الفصل الثالث

فكرة 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 والتحاليل التي تجرى بها.
4. بعض الاعتبارات المهمة الأخرى.

3. 2. أهداف معالجة المياه الملوثة Wastewater- treatment objectives:

الأسباب الرئيسة 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 نسبيًّا. 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، خصوصًا 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 الحراريات - 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 تزال بوسائل فيزيائية، وكيماوية، وأخرى حيوية، ومعظم محطات المعالجة تحتوي كل منها على: وحدة للعمليات الفيزيائية، ووحدة للعمليات الكيماوية، ووحدة للعمليات الحيوية. وعلى الرغم من أن المعالجة تتم غالبًا بتداخل هذه الوحدات بدرجات معنية، 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 الكيماوية Chemical unit process**: وهي طرق المعالجة التي يتم فيها إزالة أو تحويل الملوثات، عن طريق إضافة كيماويات أو تفاعلات كيماوية، وتشمل عمليات الوحدة الكيماوية 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 يشتمل 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 أساسًا في إزالة المواد العضوية القابلة للهدم بواسطة الأحياء، سواء أكانت هذه المواد غروية أو ذائبة، وأساسًا تتحول هذه المواد إلى غازات تتصاعد إلى الغلاف الجوي وإلى أنسجة خلوية، يمكن التخلص منها عن طريق الترسيب، وتستخدم المعالجة الحيوية أيضا لإزالة النيتروجين من المياه الملوثة، وفي معظم الحالات - ومع اتباع قوانين صارمة للبيئة - تستخدم الطرق الحيوية في معالجة المياه الملوثة، ونظرا 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 والحمأة، ولكن دون الدخول في تفاصيل؛ لأن الغرض من هذا الفصل هو تقديم الطرق الكثيرة جدًّا 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 معًا 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 والكيماوية والحيوية لإنجاز عملية المعالجة. ويجب الإشارة إلى أن هذه المصطلحات ليست لها قيمة من الناحية العملية، ولكن الأوقع أن يتم التوصل أولًا إلى درجة المعالجة المطلوبة لإزالة الملوثات قبل إعادة استخدام المياه الملوثة أو صرفها إلى البيئة. خلاصة ذلك هو إدراك نقطة مهمة جدًّا، 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 جيدًا، وتتم على قدر كبير من الكفاءة، وهي أيضا أقل تكلفة من الطرق المستخدمة لإزالة ملوثات أخرى.

ولمزيد من حماية البيئة في بعض المناطق الحساسة، فإن درجات عالية من المعالجة أدخلت حديثًا، 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	- ترسيب. - غربلة وسحق. - ترشيح بطرق مختلفة. - تعويم. - إضافة بوليمر كيماوي. - تخثر / ترسيب. - نظام الصرف الأرضي المفتوح.
المواد العضوية القابلة للهدم	- الحمأة المنشطة بطرق مختلفة. - الملامسات البيولوجية الدوارة biological Rotating contactors. - المرشحات المتقاطرة Trickling filters. - البحيرة Lagoon بطرق مختلفة. - الترشيح الرملي المتقطع. - معالجة فيزيائية كيماوية.
الكائنات الممرضة	- الكلورة. - التطهير بالأوزون. - المعالجة بالنظام الأرضي المفتوح.
النيتروجين	- عمليات التأزت وعكس التأزت. - التأزت وعكس التأزت 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 كيماوية. – المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
الحراريات العضوية	– الادمصاص بالكربون. – الإزالة بالأوزون. – المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
المعادن الثقيلة	– الترسيب الكيماوي. – التبادل الأيوني. – المعالجة بنظام الأرض المفتوح.
المواد الصلبة غير العضوية	– التبادل الأيوني. – الديلزة الكهربائية. – الأسموزية العكسية.

3. 5. عناصر التحاليل 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 والتحاليل 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.
- **بروفيل 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 الغربلة والمعادلة والخلط والتلبد والترسيب والتعويم والترشيح، وفيما يلي نلقي الضوء على كل من هذه العمليات.

