

ملوثات المياه

مصادرها وطرق معالجتها

بطاقة فهرسة
فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشؤون الفنية

بريشة، جابر زايد؛ شريف، محمد أحمد.
ملوثات المياه مصادرها وطرق معالجتها/ تأليف: د. جابر زايد بريشة، د. محمد
أحمد شريف - ط 1 - القاهرة: دار النشر للجامعات، 2018.
232 ص؛ 24 سم.
تدمك: 978 977 6515 47 5
1- المياه - تلوث
أ- العنوان
614.772

- * تاريخ الإصدار: 1439هـ - 2018م
* الناشر: دار النشر للجامعات - مصر
* حقوق الطبع: محفوظة للناشر
* رقم الإيداع: 2017/21816م
* الترميم الدولي: ISBN: 978 - 977 - 6515 - 47 - 5
* الكود: 2/503
* تحذير: لا يجوز نسخ أو استعمال أى جزء من هذا الكتاب بأى شكل من الأشكال أو بأية وسيلة من الوسائل (المعروفة منها حتى الآن أو ما يستجد مستقبلاً) سواء بالتصوير أو بالتسجيل على أشرطة أو أقراص أو حفظ المعلومات واسترجاعها دون إذن كتابي من الناشر.



دار النشر للجامعات

ص.ب (130 محمد فريد) القاهرة 11518

E-mail: darannshr@hotmail.com

ملوثات المياه

مصادرها وطرق معالجتها

تأليف

دكتور

محمد أحمد شريف

أستاذ علوم الأراضي المتفرغ
عميد كلية الزراعة بالمنيا
ورئيس جامعة المنيا السابق

دكتور

جابر زايد بريشة

أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية المتفرغ
نائب رئيس جامعة المنيا لشئون
الدراسات العليا والبحوث الأسبق

obeikandi.com

مقدمة

الماء النظيف الذي نحصل عليه من الأنهار أو الآبار هو أساس الحياة، فإذا ما تعرض هذا الماء للتلوث؛ نتيجة تعرضه لإلقاء المخلفات به، أو صرف المياه العادمة - الناتجة من الاستخدامات المنزلية أو الزراعية أو الصناعية - عليه، بما تحمله من مواد عضوية وعناصر معدنية وأملاح وكائنات ممرضة، فإنه يصبح ملوثًا، وتتأثر صلاحيته لاستخدامات الإنسان والحيوان والنبات والأسماك، وكل الكائنات الحية الأخرى التي تعيش في الماء وعلى الماء. وإذا كان هذا التلوث يحدث بطريقة مباشرة للمجري المائية المكشوفة، فإنه لم تسلم منه المياه الجوفية عندما تتسرب إليها المياه الملوثة.

هذا الكتاب (ملوثات المياه: مصادرها وطرق معالجتها)، يقع في خمسة فصول، يعطي الفصل الأول نبذة عن أهمية معالجة المياه الملوثة من الناحية الصحية والبيئية والاقتصادية. كما يعطي أيضًا نبذة عن طبيعة التلوث، ومصادره، وأنواع الملوثات التي تحتويها. ومصادر المياه الملوثة التي شملها هذا الفصل هي المياه الملوثة الزراعية التي يندرج تحتها مخلفات الحيوانات - السائلة والصلبة، وسوائل السيلاج، والسوائل المتخلفة عن استخدام المبيدات، ومخلفات حلب اللبن وذبح الحيوانات، والمياه الملوثة لغسل الخضروات والحرائق، كما تناول المياه الملوثة الصناعية التي يندرج تحتها المياه الملوثة الناتجة عن صناعة الحديد والصلب، والمياه الملوثة للمناجم والمحاجر، والمياه الملوثة لصناعة الأغذية، والمياه الملوثة لصناعة الكيماويات العضوية المعقدة، والمياه الملوثة للصناعات النووية، والمياه الملوثة الناتجة عن معالجة المياه. وأخيرًا تناول هذا الفصل المياه الملوثة المنزلية، فيما يعرف لدى العامة بمياه الصرف الصحي. كما يتناول مواصفات وخصائص ملوثات المياه؛ ذلك لأن فهم هذه الخصائص وطبيعتها ضرورة ملحة في تصميم عمليات تجميع ومعالجة المياه الملوثة وصرفها بعد المعالجة، كما أن فهم هذه الأمور يحدد أيضًا مدى جودة البيئة التي نعيش فيها. وتتضمن مواصفات

المياه مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، وتشمل الخصائص الفيزيائية التي تناولها هذا الفصل المواد الصلبة الكلية، والروائح، والحرارة، واللون، وتشمل الخصائص الكيميائية مدى ما تحتويه المياه الملوثة من المادة العضوية، والبروتينات، والمواد الكربوهيدراتية، والمواد غير العضوية الذائبة، والدهون، والزيوت والشحوم، والمواد النشطة سطحياً *Surfactants*، والفينولات، والمبيدات والكيماويات الزراعية، والمعادن الثقيلة. أما الخصائص البيولوجية للمخلفات المائية التي تناولها هذا الفصل فتشمل أنواع الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا، والفطريات، والبروتوزوا، والطحالب، والفيروسات كائنات الكوليفورم *Coliform Organisms*، والكائنات الممرضة.

تناول الفصل الثاني أهم القياسات اللازمة قبل معالجة المياه الملوثة، وبالتالي كان لابد من تناول التركيب التقليدي للمخلفات المائية المنزلية، وكذلك كيفية جمع عينات القياس وكيفية حفظها، لحين إجراء القياسات. وأهم القياسات التي تناولها هذا الفصل هي قياس المادة العضوية، وقياس المتطلبات الحيوية من الأكسجين لأكسدة المادة العضوية *Biological Oxygen Demand (BOD)*، وقياس المتطلبات الكيميائية من الأكسجين لأكسدة المادة العضوية *Chemical Oxygen Demand (COD)*، وقياس الكربون الكلي العضوي، وقياس المتطلبات الكلية من الأكسجين لأكسدة المادة العضوية *Total Oxygen Demand (TOD)*، ثم تناول هذا الفصل العلاقة بين القياسات السابقة، كما تناول أهمية قياس الـ *pH* والكلوريدات، والقلوية، والفوسفور، والكبريت، والمركبات السامة، والمعادن الثقيلة، والغازات، واختبارات القياسات الحيوية.

الفصل الثالث يتناول أهداف معالجة المياه الملوثة، وتقسيم وتطبيق طرق معالجة المياه الملوثة، ومعايير عملية التحميل *Process loading criteria* (أي كميات المياه المراد معالجتها، والتي يمكن أن تتحملها محطة المعالجة)، وهي المفاتيح التي على أساسها يتم اختيار حجم كل وحدة معالجة وكل عملية في المشروع. بعد ذلك يتناول هذا الفصل طرق المعالجة الفيزيائية بالتفصيل، وتشمل الغرلة، والخلط، والتلبد

Flocculation، والترسيب، والتعويم Flotation، والترشيح. كما يتناول هذا الفصل عمليات المعالجة الكيماوية بالتفصيل، وتشمل التبختر، والترسيب الكيماوي، وتحولات الغاز Gas Transfer، والادمصاص، والتطهير بأنواعه المختلفة.

ويتناول الفصل الرابع معلومات ميكروبيولوجية تهتم العاملين في عمليات الوحدة البيولوجية، وبعض التعبيرات والمصطلحات الشائعة في مجال المعالجة البيولوجية، مثل العمليات الهوائية Aerobic processes، والعمليات غير الهوائية Anaerobic processes، وعكس التآزت اللاهوائي Anoxic denitrification، والعمليات الاختيارية Facultative processes، والكائنات المحبة لقليل من الهواء Microaerophils، وإزالة المواد الكربونية Carbonaceous BOD removal، والتآزت Nitrification، وعكس التآزت Denitrification، وحالة الاستقرار Stabilization، والمادة الأولية Substrate، وعمليات النمو المعلق-Suspended-growth processes، وعمليات النمو العالق Attached-growth processes، والمتطلبات الكيماوية من الأكسجين Chemical Oxygen Demand (COD)، والمتطلبات الحيوية من الأكسجين Biological Oxygen Demand (BOD)، ثم تناول هذا الفصل أيضا بعض أساسيات علم الميكروبيولوجي مثل التمثيل الميكروبي Microbial Metabolism، والإنزيمات الميكروبية، ومصادر الكربون والطاقة، وهدم المواد الكربوهيدراتية، وأطوار نمو البكتيريا. كما يتناول هذا الفصل بالتفصيل أهم وأشهر عمليات المعالجة البيولوجية للملوثات المائية، وهي عمليات المعالجة بالنمو المعلق الهوائي، وتشمل عملية الحمأة المنشطة The activated sludge process، وعملية التآزت بالنمو المعلق The suspended-growth nitrification process، والبحيرات الهوائية Aerated lagoons، والهضم الهوائي The aerobic digestion process. كما تشمل المعالجة البيولوجية عمليات المعالجة بالنمو الهوائي العالق Aerobic attached-growth treatment processes، مثل استخدام مرشح التقطر Tricking filter، والموصلات الحيوية الدوارة Rotating biological contactor (RBC). وتشمل المعالجة البيولوجية أيضًا الهضم اللاهوائي Anaerobic

digestion الذي يتناوله هذا الفصل بالتفصيل، من حيث مراحل هذا الهضم وتطبيقاته ومنتجاته، وأهمها الغاز الحيوي، وأخيراً تناول هذا الفصل بعض العمليات البيولوجية الأخرى شائعة الاستخدام، مثل عكس التآزت Denitrification، والتآزت، وعكس التآزت المتزامنين Simultaneous nitrification and denitrification (SND)، وعملية أكسدة الأمونيا لاهوائياً Anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process، والإزالة البيولوجية للفوسفور.

ويختص الفصل الخامس بإبراز دور النباتات المائية في تنقية ومعالجة المياه العادمة والملوثة بالعديد من الملوثات، من خلال أنظمة الأراضي الرطبة، مع توضيح كيفية عمل هذه الأنظمة في التنقية وإزالة الملوثات. وفي هذا الفصل أيضاً يمكن التعرف على نماذج نظم الأراضي الرطبة المشيدة هندسياً، وأنواع النباتات التي تنمو بها، ومحددات عملها، ومعايير التصميم العام عند تشييدها.

إن المكتبة العربية في حاجة ماسة إلى مراجع باللغة العربية تتناول بالتفصيل كل ما يتعلق بخصائص المياه الملوثة ومصادر التلوث المتنوعة وطرق المعالجة المختلفة؛ ولذلك فإننا نقدم هذا الكتاب، راجين من الله - سبحانه وتعالى - أن يكون مفيداً لطلاب الجامعة وطلاب الدراسات العليا، والمهتمين بالمياه والبيئة في مصر والعالم العربي.

والله من وراء القصد وهو يهتدي إلى سواء السبيل

المؤلفان

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 الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيًّا﴾ [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 سلباً 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 مصداقاً لقوله تعالى: ﴿ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ﴾ [الروم:41].

ويعتبر الماء ملوثاً عندما تتغير عناصره المكونة له كمّاً أو نوعاً، 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 كيميائية، 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 اللاهوائية في الماء، فتتحلل المواد العضوية لاهوائيًا، وينتج عن ذلك غازات سامة وروائح كريهة بسبب هذه الغازات، مثل الأمونيا (NH_3)، وثاني أكسيد الكبريت (H_2S).

وأياً كان مصدر تلوث المياه، فإن حالة وطبيعة التلوث تكون أحد أربعة أنواع من التلوث، فقد يكون التلوث تلوئًا فيزيائيًا، أو كيميائيًا أو بيولوجيًا أو إشعاعيًا.

2.1. التلوث الفيزيائي Physical pollution :

التلوث الفيزيائي هو شكل من أشكال التلوث البيئي، ينتج عنه تغيير الموصفات 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 ثانويًا 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 والكاديوم والرصاص والزنابق. 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 والمسؤولين، 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 المزرقمة، وهذا قد يسبب النمو السريع جداً للطحالب، والذي يسمى Algal bloom. هذه الطحالب غالباً 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 سموماً 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 - غالباً - 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، والتحويلات التي تحدث في الجينات الوراثية.

6.1. مصادر تلوث المياه Sources of wastewater :

1.6.1. المياه الملوثة بالفضلات 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 عديدة، 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 ثنائيًا، 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 البروسيلة *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 قريية من السائلة، فيما يعرف بالـ *Slurry*، وهو معلق غليظ القوام لمخلفات الحيوان، وخصوصًا أبقار اللبن التي تربي 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 اختلافاً كبيراً، وفقاً للمصدر ونوع وعمر الحيوانات، وطبيعة وكيفية تغذيتها، والطقس والمناخ، وكلها أمور تساهم في تكوين مياه الصرف الصحي. فعلى سبيل المثال، وجد 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 واتفورد 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، وخصوصاً 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 - أيضاً - يسبب خسائر في أشكال مختلفة من النيتروجين، عن طريق وصولها إلى مياه الصرف؛ مما يسبب تدهوراً في البيئة، وهذا من شأنه أن يحدث ضرراً 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

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

- سوائل السيلاج Silage leachate :

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 أوروبا وأمريكا أثناء فصل الشتاء؛ حيث لا توجد حشائش نامية. السيلاج لا بد 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 ميكانيكيًا إلى قطع صغيرة، طول كل منها حوالي 14 مم، 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. وتقليديًا تقوم البكتيريا الموجودة أساسًا في المواد الخام بعملية التخمر، ولكن حديثًا يتم التلقيح بالبكتيريا المتخصصة لإسراع عملية التخمر، 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 الالامائية، 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 وحافطة 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 السليجة 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 جدًا 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. وتشارك 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 رئيسين؛ القسم الأول: هو المبيدات التي يدخل فيها الكلور (Chlorinated Pesticides)، ومن أشهرها الـ دي دي تي (DDT)، والقسم الثاني: هو المبيدات الفوسفورية العضوية (Organ phosphorous Pesticides)، ومن أشهرها الباراثيون (Parathion)، ولكننا نعرف أيضًا أن الآفات تشمل آلاف من الأجناس، وأنها تختلف باختلاف أنواعها وأجناسها وأصنافها، ومن البديهي 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 يجنب 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 - مثلاً - 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 مجريات صناعية، وتركها فترة طويلة حتى تهدم تماماً، كذلك فإن رشها على مساحة أرض واسعة في مناطق خاصة تعتبر أيضاً 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 مثلاً، 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 مهلكاً للأسماك وضاراً بالزراعات؛ خاصةً نبات القطن عند ريه بمياه تم التعامل معها بتلك المبيدات في حالة القضاء على ورد النيل مثلاً. كما أنه ضار بالحيوانات المنتجة للبن عند شربها لمياه ملوثة.

هناك أيضاً تأثيرات صحية ضارة للمبيدات المذابة في المياه، التي قد تنتقل إلى التربة وينتج عنها زراعة نباتات ملوثة، أو نتيجة تناول الحيوانات لنباتات تم ريهها 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 التبدل والحمول.

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 معاً 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 أيضاً أحد الخيارات المشروعة.

وبالنسبة لمخلفات ذبح حيوانات المزرعة فإنها تشبه مخلفات حلب اللبن، غير أنها نسبياً قد تكون أقوى في محتواها من المواد العضوية، وتعالج أيضاً 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 تجمعها وطبعاً فإنه يصرف مع مياه الصرف؛ ليزيد من حملتها 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 المركبات 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 المجرز. 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 نفاذ 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، فما زالت 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 التآزت 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 للكيمياويات 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 استهلاكاً للطاقة، وبالتالي من أكثرها تلويثاً 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 والنفثالين 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؛ لتبخّر 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 جدًا يصعب إزالتها ميكانيكيًا، وتسبب تلوثًا للمخلفات المائية.

"إذا كانت هناك سيليكات، 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 الأوروبية، 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 جدًا - 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 غسل 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 الأوروبي 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، فتوجد 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 كروث 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 جدًا من الزيوت والدهون.

- المياه الملوثة بمخلفات صناعة الكيماويات 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 جدًا، 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 والزنبق 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، وهذه المواد استعمالاً متعددة في كل نواحي الحياة الزراعية والمنزلية والصناعية، مثل مركبات الفريون، وبعض المبيدات الحشرية مثل (د.د.ت) والليندين، ومركبات ثنائي الفينيل 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 فينيل كلوريد. وتأتي خطورته من احتوائه على نسبة ضئيلة من الفينيل كلوريد الحر، الذي يسبب السرطان. وتعتبر مركبات السيانيد من المواد ذات الخطورة الشديدة والسامة العالية؛ نظراً 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، فمثلاً سيانيد الصوديوم يتأين إلى سيانيد وصوديوم، وأيونات السيانيد خطيرة جداً، خاصة عندما تكون درجة الحموضة أقل من 6؛ لأن هذه الأيونات تتفاعل مع الهيدروجين بسرعة، مكونة سيانيد الهيدروجين، الذي يعتبر - بدوره - غازاً ساماً جداً.

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 غازاً ساماً، 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، وغالباً 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 وعمليات 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 تقريراً صادراً 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 والكيمياويات المشعة، يأتي من معالجة المخلفات النشطة إشعاعياً، وهي عبارة عن مخلفات تحتوي على عناصر كيميائية مشعة، وليس لها استخدام عملي. هذه المواد أحياناً 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 أيضاً - 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 إشعاعياً، وأن تنظيف هذه المخلفات الموجودة حالياً سوف يستغرق عشرات السنين.

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

معالجة المياه بغرض إنتاج مياه الشرب ينتج عنها أيضاً ملوثات، أو ينتج عنها مخلفات مائية ملوثة لا بد 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 أحوال 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 جداً 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، والمراحض والاستحمام،

والغسالات، يمكن أن تحمل أيضًا العناصر الغذائية والميكروبات المرضية، والعناصر الغذائية، وكل ذلك يسبب تلوثًا إذا لم تتم المعالجة. كما أن الميكروبات المرضية تسبب كثيرًا من الأمراض الخطيرة، ويجب تصميم أنظمة لمعالجة المياه العادمة؛ لإزالة وتطهير 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 أيضًا 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 من 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 المستقبلية، ففي ولاية راجاستان بالهند - على سبيل المثال - وجد الباحثون أن مياه الصرف الصحي الواردة في محطة الحمأة المنشطة، تحتوي على نيتروجين كلّي 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 جدًا من الملوثات، خصوصًا الملوثات النيتروجينية. 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.

وتطبق العمليات التقليدية لإزالة النيتروجين البيولوجي في محطات معالجة مياه الصرف ينطوي على أكسدة النشادر (NH_4) إلى نترات (NO_3) خلال عملية التآزت، ولا يجب أن تتوقف عملية إزالة النيتروجين عند عملية التآزت؛ حتى لا تتراكم النترات وتصل إلى المياه الجوفية، مسببة مشاكل بيئية خطيرة، ويتم التخلص من النترات عن طريق عملية عكس التآزت - 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 خطيرة على صحة الإنسان والحيوان بشكل مباشر، وكذلك نتيجة نمو كائنات ونباتات سامة. إن وجود كميات كبيرة من النيتروجين في البيئة يسبب تدهوراً وخبلاً 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 أمراضاً خطيرة مثل السرطان، وما يسمى بمرض الطفل الأزرق Blue-baby disease الذي يصيب الأطفال حديثي الولادة، والذي يؤدي إلى الوفاة. ولقد ضربنا مثلاً 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 سنويًا، وعلى الرغم من استفحال المشكلة وضخامة حجمها، إلا أنها تزداد سوءًا يوميًا، 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 تشمل أيضًا على تحديد تركيز جميع الملوثات في هذه المخلفات، كما تشمل 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 (TS) Total solids:

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 جزيئات قطرها يتراوح من 1 ملي ميكرون إلى 1 ميكرون، والمواد الصلبة الذائبة تتكون من جزيئات 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 مذيبيًا 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 أولاً عن طريق

الميكروبات، ثم ترسيب المتبقي بعد الأكسدة. وبالإضافة إلى المتبقي بعد التبخير على درجات حرارة معينة، فإن خاصية العكارة تستخدم أيضاً 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 (1-2). 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 تأثيراً ضاراً جداً على صحة الإنسان؛ حيث تسبب فقد الشهية وتقلل من قابلية 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 (1-2): أهم المواد المسببة للروائح الكريهة في المياه الملوثة

وصف الرائحة	الصورة الكيميائية	المركب المسبب للرائحة
رائحة السمك	$\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{CH}_3)_3\text{N}$	الأمينات Amines
رائحة الشادر	NH_3	الأمونيا Ammonia
رائحة اللحم الفاسد	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2.\text{NH}_2)_5\text{NH}_2$	الداي أمين Diamines
رائحة البيض الفاسد	H_2S	كبريتيد الهيدوجين Hydrogen sulfide
رائحة حيوان الطربان التننة	$\text{CH}_3\text{SHCH}_3(\text{CH}_2)_2\text{SH}$	المركبتان Mercaptans
رائحة الكرب العطن	$(\text{CH}_3)_2\text{SCH}_3\text{SSCH}_3$	الكبريتيدات العضوية Organic sulfide
رائحة الغائط	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	الإسكاتول Skatole

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 جداً، وقد يكون لها رائحة متشابهة".

- الحرارة Temperature:

إن درجة حرارة المياه الملوثة غالباً 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 غالباً ما تكون أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط، ما عدا في فصل الصيف؛ حيث تكون درجة حرارة الهواء أعلى من درجة المياه الملوثة. وبالاتتماد 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 فلا بد 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 مصحوباً 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 غالباً ما يكون لونها رمادياً، 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. وأحياناً تضاف ألوان معينة إلى المياه الملوثة المنزلية عند اختلاطها بالمياه الملوثة الصناعية.

وعموماً 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 - تغييراً ملحوظاً في لون المياه. والمياه النقية على عمق 2 متر لا لون لها، ويكون لونها أزرق سماوياً، 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 لوناً مميزاً، وتسمى المياه في هذه الحالة بالمياه الحمراء، أما النحاس فيسبب لوناً 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):

في 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 معاً، 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 أيضاً موجودة في بعض المكونات العضوية.

والمجموعات الرئيسية 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 أيضاً إحدى المواد العضوية المهمة في المياه الملوثة. ونظراً لأن اليوريا تتحلل بشكل سريع جداً، فإنها نادراً ما توجد في المياه الملوثة، ما عدا الطازجة جداً 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 جداً 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 كثيراً من هذه المواد أو معظمها قد لا يتحلل حيويًا بالمرة، أو قد يكون تحلله بطيئاً جداً، وهذا العامل أدى إلى تزايد الاتجاه نحو استخدام عملية الترسيب الكيماوي كأحد الخطوات للوصول إلى معالجة كاملة للمخلفات المائية.

- البروتينات Proteins:

البروتينات هي المكونات الرئيسية 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 جدًا من الأحماض العضوية بروابط كيماوية، مكونة جزيئات ذات وزن جزيئي كبير جدًا، 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 الرئيسية 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 للهضم 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، والسليولوز، 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 وأكسجين يناسب عدد ذرات الكربون.

بعض المواد الكربوهيدراتية - وخصوصًا السكريات - تكون ذائبة في الماء، والبعض الآخر - مثل النشويات - يكون غير ذائب في الماء. والسكريات تتحلل تدريجيًا 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 مهمًا 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، فنادراً 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 والمغنسيوم للأحماض الدهنية، وهي غير ذائبة. ولا بد 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 سطحياً **Surfactant materials** :

المواد النشطة سطحياً والتي تسمى **Surfactants**، هي مواد عضوية ذات جزيئات 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 جداً لعملية التحلل. هذه المواد تأتي أساساً من المنظفات، ويؤدي تزايد تركيز المواد النشطة سطحياً في مياه المجاري المنزلية، والمياه الصادرة عن النشاط الصناعي، إلى صعوبات حمة 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 كافياً لترسيب جميع كميات الصابون الداخلة إلى مياه المجاري. ولكن الآن فإن معظم المنظفات تحتوي على مادة نشطة سطحياً تعرف بـ **Alkyl Benzene Sulphonate (ABS)**، والتي لا تتحلل تماماً في محطات معالجة مياه المجاري. وعلى الرغم من تطور صناعة المنظفات، بحيث أصبحت تحتوي على مادة نشطة سطحياً عرفت بـ **Linear Alkl Benzene Sulphonate (LAS)**، التي تتحلل بسرعة بفعل البكتيريا، إلا أن كثيراً من الدول المنتجة للمنظفات لا تزال تنتج المنظفات التي لا تتفكك، وتصدرها إلى الدول النامية، وتروج لها الدعايات المختلفة، رغم منع استعمالها في بلد المنشأ.

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

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

- الفينولات Phenols:

الفينولات هي أيضاً 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 أساساً من العمليات الصناعية؛ ولذلك يكثر وجودها في المياه الملوثة الصناعية، وعلى أية حال فإن الفينولات يمكن أكسدها بيولوجياً 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 - اعتماداً على أن هذه المواد سوف تتحلل طبيعياً - يعتبر من الأخطاء الخطرة جداً 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 جراماً 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 إسرافاً لا مبرر له من الناحية الاقتصادية، بالإضافة إلى أنه يعد عاملاً مهماً 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 (HM) Heavy metals :

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؛ نظراً لقدرة هذه الكائنات على تخزين هذه العناصر داخل أجسامها، وتركيزها؛ مما قد يحدث خللاً 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 1 جم / سم³، وعلى ذلك فإن المواد التي تزيد كثافتها عن 5 جم / سم³

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 خطراً من المعادن الأخرى.

وتتركز المعادن الثقيلة في المياه الملوثة لكثير من المصانع، مثل مصانع الأسمت 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 مثلاً 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، مسبباً 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 تماماً وخالية من عناصر التلوث.

3.8.1. الخصائص الحيوية للمياه الملوثة Biological characteristics of wastewater:

إن المهندس الذي يعمل في مجال الصرف الصحي لا بد أن يكون ملماً 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 المسؤولة عن معالجة المياه الملوثة.
2. الكائنات الممرضة الموجودة في المياه الملوثة.
3. الميكروبات التي يتخذ وجودها بأعداد معينة دليلاً على تلوث المياه.
4. الطرق المستخدمة لتقييم سمية المياه الملوثة المعالجة.

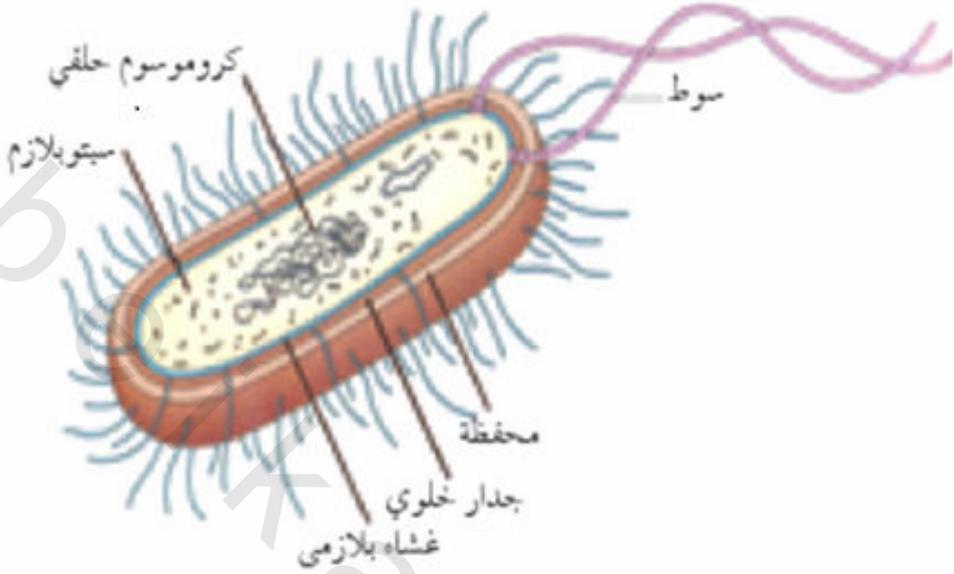
وعموماً فإن البكتيريا والفطريات والفيروسات والطفيليات، تشكل الخصائص البيولوجية لمياه الصرف الصحي التي تحتوي على كميات هائلة من البكتيريا، وغيرها من الكائنات التي تنشأ في المياه الملوثة. وتغذية هذه الكائنات ينتج عنها تحلل مياه الصرف الصحي؛ حيث إن البكتيريا الهوائية تحلل المواد العضوية في وجود الأكسجين الحر. كما أن البكتيريا اللاهوائية تحلل المواد العضوية التي لا يصل إليها الأكسجين الحر، كما هو الحال في المناطق الداخلية من كتل الغائط أو الكائنات الميتة. ومنتجات التحلل اللاهوائي 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 نسبياً هي التي تشكل خطراً كبيراً 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 الرئيسية للأحياء الموجودة في المياه الملوثة إلى (أ) بروتستا Protista، (ب) نباتات، (ج) حيوانات.

البروتستا تشمل البكتيريا والفطريات والبروتوزوا والطحالب. والبروتستا هي أهم المجموعات التي يجب على كل من يعمل في مجال الصرف الصحي أن يكون ملماً بكل شيء عنها، خصوصاً 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 جيداً، أي أنه ومهما كانت دراسة وتخصصات العاملين في مجال المياه الملوثة، فلا بد 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:

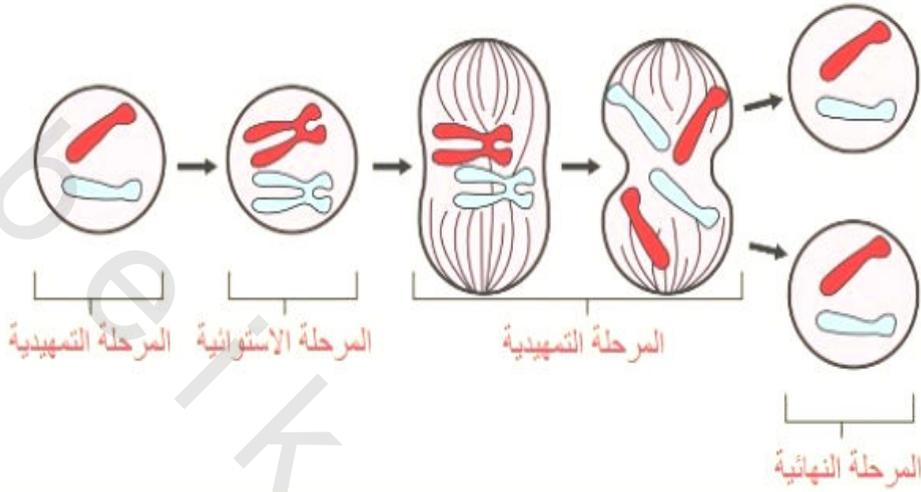
البكتيريا هي كائنات صغيرة جداً، تنتشر في كل مكان، وخصوصاً التربة والقناة الهضمية للإنسان، وعلى النباتات، وفي الماء، وفي مختلف الأغذية التي يتناولها الإنسان. وبصفة خاصة تتواجد بأعداد مهولة في مياه الصرف الصحي المنزلي، وتتميز بأن المواد الوراثية (الكروموسوم Chromosome) ليست محاطة بغشاء نووي محدد، ولكنها تسيح 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 (1-2).



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

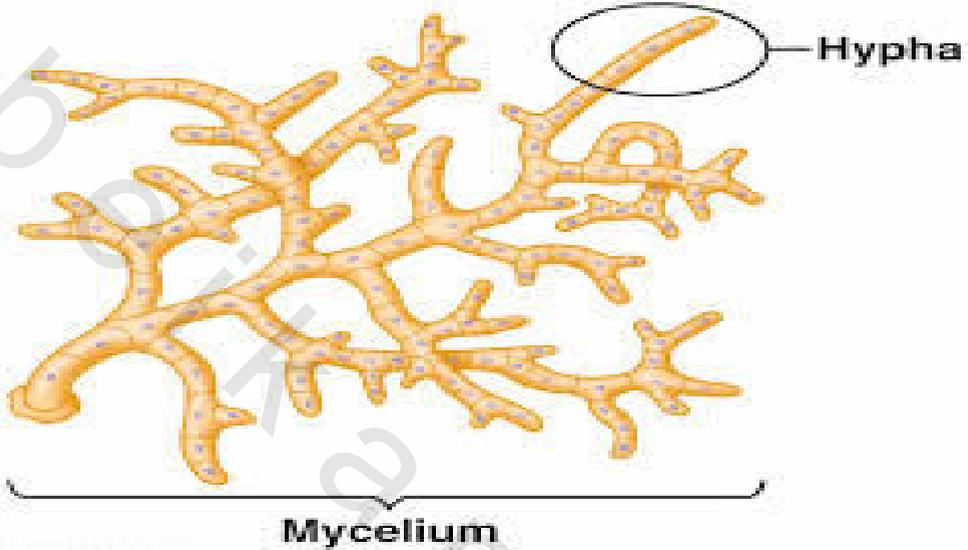
وهناك قسم من البكتيريا يمكن إعتباره كائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms وهذه البكتيريا يلزم لها وجود مواد عضوية كمصدر للكربون والطاقة اللازمة لحياتها، وقسم آخر يعتبر من الكائنات ذاتية التغذية Autotrophic organisms وهي البكتيريا التي تحتاج مواد غير عضوية كمصدر للكربون والطاقة التي تحتاجها.

كما أن بعض أقسام البكتيريا هوائية إجبارًا، أي لا بد من وجود الهواء لكي تحيا وتعيش، وأقسام أخرى لا هوائية إجبارًا، أي 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 جدًا وهي كائنات Eucaryotes أي 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.



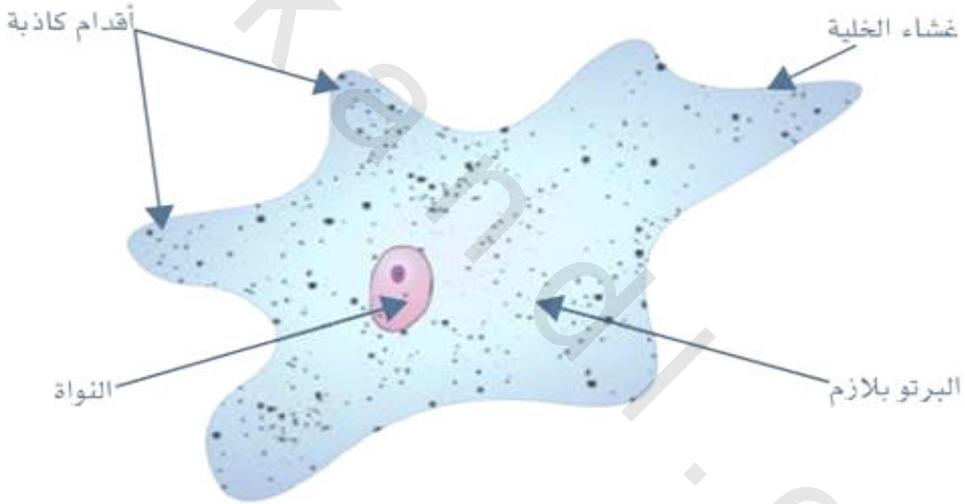
شكل (3-1): يوضح ميسيليوم الفطر

ومعظم الفطريات تعيش مترممة في التربة والماء، حيث تحلل المواد العضوية؛ لتحصل على العناصر الغذائية، وتفرز الفطريات إنزيمات خارجية مثل السليلوليز 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 حجماً من البكتيريا. ومن حيث المعلومات التقليدية عن الفطريات، فهي تلك الميكروبات التي تنمو نمواً خيطياً، 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 تهتم العاملين في مجال الصرف الصحي، فأهمها الأميبا (شكل 1-4) بأنواعها المختلفة، والبروتوزوا المتحركة بواسطة الفلاجلات 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 (1-4): خلية الأميبا

والبروتوزوا كائنات حيوانية وحيدة الخلية، أكثر رقيًا 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 سليولوز. 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 CO₂ 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 جنسيًا، وتنقسم طائفة البروتوزوا إلى أربعة أقسام، أهمها قسم Sarcodina أو Rhizopoda، الذي يضم الأميبا الشائعة، وتحرك 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 كتلاً 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 ميكروسكوبياً، ومن المشاكل المهمة جدًا 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 جنسيًا ولا جنسيًا، 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 الكلوروفيل 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 خضريًا ولا جنسيًا وجمسيًا، 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 1-5)، ومنها وحيدة الخلية وعديدة الخلايا، وتوجد في المياه العذبة والترتبة، وتحتوي على مواد ملونة شبيهة بالموجودة في النباتات الراقية مثل الكلوروفيل، 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 تركيباً شريطي الشكل، ويتميز طحلب الإسبروجيرا بوجود شريط حلزوني من البلاستيديات 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 أعشاباً بحرية بنية اللون (الشكل رقم 6-1)، تحتوي على صبغات بنية وصفراء اللون، بالإضافة إلى الكلوروفيل. وهذا النوع من الطحالب معقد التركيب وكبير الحجم، تصل في طولها لعدة مئات من الأمتار، وتوجد في البحار والمحيطات الباردة، وتتكاثر جنسياً ولا جنسياً.



شكل (6-1): الطحالب البنية

3- الطحالب الحمراء **Red algae**: وتشمل أعشاب البحر الحمراء، وتحتوي على الكلوروفيل، 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 جنسيًا ولا جنسيًا.



شكل (7-1): الطحالب الحمراء

تغذية الطحالب: الطحالب نباتات ذاتية التغذية، أي أنها تمثل المواد غير العضوية وفي وجود الضوء (ضوء الشمس)، وتقوم مادة الكلوروفيل بتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى مادة عضوية، كما في المعادلة رقم (1-1):



وتمائل احتياجات الطحالب من العناصر الغذائية البكتيريا ذاتية التغذية، فهي تتطلب الكربون، والذي تحصل عليه من ثاني أكسيد الكربون، كما تحصل على النيتروجين من الأمونيا والنيتريت أو النترات. كما تحتاج الطحالب أيضًا للفسفور والكبريت؛ حيث تحصل عليهما من الفوسفات والكبريتات، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد والكوبلت والمولبدنوم؛ ولذلك يجب أن تحتوي البيئات المعدة لتنمية الطحالب على هذه العناصر. وتسود الطحالب في الماء العذب والماء المالح والتربة والنبات. والطحالب التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي تحتاج إلى ضوء وإلى هواء، ولكن لا تحتاج - بصفة عامة - إلى مادة عضوية، وتلعب الطحالب دورًا مهمًا في التوازن الطبيعي، عن طريق إنتاجها للأكسجين الذي يستهلك بواسطة الكائنات الأخرى، بما فيها الحيوانات.

- الفيروسات Viruses:

إن الفيروسات التي تصل إلى المياه - والتي من أصل إنساني - لها خطورة شديدة على الصحة العامة، فعلى سبيل المثال - ومن الدراسات التجريبية - فقد وجد أن جرمًا واحدًا من براز أحد المصابين بمرض التهاب الكبد يحتوي من 10000 إلى 100000 فيروس قادر على إحداث الإصابة بهذا المرض.

ومن المعروف أن بعض الفيروسات تظل حية لمدة 41 يومًا في المياه، والمياه الملوثة على درجة 20 درجة مئوية، أو 6 أيام في الأنهار، وقد وجد أن هناك أعدادًا من البشر أصيبت بفيروس التهاب الكبد نتيجة التعامل مع مياه ملوثة، وما زالت هناك كثير من الدراسات والمعلومات التي يجب معرفتها للتوصل إلى إزالة تامة للفيروسات من المياه، ومن المياه الملوثة.

الفيروسات تختلف تمامًا عن باقي الميكروبات؛ فهي صغيرة جدًا ومعظمها لا يمكن رؤيتها إلا بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني، وهي ليست خلوية، ومن ناحية البناء فإن الفيروسات بسيطة جدًا؛ 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 عسوية 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 دليلاً 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 دائماً 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 الكوليفورم تؤخذ كلها دليلاً على تلوث المياه بالغائط. وحديثاً 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 لاحقاً.

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 احتمالاً

The most probable number (MPN)، أما الطريقة الثانية فتتكون من تقنية استخدام غشاء راشح له مسام ضيقة جداً، حيث يسمح لحجم معين من عينة الماء بالمرور خلال الغشاء. هذا الغشاء يحجز البكتيريا؛ لأنها أكبر حجماً 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 أعداداً مباشرة لبكتيريا الكوليفورم.

- الكائنات المرضية 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 المرضية التي توجد في المياه الملوثة مصدرها مخلفات الإنسان المصاب أو الحامل للأمراض التي تسببها هذه الكائنات. والبكتيريا المرضية العادية والمتواجدة في المياه الملوثة، والتي من أصل إنساني، في الغالب تسبب أمراض القناة الهضمية، مثل حمى التيفود والباراتيفود، والدوسنتاريا، والإسهال، والكوليرا. ونظراً لأن هذه الميكروبات لها قدرة عالية على إحداث العدوى، فإنها مسئولة عن آلاف حالات الوفاة كل عام في المناطق ذات الصرف الصحي السيئ، وخصوصاً في المناطق الحارة. وعلى الرغم من أن معظم الكائنات المرضية الشائعة في المياه الملوثة هي بكتيريا، إلا أن هناك كائنات أخرى ممرضة، كما يتضح من الجدول رقم (3-1)، ولأن تعريف الكائنات المرضية في المياه الملوثة صعب، ويستهلك وقتاً طويلاً، فقد اتخذ وجود مجموعة الكليفورم أو مجموعة بكتيريا القولون في المياه دليلاً على التلوث ببراز الإنسان، وبالتالي دليلاً على وجود كائنات ممرضة.

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

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

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

- 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 متراسة على شكل سبحة؛ ولذلك تسمى الكرويات السبحية في براز الإنسان، والتي تصرف إلى المجارى - نقول لاحظ العلماء - أن هذه الكميات تختلف تماماً عن كمياتها في مخلفات الحيوان. ولذلك فقد اقترح العلماء اتخاذ النسبة بين كوليفورم الغائط (FC) والكرويات السبحية في الغائط (FS)؛ لمعرفة ما إذا كان تلوث المياه من أصل إنساني أم من أصل حيواني. والجدول رقم (1-4) 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 غالباً ما يكون من أصل إنساني وحيواني بالتساوي.

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

نسبة FC إلى FS	عدد سبحيات الغائط / فرد / 24 ساعة 610 ×	عدد كوليفورم الغائط / فرد / 24 ساعة 610 ×	الحيوان
0.4	620	240	الدجاج
0.2	31000	5400	الأبقار
0.6	18000	11000	البط
4.4	450	2000	الإنسان
0.04	230000	8900	الخنزير
0.4	43000	18000	الأغنام
0.1	1300	130	الرومي

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 (كوليفورم 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 مفيداً جداً لمعرفة مصدر تلوث المياه في الدراسات المهمة بهذا المجال في المناطق الريفية، وخصوصاً في المناطق التي تستخدم فيها صهاريج الصرف الصحي كوحدة معالجة.

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

أدى النمو الصناعي السريع في الدول النامية، وازدياد سكاني المدن، والتوسع في استخدام المركبات العضوية المخلفة، 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 (أساساً الكربونات، البيكربونات، الأيدروكسيدات) في الماء، والتي تؤدي إلى رفع رقم pH الماء إلى أعلى من 4.5. وتعتبر القلوية مدلولاً 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 الزعفرانية 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 الجوي، وحيث إنها تنتج من النشاط الميكروبي، فإن وجودها في المياه يعتبر دليلاً على التلوث بالصرف الصحي. وفي المياه الطبيعية، فإن الأمونيا تتأكسد بواسطة أنواع معينة من البكتيريا إلى نترات ونترات، وهذه العملية تحتاج إلى وجود أكسجين ذائب. وتعتبر الأمونيا مصدرًا للنيتروجين 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 و 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. النترات *Nitrite* :

تتواجد النترات 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 للنترات لأسماك البحار بين 0.01 - 0.4 جزء /

مليون. إذا زاد تركيز النتريت عن 0.55 جزء / مليون تروجين نترتي، فإنه يؤدي إلى مرض الدم البني Brown-blood في الأسماك الزعفرية.

4.9.1. النترات Nitrate:

كما سبق القول فإن النترات هي المنتج النهائي لعملية الهدم الميكروبي للمواد العضوية وأكسدة الأمونيا الناتجة من ذلك. وبالرغم من أنها ليست سامة للأسماك، فإن زيادة تركيزها في الماء يؤخذ مدلولاً على تدني نوعية الماء. الحدود المقبولة للنترات في بيئة البحار تتراوح بين 0.1 - 0.2 جزء / مليون. إذا زاد تركيز النتروجين النتراي عن 50 جزء / مليون، فإن ذلك يعتبر غير صحي لبيئة البحيرات؛ بينما تركيزات من 10 - 40 جزء / مليون تشير إلى مستوى متدنٍ للمياه في المزارع السمكية.

5.9.1. درجة حموضة وقلوية الماء Water pH:

يتراوح رقم pH المياه الطبيعية بين 5 - 8.5. ويؤدي ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفس الأحياء المائية إلى خفض رقم pH الماء. بينما تؤدي إزالة ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات من الماء خلال عملية التمثيل الضوئي للنباتات المائية إلى رفع رقم الـ pH، ونفس هذه العمليات تغير من مستوى الأكسجين الذائب. ورقم الـ pH المرتفع جداً غير مرغوب به؛ حيث يؤدي إلى زيادة تكون الأمونيا الحرة NH_3 ، وحدود أرقام pH المقبولة للأسماك الزعفرية تتراوح بين 6.8 - 8.5.

6.9.1. ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide:

يتواجد ثاني أكسيد الكربون في الماء على صورة غاز ذائب، وعادة ما تحتوي المياه السطحية على أقل من 10 جزء / مليون ثاني أكسيد كربون. ويعتمد نمو جميع الأحياء المائية النباتية - سواء الدنيئة منها أو الراقية - على ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات الذائبة في الماء. ومن الأمور المعنوية للأسماك أنه عند انخفاض تركيز الأكسجين (عند تكسر وهدم المواد العضوية)، فإن تركيز ثاني أكسيد الكربون يزداد، وهذه الزيادة تجعل من الصعب على الأسماك استخدام الكمية المحدودة من الأكسجين الموجود في الماء؛ حيث إنه للحصول على أكسجين حديث، فإن الأسماك يجب أن تتخلص أولاً

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 عاملاً حيويًا 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 الكيميائي على الأكسجين COD :

الطلب الكيميائي على الأكسجين هو مقياس لكمية الأكسجين الذائب التي سوف تزال من المياه أو الرواسب؛ نتيجة لفعل البكتيريا (و) أو النشاط الكيميائي. والقيمة الطبيعية للطلب الكيميائي على الأكسجين في مياه البرك يجب أن تقل عن 10 جزء / مليون. وزيادة قيمة الطلب الكيميائي 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 والسحوم Fats, oils and grease :

جميع المواد البترولية لها أثر ضار جدًا 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 / لندن 0.01 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
- DDT، هبتاكلور 0.004 ميكروجرام / لتر للأحياء البحرية.
- 0.001 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- 0.005 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- 0.040 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- 0.100 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.

