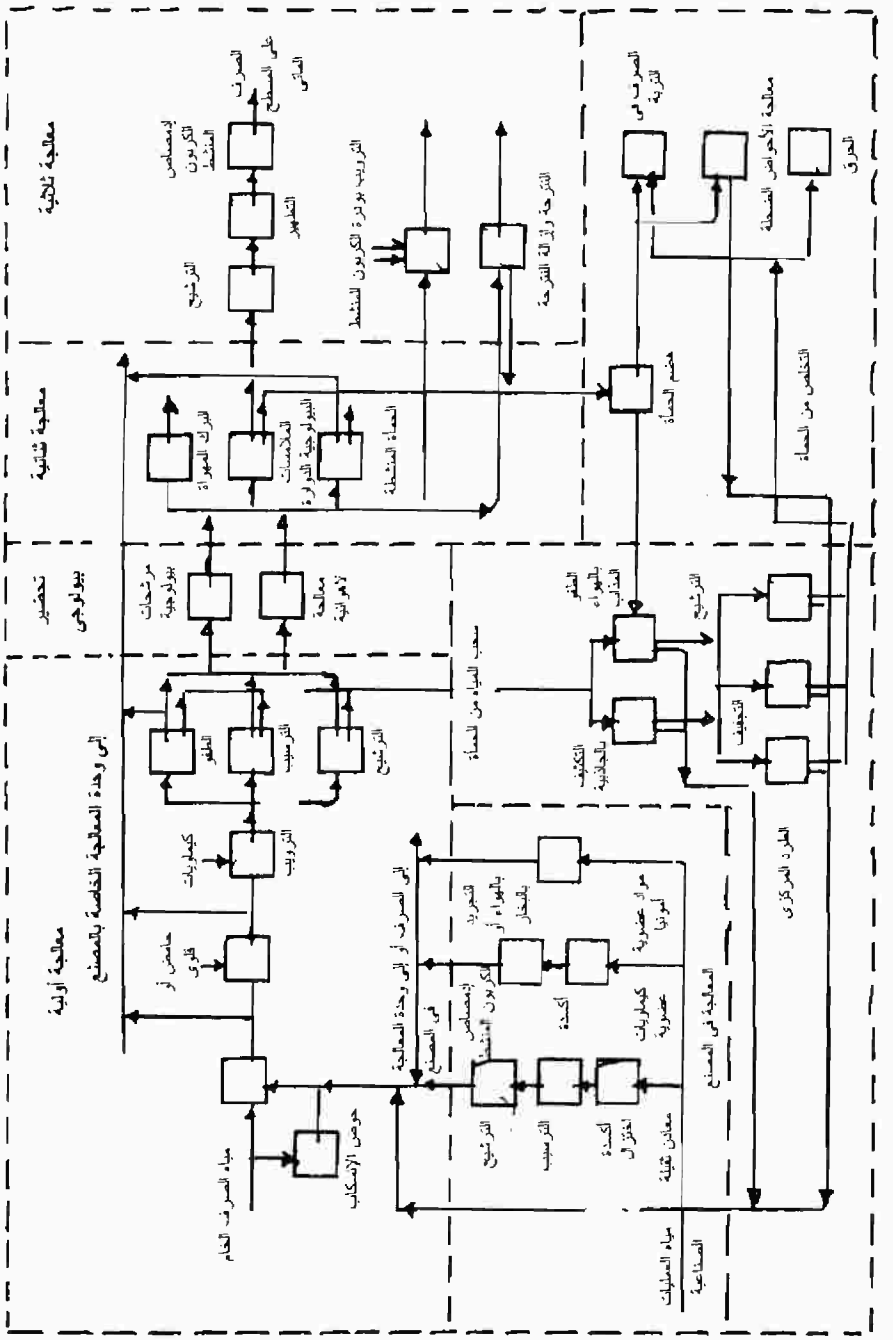
الفصل الثانى

الإطار العام لنظم معالجة مياه الصرف الصناعى

١- مقدمة:

بعد عمل كل الإجراءات المناسبة داخل المصنع لتقليل أو لمنع الملوثات عند مصدرها. حيث تستخدم تقنيات التدوير وإعادة الاستخدام، واستعادة المواد ذات الفائدة من مياه الصرف مع حسن الأداء داخل المصنع. تقوم المنشأة بعد ذلك بدراسة البدائل لصرف المخلفات. وهذه البدائل تشمل الصرف على المسطحات المائية أو على مجارى الصرف الصحى، أو بالصرف فى خزانات المياه الجوفية... الخ. وكل من هذه الطرق له مزاياه ومشاكله وفى كل الحالات فإن مياه الصرف الصناعى يلزم لها بعض المجالات قبل تركها للمنشأة الصناعية.

لاتوجد طريقة واحدة لمعالجة كل أنواع مياه الصرف الصناعى، حيث تشمل تقنيات المعالجة كل عمليات المعالجة لمياه الصرف الصحى بالإضافة إلى تقنيات أخرى لكل نوع من أنواع الصرف الصناعى. يتوقف تحديد نوع المعالجة أو تسلسل عمليات المعالجة لمصنع معين أولا على معايير الملوثات المطلوب إزالتها ودرجة الإزالة. هذا بالإضافة إلى إعتبارات أخرى مثل حجم مياه الصرف المطلوب معالجتها، وتركيز الملوثات فى مياه الصرف الصناعى الخام، التغير فى تدفقات مياه الصرف والتغير فى تركيزات الملوثات، والمناخ الذى يؤثر فى بعض أنواع المعالجة وطبيعى الاقتصاديات الكلية لهذا الاختيار. الشكل (٢/١) يوضح الإطار العام لمعالجة مياه الصرف الصناعى.



