الحامل للأمراض التي تسببها هذه الكائنات. والبكتيريا الممرضة العادية والمتواجدة في المياه الملوثة، والتي من أصل إنساني، في الغالب تسبب أمراض القناة الهضمية، مثل حمى التيفود والباراتيفود، والدوسنتاريا، والإسهال، والكوليرا. ونظرًا لأن هذه الميكروبات لها قدرة عالية على إحداث العدوى، فإنها مسئولة عن آلاف حالات الوفاة كل عام في المناطق ذات الصرف الصحي السيئ، وخصوصًا في المناطق الحارة. وعلى الرغم من أن معظم الكائنات الممرضة الشائعة في المياه الملوثة هي بكتيريا، إلا أن هناك كائنات أخرى ممرضة، كما يتضح من الجدول رقم (3-1)، ولأن تعريف الكائنات الممرضة في المياه الملوثة صعب، ويستهلك وقتًا طويلًا، فقد اتخذ وجود مجموعة الكليفورم أو مجموعة بكتيريا القولون في المياه دليلًا على التلوث ببراز الإنسان، وبالتالي دليلًا على وجود كائنات ممرضة.

جدول (3-1): الكائنات الممرضة شائعة التواجد في المخلفات

الكائن	المرض	ملاحظات
Ascaris spp., Enterobius spp	ديدان النيماتودا.	خطيرة على الإنسان، وتسود في المياه الملوثة، وفي رواسب مياه الصرف المجففة والمستخدمة كسماد.
Bacillus anthracis	الجمرة الخبيثة.	توجد في المخلفات، وجراثيمها مقاومة لعمليات المعالجة.
Pricilla spp	البروسيلا، والحمى المالطية في الإنسان، والإجهاض المعدي في الغنم والماعز والبقر.	عادة تنتقل من خلال اللبن المصاب، أو عن طريق التعامل مع المياه الملوثة الملوثة.
Endameba histolytic a	الدوسينتاريا.	تنتشر عن طريق المياه الملوثة ورواسب الصرف المستخدمة كسماد.
Leptospira Icererohaemorha Giae- *Mycobacterium tuberculosis*	داء اللولبيات. السل الرئوي.	تحمله فئران المجاري. عزل ميكروب السل من المياه الملوثة والمياه الجارية الملوثة.
Salmonella Paratyphoid	حمى الباراتيفود.	شائعة التواجد في المياه الملوثة.
Salmonella typhi	حمى التيفود.	شائعة التواجد في المياه الملوثة.
Salmonella Spp	تسمم غذائي.	شائعة التواجد في المخلفات والمجاري المائية.
Schistosoma spp	البلهارسيا.	يتم قتلها إذا أجريت المعالجة بكفاءة عالية.
Shigella spp	الدوسنتاريا العضوية.	المياه الملوثة هي المصدر الرئيس للعدوى.

الكائن	المرض	ملاحظات
Taenia spp	الديدان الشريطية.	بيض هذه الديدان مقاوم جدًّا .. توجد في المياه الملوثة ورواسبها .. خطيرة على الأبقار .. توجد في الأراضي التي تروى بهذه المياه، أو التي تسمد بالرواسب.
Vibrio cholera	الكوليرا.	توجد في المياه الملوثة.
الفيروسات	شلل الأطفال، والتهاب الكبد.	وجدت في المياه الملوثة، ولكن طرق انتقالها للإنسان غير معروفة بالضبط.