3. 6. 1. الغربلة Screening:

الغربلة 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، والفوط التي تستخدمها النساء أثناء الدورة الشهرية، والقطن والشاش المستخدم في تضميد الجروح، وفوارغ المعلبات وبعض الفاكهة المعطبة ... إلخ، وتتم الإزالة يدويًّا أو أوتوماتيكيًّا، وعدم إزالة مثل هذه الأنواع من المخلفات قد يعطل الأجهزة المستخدمة في المعالجة، أو يعوق المعالجة داخل المحطة. إن الغربلة تشتمل أيضًا على وجود قناة أو حوض يتم فيه التحكم في سرعة المياه الملوثة الواردة؛ وذلك للسماح للرمل 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 للتلبد كاتيونات، مثل الألومنيوم والحديد والكالسيوم والمغنسيوم، هذه الجزئيات ذات الشحنة الموجبة تتفاعل مع الجسيمات والجزئيات 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.

أيضًا يتم تصنيع وبيع المواد المسببة للتلبد 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 التقليب مهم جدًّا بعد إضافة الكيماويات؛ لكي يتم التلبد بنجاح، ويتم التلبد عن طريق التقليب البطيء بواسطة مجاديف متحركة، وأحيانًا تتسبب حركة رش الخلاطات أثناء عملية الخلط في حدوث عملية التلبد.

3. 6. 4. الترسيب Sedimentation:

الترسيب هو ميل الجزئيات الموجودة في المعلق للخروج منه؛ لترسو على الجدار أو القاع، وحركة هذه الجزئيات 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 وحبوب اللقاح ومعلقات المواد الخلوية إلى محاليل الجزئيات، مثل البروتينات والببتيدات. 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 للترسيب (شكل 1-3)، وتسمى أحواض الترسيب الأولية، ويتم الترسيب بواسطة الجاذبية، حيث تترسب إلى أسفل الجزئيات ذات الوزن الأثقل من الماء، ومن الجدير بالذكر أن الترسيب قد يتم عدة مرات، وفي مراحل مختلفة من مراحل المعالجة، حيث تكون العمليات متداخلة مع بعضها البعض، وبالإضافة إلى أن الترسيب - في حد ذاته - هو عملية معالجة، فإن أهم فائدة هي زيادة سمك المواد الصلبة في الحمأة؛ حتى يسهل تداولها ومعالجتها، ويجب أن يسمح لمياه المجاري أن تمر في أحواض الترسيب ببطء شديد؛ حتى يمكن الترسيب بشكل شبه كامل.