12.9.1. معايير العناصر النادرة Criteria of rare elements :

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.

- الكاديوم 0.4 - 12 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
- الكروميوم 5 ميكروجرام / لتر للأحياء البحرية.
- الكروميوم 100 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
- السيانيد 5 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة والبحار.
- الزئبق 0.05 ميكروجرام / لتر لأحياء المياه العذبة.
- النحاس 0.1 ميكروجرام / لتر لأحياء البحار.
- LC₅₀ × 0.1:
- وجد أن تركيز > 25 ميكروجرام / لتر غير سام لمعظم أنواع الأسماك. تتراوح قيمة LC₅₀ بين 60 ميكروجرام / لتر في المياه اليسرة، 600 ميكروجرام / لتر في المياه العسرة جدًا.
- LC₅₀ × 0.01:
- الرصاص تتراوح قيمة LC₅₀ بين 1000 ميكروجرام / لتر لبعض أنواع أسماك المياه اليسرة إلى 40000 ميكروجرام / لتر لبعض أسماك المياه شديدة العسر. ولقد وجد أن تركيز الرصاص في حدود 18-32 ميكروجرام / لتر ليس له أثر ضار على معظم الأحياء المائية.
- النيكل LC₅₀ × 0.01:
- تتراوح قيمة LC₅₀ بين 600-800 ميكروجرام / لتر، ووجد أن تركيز النيكل > 100 ميكروجرام / لتر غير ضار لمعظم الأحياء المائية في المياه العذبة والبحار.

obeikandi.com

الفصل الثاني

أهم القياسات اللازم إجراؤها قبل معالجة المياه الملوثة

Most Important Measurements to be Carried out before Treatment of Contaminated Water

1.2. مقدمة Introduction:

تتلوث المياه العادية أو الطبيعية نتيجة الاستخدام المنزلي أو الزراعي أو الصناعي، بمصدر أو أكثر من مصادر التلوث؛ مما ينتج عنه مياه عادمة أو ملوثة Wastewater. وهذه المياه الملوثة تختلف مكوناتها حسب مصدر التلوث، ومن الصعب جدًا أن يكون هناك تعميم لمكونات المياه الملوثة؛ نظرًا لاختلاف الكميات الملوثة للمياه من المخلفات العضوية Organic wastes، والمواد العضوية النباتية والحيوانية، وبعض العناصر والمغذيات والمنشطات الحيوية Nutrients and bio-stimulants، والمواد العالقة Suspended solids، والمواد السامة Toxicants، والكائنات المرضية Pathogens الموجودة بمخلفات الصرف الصحي والمخلفات الصناعية.

2.2. التركيب التقليدي للمياه الملوثة بالمخلفات المنزلية Traditional

composition of domestic wastewater:

ولما كان من المهم معرفة مكونات المياه الملوثة ومحتواها من الملوثات على وجه الدقة قبل تصميم نظام المعالجة؛ لذا فإنه يجب أن تدرس كل حالة منفصلة عن الأخرى. ولكي نعطي فكرة عن تركيب المياه الملوثة - وقبل أن نبدأ شرح أهم القياسات اللازمة قبل المعالجة - فإننا نورد في الجدول رقم (1-2) التركيب التقليدي للمياه الملوثة الناتجة من الاستخدامات المنزلية، على اعتبار أنها قد تتشابه في مواقع كثيرة من المدن؛ حيث إن النمط الاستهلاكي لسكان مدن البلد الواحد قد يكون متقاربًا، وبالتالي فإن مخلفات البشر التي تصل إلى المياه، قد تكون متقاربة في البلد الواحد.

جدول (1-2): التركيب التقليدي للمياه الملوثة الناتجة من الاستخدامات المنزلية غير المعالجة (جميع القيم ما عدا المواد الصلبة القابلة للتسيب معبراً عنها بالجرام / لتر)

التركيز			المكون
ضعيف	متوسط	قوي	
350	720	1200	المواد الصلبة الكلية
250	500	850	المواد الذائبة الكلية
145	300	525	المواد الذائبة الثابتة
105	200	325	المواد الذائبة المتطايرة
100	220	350	المواد العالقة الكلية
20	55	75	المواد العالقة الثابتة
80	165	275	المواد العالقة المتطايرة
5	10	20	المواد الصلبة القابلة للتسيب (مل / لتر)
110	220	400	الـ BOD عند 20 درجة مئوية
80	160	290	الكربون الكلي العضوي
250	500	1000	الـ COD
20	40	85	النيتروجين الكلي
8	15	35	النيتروجين العضوي
12	25	50	النيتروجين في صورة أمونيا
0	0	0	النيتروجين في صورة نترت
0	0	0	النيتروجين في صورة نترات
4	8	15	الفوسفور الكلي

التركيز			المكون
ضعيف	متوسط	قوي	
1	3	5	الفوسفور العضوي
3	5	10	الفوسفور غير العضوي
30	50	100	الكلوريدات
50	100	200	القلوية (في صورة كربونات كالسيوم)
50	100	150	الشحوم

3.2. عينة المياه الملوثة Sample of wastewater

من العوامل المهمة جداً لتصميم نظام معالجة المياه الملوثة - والتي لا تجدها اهتماماً تستحقه - هي كيفية أخذ العينة، ومكان أخذها، والمدة الزمنية بين أخذ العينات، وكذلك حفظ العينات لحين إجراء التحاليل. إن تقنية أخذ العينات المستخدمة في المياه الملوثة، يجب أن تؤدي إلى أخذ عينة ممثلة لمصدر المخلف المائي تمثيلاً حقيقياً؛ وذلك لأن البيانات المستمدة من تحليل هذه العينة هي الأساس الذي يقوم عليه تصميم نظام المعالجة.

وعلى أية حال، لا يوجد نظام يمكن تعميمه كوسيلة لأخذ العينات، وإنما لكل حالة برنامجها الخاص في أخذ العينات؛ فبالنسبة لمكان أخذ العينة، فإنها إن كانت من البالوعات التي هي من صنع الإنسان، أو من القنوات الضيقة، فيجب أن يكون على عمق يساوي ثلث عمق المياه من القاع. أما بالنسبة للقنوات الواسعة، فإن تجميع العينة يجب أن يكون من أكثر من مكان في عرض القناة؛ حيث يوجد اختلاف في العمق على امتداد عرض القناة، ويجب أن تكون لزوجة المكان الذي تؤخذ منه العينة لا تسمح بترسيب المواد الصلبة، كما أنه أثناء أخذ العينة يجب عدم إحداث إثارة شديدة في منطقة المياه التي تؤخذ منها العينة؛ حتى لا تتكون غازات ذائبة؛ مما يعطي نتائج غير ممثلة للواقع.

وبالنسبة للفترات الزمنية بين أخذ العينات، فيجب أن تكون قصيرة بدرجة كافية لأن تكون النتائج قريبة من الحقيقة، وبصفة عامة، فإن الفترة الزمنية بين أخذ العينات تكون من 10 إلى 15 دقيقة، أما بالنسبة لحفظ العينة فإن هناك قواعد يجب اتباعها؛ لأن برنامج أخذ العينات سوف يكون عديم القيمة إذا تغيرت الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية في الفترات ما بين أخذ العينات وما بين التحليل. وهناك مجموعة كبيرة من الأبحاث أجريت على طرق حفظ العينات، ولكنها فشلت جميعها في التوصل إلى طريقة واحدة تحفظ بها كل عينات الأنواع المختلفة من المياه الملوثة، وبصفة عامة، يجب أن يتم تحليل العينة فور الحصول عليها، ولكن في الغالب يكون ذلك صعباً؛ ولذلك وجب حفظ العينات على درجات حرارة منخفضة حتى يتم التحليل، وتختلف درجة حرارة الحفظ ومدته على حسب المكون الذي يراد معرفة تركيزه في العينة، فإذا أريد مثلاً معرفة قيمة الـ BOD في عينة المخلف المائي، فلا يجب أن تزيد مدة الحفظ على درجة 4 درجة مئوية عن 3 ساعات، في حين أنه إذا أريد معرفة الـ COD للعينة، فإنها يمكن أن يضاف إليها حامض كبريتيك، وتحفظ لمدة تصل إلى سبعة أيام؛ لذلك وجب وضع المعلومات التي توضح مدة وطريقة حفظ العينة حسب المكون الذي يراد معرفة تركيزه أمام الباحثين، كما هي موضحة في الجدول رقم (2-2).

جدول (2-2): طرق ومدة حفظ عينة المخلف المائي حسب المكون المراد تقديره

المكون المراد تقديره	طريقة الحفظ	أقصى مدة
الحموضة - القلوية	في الثلاجة على درجة 4 مئوية.	24 ساعة
الـ BOD	في الثلاجة على درجة 4 مئوية.	6 ساعات
الكالسيوم	ليس هناك حاجة للحفظ.	--
الـ COD	2 مل / لتر حامض كبريتيك.	7 أيام
الكلوريد	ليس هناك حاجة للحفظ.	--
اللون	في الثلاجة على درجة 4 مئوية.	24 ساعة

المكون المراد تقديره	طريقة الحفظ	أقصى مدة
السيانيد	هيدروكسيد صوديوم حتى pH 10.	24 ساعة
الأكسجين الذائب	يقدر في الحال.	--
الفلوريد	ليس هناك حاجة للحفظ.	--
المعادن الكلية	5 مل حامض نيتريك / لتر.	6 أشهر
المعادن الذائبة	3 مل حامض نيتريك / لتر من الراشح.	6 أشهر
النيتروجين (أمونيا)	40 مجم كلوريد زئبق على درجة 4 مئوية.	7 أيام
النيتروجين (كلداهل)	40 مجم كلوريد زئبق على درجة 4 مئوية.	غير ثابتة
النيتروجين (نترات و نترت)	40 مجم كلوريد زئبق على درجة 4 مئوية.	7 أيام
الزيوت والشحوم	2 مل حامض كبريتيك / لتر على درجة 4 مئوية.	24 ساعة
الكربون العضوي	2 مل حامض كبريتيك / لتر.	7 أيام
الفينول	1 جم كبريتات نحاس + حامض فوسفوريك حتى pH 4 على درجة 4 مئوية.	24 ساعة
pH	غير متاحة.	---
الفوسفور	40 مجم كلوريد زئبق على درجة 4 مئوية.	7 أيام
المواد الصلبة	غير متاحة.	--
الكبريتات	في الثلاجة على درجة 4 مئوية.	7 أيام
الكبريتيد	2 مل خلاصات زنك / لتر.	7 أيام
الرائحة	في الثلاجة على درجة 4 مئوية.	24 ساعة
العكارة	غير متاحة.	--

بعد أن عرضنا أهم المواد الملوثة للمياه، وأسباب ضرورة إزالتها، وطرق ومدة حفظ عينة المخلف المائي حسب المكون المراد تقديره، والتركييب التقليدي للمخلفات المائية المنزلية غير المعالجة في صورة قيم جدولية، فلعله من المناسب الآن أن نعطي فكرة علمية مبسطة عن قياس كل عنصر من عناصر الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للمخلفات المائية.

2.4. قياس المادة العضوية Measurement of organic content:

على مدى السنين الماضية، قام العلماء بتطوير طرق عديدة لقياس كمية المادة العضوية في المياه الملوثة، وقد استغرق ذلك جهدًا كبيرًا من العلماء؛ لأن تقدير المادة العضوية في المياه الملوثة يعتبر أهم عامل لتحديد شدة التلوث، كما يعتبر أهم عامل يساعد في تصميم محطات المعالجة. ورغم أن لكل طريقة عيوبًا تحد من استخدامها، ومميزات تحض على استخدامها، إلا أن الطرق المعملية المعتمدة على قياس المتطلبات البيولوجية من الأكسجين (Biological oxygen demand (BOD)، وقياس المتطلبات الكيماوية من الأكسجين (Chemical oxygen demand)، تظل هي الطرق الأكثر شيوعًا، على الرغم من أن لكل منها - أيضًا - بعض العيوب، وفيما يلي نلقي فكرة مبسطة عن هذه الطرق.

2.4.1. المتطلبات الحيوية من الأكسجين Biological oxygen demand

(BOD):

هي أكثر الطرق شيوعًا في تقدير المادة العضوية في جميع أنواع المياه، وخصوصًا في مياه المجاري، هذه الطريقة تعتمد على قياس كمية الأكسجين التي تستهلكها الميكروبات في مدة خمسة أيام على درجة حرارة 20 درجة مئوية؛ لكي تؤكسد المادة العضوية الموجودة في كمية معلومة من المياه الملوثة، أي أن هذه الطريقة هي تقدير كمية المادة العضوية بشكل غير مباشر؛ لأنه - بالطبع - كلما زادت كمية الأكسجين التي تتطلبها الميكروبات لتقوم بعملها في أكسدة المادة العضوية، فإن ذلك يدل على زيادة تركيز المادة العضوية. وتعتمد هذه الطريقة على حقن عينة معلومة الكمية من

المياه بالبكتيريا المؤكسدة للمادة العضوية، ثم تحضين العينة الملقحة على درجة حرارة 20 درجة مئوية لمدة خمسة أيام، ثم تقدير كمية الأكسجين التي تم استهلاكها في خلال مدة التحضين. وهناك طرق يتم التحضين فيها على درجات حرارة مختلفة عن ذلك، ولمدة زمنية مختلفة أيضًا عن ذلك، والمهم أن تكون درجة الحرارة ثابتة أثناء فترة التحضين. وفي حالة المياه الغنية بكل أنواع الميكروبات - مثل مياه المجاري - فلا يكون هناك حاجة لعملية التلقيح بالميكروبات؛ لأن مياه المجاري المنزلية - بالذات - تحتوي على كل أنواع الميكروبات والأحياء الأخرى، مثل الطفيليات، كما تحتوي أيضًا على بكتيريا ذاتية التغذية، تقوم بأكسدة المواد غير العضوية. وكما ذكرنا، فإنه على الرغم من أن هناك بعض العيوب في هذه الطريقة، إلا أنها مازالت الأكثر شيوعًا في الاستخدام؛ وذلك لأنها بجانب أنها تعطي تقديرًا كميًا للمادة العضوية في المياه الملوثة، فإنها أيضًا تعطي مقياسًا لكمية الأكسجين التي يلزم ضخها في المحطة لكي تتم أكسدة المادة العضوية، وتعطي مقياسًا أو تقديرًا لحجم المحطة ذاتها، وحجم وقدرة الأجهزة المطلوبة لتصميم المحطة، كما أنها تعطي أيضًا مقياسًا لمدى كفاءة عمليات المعالجة داخل المحطة. وعلى أية حال فإن استخدام الـ BOD مقياسًا لكمية المادة العضوية في المياه الملوثة، سوف يستمر لفترة طويلة قادمة؛ ولذلك يجب أن يكون لدى المختصين أكبر قدر ممكن من المعرفة عن عيوب ومميزات هذا المقياس. وعند تقدير الـ BOD، فقد يتم أخذ عينة مباشرة وتلقيحها، ثم تحضينها، وقد يتم تخفيف هذه العينة بالماء، وفي هذه الحالة فلا بد من تخفيفها بعناية شديدة؛ وذلك لضمان توفر كمية كافية من الأكسجين والعناصر الغذائية أثناء فترة التحضين، وكما ذكرنا من قبل، فإن درجة الحرارة عامل مهم جدًا؛ ولذلك فقد يتم الحصول على نتائج مختلفة حسب درجة الحرارة المستخدمة؛ لأن الأكسدة الكيموحيوية تعتمد - بشكل كبير - على درجة الحرارة المستخدمة.

وعلى أية حال، يجب أن نعلم أن استخدام طريقة تقدير الـ BOD للتعبير عن كمية المواد العضوية تعطي نتيجة قريبة من الواقع، وليست حقيقية بنسبة 100%؛ وذلك لأن عملية الأكسدة الحيوية عملية بطيئة، وقد تستهلك وقتًا يصل إلى أكثر من

20 يومًا لكي تكون الأكسدة كاملة، ويجب أيضًا الإشارة إلى أن المواد غير الكربونية - مثل الأمونيا الناتجة من تحلل البروتين - تتأكسد أثناء فترة التحضين بواسطة البكتيريا ذاتية التغذية، وهذه العملية تستهلك كمية من الأكسجين؛ ولذلك تسمى المرحلة الثانية من المتطلبات البيولوجية من الأكسجين -The second-stage- BOD، وبصفة عامة هناك بعض العيوب لاستخدام اختبار الـ BOD للتعبير عن تركيز المادة العضوية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

- 1- تتطلب هذه الطريقة وجود تركيز عالٍ من البكتيريا التي لها نشاط تأكسدي عالٍ، والتأكد من ذلك يتطلب عملاً إضافيًا.
- 2- يتطلب هذا الاختبار معالجة أولية للمخلفات السامة، كما أنه يجب التخلص من تأثير ميكروبات التآزر التي تستهلك مادة عضوية؛ مما قد يعطي نتائج خاطئة؛ حيث إن النتيجة النهائية تعتمد على كمية الأكسجين المستهلكة.
- 3- يتم في هذا الاختبار تقدير المواد العضوية القابلة للهدم فقط.
- 4- الاختبار ليس له مدة صلاحية بعد نفاذ المادة العضوية الذائبة، أي أنه يجب أخذ النتائج بالضبط عند نفاذ المادة العضوية، وهذا له عيوب من الناحية العملية.
- 5- هذا الاختبار يحتاج إلى مدة طويلة للحصول على نتائج، فعلى الرغم من أن المدة المطلوبة هي خمسة أيام، إلا أنها أحيانًا قد لا تكون كافية، وأحيانًا قد تكون أطول من اللازم، وكلتا الحالتين تعطي نتائج خاطئة.

2.4.2. اختبار المتطلبات الكيماوية من الأكسجين Chemical oxygen demand (COD):

يستخدم اختبار الـ (COD) لقياس المادة العضوية في المياه الملوثة، وكذلك في المياه الطبيعية، وفي هذه الطريقة يتم قياس كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة المادة العضوية كيماويًا، ويقاس هذا الأكسجين باستخدام مادة كيماوية لها قوة أكسدة عالية في وسط حامضي، وقد وجد أن مادة داي كرومات البوتاسيوم Potassium dichromate تفي بهذا الغرض بشكل ممتاز، ويجب أن يتم الاختبار عند درجة حرارة

عالية في وجود مادة مساعدة، ويمكن تمثيل التفاعل الرئيس باستخدام مادة داي كرومات البوتاسيوم كمادة مؤكسدة بالمعادلة التالية:



ويستخدم اختبار الـ COD أيضًا لقياس تركيز المادة العضوية في المياه الملوثة المنزلية والصناعية التي تحتوي على مواد سامة للأحياء. وبصفة عامة، فإن الـ COD لأي مخلف أكبر من الـ BOD لنفس المخلف؛ لأن المواد التي يمكن أكسدتها كيميائيًا أكثر من تلك التي يمكن أكسدتها حيويًا.

وفي عدد كبير من المخلفات يمكن بوضوح إيجاد علاقة ما بين الـ COD والـ BOD للمخلف، وهذا مفيد جدًا من الناحية العملية؛ حيث إن العلاقة الثابتة تجعل هناك اطمئنان لاستخدام طريقة الـ COD التي تتميز بأنها تتم في ثلاث ساعات، بالمقارنة بطريقة الـ BOD التي تحتاج إلى خمسة أيام.

2. 4. 3. قياس الكربون الكلي العضوي Total organic carbon (TOC):

طريقة أخرى لقياس المادة العضوية التي توجد في الماء هي اختبار الـ TOC، الذي له أهمية خاصة في قياس التركيزات المنخفضة من المادة العضوية. وهذا الاختبار يتم عن طريق وضع كمية معلومة من العينة في فرن له درجة حرارة عالية؛ حيث تتم أكسدة المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون في وجود عامل مساعد، ويتم قياس كمية ثاني أكسيد الكربون بواسطة جهاز الـ Infrared، ومن المهم تهوية العينة جيدًا، وزيادة حموضتها قبل التحليل؛ وذلك لتجنب الخطأ الناتج من وجود كربون غير عضوي. يمكن إجراء هذا الاختبار بسرعة كبيرة، وهناك اهتمام متزايد لتطبيقه في اختبارات تلوث المياه، على الرغم من أن له بعض العيوب البسيطة، مثل احتمال وجود مواد عضوية مقاومة للتأكسد؛ مما يجعل بيانات كمية المادة العضوية أقل بعض الشيء من الكمية الحقيقية.

2. 4. 4. قياس المتطلبات الكلية من الأكسجين Total oxygen demand (TOD):

طريقة تجريبية أخرى تستخدم لقياس محتوى المياه الملوثة من المادة العضوية، هي اختبار الـ TOD. في هذا الاختبار تتحول المواد العضوية - وإلى حد قليل - المواد غير العضوية إلى نواتج نهائية ثابتة في غرفة الاحتراق في وجود البلاتين كعامل مساعد، ثم يتم تقدير الـ TOD باستقبال الأكسجين الناتج من عملية الحرق، هذا الاختبار يتم بسرعة ويمكن عمل علاقة ثابتة ما بين الـ TOD والـ COD.

2. 4. 5. قياس المتطلبات النظرية من الأكسجين Theoretical oxygen demand (ThOD):

إن المادة العضوية التي من أصل حيواني أو نباتي، والموجودة في المياه الملوثة، هي - بصفة عامة - عبارة عن ارتباط عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين معاً، وكما سبق توضيحه، فإن مجموعات المواد العضوية الرئيسة الموجودة في المياه الملوثة هي المواد الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية ونواتج هدمها، ولو أن التركيب الكيماوي للمادة العضوية معروف، فإنه من السهل حساب الـ ThOD، كما في المثال التالي:

سؤال: احسب الـ ThOD لمادة الجلایسین $\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ، مع الأخذ في الاعتبار الخطوات الآتية:

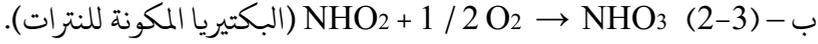
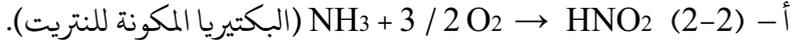
1. الخطوة الأولى: يتحول الكربون إلى ثاني أكسيد كربون، والنيتروجين إلى أمونيا.
2. الخطوة الثانية والثالثة: تتأكسد الأمونيا إلى نيتريت ونترات.
3. الـ ThOD هو مجموع الأكسجين اللازم لإتمام الخطوات السابقة.

جواب:

1- متطلبات الخطوة الأولى:



2- متطلبات الخطوتين الثانية والثالثة:



3- يحسب الـ ThOD كما يلي:

$$\text{ThOD} = 3 / 2 + 4 / 2 \text{ mol O}_2 / \text{mol glycine} = 112 \text{g O}_2 / \text{mol}$$

2. 5. العلاقة بين قياسات المادة العضوية المختلفة Correlation among

measures organic matter:

إن الوصول إلى علاقات ثابتة بين مختلف طرق قياس المادة العضوية في المياه الملوثة، يعتمد - بشكل أولي - على طبيعة المخلف المائي ومصدره، وأكثر القياسات صعوبة في أن يكون له علاقة ثابتة بالقياسات الأخرى، هو الـ BOD؛ وذلك بسبب بعض الصعوبات التي سبق ذكرها. بالنسبة لمياه المجاري المنزلية التقليدية، فإن نسبة الـ BOD إلى الـ COD تتراوح من 0.4 إلى 0.8، ونسبة الـ BOD إلى الـ TOC تتراوح من 1.0 إلى 1.6، وعلى أية حال، هناك احتمال أن يزداد استخدام اختبارات الـ COD، والـ TOC، والـ TOD في المستقبل؛ وذلك بسبب سرعة تنفيذها.

2. 6. تركيز أيون الهيدروجين (الـ pH) :

إن تركيز أيون الهيدروجين هو أحد العوامل المهمة عند تحديد جودة المياه أو المياه الملوثة. والمدى المناسب لمعظم الكائنات الحية من تركيز أيون الهيدروجين ضيق وحرَج؛ مما يجعل الحيوية للمخلفات المائية صعبة، إذا لم يكن تركيز أيون الهيدروجين مناسباً. وإذا لم يتم تعديل درجة تركيز أيون الهيدروجين للمخلفات المائية قبل صرفها، فإنها قد تتسبب في تغير درجة تركيز الهيدروجين في المياه الطبيعية. وتتوقف درجة تركيز الهيدروجين على مدى درجة تحلل جزئيات الماء؛ حيث يتحلل إلى أيون الهيدروجين والهيدروكسيل كما يلي:



وبتطبيق قانون فعل الكتلة على المعادلة السابقة نحصل على المعادلة التالية:

$$(H^+) (OH^-) / H_2O = K$$

حيث إن ما بين الأقواس يعبر عن تركيز هذه المكونات بالمول لكل لتر. وبما أن تركيز الماء في أي محلول مخفف هو تركيز ثابت، فإن هذا التركيز يمكن دمجها لتصبح المعادلة كما يلي:

$$(H^+) (OH^-) = K_w$$

وتعرف K_w بأنها ثابت التأيين، وقد وجد أنها تساوي 1×10^{-14} عند درجة حرارة 25 درجة مئوية؛ ولذلك فإنه بمعرفة تركيز أيون الهيدروكسيل، يمكن معرفة تركيز أيون الهيدروجين، والعكس بالعكس.

والتعبير الشائع عن تركيز أيون الهيدروجين هو pH، الذي يعرف بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين، أي أن:

$$pH = - \log_{10} (H^+)$$

كما أن pOH تعني اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروكسيل؛ ولذلك فإن المحصلة النهائية يمكن تلخيصها في المعادلة التالية:

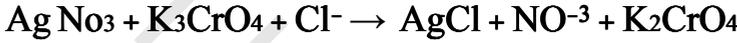
$$pH + pOH = 14$$

ويمكن قياس درجة الـ pH بدقة بواسطة أجهزة قياس الـ pH، كما يمكن قياسه باستخدام أدلة معينة تعطي لوناً معيناً عند كل درجة pH، وهذه الطريقة تستخدم فقط في المحاليل ذات اللون الرائق نسبياً.

7.2. الكلوريدات Chlorides:

تركيز الكلوريدات هو أحد عوامل الجودة في المياه، والصخور والترتبة هي مصادر الكلوريدات في المياه الطبيعية، وكذلك تعتبر المياه المالحة مصدراً للكلوريدات. بالإضافة إلى ذلك، فإن المياه الملوثة الزراعية والصناعية والمنزلية التي تصرف إلى المياه الطبيعية تحتوي على كميات كبيرة من الكلوريدات. فعلى سبيل المثال، فإن مخلفات

الإنسان تحتوي على 6 جرامات من الكلوريدات للفرد الواحد في اليوم الواحد. كذلك فإن عدم ترشيح مياه الآبار الجوفية القريبة من شواطئ المياه المالحة، يعتبر مصدرًا من مصادر الكلوريدات. أهم أضرار التركيزات العالية للكلوريدات أنها تتفاعل مع معدن الأنايب، محدثة فيها تآكلًا؛ مما يؤدي إلى أضرار بالغة بالنسبة للقطاع الصناعي. والطرق المتبعة لتقدير أملاح الكلوريدات تعتمد على ترسيبها بواسطة محلول نترات الفضة في وجود دليل كرومات البوتاسيوم، فيتكون راسب أبيض من كلوريد الفضة، كما يتضح من المعادلة التالية:



وعند انتهاء الكلوريدات تبدأ الكرومات في التفاعل مع الفضة، مكونة راسبًا لونه بني محمر، وهو يمثل انتهاء عملية ترسيب الكلوريدات، كما يتضح من المعادلة التالية:



وبمعرفة حجم نترات الفضة اللازم لترسيب الكلوريدات (ح)، يمكن حساب تركيز الكلوريدات وكميتها في العينة كما يلي:

تركيز الكلوريدات بالمليمكافئ / لتر = ح × عيارية النترات × 1000 / حجم العينة.

2.8. القلوية Alkalinity:

القلوية في المياه سببها وجود هيدروكسيدات و كربونات وبيكربونات العناصر، مثل الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والأمونيا، وأكثر مصادر القلوية شيوعًا هي بيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم. والمياه الملوثة عادة قلوية، حيث تكتسب قلويتها من المياه الجوفية والمواد المستخدمة في الأغراض المنزلية، وتقدر القلوية بطريقة المعايرة بالحامض، ويعبر عن نتائج التقدير بكربونات الكالسيوم.

وبصفة خاصة، تعتبر معرفة قلوية المياه الملوثة مهمة عندما يراد إزالة الأمونيا بطريقة التهوية الشديدة، كما تعتبر معرفة قلوية المياه الملوثة مهمة في المعالجة

الكيميائية، مثل ترسيب العناصر الثقيلة، حيث يعتمد ترسيب العنصر على قيمة الرقم الهيدروجيني الموجودة، وبالتالي فإن وجود المادة القلوية يوفر الظروف المناسبة لترسيب العناصر الثقيلة على هيئة هيدروكسيدات العنصر الثقيل. وطريقة الترسيب بالقلويات يمكن أن تخفض من تركيز العناصر الثقيلة في المادة، ليصل إلى 2 مليجرام لكل لتر أو أقل. فعادةً تذوب المعادن الثقيلة في الأحماض المعدنية كحمض الهيدروكلوريك، وترسب في وجود القلويات؛ ومن ثم فإن ارتفاع الرقم الهيدروجيني - بفعل إضافة القلويات - يعمل على ترسيب العناصر الثقيلة كهيدروكسيدات، ولكل عنصر من العناصر الثقيلة مجال معين من الرقم الهيدروجيني، يترسب خلاله على صورة هيدروكسيد.

2.9. النيتروجين Nitrogen:

النيتروجين والفوسفور من العناصر الضرورية لنمو جميع الكائنات؛ حيث تحتاج الميكروبات والنباتات إلى هذين العنصرين بكميات كبيرة. وحيث إن النيتروجين أساسي لبناء البروتين، فإن معرفة كمية النيتروجين في المياه الملوثة مهمة لتحديد طريقة معالجة المياه الملوثة بالطرق الحيوية. النيتروجين الموجود في المياه الملوثة الطازجة غالبًا ما يكون في صورة مواد بروتينية، أو في صورة يوريا، ثم تهدم هذه المواد بواسطة البكتيريا، وتتحول صورة النيتروجين إلى أمونيا عن طريق عملية النشطرة أو الـ Ammonification؛ ولذلك يمكن تقدير عمر المياه الملوثة من معرفة كمية الأمونيا الموجودة.

وفي الظروف الهوائية يمكن للبكتيريا أن تؤكسد الأمونيا إلى نترت ثم إلى نترات؛ ولذلك فإن سيادة النيتروجين في صورة نترات يعني أن المخلف المائي قد وصل إلى حالة من الثبات بالنسبة للمتطلبات الحيوية من الأكسجين اللازمة لهدم البروتينات. إلا أن النترات يمكن استخدامها بواسطة الطحالب، وبعض النباتات المائية الأخرى، ونتيجة ذلك يتكون البروتين النباتي، الذي يستهلك بواسطة الحيوانات ليتكون بروتين حيواني، ثم تموت الحيوانات وتحلل بواسطة البكتيريا، وينتج عن ذلك أمونيا مرة

أخرى. وعلى ذلك فإذا كان النيتروجين الموجود على صورة نترات يمكن أن يختزل لتكوين بروتين عن طريق الطحالب والنباتات الأخرى، فقد يكون من الضروري إزالة هذه النترات؛ لمنع نمو هذه الكائنات.

وتوجد الأمونيا في المحلول المائي إما على صورة أيون الأمونيوم أو الأمونيا حسب درجة الـ pH السائدة، وذلك حسب المعادلة التالية:



وعند مستوى pH أعلى من 7، فإن النيتروجين يوجد في صورة أمونيا، أما عند مستوى pH أقل من 7 يسود أيون الأمونيوم. وتقدر الأمونيا عن طريق رفع قيمة pH العينة، ثم غلي العينة وتكثيف البخار الناتج من الغليان والمحتوي على الأمونيا، ويتم التقدير لونيًا. ويتم تقدير النيتروجين العضوي بطريقة كداهل، حيث يتم غلي العينة السائلة لطرده الأمونيا، ثم يتم هضم العينة. وفي عملية الهضم يتحول النيتروجين العضوي إلى أمونيا؛ ولذلك فإن النيتروجين الذي يتم تقديره بطريقة كداهل هو مجموع النيتروجين العضوي ونيتروجين الأمونيا.

والنيتروجين الموجود في المياه الملوثة في صور نيتريت ليس له أهمية كبيرة كأحد الملوثات؛ لأنه غير ثابت، ويتأكسد بسهولة شديدة إلى نترات، ونادرًا ما يزيد تركيزه عن 1 مجم / لتر في المياه الملوثة، ويتم تقديره لونيًا. أما النترات فهو أكثر صور النيتروجين المؤكسدة شيوعًا. ومعرفة تركيز النترات في المياه لها أهمية كبيرة، وخصوصًا المياه الجوفية؛ وذلك بسبب خطورة التركيزات العالية من النترات على صحة الإنسان والحيوان، ويتراوح تركيز النترات في التخلفات المائية من صفر إلى 15 مجم / لتر.

2.10. الفوسفور Phosphorus:

الفوسفور أيضًا أساسي لنمو الطحالب والكائنات الحية الأخرى. وهناك اتجاه متزايد في السيطرة على تركيز الفوسفور في المياه الملوثة الصناعية والمنزلية؛ بسبب دورها في نمو النباتات المؤذية للصحة. وتحتوي المياه الملوثة المنزلية - على سبيل المثال - على فوسفور بتركيز من 4 إلى 15 مجم / لتر. وصور الفوسفور الشائعة في المياه الملوثة هي

الأورثوفوسفات، والبولي فوسفات، والفوسفات العضوي. والتركيب الكيماوي لصور الأورثوفوسفات هو:

(PO_4^{3+} , HPO_4^{--} , $H_2PO_4^-$, and H_3PO_4)، وهذه الصور ميسرة للتمثيل الحيوي بواسطة الكائنات الحية. بالنسبة للبولي فوسفات، فهي تشمل تلك الجزئيات التي تحتوي على ذرتين أو أكثر من الفوسفور، وذرات من الأكسجين، وفي بعض الحالات ذرات من الهيدروجين، وتعرض البولي فوسفات في المحلول المائي للتحلل إلى أورثوفوسفات، ولكنه يكون تحلل بطيء. وبصفة عامة، فإن الفوسفور العضوي ليس له أهمية كبيرة في المياه الملوثة المنزلية، ولكن له أهمية كبيرة في المياه الملوثة الصناعية، ويقدر الأورثوفوسفات عن طريق إضافة مادة مثل موليبدات الأمونيوم التي تكون معقدًا ملونًا مع الفوسفات يمكن قياسه، ويجب تحويل الفوسفور العضوي والبولي فوسفات إلى أورثوفوسفات قبل التقدير.

2. 11. الكبريت Sulfur:

يوجد الكبريت بشكل طبيعي في معظم مصادر المياه وفي المياه الملوثة، ويدخل الكبريت في تركيب البروتين؛ ولذلك ينطلق أثناء هدم البروتين. وفي الظروف غير الهوائية تختزل الكبريتات إلى كبريتيت، وإلى غاز كبريتيد الهيدروجين بواسطة البكتيريا، كما في المعدلات التالية:



ويمكن لغاز كبريتيد الهيدروجين H_2S المتكون أن يتأكسد حيويًا إلى حامض الكبريتيك، الذي يسبب تآكل أنابيب الآبار، وفي وحدات معالجة مياه المجاري، فإن اختزال الكبريتات إلى كبريتيت يعوق عملية المعالجة الحيوية إذا زاد تركيز الكبريتيت عن 200 مجم / لتر، وغاز كبريتيد الهيدروجين المتكون يختلط مع غازات المياه الملوثة (الميثان وثاني أكسيد الكربون)، وهذا الخليط يسبب تآكل أنابيب المجاري.

2. 12. المركبات السامة Toxic compounds:

بسبب سميتها الشديدة هناك كاتيونات معينة تلقي اهتماماً شديداً عند وضع خطة لمعالجة المياه الملوثة، مثل النحاس والرصاص والفضة والكروم والزرنيخ واليورانيوم، وهي سامة بدرجات متباينة بالنسبة للميكروبات؛ ولذلك لا بد أن تؤخذ في الاعتبار عند تصميم وحدة المعالجة الحيوية للمخلفات المائية.

كثير من وحدات المعالجة الحيوية لاقت فشلاً؛ بسبب وجود هذه العناصر بتركيزات قاتلة للميكروبات، فعلى سبيل المثال النحاس سام للميكروبات عند تركيز يزيد على 100 مجم / لتر، والكروم والنيكل سامان عند تركيز 500 مجم / لتر، كما أن الصوديوم أيضاً سام عند تركيزات مرتفعة. وهناك كاتيونات أخرى سامة عند تركيزات أعلى من ذلك، مثل البوتاسيوم والأمونيوم؛ حيث إنها سامة عند 4000 مجم / لتر. وهناك كاتيونات أخرى سامة، تشمل السيانيد والكروم، توجد في المخلفات الصناعية، وفي مخلفات مصانع الأوعية المعدنية. هذه الكاتيونات يجب إزالتها في أحد جوانب المصنع قبل اختلاط المياه الملوثة للمصنع مع مخلفات البيوت. بالإضافة إلى ما سبق، فإن أنيون الفلوريد، وكذلك المواد العضوية الموجودة في المياه الملوثة سامة أيضاً، وتعوق المعالجة الحيوية.

2. 13. المعادن الثقيلة (HM) Heavy metals:

وجود آثار قليلة من كثير من المعادن - مثل النيكل والمنجنيز والرصاص والكاديوم والزنك والنحاس والحديد والزرنيق - له أهمية كبيرة في إدارة معالجة المياه الملوثة. بعض هذه المعادن ضرورية لنمو كثير من الكائنات، وغياب الكمية الكافية منها قد يعوق نمو الطحالب على سبيل المثال، ولكن وجود تركيزات عالية من هذه المعادن يقتل الميكروبات، وبالتالي يعوق عملية المعالجة الحيوية؛ ولذلك فإن معرفة تركيزات هذه المعادن والتحكم فيها، له أهمية كبيرة في نجاح المعالجة الحيوية. وطرق تقدير هذه المعادن تختلف باختلاف المواد الأخرى المتداخلة معها، ولكن بصفة عامة يمكن قياس كميات هذه المعادن باستخدام أجهزة معملية متقدمة.

2. 14. الغازات Gases:

الغازات الشائعة في المياه الملوثة غير المعالجة هي النيتروجين (N_2) والأكسجين (O_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وهذه غازات موجودة في الغلاف الجوي، وبالتالي فهي شائعة في المياه التي يتعرض سطحها للهواء، كما تسود أيضًا في المياه الملوثة غير المعالجة غازات كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والأمونيا (NH_3) والميثان (CH_4)، وهي غازات تنتج من تحلل المواد العضوية الموجودة في المياه الملوثة. وبالنسبة لغاز الأكسجين فهو مطلوب لتنفس الكائنات والميكروبات الهوائية، والكمية الحقيقية منه أو من أي غاز آخر في المياه الملوثة تعتمد على مدى ذوبان الغاز، والضغط الجزئي للغاز في الغلاف الجوي، ودرجة الحرارة، ودرجة نقاء الماء (من حيث كمية الأملاح، المواد الصلبة العالقة ... إلخ). ولأن معدل التفاعلات الحيوية التي تحتاج إلى أكسجين يزداد بزيادة درجة الحرارة، فإن الحاجة إلى الأكسجين الذائب في المياه الملوثة تزداد في شهور الصيف، أي أن كمية الأكسجين الذائب الميسرة لا تفي - غالبًا - باحتياجات الكائنات الهوائية منه أثناء شهور الصيف. وبالنسبة لغاز كبريتيد الهيدروجين فهو يتكون - كما ذكر سابقًا - من تحلل المواد العضوية التي تحتوي على كبريت، أو نتيجة اختزال الكبريتات المعدنية، ولا يتكون غاز كبريتيد الهيدروجين في المياه الملوثة عند إمدادها بكميات كافية من الأكسجين. وغاز كبريتيد الهيدروجين عديم اللون، قابل للاشتعال، وله رائحة البيض الفاسد، ويلون المياه الملوثة، وكذلك الوحل المترسب باللون الأسود ينتج عادة من تكون غاز كبريتيد الهيدروجين، الذي يتحد مع الحديد، مكونًا كبريتيد الحديدوز (FeS) ذا اللون الأسود، وعلى الرغم من أن غاز كبريتيد الهيدروجين هو أكثر الغازات أهمية من حيث التسبب في الرائحة الكريهة، إلا أن هناك بعض المركبات الطيارة التي تتكون أثناء التفاعلات غير الهوائية، مثل الإندول ($Indol$)، والإسكاتول ($Skatol$)، قد تسبب روائح أشد كراهة من رائحة كبريتيد الهيدروجين. أما بالنسبة للميثان فهو المنتج الوسطي الرئيس لتحلل غير الهوائي للمواد العضوية في المياه الملوثة. والميثان عبارة عن هيدروكربون عديم اللون وعديم الرائحة، وقابل للاحتراق، وبالتالي فهو وقود عالي القيمة الاقتصادية، وعادة لا تتكون منه كميات كبيرة في المياه الملوثة بدون تدخل الإنسان؛ وذلك لأن وجود كميات - ولو

صغيرة - من الأكسجين تعتبر سامة للميكروبات المسؤولة عن إنتاج الميثان؛ ولذلك فإنه عندما يكون إنتاج الميثان هدفًا في حد ذاته، فلا بد من أن يكون النظام متحكمًا فيه من حيث وجود الأكسجين. إلا أنه في بعض الحالات - وكنتيجة للتفاعلات غير الهوائية في الرواسب المتجمعة في القاع - تتراكم كميات قليلة من غاز الميثان، ولذلك فعند تصميم شبكات الصرف لا بد من وجود حجرات معينة يتجمع فيها هذا الغاز؛ حتى لا يحدث انفجار. وعند القيام بعمليات تجديد أو إصلاح لشبكات الصرف لا بد من طرد هذا الغاز باستخدام مراوح خاصة، وفي محطات المعالجة الحديثة هناك معرفة جيدة بالأمكان التي من الممكن أن يتجمع فيها غاز الميثان، وهناك احتياطات ومعلومات لا بد أن تتخذ ويلم بها العاملون لتجنب خطر حدوث انفجار.

2. 15. اختبارات القياسات الحيوية Bioassay tests:

تستخدم نتائج القياسات الحيوية في تقييم مدى سمية المياه الملوثة للنشاط الحيوي في الماء المستقبل للمخلفات المائية. وأهداف القياسات الحيوية بالتحديد كما يلي:

- 1- تقدير تركيز المخلف الذي يؤدي إلى قتل 50% من كائن القياس في وقت محدد.
- 2- تقدير الحد الأقصى لتركيز المخلف الذي لا يسبب تأثيرًا واضحًا على كائن القياس خلال 96 ساعة، ويتم الوصول إلى هذه الأهداف عن طريق وضع بعض الأسماك، أو أي كائن مناسب آخر ككائن قياس، في جهاز يحتوي على تركيزات مختلفة من المخلف، بحيث يوضع في كل تركيز من هذه التركيزات المختلفة كائن قياس من نفس النوع ونفس العمر، ويتم ملاحظة هذه الكائنات على مدى 24، 48، 96 ساعة.

obeikandi.com

الفصل الثالث

فقرة عامة عن معالجة المياه الملوثة

(الأهداف – الطرق – التصميم)

Concept of Wastewater Treatment (Objectives – Methods- Design)

3.1. مقدمة Introduction:

منذ سنة 1900 - عندما كان مجال هندسة البيئة في مهده في الولايات المتحدة الأمريكية - كان هناك تطور مضطرد في الطرق المستعملة في معالجة المياه الملوثة، ولا شك أن وصف الطرق والمحاولات العديدة التي تمت يحتاج إلى مجلدات كبيرة؛ ولذلك فإن المنهج الذي اتبع في هذا الكتاب هو تعريف ومناقشة أساسيات هذه الطرق وتطبيقاتها على معالجة المياه الملوثة، هذا الفصل التمهيدي يغطي النقاط التالية:

1. أهداف معالجة المياه الملوثة.
2. طرق ومفاهيم معالجة المياه الملوثة وصرفها، أو التخلص منها.
3. عناصر تصميم وحدة المعالجة والتحليل التي تجرى بها.
4. بعض الاعتبارات المهمة الأخرى.

3.2. أهداف معالجة المياه الملوثة Wastewater- treatment objectives:

الأسباب الرئيسية التي أدت إلى تطوير مكثف لطرق معالجة المياه الملوثة، تتعلق بالصحة العامة، والحفاظ على البيئة من الأضرار الناجمة عن التخلص من هذه المخلفات بدون معالجة، ومن الأسباب المهمة أيضًا أن المدن أصبحت تحتل مساحات

أوسع، وأصبحت الأرض الفضاء التي كان يتم استخدامها للتخلص من المخلفات محدودة، بل معدومة في معظم المدن. وفي الماضي كان الغرض من المعالجة هو تفعيل وتعجيل قوى الطبيعة (الشمس، الهواء... إلخ) تحت ظروف متحكم فيها في مرافق صغيرة الحجم نسبياً. وبصفة عامة - ومنذ أن عرفت طرق منظمة لمعالجة المياه الملوثة - فإن أهداف عمليات المعالجة أصبحت كما يلي:

1. إزالة المواد الطافية والعالقة.

2. معالجة المواد القابلة للهدم الحيوي.

3. القضاء على الكائنات الممرضة.