- **العلاقة بين نسبة الكوليفورم إلى الإستربتو كوكاي في الغائط ونوع التلوث**
Relationship between ratio of fecal coliforms to fecal streptococci and kind of pollution:

لاحظ العلماء أن كمية بكتيريا الكوليفورم ذات الشكل العصوي وكمية البكتيريا ذات الشكل الكروي، والتي توجد متراصة على شكل سبحة؛ ولذلك تسمى الكرويات السبحية في براز الإنسان، والتي تصرف إلى المجارى - نقول لاحظ العلماء - أن هذه الكميات تختلف تمامًا عن كمياتها في مخلفات الحيوان. ولذلك فقد اقترح العلماء اتخاذ النسبة بين كوليفورم الغائط (FC) Fecal Coli forms والكرويات السبحية في الغائط (FS) Fecal Streptococci؛ لمعرفة ما إذا كان تلوث المياه من أصل إنساني أم من أصل حيواني. والجدول رقم (4-1) يوضح النسب بين الـ FC والـ FS في براز الإنسان، بالمقارنة بين هذه النسب في براز مختلف الحيوانات، وذلك حسب الدراسات الحديثة في هذا المجال؛ فقد وجد أن نسبة الـ FC إلى الـ FS في الحيوانات الأليفة أقل من 1، في حين أن هذه النسبة في براز الإنسان أكثر من 4.

وإذا أجريت دراسات لمعرفة مصدر التلوث، وكانت النسب في المدى من 1-2، فإن تفسير النتائج يكون غير مؤكد، وسوف يعتمد التفسير على مكان أخذ العينة، فإذا أخذت العينة من مكان قريب للمصدر المشكوك فيه، فإن التلوث غالبًا ما يكون من أصل إنساني وحيواني بالتساوي.

جدول (4-1): نسبة FC إلى FS لبراز مختلف الحيوانات

الحيوان	عدد كوليفورم الغائط / فرد / 24 ساعة $\times 10^6$	عدد سبحيات الغائط / فرد / 24 ساعة $\times 10^6$	نسبة FC إلى FS
الدجاج	240	620	0.4
الأبقار	5400	31000	0.2
البط	11000	18000	0.6
الإنسان	2000	450	4.4
الخنازير	8900	230000	0.04
الأغنام	18000	43000	0.4
الرومي	130	1300	0.1

وبصفة عامة، فإن نسبة FC إلى FS بالنسبة للحيوانات المنزلية أقل من 1، في حين أن هذه النسبة تزيد عن 4 بالنسبة للإنسان. إذا كانت النسبة المتحصل عليها ما بين 1- 2، فإن تفسير النتائج يكون غير مؤكد. وفي هذه الحالة إذا تم الحصول على العينة من مكان قريب من المصدر الذي يشك الباحث أنه مصدر التلوث، فإن تفسير النتائج هو أن مصدر التلوث هو الإنسان والحيوان بنسبة 50٪ لكل منهما. وفي كل الحالات فإن تفسير النتائج يخضع للاعتبارات الآتية:

1. رقم pH العينة يجب أن يكون ما بين 4، 9؛ وذلك لتجنب التأثير السيئ للـ pH على أي من المجموعتين (كلويفورم الغائط وسبحيات الغائط).
2. على الأقل يجب أن يكون هناك مكررتين لكل تجربة.

3. لتقليل الخطأ الناجم عن الاختلاف في معدل موت مجموعات الميكروبات، فإن العينات يجب ألا تؤخذ بعد أكثر من 24 ساعة من وصول مصدر التلوث إلى المصب الذي تؤخذ منه العينة.
4. كوليفورم الغائط الذي يؤخذ في الاعتبار هي تلك الميكروبات التي تنمو عند درجة 44 مئوية.

وقد وجد العلماء أن استخدام نسبة FC/FS يمكن أن يكون مفيدًا جدًّا لمعرفة مصدر تلوث المياه في الدراسات المهتمة بهذا المجال في المناطق الريفية، وخصوصًا في المناطق التي تستخدم فيها صهاريج الصرف الصحي كوحدات معالجة.

9.1. معايير نوعية المياه للأحياء المائية Water quality standards for aquaculture:

أدى النمو الصناعي السريع في الدول النامية، وازدياد سكنى المدن، والتوسع في استخدام المركبات العضوية المخلقة، إلى آثار بيئية خطيرة على المجاري المائية العذبة، وعلى البحيرات؛ نتيجة لإلقاء مخلفات هذه الأنشطة في المياه. ويؤدي تلوث المياه إلى تأثيرات ضارة على الأسماك وباقي الأحياء المائية المختلفة، وبالتالي ينعكس ذلك على صحة الإنسان، ومن هنا فإنه من الضروري متابعة تحليل مياه المجاري المائية العذبة والبحيرات على فترات دورية؛ لملاحظة أي تغيير في نوعية المياه، وتدارك آثاره الضارة قبل تفاقمها. وفيما يلي وصف لأهم مكونات المياه التي تؤثر على الأسماك والأحياء المائية، والحدود المسموح بها لكل مكون من هذه المكونات.

