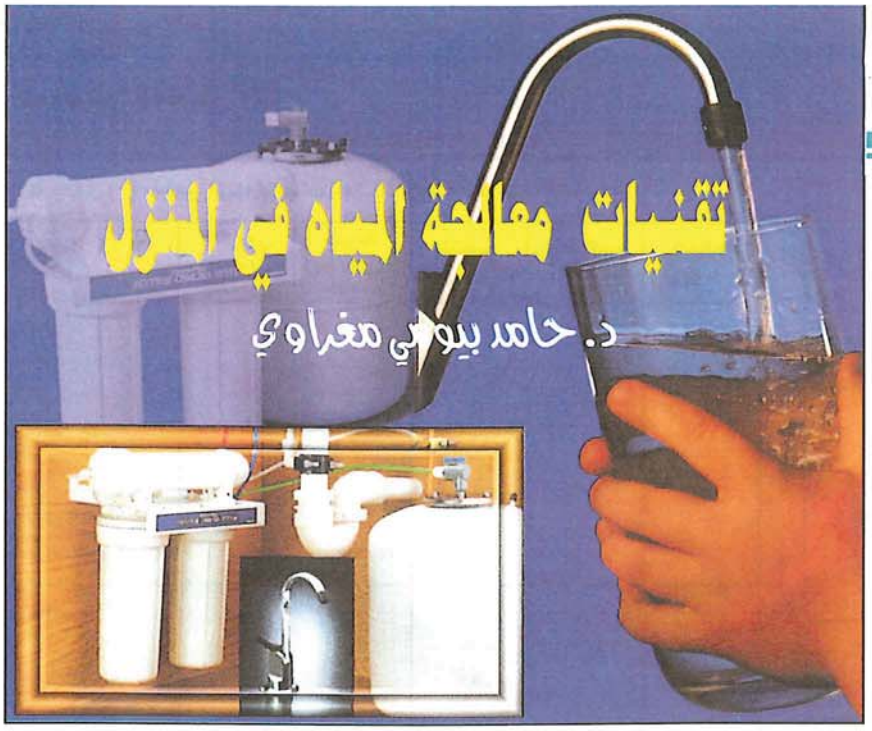


تقنيات معالجة المياه في المنزل

د. حامد بيومي مغراوي

تم استخدام بعض الأجهزة قديماً في معالجة مياه الشرب - لإزالة الملوثات غير المرتبطة بآثار صحية سلبية مثل الطعم ،واللون ، والرائحة ، والعكارة ، والحديد ، والعسر .. الخ. - في المنازل أو المواقع المستقلة إلى جانب التطبيقات الصناعية والتجارية ، ومع الإنتشار المتنامي للمواد السامة والمسرطنة في مصادر المياه العمومية ومياه الآبار الخاصة وإرتفاع مستوياتها تم تطوير وإستحداث تقنيات جديدة لإزالة هذه الملوثات من مياه الشرب .

وتوجد حالتان لإستخدام أجهزة المعالجة على المستوى المنزلي هما :

- معالجة منزلية للمياه الداخلة للمنازل أو المواقع المغذاة بالمياه عن طريق مصدر عمومي أو جماعي ، وبطبيعة الحال فإن نوعية المياه تكون خاضعة للمواصفات القياسية الموضوعة للمياه الآمنة ، وهنا فإن هذه المعالجة تكون لهدف جمالي فحسب مثل تحسين الطعم أو المظهر .
- معالجة مياه خام (غير معالجة) وتكون المصدر المائي الوحيد المتاح للمنزل أو الموقع ، والذي يكون عادةً في منطقة منعزلة ، ومن ثم تكون المعالجة ضرورية وهامة .

وفي كلتا الحالتين السابقتين فان المستهلك أمامه عدة خيارات لتحديد أجهزة المعالجة المناسبة والتي تتباين أنواعها وأحجامها .

طرق المعالجة المنزلية

يعتمد إختيار طريقة معينة من طرق معالجة المياه في المستوى المنزلي على متطلبات نوعية أهمها :

- صفات ونوع المصدر المائي .
- نوع وشدة التلوث .
- الجدوى الإقتصادية وتكلفة المعالجة .
- متطلبات المعالجة .
- أي متطلبات أخرى للتخلص من المخلفات الناتجة عن المعالجة .
- المتطلبات الموضوعة عن طريق الجهات الفنية والرقابية لمتابعة نوعية المياه .

وتنحصر طرق المعالجة المنزلية في طريقتين هما :

● المعالجة عند نقطة الاستعمال

تعنى المعالجة عند نقطة الاستعمال (Point-of-use;POU) معالجة المياه الخارجة من الصنبور مباشرة ، وتتضمن تقنية هذا النوع من المعالجة أنظمة التنقية الآتية :

- وحدة معالجة متصلة بالصنبور عن طريق أنبوب بلاستيكي وتوضع بجانب الصنبور .
- وحدة مركبة على الصنبور مباشرة .
- وحدة متصلة بالصنبور عن طريق أنبوب وتوضع عادة أسفل الحوض .
- وحدة ذات خط تغذية مستقل ولها صنبورها الخاص .

● المعالجة عند نقطة الدخول

تختص بالمعالجة عند نقطة الدخول (Point. of entry, POE) أي بمعالجة المياه عند موقع دخولها في المنزل أو الموقع المستقل ،مثل: مدرسة ، ومطعم ، ومصنع ..الخ قبل توزيعها في أرجائه وفي هذه الحالة توضع هذه الأنظمة بمدخل المنزل مثل الجراج (المرآب) ، أو في البدروم وتكون أكبر حجماً ، وأكثر تعقيداً ولها تكلفة أولية عالية .

