



تنقية المياه للأغراض الخاصة وللأغراض الصناعية

تنقية المياه للأغراض الخاصة وللأغراض الصناعية

الدكتورة المهندسة

سلوى حجار

أستاذة الهندسة الصحية في قسم البيئة

6 - 1 - فلورة الماء :

لقد تبنت في الوقت الحاضر كثير من المدن عملية فلورة الماء حتى تصل كمية شوارد الفلور في الماء إلى قيمة (1 mg/L) .

يبين الجدول (1-6) المواد الكيميائية الأكثر استعمالاً لعملية فلورة الماء مع بعض صفاتها الكيميائية وهي فلور الصوديوم وفلور الصوديوم السيليكاتي وحمض الفلور السيليكاتي .

الجدول (1-6)

المادة	فلور الصوديوم	فلور الصوديوم السيليكاتي	حمض الفلور السيليكاتي
الصيغة	NaF	Na ₂ SiF ₆	H ₂ SiF ₆
درجة النقاوة	95 - 98 %	98 - 99 %	30 %
النسبة المئوية التقريبية (F)	44	60	24
الشكل المتوفر اعتيادياً	بلورات	بودرة	سائل
قابلية الانحلال	42 g/L	6.5 g/L	منحل

ولكي نختار أحد أنواع هذه المواد المفلورة يجب أن نأخذ بعين النظر الناحية الاقتصادية وتسهيلات التخزين المتوفرة وتجهيزات التغذية اللازمة والكميات المطلوبة.

ويلاحظ أن أفضل موقع لإعطاء المواد المفلورة هو إدخالها إلى تيار المياه الخارجة من المرشح وذلك لتجنب الضياعات الناتجة عن إدخالها مع باقي المواد الكيميائية .

ولتجنب المتاعب في التغذية يفضل استعمال حوض لحل المواد المفلورة مع مغذي جاف ومن ثم يساق محلول الفلور إلى موقع إعطائه ، ويجب الانتباه إلى قابلية انحلال فلور الصوديوم وفلور الصوديوم السيليكاتي القليلة في الماء وبالتالي إعطاء حجم مناسب لحوض تنظيم محلول الفلور في هاتين الحالتين لضمان نقل كل المادة المفلورة للتغذية ، أما حالة حمض الفلور السيليكاتي فلا توجد هذه المشكلة . ويفضل بالنسبة لحمض الفلور السيليكاتي أن يضاف إلى الماء مركزاً كما اشتري لكي نتجنب إمكانية تشكل كتل هلامية من السيليكاتي في المحلول الممدد .

وإذا كان من الضروري استعمال مضخة نافورية لتصريف أي من المحاليل تحت الضغط ، فيجب الانتباه إلى ضرورة استعمال مياه يسيرة لتجنب تشكل فلوريدات الكالسيوم والمغنسيوم في نقاط الإضطراب الشديد . في هذه الحالة يمكن أن نضيف للماء أي عنصر مزيل للعسرة كالفوسفات متعددة الجزيئات ، وتكون هذه الاضافة عند نقطة تغذية المضخة النافورية ، مما يؤدي إلى تجنب الميل إلى تشكيل القشور .

إن كثيراً من منشآت التنقية الصغيرة ترى أن حمض الفلور السيليكاقي السائل هو الأكثر ملاءمة وذلك بسبب إمكانية تغذيته بوساطة مضخة تناسبية (Proportioning Pump) كما هو مستعمل لتغذية محلول الهيوكلوريت . هذه المضخة تضخ مباشرة من البرميل الأساسي الذي يمكن أن يوضع في مكان بحيث يمكن منه تدقيق الكمية المغذاة .

أما عندما تكون كمية السائل المستعمل كبيرة فإنه يفضل التخزين غير المعبأ مع مغذي سائل ذي غراف .

في المشاريع الكبيرة لتنقية المياه تستعمل عادة مركبات الفلور الجافة (فلور الصوديوم و فلور الصوديوم السيليكاقي) وهذه يمكن أن تغذى بوساطة المغذيات الجافة المتوفرة تجارياً ، أو من الممكن بوساطة حوض تحضر فيه الكمية اللازمة بتركيز معلوم ثم تضاف بوساطة مضخة نافورية أو بالثقال . بما أن كل الفلوريدات هي مركبات سامة في كل الجرعات ما عدا الصغيرة جداً منها ، فإنه يجب استعمالها بحذر شديد .

أولاً : يجب إتباع تعليمات الشركة الصانعة كما يجب على العمال استعمال الثياب الواقية والأقنعة والقفازات وذلك عند تعاملهم مع مركبات الفلور ، كما يجب تجنب استنشاق أبخرة هذه المواد أو بلعها . ثانياً : إن اختيار تركيب وتشغيل أجهزة التغذية يجب أن يتم بحيث لا يكون هناك أية إمكانية أبداً لزيادة الجرعة عن حدها . وإن أية زيادة ملحوظة في الجرعة تعني خطراً على صحة المستهلكين . وعلى القائمين على هذه التغذية أن يحافظوا على التدقيق المستمر للجرعة ، ويكون عندهم تقارير دقيقة عن الكميات المستعملة .

ثالثاً : يجب أن نلاحظ أن المحلول الذي يحتوي إما على فلور الصوديوم السيليكاقي أو على حمض الفلور السيليكاقي هو محلول قابل لحت وأكل الجدران ، لذلك يجب أن يأخذ التركيب والتشغيل بعين النظر حماية الأشخاص في حالة ارتشاح أو انسكاب جزء من هذه المحاليل .

6 - 2 - إزالة فائض الفلور من الماء :

إن وجود كمية من الفلور في ماء الشرب أكبر من (1.2 mg/L) (أو أقل من هذا في درجات الحرارة الوسطية المرتفعة) هو أمر غير مرغوب به . وإن وجود كمية من الفلور أكبر من (2 mg/L) هو أمر خطير .

إن إزالة عسرة الماء بطريقة الكلس - صودا سوف تخفض محتوى الماء من الفلور ، ومدى هذا التخفيض يتعلق بإزالة المغنيزيوم حسب العلاقة الآتية :

$$\text{انقاص الفلور} = \text{كمية الفلور الأصلية } F \text{ (ملغ/ل)} \times \frac{7}{100} \times \text{إزالة المغنيزيوم} .$$

كما أن إزالة العسرة بالتبادل الأيوني لا تزيل الفلور ، ولكن هناك بعض مواد التبادل الأيوني التي وجد أنها تمتص الفلور مثل أكسيد الألمنيوم المنشط (المحروق حتى التكليس) الذي يوضع بتماس مع الماء الحاوي على فائض الفلور حتى تصل كمية الفلور في الماء إلى (1 mg/L) ومن ثم تحدد وحدة التماس هذه بإمرار محلول كاوي قوي على أكسيد الألمنيوم المنشط والمشبع بالفلور ، ثم يغسل بالماء وبمحض الكبريت الممدد .

هناك مواد أخرى تستعمل لإزالة الفلور مثل كبريتات الألمنيوم وفوسفات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم الثلاثي والعظام .

يستعمل فوسفات الكالسيوم الثلاثي في الوحدات المنزلية بوضعه بشكل حبيبي في خزان يشبه خزان الماء الساخن يرشح الماء عبر حبيباته . وعندما تستهلك الوحدة تحدد بمحلول قلوي عياره (1%) يتبعه محلول حمض كلور الماء عيار (0.7 %) ثم يغسل أخيراً بالماء النقي ، وتكون سعة فوسفات الكالسيوم الثلاثي المحدد أقل من سعته الأصلية .

6 - 3 - إزالة الطعم والرائحة :

ينتج طعم ورائحة الماء عن تفسخ المواد العضوية الموجودة فيه ، أو عن الطحالب أو عن وجود الحديد والمنغنيز أو الأكاسيد المعدنية ، أو عن مياه الصرف الصناعية الحاوية على الفينول أو المواد البترولية أو بسبب وجود المعقمة مثل الكلور ، أو بسبب غازات منحلة في الماء .

بشكل عام يجب أن لا يكون للماء أي طعم أو رائحة ملحوظين فإن كان هناك أي طعم أو رائحة فإنه علينا أن نحري المعالجة اللازمة .

وعادة فإنه لا يوجد قاعدة ثابتة لإزالة طعم ورائحة الماء وإنما نجد لكل نوع من مشاكل طعم ورائحة الماء حل خاص به يستنتج من التجارب المخبرية .

تزيل التهوية أي طعم أو رائحة ناتجين عن الغازات أو المواد المتطايرة (ولكنها ذات تأثير ضعيف على الطعم والرائحة الناتجين عن الطحالب أو الفينول الصناعي) . وهنا يمكن أن نستعمل التهوية بوساطة النوافير ، أو بوساطة الشلالات كما هو مستعمل لإزالة الحديد والمنغنيز أو التهوية بوساطة حقن الهواء إلى أسفل حوض التهوية كما هو مستعمل لمعالجة مياه المجاري .

يمكن أن تتم الأكسدة الكيميائية بوساطة الكلور أو ثاني أكسيد الكلور أو الأوزون ، وبوساطة هذه الأكسدة تتحول المركبات المنتجة للطعم والرائحة إلى مواد أبسط غير ضارة .

في بعض الحالات يكون للكلور تأثير معاكس ، فمثلاً يمكن أن يتأكسد الفينول إلى كلوروفينول الذي يعطي طعماً أكثر كراهة من الفينول نفسه . (عتبة مستوى الرائحة $1 \mu g/L$) .
يكون الترويب (باستعمال مواد كيميائية فائضة عما يلزم لعملية الترسيب بالترويب) فعالاً لإزالة الطعم والرائحة الناتجين عن العناصر الترابية .

أما الطعم والرائحة الناتجين عن المواد العضوية فيمكن أن يزالا بوساطة تيسير الماء بطريقة الكلس - صودا باستعمال كمية كافية من الكلس كما أن التيسير بوساطة الكلس - صودا يمكن أن يفيد في إزالة الطعم الناتج عن مركبات الكبريتيد ويمكن أيضاً أن يعطي مياهاً آمنة من الناحية البكتريولوجية دون الحاجة إلى استعمال الكلور .
إن استعمال الاوزون يزيل طعم الماء الناتج عن الفينول والمواد القطرانية والبتروولية .

6 - 3 - 1 - إزالة الطعم والرائحة الناتجين عن الطحالب :

إن المعالجة بكبريتات النحاس أو غيرها من مبيدات الطحالب تفيد في إزالة الطعم والرائحة الناتجين عن الطحالب التي تنمو في خزانات المياه ، وأن إحصاء كمية الطحالب كل فترة قصيرة في خزانات مياه الشرب يمكن أن يعطينا دليلاً على مدى ضرورة استعمال مبيدات الطحالب .
إن استعمال كبريتات النحاس من أجل إزالة طعم المياه المرتفعة القلوية يمكن أن يكون مكلفاً بسبب الترسيب السريع لكربونات النحاس . وإن مزج النحاس مع الشادر لتشكيل الأمين النحاسي الأزرق الغامق سيحسن بشكل كبير إمكانية تجريع كبريتات النحاس .
كذلك يمكن استعمال الكلور لضبط النمو الطحلي وإن جرعة الكلور أو كبريتات النحاس اللازمة لقتل الأنواع المختلفة من الطحالب مبينة في الجدول (2-6) .

الجدول (2-6)

العضويات الدقيقة	الرائحة	جرعة كبريتات النحاس (mg/L)	جرعة الكلور (mg/L)
Chrysophyta :			
Asterionella	عظرية ، سمكية ، غرنوقية	0.10	0.50 – 1.00
Melosira		0.30	2.00
Synedra	ترابية	1.00	1.00
Navicula		0.07	---
Chlorophyta :			
Conferva		1.00	---
Scenedemus		0.30	---
Spirogyra		0.20	0.7 – 1.5

الجدول (2-6)

العضويات الدقيقة	الرائحة	جرعة كبريتات النحاس (mg/L)	جرعة الكلور (mg/L)
Ulothrix		0.20	---
Volvo	سمكية	0.25	0.3 – 1.0
Xygnema		0.70	---
Coelastrum		0.30	---
Cyanophyta :			
Anabaena	طينية ، عشبية ، فاسدة	0.10	0.50 – 1.00
Clathrocystis	عشبية ، فاسدة	0.10	0.50 – 1.00
Oscillaria		0.20	1.10
Aphanizomenon	طينية ، عشبية ، فاسدة	0.15	0.50 – 1.00
Protozoa :			
Euglena		0.50	---
Uroglena	سمكية ، بترولية	0.05	0.30 – 1.00
Peridinium	سمكية	2.00	---
Chlamydomonas		0.50	---
Dinobryon	عظرية ، سمكية ، بنفسج	0.30	0.30 – 1.00
Synura	سمكية ، لاذعة ، حبار	0.10	0.30 – 1.00
Schizomycetes :			
Beggiatoa	عفنة	5.00	---
Crenothrix	عفنة	0.30	0.5

6 - 3 - 2 - إزالة الطعم والرائحة باستعمال الكربون المنشط :

إن من أكثر الطرق المستعملة لإزالة الطعم والرائحة هي طريقة الامتزاز إلى الكربون المنشط والذي يشكل حلاً ملائماً لعدد كبير من مصادر طعم ورائحة الماء ذات الأصل الطبيعي وذات الأصل الصناعي .

والإمتزاز هو عملية فيزيائية تستعمل بشكل واسع في منشآت تنقية مياه الشرب وذلك لتحسين مواصفات المياه من حيث الطعم والرائحة ، وغالباً ما يستعمل الكربون المنشط كمادة مازة (مادة ماصة) ويتم هذا الامتزاز إلى سطوح حبات الكربون المنشط ولهذا فإنه كلما كان الكربون المنشط أكثر نعومة

كلما كان أكثر فعالية . ويتألف الكربون المنشط الحبيبي من جزيئات أقطارها أقل من (1mm) بينما تطحن بودرة الكربون المنشط لتمر عبر منخل (200 mesh) .

