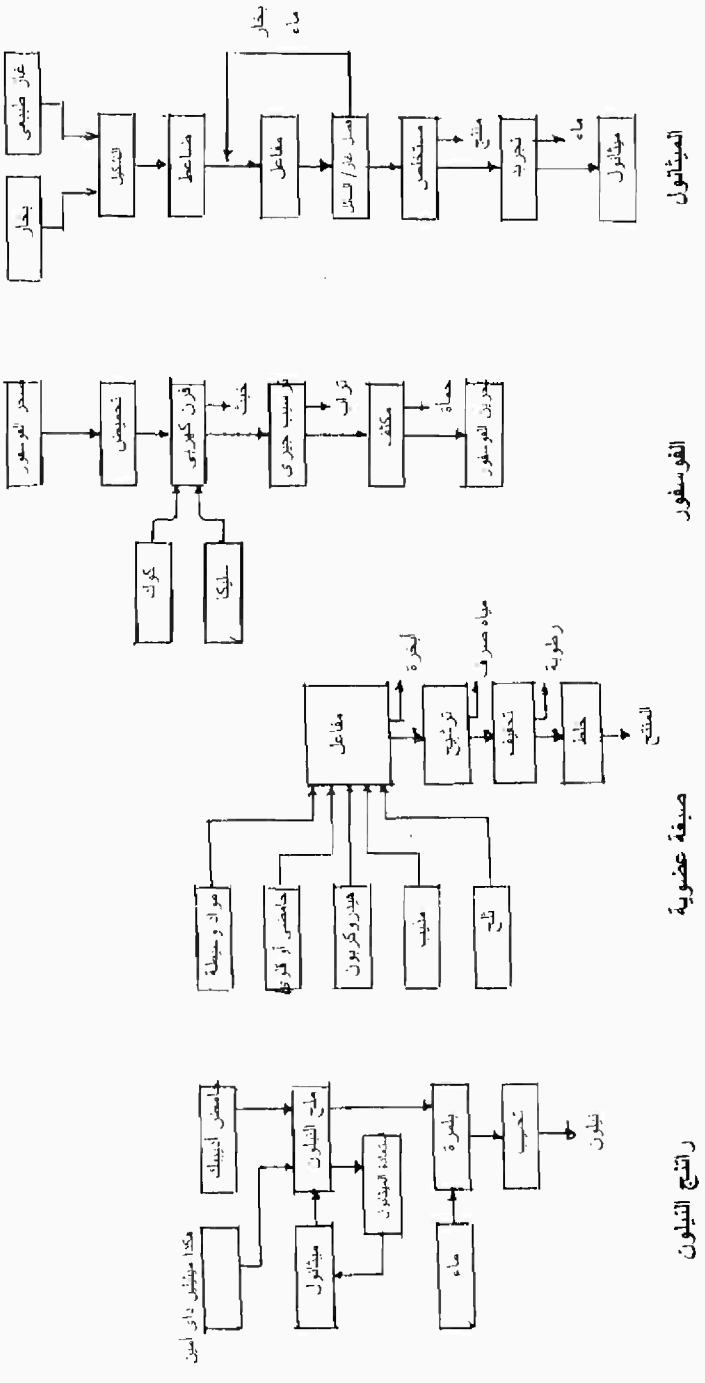
الفصل الرابع

مياه الصرف الصناعى
من الصناعات الكيميائية

١- مقدمة:

الصناعات الكيميائية شديدة التعقيد ولها تقسيمات كثيرة والتى تتكون من المواد العضوية والمواد الغير عضوية. الكيماويات الغير عضوية هى 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 البتروكيميائية هى فرع هام من الصناعات العضوية حيث المواد الخام تستخلص من مشتقات البترول الخفيفة ومن الغاز الطبيعى. هذه الصناعات الكيماوية تنتج حوالى ١٥ صناعة كيماوية كبيرة، ٣١ صنف من الراتنجات والخيوط الصناعية. خطوات التصنيع الكيميائية تختلف حيث تتراوح ما بين التغيرات الكيماوية إلى إعادة التنظيم الكيماوى 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 موضحه في شكل (١/٤- أ، ب،جـ،ء). الصناعات الكيماوية هى من أكبر الصناعات المستخدمة للمياه، حوالى



شكل (٤/١) مخطط عام لبعض الصناعات الكيماوية

٦٥% من المياه يستخدم لأغراض التبريد، بينما يستخدم الباقى فى 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 فى العملية الصناعية كمذيب، وكوسط للتفاعلات الكيماوية والطبيعية وفى عمليات الغسيل وتشطيب المنتجات.

مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية تحتوى على مواد كثيرة والتى يجب إزالتها بالمعالجة. وهى تحتوى على ملوثات من كثير من المواد ذات الأصل النباتى أو الحيوانى أو المعدنى.

٢- تقييم الملوثات فى مياه الصرف للصناعات الكيماوية:

أ- يعبر عن كمية الخليط من المواد العضوية فى مياه الصرف بمساعدة مؤشرين وهما الأكسجين الكيماوى المستهلك (Chemical Oxygen Demand - COD) والذى يشير إلى كمية الأكسجين بالملجرام/لتر اللازمة لأكسدة المواد العضوية الموجودة فى مياه الصرف إلى CO_2، H_2O، NO_3. لتعيين COD تستخدم طريقة قياسية باستخدام كرومات البوتاسيوم (K_2 Cr O_3) أو برمنجنات البوتاسيوم (K_2 Mn O_4). كمواد أكسدة أو تحميض.

أما كمية الأكسجين بالملجرام/لتر اللازمة للتحلل البيولوجى (الأكسدة البيولوجية) للمركبات العضوية القابلة للتحلل البيولوجى فى مياه الصرف فهى تعرف بالأكسجين الحيوى أو البيولوجى المستهلك (Biological Oxygen Demand - BOD). كذلك يوجد مؤشر ثالث يستخدم فى تعيين خليط المواد العضوية فى مياه الصرف وهو تعيين كل الكربون العضوى (TOC - Total Drganic Carbon) بالملجرام/لتر حيث يتم القياس بأكسدة كل المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى (COD) وتلك التى تتحلل بيولوجيا (BOD) إلى ثانى أكسيد الكربون.

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

ج- الحموضة والقلوية لمياه الصرف والتى تشكل خطورة فى شبكات الصرف وفى الصرف على المسطحات المائية بما يتطلب معالجتهم.

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

ه- المواد الغذائية والتى تعتبر هامة فى عمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف مثل مواد النيتروجين والفوسفور، ولكن يجب الحد من زيادتها حيث أن ذلك يسبب نمو للطحالب والكائنات النباتية فى المسطحات المائية التى يتم الصرف عليها.

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

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

ح- المواد المسببة للون والعكارة والرائحة فى مياه الصرف والتى 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 والتى تسبب تلوث للبيئة والهواء.

ط- **السمية:** أن أهم المؤشرات في تعيين تأثير مياه الصرف على الكائنات المائية هو السمية. الطريقة القياسية لتعيين السمية فى مياه الصرف هى بواسطة الإختبار البيولوجى (Biotest) حيث يتم تقدير تأثير المادة على كائنات حية. عادة الأجناس من هذه الكائنات الحية الحيوانية أو النباتية. عادة يستخدم نوع من السمك الأوربى يسمى السمك الأحمق (Fat Head Minnows) أو أعداد ضخمة من نوع آخر من الأسماك الصغيرة جداً. هى (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 وأحيانا ٢٤ ساعة). يتم التعرف على السمية بأنها كمية المواد التى تسبب الموت لـ ٥٠% من الكائنات الحية ويرمز لها بالرمز (LC_{50}) أى التركيز السام (LC = Lethal Concentration). الكمية المنخفضة لـ LC_{50} يقابلها سمية عالية لمياه الصرف والعكس صحيح.

الجدول التالى يبين السمية لبعض المواد عند التعرض لمدة ٩٦ ساعة بالملجرام/لتر

	Fat Head Minnows	Daphne Mogna	Myrid Shrimp
المواد العضوية			
البنزين C_6H_6	٤٢,٧	٣٥,٢	٣٨,٧
٤،١ داى كلوروبنزين	٣,٧٢	٣,٤٦	٢,٨٩
٤،٢- داى نيتروفينول	٥,٨١	٥,٣٥	٤,٥٦
ميثيل الكلورايد	٣٢٦	٢٤٩	٣٢٥
الفينول	٣٩,٦	٣٣,٠	٣٥,٤
٦،٤،٢- تراى كلوروفينول	٥,٩١	٥,٤٥	٤,٦٢
المواد المعدنية			
الكادميوم	٣٨,٢	٠,٢٩	٠,٠٤
النحاس	٣,٢٩	٠,٤٣	١,٠٢
النيكل	٤٤٠	٥٤	--

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 تنخفض مع إرتفاع 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 بسيطا إلى حد كبير. ففى أوربا الغربية توجد خدمة الكمبيوتر لهذا الغرض والتى تسمى (INSTAB) (Information Service on Toxicity and Biodegradability). حيث تتوفر المعلومات المطلوبة بكثرة.

لمعالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية يستخدم لهذا الغرض ثلاث أنواع من الإنشاءات للمعالجة وهى المحلية والعامة ومحطة معالجة مياه الصرف الصحى للمدينة. تصمم محطات المعالجة المحلية لمعالجة مياه الصرف عند خروجها مباشرة من وحدة الإنتاج. تصمم وحدة المعالجة العامة 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 فى الصناعات الكيماوية وصناعة البتروكيماويات:

- تبريد المنتجات فى المبادلات الحرارية، للمنتجات كما فى حالة إنتاج الأمونيا، أو حامض الفوسفوريك أو الأسيتيلين أو الإيثيل بنزين أو البروبيلين... الخ.
- تبريد الضواغط، طلمبات التفريغ، صندوق تروس الطلمبات، كراسى التحميل حيث يتم تسخين الماء ولكنه لايتلوث.
- تحضير محاليل العمليات وإنتاج البخار فى محطات القوى الكهربية أو غرف الغلاية للاستخدام فى تسخين المواد المتفاعلة وكذلك للتعويض فى الفقد الحرارى فى التفاعلات الكيميائية 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 فى عمليات التبريد فى الصناعات الكيماوية ولذلك فقد تستخدم المياه المالحة إلى حد كبير فى 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 مآخذ هيدروليكية ومحطات طلمبات لوصول المياه إلى محطات المعالجة لمياه الشرب ومياه الاستخدام الصناعى، 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 الضرورى تطوير نظم الامداد 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 بالتصاقة بالهواء فى أبراج التبريد أو فى أحواض الرش أو فى أحواض التبريد، بينما فى النوع المقفل فإن المياه التى يتم تدويرها لايحدث 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 والتى 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 المحلاه 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 عزبة 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 عزبة 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 ملجرام/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 الصناعى من الصناعات الكيميائية:

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 والثنائية والثلاثية. المعالجة الأولية والثنائية 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 أولا فى محطات معالجة محلية.