تقنيات المعالجة

من البديهي أن لاتختلف التقنيات المستخدمة لمعالجة المياه على المستوى المنزلي عن التقنيات التي تطبق في محطات معالجة المياه بوجه عام ، ولكن تختلف عنها في أنها تتعامل مع ملوثات أقل تركيزاً من حيث مستويات الملوثات العضوية ، ودرجة العكارة ،والفلوريدات ، والكلوريدات ، والزرنيخ ،والنترات ، والنشادر ، والكائنات الدقيقة . ويمكن من خلال إحدى هذه التقنيات تحسين العوامل الجمالية للمياه عن طريق إزالة بعض المكونات والتي لايسبب وجودها مشاكل صحية ، فضلاً عن أنها ليست خاضعة لتنظيمات مراقبة جودة المياه مثل تركيز الأملاح الصلبة الذائبة ، والنحاس ، والكلوريدات ، والكبريتات ، والحديد ، واللون ، والطعم ، والرائحة ، وتتضمن تقنيات المعالجة على المستوى المنزلي واحدة أو أكثر من تقنيات معالجة المياه التي تشمل الإدمصاص ، والتبادل الأيوني ، والتناضح العكسي ، والترشيح ، والأكسدة الكيميائية ، والتقطير ، والتهوية ، و تطهير المياه . يستعرض جدولي (٢,١) نوعية الملوثات وتقنية المعالجة الأكثر مناسبة لإزالتها من مياه الشرب على المستوى المنزلي .

ويمكن استعراض تقنيات معالجة المياه على المستوى المنزلي ، والعوامل المؤثرة ، وعيوبها من الناحيتين الميكروبية والكيميائية فيما يلي :

● حبيبات الكربون المنشط

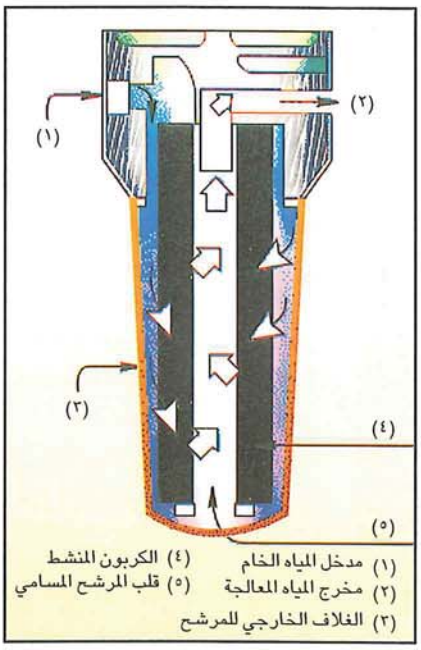
يعد استخدام مرشحات الكربون المنشط (Granular Activated Carbon-GAC) ، شكل (١) ، الأكثر شيوعاً في أنظمة المعالجة المنزلية لما تتصف به من سهولة في التركيب والصيانة إلى جانب أن تكلفة التشغيل محصورة فقط في إستبدال

● جدول (١) ملخص الأداء لتقنيات معالجة الإزالة للمركبات العضوية

المركبات	الكربون الحبيبي المنشط	التهوية بالبرج المعبأ	التناضح العكسي	كفاءة الأكسدة بالأوزون Δ	المعالجة التقليدية
المركبات المتطايرة					
الألكانات Alkanes					
رابع كلوريد الكربون	++	++	++	–	–
٢،١ – ثنائي كلوريد الإيثان	++	++	++	–	–
١،١،١ – ثلاثي كلوريد الإيثان	++	++	++	–	–
٢،١ – ثنائي كلوريد البروبان	++	++	++	–	–
ثنائي بروميد الإيثيلين	++	++	+	–	–
ثنائي بروميد كلوريد البروبان	++	++	NA	–	–
الألكينكات Alkenes					
كلوريد الفنيل	+	++	NA	++	–
١،١–ثنائي كلوريد الإيثيلين	++	++	NA	++	–
٢،١–ثنائي كلوريد الإيثلين	++	++	–	++	–
٢،١–ثنائي كلوريد الإثيلين	++	++	NA	++	–
ثلاثي كلوريد الإثيلين	++	++	+	+	–
المركبات العطرية (الأروماتية)					
بنزين	++	++	–	++	–
تولوين	++	++	NA	++	–
زايلين	++	++	NA	++	–
إيثيل البنزين	++	++	–	++	–
كلوريد البنزين	++	++	++	+	–
أورثو – ثنائي كلوريد البنزين	++	++	+	+	–
بارا – ثنائي كلوريد البنزين	++	++	NA	+	–
ستيرين	++	++	NA	++	–
المبيدات الكيميائية					
خماسي كلوريد الفينول	++	–	NA	++	NA
D – ٤،٢	++	–	NA	+	–
الأكلور	++	++	++	++	–
الديكارب	++	–	++	NA	–
فيوران الكربون	++	–	++	++	–
لندين	++	–	NA	–	–
توكسافين	++	++	NA	NA	–
سباعي الكلوريد	++	++	NA	+	NA
كلوردين	++	–	NA	NA	NA
TP – ٥،٤،٢	++	NA	NA	+	NA
ميسوكسي الكلوريد	++	NA	NA	NA	NA
مركبات أخرى					
أكريل أميد	NA	–	NA	NA	NA
إيبي كلور الهيدرين	NA	–	NA	–	NA
ثنائي الفنيل متعدد الكلوريد (PCBs)	++	++	NA	NA	NA