بالإضافة إلى مساحة سطح المادة المازة فإن عملية الامتزاز تعتمد على عدة عوامل أخرى كنوع المادة المازة ونوع الجزيئات الموجودة في المحلول ودرجة الحرارة وقيمة (PH) للمحلول . إن عملية الامتزاز تتم نظرياً وفق العلاقة الآتية (حسب فريندليتش) :

$$\frac{x}{m} = \frac{Co - C}{m} = KC^{1/n} \quad (1-6)$$

حيث :

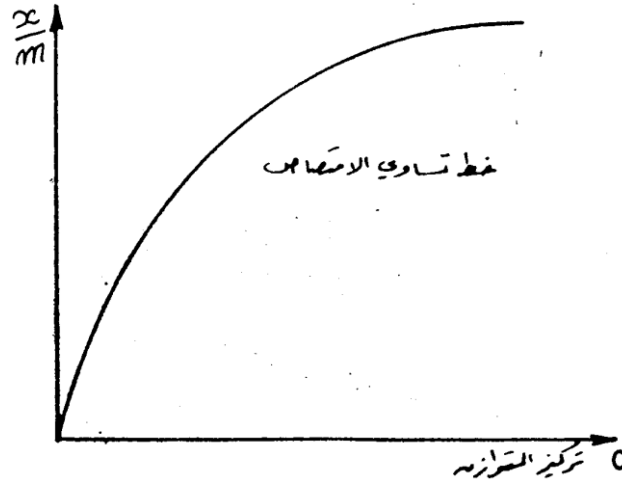
Co : التركيز الابتدائي للمادة الممتصة إلى سطح الكربون المنشط .

C : التركيز المتبقي بعد المعالجة بالجرعة (m) من الكربون المنشط (تركيز التوازن) .

n و k : ثوابت تحدد تجريبياً .

ويبين الشكل (1-6) علاقة تركيز التوازن بقيمة $\frac{x}{m}$

ويلاحظ بشكل عام أن الامتزاز ضعيف ويكاد يكون مهملاً من أجل كل المواد اللاعضوية باستثناء الهالوجينات ، وهو أقوى من أجل الكلور والبروم واليود ، وهو في أقوى درجاته من أجل المواد القابلة للتطاير ، حيث أنه كلما احتوت المياه على سلاسل بنزينية أو على مركبات ذات بناء أكثر تعقيداً كلما تم الامتزاز بشكل أفضل.



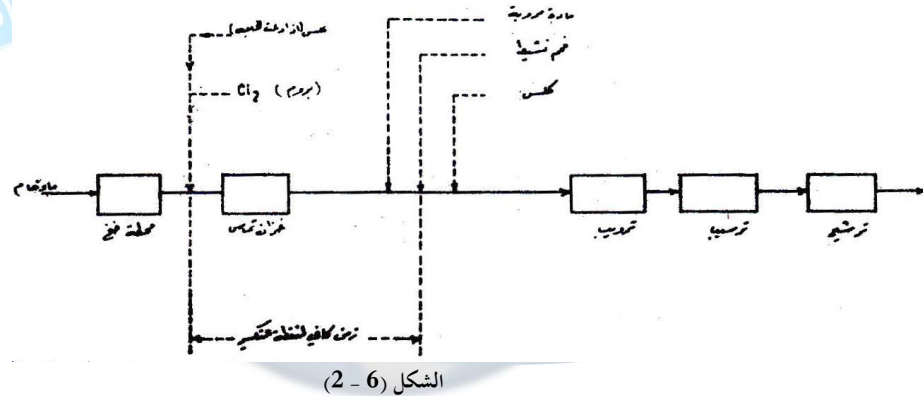
الشكل (1-6)

وبشكل عام فإن جرعة الكربون المنشط تكون متناسبة مع التركيز الابتدائي (Co) ، كما أن جرعة الكربون المنشط قد تتضاعف من أجل تحسين بسيط في تركيز التوازن (C) .

6 - 3 - 2 - 1 - مسحوق الكربون المنشط :

إن عملية امتزاز المواد العضوية الموجودة في الماء أو غيرها من ملوثات الماء إلى سطح جزيئات الكربون المنشط هي عملية سريعة وتكون أفضل كلما كان المزج مع الماء أفضل . إذا كنا نعالج المياه بواسطة المرشحات الرملية البطيئة فإن الكربون المنشط يضاف قبل المرشح وكذلك الأمر إذا كنا نطبق الترشيح المسبق فإننا أيضاً نضيف الكربون المنشط قبل المرشح ، وفي هاتين الحالتين فإن الجرعة العظمى يجب أن لا تزيد عن (20 - 25 mg/L) أما إذا زادت الجرعة عن ذلك فقد يكون هناك إمكانية لعبور جزيئات الكربون المنشط عبر سرير المرشح الرملي .

في حالة تنقية المياه بواسطة الترويب وتشكيل الندف فإنه يفضل إضافة الكربون المنشط قبل إضافة المواد الكيميائية اللازمة للترويب لكي يتسنى له الوقت الكافي لامتصاص الملوثات المسببة لطعم ورائحة الماء قبل أن يندمج في بنية الندف ويترسب معها أو يزال معها بالترشيح اللاحق للترسيب ويمكن آنذاك أن تستعمل جرعات أكبر بكثير من الكربون المنشط تصل إلى (100 mg/L) وإن جرعات عالية كهذه تحتاج إلى كميات أكبر من المادة المروبة .



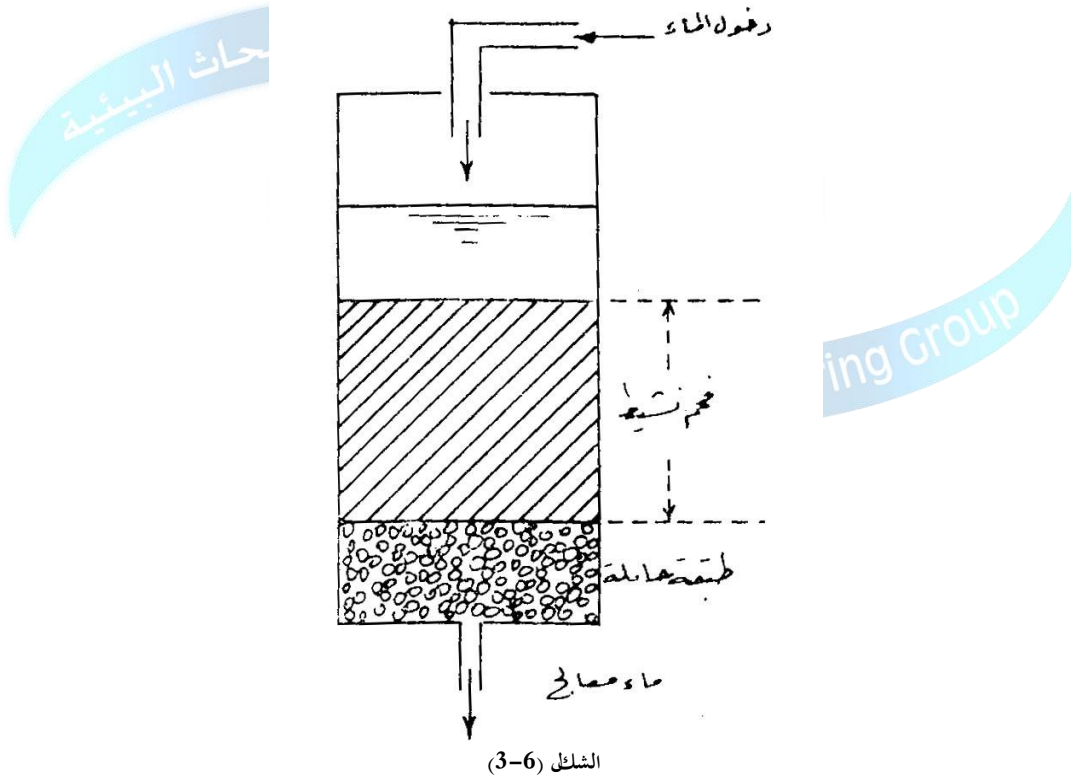
بالإضافة إلى هذه الأمور يجب أن نأخذ بعين النظر أن الكربون المنشط يمتص الكلور ولهذا فإنه إذا أضيف الكربون المنشط عند نقطة إضافة الكلور فإن كلتا المادتين ستفقن فعاليتها بشكل واضح . كما أننا عندما نستعمل كلورة نقطة التأكسيد فإنه يجب الانتباه إلى ضرورة إعطاء زمن تماس كاف قبل أن يجرع الكربون المنشط .

إن بودة الكربون المنشط لا تعطى للماء بشكل مباشر وإنما تحضر أولاً معلقات مركزة نوعاً ما في الماء ، ثم تضاف هذه المعلقات إلى الماء المعالج . ومن أجل تحضير السائل الحاوي على معلقات الكربون المنشط يمكن أن تستعمل أنواع مختلفة من أجهزة التغذية بالطريقة الجافة بما يشبه المغذيات المستعملة للمروبة مثل كبريتات الألمنيوم ولكن يجب أن يجهز المغذي الجاف هنا بما يمنع الخروج

الزائد للبودة . ويبين الشكل (2-6) مخططاً لمنشأة لتنقية مياه الشرب بواسطة الترويب تستعمل فيها بودرة الكربون المنشط لإزالة طعم الماء .

6 - 3 - 2 - 2 - مرشحات الكربون المنشط (Activated Carbon Filters):

إن استعمال بودرة الكربون المنشط بسيط نوعاً ما ولذلك فإن الكثير من مؤسسات التزويد بمياه الشرب تفضل استعمال بودرة الكربون المنشط عن مرشحات الكربون المنشط . وعلى الرغم من ذلك فإن لاستعمال بودرة الكربون المنشط بعض المساوئ إذ أن هناك جرعة أعظمية مسموحة ، بالإضافة إلى أن هذه الجرعة يجب أن يتكرر تحديدها كل فترة من الزمن . وكتدبير للأمان يعطي أحياناً فائض من البودة هذه المساوئ لا تنطبق على مرشحات الكربون المنشط ، حيث تصمم هذه المرشحات بالأخذ بعين النظر قيمة تدفق الماء المعالج (Q)، ومعدل التحميل السطحي على مرشح الكربون المنشط الذي يجب أن يكون أصغر أو مساوياً لـ (20 m/h) ، وارتفاع طبقة الكربون المنشط الذي يمكن أن يكون بحدود (1-2m) كما في الشكل (3-6) .



وعند تصميم مرشحات الكربون المنشط يجب الانتباه إلى أنه باستعمال الفولاذ كمعدن لإنشاء المرشح فقد يتشكل الصدأ الناتج عن تشكل تيار كهربائي (حديد - ماء - كربون) ولهذا يجب حماية الفولاذ من الصدأ بواسطة طبقة مانعة كالبلاستيك . إن غسيل مرشحات الكربون المنشط بالاتجاه المعاكس سوف يؤدي إلى تناقص حبيبات الكربون المنشط ولذلك يجب تجنب هذا الغسيل قدر الإمكان .

من الممكن إعادة تنشيط الكربون المنشط بعد إشباعه بالملوثات ولكن من غير المستحسن أن يعمل ذلك محلياً وإنما يفضل إرساله إلى المعمل حيث تتوفر تسهيلات للتجديد وهذا يعني أننا سندفع أجور النقل بالإضافة إلى كلفة التجديد . علماً بأن الكربون المنشط سوف يتغير بناؤه بسبب التجديد بشكل غير مرغوب ولهذا فلا ينصح بإعادة استعمال الكربون المنشط بعد إشباعه .

هناك بعض التوصيات لاستعمال مرشحات الكربون المنشط هي :

- آ – يجب أن يكون الماء المراد معالجته صافياً وإلا سوف يتلوث سرير المرشح .
 ب – يجب أن يكون الماء المراد معالجته خالياً من الحديد والمنغنيز (أقل من 0.1mg/L) إذ أن الكميات الصغيرة من الحديد والمنغنيز تعطي صدأ لحبيبات الكربون المنشط لا يمكن إزالته بوساطة الغسيل وقد لا يزال بالتجديد .

ج – يجب أن يكون الماء المعالج متوازناً بالنسبة إلى غاز الكربون ، حيث أن زيادة غاز الكربون غير مرغوب فيها ، كما أن نقصانه عن كميته الموزنة سوف يؤدي إلى تفكك (HCO_3^-) لتعطي (CO_2) و (CO_3^{2-}) ، وإن ظهور جذر (CO_3^{2-}) قد يؤدي إلى ترسب (CaCO_3) حول حبيبات الكربون المنشط ومن ثم خفض فعالية مرشح الكربون المنشط في إزالة طعم ورائحة الماء .

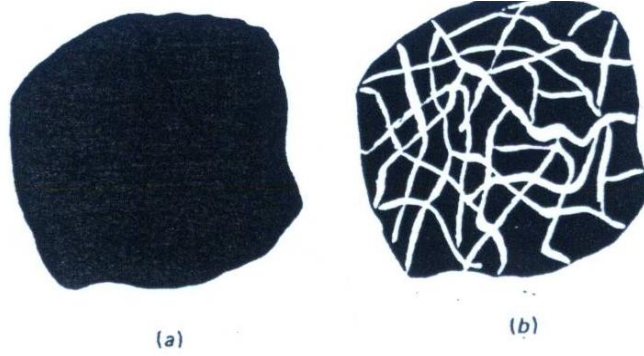
د – إن وجود أي أثر صغير لمركبات الآزوت في الماء سوف يمتص إلى سطح حبيبات الكربون المنشط مما يؤدي إلى احتمال نمو لاحق للجراثيم ولكائنات حية أخرى على سطح المرشح ولهذا يفضل تعقيم الماء بعد خروجه من مرشح الكربون المنشط .