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

تتم المعالجة الأولية لمياه الصرف الصناعى 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 الكيميائية 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 ٦-٩، المحتوى من المواد الصلبة العالقة أقل من ١٥٠ ملجرام/لتر والمحتوى من الزيوت والشحومات أقل من ١٥ ملجرام/لتر والمحتوى من الكبريتيد أقل من ٥٠ ملجرام/لتر ومستوى أيونات المعادن الثقيلة أقل من ١ ملجرام/لتر، يتم هذا باستخدام المصافى ذات الألواح المثقبة كما فى حالة صناعة الورق ولب الورق، أو أحواض حجز الرمال أو المصافى الثابتة أو المتحركة أو الهزازة.

التدفقات المشتركة لمياه الصرف تدخل أولا حوض التسوية والذى 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 المطفى (CaO or $Ca(OH)_2$)، والذى 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 والحبيبات الصلبة العالقة للجير فى المحلول صغير نسبياً. لهذا السبب فإن التفاعل النهائى النشط فى المجال المائى لايتم 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 سعرا وأكثرها استخداما هو حامض الكبريتيك. كذلك يمكن معادلة مياه الصرف القلوية باستخدام الغازات العادمة والتى بها تركيز من ثانى أكسيد الكربون يزيد عن

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

المواد المنتشرة من الرمال والأتربة ذات حجم حبيبات حتى ٢-٥ ميكرون وكذلك المواد الصلبة التى 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 فى أحواض الترسيب. لتنفيذ ذلك تستخدم أنواع مختلفة من أحواض حجز الرمال وخاصة النوع الأفقى حيث تمر المياه بمعدل ٠,٣ متر فى الثانية، هذا النوع من أحواض الترسيب يسمح للرمال بالترسيب فى قاع الحوض. حبيبات الأجسام الصلبة العضوية تمر إلى أحواض الترسيب والترويق والتى 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 والتى يلزم ترويقها تماما، فإنه يتم إستخدام المرشحات ذات الوسط الترشيحى الحبيبى (رمل الكوارتز، كسر الجرانيت...الخ) حيث يكون سمك الوسط الترشيحى من ٦١ إلى ١٦٢سم وسمك حجم الحبيبات من ٠,٢٥ إلى ٢ مليمتر. 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 الترشيحى المزدوج أو متعددة الطبقات عند تنقية مياه الصرف بعد المعالجة البيولوجية. المرشح الذى يحتوى على وسط ترشيحى مكون من طبقتين تكون الطبقة العلوية من الفحم النباتى بسمك نصف متر وقطر الحبيبات ١ مليمتر والطبقة السفلى من الرمل بسمك ٠,٣ متر وقطر حبيبات الرمال ٠,٤٥ مليمتر. بعد الاستخدام ٦-١٢ ساعة يتم تنظيف المرشحات من الأجسام الصلبة بتمرير تيار من الهواء أو من البخار خلال طبقة الوسط الترشيحى 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 بفقاعات الهواء (Air - Bubbles Flotation) حيث يذوب الهواء فى مياه الصرف عند الضغط، وعند إنخفاض الضغط حيث تتكون فقاعات تطفو على السطح آخذة 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 تؤدى إلى تكون كتلة من الكائنات الدقيقة (Biomass) محتوية على ثانى أكسيد الكربون والماء

والمواد المذابة التى لاتتأكسد بيولوجيا. تتم المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف باستخدام البرك المهواه (Aerated Ponds) والأحواض البيولوجية والمرشحات البيولوجية وأكثر الطرق استخداما للتنقية البيولوجية لمياه الصرف هو باستخدام الحمأة المنشطة فى أحواض التهوية.

فى حالة عمل المعالجة فى ظروف لاهوائية (حيث لايوجد أكسجين مذاب فى الماء) يحدث تحلل للمواد العضوية مع إنتاج غاز الميثان وثانى أكسيد الكربون وخلايا للكائنات الحية الدقيقة (Biomass). تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز بالمواد العضوية والتى لاتقل عن ١٥٠٠ ملجرام/لتر مقيمة كأكسجين كيماوى مستهلك (COD).

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

جـ- *المعالجة الثلاثية (Tertiary Treatment)*

تضاف المعالجة الثلاثية بعد المعالجة البيولوجية وهى تشمل الترشيح لإزالة المواد العالقة والهلامية، الإدمصاص بحبيبات الفحم المنشط أو بودرة الفحم المنشط، (ملحق و) الأكسدة الكيماوية لإزالة المواد العضوية التى لاتتأكسد بيولوجيا. بالإضافة إلى الطرق السابقة توجد طرق أخرى لتنظيف أو لتلميع المياه وهى تشمل الترويب والتبادل الأيونى، التناضح العكسى، الترشيح الفائق (Ultrafilteration) والطرق الكهروكيميائية. المعالجة المحلية يجب أن تتم لمياه الصرف التى تحتوى

على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة، المبيدات والملوثات الأخرى التى 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 مصافى القضبان، أحواض ترسيب وحجز الرمال والترشيح. يتوقف نوع وحجم وطريقة المعالجة على أساس مكونات وخواص وطريقة المعالجة التالية لمياه الصرف.

كقاعدة عامة المعالجة الميكانيكية هى 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 المركزى الهيدروليكى (Hydrocyclones) واستخدام المساعدات للترشيح ومساعدات الطفو.

٥- الطرق الطبيعية - الكيميائية لمعالجة مياه الصرف:

وهذه تشمل التزغيب والترويب (Flocculation And Coagulation) والإدمصاص، الاستخلاص، التبادل الأيونى والتناضح العكسى. وتستخدم طرق المعالجة هذه فى 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 هى حيث يمكن إزالتها باستخدام المرويات لزيادة حجم الحبيبات العالقة وزيادة كثافتها بما يمكن من التخلص منها بالترسيب والترشيح.

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

كما يجب ملاحظة أهمية استخدام كلوريد الحديديك وكبريتات الألومنيوم فى إزالة الفوسفور من مياه الصرف (إلى ٠,٣ – ٠,٧ ملجرام/لتر) وكذلك إزالة أيونات المعادن الثقيلة (الرصاص، النحاس، الزرنيخ، الكروم، الزئبق) فى شكل إيدروكسيدات خلال الترسيب المتبادل مع إيدروكسيدات الحديد والألومنيوم. هذه الطريقة تحقق إزالة للرصاص والزرنيخ والكروم الثلاثى بنسبة ٩٠% ولكنها أقل تأثيراً فى إزالة النحاس (حوالى ٥٠%). لخفض إستهلاك مواد الترويب يتم تنفيذ عملية الترويب فى مجال رقم هيدروجينى ما بين ٤,٥ – ٨ أما بالنسبة لأملاح الحديد فيكون الرقم الهيدروجينى للماء أكبر من ٩. كما يجب أن تكون جرعة المروب فى 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 الآنود من الألومنيوم والحديد. يتأين معدن الآنود بتمرير التيار الثابت ويصل إلى الماء (الإليكتروليت)، عندئذ تتروب حبيبات الملوثات مع إيدروكسيدات الحديد أو الألومنيوم التى تتكون حيث تعلق بها.

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

الطاقة الكهربية المستهلكة لإذابة جرام واحد من الألومنيوم هو ١٢ وات فى الساعة. كثافة التيار لاتزيد عن ١٠ أمبير على المتر المربع، حيث المسافة بين الأقطاب لاتزيد عن ٢٠ مليمتر 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 الكروماتوالفوسفات. 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 كفائة 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 الهوائى بدون ضغط).
- الطفو حيث يمر الهواء خلال مواد مثقبة.
- الطفو الكهربى (Electro Flotation).
- الطفو الكيمائى 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 عالى التشبع بالهواء فى مياه الصرف. الهواء الذى يخرج من هذه المحاليل. يكون فقاعات صغيرة جداً والتى 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 مليبار (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.

تتحدد مساحة خلية الطفو على أساس الحمل الهيدروليكى 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 السطحى (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 الآنود. الدور الرئيسى فى طفو الحبيبات يتم بالفقاعات التى تكونت عند الكاثود. إستبدال لوح الكاثود الشبكى يقلل من حجم الحبيبات وبالتالى 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 آنودية للمعدن عند الآنود، 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 للرغاوى (Frothers)...الخ.

جزئيات مواد التجميع تتميز بوجود مجموعات إستقطاب (Polar Groups) التى تعمل على ربط جزئ 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 الكاتأيون وأملاحها. مثال للمواد المحدثة للرغاوى هو مواد النشاط السطحى (المنظفات) مثل (Alkyl - and Alkyl Aryl Sulphonates)...ets. يستخدم الطفو كذلك فى معالجة مياه الصرف من صناعات البويات واللاكيهات، ولإزالة مواد السيانيد (Cyanides)

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

جـ- الإدمصاص: *Adsorbtion*

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

المعالجة بالإدمصاص لمياه الصرف تستخدم غالبا فى حالة مواد ومركبات أروماتية (Aromatics) فى مياه الصرف وكذلك المواد الغير أيونية أو التى تكون درجة تأينها ضعيفة والصبغات والمركبات من المواد الغير مشبعة وهى 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 هى ٦٠-٧٠%، المساحة السطحية لوحدة الوزن هى ٤٠٠-٩٠٠ متر مربع/الجرام. تتوقف خاصية الادمصاص للكربون النشط إلى حد كبير على المكونات وحجم الفراغات وتوزيع المسام. يقاس نشاط الكربون النشط بكمية المادة

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

الكربون النشط المستخدم فى معالجة مياه الصرف يتم الحصول عليه من الخشب، اللجنين، أو من فحم البيتومين ويكون عادة فى شكل حبيبات أو فى شكل بودرة. يكون حجم المسام والفتحات طبقا لنوع الخام المستخدم وعملية التنشيط المستخدمة. عموما الكربون المنشط المستخدم المنتج من فحم البتومين له كثافة أعلا من الأنواع الأخرى. تتوقف درجة الادمصاص على نوع الكربون المستخدم ومكونات مياه الصرف. معظم المواد العضوية والمركبات العضوية الأولية تمتز بواسطة الكربون المنشط بما يمكن من إزالة كثيراً من المواد السامة من مياه الصرف.