++ : ممتاز (٧٠ – ١٠٠٪) . + : متوسط (٣٠ – ٦٩٪) . – : ضعيف (صفر – ٢٩٪)

NA : غير معلوم . Δ : ٢ – ٦ جزء من مليون



● شكل (١) منظر لوحدة كربون منشط للإستخدام المنزلي

الغشاء الداخلي (الشمعة) بعد تشبعها ، كما أن أداء وحدة الكربون المنشط يمكن أن يكون كافياً لإزالة الملوثات العضوية وبعض الملوثات غير العضوية ، ويعتمد أداء الوحدة على مجموعة من العوامل أهمها : تصميم الوحدة ، ونوع وكمية الكربون المنشط ، والمدة الزمنية لاتصال المياه بالكربون . يعمل الكربون المنشط على إزالة الملوثات من المياه عن طريق خاصية الإدمصاص ، حيث تلعب المساحة السطحية الكبيرة والبناء الهيكلي للمسام أهمية كبرى لإدمصاص المواد العضوية ، وتؤدي عملية تنشيط الكربون إلى توفير مساحات سطحية كبيرة داخل مسام جزيئاتها ، وفضلاً عن ذلك فإنه كلما كانت المساحة أصغر مقارنة بحجم الجزيئات المراد إدمصاصها كانت قوى جذبها أكبر ، كما أن لكل نوع تجاري من حبيبات الكربون المنشط خواص مميزة تجعله أكثر توافقاً لتطبيق معين عن أنواع أخرى ، وقد تواجه هذا النوع بعض المشاكل منها :

* **مشاكل ميكروبيولوجية :** ومن أهمها نمو وتكاثر البكتيريا على مرشحات الكربون المنشط بسبب أن المواد العضوية المدمصة على سطح الكربون تشكل وسطاً جيداً لنمو وتكاثر البكتيريا خاصة في فترات توقف المرشح عن العمل حيث تكون الفرصة سانحة لتكوين مستعمرات كثيفة ، وفضلا عن ذلك تساعد درجة حرارة الغرفة الدافئة ومعدلات سريان المياه المنخفضة ، وفترات التوقف (خلال الليل أو أثناء العطلات) على نمو المزيد من مستعمرات البكتيريا ، وقد ينتج عن ذلك بعض المشاكل الصحية لمستخدمي تلك المياه .

تعد النزلات المعدية والمعوية من أكثر

● جدول (٢) ملخص الأداء لتقنيات معالجة المواد غير العضوية

المادة	ألومينا منشطة	تخثير - ترشيح	تحكم في التآكل	ترشيح مباشر	ترشيح دياتوماتو	حبيبات الكربون المنشط	تبادل أيوني	تيسير الجير	تناضح عكسي	تهوية
أسبستوس	–	++	++	++	++	–	–	–	–	–
باريوم	–	–	–	–	–	–	++	++	++	–
كادميوم	–	++	–	–	–	–	++	++	++	–
كروم (III)	–	++	–	–	–	–	++	++	++	–
كروم (IV)	–	++	–	–	–	–	++	–	++	–
زئبق	–	+ إلى ++	–	–	–	++	–	++	++	–
نترات ونيتريت	–	–	–	–	–	–	++	–	++	–
سيلينيوم (IV)	++	++	–	–	–	–	–	+	++	–
سيلنيوم (VI)	++	–	–	–	–	–	–	–	++	–
زرنيخ (III)	++[a]	++[a]	–	–	–	–	–	+ إلى ++	+	–
زرنيخ (V)	++	++	–	–	–	–	++	+ إلى ++	++	–
راديوم – ٢٢٦	–	–	–	–	–	–	++	++	++	–
رادون	–	–	–	–	–	++	–	–	–	++
يورانيوم	b	++	–	–	–	–	++	++	++	–

++ : ممتاز (٧٠ – ١٠٠٪). + : متوسط (٣٠ – ٦٩٪). – : ضعيف (صفر – ٢٩٪). a : بالأكسدة الأولية. b : غير معروف

التأثيرات الصحية شيوعاً وشدة للتلوث الميكروبيولوجي للمياه بالإضافة إلى وجود أعراض أخرى تتضمن الصداع وتقلصات المعدة والقيء، والإسهال، والشعور بالإجهاد، والغثيان، بل ويمكن أن يؤدي وجود الفيروسات إلى الأصابة بالشلل والتهاب الغشاء السحائي، ويعد وجود بكتيريا القولون دليلاً على تواجد كائنات أخرى دقيقة في المياه يمكن أن تتسبب في الإصابة بالدوسنتاريا، والتهاب الكبد الوبائي، وحمى التيفود ،أو الكوليرا.

كذلك لوحظ وجود مصدر آخر هام لتلوث المياه بسبب التصاق البكتيريا بحبيبات الكربون المتناهية الدقة والتي تمر خلال مرشحات الكربون مصاحبة للمياه المعالجة، وقد أتضح في هذا الخصوص أن زيادة عمق المرشح وإحتواء المياه على عكارة عالية، وزيادة معدل الترشيح، قد يؤدي الى تسرب أعداد عالية من دقائق الكربون المحتوية على بكتيريا ذاتية التغذية أو زيادة عدد بكتيريا القولون.