شكل (1-3): حوض للترسيب الأولي

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

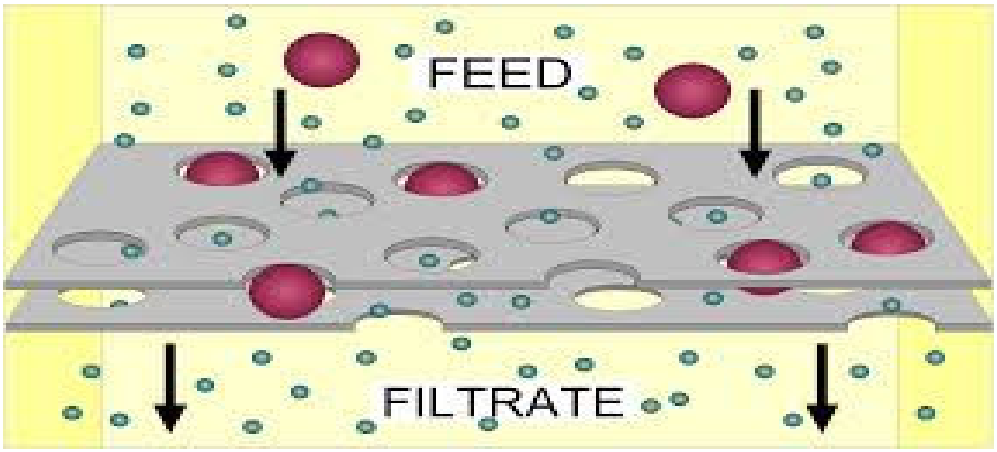
ونتيجة لعملية التعويم، فإن الأجزاء والمواد ذات الكثافة أقل من الماء - مثل الزيوت - يمكن تعويمها ليسهل إزالتها، وفي معالجة المياه الملوثة تستخدم عملية التعويم بشكل أساسي لإزالة المواد التي تكون معلقة في الماء، كما تستخدم في زيادة تركيز الحمأة الحيوية، أي الحمأة المتكونة من ترسيب خلايا الكائنات الحية. ومن أهم مميزات التعويم - بالمقارنة بالترسيب - أن الجزئيات الصغيرة جدًّا والخفيفة جدًّا، 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 كاملًا؛ حيث المواد الصلبة تكون ملوثة ببعض السوائل، كما أن الراشح سيحتوي على بعض الجسيمات الدقيقة (اعتمادًا 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 حديثًا نسبيًّا 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 أيضًا في إزالة الفوسفور الذي يتم ترسيبه كيماويًّا، وفي بعض المحطات يتم الترشيح من خلال الكربون النشط؛ مما ينتج عنه إزالة المواد السامة.

ويعتبر الترشيح عملية فزيائية مهمة جدًّا في الكيمياء؛ لفصل المواد مختلفة التركيب الكيماوي، 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 مكونًا واحدًا أو عنصرًا واحدًا، 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 الجزئيات التي لا تتمكن من المرور في القنوات الملتوية للمرشح، والجزئيات الكبيرة قد تشكل طبقة أعلى المرشح، ويمكن أيضًا أن تسد الأنابيب الشعرية للمرشح، وتمنع عبور السوائل. ومن الناحية التجاريه فإن المصطلح "مرشح" ينطبق على الأغشية التي يتم فيها الفصل عن طريق ثقوب دقيقة جدًّا، وعلى الرغم من ذلك فإن هذه المنتجات (المرشحات) يمكن وصفها بأنها مناخل.

يختلف الترشيح أيضًا عن الادمصاص، الذي لا يكون فيه الحجم الفعلي للجزئيات 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 تجاريًّا يطلق عليها مرشحات، على الرغم من أن الترشيح ليس وظيفتها الرئيسة. كذلك يختلف الترشيح عن إزالة الملوثات المغناطيسية من السوائل باستخدام المغناطيس (عادة زيت التشحيم وزيوت الوقود والمبردات)؛ لأنه لا يوجد بيئة للترشيح. وتجاريًّا 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 سائلًا. وعمومًا فإن أساليب الترشيح تختلف تبعًا 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 الجزئيات 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 الجزئيات 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 الجزئيات المراد فصلها. أيضًا عندما تكون الجزئيات الصلبة دقيقة جدًّا، فإنه من الأرخص والأسهل أن يتم إزالة الحبيبات الملوثة بدلًا 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 الملوثة - يجدر الإشارة إلى أن عمليات الخلط، والتلبد، والترسيب، والتعويم، والترشيح، وكل العمليات التي من شأنها جعل المياه الملوثة رائقة، تتجمع في مصطلح واحد، وهو الترويق Clarification.

3. 7. عمليات الوحدة الكيماوية Chemical unit processes:

المعالجة الكيمياوية هي استخدام بعض التفاعلات الكيميائية، لتحسين نوعية المياه، وربما الأكثر شيوعًا هي عملية الكلورة الكيميائية؛ لأن الكلور مادة قوية الأكسدة الكيميائية، 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. التَخثُر Coagulation:

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

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

وبصفة عامة، فإن العمليات الكيماوية المستخدمة حاليًا في معالجة المياه الملوثة، تشمل الترسيب الكيماوي، والتحولات 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 الملوثة 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 الملوثة؛ 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 استخدامًا هي: الشبة، ورمزها $Al_2(SO_4)_3^-.18H_2O$، ووزنها الجزيئي 666.7؛ وكبريتات الحديدوز، ورمزها $FeSO_4.7H_2O$، ووزنها الجزئي 278؛ والجير، ورمزه $Ca(OH)_2$، ووزنه الجزيئي 56؛ وكلوريد الحديد، ورمزه $FeCl_3$، ووزنه الجزيئي 162.1؛ وكبريتات الحديديك، 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، و30-40 من المواد العضوية القابلة للهدم الكيماوي، و 80-90٪ من البكتيريا، وتتفاعل المواد الكيماوية المضافة عادة مع مواد موجودة في المياه الملوثة، أو تضاف خصيصًا لهذا الغرض، ويمكن توضيح تفاعلات الترسيب كما يلي:

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

$$3Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow Al_2(SO_4)_3^-.18H_2O + CaSO_4 + 2Al(OH)_3 + 6CO_2 + 18H_2O \qquad (3.1)$$

في هـذا التفاعـل تتكـون هيدروكـسيد الألومونيـوم $Al(OH)_3$، وهي مـادة جيلاتينيـة، تترسب ببطء شديد، آخذة معها المواد العالقة، محدثة تغيرًا في تركيب المياه الملوثة.

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

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \leftrightarrow CaCO_3 + 2H_2O \qquad (3.2)$$

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O \qquad (3.3)$$

ويجـب إضـافة كميـة كافيـة مـن الجـير لـكي يتحـد مـع حـامض الكربونيـك (H_2CO_3) الحـر، ومـع حـامض الكربونيـك المـرتبط ببيكربونـات الكالـسيوم $Ca(HCO_3)_2$؛ لينـتج عن ذلك كربونـات الكالـسيوم $CaCO_3$، الـتي تعمـل كمـادة مـسببة للتخـثر، ويجـب إضـافة الجير بكمية أكـبر عنـدما يـضاف وحـده بالمقارنـة بالكميـة عنـدما يـضاف مـع كبريتـات الحديـد، وعنـدما تـصل الأحمـاض المعدنيـة أو أمـلاح الأحمـاض كمخلفـات صـناعية إلى المياه الملوثة، فيجب ضبط درجة الـ pH إلى درجة التعادل قبل عملية الترسيب.

كبريتـات الحديـدوز والجـير: في معظـم الحـالات لا يمكـن اسـتخدام كبريتـات الحديدوز وحدها كمادة ترسيبية؛ لأن الجير يجب أن يضاف معها في الوقت نفسه.

التفاعل مع كبريتات الحديدوز وحدها يتضح من المعادلة رقم (4-3):

$$FeSO_4.7H_2O + Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow Fe(HCO_3)_2 + CaSO_4 + 7H_2O \qquad (3.4)$$

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

$$Fe(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \leftrightarrow Fe(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O \qquad (3.5)$$

ثـم تتأكـسد هيدروكـسيد الحديـديوز $Fe(OH)_2$ إلى هيدروكـسيد الحديـديك، وهـو الصورة النهائية المرغوبة، وذلك بواسطة الأكسجين الذائب في المياه الملوثة كما يلي:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4Fe(OH)_3 \qquad (3.6)$$

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

كلوريد الحديديك: تفاعلات كلوريد الحديديك كما يلي:

$$FeCl_3 + 3H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^- \quad (3.7)$$

$$3H^+ + 3HCO_3^- \leftrightarrow 3H_2CO_3 \quad (3.8)$$

كلوريد الحديديك والجير: تفاعلات كلوريد الحديديك والجير كما يلي:

$$2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \leftrightarrow 3CaCl_2 + 2Fe(OH)_3 \quad (3.9)$$

كبريتات الحديد والجير: تفاعلات كبريتات الحديد والجير كما يلي:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \leftrightarrow 3CaSO_4 + 2Fe(OH)_3 \quad (3.10)$$