6 - 3 - 2 - 3 - كيمياء الكربون المنشط :

يحضر الكربون المنشط من الفحم (Coal) أو الفحم الحجري (Lignite) أو من الخشب بوساطة عملية التقطير الهدام (destructive distillation) التي تخلص المادة الأصلية من المركبات القابلة للتطاير تاركة وراءها هيكلًا كربونياً مسامياً يملك مساحة سطحية كبيرة في واحدة الحجم . بعد ذلك ينشط هذا الهيكل في جو فاقد للاكسجين في درجة حرارة تتراوح بين (750°C) وبين (950°C) وذلك غالباً مع إضافة كلور الزنك أو حمض الفوسفور .

إن القوى التي تحمل الجزيئات الممتصة في المحلول إلى سطح الكربون المنشط يمكن أن تكون قوى الارتباط الكيميائي أو قوى جذب فان درفالس . إن معدل ودرجة إنجاز عملية الامتزاز يعتمدان على قيمة (PH) ودرجة الحرارة والتركيز الابتدائي والحجم الجزيئي (molecular size) والوزن والبنية . يكون الامتصاص أكبر عند القيم المنخفضة ل (PH) لأن الكربون المنشط عند هذه القيم يكون مشحوناً إيجابياً بشوارد الهيدروجين (Hydrogen ions) ، وإن أغلب المواد الغروانية وكل المجموعات القطبية المتشردة من الجزيئات العضوية هي ذات شحنات سالبة .

إن عملية الامتزاز تحصل بسرعة أكبر في درجات الحرارة المرتفعة كنتيجة لزيادة قابلية الانتشار للجزيئات في المسامات الناعمة للكربون . ولكن في النهاية فإن الإزالة تزداد مع نقصان درجة الحرارة عند الوصول إلى التوازن .



إن معدل الإزالة يزداد مع زيادة التركيز ، ولكنه ينخفض مع زيادة الحجم الجزيئي ومع زيادة الوزن الجزيئي . في مزيج للملوثات فإن درجة الامتزاز التفاضلي للجزيئات الأصغر والأخف يكون أفضل من باقي الجزيئات . وإن تشكيل جزيئات ذات سلاسل قصيرة بوساطة الأكسدة يمكن أن ينتج بالتالي إنقاصاً لنسبة الإزالة لباقي الأصناف .

إن السعة النسبية لامتناس أنواع الكربون المختلفة يفضل أن تحدد بالتجربة مع الماء الواجب معالجته . وغالباً ما تعطي الشركات الصانعة كمية المادة الممتصة بواحدات ملغ إلى كل غرام من الكربون عند تركيز توازن محدد . وغالباً ما تكون هذه القيم أكبر من (1000) .

إن الكربون المنشط مادة تسبب الحث (abrasive) وهو حامضي في المحاليل المائية وللتعامل معه يجب أن نستعمل المواد المقاومة للحت وللحامضية ، وأن ننتبه إلى إمكانية ترسبه في الأنابيب ، كما يجب أن ننتبه إلى إمكانية تشكيله الغبار عند تفريغه فنستعمل جهاز إخماد الغبار لمنع تلوث الهواء به . من أجل الكربون المنشط الحبيبي (GAC) فقد اقترح أن يجعل في مرشح كما هو مذكور أعلاه . وذلك باتجاه ترشيح من الأعلى إلى الأسفل أو من الأسفل إلى الأعلى بتشغيل مستمر حتى تسوء نوعية التدفق الخارج من مرشح الكربون المنشط . وعند ذلك يمكن استعادة سعة الامتزاز للكربون باستبدال جزء منه أو استبداله كله بكربون منشط جديد وبشكل عام فإن الترشيح عبر الكربون المنشط باتجاه إلى الأعلى يعطي كفاءة نوعاً ما أكبر لعملية الترشيح . وعندها فإن سرعة ترشيح تتراوح بين (0.2 m/min) وبين (0.4) (حسب نوع الكربون المستعمل) سوف تسبب تمدداً لطبقة الكربون الحبيبي حوالي (10%) ، وفي هذه الحالة فإن الكربون المستهلك (المشبع بالمواد التي امتزها إلى سطحه) سوف يهاجر إلى أسفل المرشح مما يجعل استعمال سعة الامتزاز الكلية أثناء عملية الترشيح أفضل ، كما أنه يترك الحبيبات المشبعة بوضع أفضل لسحبها من المرشح عند الرغبة في ذلك . يجدد الكربون المستهلك عادة حرارياً عبر

عملية ذات ثلاث مراحل ، حيث يتم في المرحلة الأولى تخفيف الكربون المستهلك لمدة (15) دقيقة في درجة حرارة (100°C) ثم يتم في المرحلة الثانية التحليل الحراري للمواد الممتصة برفع درجة الحرارة إلى (800°C) وذلك لمدة (5 min) ، وأخيراً تتم إعادة التنشيط بالبخار في جو مرجع في درجات حرارة أعلى من (800°C) لمدة حوالي (10 min) ثم يطفئ الكربون في الماء ، ويؤخذ بعدها إلى التخزين أو إلى إعادة الاستعمال .

إن كمية تصل إلى ما يتراوح بين (5) وبين (10%) من الكربون الكلي تفقد عند كل دورة تنشيط بسبب الاحتراق أو الاهتراء الميكانيكي أو بسبب امتصاص مواد غير قابلة للإزالة من سطحه ، وهذه الكمية يجب تعويضها .

مثال : حلل نتائج معطيات تجربة امتزاز بالكربون المنشط وأوجد ثوابت فريندليتش لخط تساوي الامتصاص من تجربة امتزاز بالكربون المنشط لسائل حجمه (1ℓ) .

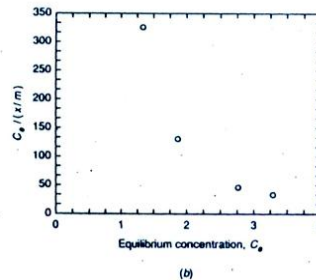
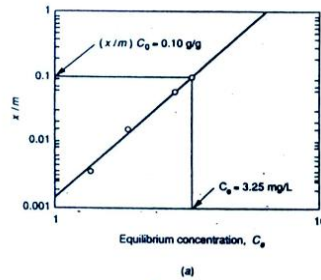
نتائج التجربة :

500	100	10	1	0.0	كتلة الكربون المنشط (mg)
1.33	1.86	2.77	3.27	3.37	تركيز التوازن للمادة الملوثة للمحلول (mg/ℓ)

الحل : نرتب المعطيات في الجدول الآتي :

كتلة المادة الملوثة (mg)		m		x/m	Ce/x/m
Co	Ce	x		mg/mg	
3.37	3.37	0.00	0.00	---	---
3.37	3.27	0.100	1	0.1	32.7
3.37	2.77	0.6	10	0.06	46.2
3.37	1.86	1.51	100	0.0151	123.2
3.37	1.33	2.04	500	0.0041	324.4

نرسم على مخطط بياني خطوط تساوي الامتصاص .



لدينا علاقة فريندليتش هي من الشكل :

$$Ce = 1 \quad \frac{x}{m} = 0.0015 \Rightarrow k = 0.0015 \quad \frac{x}{m} = kCe^{1/n}$$

$$\frac{x}{m} = 1 \quad Ce = 6.2 \Rightarrow \frac{1}{n} = 3.56$$

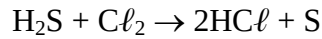
وتصبح علاقة فريندليتش العائدة لمحاول التجربة هي من الشكل :

$$\frac{x}{m} = 0.0015 \text{ } Ce^{3.56}$$

6 - 4 - إزالة كبريت الهيدروجين من الماء :

إن قابلية انحلال كبريت الهيدروجين في الماء أكبر مرتين من قابلية انحلال ثاني أكسيد الكربون وهو يوجد في مياه الآبار العميقة بسبب نقص شوارد الكبريتات . ويمكن إنقاص كبريت الهيدروجين بالتهوية . أما ما لم يزال بالتهوية فإنه يؤكسد بوجود الأكسجين المنحل في الماء إلى كبريت حر ، هذا الكبريت الناتج يجب أن يزال بالترسيب أو الترشيح لأنه يمكن أن يتحول مرة ثانية إلى كبريت الهيدروجين بفعل عضويات معينة .

يمكن أيضاً أن نتخلص من كبريت الهيدروجين بالكلورة باستعمال الكمية الكافية من الكلور حسب المعادلة :



6 - 5 - مشاكل الماء الأحمر ، تآكل الأنابيب :

بما أن الحديد مادة قابلة للانحلال في الماء إلى حد بسيط ، فإن كل مياه الشرب تحوي كمية منحلّة منه ، وستزداد هذه الكمية ليصبح الماء غير مناسب للاستهلاك إذا بقي بتماس مباشر مع حديد أنابيب التوزيع . وكلما كان الماء أكثر حامضية كلما كانت كمية الحديد المنحل أكبر . يمكن منع انحلال مزيد من الحديد في الماء بتنظيم التوازن الكيميائي للماء بحيث تترسب على سطوح الحديد طبقة رقيقة من كربونات الكالسيوم . ولكن يجب أن ننتبه إلى أن لا يستمر هذا الترسيب طويلاً لئلا تنسطم الأنابيب ، وإذا حدث ذلك فيتم تصحيح الوضع بإضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الماء ، مما يؤدي إلى حل الطبقة التي تسبب انسطم الأنابيب .

أما إذا أظهرت التحاليل أن الماء هو في حالة تحت الإشباع بكربونات الكالسيوم ، فإنه سوف يكون قابلاً لحل الحديد من الأنابيب وإعطاء مشاكل المياه الحمراء ، ونستطيع أن نمنع هذا الأمر بإضافة ماءات الكالسيوم إلى الماء ، أو أن نضيف رماد الصودا إذا كان الماء محتوياً على كبريتات الكالسيوم حيث سيتفاعل رماد الصودا مع كبريتات الكالسيوم ليشكل كربونات الكالسيوم ، وقد يكون من الملائم أن نبني قشرة كربونات الكالسيوم بإضافة بعض الماء العسير .

عند إضافة فوسفات الصوديوم متعدد الجزيئات $(NaPO_4)_6$ بجرعات صغيرة (0.25 - 1 mg/L) فإنه سيمنع ترسب مركبات الكالسيوم . وعند زيادة الجرعة إلى (2.5 mg/L) فإنه سيشكل طبقة حماية للأنبوب رقيقة من فوسفات الحديد .

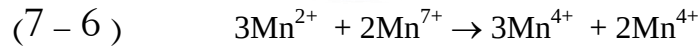
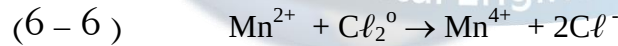
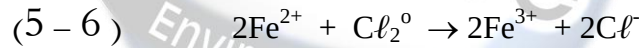
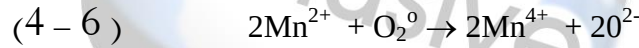
وقد استعملت سيليكات الصوديوم لتشكيل طبقة حماية للأنايب من السيليكات ، حيث كانت الجرعة بحدود (10 – 15 mg/L) ثم تنقص الجرعة إلى (4 – 5 mg/L) عندما نتوصل إلى طبقة الحماية المطلوبة .

6 - 6 - إزالة الحديد والمنغنيز :

يكون الماء الحامل للحديد مفسداً للألوان وقد يتداخل مع عمليات تحضير الطعام ، كأن يصبح الشاي المخضر به أسود اللون ، ويصبح لون الخضار المغلية به معتماً . كما أن وجود الحديد في الماء يحفز نمو العضويات الخيطية المعدنية (Crenothrix) وغيرها من الجراثيم التي تعطي طعماً ورائحة غير مقبولين للماء . وقد يترسب الحديد في الأنايب ليسبب أي استعمال مفاجيء لكميات كبيرة من الماء إثارة لصدأ الحديد المترسب بحيث يصبح الماء مع هذه الإثارة غير قابل للاستهلاك كما أن مشاكل المنغنيز أسوأ من مشاكل الحديد .

وبشكل عام إذا كانت كمية الحديد في الماء أكبر من (0.3) ملغ/ل وكانت كمية المنغنيز أكبر من (0.05) ملغ/ل فمن الأفضل معالجة هذه المياه للتخلص منهما.

تتم الإزالة التقليدية لهما بواسطة حوض تهوية ثم ترسيب ثم ترشيح رملي ، أو يمكن أن تجري الأكسدة بالكلور أو البرمنغنات أو الأوزون بدلاً من التهوية الاعتيادية وذلك حسب المعادلات التالية:



يمكن أن تتم التهوية بشكل نوافير بسيطة ، أو بواسطة شلال فوق سلسلة من الأطباق التي يمكن أن تحتوي أو لا تحتوي على مواد مخفزة للأكسدة . إن وجود الأكسجين المنحل في الماء ، سيكون كافياً لأكسدة كلا الحديد والمنغنيز . وأيضاً يمكن أن يسرع التفاعل بوجود مادة مخفزة مناسبة . ولكي نحصل على تفاعل مقبول يجب أن تكون قيمة (PH) فوق (7) من أجل أكسدة الحديد وترسيبه وفوق (9) من أجل المنغنيز . وكلما كانت (PH) أكبر من هذين الحدين سيكون التفاعل أسرع . إن طبقة من (MnO₂) أو Fe(OH)₃ سوف تبني على أطباق شلال التهوية أو تغطي حبيبات المرشح الذي يلي عادة الأكسدة الكيميائية ، وهاتان المادتان ستقومان بدور المخفز لمزيد من الأكسدة . أيضاً يمكن أن يقوم النحاس (بإضافته بشكل كبريتات النحاس) بدور المخفز لأكسدة الحديد .

إن إضافة الكلس والصودا لإجراء عملية إزالة العسرة تؤدي إلى التخلص من الحديد والمنغنيز .
كما يمكن أن نستعمل مبادلات ايونية لإزالة المنغنيز من الماء . وعندما يستنزف هذا المبادل فإنه يجدد بـبرمنغنات البوتاسيوم .

إذا أضفنا فوسفات الصوديوم المتعدد الجزيئات إلى المياه الخالية من الأكسجين والمحملة بشوارد الحديد فإنها تميل إلى إبقاء الحديد في حالة منحلة ومنع تشكيل البقع .
والمهم هنا أن تتم هذه الإضافة قبل أن يكون هناك فرصة للأكسجين أن يصبح بتماس مع الماء ، حتى أن سحب الماء في المضخة يمكن أن ينقص فعالية هذه المعالجة .