وتختلف نوعية بكتيريا المياه الناتجة عن أجهزة المعالجة المنزلية عن التي تأتي من خلال مصادر المياه العمومية، كما أن أعداد البكتيريا في المياه المعالجة عبر المرشحات المنزلية يمكن أن يرتفع عشرات أو مئات المرات عن عددها في عينات من مياه المصادر العمومية، حيث لوحظت مستويات عالية من البكتيريا على مرشحات الكربون وصلت إلى ٧٠٠٠٠ وحدة لكل مليمتر مياه خلال الأيام الستة الأولى من تركيب مرشح كربوني جديد، كذلك لوحظت مستويات عالية من البكتيريا في كميات المياه الخارجة عند بداية عمل المرشحات الكربونية بعد توقفها أثناء الليل، ولتجنب هذه المشكلة - ولوجزئياً - يمكن عدم استخدام الاحجام الأولى من المياه الخارجة عبر المرشحات.

وفي محاولة للتحكم في نشاط البكتيريا داخل وحدات الترشيح الكربونية تم زرع أيونات الفضة أو إضافة مبيدات مضادة للبكتيريا في ثنايا حبيباتها، وقد وافقت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة على صلاحية بعض هذه المنتجات بشرط أن لايزيد تركيز عنصر الفضة في المياه الناتجة عن ٥٠ ميكروجرام /لتر، وقد أظهرت الأبحاث العلمية حول هذا الموضوع أن وحدات المعالجة المحتوية على أيونات الفضة قد أدت إلى خمول جميع الكائنات الدقيقة لبكتيريا القولون من ضمنها النوع إسكيرتشيا كولي (Escherichia Coli)، ومع ذلك فإن موضوع تأثير الفضة على تكاثر أنواع أخرى من البكتيريا مازال محل جدل.

* **مشاكل كيميائية:** وتنحصر في أن التنافس على مواقع الإدمصاص بين الملوثات ذات الإهتمام، والمواد العضوية الأخرى في المصدر المائي، والكلور، والتجمعات الميكروبية يؤدي إلى الخروج المبكر لكميات محسوسة من هذه الملوثات مع المياه خلال وحدة الكربون، كذلك يمكن حصول نفس المشكلة في أحوال أخرى مثل التحميل العالي لحركة المياه، والإدمصاص المتوسط إلى الضعيف لبعض الملوثات على حبيبات الكربون، وإستنفاذ مرشح الكربون.

● الأغشية

تتصف الأغشية (Membranes) بكونها مادة متبلمرة رقيقة، ناعمة، مرنة ولها قدرة على تكوين سطح محدد أو سطح داخلي للتحكم في إختيار ومرور الملوثات عند معالجة المياه. وتندرج أغلب وحدات الأغشية المصنعة والمستخدمة في معالجة مياه الشرب تحت أربعة أنواع أساسية هي: عديد الأميد، وخلات السليلوز، وثلاثي خلات السليلوز، والغشاء المركب. ويتميز الشكل المثالي للأغشية بنسبة عالية من المساحة السطحية إلى الحجم، ومقاومة عالية ضد تسمم الوسط (فقد كفائته) نتيجة وجود المواد الصلبة العالقة في المياه. ولكل نوع من هذه الأغشية صفات مميزة يجب أن تؤخذ في الحسبان عند الاستخدام كما هو مبين في جدول (٣).

* **أنواع الأغشية:** وتنقسم الى قسمين اساسيين هما:

- **غشاء نفاذ للمياه:** ويتضمن عمليات التناضح العكسي، والترشيح النانومتري،

والترشيح الفائق ، والترشيح الميكرومتري وفيها يتراوح حجم الجزيئات المرفوضة من المرور في عمليات الفصل النوعي بين ١ إلى ١٠ أنجستروم (١٠-٨ إلى ١٠-٤ سم)

ـ **غشاء غير نفاذ للمياه :** ويتضمن عمليات مثل الامتزاز الغشائي الكهربي والامتزاز الكهربي العكسي .

* **أشكال الأغشية :** ومن أهمها : المنسوج المجوف ، والملفوف الحلزوني ، والأنبوبي ، والمسطح ، وعلى شكل إطار حيث تعد أشكال المنسوج المجوف والملفوف الحلزوني هما الأكثر شيوعاً في معالجة المياه على المستوى المنزلي .

تصل نسبة عائد المياه المعالجة باستخدام الغشاء المنسوج المجوف من ٥٠ الى ٦٠٪ ، وفيها يتم ضخ المياه الخام تحت ضغط ٢٠٠ إلى ٤٠٠ رطل/ بوصة مربعة خلال أنبوب التوزيع ليمر خارجاً خلال ضفائر المنسوج ، وتمر المياه المضغوطة خلال جدار المنسوج المجوف عبر المسام ليتم التخلص من أغلب الأملاح الذائبة ، والمواد العضوية ، والبكتيريا .

من جانب آخر تصل نسبة استعادة المياه المعالجة باستخدام الملفوف الحلزوني بين ٥٪ إلى ١٥٪ من معدل سريان المياه الخام ، وتتميز وحدات الملفوف الحلزوني بنسبة جيدة من المساحة السطحية إلى الحجم ، وبعدم تعرضها للالتصاق أو التسمم ، إلا أنه في حالة المياه عالية التعكر يتطلب معالجتها قبل دخولها إلى وحدة المعالجة . ويمكن أن يحتوي نظام الملفوف الحلزوني ـ بحد أقصى ـ على ست وحدات غشائية متصلة على التوالي .