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:

$$10Ca^{++} + 6PO_4^{3-} = 2OH^- \leftrightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 \text{ (Hydroxyl apatite)} \quad (3.11)$$

$$Al^{3+} + H_nPO_4^{3-n} \leftrightarrow AlPO_4 + nH^+ \quad (3.12)$$

$$Fe^{3+} + H_nPO_4^{3-n} \leftrightarrow FePO_4 + nH^+ \quad (3.13)$$

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

فمن المعادلات السابقة يمكن ملاحظة أن الجير عندما يضاف إلى الماء يتفاعل مع البيكروبونات، وتترسب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، وأيونات الكالسيوم الزائدة تتفاعل مع الفوسفات؛ ليترسب 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 جدًّا 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 غالبًا 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 شيوعًا 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، وأحيانًا يتم إمداد وحدات المعالجة بالأكسجين النقي - بدلًا من الهواء - في أنابيب، قد توضع على عمق يزيد عن عشرة أمتار، فيما يعرف بمحطات المعالجة المغمورة، وقد استحدثت أيضًا تقنيات كثيرة؛ لمنع انسداد الأنابيب التي توصل الأكسجين إلى المياه الملوثة.

3. 7. 4. الادمصاص 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 تراكمت) 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 كليًّا، وبالتالي يمكن أن تجتذب المواد القابلة لأن تدمص Adsorbates. والطبيعة الدقيقة للارتباط تعتمد على تفاصيل الأنواع المعنية، ولكن عملية الادمصاص عمومًا تصنف على أنها ادمصاص فيزيائي أو ادمصاص كيماوي. 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 نتيجتها استخدام عملية الادمصاص بالكربون المنشط.

وتستخدم المدمصات - عادة - في شكل حبيبات كروية، وقضبان، وقوالب، أو كتل هيدروديناميـة، بأقطار تتراوح بين 0.5، 10 ملم، ويجب أن تكون المدمصات عالية المقاومة للاحتكاك، وثابتة حراريًّا، 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 المكربنة 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 المكربنة 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 الملوثة، وعلى ذلك فهو أكثر المدمصات استعمالًا، وفائدته مستمدة أساسًا 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 الملوثة. والكربون المنشط هو تكنولوجيا متقدمة، يتم استخدامها لإزالة الكلور واللون والرائحة، والعناصر العضوية وبقايا المبيدات من المياه الملوثة 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 جدًّا، 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 المعتمة غير الرائقة سوف يكون تطهيرها أقل كفاءة، خصوصًا إذا استخدمت الأشعة فوق البنفسجية في عملية التطهير؛ حيث إن العتامة هي التي تمنع وصول الأشعة إلى الميكروبات، خصوصًا 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. والشبة المستخدمة في مياه الشرب لا تستخدم في تطهير مياه المجاري، ويمكن استخدام الأشعة فوق البنفسجية بدلًا من استخدام أي كيماويات. ونظرًا 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 الممرضة؛ 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 رائقة 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 جدًّا، ويؤكسد معظم المواد العضوية التي تختلط به؛ ولذلك فله القدرة على قتل كثير من الميكروبات الممرضة، 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 كيماوية، 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 كيماوية 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 قابلًا 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 الألمونيوم 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 جدًّا، ويتزايد استخدامه في تطهير المياه الملوثة، وكونه عالي التكلفة، فإن ذلك ما يحول دون استخدامه بشكل واسع، أما الأحماض والقلويات فأحيانًا يتم استخدامها لقتل الميكروبات الممرضة؛ حيث إن رقم الـ pH أعلى من 11 أو أقل من 3 هو تقريبًا سام لمعظم البكتيريا.

جدول (2-3): مقارنة بين الخصائص النموذجية للمطهر، وخصائص بعض المطهرات المستخدمة

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

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

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

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 المتجرثمة، 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 أوربا 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 ثانويًّا أو وسطيًّا 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
الحمأة 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.