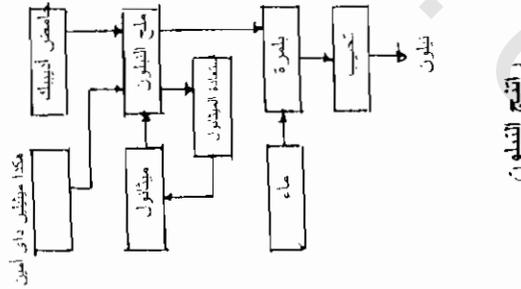
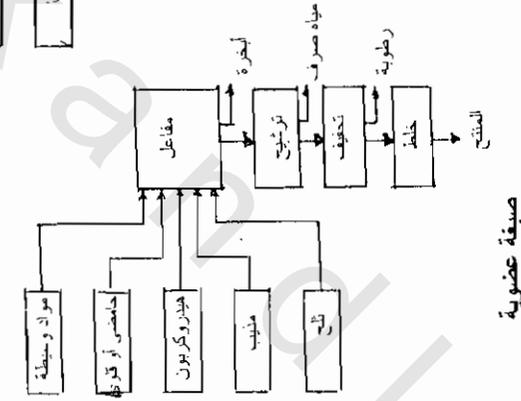
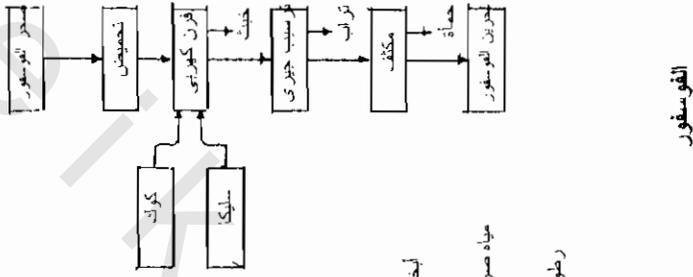
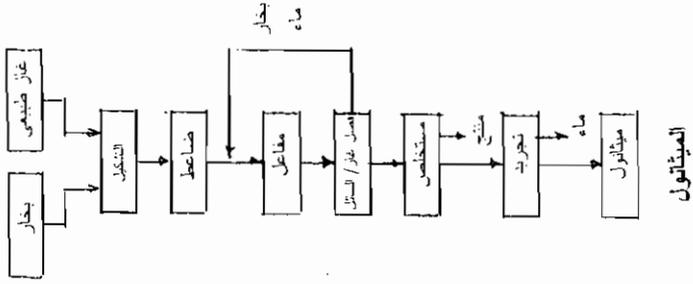


الفصل الرابع

مياه الصرف الصناعي من الصناعات الكيماوية

١- مقدمة:

الصناعات الكيماوية شديدة التعقيد ولها تقسيمات كثيرة والتي تتكون من المواد العضوية والمواد الغير عضوية. الكيماويات الغير عضوية هي أساساً من مواد معدنية شاملة الماء والهواء، أما المواد العضوية فيتم الحصول عليها من الحيوانات والنباتات أو من المواد الكربونية الخام المنتجة من الفحم أو البترول. الصناعات البتروكيماوية هي فرع هام من الصناعات العضوية حيث المواد الخام تستخلص من مشتقات البترول الخفيفة ومن الغاز الطبيعي. هذه الصناعات الكيماوية تنتج حوالي ١٥ صناعة كيماوية كبيرة، ٣١ صنف من الراتجات والخيوط الصناعية. خطوات التصنيع الكيماوية تختلف حيث تتراوح ما بين التغيرات الكيماوية إلى إعادة التنظيم الكيماوي المعقد أو التخليق (Synthesis). معظم عمليات التصنيع تتكون من المراحل الكيماوية والكيماوية الطبيعية مثل التفاعلات الكيماوية، خفض حجم الحبيبات، الإذابة، البلورة، التقطير، الإدمصاص، الإستخلاص (Extraction)، التسخين، التبريد، التبخير. توجد أربع عمليات موضحة في شكل (١/٤- أ، ب، ج، د). الصناعات الكيماوية هي من أكبر الصناعات المستخدمة للمياه، حوالي



شكل (٤/١) مخطط عام لبعض الصناعات الكيماوية

٦٥% من المياه يستخدم لأغراض التبريد، بينما يستخدم الباقي في إعداد المنتجات. هذا بالإضافة إلى أن كثيراً من التفاعلات الكيماوية منتجا للماء كأحد نواتج التفاعل، وهذا يشكل جزء من مشاكل مياه الصرف. تستخدم كمية صغيرة من المياه في العملية الصناعية كمدب، وكوسط للتفاعلات الكيماوية والطبيعية وفي عمليات الغسيل وتشطيب المنتجات.

مياه الصرف في الصناعات الكيماوية تحتوي على مواد كثيرة والتي يجب إزالتها بالمعالجة. وهي تحتوي على ملوثات من كثير من المواد ذات الأصل النباتي أو الحيواني أو المعدني.

٢- تقييم الملوثات في مياه الصرف للصناعات الكيماوية:

أ- يعبر عن كمية الخليط من المواد العضوية في مياه الصرف بمساعدة مؤشرين وهما الأوكسجين الكيماوي المستهلك (Chemical Oxygen Demand - COD) والذي يشير إلى كمية الأوكسجين بالملجرام/لتر اللازمة لأكسدة المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف إلى CO_2 ، H_2O ، NO_3 . لتعيين COD تستخدم طريقة قياسية باستخدام كرومات البوتاسيوم ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) أو برمنجنات البوتاسيوم (K_2MnO_4). كماد أكسدة أو تميض. أما كمية الأوكسجين بالملجرام/لتر اللازمة للتحلل البيولوجي (الأكسدة البيولوجية) للمركبات العضوية القابلة للتحلل البيولوجي في مياه الصرف فهي تعرف بالأوكسجين الحيوي أو البيولوجي المستهلك (Biological Oxygen Demand - BOD). كذلك يوجد مؤشر ثالث يستخدم في تعيين خليط المواد العضوية في مياه الصرف وهو تعيين كل الكربون العضوي (TOC - Total Organic Carbon) بالملجرام/لتر حيث يتم القياس بأكسدة كل المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجي (COD) وتلك التي تتحلل بيولوجيا (BOD) إلى ثاني أكسيد الكربون.

ب- أيونات المعادن الثقيلة مثل الكروم، الزئبق، الرصاص وبعض الأيونات السامة الأخرى (مثل السيانيد) حيث المحتوى يجب أن يكون محدود جداً في مياه الصرف.

ج- الحموضة والقلوية لمياه الصرف والتي تشكل خطورة في شبكات الصرف وفي الصرف على المسطحات المائية بما يتطلب معالجتهم.

د- الزيوت المعدنية والشحوم والمواد الطافية الأخرى التي يمكن أن تطفو على سطح الماء حيث يجب إزالتها تماماً من مياه الصرف.

هـ- المواد الغذائية والتي تعتبر هامة في عمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف مثل مواد النيتروجين والفسفور، ولكن يجب الحد من زيادتها حيث أن ذلك يسبب نمو للطحالب والكائنات النباتية في المسطحات المائية التي يتم الصرف عليها.

و- المواد الصلبة العالقة والهلامية والتي تسبب العكارة للماء حيث يمكن أن ترسب بما يسبب إنسداد في مواسير الصرف. وجود المواد العالقة يحدد بمؤشر لإجمالي المواد الصلبة العالقة العضوية وغير العضوية.

ز- للتمييز ما بين المحتوى من المواد العضوية الصلبة والمواد العضوية البيولوجية (Biomass) في مياه الصرف يوجد مؤشر آخر وهو المحتوى من الأجسام الصلبة العالقة المتطايرة بالملجرام/لتر والتي يتم تعييبها بالأكسدة عند ٥٥٠م.

ح- المواد المسببة للون والعكارة والرائحة في مياه الصرف والتي يجب إزالتها. اللون كعامل ملوث يستخدم لمياه الصرف من صناعة الورق ولب الورق وصناعة المنسوجات. الرائحة يمكن أن تكون بسبب الكبريتيد أو المواد المتطايرة الأخرى والتي تسبب تلوث للبيئة والهواء.

ط- السمية: أن أهم المؤشرات في تعيين تأثير مياه الصرف على الكائنات المائية هو السمية. الطريقة القياسية لتعيين السمية في مياه الصرف هي بواسطة الإختبار البيولوجي (Biotest) حيث يتم تقدير تأثير المادة على كائنات حية. عادة الأجناس من هذه الكائنات الحية الحيوانية أو النباتية. عادة يستخدم نوع من السمك الأوربي يسمى السمك الأحمق (Fat Head Minnows) أو أعداد ضخمة من نوع آخر من الأسماك الصغيرة جداً. هي (Myrid shrimp) أو النباتات من الفصيلة الغارية القشرية وتسمى (Dapha Mogna Crustaceans). يتم تعريض هذه الكائنات الحية لتأثير سائل الصرف لمدة زمنية معينة (عادة ٤٨ - ٩٦ ساعة وأحياناً ٢٤ ساعة). يتم التعرف على السمية بأنها كمية المواد التي تسبب الموت لـ ٥٠% من الكائنات الحية ويرمز لها بالرمز (LC₅₀) أى التركيز السام (LC = Lethal Concentration). الكمية المنخفضة لـ LC₅₀ يقابلها سمية عالية لمياه الصرف والعكس صحيح.

الجدول التالي يبين السمية لبعض المواد عند التعرض لمدة ٩٦ ساعة بالمليجرام/لتر

Myrid Shrimp	Daphne Mogna	Fat Head Minnows	المواد العضوية
٣٨,٧	٣٥,٢	٤٢,٧	البنزين C ₆ H ₆
٢,٨٩	٣,٤٦	٣,٧٢	٤,١ داي كلوروبنزين
٤,٥٦	٥,٣٥	٥,٨١	٤,٢- داي نيتروفيينول
٣٢٥	٢٤٩	٣٢٦	ميثيل الكلورايد
٣٥,٤	٣٣,٠	٣٩,٦	الفينول
٤,٦٢	٥,٤٥	٥,٩١	٦,٤,٢- تراي كلوروفينول
			المواد المعدنية
٠,٠٤	٠,٢٩	٣٨,٢	الكاديوم
١,٠٢	٠,٤٣	٣,٢٩	النحاس
---	٥٤	٤٤٠	النيكل

يلاحظ من هذه البيانات أن مختلف الجرعات من السمية لنفس المركب يمكن منها تمييز مختلف الكائنات الدقيقة. بالإضافة إلى أن دقة النتائج من تعيين السمية يمكن أن تتخفف مع ارتفاع قيمة (LC_{50}) . على الجانب الآخر فعند قيم صغيرة لـ (LC_{50}) توجد نسبة عالية من الكائنات الدقيقة ميتة، وهذا يعطى صورة أكثر دقة عن السمية الحقيقية. نتائج القياسات تختلف إلى حد ما حسب ظروف الاختبار ونوع الكائنات وعدد التكرار. لهذا السبب تستخدم طرق إحصائية لتعيين السمية فى إختبارات الكائنات الحية (Biotests).

قريبا أصبح الحصول على معلومات عن السمية والتحلل البيولوجى الهوائى للمواد المطلوبة (Biodegradability) لعمل المعالجة المؤثرة لمياه الصرف بسيطاً إلى حد كبير. فى أوروبا الغربية توجد خدمة الكمبيوتر لهذا الغرض والتي تسمى (Information Service on Toxicity and Biodegradability) (INSTAB). حيث تتوفر المعلومات المطلوبة بكثرة.

لمعالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية يستخدم لهذا الغرض ثلاث أنواع من الإنشاءات للمعالجة وهى المحلية والعامّة ومحطة معالجة مياه الصرف الصحى للمدينة. تصمم محطات المعالجة المحلية لمعالجة مياه الصرف عند خروجها مباشرة من وحدة الإنتاج. تصمم وحدة المعالجة العامّة لتنقية المياه الملوثة من المصانع الكيماوية مع استخدام كل طرق المعالجة لمعالجة مياه الصرف الصناعى بما فيها الطرق الميكانيكية الطبيعية والطرق الكيماوية والبيولوجية.

محطات معالجة المدينة حيث تتم المعالجة بالطرق الميكانيكية الطبيعية - الكيماوية والبيولوجية حيث يجب ألا تحتوى مياه الصرف الصناعى على الملوثات التى تعيق المعالجة لمياه الصرف الصحى.

٣- استخدام المياه في الصناعات الكيماوية وصناعة البتروكيماويات:

- تبريد المنتجات في المبادلات الحرارية، للمنتجات كما في حالة إنتاج الأمونيا، أو حامض الفوسفوريك أو الأسيتيلين أو الإيثيل بنزين أو البروبيلين... الخ.
- تبريد الضواغط، ظلمبات التفريغ، صندوق تروس الطلمبات، كراسي التحميل حيث يتم تسخين الماء ولكنه لايتلوث.
- تحضير محاليل العمليات وإنتاج البخار في محطات القوى الكهربائية أو غرف الغلاية للاستخدام في تسخين المواد المتفاعلة وكذلك للتعويض في الفقد الحرارى في التفاعلات الكيماوية حيث تمتص الحرارة.
- كل مصانع الكيماويات والبتروكيماويات يمكن أن تنقسم إلى أربعة مجموعات على أساس كمية المياه المستخدمة لكل طن من الإنتاج وهى:
 - المستخدمة لمياه قليلة حتى ٥٠ متر مكعب/الطن.
 - المستخدمة لكميات متوسطة من المياه من ٥٠-١٠٠ متر مكعب/الطن.
 - المستخدمة لكميات كبيرة من المياه من ١٠٠-١٠٠٠ متر مكعب/الطن.
 - المستخدمة لكميات كبيرة جداً من المياه لأكثر من ١٠٠٠ متر مكعب/الطن.

تستخدم الكميات الكبيرة من المياه في عمليات التبريد في الصناعات الكيماوية ولذلك فقد تستخدم المياه المالحة إلى حد كبير في تبريد المعدات. لذلك فإن تطوير نظم إعادة استخدام المياه وإنخفاض الملوثات أصبح من المهام الكبيرة.

إمدادات المياه للاستخدام تتكون من المصادر السطحية والجوفية بالإضافة إلى مأخذ هيدروليكية ومحطات طلمبات لوصول المياه إلى محطات المعالجة لمياه الشرب ومياه الاستخدام الصناعي، ومحطات إزالة العسر وإزالة الملوحة، وكذلك

نظم التبريد (أبراج التبريد، أحواض الرش، أحواض التبريد)، خزانات المياه النقية الأرضية والعلوية.

نظم الإمداد بالمياه لأغراض الإنتاج تنقسم إلى: التمرير مرة واحدة، التدوير، إعادة الاستخدام.

كان من الضروري تطوير نظم الإمداد بالمياه فى الصناعة زيادة نسبة نظم التدوير حيث أن هذه النظم حققت خفض فى التكاليف بنسبة ٤٠-٥٠% نسبة إلى نظم التمرير مرة واحدة، لذلك فإن ٩٠% من متطلبات المياه فى الصناعات البتروكيماوية أصبح بنظام التدوير (Recirculating).

تنقسم نظم الإمداد بتدوير المياه إلى النوع المفتوح والنوع المقفل فى النوع المفتوح يتم تبريد الماء بالتصاقه بالهواء فى أبراج التبريد أو فى أحواض الرش أو فى أحواض التبريد، بينما فى النوع المقفل فإن المياه التى يتم تدويرها لا يحدث لها أى التصاق مع الهواء الجوى حيث يتم التبريد فى المبادلات الحرارية أو يتم فى المبردات (Refrigeration) أو فى الأجهزة المقفلة للتبريد بالهواء. كذلك يوجد التدوير لإمدادات المياه التى تتكون من إزدواج النظم المفتوحة والنظم المقفلة، حيث يتم تبريد المياه المزال ملوحتها أو المزال عسرها فى النظم المقفلة فى مبادلات حرارية مستخدمة مياه التبريد من دائرة خارجية.

استخدام مياه الصرف العادية والصناعية والمياه المحلاة فى تدوير نظم الإمداد بالمياه فى الصناعات الكيماوية:

من الإتجاهات الواعدة نحو تطوير استخدامات المياه هى تبنى نظام عدم الصرف (No-Waste Systems) فى الإمداد بالمياه. فى هذه النظم تستخدم مياه الصرف الصحى المعالجة وكذلك مياه الصرف من الصناعات الأخرى لاستبدال

وتعويض الفاقد فى نظم التدوير. وذلك باستخدام المياه المعالجة فى التبريد وفى بعض الاستخدامات الفنية الأخرى فى الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية.

إستخدامات المياه الطبيعية:

إستخدمت مياه البحر والمياه الجوفية المعالجة لتصبح مياه عذبة فى نظم التبريد بالتدوير وفى المبادلات الحرارية.

لتحقيق الفائدة من المياه الطبيعية سواء كانت من البحر أو من جوف الأرض فإن ذلك يتوقف على تسخينها بالطرق الحرارية لتحويلها إلى مياه عذبة ثم إستخدامها فى نظم التدوير وإنتاج مجال تسخين.

تتوقف كفاءة تسخين المياه على التغلب على الترسيبات (Scales) ومشاكل التآكل. حيث أن المياه الجوفية ومياه البحر تحتوى دائما على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وأيونات الكبريتات والبيكربونات فإن وجود هذه الأيونات يحدد درجة العسر لهذه المياه المعدنية وقدرتها على تكوين الترسيبات (Scales). الأملاح المسببة للترسيبات هى أملاح كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم. كما أن من المشاكل الهامة فى استخدام المياه المعدنية هى مشكلة التآكل للمعدن، حيث تتوقف عدوانية المياه على محتواها من الأملاح الكلية المذابة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة، سرعة حركة المياه والغازات المذابة مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. أكبر تأثير عدوانى هو الناتج عن أيونات الكلور المذابة فى المياه الطبيعية، حيث أن المحتوى من أيون الكلور أكثر من ٢٠ ملجم/لتر يزيد التآكل للزنك وللحديد المجلفن والمعادن الأخرى. عملية التآكل تقل فى وجود أيونات الكالسيوم نظراً لأن هذه الأيونات تعمل على تكوين طبقة حماية.

٤- الخطوط العامة لمعالجة مياه الصرف الصناعي من الصناعات الكيماوية:

العمليات الكثيرة المختلفة فى الصناعات الكيماوية لها نظام عام لمعالجة مياه الصرف. حيث تشمل كل عمليات معالجة مياه الصرف طرق طبيعية - كيميائية - بيولوجية. وطبقاً لدرجة التنقية المطلوبة يمكن تقسيم المعالجة إلى الأولية والثانوية والثلاثية. المعالجة الأولية والثانوية تستخدم لمياه الصرف المخففة وغير السامة، وهى تشمل نفس العمليات كما فى حالة معالجة مياه الصرف الصحى. بالنسبة لمياه الصرف المحتوية على ملوثات سامة أو ملوثات غير قابلة للتحلل البيولوجى فإنه يتم معالجتها أولاً فى محطات معالجة محلية.

أ- المعالجة الأولية لمياه الصرف الصناعي: (Primary Treatment)

تتم المعالجة الأولية لمياه الصرف الصناعي لإعدادها للمعالجة البيولوجية. المعالجة الأولية تشمل التسوية (Equalization) لمكونات مياه الصرف وتعادلها (Neutralization) وذلك فى حالة إحتوائها على قلويات وأحماض التى تسبب التآكل والتلف للمعدات. الطريقة الميكانيكية للتنقية الأولية تشمل الحجز للمواد الطافية والعالقة باستخدام المصافى ثم الترسيب والترشيح، هذا بالإضافة إلى أن الطرق الطبيعية الكيماوية التى تشمل الطفو والترويب من وسائل المعالجة الأولية. هذه الأشكال من المعالجة تعد مياه الصرف إلى البدء فى المعالجة البيولوجية. حيث يكون الرقم الهيدروجينى ما بين 6-9، المحتوى من المواد الصلبة العالقة أقل من 150 ملجرام/لتر والمحتوى من الزيوت والشحومات أقل من 15 ملجرام/لتر والمحتوى من الكبريتيد أقل من 50 ملجرام/لتر ومستوى أيونات المعادن الثقيلة أقل من 1 ملجرام/لتر، يتم هذا باستخدام المصافى ذات الألواح المتقبة كما فى حالة صناعة الورق ولب الورق، أو أحواض حجز الرمال أو المصافى الثابتة أو المتحركة أو الهزازة.