● الترشيح الفائق

صممت أغشية الترشيح الفائق (Ultrafilteration) لفصل العوالق والملوثات العضوية عن طريق إستغلال الخواص المسامية للأغشية ، وبالرغم أن هذه الأغشية يمكن أن تفصل بكفاءة كل المواد العالقة تقريباً ، والكائنات الدقيقة ، والجزيئات العضوية الكبيرة من المياه ، إلا أن لها تأثيراً منخفضاً في فصل المواد الصلبة الذائبة مثل الأملاح المعدنية . وإلى وقت قريب لم يجد إستخدام الترشيح الفائق في عمليات معالجة المياه الإهتمام الكافي ، بالرغم من استخدامها في عمليات التناضح العكسي ، وقد تم إدخال تعديلات عليها لتعطيها بناءً مختلفاً . وتتركب الأغشية المتاحة حالياً من بوليمرات مثل السليلوزية ، وعديدة السلفون ، و الغشاء المركب ، وفلوريد عديد فينيل الداين . كذلك تم تطوير أنظمة الترشيح الفائق مثل الملفوف الحلزوني ، والأنبوبي ، والمنسوج المجوف حيث تتراوح مسامية أغشية الترشيح الفائق مابين ٤٠ إلى ١٠٠٠ أنجستروم . وبالتالي يمكن أن تستخدم بفاعلية لإزالة الأجسام الغروية الأقل من ميكرون بسهولة ، فضلاً عن إزالة الكائنات الدقيقة ودقائق الطمي ، والمركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي الكبير . وبالرغم من أن أغشية الترشيح الفائق المستقلة يمكن أن تنتج نسبة أستعادة للمياه تتراوح مابين ٢٠٪ إلى ٣٠٪ حسب ظروف التشغيل مثل الضغط ، معدل التدفق ، إلا أنه يمكن تحويل النظام إلى مراحل لينتج نسبة عائد عالية تصل إلى ٨٠٪ .

وفي حالة أنظمة معالجة المياه المنزلية عند نقطة الدخول يمكن إستخدام النظام الذي يدخل فيه المحلول المركز الناتج من المرحلة الأولى للترشيح (الترشيح العادي) إلى مرحلتين أخرتين، ومن أهم المشاكل الناتجة عن إستخدام الأغشية مايلي :

* **مشاكل ميكروبيولوجية :** وتنحصر في عدم فعالية هذه الأغشية في منع المرور الكامل للبكتيريا والفيروسات . فضلاً عن أن تواجد المواد غير العضوية ، وكثافة البكتيريا ، ودرجة الحرارة ، والرقم الهيدروجيني ، والمطهرات يمكن أن يؤثر على أداء الغشاء وعمره ، وبالتالي إحتمالية تعرض صحة المستهلكين للخطر بنفس الطريقة التي تم وصفها سابقاً عند التطرق لمشاكل استخدام الكربون المنشط .

وزيادة على أن الظروف المتوفرة في الأغشية والمتمثلة في مساحة سطحية كبيرة دائمة البلل ، ودرجة حرارة الغرفة الدافئة تمثل جميعها ظروف مناسبة لنمو البكتيريا وتكاثرها ، كما يمكن للطبقات الحيوية المتكونة أن تحتفظ بالمواد الذائبة والعالقة ، فتستخدمها البكتيريا كغذاء ، وهذه الطبقات علاوة على تسميمها للوسط الغشائي يمكن أن تحمي البكتيريا من آثار المواد المطهرة . كذلك يمكن لنوعية الماء الناتج أن تسوء نتيجة ما يسمى "إستقطاب التراكيز" وتعني زيادة مرور الأملاح نتيجة تجمعها في الطبقة الحيوية المتكونة .

* **مشاكل كيميائية :** وتنحصر في أن تقنية الترشيح الغشائي تعجز عن إزالة الملوثات ذات الآثار الصحية الضارة مثل المبيدات أو النترات ، وهما من الملوثات الشائعة في المياه الجوفية ، وعليه فمن الضروري إختيار الغشاء المناسب لإزالة هذه الملوثات ، فمثلاً يجب إستخدام الشريحة المركبة الرقيقة لإزالة النترات بسبب أنها سهلة المرور خلال الأغشية السليلوزية .

● التبادل الأيوني

تستخدم خاصية التبادل الأيوني لإزالة المركبات التي لها علاقة بالناحية الجمالية في الغالب وليس التي ينتج عنها مشاكل صحية .