1.9.1. القلوية Alkalinity:

القلوية هي مجموعة من المكونات (أساسًا الكربونات، البيكربونات، الأيدروكسيدات) في الماء، والتي تؤدي إلى رفع رقم pH الماء إلى أعلى من 4.5. وتعتبر القلوية مدلولًا للسعة التنظيمية للمياه، وقدرتها على مقاومة التغير في رقم الـ pH.

ويفضل أن تكون قلوية المياه في حدود 75 جزء / مليون؛ لمعادلة أثر الحامض الناتج من البكتيريا التي تؤكسد الأمونيوم إلى نترات. ويعتبر المدى المقبول لقلوية المياه للأسماك الزعنفية هو 20 – 200 جزء / مليون محسوبة على صورة كربونات كالسيوم.

2.9.1. الأمونيا Ammonia:

تتواجد الأمونيا NH_3 بكميات متفاوتة في العديد من المياه السطحية والماء الجوفي، وحيث إنها تنتج من النشاط الميكروبي، فإن وجودها في المياه يعتبر دليلًا على التلوث بالصرف الصحي. وفي المياه الطبيعية، فإن الأمونيا تتأكسد بواسطة أنواع معينة من البكتيريا إلى نتريت ونترات، وهذه العملية تحتاج إلى وجود أكسجين ذائب. وتعتبر الأمونيا مصدرًا للنتروجين اللازم لنمو الطحالب، وغيرها من النباتات.

أما بالنسبة لتأثير الأمونيا على الأسماك، فإن ذلك يتوقف على الصورة الموجودة عليها، وهل هي على صورة أمونيا NH_3 أو أمونيوم NH_4^+. والأمونيا NH_3 سامة للأسماك، سواء أسماك المياه العذبة أو البحار عند تركيز أكثر من 0.02 جزء / مليون، أما أيونات الأمونيوم NH_4^+ فإنها غير ضارة. ويتوقف التركيز النسبي لكل من NH_3 , NH_4^+ على رقم pH الماء، ودرجة حرارته؛ وكلما ارتفع رقم الـ pH كلما زادت صورة NH_3، وانخفضت صورة NH_4^+. والأمونيا NH_3 يمكن أن توقف انتقال الأكسجين في خياشيم الأسماك؛ مما يؤدي إلى تلف فوري وطويل المدى للخياشيم. والأسماك التي تعاني من تسمم الأمونيا تبدو بطيئة الحركة، وتطفو على سطح الماء كأنها تبحث عن الهواء.

3.9.1. النتريت Nitrite:

تتواجد النترايت كمرحلة وسطية لأكسدة الأمونيوم إلى نترات، أو عند اختزال النترات إلى غازات نتروجين في الظروف اللا هوائية، ووجودها في الماء دليل على التلوث. يتراوح التركيز المثالي للنترايت لأسماك البحار بين 0.01 – 0.4 جزء /

مليـون. إذا زاد تـركيز النتريـت عـن 0.55 جـزء / مليـون تـروجين نتريـتي، فإنـه يـؤدي إلى مرض الدم البني Brown-blood في الأسماك الزعنفية.

