



برنامج المسار الوظيفي للعاملين بقطاع مياه الشرب والصرف الصحي

دليل المتدرب

البرنامج التدريبي لوظيفته مهندس تشغيل صرف صحي - الدرجة الاولى

تكنولوجيا المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي واعادة استخدام مياه

الصرف الصحي المعالجة



جدول المحتويات

٤	أولاً: تكنولوجيا المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي
٤	١. مقدمه
٥	٢. الغرض من المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجياً
٥	٣. تكنولوجيا المعالجة الثلاثية لفائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي
١١	٤. تكنولوجيا إزالة المواد العالقة في المعالجة الثلاثية
١٢	الترسيب باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة
١٦	التعويم باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة
١٧	المصافي الدقيقة (الميكروسترينر)
١٧	الترشيح
٢١	أنواع المرشحات الرملية
٢١	أولاً: المرشحات بطبقة المعدل:
٢٢	ثانياً: المرشحات سريعة المعدل:
٢٦	ثالثاً: المرشحات الرملية ذات اتجاه سريان المياه في الاتجاه الأعلى:
٢٨	رابعاً: المرشحات المتعددة الوسط الترشيحي:
٢٨	خامساً: المرشح التراب الدياتومي:
٢٨	سادساً: المرشح الحشائشي:
٢٩	سابعاً: مرشح التربة:
٢٩	٥. بحيرات الأكسدة
٣٠	٦. الترسيب في المروقات ذات القاع الحصى (الحصاء)
٣٦	٧. إزالة المواد الذائبة من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي
٣٦	الامتزاز (الإدمصاص) بالكربون Carbon Adsorption
٤١	التبادل الأيوني
٤٣	الفصل الأيوني بالأقطاب المسامية
٤٣	الانتشار الغشائي الكهربائي
٤٥	وتنقسم الطاقة الكهربائية المطلوبة لهذه العملية إلى قسمين:
٤٦	المتاعب المصاحبة للاستقطاب:
٤٩	التناضح الأسموزي العكسي Reverse Osmosis
٥٢	طريقة الأسموزينية
٥٣	٨. تكنولوجيا إزالة النيتروجين بالمعالجة الثلاثية
٥٤	الإزالة البيولوجية للنيتروجين
٥٤	التمثيل البكتيري
٥٤	التحول الطحلبي
٥٥	النترجة (النأزت) وإزالة النترجة (الديا نأزت)
٥٥	الإزالة الكيميائية للنيتروجين
٥٥	الأكسدة
٥٦	التبادل الأيوني لإزالة النيتروجين

٥٦	انتزاع الأمونيا بالهواء
٥٧	٩. تكنولوجيا إزالة الفسفور في المعالجة الثلاثية
٥٧	الإزالة البيولوجية لمركبات الفسفور
٥٨	إزالة الفوسفور في وحدات المعالجة بالحمأة المنشطة
٥٨	طرق بيولوجية أخرى لإزالة مركبات الفسفور
٥٨	الإزالة الكيميائية للفسفور
٥٨	فوسفات الألومنيوم
٥٨	أملاح فوسفات الحديدك وفوسفات الحديدوز
٥٩	هيدروكلسيكسيفيت
٦٠	ثانياً إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة
٦٠	١. مقدمة
٦٠	٢. الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة
٦٩	الخصائص الطبيعية لمياه الصرف الصحي المعالجة
٦٩	العكارة
٦٩	اللون
٦٩	الرائحة
٦٩	درجة الحرارة
٦٩	الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة
٦٩	المواد الصلبة
٦٩	الأكسجين المستهلك حيويًا كيميائيًا (BOD5, COD)
٧٠	الملوحة ونوعية الأملاح المختلفة
٧٠	العناصر النادرة Trace elements
٧٦	الاعتبارات الواجب مراعاتها عند وجود العناصر النادرة والمعادن الثقيلة
٧٧	المواد الكيميائية الأخرى
٧٧	٣. العناصر المغذية للنباتات في مياه الصرف الصحي المعالجة
٧٧	قيمة العناصر الغذائية التي تحتويها مياه الصرف الصحي المعالجة
٧٩	النيتروجين
٧٩	الفوسفور
٧٩	البوتاسيوم
٧٩	العناصر المغذية الأخرى
٨٠	٤. محتوى النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم في مياه الصرف الصحي المعالجة
٨١	مشاكل زيادة عنصر النيتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة
٨١	تقدير نسبة تركيز النيتروجين
٨١	اختيار المحصول المناسب اعتماداً على مستوى النيتروجين
٨٢	تنظيم مناوبات الري
٨٢	كمية مياه الري
٨٢	عدد الريات
٨٢	نظام الري

٨٢	٥. خلط مياه الصرف الصحي المعالجة بالمياه العذبة
٨٣	المشكلات الأخرى الانسداد
٨٣	الحلول المقترحة لتلافي مشكلة الانسداد
٨٣	٦. كفاءة وحدات محطات المعالجة وخصائص نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة
٨٤	٧. معايير نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة والمستعملة كمياه للري
٨٥	الملوحة
٨٥	أ. اختيار المحاصيل
٨٥	ب. اختيار المحاصيل المتحملة للملوحة والقادرة على امتصاص مقادير كبيرة من الأملاح دون أن تكون لذلك تأثيرات سمية خاصة (المحاصيل التي تجمع الأملاح)
٨٥	ج. اختيار نظام الري الذي يضمن توزيع المياه بشكل منتظم
٨٥	د. تنظم منابوات الري
٨٦	غسل التربة
٨٧	التقليل من استخدام البولييمرات أو غيرها من مصلحات التربة
٨٧	الصرف
٨٧	القلوية
٨٨	الأيونات ذات التأثيرات السمية الخاصة
٨٩	التدابير الموصي بها للتغلب على سمية الأيونات
٨٩	٨. الخصائص البيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة
٨٩	الفيروسات
٩٢	البكتريا
٩٣	البروتوزوا
٩٤	الديدان الطفيلية
٩٥	٩. استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في زراعة الجاتروفا
٩٦	١٠. الغابات الصناعية للأشجار الخشبية بمزارع محطات المعالجة
٩٦	أنواع الأشجار بالغابات الصناعية بمزارع محطات المعالجة
٩٦	أولاً أشجار النيم:
٩٦	ثانياً أشجار الجيتروفا:
٩٧	١١. الأعمال الهندسية اللازمة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة

أولاً: تكنولوجيا المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي

١. مقدمه

ليس هناك أي شك من أي أعمال تجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي ثم التخلص من السبب هي من أهم وأخطر خدمات البنية الأساسية لأي مدينة أو تجمع سكاني نظراً لقيامها بحماية الصحة العامة للمواطنين والمحافظة على البيئة من التلوث ولا يمكن تقدير قيمة ذلك من الناحية المادية، كما لا يمكن الحصول على كفاءة عالية من العلاج بالرغم من الأموال الكثيرة المنصرفة دون إدارة حازمه وتشغيل ممتاز وصيانة مستمرة سواء لشبكات التجميع وملحقاتها وأيضاً لمحطات المعالجة وأعمال التخلص من الفائض (مياه صرف صحي معالجة) والاستفادة منه.

الغرض الأساسي من المعالجة الابتدائية والثانوية البيولوجية لمياه الصرف الصحي كما أسلفنا هو إزالة مواد التلوث الرئيسية ومن أهمها المواد العضوية المستهلكة للأكسجين والتي تقاس بـ (BOD لاحتياج الأكسجين الحيوي) وكذلك العمل على حجز وإزالة الجوامد عالقة الصلبة (SS).

ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي والتي تحتوى على معالجة ثانوية (بيولوجية) في الغالب لها القدرة على إعطاء كفاءة عالية تصل إلى أكثر من ٩٥% وإزالة للمواد الملوثة وبالتالي فإن فائض مياه الصرف الصحي المعالجة (السبب) يحتوى على ٢٠ ملجم/لتر احتياج أكسجين حيوي و ٣٠ ملجم/لتر جوامد عالقة ومواد عالقة صلبة ويسمى هذا المحتوى لمواد التلوث باختصار (٢٠ : ٣٠) بالترتيب.

وقد يتطلب الأمر في بعض الحالات الحصول على فائض ذو نوعية أفضل وتركيز أقل من (٢٠ : ٣٠) والمصرح به في قوانين حماية البيئة قبل الصرف على المسطحات المائية، وهذا التركيز مرتبط ارتباطاً وثيقاً بمعدل التخفيف بنسبة ٨ : ١ اعتماداً على أن التركيز المسموح به في المسطح المائي لا يتعدى ٤ - ٥ ملجم/لتر وعندما يكون معدل التخفيف المتاح في حدود ١ : ١ فإن فائض محطات المعالجة (السبب) يجب أن لا يحتوى على أكثر من ١٠ ملجم/لتر جوامد عالقة حتى يبقى المسطح المائي في حالته الطبيعية العذبة.

وبالتالي يجب أن لا يحدث شك في فهم المعالجة الثلاثية (Tertiary treatment) من أنها معالجة متقدمة الغرض الأساسي منها هو إزالة ما تبقى من المواد الذائبة ومن أهمها النشادر والنترات والفوسفات حتى يمكن السماح باستعمال السبب في الأغراض المختلفة مع التأكد بأن المعالجة الثلاثية لا يمكن استخدامها عندما لا تستطيع محطات معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية (معالجة ابتدائية ومعالجة بيولوجية) من الوفاء للوصول إلى الكفاءة العالية من العلاج والتي تعطى نسب التركيز المطلوبة لمواد التلوث في مياه الصرف الصحي التقليدية (معالجة ابتدائية ومعالجة بيولوجية) من الوفاء للوصول إلى الكفاءة العالية من العلاج والتي تعطى نسب التركيز المطلوبة لمواد التلوث في مياه السبب طبقاً لقوانين حماية البيئة فإن هذا الفهم خاطئ لأن المعالجة الثالثة صالحة فقط للتعامل (معالجة) مع سبب بدرجة جيدة من

النقاوة والذي يمكن الحصول عليه من المعالجة البيولوجية، ولهذا يجب الفهم بأن المعالجة الثالثة مفيدة بل وضرورية في تحسين خصائص المياه المعالجة لكنها في الوقت نفسه لا تقدر على تحويل مياه الصرف الصحي المعالجة بدرجة رديئة والأقل كثيراً من المعدلات المفترضة في التصميم إلى درجة جيدة إلا أنه يمكن للمعالجة الإضافية تحسين خصائص السيب عند زيادة المواد العالقة مؤقتاً في المياه المعالجة ثانوياً (بيولوجياً) مما يفيد محطات المعالجة الصغيرة ذات التصرفات الواردة الغير مستقرة أو محطات المعالجة التي تعمل بأكثر من طاقتها.

٢. الغرض من المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجياً

إن الغرض الأساسي من المعالجة الثلاثية هو الحصول على أعلى كفاءة لإزالة المواد الملوثة والمتبقية في السيب بعد المعالجة البيولوجية، ويمكن تلخيص ذلك كما يلي:

١. إزالة ما تبقى من المواد العالقة (العكارة - الجوامد) سواء كانت عضوية أو غير عضوية.

٢. تقليل الاحتياج الأكسجيني الحيوي.

٣. إزالة ما تبقى من المواد العضوية الذائبة (مركبات النيتروجين والفوسفور).

٤. إزالة ما تبقى من اللون والرائحة.

٥. إزالة الأملاح المعدنية الذائبة في السيب.

٦. الوصول إلى درجة عالية في معالجة السيب.

٧. إزالة جزء كبير من البكتيريا والتأكد من إبادة البكتيريا الممرضة جميعها.

وبمعرفة خصائص المواد الملوثة الموجودة في فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي يمكن معرفة التكنولوجيا المطلوبة للعلاج لإزالة مثل هذه المواد الملوثة المتبقية بصورة شاملة وكما هو موضح بالجدول رقم (١).

والجدول رقم (٢) يوضح باختصار الغرض من وحدات المعالجة الثلاثية وتأثيرها على خصائص الفائض النهائي (السيب).

٣. تكنولوجيا المعالجة الثلاثية لفائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي

يتوقف اختيار نوع المعالجة الثلاثية (الإضافية) لمياه الصرف الصحي والوحدات المكونة لها على درجة العلاج المطلوبة واشترطات ومعايير صرف فائض المياه المعالجة على المسطحات المائية وأيضاً مع قوانين حماية البيئة من التلوث ومنع انتشار الأمراض والمحافظة على الصحة العامة وكذلك إمكانية إعادة استخدام (تدوير) تلك المياه المعالجة، وتوجد طرق تكنولوجيا كثيرة يمكن استخدامها في المعالجة الثلاثية (الإضافية) لمياه الصرف الصحي والشكل رقم (١) يوضح العلاقة بين حجم المواد المسببة للتلوث وطرق المعالجة المناسبة لإزالتها وهي كما يلي:

١. الترسيب في أحواض المروقات ذات اتجاه السريان لأعلى.
٢. الترسيب باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة (الترويب والتجلط ثم الترسيب).
٣. الترشيح بالمرشحات المختلفة.
٤. وحدات المعالجة البيولوجية بأحواض التهوية بغرض التأزت (النترته أو النترجه).
٥. وحدات إزالة الأملاح (التبادل الأيوني - النتج الإسموزى - التحليل الكهربائي).
٦. وحدات التعقيم (المعالجة بالكلور - أو الأوزون).

جدول رقم (١) العلاقة بين حجم المواد المسببة لتلوث المياه وطرق المعالجة

اسم طريقة المعالجة المستخدمة	مواد مترسبة - ومواد طافية (مواد سهلة الترسيب)						مواد عالقة (صعب ترسيبها)		مواد ذائبة		تصنيف ونوعية الملوثات في مياه الصرف الصحي
	مواد طافية	رمال			طفله	طين					
		خشن	متوسط	ناعم							
	٥١٠ - ٤١٠	٣١٠	٢١٠	١٠	١	١-١٠	٢-١٠	٣-١٠	٤-١٠	٥-١٠	الحجم بالميكرون (*)
معالجة كيميائية									تحليل كهربائي ضغط أسموزي تحويل أيوني إزالة الأملاح الذائبة		نظم العلاج المقترحة للمواد الغير مترسبة
									استخدام الغازات لتحويل الأملاح الذائبة إلى مواد يمكن ترسيبها وفصلها		
					استخدام الأملاح المتجلطة للمساعدة في ترسيب المواد العالقة صعبة الترسيب			ترسيب كيميائي باستخدام أملاح كيميائية لترسيب			

					والمترسبة دقيقة الحبيبات				الأملاح الذائبة	
معالجة طبيعية	الترشيح أو المصافي الدقيقة									نظم العلاج المقترحة لإزالة المواد الملوثة العالقة العضوية والغير عضوية
	الترسيب أو التعويم									
	المصافي									
معالجة بيولوجية					المعالجة البيولوجية باستخدام الكائنات الحيه (البكتريا) سواء الهوائية أو اللاهوائية				نظم العلاج المقترحة لإزالة المواد الملوثة العضوية	

* الميكرون ١/١٠٠٠ من المليمتر.

- ملحوظة: الأجزاء المظلمة داخل الجدول هي النظم الشائعة الاستخدام في معالجة مياه الصرف الصحي.

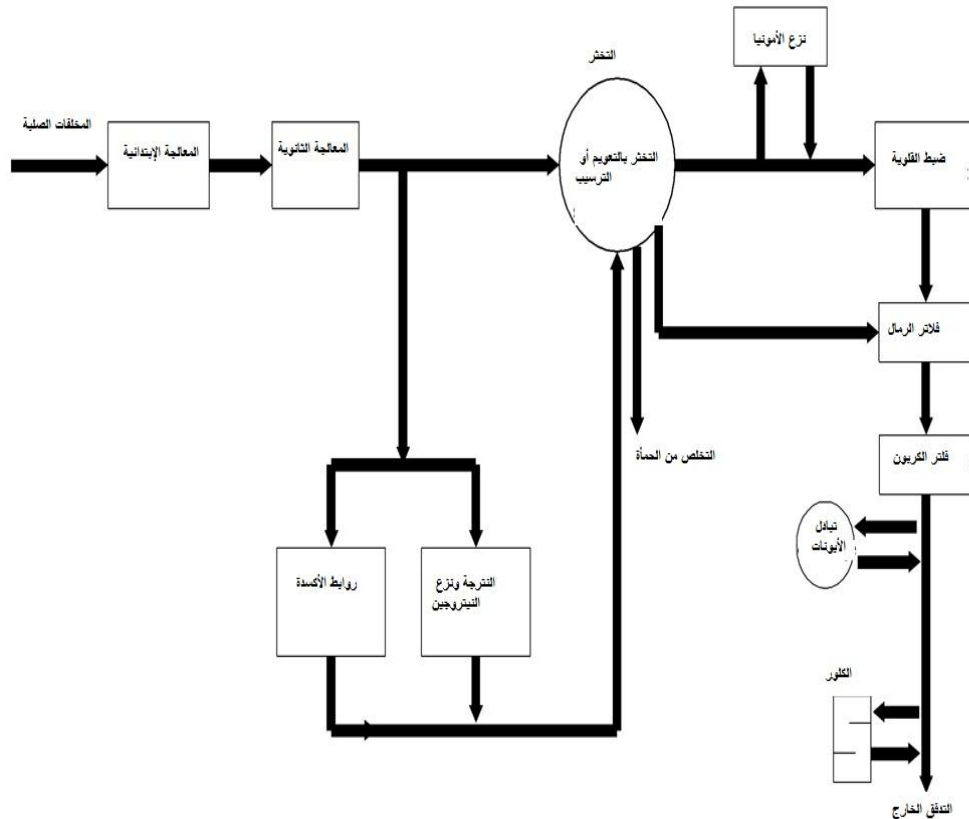
جدول رقم (٢) التكنولوجيا الأساسية للمعالجة الثلاثية بعد المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي وتأثيرها على خصائص السيب النهائي

م	وحدات المعالجة الثلاثية (الإضافية)	الغرض الأساسي للمعالجة الثلاثية الإضافية	التأثير على خصائص السيب والمتطلبات الخاصة
١.	المرشحات بأنواعها	إزالة المواد العالقة SS	نتيجة إزالة المواد العالقة يحدث تقليل في الـ BOD و COD و PO_4
٢.	المرشحات بعد الترسيب بمساعدة المواد الكيميائية المتجلطة	إزالة المواد العالقة SS إزالة المركبات الفسفورية إزالة اللون - إزالة العكارة	بالإضافة إلى ما ذكر في المرشحات بأنواعها يتم إزالة العوالق الدقيقة الصعب ترسيبها وترشيحها
٣.	لترسيب بمساعدة المواد الكيميائية المتجلطة	إزالة اللون - إزالة العكارة - إزالة المركبات الفسفورية	نتيجة إزالة العوالق يحدث تقليل في الـ BOD و COD
٤.	الاستخلاص بالهواء (التهوية)	إزالة النيتريت	يحتاج رفع درجة pH
٥.	وحدات التآزت ثم إزالة التآزت	إزالة النيتروجين	يتم تقليل الـ BOD
٦.	الامتصاص (الامتزاز) بالكربون	إزالة الـ COD إزالة الـ TOC	يتم إزالة اللون المتبقي وتقليل في المواد العالقة
٧.	التبادل الأيوني	إزالة الـ TDS و N و PO_4	تختلف نتيجة العلاج بتغير الوسيط التبادلي
٨.	النتح الأسموزي	إزالة المواد العضوية والغير عضوية المذابة	يحتاج إلى معالجة مسبقة لتقليل المواد العالقة لتجنب انسداد الأغشية.
٩.	التحليل الكهربائي	إزالة الأملاح المعدنية (الغير عضوية)	يحتاج إلى معالجة مسبقة لتقليل المواد العالقة

٤. تكنولوجيا إزالة المواد العالقة في المعالجة الثلاثية

المواد العالقة بفائض محطات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة كما سبق ذكره قد تكون عضوية أو غير عضوية وتتسبب في العكارة واللون والرائحة وتنمو عليها البكتريا والكائنات الحية الدقيقة مما يلوث المسطحات المائية التي يصب فيها السيب، ولذلك يجب التأكد من إزالة هذه المواد العالقة من الفائض بعد إتمام المعالجة الثلاثية. وتوجد طرق كثيرة يمكن إتباع إحداها في إزالة المواد العالقة بأعمال المعالجة الثلاثية (الإضافية) لمياه الصرف الصحي المعالجة، ومن أهمها ما يلي:

١. الترسيب بمساعدة المواد الكيميائية المتجلطة.
٢. التعويم بمساعدة المواد الكيميائية المتجلطة.
٣. المصافي الدقيقة (الميكرو سترينر).
٤. المرشحات بأنواعها.
٥. بحيرات الأكسدة.
٦. الترسيب في الأحواض ذات القاع الحصى.

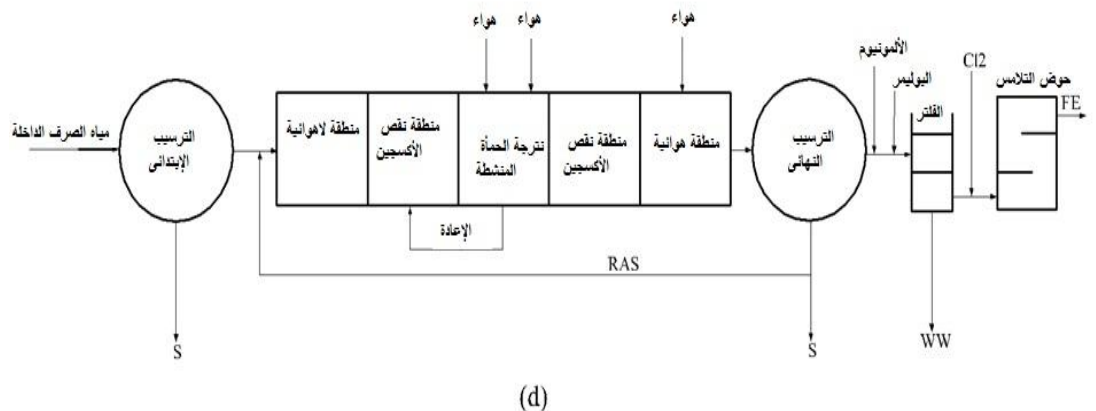
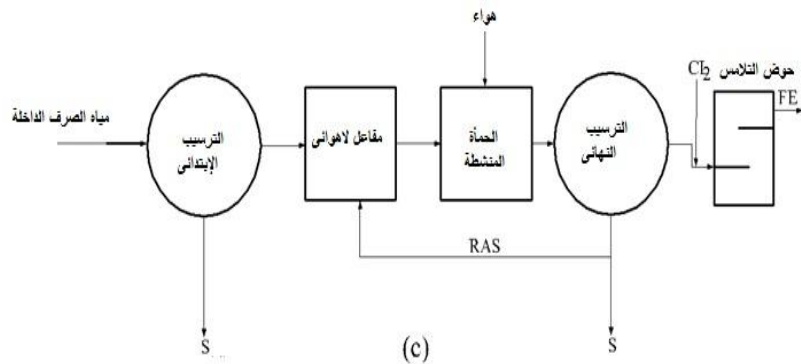


شكل رقم (١) خطوات المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي

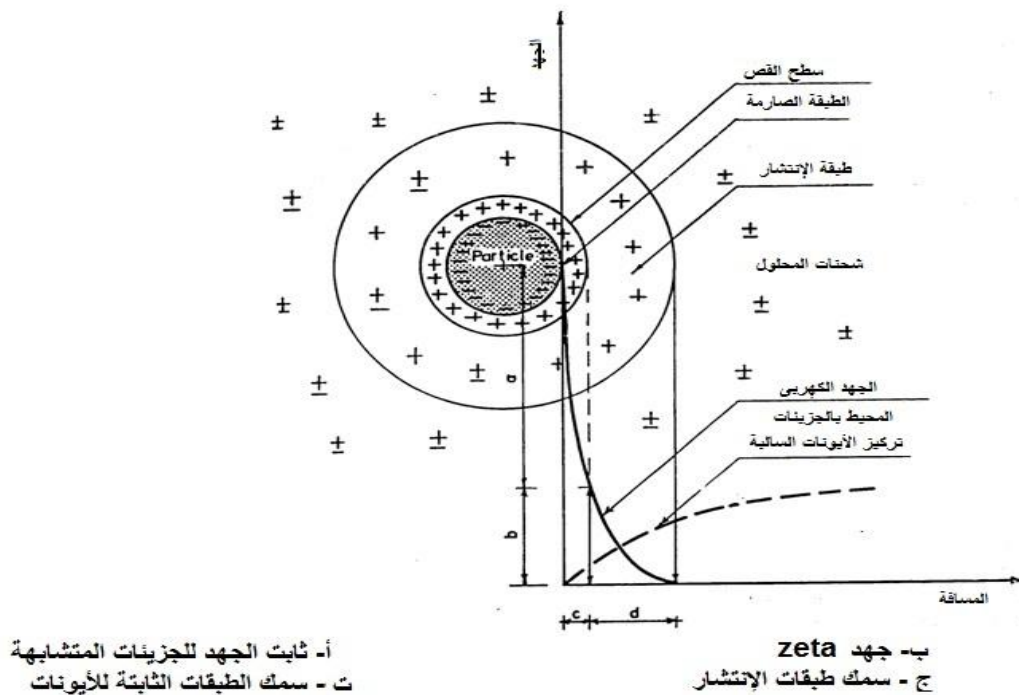
الترسيب باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة

الغرض الأساسي من تكنولوجيا الترسيب باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة هو رفع نسبة إزالة المواد العالقة الدقيقة وكذلك تحسين نسبة إزالة الاحتياج الأكسجيني الحيوي والفسفور من فائض المعالجة (السيب) ويتم ذلك في أحواض منفصله بعد إتمام المعالجة البيولوجية وعند إضافة المواد الكيميائية (المتجلطات) للسيب تتفاعل مع المواد العالقة مكونة أكاسيد الهيدروكسيد الهلامية الشكل (الندف) وأثناء عملية الترويب والتجلط يحدث كذلك تعادل الشحنات الكهربائية السالبة السطحية مع الشحنات الموجبة لأملاح الترويب ثم تجمع المواد العالقة الدقيقة في صورة ندف وتصبح ذو حجم ووزن كبير مما يساعد على سهولة ترسيبها كما هو موضح بالشكل رقم (٣).

ويتم مزج المادة المتجلطة (كبريتات الألومنيوم أو كلوريد الحديد أو كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحديد.... إلخ) سريعاً ثم تقلب بعد ذلك ببطء لتساعد في تكوين الندف قبل الترسيب ويمكن استخدام مواد البوليمر (النالكو) مع المواد الكيميائية المتجلطة بغرض تقليل الجرعات المضافة وتتوقف جرعة المواد الكيميائية اللازمة طبقاً لكمية الندف المطلوب تكوينها ونسبة إزالة المواد العالقة ونسبة تقليل الاحتياج الأكسجيني الحيوي أو مركبات الفوسفور ويتم تحديد الجرعة معملياً طبقاً لكل حالة واستخدام جرعات من المواد الكيميائية المتجلطة أزيد من المطلوب قد يتسبب في تسمم الكائنات الحية الدقيقة أو أحادية الخلايا أو الحيوانات الموجودة في المسطحات المائية المنصرف عليها السيـب وتتم عملية إضافة المواد الكيميائية المتجلطة سواء بالطريقة الجافة أو بالطريقة الرطبة وكما هو موضح بالشكل رقم (٣).



شكل رقم (٢) خطوات المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي



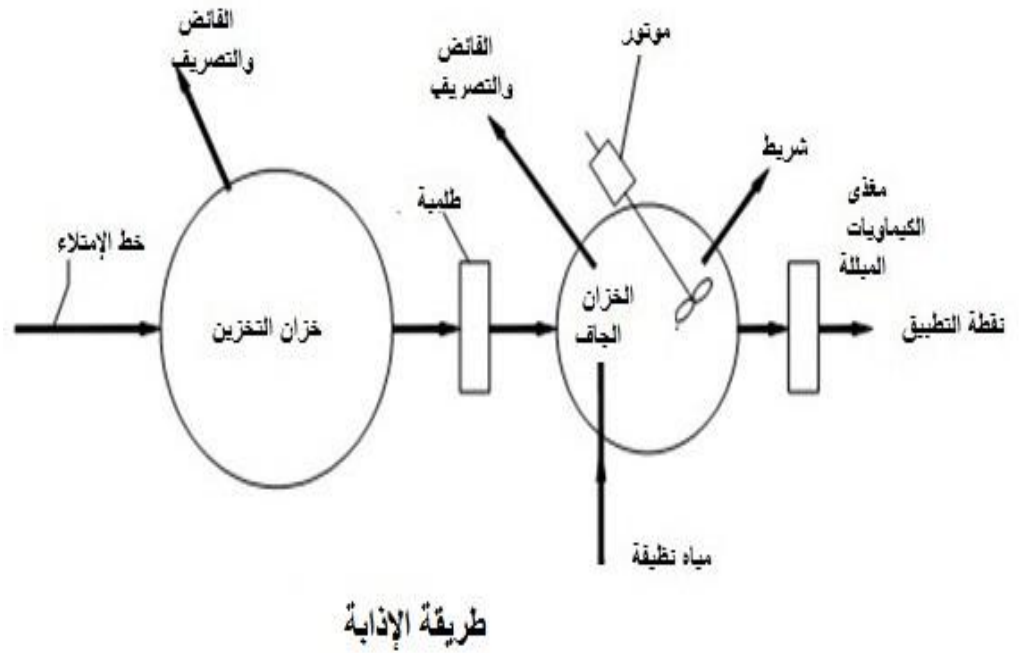
شكل رقم (٣) عمليات التجلط الكيميائي للمواد العالقة في المعالجة الثلاثية (الإضافية) لمياه الصرف الصحي.

ويجب أن يتم المزج السريع للمواد الكيميائية عند نقطة الإضافة بكفاءة عالية وأيضاً إجراء عملية التقلب البطيء ثم عملية التجلط قبل الترويق كل ذلك ضروري للحصول على أحسن النتائج، نظراً لأن عملية التجلط تتم في عدة دقائق إلى نصف ساعة حيث تتفاعل المواد الكيميائية مع المواد المسببة للقلوية فينتج أملاح الهيدروكسيد الغير قابلة للذوبان والمكونة للندف وإذا كانت نسبة القلوية غير كافية فإنه يمكن إضافة الجير أو كربونات الصوديوم بكميات مناسبة، والشكل رقم (٤) يوضح تأثير المحاليل الكيميائية في عمليات التجلط.

وتصل نسبة إزالة المواد العالقة الدقيقة إلى ٨٠% كما أن تقليل الاحتياج الأكسجيني الحيوي إلى ٦٥% وينتج من وحدات الترسيب باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة كميات كبيرة من الحمأة التي قد تسبب مشاكل في التعامل معها أو التخلص منها.

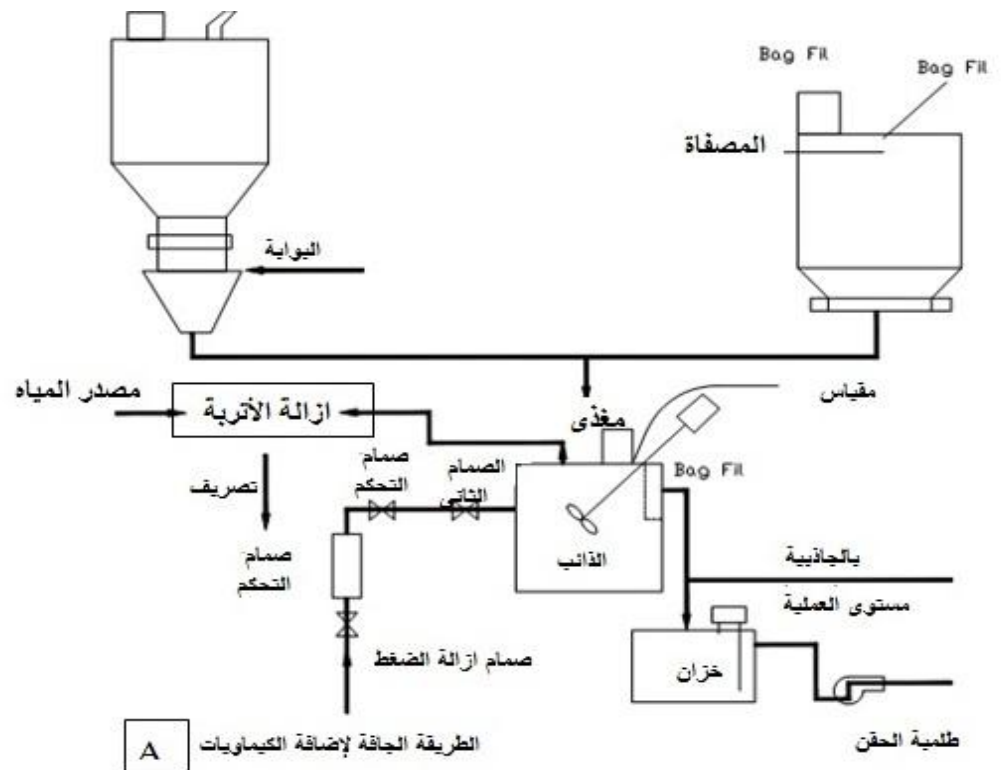
كما أن المنشآت اللازمة لهذا النظام تتكون من مخزن للمواد الكيميائية المتجلطة (الأساسية والمساعدة) وأحواض إضافة المواد الكيميائية وشبكة مواسير التغذية ونظام التحكم وحوض المزج السريع والمروب وحوض الترسيب.