وتعد راتنجات التبادل الأيوني (Ion Exchange Resins) من أهم المواد المستخدمة في عمليات التبادل الأيوني، وبالرغم من فعالية راتنجات التبادل الأيوني في عمليات تيسير المياه إلا أن لها مشاكل تتمثل فيما يلي :-

المتغير	نوعية الغشاء المتبلمر			
	عديد الأمين	خلات السليلوز	ثلاثي خلات السليلوز	الغشاء المركب الرقيق
الرقم الهيدروجيني	٤ – ١١	٢ – ٨	٤ – ٨	٢ – ١٢
الكلور	ضعيف	جيد	جيد جداً	جيد
المقاومة الحيوية	جيد	ضعيف	جيد جداً	جيد
التسمم	متوسط	منخفض	منخفض	متوسط/عالي
التنظيف	جيد	ضعيف – معتدل	ضعيف – معتدل	جيد
درجة حرارة الثبات (°م)	٣٥	٣٥	٣٠	٥٠
رفض مرور النوعيات الأيونية (٪)	أكبر من ٩٠	٩٠	٩٠	أكبر من ٩٠
رفض مرور المركبات العضوية (٪)	صفر – ٩٠	صفر – ٣٥	–	صفر – ١٠٠

● جدول (٣) مقارنة أداء الأغشية المتبلمرة المختلفة الأنواع

* **مشاكل ميكروبيولوجية :** ومن أهمها النمو البكتيري في وحدات التبادل الأيوني ، حيث يمكن أن يصل مستواه في المياه المعالجة إلى أعلى من مستواه في المياه الخام . وبالرغم من وجود هذه الظاهرة في أوساط الترشيح الأخرى إلا أن عمليات إعادة التنشيط أو الغسيل العكسي ، أو التخلص من كمية المياه الناتجة في البداية يمكن أن يخفض من العدد البكتيري في الوسط المعالج ، ومع ذلك فإنه مازال من الضروري معالجة المياه الناتجة بالتطهير للتأكيد على حماية المستهلك .

* **مشاكل كيميائية:** وتنحصر في أن استخدام نظام التبادل الأيوني الموجب ينجم عنه مستويات عالية من الصوديوم ، مما يؤثر على مرضى إرتفاع ضغط الدم والقلب ، ومع ذلك فأن استخدام نظام تناضح عكسي بعد عملية التبادل الأيوني يعد خياراً أفضل لتقليل الصوديوم إلى مستويات منخفضة جداً .

من جانب آخر ينجم عن استخدام نظام تبادل أيوني سالب إنخفاض الرقم الهيدروجيني ، مما يؤثر على لحامات التوصيلات المنزلية ، وينتج عنه مستويات عالية من النحاس والحديد ، أو الرصاص ، بالإضافة إلى تقصير عمرها . كذلك فإن الإزالة الانتقائية للملوث تعد من الإعتبارات التي يجب الإهتمام بها في عمليات التبادل الأيوني السالب، وعلى سبيل المثال فإن أيون الكبريتات يكون المفضل لأغلب راتنجات التبادل الأيوني السالب عن أيون النترات ، مما يؤدي إلى خفض سعة تبادل الراتنج بالنسبة للنترات ، وبالتالي يؤدي إلى تسربها إلى المياه المعالجة معرضة المستهلك إلى أخطار صحية محتملة.

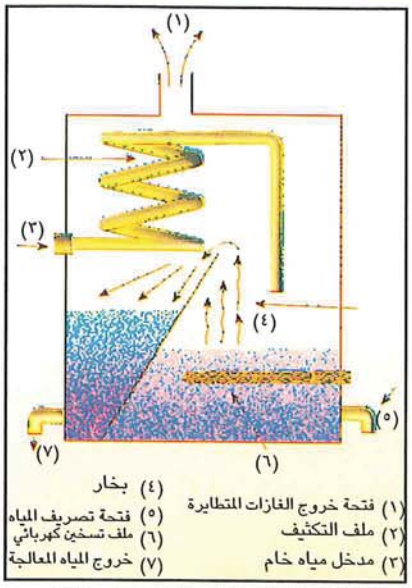
● التقطير

يعرف التقطير (Distillation) بالعملية التي يتم فيها سحب الغاز أو البخار من السوائل عن طريق التسخين ثم تكثيفه وتحويله مرة أخرى إلى سائل ، وبالتالي فإن عملية التقطير هي استخدام التبخير لتنقية المياه ، وعند تسخين المياه لتكوين بخار فإن المعادن الذائبة (المركبات غير العضوية) ، والمواد العضوية غير المتطايرة ، والمواد العالقة لاتتبخر مع المياه وتستقر في إناء الغليان . ويوجد نوعان لأنظمة التقطير المنزلي هما التبريد بالهواء والتبريد بالمياه ، ويعد التقطير مؤثراً للغاية في إزالة المركبات غير العضوية مثل المعادن (الحديد والرصاص) ، والنيترات ، والعسر (كالسيوم ومغنيسيوم) ، والمواد العالقة من المياه ، وتتمثل أهم ميزات عمليات التقطير في القضاء على أغلب أنواع البكتيريا وبعض الفيروسات الموجودة بالمياه عند درجات الحرارة العالية ، الا أنه بالنسبة للنوعيات التي لم تتأثر بالحرارة فهي تخرج من المياه مصاحبة للبخار المتصاعد ، وتختلف فعالية التقطير في إزالة المركبات التي لها درجة غليان أعلى من درجة غليان المياه مثل بعض المبيدات الحشرية التي يمكن إزالتها بفاعلية من المياه ، وبالنسبة للمركبات العضوية المتطايرة فإنها سوف تتبخر عند درجات حرارة قبل غليان المياه ، ويجب إزالتها عن طريق فتحة تهوية إلى الجو ، وإذا لم يتم إزالتها قبل عملية التكثيف فإنها سوف تلوث المياه المعالجة .