ومنذ الستينيات بُذلت جهود بواسطة حكومات الولايات المتحدة الأمريكية؛ للوصول إلى معالجة أكثر كفاءة، وكانت هذه الجهود نتيجة للنقاط الآتية:

1. زيادة الوعي بخطورة صرف المياه الملوثة إلى البيئة بدون معالجة.

2. تطور المعرفة الخاصة بالتأثير السيئ لمواد معينة توجد في المياه الملوثة، وذلك على المدى البعيد.

3. ظهور هيئات ومنظمات تهتم بحماية البيئة.

4. زيادة التقدم العلمي، خصوصاً في مجال الكيمياء والكيمياء الحيوية والميكروبيولوجي.

5. الحاجة إلى المحافظة على المصادر الطبيعية للمياه، وفي كثير من الأحوال إعادة استخدام المياه الملوثة.

6. اتساع مجالات المعرفة الخاصة بأسس ومزايا الطرق المختلفة لمعالجة المياه الملوثة.

ونتيجة لذلك، فإن درجة الكفاءة المطلوبة في عملية المعالجة أصبحت في حالة ازدياد مضطرد، وظلت أهداف معالجة المياه الملوثة القديمة - والسابق ذكرها - صالحة، ولكن أضيفت إليها أهداف جديدة. من أهم الأهداف الجديدة التي أضيفت

إزالة النيتروجين، والفوسفور، والمواد العضوية السامة من المياه الملوثة، كذلك فإن إزالة كثير من المعادن الثقيلة السامة عند تركيزات معينة، وإزالة المواد الصلبة غير العضوية مثل الحرايات - وهي عبارة عن مواد طفيلية طينية - كانت ضمن الأهداف التي أضيفت حديثًا.

3.3. تقسيم وتطبيق طرق معالجة المياه الملوثة Classification and application of wastewater- treatment methods:

إن الملوثات التي تحتويها المياه الملوثة تنزال بوسائل فيزيائية، وكيميائية، وأخرى حيوية، ومعظم محطات المعالجة تحتوي كل منها على: وحدة للعمليات الفيزيائية، ووحدة للعمليات الكيميائية، ووحدة للعمليات الحيوية. وعلى الرغم من أن المعالجة تتم غالبًا بتداخل هذه الوحدات بدرجات معينة، إلا أن إلقاء الضوء على كل منها بشكل منفصل، قد يكون له فائدة أكبر، وقبل أن نناقش عمليات المعالجة بالتفصيل نود أن نشير إلى أن المعالجة المتكاملة تشمل:

1. عمليات الوحدة الفيزيائية **Physical unit operation**: وهي طرق المعالجة التي يسود فيها تطبيق القوى الفيزيائية، والتي تتم في وحدة المعالجة الفيزيائية، ونظرًا لأن معظم طرق المعالجة الفيزيائية تطورت نتيجة ملاحظة الإنسان، فإنها دائمًا ما تحتل الخطوات الأولى لمعالجة المياه الملوثة. وتشمل المعالجة الفيزيائية الغربلة **Screening**، والخلط **Mixing**، والتلبد **Flocculation**، والترسيب **Sedimentation**، والتعويم **Flotation**، والترشيح **Filtration**.

2. عمليات الوحدة الكيميائية **Chemical unit process**: وهي طرق المعالجة التي يتم فيها إزالة أو تحويل الملوثات، عن طريق إضافة كيماويات أو تفاعلات كيميائية، وتشمل عمليات الوحدة الكيميائية الترسيب **precipitation**، ونقل الغاز **Gas transfer**، والادمصاص **Adsorption**، والتطهير **Disinfection** في عمليات الترسيب الكيماوي،

ويتم إنجاز هذه العملية عن طريق إنتاج مواد مترسبة بواسطة التفاعلات الكيماوية التي تحدث نتيجة إضافة مواد كيماوية معينة، والادمصاص يشمل على إزالة مركبات معينة من المياه الملوثة على أسطح صلبة، باستخدام قوة الجذب بين الأجسام.

3. عمليات الوحدة الحيوية **Biological unit processes**: وهي طرق المعالجة التي تزال عن طريقها الملوثات عن طريق النشاط الحيوي، وتستخدم المعالجة الحيوية أساساً في إزالة المواد العضوية القابلة للهدم بواسطة الأحياء، سواء أكانت هذه المواد غروية أو ذائبة، وأساساً تتحول هذه المواد إلى غازات تتصاعد إلى الغلاف الجوي وإلى أنسجة خلوية، يمكن التخلص منها عن طريق الترسيب، وتستخدم المعالجة الحيوية أيضاً لإزالة النيتروجين من المياه الملوثة، وفي معظم الحالات - ومع اتباع قوانين صارمة للبيئة - تستخدم الطرق الحيوية في معالجة المياه الملوثة، ونظراً لأن المعالجة الحيوية هي أهم طرق المعالجة التي يناقشها هذا الكتاب بعد معرفة الأساسيات، فسوف يناقش تطبيقها في فصل مستقل.

3.4. تطبيق طرق المعالجة : Application of treatment methods

سوف يتم تعريف الطرق الأساسية المستخدمة الآن في معالجة المياه الملوثة والحماة، ولكن دون الدخول في تفاصيل؛ لأن الغرض من هذا الفصل هو تقديم الطرق الكثيرة جداً التي يمكن عن طريقها إنجاز عمليات المعالجة، أما تفاصيل أهم وأشهر الطرق فسوف تناقش في مواضع كثيرة من هذا الكتاب.

العمليات الفيزيائية والكيماوية والحيوية السابق الإشارة إليها، يتم تجميعها معاً لتعطي ما يعرف بالمعالجة الأولية أو الابتدائية Primary، ثم المعالجة الثانوية Secondary، ثم المعالجة الثلاثية، Tertiary أو المتقدمة، وبمعنى أوضح فإن المصطلح أولي أو ابتدائي يشير إلى عمليات الوحدة الفيزيائية، والمصطلح ثانوي يشير إلى عمليات الوحدة الكيماوية والحيوية، أما المصطلح ثلاثي فيشير إلى تداخل العمليات

الفيزيائية والكيميائية والحيوية لإنجاز عملية المعالجة. ويجب الإشارة إلى أن هذه المصطلحات ليست لها قيمة من الناحية العملية، ولكن الأوقع أن يتم التوصل أولاً إلى درجة المعالجة المطلوبة لإزالة الملوثات قبل إعادة استخدام المياه الملوثة أو صرفها إلى البيئة. خلاصة ذلك هو إدراك نقطة مهمة جداً، وهي تحديد العمليات المطلوبة قبل البدء في عمليات المعالجة، وبعد ذلك يتم دمج العمليات المختلفة؛ للحصول على درجة المعالجة المطلوبة. والجدول رقم (1-3) يوضح أكثر الملوثات أهمية في المياه الملوثة، والطرق التي يمكن تطبيقها للتخلص من هذه الملوثات، ويجدر الإشارة إلى أن المعالجة الثانوية - كما أشارت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة - تستخدم بصفة أساسية في إزالة المواد الصلبة العالقة، والمواد العضوية القابلة للهدم الحيوي أو الهدم بواسطة الأحياء، وبصفة عامة فإن الطرق المستخدمة لإزالة هذه الملوثات أصبحت معروفة جيداً، وتتم على قدر كبير من الكفاءة، وهي أيضاً أقل تكلفة من الطرق المستخدمة لإزالة ملوثات أخرى.

ولزيد من حماية البيئة في بعض المناطق الحساسة، فإن درجات عالية من المعالجة أدخلت حديثاً، وهي إزالة العناصر الغذائية، والوصول إلى أقل تركيز من المواد العضوية، وعندما يكون المطلوب إعادة استخدام المخلفات العضوية، فإن درجة المعالجة تتطلب إزالة كل ما سبق، بالإضافة إلى المعادن الثقيلة والمواد غير العضوية الذائبة، وبصفة عامة، فإن درجات المعالجة عندما تتعدى عمليات المعالجة الثانوية، فإنها تكون أكثر تكلفة، والطرق الموضحة في الجدول رقم (1-3) تخص الجزء السائل من المياه الملوثة، وعلى القدر نفسه من الأهمية - إن لم يكن أكثر - توجد طرق لمعالجة الحمأة أو الجزء الصلب من المياه الملوثة، وسوف نناقش معالجة الحمأة بتفاصيل أكثر في موقع آخر من هذا الكتاب.

جدول (1-3): العمليات والطرق المتبعة لإزالة الملوثات الشائعة في المياه الملوثة

الملوثات	العملية أو نظام المعالجة
المواد الصلبة العالقة	<ul style="list-style-type: none"> - ترسيب. - غربلة وسحق. - ترشيح بطرق مختلفة. - تعويم. - إضافة بوليمر كيمياوي. - تخرثر / ترسيب. - نظام الصرف الأرضي المفتوح.
المواد العضوية القابلة للهدم	<ul style="list-style-type: none"> - الحماة المنشطة بطرق مختلفة. - الملامسات البيولوجية الدوارة biological Rotating contactors. - المرشحات المتقاطرة Tricking filters. - البحيرة Lagoon بطرق مختلفة. - الترشيح الرملي المتقطع. - معالجة فيزيائية كيمياوية.
الكائنات المرضية	<ul style="list-style-type: none"> - الكلورة. - التطهير بالأوزون. - المعالجة بالنظام الأرضي المفتوح.
النيتروجين	<ul style="list-style-type: none"> - عمليات التآزت وعكس التآزت. - التآزت وعكس التآزت بنظام الغشاء المثبت. - إزالة الأمونيا. - التبادل الأيوني. - الكلورة حتى نقطة الانكسار.

الملوثات	العملية أو نظام المعالجة
	- المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
الفوسفور	- إضافة أملاح معدنية.
	- الترسيب بالجير.
	- إزالة حيوية كيميائية.
	- المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
الحراريات العضوية	- الأدمصاص بالكربون.
	- الإزالة بالأوزون.
	- المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
المعادن الثقيلة	- الترسيب الكيماوي.
	- التبادل الأيوني.
	- المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
المواد الصلبة غير العضوية	- التبادل الأيوني.
	- الديليزة الكهربائية.
	- الأسموزية العكسية.

3.5. عناصر التحليل والتصميم Elements of analysis and design:

إن تصميم طرق المعالجة هو أحد أهم التحديات في الهندسة البيئية، وكل من المعرفة النظرية والخبرة العملية ضروري في اختيار طرق المعالجة والتحليل المطلوبة، وتعتبر الخبرة العملية مهمة في تصميم مرافق المعالجة الفيزيائية وتوابعها، وفي تحضير خطط العمل المتخصصة لأي إزالة ملوثات معينة، وهناك بعض المصطلحات يجب الإلمام بها في هذا المجال، وهي كما يلي:

- رسومات المشروع **Flow-sheet**: وهي رسم تخطيطي يوضح التداخل العملي بين عمليات المعالجة الابتدائية والثانوية والثلاثية؛ للوصول إلى درجة معالجة معينة.
- معايير عملية التحميل أو التصميم **Process loading criteria**: هي المفاتيح التي على أساسها يتم اختيار حجم كل وحدة وكل عملية في المشروع.
- توازن المواد الصلبة **Solids balance**: توازن المواد الصلبة يقدر بمعرفة كميات المواد الصلبة الداخلة إلى الوحدة، والمواد الصلبة الخارجة من الوحدة.
- بروفييل الهيدروليك **Hydraulic profile**: يستخدم لمعرفة ارتفاع مستوى سطح المياه الملوثة عندما تتدفق في مختلف وحدات المعالجة.
- تخطيط المصنع **Plant layout**: تخطيط المصنع هو ترتيب مكان المرافق الفيزيائية لمصنع أو محطة المعالجة، كما وردت في الرسم التخطيطي.

3.6. عمليات الوحدة الفيزيائية **Physical unit operations**:

أهم عمليات المعالجة الفيزيائية الغربلية والمعادلة والخلط والتلبد والترسيب والتعويم والترشيح، وفيما يلي نلقي الضوء على كل من هذه العمليات.

3.6.1. الغريلة **Screening**:

الغريلة هي إزالة المواد التي يسهل تجميعها من المياه الملوثة الخام، ثم يتم التخلص منها، مثل إزالة قطع القماش، وأعواد الحطب، وبعض المواد البلاستيكية التي تستعمل لمنع الحمل، والفضول التي تستخدمها النساء أثناء الدورة الشهرية، والقطن والشاش المستخدم في تضميد الجروح، وفوارغ المعلبات وبعض الفاكهة المعطبة ... إلخ، وتتم الإزالة يدوياً أو أوتوماتيكياً، وعدم إزالة مثل هذه الأنواع من المخلفات قد يعطل الأجهزة المستخدمة في المعالجة، أو يعوق المعالجة داخل المحطة. إن الغريلة تشتمل أيضاً على وجود قناة أو حوض يتم فيه التحكم في سرعة المياه الملوثة الواردة؛ وذلك للسماح للرمال والحصى والأحجار لكي تترسب، وفي الوقت نفسه تبقى المواد العضوية عالقة في الماء. وفي بعض المخلفات تسمى هذه المرحلة بمرحلة "إزالة الرمل"، وهي

مرحلة مهمة؛ حيث إن وجود الرمل والحصى والصخور قد يعوق عمل المعدات المستخدمة في المراحل التالية لذلك.

3. 6. 2. الخلط Mixing :

الخلط عملية مهمة في معالجة المياه الملوثة في كثير من الحالات، عندما يكون من الضروري خلط إحدى المواد بأخرى، ومثال ذلك خلط الكيماويات بالمياه الملوثة، حيث يضاف الكلورين أو الهيبوكلورايت مع الماء الناتج من المعالجة الثانوية، وتضاف أيضًا بعض الكيماويات إلى الحمأة؛ لتحسين خواص نزع الماء منها قبل الترشيح تحت التفريغ. وفي مراحل أخرى من معالجة المياه الملوثة - مثل مرحلة استخدام الميكروبات لهدم المواد العضوية - يكون من الضروري استخدام عملية الخلط، وذلك بعد خلط الميكروبات مع غذائها، وفي خزانات المعالجة الحيوية أيضًا يلزم ضخ كميات كبيرة من الهواء؛ لكي تتم عملية الأكسدة الهوائية للمواد العضوية بنجاح، وهنا تستخدم عملية الخلط بواسطة توربينات ميكانيكية أو خلاط هواء؛ بغرض إذابة أكبر قدر ممكن من الأكسجين في الماء.

3. 6. 3. التلبد Flocculation :

التلبد ظاهرة معروفة في مجال الكيمياء، وهو اندماج الدقائق المترسبة، وفيه تخرج الغرويات من المعلق في شكل رقائق أو شوائب. والجسيمات الدقيقة أقل من 0.1 ميكرومتر في المياه، تظل في حالة حركة مستمرة؛ بسبب تغير الشحنة الكهربائية (غالبًا ما تكون سلبية)، والذي يسبب الدوران، واصطدام كل الجزئيات ببعضها، وبمجرد أن تصبح شحنة الجزئيات متعادلة - عن طريق استخدام مواد كيماوية - فإن الجسيمات الدقيقة تبدأ في التكتل (تتجمع معًا) تحت تأثير قوة فان دير والز Van der Waals's forces.

والمواد المسببة للتلبد Flocculants هي المواد الكيميائية التي تعزز اندماج الدقائق المترسبة، من خلال تسببها في تجمع وتحبب الغرويات والجسيمات العالقة في الوسائل، وتستخدم المواد المسببة للتلبد في معالجة المياه؛ لتحسين عمليات ترسيب

الجسيمات الصغيرة، وعلى سبيل المثال، يمكن استخدام الـ flocculants في ترشيح مياه حمام السباحة، أو تنقية مياه الشرب؛ للمساعدة في إزالة الجسيمات المجهرية التي من شأنها أن تتسبب في أن تكون المياه عكرة (غائمة)، والتي سيكون من الصعب - أو من المستحيل - إزالتها عن طريق الترشيح وحده. العديد من المواد المسببة للتبلد كأيونات، مثل الألومنيوم والحديد والكالسيوم والمغنسيوم، هذه الجزيئات ذات الشحنة الموجبة تتفاعل مع الجسيمات والجزيئات سالبة الشحنة؛ مما يحد من العوامل التي تحول دون تجميع الجسيمات مع بعضها، بالإضافة إلى ذلك، فإن العديد من هذه المواد الكيميائية، تحت درجة الحموضة المناسبة وغيرها من الشروط - مثل درجة الحرارة والملوحة - تتفاعل مع الماء، وتكون هيدروكسيدات غير ذائبة، ترتبط مع بعضها على شكل سلاسل طويلة مكونة من شوائب ذات حجم أكبر.

أيضاً يتم تصنيع وبيع المواد المسببة للتبلد مثل البوليمر ذات السلسلة الطويلة، مثل الـ Polyacrylamides، وهذه يمكن توفيرها في صورة جافة أو سائلة؛ لاستخدامها في عملية اندماج الدقائق المترسبة، ويجدر الإشارة إلى أن التقليل مهم جداً بعد إضافة الكيماويات؛ لكي يتم التبلد بنجاح، ويتم التبلد عن طريق التقليل البطيء بواسطة مجاديف متحركة، وأحياناً تتسبب حركة رش الخلاطات أثناء عملية الخلط في حدوث عملية التبلد.

3. 6. 4. الترسيب Sedimentation :

الترسيب هو ميل الجزيئات الموجودة في المعلق للخروج منه؛ لترسو على الجدار أو القاع، وحركة هذه الجزيئات من خلال السوائل هي استجابة للقوى المؤثرة عليها، مثل الجاذبية، أو الكهرومغناطيسية. الترسيب قد يشمل أشياء ذات أحجام مختلفة، تتراوح ما بين الصخور الكبيرة القادمة، مع تدفق المياه إلى المواد المعلقة من الغبار وجيوب اللقاح ومعلقات المواد الخلووية إلى محاليل الجزيئات، مثل البروتينات والبيتيدات. ومصطلح الترسيب يستخدم عادة في الجيولوجيا، لوصف ترسب الرواسب الناتجة من تكوين الصخور الرسوبية، وفي مختلف المجالات الكيميائية والبيئية.

تحتوي محطات التنقية على أحواض كبيرة للتروسيب (شكل 1-3)، وتسمى أحواض التروسيب الأولية، ويتم التروسيب بواسطة الجاذبية، حيث تترسب إلى أسفل الجزيئات ذات الوزن الأثقل من الماء، ومن الجدير بالذكر أن التروسيب قد يتم عدة مرات، وفي مراحل مختلفة من مراحل المعالجة، حيث تكون العمليات متداخلة مع بعضها البعض، وبالإضافة إلى أن التروسيب - في حد ذاته - هو عملية معالجة، فإن أهم فائدة هي زيادة سمك المواد الصلبة في الحمأة؛ حتى يسهل تناولها ومعالجتها، ويجب أن يسمح لمياه المجاري أن تمر في أحواض التروسيب ببطء شديد؛ حتى يمكن التروسيب بشكل شبه كامل.



شكل (1-3): حوض للتروسيب الأولي

وأحواض التروسيب واسعة بدرجة كافية لترسيب مخلفات الإنسان والحيوان الصلبة، كما أن المواد الطافية - مثل الشحوم والزيوت - تطفو على السطح؛ ليسهل التخلص منها عن طريق القشدة أو الكشط. إن الهدف الرئيس من مرحلة المعالجة الأولية هو الحصول على سائل - بصفة عامة - متجانس؛ حتى يسهل معالجته بيولوجيًا، وعلى راسب يمكن معالجته أيضًا بشكل منفصل، وكما هو مبين في الشكل رقم (1-1)

3)، فإن أحواض الترسيب عادة ما تكون مزودة بمكاشط ميكانيكية، وتقوم - بشكل دائم - بإزاحة ما تقوم بكشطه نحو فتحة قمعية الشكل في قاعدة الحوض؛ حيث يتم ضخ هذه الرواسب التي تم كسطها لمزيد من مراحل المعالجة.

3. 6. 5. التعويم Flotation :

التعويم عملية تستخدم لفصل مواد صلبة أو سائلة من الوجه المائي للمخلفات المائية، وتتم عملية التعويم بإدخال فقاعات غازية دقيقة (عادة غاز الهواء) إلى الوجه المائي للمخلفات المائية. الفقاعات تتصل بالمادة المراد تعويمها، وتصبح قوة الطفو قوية بدرجة تكفي لتعويم هذه المواد فوق سطح الماء، ويتم إدخال فقاعات الهواء بثلاث طرق:

1. حقن الهواء عندما يكون السائل تحت ضغط، ويتبع ذلك تخفيف الضغط، وتسمى هذه العملية "التعويم بالهواء الذائب".
2. التهوية عند الضغط العادي، وتسمى "التعويم الهوائي".
3. التشبع بالهواء عند الضغط الجوي العادي، ويتبع ذلك تعريض السائل للتفريغ، وتسمى هذه العملية "التعويم بالتفريغ".

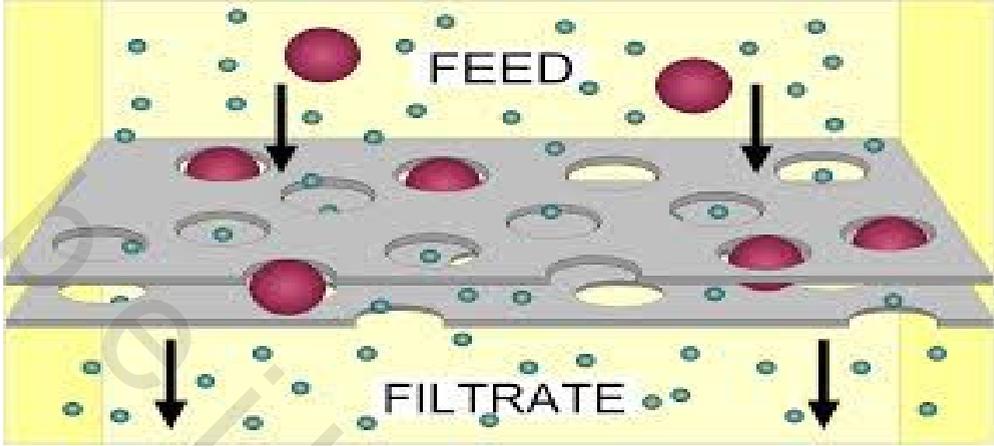
ونتيجة لعملية التعويم، فإن الأجزاء والمواد ذات الكثافة أقل من الماء - مثل الزيوت - يمكن تعويمها ليسهل إزالتها، وفي معالجة المياه الملوثة تستخدم عملية التعويم بشكل أساسي لإزالة المواد التي تكون معلقة في الماء، كما تستخدم في زيادة تركيز الحمأة الحيوية، أي الحمأة المتكونة من ترسيب خلايا الكائنات الحية. ومن أهم مميزات التعويم - بالمقارنة بالترسيب - أن الجزيئات الصغيرة جداً والخفيفة جداً، والتي تترسب ببطء شديد، يمكن إزالتها بالكامل، عن طريق تعويمها على السطح، ثم تجميعها وإزالتها عن طريق عملية الكشط، وهناك كيماويات تضاف للمساعدة في عملية التعويم. وظيفة هذه الكيماويات خلق سطح يمكنه بسهولة امتصاص فقاعات الهواء، وهذه الكيماويات عبارة عن مواد غير عضوية، مثل أملاح الحديد والألمونيوم

والسليكا المنشطة؛ حيث تضاف لربط المواد المراد تعويمها معًا، وبالتالي يتكون سطح تدخله فقاعات الهواء بسهولة.

3. 6. 6. الترشيح Filtration :

الترشيح هو عملية ميكانيكية أو فيزيائية، تستخدم لفصل المواد الصلبة من السوائل (سوائل أو غازات)، بواسطة مرشحات، يمكن من خلالها فقط تمرير السوائل والجزئيات صغيرة الحجم (شكل 2-3)، ولكن الانفصال ليس كاملاً؛ حيث المواد الصلبة تكون ملوثة ببعض السوائل، كما أن الراشح سيحتوي على بعض الجسيمات الدقيقة (اعتماداً على حجم المسام وسمك المرشح). على الرغم من أن الترشيح باستخدام البيئة الحبيبية Granular-medium filtration هو أحد العمليات الأساسية التي تستخدم منذ زمن بعيد في معالجة مياه الشرب، إلا أن استخدام الترشيح في مجال معالجة المياه الملوثة يعتبر حديثاً نسبياً من الناحية العملية، وعلى الرغم من قصر المدة التي استخدم فيها الترشيح في مجال معالجة المياه الملوثة، إلا أنها أصبحت من العمليات التي تتم بكفاءة عالية، وتؤدي إلى إزالة كمية كبيرة من المادة العضوية الموجودة في المياه الملوثة. ويستخدم الترشيح أيضاً في إزالة الفوسفور الذي يتم ترسيبه كيميائياً، وفي بعض المحطات يتم الترشيح من خلال الكربون النشط؛ مما ينتج عنه إزالة المواد السامة.

ويعتبر الترشيح عملية فيزيائية مهمة جداً في الكيمياء؛ لفصل المواد مختلفة التركيب الكيميائي، حيث يتم اختبار المذيب الذي يذوب فيه عنصر واحد، ولا تذوب فيه العناصر الأخرى عن طريق إذابة الخليط في هذا المذيب المختار، ففي هذه الحالة فإن مكوناً واحداً أو عنصراً واحداً، سوف يمر من خلال المرشح، والباقي سيتم الإبقاء عليه، وهذه هي واحدة من أهم التقنيات التي يستخدمها الكيميائيون لتنقية المركبات.



شكل (2-3): دياجرام مبسط لعملية الترشيح؛ حيث الأجزاء ذات الحجم الكبير لا تمر من خلال المرشح، في حين يمر السائل والأجزاء الصغيرة، ويطلق عليها راشح Filtrate

ويستخدم الترشيح أيضًا على نطاق واسع كواحدة من عمليات وحدة الهندسة الكيميائية، ويمكن الجمع بين الترشيح مع عمليات الوحدات الأخرى في وقت واحد، كما هو الحال في التصفية الحيوية؛ حيث يوجد مرشح تجتمع فيه عملية الترشيح والهدم البيولوجي للمادة العضوية.

ويختلف الترشيح عن عملية النخل؛ ففي المنخل يحدث الانفصال من خلال ثقوب ذات حجم متساوٍ، بحيث إن الجسيمات الكبيرة لا تمر من خلال الثقوب، وفي الترشيح تكون المرشحات متعددة الطبقات، وتحتجز تلك الجزيئات التي لا تتمكن من المرور في القنوات الملتوية للمرشح، والجزيئات الكبيرة قد تشكل طبقة أعلى المرشح، ويمكن أيضًا أن تسد الأنابيب الشعرية للمرشح، وتمنع عبور السوائل. ومن الناحية التجارية فإن المصطلح "مرشح" ينطبق على الأغشية التي يتم فيها الفصل عن طريق ثقوب دقيقة جدًا، وعلى الرغم من ذلك فإن هذه المنتجات (المرشحات) يمكن وصفها بأنها مناخل.

يختلف الترشيح أيضًا عن الادمصاص، الذي لا يكون فيه الحجم الفعلي للجزيئات هو سبب الانفصال، ولكن تأثير الشحنات السطحية (الشحنات الموجودة

على السطح) يكون هو سبب الانفصال. بعض أجهزة الادمصاص التي تحتوي على الفحم المنشط وراتنج التبادل الأيوني تجاريًا يطلق عليها مرشحات، على الرغم من أن الترشيح ليس وظيفتها الرئيسية. كذلك يختلف الترشيح عن إزالة الملوثات المغناطيسية من السوائل باستخدام المغناطيس (عادة زيت التشحيم وزيوت الوقود والمبردات)؛ لأنه لا يوجد بيئة للترشيح. وتجارياً تسمى هذه الأجهزة مرشحات مغناطيسية، ولكن الاسم يعكس استخدامها، وليس طريقة عملها. هناك العديد من الطرق المختلفة للترشيح، وكلها تهدف إلى تحقيق الفصل بين المواد. ويتحقق ذلك الفصل من خلال شكل من أشكال التفاعل بين المادة أو الأشياء المراد إزالتها وبين المرشح، وبالطبع فإن المادة التي تمر من خلال المرشح يجب أن تكون سائلاً. وعموماً فإن أساليب الترشيح تختلف تبعاً لمكان وجود المواد المستهدفة، أي ما إذا كانت هذه المواد في الوجه السائل للمخلفات أم لا.

ويستخدم نوعان رئيسان من بيئات الترشيح أو التصفية في المختبر الكيميائي. النوع الأول: فلتر السطح، وهو عبارة عن منخل صلب يحجز الجزيئات الصلبة الصغيرة، مع وجود أو عدم وجود ورق ترشيح، وذلك مثل قمع بوخنر Buchner funnel، ومرشح التفريغ الدوار Rotary vacuum - drum filter. والنوع الثاني: مرشح العمق، وهو عبارة عن سرير من المواد الحبيبية التي تحتجز الجزيئات الصلبة، ويسمى المرشح الرملي. النوع الأول يتيح للجسيمات الصلبة أن تتجمع مع بعضها، ولا يسمح بذلك النوع الثاني، إلا أن النوع الثاني أقل عرضة للانسداد؛ بسبب زيادة مساحة السطح التي تنتشر عليها الجزيئات المراد فصلها. أيضاً عندما تكون الجزيئات الصلبة دقيقة جداً، فإنه من الأرخص والأسهل أن يتم إزالة الحبيبات الملونة بدلاً من تنظيف الغربال الصلب، ويمكن تنظيف وسائل الترشيح عن طريق الشطف بالمذيبات أو المنظفات، وحتى لا يحدث التباس لدى القارئ - بسبب كثرة المصطلحات المستخدمة في معالجة المياه الملونة - يجدر الإشارة إلى أن عمليات الخلط، والتلبد، والترسيب، والتعويم، والترشيح، وكل العمليات التي من شأنها جعل المياه الملونة رائقة، تتجمع في مصطلح واحد، وهو الترويق Clarification.

3.7. عمليات الوحدة الكيماوية Chemical unit processes:

المعالجة الكيماوية هي استخدام بعض التفاعلات الكيماوية، لتحسين نوعية المياه، وربما الأكثر شيوعًا هي عملية الكلورة الكيماوية؛ لأن الكلور مادة قوية الأكسدة الكيماوية، ويستخدم لقتل البكتيريا، ولإبطاء معدل تحلل مياه الصرف الصحي. وقتل البكتيريا يتحقق عندما تتأثر العمليات الحيوية بالكلور. وهناك مادة أخرى، استخدمت أيضًا كمؤكسد مطهر، وهي الأوزون. كذلك هناك عملية كيماوية تستخدم عادة في معالجة المياه الملوثة الصناعية، وهي المعالجة التي تتكون من إضافة حامض أو قلوي لضبط درجة الـ pH إلى درجة التعادل، حيث إن الجير هو مادة قاعدية، فيستخدم أحيانًا في معادلة المخلفات الحمضية.

3.7.1. التخرُّر Coagulation:

يحدث التخرُّر نتيجة إضافة مواد كيماوية، ومن خلال تفاعلاتها تعطي منتجًا نهائيًا غير ذائب، يسهل إزالته من مياه الصرف الصحي، ويشيع استخدام المعادن متعددة التكافؤ كمواد كيماوية مسببة للتخرُّر في معالجة مخلفات المياه، والجير هو أحد المواد النموذجية التي تستخدم كمادة مسببة للتخرُّر (علاوة على استخدامه لتعديل درجة pH)، كما تستخدم أيضًا بعض المواد التي تحتوي على مركبات الحديد (مثل كلوريد الحديدك أو كبريتات الحديد) والشبة (كبريتات الألمونيوم) كمواد مسببة للتخرُّر.

هناك عمليات معينة قد تكون فيزيائية وكيماوية في الطبيعة، فاستخدام الكربون المنشط لادمصاص أو إزالة المواد العضوية - على سبيل المثال - يتضمن كلاً من العمليات الكيماوية والفيزيائية.

وبصفة عامة، فإن العمليات الكيماوية المستخدمة حاليًا في معالجة المياه الملوثة، تشمل الترسيب الكيماوي، والتحويلات الغازية، والادمصاص، والتطهير، والتطهير بالكلور، وإزالة الألوان، والتطهير بالأوزون، وغيرها، وفيما يلي نلقي الضوء على هذه العمليات بمزيد من التفصيل.

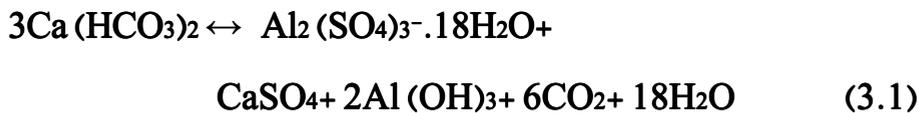
3. 7. 2. الترسيب الكيماوي Chemical precipitation :

الترسيب الكيماوي في معالجة المياه الملونة يشمل إضافة كيماويات لتغيير الحالة الفيزيائية للمواد الصلبة الذائبة والمعلقة لترسيبها، فيسهل إزالتها، ومنذ بداية السبعينيات زادت الحاجة إلى الحصول على إزالة كاملة للمواد العضوية والعناصر الغذائية (النيتروجين والفوسفور) الموجودة في المياه الملونة؛ مما أكد الحاجة الشديدة للترسيب الكيماوي. وفي بعض الحالات، تستخدم العمليات الكيماوية بجانب مختلف العمليات الفيزيائية؛ لتعطي معالجة كاملة، كذلك تم تطوير طرق لإزالة الفوسفور عن طريق الترسيب الكيماوي، وصممت هذه الطرق للاستخدام مع المعالجة الحيوية، وعلى مدار السنوات استخدم عدد من المواد الكيماوية في عمليات الترسيب.

وأكثر المواد استخداماً هي: الشبة، ورمزها $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ، ووزنها الجزيئي 666.7؛ وكبريتات الحديدوز، ورمزها $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ، ووزنها الجزيئي 278؛ والجير، ورمزه $Ca(OH)_2$ ، ووزنه الجزيئي 56؛ وكلوريد الحديد، ورمزه $FeCl_3$ ، ووزنه الجزيئي 162.1؛ وكبريتات الحديدك، ورمزها $Fe_2(SO_4)_3$ ، ووزنها الجزيئي 400.

ودرجة الترويق المتحصل عليها تعتمد على كمية كيماويات الترسيب المضافة، والدقة المتبعة في تنفيذ العملية، وفي حالات معينة - وعن طريق الترسيب الكيماوي - يمكن الحصول على سائل رائق خالٍ من المواد العالقة أو المواد الغروية؛ حيث يمكن إزالة 80-90% من المواد العالقة، و 40-70% من المواد العضوية القابلة للهدم عن طريق الأحياء، و 30-40% من المواد العضوية القابلة للهدم الكيماوي، و 80-90% من البكتيريا، وتتفاعل المواد الكيماوية المضافة عادة مع مواد موجودة في المياه الملونة، أو تضاف خصيصاً لهذا الغرض، ويمكن توضيح تفاعلات الترسيب كما يلي:

الشبة: عندما تضاف الشبة إلى المياه الملونة المحتوية على بيكروونات الكالسيوم أو الماغنسيوم، فيمكن أن يكون التفاعل كما يلي:



في هذا التفاعل تتكون هيدروكسيد الألومونيوم $Al(OH)_3$ ، وهي مادة جيلاتينية، ترسب ببطء شديد، أخذة معها المواد العالقة، محدثة تغيراً في تركيب المياه الملوثة.

الجير: عندما يضاف الجير وحده كمادة ترسيبية، فإن أساسيات الترسيب تتبع التفاعلات الآتية:



ويجب إضافة كمية كافية من الجير لكي يتحد مع حامض الكربونيك (H_2CO_3) الحر، ومع حامض الكربونيك المرتبط بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ ؛ لينتج عن ذلك كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، التي تعمل كمادة مسببة للتخثر، ويجب إضافة الجير بكمية أكبر عندما يضاف وحده بالمقارنة بالكمية عندما يضاف مع كبريتات الحديد، وعندما تصل الأحماض المعدنية أو أملاح الأحماض كمخلفات صناعية إلى المياه الملوثة، فيجب ضبط درجة الـ pH إلى درجة التعادل قبل عملية الترسيب.

كبريتات الحديدوز والجير: في معظم الحالات لا يمكن استخدام كبريتات الحديدوز وحدها كمادة ترسيبية؛ لأن الجير يجب أن يضاف معها في الوقت نفسه. التفاعل مع كبريتات الحديدوز وحدها يتضح من المعادلة رقم (3-4):



وإذا أضيف الجير الآن في صورة $Ca(OH)_2$ ، فإن التفاعل يكون كما يلي:

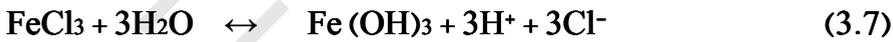


ثم تتأكسد هيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ إلى هيدروكسيد الحديدك، وهو الصورة النهائية المرغوبة، وذلك بواسطة الأكسجين الذائب في المياه الملوثة كما يلي:

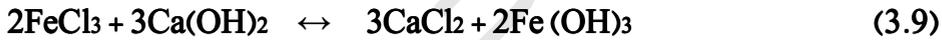


وهيدروكسيد الحديدك المتكونة هي مادة جيلاطينية غير ذائبة، تترسب ببطء، وتأخذ معها المواد العالقة والغروية، مسببة ترويقًا للمخلفات المائية، ولأن تكون هيدروكسيد الحديدك $Fe(OH)_3$ يعتمد على وجود الأوكسجين، فإن التفاعل في المعادلة السابقة لا يمكن أن يكتمل في تنكات الصرف الصحي المغلقة؛ حيث لا يوجد أكسجين.

كلوريد الحديدك: تفاعلات كلوريد الحديدك كما يلي:



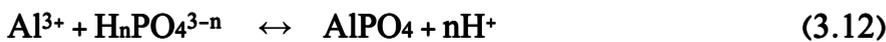
كلوريد الحديدك والجير: تفاعلات كلوريد الحديدك والجير كما يلي:



كبريتات الحديد والجير: تفاعلات كبريتات الحديد والجير كما يلي:



أما بالنسبة للترسيب الكيماوي للفوسفات، فقد وجد أنه يمكن إزالة الفوسفات عن طريق الترسيب الكيماوي بمختلف الأيونات متعددة التكافؤ، وتفاعلات ترسيب الفوسفات بواسطة الكالسيوم والألمونيوم والحديد يمكن توضيحها في المعادلات الآتية على التوالي:



ومركبات الفوسفور الناتجة من التفاعلات الموضحة في المعادلات السابقة مترسبة، ولكن إزالة الفوسفور باستخدام الجير يختلف عن استخدام الأيونات اختلافًا كليًا.

فمن المعادلات السابقة يمكن ملاحظة أن الجير عندما يضاف إلى الماء يتفاعل مع البيكروونات، وترسب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، وأيونات الكالسيوم الزائدة تتفاعل مع الفوسفات؛ ليرسب هيدروكسيل الأباتايت، ولذلك فإن كمية الجير المطلوب إضافتها بصفة عامة تعتمد على كمية الفوسفور المطلوب إزالتها، وبالطبع تعتمد على قلوية المياه الملوثة.

وفي حالة الشبة والحديد، فإن واحد مول يرسب واحد مول من الفوسفات، إلا أن هذه التفاعلات قد تكون خادعة، ويجب الأخذ في الاعتبار عوامل أخرى متداخلة، مثل القلوية، ومدى وجود العناصر الصغرى في المياه الملوثة، ولأن المعادلات السابقة لا تصلح لتحديد الجرعات المطلوب إضافتها لإحداث الترسيب، فإن تحديد هذه الكميات يتم عن طريق إجراء تجارب معملية.

3. 7. 3. تحولات الغاز Gas transfer :

تحولات الغاز يمكن تعريفها على أنها العملية التي يتحول فيها الغاز من أحد الأوجه إلى الآخر، عادة من الوجه الغازي إلى الوجه السائل، هذه العملية حيوية جداً في عدد من عمليات معالجة المياه الملوثة؛ فعلى سبيل المثال، فإن كفاءة بعض العمليات تعتمد على وجود كمية كافية من الأكسجين المتاح، أي يجب أن ينتقل الأكسجين من الوجه الغازي (الهواء)، ويذوب في الوجه السائل (المخلف المائي)؛ حتى تتم عمليات المعالجة بنجاح. كذلك فإن الكلور عندما يستخدم في صورة غاز لعملية التطهير، يجب أن يتحول إلى صورة ذائبة في الماء. ويضاف الأكسجين غالباً إلى الماء بعد عملية الكلورة (إضافة الكلور). ومن ناحية أخرى، فإن إحدى طرق إزالة المركبات النيتروجينية تتكون من تحويل النيتروجين إلى أمونيا، ثم تحول الأمونيا من الوجه المائي لينتقل إلى الوجه الغازي (الهواء).

وأكثر تطبيقات تحولات الغاز شيوعاً في مجال معالجة المياه الملوثة، هو تحويلات الأكسجين في المعالجة الحيوية. وبسبب أن الأكسجين ليس شديد الذوبان في الماء - وبالتالي فإن معدل تحوله من الحالة الغازية ودخوله من الهواء الجوي إلى سطح الماء لا يكفي لحاجة المعالجة الهوائية للمخلفات المائية - فقد استحدثت تقنيات عديدة؛ من

أجل إدخال كميات كبيرة من الهواء إلى المياه الملوثة، حيث تستخدم أنابيب لضخ كميات كبيرة من الهواء في شكل فقاعات هوائية على أعماق مختلفة، وأحياناً يتم إمداد وحدات المعالجة بالأكسجين النقي - بدلاً من الهواء - في أنابيب، قد توضع على عمق يزيد عن عشرة أمتار، فيما يعرف بمحطات المعالجة المغمورة، وقد استحدثت أيضاً تقنيات كثيرة؛ لمنع انسداد الأنابيب التي توصل الأكسجين إلى المياه الملوثة.

3. 7. 4. الاممصاص Adsorption:

الادمصاص هو التصاق جزئيات من الغاز أو السائل، أو المواد الصلبة الذائبة إلى سطح مناسب، أي أنه عامة هو عملية تجميع المواد الذائبة في المحلول المائي على سطح مناسب، هذه العملية تؤدي إلى تكوين فيلم من المواد المدمصة (الجزئيات أو الذرات التي تراكت) على السطح. والادمصاص يختلف عن الامتصاص، الذي فيه تدخل السوائل أو تذاب في سائل آخر، أو في مادة صلبة. وعلى غرار التوتر السطحي، فالادمصاص هو نتيجة لطاقة السطح، ففي المادة السائلة كل متطلبات الربط (سواء الأيونية أو التساهمية، أو المعدنية) للذرات المكونة للمادة، يشغلها ذرات أخرى في المادة، أما الذرات على سطح المادة التي تقوم بالادمصاص adsorbent ليست مشغولة كلياً، وبالتالي يمكن أن تجتذب المواد القابلة لأن تدمص Adsorbates. والطبيعة الدقيقة للارتباط تعتمد على تفاصيل الأنواع المعنية، ولكن عملية الادمصاص عموماً تصنف على أنها ادمصاص فيزيائي أو ادمصاص كيميائي. والادمصاص موجود في كثير من العمليات الفيزيائية الطبيعية أو الأنظمة البيولوجية أو الكيميائية، ويستخدم بشكل واسع في التطبيقات الصناعية مثل الفحم المنشط، وتوفير مياه باردة لمكيفات الهواء (مبردات الادمصاص) والراتنجات الاصطناعية، وتنقية المياه ... إلخ، وعلى أية حال يمكن القول إن الادمصاص والتبادل الأيوني Ion exchange، واللوني Chromatography هي عمليات الامتصاص، التي فيها تتحول مواد معينة قابلة للادمصاص Adsorbates بشكل انتقائي Selectively من الوجه أو الطور السائل إلى سطح جسيمات صلبة غير قابلة للذوبان، معلقة في وعاء أو معبأة في عمود. وفي الماضي لم تكن عملية الادمصاص تستخدم في معالجة المياه الملوثة، ولكن الحاجة إلى

المعالجة بدرجة جودة أكبر، أدت إلى تكثيف التجارب التي كان نتیجتها استخدام عملية الادمصاص بالكربون المنشط.

وتستخدم المدمصات - عادة - في شكل حبيبات كروية، وقضبان، وقوالب، أو كتل هيدرودينامية، بأقطار تتراوح بين 0.5، 10 ملم، ويجب أن تكون المدمصات عالية المقاومة للاحتكاك، وثابتة حراريًا، ولها فتحات مسامية ذات أقطار صغيرة، والتي ينتج عنها مساحة سطح كبيرة، وبالتالي تكون سعة الادمصاص كبيرة، والمدمصات يجب أيضًا أن يكون لها بناء مسامي متميز، بما يتيح النقل السريع للأبخرة الغازية، ومعظم المدمصات الصناعية تندرج في واحدة من ثلاث فئات، هي: معجون السيليكا والزيولايت والجرافيت.

من أحسن المواد التي تستخدم في الادمصاص، الكربون المنشط (الشكل رقم 3 - 3)، وهو على درجة عالية من المسامية، صلب غير متبلور، ويتم إعداده في صورة حبيبات صغيرة أو مسحوق، والكربون المنشط مادة غير قطبية ورخيصة، ومن أهم عوائق استخدامه هي أنه قابل للاشتعال، والكربون المنشط يمكن تصنيعها من مواد كربونية، بما في ذلك الفحم (البيتومين Subbituminous، والليجنيت)، والخشب، أو القشور (على سبيل المثال: جوز الهند). عملية التصنيع تتكون من مرحلتين؛ الكربنة والتنشيط، وتشمل عملية الكربنة التجفيف، ثم التدفئة لفصل المنتجات الثانوية، بما في ذلك القطران، وغيره من المواد الهيدروكربونية، من المواد الخام، وكذلك للتخلص من أي غازات متولدة، ثم عملية الكربنة التي تنتهي بالتسخين على 400-600 درجة مئوية (750-1100 درجة فهرنهايت)، في غلاف جوي ينقصه الأكسجين، أما عملية التنشيط فتشمل تعريض الجسيمات الكربنة إلى مواد مؤكسدة، عادة ما تكون البخار أو غاز ثاني أكسيد الكربون عند درجة حرارة عالية. هذه العملية تؤدي - في النهاية - إلى تكون بناء مكون من أنابيب شعرية أو شبكة مسامية، حجم المسام يعتمد على المدة الزمنية التي استغرقتها هذه المرحلة؛ حيث كلما زادت مدة تعرض المواد الكربنة للمواد المؤكسدة، كلما زاد حجم المسام، وأكثر أنواع الكربون المنشط شيوعًا هو المصنع من البيتومين؛ بسبب صلابته ومقاومته للتآكل، والتكلفة

المنخفضة، ولكن فعاليته تحتاج إلى اختبار في كل عملية تطبيق؛ لتحديد المنتج الأمثل. ويستخدم الكربون المنشط لادمصاص المواد العضوية، والمواد القابلة للادمصاص غير القطبية، وأيضًا يستخدم عادة لمعالجة المياه الملوثه، وعلى ذلك فهو أكثر المدمصات استعمالاً، وفائدته مستمدة أساساً من وجود مسام كبيرة الحجم، ومساحة سطح كبيرة.