الشكل رقم (٥) يوضح تفاصيل حوض ترسيب وبداخله حوض الترويب (التجلط)، أما الشكل رقم (٦) فيوضح حوض ترسيب حديث وبداخله حوض للترويب ويستخدم الهواء المضغوط في المساعدة على الإسراع في تكوين الندف.



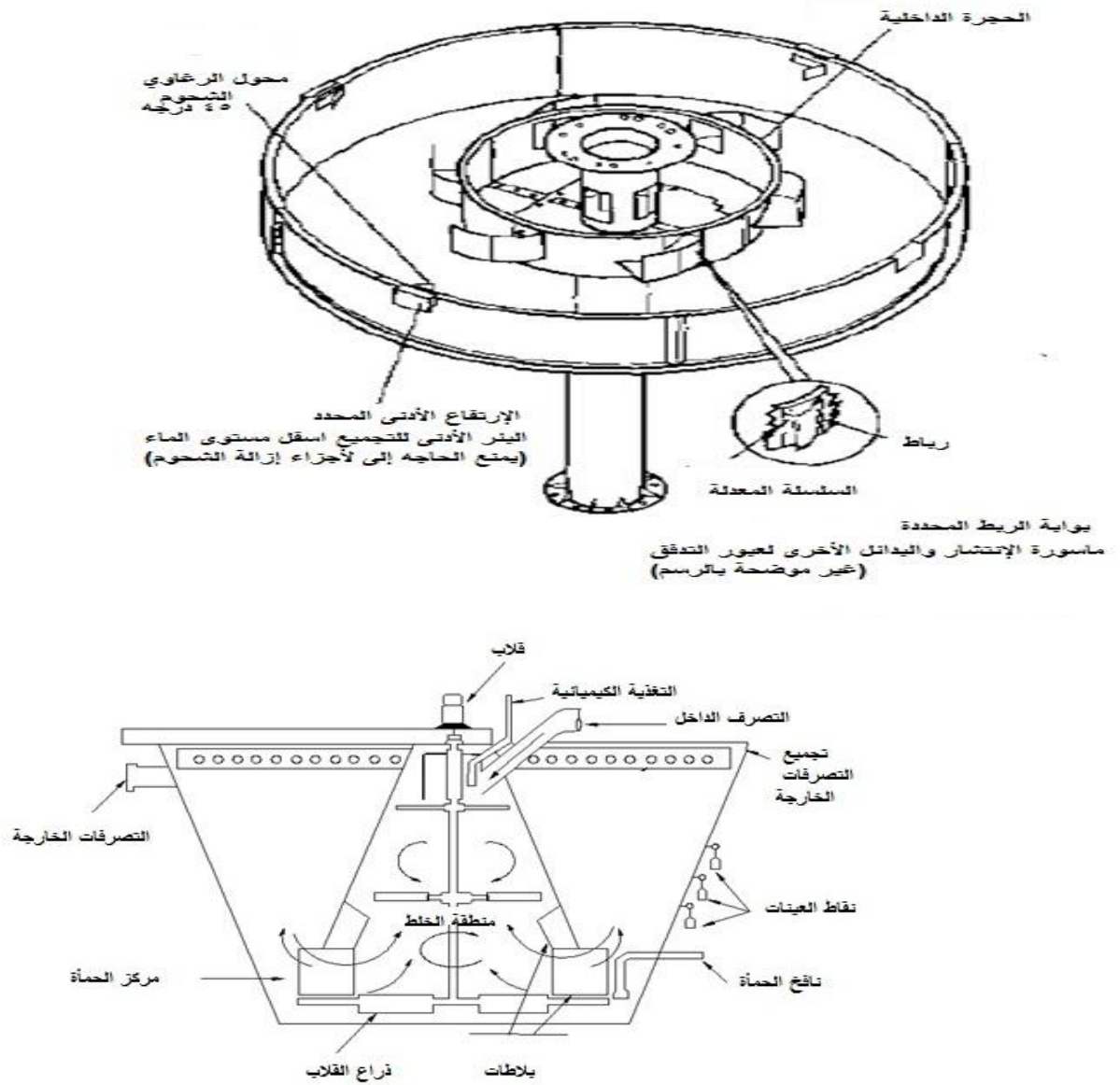
شكل رقم (٤) طريقة إضافة

المواد الكيميائية المتجلطة في المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي

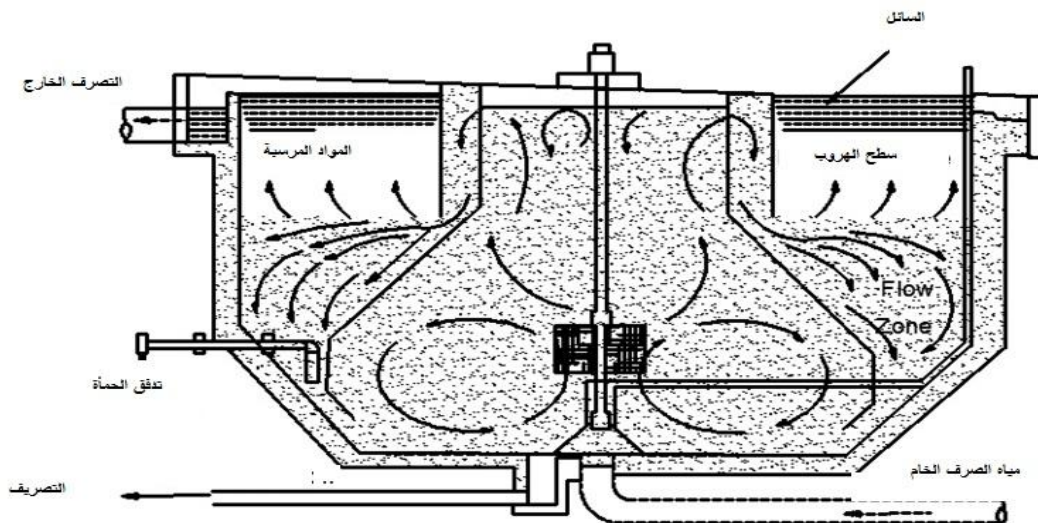


(A) الطريقة الجافة (إضافة المواد الكيميائية على هيئة بودر)

(B) طريقة الإذابة (إضافة محاليل مذاب بها المواد الكيميائية)



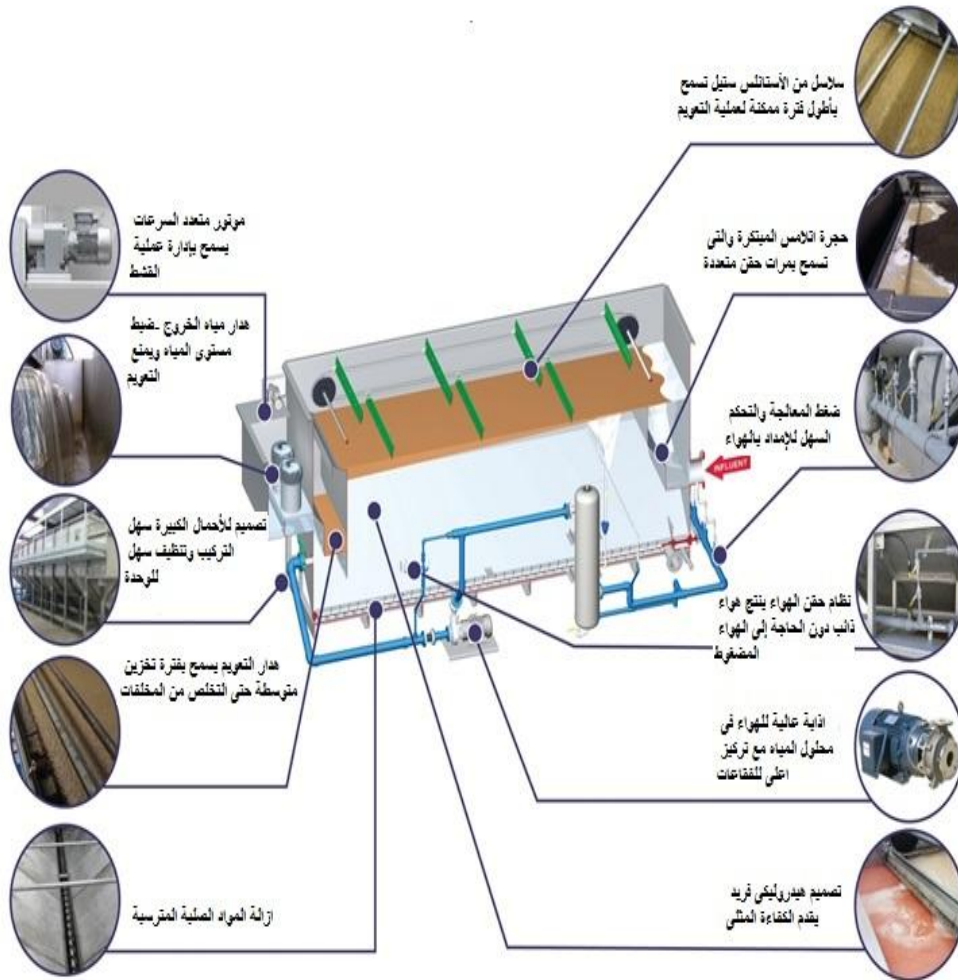
شكل رقم (٥) تفاصيل أحواض الترويب والترسيب وهدار الخروج في المعالجة الثلاثية



شكل رقم (٦) أحواض المروقات (ترويب وترسيب) الحديثة

التعويم باستخدام المواد الكيميائية المتجلطة

نظراً لصغر حجم المواد العالقة الموجودة في فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي وكذلك صغر الكثافة النوعية لها حيث أن معظم هذه المواد عضوية، وبالتالي تحتاج إلى وقت كبير لترسيبها حتى بعد إجراء عمليات التجلط الكيميائي لذلك استخدمت طريقة لتعويم تلك المواد وفصلها ويتم ذلك بإضافة خليط من المياه والهواء المضغوط بعد إجراء عمليات الإضافة والترويب كما هو موضح بالشكل رقم (٧)، ومن ثم تساعد الفقاعات الهوائية الدقيقة الحجم بتعويم المواد المتجلطة إلى سطح حوض التعويم والمجهز بالأجهزة اللازمة لكشط مثل هذه المواد والشكلين أرقام (٨)، (٩) يوضحان تفاصيل هذه الأحواض علماً بأن الوظيفة الأساسية للفقاعات الهوائية هي تعويم المواد العالقة إلا أنها تساعد في أكسدة المواد العضوية القابلة للأكسدة الذائبة وتحويلها إلى مواد عالقة هشة سهلة التعويم ومن ثم تعمل على رفع كفاءة إزالة المواد العالقة وكذلك الاحتياج الأكسجيني الحيوي.



شكل رقم (٧) تفاصيل أحواض التعويم لمساعدة المواد المتجلطة

المصافي الدقيقة (الميكروسترينر)

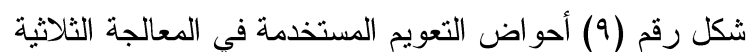
تستخدم المصافي الدقيقة بعد المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي لإزالة ما تبقى من المواد العالقة ويتوقف اختيار المواصفات الفنية للمصافي الدقيقة بعد معرفة حجم ونوعية المواد العالقة المراد إزالتها، والأشكال أرقام (١٠)، (١١)، (١٢) يوضح تفاصيل المصافي الدقيقة، وتصنع المصافي الدقيقة من مواد متينة تقاوم تأثير مياه الصرف الصحي وتتراوح أبعاد الفتحات بين ٢٠ - ٣٥ ميكرون ولا يزيد معدل التصريف عن ٥ جالون/دقيقة لكل متر ٢ (٣,٤٠ لتر/ثانيه لكل متر ٢)، علماً بأن المساحة الفعالة للمصافي الدقيقة هي الجزء المغمور منها فقط. ويتم غسيل المصافي الدقيقة برزاز من المياه النقية بضغط لا يقل عن ٦٠ رطل على البوصة المربعة (٤,٢٢ كجم/سم ٢) وبمعدل ٨ جالون في الدقيقة لكل قدم طولي (١,٦٦ لتر/متر طولي/ثانية)، ويمكن استخدام الفائض بعد أعمال المعالجة الثلاثية كمياه للغسيل وتمثل مياه الغسيل ١٥% من التصرف التصميمي للمحطة.

الترشيح

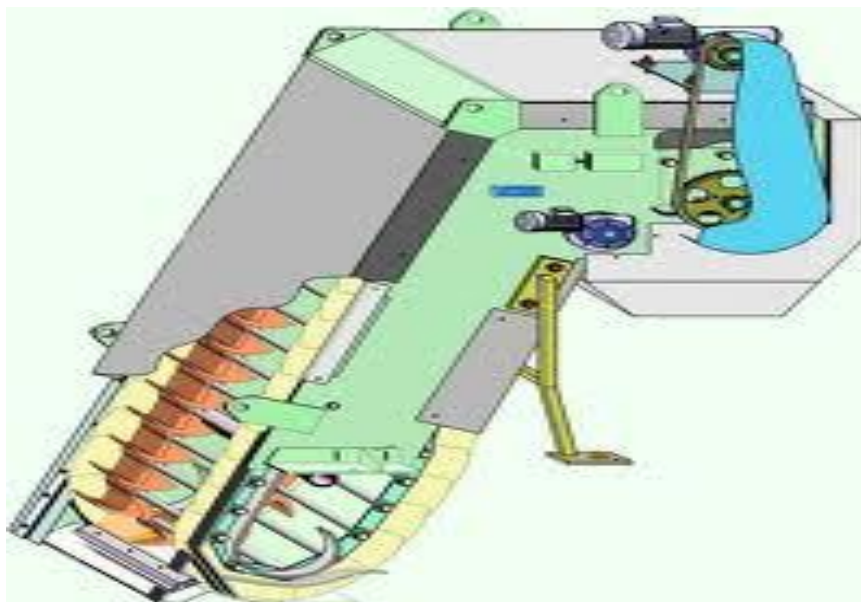
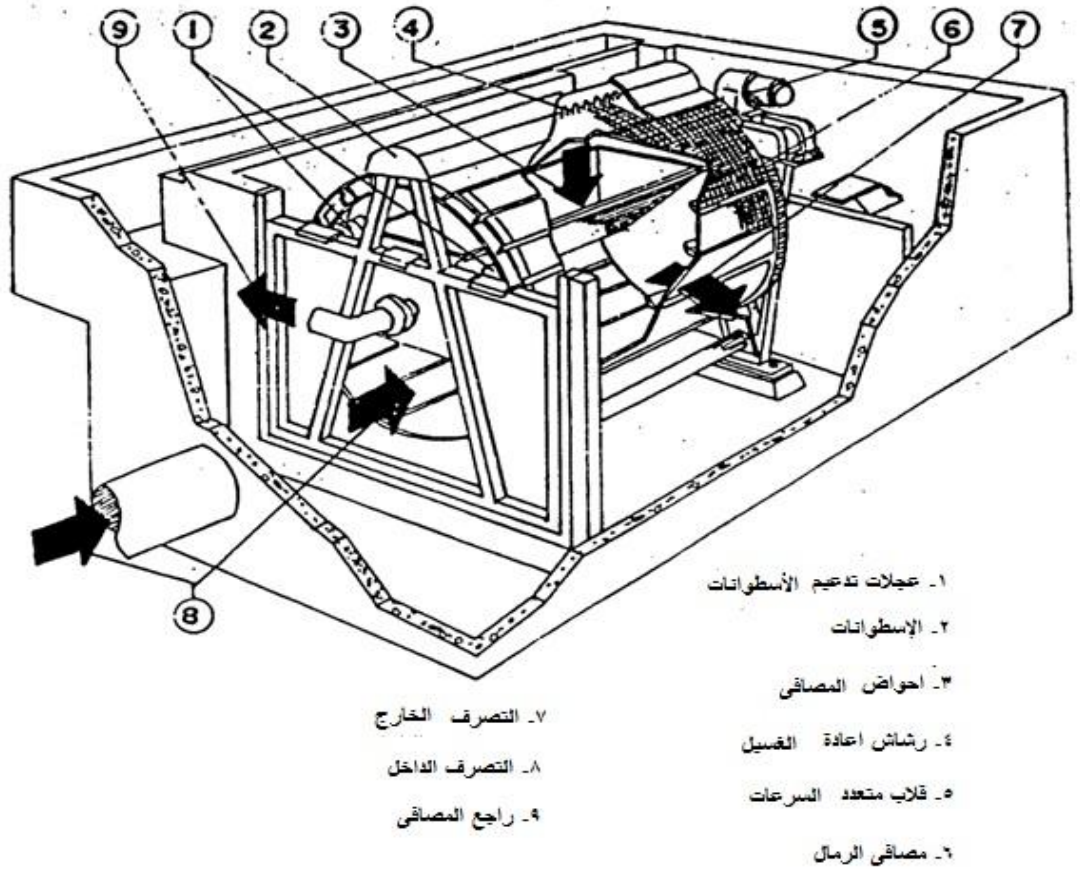
تستعمل المرشحات في المعالجة الثلاثية (الإضافية) لمياه الصرف الصحي إما منفردة أو مع طرق أخرى، وغالباً تستعمل بعد المعالجة البيولوجية أو الكيميائية حيث تحجز المواد العالقة الدقيقة سواء العضوية أو الغير عضوية المتبقية بعد أحواض الترسيب.

وجزاء كبير من البكتريا (حوالي ٥٠% من الـ E-COLI) يمكن إزالته بالإضافة إلى إزالة جزء صغير من النشادر والمحتوى الأكسجيني الحيوي الممتص حيث أنه ما زال هناك فرصة لحدوث تفاعل بيولوجي على جسم المرشح مما يقلل نسبة المواد العضوية الذائبة المتبقية، وكذلك تقليل نسبة أملاح الحديد والمنجنيز وبعض المركبات الكيميائية والغير عضوية المختلفة، علماً بأن تواجد هذه المركبات في مياه الصرف الصحي تختلف باختلاف نوعية مصدر مياه الشرب (مياه أمطار - مياه سطحية - مياه جوفية).

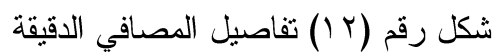
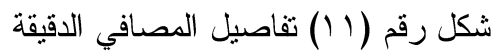
The diagram illustrates the complex piping and equipment used in a wastewater treatment facility. It includes labels for various tanks, pumps, and flow paths, such as 'خط التفريغ' (discharge line), 'المياه الخارجة جزئياً' (partially outgoing water), 'Recycled substatant', 'توصيلات الإعادة' (recycling connections), 'الخزان الإبتدائي' (primary tank), 'محطة الضخ' (pump station), 'خزان الضغط' (pressure tank), 'هواء' (air), 'مواد صلبة المترسبة' (settled solids), 'صمام التحكم في الضغط' (pressure control valve), 'خط التغذية بمياه الصرف الداخلة' (inlet line for domestic sewage), 'الكيمائيات' (chemicals), 'خزان خلط الكيمائيات' (chemical mixing tank), 'مجمع الصمام السفلى' (lower valve assembly), 'خزان الخلط' (mixing tank), and 'خط التفريغ' (discharge line).



وعند إجراء عمليات الغسيل والنظافة بصفة مستمرة للمرشحات فإن كفاءة المعالجة الثلاثية لفائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي تصل نسبة إزالة المواد العالقة المتبقية إلى أكثر من ٦٠% وتصل نسبة تقليل الاحتياج الأكسجيني الحيوي الحقيقي إلى ٤٠%.



شكل رقم (١٠) تفاصيل المصافي الدقيقة



وبناء على نوعية فائض مياه الصرف الصحي بعد المعالجة الإضافية المطلوبة ومع الأخذ في الاعتبار النواحي الفنية (التكنولوجيا) والاقتصادية فإنه يمكن استخدام أحد المرشحات وهي كما يلي:

- مرشحات ذات اتجاه سريان المياه فيها إما إلى أسفل أو إلى أعلى.
- مرشحات ذات الاتجاه الدائري للمياه.
- مرشحات ذات وسط ترشيحي متعدد الأنواع.
- مرشحات ذات وسط ترشيحي متحرك.

وتختلف مواد الوسط الترشيحي لهذه المرشحات كما هو موضح بالأشكال أرقام (١٣)، (١٤)، و(١٥)، وأحسنها ما كانت مواد متوفرة في الطبيعة وسهلة الاستعمال ولا تتفاعل مع فائض مياه الصرف الصحي والتي تفي بالغرض المطلوب وهي إما مواد طبيعية مثل الرمل والزلط والفحم وكسر الحجارة أو مواد صناعية مثل البلاستيك وناتج خبث الأفران ومجروش الزجاج.

والغرض الأساسي من المرشحات الرملية شائعة الاستخدام هو إزالة ما تبقى من المواد العالقة وحجز جزء كبير من البكتيريا كما تقل نسبة المواد العضوية الذائبة ونسبة أملاح الحديد والمنجنيز إذا كان عمق الرمل أكبر من ٦٠ سم أما في حالة تزويد المرشحات الرملية بطبقة من الفحم أو إضافة مرشح جديد من الفحم الحبيبي فمثل هذا يمكن أن يزيل ما تبقى من اللون والرائحة من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

أنواع المرشحات الرملية

توجد ٧ أنواع من المرشحات الرملية بغرض إزالة المواد العالقة المتبقية في مياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجيا ويمكن وصفها كما يلي:

أولاً: المرشحات بطيئة المعدل:

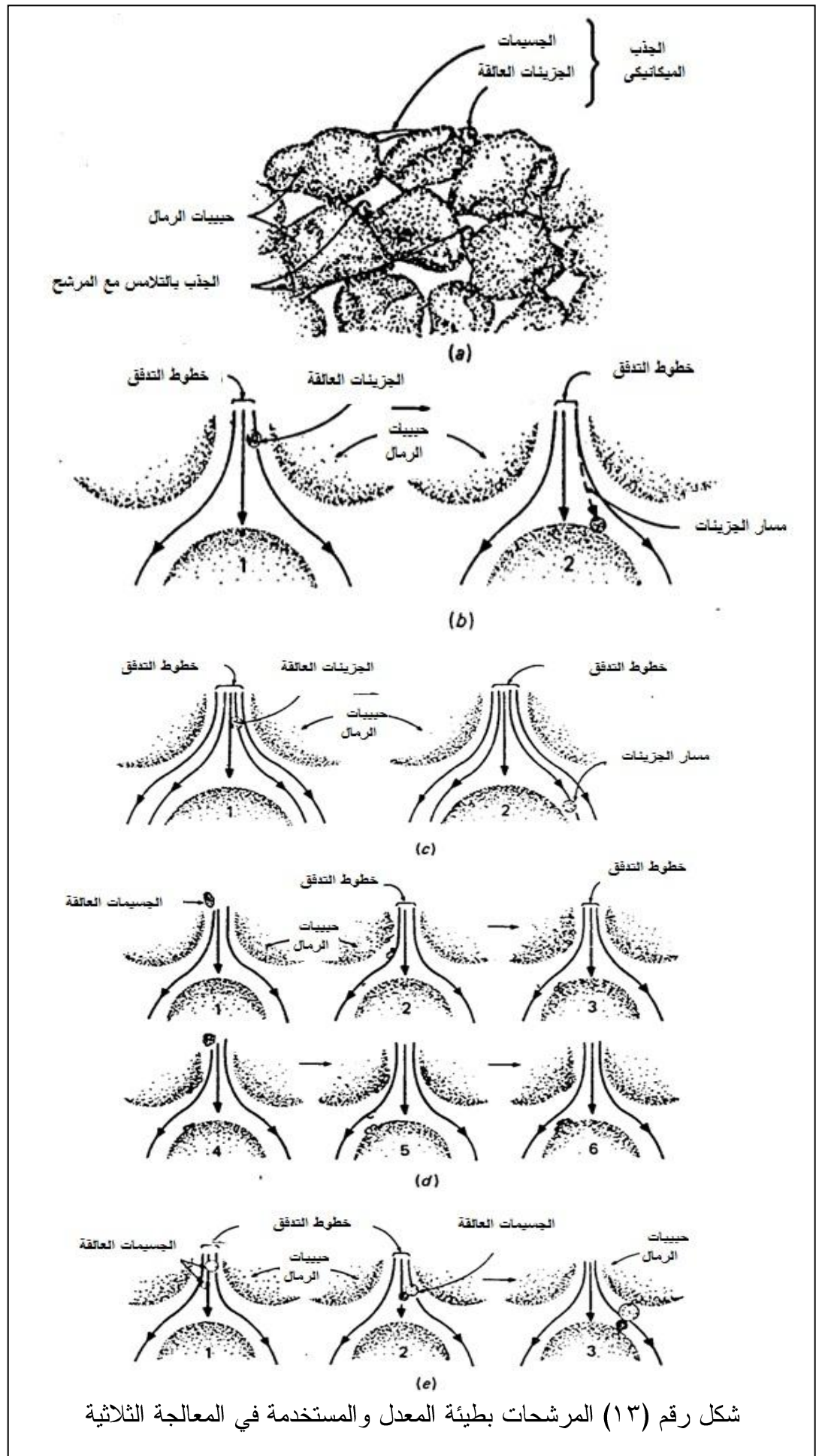
تعتبر المرشحات بطيئة المعدل مناسبة لعمليات المعالجة الصغرى نظراً لصغر معدلات الترشيح بها حيث أنه يتراوح بين ٢ : ٣ (م^٣/متر مسطح/يوم) وعمق الوسط الترشيحي بها من ١٢ - ٣٠ بوصة (٣٠ - ٧٥ سم) والمرشح غالباً ما يكون من الرمل مرتكزاً على فرشاة من الزلط التي تعلو نظام التصريف السفلى وهو عبارة عن قنوات ذات ميول في قاعها مغطاه ببلاطات تسمح بمرور المياه فيما بينها وكما هو موضح بالشكل رقم (١٦) حيث سريان المياه من أعلى إلى أسفل وتعتمد تكنولوجيا الترشيح لهذا المرشح البطيء على نظرية تكوين طبقة رقيقة على كامل سطح الوسط الترشيحي

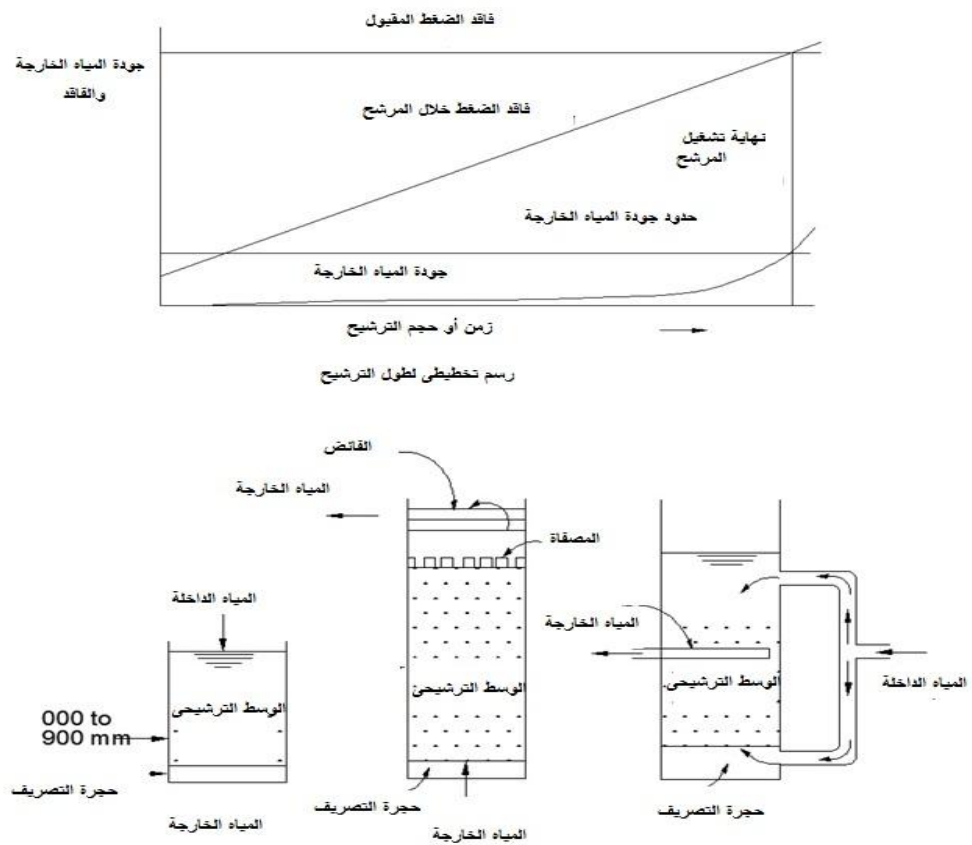
(الرملي) والذي يقوم بدور الوسادة لهذه الطبقة الرقيقة والذي يزداد سمكاً بمرور الوقت واستخدام المرشح وتتكون الطبقة من تراكم حجز المواد العالقة الموجودة في فائض محطات المعالجة البيولوجية.

وتقوم هذه الطبقة بجانب حجز المواد ذات الحجم الأكبر بلصق المواد العضوية وغير العضوية الدقيقة الحجم وتبدأ البكتيريا الملتصقة في تلك الحبيبات بالعمل مما يساعد على رفع كفاءة إزالة المواد العالقة إلى أكثر من ٧٠% ويستمر المرشح بكشط الطبقة الرقيقة والتي تتراوح سمكها عند ذلك من ٢ - ٣سم ثم يتم نظافة المرشح بكشط الطبقة الرقيقة السطحية ومعها بعض الرمال ثم يعاد استخدام المرشح مرة أخرى دون الحصول على مياه مرشح منه ويتم صرف الفائض في بداية الترشيح إلى مدخل محطة المعالجة وتعرف هذه الفترة بفترة إنضاج المرشح إلى أن يتم تكوين الطبقة الرقيقة بالترشيح وينتج الفائض بالكفاءة المطلوبة.

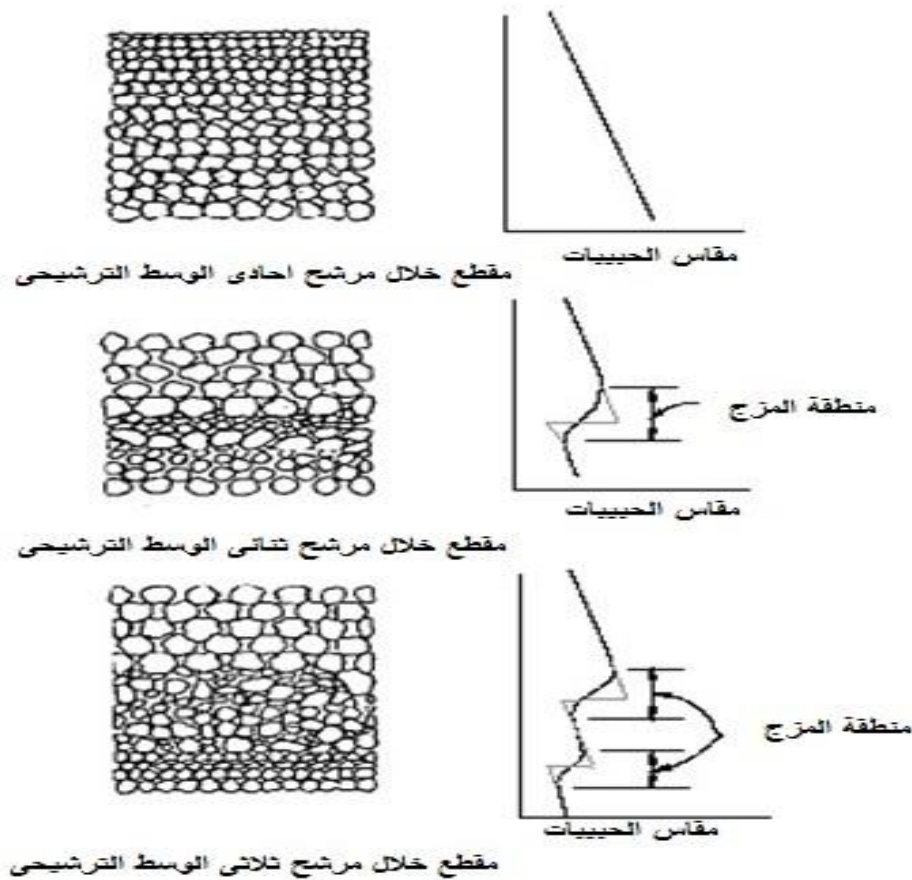
ثانياً: المرشحات سريعة المعدل:

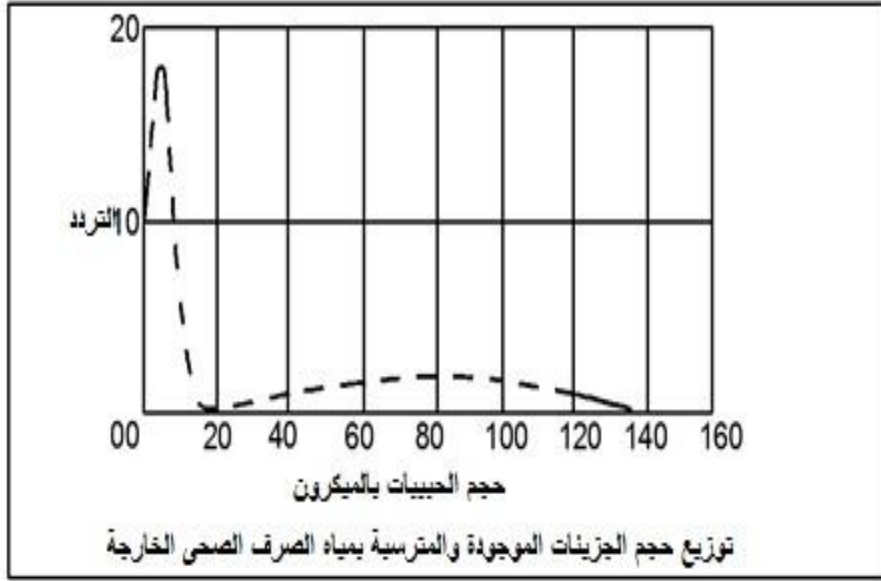
تتشابه هذه المرشحات مع المرشحات سريعة المعدل المستخدمة في تنقية مياه الشرب وهي مناسبة للاستخدام عندما توفر العمالة الفنية المدربة وتتراوح عمق طبقة الرمل من ٤٠-٦٠ بوصة (١,٠٠ - ١,٥٠متر) والقطر الفعال لحبيبات الرمل من ١ - ١,٢٥مم ويرتكز الرمل على قاع مزود بنظام للتصريف السفلي حيث أن اتجاه سريان المياه في هذا المرشح السريع أيضاً من أعلى إلى أسفل ونظام التصريف عبارة عن مجموعة من المواسير المثقبة ومركب عليها فونيات لتجميع المياه ومتصلة بماسورة التجميع الرئيسية والتي تخرج من المرشح ومركب على الماسورة المجمعة منظم للسماح بخروج تصريف ثابت.