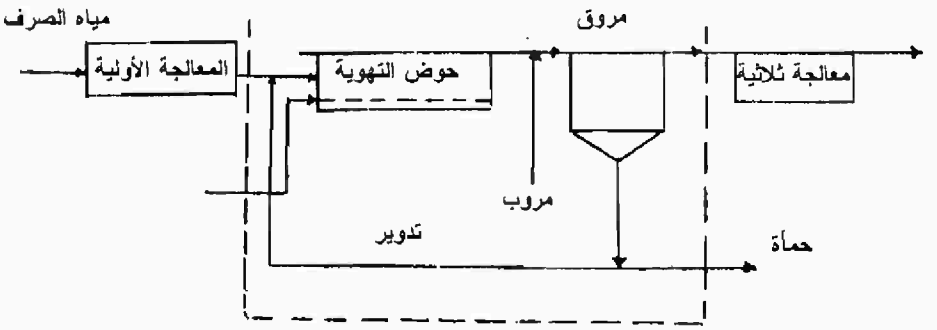
إدمصاص المواد العضوية على الكربون المنشط يعتمد على الخواص الطبيعية – الكيميائية مثل الوزن الجزيئ، الإذابة، التأمين (Polarity) ووضع المجموعات الدالة (Functional Groups) والشكل العام للتركيب الجزيئ – حيث المركبات ذات التسلسل المتشعب من ذرات الهيدروكربون تمتز بسهولة أكثر من ذرات التسلسل المستقيم. الجزيئات ذات التأين المنخفض (Low Polarity) والإذابة المنخفضة تمتز أسرع. عادة الكربون المنشط له قدرة كبيرة على الادمصاص للمواد ذات الوزن الجزيئ العالى. إدمصاص المواد غير العضوية يختلف حيث كلوريد البوتاسيوم لا يتم إدمصاصه عمليا بالكربون المنشط بينما كلوريدات الزئبق والحديد تمتز إلى حد كبير. معظم المركبات العضوية التى لاتتحلل بيولوجيا يمكن أن يتم إدمصاصها (تمتز) على الكربون المنشط. هذه الطريقة تطبق على نطاق واسع فى إزالة الألوان، المركبات العضوية، المبيدات، المركبات العضوية المهلجنة فى مياه الصرف.

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

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

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

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



شكل (٤/٢) المعالجة الهوائية لمياه الصرف

المعالجة بالإدمصاص تكون بالتنشيط عند إعادة إستخدام المواد التى تم إدمصاصها أو تكون بالتدمير عند عدم إستخدامها.

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

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

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

تنخفض قدرة الكربون المنشط. فى حالة وجود معادن ثقيلة فى مياه الصرف وتم إدمصاصها على الكربون المنشط يكون من الضرورى بعد التنشيط غسيل حبيبات الكربون بحامض وذلك لإزالة المعادن المتبقية والمكونات المعدنية من سطح حبيبات الكربون وبالتالى زيادة نشاط الادمصاص لحبيبات الكربون بالنسبة للمركبات العضوية.

الادمصاص بحبيبات الكربون المنشط يمكن أن يزيل أكثر من ٩٠% من الملوثات من المركبات العضوية من معظم مياه الصرف وذلك طبقاً للبيانات التى يوضحها الجدول التالى.

جدول بيانات المعالجة لمياه الصرف من بعض الصناعات بالادمصاص بالكربون المنشط

نوع الصناعة	إجمالى الكربون العضوى (TOC) والفينول ومؤشر اللون فى 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	٤,٣-٤,٦
الصناعات الكيماوية	TOC	١٩-٧٥٥٠٠ ملجرام/لتر	٨٥	٠,٧-٢٩٠٥٠
	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 والبلاستك	TOC	١٢٠-٨٣٧٥ ملجرام/لتر	٩٥	٥,٢-١٦٤
الجلود	TOC	١١٥-٩٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٥	٣-٣١٥
تشكيل المعادن	TOC	٧٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٢٥	٦٠٦
صناعة الزجاج والسيراميك	TOC	١٢-٨٣٠٠ ملجرام/لتر	٨٧	٢,٨-٣٠٠
استخلاص المعادن	TOC	١١-٢٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٠,٥-١٨٥٧

TOC = إجمالى الكربون العضوى — TOC = Total Organic Carbon

ونتيجة للأبحاث والتطوير الذى تم فى السنوات الأخيرة ظهر نوع آخر من مواد الإدمصاص الجديدة وذات الكفاءة العالية وهى الراتنجات ذات المسام الكبيرة (Macroporous) والتى 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:

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

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

مواد الادمصاص 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 والذى يمكن استخدامه فى إزالة الملوثات العضوية من المياه.

د- التبادل الأيونى: (Ion Exchange)

عملية معالجة مياه الصرف بالتبادل الأيونى تمكن من إستخلاص وإسترجاع المخلوط 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 ثانيا فى عمليات الانتاج أو فى التدوير لنظام الامداد بالمياه. التبادل الأيونى هو عملية تبادل بين الأيونات الموجودة فى المحلول والأيونات الموجودة على سطح المادة الصلبة (المبادل الأيونى). المبادلات الأيونية المستخدمة هى مواد غير عضوية أو مواد عضوية طبيعية (مثل سيليكات الألومنيوم، مشتقات السيليلوز والمغنسيوم ومواد مخلقة (Synthetic) من الراتنجات المستخدمة فى التبادل الأيونى.

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

وتنقسم المبادلات الأيونية طبقاً لنوع التبادل الأيونى إلى الآتى:

- المبادلات الكاتأيونية قوية الحموضة والتى تحتوى على مجموعات السلفو (Sulpho Group) والمبادلات الآن أيونية قوية القلوية والتى تحتوى على قلويات الأمونيوم الرباعية (Quarterry Ammonuim Bases).
- المبادلات الكاتأيونية ضعيفة الحموضة التى تحتوى على مجموعات الكاربوكسل (COOH) والفينول والتى تتحلل عند رقم هيدروجينى أكبر من ٧، وكذلك المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية والتى تحتوى على مجموعات الأمين الأولية (NH2) ومجموعات الأمين الثانية (NH) والتى تتحلل عند رقم هيدروجينى أقل من ٧.

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

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

- المبادلات الآن أيونية ذات قطر حبيبات ٠,٢ إلى ٠,٨ مليمتر وطاقة التبادل ٨٠٠ جرام مكافئ على المتر المكعب (SO_4^{--})، المبادلات الكاتأيونية ذات قطر الحبيبات ٠,١ – ١ مليمتر وذات طاقة تبادل كاتأيون الهيدروجينى، الصوديوم ٨٠٠ جرام مكافئ/المتر المكعب. الظاهرة المميزة للمبادلات الأيونية هى تفاعلاتها العكسية، حيث يمكن أن يتم التفاعل فى الإتجاه العكسى والذى هو أساس عمليات التنشيط. تتم عمليات التنشيط للمبادلات الكاتأيونية بالغسيل باستخدام الحامض (فى حالة التبادل الكاتأيونى بالهيدروجين أو محلول كلوريد الصوديوم عندما يكون التبادل الكاتأيونى 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، وهى تفكك طبقة التبـــادل الأيونـــى، عملية التنشيط ثم غسيل المبادل الأيونى من نواتج التنشيط والزائد من المواد التـــى استخدمت فى التنشيط.

كفاءة عامة ونظراً لأن مياه الصرف تحتوى على عدة كاتأيونات لذلك يجـــب الإهتمام نحو الإدمصاص الإختيارى أو التفضيلى لإدمصاص تلك الكاتأيونات. فلكل نوع من الكاتأيونات يتم تصميم سلسلة المبادلات الكاتأيونية علـــى أســـاس طاقـــة إستبدالهم. نفس القاعدة تنطبق على المبادلات الآن أيونية. فـــى حالـــة المركبـــات العضوية فإنه ليست فقط الخاصية ولكن كذلك صفة الإدمصاص للمبادلات الأيونيـــة التى تعتبر هامة، وهى تتوقف على القوى السطحية للتفاعل الداخلى للجزيئات.

تتم عملية المعالجة بالتبادل الأيونى لمياه الصرف إمـــا فـــى جـــهاز مرحلـــى ومتقطع (Intermittent) أو بجهاز مستمر. عند تنقية المياه الملوثة بالمواد العالقـــة تستخدم أعمدة (Columns) المبادل الأيونى ذات الطبقة العائمـــة (Fluidized Bed) للمبادل الأيونى. طريقة التبادل الأيونى تستخدم فى معالجة ميـــاه الصـــرف فـــى الصناعات الكيماوية والبترولية والميتاليرجيه، وفى صناعة منتجات الكوك وأفـــرع الصناعات الأخرى. متوسط تكاليف التشغيل للمعالجة بالتبادل الأيونى للمتر المكعب بالدولار الأمريكى هو حوالى ٠,٠٧ دولار. وتزداد التكاليف فى حالة زيادة تركـــيز الملوثات.

من الصعب إستخدام التبادل الأيونى لمعالجة المياه ذات المحتوى العالى مـــن الاملاح وذلك بسبب التكاليف المرتفعة لتنشيط المبادلات الأيونية بالإضافـــة إلـــى مشاكل الاستخدام المناسب للمحاليل المركزة بالاملاح التى تكون ناتج هذه الحالة.

فى معالجة مياه الغسيل والمياه السطحية ذات المحتوى المنخفض مـــن الملوثـــات المعدنية فى الصناعات الكيماوية، المحتوية على مواد عالقة صلبة ومخاليط معينـــة

مذابة للمنتجات التكنولوجية، فإن الطريقة المتفق عليها عالميا هى المعروفة بالطريقة المزدوجة التى تتكون من المعالجة الميكانيكية والتبادل الأيونى، وذلك بترشيح المياه ثم تمريرها خلال مبادل كاتأيونى قوى، وجهاز إزالة الكربون (Decarbonizer) ومبادل آن أيونى قلوى قليلا أو متوسط. بذلك تنتج مياه ذات محتوى من الأملاح يمكن إعادة إستخدامها أو تدويرها فى نظام الامداد بالمياه.