6 - 7 - إزالة عسرة الماء (Water Softening) :

هناك طريقتان لإزالة عسرة الماء الأولى بوساطة الترسيب والثانية بوساطة التبادل الايوني .

6 - 7 - 1 - إزالة العسرة بوساطة الترسيب :

في هذه الطريقة نحول الكالسيوم والمنغنيز إلى مركبات ضعيفة الانحلال في الماء يمكن إزالتها بوساطة الترسيب ثم الترشيح وتتم هذه الإزالة بطريقة الكلس - صودا أو بطريقة الصودا - ماءات الصوديوم أو بطريقة التبلور .

يعطي الجدول (3-6) معلومات عن قابلية الانحلال لبعض مركبات الكالسيوم والمنغنيز . من هذا الجدول يمكن أن نستنتج أن إزالة الكالسيوم والمنغنيز بشكل كامل تقريباً يمكن أن يتم بترسيبهما كمركبات فوسفاتية . وهذه الطريقة تستخدم من أجل تحضير مياه تغذية المراحل وذلك للوصول إلى درجة عالية من التيسير . أما في محطات تنقية مياه الشرب فإنه قليلاً ما تستعمل هذه الطريقة وذلك للمساواة الآتية :

أ - إنها طريقة غالية نوعاً ما (مادة اورثو فوسفات الصوديوم المستعملة غالية) .

ب - سوف يحتوي الماء المعالج بهذه الطريقة على بعض البقايا من شوارد الفوسفات (PO_4^{3-}) التي هي عبارة عن غذاء جيد للبكتيريا وتسبب تطوراً لاحقاً لها في شبكة توزيع المياه .

ج - في حالة مياه الشرب لا داعي لإزالة جميع العسرة ومن الأفضل استعمال طريقة الكلس - صودا أو ماءات الصوديوم - صودا لإزالة العسرة .

الجدول (3-6)

المادة	درجة الحرارة	قابلية الانحلال في الماء		
		(mg/L)	(meq/L)	(mg/L) as CaCO3
Ca(OH)2	18 ° C	1280	34.9	1730
CaCO3	18 ° C	15	0.3	15
Ca3(PO4)2		غير قابل للانحلال في الماء تقريباً		
Mg(OH)2	18 ° C	8.4	0.29	14.5
MgCO3	18 ° C	110	2.62	131

Mg ₃ (PO ₄) ₂		غير قابل للاندماج في الماء تقريباً
---	--	------------------------------------

6 - 1 - 1 إزالة العسرة بطريقة الكلس - رماد الصودا: (Lime- Soda ash Process)

في هذه الطريقة يرسب الكالسيوم كمركب $(CaCO_3)$ (قابلية انحلاله في الماء 0.3 meq/L) ويرسب المغنيزيوم كمركب $Mg(OH)_2$ (قابلية انحلاله في الماء 0.29 meq/L) .

لإزالة العسرة الكربونية نحتاج إلى ماءات الكالسيوم (الكلس) فقط ولإزالة العسرة اللاكربونية نحتاج إلى ماءات الكالسيوم وكربونات الصوديوم (رماد الصودا) وإن الجرعات الأولى من ماءات الكالسيوم المعطاة تتفاعل مع غاز الكربون المنحل في الماء . وبعدها فإن ماءات الكالسيوم تتفاعل مع العسرة الكربونية (بيكربونات الكالسيوم وبيكربونات المغنيزيوم) . ومن ثم فإن المزيد من ماءات الكالسيوم وجرعات كربونات الصوديوم المقدمة تتفاعل مع العسرة اللاكربونية إن كانت بشكل كلوريدات أو كبريتات الكالسيوم أو المغنيزيوم كما في المعادلات الآتية في الجدول (4-6) :

الجدول (4-6)

التفاعلات		الاحتياج (meq/meq)	
		Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃
I	$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$	1	---
II	$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$	1	---
IIIa	$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$		
IIIb	$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3$ +		
III	$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$	2	---
IV	$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$	---	1
Va	$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCl_2$		
Vb	$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$ +		
V	$MgCl_2 + Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + 2NaCl$	1	1

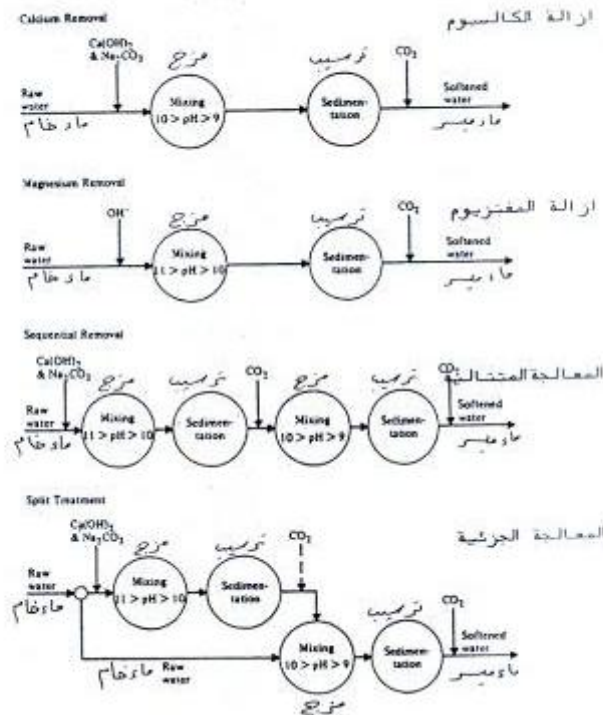
ويظهر الشكل (4-6) الاشكال النموذجية لإزالة العسرة .

وبشكل عام فإن أكثر ما يكون ترسيب الكالسيوم فعالاً بين قيمتين ل (9-10) PH أما الترسيب المثالي للمغنيزيوم فيتم في حدود ل PH بين (10 - 11) وعملياً فإنه عندما ترتفع قيمة (PH) عن (9) فإن القلوية البيكربونية تتحول فعلياً إلى شكل الكربونات وبالتالي فإن كمية من الكالسيوم مكافئة لضعف تركيز شوارد البيكربونات بواحدات ميلي مكافئ/ل سوف تترسب ، وتكون كمية الكلس المضافة مكافئة لتركيز بيكربونات الكالسيوم . والنقصان الصافي للعسرة

سوف يكون مكافئاً إلى عسرة بيكربونات الكالسيوم . وإذا كان هذا الانقاص للعسرة غير كاف فإنه يجب إضافة كمية من الصودا مكافئة للعسرة الكلورية اللاكربونية المراد إزالتها .

أما عندما تزداد (PH) عن القيمة (10) فإن تركيز شوارد الهيدروكسيل سيكون كافياً لترسيب المغنيزيوم بشكل ماءات المغنيزيوم .

لا يرغب عادة بإزالة جميع العسرة إلى درجة الصفر لأن الماء سيكون عندها قابلاً للحت وعدم النكهة ، ويعتبر الماء ذو العسرة (1.7 – 2.0 meq/L) أو (85 – 100 mg/L) مثل (CaCO₃) أكثر ملاءمة للاستعمال المنزلي ، ويمكن أن نحصل على العسرة المطلوبة بمعالجة جزء من التدفق فقط .



الشكل (4-6)

مثال (1-6) :

إحسب كمية ماءات الكالسيوم Ca(OH)₂ اللازمة لتيسير ماء أعطت نتائج تحاليله القيم الآتية :

PH = 7.07

القلوية = 185 mg/L as CaCO₃

SO₄²⁻ = 28.6 mg/L as SO₄²⁻

Cl⁻ = 10.0 mg/L as Cl⁻

العسرة الكلية = 215 mg/L as CaCO₃

CO₂ = 25.8 mg/L as CO₂

Mg²⁺ = 15.8 mg/L as Mg²⁺

$$\text{NO}_3^- = 1.0 \text{ mg/L as N}$$

$$\text{Na}^+ = 8 \text{ mg/L as Na}^+$$

وذلك إذا اعتبرت عملياً أن قابلية انحلال كربونات الكالسيوم في الماء هي (0.7 meq/L)
وأن قابلية انحلال ماءات المغنيزيوم هي (0.2 meq/L) وأن العسرة النهائية المطلوبة هي (100 mg/L as CaCO_3) .

الحل :

بما أن (PH) قريبة من الرقم (7) فإنه يمكن أن نستنتج أن القلوية الكلية هي بيكربوناتية (عند $\text{PH} = 7$ يكون $\text{CO}_3^{2-} = 0.001 \text{ HCO}_3^-$) .
نرتب التوازن الأيوني :

$$\text{SO}_4^{2-} = 0.6 \text{ meq/L}$$

$$\text{CO}_2 = 1.17 \text{ meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 0.28 \text{ meq/L}$$

$$\text{العسرة الكلية} = 4.3 \text{ meq/L}$$

$$\text{NO}_3^- = 0.07 \text{ meq/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 1.3 \text{ meq/L}$$

$$\text{HCO}_3^- = 3.7 \text{ meq/L}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 3 \text{ meq/L}$$

$$\text{Na}^+ = 0.35 \text{ meq/L}$$

$\text{CO}_2 = 1.17$	$\text{Ca}^{2+} = 3$	$\text{Mg}^{2+} = 1.3$	$\text{Na}^+ = 0.35$	
	$\text{HCO}_3^- = 3.7$	$\text{SO}_4^{2-} = 0.6$	$\text{Cl}^- = 0.28$	$\text{NO}_3^- = 0.07$

مركبات العسرة في الماء هي عسرة كلسية كربونية : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 3 \text{ meq/L}$

عسرة مغنيزية كربونية : $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = 0.7 \text{ meq/L}$

عسرة مغنيزية لا كربونية : $\text{MgSO}_4 = 0.6 \text{ meq/L}$

وبما أن العسرة المقبولة هي $100 \text{ mg/L as CaCO}_3 = 2 \text{ meq/L}$ فإننا يمكن أن نزيل الكالسيوم كلياً بحيث يبقى في الماء قابلية انحلاله (0.7 meq/L) ونترك المغنيزيم بدون إزالة فيبقى في الماء منه (1.3 meq/L) . للإزالة الكلية للكالسيوم المرتبط مع البيكربونات نجد من الجدول (4-6) الذي يبين معادلات إزالة العسرة والاحتياج أن كمية ماءات الكالسيوم اللازمة هي :

1.17 meq/L للتفاعل مع CO_2 و 3 meq/L للتفاعل مع $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

وتكون الكمية الكلية لماءات الكالسيوم هي (4.17 meq/L) .

مثال (2-6) :

بفرض أن ماء المسألة السابقة يراد إزالة عسرته لنفس درجة العسرة النهائية (2 meq/L) ولكن بشرط إضافي هو أن لا تزيد كمية المغنيزيوم في الماء المعالج عن (0.6 meq/L) احسب كمية ماءات الكالسيوم الواجب إضافتها .

الحل :

إن ترك عسرة نهائية تحتوي على (0.6 meq/L) من المغنيزيوم يمكن أن يتم بالمعالجة الجزئية للماء ، إذ نعالج جزءاً من التدفق لإزالة جميع المغنيزيوم بحيث لا يبقى في هذا الجزء إلا قابلية انحلال ماءات المغنيزيوم (0.2 meq/L) ثم نخرج هذا الجزء مع ما تبقى من ماء خام بدون معالجة بحيث تصبح كمية المغنيزيوم (0.6 meq/L) . ثم نناقش ما تبقى من عسرة كلسية لا يصلها إلى الحدود المطلوبة بإضافة ماءات الكالسيوم بحيث يبقى في الماء قابلية انحلال كربونات الكالسيوم (0.7 meq/L) وكمية من الكالسيوم مقدارها (0.7 meq/L) بدون معالجة ليصبح مجموع العسرة المتبقية في الماء $(0.7+0.7+0.6 = 2 \text{ meq/L})$ الذي هو القيمة المطلوبة .

1 - مرحلة إزالة المغنيزيوم من جزء من التدفق :

لتكن X هي كمية التدفق المعالج للإزالة الكلية للمغنيزيوم .

1-X هي كمية التدفق غير المعالج لإزالة للمغنيزيوم .

يمكن أن نكتب العلاقة : $X \times 0.2 + (1-X) \times 1.3 = 1 \times 0.6$

بالحل نجد : $X = 0.636$

إن كمية ماءات الكالسيوم الواجب إضافتها لهذا الجزء هي من مخطط التوازن الأيوني للمسألة السابقة ومن معادلات إزالة العسرة والاحتياج (الجدول 4-6) نجد :

1.17 meq/L للتفاعل مع CO_2

3 meq/L للتفاعل مع Ca^{2+} (عسرة كلسية كربونية)

$(3.7 - 3) \times 2 \text{ meq/L}$ للتفاعل مع Mg^{2+} (عسرة مغنيزية كربونية)

$(1.3 + 3 - 3.7) \text{ meq/L}$ للتفاعل مع Mg^{2+} (عسرة مغنيزية لأكربونية)

نزيد الكمية اللازمة بمقدار (1 meq/L) لضمان رفع (PH) إلى ما يتراوح بين (10) وبين (11) لحسن ترسيب ماءات المغنيزيوم .

تكون الكمية الكلية لماءات الكالسيوم هي (7.17 meq/L) .

2 - بعد أن يتم ترسيب ماءات المغنيزيوم المتشكلة ليبقى في الماء منه قابلية الانحلال فقط نحصل على

مياه تركيبها (لجزء التدفق المعالج) :

أزيل من المعادلة I $\text{CO}_2 = 0$

أزيلت من المعادلة II $\text{HCO}_3^- = 0$

$\text{OH}^- = 1 + 0.2 = 1.2 \text{ meq/L}$

(1) من كمية ماءات الكالسيوم التي أضيفت فقط لرفع (PH)

(0.2) من قابلية انحلال ماءات المغنيزيوم (ماءات المغنيزيوم التي لم تترسب)

$\text{CO}_3^{2-} = 1.17 + (3 \times 2) + (0.7 \times 2) = 8.57 \text{ meq/L}$

(1.17) نتجت من المعادلة I

II نتجت من المعادلة (3 x 2)

III نتجت من المعادلة (0.7 x 2)

قابلية انحلال ماءات المغنيزيوم : $Mg^{2+} = 0.2 \text{ meq/L}$

$$Ca^{2+} = 3 + 7.17 = 10.17 \text{ meq/L}$$

(3) موجودة أصلاً في الماء

(7.17) أضيفت إلى الماء بشكل ماءات الكالسيوم .