التدفقات المشتركة لمياه الصرف تدخل أولاً حوض التسوية والذي يصمم لتجانس المكونات وتسويتها ومنع ترسيب المواد العالقة بما يوفر الثبات والتنظيم للتدفق ودخول المياه إلى وحدات المعالجة مع ثبات وتسوية تركيز الملوثات بما يحقق زيادة تأثير عمليات المعالجة التالية وحمالية محطة المعالجة من زيادة الأحمال أو توقفها من آن إلى آخر.

مياه الصرف من مختلف العمليات التكنولوجية تحتوى على القلويات وعلى الأحماض. يتم معادلة مياه الصرف الحامضية والقلوية لمنع تآكل المواد المستخدمة فى وحدة المعالجة وكذلك لمنع تلف المعالجة البيولوجية التالية وكذلك لعدم الخروج عن المعايير المقررة للصرف على المسطحات المائية هذا بالإضافة إلى ترسيب المعادن الثقيلة من مياه الصرف.

فى حالة المعالجة مع عدم إمكان تحقيق التعادل المتبادل، عندئذ تستخدم الكيماويات لمعادلة مياه الصرف. الحامضية والقلوية. يتم عادة معادلة مياه الصرف الحامضية باستخدام الجير الحى أو الجير المطفئ $(CaO \text{ or } Ca(OH)_2)$ ، والذي يعتبر مادة رخيصة التكاليف وسهلة الاستخدام. ولكن لها عدة عيوب حيث يكون من الصعب تنظيم والتحكم فى جرعة فى الخط (In Line) مع الرقم الهيدروجينى (pH) للمياه المتعادلة، ذلك لأن معدل التفاعل بين المحلول الحامضى والحيبيات الصلبة العالقة للجير فى المحلول صغير نسبياً. لهذا السبب فإن التفاعل النهائى النشط فى المجال المائى لا يتم فى الحال ولكن بعد فترة زمنية معينة، هذا بالإضافة إلى أن كبريتات الكالسيوم التى تتكون نتيجة لعملية التعادل عند تركيزات عالية ترسب فى القاع بما يشكل عبئ التخلص منها فى أحواض الترسيب. تستخدم الأحماض المختلفة القوية لمعادلة مياه الصرف القلوية، أقل هذه الأحماض سعراً وأكثرها استخداماً هو حامض الكبريتيك. كذلك يمكن معادلة مياه الصرف القلوية باستخدام الغازات العادمة التى بها تركيز من ثانى أكسيد الكربون يزيد عن

١٤%. صعوبة حساب الكميات الصحيحة للقلوى أو للحامض يسبب إنخفاض طاقة الدري (Buffering Capacity) لمعظم مياه الصرف. لذلك يكون من المفضل عمل التعادل في مرحلتين أو في ثلاث مراحل باستخدام معدات التعادل (Neutralizers) المجهزة بتجهيزات خلط وجهاز للتحكم في الرقم الهيدروجيني في المجال المائي.

المواد المنتشرة من الرمال والأترربة ذات حجم حبيبات حتى ٢-٥ ميكرون وكذلك المواد الصلبة التي تتكون نتيجة عمليات التعادل (مثال لذلك كبريتات الكالسيوم) يتم إزالتها من مياه الصرف بالترسيب بالجاذبية. الرواسب يتم إزالتها عادة من قاع أحواض الترسيب بالطرق الميكانيكية. يجب التخلص من الرمال والحبيبات الصلبة من مياه الصرف لتجنب تلف الطلبات نتيجة الاحتكاك والبرى، كذلك إنسداد المواسير والتراكم في أحواض الترسيب. لتنفيذ ذلك تستخدم أنواع مختلفة من أحواض حجز الرمال وخاصة النوع الأفقى حيث تمر المياه بمعدل ٠,٣ متر في الثانية، هذا النوع من أحواض الترسيب يسمح للرمل بالترسيب فى قاع الحوض. حبيبات الأجسام الصلبة العضوية تمر إلى أحواض الترسيب والسترويق والتي تكون إما أحواض مستطيلة أو مستديرة. الكفاءة العالية للتخلص من الأجسام الصلبة العالقة تتم باستخدام أحواض الترسيب المجهزة بالألواح أو الأنابيب المتعددة والمائلة.

بالنسبة لمياه الصرف ذات المحتوى المنخفض من الأجسام الصلبة العالقة والتي يلزم ترويقها تماما، فإنه يتم استخدام المرشحات ذات الوسط الترشيحي الحبيبي (رمل الكوارتز، كسر الجرانيت... الخ) حيث يكون سمك الوسط الترشيحي من ٦١ إلى ١٦٢ سم وسمك حجم الحبيبات من ٠,٢٥ إلى ٢ ملليمتر. وهذه المرشحات تعمل بالجاذبية أو بالضغط وتكون إما ذات تدفق علوى أو تدفق سفلى. الترشيح يعمل على خفض تركيز المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف إلى ٥-١٠ ملجرام/لتر، ٣-٧ ملجرام/لتر بالنسبة للاكسجين الحيوى المستهلك.

يفضل استخدام المرشحات ذات الوسط الترشيحي المزدوج أو متعددة الطبقات عند تنقية مياه الصرف بعد المعالجة البيولوجية. المرشح الذي يحتوى على وسط ترشيحي مكون من طبقتين تكون الطبقة العلوية من الفحم النباتي بسمك نصف متر وقطر الحبيبات ١ ملليمتر والطبقة السفلى من الرمل بسمك ٠,٣ متر وقطر حبيبات الرمال ٠,٤٥ ملليمتر. بعد الاستخدام ٦-١٢ ساعة يتم تنظيف المرشحات من الأجسام الصلبة بتمرير تيار من الهواء أو من البخار خلال طبقة الوسط الترشيحي فى إتجاه معاكس لتدفقات المياه. عملية إزالة الزيوت والشحوم والمواد الأخرى الطافية تتم بنوعين من معدات الطفو وهما الطفو بالجاذبية حيث يستخدم لذلك جهاز فصل الزيوت لمعهد البترول الأمريكى (API-Separator)، الطفو بفقااعات الهواء (Air - Bubbles Flotation) حيث يذوب الهواء فى مياه الصرف عند الضغط، وعند إنخفاض الضغط حيث تتكون فقاعات تطفو على السطح أخذة معها الزيوت والشحوم الطافية كما يمكن زيادة كفاءة هذه العملية باستخدام عوامل ترويب.

ب- المعالجة الثنائية (البيولوجية) (Secondary treatment)

المعالجة الثنائية تشمل التنقية البيولوجية التى تتم نتيجة الأكسدة والتحلل للمواد العضوية من خلال أداء الكائنات الدقيقة. عملية المعالجة البيولوجية تحول المواد العضوية المذابة إلى ثانى أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والحصول على مخلفات غير ملوثة للبيئة بالإضافة إلى كمية كبيرة من البيوجاز. المعالجة البيولوجية تعمل على خفض التلوث العضوى فى مياه الصرف من ٥٠ إلى ١٠٠٠ ملجرام/لتر من الاكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5) إلى أقل من ١٥ ملجرام/لتر.

عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف يمكن أن تتم فى الظروف الهوائية وفى الظروف الغير هوائية. المعالجة البيولوجية بواسطة البكتريا تؤدي إلى تكون كتلة من الكائنات الدقيقة (Biomass) محتوية على ثانى أكسيد الكربون والماء

والمواد المذابة التي لا تتأكسد بيولوجيا. تتم المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف باستخدام البرك المهواة (Aerated Ponds) والأحواض البيولوجية والمرشحات البيولوجية وأكثر الطرق استخداما للتنقية البيولوجية لمياه الصرف هو باستخدام الحمأة المنشطة في أحواض التهوية.

في حالة عمل المعالجة في ظروف لاهوائية (حيث لا يوجد أكسجين مذاب في الماء) يحدث تحلل للمواد العضوية مع إنتاج غاز الميثان وثنائي أكسيد الكربون وخلايا للكائنات الحية الدقيقة (Biomass). تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز بالمواد العضوية والتي لا تقل عن 1500 ملجرام/لتر مقيمة كأكسجين كيماوى مستهلك (COD).

تشمل طرق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف النترجة وإزالة النترجة. هذه (Nitrification And Denitrification) الطرق تساعد في تحول النيتروجين في أملاح الأمونيا (بعد الأكسدة بالبكتريا المؤكسدة للأمونيا إلى النيتريت والنترات) إلى النيتروجين الغاز. في كلا العمليتين تحتوي مياه الصرف المعالجة على كتلة من البكتريا (Biomass) وبعض المواد التي لا تتحلل بيولوجيا في شكل رواسب.

ج- المعالجة الثلاثية (Tertiary Treatment)

تضاف المعالجة الثلاثية بعد المعالجة البيولوجية وهي تشمل الترشيح لإزالة المواد العالقة والهلامية، الإدمصاص بحبيبات الفحم المنشط أو بودرة الفحم المنشط، (ملحق و) الأكسدة الكيماوية لإزالة المواد العضوية التي لا تتأكسد بيولوجيا. بالإضافة إلى الطرق السابقة توجد طرق أخرى لتنظيف أو لتلميع المياه وهي تشمل الترويب والتبادل الأيوني، التناضح العكسي، الترشيح الفائق (Ultrafiltration) والطرق الكهروكيماوية. المعالجة المحلية يجب أن تتم لمياه الصرف التي تحتوى

على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة، المبيدات والملوثات الأخرى التي قد تعيق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف.

د- الطرق الميكانيكية لمعالجة مياه الصرف:

تستخدم الطرق الميكانيكية لفصل المواد غير المذابة العضوية وغير العضوية من مياه الصرف، ذلك لإعداد المياه المعالجة البيولوجية، للمعالجة الكيميائية الطبيعية للتنقية. تتكون المعالجة الميكانيكية من مصافي القضبان، أحواض ترسيب وحجز الرمال والترشيح. يتوقف نوع وحجم وطريقة المعالجة على أساس مكونات وخواص وطريقة المعالجة التالية لمياه الصرف.

كقاعدة عامة المعالجة الميكانيكية هي معالجة أولية لتأكيد فصل ٩٠ - ٩٥% من المواد العالقة وخفض الملوثات العضوية (BOD_5) إلى ٢٠ - ٢٥%. يمكن زيادة كفاءة الطرق الميكانيكية باستخدام أجهزة الطرد المركزي الهيدروليكي (Hydrocyclones) واستخدام المساعدات للترشيح ومساعدات الطفو.

هـ- الطرق الطبيعية - الكيميائية لمعالجة مياه الصرف:

وهذه تشمل الترغيب والترويب (Flocculation And Coagulation) والإمصاص، الاستخلاص، التبادل الأيوني والتناضح العكسي. وتستخدم طرق المعالجة هذه في مرحلة المعالجة الأولية لمياه الصرف وقبل المعالجة البيولوجية.

أ- الترويب: (Coagulation)

الأجسام الصلبة العالقة الكبيرة يمكن إزالتها بالطرق الميكانيكية ولكن الأجسام صغيرة الحجم والهلامية تظل كما هي حيث يمكن إزالتها باستخدام المرويات لزيادة حجم الحبيبات العالقة وزيادة كثافتها بما يمكن من التخلص منها بالترسيب والترشيح.

مواد الترويب المستخدمة في معالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية وصناعة الورق ولب الورق وصناعة البتروكيماويات هي من أملاح الحديد ومن أملاح الألومنيوم. عند استخدام مواد الترويب هذه فإنها تتحلل مكونة إيدروكسيدات الحديد والألومنيوم الغير مذابة في الماء والتي تجذب إليها الأجسام الصلبة العالقة الصغيرة الحجم والهلامية بما يزيد من حجمها ومن كثافتها حيث ترسب في قاع الحوض. تضاف المرويات بجرعات من ١٠٠ إلى ١٥٠ ملجرام/لتر.

كما يجب ملاحظة أهمية استخدام كلوريد الحديدك وكبريتات الألومنيوم في إزالة الفوسفور من مياه الصرف (إلى ٠,٣ - ٠,٧ ملجرام/لتر) وكذلك إزالة أيونات المعادن الثقيلة (الرصاص، النحاس، الزرنيخ، الكروم، الزئبق) في شكل إيدروكسيدات خلال الترسيب المتبادل مع إيدروكسيدات الحديد والألومنيوم. هذه الطريقة تحقق إزالة للرصاص والزرنيخ والكروم الثلاثي بنسبة ٩٠% ولكنها أقل تأثيراً في إزالة النحاس (حوالي ٥٠%). لخفض إستهلاك مواد الترويب يتم تنفيذ عملية الترويب في مجال رقم هيدروجيني ما بين ٤,٥ - ٨ أما بالنسبة لأملاح الحديد فيكون الرقم الهيدروجيني للماء أكبر من ٩. كما يجب أن تكون جرعة المروب في المتوسط من ٠,٥ إلى ١ جرام/المتر المكعب. الترويب للمياه المحتوية على مواد هلامية صغيرة ومنتشرة يمكن تنفيذه بتمرير مياه الصرف خلال جهاز التحليل الكهربى (Electrolyser) حيث يكون الأنود من الألومنيوم والحديد. يتأين معدن الأنود بتمرير التيار الثابت ويصل إلى الماء (الإليكتروليت)، عندئذ تترتب حبيبات الملوثات مع إيدروكسيدات الحديد أو الألومنيوم التي تتكون حيث تعلق بها.

بإذابة واحد جرام من الألومنيوم في الماء يكافئ إستخدام ٦,٣ جرام من كبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3$ ، إذابة جرام واحد من الحديد يكافئ إستخدام ٢,٩ جرام من كلوريد الحديدك $(FeCl_3)$ ، ٣,٦ جرام من كبريتات الحديدك $Fe_2(SO_4)_3$.

الطاقة الكهربائية المستهلكة لإذابة جرام واحد من الألومنيوم هو ١٢ وات فى الساعة. كثافة التيار لا تزيد عن ١٠ أمبير على المتر المربع، حيث المسافة بين الأقطاب لا تزيد عن ٢٠ ملليمتر ويكون معدل تدفق المياه بين الأقطاب بما لا يقل عن ٠,٥ متر فى الثانية.

طريقة الترويب الكهروكيميائية يمكن إستخدامها لمياه الصرف المحتوية على حبيبات زيتية أو شحوم مستحلبة وكذلك لمستحلبات منتجات البترول وأملاح الكرومات والفوسفات. عند معالجة مياه الصرف التى تحتوى على منتجات بترولية ومواد عالقة بتركيزات من ٠,٣ - ٧,٥، ٠,٥ - ٨ جرام/لتر بالتتالى فى وحدة الترويب الكهربى (Electro Coagulation) تكون كفاءة التنقية حتى ٩٩% وذلك عند استخدام تيار ثابت بكثافة ٠,٦ أمبير على المتر المربع وعند ١٠ - ١٨ فولت.

ب- الطفو (Flotation):

طريقة معالجة مياه الصرف المحتوية على مواد النشاط السطحى (المنظفات) وكذلك الملوثات من زيوت البترول والمنتجات البترولية والزيوت والمواد ذات الشعيرات بطريقة الطفو حيث تزال طبقة الخبث الطافى من سطح السائل والتى تتكون من الفقاعات الهوائية والأجسام العالقة. طريقة الطفو تستخدم للتخلص من المواد الغير مذابة والخفض الجزئى لبعض المواد المذابة.

تستخدم الطرق التالية للطفو لمعالجة مياه الصرف من العمليات الكيميائية:

- الطفو بإزالة الهواء من المحلول (منشآت الطفو بالتفريغ والضغط).
- الطفو بالنشر الميكانيكى للهواء (الدوافع، منشآت الطفو السهوائى بدون ضغط).
- الطفو حيث يمر الهواء خلال مواد مثقبة.
- الطفو الكهربى (Electro Flotation).
- الطفو الكيماى والبيولوجى.

الطفو الذى يتم فيه إزالة الهواء يستخدم فى تنقية مياه العمليات المحتوية على أجسام صغيرة من الملوثات نظراً لأنه ينتج فقاعات هواء متناهية فى الصغر، حيث يتم تنفيذه بعمل محلول على التشبع بالهواء فى مياه الصرف. الهواء الذى يخرج من هذه المحاليل. يكون فقاعات صغيرة جداً والتي تطفو مع الملوثات العالقة الموجودة فى مياه الصرف. تستخدم إنشاءات الطفو بالتفريغ لمعالجة مياه الصرف ذات التلوث القليل بحيث لايزيد المحتوى من الملوثات العالقة عن ٢٥٠ ملجرام/لتر، وفائدته هو التنقية الجيدة والاستهلاك القليل جداً للطاقة. يستخدم الطفو بالضغط لأغراض كثيرة حيث أنه يمكن من تنظيم درجة التشبع الزائد للمحلول بالهواء طبقاً لدرجة الكفاءة المطلوبة للتنقية، مع تركيزات أولية من الملوثات حتى ٤-٥ جرام/لتر أو أكثر. التشبع بالهواء لمياه الصرف يحدث عند زيادة الضغط عن ٠,٣ - ٠,٥ مليمبار (0.3-0.5 Mpa) لمدة ١-٣ دقيقة. الماء المشبع بالهواء يمر إلى خلية الطفو حيث تزال فقاعات الهواء مع الأجسام العالقة، حيث تتم الإزالة للطبقة الطافية بوسائل ميكانيكية بكشط الخبث إلى حوض جمع الخبث.

تحدد مساحة خلية الطفو على أساس الحمل الهيدروليكي من ٦-١٠ متر مكعب فى الساعة لكل متر مربع من المساحة السطحية للخلية. زمن الطفو ٢٠ دقيقة. الطفو خلال خلية الطفو يجب ألا يزيد عن ١٠٠٠ متر مكعب فى الساعة. يستخدم الطفو بالضغط لإزالة المواد البترولية، الزيوت والشحوم ومواد النشاط السطحي (Surfactants) من مياه الصرف. عند معالجة المياه ذات أقصى حجم حبيبات للملوثات ٠,٥ ميكرومتر بمعدل ١٣٠ متر مكعب فى الساعة فإن درجة التنقية تكون بالنسبة للمواد العالقة ٩٨%، للأكسجين الحيوى ٥٠%، للأكسجين الكيماوى ٧٥%.

طريقة الطفو الكهربى (Electroflotation) لمعالجة مياه الصرف تتم عن طريق نقل أجسام التلوث العالقة من السائل إلى سطحه فى فقاعات الغاز التى تتكون

بالتحلل الكهربى (Electrolysis) لمياه الصرف. أثناء عملية التحلل الكهربى يتصاعد غاز الهيدروجين عند الكاثود والأكسجين على الأنود. الدور الرئيسى فى طفو الحبيبات يتم بالفقاعات التى تكونت عند الكاثود. إستبدال لوح الكاثود الشبكى يقلل من حجم الحبيبات وبالتالي يزيد من كفاءة جهاز الطفو الكهربى. [ملحق (د) تكنولوجيا المعالجة الكهروكيميائية لمياه الصرف الصناعى].