التبادل الأيونى لإزالة الملوثات العضوية:

تستخدم المعالجة بالتبادل الأيونى لتنظيف مياه الصرف الكيماوية من الملوثات العضوية. مثال لذلك هو المعالجة بالتبادل الأيونى لإزالة خليط من الأنيلين والكلورامين من مصنع الكلورامين. يتم إضافة حامض الهيدروكلوريك إلى مياه الصرف غير المعالجة ثم الترشيح لفصل المواد العالقة التى ترسب أثناء عملية إضافة الحامض ثم يلى ذلك دفع المياه إلى سلسلة متعاقبة من أعمدة التبادل الأيونى ذات إرتفاع كلى لطبقة التبادل الكاتأيونى بما لايقل عن ٣ متر. عادة يستخدم عامودين للعمل فى التبادل الأيونى بينما عامود واحد يتم تنشيطه بمحلول الأمونيا - الميثانول. بعد التنشيط يتم غسيل المبادل الكاتأيونى للتحول 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 فى برج التقطير والأمينات (Amines) المنتجة فى العملية يتم إعادة استخدامها.

يوجد الفينول فى مياه الصرف لصناعة البلاستك، البويات، اللاكيهات، والفينول المخلق فى كيمياء-الكوك، وفى الصناعات البترولية وبعض الصناعات الأخرى بتركيز من ٠,٤ - ٣٠ جرام/لتر. كمية الفينول فى مياه الصرف التى يتم معالجتها بيولوجيا يجب ألا تزيد عن ٢٥٠ ملجرام/لتر. تستخدم طريقة التبادل

الأيونى 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 أيونى ضعيف القلوية فى شكل الكالسيوم مع محتوى متبقى من الزئبق لايزيد عن ٠,٠١٥ ملجرام/لتر. يتم تنشيط المبادل الآن أيونى 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 بعامل 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 الآيونى 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 الآيونى بالراتنجات. أقل متبقى لتركيز أيونات الزئبق (Hg^{++}) فى مياه الصرف هو ٠,٠٥ – ٠,٥ ملجرام/لتر. بالنسبة لتنشيط المبادلات الآيونية واستعادة الزئبق فإنه جارى البحث

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

لقد تم تطوير مادة إمتصاص جديدة (Amino Sulphide) والتى لها قوة إمتصاص عالية وإنتقاء 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 الصناعى هى:

- التعادل Neutralization.
- الأكسدة Oxidation (وهذه تشمل عمليات كهروكيميائية).
- 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 الصناعى 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 الانتاج كمياه 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 الصناعى 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) وككبريتات (Sulphates). بعض المعادن تتطلب الأكسدة المسبقة أو الإختزال المسبق لتصبح فى الشكل القابل للترسيب، نتائج ترسيب أيونات المعادن الثقيلة من مياه الصرف موضحة فى الجدول التالى.

المعادن الثقيلة	عملية الإزالة والقيود	مستوى المعالجة المعالجة ملجرام/لتر
الزرنيخ	ترسيب الكبريتيد (رقم هيدروجينى ٦-٧)	٠,٠٥
	إدمصاص الفحم المنشط، مستويات منخفضة	٠,٠٦
الباريوم	ترسيب مشترك Fe(OH)3	٠,٠٥
الكادميوم	ترسيب كبريتات الباريوم	٠,٥
	$Cd(OH)_2$، (عند رقم هيدروجينى ١٠)	٠,١
	$Fe(OH)_3$، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ٨,٥	٠,٠٥
النحاس	$Cu(OH)_2$ الترسيب عند رقم هيدروجينى ٩-١٠,٣	٠,٢
	$Fe(OH)_3$، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,٣
الرصاص	$Pb(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,٥
	$Pb(OH)_3$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨-٩	٠,٠٠١
الزئبق	$Fe(OH)_3$، $AL(OH)_3$ الترسيب المشترك يضاف Na_2S	٠,١
النيكل	$Ni(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,١٥
السيلسينوم	ترسيب الكبريتيد عند رقم هيدروجينى ٦,٥	٠,٠٥
الزنك	$Zn(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨,٥	٠,٠٥

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 (H_2O_2) 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 (Soduirn 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
الزرنيخ (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%
	التناضح العكسى	> ٩٥%
الكادميوم	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	> ٩٠%
	التبادل الأيونى	> ٩٥%
	التناضح العكسى	> ٩٥%
	الترويب بالشبه	> ٥٠%
الكروم السداسى	الترويب بالحديد	> ٩٠%
	التبادل الأيونى	> ٩٠%
	التناضح العكسى	> ٩٠%
الرصاص	الترويب بالشبه أو الحديد	> ٩٥%
	الترسيب بالجير	> ٩٧%
	التبادل الأيونى أو التناضح العكسى	> ٩٥%
الزئبق	التبادل بالجير (pH > 10,0)	> ٩٠%
	حبيبات الفحم المنشط	> ٩٥%
	التناضح العكسى	> ٨٥%
النيكل	الترسيب بالجير والترشيح	٨٨ - ٩٨%
سيلينيوم رباعى	الترسيب بالجير	> ٥٠%
	الومينا منشطة	> ٩٥%
	التناضح العكسى	٧٥ - ٩٥%
الزنك	الترسيب بالجير (pH-10) والترشيح	> ٩٩%

ب- إزالة النيتروجين من مياه الصرف:

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

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

$$NH_4OH \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

وهذا الغاز يمكن طرده مع الهواء الجوى. فى الاتحاد السوفيتى تتم إزالة ٩٠% من الأمونيا فى أبراج إزالة الغازات (Degasifier) ذات الحشو الخشبى 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 عمليا إستخدام مرشحات التبادل الأيونى، بما فيها الترشيح خلال الزيوليت الطبيعى حيث يمكن إزالة من ٩٠-٩٥% فى شكل الأمونيوم. مرشحات الزيوليت يتم تنشيطها من آن إلى آخر باستخدام إيدروكسيد الصوديوم أو ملح الطعام عند رقم هيدروجينى 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 بالكلورة 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 الهيدروجينى عند ٧ وذلك لخفض تكون النترات والترای كلوريد. فى حالة توفر هذه الظروف فإن إزالة النيتروجين تكون ما بين ٩٠ - ١٠٠%.

جـ- إزالة الفوسفور من مياه الصرف:

المنظفات الصناعية هى المصدر الرئيسى للفوسفور فى مياه الصرف. من بين الطرق المختلفة لإزالة الفوسفور المعالجة البيولوجية هى الأكثر تأثيرا حيث تتم فى أحواض التهوية. بعد التعامل فى أحواض التهوية وأحواض الترسيب الثنائية، 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 هيدروجينى 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 الثنائية.

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 هيدروجينى ٥. نظراً لأن المعالجة البيولوجية تتم فى المجال المتعادل عند رقم هيدروجينى ٧، فقد تتكون رواسب هلامية عند استخدام هاتين الطريقتين معا، يمكن الترويب باستخدام البلمرات. يمكن ترسيب أملاح الفوسفات باستخدام لبن الجير (Lime) فى شكل الهيدروكسى أباتيت (Hydroxy Apatite) عند رقم هيدروجينى ٩-١٠.

د- الأكسدة Oxidation

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

للتخلص من المواد السامة بالأكسدة فإن مواد الأكسدة الأكثر استخداما هى برمنجنات البوتاسيوم والأوزون و ثانى أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وطبقا لمادة الأكسدة المستخدمة و التركيب الكيماوى للملوثات العضوية فإن الأكسدة يمكن أن تكون تامة (إلى ثانى 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 الآنودية 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 ولب الورق والمصانع الأخرى حيث تحتوى مياه الصرف بها على الفينولات والسيانيدات، المركبات النيتروجينية، السلفيد، الأمينات، الكيتونز، الكحولات المعدنية وصبغات الآزو.

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

تكنولوجيا التحليل الكهربية مناسبة فى حالة الأحجام الصغيرة لمياه الصرف.

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

التقنية الواعدة للمعالجة الدقيقة لمياه الصرف هى تكنولوجيا الغشـــاء، والتـــى تحقق الفصل الجيد للمواد المختلطة. تستخدم تكنولوجيـــا الغشـــاء لمعالجـــة ميـــاه الصرف التى تحتوى على مواد ذات نشاط إشعاعى أو مواد ذات نشاط بيولوجـــى. وهى تستخدم فى الصناعات الكيماوية كمعالجة إضافية أو تكميلية للبخار المكثـــف ولمعالجة وتركيز المحاليل ومياه الصرف.

فى قلب معـــدات الفصل الغشـــائى توجـــد الأغشـــية الشـــبه نفـــاذة (Semi-permeable Membrane) والتى تحدد بدرجة كبيرة الظواهر التكنولوجية والخـــواص الفنية وخواص التشغيل للمعدة.

الغشاء الشبه نفاذ عبارة عن حاجز (شبه مسامى) له خواص النقل التفضيلـــى (Selective) لمكونات معينة لخليط السائل أو الغاز. تصنع هذه الأغشية الشبه نفـــاذة من عدة بلمرات مختلفة ومن مواد الزجاج والسيراميك. أهم خاصية يلزم توفيرهـــا فى الغشاء الشبه نفاذ هى القدرة العالية على الفصل للمكونـــات، النفاذيـــة العاليـــة لتحقيق أقصى إنتاج، المقاومة العالية للتحلل بالبخار، الثبات خـــلال فـــترة زمنيـــة طويلة، القوة الميكانيكية لمقاومة الإنشاء، والنقل والتخزيـــن والثبـــات الحـــرارى وإنخفاض التكاليف.

تستخدم البلمرات الآتية فى معالجة مياه الصرف الصناعى:

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

القوة المسببة لعمليات الفصل الغشائى هى الفرق فى الضغط الهيدروستاتيكى، التركيزات المختلفة للمواد، الفرق فى فرق الجهد. تنقسم تقنيات الفصل الغشائى إلى الأنواع الآتية:

- **الميكروفلتر (Microfilteration):**

حيث يستخدم الغشاء لفصل المحاليل الهلامية والعالقة تحت الضغط.

- **الترشيح الفائق (Ultra Filteration):**

حيث يستخدم الغشاء لفصل المخلوط فى السائل تحت الضغط، المبنى على الوزن الجزيئى أو الحجم بين المكونات.

- **التناضح العكسى (Reverse Osmosis):**

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

- **الديلزة الكهربية (Electrodialysis):**

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

الميكروفلتر (Microfilteration):

فى الميكروفلتر يستخدم غشاء بحجم المسام من ٠,١ – ١ ميكروميتر. القوى الدافعة هى الضغط الهيدروستاتيكى (ما بين ٠,٠١ إلى ٠,١ MPa). المرشحات تكون فى خرطوشة عبارة عن نظام أفقى متطابق أو الأكثر استخداما مرشح ضغط مركب على إطار وخاصة فى الاستخدامات الصناعية. يستخدم الميكروفيلتر على نطاق واسع لفصل المواد العالقة والمستحلبه (Suspension and Emulsions) لتنقية مياه الصرف والحصول على محاليل معقمة. عادة يلى عملية الميكروفلتر الترشيح الفائق (Ultrafilteration) والتناضح العكسى حيث يكون الميكروفلتر عملية تحضيرية.