3 - بعد خلط جزء التدفق المعالج لإزالة المغنيزيوم مع جزء التدفق الخام غير المعالج يصبح تركيز الشوارد

المختلفة في المزيج هو :

$$CO_2 = 0 \times 0.636 + 1.17 \times 0.364 = 0.43 \text{ meq/L}$$

$$HCO_3^- = 0 \times 0.636 + 3.7 \times 0.364 = 1.35 \text{ meq/L}$$

$$OH^- = 1.2 \times 0.636 + 0 \times 0.364 = 0.76 \text{ meq/L}$$

$$CO_3^{2-} = 8.57 \times 0.636 + 0 \times 0.364 = 5.45 \text{ meq/L}$$

$$Mg^{2+} = 0.2 \times 0.636 + 1.3 \times 0.364 = 0.6 \text{ meq/L}$$

$$Ca^{2+} = 10.17 \times 0.636 + 3 \times 0.364 = 7.56 \text{ meq/L}$$

CO2 = 0.43	Ca ²⁺ = 7.56 meq/L			Mg ²⁺ = 0.6
	HCO ₃ ⁻ = 1.35	CO ₃ ²⁻ = 5.45	OH ⁻ = 0.76	

من مخطط التوازن الايوني هذا نجد أن جزءاً من (Ca²⁺) سيكون مرتبطاً مع (OH⁻) وسيعمل كمادة مزيلة للعسرة ومقداره (0.76 meq/L) ، وجزءاً آخر سيكون مرتبطاً مع (CO₃) ومقداره (5.45 meq/L) وهو قابل للتترسيب عند مزج التدفقين وانخفاض (PH) إلى ما يتراوح بين (9) وبين (10) ليقى في الماء منه قابلية الانحلال العملية (0.7 meq/L) . وجزءاً ثالثاً سيكون مرتبطاً مع (HCO₃⁻) كعسرة كلسية كربونية ومقداره (1.35 meq/L) . والجزء الثالث هذا يجب أن نعالج منه (0.65 meq/L) ونترك (0.7 meq/L) منه بدون معالجة .

وبالتالي تكون كمية ماءات الكالسيوم الواجب إضافتها للتدفق الكلي بعد مزج التدفقين :

$$0.43 + 0.65 - 0.76 = 0.32 \text{ meq/L}$$

(0.43) للتفاعل مع CO₂ من المعادلة I

(0.65) للتفاعل مع الجزء من Ca(HCO₃)₂ الواجب معالجته من المعادلة II

(0.76) Ca(OH)₂ الجاهزة في الماء بعد خلط التدفقين .

وبالتالي تكون الكمية الكلية لماءات الكالسيوم المضافة هي :

$$0.32 \times 1 + 7.17 \times 0.636 = 4.88 \text{ meq/L}$$

ولم نحتاج إلى كربونات الصوديوم بسبب عدم وجود عسرة كلسية لا كربونية في أية مرحلة من المراحل .

ويبقى في الماء التراكيز الآتية :

$$CO_2 = 0$$

$$\text{HCO}_3^- = 0.7 \text{ meq/L} \quad (\text{لم تعالج})$$

$$\text{CO}_3^{2-} = 0.7 \text{ meq/L} \quad (\text{قابلية انحلال } \text{CaCO}_3)$$

$$\text{Ca}^{2+} = 0.7 + 0.7 = 1.4 \text{ meq/L}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ (0.7) قابلية انحلال}$$

(0.7) كبيكربونات الكالسيوم غير المعالجة .

$$\text{Mg}^{2+} = 0.6 \text{ meq/L}$$

ويصبح التوازن الايوني بالشكل :

$\text{Ca}^{2+} = 1.4$		$\text{Mg}^{2+} = 0.6$
$\text{HCO}_3^- = 0.7$	$\text{CO}_3^{2-} = 0.7$	

واقعياً فإنه حسب الشكل (2-6) - المعالجة الجزئية - نجد أن كل المواد الكيميائية اللازمة تضاف إلى الجزء المعالج لإزالة المغنيزيوم وذلك لتأمين رفع شديد لـ (PH) يضمن ترسيب المغنيزيوم من الجزء المعالج ثم يخلط الماء المعالج مع باقي الماء الخام ويتم الترسيب للكالسيوم عند انخفاض (PH) إلى ما يتراوح بين (9) وبين (10) وبذلك تكون كمية ماءات الكالسيوم المضافة إلى بداية الجزء المعالج هي :

$$4.88 \div 0.636 = 7.67 \text{ meq/L}$$

بإعادة الحل بإضافة (7.67) بدلاً من (7.17) من ماءات الكالسيوم يكون تركيز الشوارد المختلفة في الجزء المعالج :

$$\text{CO}_2 = 0$$

$$\text{HCO}_3^- = 0$$

$$\text{OH}^- = 0.2 + 1 + 0.5 = 1.7 \text{ meq/L}$$

$$(0.2) \text{ من قابلية انحلال ماءات المغنيزيوم}$$

$$(1) \text{ مما أضيف فائضاً لرفع (PH)}$$

$$(0.5) = 0.32 \div 0.636 \text{ مما يجب إضافته لتأمين وصول الكالسيوم إلى القيمة المقبولة.}$$

$$\text{CO}_3^{2-} = 1.17 + (3 \times 2) + (0.7 \times 2) = 8.57 \text{ meq/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 0.2$$

$$\text{Ca}^{2+} = 3 + 7.67 = 10.67$$

بعد خلط جزء التدفق المعالج لإزالة المغنيزيوم مع جزء التدفق الخام يصبح تركيز الشوارد المختلفة في المزيج :

$$\text{CO}_2 = 0 \times 0.636 + 1.17 \times 0.364 = 0.43 \text{ meq/L}$$

$$\text{HCO}_3^- = 0 \times 0.636 + 3.7 \times 0.364 = 1.35 \text{ meq/L}$$

$$\text{OH}^- = 1.7 \times 0.636 + 0 \times 0.364 = 1.08 \text{ meq/L}$$

$$\text{CO}_3^{2-} = 8.57 \times 0.636 + 0 \times 0.364 = 5.45 \text{ meq/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 0.2 \times 0.636 + 1.3 \times 0.364 = 0.6 \text{ meq/L}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 10.67 \times 0.636 + 3 \times 0.364 = 7.88 \text{ meq/L}$$

$\text{Ca}^{2+} = 7.88 \text{ meq/L}$		$\text{Mg}^{2+} = 0.6$
---------------------------------------	--	------------------------

CO ₂ = 0.43	HCO ₃ ⁻ = 1.35	CO ₃ = 5.45	OH ⁻ = 1.08	
------------------------	--------------------------------------	------------------------	------------------------	--

من مخطط التوازن الايوني سنجد أن جزءاً من (Ca²⁺) سيكون مرتبطاً مع (OH⁻) مقداره (1.08) وهذا الجزء سيكون كافياً للتفاعل مع (CO₂) 0.43 ومع جزء من (HCO₃⁻) مقداره : 1.08 - 0.43 = 0.65 meq/L

وسيبقى في الماء جزء من (HCO₃⁻) مرتبطاً مع (Ca²⁺) بدون معالجة مقداره :

$$1.35 - 0.65 = 0.7 \text{ meq/L}$$

ويكون التركيب الكيميائي للماء الخارج نهائياً من المعالجة هو :

CO ₂ = 0 meq/L	HCO ₃ ⁻ = 0.7 meq/L
Ca ²⁺ = 1.4 meq/L	CO ₃ ²⁻ = 0.7 meq/L
Mg ²⁺ = 0.6 meq/L	SO ₄ ²⁻ = 0.6 meq/L
Na ⁺ = 0.35 meq/L	CL ⁻ = 0.28 meq/L
	NO ₃ ⁻ = 0.07 meq/L

6 - 7 - 1 - 2 - إزالة العسرة بطريقة ماءات الصوديوم - صودا :

حالياً هناك ميل لاستخدام ماءات الصوديوم بدلاً من ماءات الكالسيوم في عمليات تيسير المياه علماً بأن ماءات الصوديوم أغلى بكثير من ماءات الكالسيوم ولكن ماءات الصوديوم أسهل تجريعاً ، ولا تسبب ترسبات في الأحواض والأنابيب حيث أن محلولها صافي وثابت وهي تعطي كمية من الحمأة أقل بكثير مما تعطيه ماءات الكالسيوم . وهذا واضح من معادلات التفاعل والاحتياج المبينة في الجدول (5-6).

الجدول (5-6)

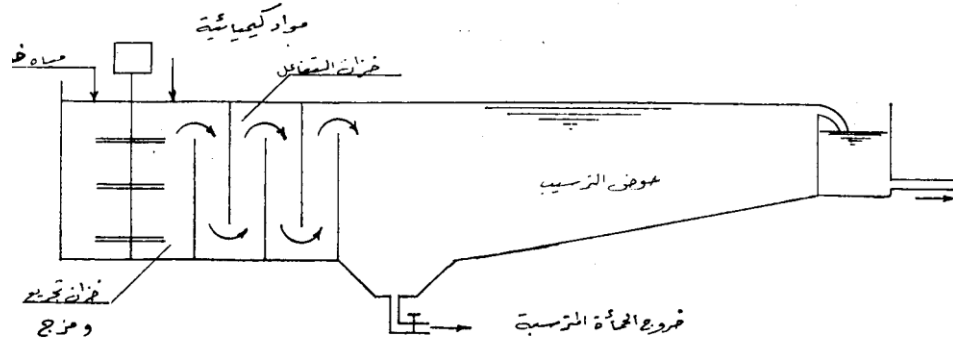
التفاعلات		الاحتياج (meq/meq)	
		NaOH	Na ₂ CO ₃
I	CO ₂ + 2NaOH → Na ₂ CO ₃ + H ₂ O	1	---
II	Ca(HCO ₃) ₂ + 2NaOH → CaCO ₃ + Na ₂ CO ₃ + 2H ₂ O	1	---
IIIa	Mg(HCO ₃) ₂ + 2NaOH → MgCO ₃ + Na ₂ CO ₃ + 2H ₂ O		
IIIb	MgCO ₃ + 2NaOH → Mg(OH) ₂ + Na ₂ CO ₃ +		
III	Mg(HCO ₃) ₂ + 4NaOH → Mg(OH) ₂ + 2Na ₂ CO ₃ + 2H ₂ O	2	---
IV	CaSO ₄ + Na ₂ CO ₃ → CaCO ₃ + Na ₂ SO ₄	---	1
V	MgSO ₄ + 2NaOH → Mg(OH) ₂ + Na ₂ SO ₄	1	

وبشكل عام فإننا نلاحظ أن كربونات الكالسيوم وماءات المغنيزيوم غير قابلة للانحلال في الماء بشكل تام ولذلك فإن الحد الأعظمي لدرجة التيسير التي يمكن الوصول إليها بعملية الكلس - صودا أو الصودا - ماءات الصوديوم هو أن يبقى في الماء مجموع قابلية الانحلال لكل من ماءات المغنيزيوم وكربونات الكالسيوم أي $\text{meq/L} (0.3 + 0.29 = 0.59)$ أو تقريباً $\text{as } 30 \text{ mg/L}$ (CaCO_3) وعملياً فإن ما نصل إليه هو $\text{meq/L} (0.9 - 1.5)$ أو $\text{as } 45 - 75 \text{ mg/L}$ (CaCO_3). وهذا يعود جزئياً إلى تفاعلات ثانوية تحدث أثناء التيسير كتشكل كربونات المغنيزيوم المركبة . لهذا نلاحظ أنه كلما زادت العسرة اللاكربونية كلما كان الماء أكثر صعوبة للتيسير . إذ أن زيادة العسرة اللاكربونية يترافق مع زيادة كمية الصودا المضافة مما يعزز تشكل كربونات المغنيزيوم المركبة .

في بعض الحالات عندما يحتوي الماء على كمية كبيرة من المغنيزيوم يفضل إضافة مادة مروبنة ، مثل كبريتات الألمنيوم $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ أو ألومينات الصوديوم (NaAlO_2) من أجل تحسين عملية الترسيب . عندما يجرع ألومينات الصوديوم يتشكل راسب من ألومينات المغنيزيوم $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$ سوف تكون إمكانية ترسيبه أفضل من $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

إن التيسير بوساطة الترسيب هو نوع من أنواع الترويب إذ أن ندف كربونات الكالسيوم وماءات المغنيزيوم المتشكلة مع الماء (10% مواد جافة و 90% ماء) تجمع إليها المواد الغروانية العالقة كالحموض الدبالية والغضار الغرواني وغيرها كما تجمع إليها ماءات الحديد وماءات المغنيز المتشكلة.