فى إنشاءات الطفو بالترويب الكهربى وعند استخدام أقطاب مذابة (Electrocoagulation, Flotation) من الحديد أو الألومنيوم فإنه يحدث إذابة أنودية للمعدن عند الأنود، بما يترتب عليه دخول أيونات الحديد أو الألومنيوم إلى الماء حيث تتكون زغبات الإيدروكسيد. التكوين المتزامن من زغبات المروب وفقاعات الغازات يؤدى إلى الإلتصاق القوى بين فقاعات الغاز والزغبات مع الترويب الجيد للمروبات، وبذا تكون عملية الطفو جيدة. تستخدم تقنيات الطفو الكهروكيميائى فى معالجة مياه الصرف من مصانع تكرير البترول ومصانع الورق ولب الورق.

لزيادة كفاءة طرق التنقيه بالطفو تضاف عوامل مساعدة خاصة إلى المياه التى يتم معالجتها وهى مواد التجميع (Collectors) والمواد المحدثه للزغابى (Frothers)...الخ.

جزئيات مواد التجميع تتميز بوجود مجموعات إستقطاب (Polar Groups) التى تعمل على ربط جزئى مادة الربط مع سطح الجسم الهلامى والمجموعات غير أيونية (Non-Polar). مثال لمواد التجميع هى الأحماض الدهنية العالية وأملاحها وكذلك القلويات العضوية المحتوية على مجموعة هيدروكاربون فى الكاتيون وأملاحها. مثال للمواد المحدثه للزغابى هو مواد النشاط السطحى (المنظفات) مثل...etc. (Alkyl - and Alkyl Aryl Sulphonates) يستخدم الطفو كذلك فى معالجة مياه الصرف من صناعات البويات واللاكيهات، وإزالة مواد السيانيد (Cyanides)

من مياه الصرف في صناعة الكوك، وكذلك في معالجة مياه الصرف في مصانع إنتاج الصبغات.

ج- الإدمصاص: Adsorbtion

لقد زاد الاهتمام بإدخال نظم الإدمصاص لمعالجة مياه الصرف. من بين أهم الطرق لإزالة المواد العضوية الذائبة من مياه الصرف في الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية وصناعة الورق ولب الورق والأفرع الأخرى للصناعات الكيماوية هي الإدمصاص على حبيبات الكربون المنشط. يمكن عمل الإدمصاص مستقلاً أو مع المعالجة البيولوجية باستخدام بودرة الفحم المنشط. فوائد هذه الطريقة تشمل إمكانية إدمصاص مواد في خليط متعدد المكونات وكذلك الكفاءة العالية في تنقية مياه الصرف المخففة. طريقة الإدمصاص ذات كفاءة في سحب المواد النقية في التدوير وإعادة الاستخدام. في حالة استخدام بودرة الكربون المنشط في وحدة المعالجة البيولوجية مباشرة فإنها تزيل المواد السامة بالإضافة إلى العمل على زيادة قدرة وحدة المعالجة. ملحق (و)

المعالجة بالإدمصاص لمياه الصرف تستخدم غالباً في حالة مواد ومركبات أروماتية (Aromatics) في مياه الصرف وكذلك المواد الغير أيونية أو التي تكون درجة تأينها ضعيفة والصبغات والمركبات من المواد الغير مشبعة وهي المواد الطاردة للمياه مثل تلك المحتوية على مجموعات كلورين أو مجموعات نيتروجينية (Nitro Group) وكذلك المركبات الأليفاتية (Aliphatic).

الكربون النشط من مختلف المصادر يعتبر عامل إدمصاص مؤثر. مسامية هذا الكربون هي ٦٠-٧٠%، المساحة السطحية لوحدة الوزن هي ٤٠٠-٩٠٠ متر مربع/الجرام. تتوقف خاصية الإدمصاص للكربون النشط إلى حد كبير على المكونات وحجم الفراغات وتوزيع المسام. يقاس نشاط الكربون النشط بكمية الملدة

التي تمتاز (Adsorbed) لوحدة الحجم وكتلة المادة الكربونية (مثال كجرام/متر مكعب ١، جرام/كيلو جرام).

الكربون المنشط المستخدم في معالجة مياه الصرف يتم الحصول عليه من الخشب، اللجنين، أو من فحم الببتومين ويكون عادة في شكل حبيبات أو في شكل بودرة. يكون حجم المسام والفتحات طبقاً لنوع الخام المستخدم وعملية التنشيط المستخدمة. عموماً الكربون المنشط المستخدم المنتج من فحم الببتومين له كثافة أعلى من الأنواع الأخرى. تتوقف درجة الإدمصاص على نوع الكربون المستخدم ومكونات مياه الصرف. معظم المواد العضوية والمركبات العضوية الأولية تمتاز بواسطة الكربون المنشط بما يمكن من إزالة كثيراً من المواد السامة من مياه الصرف.

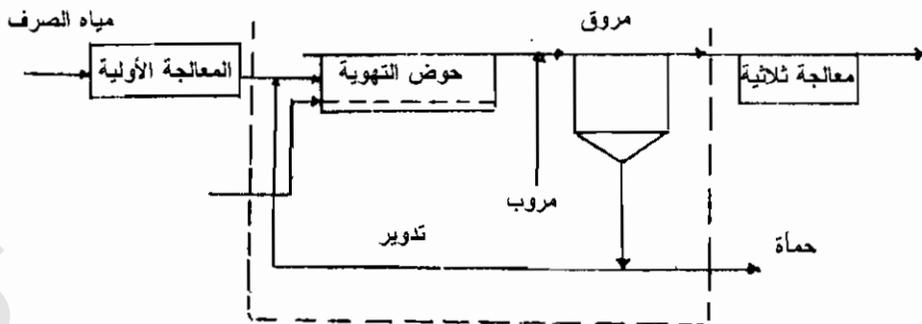
إدمصاص المواد العضوية على الكربون المنشط يعتمد على الخواص الطبيعية - الكيميائية مثل الوزن الجزيئي، الإذابة، التأمين (Polarity) ووضع المجموعات الدالة (Functional Groups) والشكل العام للتركيب الجزيئي - حيث المركبات ذات التسلسل المتشعب من ذرات الهيدروكربون تمتاز بسهولة أكثر من ذرات التسلسل المستقيم. الجزيئات ذات التآين المنخفض (Low Polarity) والإذابة المنخفضة تمتاز أسرع. عادة الكربون المنشط له قدرة كبيرة على الإدمصاص للمواد ذات الوزن الجزيئي العالي. إدمصاص المواد غير العضوية يختلف حيث كلوريد البوتاسيوم لا يتم إدمصاصه عملياً بالكربون المنشط بينما كلوريدات الزئبق والحديد تمتاز إلى حد كبير. معظم المركبات العضوية التي لا تتحلل بيولوجياً يمكن أن يتم إدمصاصها (تمتاز) على الكربون المنشط. هذه الطريقة تطبق على نطاق واسع في إزالة الألوان، المركبات العضوية، المبيدات، المركبات العضوية المهلجنة في مياه الصرف.

جدول يوضح كفاءة الكربون المنشط في إزالة بعض المواد العضوية من مياه الصرف:

نسبة الإزالة	النسبة في مياه الصرف ملجرام/لتر		الملوثات
	بعد المعالجة	قبل المعالجة	
٩٧,٣	٥٦٠	٢٠٤٥٠	رابع كلوريد الكربون
٩٩,٨	٠,٢	١٠٤	هكزا كلورو إيثان
٩٩,٤	أقل من ٣	٥٢٩	نفتالين
٨٣	أقل من ٣	١٨	2- Chloronaphthalene
٩٨,١	٢٧	١٤٣٠	كلوروفورم
٩٩,٩	٣	٢٣٦٠	تولوين

توجد أشكال مختلفة للمعالجة بالإدمصاص وكذلك أنواع مختلفة لأجهزة الإدمصاص. ويتم الاختيار طبقاً لظروف التشغيل وطريقة المعالجة بالإدمصاص ووضع وحدة الإدمصاص ضمن مراحل التنقية ومكونات مياه الصرف ونوع وحجم وحدة الإدمصاص. لذلك يستفاد بمرشحات الحبيبات ذات قطر للحبيبات حوالي ٣,٥ ملليمتر أو بوحدات ذات الطبقة السابحة (Fluidized Bed) حيث تكون طبقة كربون الإدمصاص بقطر من ٠,٥ إلى ١ ملليمتر. في حالة التنقية المتقدمة لمياه الصرف واستعادتها لمياه تدوير للاستخدام يستفاد بجهاز بخلاط ومرشحات غسيل بها حبيبات حجم من ٠,١ ملليمتر أو أقل. عادة إنشاءات الإدمصاص تكون في عدة مجموعات تعمل بالتوازي، كل مجموعة من ٣-٥ مرشحات موضوعين بالتتالي. للحصول على أقصى تشبع، توجد أشكال مختلفة لإدمصاص بالتدفق الموازي (أعلا وأسفل)، وحدة الإدمصاص ذات النبضات من الكربون المنشط (Pulsating). شكل (٤/٢).

ميزة الطبقة المتحركة هي إمكانية توفير القدرة على الإضافة المستمرة والتنشيط للكربون.



شكل (٤/٢) المعالجة الهوائية لمياه الصرف

المعالجة بالإدمصاص تكون بالتنشيط عند إعادة استخدام المواد التي تم إدمصاصها أو تكون بالتدمير عند عدم استخدامها.

في نظام التنشيط المادة الممتازة يمكن إستعادتها من سطح الكربون المنشط المستخدم بمذيب عضوي وتنشيطها وذلك بتقطير المادة الممتازة بالبخار (حيث يتم دفع البخار الحى خلال الكربون). للتخلص من المواد العضوية الممتازة إستفاد بتقطير مذيبات عضوية ذات درجة غليان منخفضة باستخدام البخار، مثل البنزين (C6 H6) والبيوتيل أسيتيت، داي كلوروايثان... الخ. فى هولندا تضاف بودرة الكربون المنشط مباشرة فى وحدة المعالجة البيولوجية.

عند معالجة مياه الصرف التي تحتوى على عدد من الملوثات فإن حبيبات الكربون المستخدمة يتم تنشيطها عادة بالطرق الحرارية أو بالأكسدة التي تتم فى محرقه متعددة المراحل. الأكسدة الرطبة بأكسجين الهواء الجوى تتم عادة لتنشيط بودرة الكربون المنشط.

عند استخدام الطريقة الحرارية يجب ملاحظة أن الفقد فى الكربون المنشط قد يصل إلى ٥-١٠% لذلك فإنه فى كل دورة تنشيط نقل المساحة السطحية وبالتالي

تتخفف قدرة الكربون المنشط. في حالة وجود معادن ثقيلة في مياه الصرف وتم إدمصاصها على الكربون المنشط يكون من الضروري بعد التنشيط غسل حبيبات الكربون بحامض وذلك لإزالة المعادن المتبقية والمكونات المعدنية من سطح حبيبات الكربون وبالتالي زيادة نشاط الإدمصاص لحبيبات الكربون بالنسبة للمركبات العضوية.

الإدمصاص بحبيبات الكربون المنشط يمكن أن يزيل أكثر من ٩٠% من الملوثات من المركبات العضوية من معظم مياه الصرف وذلك طبقاً للبيانات التي يوضحها الجدول التالي.

جدول بيانات المعالجة لمياه الصرف من بعض الصناعات بالإدمصاص بالكربون المنشط

نوع الصناعة	إجمالي الكربون العضوي (TOC) والفينول ومؤشر اللون في مياه الصرف	نسبة الإزالة %	الكربون المستخدم رطل/١٠٠٠ جالون
الصناعات الغذائية	TOC ٢٥-٥٣٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٠,٨ - ٣٤٥
صناعة التبغ	TOC ١٠٣٠ ملجرام/لتر	٩٧	٥٨
صناعة النسيج	TOC ٩-٤٦٧٠ ملجرام/لتر	٩٣	٠,١ - ٨٣
صناعة الورق	TOC ١٠٠-٣٥٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٣,٢ - ٣٥٦
	اللون ١,٤	٩٤	٣,٧
الطباعة	TOC ١٤-١٧٠ ملجرام/لتر	٩٨	٤,٦ - ٤٣
الصناعات الكيماوية	TOC ١٩-٧٥٥٠ ملجرام/لتر	٨٥	٠,٧ - ٢٩٠٥
	الفينول ٠,١-٥٣٢٥ ملجرام/لتر	٩٩	١,٧ - ١٨٥
	اللون ٠,٧-٢٧٥	٩٨	١,٢ - ١٣٢٨
تقطير البترول	TOC ٣٦-٤٤٠٠ ملجرام/لتر	٩٢	١,١ - ١٤١
	الفينول ٧-٢٧٠ ملجرام/لتر	٩٩	٦ - ٢٤
المطاط والبلاستيك	TOC ١٢٠-٨٣٧٥ ملجرام/لتر	٩٥	٠,٢ - ١٦٤
الجلود	TOC ١١٥-٩٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٥	٣ - ٣١٥
تشكيل المعادن	TOC ٧٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٢٥	٦,٦
صناعة الزجاج والسيراميك	TOC ١٢-٨٣٠٠ ملجرام/لتر	٨٧	٢,٨ - ٣٠٠
استخلاص المعادن	TOC ١١-٢٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٠,٥ - ١٨٥٧

TOC = Total Organic Carbon

TOC = إجمالي الكربون العضوي

ونتيجة للأبحاث والتطوير الذى تم فى السنوات الأخيرة ظهر نوع آخر من مواد الإدمصاص الجديدة وذات الكفاءة العالية وهى الراتنجات ذات المسام الكبيرة (Macroporous) والتي لم يتم إستخدامها على نطاق واسع حيث يمكن استخدامها فى إزالة المركبات العضوية وغير أيونية (Non-Polar) من مياه الصرف فقط، بينما يمكن التخلص من المركبات الأخرى بالطرق التقليدية (مثال ذلك المركبات العضوية فى راتنجات التبادل الأيونى). الراتنجات ذات المسام الكبيرة هذه هى إختيارية (Selective) بدرجة كبيرة حيث تستخدم للتخلص من مركب واحد أو من مركبات فى طبقة واحدة.

جدول (--) إزالة المواد العضوية السامة من مياه الصرف بالادمصاص على راتنجات كبيرة المسام:

نسبة التنقية %	مستوى الخليط فى الماء ملجرام/لتر		المركب
	بعد المعالجة	قبل المعالجة	
٩٩,٦	٤٩٠	٢٠٤٥٠	رابع كلوريد الكربون
٦٧,٥	٣٥	١٤٣٠	الكلوروفورم
٩٩,٤	٣	٥٢٩	النفثالين
٩٩,٩٥	٠,١	٢١٧	كلوردان
٩٨	٠,٨	٤٠	مركبات الهبتاكلور

قبل استخدام تكنولوجيا الإدمصاص هذه يلزم توفير بيانات عن المركب العضوى وعمل التحليل. بعد عمل التحليل الضرورية يمكن استخدام أعمدة بمواد إدمصاص جديدة للمعالجة المؤثرة والاقتصادية (سواء تم التنشيط بمذيب أو بدون التنشيط).

مواد الإدمصاص التى تم تناولها تستخدم فى المراحل الأخيرة لمياه الصرف هذا بالإضافة إلى مواد إدمصاص أخرى أقل تأثيراً وأكثر تكلفة مثل البنتونيت المطور المبنى على الخامات الطبيعية والذي يمكن استخدامه فى إزالة الملوثات العضوية من المياه.

د- التبادل الأيوني: (Ion Exchange)

عملية معالجة مياه الصرف بالتبادل الأيوني تمكن من إستخلاص وإسترجاع المخلوطين الثمين (مركبات الزرنيخ، الفوسفور، الكروم، الزنك، الرصاص، النحاس، الزئبق، ومعادن أخرى) بالإضافة إلى المواد المشعة. كما أنه يمكن كذلك تنقية مياه الصرف إلى أقصى تركيز مسموح به للاستخدام ثانياً في عمليات الإنتاج أو في التدوير لنظام الامداد بالمياه. التبادل الأيوني هو عملية تبادل بين الأيونات الموجودة في المحلول والأيونات الموجودة على سطح المادة الصلبة (المبادل الأيوني). المبادلات الأيونية المستخدمة هي مواد غير عضوية أو مواد عضوية طبيعية (مثل سيليكات الألومنيوم، مشتقات السيليلوز والمغنسيوم ومواد مخلقة Synthetic) من الراتجات المستخدمة في التبادل الأيوني.

تنقسم المبادلات الأيونية طبقاً للشكل الخارجى إلى البودرة، الحبيبات، الشعيرات، طبقاً لدرجة المسامية إلى الجيلاتينية والمتماثلة فى المسامية (Isoporous) وكبيرة المسام.

وتنقسم المبادلات الأيونية طبقاً لنوع التبادل الأيوني إلى الآتى:

- المبادلات الكاتأيونية قوية الحموضة والتي تحتوى على مجموعات السلفو (Sulpho Group) والمبادلات الآن أيونية قوية القلوية والتي تحتوى على قلوبات الأمونيوم الرباعية (Quarternary Ammonium Bases).
- المبادلات الكاتأيونية ضعيفة الحموضة التي تحتوى على مجموعات الكربوكسل (COOH) والفينول والتي تتحلل عند رقم هيدروجينى أكبر من 7، وكذلك المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية والتي تحتوى على مجموعات الأمين الأولية (NH₂) ومجموعات الأمين الثانية (NH) والتي تتحلل عند رقم هيدروجينى أقل من 7.

- المبادلات الأيونية ذات النوع المختلط، ذات خواص خليط من الأحماض القوية والضعيفة أو القلوية.

أهم الخواص للمبادلات الأيونية هي قوة إدمصاصها والتي تعرف بطاقة التبادل (Exchange Capacity). الطاقة الكاملة للمبادلات الأيونية هي العدد المكافئ من الأيونات بالجرام الموجودة في مياه الصرف والتي يمكن أن تمتص واحد متر مكعب من المبادل الأيوني إلى التشبع التام. طاقة التشغيل للمبادل الأيوني هو عدد المكافئ من الجرامات للأيونات في الماء والتي يمكن أن تمتص واحد متر مكعب من المبادل الأيوني قبل بدء دخول الأيونات الممتصة إلى المياه المرشحة (Filterate). في معالجة مياه الصرف تستخدم المبادلات الآن أيونية والكاتأيونية بالخواص التالية:

- المبادلات الآن أيونية ذات قطر حبيبات ٠,٢ إلى ٠,٨ ملليمتر وطاقة التبادل ٨٠٠ جرام مكافئ على المتر المكعب (SO_4^{--})، المبادلات الكاتأيونية ذات قطر الحبيبات ٠,١ - ١ ملليمتر وذات طاقة تبادل كاتأيون الهيدروجيني، الصوديوم ٨٠٠ جرام مكافئ/المتر المكعب. الظاهرة المميزة للمبادلات الأيونية هي تفاعلاتها العكسية، حيث يمكن أن يتم التفاعل في الإتجاه العكسي والذي هو أساس عمليات التنشيط. تتم عمليات التنشيط للمبادلات الكاتأيونية بالغسيل باستخدام الحامض (في حالة التبادل الكاتأيوني بالهيدروجين أو محلول كلوريد الصوديوم عندما يكون التبادل الكاتأيوني الصوديوم). تنشيط المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية يتم بالترشيح باستخدام محلول بتركيز ٢-٤% من إيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم وأيدروكسيد الأمونيوم خلال طبقة من المبادل.

تتكون عملية التنشيط من ثلاث مراحل، وهي تفكك طبقة التبادل الأيوني، عملية التنشيط ثم غسل المبادل الأيوني من نواتج التنشيط والزائد من المواد التي استخدمت في التنشيط.

كفاءة عامة ونظراً لأن مياه الصرف تحتوي على عدة كاتأيونات لذلك يجب الإهتمام نحو الإدمصاص الإختياري أو التفضيلي لإدمصاص تلك الكاتأيونات. فكل نوع من الكاتأيونات يتم تصميم سلسلة المبادلات الكاتأيونية على أساس طاقة إستبدالهم. نفس القاعدة تنطبق على المبادلات الآن أيونية. فى حالة المركبات العضوية فإنه ليست فقط الخاصة ولكن كذلك صفة الإدمصاص للمبادلات الأيونية التي تعتبر هامة، وهي تتوقف على القوى السطحية للتفاعل الداخلى للجزيئات.