شكل (٢/١) الخطوط العامة لمعالجة مياه الصرف الصناعى

المعالجات الخاصة بمياه الصرف الصناعى تشمل أربع أنواع عموما وهى:

١- الفصل للمجالات المختلفة (Phase Seperation) كالمواد الصلبة عن السائلة.

٢- المعالجة البيولوجية.

٣- المعالجة الكيماوية.

٤- تقنيات أخرى.

ويصمم كل نوع من عمليات المعالجة لإزالة الملوثات فى شكل محدد. ولذلك فإن الاختيار لايبنى فقط على كمية المواد المطلوب إزالتها ولكن على الشكل الموجودة به. وأبسط مثال هو الصلب مقابل السائل. ولذا فإنه يجب الاستفادة بالتقنيات الحديثة المناسبة لضمان أقصى كفاءة للعملية.

٢- فصل المجالات:

من أكثر التقنيات فائدة فى معالجات الصرف الصناعى ومياه الصرف الأخرى وأكثرها بساطة هو الفصل الطبيعى للمجالات. فمن المهم فصل المجال الصلب عن المجال السائل. وكذلك فصل المجال السائل اللامائى مثل الزيوت عن المجال المائى. والمجال الغازى - السائل له تطبيقات محددة للفصل وأحيانا يكون له قيمة لمخلفات معينة. تعتبر إزالة المواد الصلبة الخطوة الأولى فى جميع عمليات المعالجة للصرف الصناعى، حيث يستخدم الترسيب أو فصل المجالات بفعل الجاذبية فى أحواض الترسيب. ويمكن أن تتم على مرحلتين المرحلة الأولى حيث زمن المكث قليل (Detention Time) لإزالة الرمال والمواد الصلبة سريعة الترسيب، ثم الثانية الرئيسية لإزالة المواد الصلبة بطيئة الترسيب، حيث زمن المكث فى الأولى حوالى دقيقة وفى الثانية حوالى ١٢٠ دقيقة. أما الزيوت والتى هى أخف من الماء فإنها تطفو على السطح فى نفس الوقت ترسب المواد الأثقل من

الماء إلى القاع. وكلا من الحمأة فى القاع والخبث أو المواد الطافية على السطح (Scum) يزال بالإزالة الميكانيكية المناسبة والتى تعمل إما باستمرار أو على مراحل متقطعة طبقا لما تمليه طبيعة وكمية المواد المرسبة والطافية. وتختلف كفاءة الإزالة للمواد الصلبة من صناعة لأخرى حيث يتوقف ذلك أساسا على الفرق فى الكثافة ما بين المادة الصلبة من صناعة لأخرى حيث يتوقف ذلك أساسا على الفرق فى الكثافة ما بين المادة الصلبة والسائل وحجم الجسيمات الصلبة والزمن اللازم للترسيب. تتعثر عملية الترسيب إلى درجة كبيرة بالتيارات المضطربة والدوامات المائية (Eddy Currents) والتى تكون نتيجة عدم كفاءة التصميم أو التحميل الزائد أو الإختلافات فى درجات الحرارة وتأثيرات أخرى بالنسبة للسرعة والكثافة. يمكن زيادة كفاءة الترسيب بعملية التجميع للجسيمات الصغيرة (Agglomeration) إلى أجسام كبيرة وذلك إما بالترويب بالكيماويات أو بزيادة زمن المكث (Holding - Time). والبديل الآخر يتطلب أن يكون حوض الترسيب ذو سعة كبيرة وهذا يسبب مشكلة (فى كثير من الصناعات) وهى أن الحمأة فى حوض الترسيب يمكن أن تصبح لاهوائية (Anaerobic). نفس التقنيات لفصل المواد الصلبة يمكن تطبيقها فى عملية التلميع الأخيرة بعد المعالجة البيولوجية أو الكيميائية. فالترسيب فى المروقات (Clarifiers) يسمح بإزالة المواد الصلبة التى لم ترسب فى أحواض الترسيب الأولية بالاضافة وهو الأهم إزالة المواد الصلبة المتكونة بالتفاعلات البيولوجية أو الكيماوية. والترسيب الأخير قد يكون كذلك على مرحلتين الأولى فى أحواض تقليدية بإمكانيات ميكانيكية لإزالة الحمأة والثانية فى أحواض تلميع ذات سعة كبيرة (Large Polishing - Lagoons). إستخدام الترسيب الأولى يمكن إلغاؤه فى حالة الأحمال الضعيفة من المواد الصلبة فى مياه الصرف الخام كما هو الحال فى معظم صناعة المخبوزات (Dairies) وبعض عمليات تشطيب المعادن وبعض الصناعات الأخرى.

إزالة الزيوت بالترسيب يتبع نفس القاعدة فى ترسيب المواد الصلبة ويمكن تنفيذه باستخدام نفس المعدات، ولكن بمعدات خاصة وبالتحديد جهاز الفصل لمعهد البترول الأمريكى (American Petroluim Institute separator) والذى تم تصميمه لمياه الصرف الحاملة لكميات كبيرة من الزيوت الطافية مثل تلك الناتجة عن عمليات تكرير البترول.