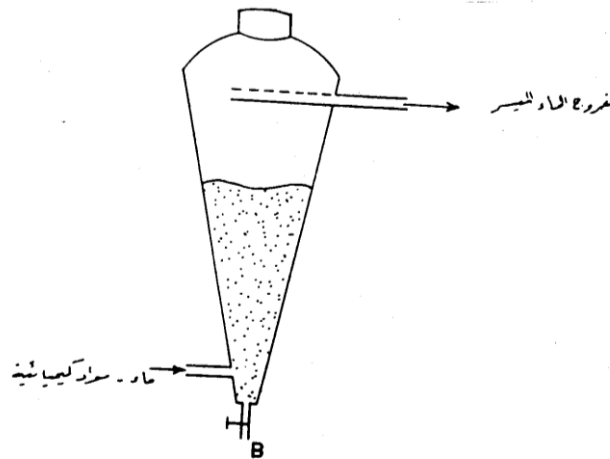
وكما أن عملية تيسير الماء بالترسيب تشابه عملية الترويب فإن المنشآت الفنية اللازمة لها تشابه تلك المنشآت المدروسة في أبحاث الترويب والاختلاف بينهما هو في نوعية الندف المترسبة حيث الندف هنا أثقل من رواسب ماءات الحديد وماءات الألمنيوم ولهذا يمكن في حالة إزالة العسرة تطبيق معدل تحميل سطحي أكبر ويعطي الشكل (5-6) مخططاً توضيحياً لمنشأة للتيسير بالترسيب حيث يبقى الماء في منطقة التحريك والخلط مدة دقيقتين بعد ذلك يدخل الماء مع المواد الكيميائية إلى خزان التفاعل حيث يبقى مدة (40 min) . أما حوض الترسيب فيصمم لمدة بقاء للماء فيه تصل إلى (4 hour) . بعدها ينقل الماء إلى المرشحات أما إذا كنا نستعمل أحواض التماس ذات المواد العالقة (المروقات) فإن مدة البقاء تتراوح بين ساعة وساعتين .



الشكل (5-6)

6 - 1 - 3 - إزالة العسرة بطريقة التبلور :

ترسب بهذه الطريقة كربونات الكالسيوم المتشكلة نتيجة التفاعل مع الكلور وماءات الصوديوم وكربونات الصوديوم على شكل بلورات وذلك بالإستعانة بنواة للتبلور من كربونات الكالسيوم (مسحوق الرخام) كربونات الكالسيوم هذه ستجعل الماء في حالة إشباع منها مما يؤدي إلى ترسب أي لأي كربونات متشكلة نتيجة للتفاعل . ويمثل الشكل (6-6) أحد نماذج منشآت التيسير التي تعتمد على هذا المبدأ . حيث يدخل الماء المراد معالجته مع المواد الكيميائية اللازمة من الأسفل بشكل مماسي مما يعطيه حركة لولبية ويترك حبيبات كربونات الكالسيوم التي ملئت مسبقاً في أسفل المخروط في حالة معلقة . ومع ترسب كربونات الكالسيوم من الماء ينمو حجم الحبيبات من (0.3) مم إلى (2) مم . وعندها تجب إزالتها من فوهة التصريف .



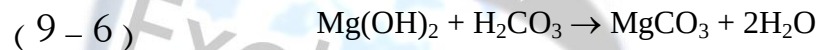
الشكل (6-6)

إن عملية تشكيل شبكة بلورات من (CaCO₃) حول حبيبات النوى هي عملية سريعة ويكون الزمن اللازم للتيسير من (6-12) دقيقة ويصل معدل التحميل السطحي هنا إلى (50 – 100) م/سا وبهذا تحتاج المنشأة إلى مساحة صغيرة . يمكن أيضاً أن نستعمل رمل الكوارتز كنواة للتبلور .

أثناء عملية التيسير هذه فإن عناصر أخرى تدخل بالبنية البلورية كالمغنيزيوم الذي يدخل كمركب CaMg (CO₃)₂ والزنك (Zn) والتوتياء (Pb) والرصاص (Hg) وغيرها

6 - 7 - 1 - 4 - إضافة ثاني أكسيد الكربون (Recarbonation) :

سوف تكون قيمة (PH) للتدفق الخارج من أحواض إزالة العسرة مرتفعة ، كما أن هذا التدفق كثيراً ما يكون في حالة فوق الإشباع بهيدوكسيد المغنيزيوم أو كربونات الكالسيوم أو بكليهما ، ولكي نمنع الترسيب اللاحق لهذه الأملاح فإننا يجب أن نضبط قيمة (PH) لكي نحولهما إلى الشكل المنحل في الماء ، وهذا الضبط يمكن أن يتم بأي حمض ولكن من الأسهل استعمال ثاني أكسيد الكربون ليشكل حمض الكربون ، ومن ثم يتفاعل مع ماءات المغنيزيوم وكربونات الكالسيوم المتبقين في الماء كما هو مبين أدناه :

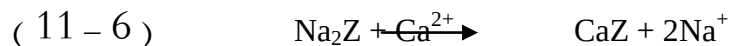


يصمم حوض إعادة الكرنه بحجم (0.6 x 7.6 x 2.5 m) لكل حوالي (1000) متر مكعب في اليوم ويجهز هذا الحوض بأنابيب مثقبة لنشر ثاني أكسيد الكربون ويلاحظ أنه لا داعي لإعادة الكرنه عندما تكون (PH) أصغر من (9.2)

6 - 7 - 2 - إزالة العسرة بطريقة التبادل الايوني :

يعتمد التبادل الأيوني على الألفة المتباينة للشوارد المختلفة لوسط التبادل الأيوني ويتم هذا التبادل بامرار الماء عبر سرير مرشح يحمل بمادة الزيوليت السيلي لكوني (والذي هو عبارة عن مادة تشبه الرمل العادي وتختلف عنه بلونها الأخضر وتسمى بالرمل الأخضر) أو بأية مادة صناعية مماثلة . إذا كان الماء يحتوي على شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم فإنها سوف تتبادل ايونياً مع شوارد الصوديوم من المبادل بحيث لا يتغير التوازن الأيوني للماء ولكن فقط يمكن أن نزيد أو ننقص تركيز المواد الصلبة المنحلة حسب نوع التبادل .

فإذا استعملنا الحرف (Z) للتعبير عن وسط التبادل غير المتأثر حتى هذه اللحظة بعملية التبادل فإننا يمكن أن نعبر عن تفاعل التبادل بالشكل الآتي :





ويمكن أن ينعكس هذا التفاعل ويجدد سرير التبادل بترشيح محلول ملحي مركز من كلور الصوديوم عند استنزاف طاقة المبادل ، وبعد هذا يغسل المبادل بشدة بماء نقي ثم يصبح جاهزاً للعمل من جديد ، وتسمى كل هذه العملية دورة العمل مع الصوديوم .

إن الأشكال الأولية لمواد التبادل الأيوني كانت المركبات السيليكونية (الزيوليت) وقد استعملت هذه المركبات لسحب الكالسيوم والمغنيزيوم من الماء العسير واستبدالهم بشوارد الصوديوم ، بينما يتوفر الآن مواد تبادل عضوية تمتلك نفس خواص الزيوليت السيليكوني القديم عندما تشتغل في دورة عمل مع الصوديوم وتمتلك خواص جديدة عندما تشتغل في دورة عمل مع الهيدروجين ، حيث تبادل الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم بالهيدروجين ، وتستعمل هنا الحموض المعدنية مثل حمض الكبريت لتجديد المبادل .

إن الزيوليتات غير السيليكونية هي ذات أشكال متعددة منها ما هو كربوني وراتنجي وعضوي ومنها زيوليت موجب الشحنة وزيوليت سالب الشحنة . إن المركبات الصناعية لمواد التبادل الأيوني أكثر مسامية من الرمل الأخضر وتكون حباتها أكبر حجماً من حباته .

في دورة العمل مع الصوديوم تحتوي المبادلات الأيونية السيليكونية أساساً صودياً يتبادل مع الكالسيوم والمغنيزيوم والحديد والمنغنيز الموجودين في الماء العسير .

عندما نستعمل مواد التبادل الأيوني في دورة عمل مع الهيدروجين فإنه يتم تبادل الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم بالهيدروجين . وهذه العملية هامة من أجل المياه المحملة بالبيكربونات التي تعطي بالتبادل (H_2CO_3) الذي يتفكك إلى (H_2O و CO_2) ومن ثم يتم التخلص من (CO_2) بالتهوية .

أما إذا كان الماء محتوياً على عسرة لا كربونية (عسرة الكبريتات والكلوريدات) فتتشكل الحموض الموافقة (HCL و H_2SO_4) وهذه الحموض غير مرغوب بها في الماء وأنداك يجب أن نحري أحد الإجراءات التالية :

- 1 - نعدل هذه الحموض بقلوي .
- 2 - نمرر جزءاً من الماء (شرط أن يحتوي على البيكربونات) على مبادل الصوديوم وهكذا تنتج بيكربونات الصوديوم ، ومن ثم نمزج التدفق بالنسبة المطلوبة لتعادل الحامضية .
- 3 - يمكن أن نزيل هذه الحموض بشكل كامل في مبادل انيوني سالب الشحنة أو ما يسمى بمزيل الحموض (anion exchanger or acid remover) . المبادل سالب الشحنة يشبه المبادل موجب الشحنة . ويتم العمل فيه بتمرير الماء عبر سرير يحمل المواد سالبة الشحنة ، حيث تمتص جزيئات حمض الكبريت وحمض كلور الماء (بدون CO_2) وعندما يستهلك سرير المرشح هذا فإنه يجدد بترشيح محلول قلوي هو كربونات الصوديوم عادة ومن ثم يغسل سرير التبادل بشدة بماء نقي .

من أجل المبادلات التي تعمل في دورة عمل مع الصوديوم تكون الكمية الاقتصادية للملح المستعمل بين (2 - 3.5) غ من الملح لكل (1) غ من العسرة المزالة ، وذلك لأن المحلول الملحي المستعمل للتجديد لا يستفاد منه كله وإنما يضيع جزء منه من المبادل الايوني مع الكالسيوم والمغنسيوم إلى التصريف .

تكون سعة إزالة العسرة للمبادل الايوني أقل مما يجب نوعاً ما إذا كان الماء مفرط العسرة أو كان حاوياً على كمية كبيرة من أملاح الصوديوم . وتكون سعة المواد الصناعية أقل إذا احتوى الماء على كمية فائضة من العسرة المغنزية . فإذا ازدادت العسرة المغنزية عن نصف العسرة الكلسية ، أو زادت كمية العسرة الكلية عن (513 mg/L) أو زادت كمية أملاح الصوديوم عن (171 mg/L) معبراً عنهما مثل كربونات الكالسيوم ، أو زادت كمية العسرة وأملاح الصوديوم عن (513 mg/L) فإنه يجب حساب تعويض عن نقصان سعة المبادل الايوني . فإذا زادت كمية العسرة المغنزية عن نصف العسرة الكلسية بـ (171 mg/L) فإن هذا يجب أن يعوض كما لو كانت كمية العسرة الكلية أكثر مما هي عليه بـ (51.3 mg/L) وإذا كانت العسرة الكلية مرتفعة أو/و كانت كمية أملاح الصوديوم كبيرة فإن هذا يجب أن يعوض بعسرة إضافية تحدد بالعلاقة الآتية :

$$\text{عسرة التعويض} = \frac{\text{كمية أملاح الصوديوم} + (\text{العسرة الفعلية} \times 9)}{8}$$

مثال : إذا كان العسرة الفعلية (427.5 mg/L) واحتوى الماء على أملاح الصوديوم بقيمة (171 mg/L) فإن عسرة التعويض تكون بقيمة (502.7 mg/L) .

يمكن أيضاً أن نستعمل في عمليات التبادل الايوني كوسط للتبادل متعدد الجزيئات (Polystyrene bas exchangers) لما له من سعة كبيرة وبسبب معدل تأكله الضعيف جداً

وبشكل عام فإن وحدة إزالة العسرة بالتبادل الايوني تشبه تماماً المرشح الرملي (الثقالي أو المضغوط) المستعمل لتنقية مياه الشرب بتبديل الرمل الكوارتزي بمادة التبادل الايوني (الزيوليت أو غيره) مع الاختلافات التالية :

- 1 - تستعمل مرشحات الرمل لإزالة الملوثات المعلقة ، أما وحدات إزالة العسرة بالتبادل الايوني فهي تعتمد على الفعل الكيميائي أو بالأحرى تعمل كوسط تماس كيميائي (chemical contact media)
- 2 - يجب أن تجهز وحدة إزالة العسرة بالتبادل الايوني بما يلزم لإنتاج الماء وما يلزم لعمليات إزالة الملح وغسيل الوحدة .

3 - يكون عادة عمق مواد التبادل الايوني أكبر من عمق رمل المرشحات إذ يصل إلى ما يتراوح بين (75 - 185 cm) وكلما كان عمق طبقة مواد التبادل الايوني كبيراً كلما كانت المساحة المطلوبة - لسعة معينة - أصغر ، وكانت النسبة المئوية لماء الغسيل اللازم أقل .

4 - نكتفي في حالة التبادل الايوني بتدفقات ماء الغسيل أقل منها في حالة الترشيح العادي إذ أن تدفقاً مقداره $(5.45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec})$ يعطي تمداً لطبقة التبادل مقداره (50%) تقريباً ، ويعطي تدفق مقداره $(4.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec})$ تمداً للرمل الأخضر (الزيوليت السيليكوني) مقداره (25%) . ولكن هذه الأرقام ليست دقيقة إذ أنه كلما كانت الجزيئات أنعم كلما كان التمدد أكبر ، وكلما كانت درجة الحرارة أقل كلما كان التمدد أكبر . كما أن المبادلات المحملة بالمواد الصناعية تحتاج إلى نسبة مئوية أقل من ماء الغسيل مما تحتاجه مرشحات الرمل الأخضر ، وذلك لأن مساحة سرير المرشح في حالة المواد الصناعية أقل منها في حالة الرمل الأخضر لنفس استطاعة إزالة العسرة .

6 - 7 - 2 - 1 - اتجاه الجريان في أسرة المبادلات الايونية :

يمكن أن تتم عملية التبادل الايوني بجريان الماء عبر مواد التبادل باتجاه من الأعلى إلى الأسفل أو بالعكس ، كلا الحالتان ستعطيان نتائج مرضية . إذا كان تصميم الوحدة جيداً ، وكان معدل الجريان صحيحاً . وفي كلا الحالتين يجب أن نجري احتياطات للغسيل الارتدادى بتدفق كاف لتعليق مواد التبادل أثناء عملية الغسيل .

من العادة أن نشغل وحدات الرمل الأخضر ذات الاتجاه إلى الأسفل بتدفق أقل من $(4.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec})$ وتترك فوق سطح الرمل الأخضر مسافة فارغة مقدارها (35%) من سماكة هذا الرمل .