شكل (3-3): الكربون المنشط

تستخدم أعمدة من البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية، أو الفولاذ المقاوم للصدأ، معبأة بالكربون المنشط الحبيبي في معالجة المياه الملوثه. والكربون المنشط هو تكنولوجيا متقدمة، يتم استخدامها لإزالة الكلور واللون والرائحة، والعناصر العضوية وبقايا المبيدات من المياه الملوثه عن طريق عملية الادمصاص، وباختصار يمكن القول إن الكربون المنشط الحبيبي يتيح مساحة أكبر لإزالة الملوثات بكفاءة في معدلات تدفق عالية.

وتستخدم عمليات الغسيل العكسي، أي غسيل أعمدة الكربون المنشط الحبيبي من الاتجاه المعاكس لتنظيف الكربون المنشط الحبيبي؛ من أجل كفاءة أعلى وحياة أطول، ويتم تثبيت أعمدة الكربون المنشط الضخمة في أحواض المياه، بحيث تدخل المياه إلى العمود من أعلى، ويتم سحبها من أسفل أو من القاع حيث يوجد الكربون.

3. 7. 5. التطهير Disinfection :

المطهرات هي مواد مضادة للميكروبات، تضاف لقتل الميكروبات، من خلال عملية تسمى التطهير. والمطهرات - بصفة عامة - يجب أن تكون مميزة عن المضادات الحيوية التي تقتل الميكروبات داخل الجسم؛ حيث إن المطهرات تستخدم لتقليل عدد الميكروبات إلى مستوى آمن. والغرض من عملية التطهير هو تقليل عدد الميكروبات في المياه بشكل كبير جداً، وذلك قبل إعادة صرفها إلى البيئة مرة أخرى، وتعتمد كفاءة عملية التطهير على جودة المياه التي تم معالجتها وصفاتها، ونوع التطهير، والجرعة المستخدمة من المطهر، ومدة التطهير، وعوامل بيئية أخرى. فعلى سبيل المثال، فإن المياه المعتمدة غير الراقية سوف يكون تطهيرها أقل كفاءة، خصوصاً إذا استخدمت الأشعة فوق البنفسجية في عملية التطهير؛ حيث إن العتامة هي التي تمنع وصول الأشعة إلى الميكروبات، خصوصاً عندما تستخدم لفترة زمنية قصيرة. وبصفة عامة، فإن التعرض للمطهر لوقت قصير، واستخدام جرعة منخفضة، يؤدي إلى تطهير أقل كفاءة. والطرق الشائعة للتطهير تشمل الأوزون، والكلورين أو الأشعة فوق البنفسجية. والشببة المستخدمة في مياه الشرب لا تستخدم في تطهير مياه المجاري، ويمكن استخدام الأشعة فوق البنفسجية بدلاً من استخدام أي كيماويات. ونظراً لعدم استخدام أية كيماويات في هذه الطريقة، فإن طعم المياه الناتجة يكون أقرب إلى المياه الطبيعية. والتشعيع بالأشعة فوق البنفسجية يسبب هدمًا للبناء الوراثي للبكتيريا والفيروسات والكائنات المرضية؛ مما يجعلهم غير قادرين على التكاثر. وعيوب استخدام الأشعة فوق البنفسجية هي الصيانة المستمرة، وتبديل الكشافات التي تشع هذه الأشعة، كما أن المياه يجب أن تكون راقية حتى تتعرض كل الميكروبات للأشعة؛ حيث إن أي مواد صلبة موجودة قد تحمي الميكروبات من فعل الأشعة. الأوزون يستخدم أيضًا في عمليات التطهير، ويتولد الأوزون عن طريق إمرار الأكسجين (O_2) من خلال تيار كهربائي عالٍ، فيتولد أكسجين ثلاثي الذرات (O_3) وهو الأوزون، وغاز الأوزون غير ثابت، ونشط جداً، ويؤكسد معظم المواد العضوية التي تختلط به؛ ولذلك فله القدرة على قتل كثير من الميكروبات المرضية، ويعتبر الأوزون آمن بالمقارنة

بالكلورين، كما أن استخدام الأوزون لا ينتج عنه نواتج وسطية، مثل استعمال الكلورين، ولكن أحد أهم عيوب الأوزون هو ارتفاع تكاليف الأجهزة المستخدمة في توليده.

وتبقى الكلورة Chlorination هي الطريقة الشائعة في التطهير؛ وذلك بسبب انخفاض تكاليفها، وتاريخ كفاءتها منذ زمن طويل، وفي الآونة الأخيرة أخذ في الاعتبار أن هناك بعض التأثيرات الضارة التي قد تنجم عن إضافة الكلورين، بما في ذلك احتمال تكون بعض المواد العضوية المسرطنة؛ مما جعل العلماء يدرسون استخدام بدائل أخرى. ولكن من الناحية العملية لم يثبت حتى الآن صحة هذه الافتراضات، وما زالت عمليات التطهير تتم بالكلورة في معظم بلاد العالم. التطهير - بصفة عامة - يتم باستخدام طرق كيميائية، وطرق فيزيائية، وطرق ميكانيكية، والتشعيع أو استخدام الإشعاعات، وفيما يلي نلقي الضوء - بشكل مختصر - على هذه الطرق:

1- التطهير الكيماوي: الجدول رقم (2-3) يوضح الخصائص النموذجية المطلوبة في

المادة الكيماوية المستخدمة في عمليات التطهير، ومقارنتها بخصائص المواد المستخدمة بالفعل كمطهرات، وكما يتضح من الجدول فإن المطهر النموذجي يجب أن يكون له عديد من الخصائص، وعلى الرغم من أن المطهر النموذجي في كل خصائصه غير موجود، إلا أن الخصائص الموضحة في الجدول رقم (2-3) يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تقييم أي مادة كيميائية كمطهر للمخلفات المائية. وبالنسبة للعاملين في مجال معالجة المياه الملوثة، فمن المهم أن تكون المادة المطهرة آمنة أثناء التداول والتطبيق، كما يجب أن يكون قوة أو تركيز المادة المطهرة قابلاً للقياس. والمواد الكيماوية المستخدمة كمطهرات تشمل الكلورين ومركباته، واليود، والبروم، والأوزون، والفينول والمركبات الفينولية، والكحولات، والمعادن الثقيلة، والمركبات المرتبطة بها الصبغات، والصابون والمنظفات الصناعية، ومركبات الألومنيوم الرباعية، وفوق أكسيد الهيدروجين،

ومختلف القلويات والأحماض، ومن هذه المواد تستخدم المواد المؤكسدة بشكل واسع، ومن أهمها الكلورين. البروم واليود يستخدمان لتطهير مياه حمامات السباحة، ولا يستخدمان في تطهير المياه الملوثة. الأوزون فعال جداً، ويزيد استخدامه في تطهير المياه الملوثة، وكونه عالي التكلفة، فإن ذلك ما يحول دون استخدامه بشكل واسع، أما الأحماض والقلويات فأحياناً يتم استخدامها لقتل الميكروبات المرضية؛ حيث إن رقم الـ pH أعلى من 11 أو أقل من 3 هو تقريباً سام لمعظم البكتيريا.

جدول (2-3): مقارنة بين الخصائص النموذجية للمطهر،

وخصائص بعض المطهرات المستخدمة

الأوزون	ثاني أكسيد الكلورين	هيبوكلوريت الكالسيوم	هيبوكلوريت الصوديوم	الكلورين	خصائص المطهر النموذجي	الخاصية
عالي	عالي	عالي	عالي	عالي	يجب أن يكون عالي السمية عند تركيز منخفض	السمية للميكروبات
عالي	عالي	عالي	عالي	بطيء	يجب أن يكون عالي في الماء وأنسجة الخلية	الذوبان
غير ثابت	غير ثابت	غير ثابت نسبياً	غير ثابت نسبياً	ثابت	يجب ألا يفقد قبل القضاء على الجراثيم	الثبات
سام	سام	سام	سام	شديد	يجب أن	عدم سميتها

الأوزون	ثاني أكسيد الكلورين	هيبوكلوريت الكالسيوم	هيبوكلوريت الصوديوم	الكلورين	خصائص المطهر النموذجي	الخاصية
				السمية للكائنات الراقية	يكون ساماً للميكروبات وغير سام للإنسان والحيوان	للكائنات المرئية
متجانس	متجانس	متجانس	متجانس	متجانس	يجب أن يكون المحلول متجانساً	التجانس
مؤكسد للمادة العضوية	مؤكسد نشط	مؤكسد نشط	مؤكسد نشط	مؤكسد للمادة العضوية	يجب ألا يمتص بواسطة المواد العضوية	التداخل مع المواد الأخرى
فعال جداً	فعال	فعال	فعال	فعال	يجب أن يكون فعالاً عند درجة الحرارة العادية	السمية عند درجة الحرارة العادية
عالية	عالية	عالية	عالية	عالية	يجب أن تكون له قدرة عالية على اختراق الأسطح	الاختراق
يسبب تآكلاً	يسبب تآكلاً	يسبب تآكلاً	يسبب تآكلاً	يسبب تآكلاً	يجب ألا يسبب تآكل المعادن، وألا يصبغ الملابس	عدم إحداث التآكل والصبغ

الأوزون	ثاني أكسيد الكلورين	هيبوكلوريت الكالسيوم	هيبوكلوريت الصوديوم	الكلورين	خصائص المطهر النموذجي	الخاصية
تكلفة عالية	تكلفة معتدلة	تكلفة معتدلة منخفضة	تكلفة معتدلة منخفضة	تكلفة منخفضة	يجب أن يكون متاحًا بكميات كبيرة وأسعار معقولة	مدى الإتاحة

2- التطهير الفيزيائي: التطهير الفيزيائي للمخلفات المائية الذي يمكن استخدامه، هو استخدام التسخين والضوء؛ فتسخين الماء إلى درجة الغليان - على سبيل المثال - يمكن أن يقتل معظم البكتيريا الممرضة غير المتجرّثة، وتستخدم هذه الطريقة في تطهير المياه الملوثة لمصانع الألبان والمشروبات الكحولية، ولكنها طريقة غير مناسبة لتطهير الكميات الكبيرة من المياه الملوثة؛ بسبب ارتفاع التكاليف، ولكن البسترة تستخدم بشكل مكثف في أوروبا لتطهير حمأة المياه الملوثة، كذلك فإن ضوء الشمس يعتبر مطهرًا جيدًا، وعلى وجه الخصوص، فإن الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تستخدم، وقد استخدمت لمبات خاصة تنبعث منها الأشعة فوق البنفسجية بنجاح في تعقيم كميات صغيرة من الماء، وكفاءة هذه العملية تتوقف على قدرة الأشعة على اختراق ودخول الماء، وعلى العموم مازال استخدام الضوء أو الأشعة في تطهير المياه الملوثة في مراحل التجريب على مستويات صغيرة؛ حيث إن وجود مواد عضوية ذائبة يحول دون وصول الأشعة إلى الميكروبات.

3- التطهير الميكانيكي: البكتيريا والكائنات الأخرى تُزال أيضًا بالطرق الميكانيكية أثناء معالجة المياه الملوثة، والجدول رقم (3-3) يوضح كفاءة إزالة الميكروبات بالطرق الميكانيكية التقليدية المتبعة في معالجة المياه الملوثة، ويمكن اعتبار الطرق الأربعة الأولى طرقًا فيزيائية لمعالجة المياه الملوثة، وبصفة عامة يمكن اعتبار إزالة الميكروبات ناتجًا ثانويًا أو وسيطًا لعمليات المعالجة الأولية للمخلفات المائية.

جدول رقم (3-3) كفاءة إزالة الميكروبات بالطرق الميكانيكية التقليدية

العملية	نسبة الإزالة (%)
الغربلة الخشنة	5-0
الغربلة الدقيقة	20-10
غرفات الحصى	25-10
الترسيب العادي	75-25
الترسيب الكيماوي	80-40
المرشحات الدوارة	95-90
الحماة النشطة	98-90
كلورة المياه الملوثة المعالجة	99-98

وهناك أربع ميكانيكيات لشرح فعل المطهرات على الميكروبات، وهي: تحطم جدار الخلية، تغيير في نفاذية الخلية، تغيير في الطبيعة الغروية لبروتوبلازم الخلية، وتثبيط النشاط الإنزيمي للخلية، أي من العمليات السابقة، تؤدي - في النهاية - إلى موت الخلية.

obeikandi.com

الفصل الرابع

عمليات المعالجة الحيوية للمياه الملوثة

Biological Treatments of Contaminated Water

4.1. مقدمة Introduction:

لما كانت الكائنات الحية الدقيقة أو الميكروبات هي حجر الزاوية في عمليات المعالجة البيولوجية للمخلفات الملوثة للمياه، ولما كان هذا الكتاب يقدم للقارئ المتخصص، إلى جانب القارئ غير المتخصص، والمهتم بموضوع ملوثات المياه وطرق تنقيتها، فكان من الضروري التعرض - بشكل مبسط - لماهية علم الميكروبيولوجي.

والمعالجة البيولوجية للمخلفات المائية عبارة عن تفاعلات كيميائية تقوم بها الميكروبات، ويتم من خلالها هدم بعض المواد، وبناء مواد أخرى؛ بغرض الحصول على الطاقة؛ ولذلك كان من الضروري أيضًا أن يشمل هذا الفصل فكرة عن تفاعلات التمثيل الميكروبي ومساراته المختلفة التي تسلكها الميكروبات للحصول على الطاقة، وأن يشمل أيضًا العوامل المؤثرة على النشاط الحيوي للميكروبات، وغيرها من العمليات ذات الصلة بالتفاعلات التي تقوم بها الميكروبات، ثم نلقي الضوء أيضًا على أهم المجموعات الميكروبية السائدة في المياه الملوثة، والمجموعات التي تلعب الدور الرئيس في معالجة هذه المخلفات؛ حيث من الضروري للباحثين والعاملين في هذا المجال أن يكونوا على دراية بخصائص هذه الميكروبات، وأماكن تواجدها الطبيعية، والعوامل المؤثرة على نموها ونشاطها التمثيلي.

4.2. بعض أساسيات علم الميكروبيولوجي Some basics of microbiology:

4.2.1. التمثيل الميكروبي Microbial metabolism

منذ زمن ليس بعيدًا كان الناس لا يعرفون ما الذي يجعل عصير الفاكهة يتحول إلى خمور، وما الذي يسبب حموضة اللبن، وقد كان باستير في سنة 1857 هو أول من

أثبتت أن هذه التغييرات تعود إلى الميكروبات، وبعد ذلك استطاع أن يتعرف على الميكروبات الموجودة في عينات من العصير المتخمر واللبن الحامض، كما كان باستير أيضًا هو أول من درس العمليات الكيماوية التي تقوم بها الميكروبات، وقد تعلمنا من باستير أن هناك بعض التفاعلات الكيماوية، ينتج عنها طاقة وتفاعلات أخرى، تحتاج إلى طاقة، وإذا كان التفاعل يحتاج إلى طاقة، فإنه يسمى تفاعل بناء أو تخليق Anabolic reaction، أما إذا كان التفاعل ينتج عنه طاقة، فإنه يسمى تفاعل هدم Catabolic reaction، وبصفة عامة، فإن كانت التفاعلات تتم داخل الخلية تسمى تمثيلاً، وتتكون من هذين النوعين من التفاعل، أي أن:

التمثيل = تفاعلات بناء تحتاج إلى طاقة، وتفاعلات هدم تطلق أو تنتج طاقة. ولفهم كل من تفاعلات الهدم والبناء، فإننا سنشير إلى بعض المصطلحات التي ترتبط بهذا الموضوع.

أي أن التمثيل هو مجموع التفاعلات الكيماوية التي تحدث داخل الخلية الحية، والتفاعلات تتم في خطوات حيث تبدأ بمادة معينة وتنتهي بمنتج معين. والحقيقة أن هناك عدد كبير من خطوات التفاعل تتم بين مادة البداية والنتج النهائي وهذه الخطوات تسمى مسارات التمثيل، وفي أي مسار تمثيلي فإن التفاعل يقود إلى تفاعل تالي الذي يقود إلى التفاعل تالي وهكذا في شكل سلسلة يمكن تمثيلها كما يلي:



فالحروف الكبيرة تمثل مواد تفاعل ونواتج تفاعل، أي أن الحرف A يمثل مادة تفاعل الخطوة الأولى، والحرف B يمثل ناتج تفاعل هذه الخطوة، ثم تصبح المادة B هي مادة تفاعل الخطوة الثانية، والمادة C هي ناتج تفاعل هذه الخطوة، وهكذا، أما حرف E₁ فيمثل الإنزيم الذي يساعد على إتمام الخطوة الأولى، وكما هو واضح، فإن كل خطوة من مسار التمثيل تتم بواسطة إنزيم مختلف عن إنزيمات باقي الخطوات. وفي التفاعلات الإنزيمية، فإن مواد التفاعل تسمى المواد الأولية (Substrates) للإنزيمات، أي أن المادة A هي مادة أولية للإنزيم E₁، والمادة B هي ناتج تفاعل هذه

الخطوة، ثم تصبح مادة أولية للإنزيم E₂، والمادة C هي ناتج تفاعل هذه الخطوة وهكذا يستمر التفاعل حتى يتكون الناتج النهائي.

4. 2. 2. الإنزيمات Enzymes:

الإنزيمات - بصفة عامة - عبارة عن مركبات بروتينية ذات وزن جزيئي كبير أكثر من 10000، ولها أشكال ثلاثية الأبعاد، وتعتبر عوامل مساعدة Catalysts، بمعنى أنها تسرع من معدل التفاعلات الكيميائية دون أن يحدث لها تغيير، وكلمة Enzyme مشتقة من اليونانية؛ حيث إن الحرفين En معناهما الحرف "في" باللغة العربية، و "In" باللغة الإنجليزية، والحروف Zyme معناها الخميرة باللغة العربية، و Yeast باللغة الإنجليزية، أي أن الكلمة كلها معناها "في الخميرة"، أو In yeast، وأول مرة استعمل فيها لفظ إنزيم كان في عام 1878، وكان يستخدم للتمييز بين ما كان يعرف في ذلك الوقت باسم التخمرات المنظمة Organized ferments، والتي تعني استخدام الكائن الحي كله Whole microorganism في التخمر، وبين التخمرات غير المنظمة Unorganized ferments، والتي تعني استخدام مستخلصات Extracts أو إفرازات Secretions الكائن الحي في التخمر، أي أن لفظ الإنزيم - آنذاك - كان يستخدم للتأكيد على أن هذا العامل المساعد في التفاعلات الكيميائية عبارة عن مستخلص أو إفراز خارج الخلايا، وليس الخلايا كلها. ولتوضيح الدور المهم الذي تساهم به الميكروبات كمصدر مهم للإنزيمات، فيكفي أن نعلم أن خلية واحدة من البكتيريا E.coli - على سبيل المثال - تصنع داخلها حوالي 3000 نوع مختلف من البروتينات، معظمها عبارة عن إنزيمات.

وكل التفاعلات التي تحدث داخل الخلية تحتاج إلى إنزيمات، والإنزيمات في النظام البيولوجي تسرع من التفاعلات الكيماوية، وتقلل الوقت اللازم للتفاعل بدرجة كبيرة جداً، كما تقلل - بدرجة كبيرة - من كمية طاقة التنشيط، وهي الطاقة اللازمة لبدء التفاعل الكيماوي. والإنزيمات في الكائنات الحية متخصصة، وكل إنزيم يمكن أن يشترك في تفاعل واحد فقط، وكثير من الإنزيمات تتكون من جزأين؛ الجزء الأول: يتكون من بروتين، ويسمى Apoenzyme، والجزء الثاني: يتكون من مادة

غير بروتينية، ويسمى Co-enzyme، وهو عبارة عن فيتامينات، أو قد يسمى Co-factor، وفي هذه الحالة يكون أيونًا غير عضوي، مثل الحديد، النحاس، المغنسيوم، المنجنيز، الزنك، الكالسيوم، والكوبالت، والـ Apoenzyme مع الـ Co-enzyme، ويسمى Holoenzyme، أي أن:



ويمكن تلخيص ميكانيكية نشاط أي إنزيم في الخطوات الآتية:

1. يوجد على سطح الإنزيم موقع متخصص، يسمى موقعًا نشطًا (Active site).
2. يتفاعل الإنزيم مع المادة الأولية عند ذلك الموقع النشط، ويتكون معقد من المادة الأولية والإنزيم.
3. أثناء اتحاد الإنزيم والمادة الأولية يحدث التفاعل الكيماوي.
4. ينفصل معقد المادة الأولية والإنزيم إلى ناتج معين والإنزيم.
5. لا يتغير الإنزيم، ويمكن أن يبدأ التفاعل مرة أخرى مع جزء آخر من المادة الأولية.

وتوجد في داخل الخلايا مركبات يطلق عليها مرافقات الإنزيمات، وأكثرها شيوعًا مرافق الإنزيم NAD (Dinucleotide - Nicotine amide - adenine)، والصورة المختزلة منه هي NADH، ومرافق الإنزيم (Dinucleotide - Flavin - adenine) FAD، والصورة المختزلة منه هي FADH₂. مركب الـ NAD هو مرافق إنزيم يتم تخليقه بواسطة الخلية من فيتامين B، وهو عادة يحمل شحنة موجبة، ويمكن أن يستقبل ذرة هيدروجين و2 إلكترون، ويصبح في صورة مختزلة (NADH). هذه الصورة المختزلة تتولد أثناء أكسدة المواد الغذائية، أي أن الإنزيم عندما يقوم بنزع ذرة هيدروجين أثناء تحليله لمادة معينة، فلا بد وأن يأخذها منه مركب معين؛ حتى يستطيع الإنزيم أن يستمر في عمله، هذا المركب المعين الذي يأخذ الهيدروجين هو مرافق الإنزيم، الذي بدروه ينقل الهيدروجين إلى مادة أخرى، وبذلك يعود إلى الحالة المؤكسدة مرة أخرى (في دورة تعرف بسلسلة التنفس)؛ ليستمر أيضًا في عمله، أما مركب FAD، فهو أيضًا مرافق إنزيم، ويتكون من نوع آخر من فيتامين B المرتبط مع جزيء AMP، ويعمل مرافق الإنزيم FAD كمستقبل للهيدروجين في تفاعلات نزع

الهيدروجين، حيث يخنزل - في هذه الحالة - إلى $FADH_2$ ، وهذه بدورها تتأكسد مرة أخرى عن طريق سلسلة التنفس؛ لكي تستمر في العمل.

4. 2. 3. مصادر الكربون والطاقة Energy and carbon sources :

كل الأنظمة الحيوية - بما فيها الميكروبات - لها متطلبات لمجموعة من العناصر الغذائية، وبالنسبة لمصادر الكربون والطاقة، يمكن تقسيم كل الكائنات إلى مجموعات كما يلي:

- **مجموعة الكائنات الحية الدقيقة Photoautotrophs**: وهي التي يمكنها أن تستعمل أشعة الشمس كمصدر للطاقة، وثنائي أكسيد الكربون كمصدر للكربون، وتشمل هذه المجموعة بكتيريا التمثيل الضوئي (بكتيريا الكبريت الخضراء، وبكتيريا الكبريت الأرجوانية، والبكتيريا الخضراء المزرققة)، والطحالب والنباتات الخضراء.
- **مجموعة الكائنات الحية الدقيقة Photoheterotrophs**: وهذه المجموعة تستعمل الضوء كمصدر للطاقة، ولكنها لا تستطيع استعمال ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون؛ بل تستعمل مركبات عضوية مثل الكحولات والأحماض الدهنية والأحماض العضوية والمواد الكربوهيدراتية كمصدر للكربون، ومن بين هذه المجموعة البكتيريا الخضراء والأرجوانية غير الكبريتية.
- **مجموعة الكائنات الحية الدقيقة Chemotrophs**: وهذه المجموعة غير قادرة على استخدام أشعة الشمس كمصدر للطاقة، ولكن مصدر الطاقة بالنسبة لها هو تفاعلات أكسدة واختزال مواد عضوية أو غير عضوية؛ ولذلك فإن هذه المجموعة تنقسم - بدورها - إلى مجموعتين، وهما:
- **مجموعة الكائنات الحية الدقيقة Chemoautotrophs**: وهي المجموعة التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون، وتستخدم مواد غير عضوية كمصدر للطاقة، مثل الكبريت بالنسبة للجنس Thiobacillus، وكبريتيد الهيدروجين بالنسبة

للجنس *Beggiatoa*، والأمونيا بالنسبة للجنس *Nitrosomonas*، والنترتيت بالنسبة للجنس *Nitrobacter*، والحديد بالنسبة للبكتيريا *Thiobacillus ferrooxidans*.

- **مجموعة الكائنات الحية الدقيقة Chemoheterotrophs:** وفي هذه المجموعة فإن المادة العضوية هي مصدر الكربون ومصدر الطاقة، ويتبع هذه المجموعة معظم البكتيريا، وكل الفطريات والبروتوزوا والحيوانات.

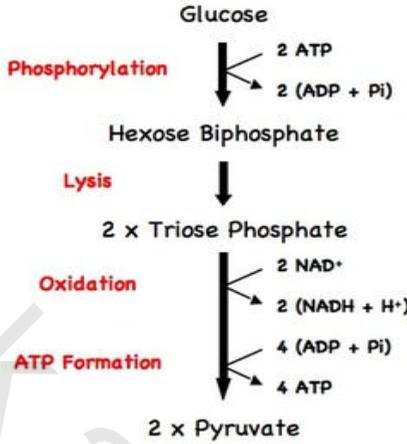
4. 2. 4. هدم المواد الكربوهيدراتية Decomposition of carbohydrate materials:

تحصل خلايا الميكروبات على معظم طاقتها من أكسدة المواد الكربوهيدراتية، وعملية هدم المواد الكربوهيدراتية هي تكسيدها لإنتاج الطاقة، عن طريق تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ ولذلك فهي عملية مهمة جداً في تمثيل الخلية، ولكي تهدم المواد العضوية بالكامل، فلا بد من تكسيدها أولاً إلى سكريات بسيطة، وذلك بواسطة الإنزيمات التي تفرزها الخلايا إلى البيئة، أي أن المواد الكربوهيدراتية، سواء أكانت سليلوز أو نشأ، أو أي مادة أخرى عديدة التسكر، تتحول إلى جلوكوز من خلال الهدم الإنزيمي، ثم يدخل الجلوكوز إلى داخل الخلية؛ حيث يسمح حجمه بذلك.

وتبدأ التفاعلات داخل الخلية بالجلوكوز دائماً، حتى لو كان هناك سكر ثنائي مثل اللاكتوز، يمكنه الدخول إلى الخلية، فلا بد من تحوله إلى جلوكوز و جلاكتوز قبل أن تبدأ التفاعلات، وإنتاج الطاقة من الجلوكوز، فإن الميكروبات تستخدم عمليتين، وهما التنفس والتخمير. والخطوة الأولى في كل من عمليتي التنفس والتخمير، هي أكسدة الجلوكوز إلى حامض بيروفيك، وتتم أكسدة الجلوكوز إلى حامض بيروفيك، من خلال عدد كبير من التفاعلات الكيماوية، تتجمع كلها في عملية الـ Glycolysis (الشكل رقم 1-4) أي أن عملية الـ Glycolysis هي أكسدة الجلوكوز إلى حامض بيروفيك.

التنفس الهوائي: هو نوع من التمثيل، يشتمل على تفاعلات أكسدة واختزال، ويكون المستقبل النهائي للإلكترون هو جزيء الأكسجين؛ ولذلك فإن هذه العملية تعتمد على وجود الهواء. تبدأ عملية التنفس الهوائي بعملية الـ Glycolysis، التي ينتج

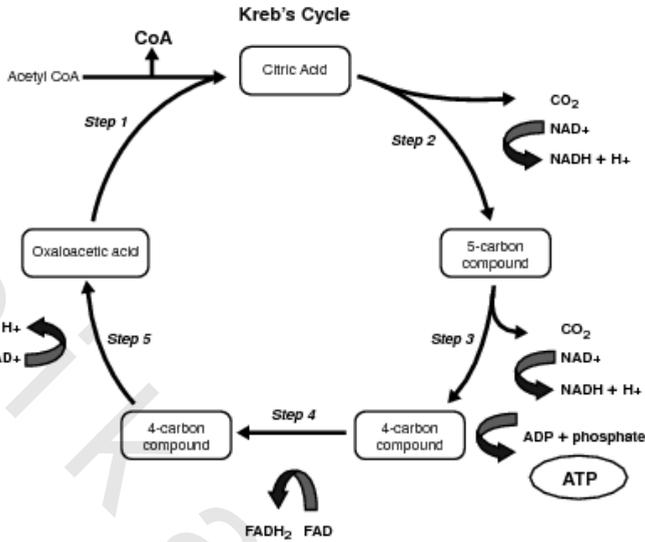
عنها حامض بيروفيك كما ذكرنا، ثم يدخل حامض البيروفيك الناتج من هذه العملية إلى نظام يسمى دورة كربس (الشكل رقم 2-4).



شكل (1-4): عملية الـ Glycolysis

في دورة كربس تحدث عمليات أكسدة متتالية لحامض البيروفيك، ونتيجة هذه الأكسدة تنزع من حامض البيروفيك كل ذرات الهيدروجين، ويقابل ذلك أن مرافقات الإنزيمات الموجودة في الخلية تختزل، باستقبالها للهيدروجين المنزوع من أكسدة حامض البيروفيك، وعلى ذلك فلو تأملت الشكل رقم (2-4) تجد أن النتيجة النهائية لدورة كربس هي مرافقات إنزيم في صورة مختزلة، أي عدد من الـ NADH والـ FADH₂. ثم تدخل مرافقات الإنزيم المختزلة بعد ذلك في نظام آخر يعرف بسلسلة التنفس، في هذا النظام تتم أكسدة مرافقات الإنزيم مرة أخرى، أي ينزع منها الهيدروجين مرة أخرى؛ ليتحد مع الأكسجين المتوافر (لأنه تنفس هوائي)، ويتكون ماء، أما الكربون الناتج من تفكك حامض البيروفيك، فإنه أيضًا يتحد مع الأكسجين، ويتكون ثاني أكسيد الكربون، أي أن النتيجة النهائية للتنفس، هو تكون الماء وثاني أكسيد الكربون، أي هدم كامل للجلوكوز، وعلى ذلك يمكن تلخيص عملية التنفس كما يلي:





شكل (2-4): دورة كريس

التخمير: الخطوة الأولى في عمليات التخمر هي أيضًا عملية الـ Glycolysis، إلا أنه بمجرد انتهاء هذه العملية، فإن حامض البيروفيك المتكون لا يدخل في دورة كريس، كما هو الحال في عملية التنفس، وإنما يتحول إلى نواتج مختلفة حسب الميكروب الذي يقوم بالتفاعل وحسب ظروف التفاعل، حيث قد يتحول إلى كحول إذا كان الميكروب السائد هو الخميرة والظروف لا هوائية، أو يتحول إلى حامض لاكتيك إذا كانت بكتيريا اللاكتوباسيلس هي السائدة مع وجود قليل من الهواء. أي أن عملية التخمر هي أكسدة غير كاملة للمادة العضوية، أو هي تكسير للمادة العضوية (الجلوكوز) إلى مادة عضوية أصغر (الكحول أو الحامض). ويمكن تلخيص عملية التخمر كما يلي:

جلوكوز ← حامض بيروفيك ← كحول أو حامض أو أي منتج عضوي + ثاني أكسيد الكربون

4. 2. 5. نمو البكتيريا : Growth of bacteria

غالبًا ما تعتمد العمليات الميكروبيولوجية على إنتاج الحد الأقصى من الخلايا الميكروبية في أقل وقت ممكن، وتقاس كفاءة هذه العمليات عن طريق خواص النمو للميكروب المرغوب به؛ ولذلك فمن المهم دراسة منحنى النمو قبل التعرض لاستخدام الميكروبات بشكل مباشر أو غير مباشر لخدمة الإنسان. ونمو الميكروبات وزيادة كتلتها الحيوية شيء أساسي في جميع الأنظمة البيولوجية، غير أن قياس هذا النمو يشكل بعض الصعوبات العملية، ويقدر نمو الميكروبات بطرق عديدة، منها ما يلي:

1. تقدير قيم النيتروجين الخلوي، وهي من أحسن الطرق وأدقها في تقدير نمو الميكروبات، ولكنها طريقة غير ملائمة لجميع الظروف.
 2. قياس الزيادة في الوزن الجاف للخلايا، وفي معظم الحالات يكون هذا القياس كافيًا للتعبير عن نمو الميكروبات، ولكن هذه الطريقة قد تعطي نتائج مبالغ فيها عندما يدخل فيها المواد المخزنة داخل خلايا الميكروبات.
 3. قياس نمو الميكروبات أيضًا بقياس العكارة أو الكثافة الضوئية $Optical\ density$ ، الناتجة من نمو الميكروب في بيئة سائلة؛ حيث إنها دالة لحجم الخلايا وأعدادها، ويمكن ربطها بمنحنى قياسي للوزن الجاف.
 4. إجراء طرد مركزي للمزارع النامية، ثم قياس كمية الخلايا المتجمعة.
 5. كذلك تستخدم طرق غير مباشرة لتقدير نمو الميكروبات، تعتمد على قياس النشاط الخلوي، مثل تقدير ثاني أكسيد الكربون الناتج عن نشاط الميكروب ونموه.
- وعندما توضع القيم اللوغاريتمية المعبرة عن نمو ميكروب وحيد الخلية في مزرعة مغمورة على المحور الصادي مع الزمن على المحور السيني في رسم بياني، ينتج من ذلك منحنى له شكل مميز، يسمى منحنى النمو $Growth\ curve$. وتفصيل تكوين هذا المنحنى وشكله تعتمد على نوع الميكروب، وعلى الظروف المحيطة به، ولكن في جميع الحالات يتكون منحنى النمو من أربعة أطوار رئيسية، كما يتضح من الشكل رقم (3-4) وهي:

أ- طور التكيف مع البيئة Lag phase.

ب- طور النمو الأسي Log phase.

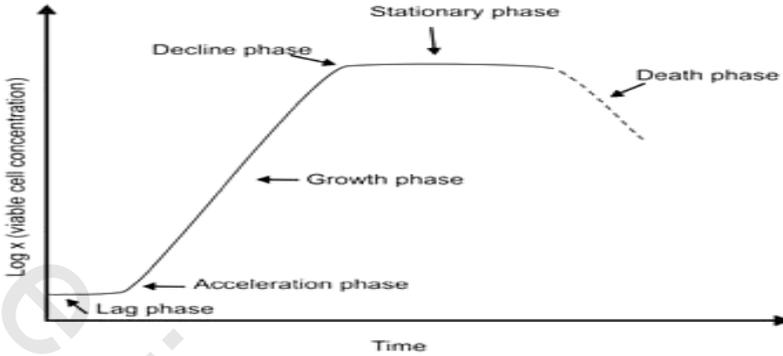
ج- طور الثبات Stationary phase.

د- طور الموت Death phase.

وفي بعض أنواع البكتيريا يظهر - بوضوح - ما يمكن أن يطلق عليه طور النمو السريع، وهي الفترة ما قبل طور النمو الأسي، كما يظهر بوضوح في هذه الأنواع البكتيرية ما يعرف بطور النمو البطيء، وهي الفترة ما بعد طور الثبات. ويتوقف وجود طور النمو السريع وطور النمو البطيء على نوع الميكروب؛ ولذلك سوف نتناول بالشرح بقية الأطوار التي توجد دائماً في منحنى النمو، مع الإشارة إلى أي من هذين الطورين عند اللزوم.

أ- طور التكيف مع البيئة Lag phase :

بالنسبة لأي ميكروب، فإن الفترة المنقضية بين تلقيح بيئة طازجة وبين اكتشاف أول نمو واضح ومرئي تسمى الطور اللاجى، وهي فترة التكيف مع الظروف البيئية الجديدة التي انتقل إليها الميكروب ليبدأ في النمو، وتعتمد مدة الطور اللاجى على طبيعة الميكروب، وعلى حجم اللقاح وحالته الفسيولوجية، وعلى كمية البيئة التي نقلت مع اللقاح، وعلى التركيزات المتغيرة للمواد الأساسية في البيئة الجديدة، وعلى درجة الحرارة، وأحياناً على نوع وكثافة الضوء، ويمكن تقصير فترة الطور اللاجى بزيادة حجم اللقاح، وزيادة الحرارة حتى الحد الأمثل، وعن طريق نقل اللقاح إلى بيئة أكثر غنى بالعناصر الغذائية، مقارنة بالبيئة التي تم فيها تنمية اللقاح، كذلك يمكن اختصار زمن هذا الطور - بشكل كبير، - قد يصل إلى حد إلغائه - عن طريق التلقيح بمزرعة أخذت وهي في الطور اللوغاريتي.



شكل (3-4): منحنى النمو

ب- طور النمو الأسي Log phase :

يبدأ الطور اللوغاريتمي أو طور النمو الأسي لميكروب معين عندما يكون معدل نموه ثابتاً عند حده الأقصى؛ نتيجة عوامل بيئية معينة، تسبب توازناً في تفاعلات تكاثر الخلايا، ومعدل النمو الثابت بالنسبة للميكروب وحيد الخلية يعني أن الخلايا الفردية تنقسم كل فترة منتظمة من الزمن، ويعني أن الزيادة في المواد الخلوية لكل وحدة زمن تقدر بمعدل النمو والكمية الموجودة في أي وقت. والنمو التصاعدي للخلايا يخضع لمعادلات حسابية كثيرة، لا تهتم معرفتها في موضوع هذا الكتاب، ولكن لابد لكل دارس أن يعلم أن هذه الحسابات تؤدي في النهاية إلى أن يكون لكل ميكروب وحيد الخلية معادلة رياضية مهمة، يمكن عن طريقها حساب زمن الجيل Generation time، وهو الوقت اللازم لكل انقسام خاص بهذا الميكروب، ومعرفة زمن الجيل الخاص بكل ميكروب في غاية الأهمية بالنسبة للتطبيقات الميكروبيولوجية في مختلف مناحي الحياة، وقد وجد أن متوسط زمن أو وقت الجيل يختلف من 15 دقيقة لبعض البكتيريا إلى عدة أيام لبعض الفطريات الخيطية.

ويقدر النمو الكلي لأي ميكروب تجريبياً، أما فترة التكيف الأولى التي تسمى بالطور اللاجى، فيمكن أن تقدر من المنحنى، عن طريق استنتاج الزمن من المحور الصادي المقابل لبداية النمو اللوغاريتمي في المنحنى، أو تقدر حسابياً عن طريق الفرق

بين الزمن اللازم لتراكم كمية معينة من النمو الخلوي تجريبياً، وبين الزمن اللازم للوصول إلى الكمية نفسها، مع افتراض أن النمو أسي أو لوغاريتمي من البداية.

ج- طور الثبات Stationary phase :

إن نفاذ العناصر الغذائية في البيئة، أو تراكم مخلفات الخلية، يحد من الزيادة في أعداد الخلايا، وهذه الظروف البيئية غير المناسبة تؤدي إلى نقص مستمر في معدل النمو، حتى الوصول إلى طور الثبات؛ حيث تبقى كمية المواد الخلوية في البيئة ثابتة، وفي الميكروبات وحيدة الخلية قد يتم التغيير إلى طور الثبات سريعاً، ولكن الميكروبات الخيطية لا تتغير سريعاً إلى طور الثبات في النمو، ولكن تأخذ وقتاً أطول تنمو فيه نمواً بطيئاً قبل أن يتغير نموها إلى طور الثبات؛ حيث يؤدي نقص الأغذية، أو تكون مضادات حيوية في البيئة، أو تراكم نواتج التمثيل الغذائي، إلى نقص تدريجي في نمو خيوط فرعية جديدة، مع استمرار النمو القمي للهياف، وفترة النمو البطيء هذه التي توجد بين الطور اللوغاريتمي وطور الثبات، تسمى أحياناً طور النمو البطيء.

د- طور الموت Death phase :

يبدأ هذا الطور من أطوار النمو (طور الموت) أو ما يمكن تسميته بنهاية أطوار النمو عند نفاذ مواد التغذية نهائياً في وسط النمو، وعندها يبدأ موت الخلايا البكتيرية حتى يصل عدد خلاياها في كل مليلتر إلى الصفر.

3.4. بعض التعبيرات والمصطلحات المستخدمة في العمليات البيولوجية

Some expressions and terms used in the biological processes:

هناك بعض التعبيرات والمصطلحات المستخدمة في مجال المعالجة البيولوجية، ويكون من المفيد الإشارة إليها؛ للمساعدة على الفهم الجيد لهذه العمليات، بما يفيد العاملين في وحدات عمليات المعالجة البيولوجية:

- العمليات الهوائية **Aerobic processes**: يقصد بها عمليات المعالجة التي تتم في وجود الأوكسجين، هذه العمليات تقوم بها بعض البكتيريا التي يمكن أن تعيش فقط في وجود الأوكسجين الذائب، وتعرف بالبكتيريا الهوائية إجباراً.
- العمليات غير الهوائية **Anaerobic processes**: يقصد بها عمليات المعالجة التي تتم في غياب الأوكسجين، وتقوم بها البكتيريا التي تعيش فقط في غياب الأوكسجين، والتي تعرف بالبكتيريا غير الهوائية إجباراً.
- عكس التأزت اللاهوائي **Anoxic denitrification**: يقصد بها العملية التي يتم فيها تحول النترات حيويًا إلى غاز النيتروجين في غياب الأوكسجين بواسطة بكتيريا متخصصة.
- العمليات الاختيارية **Facultative processes**: يقصد بها العمليات الحيوية التي تتم في وجود أو عدم وجود الأوكسجين؛ فقد لا يكون هناك فرق بين وجود أو عدم وجود الهواء لكي تؤدي البكتيريا دورها بكفاءة، وتعرف البكتيريا في هذه الحالات بالبكتيريا الاختيارية.
- الكائنات المحبة لقليل من الهواء **Microaerophils**: وهي مجموعة من البكتيريا تعيش في حالة نشطة في وجود كمية قليلة من الهواء.
- إزالة المواد الكربونية **Carbonaceous BOD removal**: يقصد بها استخدام الميكروبات المواد الكربونية العضوية في المياه الملوثة غذاءً، فتتحول هذه المواد العضوية إلى أنسجة خلوية ومختلف الغازات، أي أن الميكروبات تقوم بتمثيل المواد الكربونية تمثيلاً كاملاً، وبذلك تتكاثربغزارة، وينتج عن ذلك خلايا ميكروبية، وفي هذا التحول من المفترض أيضاً أن يتحول النيتروجين الموجود في المياه الملوثة إلى أمونيا.
- التأزت **Nitrification**: وهي عملية حيوية، تتحول فيها الأمونيا إلى نترات (أزوت) على خطوتين متتاليتين؛ حيث تتحول الأمونيا أولاً إلى نترت بواسطة بكتيريا متخصصة، ثم تتحول النترت إلى نترات بواسطة بكتيريا أخرى متخصصة.

- عكس التآزت **Denitrification**: وهي العملية الحيوية التي تتحول فيها النترات إلى نيتروجين وغازات أخرى تتصاعد إلى الغلاف الجوي، وذلك بواسطة البكتيريا.

- حالة الاستقرار **Stabilization**: وهي العملية الحيوية التي فيها تصل المادة العضوية في الحمأة الناتجة من المعالجة الأولية للمخلفات المائية إلى حالة من الاستقرار، أي تتحول إلى أنسجة خلوية وغازات، وإذا تمت عملية الاستقرار هذه في ظروف هوائية يسمى هضمًا هوائيًا، وإذا تمت في ظروف لا هوائية يسمى هضمًا لا هوائيًا.

- المادة الأولية **Substrate**: وهو مصطلح يشير إلى المادة العضوية أو العناصر الغذائية التي تتعرض للتحويل أثناء المعالجة الحيوية، وعادة ما يرتبط مصطلح مادة أولية بالتفاعلات الإنزيمية؛ حيث يكون لكل إنزيم مادة أولية تحفزها ليعمل عليها ويحللها.

- عمليات النمو المعلق **Suspended- growth processes**: وهي عمليات المعالجة الحيوية، تنمو فيها الميكروبات المسؤولة عن تحويل المادة العضوية أو المكونات الأخرى في المياه الملوثة إلى أنسجة خلوية، وتتصاعد غازات، وتصل حالة نمو البكتيريا بحيث تكون معلقًا في السائل (المخلف المائي).

- عمليات النمو العالق **Attached- growth processes**: وهي عمليات المعالجة الحيوية، حيث تنمو فيها الميكروبات المسؤولة عن تحويل المادة العضوية أو المكونات الأخرى في المياه الملوثة إلى أنسجة خلوية وغازات، بحيث تكون عالقة على بيئة خاملة، مثل الصخور أو الخبث أو سيراميك أو بلاستيك من نوع خاص، ويعرف هذا النوع من النمو بعمليات الفيلم المثبت. **.Fixed- film processes**

- المتطلبات الكيماوية من الأكسجين **Chemical Oxygen Demand (COD)**: وهي كمية الأكسجين اللازمة لكي تتأكسد كمية معينة من المادة

العضوية أكسدة كيميائية تامة، أي تتحول إلى ثاني أكسيد كربون وماء في زمن محدد، ودرجة حرارة محددة.