4.9.1. النترات Nitrate:

كمـا سـبق القـول فـإن النـترات هي المنـتج النهـائي لعمليـة الهـدم الميكـروبي للمـواد العـضوية وأكـسدة الأمونيـا الناتجـة مـن ذلـك. وبـالرغم مـن أنهـا ليـست سـامة للأسـماك، فإن زيـادة تركيزهـا في المـاء يؤخـذ مـدلولًا على تـدني نوعيـة المـاء. الحـدود المقبولـة للنـترات في بيئـة البحـار تـتراوح بـين 0.1 – 0.2 جـزء / مليـون. إذا زاد تـركيز النتروجـين النـتراتي عن 50 جزء / مليـون، فـإن ذلـك يعتـبر غـير صـحي لبيئـة البحـيرات؛ بينمـا تـركيزات مـن 10 – 40 جزء / مليون تشير إلى مستوى متدنٍّ للمياه في المزارع السمكية.

5.9.1. درجة حموضة وقلوية الماء Water pH:

يـتراوح رقـم pH الميـاه الطبيعيـة بـين 5 – 8.5. ويـؤدي ثـاني أكـسيد الكربـون النـاتج مـن تـنفس الأحيـاء المائيـة إلى خفـض رقـم pH المـاء. بينمـا تـؤدي إزالـة ثـاني أكـسيد الكربون والبيكربونات مـن المـاء خـلال عمليـة التمثيـل الـضوئي للنباتـات المائيـة إلى رفـع رقم الـ pH، ونفـس هـذه العمليـات تغـير مـن مـستوى الأكـسجين الذائـب. ورقـم الـ pH المرتفـع جـدًّا غـير مرغـوب بـه؛ حيـث يـؤدي إلى زيـادة تكـون الأمونيـا الحـرة NH3، وحدود أرقام pH الماء المقبولة للأسماك الزعنفية تتراوح بين 6.8 - 8.5.

6.9.1. ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide:

يتواجـد ثـاني أكـسيد الكربـون في المـاء على صـورة غاز ذائـب، وعادة مـا تحتـوي الميـاه السطحية على أقل من 10 جـزء / مليـون ثـاني أكـسيد كربـون. ويعتمـد نمـو جميـع الأحيـاء المائية النباتيـة - سـواء الدنيئـة منهـا أو الراقيـة - على ثـاني أكـسيد الكربـون والبيكربونـات الذائبة في الماء. ومن الأمـور المعنويـة للأسـماك أنـه عنـد انخفـاض تـركيز الأكـسجين (عنـد تكـسر وهـدم المـواد العـضوية)، فـإن تـركيز ثـاني أكـسيد الكربـون يـزداد، وهـذه الزيـادة تجعـل مـن الـصعب على الأسـماك اسـتخدام الكميـة المحـدودة مـن الأكـسجين الموجـود في المـاء؛ حيـث إنـه للحـصول على أكـسجين حـديث، فـإن الأسـماك يجـب أن تـتخلص أولًا

من ثاني أكسيد الكربون الموجود في دمائها، وهذه العملية ينخفض معدلها بشدة كلما زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون في المياه نفسها. المدى المقبول لتركيز ثاني أكسيد الكربون في المياه لمعظم الأسماك الزعنفية هو أقل من 2 جزء / مليون.

7.9.1. الأكسجين الذائب Dissolved oxygen:

يعتبر الأكسجين عاملًا حيويًّا محددًا لحياة الأسماك، ويدخل الأكسجين إلى المياه من الهواء الجوي خلال عملية الانتشار. ويتغير مستوى الأكسجين الذائب في الماء من وقت لآخر؛ حيث يمثل الاتزان بين عمليتي التنفس وهدم المواد العضوية، والتي تستهلك الأكسجين؛ وعملية التمثيل الضوئي، والتي تزيد من تركيز الأكسجين. وإذا زاد حمل المواد العضوية في المياه، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض حاد في مستوى الأكسجين الذائب، وبالتالي موت الأسماك. والحدود الدنيا الموصى بها لتركيز الأكسجين الذائب لأسماك المياه العذبة هي كالتالي:

أسماك المياه الدافئة	5 جزء / مليون.
أسماك المياه الباردة	6 جزء / مليون.
أسماك البحار	5 جزء / مليون.