أما في حالة الاتجاه من الأسفل إلى الأعلى فتتراوح قيمة التدفق في حدود $(2.72 - 5.45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec})$ وتترك فوق الرمل مسافة فارغة مقدارها (50%) من سماكة الرمل .

تشغل عادة المبادلات المحملة بمواد صناعية وذات التدفق إلى الأعلى بتدفق أقل من $(4.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec})$.

6 - 7 - 2 - 2 - تجديد وحدة إزالة العسرة :

يتم تجديد المبادل بأن نغسل المرشح ارتدادياً من الأسفل إلى الأعلى بهدف تفكيك حبيبات مادة التبادل وإزالة المواد الصلبة الغريبة . ثم ندخل محلولاً ملحيّاً عياره (5 - 10 %) من نظام التصريف السفلي وإلى الأعلى عبر سرير المبادل . أو من أنابيب مثقبة فوق سطح مادة التبادل ثم يرشح إلى الأسفل عبر مادة التبادل ويستمر ترشيح هذا المحلول الملحي عبر المواد الصناعية للتبادل مدة (5 - 15 min) بينما يمرر هذا المحلول الملحي عبر سرير الرمل الأخضر بشكل بطيء . بعد امرار المحلول الملحي

عبر سرير المرشح (حسب كمية الملح اللازمة للعسرة المزالة) فإن المبادل يعود إلى العمل ولكن الكميات الأولى من الماء الناتج تلقى إلى التصريف حتى تبقى في التدفق الناتج عسرة مقدارها (171 mg/L) .

6 - 7 - 2 - 3 - تخزين الملح :

يخزن الملح في المنشآت الكبيرة في صندوق بيتوني ذي جزئين ، يدهن داخله بدهان مقاوم للملح بحيث يتسع كل جزء منه لسيارة من الملح . يزن الملح تقريباً (1122 Kg/m³) فمن أجل تخزين (50 Tons) من الملح يجب أن تكون سعة الصندوق (44.5 m³) تقريباً .

يبنى قاع الصندوق بشكل قمعي بحيث يشكل القسم السفلي حوضاً تعلوه صفيحة مثقبة تصنع من مادة غير قابلة للصدأ مغطاة ببحص متدرج سماكته حوالي (30 cm) ، الطبقة الأولى منه بسماكة (8 cm) وأقطاره (3.7 cm) والثانية بسماكة (12 cm) وأقطار (0.6 – 1.2 cm) والثالثة بسماكة (10 cm) وأقطار (0.3 – 0.6 cm) . يوضع الملح فوق طبقات البحص هذه ويغمر بالماء ليشكل محلولاً ملحياً مشبعاً يمر عبر البحص إلى الخزان السفلي ويفترض أن نسبة الملح فيه تصل إلى (25 %) ووزنه النوعي يصل إلى (1.19228) ويحتوي كل لتر منه على (297 g) من الملح تقريباً . يمدد هذا المحلول الملحي إلى عيار (5 – 10 %) وينقل إلى الترشيح عبر سرير التبادل .

6 - 8 - معالجة مياه تغذية المراحل :

استعملت في الفترات الأخيرة مراحل كبيرة ذات درجات حرارة للبخر عالية وذات ضغوط كبيرة .

إن مياه تغذية المراحل التي تعمل تحت ضغوط معتدلة يجب أن تعالج وتزال عسرتها حتى تحقق الشروط الآتية :

- 1 - أن تصبح صافية وخالية تماماً من الأكسجين والبتروكسجين والعسرة اللاكربونية .
 - 2 - أن يكون محتواها من السيليكا منخفضاً و لا تتجاوز كمية العسرة الكلية (35 mg/L) .
- أما مياه تغذية المراحل ذات الضغوط العالية فيجب أن لا تحتوي على أي كمية من العسرة .
- وعندما نزيل العسرة بطريقة الكلور - صودا الباردة حتى درجة (35 mg/L) فإن المياه الناتجة ستحتوي على (35 – 100 mg/L) من القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم . أما إذا أزيلت العسرة بطريقة التبادل الأيوني فإن الماء الناتج سيحتوي على بيكربونات الصوديوم وإن استعمال هذين النوعين من المياه سينتج عنه كمية من الرغوة.

6 - 8 - 1 - قشور المراحل :

إن القشور التي تغلف داخل المرحل تخفف الانتفاع بالحرارة وتسبب تسخيناً فائضاً لمعدن المرحل ، ويكون هذان الأمران واضحين أكثر كلما كانت القشرة أقل كثافة وأكثر مسامية ، إذ أن مسامات القشرة المسامية تملأ أثناء عمل المرحل بالبخار مما ينتج عنه ضعف في الناقلية للحرارة .

ويظهر الجدول (6-6) سماكة القشرة المسموح بهادون أن نحصل على تسخين غير مقبول للأنايب (الحرارة الأعظمية المستمرة لأنايب مراحل الفولاذ منخفضة الكربون هي حوالي 482°C) .

* الجدول (6-6)

سمك القشرة المسموحة (بالمليمترات)	الحدود الآمنة لدرجة حرارة الأنايب	درجة حرارة الماء	ضغط المرحل (كيلوغرامات)	
مسامية	غير مسامية			
---	2.97	294 °م	164 °م	45
0.81	2.16	482 °م	256 °م	272
0.05	1.47	482 °م	328 °م	816

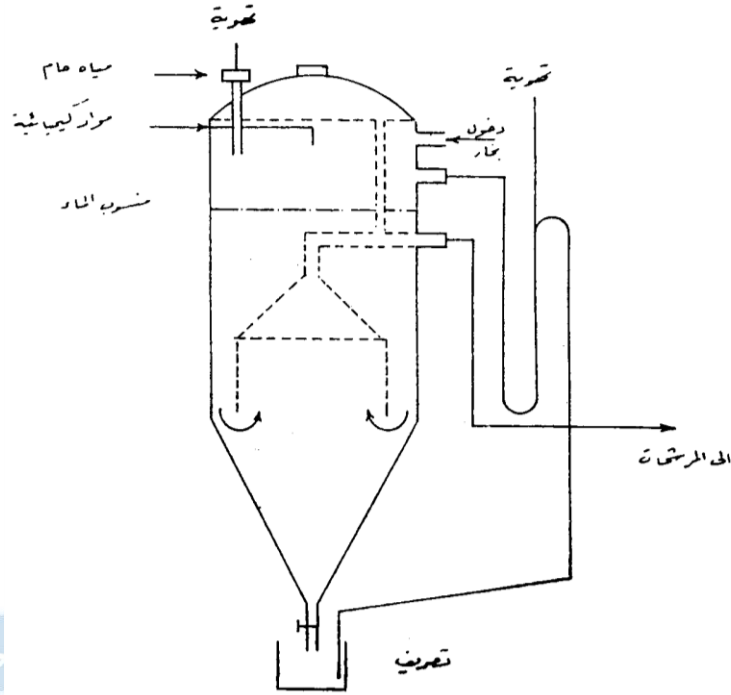
* Information from Bulletin 15 . Department of Engineering University of Michigan .

يمكن أن تزال عسرة مياه تغذية المراحل بالطريقة الباردة حسب نفس المبادئ التي تستعمل لإزالة عسرة مياه الشرب ، أو بالطريقة الساخنة ، أو بالتبادل الأيوني ، أو بمجموع عمليتي التبادل الأيوني والمعالجة بالكلس .

6 - 8 - 2 - إزالة عسرة ماء تغذية المراحل بطريقة الكلس - رماد الصودا (العملية الساخنة) :

تتم إزالة العسرة بالطريقة الساخنة على نفس المبدأ الذي تتم فيه بالطريقة الباردة . إذ يتألف جهاز إزالة العسرة من مسخن للماء الخام وتجهيزات لمعايرة وإضافة المواد الكيميائية حسب تدفق الماء الخام وحواجز أو أي تجهيزات أخرى لمزج المواد الكيميائية مع الماء الخام كما في الشكل (6-7) ، وحوض ترسيب وأخيراً مرشح (عادة يكون هذا المرشح من النموذج المضغوط ، ويجهز في بعض الأحيان بمواد ترشيح فحمية أو غير سيليكونية بدلاً من الرمل) وفي حالة إزالة العسرة بالطريقة الساخنة يكون حجم حجيرات الترسيب والمزج (لواحدة حجم الماء المعالج) أقل منها في العملية الباردة وتكون التفاعلات الكيميائية أسرع وأتم وتشكل الندف يكون أفضل وبنتيجة انخفاض اللزوجة فإن معدل الترسيب يكون أعلى هذا كله بالإضافة إلى أن قابلية انحلال CaCO_3 و Mg(OH)_2 و MgCO_3 تكون أيضاً أعلى إلى حد ما . كما أننا نحصل على رواسب أكثر تبلوراً وأسرع ترسيباً ، وبالتالي نحصل

على ماء أقل عسرة وأيضاً أقل قلوية وأيضاً فإن تسخين الماء بحد ذاته ينقص كمية الغازات المنحلة كثاني أكسيد الكربون والآزوت والأكسجين .



الشكل (6-7)

وأخيراً فإن انخفاض قلوية الماء الناتج يسبب انخفاض الرغوة المتشكلة بسبب قلوية الصوديوم . يمكن أن نضيف مركبات الفوسفات إلى المياه التي أزيلت عسرتها وذلك لمنع تشكيل القشرة في المرحل . هذا الفوسفات سيتحد مع عسرة كربونات الكالسيوم التي لم تزال أثناء عملية إزالة العسرة ليشكل فوسفات الكالسيوم الثلاثي غير القابل للانحلال في الماء.

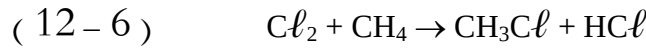
6 - 8 - 3 إزالة السيليكا :

إن الميل الشائع حالياً لاستخدام البخار ذي الضغط المرتفع جداً في العنفات يجعل من الضروري إزالة كل السيليكا من الماء ، إذ أنها تميل إلى الترسب على شفرات العنفات . إن التقطير يزيل السيليكا من الماء ولكن هذه العملية مكلفة . وقد وجد أن ماءات المغنيزيوم المتشكلة أثناء إزالة العسرة بطريقة الكلس - رماد الصودا هي ذات طاقة امتزاز للسيليكا ، وإذا استعملنا الكلس الدولوميتي لإزالة العسرة فسينتج لدينا كمية ماءات المغنيزيوم تكفي لامتصاص السيليكا إليها أثناء ترسيبها . وإذا أعدنا الحمأة المترسبة عبر حال للمغنيزيوم فإننا سنحصل على استفادة أكثر من طاقة الامتزاز لماءات المغنيزيوم التي توفرت عندنا .

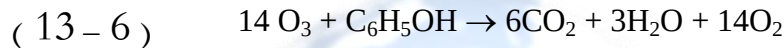
6 - 9 إزالة المادة العضوية :

قلما يستعمل الأكسجين أو الهواء مباشرة من أجل أكسدة المادة العضوية ولكنهما طبعاً يستعملان في أنظمة أكسدة الوساطة البيولوجية (الأكسدة التي يكون الوسيط فيها هو مادة بيولوجية)

(Biologically mediated oxidation systems) مثل عملية الحمأة المنشطة . عند درجات حرارة مرتفعة [حوالي 300 °F (150 °C) أو أكثر] وضغوط مرتفعة فإن الهواء أو الأكسجين اللذين ينفثان في وعاء التفاعل سوف يؤكسدان مادة عضوية ذات كمية واضحة (العملية التي تسمى زمرفان) . عندما يستعمل الكلور للأكسدة فإن النتائج يمكن أن تكون مخيبة في أن الكلور يشكل منتجات بديلة وخاصة في التفاعل مع أنواع الفينول والتي يمكن أن تكون مرفوضة أكثر من الجزئي العضوي الأصلي . وحتى عندما يتفاعل مع جزئي عضوي بسيط مثل الميتان فإن الكلور لا يحطم الميتان ولكنه ينتج كلور الميتيل تبعاً للتفاعل الآتي :

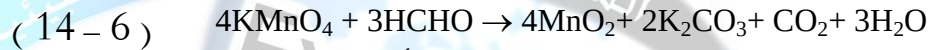


من ناحية أخرى فإن الأوزون والبرمنغنات يمكن أن يستعملان من أجل التحطيم الكامل للفينول وللجزيئات العضوية البسيطة كما هو مبين في المعادلة الآتية :



فينول

في هذا التفاعل فإن (7.2 mg/L) من الأوزون تطلب لكل (mg/L) من الفينول .



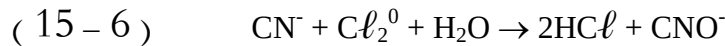
فورم ألدهيد

في هذا التفاعل يتطلب (17.5 mg/L) من البرمنغنات لكل (mg/L) من الكربون العضوي الإجمالي (TOC) . ومع أن هذه التفاعلات تحدث فإن معدلها بطيء ولذلك فإننا نحتاج إلى مدة بقاء طويلة في وعاء التفاعل . إن المعدل يمكن أن يزداد بشكل كبير بتعريض النظام للأشعة فوق البنفسجية .

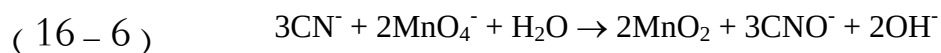
إن الفينول يمكن أن يؤكسد بالبرمنغنات ولكن التفاعل يتطلب حوالي ساعتين عند (PH) قريبة من (7) وذلك لإتمام (90%) منه .

6 - 10 - إزالة السيانيد :

يمكن أن يؤكسد السيانيد إلى شكل السيانات تحت الظروف القلوية بكل من الكلور والبرمنغنات تبعاً للتفاعلات الآتية :



في هذا التفاعل يتطلب (2.75 mg/L) من الكلور لكل (mg/L) من (CN) .



وفي هذا التفاعل يتطلب (4.1 mg/L) لكل (mg/L) من (CN) .