- المتطلبات الحيوية من الأكسجين **Biological Oxygen Demand (BOD)**: وهي كمية الأكسجين التي تستهلكها الميكروبات في مدة خمسة أيام على درجة حرارة 20 درجة مئوية؛ لكي تؤكسد المادة العضوية الموجودة في كمية معلومة من المياه الملوثة.

وفي عمليات إزالة المواد العضوية الكربونية، فإن عمليات تجميع الغرويات الصلبة، وهضم المواد العضوية تتم حيويًا، عن طريق مجموعة متنوعة جدًا من الميكروبات، غالبيتها العظمى من البكتيريا، هذه الميكروبات تحول المواد الغروية العضوية إلى أنسجة خلوية، أي تتكاثر مستخدمة المواد العضوية مصدرًا للكربون والطاقة. ونظرًا لأن الأنسجة الخلوية أو الكتل الميكروبية لها ثقل نوعي أكبر من الماء، فإنها تترسب، وبالتالي يمكن إزالتها بسهولة، ويجب الإشارة إلى أنه إذا لم يتم إزالة الأنسجة الخلوية الناتجة من استهلاك المادة العضوية، فلا تكون المعالجة كاملة؛ لأن الأنسجة الخلوية في حد ذاتها عبارة عن مادة عضوية، وبالتالي سوف تتداخل في تقدير الـ BOD الذي يتم بصفة دورية للمياه بعد معالجتها.

4.4. عمليات المعالجة البيولوجية الرئيسية Main of the biological treatment processes:

هناك أربع عمليات رئيسية، وهي العمليات الهوائية، والعمليات اللاهوائية، وعملية عكس التآزت اللاهوائية، ثم خليط من العمليات الثلاث، وكل من العمليات السابقة يتم تقسيمها إلى عمليات أصغر، بالاعتماد على طريقة تنمية الميكروبات. وبشكل عام فإن التطبيقات الرئيسية للعمليات البيولوجية هي:

1. إزالة المواد العضوية الكربونية، وتقاس عادة في صورة BOD، أو كربون كلي عضوي TOC، أو في صورة متطلبات الأكسجين الكيميائية COD.
2. إزالة الأمونيا بعملية التآزت.

3. إزالة النترات بعملية عكس التآزت.

4. الهضم.

4.5. عمليات المعالجة بنظام النمو المعلق الهوائي - Aerobic suspended-

growth treatment processes:

تشمل هذه الأنظمة اختلاط الكتلة الحيوية - أي العدد الهائل من الميكروبات - جيداً مع الرواسب الطينية؛ لتستخدم في المعالجة، كما أن هذا النظام يمكن عمله في مساحة أقل من الأنظمة الأخرى. وعمليات النمو المعلق الرئيسية هي:

1. عملية الحمأة المنشطة The activated sludge process.

2. عملية التآزت بمعلق النمو The suspended- growth nitrification process.

3. البحيرات الهوائية Aerated lagoons.

4. الهضم الهوائي The aerobic digestion process.

وفيما يلي نلقي الضوء على هذه العمليات.

4.5.1. عملية الحمأة النشطة The activated sludge process :

هي عملية يتم فيها معالجة رواسب مياه المجاري، وكذا معالجة المياه الملوثة الصناعية. في هذا النظام يتم ضخ الهواء أو الأكسجين النقي إلى رواسب مياه المجاري، أو إلى المياه الملوثة الصناعية، والتي تحتوي على عدد كبير من الميكروبات، من خلال معالجات المرحلة الأولية. ومع استمرار ضخ الهواء تتكاثر الميكروبات الموجودة في الرواسب، وفي المياه الملوثة الصناعية بشدة كبيرة جداً؛ ولذلك تتكون كتلة حيوية متلبدة، تكون قادرة على أكسدة المواد العضوية أكسدة تامة، وبالتالي قادرة على تخفيض محتوى الرواسب من المواد العضوية، ثم يتم إدخال كميات من مياه المجاري الخام، أو المياه الملوثة الصناعية الخام على هذا الوحل النشط. وكلما تمت معالجة كمية من مياه المجاري أو المياه الملوثة الصناعية، فإن الكمية الزائدة يتم دفعها إلى حوض الترسيب؛ أما المياه الراتقة الناتجة عن هذه العملية، فإنها تصرف إلى مكان آخر؛ لتلقي مزيد من المعالجة قبل صرفها النهائي، وعند إدخال رواسب خام يستخدم جزء من

الرواسب المعالجة، والمحتوية على عدد ضخم من الميكروبات كلقاح للمادة الخام الجديدة.

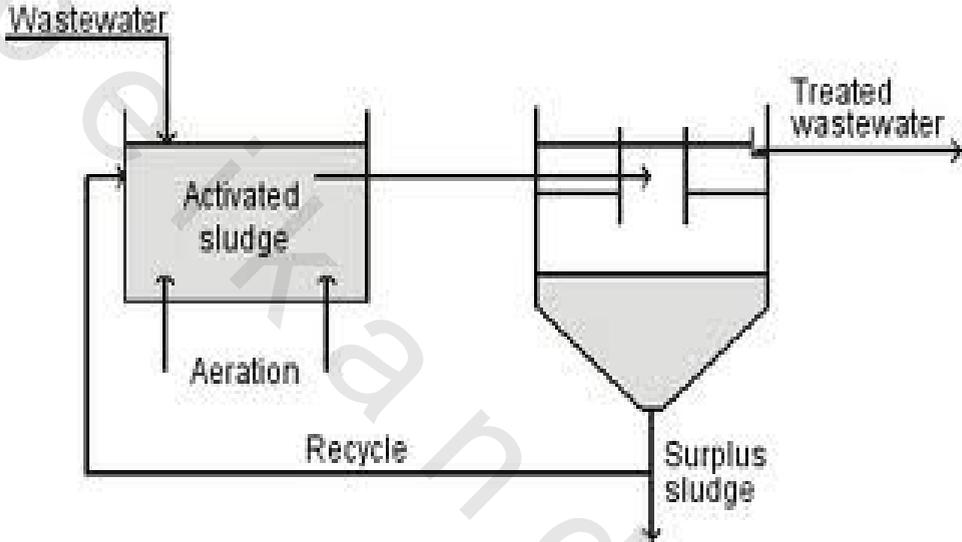
إن مصطلح الوحل المنشط أو الحمأة المنشطة Activated sludge يطلق أيضًا على المواد النشطة بيولوجيًا، والتي تنتجها محطات التنقية، والتي لها تأثير كبير في عمليات التنقية. هذه المواد عبارة عن راسب أو وحل آمن، لونه بني، ويحتوي على كتل متلبدة من الميكروبات، معظمها بكتيريا، ولكن توجد أيضًا البروتوزوا، وفي بعض المحطات التي لا تعمل بكفاءة عالية تنمو بعض البكتيريا الخيطية، التي تشمل Sphaerotilus natans، وهذه البكتيريا تتكاثر بشكل هائل، وتجعل الوحل غير قابل للتسيب، وتتسبب في أن يعلق الوحل بأسلاك أحواض الترسيب؛ ما يجعلها تلوث المنتج النهائي، وتجعل المعالجة غير جيدة. وهذه البكتيريا - في كثير من الأحيان - يطلق عليها غير المتخصصين فطر المجاري Sewage fungus.

وفي محطات معالجة المجاري أو معالجة المياه الملوثة الصناعية، تستخدم المعالجة بطريقة الوحل المنشط أو الحمأة المنشطة لغرض أو أكثر من الأغراض الآتية:

- أكسدة المواد الكربونية أو المواد الحيوية Biological materials، والتي تشمل أنسجة حيوية، مواد حيوية ميتة أو حية، مواد كيميائية قد توجد بشكل طبيعي في الأحياء الموجودة، ومواد عضوية ... إلخ.
- أكسدة المواد النيتروجينية، والتي غالبًا ما تكون أمونيا، والنيتروجين الموجود في المواد الحيوية.
- إزالة الفوسفات.
- الحصول على غازات مثل ثاني أكسيد الكربون، والأمونيا، والنيتروجين ... إلخ.
- إنتاج كتل حيوية متلبدة، خالية من فطر المجاري؛ لاستخدامها كلقاح.
- إنتاج سائل نهائي منخفض المحتوى من المواد العضوية الذائبة أو العالقة.

وبصفة عامة، فإن محطات المعالجة بنظام الوحل المنشط أو الحمأة المنشطة، تتكون ببساطة من حوض للتهوية؛ حيث يتم ضخ الهواء أو الأكسجين، وحوض للتسيب

Settling tank، وعادة ما يطلق عليه أيضًا حوض الترسيب الثانوي Secondary settling tank (الشكل رقم 4-4)؛ حيث يسمح للككتل الحيوية المتلبدة بأن تترسب، وهكذا يتم فصل الوحل البيولوجي المنشط Activated biological sludge عن الماء الرائق المعالج.



شكل (4-4): دياجرام يوضح عملية الحمأة المنشطة

أما معالجة المواد النيتروجينية والفوسفات، فإنها تتضمن خطوات أخرى؛ حيث تترك مياه المجاري المختلطة بالوحد النشط في حالة تسمى Anoxic، والتي تعني عدم وجود بقايا من الأكسجين الذائب، وسوف نتعرض لاحقًا لمعالجة هذه المواد.

- أنواع محطات الوحد النشط Types of activated sludge plants :

توجد أنواع مختلفة من المحطات التي تعالج مياه المجاري بطريقة الوحد النشط، منها ما يسمى محطات الـ Package plants، والتي تستخدم في المجتمعات الصغيرة، وعادة ما تكون ملحقة بالمصانع أو بمنطقة محددة؛ ولذلك فقد تلغى خطوة الترسيب المستخدم في المعالجة الأولية؛ لأن في مثل هذه الحالات لا يكون هناك مواد خشنة مثلما يوجد في المحطات التي تعمل على نطاق واسع، كما يوجد نوع آخر يسمى خندق الأكسدة Oxidation ditch (الشكل رقم 4-5).



شكل (4-5): محطة حمة منشطة من النوع المسمى خندق الأكسدة

وتتوفر مثل هذه المحطات في المناطق التي تتوفر فيها مساحات كبيرة من الأرض؛ لأنه في هذا النوع من المحطات تعالج مياه المجاري في خندق كبير بيضاوي أو مستدير الشكل، والذي يحتوي على مضخة هواء أو أكثر، تمتد بشكل أفقي فوق سطح المياه. هذه المضخة تعمل كأنها مقلب، حيث تحرك مياه المجاري المختلطة بالوحل النشط حول الخندق وفي الوقت نفسه تمد بالهواء، وهذه الأنواع من المحطات غالباً ما تأخذ أسماء تجارية مثل: Carrousel , Orbal , pasveer حسب الجهة المصممة أو المصنعة لها، وتتميز هذه المحطات بأنه من السهل صيانتها، كما أنها تستوعب تدفقات مياه المجاري الشديدة، خصوصاً في أوقات الصباح والمساء. ومحطات خنادق الأكسدة مصممة جميعها بحيث يكون لها وقت احتفاظ بالمواد الذائبة Hydraulic retention time (HRT)، يساوي من 24 إلى 48 ساعة، أي أن كل محطة تعالج ما يعادل سعتها من كمية المياه التي تدخلها في خلال 24-48 ساعة، وهذا الوقت يتم حسابه عن طريق معرفة كمية الهواء التي يتم ضخها؛ حيث إن الـ (HRT) يساوي حجم حوض التهوية، مقسوماً على معدل دخول المياه إلى المحطة.

كما يوجد نوع آخر من محطات الوحل النشط، يسمى العمود العميق Deep shaft (الشكل رقم 6-4). هذا النوع ينتشر في البلاد التي لا توجد بها مساحات أرض بوفرة؛ حيث تكون المحطة على شكل عمود عميق تحت الأرض، ويتم حقن الهواء أو الأكسجين تحت ضغط، مثل هذه الأعمدة قد تكون مدفونة على عمق يزيد عن 100 متر، وملئة بمياه المجاري المختلطة بالوحد النشط، وكلما دخلت مياه المجاري إلى المحطة يتم ضخ كمية أكسجين تحت قوى الضغط، الذي يعطي تهوية أشد من الأنواع الأخرى من المحطات.. فعلى سبيل المثال، فإن المضخات السطحية تعطي كفاءة تهوية تعادل من 0.5 إلى 1.5 كجم أكسجين / ساعة، والتهوية عن طريق الانتشار تعطي كفاءة مقدارها 1.5 إلى 2.5 كجم أكسجين / ساعة، في حين أن التهوية في محطات العمود المدفون تصل كفاءة التهوية فيها من 5 إلى 8 كجم أكسجين / ساعة. كما أن قوى ضخ الهواء في حد ذاتها تعتبر قوى ميكانيكية، تساعد على مزج الوحد النشط بمياه المجاري، وفي النهاية يتكون ماء رائق معالج يطفو على السطح، ووحد راسب، يمكن فصلهما بسهولة. وهذا النوع من المحطات له كفاءة عالية، إلا أن تكاليف إنشاء هذه المحطات عالية، وتنتشر هذه المحطات في اليابان؛ بسبب النقص في الأرض.



شكل (6-4): محطة من النوع المسمى العمود العميق (Deep shaft)

والخطوة النهائية في المعالجة بطريقة الحمأة النشطة هي ترسيب الكتل المتلبدة من الأحياء، أو نواتج الترويق والترسيب الثانوي Secondary sedimentation؛ لينتج عن ذلك ماء يحتوي على مستوى منخفض جداً من المواد العضوية والمواد العضوية العالقة.

- ميكروبيولوجيا عملية الحمأة المنشطة Process of microbial activated sludge:

لكي يتم تصميم وإدارة نظام الحمأة المنشطة بكفاءة، من الضروري فهم أهمية الميكروبات في هذا النظام. إن الدور الحيوي للبكتيريا في الطبيعة أنها تهدم المواد العضوية الناتجة عن نشاط الأحياء الأخرى، وفي عملية الحمأة المنشطة فإن البكتيريا هي أهم الكائنات الحية؛ لأنها هي المسئولة عن هدم المواد العضوية في المجاري الداخلة إلى المحطة، وفي داخل الأحواض، فإن جزءاً من المادة العضوية يستهلك بواسطة البكتيريا الهوائية والاختيارية للحصول على الطاقة؛ لكي تستطيع هدم باقي المادة العضوية وتحويلها إلى خلايا ميكروبية جديدة. وهناك جزء صغير من المادة العضوية في المياه الملوثة يتم تحويله إلى مركبات ذات محتوى أقل من الطاقة مثل SO_4 ، CO_2 ، NO_3 ، أما الباقي فيتم تحويله إلى مواد خلوية، كذلك فإن هناك مواد وسطية كثيرة، تنتجها البكتيريا قبل الناتج النهائي (المواد الخلوية). بصفة عامة، فإن البكتيريا في عملية الحمأة المنشطة سالبة لتفاعل جرام، أي عند صبغها بصبغة جرام تظهر تحت الميكروسكوب بلون أحمر، وتشمل عدداً من الأجناس مثل: *Pseudomonas* و *Zoogloea* و *Achromobacter* و *Flavobacterium* و *Nocardia* و *Bdellovibrio* و *Mycobacterium* و جنسي بكتيريا التآزت *Nitrosomonas* و *Nitrobacter*، بالإضافة إلى ذلك هناك بعض الكائنات الخيطية مثل: *Sphaerotilus* و *Beggiatoa* و *Thiothrix* و *Lecicothrix* و *Geotrichum*.

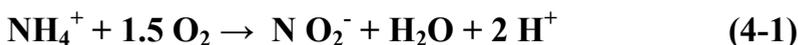
وعلى الرغم من أن البكتيريا هي الميكروبات الأساسية في هدم المواد العضوية في مياه المجاري الداخلة إلى محطة المعالجة، فإن النشاط التمثيلي للميكروبات الأخرى مهم أيضاً جداً. فعلى سبيل المثال، فإن البروتوزوا تآكل أنواع البكتيريا التي لا ترسب

(بكتيريا من خصائصها ألا ترسب في القاع) وهذا يزيد من كفاءة عملية المعالجة، وعلى الرغم من أنه من المهم أن تقوم البكتيريا بتحليل المخلفات العضوية بأسرع ما يمكن، فمن المهم أيضًا أن تكون البكتيريا كتلاً حيوية متلبدة، يسهل ترسيبها وفصلها عن المياه. وقد لوحظ أنه كلما طالت مدة بقاء الخلايا في أحواض المعالجة، كلما كانت الطبقة المتلبدة جيدة، وبالتالي كانت عملية الترسيب جيدة. السبب في ذلك أنه كلما طال عمر الخلايا فإن الشحنة السطحية تقل، ويزداد إفراز عديدات التسكر حول الخلايا، ووجود عديدات التسكر بكميات كبيرة، يساعد - بدرجة كبيرة - في تكوين الكتلة المتلبدة، وبالتالي يساعد في زيادة كفاءة الترسيب، وبالنسبة للمخلفات المائية المنزلية، وجد أن بقاء الميكروبات لمدة 3 إلى 4 أيام كافية للوصول إلى كفاءة عالية في الترسيب.

وعلى الرغم من تكون كتل متلبدة من الميكروبات وترسبها بسهولة، إلا أنه - في بعض الحالات - تبقى المياه محتوية على مستوى عالٍ من المواد الصلبة الخلوية؛ وذلك نظرًا لسوء تصميم وحدة الترسيب الثانوي، أو سوء إدارة وحدات التهوية، أو وجود الميكروبات الخيطية مثل Sphaerotilus والفطريات.

4. 5. 2. عملية التأزت بمعلت النم The suspended- growth nitrification process:

هي عملية الأكسدة الحيوية للأمونيا بواسطة الأوكسجين إلى نترت، يتبع ذلك أكسدة النترت إلى نترات. إن أكسدة الأمونيا إلى نترت، والمتبوعة بأكسدة النترت إلى نترات، تقوم بها مجموعتين مختلفتين من البكتيريا، تسمى بكتيريا التأزت Nitrifying bacteria. الخطوة الأولى من عملية التأزت - وهي أكسدة الأمونيا إلى نترت، كما في المعادلة رقم (4-1) - تقوم بها بكتيريا الجنس Nitrosomonas؛ حيث تحصل على الطاقة من عملية التصنيع الكيماوي، من خلال أكسدة الأمونيا إلى نترت، ويتم ذلك تحت ظروف جيدة للتهوية.



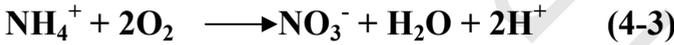
وعلى الرغم من أن أكثر أجناس البكتيريا شيوعاً في القيام بهذه الخطوة هو الجنس Nitrosomonas كما ذكرنا، إلا أن الأجناس Nitrosopira ، Nitrosococcus و Nitrosobacter و Nitrosolobus قادرة أيضاً على أكسدة الأمونيا إلى نترت. هذه البكتيريا المؤكسدة للأمونيا تختلف عن بعضها وراثياً، ولكن لها علاقة ببعضها، وتعيش في أماكن متشابهة.

أما الخطوة الثانية فتقوم بها بكتيريا الجنس Nitrobacter، وتحصل على الطاقة من خلال أكسدة النترت إلى نترات، كما في المعادلة رقم (2-4).



وهناك أجناس كثيرة من البكتيريا تؤكسد النترت إلى نترات، مثل أجناس:

Nitrococcus، Nitrospina، Nitrospira و Nitrocystis، ولكن أكثرها شيوعاً هو الجنس Nitrobacter، وهذه الأجناس قريبة من بعضها من الناحية الوراثية، وتعيش في بيئات متشابهة، ويمكن التعبير عن التأزت الكامل أثناء معالجة المياه الملوثة بالمعادلة رقم (3-4) كما يلي:



وبكتيريا التأزت - سواء التي تقوم بالخطوة الأولى أو التي تقوم بالخطوة الثانية - هي بكتيريا ذاتية التغذية كيميائياً، أي Chemoautotrophs؛ حيث تستخدم ثاني أكسيد الكربون مصدراً للكربون، وتستخدم الأمونيا أو النترت مصدراً للطاقة، وتلعب بكتيريا التأزت دوراً مهماً في إزالة الأمونيا من المياه الملوثة للمنازل، وتكلفة هذه العملية تمثل فقط في التهوية، أي إدخال الأوكسجين إلى المفاعل.

ومن الناحية العملية، فإن عملية التأزت يمكن أن تتم في الحوض نفسه الذي تتم فيه عملية الحمأة المنشطة الخاصة بإزالة المواد الكربونية من المياه الملوثة، وفي هذه الحالة تسمى "عملية التأزت ذات المرحلة الواحدة"، أو قد تتم عملية التأزت في مفاعل

أو حوض منفصل بعد عملية الحمأة المنشطة مباشرة، وأكسدة الأمونيا إلى نترات قد تتم بالإمداد بالهواء أو الأكسجين النقي.

4. 5. 3. البحيرات الهوائية أو الهواة Aerated lagoons :

البحيرات الهوائية (الشكل رقم 4-7) شائعة في المجتمعات الصغيرة، في هذه النظم تستخدم أجهزة التهوية لخلط محتويات البركة من المياه الملوثة بالأكسجين، ويشار أحياناً إلى هذا الخلط أو المزج بأنه مزج جزئي أو كلي، اعتماداً على مدى التهوية. البحيرات الهوائية جزئية المزيج غالباً ما تكون بحيرات لا هوائية، تم تكييفها ورفع مستواها لاستقبال المزيد من مياه الصرف الصحي. وباستثناء التصميمات التي تستخدم الرياح في تحريك أجهزة التهوية، فإن معظم أجهزة التهوية تتطلب طاقة لكي تعمل، إلا أن تكاليف الطاقة تكون دائماً أقل بكثير من تلك التي لغيرها من نظم المعالجة الميكانيكية. ولا شك أن التهوية تجعل المعالجة أكثر كفاءة، والذي يعوض تكاليف الطاقة في كثير من الحالات، وبصفة عامة، فإن البحيرات الخلوية المهواة تتطلب كميات أقل من مساحة الأرض وأوقات لإتمام المعالجة.



شكل (4-7): بحيرة هوائية أو مهواة

والبحيرة الهوائية هي وحدة معالجة يستخدم فيها نظام النمو المعلق (أي معلق من الميكروبات). ونظام البحيرة المهواة يتكون من بحيرة كبيرة أو أحواض ترابية مزودة بأجهزة تهوية ميكانيكية مجهزة للحفاظ على البيئة هوائية، ومنع ترسب الكتلة الحيوية المعلقة. والبحيرة مزودة بمدخل للمخلفات المائية في أحد الأطراف؛ لتمكين تدفق مياه الصرف الصحي من خلاله، ومنفذ في الطرف الآخر، ويتم احتجاز المياه الملوثة لوقت محدد قبل أن تصرف عن طريق المنفذ، وفي بداية عمليات المعالجة فإن محتوى البحيرة الهوائية من الكائنات الحية الدقيقة أقل بكثير من نظام الحمأة المنشطة؛ لأنه لا يوجد إعادة تدوير الحمأة، ولذلك لا بد من استمرار المعالجة لفترة أطول كثيراً؛ من أجل تحقيق نفس كفاءة المعالجة باستخدام الحمأة المنشطة.

وبقاء المياه الملوثة في البحيرة لفترة طويلة يعتبر ميزة عندما يراد هدم المواد الكيميائية العضوية المعقدة. والكائنات الحية الدقيقة في البحيرات الهوائية هي أكثر مقاومة للاضطرابات الناجمة عن عملية تغذية البحيرة بمخلفات مائية خام من تلك الموجودة في عملية الحمأة المنشطة؛ بسبب كبر حجم البحيرة، وبقاء المياه الملوثة فيها لأوقات أطول، والفرق الرئيس بين عمليات الحمأة المنشطة والبحيرات الهوائية، هو أنه في الأخيرة لا توجد أحواض ترسيب، ولا إعادة تدوير الحمأة، وقد تزود البحيرات الهوائية ببركة نضوج لمزيد من المعالجة لمياه الصرف.

والبحيرات الهوائية ضحلة نسبياً، بعمق يتراوح من 2-5 أمتار، ومزودة بأجهزة التهوية الميكانيكية على منصات طافية أو ثابتة، وتستخدم أجهزة التهوية الميكانيكية لتوفير الأكسجين للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف، وكذلك الإبقاء على المواد الصلبة البيولوجية في حالة معلق. وتم التهوية من أعلى إلى أسفل، ويكون الهواء مندفعاً بقوة كافية للحفاظ على المواد الصلبة في حالة معلق، مع خلط كامل بالهواء، ولا يحدث ترسيب في مثل هذه البحيرات. وفي ظروف التوازن، فإن كمية المواد الصلبة الجديدة (الميكروبية) المنتجة في النظام تساوي كمية المواد الصلبة التي تخرج من النظام، وهكذا فإن تركيز المواد الصلبة في مياه الصرف مرتفع نسبياً، وقد يحتاج إلى مزيد من المعالجة بعد مثل هذه البحيرات. وقد وجد أن خلط الماء مفيد من جهات نظر عدة؛

حيث إنه بدون أن يحدث خلط جيد تظل الطبقات السطحية مهواة لفترات طويلة نسبياً من الزمن. وهذه الظروف توفر بيئة ممتازة للطحالب لتستقر وتنمو، والخلط أيضاً يخلص النظام من ثاني أكسيد الكربون، وكما سبق ذكره أيضاً فإن أجهزة التهوية قد تكون عائمة (شكل 4-8)، أو قد تكون ثابتة (شكل 4-9).



شكل (4-8): أجهزة تهوية عائمة



شكل (4-9): أجهزة تهوية ثابتة

ونظرًا لأن عمليات البحيرات الهوائية هي - بالأساس - مثل عمليات الحمأة المنشطة، فإن الميكروبات السائدة في البحيرات الهوائية هي نفسها ميكروبات الحمأة المنشطة. غير أن هناك بعض الاختلافات؛ حيث إن كبر حجم مساحة السطح في البحيرات الهوائية يجعل تأثير حرارة الجو على التركيب الميكروبي أكثر من تأثيرها في حالة أحواض الحمأة المنشطة.

4.5.4. الرضخ الهوائي The aerobic digestion process :

الهضم الهوائي هو عملية أكسدة وتحلل للأجزاء العضوية المتبقية في الحمأة، بواسطة الكائنات الدقيقة في وجود الأوكسجين. ففي ظل الظروف الهوائية تستهلك البكتيريا المواد العضوية بسرعة، وتحولها إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. الهضم الهوائي ينتج عنه استقرار المنتج، أي الوصول إلى حالة ثابتة لا تحتاج إلى أي مزيد من عمليات المعالجة، كذلك فإن الهضم الهوائي يقلل من الكتلة والحجم، ويقلل من الكائنات المسببة للأمراض، وبالمقارنة مع الهضم اللاهوائي فإن الهضم الهوائي يحتاج إلى محطات أصغر، ولكن تكاليف استخدام التشغيل تكون أكبر بكثير؛ بسبب الطاقة المستخدمة، والمضخات، والمحركات اللازمة لإضافة الأوكسجين لهذه العملية، ولكن منذ ظهور تكنولوجيا مرشحات الألياف الحجرية Stone fiber filter technology التي تستخدم تقنية تيارات الهواء الطبيعية، لم تعد هذه الطريقة مكلفة بالدرجة العالية. وعمليات الهضم الهوائي قد تستخدم للمعالجة في الحالات الآتية:

1. مخلفات عمليات الحمأة المنشطة.
 2. مخلفات عمليات مرشحات التقطير.
 3. خليط من مخلفات عمليات الحمأة المنشطة وعمليات مرشحات التقطير.
- وتعمل محطات الهضم الهوائي من خلال ناشرات الهواء Air diffusers أو أجهزة التهوية، التي عادة ما تكون على شكل أقراص (شكل رقم 10-4)، أو أنبوب (شكل رقم 11-4) تستخدم لنقل الهواء الجوي إلى المياه التي تحتاج لمزيد من المعالجة. وناشرات الهواء تستخدم الأغشية المطاطية التي ينتج عنها فقاعات صغيرة الحجم، أو قد تكون مصنوعة من السيراميك وينتج عنها فقاعات كبيرة الحجم.



شكل (10-4): ناشرات هواء على شكل أقراص



شكل (11-4): ناشرات هواء على شكل أنابيب

6.4 عمليات المعالجة بنظام النمو الهوائي العالق - Aerobic attached-

growth treatment processes:

4.6.1 مرشح التقطر Trickle filter :

مرشح التقطر يستخدم في المعالجة الثانوية، والتي تلي المعالجة الأولية، ومن المعروف أن المعالجة الأولية يتم فيها إزالة المواد الصلبة المترسبة والمواد الطافية، ولذلك فإن المياه الملوثة تصل إلى مرشح التقطر، وهي تحتوي على مواد صلبة غروية أو مواد ذائبة، ولذلك فإن الغرض من استخدام مرشح التقطر هو إزالة هذه المواد الصلبة الذائبة والغروية، من خلال عملية التحلل البيولوجي الهوائية.

في مرشح التقطر (شكل 4-12) يتم تكوين بيئة؛ لتنمو عليها الميكروبات، وهذه البيئة تشبه السرير؛ لكي تأخذ الشكل المناسب لنمو الكائنات، ولذلك تسمى بالسرير المثبت fixed bed، ويتكون هذا السرير من صخور، زلط، خبث المعادن، مواد من البولي إيثيلين، البيت موس أو مواد بلاستيكية. تمرر مياه المجاري على هذه المواد من أعلى إلى أسفل ببطء شديد، فتتم الكائنات الحية المختلفة، حتى تتكون طبقة لزجة من الميكروبات تغطي السرير بالكامل من جميع الجوانب، ويتم نشر المياه الملوثة على طبقات الكائنات الحية الدقيقة، ويسمح لهذه المياه أن تنساب أو تتقطر إلى أسفل، من خلال الكائنات الحية الدقيقة التي تغطي مكونات المرشح.

يتم توفير ظروف هوائية جيدة لهذه الميكروبات؛ إما عن طريق ضخ كميات من الهواء إلى سرير الميكروبات، وإما أن تكون التهوية طبيعية عندما يكون المرشح أو السرير به فتحات للتهوية. أما ميكانيكية هدم المواد العضوية فتتلخص في ادمصاص المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري (أو أي مخلفات مائية أخرى) على الطبقة الميكروبية اللزجة، ومع انتشار الهواء خلال الطبقة الميكروبية اللزجة، يتوفر الأكسجين اللازم لعملية الأكسدة الكيموحيوية للمواد العضوية؛ لينتج عن ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون وماء ونواتج أكسدة أخرى.



شكل (12-4): مرشح التقطر Tricking filter

وكلما زاد سمك الطبقة الميكروبية اللزجة كلما كان من الصعب على الهواء أن يجرقها، وبالتالي فإنه من المحتمل أن تتكون طبقة داخلية غير هوائية.

ومرشحات التقطر الحديثة تتكون من بيئات شديدة النفاذية، والتي تلتصق أو تتعلق بها الميكروبات، والتي من خلالها يتم مرور المياه الملوثة، وعادة تتكون مواد المرشح من صخور (زلط)، تختلف في حجمها من 25 إلى 100 مم في القطر، وعمق هذه الصخور يتراوح من 0.9 إلى 2.5 متر، بمتوسط 1.8 متر. أما مرشحات التقطر التي تتكون من مواد بلاستيكية فهي اختراع أكثر حداثة؛ حيث يتم بناؤه على شكل مربع، أو أي شكل آخر، بعمق يتراوح من 9 إلى 12 متر، وفي كل الحالات يتم بناء هذه المرشحات بنظام صرف تحتها؛ حتى يمكن تجميع المياه التي تم معالجتها، وكذلك أي مواد صلبة حيوية. هذا الصرف التحتي مهم جداً، ليس فقط كنظام تجميع للمياه المعالجة، ولكن أيضاً كنظام يتم من خلاله تدوير الهواء اللازم لعملية الأكسدة. والمياه المعالجة يتم تجميعها في أحواض ترسيب؛ وذلك بغرض فصل المواد الصلبة، وفي الغالب يتم إعادة جزء من المياه التي تم معالجتها إلى مرشح التقطر؛ وذلك لتخفيف المياه الملوثة الخام.

4. 6. 2. الرصلات الحبرية الدوارة Rotating biological contactor (RBC):

هي أيضاً عملية معالجة حيوية، تستخدم للمخلفات المائية بعد مرحلة المعالجة الأولية. في هذه العملية يسمح للمخلفات المائية أن تتلامس مع بيئة حيوية؛ لإزالة الملوثات من المياه الملوثة قبل صرفها إلى الأنهار أو البحيرات أو المحيطات، ويتكون هذا النظام من مجموعة من الأسطوانات القريبة من بعضها البعض، والمثبتة في عمود دوار مثبت في المياه، بحيث يكون حوالي 40% من سطح الأسطوانات مغموراً تحت الماء، والباقي فوق سطح المياه (شكل 13-4).



شكل (13-4): الموصلات الحيوية الدوارة

يدور العمود بالأسطوانات ببطء، فيكون هناك فرصة لغمر هذه الأسطوانات في المياه، وفي الوقت نفسه، تكون هناك تهوية جيدة باستمرار، وتنمو الميكروبات على سطح هذه الأسطوانات، حتى تتكون طبقة من الأحياء الدقيقة محيطة بالأسطوانات، وهذه الأسطوانات مكونة - في الغالب - من مواد بلاستيكية، بحيث تدمص عليها المواد العضوية، وبذلك تتكون بيئة جيدة لنمو الميكروبات. ومع تزايد ادمصاص المواد العضوية العالقة في مياه المجاري يزداد نمو الميكروبات، حتى تتكون رقائق حيوية، أي طبقات حيوية يطلق عليها Biofilms، تلتصق بالأسطوانات، وتقوم بتمثيل المواد العضوية تمثيلاً كاملاً في ظل توفر التهوية الناتجة من دوران الأسطوانات؛ مما يسهل على الميكروبات القيام بأكسدة الملوثات العضوية أكسدة تامة، حيث تتحول إلى ثاني أكسيد كربون وماء ونواتج أكسدة أخرى غير ملوثة للبيئة.

4.7. الهضم اللا هوائي Anaerobic digestion:

الهضم اللا هوائي هي العملية التي عن طريقها تقوم الميكروبات بهدم المواد القابلة بيولوجياً للهدم تحت الظروف غير الهوائية، وتستعمل هذه العملية على نطاق واسع في

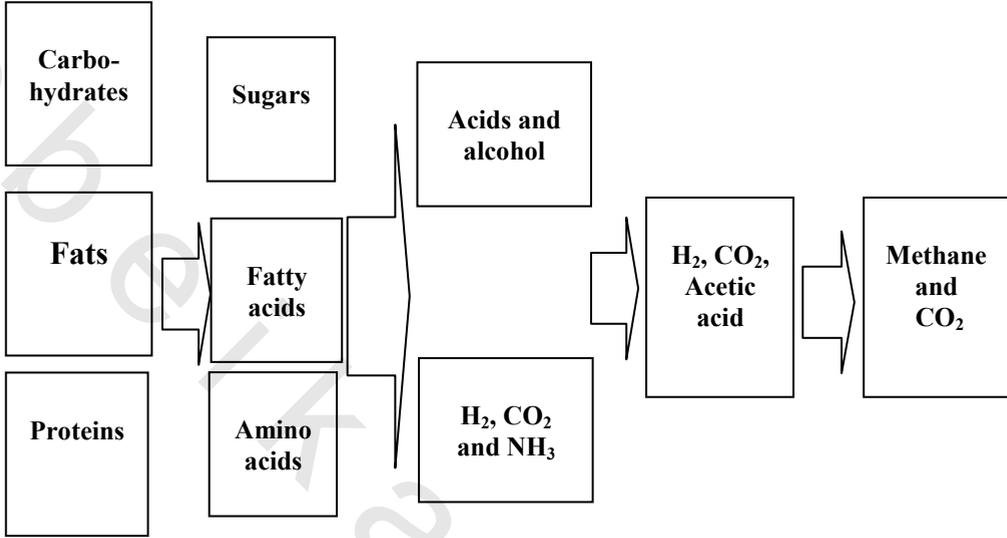
معالجة الوحل الراسب أثناء معالجة مياه المجاري، وكذلك المخلفات العضوية؛ لأن هذه العملية تقلل من حجم وكتلة المواد الداخلة في التفاعل، كما تقضي على الميكروبات المسببة للأمراض.

وعملية الهضم اللا هوائي تعتبر الآن مصدرًا متجددًا للطاقة؛ حيث ينتج عنها الميثان المختلط بنسبة من غاز ثاني أكسيد الكربون، والذي يطلق عليه الغاز الحيوي Biogas، والذي يستعمل بديلاً للطاقة البترولية أو الطاقة الكهربائية، علاوة على ذلك، فإن عملية الهضم اللا هوائي تمنع تصاعد الغازات الضارة إلى الغلاف الجوي، كما أن المواد الصلبة المتخلفة عن عملية الهضم تستخدم سمادًا عضويًا جيدًا.

تبدأ عملية الهضم اللا هوائي بقيام البكتيريا بتحليل المواد الداخلة إلى المفاعل؛ بغرض تكسير المواد غير الذائبة، مثل المواد الكربوهيدراتية، وجعلها ميسرة لبكتيريا أخرى. تقوم بكتيريا مرحلة الحموضة Acidogenic bacteria بعد ذلك بتحويل السكريات والأحماض الأمينية الناتجة من المرحلة الأولى إلى ثاني أكسيد الكربون، والهيدروجين، والأمونيا، والأحماض العضوية. تقوم بعد ذلك بكتيريا مرحلة حامض الخليك Acidogenic bacteria بتحويل هذه النواتج إلى حامض خليك، مع مزيد من الأمونيا والهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. ثم بعد ذلك تقوم بكتيريا مرحلة الميثان Methanogenic bacteria بتحويل هذه المكونات إلى غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون، ولكي تكون عملية إنتاج الغاز الحيوي مفهومة جيدًا من الناحية الميكروبيولوجية، فمن الأفضل أن نعطي فكرة تفصيلية عن مراحل إنتاجه، وعن بكتيريا الميثان كما يلي:

4. 7. 1. مراحل تكوير وإنتاج الغاز الحيوي Stages of biogas production:

أثناء عملية الهدم اللا هوائي تتحول المادة العضوية إلى غازي الميثان وثاني أكسيد الكربون (الغاز الحيوي) في خطوات متميزة عن بعضها البعض، عن طريق مجموعات مختلفة من الميكروبات، كما يتضح من شكل (14-4).



شكل (14-4): مراحل تكوين وإنتاج خليط من الميثان وثاني أكسيد الكربون (الغاز الحيوي)

كما يتضح من الشكل السابق يمكن تحديد خطوات إنتاج الغاز الحيوي في أربع مراحل متميزة كما يلي:

1. مرحلة التحلل Hydrolysis:

لكي تستطيع البكتيريا في المفاعلات غير الهوائية أن تمثل المواد العضوية الموجودة، فلا بد أن تقوم بتكسير هذه المواد إلى مكوناتها الأصغر في الوزن الجزيئي؛ حيث إن جدار الخلية الميكروبية لا يسمح بمرور الجزيئات كبيرة الوزن الجزيئي، ولذلك فلا بد للمواد الكربوهيدراتية - على سبيل المثال - أن تتحلل إلى سكريات، والدهون إلى أحماض دهنية والبروتينات إلى أحماض أمينية... إلخ وهذا ما يسمى بالتحلل، ولذلك فإن التحلل هو أول خطوة مهمة في إنتاج الغاز الحيوي، ويقوم بتنفيذ المرحلة الأولى البكتيريا غير ذاتية التغذية مثل: *Bacillus cereus*, *B. megaterium*, *Clostridium*, *Bacteriodes*, *Ruminococcus*، حيث يحدث تخمر للمركبات

العضوية المعقدة، مثل عديد السكريات والبروتينات واللييدات، وتكون نواتج التخمر لهذه المواد أحماضًا دهنية طويلة السلسلة والخلات والفورمات وحامض البروبيونيك والهيدروجين والأمونيا، وكحولات مختلفة، وأحماض أمينية، ومركبات أروماتية. بالنسبة لحامض الخليك والهيدروجين الناتجين من المرحلة الأولى، فيمكن لبكتيريا الميثان تحويلهما مباشرة إلى غاز الميثان، أي أن هاتين المادتين تدخلان مباشرة إلى المرحلة أو الخطوة الرابعة الموضحة أسفله.

2. مرحلة إنتاج الأحماض Acid genesis:

في هذه الخطوة، فإن المنتجات الأخرى (غير حامض الخليك والهيدروجين) - مثل الأحماض الدهنية الطيارة ذات السلاسل الطويلة بدرجة أطول من حامض الخليك - يجب أن تتحول إلى أحماض قصيرة السلسلة، مثل الأستات والفورمات، وتقوم بتنفيذ هذه المرحلة مجموعة من البكتيريا تسمى عادة Syntrophic bacteria؛ حيث تقوم بهدم الأحماض الدهنية طويلة السلسلة وحامض البروبيونيك والكحولات المختلفة، وبعض الأحماض الأمينية والمركبات الأروماتية إلى المواد الأولية لإنتاج غاز الميثان، وهي الهيدروجين والخلات والفورمات، ونظرًا لأن هناك كثيرًا من الميكروبات يمكنها أن تهدم هذه المواد، دون أن تكون نواتج الهدم هي المواد الأولية لإنتاج غاز الميثان - فإن البكتيريا التي تقوم بتفاعلات المرحلة الثانية تسمى Syntrophic metabolizes.

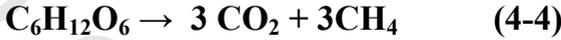
3. مرحلة إنتاج حامض الخليك Acetogenesis:

في هذه المرحلة تتحول معظم نواتج المرحلة الثانية إلى حامض خليك، بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين، وهي أهم المواد التي تتحول إلى ميثان في المرحلة الرابعة.

4. مرحلة إنتاج غاز الميثان Methanogenesis:

هذه المرحلة هي الأخيرة، حيث تقوم بها مجموعات كبيرة ومتنوعة من بكتيريا الميثان، حيث توجد مجموعة تستخدم الهيدروجين والفورمات الناتجين من المرحلة الثانية لاختزال ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان، وتسمى هذه المجموعة

hydrogenotrophic methanogens، وتوجد مجموعة أخرى تمثل الخلات إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون، وتسمى هذه المجموعة acetotrophic methanogens، وهذه المرحلة حساسة جداً لانخفاض درجة الـ pH، حيث تحدث عند درجة pH تتراوح من 6.5 إلى 8، والمعادلة النهائية التي تعبر عن إنتاج الغاز الحيوي هي:



هذا العرض السريع لعملية الهدم اللاهوائي للمادة العضوية التي توجد في المياه الملوثة، يوضح أن مجموعات البكتيريا هي التي تقوم بأنظمة تمثيلية متعددة ومختلفة، وتتداخل فيما بينها لكي يتم الهدم. وهذا على عكس الأنظمة الأخرى المتبعة في معالجة المياه الملوثة، سواء أكانت تحت ظروف هوائية أو ظروف عكس تأزت؛ حيث يمكن ليكروب واحد أن يهدم المادة العضوية تماماً إذا توفر مستقبل الإلكترونات (الأكسجين أو النترات) بكمية كافية.

ولكل ما تقدم نقول إن أصعب ما في عملية المعالجة اللاهوائية هو المحافظة على التوازن المناسب بين مختلف المجاميع البكتيرية، بحيث يكون معدل إنتاج المواد الوسطية التي تعتبر مفتاحاً لإنتاج الميثان مساوياً لمعدل استهلاكها، بحيث لا تتراكم في الوسط، وهذا يتطلب خبرة ودراية تامة بمسارات التفاعل وتصميم المفاعلات.

2.7.4. بكتيريا الميثان (بكتيريا المرحلة الرابعة) Methane bacteria:

بكتيريا الميثان هي مجموعة مختلفة من الميكروبات جميعها تكتسب الطاقة اللازمة لنموها من التفاعلات التي تؤدي إلى إنتاج الميثان، وهي بكتيريا متحركة وغير متجذرة وسالبة لتفاعل جرام. وبكتيريا الميثان كمجموعة فسيولوجية مقدرتها التأكسدية محدودة، لا تستطيع أن تمثل السكريات البسيطة أو المعقدة كمصدر للكربون، ويقتصر نشاطها الحيوي على الأحماض الدهنية والكحولات الأليفاتية وغازات الهيدروجين وأول أكسيد الكربون والخلات والفورمات، وقليل من المركبات العضوية. وبعض الأنواع من بكتيريا الميثان تبدي تخصصاً شديداً بالنسبة للمواد الأولية المستخدمة، وهذا التخصص جعل بكتيريا الميثان

تعتمد على ميكروبات أخرى لكي تجهز لها مواردها الأولية. وبعض بكتيريا الميثان - مثل: - *Methanobacterium omelinskii*, *M. formicicum*, *M. thermoautotrophicum* لها القدرة على النمو ذاتي التغذية، أي تستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون، وبدون بكتيريا الميثان لا يحدث هدم كامل للمادة العضوية تحت الظروف غير الهوائية؛ حيث ستتوقف عملية الهدم عند نواتج مرحلة التخمير غير الغازية.

وهنا لا بد للقارئ أن يعلم أن أهم المواد الأولية بالنسبة لبكتيريا الميثان هي الهيدروجين؛ حيث إن مقدرة بكتيريا الميثان على استخدامه كمادة أولية، تلعب دوراً أساسياً في تنظيم تفاعلات مرحلة التخمر والتحكم في نوع نواتجها، كما تلعب دوراً أساسياً أيضاً في تهيئة الظروف البيئية المناسبة لهدم الأحماض الدهنية والمركبات الأروماتية. وعلى أية حال، فإن بكتيريا الميثان لها مقدرة عالية على استخدام الهيدروجين، حتى أن المخمرات غير الهوائية التي تدار بطريقة صحيحة ينخفض فيها تركيز الهيدروجين بدرجة كبيرة جداً بالنسبة للفورمات كمادة أولية، فهو ناتج شائع لمرحلة التخمر، وتستطيع كثير من بكتيريا الميثان أن تستخدمه كمادة أولية، ولكن وجد أن هذه الميكروبات تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً في مقدرتها على تمثيل الفورمات؛ حيث إن أقدر هذه البكتيريا على تمثيل الفورمات هي *Methanobacterium formicicum*.