8.9.1. الطلب الكيماوي على الأكسجين COD:

الطلب الكيماوي على الأكسجين هو مقياس لكمية الأكسجين الذائب التي سوف تزال من المياه أو الرواسب؛ نتيجة لفعل البكتيريا (و) أو النشاط الكيماوي. والقيمة الطبيعية للطلب الكيماوي على الأكسجين في مياه البرك يجب أن تقل عن 10 جزء / مليون. وزيادة قيمة الطلب الكيماوي على الأكسجين عن 60 جزء / مليون، سواء في البرك الطبيعية أو البحيرات أو مزارع الأسماك يستدعي التدخل السريع لحماية الثروة السمكية.

9.9.1. الطلب الحيوي على الأكسجين BOD:

يقيس الطلب الحيوي على الأكسجين كمية الأكسجين المستخدمة، بواسطة الكائنات الدقيقة في عملية الأكسدة الحيوية للمواد العضوية في عينات المياه الملوثة في

زمن محدد (عادة خمسة أيام)، وعند درجة حرارة معينة. وتزداد قيمة BOD كلما زاد حمل المياه من المواد العضوية. والمياه الطبيعية تحتوي على قيمة للطلب الحيوي على الأكسجين في حدود 0.8 – 5 جزء / مليون، وأي قيمة أعلى من 6 جزء / مليون تستدعي التدخل؛ حتى لا ينخفض تركيز الأكسجين الذائب اللازم للأسماك.

10.9.1. الدهون والزيوت والشحوم Fats, oils and grease:

جميع المواد البترولية لها أثر ضار جدًّا على الأحياء المائية، ويجب أن لا يزيد تركيز هذه المواد البترولية - خاصة الذائبة منها في المياه - عن 0.1 جزء / مليون.

11.9.1. المبيدات Pesticides :

يختلف التركيز الضار للمبيدات في المياه على الأحياء المائية على حسب نوع المبيد، ونوع الأحياء المائية، ويجب أن لا يزيد تركيز هذه المواد في المياه عن الحدود التالية:

- الدرين / داي الدرين 0.003 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- كلوردان / لندان 0.01 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
  0.004 ميكروجرام / لتر للأحياء البحرية.
- DDT، هبتاكلور 0.001 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- توكسافين 0.005 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- بارايثون 0.040 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- مالاثيون 0.100 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.

12.9.1. معايير العناصر النادرة Criteria of rare elements :

LC_{50} هو التركيز السام للعنصر في الماء، والذي يؤدي إلى قتل 50٪ من أفراد العينة خلال 96 ساعة. وتتأثر قيمته بعوامل أخرى عديدة، مثل pH الماء، ودرجة الحرارة، ودرجة عسر الماء، والقلوية.

- الكادميوم 0.4 - 12 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
  5 ميكروجرام / لتر للأحياء البحرية.
- الكروميـوم 100 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
- السيانيد 5 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- الزئبق 0.05 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
  0.1 ميكروجرام / لتر لأحياء البحـار.
- النحـاس $LC_{50} \times 0.1$:

وجد أن تركيز < 25 ميكروجرام / لـتر غـير سـام لمعظـم أنـواع الأسماك. تـتراوح قيمـة LC_{50} بـين 60 ميكروجـرام / لـتر في الميـاه اليسرة، 600 ميكروجرام / لتر في المياه العسرة جدًّا.

- الرصـاص $LC_{50} \times 0.01$:

تتراوح قيمـة LC_{50} بـين 1000 ميكروجـرام / لـتر لبعـض أنـواع أسماك المياه اليسرة إلى 40000 ميكروجرام / لتر لبعض أسماك المياه شديدة العـسر. ولقـد وجـد أن تـركيز الرصـاص في حـدود 18-32 ميكروجرام / لتر ليس له أثر ضار على معظم الأحياء المائية.

- النيكل $LC_{50} \times 0.01$:

تتراوح قيمة LC_{50} بـين 600-800 ميكروجـرام / لـتر، ووجـد أن تركيز النيكل < 100 ميكروجرام / لتر غير ضار لمعظم الأحياء المائية في المياه العذبة والبحار.

***