الزيوت المذابة والزيوت المستحلبة (Emulsified) شأنها شأن المواد الصلبة المذابة لاتزال بالترسيب وتتطلب معالجة مسبقة (Pri-Trtreatment) والتى تتم عادة بإضافة كيماويات.

التدفقات الصغيرة لمياه الصرف الصناعى تعالج عادة بطريقة الترسيب المرحلى (Batch Settling) بمبدأ الملئ والتفريغ. وهذه قد ترتبط بالمعالجة الكيماوية حيث المواد الصلبة العالقة وكذلك الناتجة عن عملية التفاعل الكيماوى تجمع معا فى حوض المعالجة المرحلى (Batch Treatment Tank). من الناحية العملية يستخدم حوضين حيث يتم تشغيلهم بالتتالى، فبينما أحدهم يمتلئ يكون الآخر فى المعالجة والترسيب. جرت العادة كذلك بالنسبة للكميات الصغيرة من المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الصناعى أن يتم عمل عدة مراحل فى الحوض، مع سحب المياه الرائقة والفائض فى كل مرحلة مع السماح بتراكم المواد الصلبة لإزالتها فى فترات مرحلية أقل. يتوقف الترسيب على الجاذبية كقوة دافعة ولكن يمكن الاسراع فى عملية فصل المجالات بالطرد المركزى، ولكن تكلفتها المرتفعة الرأسمالية وتكاليف التشغيل تحد من إستخدامها فى كل المخلفات الخام أو المعالجة. فهى تستخدم فقط فى تركيز الحمأة وكذلك فى حالة قلة أحجام مياه الصرف. وحدات الطرد المركزى تشغل مساحة أقل من أحواض الترسيب.

كل تقنيات الترسيب تتوقف على فرق الجاذبية ما بين الأجسام العالقة المطلوب إزالتها والمجال الحامل (السائل). فإذا كان الفرق صغيرا فإن الكفاءة تقل عدا فى حالات زيادة زمن المكث. فى كثير من الصناعات يمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام طريقة الطفو أو التعويم حيث يتم فيها تجميع فقاعات الهواء على الجسيمات العالقة وهذا يعمل على تقليل الكثافة النوعية لوحدة الجسم العالق وفقاعات الهواء بما يجعلها تطفو على السطح وتزال بالكشط (Skimming). وتنفذ عملية تكوين والتصاق فقاعات الهواء بضغط مياه الصرف بالهواء وذلك لإذابة أكبر كمية ممكنة من الهواء فى المحلول، ومع التخلص من الضغط (Release of Pressure) يصعد الهواء من المحلول مكونا فقاعات محيطة بكل الأسطح الملاصقة بما فيها الجسيمات المطلوب إزالتها. يمكن تنفيذ الطفو كذلك بعمل التفريغ (Vacuum) لمياه الصرف بعد تشبعها بالهواء عند الضغط الجوى . ولهذه الطريقة بعض المزايا ولكن التكاليف العالية للمعدات وضخامتها تعطى الأفضلية للطفو بالضغط (Pressure Flotation).

فى الطفو بالضغط فإنه ليس بالضرورة ضغط الهواء فى كل مياه الصرف فعادة يكفى مسار فرعى للمياه (Side Stream) حيث يخلط المسار الفرعى مع التدفق الرئيسى بعد ترك محبس التحرر من الضغط (Pressure Relief Valve) أو التجهيزة الميكانيكية. وبالتناوب يتم الضغط بالهواء لجزء من المياه ثم خلطه مع مياه الصرف الخام. وكلا من هذه التقنيات له مزاياه حيث يستخدم كل على نطاق واسع.

وأكثر التطبيقات العملية فى الطفو هو معالجة المخلفات الزيتية من تكرير البترول والصناعات الكيميائية، مجمعات الصلب ومنشآت تداول الزيوت، كما تطبق على الزيوت النباتية والحيوانية فى منشآت تكرير زيت الطعام وتعبئة اللحوم وتصنيع الصابون.

إن استخدام المصافى (Screening) فى إزالة المواد الصلبة أبسط من الترسيب ولكن له حدود حيث تزيل فقط الأجسام ذات الحجم الكبير. المصافى ذات الفتحات الكبيرة (Coarse Screens) والتى هى عادة مصافى القضبان (Bar Racks) والتى تستخدم عادة للمياه الداخلة إلى عمليات المعالجة، والتى تقدر بحوالى ٢ بوصة وتعمل على إزالة المواد الصلبة كبيرة الحجم (Coarse Solids) والتى تسبب مشاكل للطلمبات والمعدات الأخرى. وتستخدم المصافى صغيرة الفتحات (Fine Screens) فى تصنيع وتعبئة اللحوم. فى كثير من الصناعات الأخرى لإزالة الأجسام أكبر من ٤٠ بمقياس المنخل (Larger Than 40 Mesh). وهذه الإزالة تقلل الحمل على حوض الترسيب وكذلك على آليات إزالة الحمأة. الأكثر أهمية فإن وجود الأجسام الصلبة الكبيرة تتداخل مع وتؤخر إزالة الأجسام الصغيرة فى وحدات الترسيب. والمصافى الدقيقة (Fine Screens) قد تكون ببساطة من نوع التدفق الداخلى (Flow Through Type) ولكن هذه يصعب المحافظة على نظافتها. والأكثر شيوعا هى الأنواع المتحركة هزازه أو دوارة والمصفاه الثابتة حيث يستمر دفع المياه على سطحها.