أما بالنسبة للخلايا فهي منتج رئيس في مرحلة التخمر، وكمياً تعتبر الخلايا أهم مادة أولية في إنتاج الميثان؛ فقد وجد أن 60-90% من الميثان المنتج في المخمرات غير الهوائية يتكون من مجموعة الميثايل التي توجد على الخلايا، وتحت ظروف الحرارة المرتفعة أو عند زيادة تركيز الأمونيوم، فيبدو أن طريق تمثيل الخلايا يبدأ بأكسدة مجموعة الميثايل. وتنتمي بكتيريا الميثان التي تستخدم الخلايا إلى الأجناس *Methanosarcina*, *Methanosaeta*، ولكن ثبت أن الجنس *Methanosarcina* له معدل نمو أسرع، ومقدرة أعلى على استخدام الخلايا، بالمقارنة بالجنس *Methanosaeta*، كما ثبت أن بكتيريا *Methanosarcina* تستطيع أيضاً أن تستخدم الميثانول والميثايل أمين كمواد أولية لإنتاج الميثان. إن سير تفاعل هذه

العملية في الاتجاه الصحيح يتطلب الحفاظ على الظروف اللا هوائية؛ ولذلك تستخدم مفاعلات محكمة الإغلاق، بحيث يصعب تسرب الهواء إليها، كذلك فإن الحفاظ على درجة حرارة الهضم، ودرجة الـ pH ومعدل دخول المواد الخام إلى المفاعل، يعتبر من العوامل المهمة جدًا لهدم المواد، حتى أن أي خلل في أي عامل منها قد يؤدي إلى فشل العملية بأكملها.

3.7.4. تنظيم تفاعلات إنتاج الميثان Regulation of methane production reactions:

لا بد أن يكون هناك توازن شديد بين مراحل إنتاج الميثان؛ حتى تتم العملية بنجاح، وكما ذكرنا فإن الخطوة الأولى في عملية الإنتاج هي تحلل وتخمر المواد العضوية معقدة التركيب، وفي كثير من المخلفات - خصوصًا تلك التي تحتوي على مواد سليولوزية - فإن خطوة التحلل في حد ذاتها قد تكون مُعيقة لبعض الوقت لعملية الإنتاج؛ ولذلك يجب الإلمام بالظروف البيئية التي تسرع من تحلل المواد العضوية المعقدة. وعمومًا فإن عديدات السكر مثل السليولوز والهيميسليولوز والبكتين والنشا، تتحلل إلى مواد ذات وزن جزيئي أقل، مثل السكريات التي تتخمر معطية حامض بيروفيك، ومن حامض البيروفيك تنتج مواد مختلفة مثل الأحماض العضوية والكحولات التي تصبح مواد أولية لإنتاج الميثان. كما أن البروتينات تتحلل أيضًا إلى بيتيدات وأحماض أمينية، التي تتخمر إلى مواد أولية لإنتاج الميثان، مثل isovalerate ، isobutyrate، أما الدهون فتتحلل إلى أحماض دهنية طويلة السلسلة، وهي مواد أولية لإنتاج الميثان مباشرة، وليست مادة أولية لبكتيريا التخمر، كما تتحلل الدهون أيضًا إلى جليسول، وبعض السكريات التي يجب أن تتخمر أولاً لتعطي مواد أولية لإنتاج الميثان. ومن أهم العوامل التي تلعب دورًا أساسيًا في تنظيم كمية ونوع المواد التي تنتج في مرحلة التخمر، هو تركيز الهيدروجين؛ ففي المخمرات التي يتم تشغيلها بطريقة جيدة وصحيحة - حيث يكون تركيز الهيدروجين منخفضًا - فإن بكتيريا التخمر في مسار تفاعلها تعيد أكسدة مرافقاتها الإنزيمية $NADH_2$ عن طريق نزع الهيدروجين، وهذا يسمح لهذه البكتيريا أن تمثل حامض البيروفيك

غالبًا إلى خلاات وثاني أكسيد كربون وهيدروجين، وهي أهم المواد الأولية لإنتاج الميثان. أما إذا كانت المخمرات لا يتم تشغيلها بطريقة صحيحة، فيرتفع فيها تركيز الهيدروجين، وتجبر بكتيريا التخمر على إعادة أكسدة مرافقاتها الإنزيمية $NADH_2$ ، عن طريق إنتاج أحماض البروبيونيك والبيوتيريك واللاكتيك، وليس عن طريق إنتاج الخلات، وهي المادة الأولية المفضلة لدى بكتيريا الميثان. ومن العوامل التي تسبب ارتفاع تركيز الهيدروجين في الوسط، وتعرقل نجاح عملية إنتاج الميثان، هو الارتفاع الفجائي في تركيز المادة العضوية، أي زيادة معدل إضافة المياه الملوثة إلى المخمرات غير الهوائية؛ ولذلك يجب أن يكون معدل الإضافة محسوبًا بدقة شديدة، بحيث لا يزيد تركيز الهيدروجين في المخمر.

وعندما يحدث تثبيط لبكتيريا الميثان يزداد أيضًا ارتفاع تركيز الهيدروجين في الوسط؛ ولذلك يجب تجنب جميع العوامل التي تثبط نمو بكتيريا الميثان، مثل وجود المعادن الثقيلة بتركيزات أكثر من اللازم، وتجدر الإشارة إلى أن الأحماض التي تنتج نتيجة زيادة تركيز الهيدروجين في الوسط تؤدي إلى انخفاض رقم الـ pH؛ مما يؤدي إلى زيادة نمو البكتيريا المحبة للحموضة؛ ولذلك تسود بكتيريا حامض البيوتيريك، ويزداد هذا الحامض زيادة كبيرة، وهذا أيضًا يعرقل نجاح عملية إنتاج الميثان.

وكما سبق توضيحه، فإن بكتيريا الميثان السائدة تختلف باختلاف المواد الأولية؛ ولذلك فقد تتوفر الخلات ولا توجد بكتيريا الميثان المتخصصة لاستخدام هذه المادة؛ مما يؤدي إلى تراكمها في المخمر، وإذا تراكمت الخلات تتأثر عملية إنتاج الميثان؛ ولذلك لا بد من التأكد من وجود بكتيريا الميثان المستعملة للخلات بالذات؛ لأنها هي المادة الأولية الرئيسة لإنتاج الميثان. ومن العوامل البيئية المهمة أيضًا - التي يجب الإلمام بها، والتي تؤثر على معدل النمو وعلى النشاط الحيوي لبكتيريا الميثان - هي درجة الحرارة، وقد وجد أن هناك مدى واسعًا جدًا من درجة الحرارة بالنسبة لبكتيريا الميثان؛ حيث إنها قد تنشط في أراضي القطب الشمالي عند درجة 6 مئوية، كما تنشط أيضًا عند درجة حرارة أعلى من 100 درجة مئوية.

وبالنسبة لبكتيريا الميثان التي تستخدم الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون كمواد أولية لإنتاج الميثان، فلا تتأثر إطلاقاً بارتفاع درجة الحرارة؛ حيث وجد أن درجة الحرارة المثلى للبكتيريا *Methanopyrus kandleri* هي 100 درجة مئوية؛ بل إن هذه البكتيريا تستطيع أن تنمو عند 110 درجة مئوية، كما توجد عدة أنواع من البكتيريا المستخدمة للهيدروجين ذات درجة حرارة مثلى تتراوح من 83-85 درجة مئوية. وبالنسبة لبكتيريا الميثان التي تنتمي لمجموعة *Acetotrophic*، فلا يوجد منها أي نوع يمكن أن ينشط عند درجة حرارة أعلى من 70 درجة مئوية، أما بكتيريا الميثان المحبة للحرارة المرتفعة، فمنها بكتيريا الجنس *Methanosaeta*، التي تنمو على درجة حرارة مثلى 60-65 درجة مئوية، ومنها البكتيريا *Methanosaeta sp*، ودرجة حرارتها المثلى 50-58 درجة مئوية، وقد وصف نوع واحد من بكتيريا الميثان محب للحرارة المنخفضة، أي حوالي 15 درجة مئوية، وهو النوع *Methanogenium frigidum*. وبالإضافة لما سبق، توجد أنواع كثيرة من بكتيريا الميثان المحبة للحرارة المتوسطة، ويتراوح مداها من 30-35 درجة مئوية، وهكذا يوجد نظامان لإنتاج الميثان من حيث درجة الحرارة، وهما نظام استخدام الكائنات المحبة للحرارة المرتفعة، ونظام استخدام الكائنات المحبة للحرارة المتوسطة. أما بالنسبة لتأثير درجة الـ pH على تنظيم سير التفاعل، فإن الغالبية العظمى من بكتيريا الميثان تفضل درجة pH قريبة من التعادل، على الرغم من أن بعضها تفضل درجة pH منخفضة، تصل إلى 4.

4.7.4. التطبيقات Applications:

تستخدم عملية الهضم اللا هوائي بشكل شائع في معالجة رواسب معالجة مياه المجاري، وهي عملية بسيطة إذا ما تمت بعناية؛ حيث تؤدي إلى تخفيض هائل في كمية المادة العضوية، وتقريباً كل المواد العضوية يمكن هدمها عن طريق الهضم أو التحلل اللا هوائي. وتشمل هذه المواد القابلة للهدم الحيوي مخلفات مثل الورق والحشائش، ومخلفات المواد الغذائية، ومخلفات المجاري، ومخلفات الحيوان، ويستثنى من ذلك فقط المواد الخشبية؛ حيث إن اللجنين لا يتحلل تحت الظروف غير الهوائية.

في البلاد النامية، فإن مخلفات المنازل البسيطة ومخلفات المزارع يمكن أن يتم هضمها لا هوائياً، وينتج عن ذلك غاز الميثان، الذي يمكن أن يستخدم مصدراً جيداً للطاقة، فيستخدم - مثلاً - في الطهي وفي الإضاءة. ومنذ سنة 1975 توسعت الصين والهند في بناء وحدات صغيرة لإنتاج الغاز الحيوي، واستخدامه كمصدر للطاقة في المناطق الريفية للطهي والإضاءة، وتزايد الضغوط الخاصة بقوانين البيئة أدى إلى تزايد عمليات الهدم اللا هوائي لرواسب معالجة مياه المجاري، وبصفة عامة، فإن اتباع تكنولوجيا الهضم اللا هوائي يمكن أن يحافظ على البيئة، من خلال عدد من النقاط كما يلي:

- استبدال مصادر الطاقة الملوثة للبيئة بالغاز الحيوي.
- منع تصاعد غاز الميثان إلى الغلاف الجوي.
- استبدال الأسمدة المصنعة كيميائياً بالأسمدة العضوية الناتجة من اتباع هذه العملية.
- تقليل استخدام الطاقة الكهربائية عالية التكاليف.

إن الميثان والقوى الناتجة من الهضم اللا هوائي يمكن أن تستخدم بديلاً للوقود الناتج عن احتراق الزيوت، وبذلك يتم المحافظة على طبقة الأوزون من الدمار، هذا يعود إلى الحقيقة التي مؤداها أن الكربون في المواد التي تم هدمها حيويًا لإنتاج غاز الميثان هو جزء من دورة الكربون الطبيعية. والكربون المنطلق إلى الغلاف الجوي نتيجة استهلاك الغاز الحيوي أو غاز الميثان، تتم إزالته بواسطة النباتات لكي تنمو، وذلك عن طريق عملية التمثيل الضوئي، فإذا استمر الحال على هذا النحو، فإننا نحصل على نظام بيئي متعادل الكربون. هذا بعكس حرق الكربون الموجود في الزيوت التي كانت مدفونة في الأرض ربما لملايين السنين، والذي يؤدي استهلاكه إلى زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ومخلفات الهضم اللا هوائي السائلة تستخدم سمادًا للتربة، وهو غني بالعناصر الغذائية، وبالتالي يمكن أن تستخدم بديلاً للأسمدة المصنعة كيميائياً، كما أن المخلفات الصلبة تستخدم محسّنة للتربة الزراعية؛ ولذلك فإن هناك بلاد تسوق فيها مخلفات إنتاج الغاز الحيوي بالأهمية نفسها التي يسوق فيها الغاز الحيوي.

4. 7. 5. تغذية المفاعل Feed stock :

إن أكثر العوامل أهمية في نظم الهدم اللا هوائي، هي تغذية المفاعل بالمواد الأولية، ومفاعلات الهدم اللا هوائي يمكنها أن تتقبل أي مواد عضوية قابلة للهدم، إلا أنه إذا كان الغرض من عملية الهدم اللا هوائي هو إنتاج الغاز الحيوي، فإن مستوى المواد القابلة للتعض سيكون هو مفتاح نجاح العملية، فكلما زاد مستوى المواد القابلة للتعض في المواد الداخلة للمفاعل، كلما زاد إنتاج الغاز الحيوي، وعلى ذلك فإن تركيب المواد الأولية يعتبر عاملاً رئيساً في عملية إنتاج الغاز الحيوي، وهناك عدد من التقنيات أصبحت ميسرة لتقدير تركيب وخصائص المواد الأولية الداخلة إلى المفاعل، ويمكن للميكروبات غير الهوائية أن تهدم المواد العضوية بدرجات مختلفة من النجاح. بالنسبة للمواد الجاهزة مثل المواد الكربوهيدراتية قصيرة السلسلة، فإنها تهدم بسهولة، وفي مدة زمنية قصيرة، أما المواد طويلة السلسلة أو عديدات التسكر - مثل السليلوز والهيميلسليلوز - فإنها تأخذ وقتاً أطول حتى يتم هدمها، كذلك - وكما سبق التنويه - فإن الميكروبات غير الهوائية لا يمكنها أن تهدم بعض جزئيات الخشب ذات السلسلة الطويلة مثل اللجنين، وقد تم تصميم المفاعلات غير الهوائية أساساً من أجل استخدام رواسب مياه المجاري ومخلفات الحيوانات.

الاعتبار الثاني الذي يجب مراعاته هو محتوى المواد الداخلة إلى المفاعل من الرطوبة، فكلما زاد محتوى المواد الأولية من الرطوبة كلما كانت مناسبة أكثر لإنتاج الغاز الحيوي، وفي الوقت نفسه كلما كانت أقل تكلفة؛ حيث لن تكون هناك حاجة لاستخدام مقلبات ميكانيكية، كما أن المواد الرطبة ستكون مناسبة للمضخات المستخدمة في المفاعل، كذلك فإن محتوى المواد الأولية من الرطوبة سوف يحدد الطريقة التي سيتم بها الهدم غير الهوائي؛ فعندما تكون المواد الأولية صلبة فقد يكون هدمها لا هوائياً، عن طريق تحويلها إلى كومبست أكثر فائدة من استخدامها لإنتاج الغاز الحيوي.

هناك اعتبار ثالث أيضاً يجب مراعاته في تغذية المفاعل، ألا وهو نسبة الكربون إلى النيتروجين في المواد العضوية الداخلة، هذه النسبة هي مفتاح التوازن الميكروبي داخل

المفاعل؛ حتى لا تسود مجموعة ميكروبية على حساب مجموعة أخرى، وقد وجد أن النسبة النموذجية بين الكربون والنيتروجين لإنتاج الغاز الحيوي يجب أن تكون حوالي 20-30.

الاعتبار الرابع في تغذية المفاعل الذي يجب مراعاته هو مدى تلوث المواد الأولية بمواد غريبة، فمثلاً إذا كانت المواد الأولية تحتوي على ملوثات فيزيائية - مثل البلاستيك والزجاج أو المعادن - فإنها تحتاج إلى معالجة أولية قبل استخدامها لإنتاج الغاز الحيوي، وإذا لم يتم إزالة هذه المواد، فإنها تسبب مشاكل ميكانيكية داخل المفاعل، وبالتالي لن يؤدي وظيفته بكفاءة عالية؛ ولهذا فإن تصميم محطات معالجة المجاري لم يعد قاصراً على الناحية الحيوية فقط، ولكن تراعى فيه أيضاً الناحية الميكانيكية، أي المعالجة الميكانيكية؛ ولذلك لم يعد يطلق على المحطة محطة المعالجة البيولوجية، ولكن يطلق عليها محطة المعالجة البيولوجية الميكانيكية Mechanical Biological Treatment Plant (شكل 15-4)، وبالطبع فإن المواد الأولية المستخدمة في تغذية المفاعل كلما احتاجت معالجة أولية، كلما زاد ذلك من تكاليف العملية وقلل من كفاءتها.



شكل (15-4): مفاعلات حديثة تستخدم للمعالجة البيولوجية اللاهوائية لرواسب مياه المجاري

4. 7. 6. المنتجات Products :

توجد ثلاثة منتجات رئيسة لعملية الهدم اللاهوائي، وهي الغاز الحيوي، وبقايا الهدم، والماء. والغاز الحيوي يتكون - بصفة رئيسة - من الميثان وثاني أكسيد الكربون مع كميات صغيرة من الهيدروجين وآثار من كبريتيد الهيدروجين (جدول 1-4) ومعظم الغاز الحيوي ينتج في منتصف عملية الهدم بعد أن تكون أعداد البكتيريا قد زادت إلى الحد الذي يسمح لها بإنتاج كميات كبيرة من الغاز. ويقل إنتاج الغاز الحيوي عندما يقل تركيز المواد الأولية المناسبة لإنتاجه. ويتخزن الغاز الحيوي أعلى المفاعل في بالون غير قابل للاشتعال، أو يستخلص ويخزن في خزانات خاصة (شكل 16-4) لحين استعماله.

جدول (1-4): تركيب الغاز الحيوي

المكون	(%)
الميثان، CH ₄	50-70
ثاني أكسيد الكربون، CO ₂	25-50
النيتروجين، N ₂	0-10
الهيدروجين، H ₂	0-1
كبريتيد الهيدروجين، H ₂ S	0-3
الأكسجين، O ₂	0-2



شكل (16-4): خزان خاص لتخزين الغاز الحيوي لحين استخدامه

والميثان في الغاز الحيوي يمكن أن يستخدم مباشرة كوقود حراري، كما يمكن أن يستخدم لتوليد الكهرباء عن طريق مولدات تعمل بغاز الميثان، وفي كثير من المزارع التي تصمم فيها وحدات لهدم مخلفات الحيوانات والدواجن لا هوائياً لإنتاج غاز الميثان، تستخدم المولدات التي تعمل بالميثان لإنتاج كهرباء لإنارة وتشغيل المزرعة، كما أن الزائد عن حاجة المزرعة من الكهرباء يتم بيعه، وهكذا فإن الهدم اللا هوائي للمخلفات يعتبر مصدراً متجدداً من مصادر الطاقة الكهربائية.

وقد يتطلب الغاز الحيوي عملية تركيز قبل استخدامه كوقود؛ وذلك بسبب احتوائه على غاز كبريتيد الهيدروجين، الذي يتكون نتيجة وجود الكبريتات في المواد الداخلة للتفاعل، وهو غاز سام؛ ولذلك فإن قوانين البيئة في البلاد المتقدمة تمنع استخدام الغاز الحيوي المحتوي على مستويات من كبريتيد الهيدروجين أعلى من المستوى المقبول والمسموح به بيئياً، وتلزم الجهات المعنية بتنظيفه من هذا الغاز أو تكويره. وكبديل لعملية التكوير يضاف كلوريد الحديد إلى المفاعل؛ بغرض منع تكون كبريتيد الهيدروجين.

والمنتج الرئيس الثاني للهدم اللا هوائي هو المخلفات الصلبة، وهي عبارة عن المواد التي تتركها الميكروبات بدون تحليل كامل، كما يدخل فيها أيضًا كميات هائلة من البكتيريا الميتة، والتي تحللت إلى عناصر معدنية. وهذه المخلفات قد تكون أليفاً صلبة أو سوائل غنية بالعناصر الغذائية، أو وحلاً راسباً يجمع بين الألياف والسائل. ويمكن الحصول على هذه المخلفات معاً، كما يمكن الحصول عليها منفصلة، وذلك بواسطة تقنيات مختلفة.

والمخلفات الصلبة التي تتخلف عن مرحلة تكوين الأحماض عبارة عن مواد عضوية ثابتة التركيب، تحتوي على كميات كبيرة من اللجنين والسليلوز، كما تحتوي أيضاً على أنواع مختلفة من العناصر المعدنية الناتجة من البكتيريا الميتة، وقد تحتوي أيضاً على كميات صغيرة من البلاستيك، وهذه المواد قد تستخدم كسماد عضوي صناعي (كومبست)، وقد تستخدم في تصنيع بعض مواد البناء.

أما السوائل التي تتخلف عن مرحلة إنتاج غاز الميثان فهي سوائل غنية بالعناصر الغذائية، ويمكن أن تستخدم كسماد جيد، وهذا يعتمد على جودة هذه السوائل، حيث يجب التأكد من أن مستويات المواد السامة بها تقع في المدى المقبول والمسموح به بيئياً. وعلى أية حال، فإن تركيز المواد السامة في هذا المخلف، يعتمد على أصل المواد الأولية الداخلة إلى المفاعل، ففي الغالب فإن الغاز الحيوي المنتج من مخلفات المزرعة يكون نظيفاً، أما الغاز الحيوي المنتج من المخلفات الصناعية فيحتوي على تركيز عالٍ من المواد السامة، ويجب معالجته.

وقد تحتوي المخلفات على نسب عالية من اللجنين الذي لم يمكن للبكتيريا أن تهدمه، كما قد تحتوي على نسب من الأمونيا، وهي ضارة لنمو النباتات إذا ما أضيفت مباشرة إلى التربة، وفي هذه الحالة يجب إنضاج المخلفات قبل استخدامها في التربة الزراعية. ويتم الإنضاج عن طريق استخدامها كمواد خام للكومبست، ففي أثناء إنتاج الكومبست من هذه المواد، فإن هناك ميكروبات كثيرة - أهمها الفطريات - تقوم بتحليل اللجنين، أما الأمونيا فإنها تتحول إلى نترات، وبذلك فإن الإنضاج يجعل هذه المواد سماداً جيداً لنمو النباتات.

أما المنتج الأخير للهدم اللا هوائي فهو الماء، هذا الماء يأتي من الرطوبة الموجودة في رواسب مياه المجاري الأصلية التي تم معالجتها - كما يأتي - أيضا من التفاعلات الميكروبية داخل المفاعل، وهذا الماء الخارج من عملية الهدم اللا هوائي يحتوي على مستويات منخفضة من الـ BOD والـ COD، وهي مقاييس لتركيز المادة العضوية كما سبق توضيحها، وقد يحتاج هذا الماء إلى معالجة بسيطة قبل صرفه إلى البيئة، وهذه المعالجة عبارة عن إمرار تيار من الهواء في هذا الماء، حتى تتم أكسدة ما تبقى من مادة عضوية فيه.

8.4. عمليات حيوية أخرى شائعة الاستخدام Other biological processes commonly used:

4. 8. 1. عكس التآزت Denitrification :

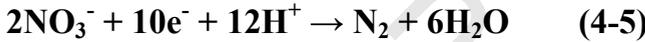
هي عملية اختزال النترات والنترت، وهي الصور المؤكسدة للنيتروجين، والصالحة للاستخدام بواسطة عدة مجموعات بكتيرية إلى غاز النيتروجين، الذي ينصرف إلى الغلاف الجوي، ويمكن اعتبار هذه العملية عكس عملية تثبيت النيتروجين، التي يتحول فيها غاز النيتروجين إلى صور حيوية قابلة للاستخدام، وقد استخدمت هذه العملية لوقت طويل في معالجة مياه المجاري المنزلية. أما بالنسبة لتطبيق هذا النظام على المياه الملوثة للمصانع، فإن الأمر يبدو معقداً؛ وذلك لأن المياه الملوثة للمصانع تختلف خصائصها يوماً عن يوم، فالمياه الملوثة لمصانع المضادات الحيوية تحتوي على بقايا من المضادات الحيوية، وعلى تركيز عالٍ من الأمونيا، هذه الخصائص لا تناسب بكتيريا عكس التآزت، وقد تؤدي إلى موتها.

وعملية عكس التآزت تقوم بها بكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria، وهي بكتيريا سالبة لجرام مثل Alcaligenes ، Pseudomonas ، Thiobacillus ، Peacocks، وبكتيريا موجبة لجرام مثل جنس Bacillus، وقليل من البكتيريا المتحملة للتركيزات العالية من الأملاح مثل Haloferax denitrificans. وهي كلها بكتيريا لها القدرة على تحليل البروتين، وعلى أي حال فإن التآزت وعكس التآزت هما أجزاء مهمة من دورة النيتروجين، وبكتيريا عكس

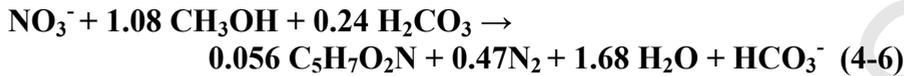
التأزت شائعة في الطبيعة، ويمكن عزلها وزراعتها بسهولة. وقد كان - وما يزال - هناك اهتمام كبير بإزالة النترات من المياه الملوثة باستخدام عملية عكس التأزت، على الرغم من أنها عملية بطيئة نسبياً بالنسبة لمعالجة المياه الملوثة الصناعية، التي تحتوي على تركيز عالٍ من النترات.

وتتم عملية عكس التأزت تحت ظروف خاصة في البيئة، وبصفة عامة، تتم هذه العملية عندما يستهلك الأوكسجين، وتتحول البكتيريا إلى استخدام النترات كمصدر للأوكسجين الذي تستخدمه في هدم المادة العضوية، ولأن الغلاف الجوي المحيط بنا غني بالأوكسجين، فإن عملية عكس التأزت تحدث فقط في بعض أنواع التربة الغدقة، وفي الماء الأرضي، وفي المزارع المائية، وعملية عكس التأزت تتم في الخطوات المتتالية الآتية:

نترات ← نترت ← أكسيد النترتريك ← أكسيد النيتروز ← غاز النيتروجين
أو يعبر عنها بالتفاعلات الآتية:



وتستخدم المادة العضوية - كما سبق ذكره - مصدرًا للكربون والطاقة لهذه البكتيريا، وقد تكون المادة العضوية سائلة، وهو الشائع إضافتها، مثل الميثانول والإيثانول وحامض الخليك، وقد وجد الباحثون أن الاحتياجات النظرية من الميثانول لكي تتم عملية عكس التأزت بنجاح هي 2.47 مجم من CH_3OH لكل مجم من NO_3^- N، كما يتضح من المعادلة رقم (4-6).



4. 8. 2. التأزت وعكس التأزت المتزامنين Simultaneous nitrification and denitrification (SND):

لقد كان من المعروف أن عمليتي التأزت وعكس التأزت تتمان بشكل منفصل، أي كل منهما يتم في مفاعل منفصل عن الآخر، إلى أن تم تطوير طريقة تتم فيها عمليتا

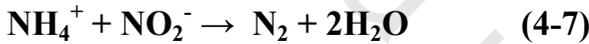
التأزت وعكس التأزت في مفاعل واحد تحت ظروف قياسية، ويطلق على هذه العملية التأزت وعكس التأزت المتزامن. تبدأ العملية بتأزت جزئي للأمونيا إلى نتريت، ثم بشكل مباشر تتحول النتريت إلى غاز النيتروجين، ونجاح هذه العملية يؤدي إلى اختزال حجم المفاعل، ويؤدي إلى تقليل التكاليف اللازمة لفصل النظام الهوائي عن النظام غير الهوائي. ومعظم المفاعلات التي تتم فيها عمليتا التأزت وعكس التأزت في الوقت نفسه هي من المفاعلات التي يطلق عليها مفاعلات الفيلم الحيوي Bio- film reactors؛ حيث يتم إدخال شبكة من المواسير البلاستيك، أو أي مادة خاملة داخل المفاعل، وتتغذى الكائنات الحية على المواد العضوية، وتنمو نموًا غزيرًا، ومع هذا النمو ترسو الكائنات الحية على شبكة البلاستيك، وتكون فيلمًا (شكل 17-4) يختلف سمكه حسب نوع المخلفات التي يتم معالجتها. ويسمح المفاعل بحدوث تأزت هوائي ثم عكس تأزت لا هوائي، وقد وجد العلماء أن تطبيق هذا النظام يؤدي إلى إزالة جيدة للنيتروجين، وإلى خفض كمية المادة العضوية، حيث تستهلك في عملية التأزت. كما وجد أن هذه العملية مهمة أيضًا في الحفاظ على رقم pH متعادل في المفاعل، بدون إضافة حامض أو قلوي، وهذا مهم؛ لأن رقم الـ pH الأمثل بالنسبة لعملية التأزت هو من 7.5 إلى 8.5، وخلال عملية التأزت تستهلك القلويات، ولكن خلال عملية عكس التأزت تنتج القلويات.



شكل (17-4): فيلم من الكائنات الدقيقة داخل المفاعل

4. 8. 3. عملية أكسدة الأمونيا الهوائية Anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process:

يطلق على هذه العملية (Anammox)، ومنذ اكتشاف هذه العملية حديثاً وهي تلقى اهتماماً كبيراً؛ حيث إنها عملية بيولوجية ذات كفاءة عالية في إزالة النيتروجين. في هذه العملية تتأكسد الأمونيا إلى غاز النيتروجين، وتستخدم النتريت كمستقبل للإلكترون، كما يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون للنمو، وبالمقارنة بعمليات التآزت - عكس التآزت، فإن هذه العملية الذاتية التغذية لا تحتاج - إطلاقاً - إلى إضافة مصدر للكربون (الميثانول مثلاً)، وتحتاج إلى كمية أقل من الأكسجين (50% أقل)، وبالتالي فهي عملية أقل تكلفة، ويمكن التعبير عنها بالمعادلة رقم (4-7).

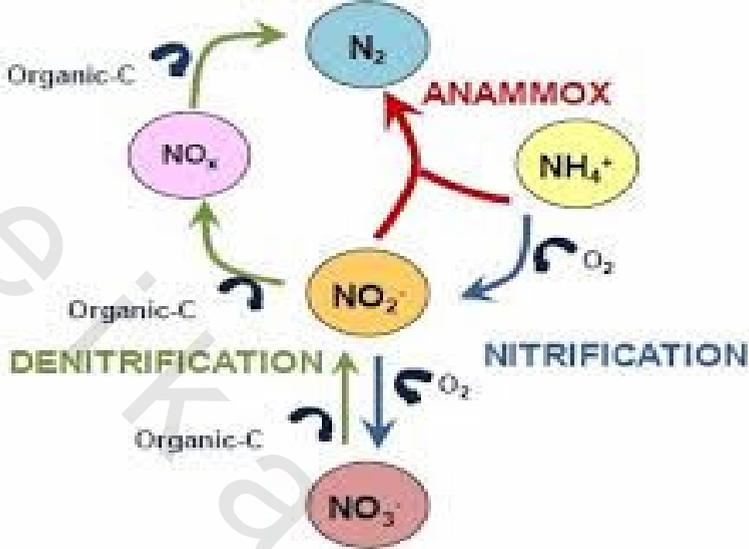


وعملية الأناموكس تحتاج إلى أمونيا ونتريت بنسبة تقريباً 1:1، وبالنسبة لبعض المخلفات فإن هذه النسبة يمكن الوصول إليها بسهولة، مثل سوائيل هضم الوحل، وعندما تتحول نصف كمية الأمونيا الموجودة تقل القلويات، ويحدث انخفاض شديد في رقم الـ pH، وهذا يمنع حدوث مزيد من التآزت، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة رقم (4-8).



ومسار التمثيل الممكن في هذه العملية يمكن بيانه في الشكل رقم (4-18)، وفي هذا المسار فإن مستقبل الإلكترون - وهو النتريت - يختزل إلى hydroxylamine، الذي يتفاعل مع معطي الإلكترون (الأمونيا)، ويؤدي ذلك إلى تكوين غاز النيتروجين.

Anammox: new shortcut for the biological removal of nitrogen



شكل (18-4): المسار التمثيلي لعملية الأناموكس

4. 8. 4. إزالة الفوسفور Phosphorous removal :

يمكن إزالة الفوسفور حيويًا عن طريق عملية تسمى الإزالة الحيوية المنشطة للفوسفور Enhanced biological phosphorus removal. في هذه العملية لا بد من وجود حوض لا هوائي سابق لحوض التهوية، وفي هذا الحوض اللا هوائي تنمو مجموعة خاصة من البكتيريا غير ذاتية التغذية، تسمى Polyphosphate-accumulating organisms، هذه البكتيريا تنمو بشكل اختياري، وتسود على باقي المجموعات البكتيرية في داخل بيئة الوحل النشط. وقد وجد أن هذه البكتيريا تنتمي للقسم Betaproteobacteria، وقد أمكن عزل بعض أنواعها، وسميت: "Candidatus Accumulibacter Phosphates"، ولها القدرة على استعمال صور عديدة ومختلفة من صور الكربون تحت الظروف غير الهوائية. هذه البكتيريا تقوم بتخزين كميات هائلة من الفوسفور داخل خلاياها. وبصفة عامة، فإن خلايا

البكتيريا عموماً تحتوي على 1-2% فسفور ضمن المكونات الخلوية، مثل الفوسفوليبيدات التي توجد في الأغشية، ومثل الـ DNA، ولكن هذه البكتيريا يمكنها أن تخزن الفوسفور ليصل إلى 7%، وأحياناً - في بعض الأنواع - يصل إلى 20%. من وزن الكتل الحيوية. ففي هذه الحالة فإن البكتيريا لا تستهلك الفوسفور الموجود فقط من أجل بناء مكوناتها الخلوية، ولكن أيضاً تقوم بتخزين كميات هائلة منه داخل الخلايا. وفي النهاية يمكن فصل هذه الكتل الحيوية من الماء المعالج، وهذه الكتل الحيوية لها قيمة سمادية عالية. ويمكن أيضاً إزالة الفوسفور عن طريق الترسيب الكيماوي عادة، باستخدام أملاح الحديد أو أملاح الألمونيوم، إلا أن هذه الطريقة تعتبر مكلفة، كما أنه يصعب تداول الوحل الكيماوي الناتج، إلا أن إزالة الفوسفور عن طريق الترسيب الكيماوي تعتبر أسهل من الترسيب البيولوجي، وتحتاج إلى مساحة أحواض أصغر.

obeikandi.com

الفصل الخامس

نقيّة المياه الملوثة باستخدام النباتات في الأراضي الرطبة

Wastewater Purification by Plants in Wetlands

1.5. مقدمة Introduction :

يعتبر صرف المياه العادمة والملوثة بالعديد من الملوثات في المجاري المائية - سواء أكان ذلك في البحيرات أو الأنهار، وتراكم المواد العضوية، وزيادة تركيزها بها لدرجة تصل إلى التشبع الغذائي Eutrophication التي سبق الإشارة إليها بالفصل الأول - مدمراً للأحياء المائية، سواء النباتية أو الحيوانية. هذا الدمار للأحياء المائية نتيجة التراكم والتشبع بالمواد العضوية والمغذيات، وما يتبعه من زيادة نشاط ونمو النباتات المائية والطحالب والكائنات الحية الدقيقة؛ مما ينتج عنه نقص مستمر في الأكسجين الذائب في الماء، فتسود الظروف اللاهوائية Anaerobic على الظروف الهوائية Aerobic، وتتراكم معها نواتج التحلل والتمثيل الغذائي اللاهوائي من الميثان والإيثيلين وكبريتور الأيدروجين وحامض البيوتريك، وغيرها من المواد ذات الوزن الجزيئي المنخفض السامة جداً للكائنات الحية الهوائية.

والمجري المائية تنمو بها الطحالب، وغيرها من النباتات الخضراء في الطبقة العليا الغنية بالأكسجين الذائب، وتقوم بالتمثيل الضوئي، يليها الطبقة الوسطى التي ما زال الضوء فيها كافياً لعملية التمثيل الضوئي، وأخيراً الطبقة العميقة غير الهوائية، والتي تنتشر بها بكتيريا الكبريت الأرجوانية Purple sulphur والبكتيريا الخضراء Green bacteria، والتي تتغذى على نواتج التمثيل الغذائي للكائنات غير الهوائية الموجودة في الرواسب في قاع الأنهار والبحيرات، مثل كبريتور الأيدروجين وحامض البيوتريك، أو غيرها من الأحماض الدهنية (حيث تعمل هذه المواد كمستقبل

للإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي)، وبالتالي تتحلل هذه المركبات - والتي تعتبر سامة للنباتات الخضراء - الموجودة في الطبقة السطحية من البحيرات. ومعنى ذلك أن الطبقة الوسطى من بكتيريا التمثيل الضوئي تعمل كمرشح، وتحافظ على الطبقة العليا من الماء خالية من المواد السامة. ولكن إذا إختل هذا الاتزان بين الكائنات المختلفة، بزيادة نشاط ونمو الطحالب بدرجة كبيرة، وما يتبعه من ازدياد مقدار الطحالب الميتة، والتي تهبط إلى طبقة الرواسب في القاع، فإن الكائنات اللا هوائية التي تعيش بهذه الرواسب تجد مصدراً كبيراً من الغذاء، وتنتج كمية كبيرة من المواد السامة، فإذا كانت كمية هذه المواد السامة أكثر من قدرة بكتيريا التمثيل الضوئي في الطبقة الوسطى على استخدامها، فإن التأثير المرشح لهذه البكتيريا يتضاءل أو يتلاشى؛ مما يؤدي إلى ازدياد تركيز المواد السامة في الطبقة السطحية، والتأثير على نمو ونشاط النباتات الخضراء، فيقل الأكسجين الناتج من التمثيل الضوئي، وتتحول الطبقة السطحية من البحيرة تدريجياً إلى الظروف اللا هوائية، وتتأثر حياة الكائنات الهوائية، بما فيها الأسماك.

ومن العرض السابق، يتضح مدى التأثير البيئي السلبي للمخلفات التي يتم إلقاؤها أو تصريفها في المجاري المائية، والتي يتناسب أثرها الضار مع مقدار حمل التلوث (كمية المخلفات التي يتم إلقاؤها أو تصريفها في زمن محدد، وتركيز الملوثات بها)، فكلما زادت كمية المخلفات وزاد ما بها من ملوثات وتم إلقاؤها في وقت قصير، زاد أثرها الضار، وأصبح كبيراً، في حين أنه إذا ما قلت كمية المخلفات وقل ما بها من ملوثات، وكان إلقاؤها على فترات بعيدة، فإن تأثيرها الضار يكون قليلاً، أو دون أي ضرر ملحوظ في أحيان كثيرة، وفي هذه الحالة فإن المخلفات غالباً ما تكون من المواد العضوية غير الثابتة والقابلة للهدم الميكروبي. لكن في المقابل يجب ألا ننسى الأثر التراكمي الضار لبعض الملوثات المعدنية، مثل الفلزات الثقيلة والمبيدات الثابتة، والذي يحدث حتى وإن كان تركيزها منخفضاً أو كمياتها قليلة، حيث تتراكم في البيئة مع الزمن وتكرار الإضافة.

2.5. أنواع الملوثات :Types of pollutants

سبق التعرض لأنواع ملوثات المياه بالتفصيل في الفصل الأول، ونذكر هنا بأن هذه الملوثات من المخلفات العضوية Organic wastes الناتجة من الصرف الصحي، والمواد العضوية النباتية والحيوانية، وهي مواد قابلة للهدم تتركب من مواد كربوهيدراتية ودهون ومركبات نيتروجينية وفوسفاتية، وبعض العناصر والمغذيات والمنشطات الحيوية Nutrients and bio-stimulants، التي تنتج من التحلل والهدم الميكروبي للمخلفات العضوية، والمواد العالقة Suspended solids، وهي مواد صلبة صغيرة الحجم، توجد معلقة في الماء، ومصدرها الرئيسي تجوية التربة الزراعية، والطرق، وأعمال ومخلفات البناء، والملوحة Salinity الناشئة عن كمية الأملاح المعدنية الذائبة في الماء، والمواد السامة Toxicants هي ملوثات متنوعة من مصادر مختلفة، بعضها يتكون من مركبات ثابتة لا تتحلل وهي ذات ضرر كبير، وبعضها يحدث له هدم إلى مركبات غير سامة أو أقل خطورة من المصدر الناتجة عنه، والكائنات الممرضة Pathogens الموجودة بمخلفات الصرف الصحي ومخلفات صناعة اللحوم والجلود وغيرها. يضاف إلى هذا درجة حرارة المياه الملوثة Heat، الناشئة من عمليات التبريد بالمصانع؛ فالحرارة المرتفعة قاتلة للأسماك والأحياء المائية، في الوقت الذي تشجع فيه نمو عدد من الطحالب والنباتات غير المرغوبة، والحرارة الأقل نسبياً تؤدي إلى اختلال في نمو وتكاثر بعض الأحياء الحساسة للحرارة، وباختلال هذا التوازن البيئي الذي تحدثه الحرارة تنخفض مستويات الأكسجين الذائب؛ مما يهدد الحياة المائية. وتعدد وتنوع الملوثات الموجودة في المخلفات الصلبة أو في المياه العادمة التي يتم صرفها في المجاري المائية، يتطلب تعدد وسائل المعالجة لها؛ للتخلص منها أو تقليل آثارها الضارة إذا ما أُريد إعادة استخدام المياه في الاستخدامات الحياتية المختلفة.

ومن البدائل المهمة للطرق التقليدية في تنقية المياه الملوثة أو العادمة لإعادة استخدامها في الزراعة - والتي تستهلك قدرًا كبيرًا من الطاقة وكميات كبيرة من الكيماويات، وينتج عنها كميات كبيرة من الحمأة في صورة مخلفات، هذا فضلاً عن احتياجها إلى العمالة الكثيفة خلال دورة المعالجة - هو استخدام النباتات المائية

المتخصصة في التنقية Phytoremediation، وزراعتها في الأراضي الرطبة أو الغدقة أو المغمورة بالماء، والتي يطلق عليها "التنقية باستخدام الأراضي الرطبة أو Wetlands"، والتي تنقسم - من حيث التكوين - إلى نوعين:

3.5. الأراضي الرطبة الطبيعية Natural wetlands:

الأراضي الرطبة الطبيعية هي عبارة عن نظام بيئي يجمع بين التربة الرطبة أو الغدقة wetland، والنباتات المائية Aquatic plants، التي نمت بها وتأقلمت جذورها وسلوكها على الحياة فيها، والكائنات الحية الدقيقة Microorganisms التي تعيش بين جنباتها. وتتواجد الأراضي الرطبة الطبيعية في الأماكن المنخفضة، وعلى جانبي المجاري المائية والينابيع والبحيرات، كما تتواجد أيضًا في المناطق التي بها أراضٍ قليلة النفاذية، بحيث تصبح تربتها - في كل الأحوال - مشبعة أو مغمورة بالماء، وتمثل نحو 6% من مساحة الكرة الأرضية. والأراضي الرطبة الطبيعية (شكل 1-5) تتواجد في الطبيعة منذ آلاف السنين، وكان يسود اعتقاد لدى كثير من الناس أن هذه الأراضي الرطبة لا فائدة منها، وبموجب هذا الاعتقاد، تم ردم الكثير منها وتخريبها. وحديثًا - ومنذ عام 1970م - بدأ ظهور أصوات ودراسات تبرز أهمية الأراضي الرطبة بيئيًا؛ حيث تساعد على ضبط الفيضانات باستيعاب كمياه كبيرة من مياهها، والاحتفاظ بكميات كبيرة منها لفترات طويلة، كما تُستخدم كمناطق لاستقبال المياه العادمة، والتي ثبت قدرتها على تنقية المياه التي تستقبلها من خلال نظامها البيئي الذي يُعتبر من أكثر النظم البيئية تنوعًا، وهي من خلال هذا التنوع تعمل على تنمية الحياة البرية، وتعويض ما يفقد من مياه الخزان الجوفي، وهي - فوق هذا - تعتبر من أماكن التنزه والترفيه الطبيعية.

للمحافظة على ما تبقى من هذه الأراضي الرطبة ببعض المناطق كاحتياطي للأراضي الرطبة، تم في عام 1975م العمل من خلال اتفاقية ومعاهدة رامسار Ramsar الدولية (والتي تحمل اسم مدينة رامسار في إيران)، والتي تنص على الحفاظ والاستخدام

المستدام لمناطق الأراضي الرطبة، ووقف التعدي عليها، وتعظيم مهامها البيئية، وتنمية دورها الاقتصادي، والثقافي، والعلمي، وقيمتها الترفيهية.

وفي عام 1990م، وقّعت 52 دولة الاتفاقية، وتم تحديد 445 موقعًا باعتبارها أراضٍ رطبة مغمورة ذات أهمية عالمية. وللأسف فإنه لم يتم القيام إلا باليسير من العمل لإنقاذ هذه الأجزاء من المناطق الرطبة في العالم. وبمزيد من الأبحاث والدراسات، أمكن التعرف على كيفية عمل الأراضي الرطبة، ودورها في تنقية المياه، وكيف يمكن محاكاة هذا النظام الطبيعي بأنظمة مشيدة هندسيًا كإحدى التقنيات البسيطة لتنقية وتحسين نوعية المياه العادمة، وإزالة الملوثات منها قبل استخدامها في أغراض الاستخدام الأخرى.



شكل (1-5): نموذج لوحدة من الأراضي الرطبة الطبيعية

4.5. كيف تعمل الأراضي الرطبة على تنقية المياه العادمة

How wetlands working on purification of wastewater and removal the contaminants?:

عند ضخ المياه العادمة والملوثة إلى هذا النظام، بمكوناته الأساسية من بيئة الأرض الرطبة أو الغدقة، والنباتات التي تنمو بها، والكائنات الحية التي تعيش فيها - فإن

العمليات الفيزيائية Physical والكيميائية Chemical والبيولوجية Biological تشترك في منظومة واحدة؛ للعمل على التخلص من الكائنات المرضية Pathogenic organisms. فالعوامل الطبيعية تشمل الترشيح الميكانيكي Mechanical filtration ، والترسيب Sedimentation والتعرض للأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet radiation، التي لها دور كبير في خفض أعداد بكتيريا القولون Coliform، والعوامل الكيميائية تشمل الأكسدة Oxidation والتعرض للمبيدات الحيوية Biocides، التي تفرزها بعض نباتات الأراضي الرطبة، والامتصاص Absorption بواسطة المادة العضوية، بينما العوامل البيولوجية تشمل التضاد الحيوي Antibioses، والافتراس Predation بواسطة النيماتودا والبروتوزوا، والمهاجمة بواسطة بكتيريا التحلل Lytic bacteria والفيروسات، بالإضافة إلى الموت الطبيعي للكائنات المرضية.