شكل رقم (١٤) مرشحات سريعة المعدل ذات سريان المياه بالجاذبية أحادي وثنائي وثلاثي الوسط الترشيحي





شكل رقم (١٥) مرشحات سريعة المعدل ذات سريان المياه بالجاذبية آحادي وثنائي وثلاثي الوسط الترشيحي

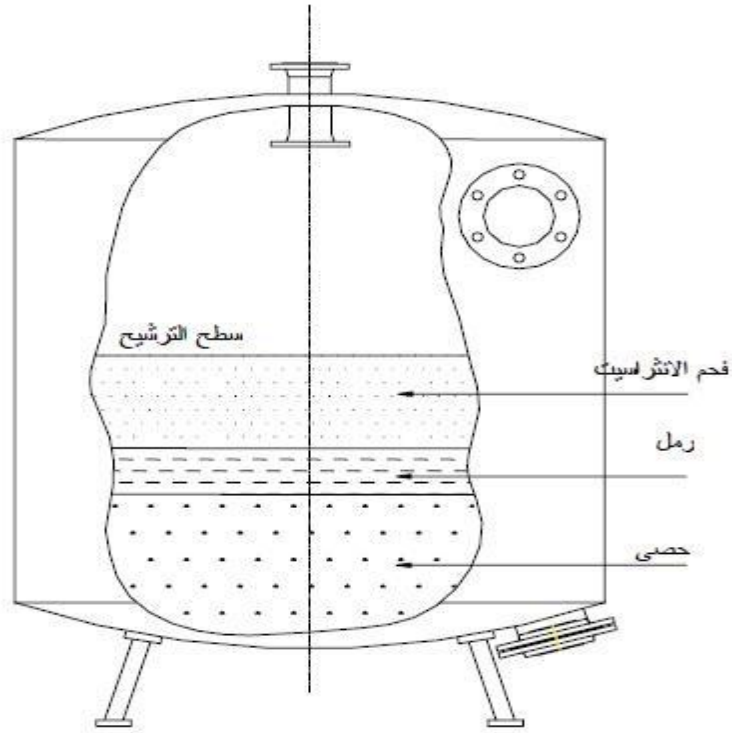
وكما هو مبين بالشكل رقم (١٥) والذي يوضح تفاصيل المرشح الرملي سريع المعدل ذو سريان المياه بالجاذبية احادي وثنائي ثلاثي الوسط الترشيحي وموضحة كذلك طريقة التشغيل والغسيل لمثل هذه النوعية من المرشحات. وتعتمد نظرية الترشيح في هذا المرشح على قيام الوسط الترشيحي بالعمل حيث تقوم حبيبات الرمل كمصفاة لحجز المواد العالقة الموجودة في الفائض وإذا لم يتم حجزها نظراً لصغر حجمها فتعمل الفراغات بين حبيبات الرمل كأنها أحواض ترسيب فيتم ترسيب المواد العالقة أو يتم التصاقها بحبيبات الرمل وجميع الظاهر (حجز، ترسيب، التصاق) تسمى ظواهر ميكانيكية ثم تقوم البكتيريا الملتصقة بحبيبات الرمل بإتمام التفاعلات البيولوجية فيتم تحويل بعض المواد العضوية العالقة الدقيقة أو الذائبة إلى مواد عالقة ذات حجم كبير أو على هيئة قشور يتم حجزها على الرمل أو تحويلها إلى عناصرها الأولية (غازات وماء) وتتكاثر البكتيريا فتتمو خلايا جديدة منها مما يساعد على رفع الكفاءة كما أن هناك ظاهرة أخرى وهي ظاهرة كهروكيميائية بين الشحنات

الموجبة والموجودة في أملاح الحديد والمنجنيز والشحنات السالبة الموجودة في المواد العالقة اللاصقة على حبيبات الرمل (الوسط الترشيحي) مما يساعد على إزالة جزء من أملاح الحديد والمنجنيز وعند تمام انسداد كافة الفراغات بين حبيبات الرمل يحتاج المرشح إلى الغسيل باستخدام الهواء والماء المضغوطين بضغط مناسب من أسفل المرشح ويتراوح فترة الهواء المضغوط من ٢-٥ دقائق حتى يمكن تفكيك حبيبات الرمل ثم يقوم الماء بتفوير الرمل، فيحدث احتكاك بين حبيبات الرمل فتسبب إزالة المواد العالقة اللاصقة والمترسبة بين الحبيبات وتمر مع مياه الغسيل إلى أن يتم تجميعها بواسطة هدارات موزعة توزيعاً جيداً أعلى من سطح الترشيحي وبحيث لا تسمح بمرور حبيبات الرمل مع هذه المياه وبعد إتمام عمليات الغسيل والتي تتراوح فترتها إلى ١٠ دقائق يتم السماح بإعادة الترشيح دون الحصول على المنتج

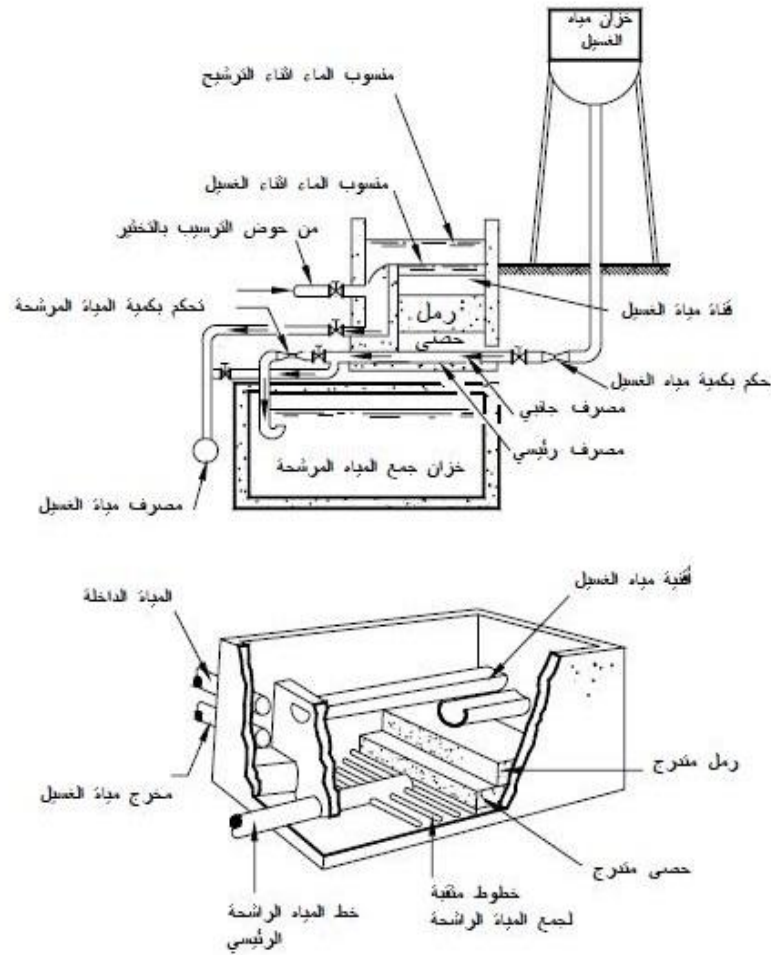
النهائي حتى يتم ترتيب حبيبات الرمل وتكوين الفيلم الرقيق حول كل الحبيبات وهي الفترة التي تعرف بفترة إنضاج المرشح وغالباً ما تتراوح بين ٢٠-٣٠ دقيقة ثم يعاد ترشيح المياه ويتم الحصول على الفائض وهناك أنواع أخرى من المرشحات الرملية سريعة المعدل وسريان المياه فيها تحت ضغط وكما هو موضح بالأشكال أرقام (١٦)، (١٧).

ثالثاً: المرشحات الرملية ذات اتجاه سريان المياه في الاتجاه الأعلى:

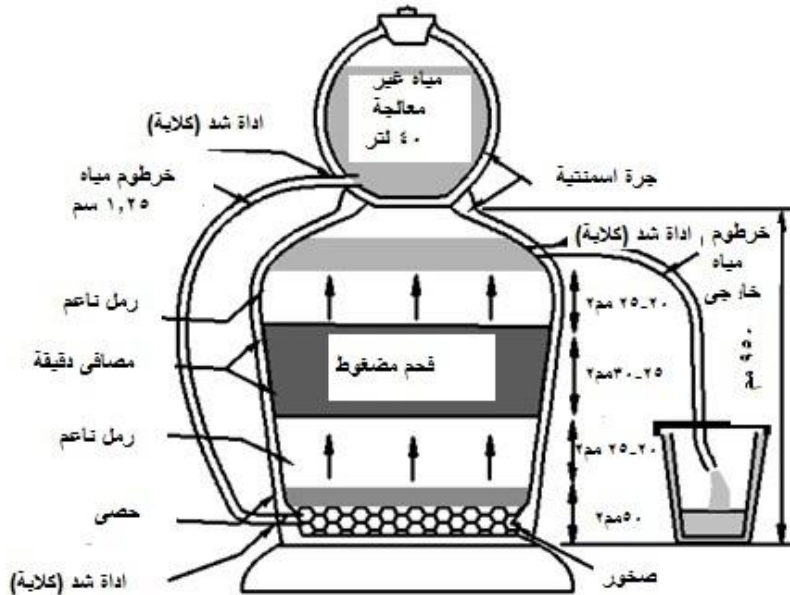
الترشيح في المرشحات الرملية ذات اتجاه سريان المياه إلى الأعلى تشابه إلى حد كبير عمليات غسيل المرشحات سريعة المعدل والمذكورة في البند السابق ونظراً للخصائص الميكانيكية لحركة ترسيب حبيبات الرمل فإن حجم الحبيبات في هذا المرشح تكبر كلما اتجهنا إلى أسفل المرشح، كما أن كل الوسط الترشيحي يعمل في إزالة المواد العالقة من المياه وجميع تفاصيل المرشح ذو اتجاه سريان المياه فيه إلى أعلى موضحة في الشكل رقم (١٨) ومعدل التحميل الهيدروليكي السطحي لهذا المرشح يصل إلى $400 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$ وبالإضافة إلى إزالة المواد العالقة بكفاءة عالية فإن هذا المرشح يرفع من كفاءة تأزت الفائض.



شكل رقم (١٦) تفاصيل المرشحات الرملية سريعة المعدل وسريان المياه فيها تحت ضغط



شكل رقم (١٧) تفاصيل المرشحات الرملية سريعة المعدل



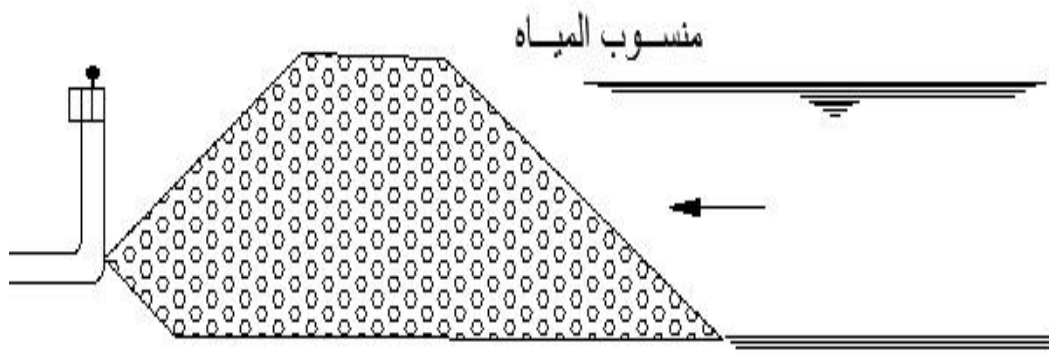
شكل رقم (١٨) تفاصيل المرشحات الرملية ذات الاتجاه الأعلى لسريان المياه

رابعاً: المرشحات المتعددة الوسط الترشيحي:

بفرض رفع كفاءة المرشحات في إزالة المواد المسببة للعكارة واللون والرائحة فقد تم استخدام المرشحات المتعددة الوسط الترشيحي والمختلفة في خصائص الميكانيكية والطبيعية (تختلف الكثافة النوعية من ١,٦ في السطح إلى ٤ في القاع كما يمكن استخدام مواد مختلفة مثل الرمل والفحم ويعمل الرمل على إزالة المواد العالقة جزء من أملاح الحديد والمنجنيز وكذلك جزء من المواد العضوية أما الفحم فيزيل اللون والرائحة ويتراوح عمق المرشح في هذه الحالة من ٦٠ - ٧٥ سم ومعدل التحميل الهيدروليكي السطحي ٣٠٠-٦٠٠ م^٣/م^٢/يوم) ومعدل مياه الغسيل من ٨٧٥ إلى ١١٧٥ م^٣/م^٢/يوم) ولا يبقى من المواد العالقة في الفائض أكثر من ٣ ج.ف.م. ويمكن استخدام المرشحات المتعددة الوسط الترشيحي لإزالة المواد العالقة المتكونة بعد عمليات التجلط بمساعدة المواد الكيميائية دون المرور على أحواض الترسيب.

خامساً: المرشح الترابي الدياتومي:

الطبقات المستخدمة كوسط ترشيحي لهذا المرشح تكونت أساساً من هياكل دقيقة مشبعة بالسليكا أي أنها تربة أرضية طبيعية شديدة المسامية ويسمى المرشح الترابي الدياتومي الشكل رقم (١٩) يوضح نموذج به هذا المرشح، ويتراوح أقل قطر للمواد العالقة والتي يمكن إزالتها من ١/٢ - ١ ميكرون ومعدل التحميل الهيدروليكي السطحي للمرشح ٣٠-٦٠ (متر مكعب/ متر مسطح/ يوم) ونسبة إزالة المواد العالقة تصل إلى ٨٠%.



شكل رقم (١٩) تفاصيل المرشح الترابي الدياتومي

سادساً: المرشح الحشائشي:

يتم تغذية فائض (السيب) محطات المعالجة (البيولوجية) من خلال مجموعة مكشوفة من القنوات بسيطة الميل لتغذي المساحات المزروعة بالحشائش (يتم زراعة الحشائش على دورات زمنية زراعية) ثم يتم تجميع المياه المتسربة من خلال التربة الزراعية مرة أخرى من خلال مجموعة أخرى من القنوات (المصارف) عمقها يقل قدماً واحداً (٣٠سم) عن عمق قنوات التغذية.

ويتم إزالة المواد العالقة من هذا الترشيح إما بالترسيب على سطح التربة أو أثناء تسرب الفائض في باطن التربة السطحية ويتحول جزء من النيتريت أثناء نمو الحشائش والجزء الآخر يتم تحويله بمساعدة البكتريا الموجودة في باطن التربة.

وعموماً لا يزيد ميل الأرض المزروعة بالحشائش عن ١ : ٦٠ وتجهز الأرض بتقسيمها إلى مساحات يمكن التحكم في إدخال الفائض فيها من عدمه وكذلك أثناء فترات قطع الحشائش عند اكتمال نموها ثم رفعها للاستفادة منها.

وبغرض تفكيك التربة يجب تقليب الأرض على فترات وإزالة بعض منها إذا تطلب الأمر ذلك حتى لا تسد مساميات التربة وتتراوح نسبة إزالة المواد العالقة في المرشحات الحشائشية من ٦٠-٧٠% كما يحدث انخفاض في الاحتياج الأكسجيني الحيوي إلى ٥٥% ويتراوح معدل التصريف للفائض من ٠,١٢-٠,٨٠ (م^٣/م^٢/يوم) وهذا الاتساع في المعدل يتوقف على خصائص التربة الزراعية ودرجات حرارة الجو.

سابعاً: مرشح التربة:

ونظرية مرشح التربة تعادل أساسيات نظرية المرشح الحشائشي إلا أن معدل التصريف لمرشح التربة أقل ويتم معالجة الفائض في هذا المرشح كما يلي:

- يتم ترشيح الفائض خلال التربة وبالتالي تفقد جزء من المواد العالقة خلال تسرب المياه في مسميات التربة إلى أن يتم تجميع المياه في قنوات مخصصة لذلك.
- يتم تبخر جزء من الفائض من على سطح الأرض.
- يتم استنفاد جزء من الفائض في نمو الحشائش الطبيعية أو أثناء عمليات النتج للنباتات كما يجب إزالة النباتات عند اكتمال النمو وعلى فترات دورية.
- البكتريا الموجودة في التربة أيضاً تساعد في تقليل النيتريت وامتصاص جزء من الأملاح والمواد العضوية الذاتية.

٥. بحيرات الأكسدة

بحيرات الأكسدة عبارة عن مجموعة متتالية من البحيرات الصناعية ذات عمق يتراوح بين ١,٠٠ و ١,٢٥ متر، ويجب التأكد عند إدخال الفائض عن محطات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في هذه البحيرات من عدم حدوث ظاهرة المرور الأقصر داخلها.

وتعمل هذه البحيرات كأحواض ترسيب ولا تزيد فترة المكث فيها عن ٢,٢٥ يوم ومعدل التحميل الهيدروليكي السطحي ٠,٤٤ (م^٣/م^٢/يوم) ويتراوح نسبة الإزالة للمواد العالقة من ٥٠-٧٥% ويقل الاحتياج الأكسجيني الحيوي بمقدار ٣٠% ويجب إنشاء هدارات عند مخارج البحيرات لمنع خروج الخبث العائم على السطح في حالة تواجده وخاصة في فصل

الصيف كما يتم تفريغ البحيرات على فترات زمنية كبيرة من (٦ - ٧) سنوات لإزالة الرواسب وهي عبارة عن تراكم المواد العالقة المترسبة في القاعة ويمكن استخدامها بعد جفافها كسماد عضوي.

عند زيادة زمن المكث داخل البحيرات لأكثر من ٢,٥ يوم تنمو الطحالب التي قد تتسبب في زيادة المواد العالقة بالسيب الناتجة ويمكن التغلب على هذه المشكلة بمرور الفائض على المرشحات الرملية السابق ذكرها.

٦. الترسيب في المروقات ذات القاع الحصى (الحصاء)

في هذا النوع من المروقات يمر السيب (المياه الخارجة بعد المعالجة الثانوية - البيولوجية) خلال طبقة ذات عمق صغير من مادة مناسبة مثل الزلط الرفيع وعند زيادة عمق هذه الطبقة ثبت أيضاً نجاحها وفي هذه الحالة تعمل الطبقة بنظرية الترشيح ويمكن استخدام شبكة من السك أو شبكة بلاستيكية بدلاً من الزلط، وأخيراً تم استخدام المروقات ذات السطح المنحدرة حيث يتم فيها استبدال الوسط بأنابيب سائلة يتم بداخلها ترسيب المواد العالقة الدقيقة ولكن استخدامها في المعالجة الثالثة الإضافية (من غير ريب يستخدم في رفع كفاءة الوحدات إلى أقصى درجة ممكنة) ومع قدرة التطبيق ومشاكل تغيير شكل السريان بسبب التغير في درجة الحرارة وأيضاً بسبب تراكم طبقات من البكتريا على الأسطح وكذلك بسبب الصعوبة العملية في إيجاد نموذج معلمي يناسب التصميمات المختلفة للمروقات القائمة حالياً.

ويتراوح سمك الطبقة الزلطية في المروقات الحصوية طبقاً للمواصفات البريطانية في حدود ١٥٠ مم والقطر الفعال للزلط ٥ - ٧ مم وثبتت هذه الطبقة فوق سطح سابق الصنع من مادة مقاومة للصدأ أو من الخرسانة المسلحة أو من أي مادة أخرى مناسبة وعند التركيب يجب التأكد من أن منسوب أعلى السطح يكون أسفل منسوب المياه على الأقل بـ ٤٥٠ مم وهذا يعطى ارتفاع مياه لا يقل عن ٣٠٠ مم فوق سطح الزلط وهو ضروري لضمان عدم حدوث أي إضرابات تسبب إثارة للمواد التي على سطح الوسط تحت تأثير الرياح أو مياه الأمطار وأيضاً أن يكون نهايات الحاجز ومثبت الوسط وحواف اتصالها مع الحائط لا تسمح بترسيب المياه وتسطيع احتمال الضغوط والأوزون التي عليها ويتراوح مقدار الفاقد في الضغط من صفر إلى ٥٠ ويكون صفر عندما يكون الوسط الترشيحي نظيف ويصل إلى ٢٥ - ٥٠ مم قبل الغسيل وهو مؤشر جيد إلى احتياج المرشح للغسيل ويتم الغسيل على مراحل بأن يخفض منسوب المياه في المرور إلى أسفل من الوسط ثم يعاد غسيل السطح بواسطة مياه مضغوطة ونتيجة لأن مياه الغسيل تحتوى على مواد عالقة بتركيز عالي فإنها تعاد إلى مدخل محطات المعالجة بمعدل ثابت حتى لا تتسبب في تحميل أكبر من اللازم للمواد العالقة في وحدات المعالجة.

والجدول رقم (٣) يوضح مقارنة سريعة بين الطرائق السابق الإشارة إليها والمستخدم في إزالة المواد العالقة (العكارة) للفائض النهائي.

جدول رقم (٣) مقارنة بين الطرائق المختلفة لإزالة المواد العالقة من فائض محطات المعالجة البيولوجية

م	الطرق المختلفة لإزالة المواد العالقة	معدل التحميل السطحي م ^٣ /م ^٢ /يوم	نسبة إزالة المواد العالقة	نسبة تخفيض الأكسجين الحيوي الممتص (%)	فوائد أخرى
١	المصافي الدقيقة (الميكروستوينر)	٣٥٠	٧٥-٥٠	٥٠-٢٥	أقصى عمود فاقد مسموح به لا يزيد عن ١٥٠ مم - الأشعة فوق البنفسجية مطلوبة.
٢-أ	المرشحات الرملية بطيئة المعدل	حتى ٣	٦٠	٤٠	٧٠-٤٠ % تقليل في البكتريا الكلوريفورم تقليل جزء صغير من الأمونيا.
٢-ب	المرشحات الرملية سريعة المعدل	٢٥٠-١٢٠	٨٠-٧٠	٧٠-٥٠	كما ذكر بالبند رقم ٢-أ
٢-ج	المرشحات الرملية ذو اتجاه سريان المياه إلى أعلى	٤٠٠-٢٠٠ وأحيانا ٤٠٠	حتى ٨٠	حتى ٧٠	يفقد جزء من الأكسجين الذائب
٢-د	المرشحات المتعددة الوسط التشريحي	٤٠٠-٣٠٠ وأحيانا ٤٠٠	٦٠-٧٠	٧٠-٥٠	كما ذكر بالبند رقم ٢-ج

جدول رقم (٣) مقارنة بين الطرائق المختلفة لإزالة المواد العالقة من فائض محطات المعالجة البيولوجية

م	الطرق المختلفة لإزالة المواد العالقة	معدل التحميل السطحي م ^٣ /م ^٢ /يوم	نسبة إزالة المواد العالقة	نسبة تخفيض الأكسجين الحيوي الممتص (%)	فوائد أخرى
٢- هـ	مرشحات التربة (الدياتوميت)	٦٠-٣٠	٨٠	٧٠-٦٠	كما ذكر بالبند رقم ٢-جـ
٢- و	المرشحات الحشائشية	٠,١ - ٨	٨٠-٦٠	٧٥-٥٠	٨٠ - ٦٥% تقليل من البكتريا الكلوروفوم
٢- ز	الترشيح في التربة	لايزيد عن ٠,١	٨٠	٧٥	٦٥% تقليل من البكتريا الكلوريفوم
٣	البرك والبحيرات	٠,٥ - ٠,١٥	٧٠-٢٥	٧٠-٣٠	٧٠-٦٦% إزالتي في البكتريا الكلوريفوم
٤	المروقات ذات القاع المصري	٢٠-١٠	٦٠-٤٠	٤٠-٢٥	مثل ما ذكر بالبند رقم ٣

٧. إزالة المواد الذائبة من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي

المواد الذائبة في فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي إما أن تكون على شكل عضوي مثل البروتينات والكربوهيدرات والدهون والزيوت والشحوم أو مواد طافية على شكل ريمافينول والبعض الآخر مواد بوليمر أو أن تكون على شكل غير عضوي مثل الكلوريدات والقلويات والنيتروجين والفوسفور والكبريتات ومركبات سامة وبعض المعادن الثقيلة والأملاح المعدنية مثل النترات والنيتريت والتي تسبب بعض المشاكل للصحة والبعض الآخر مثل الكلوريدات والتي تسبب عسر الماء مما يؤدي إلى مشاكل اقتصادية.

وعموماً فإن المواد حقيقية الذوبان في المياه يمكن إزالتها بالتبادل الهيدروجيني أو الغازي أو بالتفاعل الكيميائي أو بالتحلل الكهربائي في الحالات التي تكون هذه المواد العضوية، وفيما يلي شرح لطرائب إزالة المواد الذائبة من المعالجة الثالثة بالامتزاز لفائض محطات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي.

الامتزاز (الإدمصاص) بالكربون Carbon Adsorption

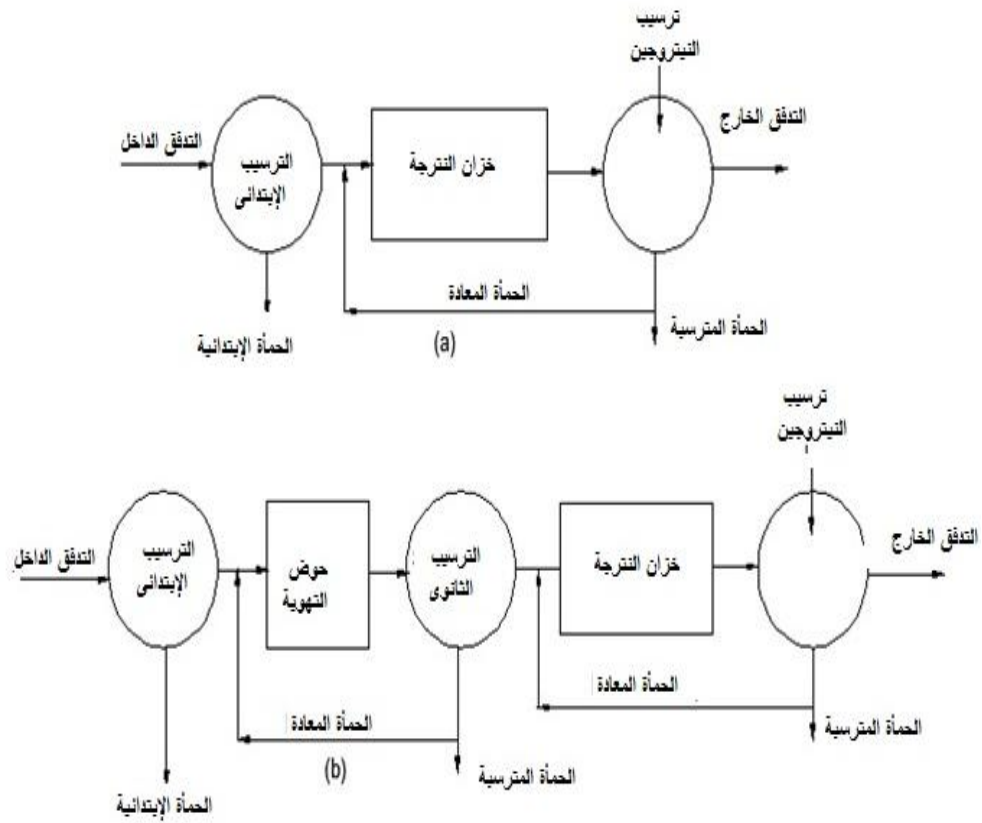
ظاهرة الامتزاز هي تكوين فيلم (غشاء) رقيق جداً على السطح الخارجي لحبيبات الفحم ويتكون هذا الفيلم من تراكم المواد العضوية الذائبة أو المواد الدقيقة العالقة نتيجة لقوة الشد السطحية وبالتالي يستخدم الفحم النشط في المعالجة الثلاثية لامتزاز المواد العضوية الذائبة.

ويتكون الفحم النشط الطبيعي من مواد أصلها عضوي مثل الخشب ونظراً لكونه مادة مسامية فإنه قوة الشدة السطحي تعادل ١٠٠٠ جم/م^٢ ومن مميزات هذا الفحم النشط ما يلي:

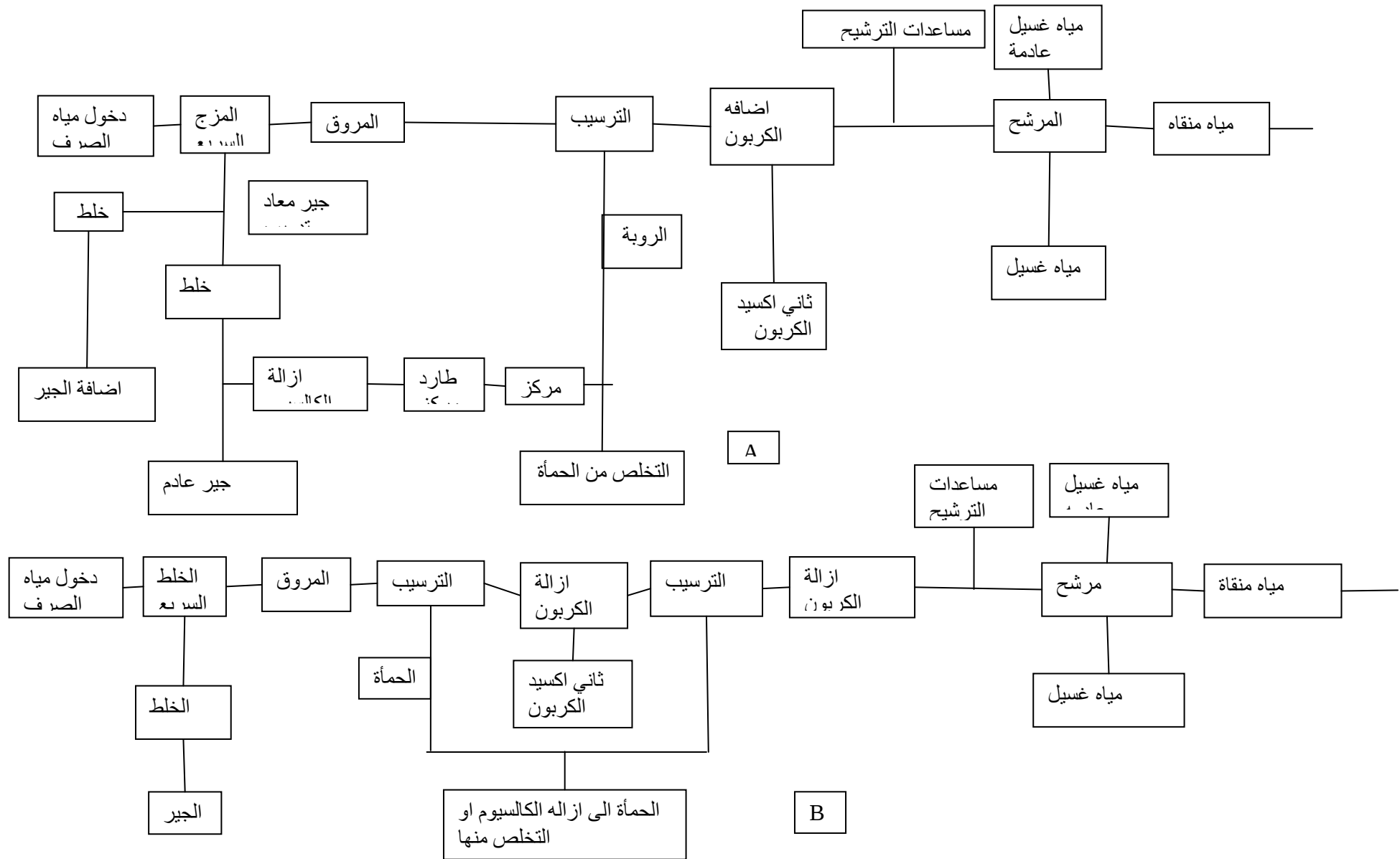
- امتزاز (إدمصاص) الحبيبات للمواد العضوية الذائبة أو الدقيقة العالقة.
- يعمل كوسط ترشيحي للمواد كبيرة الحجم إذا وجدت في مياه الصرف الصحي المعالجة.
- تحلل بعض المواد العضوية المعلقة والتي تتراكم على حبيبات الفحم.