الأجسام الصلبة المتناهية فى الصغر بما لايمكن من إزالتها بالمصافى الدقيقة يمكن إزالتها بالترشيح. نادرا ما يستخدم الترشيح لمياه الصرف الصناعى الخام نظرا لضعف التدفق والقدرة على الإختراق وكذلك الحاجة للتنظيف من آخر إلى آخر. تستخدم المرشحات كمرحلة أخيرة للترويق (Final Clarification) لمياه الصرف المعالجة وخاصة فى حالة عدم توفر مساحات من الأرض لاستخدام برك التلميع (Polishing Logoons).

إنه من المفضل دائما إزالة الجسيمات الصلبة مبكرا ما أمكن حتى وإن تم ذلك فى سلسلة من العمليات تشمل كمثال مصافى القضبان والمصافى الدقيقة وأحواض حجز الرمال وأحواض الترسيب الأولى. وفى بعض الأحيان يكون من المفضل

خفض حجم المواد الصلبة لسهولة إزالتها، حيث تستخدم أجهزة التقطيع (Commutator) والقاطعات تحت الماء والساحقات (Grinders)، ثم تمرر المواد الصلبة بعد ذلك ضمن تدفقات المياه لمرحلة الإزالة التالية. أجهزة التقطيع أكثر شيوعا فى نظم معالجة مياه الصرف الصحى ثم دخلت فى خدمة الصرف الصناعى.

٣- المعالجة البيولوجية:

عمليات المعالجة البيولوجية التى استخدمت فى الصرف الصحى مناسبة فى كثير من الحالات لمياه الصرف من الصناعات العضوية وذلك مع التعديلات الممكنة نظرا لإختلاف التركيز. المعالجة البيولوجية تستخدم على نطاق واسع فى الصناعات الغذائية (تشمل تعبئة الخضروات والمخبوزات، اللحوم، الدواجن) وصناعة الورق ولب الورق وفى دباغة الجلود وصناعة المنسوجات وفى الصناعات الكيماوية العضوية والصناعات العضوية الأخرى.

المعالجة البيولوجية لمياه الصرف يمكن أن تكون هوائية أو لا هوائية. كلا من هذه العمليات له الخواص والظروف المؤثرة بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة وينتج عنها نوعيات مختلفة من نواتج التحلل ذلك رغم أن الغرض الرئيسى من كليهما هو تحويل المكونات العضوية فى المياه إلى غازات ومواد صلبة يمكن فصلها وماء.

المعالجة الهوائية تتطلب إضافة الأكسجين عادة من الهواء ولكن فى بعض الأحيان فى شكل اكسجين غاز أو فى شكل أملاح النترات. تنشط البكتريا الهوائية التى تحول المادة العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون وماء وكائنات حية دقيقة إضافية مع إنتاج قدر قليل من أيونات الكبريتات والنترات. بالإضافة إلى إستمرار توفير الاكسجين بالقدر المناسب فإنه يجب المحافظة على عملية المعالجة الهوائية ضد التغير الشديد فى درجات الحرارة وكذلك وجود المواد السامة مثل أيونات

المعادن بالإضافة إلى التغير المفاجئ من أى نوع. وبالرغم من هـذه الاحتياطـات الضرورية فإن المعالجة الهوائية تعتبر تقنية جيدة واسعة الإنتشار.

وأكثر النظم شيوعا للمعالجة البيولوجية الهوائية هو طريقة الحمأة المنشـطة، بما فيها التحديث لقـواعد العملية لتتلاءم مع الأحمـال العضويـة الكبـيرة لميـاه الصرف الصناعى، حيث قد يمتد زمن التهوية من ٢ إلى ٨ ساعات إلى ٢٤ سـاعة أو حتى لعدة أيام للمخلفات عالية التركيز مثل مياه الصرف من الصناعات الدوائيـة وتكرير البترول والزيوت. والتطور الآخر يصمم لتطوير عملية الإلتصاق ما بيـن الغاز – ومياه الصرف وزيادة إنتقال الأكسجين، حيث تم ذلك باستخدام الاكسـجين بديلا عن الهواء وذلك لتثبيت الحمأة ولعملية الهضم أو التحلل الهوائى.

والبديل للحمأة المنشطة هو المرشحات الزلطية (Trickling Filters) فى نظـم المعالجة البيولوجية الهوائية. المرشحات الزلطية قادرة على معالجة مياه الصـرف ذات التغير فى التدفقات وكذا القدرة على تحمل صدمات التحميـل (Ckock Loads) أكثر من الحمأة المنشطة. الملئ التقليدى للمرشحات الزلطية بالركام (الزلط) إستبدل بأنواع مختلفة من البلاستك كوسط ترشيحى والتى حققت التصاق أفضل مـا بيـن الماء والهواء وكذلك درجات أفضل فى المعالجة. ونظرا لخفة وزن البلاستك فـإن هذه الوحدات أصبح من الممكن بناءها حتى إرتفاع ٤٠ متر ليسمح بزمن التصـاق أكبر ما بين الماء والهواء وكذلك زيادة توفير الأكسجين نتيجـة التهويـة بالـهواء المضغوط (Forced Air Ventilation).