ويعتبر فهم هذه العمليات أمرًا أساسيًا، ليس فقط لتصميم نظم ووحدات الأراضي الرطبة، ولكن لفهم طبيعة ومصير المواد الكيميائية الموجودة في المياه الداخلة إلى الأراضي الرطبة بمجرد دخولها، حتى الحصول على المياه النقية منها.

5.5. إزالة الملوثات بصفة عامة General contaminants removal:

تعتمد ميكانيكية عمل النظام البيئي للأراضي الرطبة - سواء أكان طبيعيًا أو مشيدًا - في تنقية المياه، على الدور الذي يلعبه كل مكون من مكوناتها، وعلى العمليات الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية التي تأخذ دورها وتؤثر في مجراها على كفاءة بيئة الأراضي الرطبة في المعالجة وتنقية المياه الملوثة.

أ- وظيفة النباتات المائية في إزالة الملوثات Aquatic plants function

in contaminants removal:

فمعالجة وتنقية مياه الصرف الصحي - أو غيرها من المياه العادمة والملوثة داخل الأراضي الرطبة المشيدة - تحدث من خلال مرورها عبر بيئة الأراضي الرطبة، وما بها من نباتات يعتبر ركيزة وقاعدة من الجذور والسيقان والأوراق، والتي تهيب مكنًا مناسبًا لنمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة. فمنطقة انتشار جذور النباتات Plant

rhizosphere، توفر فيلمًا رقيقًا من المناطق الهوائية Aerobic zone حول كل شعيرة جذرية؛ نتيجة خروج وتسرب الأكسجين من الريزومات hizomesR والجذور Roots، والشعيرات الجذرية Rootlets، وفي هذه المناطق الهوائية تنتشر وتتكاثر الكائنات الحية الدقيقة الهوائية المتصقة Periphyton بالشعيرات الجذرية، وبعيدًا عنها تنتشر وتتكاثر الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية؛ حيث يقل أو ينعدم وجود الأكسجين في ظروف لا هوائية. كما تعمل النباتات على امتصاص العناصر الذائبة والعناصر الناتجة من تكسير وهدم المخلفات العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. وترتفع تركيزات النيتروجين في أوراق وسيقان النباتات، مقارنة بتركيزاتها في الجذور والريزومات، بينما يكون عنصر الفوسفور متواجدًا بتركيزات عالية ومتراكمة في أنسجة الجذور والريزومات. وتختلف النباتات في قدرتها على امتصاص العناصر الثقيلة والتخلص منها، وهو ما يجب وضعه في الاعتبار عند اختيار نوعية النباتات المطلوب زراعتها في هذه الأراضي الرطبة لتتوافق مع نوعية العناصر وتركيزاتها في المياه العادمة والملوثة.

ب- وظيفة الكائنات الحية الدقيقة في إزالة الملوثات Microorganisms function in contaminants removal:

كما سبق تناوله بالتفصيل في الفصل السابق، تقوم الكائنات الحية الدقيقة الهوائية بعملية الترويق للمياه العادمة من العوالق، كما تقوم الكائنات الحية الدقيقة الهوائية وغير الهوائية بتكسير وتحلل وأكسدة المواد العضوية المترسبة أو العالقة. فبكتيريا التآزت Microbial nitrification تعمل على أكسدة ونزع النيتروجين من المواد العضوية، وتُحول هذا النيتروجين العضوي الموجود بها إلى أمونيا، تستخدمه النباتات في تغذيتها، كما تقوم بأكسدة جزء من الأمونيا إلى نترات، تستخدمه النباتات في تغذيتها، أو يُستخدم في بناء أجسامها، كما أن الكائنات الحية الدقيقة في الظروف اللاهوائية، وتكاثر بكتيريا عكس التآزت Denitrification، تخترل النترات إلى غازات النيتروجين التي تنطلق إلى الغلاف الجوي Atmosphere. ونتيجة لهذه العمليات

ينخفض تركيز النيتروجين في المياه العادمة، كما ينخفض الحمل العضوي للمياه، وينخفض الطلب الحيوي على الأكسجين.

ج- وظيفة بيئة نمو الأراضي الرطبة في إزالة الملوثات Wetland growth media function in contaminants removal:

على هذه البيئات (الحصى - الرمل - الزلط - الفيرميكيوليت وغيرها)، تحدث تفاعلات الترسيب والادمصاص للعناصر؛ مما يقيد من حركة العناصر، ويقل تركيزها الذائب في المياه العادمة، مثلما يحدث من ترسيب للفوسفور Co-precipitated مع الحديد والألومنيوم ومركبات الكالسيوم الموجود في بيئة انتشار الجذور. كما يتم التخلص طبيعياً من المواد الصلبة العالقة Suspended solids، حيث تستقر في قاع عمود الماء في الأراضي الرطبة ذات التدفق السطحي، أو ترسب داخل بيئة النمو في الأراضي الرطبة ذات التدفق تحت السطحي. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يتم التخلص أو تقليل البكتيريا والفيروسات الضارة عن طريق الترشيح والامتزاز، بواسطة الأغشية الحيوية Bio-films على بيئة الصخور أو الحصى في أنظمة التدفق تحت السطحي أفقياً أو رأسياً.

ويعتبر نشاط الكائنات الحية الدقيقة، بالإضافة إلى العمليات الكيميائية الطبيعية Natural chemical processes، مسئولان عن تكسير وإزالة 90% من الملوثات، ومحصلة كل هذه العمليات التي تحدث في نظام الأراضي الرطبة ما بين ترسيب وتحلل وهدم للمركبات وادمصاص وتحول وانطلاق المغذيات، يؤدي إلى أن تصبح المياه الناتجة أكثر نقاءً من المياه التي دخلت إلى نظام الأراضي الرطبة.

6.5. إزالة بعض الملوثات الخاصة Some Specific contaminants removal:

أ- إزالة النيتروجين Nitrogen removal :

إن معرفة الأشكال والصور السائدة للنيتروجين في أنظمة الأراضي الرطبة ذات أهمية كبيرة عند معالجة مياه الصرف الصحي، وغيرها من المياه العادمة والمُلوثة.

وتشمل صور النيتروجين الكلي Total nitrogen كلاً من: النيتروجين العضوي Organic nitrogen، والنيتروجين غير العضوي Inorganic forms، الذي يشمل الأمونيا Ammonia، الأمونيوم Ammonium، النترات Nitrate، والنترت Nitrite، وغازات النيتروجين Nitrogen gases. وتعتبر صور النيتروجين غير العضوية من الصور الضرورية لنمو النباتات في نظم الأراضي الرطبة، وفي حالة تواجدها بكميات قليلة أو شحيحة فإنها تُحد من كثافة وحجم الغطاء النباتي في وحدات الأراضي الرطبة. وإزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحي وغيرها من المياه العادمة مهم جداً؛ حيث إن صورة الأمونيا تسبب سمية للأسماك، كما أن زيادة صورة النترات في مياه الشرب تسبب مرض ميثيموجلوبين Methemoglobinemia الدم عند الأطفال، والذي يقلل من قدرة الدم على نقل الأكسجين بالجسم.

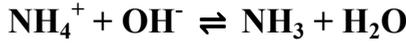
- إزالة النيتروجين العضوي Organic nitrogen removal:

يتم إزالة النيتروجين العضوي من خلال عملية المعدنة Mineralization، أو عملية التحول البيولوجي Biological transformation للنيتروجين العضوي خلال وأثناء تحلل وتكسر المواد العضوية إلى النيتروجين الأمونيومي. ويتم هذا التحول من خلال عمليات هوائية ولا هوائية، وغالباً ما يشار إليها بعملية النشطرة أو إنتاج الأمونيوم Ammonification. وعملية المعدنة للنيتروجين العضوي ينشأ عنها، أو ينطلق منها النيتروجين غير العضوي أو المعدني مثل النترات، والنترت والأمونيا، والأمونيوم، والذي يصبح ميسراً للنباتات النامية في الأراضي الرطبة، وقد تتأثر معدلات المعدنة بمستويات الأكسجين المتاحة في الأراضي الرطبة.

- إزالة الأمونيا والأمونيوم Ammonia (NH₃) and Ammonium (NH₄⁺) removal:

تتكون الأمونيا NH₃ من خلال عملية المعدنة Mineralization أو النشطرة Ammonification للمواد العضوية تحت ظروف هوائية أو لا هوائية. ويعتبر أيون

الأمونيوم هو الصورة الأولية لمعدنة النيتروجين في الأراضي الرطبة، والذي يتكون من اتحاد الأمونيا مع الماء كما يلي:



وعندما يتكون أيون الأمونيوم، فإنه يسلك عدة مسارات متاحة:

- (1) يمتص بواسطة النباتات والطحالب؛ ومن ثم يتحول مرة ثانية إلى مادة عضوية.
- (2) يدمص مرتبطًا مع الشحنات السالبة على أسطح حبيبات التربة في بيئة النمو، وفي هذه الحالة يتم حمايته من مواصلة عمليات الأكسدة، حيث الظروف اللا هوائية في الأراضي الرطبة. في ظل هذه الظروف يصبح أيون الأمونيوم مستقرًا وثابتًا، وهذا هو النموذج أو الصورة التي يسود فيها النيتروجين في الرواسب اللا هوائية للأراضي الرطبة.
- (3) معظم الأراضي الرطبة بها طبقة هوائية رقيقة عند السطح، وباعتبار أن أيون الأمونيوم من الرواسب اللا هوائية، فإنه إذا ما صعد إلى هذه الطبقة فإنه يتحول إلى نترات أو إلى نترات. زيادة سمك هذه الطبقة الهوائية يؤدي إلى زيادة فاعلية عمليات النترية Nitrification، أو التحول إلى نترات، وفيما بين الطبقة الهوائية وغير الهوائية يتدرج تركيز أيون الأمونيوم والنترات.

- عملية النترية Nitrification: هي عملية تحويل بيولوجية للمركبات النيتروجينية العضوية وغير العضوية من الحالة المختزلة Reduced state إلى الحالة الأكثر أكسدة More oxidized state (انظر الفصل السابع)، وبالتالي فإن عملية النترية هي عملية أكسدة دقيقة، يكون ناتجها النهائي أيون النترات (NO_3^-). ومؤكد أن عملية النترية تقل أو تنخفض عندما تتجه حالة الوسط إلى الظروف اللا هوائية، ويقبل بها الأكسجين الذائب إلى 0.3 جزء في المليون. وتتم عملية النترية على

مرحلتين؛ الأولى: يتأكسد فيها الأمونيوم (من الرواسب) إلى نيتريت NO_2^- بواسطة بكتيريا النيتروزوموناس Nitrosomonas، والثانية: يتم فيها أكسدة النيتريت NO_2^- إلى نترات NO_3^- ، بواسطة بكتيريا النترية وناكتة Nitrobacter، كما يلي:



Ammonium ion

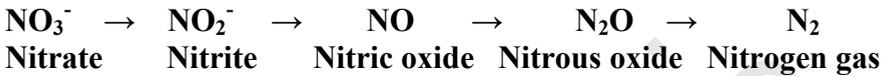
Nitrite



Nitrite

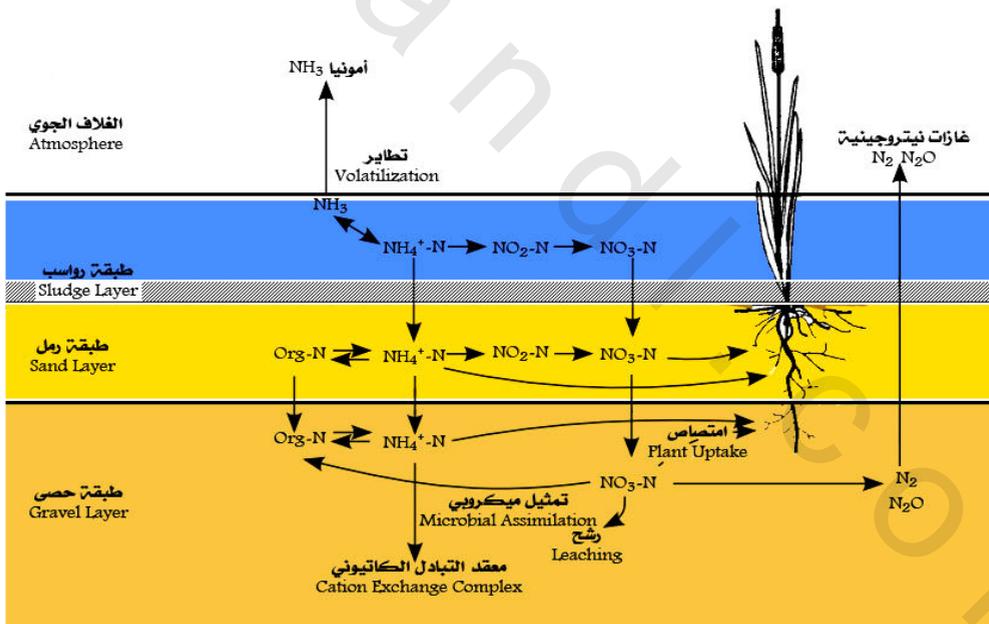
Nitrate

- عملية عكس التآزت **Denitrification**: هي عملية اختزال بيوكيميائية لأنيونات النيتروجين المؤكسدة من النترات NO_3^- والنيتريت NO_2^- ، منتجة أكاسيد النيتروجين الغازية، مثل أكسيد النيتريك (Nitric oxide NO)، وأكسيد النيتروز (Nitrous oxide N_2O)، وغاز النيتروجين (Nitrogen gas N_2)، مع ما يصاحب ذلك من أكسدة المواد العضوية.



والناتج النهائي لعمليات عكس التآزت هو أكسيد النيتروز N_2O وغاز النيتروجين N_2 ، وهي الغازات التي تتطاير وتصل إلى الغلاف الجوي. وعملية عكس التآزت تحدث بشكل مكثف في البيئات اللاهوائية، ومع ذلك فإنه يمكن أن تحدث أيضاً في الظروف الهوائية. وتحدث عملية عكس التآزت في حالة نقص الأكسجين؛ حيث تتجه بعض الكائنات الحية الدقيقة الناشطة في تحلل المادة العضوية إلى استخدام أكسجين النترات، بدلاً من الأكسجين الغائب في الظروف اللاهوائية، وهو ما يقتصر على منطقة ضيقة في منطقة الرواسب التي تلي مناطق التداخل الهوائية واللاهوائية.

وتعتبر عملية عكس التآزت من العمليات الميكروبية الدائمة، التي تساهم في تعديل التركيب الكيميائي للنيتروجين في أنظمة الأراضي الرطبة، وفي الوقت نفسه تعتبر من العمليات الأساسية الكبرى، التي بواسطتها يعود النيتروجين العنصري إلى الغلاف الجوي. وملخص دورة النيتروجين على هذا النحو تبدأ بتحول الأمونيا الموجودة في الماء عند رقم pH متعادل أو قريب من التعادل، إلى أيونات الأمونيوم، وبواسطة البكتيريا الهوائية من نوع النيتروزوموناس Nitrosomonas تتحول أيونات الأمونيوم إلى نيتريت، وهذا النيتريت يتحول مباشرة بواسطة بكتيريا النيتروباكتر Nitrobacter إلى نترات. وتحت الظروف اللاهوائية، يتم اختزال النترات إلى غازات نيتروجينية غير ضارة نسبياً، والتي تأخذ مسارها إلى الغلاف الجوي (شكل 2-5).



شكل (2-5): العمليات الطبيعية والحوية في أنظمة الأراضي الرطبة

ب- إزالة الفوسفور Phosphorus removal :

يتواجد الفوسفور بشكل طبيعي في عدة صور عضوية وغير عضوية، وتعتبر صورة الأورثوفوسفات هي الصورة الميسرة بيولوجياً Biologically available، والتي تشير إلى الفوسفور الذائب (Soluble reactive phosphorus (SR-P)، كما يجب الإشارة إلى أن كلاً من صور الفوسفور العضوي القابل للذوبان، والصور غير الذائبة من الفوسفور العضوي والمعدني غير قابلة للتيسر بيولوجياً، حتى تتحول إلى صورة غير عضوية ذائبة.

وفي المياه العذبة Freshwater، فإن الفوسفور يعتبر من العناصر الغذائية الأساسية المحددة للنمو في النظم الإيكولوجية المائية Aquatic ecosystems؛ نظراً لندرته. وعندما تستقبل النظم الإيكولوجية المائية مياه صرف غنية في محتواها من الفوسفور، يحدث نمو هائل للطحالب والنباتات المائية. وعلى عكس النيتروجين، فإن الفوسفور ليس من عناصر الغلاف الجوي؛ لذا فإن دورة الفوسفور في بيئة الأراضي الرطبة هي دورة مغلقة، حيث يحدث إزالة أو التخلص من الفوسفور في مياه الصرف الصحي والمياه الملوثة داخل الأراضي الرطبة المشيدة نفسها؛ حيث:

(1) يرتبط الفوسفور بالمواد العضوية؛ نتيجة لإدراجها في الكتلة الحيوية الحية الموجودة في الأراضي الرطبة.

(2) ترسيب الفوسفات غير القابل للذوبان مع الحديد والكالسيوم والألومنيوم الموجودة في الأراضي الرطبة.

تعتبر النباتات في نظم الأراضي الرطبة أماكن لتخزين العناصر الغذائية الممتصة خلال موسم النمو، والتي يمكنها التحرر ثانية عند تحلل بعض الأجزاء النباتية لهذه النباتات. وبصفة عامة، فإن النباتات في وحدات الأراضي الرطبة الغنية بالمغذيات يزداد فيها تراكم المواد المغذية، بما فيها الفوسفور، مقارنة بالوحدات الفقيرة، كما أن 40% - في المتوسط - من الفوسفور الموجود في مياه الصرف العادمة التي يتم صرفها في نظام الأراضي الرطبة، تمتصها نباتات الكتلة الحيوية Biomass plants

incorporation، وأن الـ 59٪ - في المتوسط والمتقنية - يتم ترسيبها في قوام بيئة النمو من الحصى، وغيره من البيئات.

ج- إزالة المعادن والفلزات الثقيلة Metals removal :

تستخدم الأراضي الرطبة المشيدة هندسيًا على نطاق واسع لإزالة المعادن والفلزات الذائبة في المياه العادمة الملوثة بهذه المعادن والفلزات، وخاصة مياه الصرف الصحي والصناعي.

7.5. أنواع النباتات المائية المستخدمة في أنظمة الأراضي الرطبة Types of

wetland plants:

توجد العديد من النباتات التي تنمو في الأراضي الرطبة الطبيعية، والتي يمكن استخدامها في الأراضي الرطبة المشيدة لتنقية المياه العادمة من الملوثات، وهي كلها حشائش ونباتات مائية، يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات على حسب طبيعة نموها في المياه، وهي: الحشائش والنباتات الطافية Floating plants and weeds - الحشائش والنباتات المغمورة Submerged plants and weeds - الحشائش والنباتات شبه المغمورة Emergent plants and weeds (شكل 3-5).

وتعطي أنواع النباتات شبه المغمورة Emergent species كتلة حيوية أكبر من أنواع النباتات والحشائش العائمة Free floating والمغمورة Submerged، وبالتالي فهي قادرة على امتصاص وتخزين كميات أكبر من العناصر من وحدة المساحة من الأراضي الرطبة، كما أن حصاد النموات النباتية لأنواع النباتات شبه المغمورة يزيد محتوى النموات الجديدة من العناصر المتصدة. وفي كل الأحوال، فإن تنوع الأنواع النباتية ما بين النباتات والحشائش الطافية والمغمورة وشبه المغمورة، يزيد من كفاءة وحدات الأراضي الرطبة في التنقية.



شكل (3-5): أنواع النباتات والحشائش المائية المستخدمة في الأراضي الرطبة

أولاً: الحشائش والنباتات الطافية Floating plants and weeds :

تشمل الحشائش التي يكون مجموعها الجذري وجزء من سيقانها تحت سطح الماء، بينما يكون مجموعها الخضري طافياً فوق سطح الماء، وقد تصل جذورها إلى القاع أو لا تصل، وتكون حرة الحركة، وتتكاثر هذه الأنواع من الحشائش المائية أساساً خضرياً، وأحياناً بالبذور. وأكثر الحشائش المائية الطافية شيوعاً في مصر هي ورد النيل، وعدس الماء، والبشنين.

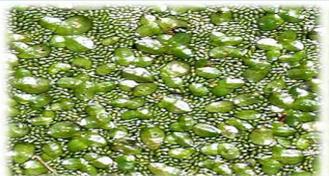
- ورد النيل (Water hyacinth (Eichorina Crassipes) :

ورد النيل نبات مائي معمر، يمضي حياته كلها طافياً فوق سطح الماء وجذوره مدلاه داخلها. ويتكون النبات من مجموع خضري، يتمثل في ساق قصيرة مغمورة تحت سطح الماء، ويخرج من قمته مجموعة من الأوراق، مرتبة بترتيب شبه ودي؛ أما من قاعدة تلك الساق فيخرج المجموع الجذري، والذي يبقى مغموراً في الماء. وتحمل الأزهار على شمراخ زهري يخرج من إبط إحدى الأوراق. والأزهار ذات لون بنفسجي، بها دوائر صفراء في وسط البتلات.

الإسم العلمي <i>Eichorina crassipes</i>	الإسم الإنجليزي Water hyacinth	ورد النيل
		
		

- عدس الماء (*Lemna gibba*): Duckweed

عدس الماء نبات طافي حر الحركة، هش دقيق متناهي الصغر، وريقته صغيرة (2-5 ملليمتر)، سطحها العلوي مسطح، أما السفلي فنصف كروي، وله جذر وحيد غير متصل بالقاع، وهو شائع جدًا في جميع المجاري المائية في مصر.

الإسم العلمي <i>Lemna gibba</i>	الإسم الإنجليزي Duckweed	عدس الماء
		
		

- البشنين (*Nymphaea coerulea Sav*):

البشنين نبات طافي، جذوره متصلة بالقاع، وأوراقه رقيقة، سطحها العلوي ذو لون أخضر فاتح، أما سطحها السفلي فلونه أزرق أرجواني يحتوي على شبكة من العروق ذات اللون البني الفاتح، وبتلات زهرته بيضاء.



ثانياً: الحشائش والنباتات المغمورة *Submerged plant and weeds*:

وتشمل الحشائش التي تنمو بجميع أجزائها داخل الماء، وبعضها يكون متصلاً بالقاع بواسطة جذور رقيقة، والبعض الآخر حر الحركة بدون جذور. وهي تنمو في المياه قليلة العمق، كمجاري الري والصرف والأجزاء الضحلة من البحيرات، وهي تتكاثر خضرياً. وأكثر الحشائش المغمورة شيوعاً في مصر هي الهللس وذيل الفرس وأبو ظلف ونخشوش الحوت والحريش وحامول البحر.

- الهللس (*Potamogeton Crispus*):

الهللس عشب مائي مغمور، وجذوره متصلة بالقاع، والساق مسطحة لا عنقية، حافتها مشرشرة طويلة بالنسبة لعرضها، ويصل طولها إلى 8 سنتيمترات. ومثله مثل جميع أنواع الـ *Potamogeton*، فهو يتكاثر خضرياً بواسطة البراعم الشتوية.

الإسم العلمي <i>Potamogeton crispus</i>	الإسم الإنجليزي Curly leaf pondweed	الهللس
		 

- ديل الفرس (*Potamogeton Pectinatus*) Sago Pondweed:

ديل الفرس نبات مائي مغمور بالكامل، غزير الفروع، وأوراقه طويلة نحيلة إلى خيطية، قمتها مدببة، وحوافها غير مسننة، شبيهة بالمروحة فوق السيقان الرفيعة الشبيهة بالأسلاك.

الإسم العلمي <i>Potamogeton pectinatus</i>	الإسم الإنجليزي Sago pondweed	ديل الفرس
	 	 

- أبو ظلف (*Potamogeton nodosus*) Broad - leaved Pondweed:

أبو ظلف نبات مائي مغمور، يصيب المجاري المائية بطيئة الجريان، والأجزاء الضحلة من البرك والبحيرات. ريزوماته مدفونة تحت طين القاع إلى أعماق بعيدة، وسيقانه كثيرة التفرع، ومعظم أوراقه طافية عريضة وبيضاوية الشكل. أما الأوراق السفلى فهي رفيعة ومغمورة.



- الحريش (*Najas* Marine Naiad, Holly-leaved Water nymph (*armat Lindb*):

الحريش نبات مائي مغمور، جذوره مثبتة في القاع، ويعيش في المياه العميقة والضحلة العذبة والملحية. ويمكن تمييزه بأوراقه المسننة، والساق مسننة شوكية، تمتد على هيئة حصيرة فوق القاع في المياه الضحلة.



- الزانكيلا أو حامول البحر (*ZannichelliaPalustris*) Horned Pondweed:
حامول البحر نبات مائي مغمور، ينمو على هيئة كتل كثيفة، له ساق أفقية (ريزوم) نحيل ينشب في القاع بجذور غير عميقة، وتنبت منه سيقان فرعية متناثرة، وأوراقه شريطية، ويشبه في الشكل ديل الفرس، غير أن أوراقه منسقة على الساق في شكل تقابلي، بينما تلك التي في ذيل الفرس في شكل متناوب.



- نخشوش الحوت (*Ceratophyllum demersum*) Common coontail:
نخشوش الحوت عشب مغمور، جذوره معلقة في الماء، لونه أخضر داكن وأوراقه لا عنقية، تنبت على شكل حلقات حول الساق عند العقد، والمسافات بين هذه العقد تأخذ في التناقص كلما اتجهنا إلى قمة النبات. والورقة المفردة منقسمة إلى فرعين أو أربعة أفرع يابسة وسهلة الانكسار، ويتكاثر النبات خضرياً وبالبدور.

الإسم العلمي <i>Ceratophyllum demersum</i>	الإسم الإنجليزي Common coontail	نخشوش الحوت
		
		

نالتاً: الحشائش المائية شبه الغمورة Emergent plants and weeds :

وتشمل الحشائش المائية التي تكون جذورها متصلة بقوة بطين القاع أما أوراقها فتكون فوق سطح الماء، وتتواجد على شواطئ الترع والمصارف وفي المستنقعات مثل البردي والغاب والسمار، وهي تنمو على الجوانب فقط في المجارى المائية العميقة. أما في المجارى المائية الضحلة فقد تغزو ريزومات هذه النباتات قاع المجرى.

- البردي (Leaf Cattail (*Typha domingensis*)) :

البردي نبات معمر شبه مغمور، له ريزومات زاحفة قوية مدفونة في الطين، ينتشر كل واحد منها مفرداً على مساحة واسعة. وسيقان البردي طويلة تعلو عن قامة الإنسان، وأوراقه شريطية تماثل الساق في الطول، ولا يزيد عرضها عن سنتيمتر واحد.

الإسم العلمي <i>Typha domingensis</i>	الإسم الإنجليزي Leaf cattail	البردي
		
		

- غاب الحجنة (*Phragmites australis*): Common reed

غاب الحجنة نبات معمر شبه مغمور، يمتاز بجذوره العميقة، ونموه القوي، وسرعة انتشاره، والنبات ريزوماته زاحفة، وسيقانه مجوفة، ويختلف في الطول اختلافاً كبيراً؛ فقد يكون نصف متر فقط على الميول الرملية، بينما قد يصل إلى ارتفاع أربعة أمتار فوق سطح الماء في المستنقعات الهادئة. والأوراق طويلة مسطحة أو قصيرة ملفوفة، ذات قمة مدببة، قد يصل طولها إلى 40 سنتيمتراً، والعنقود الزهري عادة يتفرع بكثافة إلى فروع تميل إلى ناحية واحدة.

الإسم العلمي <i>Phragmites australis</i>	الإسم الإنجليزي Common reed	غاب الحجنة أو البوص
		
		

- السمار (*Cyperus alopecuroides*) Mat Sedge:

السمار نبات شبه مغمور شائع، ويتم استخدامه سيقانه في صناعة الحصر، وهو نبات مستديم، يعلو عن متر في الطول، وريزوماته قوية سمكية وزاحفة، وأوراقه بمثل طول الساق، وعرضها حوالي 2 سنتيمتر، والسمار لا يتأثر سريعاً من نقص المياه أو الغمر، ولكنه لا يصمد للغمر بالمياه لفترة طويلة مثل البردي.

الإسم العلمي <i>Cyperus alopecuroides</i>	الإسم الإنجليزي Mat sedge	السمار
		

- النسيلة (*Echinochloa Stagninum*) Barnyard grass:

النسيلة نبات شبه مغمور، يمتد من الشواطئ إلى داخل القطاع المائي، سريع النمو، ويصل طوله إلى متر، وأوراقه شريطية، قمته مدببة، لونها أخضر داكن، ويعرف أيضًا باسم الأمشوط.

الإسم العلمي <i>Echinochloa stagninum</i>	الإسم الإنجليزي Barnyard grass	النسيلة
		
		

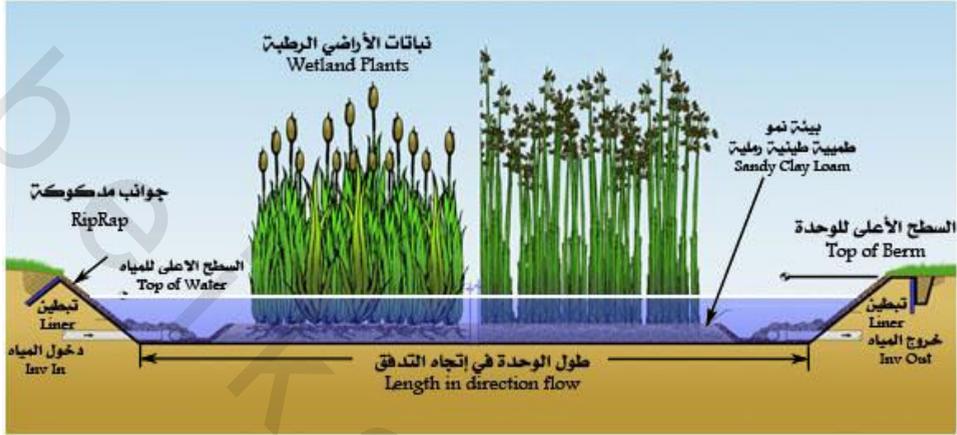
8.5. الأراضي الرطبة المشيدة Constructed wetlands:

بعد الدراسات المستفيضة على أهمية وكفاءة الأراضي الرطبة الطبيعية في تنقية المياه الملوثة التي تُصب وتُصرف فيها، بدأ العمل في بناء وتشيد وحدات الأراضي الرطبة Constructed wetland units؛ للاستفادة منها في تنقية المياه العادمة والملوثة. ووحدات الأراضي الرطبة المشيدة هندسياً تعتبر نظاماً بيئياً متكاملًا؛ حيث تتفاعل مكوناته (المياه - النباتات - الحيوانات - الكائنات الحية الدقيقة) وبيئته (الأرض - الشمس - الهواء)، في تنقية وتحسين جودة المياه الملوثة. وإذا كانت وحدات الأراضي الرطبة الطبيعية هي نتاج العوامل الطبيعية لعلوم الجيولوجيا والهيدروجي والبيولوجي، فإن الأراضي الرطبة المشيدة هندسياً هي نتاج المهارات الإنسانية والتصميمات الهندسية لبناء وحدات تتميز بقلّة تكلفة الإنشاء والتشغيل، وكفاءة عمليات المعالجة والتنقية تحت نظم متغيرة من الأحمال الملوثة للمياه. وهذه الوحدات من الأراضي الرطبة المشيدة هندسياً، لا تحتاج إلى عمالة ماهرة للتشغيل، ويمكن استخدامها في تنقية المياه العادمة الناتجة من الأنشطة الزراعية المختلفة، مثل: مياه مزارع تسمين الماشية، إنتاج الألبان، تسمين الدواجن ومياه الصرف الزراعي، وكذلك المياه العادمة الناتجة من الأنشطة الصناعية، مثل: صناعة الورق، الصناعات الكيماوية، الصناعات الغذائية، وغيرها من الصناعات، وكذلك مياه الصرف الصحي في المدن والمنتجعات والقرى السياحية، بعد معالجتها معالجة أولية أو ابتدائية بالترسيب والترشيح؛ للتخلص من جزء من المواد المعلقة.

ويتم تشيد الأراضي الرطبة هندسياً في أي منطقة، طالما وجدت كمية كافية من المياه تسمح بنمو وحياة النباتات المائية. ويتم إنشاؤها بجفر الأرض في منطقة ضحلة؛ لعمل أحواض ذات عمق قليل، وتركيب أنظمة للتحكم في دخول وخروج المياه وزراعة النباتات المائية. ويجب عزل مواقع الأراضي الرطبة المشيدة عن المناطق المحيطة بها؛ لمنع تسرب المياه، ويتم ذلك بحواجز غير منفذة، سواء من الطين، أو أي تربة ذات نفاذية ضعيفة، أو حواجز من مواد تبطين صناعية (شكل 4-5)، كما يوضح

الفصل الخامس: نقيّة المياه الملوثة باستخدام النباتات في الأراضي الرطبة — 199 —

شكل (5-5) نماذج من هذه الأراضي الرطبة المشيدة هندسيًا في بعض المناطق من العالم.



شكل (5-4): رسم تحطيطي لنموذج من وحدات الأراضي الرطبة المشيدة هندسيًا



شكل (5-5): نماذج من وحدات الأراضي الرطبة التي يتم تشييدها هندسيًا على الأرض

والأراضي الرطبة المشيدة هندسيًا يمكن تصميمها وتنفيذها تبعًا لطريقة انسياب الماء خلالها، والتي تكون أحد ثلاثة أنواع رئيسية، هي:

- الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب السطحي Surface flow (SF) wetlands.
- الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب تحت السطحي Sub Surface Flow (SSF) wetlands.
- الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب الرأسى Vertical Flow (VF) wetlands.

1.8.5. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب السطحي Surface flow wetlands (SFW):

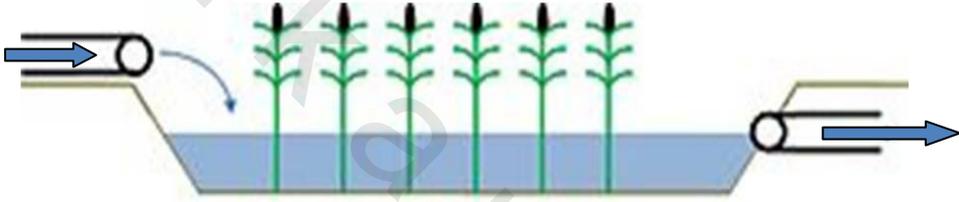
الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب السطحي، تتكون من أحواض، توضع بها بيئات للنمو، تتدفق خلالها مياه الصرف الصحي أفقيًا عبر جذور النباتات شبه المغمورة، مثل نباتات البردي Cattail والديس Bulrushes (شكل 6-5)، كما يمكن تنمية بعض أنواع النباتات الطافية - وأكثرها شيوعًا هي نباتات عدس الماء Duckweed، ورد النيل Water hyacinths - مع النباتات شبه المغمورة. كما يمكن تصميم هذا النظام بطريقة تسمح بالتحكم في عمق الماء وفترة بقاءه في النظام، وكذلك يمكن تصميمه على هيئة أحواض متوازية أو متسلسلة؛ لزيادة كفاءة التنقية، وتلعب البكتيريا دورًا كبيرًا في عملية التنقية أكثر من النباتات.

مميزات النظام:

1. يتميز هذا النظام بقلة تكاليف الإنشاء، وسهولة الإدارة والمتابعة.
2. سهولة استخدام النباتات الطافية وشبه المغمورة في نظام واحد.
3. له القدرة على استقبال مياه عادمة، ذات مدى واسع من حمل الملوثات.

العيوب:

1. تحتاج لمساحات أكبر من الأراضي لتنقية المياه؛ حيث يحتاج الفرد الواحد لمساحة 20 متر مربع لتنقية المياه العادمة التي تنشأ من استخداماته.
2. ظهور واضح للروائح المنبعثة.
3. انتشار وتكاثر للبعوض.
4. تقل كفاءة التنقية بها شتاء.



شكل (6-5): رسم تخطيطي لوحدة الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب السطحي

8.5.2. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب تحت السطحي Sub-

Surface Flow wetlands (SSFW):

الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب تحت السطحي يتم فيها تدفق مياه الصرف الصحي بين جذور النباتات التي تنمو في مهد مسامي من الحصى، ومبطن بجواز غير منفذة؛ لمنع رشح الماء. ويمر الماء العادم المراد تنقيته خلال الوسط المسامي إلى القاع؛ حيث يتم صرفه (شكل 7-5). والنباتات التي يتم تنميتها هي في الغالب نباتات الغاب *Phragmites australis*، أو تنمى نفس النباتات المستخدمة في الأراضي الرطبة ذات الانسياب السطحي للمياه. ويوفر السطح النوعي الكبير لجذور النباتات ولوسط النمو موقعاً كافياً لنشاط الميكروبات، والعمليات التي تتم عبارة عن خليط من التحولات الميكروبية (هوائية ولا هوائية) وعمليات فيزيائية وكيميائية. وعند تصميمها بطريقة جيدة، فإن هذه المزارع ذات المهد المكون من الحصى لها معدل كبير في الهدم

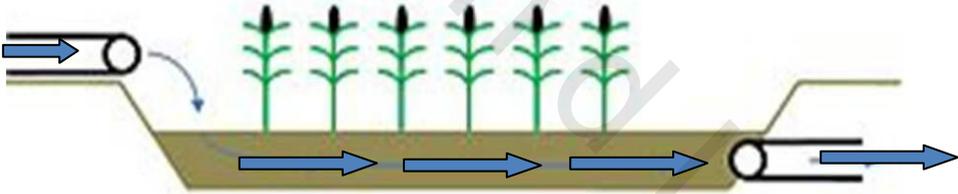
الميكروبي للمواد العضوية، والتخلص من النترات. والأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب تحت السطحي، يمكن أن يكون وسط النمو مشبعًا بالماء طوال الوقت، أو يكون ما بين التشبع والجفاف في دورات للإضافة.

مميزات النظام:

1. أكثر كفاءة في التنقية؛ حيث يحتاج الفرد الواحد لمساحة 5-10 متر مربع لتنقية المياه العادمة التي تنشأ من استخداماته.
2. الروائح المنبعثة منها أقل Less odorous.
3. أقل حساسية less sensitive لظروف برودة الشتاء.

العيوب:

1. أهم عيوب هذه الأنظمة هو قابلية مهد النمو للانسداد Clogging.
2. تكلفة الإنشاء عالية، قد تصل إلى خمسة أضعاف نظم الانسياب السطحي.



شكل (7-5): رسم تخطيطي لوحدة الأراضي الرطبة المشيدة

ذات الانسياب تحت السطحي

8.5.3. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب الرأسي Vertical Flow wetlands(VFW):

الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب الرأسي هي مشابهة لأنظمة تدفق مياه الصرف الصحي ذات الانسياب تحت السطحي، وبالتالي فإن مزاياها مماثلة لها مع زيادة في الكفاءة. كما يتم التغلب في هذا النظام على مشكلة الانسداد في نظام الانسياب تحت السطحي، بدفع مياه الصرف الصحي خلال مواسير سطحية مثقبة؛ للوصول بها

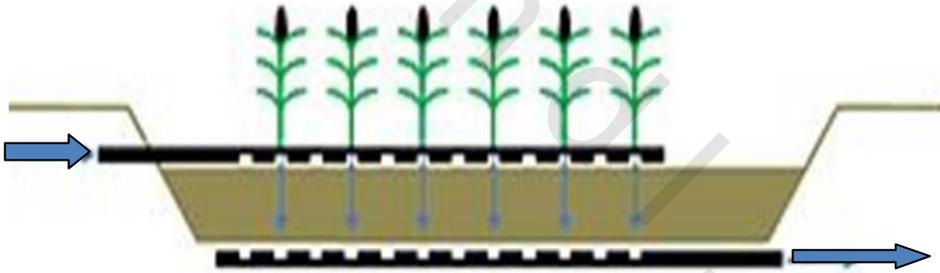
عبر بيئة النمو إلى المناطق السفلى للوحدة (شكل 8-5). وهذا النظام يستخدم بشكل حصري الرمال الناعمة في بيئة النمو، والتي تساعد في زيادة كفاءة التخلص من البكتيريا.

مميزات النظام:

1. أكثر كفاءة في التنقية؛ حيث يحتاج الفرد الواحد لمساحة 3 متر مربع لتنقية المياه العادمة التي تنشأ من استخداماته.
2. لا توجد روائح منبعثة.
3. لا تتأثر كفاءتها في الجو البارد لفصل الشتاء.

العيوب:

تكلفة الإنشاء أعلى من تكلفة إنشاء نظم الانسياب تحت السطحي.



شكل (8-5): رسم تخطيطي لوحدة الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب الرأسي

9.5. معايير التصميم العام لبناء الأراضي الرطبة General design criteria

for constructed wetlands:

لتصميم وحدة من وحدات الأراضي الرطبة، يجب الأخذ في الاعتبار بعض معايير التصميم Design criteria التي يبني على أساسها تحديد مساحة الوحدة Area unit،

معدل التدفق Flow rate، فترة مكوث المياه في الوحدة التي تكفي للتنقية Retention time، معدل الحمل الهيدروليكي Hydraulic loading rate.

• **معدل الحمل الهيدروليكي Hydraulic loading rate :**

ويعتبر معدل الحمل الهيدروليكي أحد أهم المتغيرات في وحدات الأراضي الرطبة (Mitsch & Jørgensen 2004)، وتحسب من المعادلة التالية:

$$q = (Q/A)/100$$

حيث إن:

• معدل الحمل الهيدروليكي بالسنتيمتر في اليوم q: hydraulic loading rate (cm/day).

• معدل التدفق بالتر المكعب في اليوم (Q: flow rate (m³/day

• مساحة وحدة الأراضي الرطبة بالتر المربع (A: wetland area (m²

ويعتبر معدل الحمل الهيدروليكي المثالي في الأراضي الرطبة ذات التدفق السطحي حوالي 1.7 ± 5.4 سنتيمتر في اليوم.

• **وقت احتجاز المياه Detention or Retention time :**

وهو الوقت اللازم نظريًا لبقاء المياه أو احتجازها في وحدة الأراضي الرطبة حتى يتم تنقيتها، وتسمى أيضًا بفترة مكوث المياه في وحدة التنقية Residence time، والتي يتم حسابها بالمعادلة التالية:

$$t = (V \cdot p)/Q$$

حيث إن:

• وقت المكوث أو الاحتجاز t: residence time

• حجم وحدة الأراضي الرطبة بالتر المكعب (V: volume of the wetland (m³

• نفاذية الوحدة p: porosity of the wetland

• معدل التدفق بالتر المكعب في اليوم (Q: flow rate (m³/day

وتعتبر نفاذية وحدات الأراضي الرطبة في أنظمة التدفق السطحي surface flow حوالي 1 صحيح.

كما يمكن حساب معدل التدفق من خلال معرفة معدل تدفق المياه الداخل للوحدة inflow، ومعدل تدفق المياه الخارج من الوحدة outflow بالمعادلة التالية:

$$Q = (Q \text{ inflow} + Q \text{ outflow})/2$$

وحتى الآن لا توجد أية اقتراحات خاصة بفترة الإقامة المثلى للمياه في وحدات الأراضي الرطبة، فقد اقترح (Mitsch & Jørgensen 2004) فترة من 5-14 يومًا لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية، واقترح باحثون آخرون وقتًا أطول للإقامة والاحتفاظ من ذلك. حيث يمكن أن يختلف وقت الإقامة المحسوب مع وقت الإقامة الحقيقي؛ نتيجة لوجود مسارات تفضيلية للمياه في الأراضي الرطبة. فالماء يمكن أن يمر على شكل دوائر قصيرة short-circuit، وهذا يعني أن هذا الجزء من المياه لا تمكث إقامته إلا وقتًا قصيرًا جدًا في الأراضي الرطبة، وباقي المياه التي لا يزال مسارها مستمرًا تأخذ وقتًا أطول. وهذا يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند تصميم وحدات الأراضي الرطبة.

• **المساحة المطلوبة لوحدات الأراضي الرطبة Needed Area for wetlands units :**

وتحدد مساحة الأراضي الرطبة من خلال نسب متوازنة بين الطول والعرض، بحيث لا تقل هذه النسبة عن 10:1، وأقل نسبة يمكن استخدامها هي من 1:2 إلى 1:3 في وحدات الأراضي الرطبة ذات التدفق السطحي (Steiner & Freeman 1989).

إن الإبقاء على العناصر الغذائية والمركبات العضوية لوقت محدد في الأراضي الرطبة هو المهمة الرئيسية التي شيدت هذه الأراضي من أجلها. ولكن لسوء الحظ، فإنه من الصعب حساب المساحة المطلوبة بالضبط من قبل التنفيذ؛ ولذلك يتم استخدام بعض الأساليب التجريبية لذلك. وقد

اقترح (Kadlec & Knight 1996) استخدام نموذج $k-C^*$ ، والتي يمكن أن تعبر عن المساحة الأولية أو التقريبية لوحدة الأراضي الرطبة، من خلال المعادلة التالية:

$$\ln((C_o - C^*) / (C_i - C^*)) = kA / q$$

حيث إن:

- تركيز المياه الخارجة C_o : outflow concentration
- تركيز المياه الداخلة C_i : inflow concentration
- معدل الحمل الهيدروليكي q : hydraulic loading rate
- تركيز المواد الكيميائية المتبقية، والذي هو الحد المفترض الوصول إليه بعد عملية التنقية في الأراضي الرطبة C^* is the residual chemical concentration
- ثابت تجريبي kA , is an empirical constant

هذه هي المعادلة التي على أساسها يتم تحديد المساحة الخاصة بالوحدة المراد تشييدها، وهذا يعني أن زيادة مساحة الوحدة - وليس الحجم - سوف يزيد من كفاءة تنقية المياه؛ حيث إن زيادة المساحة يزداد معها زيادة الغطاء النباتي، ومعه زيادة مساحة الأسطح النباتية التي تحمل معظم العمليات البكتيرية اللازمة للتنقية. ولقد أعطى (Kadlec & Knight 1996) بعض الأرقام للعوامل التجريبية (C^* , kA) لمختلف المواد الغذائية والملوثات.