وتختلف نسبة إزالة المواد العالقة الدقيقة والمواد الذائبة العضوية طبقاً لزمان التلامس بين مياه الصرف الصحي المعالجة والفحم النشط وكذلك درجة pH ودرجة الحرارة تركيز المواد الذائبة وحجم ووزن وتركيب المواد الملوثة ويستخدم طبقة الفحم في المرشحات سواء كان سريان المياه فيها ذات الاتجاه للأسفل أو للأعلى ولإعادة الفحم النشط لسابق كفاءته ونشاطه يغسل الفحم النشط بمياه نقية ثم يعاد شحنه بتسخينه حتى درجة حرارة ١٧٠٠ فهرنهايت بواسطة بخار ساخن.

والشكل رقم (٢٠) يوضح طريقة الامتزاز بالكربون للمعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي، وأيضاً الشكل رقم (٢١) يوضح ديجرام المعالجة البيولوجية) الاستنابت المعلق - عملية أكسدة الكربون وعملية النيترة أحادية المرحلة وثنائية المرحلة.



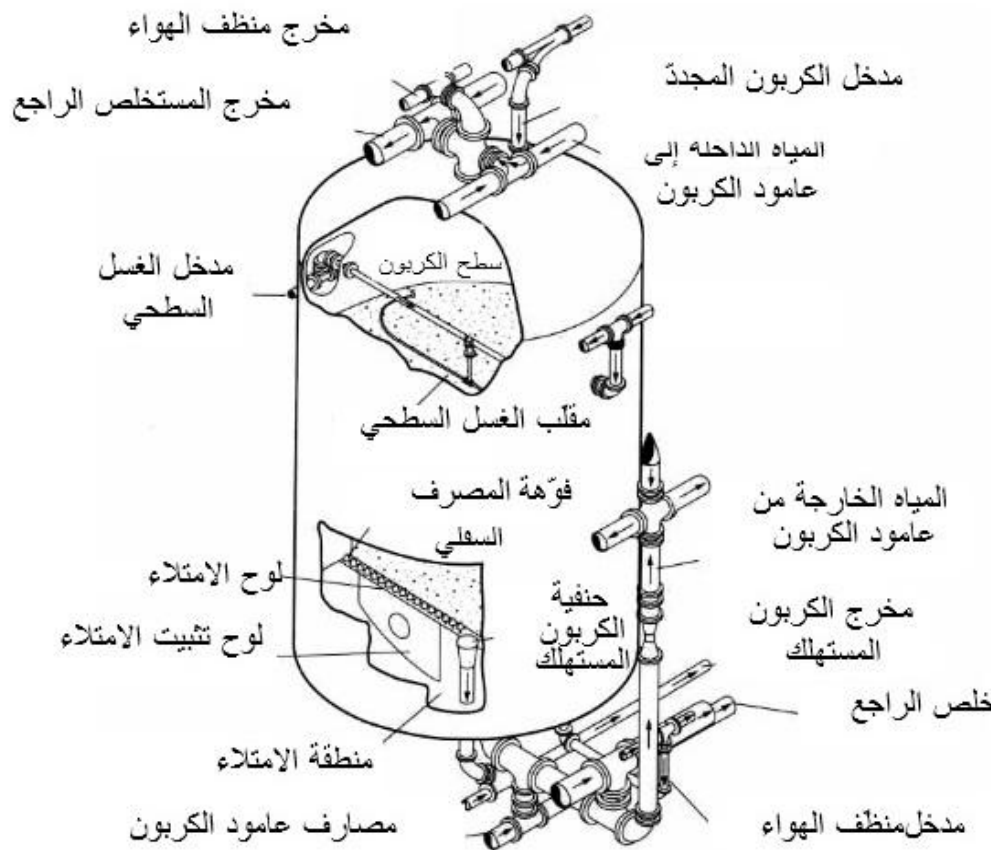
شكل رقم (20) ديجرام المعالجة البيولوجية (الإستنبات المعلق) عملية أكسدة الكربون وعملية النيترة أحادية المرحلة وثنائية المرحلة



أي أن ظاهرة الامتزاز (الإدمصاص) هي عملية يتم فيها فصل المواد الملوثة من مياه الصرف الصحي التي تمت معالجتها ابتدائياً وبيولوجياً عن طريق التماس مع السطح الصلب، وظاهرة الامتزاز (الإدمصاص) - (التي يتم على سطحها ترسيب المواد الملوثة) والتي تستخدم بكثرة في مجال البيئة وهي الكربون (Carbon) لما يتميز به من مساحة الأسطح الكبيرة بالنسبة لوحدة الوزن، وذلك بعد تجهيزه وإعداده بالشكل المناسب (الكربون النشط).

وعن طريق الدراسات المكثفة أمكن الحصول على نوعيات مختلفة من الكربون ذات درجات مختلفة من الامتزاز (الإدمصاص)، والكربون النشط يوجد إما على هيئة حبيبات (Granular) أو على هيئة بودرة (Powder). والكربون على هيئة حبيبات هو الأكثر استخداماً في معالجة مياه الصرف الصحي المعالجة لإزالة المركبات العضوية السامة من مياه الصرف الصحي المعالجة، أما الكربون على شكل مسحوق (البودرة) فإنه عادة تستخدم في نظم المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة.

وتتم هذه الطريقة باستخدام مفاعل - "حوض (حيز) أو عمود التلامس" (Contactor) كما في الشكل رقم (٢٢) وهو عبارة عن عمود خارجي به ألواح يتهيل (يتساقط) عليها مياه الصرف الصحي المعالجة من البلايم (Plenum) يوجد بينها حبيبات الكربون النشط، ويتم دخول مياه الصرف الصحي بعد معالجتها ثلاثياً من أعلى العمود وتخرج مياه الصرف الصحي المعالجة من أسفل المفاعل خلال فتحة تصريف والمفاعل مجهز بنظام الغسيل بالمياه النقية وذلك للكربون النشط بعد الاستخدام لزيادة تنشيطه وأيضاً لإضافة كربون نشط جديد. وفي حالة الاستمرارية لهذه الطريقة فيجب أن تتكون من عدة وحدات متصلة كما هو موضح بالشكل رقم (٢٣)، وهناك أيضاً نظم مختلفة لهذه الطريقة بحيث يمكن إدخال مياه الصرف الصحي المعالجة من أسفل إلى أعلى، وعند ذلك تتكون هذه الطريقة من الأعمدة المتصلة على التوازي بينما الأعمدة ذات الدفع من أعلى فإن الاتصال يكون على التوالي وهناك أيضاً نظام آخر يعرف باسم الطبقات المتحركة، حيث يتم سريان مياه الصرف الصحي المعالجة بنظام التيار المعاكس (Counter Flow) ويتم إضافة الكربون النشط الجديد من أعلى ويتم إزالة الكربون المستعمل من أسفل مياه الصرف الصحي المعالجة والتي يتم إدخالها من أسفل المفاعل وخروجه من أعلاه.



شكل رقم (٢٢) تفاصيل المرشح الكربوني - ظاهرة الامتزاز (الإدمصاص)

ونظام المعالجة بالامتزاز (الإدمصاص) باستخدام الكربون النشط هو تكنولوجيا متطورة ذات كفاءة عالية لإزالة المركبات العضوية الذائبة، وكذلك قادر على إنتاج نوعية من مياه الصرف الصحي المعالجة على درجة من الجودة والتي يمكن أن استخدامها في مختلف المجالات الزراعية والصناعية دون أي يكون لها آثار سلبية تذكر على البيئة أو المجتمع.

وفي معظم النظم السابق تطبيقها تم استخدام حبيبات الكربون (Granular Activated Carbon) وهناك عوامل تؤثر على عملية الامتزاز (الإدمصاص) بالكربون يمكن تلخيصها كما هو موضح بالجدول رقم (٤).

جدول رقم (٤) العوامل المؤثرة على ظاهرة الإمتزاز (الإدمصاص) بالكربون النشط

رقم	العامل المؤثر	التأثير الناتج
١.	الإذابة	المواد الأقل إذابة تمتاز (تدمص) أكثر من المواد الأكثر إذابة.
٢.	التركيب الكيميائي	السلسلة المتشعبة (branched chain) الأكثر امتزازا (إدمصاصاً) من السلاسل الطويلة.
٣.	الوزن الجزيئي	الجزيئات الكبيرة أكثر امتزازا (إدمصاصاً) من الجزيئات الصغيرة.
٤.	القطبية	الأقل قطبية (المركبات العضوية/ضعيفة التآين) تدمص بسهولة عن الأكثر قطبية (الأكثر تآين).
٥.	درجة التشبع (للمركبات العضوية)	المركبات العضوية/الغير متشعبة (التي تحتوي على أكثر من رابطة ثنائية أو ثلاثية تدمص أكثر سهولة من المركبات المشبعة) (Saturated).

التبادل الأيوني

كما هو معلوم أن الأملاح تتأين في محاليلها إلى أيونات سالبة وأيونات موجبة والتبادل الأيوني هو أن تتبادل الأيونات الموجبة (أو الأيونات السالبة) لملح ما مع الأيونات المناظرة لملح أو مادة أخرى، ولقد اتبع التبادل الأيوني منذ حوالى نصف قرن في تحويل الماء العسر إلى ماء يسر، والماء العسر كما نعلم هو الماء الذى لا يرغب الصابون نظرا لوجود بعض أملاح الكالسيوم أو الماغنسيوم أيونات صوديوم، ويتسنى لنا ذلك إذا أمرنا الماء العسر خلال طبقة من الزيوليت الطبيعي أو الصناعي، حتى إذا انهك هذا الزيوليت وتدهورت قدرته على تيسير الماء استرجع مرة أخرى عن طريق عملية تبادل عكسية نتخلص فيها من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم نحصل على أيونات الصوديوم، ويتم ذلك بمعاملته بمحلول مركز من محل الطعام.

لكننا في عملية معالجة فائض محطات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي لا ترغب في إحلال ملح محل الآخر، نريد التخلص أصلا من الأملاح الموجودة، في هذه الحالة نجعل الماء الملح يمر على مادة تبادل الأيونات المعدنية الموجبة كالصوديوم والكالسيوم بأيونات للأيدروجين ثم يخرج الماء عن هذه المادة الأولى (وبه فائض من

أيونات الأيدروجين) فيمرر على مادة ثانية لتبادل الأيونات الحمضية السالبة كالكلور بأيونات الأيدروكسيد السالبة أيضاً ونكون بذلك قد تخلصنا من مكونات الأملاح نظير مكونات للماء، فكما هو معلوم يتد الأيدروجين مع الأيدروكسيد ليتكون الماء، وبعد ان تنهك مادتا التبادل تسترجعان فتعامل المادة الأولى بما يعطيها الأيدروكسيد أي بمحلول قلوي مركز .

وعملية الاسترجاع هذه تمثل الضعف في طريقة التبادل الأيوني لمعالجة مياه فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي، فكل كيلو جرام من الأملاح المذابة يتطلب نظرياً ٠,٨٤ كيلو جرام من حامض الكبريتيك ٠,٦٦ كيلو جرام من الصودا الكاوية وتبلغ هذه الكمية في الواقع العملي ما بين ضعفين وثلاثة أضعاف الكمية النظرية بحيث يستدعى الأمر استهلاك ما لا يقل عن نصف طن من كل ما الحامض والصودا لتحضير ألف متر مكعب من الفائض.

ولقد بذلت المحاولات للتغلب على هذه العيوب التي تعترض استغلال هذه الطريقة، وبدلاً من استخدام مواد تبادل بالأيدروجين والأيدروكسيد والتي تتكلف كثير في عملية استرجاعها، استخدام مواد أخرى تبادل أيونات الأملاح الموجدة في فائض محطات المعالجة بأيونات أملاح تحلل بالحرارة مثل بيكربونات النشادر بدلاً من أملاحه المعروفة فإذا ما سخن هذا الماء تطايرت البيكربونات (مع بعض الماء)، ونستطيع نكثف المواد المتطايرة فنحصل على محلول قوته ١٣% بيكربونات النشادر، ويستعمل هذه المحلول ذاته في تجديد مواد التبادل الأيوني حيث تتخلص مما إقتنتته من أيونات أملاح مياه الصرف الصحي وتعاود نشاطها باسترجاع الأيونات المكونة لبيكربونات النشادر، وعلى الرغم من أن الفكرة قد خفضت كثيراً من النفقات حيث أحلت بخار التسخين محل الأحماض والقلويات في عملية الاسترجاع إلا أن تكاليف البخار المستخدم مازالت فوق المعدل الذي يسمح باستغلالها استغلالاً اقتصادياً سليماً، ولذلك فإن العلماء يركزون جهودهم إلى ابتكار مواد يمكن استرجاعها بطاقة أقل من البخار بمجرد استخدام الماء الساخن.

وطريقة التبادل الأيوني والمستخدمه في إزالة الأملاح من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي سهلة وبسيطة الاستعمال.

الفصل الأيوني بالأقطاب المسامية

منذ بضع سنوات طرأت لبعض العلماء بجامعة أوكلاهوما الأمريكية فكرة طريقة لإزالة الأملاح من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي عن طريق الأقطاب الكهربائية حيث أن مرور التيار الكهربائي في محلول ملحي يجعل الأيونات الموجبة تتجذب إلى القطب الموجب، فإذا لو استطعنا أن نتقص هذه الأيونات من على الأقطاب وأمكن التخلص منها.

لقد بدأت هذه الفكرة بمجرد امتزاز الأيونات على أقطاب مسامية (خاملة) كالكربون أي أن تلتصق أو تكثف على سطوح حبيبات القطب دون أي اتحاد أو ارتباط من نوع ما، وانبري العلماء ليحققوا هذه الفكرة، ثم وجدوا أن الامتزاز وحده لا يكفي لإنجاز العملية على الوجه المطلوب وأن الأقطاب أسموها "المستجبة للأيونات" لها القدرة على الارتباط القوي بالأيونات وهي بطبيعية الحال على نوعين:

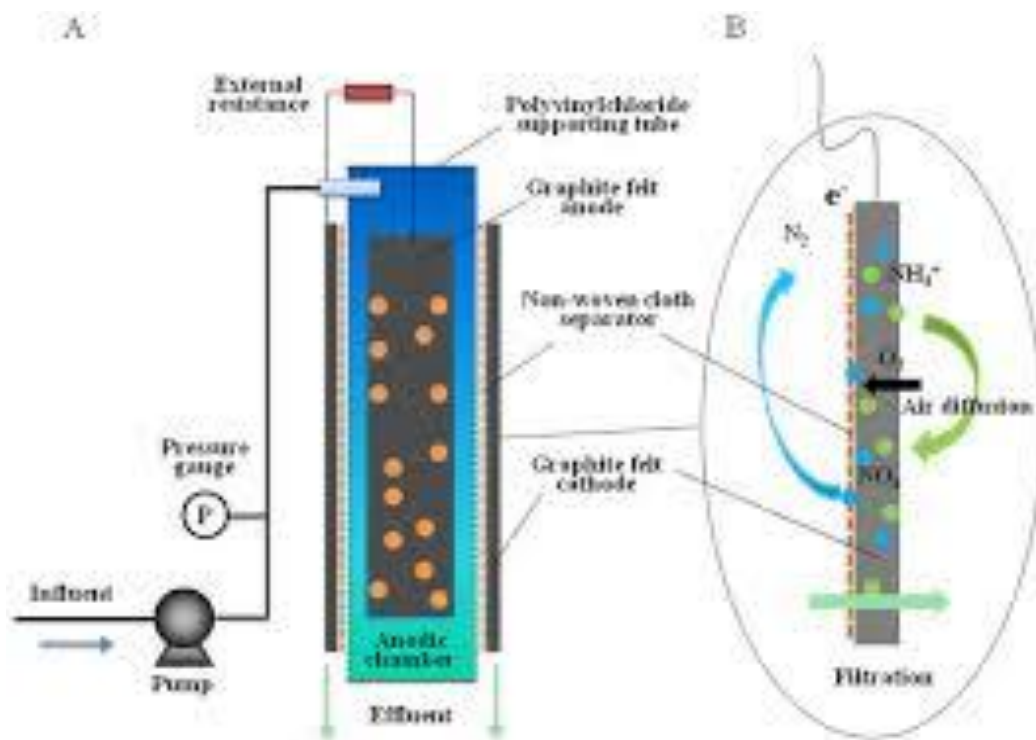
نوع يستجيب للأيونات، فإذا ما عكس التيار انفك هذا الارتباط وتتأفرت الأيونات من على أقطابها وأمكن التخلص منها في محلول مرفوض استخدامه، وعلى الرغم من أن الدراسات العملية قد أثبتت نجاح الفكرة ذاتها، إلا أنها لم تخرج بعض إلى طور التطبيق العملي، وما تزال البحوث جارية لاستنباط أنواع ممتازة من الأقطاب المسامية المستجيبة تصلح للإنتاج بكفاءة اقتصادية مجدية.

الانتشار الغشائي الكهربائي

الواقع أن طبيعة ذوبان الأملاح ذاتها في الماء تهين لنا سبيل اقتناصها حيث تنشق الأملاح أو تتأين في محاليلها إلى أيونات موجبة هي الأيونات المعدنية، وأيونات سالبة هي الأيونات الحامضية، وبإمرار تيار كهربائي فإنه طبقاً لقاعدة تجاذب الأضداد في الكهرباء، تتحرك الأيونات الموجبة صوب القطب الموجب وما علينا الآن إلا أن نبتدع حيلة نقص بها هذه الأيونات ونمسك بها في قفص خاص يمنعها من أن ترتد إلى الماء بعد تقنيته، وينظم اقتناص الأيونات عن طريق أغشية خاصة، وهذه الأغشية على نوعين:

أحدهما يسمى بالإشبية الكاتيونية تسمح بنفاذ الأيونات الموجبة المسماة بالكاتيونات، نسبة إلى أنها تتجذب إلى الكاثود أو القطب السالب، والثاني يسمى بالأغشية الأيونية تسمح بنفاذ الأيونات السالبة المسماة بالأيونات "نسبة إلى أنها تتجذب إلى الأنود أو القطب الموجب" يوضع فيما بين القطبين بالجهاز عدد من هذه الأغشية مرتبة ترتيباً تبادلياً أي غشاء أيوني وهكذا بحيث تكون من خلايا متعددة داخل الجهاز، فإذا أدخلنا فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي من أعلى الجهاز وكما هو موضح بالشكل رقم (٢٤) وأمرنا تياراً كهربائياً مستمراً بين القطبين فإن الكاتيونات "أيونات الصوديوم الموجبة" تتحرك متجهة إلى القطب السالب، فإذا صادفت غشاء أيونياً لم تستطع

النفاذ وبقيت في خليتها "كما نري في الخلية ٢ تدخل إلى الخلية ٣ وكذلك "ص في الخلية ٤ تدخل إلى الخلية ٥" ثم لا تستطيع أن تتقدم بعد ذلك حيث أنها تقابل بعد ذلك غشاء أنيوني لا ينفذها، وكذلك الحال مع الأيونات "أيونات الكلور السالبة" تتحرك متجهة نحو القطب الموجب، فإذا صادفت غشاء أنيوني فإنها تنفذ منه إلى الخلية المجاورة" كل في الخلية ٤ تدخل إلى الخلية ٣، وكذلك كل في الخلية ٢ تدخل إلى الخلية ١" ثم لا تستطيع ان تتقدم بعد ذلك حيث إنها تقابل بعد ذلك غشاء كاتيوني لا ينفذها وهكذا نري ان تخرج من خليتها أصلاً أو تتحرك بمقدار خلية واحدة فقط، ولما كانت الأيونات الموجبة والأيونات السالبة تتحركان في اتجاهين متضادين فإننا نجد ان الخلايا تتعاقب فيما بينها فتحتوي إحداها على ماء خالي من الأملاح وتحتوي الأخرى على ماء قد تضاعف فيه تركيز الأملاح وهكذا، ويمكننا أن نوصل خلايا الجهاز إلى ماسورتين احدهما تجمع الماء الخالي من الأملاح والأخرى تجمع الماء متضاعف الملوحة والمفروض استخدامه وليس من الصعب أن نتصور أنه كلما زادت ملوحة مياه الفائض احتاج الى مزيد من القوة الكهربائية ولذلك فلقد اثبتت هذه الطريقة نجاحها وكفاءتها حتى الآن مع الماء المتوسط الملوحة مثل فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي الذي يتراوح مقدار ما به من الأملاح ما بين ١٠٠٠، ٣٠٠٠ جزء في المليون.



شكل رقم (٢٤) طريقة التحليل الكهربائي لفائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي

وتنقسم الطاقة الكهربائية المطلوبة لهذه العملية إلى قسمين:

قسم يستخدم في حركة الأيونات وإنجاز العملية ذاتها، وهذا يستعمل تياراً مستمراً وقسم يستخدم في حركة الأيونات وإنجاز العملية ذاتها، وهذا يستعمل تياراً مستمراً وقسم يستخدم لإدارة المضخات والأجزاء الميكانيكية في الجهاز، وهذا يستعمل تياراً متردداً، وأهم ما يعيننا هو التيار المستمر الذي يقوم بالعمل الإيجابي في العملية ذاتها، وقد يبدو لأول وهلة أننا نستطيع أن نجعل استهلاكنا من هذا التيار صغيراً جداً باستعمال تيار ضعيف منخفض الفولت، لكن الأمر ليس بهذه السهولة، بل هناك حد أدنى للفولت اللازم لإمرار التيار في الاتجاه المطلوب فنحن إذا أحضرنا جهاز تحليل كهربائي وشغلناه فترة ثم أوقفناه، فإننا نلاحظ وجود تيار كهربائي يسري في اتجاه عكسي لتيار التشغيل وبعبارة نري الجهاز يعلم كبطارية، وتتحرك الأيونات في اتجاه مضاد لحركتها أثناء عملية التحليل الكهربائية، فتسري من الخلايا مركزة الأملاح إلى الخلايا العذبة حتى يتساوى التركيز مرة أخرى، فإذا أخذنا على سبيل المثال جهازاً به مائة زوج من الأغشية وصلت فيها عملية التحويل الى انه يحتوى على فائض به ٥٠٠ جزء من المليون من الأملاح وماء مرفوض به ٥٠٠٠ جزء من المليون من الأملاح فإننا نجد أن الفولت المضادة تبلغ على الأقل ١٢ فولت، وبطبيعة الحال يجب أن يزيد تيار التشغيل عن هذه الفولت المضاد، وكلما زاد تركيز الأملاح في الماء المختلف وقلت نسبته في الماء الخالي من الأملاح كبرت هذه القوة المضادة حتى تصل إلى أن تساوى بجهد تيار التشغيل، ونصل إلى حالة من التوازن يتوقف عندها انتقال الأملاح، اللهم إلا إذا رفعنا من جهد تيار التشغيل، ونصل إلى حالة من التوازن يتوقف عندها انتقال الأملاح، اللهم إلا إذا رفعنا من جهد تيار التشغيل ليتغلب على الجهد الداخلي وحينئذ يأخذ مزيد من الأملاح في الانتقال من جانب الماء العذب الى جانب الماء المتخلف ويرتفع الجهد الداخلي مع هذا الانتقال حتى يصل إلى حالة توازن ثانية، وهكذا لكن هل نمضي في رفع تيار التشغيل إلى أن يتم التخلص من الأملاح جميعها؟ الواقع أننا لا نفعل، فطالما كان هدفنا أن نحصل على مياه فائض صالح للاستخدام وكهذا الماء يحتوى على قدر من الأملاح (٥٠٠ جزء في المليون) فليس ثمة ما يبرر أن ندفع بالعملية إلى أن تخطى هذا الحد مع ما في ذلك من تزايد النفقات، والطاقة الكهربائية اللازمة لإزالة (١٠٠٠ جزء من مليون من الأملاح مثلاً) من ماء به ١٢٠٠ جزء في المليون يزيد كثيراً على الطاقة اللازمة لإزالة المقدار نفسه من ماء به ٥٠٠٠ جزء في المليون من الأملاح.

هذه من ناحية ومن ناحية أخرى نتشأ ظاهرة فنية خطيرة تؤثر على سلامة العملية ذاتها تلك هي ظاهرة الاستقطاب، فبتوالي رفع التيار ودفع عملية التحليل يعظم الفرق بين ملوحة كل من مياه الفائض الممكن استخدامه والمياه المرفوضة التي لا يمكن استخدامها على جانبي كل غشاء منطقتان رقيقتان متميزتان : المنطقة التي تواجه الماء المرفوض يكون بها ثراء زائد في الأملاح عن بقية الخلية، والمنطقة المواجهة للماء تعاني نضوباً ملحوظاً

في الأملاح ولما كانت الكهرباء حينما تسري في أي محلول تسري محملة على الأيونات المتحركة فإنه ينجم عن نضوب الأملاح (أو الأيونات) مع ازدياد كثافة التيار الكهربائي أن يضطر بعض الماء أن يتحلل وتتطلق الأيونات المكونة للماء لتشارك في حمل التيار الكهربائي.

المتاعب المصاحبة للاستقطاب:

- يزيد مقاومة الجهاز للكهرباء ويتسبب بالتالي في فقد الطاقة، وتنشأ هذه المقاومة من نضوب الأملاح أو الأيونات أمام وجه الغشاء المقابل الخالي من الأملاح صحيح أن ثراء الأملاح على الجانب الآخر يزيد من التوصيل ويقلل المقاومة لكنه لا يفعل ذلك بالقدر الذي يوازي المقاومة الناشئة عن النضوب.
- تكون القشور على الغشاء، ويرجع ذلك على الثراء في الأملاح على وجه الغشاء المقابل للماء المتخلف بحيث يزيد تركيزها على حدود الذوبانية فتترسب الأملاح منخفضة الذوبانية مثل كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم.
- زيادة قلوية الماء، نتيجة لتحلل بعض الماء وانطلاق أيونات الأيدروكسيد القلوية علماً بأن الوسط القلوي يساعد على ترسيب أملاح كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد الماغنسيوم.
- وليس يخفى أن تكون القشور الصلبة الملتصقة على الأغشية لا يتسبب فقط في زيادة المقاومة الكهربائية، إن أول هذه العناصر هي الأغشية التي تلعب الدور الرئيسي في احتجاز الأملاح وتهئية الماء الخالي من الأملاح وتصنع الأغشية عادة من بلمرات عضوية لها خاصية التبادل الأيوني، وهي على نوعين: نوع يسمح بمرور الأيونات الموجبة ويحتجز الأيونات السالبة، ونوع يسمح بمرور الأيونات السالبة ويحتجز الأيونات الموجبة وتصنع الأغشية في أشكال مختلفة إما متجانسة أي لا تحتوي سوى مادة التبادل الأيوني أو غير متجانسة حيث تخلط مادة الغشاء على شكل مسحوق مواد بلاستيكية خاملة وتصنع الأغشية من هذا الخليط غير المتجانس عن طريق الضغط أو الحرارة أو كلاهما معاً، وقد تكون الأغشية مفردة أو مدعمة بطبقة ظهرية تكسبها القوة والمتانة، ومن أشهر المواد المستعملة في التدعيم نسيج الزجاج أو نسيج البلاستيك المعروف باسم "دينل" ويتراوح سمك الغشاء ما بين ٠,٦ - ١ من المليمتر، والواقع أن سمك الغشاء هذا شيء غير مرغوب فيه، فيكفي أن يبلغ هذا السمك بضعة جزئيات فقط ليقوم بعمله في احتجاز الأيونات كما هو الحال بالفعل في جدر الخلايا الحية، وحتى يزاول أقل مقاومة ممكنة للتيار الكهربائي، لكن مثل هذا الغشاء يتعذر أو يستحيل استخدامه في التطبيق العملي، فمن الصفات الأساسية التي يجب أن تتوفر في الغشاء القدرة على مقاومة التمزق أو التفرز وعدم الانبعاج وثبات الأبعاد حتى يمكنه أن يحتفظ بكيانه وفاعليته تحت ظروف التشغيل وما يتعرض له من اختلاف الضغوط وهكذا يكون على المصمم حين يختار السمك المناسب للأغشية أن يوازن

بين الرقة التي تتمثل فيها كفاءة الغشاء وبين السمك الذي يحقق له المتانة المطلوبة للتشغيل وبطبيعة الحال يرتبط ذلك أشد الارتباط بشكل الجهاز وطريقة وضع الأغشية والإمساك بها والظروف المحددة للتشغيل، ولما كانت الأغشية مهما كانت من المتانة المطلوبة للتشغيل وبطبيعة الحال يرتبط ذلك أشد الارتباط بشكل الجهاز وطريقة وضع الأغشية والإمساك بها والظروف المحددة للتشغيل، ولما كانت الأغشية مهما كانت من المتانة والضعف ذات عمر تشغيلي تستنفد فيه فإن على المصمم أن يوازن بين عدد من العوامل المختلفة لاختار العمر المطلوب الذي تتحقق معه أفضل كفاءة ممكنة مع أقل التكاليف فمثلاً كلما زادت متانة الغشاء ارتفع ثمنه ولكما عفت ظروف التشغيل لرفع الطاقة الإنتاجية قل عمر الغشاء ولكما قل العمر قصرت دورة التشغيل لوقف الجهاز وتغيير الأغشية وما يقتضيه ذلك من الوقت والجهد والنفقات واستعمال الأغشية قصيرة العمر يتطلب مراعاة سهولة الفك والاستبدال ولاشك أن أهم عامل يبرر استعمال الأغشية قصيرة العمر هو رخصتها الواضح بالنسبة للأغشية المتينة كما هو الحال من أغشية البارشمان.

- وثاني عناصر التصميم لأقطاب الكهربائية

- ومن المواد شائعة الاستعمال في صنع هذه الأقطاب (الجرافيت وسبائك النيكل والصلب الذي لا يصدأ) ولقد وجد أن الأقطاب تتعرض للتآكل بفعل نواتج التفاعل، ويقتضي الأمر تغييرها من حين لآخر، ووجد أن القطب الموجب أشد تعرضاً للفتك وأسرع في التآكل من القطب السالب نظراً لتصادد غازي الأكسجين والكلور على القطب الموجب، واتجهت البحوث نحو حماية هذا القطب بتغطيته بطبقة رقيقة من البلاتين أضفت عليه مقاومة إزاء هذه المواد الفتاكة، ثم لم يقتصر الأمر على قطب واحد دون الآخر بل غطى القطبان بهذه الطبقة البلاتينية إزاء الاتجاه الحديث في تشغيل أجهزة التحليل الكهربائية من أن يعكس اتجاه التيار بين الحين والآخر حتى تبطل من مفعول الاستقطاب وليسهل إزالة ما قد يتكون من القشور، وعلى الرغم مما تتكلفه عملية التغطية من النفقات إلا أن ما تعود به من المزايا والوفر يبرر إجراءها.

- والعنصر الثالث من عناصر التصميم هو تفادي ظاهرة الاستقطاب وما تسببه من المتاعب والخسائر ويمكن التغلب على هذه الظواهر بما يلي:

- محاولة القضاء على منطقة النضوب عن طريق إزكاء الحركة والتقليب.
- معالجة ما يسببه الاستقطاب من القلوية بحقن بعض الأحماض التي تعادل هذه القلوية وتؤخر من ترسيب الأملاح.