وتعتبر الملامسات البيولوجية الدوارة (Rotating Biological Contactors) تغير حديث فى المرشحات الزلطية. حيث تستخدم أقراص أو أسطوانات ضخمـة مـن البلاستك مجهزة بأزرع والتى تدور فوق سطح الماء، وينغمس ٤٠% من سـطحها فى الماء، حيث تحمل طبقة من مياه الصرف الى الهواء لعمل المعالجة الهوائيـة. تكاليف الطاقة للملامسات البيولوجية الدوارة قليلة والكفاءة عالية. والاستخدام العالى

هو بالمراحل المتتالية (Multiplestages). ولقد استخدمت الملامسات البيولوجية الدوارة أولا فى معالجات مياه الصرف الصحى ثم أصبحت الآن تستخدم فى معالجات مياه الصرف لصناعات عضوية عديدة. وعند توفر مساحات من الأراضى فإن الأحواض الهوائية (Aerobic Lagoons) توفر وسيلة غير مكلفة لمعالجات المخلفات العضوية ضعيفة التركيز أو لتوفير معالجة التشطيب (Polishing Treatment) بعد المعالجة بالحمأة المنشطة أو أى عمليات بيولوجية أخرى. والتكلفة الرئيسية فى هذه الحالة تتمثل فى توفير مساحات الأراضى وإن كان العائد يمكن تحقيقه بهذا العمل. وفى أبسط أشكالها فإن أحواض التهوية أو برك الأكسدة (Oxidation Ponds) تعتمد على سطحها الكبير والعمق القليل والتى يكون عادة أقل من ٥ قدم (١,٥ متر) لتوفير مدخول من الأكسجين سواء بواسطة الامتصاص المباشر أو بالتمثيل الضوئى. وفى حالة الأحمال العضوية الكبيرة فإن الأحواض تعمل بعمق أكبر والاكسجين الضرورى اللازم يتم توفيره بواسطة أجهزة التهوية (Aerators) الطافية أو المثبتة أو بحقن فقاعات الهواء بواسطة الحقن بالهواء. وفى حالة تكون رواسب فى القاع من المواد العضوية فإنها تكون فى حالة لاهوائية ولذا فإن الجزء الأكبر من المياه يمكن أن يكون فى الحالة الهوائية وذلك بتنظيم الأحمال العضوية بما يتناسب مع الأكسجين المذاب المتاح. وفى حالة الأحمال العضوية العالية يمكن المعالجة باستخدام أحواض التهوية المتتالية (In Series).

تستخدم المعالجة العضوية اللاهوائية للمخلفات العضوية عالية التركيز بما فيها الحمأة، حيث يتم تحلل وتدمير المواد العضوية بواسطة كائنات حيه دقيقة لاتحتاج إلى أكسجين حر لاستمرار نشاطها ويمكنها إستخلاص الاكسجين من الكبريتات ومن المواد العضوية ومن الماء. ونواتج هذا النشاط الحيوى اللاهوائى بالإضافة إلى نمو أنسجة الخلايا الحية للكائنات الحية الدقيقة وتكاثرها فإنه ينتج غاز الميثان وكبريتيد الهيدروجين والنشادر وكميات قليلة من ثانى أكسيد الكربون. والنواتج

الغازية من هذا التحلل قابلة للإشتعال ولها رائحة كريهة بما يتطلب السيطرة عليها فى حالة المناطق الأهلة بالسكان. كما يمكن تحقيق التحكم فيها بتغطية الأحواض. فى صناعة اللحوم يمكن أن يكون الغطاء ذاتى بواسطة المواد الطافية وعادة يتم تقوية هذا الغطاء بإضافة القش على السطح. وفى حالة عدم حدوث تموجات زائدة فى السطح فإنه يمكن عمل غطاء محكم ومثبت والذى لايسمح بتسرب الرائحة. السائل الناتج من التحلل اللاهوائى بغيض وخاصة عند تقليبه فهو غير ملائم للصرف ويجب نقله بعناية إلى حوض التهوية. ولمعالجة الأحمال العضوية العالية لكثير من المخلفات الصناعية فإنه من الضرورى تدوير المياه الخارجية من العملية البيولوجية داخل العملية نفسها أو توفير معالجة متعددة المراحل. العملية متعددة المراحل قد تتكون من نظام واحد على التوالى أو مجموعة من عدة عمليات.

بعض مياه الصرف عالية التركيز وإن كانت طبيعتها عضوية قد تفتقر إلى واحد أو أكثر من الأغذية الضرورية للكائنات الحية (Biomass). الدراسة التجريبيه النصف صناعية (Pilot Plant Studies) لهذه المخلفات قد تكون ضرورية لتحديد مدى الحاجة لإضافة الأغذية (Nutrient Addition) وعادة فإن إضافة الفوسفور والنيتروجين ضرورى لتوفير كفاءة الخفض فى الحمل البيولوجى لبعض مياه الصرف لصناعات الخضروات ومعظم الصناعات الخاصة بالفاكهة.