الترشيح الفائق: (Ultrafilteration)

يستخدم الترشيح الفائق أغشية لفصل المحاليل ذات الضغط الأوسموزى المنخفض-حيث يستخدم لفصل المواد ذات الوزن الجزيئى المرتفع وكذلك العالقة والهلامية، وهو مرتبط بفصل وتقطير وتركيز المحاليل. القوة الدافعة هى الضغط الهيدروستاتيكى (مابين ٠,١ - ١ MPa). يستخدم لذلك أغشية ذات تركيب ميكرونى غير متشابه ويتراوح قطر المسام ما بين ١ إلى ١٠ مليميكرون.

أحد الاستخدامات الصناعية الهامة للترشيح الفائق هو لفصل مستحلبات الزيت والماء. مياه الصرف ذات المحتوى الأولى 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 (Coneentrate) بتركيز ٤٠-٥٠ ملجرام/لتر من الزيت يعود إلى المرحلة الثانية لفصل الزيت أو يتم حرقه. نظراً للترشيح السطحى وقوة مواد الغشاء، فإن الترشيح الفائق يمكنه فصل المحاليل بدون فقد وإنتاج سائل مرشح نظيف.

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

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

أغشية السيليلوز أسيتيت والبولى آميد الأروماتية هى المستخدمة على نطاق واسع (Cellulose Aeetate And Aromatic Polyamide) أغشية مشتقات السيليلوز مقاومتها ضعيفة للأحماض والقلويات، تعمل جيداً فى مجال رقم هيدروجينى من ٤,٥ - ٥. العمر الإفتراضى للسيليلوز أسيتيت يتحول إلى النصف عند رقم

هيروجينى ٦. أغشية السيليلوز أسيتيت لاتقاوم المذيبات العضوية والمواد النشطة التى تسبب إنتفاخها. بالإضافة إلى العلاقة ما بين الجزيئى، 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 جزئيات الكربوهيدريت غير المحب للماء (Hydrophobic) بواسطة أغشية السيليلوز أسيتيت الأيونية والمحبة للماء (Hydrophilic, Polar) بمسام أكبر من حجم الجزئيات للمواد المطرودة.

تكنولوجيا الفصل على المستوى الصناعى بالأغشية الشبه نفاذة تستخدم تجهيزات غشاء من عدة أشكال من حيث المعدات التى تحمل عملية الفصل الغشائى. طبقا لتنظيم الأغشية فإن النماذج (Modules) للفصل بالترشيح الفائق وكذلك التناضح العكسى تنقسم إلى أربع أنواع رئيسية وهى:

- مرشح الضغط بالإطار المستوى (Flat Frame Filter Press).
- الأنبوبى (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 الرئيسى 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 فى صناعات الميكروبيولوجى، الصناعات الدوائيـــة والصناعـــات الأخرى.

يستخدم الترشيح الفائق لإزالة الحبيبات الهلامية من المحـــاليل المائيـــة قبـــل التناضح العكسى، الديلزة الكهربية والتبادل الأيونى، وكذلك لتنقية المياه بعد التبـــادل الأيونى. وهذا يوفر سلسلة تكنولوجية عالية الكفاءة حيث الإمـــداد بالميـــاه المقفلـــة (Closed Water System) مع إستعادة المنتجات الثمينة فى العملية الصناعيـــة فـــى الشكل المركز.

من بين تجهيزات الترشيح الفائق توجد التجهيزة على الإطار المستوى حيـــث عناصر الغشاء المستطيلة والتى تصل مساحتها إلى ٢٨,٥ مـــتر مربـــع. تســـتخدم التجهيزات لتركيز المحاليل المخمرة أو لتنقية مياه الصرف المحتوية على المـــواد العضوية ذات الوزن الجزيئى العالى. كما تستخدم لإزالة المـــواد العضويـــة ذات الحبيبات المتناهية فى الصغر (هاليدات الفضة، الخمائـــر، الجيلاتين... الخ) مـــن مياه الصرف لصناعة أفلام التصوير التى تحتوى على الفضـــة. تـــزود التجـــهيزة بمرشحات فائقة أنبوبية محتوية على أغشـــية مـــن الفلوروبلاســـت (Flouroplast) بمسطح ترشيحى كلى ١٢٠ متر مربع. معدل إسترجاع الفضة (هاليدات الفضـــة) وبعض المـــواد العالقة الأخرى هو ١٠٠%. فى وحدة ترشيح فائق تجريبية بطاقـــة ٥ متر مكعب فى الساعة اســـتخدمت لإزالـــة الفلوروبـــنزين (Flouro Benzene). الترشيح الفائق يتطلب طاقة صغيرة جداً وله عدة مميزات عن باقى الطرق. فمثـــلا التنقية بالترشيح الفـــائق ذات كفـــاءة أعـــلا مـــن الـــترويب الكـــهربى (Electro-Coagulation)، حيث يزال ٤٠-٧٠% من المـــواد العضويـــة مقـــابل ٥٠-٦٠% باستخدام الترويب الكهربى، ٧٠-٩٠% من هلاميـــات أمـــلاح الحديـــد ويحجـــز ٩٩,٩% من الحبيبات الميكرونية أكبر من ٠,٥ مليميكرون.

التناضح العكسى (Reverse Osmosis):

التناضح العكسى هو عملية مستمره لفصل الجزئيات من المحاليل بالترشيح تحت الضغط خلال غشاء شبه نفاذ والذى يحجز كل أو بعض الجزئيات أو الأيونات للمادة المذابة للفصل الجيد فإن ضغط التشغيل يجب أن يكون ما بين ٠,١ – MPa1 فوق الضغط الأوسموزى للمادة الملحية المذابة لتركيزات ملحية من ٢ – ٥ جرام/لتر، ٥ – ١٠ MPa لتركيزات ملحية أعلا من ٢٠ – ٣٠ جرام/لتر.

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

الأغشية المستخدمة فى التناضح العكسى يجب أن توفر المتطلبات الآتية:

- مسامية ذات قوة عالية وتفضيلية (إنتقائية).
- القدرة على تحمل التغيرات الكبيرة فى الضغط على كلا جانبى الغشاء.
- القدرة على مقاومة التغيرات فى درجات الحرارة.

تختلف مواد الصنع للغشاء وكذلك التصميمات لأجهزة التناضح العكسى. الأغشية الشائعة الاستخدام هى أغشية أسيتات السيليلوز ذات الطبقة المستوية (Flat-Film)، أغشية البولى آميد ذات الشعيرة الجوفاء (Hollow-Fibre). أسيتات السيليلوز المستخدمة فى الإتحاد السوفيتى (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 الهيدروجينى كليهما له تأثير على عملية الفصل فى التناضح العكسى. التغيرات فى التركيز تؤثر على الضغط الأسموزى، والذى بالتالى يحدد القوة المؤثرة لسير العملية وإنتاجية الغشاء. إستخدام أنواع مختلفة من نماذج الأغشية فى أجهزة الضغط الأسموزى (مثل الطبقة المستوية، الأنبوبية، الشعيرة الجوفاء، اللفائف الجيلاتينية تسمح بالاستخدام الجيد للتناضح العكسى على المستوى الصناعى.

يتميز التناضح العكسى عن كل تقنيات المعالجة لمياه الصرف من الصناعات الكيماوية حيث يستخدم عادة لتركيز مياه الصرف المحتوية على المذيبات العضوية، مياه غسيل السيليلوز، سائل السلفيد، كذلك إستعادة الفضة، كربونات الصوديوم، كبريتات الصوديوم، حامض الفوسفوريك، من مياه الغسيل فى عدة مصانع كيماوية.

لقد إستخدم التناضح العكسى فى الصناعات الكيماوية لإزالة الملوحة من مياه الصرف، مثل أملاح الصوديوم، الزنك، النحاس، الالومنيوم، الأحماض والقلويات. الإتجاه إلى إعذاب المياه المالحة بالتناضح العكسى يرجع إلى بساطة الجهاز المستخدم، طاقة التشغيل الصغيرة، التكاليف الرأسمالية المنخفضة نسبياً. مقارنة للتكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل لإعذاب المياه فى الولايات المتحدة بالطرق المختلفة كما يأتى حيث التكاليف بالدولار للتر فى اليوم.

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

الديلزة الكهربية: (Electrodialysis)

الديلزة الكهربية هى عملية فصل أيونات المادة الأيونية المذابة. يتم الفصل فى جهاز الغشاء تحت تأثير تيار كهربى ثابت. الاستخدام الرئيسى لهذه الطريقة فى معالجة مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية هو لتنقية مياه الصرف عالية التركيز بالأملاح.

فى الديلزة الكهربية 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 البوليمر الثيرموبلاستك كقاعدة (أساس) وبودرة راتنج تبادل أيونى.

أغشية الديلزة الكهربية يمكن تقسيمها حسب أنواع الأيونات التى تنقلها إلى كاتأيونية، آن أيونية، مزدوجة القطبية (Dipolar) والتى تتكون من طبقات كاتأيونية وآن أيونية ومختلطة (Amphoteric) أى تحتوى على مجموعات قلوية وحامضية.

جهاز الديلزة الكهربية يعمل بتبادل أغشية كاتأيونية وآن أيونية لتكوين فراغات ملحية وغير ملحية (مخففة). كثيرا جدا من هذه الفراغات تعمل بالتوازى (١٠٠-٢٠٠). حاليا يوجد نوعين من أجهزة الديلزة الكهربية 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 الديلزة الكهربية تستخدم أقطاب (Electrodes). التصميمات التكنولوجية لإنشاء أجهزة الديلزة الكهربية هى عموما من نوعين وهما:

- ذات التدفق المستمر.

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

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

إستخدمت الديلزة الكهربية 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% فى نفس الوقت. هذه العملية يمكن أن تعيد ١٣٥,١ × ١٠^{٣} متر مكعب من المياه النقية فى العام إلى دورة التصنيع (من مياه الصرف وكذلك إستعادة ثلاث آلاف طن من كبريتات الصوديوم كسلعة للبيع).