تتم عملية المعالجة بالتبادل الأيوني لمياه الصرف إما فى جهاز مرحلى ومتقطع (Intermittent) أو بجهاز مستمر. عند تنقية المياه الملوثة بالمواد العالقة تستخدم أعمدة (Columns) المبادل الأيوني ذات الطبقة العائمة (Fluidized Bed) للمبادل الأيوني. طريقة التبادل الأيوني تستخدم فى معالجة مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية والبتروولية والميتاليرجيه، وفى صناعة منتجات الكوك وأفرع الصناعات الأخرى. متوسط تكاليف التشغيل للمعالجة بالتبادل الأيوني للمتر المكعب بالدولار الأمريكى هو حوالى ٠,٠٧ دولار. وتزداد التكاليف فى حالة زيادة تركيز الملوثات.

من الصعب إستخدام التبادل الأيوني لمعالجة المياه ذات المحتوى العالى من الأملاح وذلك بسبب التكاليف المرتفعة لتنشيط المبادلات الأيونية بالإضافة إلى مشاكل الاستخدام المناسب للمحاليل المركزة بالأملاح التي تكون ناتج هذه الحالة.

فى معالجة مياه الغسيل والمياه السطحية ذات المحتوى المنخفض من الملوثات المعدنية فى الصناعات الكيماوية، المحتوية على مواد عالقة صلبة ومخاليط معينة

مذابة للمنتجات التكنولوجية، فإن الطريقة المنطق عليها عالمياً هي المعروفة بالطريقة المزدوجة التي تتكون من المعالجة الميكانيكية والتبادل الأيوني، وذلك بترشيح المياه ثم تمريرها خلال مبادل كاتأيوني قوى، وجهاز إزالة الكربون (Decarbonizer) ومبادل أن أيوني قلوياً أو متوسط. بذلك تنتج مياه ذات محتوى من الأملاح يمكن إعادة استخدامها أو تدويرها في نظام الامداد بالمياه.

التبادل الأيوني لإزالة الملوثات العضوية:

تستخدم المعالجة بالتبادل الأيوني لتنظيف مياه الصرف الكيماوية من الملوثات العضوية. مثال لذلك هو المعالجة بالتبادل الأيوني لإزالة خليط من الأنيلين والكلورامين من مصنع الكلورامين. يتم إضافة حامض الهيدروكلوريك إلى مياه الصرف غير المعالجة ثم الترشيح لفصل المواد العالقة التي ترسب أثناء عملية إضافة الحامض ثم يلي ذلك دفع المياه إلى سلسلة متعاقبة من أعمدة التبادل الأيوني ذات إرتفاع كلى لطبقة التبادل الكاتأيوني بما لا يقل عن ٣ متر. عادة يستخدم عامودين للعمل في التبادل الأيوني بينما عامود واحد يتم تنشيطه بمحلول الأمونيا - الميثانول. بعد التنشيط يتم غسيل المبادل الكاتأيوني للتحويل إلى شكل الهيدروجين وذلك باستخدام ٨-١٠% محلول حامض الهيدروكلوريك. المياه المعالجة لها تفاعل حامضى قليل ويجب معادلته بمحلول الجير المطفى قبل الصرف. محلول التنشيط يتم تقطيره في برج التقطير والأمينات (Amines) المنتجة في العملية يتم إعادة استخدامها.

يوجد الفينول في مياه الصرف لصناعة البلاستيك، البويات، اللاكيات، والفينول المخلق في كيمياء-الكوك، وفي الصناعات البترولية وبعض الصناعات الأخرى بتركيز من ٠,٤ - ٣٠ جرام/لتر. كمية الفينول في مياه الصرف التي يتم معالجتها بيولوجياً يجب ألا تزيد عن ٢٥٠ ملجرام/لتر. تستخدم طريقة التبادل

الأيوني لإزالة الفينول من مياه الصرف. لاستخلاص الفينول، الكريزول، ريزورسينول، الإيثيل فينول والهيدروكينون تستخدم المبادلات الآن أيونية المبنية على مواد الامتصاص من (2, 3 or 4 - Vinylpyridine, Otherpyridine Containing Sorbents) المذيبات المحتوية على مادة البيريدين. يتم إستخلاص المادة الممتصة باستخدام المذيبات، الماء الساخن أو البخار.

تم تطوير أنواع خاصة من المبادلات الأيونية لإزالة الزئبق من مياه الصرف. لهذا الغرض إستخدم مبادلات الحامض الضعيف مع الفينول بمجموعات الكربوكسيل فى شكل الصوديوم. مياه الصرف المحتوية على المادة المعقدة من الكلوريد - الزئبق تعالج بمبادل أن أيوني ضعيف القلوية فى شكل الكالسيوم مع محتوى متبقى من الزئبق لايزيد عن ٠,٠١٥ ملجرام/لتر. يتم تنشيط المبادل الآن أيوني بمحلول أيدروكسيد الصوديوم المحتوى على السيانيد. مستوى التنشيط ٩٧%.

فى السويد، الولايات المتحدة، اليابان، المملكة المتحدة ودول أخرى حيث المنشآت الصناعية التى تعمل لمعالجة مياه الصرف المحتوية على أشكال مختلفة من الزئبق بكميات حتى ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. الجزء الكبير من الزئبق حتى المتبقى ٠,٣-٣٠ ملجرام/لتر يتم يعامل مساعد، بينما مرحلة التلميع تستخدم فيها مرشحات التبادل الأيونى حيث يستخدم (Sulphydril Cation Exchangers Based on Ployvinythiol And Organic And Natural Organic Sorbits) وفى ألمانيا قبل المعالجة بالتبادل الأيونى تتم المعالجة لمياه الصرف بترسيب الزئبق فى شكل (HgS) مع الترشيح التالى خلال وسط ترشيحى من الرمل أو الكربون المنشط. مياه الصرف بعد معالجتها تتم معالجتها فى مرشحات التبادل الأيونى بالراتنجات. أقل متبقى لتركيز أيونات الزئبق (Hg^{++}) فى مياه الصرف هو ٠,٠٥ - ٠,٥ ملجرام/لتر. بالنسبة لتنشيط المبادلات الأيونية واستعادة الزئبق فإنه جارى البحث

لإستعادة الزئبق من مياه صرف مصانع إنتاج الصودا الكاوية والكلور باستخدام الزئبق، استخدام قلوبى قوى مثل (Vinyl Pyridine) كمبادل أن أيونى وذلك لتتقيسة مياه الصرف إلى محتوى متبقى حتى ٠,٠٠٥ ملجرام/لتر أو أقل.

لقد تم تطوير مادة إمتصاص جديدة (Amino Sulphide) والتي لها قوة إمتصاص عالية وإنقاء لأيونات الزئبق حيث يتم استخلاصه من المحاليل ذات المحتوى المعقد من الكيماويات فى وجود الكلور النشط.

٦- الطرق الكيماوية لمعالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية:

الطرق الكيماوية الرئيسية لمعالجة مياه الصرف الصناعي هي:

- التعادل Neutralization.

- الأكسدة Oxidation (وهذه تشمل عمليات كهروكيماوية).

- الأكسدة والاختزال Oxidation And Reduction.

يمكن عمل المعالجة الكيماوية قبل تدوير مياه الصرف أو الصرف على شبكة الصرف الصحى. كما أن المعالجة الكيماوية تستخدم كمعالجة أولية قبل المعالجة البيولوجية أو المعالجة الطبيعية (استخدام المصافى والترسيب). الإستخدام الآخر للمعالجة الكيماوية هو كوسيلة لمعالجة مياه الصرف الصناعي بإتقان لغرض التطهير، إزالة اللون أو إستخلاص وإستعادة أنواع من المكونات.

أ- التعادل وإزالة المعادن الثقيلة Neutralization

معظم مياه الصرف الحامضية تحتوى على أملاح المعادن الثقيلة التى يجب إزالتها. يتم معادلة كلا من المياه الحامضية والقلوية الخارجة من عمليات الإنتاج كميها صرف وذلك لمنع حدوث التآكل فى محطات معالجة مياه الصرف الصحى

وكذلك لعدم إتلاف المعالجة البيولوجية، هذا بالإضافة إلى ترسيب المعادن الثقيلة من مياه الصرف.

تشمل أيونات المعادن الثقيلة فى مياه الصرف الصناعي أيونات الزرنيخ، الكادميوم، النيكل، النحاس، الرصاص والكروم. فى حالة المعادن فى مياه الصرف فى شكل مركبات غير عضوية فإنه يتم فصلها كراسب باستخدام لبن الجير $Ca(OH)_2$ أو الصودا الكاوية (Na OH). فى بعض الحالات تكون المعالجة أكثر كفاءة بالترسيب المزدوج باستخدام $Fe(OH)_3$ ، $Al(OH)_3$ أو بالترسيب ككبريتيد (Sulphides) وكبريتات (Sulphates). بعض المعادن تتطلب الأوكسدة المسبقة أو الإختزال المسبق لتصبح فى الشكل القابل للترسيب، نتائج ترسيب أيونات المعادن الثقيلة من مياه الصرف موضحة فى الجدول التالى.

مستوى المعالجة المعالجة من جرام/لتر	عملية الإزالة والقيود	المعادن الثقيلة
٠,٠٥	ترسيب الكبريتيد (رقم هيدروجينى ٦-٧)	الزرنيخ
٠,٠٦	إدمصاص الفحم المنشط، مستويات منخفضة	
٠,٠٥	ترسيب مشترك $Fe(OH)_3$	الباريوم
٠,٥	ترسيب كبريتات الباريوم	الكادميوم
٠,١	$Cd(OH)_2$ (عند رقم هيدروجينى ١٠)	
٠,٠٥	$Fe(OH)_3$ ، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ٨,٥	
٠,٢	$Cu(OH)_2$ الترسيب عند رقم هيدروجينى ٩-١٠,٣	النحاس
٠,٣	$Fe(OH)_3$ ، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ١٠	
٠,٥	$Pb(OH)_2$ ، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	الرصاص
٠,٠٠١	$Pb(OH)_2$ ، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨-٩	
٠,١	$Al(OH)_3$ ، $Fe(OH)_3$ الترسيب المشترك يضاف Na_2S	الزئبق
٠,١٥	$Ni(OH)_2$ ، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	النيكل
٠,٠٥	ترسيب الكبريتيد عند رقم هيدروجينى ٦,٥	السيلينيوم
٠,٠٥	$Zn(OH)_2$ ، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨,٥	الزنك

وجود بعض المواد فى مياه الصرف يعيق إزالة المعادن الثقيلة بما يجعل من المعالجة المسبقة أمر ضرورى. فمثلا السيانيد والأمونيا تكون مجموعات مع المعادن الثقيلة بما يعيق ترسيبها. لذلك يتم أولا إزالة السيانيد بالكلورة القلوية (Alkaline Chlorination) أو الأكسدة باستخدام (H₂O₂) والأمونيا بالغسيل باستخدام البخار (Stripping)، الكلورة أو التبادل الأيونى.

يجب إختزال الكروم السداسى إلى الكروم الثلاثى التكافؤ قبل عملية الترسيب بالجير المطفى، يستخدم عادة للإختزال كبريتات الحديد أو ثانى أكسيد الكبريت أو (Sodium Metabisulphate). البديل من وسائل إزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف تشمل التبادل الأيونى، الإدمصاص بالكربون المنشط المستخدم لإزالة أيونات معادن ثقيلة معينة (مثال Hg⁺⁺، Cr⁺⁶) ومجموعات عضوية للمعدن.

جدول كفاءة الإزالة للمعادن الثقيلة باستخدام تقنيات مختلفة:

المعدن	التقنية	نسبة الإزالة
الزرنىخ (الخماسى)	الترسيب بالجير المطفى، الشبه أو الحديد	< ٩٠%
	الألومنيوم المنشط	< ٩٥%
	التبادل الأيونى أو التناضح العكسى	> ٩٠%
الباريوم	الترسيب بالجير - رقم هيدروجينى ١١	> ٩٥%
	التبادل الأيونى	< ٩٠%
الكادميوم	التناضح العكسى	< ٩٥%
	الترسيب بالجير	< ٩٠%
	التبادل الأيونى أو التناضح العكسى	< ٩٠%
الكروم الثلاثى	الترسيب بالجير	< ٩٠%
	الترويب بالشبه أو الحديد	٩٠ - ٩٨%
	التبادل الأيونى	> ٩٠%
	التناضح العكسى	< ٩٠%

المعدن	التقنية	نسبة الإزالة
النحاس	الترسيب بالجير	< 90%
	التبادل الأيوني	> 95%
	التناضح العكسي	< 95%
الكروم السداسي	الترويب بالشبه	< 50%
	الترويب بالحديد	< 90%
	التبادل الأيوني	> 90%
	التناضح العكسي	< 90%
الرصاص	الترويب بالشبه أو الحديد	< 95%
	الترسيب بالجير	< 97%
	التبادل الأيوني أو التناضح العكسي	> 95%
الزئبق	التبادل بالجير (pH > 10,0)	> 90%
	حببيات الفحم المنشط	< 95%
	التناضح العكسي	> 85%
النيكل	الترسيب بالجير والترشيح	88 - 98%
سيلينيوم رباعي	الترسيب بالجير	> 50%
	الوميثا منشطة	< 95%
الزنك	التناضح العكسي	75 - 95%
	الترسيب بالجير (pH-10) والترشيح	< 99%

ب- إزالة النيتروجين من مياه الصرف:

يوجد النيتروجين في مياه الصرف في شكل الأمونيا، أملاح الأمونيا، النترات. يزال النيتروجين بطريقة التجريد (Stripping) في حالة الأمونيا وأملاح الأمونيا أما في حالة النترات فتكون الإزالة بطريقة التبادل الأيوني، التحليل الكهربائي (Electrolysis) وتقنيات أخرى بما فيها الطرق البيولوجية.

عملية التجريد أو خروج الأمونيا من مياه الصرف تبنى على أساس تحلل إيدروكسيد الأمونيا في مجال مائي عالي القلوية (حيث تضاف الصودا الكاوية أو لبن الجير $Ca(OH)_2$ لرفع الرقم الهيدروجيني إلى ١٠,٥ - ١١) عندئذ يتكون غاز النشادر طبقاً للمعادلة،



وهذا الغاز يمكن طرده مع الهواء الجوى. فى الاتحاد السوفيتى تتم إزالة ٩٠% من الأمونيا فى أبراج إزالة الغازات (Degasifier) ذات الحشو الخشبي أو فى أبراج التبريد. أما فى أمريكا فإن عملية تجريد مياه الصرف من الأمونيا تتم فى أبراج التبريد حيث تكون كفاءة الإزالة بنسبة ٥٠ - ٩٠% وذلك طبقاً للظروف ذلك لأن التكاليف تكون أعلا بنسبة ٣٠% مقارنة بطريقة إزالة الأمونيا بالطرق البيولوجية.

لإزالة النيتروجين فى شكل الأمونيا، يكون المناسب عملياً استخدام مرشحات التبادل الأيونى، بما فيها الترشيح خلال الزيوليت الطبيعى حيث يمكن إزالة من ٩٠-٩٥% فى شكل الأمونيوم. مرشحات الزيوليت يتم تنشيطها من أن إلى آخر باستخدام إيدروكسيد الصوديوم أو ملح الطعام عند رقم هيدروجيني مرتفع، ثم الغسيل بالماء. كذلك يمكن تجريد مياه الصرف من الأمونيا فى شكل كبريتات الأمونيا بعد التعادل باستخدام حامض كبريتيك. استخدام مرشحات الزيوليت تمكن من الإزالة الجيدة للنيتروجين من مياه الصرف ولكن تكاليف المعالجة تزيد بنسبة ٥٥% مقارنة بالمعالجة البيولوجية.

يمكن إزالة الأمونيا من مياه الصرف بالكورة حيث تتأكسد إلى غاز النيتروجين، حيث كذلك المونو والداى كلورامين والذى يتطلب كمية كبيرة من الكلور والذى تصل نسبته إلى الأمونيا ٨ - ١٠:١ وذلك لخفض تكون

الكلورامين. يتم المحافظة على الرقم الهيدروجيني عند ٧ وذلك لخفض تكون النترات والترأى كلوريد. فى حالة توفر هذه الظروف فإن إزالة النيتروجين تكون ما بين ٩٠ - ١٠٠%.

ج- إزالة الفوسفور من مياه الصرف:

المنظفات الصناعية هى المصدر الرئيسى للفوسفور فى مياه الصرف. من بين الطرق المختلفة لإزالة الفوسفور المعالجة البيولوجية هى الأكثر تأثيراً حيث تتم فى أحواض التهوية. بعد التعامل فى أحواض التهوية وأحواض الترسيب الثانوية، فإنه يمكن إزالة الفوسفور المتبقى بالمعالجة بالمواد الكيماوية من أملاح كبريتات الألومنيوم، الحديد، الكالسيوم. عند استخدام كبريتات الألومنيوم للإزالة الكيماوية / البيولوجية للفوسفور فإن كمية المادة الكيماوية المستخدمة تكون بنسبة الومنيوم ١,٥ إلى ١ من الفوسفور مع رقم هيدروجيني ما بين ٥.٥ - ٦. يمكن عندئذ خفض المحتوى من الفوسفور إلى ٠,٣ - ٠,٧ ملجرام/لتر. خاصية الترويب لكبريتات الألومنيوم توفر معالجة جيدة، كما يمكن أن تتم العملية بعد المعالجة البيولوجية وقبل الترسيب فى أحواض الترسيب الثانوية.

كما أن استخدام كبريتات الحديد يعتبر عالى الكفاءة لإزالة مركبات الفوسفور من مياه الصرف حيث تكون نسبة الحديد إلى الفوسفور هى ٢:٥ وعند أقصى رقم هيدروجيني ٥. نظراً لأن المعالجة البيولوجية تتم فى المجال المتعادل عند رقم هيدروجيني ٧، فقد تتكون رواسب هلامية عند استخدام هاتين الطريقتين معاً، يمكن الترويب باستخدام البلمرات. يمكن ترسيب أملاح الفوسفات باستخدام لبن الجير (Lime) فى شكل الهيدروكسى أباتيت (Hydroxy Apatite) عند رقم هيدروجيني ٩-١٠.

د- الأكسدة Oxidation

تستخدم الأكسدة لمعالجة مياه الصرف الصناعي المحتوية على ملوثات سامة مثل السيانيد أو المحتوية على مركبات عضوية مذابة والتي لا تتأكسد بالطرق البيولوجية.

للتخلص من المواد السامة بالأكسدة فإن مواد الأكسدة الأكثر استخداماً هي برمنجنات البوتاسيوم والأوزون و ثاني أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وطبقاً لمادة الأكسدة المستخدمة و التركيب الكيماوى للملوثات العضوية فإن الأكسدة يمكن أن تكون تامة (إلى ثاني أكسيد الكربون والماء) أو قد تتوقف عند مرحلة متوسطة حيث فى هذه الحالة تستخدم الاكسدة كمعالجة مسبقة لتحويل المركبات العضوية لتكون قابلة للأكسدة البيولوجية (Biodegradable).

الأكسدة الكهروكيميائية مناسبة للاستخدام فى معالجة الملوثات العضوية وغير العضوية المركزة حيث يكون حجم مياه الصرف المعالج قليلاً. التحلل الكهربى (Electrolysis) أثناء عملية الأكسدة الأنودية تسبب تكسير المواد العضوية حتى تتكون نواتج أكسدة نهائية أو وسيطة (أحماض عضوية، ثانى أكسيد الكربون والماء). لذلك فإنه يوصى باستخدامها فى معالجة مياه الصرف المحتوية على مواد الصبغات وكذلك للمعالجة المسبقة لأنواع معينة من الصرف وهذه الطريقة تستخدم فى موقع محطة معالجة المصانع الكيماوية ومصانع البتروكيماويات والورق ولسبب الورق والمصانع الأخرى حيث تحتوى مياه الصرف بها على الفينولات والسيانيدات، المركبات النيتروجينية، السلفيد، الأمينات، الكيتونز، الكحولات المعدنية وصبغات الأزو.