وتحتاج وحدات التقطير ، شكل (٢)، إلى تيار كهربائي عالي نسبياً يصل لحوالي ٣ كيلووات ـ ساعة لكل جالون من المياه المعالجة ، ولخفض الاستهلاك الكهربائي فإن بعض الوحدات تزودّ بأوعية تسخين أولية وفاصل تلقائي لقطع التيار الكهربائي .

* **مشاكل ميكروبيولوجيه :** بالرغم أن أغلب البكتيريا الموجودة في المياه الخام تقتل تحت تأثير درجات الحرارة العالية ، إلا أنه يوجد بعض الأنواع التي لا يتم القضاء عليها فتنفصل من المياه مع البخار المتصاعد ، وهناك مخاطرة أخرى من أن التلوث الميكروبي يمكن أن يحدث نتيجة إحتكاك الهواء بالمياه المعالجة بغرض تحسين طعم المياه الناتجة بإذابة كل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون فيها .

* **مشاكل كيميائية :** ومن أهمها تأثير إزالة كل المعادن الهامة ، إذ أن ذلك يؤثر بطريقة غير مباشرة على صحة المستهلك ، حيث تمثل المياه حوالى ٥٪ كمصدر للمعادن الضرورية لجسم الأنسان ، كذلك فإن إزالة الملوثات العضوية المتطايرة والتي لها درجة غليان قريبة من درجة غليان الماء تعد صعبة ، حيث أن هناك احتمال قوي لتجمعها في المكثف وبالتالي في المياه المعالجة . وحلاً لهذه المشكلة تم تزويد



● شكل (٢) وحدة معالجة مياه بالتقطير

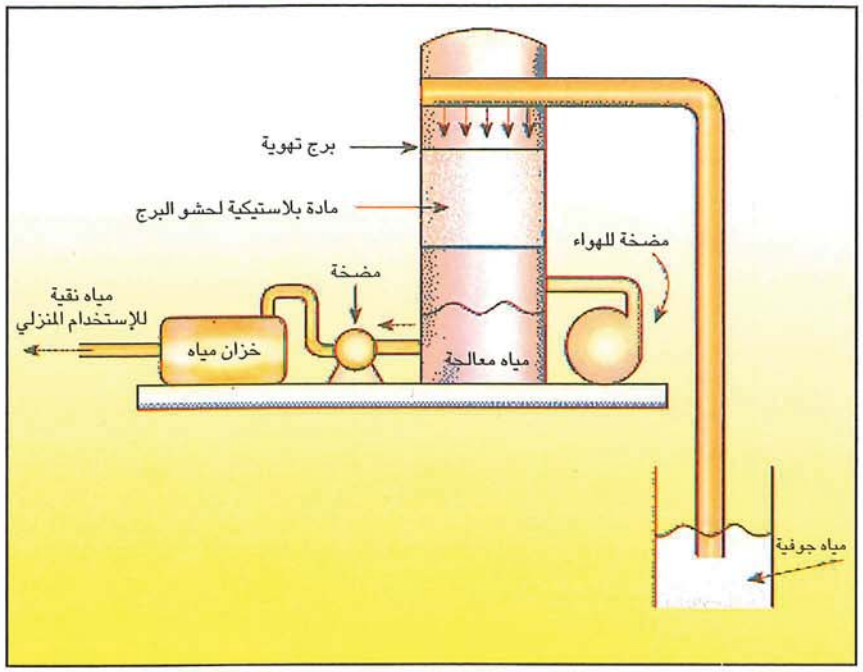
وحدات التقطير بنظام التهوية للغازات المتطايرة أو غرف معالجة قبل التسخين ، أو وحدات معالجة مثل حبيبات الكربون المنشط .

● المعالجة بالتهوية

برهنت تقنية التهوية (Aeration) داخل الأبراج المعبأة على كفاءتها لإزالة المواد العضوية المتطايرة من مصادر مياه الشرب ، وفي هذا النظام تدخل المياه المراد معالجتها من فوهة برج التهوية حيث تتحرك إلى أسفل تحت تأثير الجاذبية بينما يتم ضخ الهواء من أسفل إلى أعلى خلال فتحات ضيقة باستعمال مضخات ميكانيكية ، ويحتوى البرج على مواد حشو خاملة عادة من مادة البلاستيك لتزيد من مساحة تقابل سطحى الهواء/ماء لتحسين ظروف حركة الكتلة ، شكل (٣) ، وتتلخص فعالية تقنية المعالجة بالتهوية في إنتقال المواد العضوية المتطايرة من الماء إلى الهواء الذي يخرج إلى الجو . وتعتمد درجة الإزالة على عدة عوامل منها :

١ـ نسبة الهواء الى الماء .
٢ـ نوعية مادة الحشو .
٣ـ إرتفاع طبقة الحشو .
٤ـ معدل التحميل المائي .
٥ـ نوع وتركيز المواد العضوية المتطايرة المراد إزالتها .

ويستخدم الفصل بالتهوية في تطبيقات معالجة المياه المنزلية خاصة في ظروف وجود تراكيز عالية من المواد



● شكل (٣) نظام معالجة المياه المنزلية بالتهوية

العضوية المتطايرة ، وقد تستخدم المعالجة بالتهوية في إزالة غاز الميثان الذي يتواجد في آبار المياه القريبة من حقول البترول أو الغاز الطبيعي أو الأرض المخصصة للتخلص من المخلفات .