- ولقد وجد أن كلا من هاتين الطريقتين له عيوبه الخاصة، فإزكاء الحركة يحتاج إلى بذل طاقة تدير المضخات التي تدفع الماء وتقلبه، والمعالجة الحمضية علاوة على ما تكلفه من ثمن الحامض ذاته تحتاج إلى نفقات أخرى لإزالة هذه الحموضة من الماء الخالي من الأملاح الخارج من الجهاز حتى يصلح للاستعمال، ومع ذلك

تستخدم الطريقتان معاً لمقاومة الاستقطاب إلا أن الاعتماد الأكبر على إزكاء الحركة والتقليب، ويتأتى ذلك عن طرق التصميمات المبتكرة في نظام الفواصل فجهاز التحليل الكهربائي كما نعلم يتكون نوع من الأغشية المتراسة التي تضم فيما بينها الخلايا، بمعنى أننا نترك مسافات صغيرة بين الأغشية والفاصل عبارة عن لوح مزدوج من مادة بلاستيكية يبلغ سمكه عرض الخلية له حافة خارجية تمسك بالأغشية وتعمل على حفظ المسافة فيما بينها، وتوجد على هذه الحافة أربعة تقوَب تتلاءم مع تقوَب مماثلة في الأغشية بحيث إذا جمع الجهاز كونت هذه التقوَب أربعة أنابيب تمر خلال الطبقات المتعاقبة في الجهاز، وهذه الأنابيب هي التي تقوم بعمل ماسورتي الماء الخالي من الأملاح والماء المرفوض في الجهاز، فنظراً لأن غرض الخلية في جهاز التحليل يبلغ عادةً ملليمتر واحداً فإنه لا يسني توصيلها عن طريق أنابيب منفصلة تتصل بماسورة عامة وتتولى هذه التقوَب توزيع الماء الملح وتجميع الماء العذب من الخلايا المختصة، فمسار الماء الملتف (ذو الفروع الأربعة) الذي يشغل المساحة الكبرى في الفاصل يوصل بالتقبيين أ، ج في حالة خلايا الماء العذب أما خلايا الماء المتخلف فيوصل مسار الماء فيها بالتقبيين ب، د وهكذا نري أن كل خلية على الرغم من اشتراك تقوَبها في الأنابيب الأربعة إلا أن داخلها يتصل بتقبيين اثنين فقط، ولما كانت خلايا الماء الخالي من الأملاح تتبادل مع خلايا الماء المرفوض في جهاز التحليل الكهربائي، فإن توصيل التقوَب يتتابع بنفس النظام بمعنى أن توصل الخلايا الفردية أ، ج والخلايا الزوجية بالتقبيين ب، د، وقد تلاحظ وجود خطوط عرضية على فروع مسار الماء هذه الخطوط عبارة عن عوائق تعترض طريق الماء، وهذه العوائق تبرز إلى منتصف الطريق بالتبادل من اللوح العلوي واللوح السفلي للفاصل، بحيث تتسبب في حركة تقلب للماء عند مروره في الفاصل فيما بين اللوحين.

- وهكذا نري أن الفواصل تتيح أكبر ملائمة ممكنة للماء على وجه الغشاء عن طريق المسار الملتف الطويل وفي نفس الوقت تضيف على الماء حركة وتقليباً من جراء العوائق التي تعترض سير الماء، وكما يتضح من شكل الفاصل تكون المساحة العاملة من الغشاء هي المساحة المواجهة لمسار الماء، أما بقية سطح الفاصل فعبارة عن مساحة سائدة ملاصقة للغشاء لا يمر عليها الماء ولا تشترك في العملية.
- ونسأل الآن عن عدد الخلايا التي يتضمنها الجهاز؟ الواقع أن هذا العدد الذي يعني من ناحية أخرى مقدار المساحة العاملة من الأغشية في الجهاز يتوقف أولاً على درجة ملوحة مياه الفائض، ثم على ظروف التشغيل التي ننوي العمل بها، وهل نفضل أغشية قليلة مع تشغيلها بأكبر معدل ممكن للإنتاج، أم نستخدم أغشية كثيرة مع تخفيف ظروف التشغيل عليها ففي الحالة الأولى نوفر من ثمن الأغشية ويقابل ذلك زيادة في الطاقة وتكاليف التشغيل ويكون العكس في الحالة الثانية زيادة في ثمن الأغشية يقابلها وفر في الطاقة وتكاليف التشغيل، ولاشك أن الحجم الاقتصادي للجهاز هو الذي يوازن بين هذه العاملين على ضوء السعر السائد للأغشية وسعر الطاقة الكهربائية في مكان التشغيل، وعلى أية حال يتكون الجهاز من بضع مئات من الأغشية والفواصل تجمع إلى بعضها وتكبس.

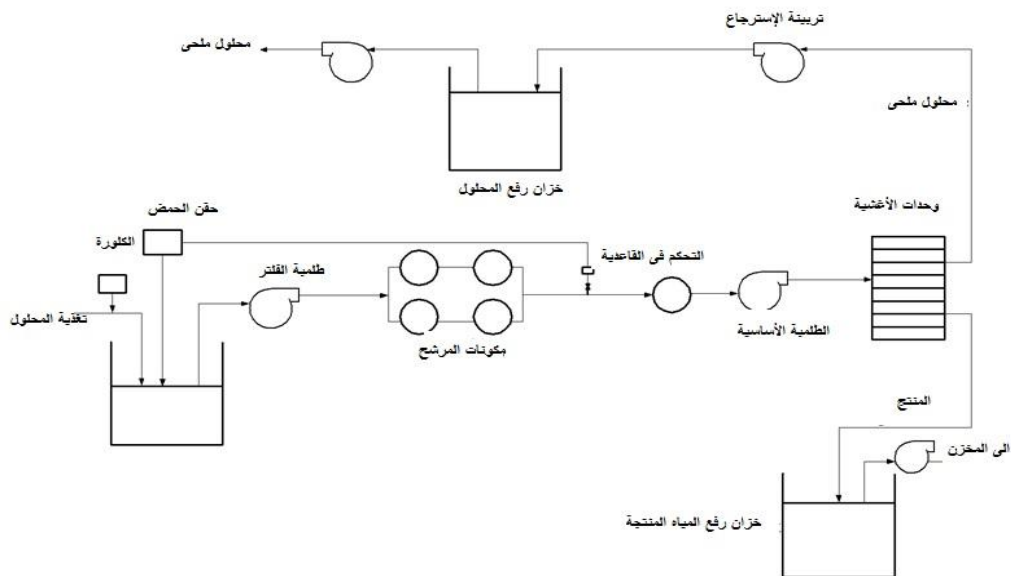
التناضح الأسموزي العكسي Reverse Osmosis

نحن نفهم معنى الترشيح، حينما نصفي سائلاً به بعض العكارة أو الحبيبات المتعلقة، إذ نصب هذا السائل على ورق ترشيح تسمح مسامه بخروج السائل لكنها تكون من الضيق بحيث تحتجز الحبيبات أو العكارة، وبقدر ضيق المسام ما تستطيع احتجاز دقائق الحبيبات، ولقد كان السؤال:

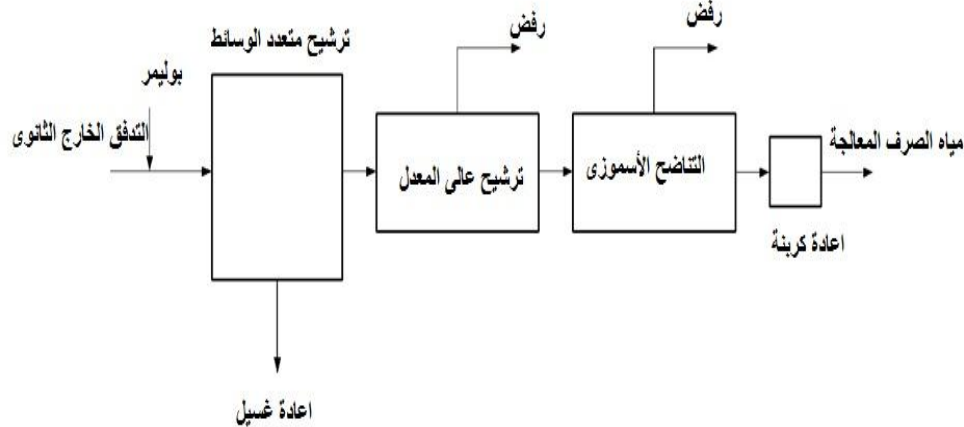
هل نستطيع أن نعصر على أغشية تبلغ مسامها من الضيق بحيث تحتجز أيونات الأملاح الموجودة في الماء الملح؟

الواقع أن الأمر لم يكن بالشيء العسير، فنحن نعرف بعض الأغشية الدقيقة المسامة "بالأغشية نصف النفاذة" إذا وضعت بين محلولين ملحيين مختلفي التركيز فإنها تسمح بمرور الماء وحده من المحلول الأخف تركيزاً إلى المحلول الأكثر تركيزاً، ويظل هذا الانتشار الغشائي أو "الأسموزي"، لكننا لا نريد للعملية أن تمضي في هذا الاتجاه، بل نريد أن نعكس سيران الماء ليخرج من جانب ماء الفائض المالح إلى جانب ماء الفائض العذب، وهكذا يمكن أن نسمي هذه الطريقة "بالترشيح الفائق" إذا نظرنا إليها من ناحية اتجاه سريان الماء من الجانب ذي الأملاح إلى الجانب الخالي من الأملاح.

لكن كيف يتسنى لنا أن نعكس هذه الظاهرة الطبيعية "الأسموزية" وتجعل الماء ينساب من المحلول المخفف إلى المحلول المركز والتي تسمى "بالضغط الأسموزي" وكما هو موضح بالأشكال أرقام (٢٥)، (٢٦) ويمكن أن نقيص هذا الضغط الأسموزي ببساطة بأن نستخدم قوة أو ضغطاً مضاداً حتى إذا وصل هذا الضغط بحيث توقف سريان الماء من جانب إلى آخر كان هذا الضغط المعاكس بطبيعة الحال مساوياً للضغط الدافع أو الضغط الأسموزي، ومن الواضح أن "الضغط الأسموزي" وبالتالي قوة الانتشار تزيد كلما زاد الفرق بين تركيز الأملاح في المحلولين على جانبي الغشاء، ولقد أجريت عدة تجارب عديدة لقياس الضغط الأسموزي لماء البحر في مواجهة الماء العذب فوجد أن هذا الضغط يساوي ٢٥ ضغطاً جويّاً، وهكذا نري أن إنجاز "الأسموزية العكسية" يتطلب أن نستخدم ضغطاً لا يزيد على ٥ أمثال الضغط الجوي من ناحية مياه الفائض، وبقدر الزيادة عن هذا الضغط يقدر ما تكون القوة الدافعة في "الأسموزية العكسية" ومن ثم كفاءة ومعدل الإنتاج يجب أن تزيد باستمرار القوة المستخدمة بما يتناسب مع زيادة تركيز مياه الفائض كلما خرج عنه قدر من الماء الفائض العذب قليل الأملاح وما يسببه ذلك من زيادة الضغط الأسموزي (يتضاعف الضغط الأسموزي تقريباً عندما يصل تركيز الأملاح ٧%).



شكل رقم (25) ديجرام طريقة الترشيح الفائق مع التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصحي



شكل رقم (26) ديجرام طريقة التناضح الأسموزي لمعالجة مياه الصرف الصحي

ولاشك أن الأساس في هذه الطريقة هو تحضير الأغشية المناسبة التي تحتمل الضغوط العالية. ولقد بذلت جهود كبرى في هذا الصدد ومازالت دوائر البحث العلمي تركز اهتمامها الشديد في دراسة المشكلة للتوصل إلى الأغشية الناجعة التي تتيح التطبيق العملي لهذه الطريقة المغرية البسيطة التي تجري عند درجة الحرارة العادية وتعطينا كثيراً من مشاكل الحرارة وانتقالها وفقدائها، ومن الابتكارات الحديثة في تصميم هذه الأغشية صنعها على هيئة "سندويتش" أي غشاءان رقيقان من السلوفان تفصل بينهما فجوة بالغة الرقة سمكها حوالي ٠,٠٥ من المليمتر، تحتوي على مادة منفرة للماء، مثل مسحوق الخفاف المغطى بالسليكون، وللحفاظ على هذه الفجوة إزاء الضغط المستخدم على الغشاء تغذي بهواء ذي ضغط أكبر قليلاً من الضغط المستخدم.

ولقد دعا إلى تصميم الغشاء بهذا الشكل الرأي القائل بأن الأسموزية تحدث خلال الأغشية على هيئة بخار، بمعنى أن الماء يتبخر عند وجه الغشاء لينفذ منه ثم يتكثف بعد ذلك على الوجه الآخر، وإزاء ذلك فإن البخار وحده هو الذي يستطيع أن يعبر فجوة الغشاء بينما تخفق الأملاح في هذا الأمر، وفيما يلي نتائج بعض التجارب التي أجريت على عدد من الأغشية المختلفة، والموضحة بالجدول رقم (٥).

جدول رقم (٥) نتائج بعض التجارب التي أجريت على عدد من الأغشية المختلفة

البيان	أ	ب	ج	د
المحلول المستخدم عند الضغط الجوي ودرجة التركيز	محلول ملحي	ماء بحر	محلول ملحي	محلول ملحي
جملة الضغط (جوي)	٣,٢%	٣,٥%	٥,٨%	٥,٥%
الزيادة عن الضغط الأسموزي (جوي)	٥٥	٦٨	٦٨	١٠٢
نسبة ما ترشح من الأملاح (%) النفاذية مقدرة باللتر في اليوم لكل متر مربع من الغشاء— إزاء كل ضغط جوي من الضغط الزائد من الضغط الأسموزي	٣٠ ٦٥ ٠,١	٤٣ ٦٦,٥ ٠,٠٠٤٣	٣٣ ٦٣ ٠,٠٢٨	٥٤ ٦٦ – ٦٨ ٦,٠٠

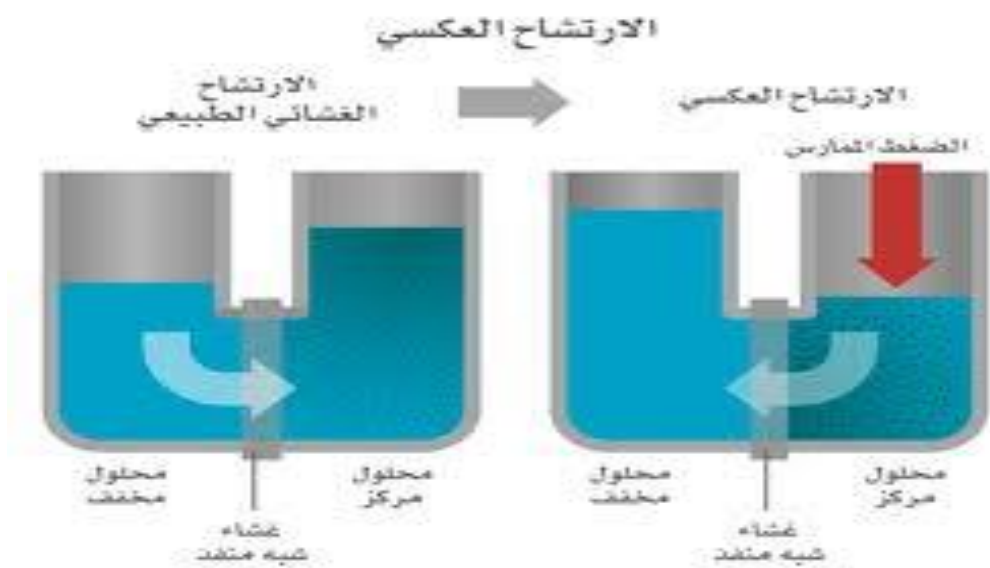
علماء بأن الأغشية أ، ب، ج، د هي كما يلي:

- غشاء محضر عن طريق صب (خليط من الكحول البولي فينيلي مع بلمر متآزر من أثير الميثيل فينيل وأندريد المالك) على سلفون مرطب ثم يخبز لعدة ساعات عند درجة ١٢٥ درجة مئوية.
- غشاءان من السلفون بينهما فجوة.
- غشاء تبادل أنيوني.
- غشاء محضر عن طريق صب خليط خلات السليلوز مع محلول بيركلورات الماغنسيوم المائية والإستيون وبعد ذلك يقلص قليلاً في الماء الساخن.

ويتبين من الجدول السابق رقم (٥) الانخفاض الواضح في كفاءة الأغشية الثلاثة الأولى بحيث يقتضي الأمر استخدام مائة متر مربع أو أكثر من مثل هذه الأغشية لإنتاج متر مكعب واحد من الماء في اليوم إذا بلغ الضغط ١٥٠ جويًا، أم الغشاء الرابع فهو الذي يشير بالخير وقد صنعتها جامعة كاليفورنيا.

طريقة الأسموزينية

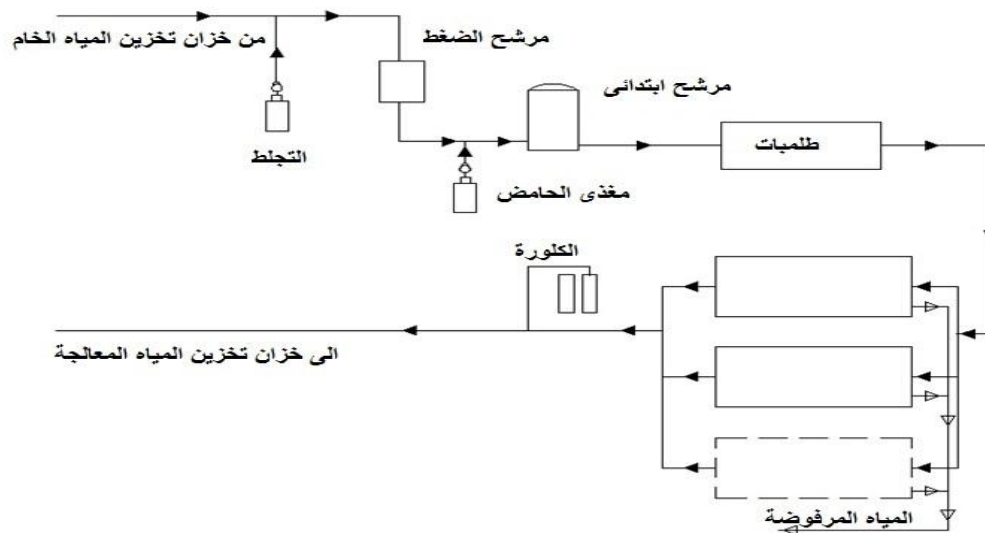
شكلت هذه الكلمة من لفظي أسموزية وأيونات وهي تشير إلى أن هذه الطريقة تتضمن ظاهرة الإسموزية عن طريق الأيونات، ونستطيع أن نفهم أساس هذه الطريقة إذا تأملنا في الشكل رقم (٢٧) ففي المرحلة الأولى نجد خنس خلايا يفصل بينها أربعة أغشية الأيونية وكاتيونية كما في حالة الديليزة الكهربائية، والخليتان الطرفيتان م ١، م ٢ بهما محلول ملحي تركيزه ٤٠ جراماً في اللتر والخلايا الثالث الداخلية م ١، س ١ يوجد غشاء كاتيوني أي يسمح بنفاذ الكاتيونات المعدنية (كالصوديوم) فقط، ولما كان المحلول في م ١ إلى س ١ ويسبب ذلك زيادة في تركيز أيونات الصوديوم عما يقابلها من أيونات الكلور في الخلية س ١ غشاء وإزاء ذلك تتحرك أيونات الكلور من الخلية الوسطى ع (التي نضع بينها وبين الخلية س ١ غشاء أيونياً يسمح بمرور أيونات الكلور) لتدخل إلى الخلية س ١، ومن الناحية الأخرى من الجهاز يحدث أمر مشابه بطريقة عكسية يوضع غشاء أيوني بين الخليتين م ٢، س ٢ فيسمح بمرور الأيونات الحمضية (كالكلور) مثلاً، وزيادة الكلور في الخلية س ٢ يجعل أيونات الصوديوم تتحرك من الخلية الوسطى ع التي يوجد بينها وبين الخلية س ٢ غشاء كاتيوني يسمح بمرور هذه الأيونات (المرحلة الثانية على الرسم)، وتكون النتيجة أن الخلية الوسطى ع أيونات أملاحها عن اليمين والشمال.



شكل رقم (٢٧) طريقة الأسموزينية

ويقل تركيز الأملاح فيها إلى الدرجة المناسبة للماء العذب السائغ، بينما يزيد تركيز الأملاح في الخليتين المحيطتين بها، أما الخليتان الطرفيتان فإن التي فقدت أيونات الصوديوم يكون بها فائض من أيونات الكلور والتي فقدت أيونات الكلور يكون بها فائض من أيونات الصوديوم، فإذا وصلنا هاتين الخليتين الطرفيتين من الخارج لشاهدنا حركة هذه الأيونات الفائضة في الاتجاهين حتى يتم التعادل، وسير الأيونات السالبة في اتجاه الأيونات

الموجبة في اتجاه يعني سريان تيار كهربائي من اليمين إلى الشمال في القناة الخارجية، ولو تأملنا حركة الأيونات السالبة والموجبة داخل الجهاز نفسه لتبيننا وجود تيار آخر يسري في اتجاه عكسي من اليمين إلى الشمال، ويمكننا أن نتصور طريقة الأسموزية بأنها عملية تحليل كهربائي ذاتية، أي إنها تولد لنفسها الطاقة التي تلزمها، ولقد تسنى لنا ذلك عن طريق إقامة فروق في التركيز الملحي ما بين الخلايا، ففيما بين الخلايا م ١ - س ١ - م ٢ - س ٢ حيث تتحرك الأيونات نتيجة لاختلاف التركيز الملحي فإن هذا الاختلاف في التركيز يعتبر وكأنه مولد التيار، وأما المناطق فيما بين الخلية الوسطى "ع" والخليتين المحيطتين من الأيونات الزائدة فيمكن اعتبارها عملية تحليل عادية تعمل بالتيار الذي تولد من قبل، لكن هذه الميزة بالذات التي تتميز بها طريقة الإسموزية من حيث إنها تعتمد على نفسها فيما تحتاجه من القوة، هي السبب في كفاءتها ومن ثم عدم خروجها إلى الاستغلال الاقتصادي، فيه شديدة البطء تتطلب انشاءات كبيرة ولا تزيد نسبة التحويل فيها عن إنشاءات ٣٠% من الماء الخام المستعمل الذي لم يتعد حتى الآن الآبار متوسطة الملوحة لماء البحر والشكل رقم (٢٨) يوضح رسماً تخطيطياً لعملية النتج الأسموزي العكسي.



شكل رقم (٢٨) رسماً تخطيطياً لعملية النتج الأسموزي العكسي

٨. تكنولوجيا إزالة النيتروجين بالمعالجة الثلاثية

يتواجد النيتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة بالأشكال التالية:

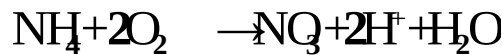
١. نيتروجين عضوي (40-56%) N.

٢. أمونيا (50-60%) NH_4^+ .

٣. نترات NO_3 .

٤. أخيراً نيتريت (0-5) NO_2 .

ويعتبر النيتروجين مادة ملوثة نظراً لمساعدته في نمو الكائنات الحية في المسطحات المائية الطبيعية، نظراً لما يسببه من امتصاص الأكسجين وأكسدة للمواد طبقاً للمعادلة الكيميائية التالية:



كما أن النيتروجين الموجود على هيئة أمونيا فهو أيضاً سام على الأسماك وتعتمد درجة السمية على الأمونيا وثاني أكسيد الكربون ودرجة تركيز الأكسجين الذائب ودرجة pH ودرجة الحرارة ويجب أن تكون درجة السمية أقل من ٠,٠١ مجم/لتر.

ويمكن إزالة النيتروجين بيولوجياً وكيميائياً كما يلي:

الإزالة البيولوجية للنيتروجين

يمكن إزالة النيتروجين بيولوجياً بثلاث وسائل هي كما يلي:

- التمثيل البكتيري.
- النمو الطحلي.
- التحول إلى النتريجة وإزالة النتريجة.

التمثيل البكتيري

تحتاج الكائنات الدقيقة عند نموها وتكاثرها إلى وجود العناصر الغذائية الأولية اللازمة لبناء الخلايا الجديدة مع توفير مصدر الطاقة.

وعند تواجد الطعام مع توفير مصدر فسوف يتاح للبكتيريا اختيار وضبط تحويل جميع صور النيتروجين والفوسفور الذائب وتحويله إلى خلايا بكتيرية جديدة. ويحتاج هذا التحول بجانب المواد الكربوهيدراتية إلى الطاقة اللازمة لذلك ولكن يعيبه طول الفترة الزمنية اللازمة للحصول على الكربون مع إنتاج كمية كبيرة من الرواسب.

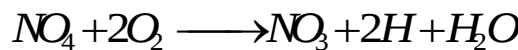
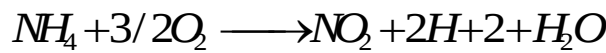
التحول الطحلي

التكتيك المتبع في التحول الطحلي هو نفس التكتيك المتبع في التحول البكتيري حيث يتم تفاعل مادة النيتروجين وثاني أكسيد الكربون وآبار نيتريت مع وجود طاقة ضوئية فيتحول إلى خلايا طحليه والتي بدورها تحرر الأكسجين اللازم للكائنات الحية البكتيرية الهوائية والتي تقوم بتثبيت وأكسدة النيتروجين.

النترجة (التأزت) وإزالة النترجة (الديا تأزت)

تعتبر النترجة وإزالتها هي الطريقة الأساسية لإزالة النيتروجين من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي كما أنها تعتبر تطويراً لطريقة الحمأة المنشطة وتتم على الخطوتين التاليتين.

في هذه الخطوة يتم أكسدة الأمونيا بواسطة البكتريا الهوائية وتحتاج عملية النترجة من ٤-٥ كجم أوكسجين للأكسدة ١ كجم من الأمونيا عند درجة pH من ٧,٥ - ٨,٥ طبقاً للمعادلات البيوكيماوية التالية:



ومن الممكن إتمام عملية التأزت في أحواض التهوية مما يتطلب زيادة زمن التهوية في وحدات التفاعل البيولوجي للحمأة المنشطة.

الإزالة الكيميائية للنيتروجين

يمكن إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحي أو تحويله إلى مركبات أخرى باستخدام تكنولوجيا الكيمياء مثل الأكسدة بغاز الكلور أو بالتبادل الأيوني أو انتزاع الأمونيا بالهواء.

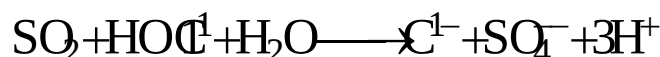
الأكسدة

يمكن إزالة أمونيا النيتروجين كيميائياً بإضافة الكلورين أو الهيبوكلوريت عند نقطة التكسير في عملية الكلورة فيتم تحويل من ٦٥-٦٦% من الأمونيا الموجودة في مياه الصرف الصحي إلى غاز النيتروجين والمونيا المتبقية تتحول إلى نترات وترياكلوريد النيتروجين ويتم هذا التحول طبقاً للمعادلة الكيميائية التالية:



ومن الناحية العملية تتراوح نسبة الوزن بين الكلوريد والنيتروجين من ٨:١ إلى ١٠:١ وهذا الاختلاف يعتمد على وجود المواد الكيميائية العضوية أو العضوية وكذلك على درجة الأيون الأيدروجيني الحر في مياه الصرف الصحي.

والكلور المتبقي بعد نقطة التكسير في عملية الكلوره قد يكون أكبر من المسموح به في الفائض مما يتطلب الأمر عند ذلك لهذا الكلور المتبقي بإضافة لثاني أكسيد الكبريت بنسبة ٠,٦ - ١,٠ مجم /مجم كلورين طبقاً للمعادلة الكيميائية التالية:



أو باستخدام الفحم المنشط بنسبة ٣٧٠ إلى ٢٤٠٠ مجم / م^٣ وطبقاً للمعادلة الكيميائية التالية:



وبالرغم من انتشار استخدام الكلورين إلا أنه يعتبر مادة كيميائية غالية التكاليف وإذا تطلب الأمر الاقتصاد في التكاليف فيجب عند ذلك التفكير في طرق أخرى لإزالة النيتروجين بهذه الطريقة، كما يعتبر غاز الأوزون أحسن كفاءة من الكلور إلا أنه مازال مكلفاً.

التبادل الأيوني لإزالة النيتروجين

كما سبق شرحه فإن طريقة التبادل الأيوني يمكن بها إزالة مركبات النيتروجين حيث يمكن للوسيط التبادلي ذو العمق ١,٥ متر أن يعالج من ١٢-٣٠ م^٣/م^٢ ساعة ويتوقف حجم المبدل الأيوني على درجة تركيز المونيا في المخلفات السائلة وكم تركيز الأمونيا المسموح ببقائها في الفائض.

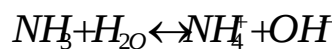
ويمكن إعادة نشاط الوسيط التبادلي بإضافة الجير ثم انتزاع الأمونيا من البرج بواسطة الهواء وتتصاعد الأمونيا في الهواء أو من خلال صرف محلول حامضي من البرج إلى أن يتم تنشيط الوسيط التبادلي.

وبهذه الطريقة يتم إزالة النيتريت والفوسفيت إلا أن التكاليف مرتفعة كما أنه يفضل إزالة المواد العالقة بالترشيح قبل استخدام هذه الطريقة.

انتزاع الأمونيا بالهواء

يتم انتزاع الأمونيا من فائض محطات معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام الهواء يعتبر تطويراً لطرق التهوية المستخدمة في إزالة الغازات الذائبة بالمخلفات السائلة.

ويلزم لذلك رفع درجة تركيز اليون الهيدروجيني الحر لمياه الصرف الصحي حتى pH 11 باستخدام الجير ثم التخلص من الأمونيا أثناء تساقط الفائض في البرج مع استخدام تيار هوائي صاعد طبقاً للمعادلة الكيميائية التالية:

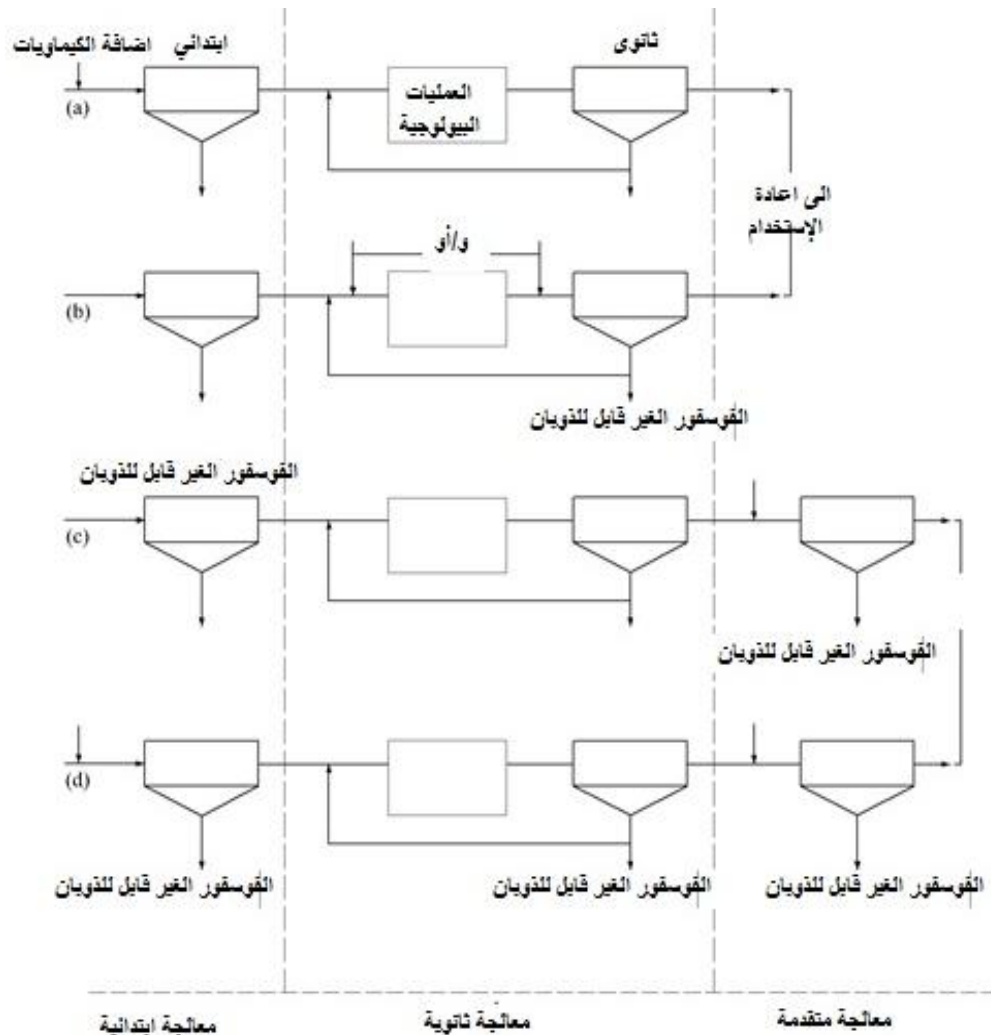


وعن طريق نزع الأمونيا يتم إزالة النيتروجين وتصل الكفاءة من ٦٠-٦٨% وتكون نسبة الهواء إلى السائل من ٢,٦٢ : ١ إلى ٦ : ١ ومعدل التحميل الهيدروليكي ١٧٥ م^٣/م^٢/يوم.