بالإضافة إلى معالجة مياه الصرف الصناعى بالطرق السابقة فإنه تستخدم طرق أخرى مثل التبخير (Evaporation)، البلورة (Crystalization)، الاستخلاص باستخدام المذيبات العضوية (وذلك عندما تحتوى 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 الصناعى. المعالجة البيولوجية التقليدية هى 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 الأكسدة 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 التفاعل، المحتوى من العناصر البيولوجية، المحتوى من الأكسجين، التأثيرات السامة من بعض الملوثات العضوية وغير العضوية. أفضل درجة حرارة للمعالجة البيولوجية هى ما بين ٢٠ - ٣٠°م 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 وبالتالى لتوفير المعالجة المؤثرة لمياه الصرف، فإن المجال يجب أن يحتوى على التركيزات المناسبة من المواد الغذائية الرئيسية وهى الكربون العضوى فى شكل (BOD)، النيتروجين والفوسفور، 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 لايوجد ما يكفى من النيتروجين

والفوسفور (كما فى حالة مياه الصرف من الصناعات البترولية) حيث تضاف هذه المواد فى شكل سوبر 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 لايقل 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 (1MPC) 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، والذى فى حالة زيادته يحدث تأثيرات سالبة 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 والتى 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 طبقا لظروف التشغيل فى محطة المعالجة وخاصة عند تركيز الحمأة.

معظم المواد العضوية يمكن أن تتأكسد هوائيا بمساعدة الكائنات الحية الصغيرة. وهذه العملية تتوقف على توافق النظام البيولوجى، حيث أن الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المعالجة غالبا لاتتعامل فوراً مع أنواع جديدة من الملوثات الصناعية وخاصة إذا إختلفت كثيراً فى مكوناتها عن تلك الطبيعة. يوجد عدد كبير من المواد التى يمكن إعتبارها لاتتأكسد بيولوجيا عند معالجة مياه الصرف، ولكن هذا لا يعنى أن الأكسدة البيولوجية مستحيلة كلية حيث عادة يمكن أن تحدث الأكسدة البيولوجية ولكن بمعدل بطئ جداً بما يتطلب فترة تأقلم طويلة، ولكن عملياً لا تحدث الأكسدة البيولوجية فى ظروف التشغيل العادية فى محطة المعالجة.

المواد التى تتأكسد بيولوجيا والمركبات العضوية التى تقاوم الأكسدة هى كالآتى:

المواد العضوية التى تتأكسد بيولوجياً*	المواد العضوية التى تقاوم الأكسدة البيولوجية
▪ Acrylic Acid ▪ Aliphatic Acids ▪ Aliphatic Alcohols ▪ Normal, Iso, Secondary Aliphatic Aldhydes ▪ Alkyl Benzene Sulphonates (Partially) ▪ Aromatic Amines ▪ Dichlorophenols ▪ Ethanol Amines ▪ Glycols, Ketones ▪ Methylacrylic Acid ▪ Monochlorophenols, Phenoles, Nitriles. ▪ Primary Aliphatic Amines. ▪ Styrene ▪ Vinyl Acetate ▪ Aromatic Hydrocarbons with one or two Substituents	▪ Ethers ▪ Ethylene Chlorohydrin ▪ Isoprene ▪ Methyl Vinyl Ketone ▪ Morpholin ▪ Polymers ▪ Polypropyl Benzene Sulphonates ▪ Tertiary Aliphatic Alcohols, Sulphonates ▪ Trichlorophenols ▪ Other Hydrocarbons (Aliphatic, Aromatic, Alkyl - Aryl groubs) ▪ Aromatic Compounds with three and More Substituents

* بعض هذه المواد بتحلل بيولوجيا 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 الثنائية، الكحولات الثنائية (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 دائما تامة (إلى ثانى أكسيد الكربون والماء)، حيث تظهر مواد فى الماء بعد المعالجة البيولوجية والتى 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 إستخدام الكائنات الدقيقة القادرة على تحلل المواد العضوية السامة والتى يصعب تحللها بيولوجيا عند معالجة مياه الصرف عالية التركيز. مياه الصرف الصناعى 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 الصحى والصرف الصناعى بالترشيح خلال التربة. تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع فى معالجة مياه الصرف والتخلص منها فى مصانع تكرير البترول فى الولايات المتحدة وكندا وأوربا الغربية.

يعتمد الترشيح فى التربة على العمليات الديناميكية، الطبيعية، الكيماوية والبيولوجية التى تحدث فى 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.

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

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

الخواص الفنية للعمليات الرئيسية المستخدمة فى المعالجة البيولوجية لمياه الصرف موضحة فى الجدول التالى.

جدول الخواص التكنولوجية لعمليات المعالجة البيولوجية الرئيسية:

عملية المعالجة	زمن المكث بالأيام	العمق بالمتر	كتلة الكائنات الدقيقة ملجرام/لتر	الاكسجين الحيوى فى الماء ملجرام/لتر	نسبة الإزالة %	الحالـــــة
المعالجة الهوائية: الحمأة المنشطة	٠,٥ – ٢	٣,٧ – ٤,٩	٢٠٠٠ – ٦٠٠٠	١٠٠ – ٣٠٠٠	٨٥ – ٩٥	منع إنتفاخ الحمأة
التهوية الممتدة	١ – ١٠	٣,٧ – ٤,٩	٣٠٠ – ١٠٠٠	١٠٠ – ٣٠٠٠	٨٥ – ٩٥	---
الملامس الدوار (المرشح البيولوجى المغمور)	--	--	--	٥٠ – ٥٠٠	٨٠ – ٩٠	التحميل ٠,٥–٢ كجرام من BOD/م٢/اليوم
المرشح الزلطى	--	٤,٦ – ٩,١	--	٥٠٠ – ٣٠٠٠	٥٠ – ٦٠	التحميل ١,٦–٨ كجرام من BOD/م٢/اليوم
الأحواض المهواه	٠,٥ – ٣	٢,٤ – ٤,٩	--	٥٠ – ٧٥٠	٥٠ – ٧٠	خلط جيد
أحواض مهواه مختلطة Facultative	٣ – ١٠	٢,٤ – ٤,٩	٥٠ – ١٠٠	٥٠ – ٢٥٠	٨٠ – ٩٠	خلط سطحى
المعالجة اللاهوائية المفاعل اللاهوائى	٠,٥ – ٣٠	--	٥٠٠٠–١٢٠٠٠	١٥٠٠ – ١٠٠٠٠	٧٠ – ٩٠	التحميل ١,٦–٤,٥ كجرام من BOD/م٢/اليوم
البرك اللاهوائية	٥ – ٥٠	٢,٤ – ٤,٦	٢٥	٥٠٠ – ٢٠٠٠	٥٠ – ٨٠	التحميل ٢٣–٤٤٨ جرام BOD/م٢/اليوم
البرك المختلطة Facultative	٧ – ٥٠	٠,٩ – ٢,٤	٢٥	٥٠ – ٢٥٠	٧٠ – ٩٠	التحميل ٢,٥–٥,٦ BOD/ متر مربع /اليوم

إختيار مخطط المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعى 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 الكيميائية. الحمأة (Sludge) التى تعمل على تحلل المركبات العضوية فى مياه الصرف بالطريقة البيولوجية - الكيميائية (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 الداخله إلى حوض التهوية، والباقى يتم التخلص منه. عملية المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تكون دورية أو متقطعة.

يوجد نوعين من نظم التهوية التى تستخدم عادة فى المعالجة بالحمأة 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 بالحمأة المنشطة، فإنه يجب أن يكون للحمأة الخاصية الحيوية – كما يجب أن ترسب بسهولة. خاصية الترسيب تتوقف على قدرة البكتريا على تكوين تكتلات مع الزغبات (Flocs) أو الحمأة (Sludge)، أو كتل ذات أشكال مختلفة وقوام مختلف محاطة بطبقة هلامية. ضعف الترسيب يكون أحيانا مرتبط بنمو البكتريا العصوية، وبالتالى ضعف نوعية المعالجة. زيادة البكتريا العصوية يمكن أن ينتج عنه ما يعرف بانتفاخ الحمأة (Sludge Bulking) (أى تكوين راسب منتفخ عصوى والذى يصعب إزالته). يمكن أن يحدث ذلك عند حدوث عدة تغيرات فى ظروف التشغيل ومكونات المواد العضوية.

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

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

الميكانيكى باستخدام جهاز التهوية. فى هذا النظام يحدث تدوير جيد لخليط الحمأة ومياه الصرف بما يحقق كفاءة معالجة عالية. معالجة مياه الصرف المخففة وسريعة الأكسدة فى الأحواض سريعة الخلط قد يؤدى إلى إنتفاخ الحمأة (بسبب إنخفاض BOD والمحتوى من الأكسجين المذاب فى مياه الصرف). فى مثل هذه الحالة يفضل استخدام المفاعل النابض (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 فى حوض الخلط هذا، عندئذ لايحدث إنتفاخ للحمأة حتى فى حالة إنخفاض الحمل العضوى (٠,١ ملجرام BOD / ملجرام مواد صلبة متطايرة).

مع زيادة تركيز المتدفقات المحتوية على كيماويات عضوية معقدة، يكون من المفضل إستخدام الأحواض ذات التهوية المختلطة الكاملة والتى هى أفضل فى أكسدة الملوثات وكذلك فى عدم حدوث الانتفاخ للحمأة. فى حالة التركيز العالى 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. وفى مثل هذه الحالات يجب إضافة مادة ترويب إلى مياه الصرف عند خروجها من حوض التهوية وقبل دخولها إلى حوض الترسيب أو تمريرها مباشرة إلى مروق المفاعل البيولوجى، وذلك لإمكان ترسيب هذه الملوثات.

المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تزيل ملوثات عضوية معينه بكفاءة تزيد عن ٩٥%، وخفض الملوثات العضوية المذابة إلى أقل من ١٠-١٥ ملجرام BOD فى اللتر، إجمالى المواد العضوية BOD (الأكسجين 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 الأراضى

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

الملوثات فى مياه الصرف التى يمكن أن تكون قابلة للتحلل البيولوجى بنسبة ٩٥% تشمل مركبات عضوية مثل:

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

الملوثات التى يمكن التخلص منها (بالتجريد – Stripping) أثناء التهوية تشمل:

Bezene، 1,2 Dichlorobenzene، Ethyl Benzene، Di, Tri, Tetrachloromethane.

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 فى مياه الصرف بتركيزات كبيرة فإن إزالتها من حوض التهوية يمكن أن يسبب مشاكل تلوث نتيجة إنطلاقها فى الجو.