(Phenols, Cyanides, Nitrous Compounds, Sulphides, Amines, Ketones, Aldhydes, spirits, and Azodyes)

تكنولوجيا التحليل الكهربائية مناسبة فى حالة الأحجام الصغيرة لمياه الصرف.

٧- تكنولوجيا الغشاء لمعالجة مياه الصرف: (Membrane Technology) ملحق (ز)

التقنية الواعدة للمعالجة الدقيقة لمياه الصرف هي تكنولوجيا الغشاء، والتي تحقق الفصل الجيد للمواد المختلطة. تستخدم تكنولوجيا الغشاء لمعالجة مياه الصرف التي تحتوى على مواد ذات نشاط إشعاعى أو مواد ذات نشاط بيولوجى. وهي تستخدم فى الصناعات الكيماوية كمعالجة إضافية أو تكميلية للبخار المكثف ولمعالجة وتركيز المحاليل ومياه الصرف.

فى قلب معدات الفصل الغشائى توجد الأغشية الشبه نفاذة (Semi-permeable Membrane) والتي تحدد بدرجة كبيرة الظواهر التكنولوجية والخواص الفنية وخواص التشغيل للمعدة.

الغشاء الشبه نفاذ عبارة عن حاجز (شبه مسامى) له خواص النقل التفضيلى (Selective) لمكونات معينة لخليط السائل أو الغاز. تصنع هذه الأغشية الشبه نفاذة من عدة بلمرات مختلفة ومن مواد الزجاج والسيراميك. أهم خاصية يلزم توفيرها فى الغشاء الشبه نفاذ هي القدرة العالية على الفصل للمكونات، النفاذية العالية لتحقيق أقصى إنتاج، المقاومة العالية للتحلل بالبخار، الثبات خلال فترة زمنية طويلة، القوة الميكانيكية لمقاومة الإنشاء، والنقل والتخزين والثبات الحرارى وإنخفاض التكاليف.

تستخدم البلمرات الآتية فى معالجة مياه الصرف الصناعى:

مشتقات السيليلوز (Mono, Di, Tri Acetate)، البولى أميد (Poly Amides)، (Laromatics)، (Co-Poly Amides) (Pol Amide - Hydrazides)، (Polytetra)، (Flouro Ethylene)، (Poly Olefines)، (Polyimides). تتوقف عملية الفصل الغشائى على خواص الغشاء، تدفق السائل، القوة الدافعة.

القوة المسببة لعمليات الفصل الغشائي هي الفرق في الضغط الهيدروستاتيكي، التركيزات المختلفة للمواد، الفرق في فرق الجهد. تنقسم تقنيات الفصل الغشائي إلى الأنواع الآتية:

- الميكروفلتر (Microfiltration):

حيث يستخدم الغشاء لفصل المحاليل الهلامية والعالقة تحت الضغط.

- الترشيح الفائق (Ultra Filtration):

حيث يستخدم الغشاء لفصل المخلوط في السائل تحت الضغط، المبني على الوزن الجزيئي أو الحجم بين المكونات.

- التناضح العكسي (Reverse Osmosis):

يستخدم الغشاء لفصل المحاليل السائلة بواسطة إختراق المذيب للغشاء الشبه نفاذ تحت الضغط الذي يزيد عن الضغط الأسموذي.

- الديليزة الكهربائية (Electrodialysis):

حيث تسمح التقنية بأيونات المادة المذابة (Solute) خلال الغشاء وتحت تأثير المجال الكهربائي.

- الميكروفلتر (Microfiltration):

في الميكروفلتر يستخدم غشاء بحجم المسام من 0,1 - 1 ميكرومتر. القوى الدافعة هي الضغط الهيدروستاتيكي (ما بين 0,1 إلى 0,1 MPa). المرشحات تكون في خرطوشة عبارة عن نظام أفقي متطابق أو الأكثر استخداما مرشح ضغط مركب على إطار وخاصة في الاستخدامات الصناعية. يستخدم الميكروفلتر على نطاق واسع لفصل المواد العالقة والمستحلبه (Suspension and Emulsions) لتنقية مياه الصرف والحصول على محاليل معقمة. عادة يلي عملية الميكروفلتر الترشيح الفائق (Ultrafiltration) والتناضح العكسي حيث يكون الميكروفلتر عملية تحضيرية.

الترشيح الفائق: (Ultrafiltration)

يستخدم الترشيح الفائق أغشية لفصل المحاليل ذات الضغط الأوسموزي المنخفض- حيث يستخدم لفصل المواد ذات الوزن الجزيئي المرتفع وكذلك العالقة والهلامية، وهو مرتبط بفصل وتقطير وتركيز المحاليل. القوة الدافعة هي الضغط الهيدروستاتيكي (مابين ٠,١ - ١ MPa). يستخدم لذلك أغشية ذات تركيب ميكروني غير متشابه ويتراوح قطر المسام ما بين ١ إلى ١٠ ملليمكرون.

أحد الاستخدامات الصناعية الهامة للترشيح الفائق هو لفصل مستحلبات الزيت والماء. مياه الصرف ذات المحتوى الأولي من تركيز الزيت ٥ - ١٠ ملجرام/لتر تفصل بمعدات الغشاء إلى المرشح والمركز. المرشح (Filterate) بتركيز الزيت حتى ٤٠ ملجرام/لتر يعود ثانياً إلى إمدادات المياه أو يعاد تنقيته، المركز (Concentrate) بتركيز ٤٠-٥٠ ملجرام/لتر من الزيت يعود إلى المرحلة الثانية لفصل الزيت أو يتم حرقه. نظراً للترشيح السطحي وقوة مواد الغشاء، فإن الترشيح الفائق يمكنه فصل المحاليل بدون فقد وإنتاج سائل مرشح نظيف.

عادة يستخدم الترشيح الفائق لإزالة المواد الشعرية (Fibrous) والحببيات (Partieles) من السائل المرشح بعد مروره خلال المرشحات من الشعيرات أو من الحبيبات في نظم التبادل الأيوني والإدمصاص.

مجال الاستخدام للترشيح الفائق ينمو باضطراد نظراً للقدرة على استخلاص مكونات ثمينة من مياه الصرف والتي يصعب أو يستحيل إزالتها.

أغشية السيليلوز أسيتيت والبولي أميد الأروماتية هي المستخدمة على نطاق واسع (Cellulose Acetate And Aromatic Polyamide) أغشية مشتقات السيليلوز مقاومتها ضعيفة للأحماض والقلويات، تعمل جيداً في مجال رقم هيدروجيني من ٤,٥ - ٥. العمر الإقتراضي للسيليلوز أسيتيت يتحول إلى النصف عند رقم

هيو جيني ٦. أغشية السيليلوز أسيتيت لاتقاوم المذيبات العضوية والمواد النشطة التي تسبب إنتفاخها. بالإضافة إلى العلاقة ما بين الجزيئي، حجم الحبيبات، قطر المسام فإن إنتقاء الغشاء (Membrane Selectivity) يتأثر بالتفاعل بين المادة المذابة ومادة الغشاء. لذلك فإن الملوثات البترولية يمكن إزالتها من مياه الصرف بالترشيح الفائق عند طرد جزيئات الكربوهيدريت غير المحب للماء (Hydrophobic) بواسطة أغشية السيليلوز أسيتيت الأيونية والمحبة للماء (Hydrophilic, Polar) بمسام أكبر من حجم الجزيئات للمواد المطرودة.

تكنولوجيا الفصل على المستوى الصناعي بالأغشية الشبه نفاذة تستخدم تجهيزات غشاء من عدة أشكال من حيث المعدات التي تحمل عملية الفصل الغشائي. طبقاً لتنظيم الأغشية فإن النماذج (Modules) للفصل بالترشيح الفائق وكذلك التناضح العكسي تنقسم إلى أربع أنواع رئيسية وهي:

- مرشح الضغط بالإطار المستوى (Flat Frame Filter Press).
- الأنبوبي (Tubular).
- اللفائف الجيلاتينية (Jelly - Roll).
- الشعيرة الجوفاء (Hollow - Fibre).

تصميمات وحدة الغشاء (Membrane Module) يمكن تصنيفه حسب توزيع تدفق السائل المعالج، ضغط التشغيل، الاستثمارات، وتكاليف التشغيل.

الاستخدام الرئيسي للترشيح الفائق هو لإزالة المنتجات البترولية المستحلبه والزيوت من مياه الصرف، لتركيز المسحلبات الزيتية فى مختلف الصناعات ولتركيز مياه الصرف من صناعة تبييض الورق ولب الورق. وكذلك لإستعادة الكيماويات من محلول الصرف فى عمليات دباغة الجلود، لفصل وتنقية وتركيز

مكونات مختلفة في صناعات الميكروبيولوجي، الصناعات الدوائية والصناعات الأخرى.

يستخدم الترشيح الفائق لإزالة الحبيبات الهلامية من المحاليل المائية قبل التناضح العكسي، الديليزة الكهربائية والتبادل الأيوني، وكذلك لتنقية المياه بعد التبادل الأيوني. وهذا يوفر سلسلة تكنولوجية عالية الكفاءة حيث الإمداد بالمياه المقفلة (Closed Water System) مع إستعادة المنتجات الثمينة في العملية الصناعية في الشكل المركز.

من بين تجهيزات الترشيح الفائق توجد التجهيزة على الإطار المستوى حيث عناصر الغشاء المستطيلة والتي تصل مساحتها إلى ٢٨,٥ متر مربع. تستخدم التجهيزات لتركيز المحاليل المخمرة أو لتنقية مياه الصرف المحتوية على المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي العالي. كما تستخدم لإزالة المواد العضوية ذات الحبيبات المتناهية في الصغر (هاليدات الفضة، الخمائر، الجيلاتين... الخ) من مياه الصرف لصناعة أفلام التصوير التي تحتوى على الفضة. تزود التجهيزة بمرشحات فائقة أنبوبية محتوية على أغشية من الفلوروبلاست (Flouroplast) بمسطح ترشيحي كلى ١٢٠ متر مربع. معدل إسترجاع الفضة (هاليدات الفضة) وبعض المواد العالقة الأخرى هو ١٠٠%. فى وحدة ترشيح فائق تجريبية بطاقة ٥ متر مكعب فى الساعة استخدمت لإزالة الفلوروبنزين (Flouro Benzene). الترشيح الفائق يتطلب طاقة صغيرة جداً وله عدة مميزات عن باقى الطرق. فمثلا التنقية بالترشيح الفائق ذات كفاءة أعلا من الترويب الكهربى (Electro-Coagulation)، حيث يزال ٤٠-٧٠% من المواد العضوية مقابل ٥٠-٦٠% باستخدام الترويب الكهربى، ٧٠-٩٠% من هلاميات أملاح الحديد ويحجز ٩٩,٩% من الحبيبات الميكرونية أكبر من ٠,٥ ملليمكرون.

التناضح العكسي (Reverse Osmosis):

التناضح العكسي هو عملية مستمره لفصل الجزيئات من المحاليل بالترشيح تحت الضغط خلال غشاء شبه نفاذ والذي يحجز كل أو بعض الجزيئات أو الأيونات للمادة المذابة للفصل الجيد فإن ضغط التشغيل يجب أن يكون ما بين ٠,١ - ١ MPa فوق الضغط الأوسموزي للمادة الملحية المذابة لتركيزات ملحية من ٢ - ٥ جرام/لتر، ٥ - ١٠ MPa لتركيزات ملحية أعلا من ٢٠ - ٣٠ جرام/لتر.

الميزة الواضحة للتناضح العكسي عن كل طرق المعالجة هو أنه يزيل فوراً الملوثات العضوية والغير عضوية، وهذا له أهمية عملية في نظم تدوير المياه. التناضح العكسي يمكنه إنتاج مياه عالية النقاء، نظراً لأن الأغشية يمكن أن تحجز كل المواد المذابة المعدنية والعضوية والمواد العالقة بما فيها الفيروسات والبكتيريا وجميع الكائنات الحية الصغيرة من جميع الأنواع. تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لمعالجة المياه في الاستخدامات الصناعية.

الأغشية المستخدمة في التناضح العكسي يجب أن توفر المتطلبات الآتية:

- مسامية ذات قوة عالية وتفضيلية (انتقائية).
- القدرة على تحمل التغيرات الكبيرة في الضغط على كلا جانبي الغشاء.
- القدرة على مقاومة التغيرات في درجات الحرارة.

تختلف مواد الصنع للغشاء وكذلك التصميمات لأجهزة التناضح العكسي. الأغشية الشائعة الاستخدام هي أغشية أسيتات السيليلوز ذات الطبقة المستوية (Flat-Film)، أغشية البولي أميد ذات الشعيرة الجوفاء (Hollow-Fibre). أسيتات السيليلوز المستخدمة في الإتحاد السوفيتي (روسيا الاتحادية) لها الخواص التالية:

المسامية الكلية ٧٥%، النفاذية للماء عند (5 MPa) ١٥٠ - ٥٠٠ لتر/المتر المربع/اليوم نسبة الحجز للأملاح ٨٠-٩٥%.

تركيز ومكونات المحلول والرقم الهيدروجيني كليهما له تأثير على عملية الفصل في التناضح العكسي. التغييرات في التركيز تؤثر على الضغط الأسموزي، والذي بالتالي يحدد القوة المؤثرة لسير العملية وإنتاجية الغشاء. استخدام أنواع مختلفة من نماذج الأغشية في أجهزة الضغط الأسموزي (مثل الطبقة المستوية، الأنبوبية، الشعيرة الجوفاء، اللفائف الجيلاتينية تسمح بالاستخدام الجيد للتناضح العكسي على المستوى الصناعي.

يتميز التناضح العكسي عن كل تقنيات المعالجة لمياه الصرف من الصناعات الكيماوية حيث يستخدم عادة لتركيز مياه الصرف المحتوية على المذيبات العضوية، مياه غسل السيليلوز، سائل السلفيد، كذلك إستعادة الفضة، كربونات الصوديوم، كبريتات الصوديوم، حامض الفوسفوريك، من مياه الغسيل في عدة مصانع كيماوية. لقد إستخدم التناضح العكسي في الصناعات الكيماوية لإزالة الملوحة من مياه الصرف، مثل أملاح الصوديوم، الزنك، النحاس، الألومنيوم، الأحماض والقلويات. الإتجاه إلى إعذاب المياه المالحة بالتناضح العكسي يرجع إلى بساطة الجهاز المستخدم، طاقة التشغيل الصغيرة، التكاليف الرأسمالية المنخفضة نسبياً. مقارنة للتكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل لإعذاب المياه في الولايات المتحدة بالطرق المختلفة كما يأتي حيث التكاليف بالدولار للتر في اليوم.

التناضح العكسي	الديزل الكهربية	التقطير الحرارى	التكاليف
٠,٢٤ - ٠,٠٩	٠,٢ - ٠,١٣	٠,٥٨ - ٠,٣٣	وحدة التكاليف الرأسمالية
٠,٣٣ - ٠,٢٤	٠,٣٢ - ٠,١٧	٠,٧٩ - ٠,٧٧	وحدة تكاليف التشغيل

الديليزة الكهربائية: (Electrodialysis)

الديليزة الكهربائية هي عملية فصل أيونات المادة الأيونية المذابة. يتم الفصل في جهاز الغشاء تحت تأثير تيار كهربى ثابت. الاستخدام الرئيسى لهذه الطريقة فى معالجة مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية هو لتنقية مياه الصرف عالية التركيز بالأملح.

فى الديليزة الكهربائية تستخدم أغشية تبال أيونى (على قاعدة من البى فى سى (PVC) أو من البولى سلفونيت (Polysulphonates)، أو من البولى إيثيلين فى شكل طبقات من البلمرات متجانسة أو ذات مسام ميكرونية (Microporous). القوة الدافعة للعملية هى الفرق فى الجهد الكهربى. تصنع الأغشية كمسطح مستطيل مرن أو فى شكل لفائف جيلاتينية من البولىمير النيرموبلاستيك كقاعدة (أساس) وبودرة راتنج تبادل أيونى.

أغشية الديليزة الكهربائية يمكن تقسيمها حسب أنواع الأيونات التى تنقلها إلى كاتأيونية، أن أيونية، مزدوجة القطبية (Dipolar) والتى تتكون من طبقات كاتأيونية وأن أيونية ومختلطة (Amphoteric) أى تحتوى على مجموعات قلوية وحامضية.

جهاز الديليزة الكهربائية يعمل بتبادل أغشية كاتأيونية وأن أيونية لتكوين فراغات ملحية وغير ملحية (مخففة). كثيرا جدا من هذه الفراغات تعمل بالتوازي (١٠٠-٢٠٠). حاليا يوجد نوعين من أجهزة الديليزة الكهربائية وهما الأجهزة المدمجة والمتشعبة فى مصفوفات. الطاقة ما بين ١-٢٥ متر مكعب فى الساعة. الإختلاف بينهما هو فى إتجاه محور المجال الكهربى (أفقى فى أحد الحالات، عمودى فى الأخرى). عمليا كل أجهزة الديليزة الكهربائية تستخدم أقطاب (Electrodes). التصميمات التكنولوجية لإنشاء أجهزة الديليزة الكهربائية هى عموما من نوعين وهما: - ذات التدفق المستمر.

- والتدوير حيث تعود بعض المياه التي لم يتم إزالة ملوحتها تماماً إلى الجهاز للمعالجة مع المياه الداخلية الخام.

إختيار التصميم يتوقف على عدة معايير منها طاقة الانتاج، المحتوى من الأملاح، مكونات المياه المعالجة. فمثلا في حالة زيادة الصرف عن ٣٠٠ - ٥٠٠ متر مكعب في الساعة يستخدم تصميم التدفق المستمر. أقصى تركيز للأملاح يكون من ٣ - ٨ جرام/لتر. أجهزة الديليزة الكهربائية مؤثرة جداً في معالجة كميات صغيرة من مياه الصرف ذات التلوث العالي.

استخدمت الديليزة الكهربائية لمعالجة مياه الصرف من مختلف المصانع الكيماوية. فعند ٤ فولت، ٠,١ إلى ٠,٤ أمبير يمكن لهذه الأجهزة إزالة الأملاح بنسبة ٩٨,٥% وكذلك الإزالة للملوثات العضوية بنسبة ٨٠,٦% في نفس الوقت. هذه العملية يمكن أن تعيد ١٣٥,١ × ١٠^٢ متر مكعب من المياه النقية في العام إلى دورة التصنيع (من مياه الصرف) وكذلك إستعادة ثلاث آلاف طن من كبريتات الصوديوم كسلعة للبيع).

بالإضافة إلى معالجة مياه الصرف الصناعي بالطرق السابقة فإنه تستخدم طرق أخرى مثل التبخير (Evaporation)، البلورة (Crystalization)، الاستخلاص باستخدام المذيبات العضوية (وذلك عندما تحتوي مياه الصرف على كميات كبيرة من المواد العضوية المذابة ذات القيمة الثمينة)، التقطير والتنقية للملوثات المذابة باستخدام تجريدها بالبخار أو الهواء.

٨- الطرق البيولوجية لمعالجة مياه الصرف:

تستخدم المعالجة البيولوجية لإزالة الملوثات العضوية من مياه الصرف الصناعي. المعالجة البيولوجية التقليدية هي الأكثر تأثيراً من ناحية كفاءة إزالة الملوثات العضوية وكذلك من الناحية الاقتصادية وذلك عند تطابق مستوى المحتوى

من الملوثات فى الماء مع معايير الصرف الصناعى على شبكة الصرف الصحى طبقاً لقانون البيئة ٩٤/٤. الطرق البيولوجية بعد المعالجة المسبقة والمعالجة الأولية توفر التنقية التامة لمياه الصرف حيث يمكن إزالة حتى ٩٠% من الاكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5). تعتمد هذه الطريقة على قرة الكائنات الحية الدقيقة فى التغذية على المواد العضوية فى مياه الصرف وتحويلها إلى ثانى أكسيد الكربون وبعض نواتج الأوكسدة الأخرى الغير ضارة. يتوقف تأثير المعالجة البيولوجية على عدة عوامل، بعضها يمكن التحكم فيه وبعضها يصعب التحكم فيه مثل مكونات مياه الصرف الصحى.