٤- المعالجة الكيميائية:

دور المعالجة الكيميائية قليل فى مجال معالجة مياه الصرف الصحى ومرتبط فقط باستخدام مواد الترويب فى حالة استخدامها. و منذ عام ١٩٧٠ ظهرت المعالجة الطبيعية الكيميائية كمنافس للمعالجة البيولوجية لمياة الصرف الصحى. وبالمقارنة فكثير من الصناعات تستخدم تقنيات المعالجة الكيميائية لتحقيق أقصى تحكم فى مياه الصرف الصناعى، وينطبق ذلك على الصناعات غير العضوية وإن كانت كل الصناعات تستخدم المعالجة الكيميائية إلى درجة ما. بالإضافة إلى

الترويب الكيميائى فإن عمليات المعالجة الطبيعية الكيميائية المستقلة لـــها تطبيقـــات كثيرة فى معالجة مياه الصرف الصناعى مثل بعض التفاعلات الكيميائية التى ليـس لها دور فى معالجة الصرف الصحى.

المعالجة الكيميائية الشائعة الاستخدام هى ضبط الرقم الهيدروجينى (pH). ذلـك لأنه لايجوز صرف المخلفات الحامضية أو القلوية فى المجـــارى المائيـــة أو فـــى شبكات الصرف الصحى ومحطات معالجة الصرف الصحى أو المعالجة للصـــرف الصناعى أو لوحدة المعالجة البيولوجية داخل المصنع. ولذا فإنه يجب العمل علـــى وصول الرقم الهيدروجينى قريبا من التعادل وقد يقبل الرقم الهيدروجينى من ٥ إلى ١٠ لأغراض خاصة ولكن الحدود الضيقة ما بين ٦ إلى ٨,٥ هـــى التـــى يســمح بصرفها على المجارى المائية.

يمكن لمياه الصرف الصناعى الحامضية والقلوية معادلة (Neutralize) بعضـها البعض لدرجة ما. وهذه هى الفائدة الكبيرة التى تتحقق نتيجة عملية الخلط والتسوية (Equalization) للصرف وهى تستخدم عادة فى الصناعـــات الكيماويـــة المتعـــددة والصناعات الأخرى المنتجة لمخلفات حامضية وقلوية. والتسوية كذلـــك يمكـــن أن تقلل من الاختلافات الكبيرة للرقم الهيدروجينى فى المسار الواحد لميـــاه الصـــرف الصناعى. التعادل يتطلب دائما إضافات من الحامض أو القلوى للوصول إلى مجال الرقم الهيدروجينى المطلوب. يستخدم عادة حامض الكبريتيك لمعادلة القلوية الزائدة فى حوض التسوية للمخلفات. وقد تستخدم بعض الأحماض الأخرى. وفى بعـــض الاماكن يمكن استخدام ثانى أكسيد الكربون فى الحالة الغازية وذلك فى حالة توفـــر المعدات اللازمة لتحقيق التلامس. أما بالنسبة لمياه الصـــرف الحامضيـــة فيمكـــن استخدام إما إيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم وقد يستخدم الجير المطفى (Lime) لقلة تكلفته، كما أن الحجر الجيرى ($CaCO_3$) هو الأقل فى التكلفة ولكنـــه

غير مناسب فى حالة المياه المحتوية على أملاح الكبريتات حيث يتحول الحجر الجيرى إلى طبقة راسب.

يفضل استخدام الضبط الآلى للرقم الهيدروجينى فى عمليات التعادل أو فى أى عملية لضبط الرقم الهيدروجينى (عدا حالات العمليات الصغيرة Batch). يلزم توفير إمكانيات الخلط المناسبة مع السماح بالوقت اللازم لإتمام التفاعلات البطيئة مثل حالات التعادل مع لبن الجير أو الحجر الجيرى. آلية ضبط الرقم الهيدروجينى تؤكد المعالجة للمياه فى المجال المسموح به وتحد من الاسراف فى استخدام المواد.

يعتبر ضبط الرقم الهيدروجينى فى حالات مثل حالات التعادل (Neutral) خطوة متوسطة فى بعض عمليات المعالجة. فإزالة النشادر من مياه الصرف بالهواء أو باستخدام البخار (Steam Stripping) يتطلب رقم هيدروجينى مرتفع والذى يمكن تحقيقه بإضافة لبن الجير أو الصودا الكاوية. كما أن الرقم الهيدروجينى المرتفع يلزم معادلته قبل الصرف. لخفض الرقم الهيدروجينى للتخلص من الفينول (Phenol Stripping) يستخدم حامض الكبريتيك وكذلك يستخدم نفس الحامض لعملية التخلص من السيانيد الملغاه حاليا (Cyanide Volatalization). الرقم الهيدروجينى المنخفض مطلوب كذلك لاختزال الكرومات فى صناعة الطلاء الكهربى (Electroplating). الرقم الهيدروجينى المرتفع مطلوب لتدمير السيانيد بعملية الكلورة، الرقم الهيدروجينى المرتفع نسبيا يساعد فى ترسيب معظم المعادن الثقيلة فى شكل الايدروكسيد. يستخدم الترسيب لإزالة كثير من الملوثات الصناعية. وكما ذكر سابقا فإن أيونات المعادن الثقيلة يمكن أن تزال برفع الرقم الهيدروجينى إلى ٨ أو ٩ والاستثناء هو الكروم السداسى والذى يلزم إختزاله أولا إلى التكافؤ الثلاثى. بعض المعادن التى تشكل مركبات معقدة مع السيانيد (Complexes) يمكن ترسيبها فقط بعد تدمير السيانيد. ويستخدم تفاعل الترسيب فى إزالة الفوسفات فى صناعات الاسمدة، الصناعات الكيماوية واستخلاص العناصر من خاماتها

(Mining). وذلك يتطلب المعالجة بلبن الجير أو الشبة (Alum) أو بكليهما. وإزالة الفلوريدات فى صناعة الألومنيوم والصناعات الكيماوية الأخرى تتم بالترسيب بالجير.