ب- التهوية الممتدة: *Extended Aeration*

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

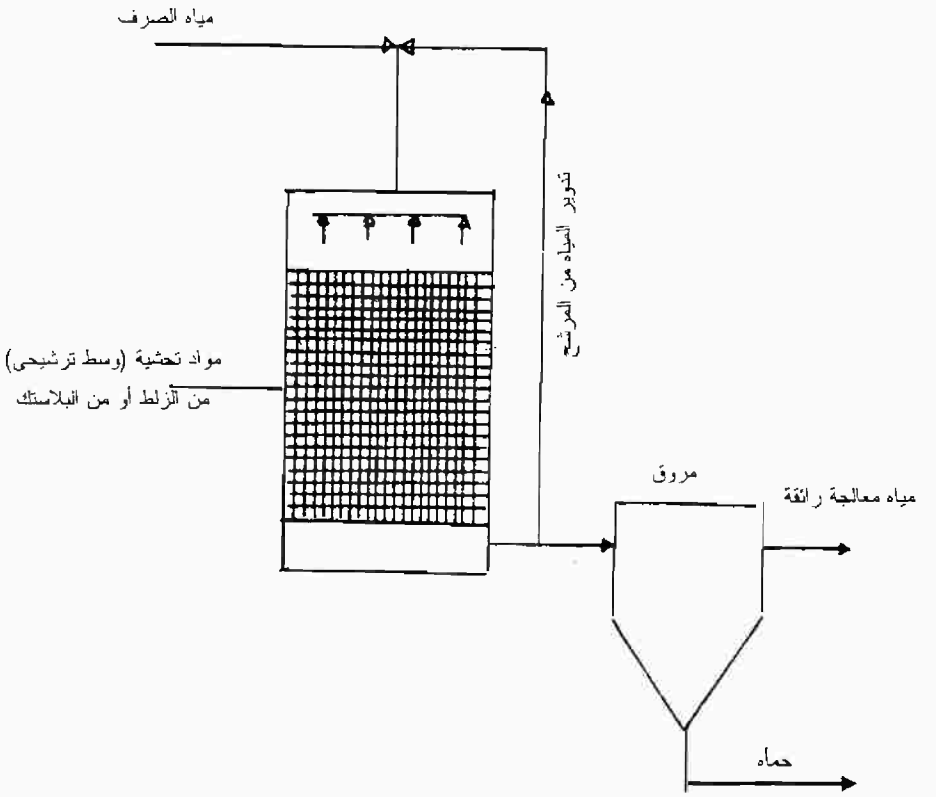
وسهولة الادارة والمتابعة. تستخدم أحواض التهوية الممتدة أساسا للتدفقات الصغيرة من مياه الصرف (حتى ١٠٠٠ متر مكعب فى روسيا، حتى ٣٧٨٥ متر مكعب فى أمريكا).

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

لقد زاد استخدام المرشحات البيولوجية شكل (٤/٣) فى معالجة مياه الصرف الصناعى لمواجهة مشاكل الطاقة حيث إستخدم الوسط الترشيحى من الزلط، الحشو البلاستك، أو الفخار المثقب، أو خبث المعادن، والذى يغطى بطبقة من الكائنات الدقيقة الهوائية. تتحدد طاقة المرشح البيولوجى (المرشح الزلطى أو عالى التحميل) أساسا بالمساحة السطحية المغطاة بطبقة بيولوجية وقدرتها على الالتصاق بالأكسجين الحيوى. المرشحات الزلطية (البيولوجية) تعمل على خفض تركيز الملوثات بنسبة ٦٠-٨٥% من الحمل العضوى (BOD)، المرشحات الزلطية عالية التحميل تستخدم فى 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 الترشيحى بقطر ٤٠ - ٨٠ مليمتر يعتبر مناسب جدا. المرشحات الزلطية القديمة إستخدمت قطع أحجار بقطر ٦٤-١٠٢ مليمتر فى طبقة الوسط الترشيحى بعمق ٠،٩-٢،٤متر، وهذه لاتحقق كفاءة جيدة ولكنها تحسن من التهوية والتصاق الهواء مع الطبقة البيولوجية. ولكن الكفاءة العالية للمرشحات أمكن تحقيقها باستخدام الوسط الترشيحى من البلاستك حيث أمكن الوصول إلى عمق حتى ١٢ متر، ومعالجة مياه الصرف ذات التركيز العالى من الملوثات وعند تحميل هيدروليكى عالى حتى ١٦٣ لتر/المتر المربع فى الدقيقة.



شكل (٤/٣) المرشح البيولوجى

رغم أن المعالجة بالمرشحات البيولوجية لاتزيد كفاءتها عن ٨٥% من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD)، إلا أنها سهلة وغير مكلفة فى التشغيل وتتطلب طاقة أقل نسبة إلى المعالجة بالحمأة 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 أخيرا. هذه التجهيزات ذات تشغيل إقتصادى جدا، وهى تحقق نفس كفاءة المعالجة مثل عملية الحمأة المنشطة، ولكن حاجتها إلى الطاقة والى الإشراف أقل.

تتكون الملامسات البيولوجية الدوارة من عامود إدارة دوار يحمل أقراص بلاستك ضخمة مغمورة إلى ما بين ثلث إلى نصف قطرها فى حوض مياه الصرف. الأقراص ذات القطر ما بين ١ إلى ٣ متر تركب 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 مابين ١-١,٥ ساعة. تنمو على الأقراص طبقة بيولوجية بسمك ما بين ١ إلى ٤ مليمتر، الطبقة تكون دائما 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. الباقى يكون عالق فى الحوض مع مياه الصرف.

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

قطر القرص ٣,٦ متر، طول المرشح ٧,٦ المرشح، إجمالى 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 هى عبارة عن إنشاءات مياه مصنعة حيث تستخدم العمليات الطبيعية لتنقية المياه. وهى تستخدم أساسا لتنقية المياه بعد المعالجة البيولوجية. وهى 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 البيولوجى للمواد العضوية. عند معالجة مياه الصرف الصناعى 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 فى الحوض، الطبيعة الموسمية للتشغيل، الحاجة إلى مساحة كبيرة من الأراضى. نظرا لكبر حجم مياه الصرف التى تعالج فى 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) فى المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى 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 الأكسدة 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 المذابة ويزيد من كتلة الكائنات الحية الصغيرة (Biomass). زمن المكث من ١-٣يوم. 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 فى مكان تجريبى لحفرة زلطية. فهو يعمل كمستودع لمياه الصرف المحتوية على زيوت وشحوم صناعية، أحماض من عمليات الجلفنة، الفينولات، الفينولات المكلورة، المعادن الثقيلة. تتم المعالجة بواسطة البكتريا الطبيعية الموجودة فى 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 فى حالة التخلص من هذه المخلفات بالحرق.

هذا الحوض البيولوجى إستخدم 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 بالحمأة المنشطة، حيث البكتريا تعمل على التحلل التام للملوثات فى الرواسب. مع إنطلاق المواد المتطايرة فإن التأثير السام للمواد المترسبه ينخفض. لوحظ أن أكبر نشاط للبكتريا هو عند رقم هيدروجينى ٧. للمحافظة على الرقم الهيدروجينى عند هذا الحد ثم إضافة ٤٥ كيلو جرام من الجير الحى يوميا (cao) إلى الحوض، وبذا إستمر معدل إزالة الملوثات مرتفع حتى فى شهور الشتاء الباردة. المعالجة التامة البيولوجية يتوقع أن تستغرق أربع سنوات.

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

المعالجة اللاهوائية والتى تحدث فى 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) الذى يستخدم

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

تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز والتى تحتوى على خليط من المواد العضوية بكميات ما بين ٥٠٠ ملجرام / لتر إلى ١٠ جرام / اللتر من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) وأكثر من ذلك. التخمير 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.

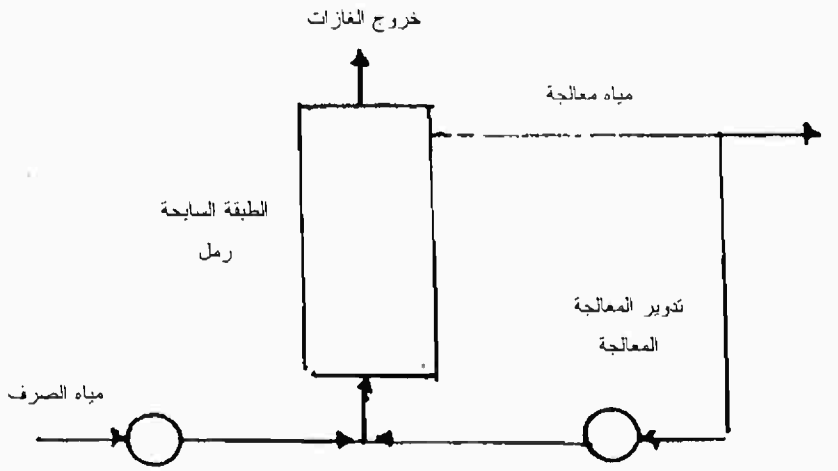
يمكن تنفيذ المعالجة اللاهوائية فى أحواض أو فى مفاعلات مصممة خصيصا لهذا الغرض. الأحواض اللاهوائية لايتم تهويتها حيث تتم معالجة مياه الصرف لاهوائيا. الأحواض المختلطة (هوائية - لاهوائية) تستخدم كذلك، حيث الطبقات السطحية لهذه الأحواض المختلطة ذات تأثير أقوى من الأحواض اللاهوائية ولكن كليهما ينتج روائح كريهة 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 فى الولايات المتحدة وهى:

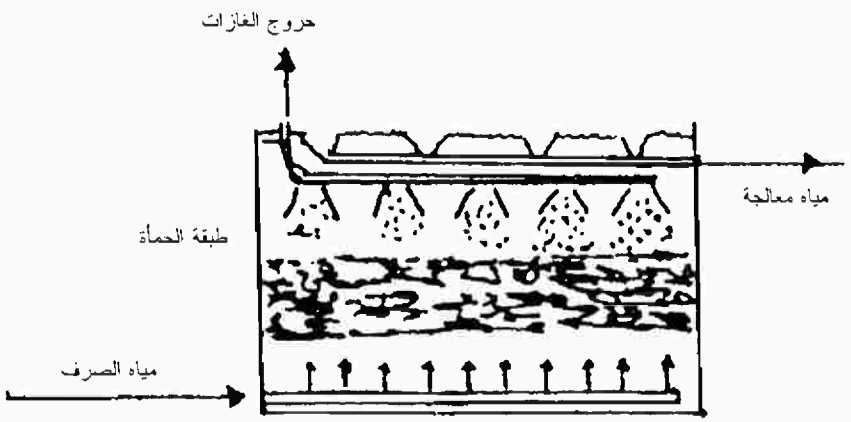
- المفاعل البيولوجى اللاهوائى – Anaerobic Biological Reactor
- مفاعل التلامس البيولوجى اللاهوائى – Anaerobic Contact Bioreactor
- مفاعل الطبقة السائلة – Fluidized Bed Reactor
- مفاعل التدفق العلوى اللاهوائى بطبقة الحمأة – Up Flow Sludge Blanket Anaerobic Reactor