العوامل الرئيسية التى تحدد طاقة المعالجة ودرجة التنقية لمياه الصرف تشمل درجة الحرارة، نشاط النفاصل، المحتوى من العناصر البيولوجية، المحتوى من الأكسجين، التأثيرات السامة من بعض الملوثات العضوية وغير العضوية. أفضل درجة حرارة للمعالجة البيولوجية هى ما بين ٢٠ - ٣٠م عندما تكون باقى العوامل مناسبة، كما يجب أن يكون المحتوى من الكائنات الحية الدقيقة بحالة جيدة وبالقدر المناسب، كما أن الرقم الهيدروجينى عامل حاسم فى تكاثر ونمو الكائنات الدقيقة. تكون المعالجة البيولوجية مؤثرة جداً فى حالة الرقم الهيدروجينى لسائل الصرف ما بين ٥-٩، كما أن الرقم الهيدروجينى من ٦,٥ - ٧,٥ هو الأفضل. أما فى حالة وجود الرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة فى غير القيم المسموح بها والمناسبة، فإنه يجب ضبطهما فى مياه الصرف عند معالجتها بالطرق البيولوجية.

لتوفير تكون مادة الخلية للكائنات الدقيقة وبالتالي لتوفير المعالجة المؤثرة لمياه الصرف، فإن المجال يجب أن يحتوى على التركيزات المناسبة من المواد الغذائية الرئيسية وهى الكربون العضوى فى شكل (BOD)، النيتروجين والفسفور، كما أن العناصر الأخرى (مثل المنجنيز، النحاس، الزنك، الكالسيوم، الصوديوم... الخ) تكون موجودة عادة فى مياه الصرف (كما فى حالة المياه الطبيعية) بكميات كافية لتحقيق متطلبات تكاثر ونمو البكتريا. ولكن عادة لا يوجد ما يكفى من النيتروجين

والفوسفور (كما فى حالة مياه الصرف من الصناعات البترولية) حيث تضاف هذه المواد فى شكل سوپر فوسفيت (Super Phosphate)، أورثوفوسفيت (Orthophosphate)، أورثو حامض الفوسفوريك، كبريتات الأمونيا، نترات الأمونيا أو كلوريد الأمونيا أو اليوريا.

فى النظام البيولوجى الهوائى حيث الامداد بالهواء (أو بالأكسجين النقى أو بالهواء الغنى بالأكسجين) يجب أن يؤكد الوجود المستمر للأكسجين المذاب فى مياه الصرف (الخليط) بما لا يقل عن ٢ جزء فى المليون. المواد العضوية والمواد غير العضوية يمكن أن يكون لها تأثير سام على العمليات البيولوجية بما يعيق نمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة أو قتلها. معظم المواد لها تأثير حسب مستويات تركيزها فى الخليط الجارى معالجته. أحد أهم التحديات هو تحديد أقصى تركيز مسموح به (MPC - Maximum Permissible Concentration) لمركبات كيماوية منفردة وتعيين تأثيرات مواد الخليط الموجودة فى مياه الصرف الجارى معالجتها. المقصود بأقصى تركيز مسموح به (IMPC) هو أقصى تركيز للمواد السامة فى المياه حيث لا يشكل عدم كفاءة التشغيل للنظام البيولوجى، كما لا يحدث أى رغاوى ولا يحدث تغيير فى إذابة الأكسجين، والذي فى حالة زيادته يحدث تأثيرات سلبية على الأكسدة البيولوجية ونمو الخلايا.

المواد غير العضوية ذات أدنى تركيز هى:

- إيثيل الرصاص الرباعى (Tetra Ethyllead) بتركيز ٠,٠٠١ ملجرام/لتر.
- مركبات البريليوم، التيتانيوم، الزئبق، الكروم السداسى، ثانى أكسيد الكربون (٠,٠١ ملجرام/لتر)، مركبات البورون (٠,٠٥ ملجرام/لتر).

أقل المواد سمية هى أملاح الصوديوم، الليثيوم والمغنسيوم والتي ليس لها تأثير عند وجودها فى الماء حتى مستويات ١٠ جرام/لتر.

المواد العضوية ذات مستوى منخفض نسبيا بالنسبة لأقصى تركيز مسموح به حتى ٢٥ ملجرام/لتر تشمل المنظفات الصناعية والمواد الوسيطة والصبغات حيث

تتغير تركيزاتها طبقاً لظروف التشغيل في محطة المعالجة وخاصة عند تركيز الحمأة.

معظم المواد العضوية يمكن أن تتأكسد هوائياً بمساعدة الكائنات الحية الصغيرة. وهذه العملية تتوقف على توافق النظام البيولوجي، حيث أن الكائنات الدقيقة المستخدمة في المعالجة غالباً لا تتعامل فوراً مع أنواع جديدة من الملوثات الصناعية وخاصة إذا اختلفت كثيراً في مكوناتها عن تلك الطبيعة. يوجد عدد كبير من المواد التي يمكن اعتبارها لا تتأكسد بيولوجياً عند معالجة مياه الصرف، ولكن هذا لا يعني أن الأكسدة البيولوجية مستحيلة كلية حيث عادة يمكن أن تحدث الأكسدة البيولوجية ولكن بمعدل بطيء جداً بما يتطلب فترة تأقلم طويلة، ولكن عملياً لا تحدث الأكسدة البيولوجية في ظروف التشغيل العادية في محطة المعالجة.

المواد التي تتأكسد بيولوجياً والمركبات العضوية التي تقاوم الأكسدة هي

كالآتي:

المواد العضوية التي تقاوم الأكسدة البيولوجية	المواد العضوية التي تتأكسد بيولوجياً*
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ethers ▪ Ethylene Chlorohydrin ▪ Isoprene ▪ Methyl Vinyl Ketone ▪ Morpholin ▪ Polymers ▪ Polypropyl Benzene Sulphonates ▪ Tertiary Aliphatic Alcohols, Sulphonates ▪ Trichlorophenols ▪ Other Hydrocarbons (Aliphatic, Aromatic, Alkyl - Aryl groups) ▪ Aromatic Compounds with three and More Substituents 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acrylic Acid ▪ Aliphatic Acids ▪ Aliphatic Alcohols ▪ Normal, Iso, Secondary Aliphatic Aldehydes ▪ Alkyl Benzene Sulphonates (Partially) ▪ Aromatic Amines ▪ Dichlorophenols ▪ Ethanol Amines ▪ Glycols, Ketones ▪ Methacrylic Acid ▪ Monochlorophenols, Phenoles, Nitriles. ▪ Primary Aliphatic Amines. ▪ Styrene ▪ Vinyl Acetate ▪ Aromatic Hydrocarbons with one or two Substituents

* بعض هذه المواد يتحلل بيولوجياً فقط بعد فترة زمنية طويلة من التأقلم.

تم عمل دراسات بحثية كثيرة لتقييم المعالجة البيولوجية طبقاً للتركيب الكيماوى للمادة. فقد وجد أن، كمثال - الكحوليات الأولية (Primary Alcohols) تتأكسد بسهولة أكثر من الكحولات الثانوية، الكحولات الثانوية (Secondary Alcohols) أكثر سهولة عن الثلاثية (Tertiary). كما وجد أنه كلما زادت درجة التشعب (Branching) للسلسلة الكربونية، كلما زادت المقاومة للأكسدة البيولوجية. كلما زادت عدد ذرات الكلور فى الجزيئ كلما إنخفضت سرعة الأكسدة وكلما زادت السمية للمركب. لهذا، فإن المركبات ذات ذرات من الكلور حتى ذرتين يمكن إزالتها من مياه الصرف بالمعالجة البيولوجية وعند وجود ذرتين كلور حتى أربع ذرات من الكلور فى الجزيئ فإن الأكسدة البيولوجية يجب أن يسبقها معالجة بالكربون المنشط. المركبات التى بها أكثر من أربع ذرات من الكلور عادة ليست قابله للتحلل البيولوجى كما يجب معالجتها بالكربون المنشط. بالنسبة للمعالجة البيولوجية توجد كذلك صعوبة المشكلة فى تحديد مكونات المواد الوسيطة والمنتجات النهائية الناتجة عن الأكسدة البيولوجية للمواد العضوية. نظراً لأن الأكسدة فى محطات المعالجة ليست دائماً تامة (إلى ثانى أكسيد الكربون والماء)، حيث تظهر مواد فى الماء بعد المعالجة البيولوجية والتي لم تكن موجودة فى الماء قبل المعالجة، وهذه المواد قد تكون أحيانا أكثر سمية عن الملوثات الأصلية قبل أكسدتها. لذلك يجب عمل الدراسات والأبحاث فى هذا المجال لتعيين تأثيرات المعالجة البيولوجية على سمية المياه.

أحد الطرق الواعدة والمؤثرة هو استخدام الكائنات الدقيقة القادرة على تحلل المواد العضوية السامة والتي يصعب تحللها بيولوجيا عند معالجة مياه الصرف عالية التركيز. مياه الصرف الصناعي يمكن أن تعالج بيولوجيا فى ظروف طبيعية أو صناعية. طريقة المعالجة بالتربة حيث الخليط المعقد من المواد العضوية وغير العضوية مع عدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة ذلك لأن التربة لها القدرة على

تحويل مياه الصرف إلى الحالة الغير ضارة. معالجة التربة تستخدم بنسبة قليلة جدا مقارنة بالطريقة الصناعية للمعالجة البيولوجية، حيث يمكن معالجة مياه الصرف الصحي والصرف الصناعي بالترشيح خلال التربة. تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في معالجة مياه الصرف والتخلص منها في مصانع تكرير البترول في الولايات المتحدة وكندا وأوروبا الغربية.

يعتمد الترشيح في التربة على العمليات الديناميكية، الطبيعية، الكيماوية والبيولوجية التي تحدث في التربة وتسبب التحلل لمكونات مياه الصرف وتحويلها إلى مواد غير ضارة. معالجة التربة لمياه الصرف تشمل الأنواع الآتية:

- مساحات سطحية من الأرض للترشيح.

- آبار ترشيح.

- حفر ترشيح مع طبقة من التربة.

في طريقة ترشيح التربة تعالج المواد العضوية بيولوجيا، المواد المتطايرة تتطلق في الهواء. ولكن هذه الطريقة تخضع لقوانين حماية البيئة حيث يلزم المعالجة المسبقة لها.

بالنسبة للمعالجة الصناعية والتي يقصد بها المعالجة البيولوجية والتي إما أن تكون هوائية أو غير هوائية، فإنها تزيل حتى ٩٥% من الملوثات العضوية (BOD) الموجودة في مياه الصرف.

الخواص الفنية للعمليات الرئيسية المستخدمة في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف موضحة في الجدول التالي.

جدول الخواص التكنولوجية لعمليات المعالجة البيولوجية الرئيسية:

العلامة	نسبة الإزالة %	الاستجوبن الهوى فى الماء مطور/م/لتر	كثافة الكائنات الدقيقة مطور/م/لتر	العمق بالمتر	زمن العطف بالأبلام	عملية المعالجة
منع إنتفاخ الحماة ---	٩٥ - ٨٥	٣٠٠٠ - ١٠٠	٦٠٠٠ - ٢٠٠٠	٤,٩ - ٣,٧	٢ - ٠,٥	المعالجة الهوائية: الحماة المنشطة التهوية الممكدة
التحميل ٢-٠,٥ كجرام من BOD/م ^٢ /اليوم	٩٠ - ٨٠	٥٠٠ - ٥٠	--	--	--	الملاص الدور (المرشح البيولوجى المغمور)
التحميل ٨-١,٦ كجرام من BOD/م ^٢ /اليوم	٦٠ - ٥٠	٣٠٠٠ - ٥٠٠	--	٩,١ - ٤,٦	--	المرشح الزلطى
خايط جيد	٧٠ - ٥٠	٧٥٠ - ٥٠	--	٤,٩ - ٢,٤	٣ - ٠,٥	الأحواض الموهواه
خايط سطحي	٩٠ - ٨٠	٢٥٠ - ٥٠	١٠٠ - ٥٠	٤,٩ - ٢,٤	١٠ - ٣	أحواض موهاه محتاطة Facultative
التحميل ٤,٥-١,٦ كجرام من BOD/م ^٢ /اليوم	٩٠ - ٧٠	١٠٠٠٠ - ١٥٠٠	١٢٠٠٠-٥٠٠٠	--	٣٠ - ١,٥	المعالجة اللاهوائية المفاعل اللاهوائى
التحميل ٤:٤٨-٢٣ BOD/م ^٢ /اليوم	٨٠ - ٥٠	٢٠٠٠ - ٥٠٠	٢٥	٤,٦ - ٢,٤	٥٠ - ٥	البرك اللاهوائية
التحميل ٥,٦-٢,٥ BOD/م ^٢ /اليوم	٩٠ - ٧٠	٢٥٠ - ٥٠	٢٥	٢,٤ - ٠,٩	٥٠ - ٧	البرك المحتاطة Facultative

إختيار مخطط المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعي يتوقف على الحجم الكلى لمياه الصرف المطلوب معالجتها والمحتوى والتركيز للملوثات ومدى سميتها.

أ- المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة: (Activated Sludge)

المعالجة بالحمأة المنشطة فى الأحواض المهواه أصبحت أكثر العمليات إستخداما فى معالجة مياه الصرف فى المصانع الكيماوية. الحمأة (Sludge) التى تعمل على تحلل المركبات العضوية فى مياه الصرف بالطريقة البيولوجية - الكيماوية (Bochemically) هى خليط معقد من الكائنات الحية الدقيقة (كتل مروبة من البكتريا وكائنات دقيقة بسيطة... الخ).

توجد عدة أشكال لعملية الحمأة المنشطة. المعالجة. عموما تحدث فى أحواض تهوية والتى تختلف فى الشكل والترتيب وطريقة تنشيط الحمأة وعدد المراحل وخصائص أخرى، حيث الكتلة البيولوجية (Biomass) المنشطة أو البكتريا التى تطفو حرة (أو تكون عالقة) فى الماء تؤكسد الوسط المحيط بها. هذا النظام جزء حساس فى المعدة لإمداد الأكسجين إلى السائل، المحافظة على استمرار الحمأة عالقة وكذلك إستمرار الخلط للمياه الداخلية مع الحمأة. فى معظم التصميمات يشمل نظام التهوية كل هذه المهام ويؤديها فى وقت واحد، ولكن فى حالة الأحواض التى يتم إمدادها بالأكسجين الصناعى والذى يتم حقنه بدلا من الهواء الجوى فإن الخلط بالقلابات الميكانيكية يكون مستقلا عن نظام الامداد بالأكسجين.

بعد حوض التهوية يتم توجيه تدفقات الصرف إلى المروق حيث ترسب الحمأة الشكل (٤/٢). معظم الحمأة يعاد تدويرها ليتم خلطها مع المياه الخام الداخلة إلى حوض التهوية، والباقى يتم التخلص منه. عملية المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تكون دورية أو متقطعة.

يوجد نوعين من نظم التهوية التي تستخدم عادة في المعالجة بالحماة المنشطة وهما الهوائى والميكانيكى: فى النظام الهوائى يدفع الهواء إلى الحوض تحت الضغط وينتشر على ألواح المرشح، أو المواسير أو ما شابه ذلك. أما فى حالة النظام الميكانيكى فإنه يتم السحب السطحى للهواء. نظام ونوع جهاز التهوية يتوقف على حجم ومكونات مياه الصرف وديناميكا التفاعلات للأكسدة البيولوجية للمواد العضوية. سرعة الأكسدة للمواد العضوية تتناسب عكسيا مع تركيز المياه كما أنها تقل مع أكسدة المواد العضوية وزيادة زمن المكث فى حوض التهوية. بالنسبة للأداء الجيد للمعالجة البيولوجية بالحماة المنشطة، فإنه يجب أن يكون للحماة الخاصة الحيوية - كما يجب أن ترسب بسهولة. خاصية الترسيب تتوقف على قدرة البكتريا على تكوين كتلات مع الزغبات (Flocs) أو الحماة (Sludge)، أو كتل ذات أشكال مختلفة وقوام مختلف محاطة بطبقة هلامية. ضعف الترسيب يكون أحيانا مرتبط بنمو البكتريا العسوية، وبالتالي ضعف نوعية المعالجة. زيادة البكتريا العسوية يمكن أن ينتج عنه ما يعرف بانتفاخ الحماة (Sludge Bulking) (أى تكوين راسب منتفخ عسوى والذي يصعب إزالته). يمكن أن يحدث ذلك عند حدوث عدة تغيرات فى ظروف التشغيل ومكونات المواد العضوية.

البكتريا العسوية تنمو عندما يكون الاكسجين المذاب منخفض، كذلك عندما يكون الأوكسجين الحيوى المستهلك (BOD) منخفض. البكتريا العسوية لها طاقة معالجة عالية وتستهلك كميات محددة من الأوكسجين والمواد العسوية. على الجانب الآخر فإن التراكمات الهلامية لحماة البكتريا تتكون مع حمل عالى من الملوثات وكذلك المحتوى العالى من الأوكسجين المذاب، على خلاف البكتريا العسوية فإنه يمكنها أكسدة المركبات العسوية المعقدة.

انتشر حديثا فى المعالجة البيولوجية إستخدام أحواض التهوية بالخلط الكامل حيث الجمع بالتهوية بالهواء المضغوط من قاع حوض التهوية مع التقلاب

الميكانيكي باستخدام جهاز التهوية. في هذا النظام يحدث تدوير جيد لخليط الحمأة ومياه الصرف بما يحقق كفاءة معالجة عالية. معالجة مياه الصرف المخففة وسريعة الأكسدة في الأحواض سريعة الخلط قد يؤدي إلى إنتفاخ الحمأة (بسبب إنخفاض BOD والمحتوى من الأوكسجين المذاب في مياه الصرف). في مثل هذه الحالة يفضل استخدام المفاعل النباض (Pulsed Reactor) حيث يدخل كلا من الهواء والماء من القاع، كما يمكن تجنب إنتفاخ الحمأة كذلك باستخدام حوض خلط صغير قبل حوض التهوية، حيث يكون زمن المكث عشرة دقائق في حوض الخلط هذا، عندئذ لا يحدث إنتفاخ للحمأة حتى في حالة إنخفاض الحمل العضوي (١,٠ ملجرام BOD / ملجرام مواد صلبة متطايرة).

مع زيادة تركيز المتدفقات المحتوية على كيماويات عضوية معقدة، يكون من المفضل استخدام الأحواض ذات التهوية المختلطة الكاملة والتي هي أفضل في أكسدة الملوثات وكذلك في عدم حدوث الانتفاخ للحمأة. في حالة التركيز العالي لمياه الصرف يمكن حمل بعض الكتل البكتيرية من المروقات كحبيبات منتشرة، هذا بالإضافة إلى أن إنخفاض درجة الحرارة وكذلك التركيزات العالية للمواد غير العضوية المذابة يعيق المعالجة الكاملة. وفي مثل هذه الحالات يجب إضافة مسادة ترويب إلى مياه الصرف عند خروجها من حوض التهوية وقبل دخولها إلى حوض الترسيب أو تمريرها مباشرة إلى مروق المفاعل البيولوجي، وذلك لإمكان ترسيب هذه الملوثات.

المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تزيل ملوثات عضوية معينة بكفاءة تزيد عن ٩٥%، وخفض الملوثات العضوية المذابة إلى أقل من ١٠-١٥ ملجرام BOD في اللتر، إجمالى المواد العضوية BOD (الأوكسجين الحيوى المستهلك) بما فيها المواد الصلبة العالقة إلى أقل من ٣٠ ملجرام/لتر. هذه الطريقة مناسبة عندما يكون المطلوب نوعية عالية من المعالجة، وذلك عند محدودية المساحات من الأراضي

لمنشآت المعالجة وعند زيادة معدل التدفق لمياه الصرف عن ٣٧٥,٥ متر مكعب في اليوم. سلبيات هذه الطريقة تشمل الحاجة إلى الاشراف الدقيق لعملية المعالجة، الحساسية للسمية، الصدمات الهيدروليكية، الحاجة إلى التصرف في الحمأة الزائدة.

الملوثات في مياه الصرف التي يمكن أن تكون قابلة للتحلل البيولوجي بنسبة ٩٥% تشمل مركبات عضوية مثل:

‘Benzidine ،2,4 Dinitrobenzene ،2,4 Dichlorobenzene ،Nitrobenzene
‘Phenanthrene ،Pentachlorophenol ،Phenol ،Acrylonitrile ،Acrolein
.Naphthalene

الملوثات التي يمكن التخلص منها (بالتجريد - Stripping) أثناء التهوية تشمل:

Bezene ،1,2 Dichlorobenzene ،Ethyl Benzene ،Di, Tri, Tetrachlorome-
thane.

بعض المركبات المتطايرة يمكن إزالتها كلية (حتى ٩٥%) من مياه الصرف بالتجريد بالهوائى فقط وهذه تشمل:

1,2 Dichloroethane ،1, 1, 1-Trichloroethylene ،Trichloroethylene،
Tetrachloroethylene ،1,2 Dichloropropane.

عند وجود هذه الملوثات في مياه الصرف بتركيزات كبيرة فإن إزالتها من حوض التهوية يمكن أن يسبب مشاكل تلوث نتيجة إنطلاقها في الجو.

ب- التهوية الممتدة: Extended Aeration

التهوية الممتدة هي كذلك معالجة بالحمأة المنشطة ولكن تختلف عن العملية التقليدية في زيادة طول زمن المكث في حوض التهوية (من ١٢ إلى ٢٤ ساعة، أحيانا من ١-٣ يوم). التهوية الممتدة يمكن أن تخفض الحمل العضوى (BOD) إلى أقل من ١٠ ملجرام/لتر. بعد المعالجة يلزم ترويق الصرف بالترويب أو الترشيح. مميزات التهوية الممتدة هي سهولة التشغيل وعدم الحساسية لصدمات التخميل،

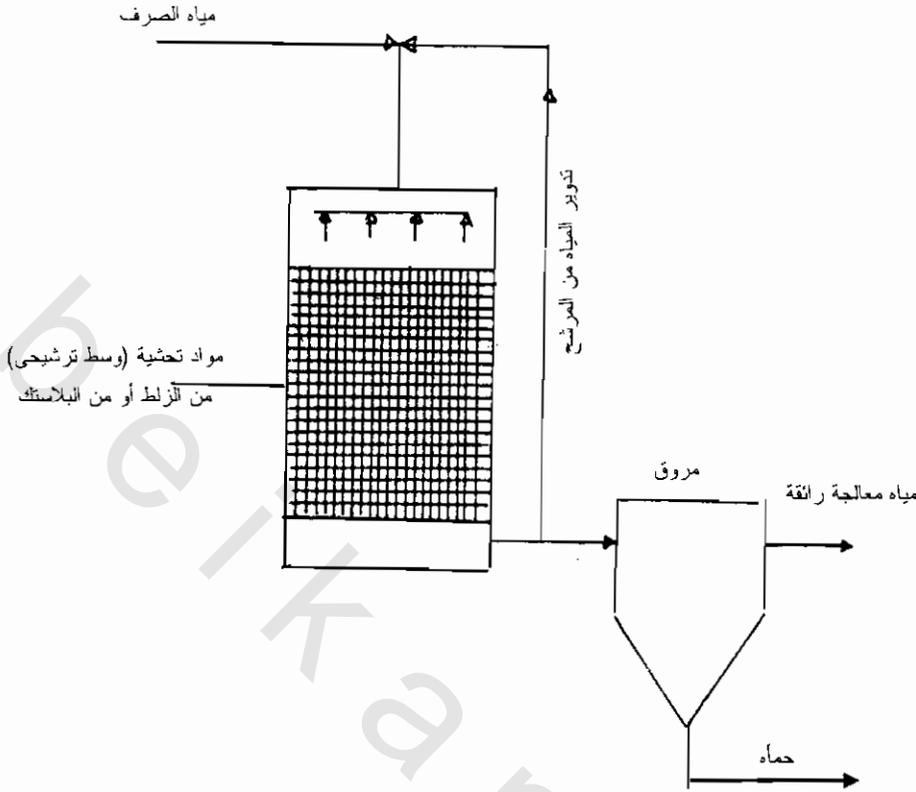
وسهولة الإدارة والمتابعة. تستخدم أحواض التهوية الممتدة أساسا للتدفقات الصغيرة من مياه الصرف (حتى ١٠٠٠ متر مكعب في روسيا، حتى ٣٧٨٥ متر مكعب في أمريكا).

ج- المرشحات البيولوجية: (Trickling Filters or Biological Filter)

لقد زاد استخدام المرشحات البيولوجية شكل (٤/٣) في معالجة مياه الصرف الصناعي لمواجهة مشاكل الطاقة حيث يستخدم الوسط الترشيحي من الزلط، الحشو البلاستيك، أو الفخار المثقب، أو خبث المعادن، والذي يغطي بطبقة من الكائنات الدقيقة الهوائية. تتحدد طاقة المرشح البيولوجي (المرشح الزلطي أو عالي التحميل) أساسا بالمساحة السطحية المغطاة بطبقة بيولوجية وقدرتها على الالتصاق بالأكسجين الحيوي. المرشحات الزلطية (البيولوجية) تعمل على خفض تركيز الملوثات بنسبة ٦٠-٨٥% من الحمل العضوي (BOD)، المرشحات الزلطية عالية التحميل تستخدم في معالجة مياه الصرف عالية التركيز بنسبة ٥٠-٦٠%.

المعالجة بالمرشحات البيولوجية تكون نتيجة عمليتين متوازيتين وهما:

إزالة الملوثات بالالتصاق والإدمصاص على طبقة البكتريا الملتصقة بسطح حبيبات الوسط الترشيحي بقطر ٤٠ - ٨٠ ملليمتر يعتبر مناسب جدا. المرشحات الزلطية القديمة استخدمت قطع أحجار بقطر ٦٤-١٠٢ ملليمتر في طبقة الوسط الترشيحي بعمق ٠،٩-٢،٤ متر، وهذه لا تحقق كفاءة جيدة ولكنها تحسن من التهوية والتصاق الهواء مع الطبقة البيولوجية. ولكن الكفاءة العالية للمرشحات أمكن تحقيقها باستخدام الوسط الترشيحي من البلاستيك حيث أمكن الوصول إلى عمق حتى ١٢ متر، ومعالجة مياه الصرف ذات التركيز العالي من الملوثات وعند تحميل هيدروليكي عالي حتى ١٦٣ لتر/المتر المربع في الدقيقة.



شكل (٤/٣) المرشح البيولوجي

رغم أن المعالجة بالمرشحات البيولوجية لا تزيد كفاءتها عن ٨٥% من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD)، إلا أنها سهلة وغير مكلفة فى التشغيل وتتطلب طاقة أقل نسبة إلى المعالجة بالحماة المنشطة. تعتبر المعالجة بالمرشحات البيولوجية مناسبة جدا للمعالجة المسبقة (المعالجة غير التامة) لمياه الصرف، أو كمرحلة أولى فى معالجة مياه الصرف عالية التركيز. لمنع العفن على سطح المرشح عند معالجة مياه الصرف عالية التركيز يستخدم التدوير (Recycling)، حيث يعود جزء من مياه الصرف المعالجة لتخفيف تدفقات مياه الصرف الخام الداخلة للمعالجة، كما أن التدوير يزيد من كفاءة تجهيزات المعالجة.

د- الملامسات البيولوجية الدوارة: (Rotating Biological Contactors)

من بين معدات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف، الملامسات البيولوجية الدوارة (المعروفة كذلك بالمرشحات البيولوجية المغمورة أو الأقراص البيولوجية). وهذه توضع فى موقع متوسط ما بين أحواض التهوية والمرشحات البيولوجية، حيث زاد إستخدامها أخيراً. هذه التجهيزات ذات تشغيل إقتصادي جداً، وهى تحقق نفس كفاءة المعالجة مثل عملية الحمأة المنشطة، ولكن حاجتها إلى الطاقة وإلى الإشراف أقل.

تتكون الملامسات البيولوجية الدوارة من عامود إدارة دوار يحمل أقراص بلاستيك ضخمة مغمورة إلى ما بين ثلث إلى نصف قطرها فى حوض مياه الصرف. الأقراص ذات القطر ما بين ١ إلى ٣ متر تركيب بفواصل ٢٥مليمتر وعددها على عامود إدارة واحد يمكن أن يتغير من ٢٠ إلى ٢٠٠ وهى تدور بمعدل ٢ إلى ٥ دورة فى الدقيقة. تكاليف الطاقة تتراوح ما بين ٠,٦ - ١,٢ كيلوات ساعة لكل كيلوجرام أكسجين حيوى مستهلك مزال. تتدفق المياه خلال الحوض عند سرعات مختلفة حسب درجة المعالجة المطلوبة. عادة يكون زمن المكث فى الحوض ما بين ١-١,٥ ساعة. تنمو على الأقراص طبقة بيولوجية بسمك ما بين ١ إلى ٤ مليمتر، الطبقة تكون دائماً مغمورة فى الماء ومسحوبة خارج الماء، حيث تؤكسد الملوثات وتزيلها بالأكسجين التى تحصل عليه من الهواء الجوى. الكتلة البيولوجية الزائدة (Excess Biomass) تسقط فى الماء ثم تحمل مع المياه المعالجة إلى المروق الثنائى.

مياه الصرف فى الحوض يتم تهويتها بتدوير الأقراص وكذلك حركة الدوران المشتركة تساعد على بقاء الحمأة المنشطة عالقة (وكذلك كل المواد الأخرى). ما بين ٦٠ - ٧٠% من الكائنات الدقيقة تكون عالقة بالأقراص كطبقة بيولوجية. الباقي يكون عالق فى الحوض مع مياه الصرف.

المرشحات البيولوجية ذات الأقراص الدوارة تنشأ عادة من ٢-٣ مرشح بالتتالي، بما يمكن الطبقة البيولوجية في كل مرشح أن يحدث لها التنشيط. العامل الهام في كفاءة الأكسدة هو المساحة السطحية للأقراص والتي تكون عادة من ١٠٠ إلى ٢٠٠ متر مربع/المتر المكعب. المرشح المتوسط يصنع عادة من البولي إيثيلين عالي الكثافة، والمساحة السطحية ١٢٢ متر مربع/المتر المكعب. وحدة الملامس البيولوجي الدوار له الخواص التالية:

قطر القرص ٣,٦ متر، طول المرشح ٧,٦ المرشح، إجمالي سطح القرص ٩٢٩٠ متر مربع لعدد ١٠٠ قرص. هذه التجهيزات يمكن أن تحقق كفاءة المعالجة بنسبة ٩٠% للأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والمواد الصلبة العالقة.

هـ- الأحواض والبرك البيولوجية: (Biological Ponds And Lagoons)

الأحواض والبرك البيولوجية هي عبارة عن إنشاءات مياه مصنعة حيث تستخدم العمليات الطبيعية لتنقية المياه. وهي تستخدم أساساً لتنقية المياه بعد المعالجة البيولوجية. وهي يمكن أن تنقسم إلى التهوية الطبيعية والتهوية الصناعية وهذا المعروف عادة بالهوائى أو التهوية الهوائية/الغير هوائية (أو التهوية المشتركة - Facultative) أو الأحواض المهواه والغير مهواه. تتم التهوية وتوفير الأكسجين المذاب (بواسطة أجهزة التهوية) للطبقات السطحية للماء فقط. البرك المهواه تتم باستخدام أجهزة التهوية الميكانيكية أو برفع فقاعات الهواء خلال الماء.

البرك المهواه (Aerated Lagoons) عبارة عن حوض بعمق ٢,٤ - ٤,٩ متر ممتد على مساحة تزيد عن واحد هكتار. خلط طبقات الماء مع الهواء يسرع فى التحلل البيولوجي للمواد العضوية. عند معالجة مياه الصرف الصناعي فإن هذه الطريقة يمكن أن تقلل المواد العضوية المذابة إلى أقل من ٢٥ ملجرام فى اللتر من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD)، كما يقلل المواد الصلبة العالقة إلى أقل من ٥٠ ملجرام/لتر. سلبيات هذه الإنشاءات تشمل طاقة الأكسدة المنخفضة، بما ينتج

عنه زيادة من المكث في الحوض، الطبيعة الموسمية للتشغيل، الحاجة إلى مساحة كبيرة من الأراضى. نظرا لكبر حجم مياه الصرف التي تعالج في الأحواض فإن كمية المواد الصلبة العالقة المحتجزة تكون مرتفعة حتى ١٠٠ ملجرام/لتر وهذا يتطلب الترسيب أو الترشيح بعد المعالجة. تستخدم أحواض التهوية (Aerobic Lagoons) في المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي قبل صرفها على شبكة الصرف الصحى.

فى أحواض التهوية المختلطة (الهوائية واللاهوائية - Facultative) حيث الخلط مع الهواء يتم فقط عند السطح، فإن جزء من المواد الصلبة العالقة يرسب عند القاع حيث يتحلل بواسطة الكائنات الحية اللاهوائية. غاز الميثان وبعض نواتج التحلل الأخرى ترتفع إلى الطبقات العليا حيث تتأكسد بالبكتريا الهوائية، كما تحدث زيادة فى إزالة الحمل العضوى (BOD) وكذلك التخلص من الرائحة الناتجة عن الأوكسدة اللاهوائية عند قاع الحوض.

ولزيادة كفاءة المعالجة فإنه يتم إعداد نظام مكون من ثلاث أحواض وهم الحوض الهوائى، الحوض بالتهوية المختلطة (الهوائية واللاهوائية) وحوض الترسيب. الحوض الهوائى يؤكسد المواد العضوية الذابة ويزيد من كتلة الكائنات الحية الصغيرة (Biomass). زمن المكث من ١-٣ يوم. الحوض المختلط (Facultative) يزيل ما تبقى من الحمل العضوى (BOD) وكمية كبيرة من المواد الصلبة العالقة، زمن المكث من ٣-٦ يوم. فى حالة المحتوى من المواد الصلبة العالقة للمياه المعالجة ليكون أقل من ٥٠ ملجرام/لتر، فإنه يستخدم حوض ترسيب كبير والذى يتم فيه تراكم الحمأة لعدة عقود. هذا النظام بالأحواض المتعاقبة يتوافق فى الكفاءة مع الحمأة المنشطة ومعمول به فى الولايات المتحدة الأمريكية. دراسة حالة لهذا النظام (Case Study):

قرب مدينة هوستن فى أمريكا، تعالج مياه الصرف الصناعى فى حوض بيولوجى مساحته ٢,٩ هكتار وله طاقة إستيعابية من ١٩٠٠٠ إلى ٢٣٠٠٠ متر

مكعب في مكان تجريبي لحفرة زلطية. فهو يعمل كمستودع لمياه الصرف المحتوية على زيوت وشحوم صناعية، أحماض من عمليات الجلفنة، الفينولات، الفينولات الكلورة، المعادن الثقيلة. تتم المعالجة بواسطة البكتريا الطبيعية الموجودة في الماء. عند زيادة وتراكم الملوثات يتم زيادة التهوية الطبيعية باستخدام التهوية الميكانيكية وكذلك بإضافة عناصر بيولوجية لتعجيل تحلل المخلفات بالبكتريا. تكاليف المعالجة لكل الحوض تعادل ثلث التكاليف في حالة التخلص من هذه المخلفات بالحرق.

هذا الحوض البيولوجي يستخدم لاختبار تقنيات المعالجة البيولوجية المختلفة لمياه الصرف والرواسب السامة، وكذلك لمعرفة انطلاق المواد العضوية المتطايرة إلى الجو أثناء التهوية للحوض وذلك بهدف تعيين مدى سرعة تأثير البكتريا على الملوثات والمدة الزمنية لذلك، وكذلك لاختيار الطريقة المؤثرة لتهوية الأحواض.

لقد أظهرت الأبحاث أن الأكسدة البيولوجية بهذه الطريقة لها نفس كفاءة المعالجة بالحماة المنشطة، حيث البكتريا تعمل على التحلل التام للملوثات في الرواسب. مع إطلاق المواد المتطايرة فإن التأثير السام للمواد المترسبه ينخفض. لوحظ أن أكبر نشاط للبكتريا هو عند رقم هيدروجيني 7. للمحافظة على الرقم الهيدروجيني عند هذا الحد ثم إضافة ٤٥ كيلو جرام من الجير الحي يوميا (cao) إلى الحوض، وبذا يستمر معدل إزالة الملوثات مرتفع حتى في شهور الشتاء الباردة. المعالجة التامة البيولوجية يتوقع أن تستغرق أربع سنوات.

و- المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف: Anaerobic Treatment of Industrial Waste Water

المعالجة اللاهوائية والتي تحدث في عدم وجود الاكسجين تتطلب طاقة أقل ومواد غذائية أقل وتعتبر بديل للمعالجة البيولوجية الهوائية. إن من مميزات المعالجة البيولوجية اللاهوائية هو إنتاج البيوجاز (غاز الميثان) الذي يستخدم

كوقود، بالإضافة إلى قلة المحتوى من الحمأة وكذلك درجة الثبات العالمية للمخلفات المعالجة ومرونة عملية المعالجة والتي يمكن أن تتم بطريقة منقطعة أو موسمية لمياه الصرف. ولكن سلبيات المعالجة البيولوجية اللاهوائية هو النمو البطئ للبكتريا المنتجة للميثان والذي يؤثر على طول الوقت اللازم لبدء عمل وحدة المعالجة البيولوجية اللاهوائية.

تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز والتي تحتوي على خليط من المواد العضوية بكميات ما بين ٥٠٠ ملجرام / لتر إلى ١٠ جرام / اللتر من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) وأكثر من ذلك. التخمر اللاهوائى يتم فى مرحلتين. المرحلة الأولى الكائنات الدقيقة ذات النشاط الهوائى واللاهوائى (Facultative) تعمل على تحول المواد العضوية المعقدة وتحللها إلى أحماض دهنية وكحولات، أمونيا ومواد أخرى بفعل الأنزيمات. فى المرحلة الثانية تقوم البكتريا المنتجة للميثان بتحويل منتجات المرحلة الأولى أساسا إلى الميثان وثانى أكسيد الكربون وغازات أخرى تكونت بكميات صغيرة. البيوجاز المنتج (٦٠-٧٠%) ميثان) يمكن استخدامه كوقود لتسخين المفاعل اللاهوائى نفسه.

يمكن تنفيذ المعالجة اللاهوائية فى أحواض أو فى مفاعلات مصممة خصيصا لهذا الغرض. الأحواض اللاهوائية لا يتم تهويتها حيث تتم معالجة مياه الصرف لاهوائيا. الأحواض المختلطة (هوائية - لاهوائية) تستخدم كذلك، حيث الطبقات السطحية لهذه الأحواض المختلطة ذات تأثير أقوى من الأحواض اللاهوائية ولكن كليهما ينتج روائح كريهة بما يجعل من الصعب إستخدامها فى أماكن كثيرة. الطريقة المستخدمة عموما فى المعالجة اللاهوائية هى باستخدام المفاعلات اللاهوائية، حيث بهذا يمكن معالجة مياه الصرف الصناعى لكثير من الصناعات بما فيها الصناعات البترولية، البتروكيميائية، وصناعة الورق ولب الورق، الصناعات الدوائية، وصناعات أخرى.