ويمكن انتزاع الأمونيا أثناء المعالجة البيولوجية في أحواض التهوية أو بعد المعالجة البيولوجية أي في وحدات معالج إضافية (ثالثة) وبالإضافة إلى الغرض الأساسي وهو إزالة النيتروجين فإنه يمكن رفع كفاءة إزالة الفوسفور وإزالة المركبات العضوية والمواد العالقة.

٩. تكنولوجيا إزالة الفسفور في المعالجة الثلاثية

مركبات الفسفور مثل النيتروجين تمثل تلوثاً للمسطحات المائية وبالتالي فهي غير مرغوب في تواجدها نظراً لتأثيرها الضار على الكائنات الحية الموجودة بالمسطحات المائية، ويمكن إزالة الفسفور بيولوجياً أو كيميائياً كما هو موضح بالشكل رقم (٢٩)، ويمكن تلخيص هذه الطرق كما يلي:



شكل رقم (٢٩) إزالة الفسفور من فائض محطات مياه الصرف الصحي بيولوجياً أو كيميائياً

الإزالة البيولوجية لمركبات الفسفور

تحتاج البكتيريا للفسفور لإتمام النشاط التكاثري وبناء خلاياها الجديدة ويتراوح التلويح إلى فسفور: ١٠٠ جزء كربون ولذلك يتم إزالة من ٢٠-٤٠% من مركبات الفسفور في تكوين خلايا بكتيرية جديدة.

إزالة الفوسفور في وحدات المعالجة بالحماة المنشطة

عند إزالة المادة العضوية الملوثة من أحواض الترسيب النهائي فإنه يمكن إزالة الفسفور وكذلك النيتروجين فعند تركيز الحماة المنشطة وإعادتها إلى أحواض التهوية للاستخدام مرة أخرى فيمكن للحماة المنشطة الزائدة والتي تم تركيز مركبات الفوسفور بها إضافة الجير لها ثم إعادتها إلى أحواض الترسيب الابتدائي، ومن ثم يمكن تخفيض تركيز مركبات الفسفور في الفائض (السيب) الخير إلى ٢٠-٤٠%.

طرق بيولوجية أخرى لإزالة مركبات الفسفور

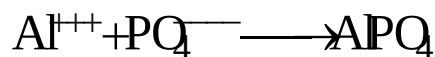
بحيرات الأكسدة (بالتنبيت) تعتبر وسيلة مضمونة لإزالة الفسفور والنيتروجين وكما هو معلوم فإن ضوء أشعة الشمس ودرجات الحرارة أساسية لنمو الطحالب أثناء فصل الصيف ويمكن إزالة ٨٠% من مركبات الفسفور وتقل في فصل الشتاء إلى ٦٠% والطحالب مثل البكتيريا تحتاج إلى الفسفور في بناء الأنسجة والخلايا كما أن النتج العكسي الأسموزي والتحليل الكهربائي هي أيضاً وسائل ناجحة لإزالة الفسفور إلا أنها مازالت مكلفة جداً.

الإزالة الكيميائية للفسفور

يمكن إزالة الفسفور باستخدام مواد كيميائية مختلفة مثل أملاح الكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم والفسفور الموجود في مياه الصرف الصحي هو فوسفات عضوية بولوفوسفات أو رتفوسفات. ولتسهيل التفاعل مع جميع هذه الصور سوف نرمز لأيون الفوسفات (PQ) في جميع التفاعلات الكيميائية والتي يمكن شرحها كما يلي:

فوسفات الألومنيوم

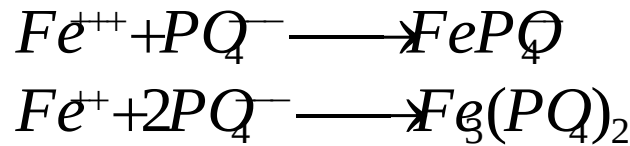
يمكن ترسيب فوسفات الألومنيوم طبقاً للمعادلة الكيميائية الآتية:



ويمكن الحصول على عنصر الألومنيوم بإضافة كبريتات الألومنيوم أو ألومنيات الصوديوم ويكون درجة تركيز الأيون الأيدروجيني الحر pH تعادل ٦ وتتراوح النسبة النظرية بين PO : Al إلى ١ : ١ وتصل النسبة العملية إلى ١,٢ : ١ إلى ٢ : ١ لإزالة من ٧٥ إلى ٦٥ من مركبات الفوسفات وبالتالي إزالة من ٥٥ إلى ٦٠ من المادة العضوية.

أملاح فوسفات الحديد وفوسفات الحديدوز

من الممكن ترسيب أملاح فوسفات الحديد وفوسفات الحديدوز طبقاً للمعادلات الكيميائية التالية :



وتتفاعل أملاح الحديد في وسط قلوي وبغرض تخفيض درجة تركيز الأيون الأيدروجيني الحر حيث أنه أنسب pH لإزالة مركبات الفوسفور بأملاح الحديد هي من ٤-٥ أملاح الحديد و ٧-٨ لأملاح الحديدوز وعملياً فإن النسبة بين كلوريد الحديد والفوسفور تتراوح من ١,٢ : ١ أو ٣ : ١ لتعطي إزالة لمركبات الفوسفور ٧٠-٦٥%.

هيدروكسيفسفيت

يترسب هيدروكسيفسفيت نتيجة للتفاعل الكيميائي بين أنواع الهيدروكسيوم والفسفيت طبقاً للمعادلة التالية:



وتحدد جرعة الجير المطلوبة أولاً والتي تجعل الوسط قلوي بعد معرفة كمية المواد المتسببة للعسر والمعادن الثقيلة بالإضافة إلى تركيز أملاح الفوسفات.

ودرجة تركيز الأيون الأيدروجيني الحر المناسبة لإزالة أملاح الفوسفات هي حوالي ٦ وتزداد نسبة الإزالة بزيادة درجة تركيز الأيون الأيدروجيني الحر.

والمواد الكيميائية المضافة لإزالة الفوسفات تؤثر على كفاءة أحواض الترسيب الابتدائي وأيضاً وحدات المعالجة البيولوجية وبالتالي أحواض الترسيب النهائي.

كما أن اختيار المادة الكيميائية المضافة يختلف باختلاف وحدات المعالجة وعند إضافة هذه المواد الكيميائية مباشرة في أحواض الترسيب الابتدائي تصل نسبة الإزالة إلى أكثر من ٨٠% أما المواد المتبقية فيمكن إزالتها بسهولة في المعالجة البيولوجية.

وعند إضافة المواد الكيميائية إلى وحدات المعالجة البيولوجية نحصل على أعلى كفاءة للإزالة كما أنها تساعد على تكون ندف التجلط وبالتالي نحصل أيضاً على سرعة الترسيب في أحواض الترسيب النهائي مع تحسين نسبة إزالة المواد الصلبة العالقة.

وإذ تم التقليب بمساعدة غاز المونيا وهي طريقة عملية مع إضافة الجير قبل أحواض الترسيب النهائي فإن هذا يؤدي إلى رفع درجة تركيز الأيون الأيدروجيني الحر للدرجة الملائمة لترسيب أملاح الفوسفات، كما يمكن إتمام عملية التآزت باستخدام أملاح الألومنيوم كمادة كيميائية مجلطة وعند إتمام عملية التآزت نجد أن درجة إزالة الأكسجين الحيوي الممتص سوف ترتفع.

ثانياً إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة

١. مقدمة

طبقاً لما تم ذكره سابقاً فإن الغرض الرئيسي من معالجة مياه الصرف الصحي هو الحصول على فائض المعالجة بمعايير معينة تجعل المخاطر التي تتعرض لها الصحة العامة والبيئة في المستوى المناسب والمقبول، ولذلك فإن أنسب طرق معالجة مياه الصرف الصحي هي التي توفر وتضمن مياهاً بالنوعية الكيميائية والمكروبيولوجية المطلوبة لاستعمالات معينة بتكلفة منخفضة وبأقل قدر من متطلبات التشغيل والصيانة. وبصرف النظر عن نوع وحدات معالجة مياه الصرف الصحي، فإنها تؤدي إلى تقليل المواد الصلبة العضوية العالقة، وتزيل المحتويات الكيميائية التي قد تكون لها آثار سمية على المحاصيل وكذلك المكونات البيولوجية (أي الكائنات الممرضة) التي تعد أهم مصادر القلق بالنسبة للصحة العامة.

وكما سبق الإشارة فإنه تتم معالجة مياه الصرف الصحي على أربعة مستويات:

المرحلة الأولى المعالجة التمهيدية: إزالة الأحجام الكبيرة من المواد الصلبة العالقة والتي تحملها مياه الصرف الصحي الخام وهذه المواد غريبة عن مكونات مياه الصرف الصحي.

المرحلة الثانية المعالجة الابتدائية: إزالة المواد الصلبة العضوية وغير العضوية والقابلة للترسيب وحجز المواد الطافية من الزيوت والشحوم.

المرحلة الثالثة المعالجة الثانوية (البيولوجية): إزالة المواد العضوية وغيرها من المواد الصلبة المتبقية بعد المرحلة الأولى من المعالجة.

المرحلة الرابعة المعالجة الثلاثية و/أو المتقدمة: إزالة مكونات محددة من مياه الصرف الصحي، مثل العناصر الغذائية، والمعادن الثقيلة التي يتم إزالتها باستخدام المرحلة الثانية. وعادة ما يتم في هذه المرحلة الرابعة تعقيم المياه بالكلور لتقليل مستوى المكونات البيولوجية وهذه المعالجة الثلاثية غير موجودة بمحافظه سوهاج.

وتعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة فريدة في تركيبها، ولذلك يجب عند استخدامها في أغراض الري مع مراعاة مكوناتها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. ويتضمن هذا الفصل عرضاً موجزاً للمشكلات المرتبطة بذلك، مع التركيز على الحلول المناسبة لهذه المشكلات، وكذلك فيعرض هذا الفصل شرح بعض مناهج وطرق الإدارة المتكاملة للتخفيف من حدة هذه المشكلات أو التغلغل فيها.

٢. الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة

يتضمن جدول رقم (١) المكونات الواجب مراعاة تواجدها في مياه الصرف الصحي المعالجة والمعاليم القياسية لها ودواعي القلق عند استخدام مثل هذه النوعية من المياه كمياه للري.

جدول رقم (١) المعالم الرئيسية للمكونات الواجب مراعاة تواجدها في مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة كمياه للري ودواعي القلق منها

المكونات	المعالم القياسية	دواعي القلق
المواد الصلبة العالقة	مواد صلبة منها المتطايرة ومنها الثابتة	في حالة صرف مياه الصرف الصحي غير المعالجة في بيئة مائية، يمكن أن تؤدي هذه المواد إلى ترسب الحمأة وعدم التهوية كما أن كثرة المواد الصلبة العالقة تؤدي إلى انسداد شبكة الري.
المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي	كمية الأكسجين التي تستهلكها المواد العضوية عند التأكد البيولوجي والتأكد الكيماوي	تتألف أساساً من البروتينات والكربوهيدرات والدهون، وإذا تم تصريف هذه المواد في البيئة المائية فإن تحللها الكيماوي يمكن أن تؤدي إلى استنزاف الأكسجين المذاب في المياه المستقبلية لها، كما يمكن أن تؤدي إلى ظاهرة تعفن هذه المياه. يمكن انتقال الأمراض المعدية عن طريق الكائنات الممرضة الموجودة في مياه الصرف الصحي مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات.
الكائنات الممرضة	كائنات تستخدم كمؤشرات ومنها البكتيريا البرازية	يمكن انتقال الأمراض المعدية عن طريق الكائنات الممرضة الموجودة في مياه الصرف الصحي مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات.
العناصر الغذائية	نتروجين، فسفور، بوتاسيوم	النتروجين والفسفور والبوتاسيوم عناصر غذائية لا غنى عنها لنمو النبات، ووجودها يزيد من قيمة المياه في الري. وعند تصريف النيتروجين والفسفور في بيئة مائية يمكن أن يؤدي إلى نمو أحياء مائية غير مرغوبة أما النتروجين فعندما يتم تسريه بكميات زائدة في الأرض، فإنه يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.
المواد العضوية الثابتة (مستعصية)	مركبات معينة (مثل أنواع الفينول، والمبيدات، والهيدروكربونات المعاملة بالكلور)	هذه المواد العضوية تميل إلى مقاومة الطرق التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصحي، وبعض المركبات العضوية سامة للبيئة، وقد يؤدي وجودها في مياه الصرف الصحي إلى الحد من صلاحيتها للري.
نشاط أيونات الهيدروجين	درجة حموضة أو قلوية الماء (pH)	درجة حموضة أو قلوية مياه الصرف الصحي تؤثر على قدرة المعادن على الذوبان كما تؤثر على قلوية التربة، وتتراوح هذه الدرجة في مياه الصرف الصحي الناتجة عن الصرف الصحي المنزلي بين ٦,٥ ، ٨,٥، ولكنها تختلف كثيراً في مياه الصرف الصناعي.

المعادن الثقيلة	عناصر معينة (مثل الكاديوم، والرصاص، والنيكل، والزنك)	بعض المعادن الثقيلة تتراكم في البيئة وقد تكون سامة للنبات والحيوان، وقد يقلل وجودها من صلاحية مياه الصرف الصحي للري.
المواد غير العضوية المذابة	إجمالي المواد الصلبة الذائبة، والتوصيل الكهربائي، وعناصر معينة (مثل الصوديوم، والكالسيوم، والمغنسيوم، والبورون)	الملوحة الزائدة ربما تتلف بعض المحاصيل. وبعض الأيونات مثل الكلور يد والصوديوم والبورون قد تؤدي إلى تسمم بعض المحاصيل. أما الصوديوم فإنه ربما يسبب مشكلات تتعلق بنفاذية التربة.
الكلور المتبقي	كلور منفرد وكلور متحد	وجود كميات زائدة من الكلور المنفرد المتاح ($>5\text{mg/ICL2}$) ربما يؤدي إلى احتراق أطراف أوراق النبات وإلى أضرار على النباتات الحساسة. ولكن معظم الكلور الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة يكون متحداً مع غازات أخرى، ولهذا لا يؤدي إلى إتلاف المحصول، وهناك احتمال أن تتسبب المواد العضوية الكلورة إلى تلوث المياه الجوفية

الخصائص الطبيعية لمياه الصرف الصحي المعالجة

العكارة

وهـ d تتنج من وجود الغرويات العالقة في مياه الصرف الصحي وهـ d تصلح كمؤشر أولى لتواجد المواد الصلبة غير الذائبة في حالة التركيزات المنخفضة منها.

اللون

لون مياه الصرف الصحي المعالجة لا يعطى دلالة مباشرة عند استخدامها في الري، ولكنه يعطى دلالة أولية عن مدى التحلل ونسبة الطحالب الخضراء التي تسبب بعض المشاكل في بعض نظم الري.

الرائحة

تصبح الرائحة ذات أهمية ملموسة، ويجب مراعاتها عندما تحيط كتلة سكنية بالمنطقة الزراعية التي يتم ريها بمياه الصرف الصحي المعالجة. وعموما ترتبط الرائحة بشكل أو بآخر بنوع أو طريقة المعالجة. فهناك طرق معالجة مثل برك الأكسدة اللاهوائية لها أثر بالغ في أحداث الرائحة الكريهة، بينما هناك طرقاً أقل أثراً مثل طريقة التهوية الممتدة أو البرك الموهوة.

درجة الحرارة

وهـ d تؤثر على معظم متغيرات الصرف الصحي، فهـ d تؤثر على معدل النمو الحيوي ومعدلات التخلص من مسببات المرضية وعلى معدلات الترسيب للمواد الصلبة بمياه الصرف الصحي.

الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة

المواد الصلبة

تلعب المواد الصلبة دوراً رئيسياً عند استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة ولذا فإن مؤشرات المواد الصلبة الذائبة والغير الذائبة القابلة لترسيب ومؤشرات أساسية عند تصميم وتنفيذ نظم المعالجة، كما أن نوع الأيونات وتركيزات الأملاح في المياه تؤثر إلى حد بعيد على نوعية المياه وتلعب دوراً رئيسياً في اختيار نظم المعالجة المناسبة للري.

الأكسجين المستهلك حيويًا كيميائيًا (BOD5, COD)

وهما من أهم مؤشرات تركيز المواد العضوية في مياه الصرف الصحي المعالجة ويعبران عن كميات الأكسجين التي تحتاجها المياه حتى يتم أكسدة جميع المواد الذائبة سواء بطريقة حيوية أو بطريقة كيميائية ولذلك فإن تلك المؤشرات تعكس مستوى تركيز المواد الذائبة العضوية وغير العضوية في مياه الصرف الصحي وتستخدم تلك المؤشرات في الحكم على مدى تلوث مياه الصرف الصحي وعلى كفاءة عمليات المعالجة وجودة المخرجات كما هو موضح بالجدول أرقام (٢)، (٣)، (٤) بالنسبة لبعض الولايات بأمريكا.

جدول رقم (٢) معايير مياه الصرف الصحي المعالجة في قنوات الري في كلورادو Colorado , USA

المعايير		الحد الأعلى (مليجرام / لتر)
العناصر	متوسط ٧ يوم	متوسط ٣٠ يوم
- الأكسجين الحيوي الممتص BOD5	- ٤٥	- ٣٠
- المواد العالقة S.S	-	-
- معالجة ثانوية	- ٤٥	- ٣٠
- برك أكسدة مهواة	- ١١٠	- ٧٥
- برك أكسدة غير مهواة	- ١٦٠	- ١٠٥
- الكلور المتبقي	- < ٠,٥	-
- الزيوت والشحوم	- ١٠	- لا يوجد

الملوحة ونوعية الأملاح المختلفة

من المعروف أن قيمة مياه الري تعتمد بالضرورة على نوع الأملاح الذائبة، ودرجات تركيزها المختلفة. فالأملاح الذائبة في المياه تؤثر على الأراضي المروية بها فنتيجة للمتغيرات التي تحدثها التركيزات المرتفعة للأملاح المذابة على الضغط الأسموزي تقل قدرة جذور النباتات على امتصاص المياه من النطاق الرطب في التربة. كما أن هناك بعض الأملاح الذائبة (الكلوريدات) ذات أثر سام على النبات. كما أن البورون عند تركيزات شديدة الانخفاض يضر بشد العديد من المحاصيل المختلفة. ولا يتوقف أثر الأملاح المذابة على النباتات بل يمتد أثرها ودرجات مختلفة على التربة وغالباً ما تأتي بنتائج غير مرغوب فيها كما هو موضح بالجدول رقم (٣).

العناصر النادرة Trace elements

هي مجموعة من العناصر المعدنية التي توجد في التربة وفي مياه الصرف الصحي المعالجة وبتراكيز قليلة لذا تعرف بالعناصر النادرة لأن تركيزاتها لا تتجاوز عدة مليجرامات / للتر. وتعرف هذه العناصر في مجال تغذية النبات وخصوبة التربة بأنها العناصر الصغرى (minor elements) أو العناصر الغذائية الدقيقة (Micronutrients) وهذا يشير إلى درجة تركيزها وليس إلى أهميتها وذلك على غرار الدور الذي تقوم به الفيتامينات في جسم الإنسان فمثلاً وجود بضعة أجزاء في المليون من الحديد في التربة يعد من الأمور الأساسية لسلامة نمو النبات ولا تتضمن التحاليل الروتينية للتربة ولمياه الري في العادة تقدير هذه العناصر الغذائية الدقيقة مالم يكن هناك ما يشير إلى نقص (deficiency) أحد هذه العناصر.

جدول رقم (٣) معايير الحدود المسموح بها لاستخدام المياه في الزراعة Utah , USA

المعايير	لا توجد مشاكل	بداية المخاطر	مخاطر شديدة
- الأملاح الكلية الذائبة ملليجرام / لتر - الأملاح الكلية الذائبة بعد الترسيب ملليجرام /لتر - صوديوم المدمص SAR - الأس الهيدروجيني	- ٤٨٠ > - ١٢٨ > - ٦ >	- ٤٨٠ - ١٩٠ < - ٣٢٠ > - ٦-٩	- ١٩٢٠ < - ٣٢٠ - ٩ >
- سمية بعض العناصر: - البورون ملليجرام / لتر - الصوديوم (ري سطحي) ملليجرام / لتر - الصوديوم (رش) ملليجرام / لتر - الكلوريد (ري سطحي) ملليجرام / لتر - الكلوريد (رش) ملليجرام / لتر	- ٠,٥ > - ٣ > - ٦٩ > - ١٤٢ > - ١٠٦ >	- ٠,٥ - ٢,٠ - ٣-٩ - ٦٩ < - ١٤٢ - ٣٥٥ - ١٠٦ <	- ١٠ - ٩ < - ٣٥٥ <
- تأثير بعض العناصر: - النتروجين ملليجرام / لتر - البيكربونات ملليجرام / لتر	- ٥ > - ٩٠ >	- ٣٠ - ٩٠-٢٥٠	- ٣٠ < - ٢٥٠ <

جدول رقم (٤) المعايير القياسية لمياه الصرف الصحي المعالجة Utah , USA

العناصر	المعايير	معالجة ثانوية		معالجة ثانوية ونهائية	
- الأكسجين الحيوي الممتص BODs (مليجرام/لتر)	- المتوسط	- ٢٥	- ٢٥	- ٠	- ٢٠
- متوسط ٧ يوم	- التخلص %	- ٨٥	- ٣٥	- ٢٠	- ٨٥
- المواد الصلبة العالقة (مليجرام / لتر)	- متوسط ٣٠ يوم	- ٢٥	- ٢٥	- ١٠	- ١٢
- متوسط ٧ يوم	- التخلص	- ٨٥	- ٣٥	- ١٢	- ٨٥
- بكتريا القولون (خلية / ١٠٠ مللي)	- متوسط ٣٠ يوم	- ٢٠٠٠	- ٢٠٠٠	- ٢٠٠	- ٢٥٠
- متوسط ٧ يوم	- بكتريا القولون البرازية (خلية / ١٠٠ مللي)	- ٢٥	- ٢٥	- ٢٥٠	- ٩.٦
- متوسط ٣٠ يوم	- متوسط ١٠ يوم	- ٢٥٠	- ٢٥٠	- ٢٥٠	- ٩.٦
- رقم الـ pH					

أما في تحليل المياه الصرف الصحي المعالجة، فإن تحديد هذه العناصر يعد من الضروري الالتزام بالحدود القصوى كما هو موضح في جداول أرقام (٥)، (٦) وخصوصاً إذا كانت مخلفات المصانع تصرف على شبكة الصرف الصحي. وبالرغم من أن بعض هذه المعادن تعد ضرورية لتغذية النبات فإن وجودها بتركيزات عالية في مياه الري يمكن أن تكون له آثار سمية (Toxic) ضارة بالنبات.

وفي الواقع أن جميع المعادن المشار إليها في الجداول أرقام (٥)، (٦) ليست كلها ضرورية لنمو النباتات. والمعادن التي تعد ضرورية لتغذية النبات هي الحديد (Fe) والمنجنيز (Mn) والزنك (Zn) والنحاس (Cu) والبورون (B) والمولبدنيوم (Mo).

جدول رقم (٥) الحدود القصوى المسموح بها من العناصر النادرة لمياه الري FAO200

العناصر	الحدود المسموح بها (ملجم / لتر)	
	الاستعمال طويل الأجل (١)	الاستعمال قصير الأجل (٢)
- الألومنيوم (AL)	- ٥,٠	- ٢٠,٠٠
- الزرنيخ (As)	- ٠,١٠	- ٢,٠٠
- والبورون (B)	- ٠,٧٥	- ٢,٠٠
- الكاديوم (Cd)	- ٠,٠١	- ٠,٠٥
- الكروميوم (Cr)	- ٠,١٠	- ١,٠٠
- الكوبلت (Co)	- ٠,٠٥	- ٥,٠٠
- البريليوم (Be)	- ٠,١٠	- ٠,٥
- النحاس (Cu)	- ٠,٢٠	- ٥,٠٠
- الفلور (F)	- ١,٠٠	- ١٥,٠٠
- الحديد (Fe)	- ٥,٠٠	- ٢٠,٠٠
- الرصاص (Pb)	- ٥,٠٠	- ١٠,٠٠
- الليثيوم (Li)	- ٢,٥	- ٢,٥
- المنجنيز (Mn)	- ٠,٢٠	- ١٠,٠٠
- المولبدنيوم (Mo).	- ٠,٠١	- ٠,٠٥
- النيكل (Ni)	- ٠,٢٠	- ٢,٠٠
- السيلينيوم (Se)	- ٠,٠٢	- ٠,٠٢
- الفناديوم (V)	- ٠,١٠	- ١,٠٠
- الزنك (Zn)	- ٢,٠٠	- ١٠,٠٠

١. يمكن استعمال نوعية مثل هذه المياه في جميع أنواع الأراضي.

٢. يمكن استعمال المياه لمدة لا تزيد عن ٢٠ سنة وفي الأراضي الرملية المتعادلة.

جدول رقم (٦) الحدود القصوى لتركيزات العناصر الثقيلة في مياه الري طبقاً لمواصفات منظمة الأغذية والزراعة (FAO)

العناصر	التركيز الأقصى الموصى به (ملجم/ لتر)	ملاحظات
الألومنيوم	٥,٠	يمكن أن يؤدي إلى نقص الإنتاجية عندما ينخفض الرقم الهيدروجيني عن ٥,٥ pH أما في حالة الزيادة عن ذلك فإن هذا الأثر يختفي.
الزرنيخ	٠,١	تختلف تأثيراته السامة من نبات إلى آخر فيمكن لعشب السودان أن يحتمل ١٢ ملجم / لتر. بينما لا يتمل الأرز أكثر من ٠,٥ ملجم / لتر
البرليوم	٠,٠١	سام لكل من الفاصوليا والبنجر واللفت عند تركيزات تصل إلى ٠,١ ملجم/لتر. وروعي في وضع الحد الأقصى أقل من هذه القيمة نظراً لقدرة العنصر العالية على التراكم في النباتات والتربة إلى تركيزات خطيرة للإنسان.
الكوبلت	٠,٠٥	يؤدي إلى تسمم الطماطم عند ٠,١ ملجم / لتر، ويمكن أن ينخفض تأثيره في التربة القاعدية والمتعادلة
الكروميوم	٠,١	وضعت هذه القيمة القصوى نظراً لمحدودية المعلومات المتوافرة عن تأثير هذا العنصر.
النحاس	٠,٢	يمكن أن يؤدي إلى تسمم العديد من النباتات في المدن من ٠,١ الى ١,٠٠ ملجم / لتر.
الفلوريد	١,٠	تحبط التربة القلوية والقاعدية تأثيراته.
الحديد	٥,٠	لا يؤثر على النباتات في التربة المهيأة، ولكنه يمكن أن يسهم في زيادة الحامضية وفقد بعض من الفسفور والمولبدنيوم الضروري للتربة
الليثيوم	٢,٥	يمكن احتمال معظم المحاصيل لتركيزات تصل الى ٥ ملجم / لتر، لكن الموالح تتأثر إلى حد كبير بتركيزاته المنخفضة (أكبر من ٠,٧٥ ملجم / لتر)
المنجنيز	٠,٢	يمكن أن يؤثر بالضرر على عدد كبير من المحاصيل في المدى من عدة أعشار إلى عدة مليجرامات في اللتر، ولكن التربة الحامضية تلاشى تأثيره

المولدينيوم	٠,٠١	عند التركيزات العادية لا يؤدي إلى أضرار للمحاصيل، ولكنه يؤدي إلى آثار ضارة على الثروة الحيوانية عند استخدام الأعلاف المزروعة في تركيزات مرتفعة للعنصر.
النيكل	٠,٢	يؤثر على العديد من المحاصيل في المدة من ٠,٥ الى ١,٠٠ ملجم / لتر، لكن هذا الأثر يتلاشى في التربة القاعدية أو المتعادلة.
الرصاص	٠,٥	يعوق نمو الخلايا النباتية بوجه عام عند التركيزات المرتفعة.
السيلينيوم	٠,٠٢	يؤدي إلى تسمم النباتات عند التركيزات التي تزيد عن ٠,٠٢٥ ملجم/لتر، ويؤثر على الثروة الحيوانية في حالة استخدام الأعلاف المزروعة في ظروف التركيزات المرتفعة. كما أنه عنصر ضروري للنباتات عند تركيزاته المنخفضة.
القصدير	—	احتمال النباتات له غير معرفة
التيثانيوم	—	احتمال النباتات له غير معرفة
النجستين	—	احتمال النباتات له غير معرفة
الفناديوم	٠,١	يؤثر على العديد من النباتات عند التركيزات المنخفضة
الزنك	٢,٠	يؤثر على العديد من النباتات وهذا التأثير ينخفض عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني عن ٦,٠٠ وأيضاً عندما تتميز التربة بالنعومة وارتفاع تركيزات المواد العضوية بها.

نلخص من ذلك بأن وجود هذه العناصر في مياه الري باستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، بتركيزات معينة يعد مفيداً وله قيمته.

ومع ذلك فإن أكبر المخاطر الصحية فيما يتصل بهذه العناصر، التي تسمى أيضاً بالمعادن الثقيلة (التي تتجاوز كثافتها ٤ جم/سم^٣) de المخاطر المرتبطة بتلوث المحاصيل، وأخطر هذه العناصر الكاديوم (Cd) والسيلينيوم (Se) الزئبق (Hg).

ويساعد انخفاض رقم حموضة التربة (إلى أقل من ٦ pH) على إحداث هذا الأثر ولحسن الحظ أن ذلك لا يعد شائعاً في معظم أنواع التربة بمنطقة الشرق الأوسط الذي تنتشر فيه أنواع التربة القلوية (رقم الحموضة أعلى من ٧ pH).

ومن الجوانب الأخرى المناسبة في هذا الصدد أن معظم هذه المعادن الثقيلة تكون على شكل أوكسيدات أو هيدروكسيدات في مياه الصرف الصحي المعالجة ويتم ترسيبها أثناء عمليات المعالجة وبذلك تصبح جزءاً من المواد الجامدة أو الحمأة (Sludge) الناتجة من عملية المعالجة.

لذلك فمن المهم تقنين معدلات إضافة الحمأة إلى التربة بطريقة مأمونة ومناسبة لتلافي مخاطر التلوث بالمعادن الثقيلة نتيجة لإضافة الحمأة إلى التربة وتراكمها لسنوات طويلة، وقد وضعت في كثير من البلدان بعض الخطوط التوجيهية وطبقت معايير للأمان فيما يتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بما في ذلك نوع التربة والمحاصيل ونظم الري والظروف المناخية وغيرها. ومن الواضح أنه من المطلوب إجراء المزيد من البحوث في هذا المجال لوضع خطوط توجيهية تنظم الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي المعالجة ونواتجها.

الاعتبارات الواجب مراعاتها عند وجود العناصر النادرة والمعادن الثقيلة

تتصدر المشكلة في إذا ما كانت هذه العناصر النادرة تمثل مخاطر صحية و/أو بيئية شديدة وعموماً فإن المعادن الثقيلة والعناصر النادرة لا ينبغي النظر إليها على أنها تمثل مشكلة ملحة أو خطيرة لسببين هما:

- أن تركيز المعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي الناتجة عن الاستهلاك المنزلي منخفض نتيجة لقلّة أنشطة الصناعات الثقيلة.
- كما أن أنواع التربة المصرية التي ترتفع فيه غالباً نسبة كربونات الكالسيوم والتي تؤدي إلى تجاوز الرقم الهيدروجيني (pH) لرقم ٧، وهذا يؤدي إلى تثبيط نشاط المعادن الثقيلة والحد من انتقالها إلى المحاصيل وتركيزها فيها، وفي مثل هذه الظروف تصبح المعادن الثقيلة غير متاحة للامتصاص وتكون الحدود القصوى والتركيزات التي تتجاوز ما جاء في الجدولين السابقين (٥)، (٦) مقبولة. ولذلك يمكن القول أنه:
- ١. ينبغي مراعاة ظروف أنواع التربة الكلسية باعتبار أن المعادن الثقيلة الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة تمثل مشكلة حقيقية، وبالتالي فليس من اللازم تطبيق معاملات إدارية خاصة.
- ٢. أما في حالة التربة الحامضية يمكن أن تمثل المعادن الثقيلة مشكلة، وفي هذه الحالات يوصى باتباع التدابير على مستوى المزرعة:
- إضافة المواد الكلسية إلى التربة (باستخدام كربونات الكالسيوم) وبهذه الطريقة يرتفع الرقم الهيدروجيني في التربة مما يقلل من قابلية المعادن الثقيلة للذوبان.
- تجنب التسميد بالأسمدة ذات التأثير الحامضي.
- اختيار المحاصيل القادرة على تحمل مقادير معينة من المعادن الثقيلة.
- اختيار المحاصيل قليلة القدرة على تجميع معادن ثقيلة معينة وتركيزها في أنسجتها أو في أجزاء منها.
- ينبغي تشجيع المزارعين على الرجوع للمختصين قبل قرارات نهائية بهذا الشأن.