الأشكال (٤/٤)، (٤/٥)

- المرشحات البيولوجية اللاهوائية هى أحواض (خزانات) مقفلة تحتوى على وسط ترشيحى حيث يتم ترشيح المياه خلاله فى تدفق صاعد بدون الالتصاق بأكسجين الهواء الجوى. عندئذ تصبح الطبقة البيولوجية ملتصقة بالوسط الترشيحى المستخدم، تحدث الأكسدة اللاهوائية والتى يصاحبها تكون غاز الميثان. تستخدم المرشحات اللاهوائية فى معالجة مياه الصرف عالية التركيز والتى تحتوى على قليل أولا تحتوى على مواد عالقة.
- مفاعل التلامس اللاهوائى: عملية التلامس اللاهوائى تشبه عملية الحمأة المنشطة، والتى تتم فى مفاعل مزود بالخلط الميكانيكى، والذى يليه حوض ترسيب حيث يعود جزء من الحمأة إلى المفاعل. وفى مقابل آخر تتحرك مياه الصرف من القاع إلى أعلا خلال طبقة صلبة من زغبات الكائنات الدقيقة اللاهوائية.
- الأكثر تأثيرا هو المفاعل اللاهوائى بالطبقة السائلة (Fluidized) حيث يستخدم الرمل كسطح لنمو البكتريا، ولكن هذه الطريقة مازالت فى المراحل التجريبية البحثية.



شكل (٤/٤) المفاعل اللاهوائى بالطبقة السابحة



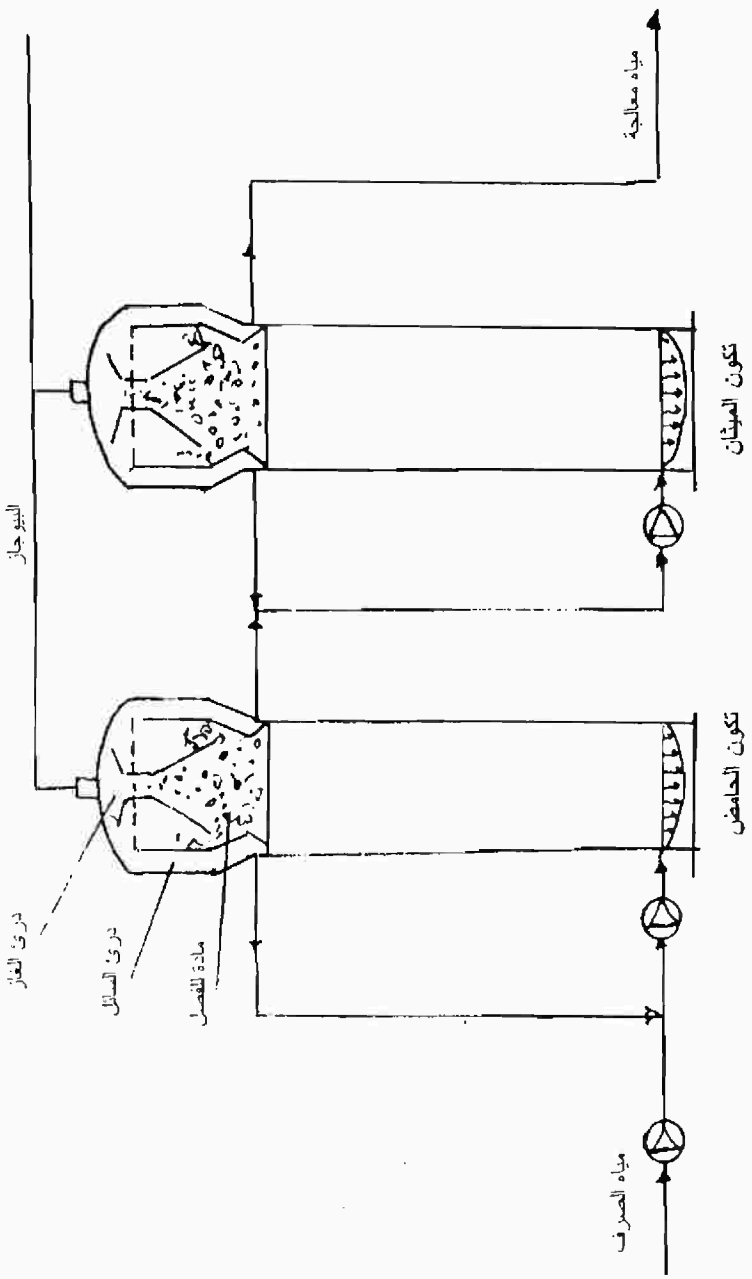
شكل (٤/٥) المفاعل اللاهوائى بالتدفق الصاعد وطبقة الحمأة

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

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 كالآتى:



شكل (٤/٦) معالجة مياه الصرف على مرحلتين

المعالجة التقليدية بالحمأة المنشطة	المعالجة بالمفاعل البيولوجى بالطبقة السائلة
- معدل الترسيب ١ متر / الساعة	حوالى ٥٠ متر / الساعة
- الرواسب الخاملة تتراكم فى الحمأة	الرواسب الخاملة يتم غسيلها خارج المفاعل
- تركيز الكتلة البيولوجية ٥ كجرام / م^3	٤٠ كجرام/م^3 (بسبب زيادة المساحة السطحية للكتلة البيولوجية والتى تزيد عن ٢٠٠٠ م^2/م^3
- سرعة مياه الصرف ١ متر / الساعة	١٠ - ٣٠ متر / الساعة
- أحواض التهوية ذات أبعاد كبيرة متسعة ومنخفضة وتحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضى	مدمجة، عمودية وضيقة حيث لايشغل المفاعل مساحة كبيرة من الأراضى.

يمكن تحقيق كفاءة عالية عند معالجة مياه الصرف وذلك بسبب التركيز العالى للكتلة البيولوجية ونشاطها العالى فى الطبقة السائلة للمفاعل البيولوجى.

الأسباب الرئيسية لتقرير إختيار الطريقة اللاهوائية فى معالجة مياه الصرف فى المفاعل البيولوجى بالطبقة السائل هى كالآتى:

- 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.

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

للحمأة (المرحلة الأولى ٠,٨ جرامCOD/جرام فى اليوم، المرحلة الثانيى ٢ جرام COD/جرام اليوم) بما يؤدى إلى الزيادة فى إنتاج الميثان وسهولة التحكم فى الرقم الهيدروجينى واستهلاك قليل للقلوى بانتظام، ثبات أفضل بالنسبة لصدمات التحميل 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 التحميل بناءا على COD أثناء البدء. فإن المستخدم عادة هو الرمل حيث أقصى قطر حبيبات ٠,٣ - ٠,٥ مليمتر لاستخدامه كحامل (Carrier)، وهذا يؤكد التركيز العالى للكتلة 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 إستخدام أقصى تحميل 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 مليمتر 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 صدمات التحميل 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 فى عدد من المعايير. وهذه المعايير هى حجم المفاعل، التحكم فى سمك الطبقة البيولوجية، وعملية التحويل.

توجد أربع مفاعلات متشابهة صنعت بواسطة (Door-Oliver). وهى 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 مليمتر، معدل تدفق مياه الصرف فى المفاعل ٣١م^{٣}/الساعة.

قام الإستشارى (Gist - Brocades) بإنشاء عدة مفاعلات لاهوائية ذات المرحلتين 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 فى هولندا بقطر ٤,٦ متر وإرتفاع الطبقة السائلة ١٣ متر (إرتفاع المفاعل ٢١ متر)، حجم الطبقة السائلى ٢١٥ متر مكعب. وأقيم مفاعل آخر فى فرنسا من مرحلتين ويتكون من مفاعلين متشابهين بقطر ٣ متر وإرتفاع الطبقة السائلة ١١ متر (إجمالى إرتفاع المفاعل ١٧ متر)، حجم الطبقة السائلة ٨٠ متر مكعب. فوق المفاعل يوجد ٣ طبقات من المصافى لحجز حبيبات الحامل مع وجود عامل درئ (Buffer) للغاز وللسائل. الحامل المستخدم رمل بقطر ٠,١ - ٠,٣ مليمتر ومعدل تدفق مياه الصرف فى المفاعل ٨ - ٢٠ م^{٣}/الساعة.

تعمل المفاعلات البيولوجية ذات الطبقة السائلة بنجاح وبإنتاجية مرتفعة نسبيا ١٠ - ٣٠ كجرام COD / م^{٣} فى اليوم. وهى تتحمل صدمات التحميل (مع التغير الكبير فى مكونات مياه الصرف) الرقم الهيدروجينى ما بين ٣- ١٠.

الخواص الفنية لعمل المفاعلات اللاهوائية ذات الطبقة السائلة كالآتى:

	مفاعل Dorr-Oliver	مفاعل هولندا	مفاعل فرنسا
تركيز الخليط فى مياه الصرف الأولية COD جرام/لتر	١٢	٣,٢	٣,٦
درجة الحرارة °م	٣٥	٣٧	٣٧
الرقم الهيدروجينى	٧,١ -٦,٧	٦,٨	٧,٤
زمن المكث فى المفاعلين	١٩	٢,٤	٣,٢
كفاءة النظافة COD%	٧٥	٧٠	٧٥
استهلاك الماء متر مكعب / الساعة	٣٢	١٨٠	٥٠
تحويل كجرام COD/م٣ اليوم	١١	٢٢	٢٠
تركيز الكتلة البيولوجية جرام/لتر	١٢	٢٠	٢٠
محتوى مياه الصرف من الأحماض الدهنية ملجرام/لتر	٦٠٠	أقل من ١٠٠	١٠٠

فى الهند فى مدينة بومباى إستخدم مفاعل مصمم بواسطة شركة (Dorr-Olivar) الأمريكية لمعالجة مياه الصرف الصناعى 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 كالآتى:

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

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 بالحمأة المنشطة.

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