عملية الترويب الكيماوى هى الصورة العكسية للترسيب حيث لايتم تفاعل المروب مع المادة الكيمائية ولكن تزال مع الراسب. يمكن استخدام عمليات الترويب والترغيب فى معالجة مياه الصرف الصناعى فى مستحلبات الزيت والأجسام الصغيرة جدا وغير قابلة للترسيب مثل الصبغات، زغبات الورق (Paper Fibers) ومياه صرف صناعة اللحوم ودباغة الجلود وبعض المواد الطينية ذات الفائدة فى الصناعات التعدينية.

وتعتبر الأكسدة الكيميائية منافس للأكسدة البيولوجية كتقنية للمعالجة. وهى عادة أكثر تكلفة ولكنها تحقق مفعول أكثر ومناسب لمياه الصرف الصناعى ذات الملوثات المقاومة. الهواء والاكسجين مؤكسدات ضعيفة نسبيا والتى تعتبر مفيدة فى حالة استخدامها مع الكائنات الحية الدقيقة ولكن بخلاف ذلك فتأثيرها محدود. لكل من الكلور والأوزون مجال أكبر للاستخدام فى إزالة الملوثات التى يصعب أكسدتها مثل النشادر ومركبات السيانيد والفينول والصبغات والملوثات الكيماوية الأخرى. يمكن استخدام الكلور فى الشكل الغازى أو كمحلول هيبوكلوريت. ويستخدم ثانى أكسيد الهيدروجينى (H_2O_2) لمنع حدوث التعفن ولكنه أكثر تكلفة من المؤكسدات الأخرى. ولقد استخدمت الأكسدة الكهربية (Electrolytic Oxidation) لمعالجة السيانيد وبعض الملوثات فى مياه الصرف لطلاء المعادن وكذلك فى عمليات التطهير والأكسدة فى وجود الكلوريدات والتى يمكن أن تتحول إلى الهيبوكلوريت.

الاختزال الكيماوى له إستخدام رئيسى فقط وهو إختزال الكروم السداسى التكافؤ الناتج من عملية الطلاء الكهربى وعمليات الأنودة (Anodizing)، المناعة، (Passivating) وعمليات تشطيبات المعادن الأخرى إلى الشكل الثلاثى التكافؤ والذى

يمكن معالجته. ويستخدم لهذا الغرض أى عامل إختزال قوى مثل ثانى أكسيد الكبريت (SO_2)، وبعض مشتقات السلفيت (Sulphite) وملح صوديوم ميتا سلفيت.

يبنى إختيار أى نظام للمعالجة الكيميائية على كمية ونوع مياه الصرف وكذلك على مدى توفر وأسعار الكيماويات الضرورية والكيماويات الأكثر أمانا فى الاستخدام وكذلك نوعية وكمية الحمأة (الروبة) الناتجة. يجب أن يؤخذ فى الاعتبار التخزين السليم والتداول للكيماويات.

وتبرز الحاجة فى المعالجة الكيماوية إلى التحكم فى العمليات (Process Control) أكثر من نظم المعالجة البيولوجية. فإذا كانت كمية الكيماويات المستخدمة زائدة أو أن زمن التفاعل المناسب لايتحقق، عندئذ فإن التفاعل الكيماوى قد يحدث فى مستوى أدنى من المطلوب والنتيجة هو تكون ملوثات أخرى يصعب التخلص منها. لذلك فإنه يجب أن تجرى تجارب نصف صناعية (Pilot Plant Studies) على كمية مناسبة من مياه الصرف أو بتصنيع مياه صرف مشابهة وذلك لعمل معدلات التصميم النهائية. وليس من المفضل عمل الدراسات والتجارب النصف صناعية بواسطة موردى المعدات والأجهزة، حيث يلزم الاشراف على ذلك بواسطة صاحب المنشأة الصناعية أو مستشاره الهندسى.

٥- معالجات متنوعة:

إن المعالجات التى تم ذكرها لاتتم كل بمفردها وإنما يتم معظمها سويا. فمثلا المعالجة البيولوجية الهوائية تليها معالجة طبيعية (عادة الترسيب) لإزالة الكائنات الحية الدقيقة التى تكونت. الترسيب عادة يليه الترشيح لتوفيره مياه معالجة جيدة (Highly Polished). ويمكن تحقيق نفس المهمة بالترشيح ولكن ذلك يتطلب غسيل عكسى متكرر وكذلك زيادة فى زمن الترشيح. وقد تعالج مياه الصرف ذات الأحمال العضوية العالية بالمعالجة البيولوجية اللاهوائية مع الإزالة التالية للملوثات

فى واحد أو أكثر من الأحواض المهواه (Aerated Lagoons). فى هذه الحالة تستخدم التهوية الميكانيكية فى الحوض الأول من مجموعة الأحواض المهواه على التوالى حيث مطالب الأكسجين عالية وتعتمد باقى الأحواض على التهوية الطبيعية والتمثيل الضوئى لتوفير الاكسجين اللازم.