المواد الكيميائية الأخرى

بالإضافة إلى المعادن الثقيلة أو العناصر النادرة المشار إليها، تحتوى مياه الصرف الصحي المعالجة أيضاً على مجموعة من المواد الكيميائية (العضوية وغير العضوية)، وهذا يرجع أساساً إلى تصريف المخلفات الصناعية في شبكة الصرف الصحي. ومن الكيماويات العضوية التي توجد في مياه الصرف الصحي الكثير من الكيماويات كالفينولات والهيدروكربونات والمبيدات الحشرية، ومبيدات الأعشاب. ويؤدى وجود معظم هذه المواد العضوية إلى الإصابة بالسرطان مما يجعلها من أهم المخاطر الصحية، ولذلك لقيت اهتماماً كبيراً من جانب منظمة الصحة العالمية (WHO) ومن المرجح أن المخاطر الصحية المرتبطة بهذه المركبات تنشأ من سوء استخدامها في المناطق المروية أكثر من مما تنشأ من استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة التي تحتوى على نسب من هذه المركبات.

ومن ناحية أخرى، تعد النترات NO_3 من أهم المركبات غير العضوية التي تضر بالبيئة بالإضافة إلى المعادن الثقيلة المشار إليها ومع أن جميع التقارير والوثائق تؤكد على وجود النترات في مياه الصرف الصحي المعالجة، فإن تركيزها أعلى بكل تأكيد في مياه الصرف الزراعي نظراً لتسرب الكميات الزائدة من الأسمدة النتروجينية التي تضاف إلى التربة في مياه الصرف الزراعي. وقد أسترعى تلوث موارد المياه الجوفية بالنترات اهتماماً واسعاً في جميع أنحاء العالم.

ولا سيما من جانب الباحثين والمعنيين بشئون البيئة. ومن الأمثلة التي تؤكد خطورة هذه المشكلة أن الاستثمارات التي أنفقتها الولايات المتحدة الأمريكية للتحكم في نسب تركيز النتروجين والفسفور بمنطقة البحيرات الكبرى على مدى عشر سنوات فقط تجاوزت قيمتها عدة مليارات من الدولارات.

٣. العناصر المغذية للنباتات في مياه الصرف الصحي المعالجة

إن قدرة مياه الصرف الصحي المعالجة على تزويد التربة بما تحتويه من عناصر غذائية يمكن أن يكون من العوامل الإيجابية في نمو المحصول ولكن قد يمثل أيضاً مصدر تلوث للبيئة، وهذا يعتمد أساساً على الأساليب التي يطبقها المزارعون. ويعد وجود العناصر الغذائية من الخصائص التي تتفرد بها مياه الصرف الصحي المعالجة وهذه يحرص عليها المزارعون بدرجة كبيرة. ولهذا السبب، وضعت مدونة سلوك للتسميد الجيد ضمن هذا الدليل والغرض منها هو توضيح الأبعاد الجديدة لاستعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في الري بطريقة رشيدة، ومريحة ومأمونة من الناحية البيئية.

قيمة العناصر الغذائية التي تحتويها مياه الصرف الصحي المعالجة

تحتوى المواد العالقة والغروية والمذابة في مياه الصرف الصحي المعالجة على عناصر غذائية كبرى (macronutrients) وعناصر غذائية صغرى (micronutrients) لها دور أساسي في تغذية المحاصيل. ومع ذلك قد يتجاوز ما تحتويه من العناصر الغذائية احتياجات المحصول، ما يمثل خطراً محتملاً لتلوث المياه الجوفية، كذلك قد

تؤدي هذه العناصر الغذائية الزائدة عن حاجة النبات إلى مشكلات تتصل بزيادة نمو المجموع الخضري للنبات، وتأخر النضج أو عدم انتظامه، أو الأضرار بجودة المحاصيل لذلك يجب حساب الناصر الغذائية الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة ومراعاتها في البرنامج العام للتسميد. وهنا من اللازم إجراء تحليل لمياه الصرف الصحي المعالجة مرة واحدة على الأقل قبل بداية موسم الزراعة.

وتوجد بمياه الصرف الصحي المعالجة عناصر غذائية عديدة لها أهميتها في زراعة المحاصيل والحدائق، ومنها النيتروجين، والفسفور، وأحيانا البوتاسيوم، والزنك والبورون، والكبريت وعلاوة على ذلك، فإن المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة لها تأثير طويل الأجل على خصوبة التربة، ويمكن أن تسهم في تثبيت بنية التربة.

ويمكن بالاستعانة بالجدول رقم (٧)، للوصول إلى التقدير السليم للعناصر الغذائية التي تحتويها مياه الصرف الصحي المعالجة، استنادا إلى نتائج تحليلها الكيماوي.

وهنا تجدر الإشارة إلى أنه قد لا يكون من اللازم استخدام أية أسمدة في حالة زراعة محاصيل معينة كما يمكن أن يساعد استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة على زيادة المحصول وتحسين نوعيته.

جدول رقم (٧) مستويات مختلفة من العناصر الغذائية المحملة في مياه الصرف الصحي المعالجة وما يقابلها من كميات العناصر السمادية

مستويات تركيز العناصر المغذية في مياه الصرف الصحي المعالجة (ميللجرام /لتر)									مقننات مياه الري (م ^٣ / هكتار/ سنة)
٥٠	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥	٢٠	١٥	١٠	٥	
كميات العناصر المغذية المضافة مع الري (كجم/هكتار/سنة)									
٥٠	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥	٢٠	١٥	١٠	٥	١٠٠٠
٩٠	٨٠	٧٠	٦٠	٥٠	٤٠	٣٠	٢٠	١٠	٢٠٠٠
١٥٠	١٢٠	١٠٥	٩٠	٧٥	٦٠	٤٥	٣٠	١٥	٣٠٠٠
٢٠٠	١٦٠	١٤٠	١٢٠	١٠٠	٨٠	٦٠	٤٠	٢٠	٤٠٠٠
٢٥٠	٢٠٠	١٧٥	١٥٠	١٢٥	١٠٠	٥٠	٥٠	٢٥	٥٠٠٠
٣٠٠	٢٤٠	٢١٠	١٨٠	١٥٠	١٢٠	٩٠	٦٠	٣٠	٦٠٠٠
٣٥٠	٢٨٠	٢٤٥	٢١٠	١٧٥	١٤٠	١٠٥	٧٠	٣٥	٧٠٠٠
٤٠٠	٣٢٠	٢٨٠	٢٤٠	٢٠٠	١٦٠	١٢٠	٨٠	٤٠	٨٠٠٠
٤٥٠	٣٦٠	٣١٥	٢٧٠	٢٢٥	١٨٠	١٣٥	٩٠	٤٥	٩٠٠٠
٥٠٠	٤٠٠	٣٥٠	٣٠٠	٢٥٠	٢٠٠	١٥٠	١٠٠	٥٠	١٠٠٠٠

النتروجين

يتراوح محتوى مياه الصرف الصحي المعالجة الناتجة عن الاستخدام المنزلي من النتروجين، بعد مرحلة المعالجة الثنائية، بين ٢٠ و ٦٠ ملجم/لتر. وعليه يمكن أن تكون كمية النتروجين المضاف بمياه الصرف الصحي المعالجة أكثر من احتياجات المحصول. ومن الضروري معرفة نسبة تركيز النتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة وأساليب الإدارة السليمة للنتروجين والفسفور والبوتاسيوم حتى يمكن التغلب على المشكلات المرتبطة باحتمال ارتفاع نسبة تركيز النتروجين.

الفسفور

يتراوح محتوى مياه الصرف الصحي المعالجة من الفسفور، بعد مرحلة المعالجة الثنائية، بين ٦ و ١٥ ملجم/لتر (أو ما يعادل ١٣٥ بصورة P2O5)، مالم يتم التخلص من هذه النسبة أثناء المعالجة. وينبغي أن تتم عملية تقييم الفسفور في المياه العادمة جنباً إلى جنب مع إجراء الأجراء الاختبارات على التربة حتى يمكن وضع خطة التسميد المناسبة.

البوتاسيوم

أن تركيز البوتاسيوم في مياه الصرف الصحي المعالجة لا يتسبب في تأثيرات ضارة على النبات أو البيئة، حيث أن البوتاسيوم من العناصر الغذائية الكبرى التي تحدث تأثيرات إيجابية على خصوبة التربة، وغلة المحصول، ونوعيته. ويتراوح محتوى مياه الصرف الصحي المعالجة من البوتاسيوم، بعد مرحلة المعالجة الثنائية، بين ١٠ - ٣٠ للجرام / لتر (أو ما يعادل ١٣٦ بصورة K2O) ويجب أن يؤخذ هذا المقدار في الاعتبار، لدى وضع برنامج التسميد تبعاً لاحتياجات المحصول.

العناصر المغذية الأخرى

تحتوى مياه الصرف الصحي المعالجة، في معظم الحالات على مقادير كافية من الكبريت، والزنك والنحاس وغيرها من العناصر الغذائية الصغرى. أما البورون فيجب أن يكون محل اهتمام خاص. فرغم أن مياه الصرف الصحي المعالجة تحتوى على عنصر البورون بمقدار يكفي لتصحيح نقص هذا العنصر، فانه يوجد بمقادير زائدة في بعض أنواع مياه الصرف الصحي المعالجة، مما يؤدي إلى المشكلات المرتبطة بإصابة النبات بالتسمم. وللتغلب على مشكلة البورون، يوصى باتباع نفس التدابير التي تتبع في حالة المياه المحتوية على نسب عالية من الأملاح الذائبة (أي اختيار المحاصيل، وغسيل التربة، وتنظيم مناوبات الري، واختيار نظام الري الملائم). وينبغي عموماً أن يتذكر المزارعون ما يلي فيما يتعلق بعنصر البورون:

- أن أشجار الفواكه أكثر حساسية للبورون من محاصيل الخضر.
- وأنه في حالة وجود البورون بتركيزات عالية نسبياً فمن المفضل زراعة المحاصيل الحولية.

٤. محتوى النتروجين والفسفور والبوتاسيوم في مياه الصرف الصحي المعالجة

يمكن أن يختلف تركيز النتروجين والفسفور في مياه الصرف الصحي المعالجة بعد المرحلة الثنائية من المعالجة اختلافاً كبيراً تبعاً لمصدر مياه الصرف الصحي المعالجة وعملية المعالجة نفسها. وعادة تكون تركيزات النتروجين والفسفور في مياه الصرف الصحي المعالجة الناتجة عن وحدات المعالجة التقليدية أعلى مما هي في المياه الناتجة عن برك التهوية أو الأكسدة وعموماً، تنخفض نسبة النتروجين والفسفور أثناء عملية المعالجة ولكن البوتاسيوم يبقى في حدود المستويات التي كانت قبل المعالجة.

ويوضح الجدول رقم (٨) مقادير تركيز النتروجين والفسفور والبوتاسيوم الممكن إضافتها لدى استخدام ١٠٠٠ مم للهكتار في مياه الصرف الصحي المعالجة المستعملة في الري. ومن الواضح أن كمية العناصر المغذية تعتمد على الكمية إجمالية للمياه المضافة. ومن المفترض أنه لزيادة فعالية العناصر المغذية ينبغي أن يستند الري على الاحتياجات المائية للمحاصيل.

جدول رقم (٨) إمكانيات التسميد عن طريق استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للري (المكتب الإقليمي للشرق الأوسط سنة ١٩٩٢)

تركيز العناصر الغذائية (ملجم/لتر)	النتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم
العناصر الغذائية التي تضاف سنوياً (كجم) من خلال مياه الري المضافة بمعدل ١٠٠٠٠ متر مكعب/هكتار (١٠٠٠ مم)	٤٠ ٤٠٠	١٠ ١٠٠	٣٠ ٣٠٠

وهذه المعدلات توفر لعدد من المحاصيل الزراعية جميع احتياجاتها أو ربما أكثر من عنصر النتروجين، كما توفر جانباً كبيراً من احتياجات النبات من الفوسفور والبوتاسيوم. وفي هذا الصدد، ينبغي دراسة كل محصول على انفراد بعناية لتقدير احتياجاته من الأسمدة التكميلية وقد تكون العناصر الغذائية المتوافرة في مياه الصرف الصحي المعالجة، في بعض الحالات، أكثر مما هو مطلوب لتحقيق النمو المتوازن للمحصول. وقد يمثل ذلك مشكلة بالنسبة لبعض المحاصيل مثل دوار الشمس، والقطن وبعض أصناف الفاكهة. وفي هذه الحالة، يمكن التغلب على المشكلة باختيار التركيب المحصولي المناسب و/أو خلط مياه الصرف الصحي المعالجة بمياه عذبة للتقليل من مقادير العناصر السامة المضافة من خلال الري.

مشاكل زيادة عنصر النتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة

تقدير نسبة تركيز النتروجين

من اللازم إجراء تحليل كيميائي لتقدير نسبة النتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة. وعلى أساس هذا التحليل يمكن للمزارع أن يحسب مقدار النتروجين المضاف إلى التربة من خلال مياه الصرف الصحي المعالجة المستعملة في الري. وينبغي خصم هذه الكمية من مقدار السماد اللازم للمحصول ولسهولة الوصول إلى هذه التقديرات، ينبغي على المزارع أن يتذكر أن:

$$\text{جزء في المليون} = \text{مليجرام / لتر} = \text{واحد جرام / متر مكعب من مياه الري}$$

يعتمد مقدار النتروجين وغيره من العناصر الغذائية التي تضاف إلى التربة عن طريق المياه الصرف الصحي المعالجة على كمية مياه الري، ولذا يجب أن يكون المزارع مدركاً لطريقة الري المناسبة.

اختيار المحصول المناسب اعتماداً على مستوى النتروجين

من اللازم اختيار المحصول اعتماداً على مستوى النتروجين في مياه الصرف الصحي المعالجة لغرضين هما:

الغرض الأول تحقيق أفضل استفادة ممكنة من النتروجين الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة

إذا كان المقدار النتروجين الموجود في مياه الصرف الصحي المعالجة غير كاف، يلزم إعطاء كمية من السماد النيتروجيني حتى يمكن تحقيق غلة اقتصادية من المحصول. وفي حالة الاستخدام طويل الأجل للمياه العادمة، ينبغي ضبط مستويات السماد النيتروجيني المضاف لتعويض كميات النتروجين التي تمتصها النبات بالإضافة إلى الكميات التي تفقد من جراء تطاير النتروجين وتلك التي تفقد بالغسيل. وتتضمن الفصول التالية تحديد احتياجات أهم المحاصيل من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم.

الغرض الثاني تجنب حدوث تلوث بالنترات

تتمتع بعض المحاصيل (مثل حشيشة السودان، وحشيشة برمودا، والسوداكس، وحشيشة رودس) بقدرة عالية على إزالة النتروجين من التربة، وإلا فإنه يتسرب إلى أعماق التربة في صورة نترات ($\text{NO}_3\text{-N}$) مما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية. وترجع قدرة هذه المحاصيل على إزالة النترات من التربة للأسباب التالية.

أ. قدرتها على تجميع النترات.

ب. يمكن حشها أكثر من مرة في الموسم الواحد، وبذلك يمكن الاستفادة من قدرة المحصول على النمو.

ج. محتواها من النتروجين لا يتضاءل بمرور الوقت.

د. وجذورها عميقة.

تنظيم مناوبات الري

لما كانت العناصر الغذائية توجد على الدوام في مياه الصرف الصحي المعالجة، فإن أي مياه زائدة عن احتياجات المحصول قد تتسبب في مشكلة. ويمكن أن تكون هذه المشكلة بيئية أو زراعية أو كليهما. وينبغي على المزارع أن يذكر أنه في حالة الري بمياه الصرف الصحي المعالجة. يكون التقيد بمناوبات الري السليمة أكثر أهمية من التقيد بها في حالة الري بمياه ذات نوعية جيدة.

كمية مياه الري

ينبغي أن يكون الري بما يتفق مع حاجة المحصول إلى المياه وينبغي التأكيد على أنه لما كانت كمية مياه الري تختلف من مكان لآخر تبعاً للظروف المناخية، يمكن أن تكون العناصر الغذائية الموجودة في مياه الصرف الصحي المعالجة زائدة على احتياجات المحصول أو أقل منها رغم تماثل حالة الخصوبة في المواقع المختلفة. وكذلك فإن مياه الصرف الصحي المعالجة، حتى إذا تماثلت في نوعيتها، يمكن أن تكون لها آثار بيئية في مكان ما ولكن استعمالها يكون مأموناً في مكان آخر. ولذلك فمن الصعب إعطاء أرقام مطلقة للتسميد في حالة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة، بينما يختلف الأمر عن ذلك في حالة استعمال المياه العذبة.

عدد الريات

ينبغي أن يدرك المزارعون أنه حتى عندما تصل المحاصيل إلى مرحلة النمو الكامل يجب أن تكون كمية المياه المستعملة في كل رية متماثلة على الدوام حتى يمكن للماء أن يصل إلى عمق التربة المعين الذي تركز فيه الجذور النشطة. فنظراً لأنه لا توجد كمية مطلقة من مياه الري في جميع الظروف المناخية، ينبغي تغيير عدد الريات مع بقاء كمية المياه المستخدمة في كل رية ثابتة.

نظام الري

لتجنب التلوث بالنترات ينبغي أن يكون نظام الري من النوع الذي يتضمن انتظام تدفق المياه. وفي المحصلة النهائية، فإنه كما ارتفعت كفاءة نظام الري ارتفعت قدرة المحصول على امتصاص النيتروجين وانخفضت احتمالات فقد النترات واحتمالات التلوث. ومراعاة العناية في تصميم وتركيب وإدارة نظم الري بالتنقيط أو الري الدقيق أو الموضعي (micro irrigation) تزيد من كفاءة الري. وفي حالة الري بالخطوط، يجب أن يراعى المزارع أن تكون الخطوط قصيرة الطول خاصة إن لم تكن تسوية سطح الأرض جيدة.

٥. خلط مياه الصرف الصحي المعالجة بالمياه العذبة

تخلط مياه الصرف الصحي المعالجة بالمياه العذبة إن أمكن وذلك بغرض خفض تركيز عنصر النيتروجين في مياه الري.

المشكلات الأخرى الانسداد

ينبغي الاهتمام بالمكونات التي تحتوى عليها مياه الصرف الصحي المعالجة والتي قد تتسبب في انسداد شبكات الري. وقد تكون المشكلات المترتبة على انسداد شبكات الري بالرش، أو الري بالرشاشات الصغيرة، أو الري بالتنقيط، شديدة التأثير على كفاءة الري. فنمو الفطريات الغروية والبكتريا، وغيرها عند فوهات الرشاشات والفوارات أو في خطوط الأنابيب وكذلك وجود تركيزات عالية من الطحالب والمواد العالقة يمكن أن يؤدي إلى الانسداد.

وتحدث أخطر مشاكل الانسداد في حالة الري بالتنقيط. ولذلك يجب ترشيح مياه الصرف الصحي المعالجة قبل استعمالها. ومن هذا تحتاج شبكة الري بالتنقيط عند استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة إلى مزيد من الاهتمام والعناية.

الحلول المقترحة لتلافي مشكلة الانسداد

ومن الحلول المقترحة لتلافي مشكلة الانسداد ما يلي:

1. لتلافي المشاكل الناجمة عن الطحالب العالقة التي تتراكم على سطح الماء والمشاكل الناجمة عن تراكم الحمأة في قاع الخزان، ينبغي تثبيت المضخة على عمق متر واحد تقريباً من سطح الماء.
2. الترشيح: يجب ترشيح المياه قبل استعمالها في الري، وهذا يتوقف على درجة تركيز المواد الصلبة والطحالب وغيرها من الشوائب. ومن اللازم استخدام مرشحات الحصى أو الرمال أو غيرها من أنواع المرشحات في حالة نظم الري الموضعي (micro-irrigation systems).
3. اختيار طريقة الري: ينبغي تجنب استخدام نظم الري الموضعي في حالة وجود شوائب وعدم وجود نظام للترشيح. وقد يكون من الأفضل استخدام الري بالرش، وهذا يتوقف على نوع المحصول. وربما كان من الأفضل إتباع طريقة الري السطحي بشرط مراعاة العناية بتسوية الأرض.

6. كفاءة وحدات محطات المعالجة وخصائص نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة

من المرغوب فيه بدرجة كبيرة، في النظم المتكاملة للمعالجة للحصول على مياه الصرف الصحي المعالجة واستعمالها في أغراض الري، أن يكون هناك ضمان لدرجة كفاءة المعالجة مع استمرار عملية الرصد، وهذه الجوانب أيضاً لا تقع تحت سيطرة المزارع، ولذلك فعند التخطيط لإقامة مشروعات جديدة لمعالجة مياه الصرف الصحي والحصول على مياه الصرف الصحي المعالجة واستعمالها وتنفيذ هذه المشروعات ينبغي أن تكون الاستخدامات المقصودة من مياه الصرف الصحي المعالجة والمستخدمة كمياه للري هي التي تحكم مستوى المعالجة ومدى إمكانية الوثوق بها وكيفية تشغيلها، ومع ذلك ففي وحدات المعالجة القائمة تكون نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة الناتجة معروفة سلفاً ويكون المزارعون مضطرين إلى تعديل طرق الإدارة التي يطبقونها بما يتفق مع نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة التي يحصلون عليها.

٧. معايير نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة والمستعملة كمياه للري

تكون الخواص الكيميائية والفيزيائية مياه الصرف الصحي المعالجة مماثلة لأي مياه أخرى تستعمل في الري. وفي هذا الصدد، يمكن استخدام الخطوط التوجيهية العامة الموضحة في الجدول رقم (٩) لتقييم مياه الصرف الصحي المعالجة لاستعمالها في أغراض الري من حيث محتوياتها من المواد الكيميائية مثل الأملاح المذابة، ونسبة الصوديوم المدمصة والأيونات ذات السمية. وتكون التدابير المتبعة في ذلك هي نفس التدابير التي تطبق مع أنواع المياه الأخرى.

جدول رقم (٩) الخطوط التوجيهية لتحديد نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة في الري (منظمة الأغذية والزراعة سنة ١٩٨٥)

درجة تفيد الاستعمال			الوحدة	مشاكل الري المحتملة
قيود مشددة	قيود خفيفة إلى متوسطة	لا توجد قيود		
٣,٠< ٢٠٠٠<	٠,٣ – ٠,٧ ٢٠٠٠ – ٤٥٠	٠,٧> ٤٥٠>	(ds/m) ملجم/لتر	الملوحة: التوصيل الكهربائي (EC)(1) المواد الصلبة الذائبة (TDS)
				التسرب: معدل أدماص الصوديوم (SAR). والتوصيل الكهربى (ESo) صفر – ٣ ٦ – ٣ ١٢ – ٦ ١١٢ ١٢٠ ٤٠ – ٢٠
٠,٢< ٠,٣< ٠,٥< ١,٣< ٢,٩	٢,٠ – ٠,٧ ١,٠,٣ ٠,٥٠ – ١,٩ ١,٣ – ٢,٩ ٢,٩ – ٥,٠	٠,٧> ١,٢> ١,٩> ٢,٩ ٥,٠	DS/M	
٩> ١٠> ٣,٠>	٩ – ٣ ٣> ١٠ – ٤ ٣> ٣,٠ – ٠,٧	٣< ٣< ٤< ٣< ٠,٧<	(SAR) meq/1 meq/1 mg/1	التسمم بأيونات الصوديوم الري السطحي الري بالرش الكلوريد الري السطحي الري بالرش البورون
٣٠> ٨,٥>	٣٠ ١,٨,٥	٥> ١,٥>	meq/1 meq/1	تأثيرات متنوعة النترات (NO3-N) بيكربونات (HCO3)
الرقم الأيروجيني تتراوح النسبة المعتمدة بين ٦,٥ – ٨,٤				
يقاس التوصيل الكهربائي بالديسى سايمنز /م (ds/m) في درجة حرارة ٢٥ مئوية.				
NO3-N تعنى نترات ويعبر عنها بالنتروجين كعنصر. وينبغى أيضاً اختيار NH4-N والنتروجين العضوى في مياه الصرف الصحي المعالجة.				

الملوحة

تعتبر نوعية المياه المستخدمة في الأغراض المنزلية في معظم البلدان هي أفضل نوعية متاحة من المياه وعادة ما يكون مستوى ملوحتها منخفضاً. ومع ذلك، فقد تمثل الملوحة مشكلة في الظروف التي تكون فيها المياه شحيحة. وتعد كمية ونوع الأملاح الموجودة في المياه مهمة في تقيد مدى ملائمة مياه الصرف الصحي المعالجة للري أما المشكلات المحتملة فتكون مرتبطة بالمحتوى الإجمالي من الأملاح، ونوعها أو بمدى تركيز واحد أو أكثر من العناصر المالحة وللتغلب على مشكلة الملوحة على مستوى المزارعين، يجب زيادة الاهتمام بما يلي:

أ. اختيار المحاصيل

حيث يتم اختيار المحاصيل التي تتحمل ملوحة مياه الصرف الصحي المعالجة وتكون مريحة في نفس الوقت. وقد يكون الجدول رقم (١٠) دليلاً للمزارعين في اختيار التركيب المحصولي المناسب تبعاً لدرجة ملوحة المياه ودرجة تحمل المحاصيل للملوحة فإذا كانت درجة الملوحة أقل من ٣ ديسي سايمنز/متر (ds/m) يمكن بالإدارة الجيدة زراعة معظم محاصيل الفواكه والخضر. وكلما ارتفعت درجة الملوحة ازدادت صعوبة اختيار المحاصيل، وباستثناء بعض محاصيل الخضر، يصبح اختيار مقصوراً تقريباً على محاصيل الأعلاف.

ب. اختيار المحاصيل المتحملة للملوحة والقادرة على امتصاص مقادير كبيرة من الأملاح دون أن تكون لذلك تأثيرات سمية خاصة (المحاصيل التي تجمع الأملاح)

وفي حالة الري بمياه الصرف الصحي المعالجة التي تكون نسبة الملوحة فيها مرتفعة، ولا سيما في المناطق التي تكون إمكانيات الرشح الطبيعي للتربة فيها محدود نظراً لقلة الأمطار، من المحتمل أن تؤدي زراعة المحاصيل القادرة على امتصاص الأملاح لفترات طويلة، على خفض درجة تراكم الأملاح في التربة. ومن بين المحاصيل التي يوصى بزراعتها في هذه الظروف السوداكس، والذرة الرفيعة، وحشيشة برمودا والشعير.

ج. اختيار نظام الري الذي يضمن توزيع المياه بشكل منتظم

وبمستوى كفاءة مرتفعة ويوفر إمكانية زيادة عدد الريات. وباستخدام نظم الري التي تعمل تحت الضغط وخصوصاً الري بالتنقيط والري بالرشاشات الصغيرة، يمكن التجاوز عن ارتفاع مستويات الملوحة المسموح بها للمحاصيل المروية. وفي مثل هذه النظم، تكون الخطوط التوجيهية الخاصة بتحمل المحاصيل للملوحة مجرد تقديرات عامة، إذ يمكن تحقيق غلة أفضل بهذه المستويات الحرجة من الملوحة عند تطبيق الإدارة المناسبة واستخدام نظم الري الحديثة.

د. تنظم مناوبات الري

تعد كمية مياه الري وعدد مرات الري من العوامل الحرجة في التحكم في درجة الملوحة. ويمكن باستخدام نظم الري الدقيق زيادة عدد الريات والإبقاء على مستوى منخفض لملوحة التربة في المنطقة القريبة من النبات المروى.

جدول رقم (١٠) مستويات تحمل بعض المحاصيل الزراعية للملوحة (مأخوذة بتصرف من منظمة الأغذية والزراعة، ١٩٨٥)

التوصيل الكهربائي لمياه الري (ds/m ,and mg/l)					
أقل من ٢	٣	٤-٣	٥-٤	٧	أكثر من ٧
أقل من ١٢٨٠	١٩٢٠-١٢٨٠	٢٥٠٠-١٩٢٠	٣٢٠٠-٢٥٦٠	٤٤٨٠-٣٢٠٠	أكثر من ٤٤٨٠
الحمضيات	التين	الذرة الرفيعة	فول صويا	القرطم	القطن
التفاح	الزيتون**	الفاول السوداني	نخيل التمر**	القمح	الشعير
الخوخ	البروكلي	الأرز	حشيشة هاردنج	بنجر السكر	القمح (كعشب)
العنب	الطماطم	البنجر	البرسيم	حشيشة الراي	
الفاولة	الخيار	عكرش Tall facue	الخرشوف	الشعير (كعشب)	
البطاطس	الكانتلوب			حشيشة برمودا	
الفلفل	البطيخ			السوداكس (suduax)	
الجزر	السبانخ				
البصل	البقيّة				
الفاول	حشيشة السودان				
الذرة	البرسيم الحجازي				

* اديسي سايمنز /متر = ٦٠ ملجم/لتر

** إشارات التقارير إلى أن مستوى التوصيل الكهربائي كانت أعلى بكثير من ذلك (وصلت إلى ٦ ديسي سايمنز/متر) في حالة الزيتون في تونس**

*** جاء في أحد التقارير أن مستوى التوصيل الكهربائي كان أعلى من ذلك بالنسبة لأشجار نخيل التمر في الجزائر (وصلت إلى ٧-٨ ديسي سايمنز/متر) ACS DK

غسل التربة

رغم أن غسل التربة من العمليات المعتادة التي يلجأ إليها المزارعون، فربما لا تكون أفضل الحلول في حالة ندرة الموارد المائية أو عدم توافر مرافق (أعمال) كافية للصرف، أو عند إرتفاع مستوى الماء الأرضي. فبمرور الوقت، يجب أن تظل كمية الأملاح التي تدخل التربة مع مياه الصرف الصحي المعالجة (أملاح الداخلة إلى التربة) ومعدل إزالة الأملاح عن طريق غسل التربة وامتصاص المحاصيل للأملاح (الأملاح الخارجة من التربة) متساوية تقريباً. وتعد الطريقة التي سيقع عليها الاختيار لإخراج الأملاح من التربة مهمة جداً في اختيار التركيب المحصولي وتحقيق الإدارة الفعالة للاستعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في الري. والمحاصيل ذات القيمة الاقتصادية القادرة على حصاد الأملاح، مثل السوداكس والذرة الرفيعة، تحقق نتائج جيدة. ولذلك توصي الدراسات بزراعة أحد المحاصيل القادرة على حصاد الأملاح كل عام أو من حين لآخر.

التقليل من استخدام البولييمرات أو غيرها من مصلحات التربة

لا توصي الدراسات باستخدام البولييمترات و/أو غيرها من مصلحات التربة رغم كفاءتها في ظروف ولفترات معينة في حالة زراعة المحاصيل في الحقول المكشوفة. فغالباً ما تكون فترة الحياة بالنسبة لها قصيرة وأسعارها عالية.

الصرف

يعد وجود مرافق (أعمال) للصرف من بين التدابير اللازمة للحيلولة دون إصابة التربة بالتطبيل (التغدق) والملوحة في المناطق الجافة وشبه الجافة. فالصرف، بالإضافة إلى وضع مناوبات مناسبة للري، يسمح بغسل الأملاح الزائدة من منطقة جذور النبات.

القلوية

إن مرحلة تفرق غرويات التربة، واستقرار حبيباتها، وتركيبها ونفاذيتها للمياه تعد كلها شديدة الحساسية لنوع الأيونات القابلة للتبادل في مياه الري. وازيادة في قلوية التربة نتيجة لارتفاع تركيز عنصر الصوديوم، حتى في حالة غسل التربة، تقلل من نفاذية التربة للمياه، ولا سيما بالقرب من سطحها، لأن المواد الطينية الموجودة في التربة تتفرق وتتنفخ نتيجة لارتفاع مستوى الصوديوم المتبادل (esp.). ومع ذلك فعند نسب معينة للصوديوم المدمص (SAR) في المياه يرتفع معدل التسرب أو ينخفض مع مستوى الملوحة. لذلك ينبغي الجمع بين استخدام معدل أد مصاص الصوديوم (SAR) والتوصيل الكهربائي للماء (ECW) في تقييم المشكلات التي يمكن أن تحدث في المستقبل.

وقد لخصت الدراسات إلى التوصية بالحلول التالية في مجال الإدارة:

المحسنات الكيميائية: من الشائع استخدام المواد الجبرية الأصل مثل الجبس في تحسين خواص التربة عند ارتفاع الصوديوم في السعة التبادلية للكاتيونات (CEC) أو عند الري بمياه يكون معدل أد مصاص الصوديوم (SAR) فيها مرتفعاً. والصوديوم الموجود في التربة قابل للتبادل مع الكالسيوم الموجود بالجبس وبذلك يقلل تفرق الغرويات. وينبغي تكرار استخدام الجبس من حين لآخر تبعاً لمحتوى المياه من الصوديوم وطاقة تبادل الأيونات في التربة. ومن المفضل أن يحاول المزارعون الحصول على مساعدة الفنيين لتقدير كمية الجبس اللازم استخدامها ومرات الاستخدام.