توجد أربعة أنواع من المفاعلات البيولوجية للمعالجة اللاهوائية في الولايات المتحدة وهي:

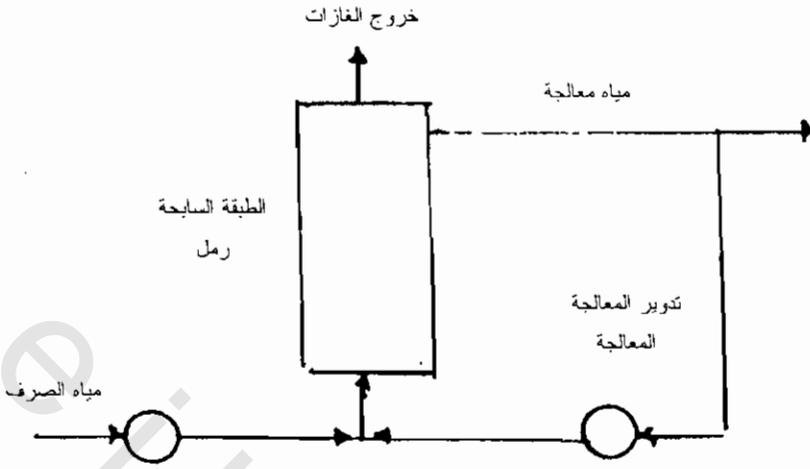
- المفاعل البيولوجي اللاهوائي - Anaerobic Biological Reactor
- مفاعل التلامس البيولوجي اللاهوائي - Anaerobic Contact Bioreactor
- مفاعل الطبقة السائلة - Fluidized Bed Reactor
- مفاعل التدفق العلوى اللاهوائى بطبقة الحمأة - Up Flow Sludge Blanket Anaerobic Reactor

الأشكال (٤/٤)، (٤/٥)

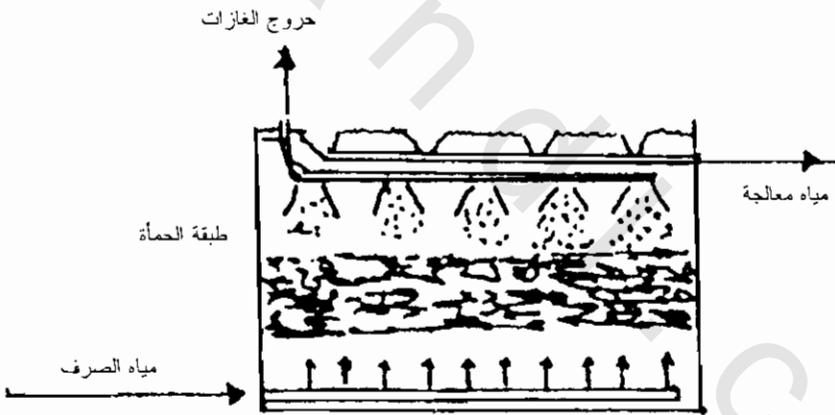
- المرشحات البيولوجية اللاهوائية هي أحواض (خزانات) مقللة تحتوى على وسط ترشيحي حيث يتم ترشيح المياه خلاله في تدفق صاعد بدون الالتصاق بأكسجين الهواء الجوى. عندئذ تصبح الطبقة البيولوجية ملتصقة بالوسط الترشيحي المستخدم، تحدث الأكسدة اللاهوائية والتي يصاحبها تكون غاز الميثان. تستخدم المرشحات اللاهوائية في معالجة مياه الصرف عالية التركيز والتي تحتوى على قليل أو لا تحتوى على مواد عالقة.

- مفاعل التلامس اللاهوائي: عملية التلامس اللاهوائي تشبه عملية الحمأة المنشطة، والتي تتم في مفاعل مزود بالخلط الميكانيكى، والذي يليه حوض ترسيب حيث يعود جزء من الحمأة إلى المفاعل. وفي مقابل آخر تتحرك مياه الصرف من القاع إلى أعلا خلال طبقة صلبة من زغبات الكائنات الدقيقة اللاهوائية.

- الأكثر تأثيرا هو المفاعل اللاهوائي بالطبقة السائلة (Fluidized) حيث يستخدم الرمل كسطح لنمو البكتريا، ولكن هذه الطريقة مازالت في المراحل التجريبية البحثية.



شكل (٤/٤) المفاعل اللاهوائي بالطبقة السابحة



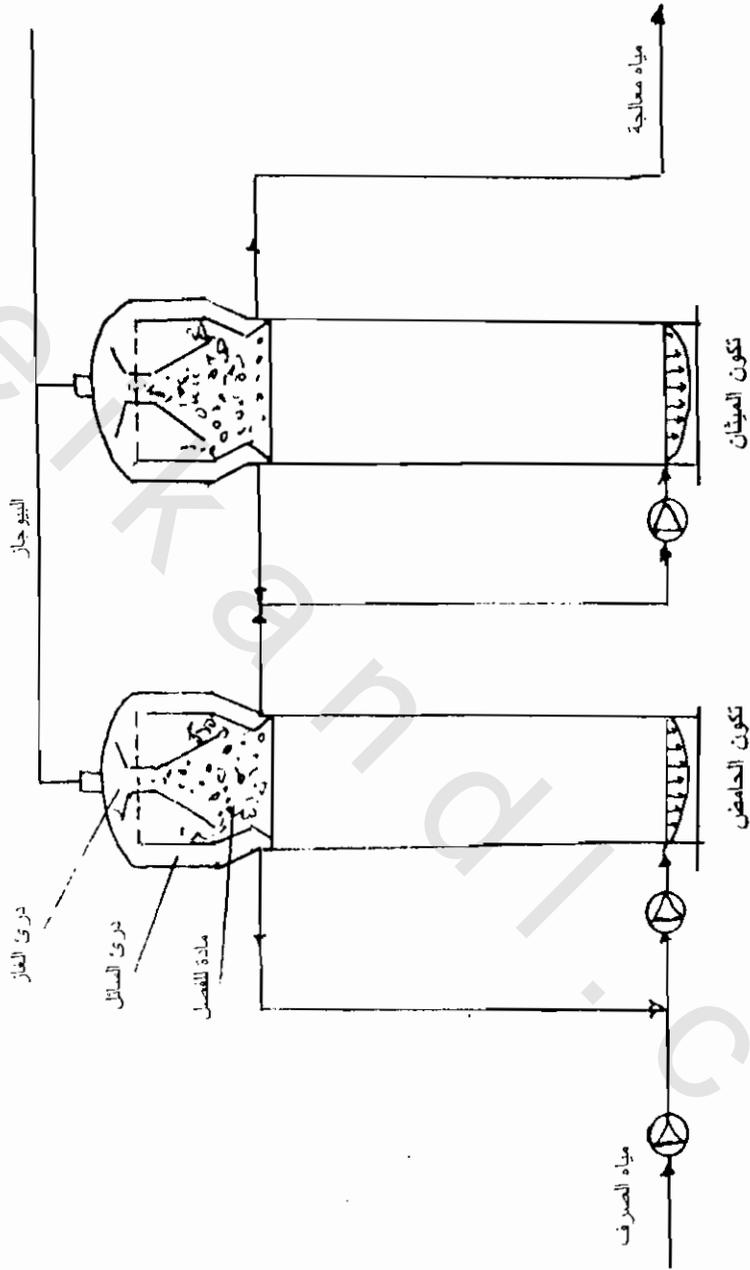
شكل (٤/٥) المفاعل اللاهوائي بالتدفق الصاعد وطبقة الحمأة

الجدول التالي يوضح مقارنة للخواص الفنية لثلاث أنواع من المفاعلات البيولوجية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز حيث تركيز الأكسجين الكيماوى المستهلك ١٣٧٠٠ ملجرام/لتر (COD) وذلك فى مياه الصرف الصناعى من صناعة الورق ولب الورق.

المفاعل اللاهوائى			
الطبقة السائلة	التدفق العلوى لطبقة الحمأة	المرشح البيولوجى	
٠,٣٥	٢,٩	١,٠	زمن الحجز الهيدرولىكى باليوم
٤٨-٣٥	٥-٤	١٥ - ١٠	الحمل العضوى كجرام COD/م ^٣ /آى
٨٨	٨٧	٧٧	نسبة الإزالة للمواد العضوية COD.
٨٩	٨٨	٧٧	BOD
٠,٣٥	٠,٢٨	٠,٣١	إنتاج الميثان م ^٣ /كجرام COD المزال
			المواد العالقة ملجرام/لتر
٢٩	٥٦	٣٣	مياه التغذية
١١٠	٢٣٨	١٩٥	مياه معالجة

فى المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف تكون كفاءة التخلص من الحمل العضوى من الأكسجين الكيماوى المستهلك (COD - Chemical Oxygen Demand) حوالى ٨٥ - ٩٥%. بعد المعالجة فإن مياه الصرف يمكن أن تحتوى على خليط من COD حتى ١٠٠ ملجرام/لتر. لهذا السبب فإنه يمكن صرف هذه المياه إلى شبكة الصرف الصحى للمعالجة النهائية أو إعادة معالجتها بالطريقة اللاهوائية. المعالجة اللاهوائية تشبه المعالجة بالحمأة المنشطة حيث يصعب إدارتها وذلك لحساسية صدمات التحميل العضوية والهيدروليكية.

استخدمت المفاعلات البيولوجية ذات الطبقة السائلة (Fluidized Bed) بسبب عدة مميزات شكل (٤/٦) حيث تتفوق على المعالجة بالحمأة المنشطة. حيث تتضح خواص هاتين الطريقتين فى معالجة مياه الصرف كالاتى:



شكل (٤/٦) معالجة مياه الصرف على مرحلتين

المعالجة التقليدية بالحماة المنشطة	المعالجة بالمفاعل البيولوجي بالطبقة السائلة
- معدل الترسيب ١ متر / الساعة	حوالي ٥٠ متر / الساعة
- الرواسب الخاملة تتراكم في الحماة	الرواسب الخاملة يتم غسلها خارج المفاعل
- تركيز الكتلة البيولوجية ٥ كجرام / م ^٣	٤٠ كجرام/م ^٣ (بسبب زيادة المساحة السطحية للكتلة البيولوجية والتي تزيد عن ٢٠٠٠ م ^٢ /م ^٣)
- سرعة مياه الصرف ١ متر / الساعة	١٠ - ٣٠ متر / الساعة
- أحواض التهوية ذات أبعاد كبيرة متسعة ومنخفضة وتحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضي	مدمجة، عمودية وضيقة حيث لا يشغل المفاعل مساحة كبيرة من الأراضي.

يمكن تحقيق كفاءة عالية عند معالجة مياه الصرف وذلك بسبب التركيز العالي للكتلة البيولوجية ونشاطها العالي في الطبقة السائلة للمفاعل البيولوجي.

الأسباب الرئيسية لتقرير إختيار الطريقة اللاهوائية في معالجة مياه الصرف في المفاعل البيولوجي بالطبقة السائل هي كالاتي:

- تنفيذ العملية بطريقة المرحلة الواحدة أو بطريقة المرحلتين.
- بدأ العملية.
- تركيز ونشاط الكتلة البيولوجية.
- ثبات العملية بالنسبة لصدمات التحميل الزائد.
- القدرة على معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف.

في المعالجة اللاهوائية، المشكلة الرئيسية هي إما عمل الأكسدة البيولوجية على مرحلتين في مفاعل واحد أو في مفاعلين منفصلين حيث التحول إلى الحالة الحامضية في مرحلة وإنتاج الميثان في مرحلة. وقد أثبتت الأبحاث أن عملية المعالجة على مرحلتين لها مميزات كثيرة، من بين هذه المميزات النشاط العالي

للحمأة (المرحلة الأولى ٠,٨ جرام COD/جرام فى اليوم، المرحلة الثانى ٢ جرام COD/جرام اليوم) بما يودى إلى الزيادة فى إنتاج الميثان وسهولة التحكم فى الرقم الهيدروجينى واستهلاك قليل للقلوى بانتظام، ثبات أفضل بالنسبة لصدّات التخميل الزائد وسهولة التحكم فى سمك الطبقة البيولوجية. كل هذا يؤكد الكفاءة العالية.

لبدء مفاعلات الطبقة السائلة اللاهوائية (Fluidized Bed) ولتثبيت الكائنات الصغيرة على حبيبات الحامل، لاختيار معدل التخميل بناء على COD أثناء البدء. فإن المستخدم عادة هو الرمل حيث أقصى قطر حبيبات ٠,٣ - ٠,٥ ملليمتر لاستخدامه كحامل (Carrier)، وهذا يؤكد التركيز العالى للكثلة الحيوية فى المفاعل.

توجد طريقتين لتغذية الحمأة إلى المفاعل، وهما المتقطعة والمستمرة. فى الحالة الأولى تضاف الحمأة إلى المفاعل قبل التغذية بمياه الصرف وتستخدم للمعالجة خلال عدة أسابيع. فى الحالة الثانية يتم التغذية المستمرة للحمأة مع مياه الصرف. وقد وجد أن البدء السريع يمكن تحقيقه عند استخدام أقصى تخميل للأكسجين الكيماوى المستهلك (COD) مع زمن مكث للسوائل قصير (لمدة يوم).

سمك الطبقة البيولوجية فى مفاعلات الطبقة السائلة يتراوح ما بين ٦٠ إلى ٢٠٠ ميكرومتر للحبيبات ذات قطر من ٠,٣ - ٠,٦ ملليمتر ومعدل تحويل (Conversion Rate) ٤٠ كجرام COD/م^٣. اليوم. الإضطراب بسبب تدفقات مياه الصرف والبيوجاز فى المواسير يؤكد ضرورة السمك للطبقة البيولوجية للمعالجة. لقد أظهرت الأبحاث أن صدّات التخميل الزائد مع درجة الحرارة والرقم الهيدروجينى أو (COD) لمياه الصرف ليس لهم تأثير على العملية اللاهوائية فى الطبقات السائلة.

مفاعلات الطبقة السائلة الصناعية مصممة بطريقة مختلفة في عدد من المعايير. وهذه المعايير هي حجم المفاعل، التحكم في سمك الطبقة البيولوجية، وعملية التحويل.

توجد أربع مفاعلات متشابهة صنعت بواسطة (Door-Oliver). وهي ذات مرحلتين وبحجم ٣٦٠ متر مكعب وحجم طبقة ٣٠٠ متر مكعب، قطر ٦,١٠ متر وارتفاع ١٢,٥ متر. الحامل المستخدم رمل بقطر حبيبات ٠,٥ ملليمتر، معدل تدفق مياه الصرف في المفاعل ٣١ م^٣/الساعة.

قام الإستشارى (Gist - Brocades) بإنشاء عدة مفاعلات لاهوائية ذات مرحلتين بطريقة الطبقة السائلة لمعالجة مياه الصرف من عمليات التخمير. وتتكون من مفاعلين متشابهين أحدهم مفاعل لتكوين الحامض والآخر مفاعل لتكوين غاز الميثان. أحد هذه المفاعلات أقيم في هولندا بقطر ٤,٦ متر وارتفاع الطبقة السائلة ١٣ متر (ارتفاع المفاعل ٢١ متر)، حجم الطبقة السائلة ٢١٥ متر مكعب. وأقيم مفاعل آخر في فرنسا من مرحلتين ويتكون من مفاعلين متشابهين بقطر ٣ متر وارتفاع الطبقة السائلة ١١ متر (إجمالي ارتفاع المفاعل ١٧ متر)، حجم الطبقة السائلة ٨٠ متر مكعب. فوق المفاعل يوجد ٣ طبقات من المصافي لحجز حبيبات الحامل مع وجود عامل درئ (Buffer) للغاز وللسائل. الحامل المستخدم رمل بقطر ٠,١ - ٠,٣ ملليمتر ومعدل تدفق مياه الصرف في المفاعل ٨ - ٢٠ م^٣/الساعة.

تعمل المفاعلات البيولوجية ذات الطبقة السائلة بنجاح وبإنتاجية مرتفعة نسبيا ١٠ - ٣٠ كجرام COD / م^٣ في اليوم. وهي تتحمل صدمات التحميل (مع التغيير الكبير في مكونات مياه الصرف) الرقم الهيدروجيني ما بين ٣ - ١٠.

الخواص الفنية لعمل المفاعلات اللاهوائية ذات الطبقة السائلة كالاتى:

مفاعل فرنسا	مفاعل هولندا	Dorr-Oliver مفاعل	
			تركيز الخليط فى مياه الصرف الأولية COD
٣,٦	٣,٢	١٢	جرام/لتر
٣٧	٣٧	٣٥	درجة الحرارة °م
٧,٤	٦,٨	٧,١ - ٦,٧	الرقم الهيدروجيني
٣,٢	٢,٤	١٩	زمن المكث فى المفاعلين
٧٥	٧٠	٧٥	كفاءة النظافة %COD
٥٠	١٨٠	٣٢	استهلاك الماء متر مكعب / الساعة
٢٠	٢٢	١١	تحويل كجرام COD/م ^٣ اليوم
٢٠	٢٠	١٢	تركيز الكتلة البيولوجية جرام/لتر
١٠٠	أقل من ١٠٠	٦٠٠	محتوى مياه الصرف من الأحماض الدهنية ملجرام/لتر

فى الهند فى مدينة بومباى إستخدم مفاعل مصمم بواسطة شركة (Dorr-Oliver الأمريكية لمعالجة مياه الصرف الصناعي عالية التركيز من مصانع الورق ولب الورق بطاقة صغيرة (أقل من ٣٠ طن/اليوم) وكذلك من مصانع إنتاج الكحول والعسل الأسود، وكانت خواص المياه من هذه المصانع كالاتى:

مياه الصرف من مصنع الورق	مياه الصرف من مصنع تقطير الكحول	البيــــــــــــــــان
١١ - ٩	٤,٥ - ٤	١- الرقم الهيدروجيني
أسود	أسود	٢- اللون
		٣- محتوى الخليط ملجرام/لتر
٤٠٠٠ - ١	١٠٠٠٠ - ٥	مواد عالقة
٤٠٠٠٠ - ١٠	١٠٠٠٠٠ - ٧٥	مواد صلبة مذابة
١٢٠٠٠ - ٤	٥٠٠٠٠ - ٣٥	أكسجين حيوى BOD
٣٦٠٠٠ - ١٢	١٠٠٠٠٠ - ٧٥	أكسجين كىماوى COD

مياه الصرف من مصانع الورق ولب الورق الصغيرة يمكن معالجتها كذلك بالطريقة المزدوجة. لنبدأ بالمخلفات من سائل لب الورق المغلى (السائل الأسود) وتجهيزات التبييض حيث تتم المعالجة اللاهوائية بالمفاعلات البيولوجية اللاهوائية المزدوجة. مياه الصرف المعالجة بهذه الطريقة يتم خلطها مع مياه الصرف من إنتاج الورق حيث تتم المعالجة الهوائية بالحماة المنشطة.

المعالجة بالطريقة اللاهوائية وبالطريقة الهوائية لها عدد من المميزات: استهلاك أقل في الطاقة (٤٠-٥٠%) عن الطريقة التقليدية، استهلاك أقل في المواد الغذائية للكائنات الدقيقة (٥٠-٦٠%)، انخفاض الزيادة في الحمأة (٢٥-٣٠%)، مساحة أقل للإنشاءات (٤٠-٥٠%). كما أن المعالجة اللاهوائية تحقق وفر اقتصادى فى تكاليف التشغيل لكل نظام المعالجة لمياه الصرف. حالياً تم تطوير طريقة المعالجة لمياه الصرف من الصناعات البتروكيماوية حيث تتم بطريقة مشتركة باستخدام المفاعلات اللاهوائية ذات الطبقة السائلة والحماة المنشطة الهوائية مع التهوية السطحية.