عمليات المعالجة التى تمت مناقشتها وهى فصل المجالات (المائى عن الصلب) والمعالجة البيولوجية والمعالجة الكيميائية كلها تقنيات إستخدمت فى معالجة مياه الصرف الصناعى. بعض العمليات المنفردة أو مع بعضها قد ينتج عنه كفاءة إزالة أكثر من ٨٠ إلى ٩٠%. ولكن بعض المعايير تتطلب نسبة إزالة قد تصل إلى ٩٨%. وللحصول على هذه الدرجة العالية من الإزالة فإنه من الضرورى أن يؤخذ فى الاعتبار إستخدام عمليات مصممة لتنقية المنتجات، وإن كانت هذه التقنيات تحتاج إلى الدراسة الاقتصادية حتى يمكن تطبيقها فى معالجات مياه الصرف الصناعى حيث يندر استخدامها. ويمكن القول أن تكاليف الحصول على أقصى تنقية أو الإزالة لآخر ٥-١٠% من الملوثات غالبا ما يساوى أو يزيد عن تكاليف الإزالة لنسبة ٩٠-٩٥% الأولى. وذلك فى حالة استخدام العمليات المتطورة لمعالجة مياه الصرف الصناعى.

العمليات المتطورة لمعالجة مياه الصرف الصناعى تشمل:

أسلوب الترشيح المتطور مثل المرشحات الرملية السريعة، الترشيح باستخدام الوسط الترشيحى المتعدد والمصافى بالغة الصغر (Muti Media - Filteration and Microstrainers). ويستخدم الادمصاص بالفحم النشط لإزالة المواد العضوية المذابة فى كل مياه الصرف الصناعى ومعالجات المياه الأخرى. وفى عمليات أخرى يستخدم التبادل الأيونى والتناضح العكسى أو الديلزه الكهربية (Electroialysis) وطريقة (Coalescence).

ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار عند دراسة نظم المعالجة الكاملة واختيار عمليات المعالجة التطبيقات العملية للمعالجة ومياه الصرف والمجرى المائى الذى سيتم صرف المخلفات عليه.

إن تطبيق أى من هذه التقنيات المتطورة يمكن إقرار صلاحيته بعد دراسة مكثفة بالتجارب النصف صناعية (Pilot Plants). فى حالة استخدام هذه العمليات المتطورة فإن المياه المنتجة يمكن أن تكون من النوعية الجيدة بما يحقق ليس فقط التدوير وإعادة الاستخدام ولكن يعتبر كذلك إقتصادى وإجراء حضارى.

التطهير هو آخر المعالجات لمياه الصرف الصناعى المحتوية على مياه الصرف الصحى. وقد لايكون التطير لازما فى معظم مياه الصرف الصناعى وإن كانت الكلورة تستخدم فى تطهير مياه الصرف من تصنيع اللحوم ودباغة الجلود والصناعات المتعلقة بها. التطهير غير مؤثر فى حالة تحوصل الكائنات الدقيقة المطلوب تطهيرها (Encapsulated) فى مواد معينة. وقد تستخدم الكلورة المسبقة فى بعض الحالات للقضاء على المكونات التى تتأكسد بالكلور مادة التطهير العادية هى الكلور ومركبات الكلور وإن كان الأوزون ومواد أخرى مستخدمة فى عمليات التطهير والذى يعنى به أساسا قتل الكائنات الحية الدقيقة والتى من بينها ما يسبب الأمراض. التبريد يعتبر من المعالجات الضرورية لمياه الصرف التى لايكون من الملائم صرفها على المجارى المائية أو شبكات الصرف الصحى لإرتفاع درجة حرارتها. نادرا ما يستخدم التبادل الحرارى إلا فى حالات الإرتفاع الزائد فى درجة حرارة مياه الصرف الصناعى ولو أنه لايحقق المعالجة المطلوبة. ويعتبر التبريد باستخدام طريقة التخفيف بالمياه النظيفة محظور. ويستخدم التبريد بالتبخير (Evaporative Cooling) فى أحواض الرش (Spray Ponds) أو أبراج التبريد (Cooling Towers) عادة فى الصناعة. وفى ظروف خاصة يمكن استخدام

برج التبريد كمرشح زلطى (Trickling Filter) لإزالة الملوثات العضوية وإن كان هذا الأسلوب مازال فى الراحل الأولى للاستخدام وليس واسع الإنتشار.

يستخدم الحريق على نطاق واسع فى حرق المخلفات الصلبة مثل القمامة ومخلفات الصناعات العضوية مثل صناعة المعلبات. ويستخدم كذلك لحرق الحمأة من بعض الصناعات مع الخلط ببعض المخلفات القابلة للاختراق مثل الورق أو القش أو المنسوجات البالية وذلك لتوفير الحرارة اللازمة للتجفيف ولبدء الاشتعال. والحريق يفيد كذلك فى حرق المخلفات السائلة مثل الزيوت والمذيبات ولكن لايستخدم عادة لحرق المخلفات من مياه الصرف.