10.5. طريقة إعداد وتجهيز وحدات الأراضي الرطبة المشيدة هندسيًا

Method of preparing the constructed wetlands units:

عند بناء وتشيد وحدات الأراضي الرطبة، يجب الأخذ في الاعتبار كل العوامل والأسس المحددة لكفاءة هذه الوحدات في المعالجة وتنقية المياه

العامدة، بعدها يتم البدء في التنفيذ. وهناك طريقتان لإنشاء الأراضي الرطبة.

الطريقة الأولى: بناء الأحواض وتبطينها بغشاء أو فيلم من البلاستيك.

1. يتم تحديد الموقع والمكان المناسبين لإنشاء الوحدة؛ بحيث يكون من السهل توصيل المياه العامدة إليها، وسهولة سحب المياه المعالجة واستخدامها في الزراعة، أو ضخها في المجاري المائية.
2. يتم تحديد المساحة والعمق المطلوب الوصول إليه في الوحدة، بعدها يتم الحفر.
3. بعد الحفر يتم تسوية ودك أرضية الأحواض؛ حتى يسهل الفرد والتبطين بالبلاستيك.
4. يتم التبطين بالبلاستيك دون وجود فواصل، على أن يكون هناك زوائد من شرائح البلاستيك تغطي جزءًا من سطح الأرض المحيطة بالأحواض (شكل 9-5).



شكل (9-5): تبطين حوض الزراعة بالبلاستيك بعد حفرها ودكها

5. يوضع جزء من التربة على زوائد البلاستيك للتثبيت.

6. يملأ حوض الزراعة ببيئة النمو من الحصى Gravel، والزلط Flint، أو البازلت Basalt، أو الحجر الجيري Limestone، والرمل Sand، أو أحجار الحمم البركانية Lavastone، أو خليط من هذه الأنواع، وذلك بأقطار متدرجة من 10-40 مم (Butler وآخرون سنة 1988، Loveridge and Butler سنة 1992) شكل (10-5).



شكل (5-10): ملء حوض الزراعة بعد التبتين بالبلاستيك ببيئة النمو من الحصى

7. بعد ملء حوض الزراعة ببيئة النمو، يتم تقسيمها إلى أحواض أصغر وترتيبها بالمياه.

8. يتم الزراعة بشتلات النباتات المناسبة (شكل 11-5).



شكل (5-11): زراعة الأحواض بشتلات النباتات في نظام الانسياب تحت السطحي

9. يتم الري بمياه الري لمدة ثلاثة أسابيع؛ للوصول بالشتلات إلى التأقلم، وبداية النشاط في بيئة النمو وظروف الجو الذي به الوحدة.
10. بعد ثلاثة أسابيع يتم توصيل الوحدات بمصدر المياه العادمة، وعليها تنمو النباتات، وتقوم بدورها في التنقية (شكل 12-5).
11. تتم المتابعة الدورية، مع الاحتفاظ بالمياه العادمة بالوحدات حتى تنقيتها.
12. يتم سحب المياه المعالجة واستخدامها في الزراعة، أو ضخها في المجاري المائية.



شكل (12-5): أنواع مختلفة من نباتات الأراضي الرطبة بعد عام من الزراعة

الطريقة الثانية: بناء الأحواض دون تبطين، وفيها:

1. يتم اتباع الخطوات السابقة نفسها دون تبطين أحواض الزراعة (شكل 13-5).
2. زراعة شتلات النباتات في أحواض الأراضي الرطبة التي تم تجهيزها (شكل 14-5).



شكل (5-13): خطوات إعداد أحواض الزراعة في الأراضي الرطبة بدون تبطين



شكل (5-14): خطوات زراعة نباتات الأراضي الرطبة في الموقع الذي تم تجهيزه

11.5. محددات عمل الأراضي الرطبة Wetlands limitations:

بالرغم من أهمية وفاعلية الأراضي الرطبة في تنقية المياه العادمة، إلا أنها تتعرض لبعض المحددات والقيود، التي قد تؤثر سلباً على كفاءتها في عمليات المعالجة والتنقية، من هذه المحددات:

1. قد تتأثر فعالية Effectiveness وكفاءة بعض الأراضي الرطبة المشيدة مع مرور الوقت، فبالرغم من فعاليتها وإسهامها في إزالة بعض الملوثات، وخفض تركيز البعض الآخر في المياه المعالجة، إلا أنه لا يمكن الجزم بأنها يمكن أن تستمر على هذه الحالة من الفاعلية في المعالجة والتنقية مع تقدمها في العمر؛ الأمر الذي يقلل من قدرتها وكفاءتها على خفض وإزالة الملوثات لفترات طويلة من الزمن دون إعادة تنشيط.
2. تتحدد قدرة الأراضي الرطبة المشيدة على قدرة الكائنات الحية بها على تحمل التعرض للظروف البيئية المحيطة بها، مثلها مثل أي أساليب بيولوجية أخرى، وبالتالي يجب الأخذ في الاعتبار محاكاة النظم الطبيعية السائدة في المنطقة؛ لضمان نجاح الوحدات في التنقية.
3. قد يحدث تغير في النظام الإيكولوجي Ecosystem للأراضي الرطبة بعد ضخ المياه العادمة والملوثة إليها، وهو ما يؤثر بشدة على الحياة النباتية والحيوانية بها.
4. وجود تركيزات عالية من الملوثات يتطلب الاحتفاظ بالمياه الملوثة لوقت أطول في وحدة الأراضي الرطبة، أو زيادة مساحتها.
5. تؤثر الحياة البرية Wildlife تأثيراً سلبياً Adversely affected في الأراضي الرطبة في الحالات التي تكون فيها الفلزات الثقيلة هي الملوثات الرئيسة في المياه العادمة، والنظام البيئي لا يقيددها ويحد من حراكها وامتصاصها، فيزداد تركيز الفلزات الثقيلة وتراكمها في النباتات.

12.5. استخدام تقنية الأراضي الرطبة في معالجة مياه الصرف الصحي

والزراعي using of wetland technology in sewage and
agricultural water treatment:

إن الأراضي التي تعتمد في زراعتها على مياه الري تشغل نحو 17% فقط من الأراضي الصالحة للزراعة في العالم، وهذا - في الغالب - يرجع إلى عدم توفر النوعية الجيدة من المياه الصالحة للري، ولكن هذه النسبة من الأراضي تُساهم بحوالي 34% من مجموع الإنتاج الزراعي. وكمثال أكثر وضوحًا على ذلك، فإنه في المناطق الجافة من العالم - مثل إقليم الشرق الأدنى - لا تكفي المياه الجيدة الصالحة لإلري 30% من المساحة المزروعة في هذه المناطق، لكنها تنتج نحو 75% من مجموع الإنتاج الزراعي. ونتيجة لنقص المياه الصالحة للري للمساحات المتاحة من الأراضي في بعض المناطق الجافة، فإنه يتم استيراد أكثر من 50% من احتياجات هذه المناطق من المواد الغذائية، أي أن معدل الزيادة في الطلب على الغذاء يتجاوز معدل الزيادة في الإنتاج الزراعي.

وحيثما تكون النوعية الجيدة من المياه شحيحة، فإنه لا بد من النظر في المياه ذات النوعية الهامشية؛ لاستخدامها في الزراعة. وعلى الرغم من عدم وجود تعريف شامل للنوعية الهامشية من المياه لجميع الأغراض العملية، إلا أنه يمكن تعريفها بأنها: "المياه التي تمتلك خصائص معينة تسبب مشاكل عندما يتم استخدامها لغرض مقصود". على سبيل المثال، المياه المالحة هي نوعية هامشية بالنسبة للاستخدام الزراعي؛ لما لها من محتوى عالٍ من الأملاح الذائبة، ومياه الصرف الصحي أو مياه المجاري هي نوعية من المياه الهامشية بالنسبة للاستخدام الزراعي والآدمي؛ بسبب المخاطر الصحية المرتبطة بها.

ومن وجهة نظر الري، فإن استخدام نوعية مياه هامشية في الزراعة يتطلب إدارة أكثر تعقيدًا وإجراءات مراقبة أكثر صرامة، بالمقارنة باستخدام نوعية مياه جيدة. إن استخدام مصادر المياه الهامشية من مياه الصرف الصحي في الزراعة يمكن أن يكون من الاعتبارات المهمة عند التخطيط للتخلص منها في المناطق الجافة وشبه الجافة. إن

التخطيط السليم لاستخدام مياه الصرف الصحي البلدية لا يخفف فقط من مشاكل تلوث المياه السطحية، ولا يحافظ على مورد من موارد المياه، ولكنه يأخذ أيضًا في الاعتبار الاستفادة من العناصر الغذائية التي تحملها هذه المياه، والصالحة لتغذية المحاصيل. وكمثال على أهمية استخدام مياه الصرف بعد معالجتها في مجال الزراعة، فإن المدينة التي يبلغ عدد سكانها 500.000، واستهلاك المياه فيها 20 لتر / للشخص الواحد في اليوم، سوف تنتج ما يقرب من 85000 متر مكعب / يوم من مياه الصرف الصحي، على افتراض تدفق 85% لنظام الصرف الصحي العام. فإذا تم استخدام هذه المياه بعد معالجتها في الري بعناية - بمعدل تطبيق 5000 متر مكعب / هكتار / سنة - فإن مساحة قدرها 6000 هكتار يمكن ربيها. وبالإضافة إلى الفائدة الاقتصادية للمياه في الري، فإن قيمة المخلفات التي تحتويها كسماد لها أهمية كبيرة أيضًا. وقد وجد أن متوسط التركيزات النموذجية من المغذيات في مياه الصرف الصحي المعالجة الناتجة من عمليات معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية على النحو التالي: النيتروجين 50 ملليجرام / لتر، الفوسفور 10 ملليجرام / لتر، والبوتاسيوم 30 ملليجرام / لتر. وبافتراض معدل تطبيق 5000 متر مكعب / هكتار / سنة، فإن مساهمة هذه المخلفات من الأسمدة هي: النيتروجين 250 كجم / هكتار / عام، الفوسفور 50 كجم / هكتار / عام، والبوتاسيوم 150 كجم / هكتار / عام.

إن معالجة المخلفات المائية - بحيث تعود مرة أخرى صالحة للاستخدام - هو هدف له علاقة بالحصول على بيئة نظيفة، والحفاظ على الصحة العامة، كما أنه هدف اقتصادي مهم، وهذا ما جعل الدول المتحضرة تنفق مليارات الدولارات على معالجة المخلفات البيئية، وقوانين البيئة في هذه الدول صارمة جدًا، ولا يوجد تهاون على الإطلاق في تلوّث البيئة.

وتعتبر مياه الصرف الزراعي بمفردها، أو المختلطة مع مياه الصرف الصحي في المصارف، من مصادر المياه التي يجب الاهتمام بها، ومعالجتها؛ لإعادة استخدامها في الزراعة. وبالرغم من ضخامة كمية مياه الصرف الزراعي، وعدم توافر مساحات خالية من الأراضي لإنشاء الأراضي الرطبة لمعالجة هذه المياه، والتكلفة العالية جدًا للتشييد،

فإنه يمكن استخدام هذه التقنية لمعالجة المياه في نفس موقع صرفها بالمصارف الزراعية، وذلك على عدة مراحل، يتم في كل مرحلة منها استخدام أنواع معينة من النباتات والحشائش المائية؛ للتخلص من الملوثات، ويمكن إيجاز هذه المراحل فيما يلي:

المرحلة الأولى: يتم خفض معدل سريان الماء في المصرف؛ ليسمح بترسيب محسوس للمواد الصلبة، بحيث تصبح المياه أقل عكارة، وتسمح بتخلل الضوء للنباتات النامية في المراحل التالية، ويتم ذلك بتدرج قاع المصرف للوصول إلى العمق المطلوب، كذلك يمكن عمل عدة أحواض ترسيب متتالية على طول مجرى المصرف على مسافات متباعدة، ويجب تنظيف وتطهير هذه الأحواض على فترات.

المرحلة الثانية: يتم تنمية بعض أنواع النباتات شبه المغمورة مثل البردي Cattail، الديس Bulrushes، الغاب Reed؛ حيث إن الساق المغمور وأوراق النباتات تقلل أكثر من سرعة سريان الماء، وتحجز المواد الصلبة والمعلقة، كما أن هذه النباتات تزيل جزءًا من العناصر الذائبة بكفاءة؛ حيث تمتصها وتحتجزها داخل ريزوماتها، ولذلك فإن حصد الأجزاء العلوية من هذه النباتات لا يفيد كثيرًا في إزالة العناصر التي تم امتصاصها، ويجب التحكم باستمرار في كثافة النباتات؛ للتوصل إلى الحد المثالي بحيث لا يزيد عددها؛ مما يسبب إعاقة لجريان الماء.

المرحلة الثالثة: يتم تنمية بعض أنواع النباتات الغاطسة الجذرية (Potamogeton spp)، مثل الهللس، الحريش، حيث تمتص الفلزات الثقيلة من الماء، كما أنها تقلل بكفاءة من سرعة جريان الماء قرب قاع المجرى؛ مما يسمح بترسيب أكثر للمواد الصلبة المعلقة، وبعض هذه النباتات تقوم بإفراز مواد كيميائية خاصة، لها فعل مطهر يفيد في تنقية المياه من الكائنات الممرضة.

المرحلة الرابعة: ينمو ورد النيل Water hyacinth، وهو فعال جدًا في تقليل COD, BOD إلى مستويات منخفضة، كما أنه فعال أيضًا في إزالة المغذيات والفلزات الثقيلة، والعديد من الكيماويات المتنوعة، وتشمل الهيدروكربونات والفينولات والمواد الإليفائية العضوية. ويمتلك ورد النيل معدلًا عاليًا من التمثيل

الضوئي؛ مما يزيد من تركيز الأوكسجين الذائب في الماء وبالتالي يحسن من ظروف حياة ونمو الأسماك، وتعتبر هذه المرحلة مرحلة حاسمة لتحسين نوعية المياه قبل صرفها إلى المسطحات المائية مثل البحيرات أو البحار.

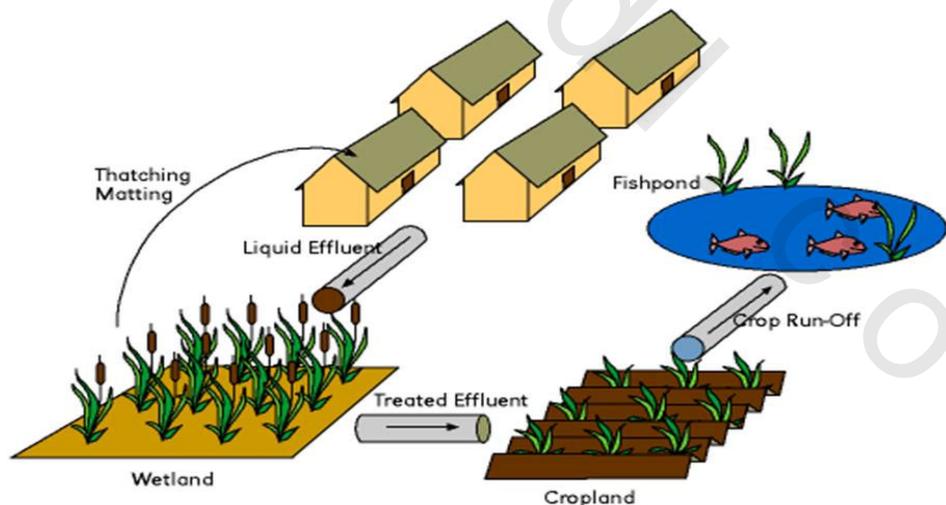
المرحلة الخامسة: وهي مرحلة أخيرة يمكن أن ينمى فيها زريعة من الأسماك؛ لإنتاج ما يسمى بالإصبعيات، وهي الأسماك صغيرة الحجم، التي تستخدم في تنمية مصادر الأسماك في البحيرات.

13.5. تصور للنظام البيئي المتكامل لمنظومة الأراضي الرطبة Perception of the integrated ecosystem in wetlandlands:

إن نظام الأراضي الرطبة، نظام متوافق بيئيًا على الصعيدين الداخلي والخارجي، هذا التوافق الداخلي بين مكوناته هو الذي جعله فعالاً في نقيّة المياه العادمة، والتخلص مما بها من ملوثات، وهو ما أهله إلى أن يُصبح متوافقاً خارجياً مع احتياجات الإنسان الذي يستخدم هذا النظام. فلو تصورنا مجتمعاً بشرياً يعيش في قرية بدوية أو قرية سياحية، ينشأ عن نشاطاته الإنسانية مياهاً عادمة ملوثة وملوثة للبيئة في صورة صرف صحي، والتي تحتاج للتخلص منها ومعالجتها دون وجود شبكة للصرف الصحي .. فماذا نفعل؟ لا مفر من استخدام أحد أنظمة الأراضي الرطبة ذات الانسياب تحت السطحي أو الرأسي لتنقية هذه المياه العادمة. ويتم ذلك من خلال هذه الدورة المتكاملة:

1. يتم تجميع مياه الصرف الصحي في ترنشات كتتك للترسيب Septic tank، تترسب به المواد العضوية الصلبة، والتي تُخلص مياه الصرف الصحي من حوالي 44-96% من العناصر السامة والمعادن الثقيلة Toxic Elements (Gray or Heavy Metals سنة 1989)، لكن يتبقى بها الكائنات الدقيقة المرضية Pathogens، وبعض المعادن السامة والأملاح المحددة للاستخدام Salts Restrict، وبعض العوالق الأخرى Suspended Solid، وذلك فيما يسمى بسائل مياه المجاري Sewage Effluent أو Liquid effluent .

2. يسحب الماء الراشح أو سائل مياه المجاري ومابه عوالق Liquid effluent من تنك الترسيب إلى وحدة الأراضي الرطبة؛ ليأخذ دورته في التنقية (شكل 15-5).
3. بعد دورة التنقية لمياه الصرف الصحي، تصبح المياه معالجة Treated effluent ، ومفيدة دون ضرر لري بعض المحاصيل.
4. تُضخ مياه الصرف الناتج من ري المحاصيل الزراعية Crop run-off إلى بركة أو حوض لتربية الأسماك Fish pond.
5. النباتات النامية في أحواض الأراضي الرطبة يمكن استخدامها حسب طبيعتها، فالبوص أو الغاب يستخدم في التظليل للبرجولات في القرى السياحية، أو التسقيف Thatching matting للمنازل والحظائر في القرى البدوية أو الريفية، ونباتات البردي تستخدم في صناعة أوراق البردي، ونباتات السمار تستخدم في صناعة الحصير... وهكذا في دورة لإعادة تدوير نباتات الأراضي الرطبة.



شكل (15-5): تصور للنظام البيئي المتكامل من خلال منظومة الأراضي الرطبة

المراجع

أولاً: المراجع العربية:

- أحمد شوقي زهران، وجابر زايد بريشة (2004): الإنزيمات الميكروبية وتطبيقاتها في الصناعة والطب، مطابع جامعة الملك سعود، الرياض.
- جابر زايد بريشة، وعادل محمود حماد (2002): أساسيات الميكروبيولوجيا الصناعية، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- جهاز شئون البيئة - جمهورية مصر العربية (1992): خطة العمل البيئي في مصر، جهاز شئون البيئة - مجلس الوزراء - القاهرة - مصر.
- جهاز شئون البيئة - جمهورية مصر العربية (1997): تقرير الوضع البيئي في مصر لعام 1996، وزارة الدولة لشئون البيئة - القاهرة - مصر.
- حسين المكاوي، محمد زكي، مجدي دياب (1996): تلوث البيئة المصرية بالمبيدات الحشرية، المركز القومي للبحوث الاجتماعية والجنائية - القاهرة - مصر.
- زيدان هندي عبد الحميد، محمد إبراهيم عبد المجيد (1977): الملوثات الكيميائية والبيئية، كلية الزراعة - جامعة عين شمس - مصر.
- سامي غرايبه، يحيى الفرحان (1993): المدخل إلى العلوم البيئية، دار الشروق للنشر والتوزيع - عمان - الأردن.
- سمير عبد الوهاب أبو الروس، آسيا أحمد الفلكي (2005): تلوث الأراضي والمياه: المصادر - الأخطار - أساليب العلاج، برنامج التعليم المفتوح بجامعة القاهرة - الجيزة - مصر.
- سمير عبد الوهاب أبو الروس، محمد أحمد شريف (1995): الزراعة وإنتاج الغذاء بدون تربة - تنقية مياه المجاري وإعادة استخدامها في الزراعة (362-366)، دار النشر للجامعات - القاهرة - مصر.

- عادل محمود حماد، وجابر زايد بريشة (2005): الميكروبيولوجيا الزراعية، مطابع جامعة المنيا، المنيا.
- عبد الهادي حسن (2001): حماية البيئة: التلوث بالمبيدات الكيماوية وأفضل الحلول، دار علاء الدين للنشر والتوزيع والترجمة - دمشق - سوريا.
- فتحي محمد مصيلحي (2008): الجغرافيا الصحية والطبية، دار الماجد للنشر والتوزيع، القاهرة.
- محمد أحمد شريف، هشام عمر شريف (1997): معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات النامية في الأراضي الرطبة في محافظة الوادي الجديد، صندوق الاستشارات والدراسات والبحوث الفنية والتكنولوجية - وزارة الدولة لشئون البحث العلمي والتكنولوجيا - القاهرة - مصر.
- محمد أحمد شريف، محمد عاطف كشك (2011): التحليلات المعملية للتربة والمياه والمواد النباتية، دار النشر للجامعات - القاهرة - مصر.
- محمد عبد القادر الفقي (2006): البيئة مشاكلها وقضاياها وحمايتها من التلوث، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (2000): دليل استعمال المياه العادمة في الري - منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة - المكتب الإقليمي للشرق الأدنى - القاهرة - مصر.
- وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية بجمهورية مصر العربية (2000): اللائحة التنفيذية للقانون (93) لسنة 1962 في شأن صرف المخلفات السائلة وتعديلاته، والقرار الوزاري رقم (44) لسنة (2000): القاهرة - مصر.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Abdel Hakim, S. G. (2010): Treatment of sewage effluent using constructed wetland. M.Sc. Thesis, Fac. Agric., Cairo Univ., Cairo, Egypt.
- Ahmed, S. M. (1999): Biochemical studies on wastewater. Ph.D. Thesis, Fac. Agric., Cairo Univ., Cairo, Egypt.

- Aiyuk S, amoka J, Raskin L, Van Haandel A, Verstraete W (2004): Removal of carbon and nutrients from domestic wastewater using a low investment, integrated treatment concept. *Water res* 38:303-3042.
- Alexander, M. (1999): *Biodegradation and Bioremediation*. Academic Press, London.
- Aslan V, Miller L, Dahab M (2009): Ammonium oxidation via nitrite accumulation under limited oxygen concentration in sequencing batch reactors. *Boiresour Technol* 100:659-664.
- Ayers, R. S. (1977): Water quality for irrigation. *J. Irrig. Drain. Div., ASCE*: 135-154.
- BaDawy MI, Wahaab RA, El-Kalliny AS. (2009): Fenton-biological treatment processes for the the removal of some pharmaceuticals from industrial wastewater. *J Hazard Mater* 2009;167:567-574.
- Berisha, G. and Winter, J. (2010): Bio-removal of nitrogen from wastewaters-A Review, *Journal of American Science*, <http://www.americanience.org>, 6: (2010) 508-528.
- Bhamidimarri, R; Shilton, A.; Armstrong, I.; Jacobsen, P.; Scarlet, D. (1991): Constructed wetlands for wastewater treatment: the New Zealand experience.. *Water Science Technology* 24: 247–253.
- Bowmer, K.H. (1987): Nutrient removal from effluents by an artificial wetland: influence of rhizosphere aeration and preferential flow studied using bromide and dye tracers. *Water Research*: pp. 591–599.
- Breen, P.F. (1990): A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment. *Water Research* 24: 689–697.
- Brinson, M. (1993): *A Hydrogeomorphic Classification of Wetlands*
- Brix, H. (1994): Use of constructed wetlands in water pollution control: Historical development, present status, and future perspectives. *Water Science & Technology* 30 (8): 209 – 223.
- Brooks, R. R. (ed.) (2000): *Plants that Hyper accumulate Heavy Metals*. CABI, New York.
- Burgoon, P.S.; Reddy, K.R.; DeBusk, T.A. (1989): Domestic wastewater treatment using emergent plants cultured in gravel and plastic substrates. In *Hammer* 1989, pp. 536–541.

- Burgoon, P.S.; Reddy, K.R.; DeBusk, T.A. (1991): Vegetated submerged beds with artificial substrates II: N and P removal. *Journal of Environmental Engineering* 117 (4): 408–422.
- Butler, J.F.; R.F. Loveridge and D.A. Bone (1988): The use of hydroponics for sewage treatment in temperate and tropical. 7th International Congress on Soilless Culture, 103-115.
- Chapman, H. D. (1966): *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. University of California, Division of Agricultural Sciences.
- Cole, S. (1998): "The emergence of treatment wetlands" (Scholar search): *Environmental Science & Technology* 32 (9): 218–223.
- Cruazon, B. (2007): history of anaerobic digestion, web.pdx.edu, retrieved 17.08.07.
- Daniel Lm, pozza E, foresti E, Fabio Alexandre Chinalia A (2009): Removal of ammonium via simultaneous nitrification-denitrification nitrite-shortcut in a single packed-bed batch reactor. *Bioresour Technol* 1100-1107.
- Davies, T.H. and Hart, B.T. (1990): Use of aeration to promote nitrification in reed beds treating wastewater. *Advanced Water Pollution Control* 11: 77–84.
- Doelle, H.W. (2001): *Biotechnology and Human Development in Developing Countries*, www.ejbiotechnology.info, retrieved 19.08.07.
- Dugan, Patrick (editor) (1993): *Wetlands in Danger*, World Conservation Atlas Series
- FAO (1985): *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and drainage paper 29, Rome.
- FAO (2000): *Users Manual for Irrigation with Treated waste water*. FAO Regional Office, Cairo, Egypt.
- FAO / WHO (1976): *List of Maximum Levels Recommended for Contaminants*. Joint FAO/WHO Food standard programme. CAC/FAL 3-1976, FAO, Rome.
- Ferguson, t.& mah, R. (2006): *Methanogenic bacteria in Anaerobic digestion of biomass*, p49.
- Finlayson, M.C. and Chick, A.J. (1983): Testing the significance of aquatic plants to treat abattoir effluent. *Water Research* 17: 15–422.

- Fredrikson, Leigh H. (1983) "Wetlands: A Vanishing Resource" Yearbook of Agriculture
- Friends of the Earth (2004.) Anaerobic digestion paper, www.foe.co.uk, retrieved 17.08.7.
- Gaber Z. Breisha and Josef Winter (1998): Removal of organic pollutants and of nitrate from wastewater from dairy industry by denitrification. *Appl microbial Biotechnol* 49:469-474.
- Gaber Z. Breisha and Josef Winter (2000): Inhibition of methane production from Whey by heavy metals-protective effect of sulfide. *Journal of Applied Microbiology & Biotechnology*, 53:726-731.
- Gaber Z. Breisha and Josef Winter (2010): Bio-removal of nitrogen from wastewater-A review. *Journal of American science* 6:508-528.
- Gelt, Joe (1997): Constructed Wetlands: Using Human Ingenuity, Natural Processes to Treat Water. Build Habitat. *Arroyo*,9(4):<http://ag.arizona.edu/AZWATER/arroyo/094wet.html>.
- Ghabo, A. A. (2007): Wetlands Characterization; Use by Local Communities and Role in Supporting Biodiversity in the Semiarid Ijara District, Kenya. *Terra Nuova East Africa. Wetlands in drylands.*
- Gheysari M, Miratifi SM, Homaei M, Esmaeil Asadi m, Gerrit Hoogenboom G (2009): Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates *Agric Water manag* 96:946-945.
- Good, R.E.; Whigham, D.F. and Simpson, R.L., eds (1978): *Freshwater wetlands, ecological processes and management potential.* New York: Academic Press.
- Greenway, M. and Woolley, A. (1999): Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation. *Ecological Engineering*, 12(1-2): 39-55.
- Guntensbergen, G.R.; Stearns, F. and Kadlec, J.A. (1989): Wetland vegetation. In Hammer 1989, pp. 73–88.
- Guo JH, peng YZ, Wang SY, Zheng Yn, Huang HJ, Ge SJ (2009): Effective and robust partial nitrification to nitrite by real-time aeration duration control in an SBR treating domestic wastewater. *Process Biochem* 44:797-985.

- Hammer, D.A. (1992): Creating freshwater wetlands Lewis Publishers. Chelsea, MI.
- Hammer, D.A. (1992): Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint source pollution. *Ecological Engineering*, 1(1-2): 49-82.
- Hammer, D.A., ed (1989): Constructed wetlands for wastewater treatment. Chelsea, Michigan: Lewis publishers.
- Hammer, D.A.; and Bastion, R.K. (1989): Wetlands ecosystems: Natural water purifiers?. In Hammer 1989, pp. 5–20.
- Humanik, F. et al (2007): Anaerobic digestion of animal manure, www.ept.gov, retrived 17.08.07.
- Jenssen, P.D.; Maehlum, T.; Zhu, T. and Warner, W.S. (1992): Cold-climate constructed wetlands. Aas, Norway: Jordforsk Centre for Soil and Environmental Research, N-1432.
- Kadlec, R.H. (1989): Hydrologic factors in wetland water treatment. In Hammer 1989, pp. 21– 40.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996): Manual: Constructed Wetlands Treatment of municipal Wastewaters. DIANE Publishing, Amazon,
- Kadlec, R.H. and Wallace, S. (2009): Treatment Wetlands. second edition.
- Kivaisi, A.K. (2001): The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, 16(4): 545-560.
- Liu C, Yamamoto T, Nishiyama T, Fujii T, Furukawa K (2009): Effect if salt concentration in anammox treatment using non woven biomass carrier. *J Biosci Bioeng* 107:519-523.
- Loveridge, R.F. and J.F.; Butler (1992): Sewage effluent, a hydroponics nutrient solution for crop. 8th International Congress on Soilless Culture, 209-221.
- Ma WL, Zhang Y Qi R, Wang, V, Liang, C Z, Yang M (2009): Performance of a successive hydrolysis, denitrification and nitrification system for simultanesus removal of COD and nitrogen from terramycin production wastewater. *Biochem Eng J* 45:30-34.

- Ma Y, peng Y, Wang S, Yuan Z Wang X (2009): Achieving nitrogen removal Via nitrite in a pilot-scale continuous pre-denitrification plant. *Water Res* 43:563-572.
- Mann, R.A. (1990): Phosphorus removal by constructed wetlands: substratum adsorption. *Advanced Water Pollution Control* 11 h.
- Mara, D. (1974): *Bacteriology for Sanitary Engineers*, Churchill livingston. Edinburgh.
- Masi, F. and Martinuzzi, N. (2007): Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation. *Desalination*, 215: 44-55.
- Mitsch, W.J., J.G. Gosselink, C.J. Anderson, and L. Zhang. (2009): "Wetland Ecosystems". John Wiley & Sons, Inc., New York, 295 pp.
- Molinuevo B, Garcia MC, Karakashev D, Angelidaki I (2009): Anammox for ammonia removal from pig manure effluents: Effect of organic matter content on process performance. *Bioresour Technol* 100:2171-2175
- Nichols, D.S. and Boelter, D.H. (1982): Treatment of secondary sewage with a peat-sand filter bed. *Journal Environmental Quality* 11 (1):
- Niering, W.A. (1988): *Wetlands: Audubon society nature guide..* Toronto: Random House of Canada Limited.
- Park JBK, Craggs RJ, Sukias JPS (2009): Removal of nitrate and phosphorus from hydroponic wastewater using a hybrid denitrification filter (HDF): *Bioresour technol* 100:3175-3179.
- Park S, Bae W (2009): Modeling kinetics of ammonium oxidation and nitrite oxidation under simultaneous inhibition by free ammonia and free nitrous acid. *Process Biochem* 44:631-640.
- Patrick, W.H. and Reddy, K.R. (1976): Nitrification-denitrification in flooded soils and water bottoms: dependence on oxygen supply and ammonium diffusion. *Journal of Environmental Quality* 5.
- Reed, S.C. (1986): *Wetlands as effluent treatment systems*. Tech Press (Halifax, N.S): 207–219.
- Reed, S.C. (1991): *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. *BioCycle* (January): 44–49.
- Reed, S.C. (1995): *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw Hill, Inc.

- Reed, S.C.; Brown, D. (1995): Subsurface flow wetlands-a performance evaluation. *Water Environmental Research* 67: 244–248.
- Rene Er, Kim SJ, park HS (2008): Effect of COD/N ratio and salinity on the performance of sequencing batch reactors. *Bioresour technol* 99:839-846.
- Rogers, K.H.; Breen, P.F. and Chick, A.J. (1991): Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants. *Research Journal Water Political Control Fed* 63: 934–941.
- Rolf E and George T. (1979): *Wastewater Engineering Disposal reuse*. Second Edition, Metcalf & Eddy, Inc., New York.
- Ross, S. M. (1994): *Toxic Metals in Soil – Plant systems*. John Wiley & Sons Ltd.
- Sah, R.N. and Mikkelson, D. (1986): Transformations of inorganic phosphorus during the flooding and draining cycles of soil. *American Journal Soil Science* 50: 62–67.
- Salt, D. E., Smith, R. D. and Raskin, I. (1988): Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 643-648.
- Schroeder, E. (1977): *Water and wastewater treatment*. McGraw Hill. New York.
- Schroeder, E. End tchobanoglous, G. (1976): Mass transfer limitation on trickling filter design, *J Water Pollut. Control Fed.* 48. no 4.
- Shen J, He R, Han W, sun X, Li J , wang L (2009): Biological denitrification of high-nitrate wastewater in a modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (A/O-MBR): *J Haz Mater* 172:595-600.
- Smith, I.; Bis, G.N.; Lemon, E.R. and Rozema, L.R. (1997): A thermal analysis of a vertical flow constructed wetland. *Water Science Technology* 35: 55–62.
- Smith, S. R. (1996): *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. CAB Intern. Wallingford, UK.
- Song Y.C Kwon, S.J., Woo, J.H. (2004): Mesophilic and therperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic-

and thermophilic digestion of sewage sludge, *Water Res.*38:1653-62.

- Tan TW, Ng Hy (2008): Influence of mixed liquor recycle ratio and dissolved oxygen on performance of pre-denitrification submerged membrane bioreactors. *Water Res* 42:1122-1132.
- Tanner, C. C.; Clayton, J. S. and Upsdell, M.P. (199): Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewater's in constructed wetlands-II removal of nitrogen phosphorus. *Water Research* 29: 27–34.
- Thut, N.R. (1989): Utilisation of artificial marshes for treatment of pulp mill effluents. In Hammer 1989, pp. 239–251.
- U.S. Department of Energy Environmental Management - "Department of Energy Five Year Plan FY 2007-FY 2011 Volume II." Retrieved 8 April 2007.
- UK- Statutory Instrument (1989): The sludge (Use in Agriculture) Regulations 1989. Statutory Instrument No. 1263. HMSO, London.
- US Environmental Protection Agency, US-EPA (1976): Quality Criteria for Water. US-EPA, Washington, DC.
- US Environmental protection agency, US-EPA (1988): Design manual: constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment EPA/625/1- 88/022.
- US Environmental Protection Agency, US-EPA (1993): Part 503 – standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register* 58, 9387-9404.
- US Public Health Service, US-PHS (1962): Drinking water standards. US Dept. Health, Education, and Welfare, Washington, DC.
- vanderWiel, D.P., Pruski and T.S King (1999): 'A Kinetic study of the Adsorption and Silver-Ruthenium Bimeallic Catalysts during the Hydrogenation of Carbon Monoxide', *Journal of Catalysis*, 188-202.
- Vázquez-padin J, Ferández I, Figueroa M, Mosquera-Corral A, Campos J, Méndez R (2009): Application of Anammox based processes to treat anaerobic digester supernatant at room temperature. *Bioresour tehnol* 100:2988-2994.

- W.H. MacKenzie and J.R. Moran (2004): "Wetlands of British Columbia: A Guide to Identification. Ministry of Forests, Land Management Handbook 52
- Walters E, Hille A, He M, Ochman C, Horn H (2009): Simultaneous nitrification/denitrification in a bio film airlift suspension (BAS) reactor with biodegradable carrier material Water Res. 43:4461-446
- Wan D, Liu H, Qu J, Lei P, Xiao S, Hou Y (2009): using the combined bioelectrochemical and sulfur autotrophic denitrification system for groundwater denitrification. Bioresour Technol 100:2223-2227.
- Watson, J.T.; Reed, S.C.; Kadlec, R.H.; Knight, R.L.; Whitehouse, A.E. (1989): Performance expectations and loading rates for constructed wetlands. In Hammer 1989, pp. 319–353.
- WHO, World Health Organization (1973): Group Experts. " Reuse of Effluents": Methods of waste water treatment and Health safeguards. Technical Report Series No. 517, Geneva.
- WHO, World Health Organization (1989): Health Guidelines for the Use of Waste Water in Agriculture and Aquaculture. Technical Report series No. 778, WHO, Geneva.
- WHO, World Health organization, (1984): Guidelines for drinking water quality. Vol.1- Recommendation. WHO, Geneva.
- Yan Y, Hu YY(2009): Partial nitrification to nitrite to for treating ammonium-rich organic wastewater by immobilized biomass system. Bioresours technol 100:2341-2347.
- Yaron, B., Calvet, R. and Prost, R. (1996): Soil Pollution – Processes and Dynamics. Springer, Berlin.
- Yetilmezsoy K, Sapci-Zengin S (2009): Recovery of ammonium nitrogen from the effluent of UASB treating poultry manure wastewater by MAP precipitation as a slow release fertilizer.
- Zpanc, C., A. Hornung, O. Hinrichse and M. Muhler (2002): 'The Interaction of Hydrogen with Ru/MgO Catalysts', Journal of Catalysis, vol. 209, 501-514.

الفهرس

5-----مقدمة

الفصل الأول

مصادر التلوث وخصائص المياه الملوثة

- 9-----1.1. مقدمة
- 10-----2.1. التلوث الفيزيائي
- 11-----3.1. التلوث الكيميائي
- 12-----4.1. التلوث البيولوجي
- 13-----5.1. التلوث الإشعاعي
- 13-----6.1. مصادر تلوث المياه
- 13-----1.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات الزراعية
- 24-----2.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات الصناعية
- 31-----3.6.1. المياه الملوثة بالمخلفات المنزلية
- 33-----7.1. تلوث المياه السطحية أكثر خطورة
- 35-----8.1. خصائص المياه الملوثة
- 36-----1.8.1. الخواص الفيزيائية
- 40-----2.8.1. الخواص الكيماوية
- 48-----3.8.1. الخواص الحيوية للمياه الملوثة
- 66-----9.1. معايير نوعية المياه للأحياء المائية
- 66-----1.9.1. القلوية
- 67-----2.9.1. الأمونيا

- 67----- 3.9.1. النيتريت
- 68----- 4.9.1. النترات
- 68----- 5.9.1. درجة حموضة وقلوية الماء
- 68----- 6.9.1. ثاني أكسيد الكربون
- 69----- 7.9.1. الأكسجين الذائب
- 69----- 8.9.1. الطلب الكيماوي على الأكسجين
- 69----- 9.9.1. الطلب الحيوي على الأكسجين
- 70----- 10.9.1. الزيوت والشحوم والدهون
- 70----- 11.9.1. المبيدات
- 70----- 12.9.1. معايير العناصر النادرة

الفصل الثاني

أهم القياسات اللازم إجرائها قبل معالجة المياه الملوثة

- 73----- 1.2. مقدمة
- 73----- 2.2. التركيب التقليدي للمياه الملوثة بالمخلفات المنزلية
- 75----- 3.2. عينة المياه الملوثة
- 78----- 4.2. قياس المادة العضوية
- 78----- 1.4.2. المتطلبات الحيوية من الأكسجين
- 80----- 2.4.2. اختبار المتطلبات الكيماوية من الأكسجين
- 81----- 3.4.2. قياس الكربون الكلي العضوي
- 82----- 4.4.2. قياس المتطلبات الكلية من الأكسجين
- 82----- 5.4.2. قياس المتطلبات النظرية من الأكسجين
- 83----- 5.2. العلاقة بين قياسات المادة العضوية المختلفة
- 83----- 6.2. تركيز أيون الهيدروجين (pH)
- 84----- 7.2. الكلوريدات

85	8.2. القلوية
86	9.2. النيتروجين
87	10.2. الفوسفور
88	11.2. الكبريت
89	12.2. المركبات السامة
89	13.2. المعادن الثقيلة
90	14.2. الغازات
91	15.2. اختبارات القياسات الحيوية

الفصل الثالث

نكرة عامة عن معالجة المياه الملوثة (الأهداف - الطرق - التصميم)

93	1.3. مقدمة
93	2.3. أهداف معالجة المياه الملوثة
95	3.3. تقسيم وتطبيق طرق معالجة المياه الملوثة
96	4.3. تطبيق طرق المعالجة
99	5.3. عناصر التحاليل والتصميم
100	6.3. عمليات الوحدة الفيزيائية
100	1.6.3. الغربلة
101	2.6.3. الخلط
101	3.6.3. التلبد
102	4.6.3. الترسيب
104	5.6.3. التعويم
105	6.6.3. الترشيح
108	7.3. عمليات الوحدة الكيماوية
108	1.7.3. التخثر

- 109----- الترسيب الكيماوي 2.7.3
- 112----- تحولات الغاز 3.7.3
- 113----- الادمصاص 4.7.3
- 116----- التطهير 5.7.3

الفصل الرابع

عمليات العالجة الميوية للمياه الملوثة

- 123----- 1.4 مقدمة
- 123----- 2.4 بعض أساسيات علم الميكروبيولوجي
- 123----- 1.2.4 التمثيل الميكروبي
- 125----- 2.2.4 الإنزيمات
- 127----- 3.2.4 مصادر الكربون والطاقة
- 128----- 4.2.4 هدم المواد الكربوهيدراتية
- 131----- 5.2.4 نمو البكتيريا
- 132----- أ= طور التكيف مع البيئة
- 133----- ب- طور النمو الأسي
- 134----- ج- طور الثبات
- 134----- د- طور الموت
- 134----- 3.4 بعض التعبيرات والمصطلحات المستخدمة في العمليات البيولوجية
- 137----- 4.4 عمليات المعالجة البيولوجية الرئيسية
- 138----- 5.4 عمليات المعالجة بنظام النمو المعلق الهوائي
- 138----- 1.5.4 عملية الحمأة المنشطة
- 144----- 2.5.4 عملية التآزت بمعلق النمو
- 146----- 3.5.4 البحيرات الهوائية أو المهواة
- 149----- 4.5.4 الهضم الهوائي

- 150----- 6.4. عمليات المعالجة بنظام النمو الهوائي العالق
- 150----- 1.6.4. مرشح التقطر
- 152----- 2.6.4. الموصلات الحيوية الدوارة
- 153----- 7.4. الهضم اللا هوائي
- 154----- 1.7.4. مراحل تكوين وإنتاج (الغاز الحيوي)
- 157----- 2.7.4. بكتيريا الميثان (بكتيريا المرحلة الرابعة)
- 159----- 3.7.4. تنظيم تفاعلات إنتاج الميثان
- 161----- 4.7.4. التطبيقات
- 163----- 5.7.4. تغذية المفاعل
- 165----- 6.7.4. المنتجات
- 168----- 8.4. عمليات حيوية أخرى شائعة الاستخدام
- 168----- 1.8.4. عكس التأزت
- 169----- 2.8.4. التأزت وعكس التأزت المتزامنين
- 171----- 3.8.4. عملية أكسدة الأمونيا لا هوائياً
- 172----- 4.8.4. إزالة الفوسفور

الفصل الخامس

تنقية المياه الملوثة باستخدام النباتات في الأراضي الرطبة

- 175----- 1.5. مقدمة
- 177----- 2.5. أنواع الملوثات
- 178----- 3.5. الأراضي الرطبة الطبيعية
- 179----- 4.5. كيف تعمل الأراضي الرطبة على تنقية المياه العادمة وإزالة الملوثات؟
- 180----- 5.5. إزالة الملوثات بصفة عامة
- 180----- أ- وظيفة النباتات المائية في إزالة الملوثات
- 181----- ب- وظيفة الكائنات الحية الدقيقة في إزالة الملوثات

- ج- وظيفة بيئة نمو الأراضي الرطبة في إزالة الملوثات ----- 182
- 6.5. إزالة بعض الملوثات الخاصة----- 182
- أ- إزالة النيتروجين ----- 182
- ب- إزالة الفوسفور ----- 187
- ج- إزالة المعادن والفلزات الثقيلة----- 188
- 7.5. أنواع النباتات المائية المستخدمة في أنظمة الأراضي الرطبة----- 188
- أولاً: الحشائش والنباتات الطافية----- 189
- ثانياً: الحشائش والنباتات المغمورة ----- 191
- ثالثاً: الحشائش المائية شبه المغمورة----- 195
- 8.5. الأراضي الرطبة المشيدة----- 198
- 1.8.5. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب السطحي----- 200
- 2.8.5. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب تحت السطحي ----- 201
- 3.8.5. الأراضي الرطبة المشيدة ذات الانسياب الرأسي----- 202
- 9.5. معايير التصميم العام لبناء الأراضي الرطبة----- 203
- 10.5. طريقة إعداد وتجهيز وحدات الأراضي الرطبة المشيدة هندسياً----- 206
- 11.5. محددات عمل الأراضي الرطبة----- 211
- 12.5. استخدام تقنية الأراضي الرطبة في معالجة مياه الصرف الصحي والزراعي----- 212
- 13.5. تصور للنظام البيئي المتكامل لمنظومة الأراضي الرطبة----- 215
- المراجع ----- 217
- أولاً: المراجع العربية ----- 217
- ثانياً: المراجع الأجنبية----- 218
- الفهرس----- 227