***مشاكل ميكروبيولوجية :** ومن أهمها أن إستخدام وحدات البرج المعبأ في أغلب الأحوال يرتبط توصيله بوحدة تطهير المياه بعد المعالجة ـ وحدة كلور أو أشعة فوق بنفسجية ـ بالرغم من عدم وجود دلائل قوية على نمو طبقات بيولوجية على سطح المواد المعبأة للبرج في تطبيقاته على مياه الشرب .

*** مشاكل كيميائية :** وتنحصر في أن عمليات التهوية ينتج عنها مياه أكثر نشاطاً نتيجة ذوبان ثاني أكسيد الكربون في المياه حيث يمكن أن تسبب أو تزيد من معدل تآكل سخانات المياه ، واللحامات ، ومواد فواصل التوصيلات ، وبالتالي إحتمال تعرض المستهلك إلى مستويات عالية من الرصاص ، والنحاس ، والحديد .. الخ .

● الألومينا المنشطة

تعد الألومينا المنشطة (Activated Alumina) الأكثر إستخداماً لإزالة الفلوريدات من مياه الشرب مع إمكانية إزالة كل من الزرنيخ ، والكروم ، والسيلينوم ، والزئبق غير العضوي ، و تتم إزالة الملوثات بالألومينا المنشطة عن طريق عملية التبادل /الادمصاص ، وبالتالي تعد الخواص السطحية للألومينا عاملاً هاماً في إكسابها خواصاً لإدمصاص العناصر ، وتعد خاصية إدمصاص الفوريدات وإزالتها واحداً من المزايا التي تتصف بها الألومنيا المنشطة بسبب أن سعة الوسط لا تتأثر كثيراً بوجود أيونات منافسة مثل الكبريتات ، الكلوريدات ، أو البيكربونات .

*** إعتبارات ميكروبيولوجية :** ومن أهمها أنه رغم انخفاض بكتيريا القولون خلال مرشح الألومينا المنشطة الا أن نمو البكتيريا غير القولونية على الوسط تتزايد بسبب تكاثر بكتيريا العدد الكلي عادة على أوساط المرشحات . ولتلافي هذا العيب يكفي فتح الصنبور لمدة قصيرة للتخلص من هذه المستويات العالية .

● التطهير والأكسدة

بالرغم من أهمية إزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من مياه الشرب للتحكم في أو إزالة الآثار الصحية المزمنة والتي تنتج عن وجود الملوثات ، إلا أنه بنفس الأهمية ـ أو أكثر ـ يمكن التحكم في أو إزالة الملوثات الميكروبية والتي يمكن أن تحدث مشاكل صحية حادة . ولتحقيق هذا الهدف يلزم استخدم مطهر للتحكم في مصدر البكتيريا ، والفيروسات ، والأكياس الجرثومية عند تواجدها في مصادر المياه .

لذا فمن الضروري أن تلي كل عمليات المعالجة عمليات تطهير للتأكد من خلو المياه من الجراثيم المرضة ، ومن أهم المطهرات التي تستخدم عادة في أنظمة المرشحات المنزلية سواء المستعملة عند نقطة الدخول أو نقطة الاستعمال مايلي :

***الأشعة فوق البنفسجية :** وتعد الوسيلة الأكثر شيوعاً في عمليات التطهير المصاحبة لطرق المعالجة المنزلية المتنوعة ، ومن أهم ميزات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية أنه لاينتج عنها طعم ، ورائحة ، أو مركبات ثانوية ، كما تتميز بسرعة عملها إلى جانب سهولة صيانة أجهزتها، وتصنع أنظمة التطهير بالموجات فوق البنفسجية لمعالجة حجوم مختلفة من المياه تتراوح بين ٥ر٠ جالون / دقيقة إلى عدة مئات من الجالونات في الدقيقة ، وأغلب هذه الأجهزة لها فترة عمر تتراوح ما بين ٦٠٠٠ الى ١٢٠٠٠ ساعة عمل ، ومن أكثر المصادر شيوعاً هي إستخدام مصابيح الكوارتز المحتوية على غاز الزئبق تحت ضغط منخفض ، وتبلغ نفاذية أنابيب الكوارتز حوالي ٩٣٪ من طاقة الأشعة منها ٨٥٪ عند طول موجة ٢٥٣ر٧ نانومتر ، وهي قريبة جداً إلى طول الموجة مثالية التأثير على قتل الجراثيم بسبب سهولة اختراقها لجدران خلايا البكتيريا لتمتصها خلال الأحماض النووية مسببة تدميراً وراثياً لها .

*** الأوزون :** و يستخدم في معالجة مياه الشرب بهدف التطهير وأكسدة المواد العضوية وغير العضوية ، والأوزون غاز نشيط التفاعل ولكنه غير ثابت ، ولهذا السبب يجب تحضيره واستخدامه في الموقع نفسه ، وتختلف فترة نصف عمر الأوزون في المياه تبعاً لنوعية المياه ، ولكنها عامة لاتزيد عن ساعات قليلة ، بل ربما دقائق عديدة ، ويحضر الأوزون حالياً إما بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية أو بالتفريغ الكوروني (الكهربي) .

يستخدم الهواء كمصدر لتوليد الأوزون في أنظمة المعالجة المنزلية ، ويتراوح تركيز غاز الأوزون الناتج عن التعرض للأشعة فوق البنفسجية بين ٠١ر٠ـ١ر٠٪ بالوزن بينما ينتج عن طريق التفريغ الكهربي مابين ١ـ٣٪ بالوزن ، وحالياً توجد أنابيب أشعة فوق بنفسجية