نظام الري المناسب: غالباً ما تتكون فترة خارجية على سطح التربة نتيجة الري بمياه معدل إد مصاص الصوديوم (SAR) فيها مرتفع. وهذه المشكلة تتفاوت حدتها حسب نظم الري. وعموماً، تؤدي نظم الري السطحي بمياه معدل إد مصاص الصوديوم فيه مرتفع إلى تكوين قشرة سميكة فوق سطح التربة، ويحدث نفس الشيء عند الري بالرش عندما تكون طاقة تصريف الرشاشات مرتفعة. وهذا يؤثر على نفاذية التربة للمياه كما يمنع التربة من الحصول على التهوية اللازمة وبالتالي يؤثر على إنبات البذور. ومع ذلك يمكن الحد من تكون القشرة على سطح التربة عن طريق اختبار نظام الري الذي يقوم على استخدام رشاشات ونقاطات ذات معدلات تصرف صغيرة لما يوفره ذلك من إطالة مدة الري والسماح بوقت كاف لنفاذ المياه إلى داخل التربة.

المواد العضوية: كذلك يمكن حل مشكلة القلوية عن طريق إضافة مواد عضوية إلى التربة مثل القش، أو غيره من المواد النباتية أو السماد العضوي.

الأيونات ذات التأثيرات السمية الخاصة

توجد عادة في مياه الصرف الصحي المعالجة أيونات ذات تأثيرات سمية خاصة أهمها الصوديوم والكلوريد والبيورون الذى يتسبب في أكثر حالات التسمم. ورغم أن البيورون يعد أحد العناصر الأساسية للنبات في دليل استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في الري إلا أن وجوده بتركيزات زائدة تتجاوز ٠,٥ ميللجرام/ لتر يمكن أن يؤدي إلى تسمم المحاصيل الحساسة، كما هو موضح بالجدول رقم (١١).

جدول رقم (١١) قدرة النباتات النسبية على تحمل البيورون في مياه الري (Ayers, 1977)

نباتات حساسة (جرام/لتر)	نباتات متوسطة القدرة على تحمل البيورون (٢ ميللجرام/لتر)	نباتات عالية التحمل للبيورون (٣ ميللجرام/لتر)
الحمضيات	الفاصوليا	الجزر
الأفوكاتو	الفلفل	الخس
المشمش	الطماطم	الكرنب
الخوخ	الذرة	البصل
الكريز	الزيتون	بنجر السكر
العنب	الفجل	نخيل التمر
التفاح	القرع العسلى	الأسباراجوس
الكمثرى	القمح	اللفت
البرقوق	البطاطس	-----
الفاولة	عباد الشمس	

التدابير الموصي بها للتغلب على سمية الأيونات

١. من الصعب تصحيح مشكلة التسمم بالبورون في المحاصيل الحساسة بدون تغيير المحصول أو تغيير إمدادات المياه وفي حالة استعمال مياه ذات مستوى تركيز معين من البورون، ينبغي اختيار المحاصيل التي تتحمل هذه النسبة من التركيز.

٢. قد يساعد غسل التربة في المحافظة على نسبة تركيز البورون في التربة في مستويات مماثلة لما هو موجود في المياه المستعملة في الري. وعادة يضاف مقدار إضافي معين من مياه الري إلى احتياجات الري التقديرية، تبعاً لنوع التربة.

٣. يساعد تكرار الري على التخفيف من تركيز البورون في محلول التربة.

٤. يساعد استخدام نظم الري الدقيق على التحكم في كمية المياه وفي عدد مرات الري.

ويعد الكلوريد والصوديوم أقل سمية من البورون. ونظراً للارتفاع النسبي لمحتوى المياه من الصوديوم والكلوريد في المناطق الجافة وشبه الجافة، فقد يؤدي استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة إلى ارتفاع نسبة التركيز هذين العنصرين. ومع ذلك يمكن بالإدارة المناسبة للري (نظام الري، وعدد الريات، وغسل التربة) خفض التأثيرات السمية بدرجة كبيرة، وبذلك لا يكون هناك ما يحول دون استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة.

٨. الخصائص البيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة

تعتبر زيادة محتوى مياه الصرف الصحي المعالجة من الكائنات الحية الدقيقة والموضحة في الجدول رقم (١٢) من أهم الفروق الجوهرية بين مياه الصرف الصحي المعالجة والمياه العذبة. ومن الجدير بالذكر أن هذه الكائنات الدقيقة ليست كلها بالضرورة مسببة للأمراض بل أنه في معظم الأحيان تكون نسبة تلك الكائنات المسببة للأمراض (فيروسات، بكتيريا، طفيليات، ديدان) أقل بكثير من الكائنات الغير ضارة. إلا أن خطورة الكائنات المسببة للأمراض تكمن في قلة أعدادها اللازمة لإحداث المرض للإنسان والحيوان وذلك سيتم التركيز في عرض الخصائص البيولوجية لمياه الصرف الصحي على تلك الكائنات المسببة للأمراض من فيروسات وبكتيريا وبروتوزوا وديدان طفيلية.

الفيروسات

هي مجموعة كبيرة غير متجانسة من الكائنات الحية الدقيقة والمتناهية في الصغر، حيث لا يمكن رؤيتها إلا من خلال المجهر الإلكتروني. ومن أهم الخصائص التي تجمع تلك الطائفة من الكائنات الدقيقة وتميزها عن غيرها هي أنها تعتبر من الطفيليات الإجبارية، أي التي لا تستطيع أن تحيا وتنمو وتتكاثر دون الاعتماد على عائل وسيط من الخلايا الحية.

وتتباين أشكال الفيروسات وأحجامها بالكبير منها يبلغ حجمه ربع خلية بكتيرية تقريباً، وفي نفس الوقت فإن هناك أحجاماً من الفيروسات تستطيع عدة آلاف منها العيش في خلية بكتيرية واحدة وتنمو الفيروسات في أنسجة النباتات والحيوانات والحشرات وبداخل الخلية البكتيرية، وتلك الأخيرة يطلق عليها اسم بكتيروفاج.

جدول رقم (١٢) أهم مجموعات الفيروسات التي يمكن أن تتواجد في مياه الصرف الصحي

مجموعة الفيروسات	الأمراض التي تسببها
- فيروس الغدد (أدينوفيروس)	- أمراض الجهاز التنفسي والتهاب العين
- الفيروسات المعوية - فيروس شلل الأطفال - الأيكوفيروس - الكوكساكي فيروس	- شلل الأطفال، الشلل، أمراض أخرى - الالتهاب السحائي، إسهال، أمراض الجهاز التنفسي، - الالتهاب السحائي، إسهال
- فيروس الالتهاب الكبدي	- مرض الصفرة أو الالتهاب الكبدي
- الروتافيروس وأنواع أخرى	- الإسهال

جدول رقم (١٣) أهم مجموعات البكتيريا المسببة للأمراض والتي يمكن تواجدها في مياه الصرف الصحي

مجموعة البكتيريا	الأمراض التي تسببها
- مجموعة القولون المرضية	- الإسهال
- مجموعة السالمونيلا • سالمونيلا التيفي • سالمونيلا البراتيفي • أنواع أخرى	- • حمى التيفود • حمى الباراتيفود • التسمم الغذائي والدسنتاريا الباسيلية
- مجموعة الشيغيلا - أنواع أخرى	- دوسنتاريا - الإسهال
- بكتيريا القولون E.Coli	- الإسهال
- أنواع أخرى	- الكوليرا

والكثير من الفيروسات لا يضر ولا يسبب أذى للإنسان أو الحيوان أو النبات، بل قد يكون مفيداً في بعض الأحيان. فمثلاً عندما يصاب النبات بصل الزينة بالفيروس فإن ذلك يتسبب في إنتاج أزهار ذات تخطيطات جميلة بدلاً من تميزها بلون واحد، وهذا التغير يرفع من قيمتها الجميلة والمادية.

وأبرز خصائص الفيروسات أنها طفيليات إجبارية، تتكاثر أو يزداد تركيزها فقط في أنسجة معينة، كما أن كل نوع من أنواعها له نسيج خاص يزداد تركيزه فيه. والفيروسات لا تستطيع التكاثر بعيدة عن خلايا العائل فلكي تتكاثر يجب تتواجد في خلايا العائل التي تخترها لحسابها، بمعنى أن وجود جزيئات الفيروس في الخلايا يجبرها على تجهيز البروتينات والأحماض الأمينية وكل ما يلزم من أجل تكاثر الفيروس.

وتلك طوائف عديدة من الفيروسات تسبب الأمراض للإنسان والحيوان والنبات، ومن أبرز تلك الطوائف فيروسات الجهاز الهضمي، وهي تصيب الإنسان بالعدوى المرضية وتخرج مع البراز، وتعود فتصيب الإنسان عن طريق التنفس بالفم. إن جرماً واحداً من براز الإنسان يحتوي على ١٠ ٩ من الفيروسات المعوية، بعضها يصيب الإنسان بالأمراض، وهذه الفيروسات لا تستطيع التكاثر إلا في خلايا مناسبة، لكنها يمكنها البقاء بمفردها دون عائل مناسب لعدة أسابيع في البيئة، خاصة إذا كانت درجة الحرارة أقل من ١٥ درجة مئوية.

وعند قياس تركيزات الفيروسات المعوية في مياه الصرف الصحي الخام، وجد أنها تبلغ حوالى ١٠ فيروس معوي لكل لتر من مياه الصرف الصحي. هذا وقد تم فصل العديد من الفيروسات المسببة للأمراض من تربة تعرضت للبراز الأدمي.

ويمكن تقسيم الفيروسات التي تخرج من البراز وتسبب أمراضاً للإنسان إلى عدة أنواع والجدول السابق (١٢) يوضح أنواع الفيروسات المعدية واثرها على الإنسان، وحالات شلل الأطفال التي يسببها البولiovirus لا تظهر فيها أمراض مرضية كاملة، وفي بعض الحالات تظهر العدوى في صورة أعراضاً شبيهة بأعراض الأنفلونزا أو الالتهاب السحائي أو الشلل الكامل، غالباً ما تنتهي بإعاقة دائمة وأحياناً بالموت. وقد وجد أن شلل الأطفال في العالم كله يحدث بنسبة ١ : ١٠٠٠ حالة من الإصابة بالفيروس، ومعظم الحالات المصابة بالشلل تنتمي إلى الدول النامية.

وتسبب فيروسات الأسكو والكوكسالى أمراضاً مصحوبة بأعراض متنوعة، بدءاً من لحمى البسيطة الالتهاب السحائي وأمراض التنفس والشلل، وانتهاء أمراض القلب. كما أن فيروسات الروتا وجدت في براز عدد كبير من الأطفال المصابين بالإسهال، وهي تمثل مجموعة مهمة من الفيروسات المعوية، وتعتبر دورها في حدوث الأمراض غير محدد ولكنها مسئولة عن نسبة كبيرة من الإسهال في صغار الأطفال.

أما فيروس الالتهاب الكبدي "أ" فهو يؤدي الى ظهور الصفراء، ولكن عادة لا تظهر له أعراض، خصوصاً في صغار الأطفال.

البكتريا

تضم البكتريا مجموعة كبيرة من الميكروبات واسعة الانتشار في الكرة الأرضية، وهي توجد في كل مكان تقريباً ولا يخلو منها أماكن محدودة للغاية. وهي عبارة عن كائنات حية دقيقة لا ترى بالعين المجردة، بل تحتاج إلى ميكروسكوبات ذات قوة تكبير عالية لمشاهدتها، وتتكاثر البكتريا بالانقسام الثنائي البسيط كما أنها تتميز بالصفات الأربع الهامة التي تميز الكائنات الحية، وهي : النمو والتكاثر والتنفس "الأيض" أو التمثيل الغذائي.

توجد البكتريا في التربة الزراعية بأعداد كبيرة تصل إلى ١٠ مليون خلية في الجرام الواحد، وتكون أعدادها أكبر ما يمكن في الطبقة السطحية من الأرض الخصبة، وتقل مع العمق. كما يحتوى الماء الصالح للشرب على أقل من ١٠ خلية في كل ١٠سم^٣ واللبن الممتاز غير المبستر يحتوى على ٥٠,٠٠٠ ميكروب في كل ١سم^٣، كما تحتوى مخلفات الحيوان والإنسان على ملايين الميكروبات، فربع براز الإنسان عن ميكروبات.

وتلعب البكتريا دوراً أساسياً في الحفاظ على الحياة على وجه الأرض، فهي تقوم بخطوات عملها في تحويل العديد من العناصر الغذائية للنبات والحيوان إلى صورة صالحة، كما أنها تلعب دوراً أساسياً في تحلل المواد العضوية في التربة. ونتيجة لسرعة تكاثرها المدهش، فإن الاتجاهات الحديثة في تكنولوجيا توفير الغذاء تبحث في الاعتماد على البكتريا وغيرها من الميكروبات المفيدة كمصدر رئيسي للبروتينات والمواد الغذائية وبعض منتجات الطاقة.

ومن المعروف أن معدل تفاعلات التمثيل الغذائي يزداد بزيادة النسبة بين سطح الخلية وحجمها وهذا يفسر القدرة المدهشة للخلايا البكتيرية على النشاط، بالبكتريا المخمرة لسكر اللاكتوز قادرة على هدم كمية كبيرة من هذا السكر، وتتراوح بين ألف إلى عشرة آلاف مرة وزنها في خلال ساعة واحدة من الزمن.

وفي المقابل، فإن هناك أنواع من البكتريا تسبب أضراراً هامة وخطيرة للإنسان والكائنات الحية، فهي تصيبه بالعديد من الأمراض وتسبب في فساد الأغذية والمشروبات، وتصيب الحيوان بأمراض خطيرة يمكن أن ينتقل بعضها للإنسان.

ومن المعروف أن بعض أنواع البكتريا العصوية المستقيمة والكروية والحلزونية لها القدرة على التجزئ (التحوصل). ويتميز الطور المتجزئ لتلك الأنواع من البكتريا بالقدرة الهائلة على مقاومة الظروف والتغيرات البيئية، الشاذة، فبينما يمكن قتل البكتريا غير المتجزئة في درجات حرارة أقل من ٧٠ درجة مئوية، فإن البكتريا المتجزئة يمكنها أن تظل حية لمدة تزيد عن العشر ساعات في درجة ١٠٠ درجة مئوية، ولذلك تستعمل معقمات البخار تحت ضغط عال في إبادتها.

ونظراً لأن الكشف عن الميكروبات المرضية في المياه يحتاج إلى ظروف خاصة لتنميتها، فإنه يجرى الكشف عن تلوث المياه بفحصها بكتريولوجياً وقياس تركيز بكتريا مجموعة القولون فيها. والمعروف أن هذه المجموعة البكتيرية

موطنها الأصلي أمعاء الإنسان والحيوان، وبالرغم من أن معظم هذه الميكروبات غير مرضية إلا إنها تعتبر مؤشراً هاماً لوجود مسببات الأمراض في المياه.

ويوضح الجدول السابق (١٣) الأنواع الرئيسية البكتيرية للأمراض الموجودة في مياه الصرف الصحي والأمراض التي تصيب الإنسان بها.

البروتوزوا

وهي أحياء دقيقة حيوانية وحيدة الخلية، واسعة الانتشار في الأراضي وخصوصاً الرطبة والمسمدة بالأسمدة العضوية كما توجد في البحار والمحيطات والبرك والمستنقعات وأيضاً في أمعاء الحيوانات. والبروتوزوا منها " الرمي " الذي يتغذى على مواد عضوية ميتة، ومنها ما يتغذى على الكائنات الحية الأصغر كالبكتيريا، ومنها ما هو متطفل ويسبب أمراضاً للإنسان. والبروتوزوا أشكال عديدة، لعل أشهرها الأميبيا التي تتميز بأنها ليست بها شكل ثابت بحيث يمكن لمحتويات الخلية أن تتجه أي اتجاه مكونة أقدام عادية، وبذلك تتحرك الخلية ككتلة واحدة في اتجاه الأقدام.

"والتحوصل" شائع في البروتوزوا بأنواعها المختلفة، فإذا ما تعرضت البروتوزوا لظروف سيئة مثل الجفاف أو تراكم نواتج الغذائي والفضلات فإنها تتحوصل بأن تتركز مادتها وتصبح أكثر كثافة، ثم تحيط نفسها بجدار سميك بجدار سميك. والخلايا المتحوصة أكثر مقاومة للجفاف والظروف السيئة من الخلايا الغير المتحوصة، وعندما تتحسن الظروف وتخرج البروتوزوا من جديد وتمارس نشاطها.

وتعتبر البكتيريا من أكثر الكائنات أهمية كغذاء للبروتوزوا، فهي تلتهمها بشراهة، ولقد قدر أن بعض أنواع البروتوزوا تستطيع الواحدة منها التهام ٤٠,٠٠٠ خلية بكتيرية أثناء دورة حياتها، ولذلك في تعتبر من الأعداء الطبيعية للبكتيريا.

وهناك أعداد عديدة من البروتوزوا تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان من أبرزها الدوسنتاريا والمalaria وغيره. والجدول رقم (١٤) يبرز الأنواع المختلفة من البروتوزوا والأمراض التي تسببها للإنسان والموجود في مياه الصرف الصحي.

جدول رقم (١٤) أهم الكائنات الحيوانية وحيدة الخلية (البروتوزوا) التي يمكن تواجدها في مياه الصرف الصحي

نوع الكائن وحيد الخلية	الأمراض التي تسببها
البالنتيديوم كولاي	الإسهال - الدوسنتاريا - قرحة الأمعاء
الأنتميبيا هيستولتيكا	قرحة الأمعاء - الدوسنتاريا الميبية - خراج الكبد
الجبارديا لامبليا	الإسهال - سوء الهضم

الديدان الطفيلية

هناك عديد من الديدان الطفيلية تعتمد على الإنسان كعائل أساسي لها وبعض هذه الديدان تصيب الإنسان بأمراض متباينة في خطورتها.

ومن أخطر هذه الديدان الطفيلية دودة البلهارسيا، ومنها نوع يخرج فيه البيض مع البول، والنوع الآخر يخرج فيه البيض مع البراز.

وهناك فرق هام جوهري بين الديدان والأنواع الأخرى من المسببات المرضية التي تصيب الإنسان، وهو أن الديدان تتكاثر ذاتياً داخل الإنسان، بالرغم من أنها تحتاج الإنسان كعائل على خلاف الميكروبات التي تتكاثر ذاتياً داخل الإنسان، وهذا الفرق يعتبر على درجة كبيرة من الأهمية، ففي حالة الميكروبات المختلفة لا تتوقف الحالة المرضية المصاحبة على الجرعة التي أحدثت العدوى، بينما في أغلب الديدان يكون للجرعة التي تحدث العدوى علاقة مباشرة بحجم أعراض المرض وكثافته.

ومن أشهر الديدان التي تصيب المصريين : البلهارسيا والإسكارس والأنكلستوما والدودة الشريطية وغيرها. والجدول رقم (١٥) يوضح عدد الديدان الطفيلية الهامة في حياة المصريين، والتي تخرج بويضاتها مع البراز وأطوار حياتها.

جدول رقم (١٥) أهم الديدان الطفيلية التي يمكن توجدها في مياه الصرف الصحي

نوع الدودة الطفيلية	الإسم الشائع	المرض الذي تسببه	دورة الانتقال
إنكلستوما الإثنى عشر	الإنكلستوما	الإنكلستوما	الإنسان، التربة، الإنسان
الإسكارس الخرطومية	ثعبان البطن	الإنكلستوما	الإنسان، التربة، الإنسان
الدودة دبوسية	الدبوسية	الدبوسية	الإنسان، الإنسان
التنيساجناتا	الدودة الشريطية	الشريطيات	الإنسان، البقرة، الإنسان
التنيسوليم	الدودة الوحيدة	الشريطيات	الإنسان، الخنزير، الإنسان
الترايكورس ترايكويورا	الدودة السوطية	السوطيات	الإنسان، التربة، الإنسان
الشستوسوما	دودة البلهارسيا	البلهارسيا	الإنسان، القوقع، المياه، الإنسان

٩. استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في زراعة الجاتروفا

المشكلة العالمية والتي تتأثر بها جميع الدول حاليا هي استخدام فائض الحبوب في الدول الغنية لاستخراج الوقود الحيوي مما أدى إلي نقص شديد في الحبوب بالدول الفقيرة التي لم تجد ما تستورده منها، والحل الذي تحاول أن تطرحه في هذا الجزء ومن الممكن تطبيقه في مصر لتحقيق مصالح جميع المواطنين فهو زراعة الهوهوبا والجاتروفا للحصول على زيوت تستخدم في تصنيع الوقود الحيوي بدون الحاجة لاستخدام الحبوب الغذائية في صناعته، ولكن كيف يتم ذلك؟

وقضية الوقود الحيوي التي أصبحت حديث العالم حاليان أثارها الرئيس مبارك خلال افتتاح منتدى دافوس الأخير بشرم الشيخ عام ٢٠٠٨ ووجه الدعوة لحوار دولي عاجل لبحث أزمة أسعار الغذاء في العالم وفي نفس الاتجاه تعقد هذه الأيام قمة الغذاء بالعاصمة الإيطالية روما برعاية منظمة الفاو للتوصل إلي توافق يمنع الدول التي تمتلك فائضا من الحبوب من تحويلها إلي طاقة وقود حيوي خاصة أن هناك ٣٧ دولة مهددة بالمجاعة ومعظمها للأسف في قارة أفريقيا. إذا فالوقود الحيوي أصبح المتهم الأول وراء غلاء أسعار المواد الغذائية على مستوى العالم لأنه بديل الطاقة الذي تسعى إليه الدول المتقدمة.

في البداية يؤكد الدكتور محمد محمود يوسف. أستاذ علوم وتكنولوجيا الأغذية بجامعة الإسكندرية أنه بسبب الطفرة التي حدثت في أسعار البترول والذي وصل إلي فوق ١٠٠ دولار للبرميل وبسبب ظاهرة الاحتباس الحراري التي يعاني منها العالم نتيجة للتلوث الناجم عن حرق الوقود المستخرج من البترول اتجه العالم إلي استخدام الوقود الحيوي (الوقود الأخضر) الذي يمكن الحصول عليه بواسطة عمليات تخمير بسيطة لبعض المحاصيل الغذائية فيمكن الحصول على الإيثانول الحيوي (الببوايثانول) من الذرة والقمح وقصب السكر والبطاطس والبنجر والحصول علي الديزل الحيوي (الببويديزل) من الزيوت ولاسيما زيت النخيل ويوضح أن البرازيل وسنغافورة تمكنتا من إجراء تعديل هندسي لمحرك سيارة لكي يعمل بزيت النخيل بدلا من البنزين كما حلقت في بداية العام الحالي ٢٠٠٨ أول طائرة باستخدام الديزل الحيوي. أدى هذا الي تنافس قوي على المحاصيل الغذائية ولذلك لم تعد هذه المحاصيل مقصورة على كونه مصدر غذاء للإنسان أو عليقه للحيوان وإنما أصبحت مصدرا للوقود ومن هنا جاء التعبير المختصر 3F (Fuel- Feed- Fccd) وقال أن السعي وراء الوقود الحيوي جاء نتيجة لعدة عوامل منها أن مصادره متجددة عكس مصادر البترول المتوقع نضوبه في خلال ٥٠ أو ١٠٠ عام كما أن حرق الوقود الحيوي لا يلوث الهواء بعكس البترول ومشتقاته لأن الوقود الحيوي عند حرقه ينتج كميات قليلة من ثاني أكسيد الكربون المؤدى لظاهرة الاحتباس الحراري واستخدامه بفتح أسواق جديدة في هذا المجال الزراعي.

١٠. الغابات الصناعية للأشجار الخشبية بمزارع محطات المعالجة

في حالات صرف مياه الصرف الصحي المعالجة على سطح الأرض فإن احتمالية تسرب مثل هذه النوعية من مياه الصرف الصحي المعالجة إلى المياه الجوفية مما قد يؤدي إلى تلوثها مع الأخذ في الاعتبار من أن الري يتم بناء على مقننات مائية تحدد بمدى احتياجات الأشجار دون السماح بتسرب مياه الري الزائدة إلى المخزون الجوفي للمحافظة على نقاوة هذا المخزون وعدم تلوثه.

وبحساب العائد الاقتصادي في نهاية فترة عمر الشجرة والذي يتراوح من ١٠ - ١٥ سنة على أساس وزن الشجرة الواحدة فإنها تعطى ٠,٤ طن خشب كما أن السعر السائد الآن وهو ٥٠ جنيهاً للطن. وخصم المصروفات فسوف يكون هناك عائد اقتصادي.

مع الأخذ في الاعتبار إجراء عمليات الإحلال لهذه الأشجار ليستمر العائد متصل كذلك فإن المحافظة على الصحة العامة تعتبر هدفاً اقتصادياً يفوق هذه الأرقام السابقة حيث أن إنتاجية الفرد تصبح عالية نتيجة لتحسن الحالة الصحية له.

إن إنشاء الغابات الصناعية وما ينتج عنها من كميات كبيرة من الأشجار الخشبية يؤدي إلى الإقلال من الاستيراد وإقامة صناعات خشبية كثيرة تؤدي إلى الإقلال من البطالة حيث أنها تمتص عمالة كبيرة وبذلك يرتفع المستوى المعيشي والمستوى الاجتماعي.

أنواع الأشجار بالغابات الصناعية بمزارع محطات المعالجة

يتم زراعة العديد من الأصناف مثل الصنوبريات والهور واللوسينا وأبو المكارم والسرسوع والصفصاف والزنبلك والنيم والسنت ولسان الطير والتكسوديوم والأترينينا كما يمكن زراعة أشجار الصفصاف على حواف المجاري المائية. والأصناف الجديدة من الأشجار الممكن زراعتها في الغابة الصناعية كما يلي:

أولاً أشجار النيم:

وقد تم استيراد البذور حديثاً وموطنها الأصلي جنوب شرق آسيا وأهميتها الاقتصادية تتمثل في استخراج المبيدات الحشرية من جميع أجزاء الشجرة وهي تؤثر على حوالي ١٢٠ نوع من أنواع الحشرات حيث أنها تنقي الهواء من التلوث ومن الحشرات الضارة.

ثانياً أشجار الجيتروفا:

وقد دخلت حديثاً في مصر وموطنها الأصلي في الهند ولها أهمية اقتصادية كبيرة حيث يتم استخراج الزيت من بذورها ويستخدم في إدارة الآلات بدلاً من الزيوت البترولية.

وقد تم الحصول على النتائج في جمهورية مصر العربية وهى كما يلى:

أولاً تلاحظ ارتفاع نسبة نجاح الشتلات عند زراعتها وكانت النسبة تصل إلى حوالى ٨٥% مما كان له الأثر في استمرار عملية الزراعة.

ثانياً تلاحظ ارتفاع معدلات نمو الأشجار حيث أنه في خلال عامين وصل ارتفاع الأشجار إلى حوالى ٦ أمتار وهذا يعتبر معدل نمو مرتفع جداً بالنسبة لهذه الأشجار في أماكن كثيرة وهذا يعطى مردود عالي من الأخشاب في فترة قصيرة حيث يكون العائد الاقتصادي كبير.

ثالثاً تقوم هذه الأشجار بامتصاص الماء الزائد وتعتبر كصرف بيولوجي يمنع تلوث المياه الجوفية.

رابعاً الإقلال من صرف هذه المياه الملوثة إلى المصارف والمجاري المائية التي تؤدي إلى تلوث الزراعات في الوادي.

خامساً بعض هذه الأشجار لها تأثير مفيد بالنسبة للبيئة حيث أنها تقضى على الذباب والبعوض مثل اشجار النيم والتي ثبت فعاليتها حيث أنه تلاحظ عدم وجود الذباب والبعوض في غابة النيم كذلك فإن بعض الأشجار لها رائحة ذكية تقلل من نسبة الروائح الكريهة الناتجة من أحواض الترسيب كما أن الأشجار تعمل على تثبيت التربة ومنعها من الانجراف نتيجة عوامل التعرية.

سادساً منذ البدء في زراعة الأشجار الخشبية توقفت زراعة المحاصيل الحقلية مثل الذرة والتي كانت مصدراً للتغذية الأدمية والحيوانية والتي كانت تروى بمياه الصرف الصحي المعالجة.

١١. الأعمال الهندسية اللازمة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة

كما سبق ذكره فإن الغرض الأساسي من معالجة مياه الصرف الصحي هو فصل المواد الصلبة الغير عضويه وكذلك فصل المواد العضوية العالقة أو الذائبة وذلك بتثبيتها حتى يمكن فصلها والحصول على مياه الصرف الصحي المعالجة حتى يمكن التخلص منها دون إضرار للبيئة أو المسطحات المائية التي يتم الصرف فيها وكذلك من الممكن التخلص منها في باطن الأرض لشحن الخزان الجوفي دون أن تؤثر على نوعية المياه الجوفية وفي حالة توفر أراضي رملية قابلة للاستزراع بالتالي يمكن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمياه للري وبالتالي يكون هذا الحل هو الأفضل وحتى لو تم زراعة مصدات للرياح أو سياج شجري أو غابات شجرية وفي حالة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمياه للري فيجب أن تخضع للمعايير والاشتراطات السابق ذكرها في بنود (٢)، (٤)، (٥).

وتشمل الأعمال اللازمة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة على الآتي:

١. خزانات لتجميع مياه الصرف الصحي المعالجة (خزانات موازنه لمياه الري) بموقع محطة المعالجة وملحقاتها أو بمنطقة المزرعة.
٢. محطة ظلمبات الضخ والرفع لمياه الصرف الصحي المعالجة وملحقاتها.
٣. خطوط مواسير الطرد الناقلة (الحاملة) لمياه صرف صحي معالجة (مياه الري) وكذلك إنشاء أعمال الحماية من المطرقة المائية لخطوط الطرد.
٤. أعمال توزيع مياه الري على الأراضي المستصلحة (مواسير وقنوات التوزيع).
٥. استصلاح وإعداد الأراضي الصحراوية بالمساحات المطلوبة للمزرعة.
٦. غرس المزروعات والنباتات والأشجار المطلوبة.
٧. إعداد برنامج لمراقبة المزرعة بيئياً واجتماعياً واقتصادياً.
٨. في حالة الرغبة في الحصول على مياه صرف صحي معالجة ذات كفاءه عالية يمكن استخدامها لري المساحات الخضراء الموجودة داخل الكتل السكنية يجب إضافة مرشحات رملية بطيئة المعدل أو سريعة المعدل أو تحت ضغط ضمن وحدات محطات المعالجة مع إنشاء الأعمال التكميلية المساعدة كما يجب أيضاً إضافة مواد التعقيم لمياه الصرف الصحي المعالجة مع إنشاء خزانات التلامس الخاصة بها.
٩. دق مجموعة آبار الملاحظة حول المزرعة للتأكد بصفة مستمرة من عدم تلوث المياه الجوفية بتلك المناطق.
١٠. إمداد مناطق المزارع بمصدر مائي (مياه سطحية) مجاوره بغرض إجراء عمليات غسل التربة بصفة مستمرة ومن حين لآخر حتى تمنع تراكم الأملاح بالتربة.
١١. إنشاء المصارف الزراعية في حالة الاحتياج لها.

المراجع

- تم الإعداد بمشاركة المشروع الألماني GIZ
- و مشاركة السادة :-

➤ مهندس / اشرف علي عبد المحسن	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / طارق ابراهيم عبد العزيز	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / مصطفى محمد محمد	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالجيزة
➤ مهندس / محمد محمود الديب	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالدقهلية
➤ دكتور كيمائي / حسام عبد الوكيل الشربيني	شركة الصرف الصحي بالاسكندرية
➤ مهندس / رمزي حلمي ابراهيم	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالجيزة
➤ مهندس / اشرف حنفي محمود	شركة الصرف الصحي بالاسكندرية
➤ مهندس / مصطفى احمد حافظ	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالجيزة
➤ مهندس / محمد حلمي عبد العال	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / ايمان قاسم عبد الحميد	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالشرقية
➤ مهندس / صلاح ابراهيم سيد	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / سعيد صلاح الدين حسن	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / صلاح الدين عبد الله عبد الله	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالدقهلية
➤ مهندس / عصام عبد العزيز غنيم	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / مجدي علي عبد الهادي	شركة الصرف الصحي بالقاهرة الكبرى
➤ مهندس / عبد الحليم مهدي عبد الحليم	شركة مياه الشرب والصرف الصحي بالقليوبية
➤ مهندس / سامي يوسف قنديل	شركة الصرف الصحي بالاسكندرية
➤ مهندس / عادل محمود ابو طالب	GIZ المشروع الالمانى لادارة مياه الشرب والصرف الصحي
➤ مهندس / مصطفى محمد فراج	الشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحي