

## 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 ونترت)	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
الـ 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 خلات 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، والتركيب 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.

### 1.4.2. 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 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 الأوكسجين 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 الأوكسجين 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 الأوكسجين 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 والأوكسجين 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:

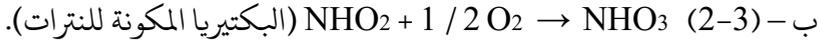
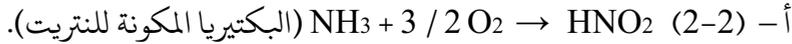
1. الخطوة الأولى: يتحول الكربون إلى ثاني أكسيد كربون، والنيتروجين إلى أمونيا.
2. الخطوة الثانية والثالثة: تتأكسد الأمونيا إلى نيتريت ونترات.
3. الـ ThOD هو مجموع الأوكسجين اللازم لإتمام الخطوات السابقة.

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:

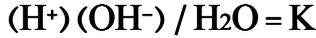
إن الوصول إلى علاقات ثابتة بين مختلف طرق قياس المادة العضوية في المياه الملوثة، يعتمد - بشكل أولي - على طبيعة المخلف المائي ومصدره، وأكثر القياسات صعوبة في أن يكون له علاقة ثابتة بالقياسات الأخرى، هو الـ BOD؛ وذلك بسبب بعض الصعوبات التي سبق ذكرها. بالنسبة لمياه المجاري المنزلية التقليدية، فإن نسبة الـ 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:



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:



وتعرف  $K_w$  بأنها ثابت التأيّن، وقد وجد أنها تساوي  $1 \times 10^{-14}$  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:

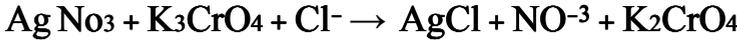
$$pH + pOH = 14$$

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.

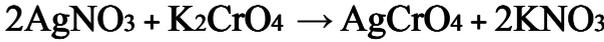
## 7.2 الكلوريدات Chlorides:

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 تلقى 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 بالأماكن 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.

\*\*\*