إن كلاً من هذين التفاعلين ينجز عند (PH) أكبر من (10) . في حالة الكلور فإنه من المهم أن نحافظ على هذه القيمة لـ (PH) لتجنب تشكل كلور السيانوجين السام .

ومع أن السيانات هي أقل سمية من السيانيد فإن تحطيمها الكامل هو ضروري في أغلب الأحيان مما يتطلب أكسدة أبعد للسيانات بالكلور أو الهيبوكلوريت كما هو مبين في المعادلة الآتية .



ومن مجموع التفاعلين أعلاه نجد أن التحطيم الكامل لـ (CN) إلى (N₂) يتطلب (6.9 mg/L) من (Cl₂) لكل (mg/L) من (CN) .

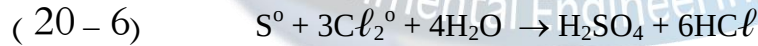
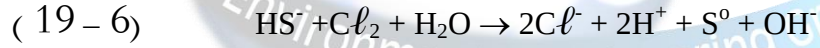
إن قيمة (PH) المثالية للمرحلة الثانية من هذا التفاعل هي تقريباً (8.5) . كما في تفاعلات الأكسدة الأخرى فإن الزمن هو عامل هام يجب أن يدرس ، وإن تفاعلات السيانيد بشكل عام تتطلب أكثر من (10 min) وفائض من العنصر المؤكسد وذلك لنؤمن تحطيماً كاملاً للسيانيد .

6 - 11 - إزالة السلفيد :

في تهوية المياه المحملة بالسلفيد للتخلص من الرائحة فإن بعض السلفيد يتحول إلى كبريت غرواني تبعاً للتفاعل الآتي :



يمكن أيضاً أن يؤكسد السلفيد بالكلور والبرمنغنات حسب التفاعلات الآتية :



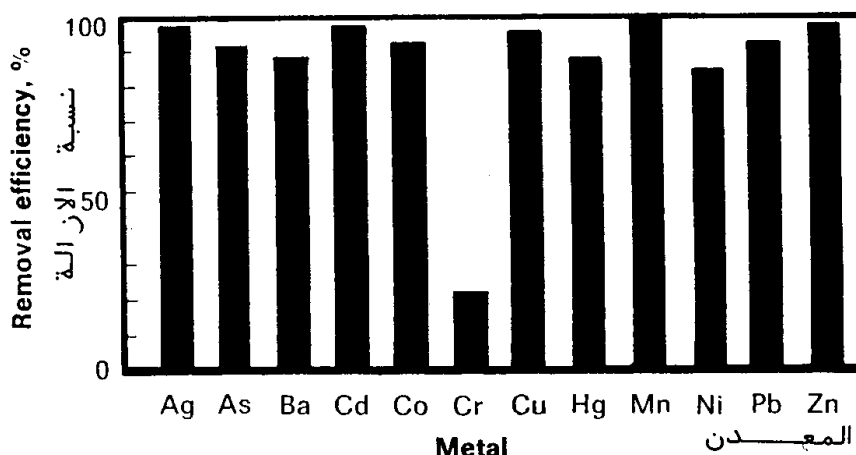
في كل الأمثلة المذكورة أعلاه فإنه من المهم أن نعرف أن الأكسدة قد جرت على نوع خاص في الماء . بما أن النظام المائي يحتوي على تنوع من الأصناف ، التي بعضها يمكن أن يشارك في تفاعلات الأكسدة - إرجاع فإنه من الواضح أن التنبؤ بالمادة الأفضل للأكسدة من أجل التفاعل و (PH) المثالية والزمن اللازم لإتمام التفاعل وجرعة المادة المؤكسدة كل هذا يعتبر التنبؤ به مستحيل . وإن تجربته مخبر تحتاج للحصول على معطيات لتصميم عملية معالجة فعالة .

في كل عملية أكسدة ذكرت أعلاه فإن الكلور قد استعمل في الأمثلة كمؤكسد ومن المؤكد أنه الأكثر شيوعاً وهو واحد من المنتجات الأكثر إنتاجاً للصناعات الكيميائية في الولايات المتحدة . إن إنتاجه مع الصودا الكاوية يجعله منخفض الكلفة ، وهو يستعمل بشكل واسع من أجل تعقيم إمدادات مياه الشرب ومن أجل ضبط العضويات الدقيقة في أنظمة المياه الصناعية .

6 - 12 - إزالة المعادن السامة والنشاط الإشعاعي :

أثبتت الأبحاث أن المعالجة بالكلس هي ذات فائدة في التخلص من الكميات البسيطة من المعادن الثقيلة - التي يكون الكثير منها ساماً .

يبين المخطط البياني على الشكل (6-8) كفاءة المعالجة بالكلس في إزالة عدد من المعادن الثقيلة . فيما عدا من أجل الكروم .



الشكل (6-8)

إن الكلس يزيل أكثر من نسبة (85%) من هذه المعادن . وتكون إزالة الكروم أفضل عندما ننقل ايوناته السداسية التكافؤ (hexavalent Cr ion) إلى شكلها الثلاثي (trivalent) وذلك بادخال (SO₂) أو بالاحتجاز لفترة ما والتهوية ، بعد المعالجة بالكلس يمكن ترسيب المعادن الثقيلة وستكون كفاءة المعالجة أكبر كلما كان رقم (PH) أكبر كما هو مبين في الجدول التالي :

الجدول (6-7)

التركيز بـ (ملغ/ل)		المعدن
PH = 12.7	PH = 6.7	
0.02 >	1.3	Cd
0.1 >	6.0	Fe
0.05 >	0.13	Ni
0.05	5.3	Cu
0.11	31.25	Zn
0.04	26.5	Mn

وبشكل مشابه فإن الكمية الصغيرة من النشاط الإشعاعي مثل الراديوم (226) والاورانيوم والثوريوم (230) يمكن أن تترسب أيضاً مع الكلس منقصرين بذلك النشاط الإشعاعي إلى حدود آمنة .

وبالفعل فإن مشاريع المياه التي تستعمل الكلور لإزالة عسرة الماء أو للتنقية مع المروبات الكيميائية فإنها بشكل تلقائي تستعمل الكمية الكافية من الكلور لإنقاص النشاط الإشعاعي ولترسيب عدد من المعادن الثقيلة من مصادر مياه الشرب الملوثة بهم ، وذلك لا يصلح نسبهم إلى القيم الصارمة المفروضة في النظم العالمية لمياه الشرب ، وأيضاً فإن عمليات الامتزاز إلى سطوح الكربون المنشط تكون مفيدة في إزالة النويدات المشعة ، وذلك بعد عمليات خاصة للتبادل الأيوني أو بعد عمليات ترويب وترشيح تنفذ بدقة.

6 - 13 - الترشيح الغشائي (Membrane Filtration) :

يقسم الترشيح الغشائي بشكل عام إلى قسمين تبعاً للقوى التي تساهم في إنجاز عملية الترشيح الغشائي فمنه ما يتم بقوى الضغط المتزايد على الغشاء ومنه ما يتم بقوى الفصل الكهربائي . وهو ما يسمى بالميز الغشائي بالكهرباء (Electrodialysis) .

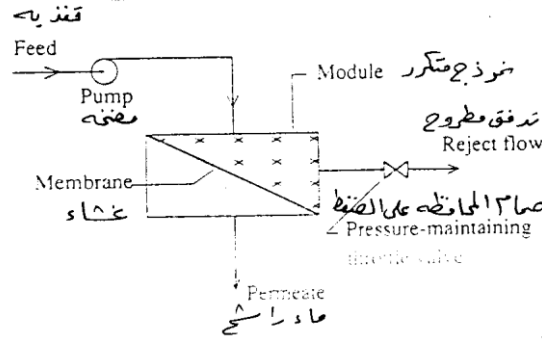
6 - 13 - 1 - أغشية الترشيح الغشائي الذي يتم بقوى الضغط :

إن عمليات الترشيح الغشائي التي تتم بقوى الضغط المتزايد على الغشاء يمكن تصنيفها حسب قطر مسامات الغشاء ، حيث تقسم هذه الأغشية إلى ميكرو فلتر (Micro filter) والترافلتر (Ultra filter) ونانوفلتر (Nano filter) وغشاء التناضح العكسي (Reverse Osmosis) .
ويبين الجدول (6-8) تصنيف المرشحات الغشائية تبعاً لحجم مسامات الغشاء :

الجدول (6-8)

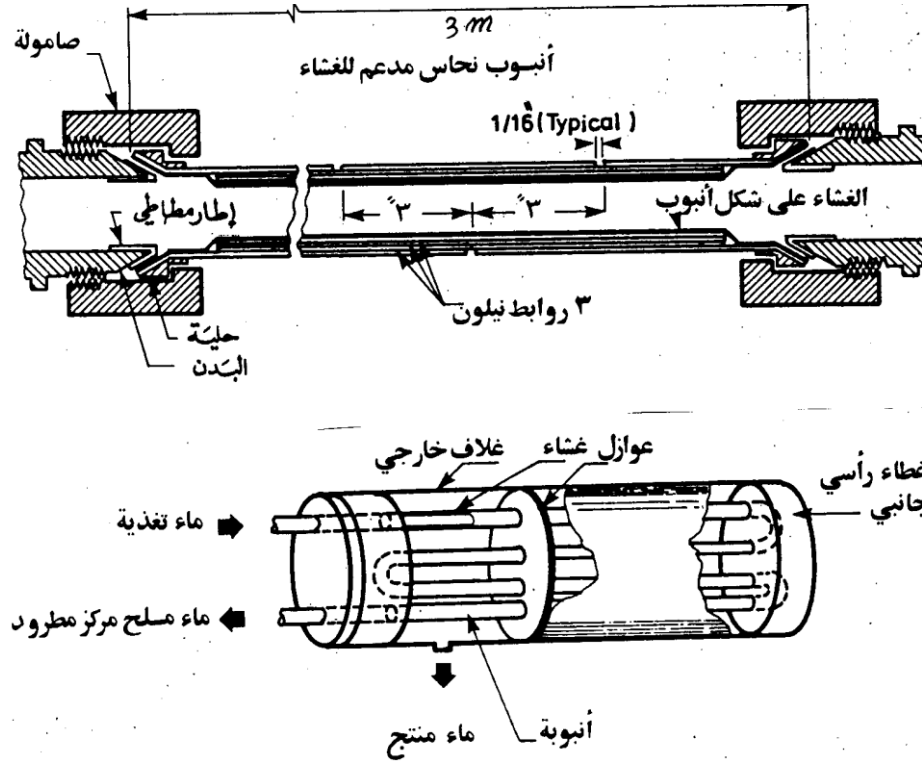
نوع المرشح الغشائي	قطر مسامات الغشاء (µm)	أمثلة عن المواد التي يمكن فصلها عبر هذا الغشاء
ميكروفلتر (MF)	0.05 – 1.5	الخلايا الجرثومية ، الغروانيات الكبيرة ، الجزيئات الناعمة .
الترافلتر (UF)	0.002 – 0.05	الذرات كبيرة الحجم ، الفيروسات ، الغروانيات .
نانوفلتر (NF)	0.0005 – 0.007	الفيروسات ، الحموض الدبالية ، الجزيئات العضوية Ca^{2+} ، Mg^{2+} .
غشاء التناضح العكسي (RO)	0.0001 – 0.003	الأملاح المنحلة في الماء ، شوارد المعادن

- ومنذ 1960 وحتى الآن هناك تطورات كبيرة في صناعة الأغشية البوليميرية وحتى يمكن أن يعتبر الآن أن الترشيح الغشائي قد يكون بديلاً واعداً للمعالجة التقليدية لمياه الشرب كالترسيب بالترويب والترشيح الرملي والتعقيم . ومن بين الأسباب التي أدت إلى استعمال وتطوير طريقة الترشيح الغشائي في أعمال معالجة المياه وتحلية ماء البحر قليل الملوحة هي ما يلي :
- 1 - الصيانة المبسطة للمرشح الغشائي والتي تتمثل بتغيير النماذج المتكررة كل فترة من الزمن .
 - 2 - التحسن المستمر في خواص الأغشية والبنية المدعمة لها .
 - 3 - الحيز الصغير الذي تشغله وحدات الترشيح الغشائي .
- وهذه الأغشية تباع عادة بالشكل الذي يجعلها جاهزة للاستعمال . ويبين الشكل (6-9) تخطيطاً مبسطاً لعملية الترشيح الغشائي .



الشكل (6-9)

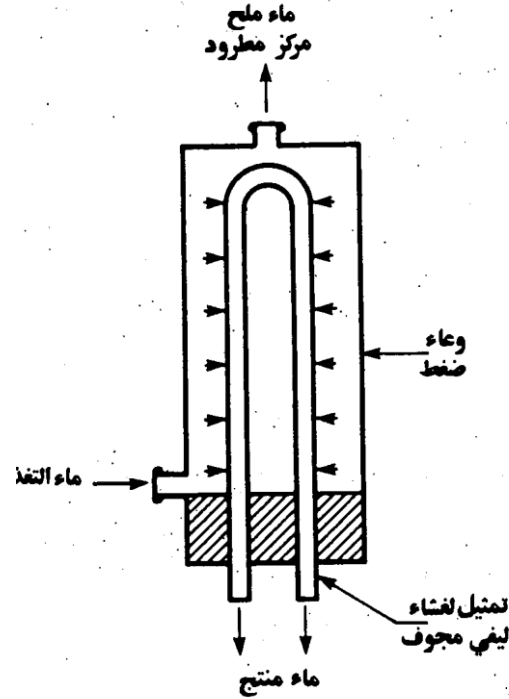
- ويتوفر في الأسواق تنوع من أشكال المرشحات الغشائية بما في ذلك :
- 1 - الأغشية الانبوعية .
 - 2 - أغشية الفيبر المفرغ والشعري .
 - 3 - الصفائح الملفوفة حلزونياً .
 - 4 - الصفائح المستوية ذات الإطارات، وبما أن تدفق النفاذية من واحدة سطح الغشاء يمكن أن يكون منخفضاً نسبياً فإن نماذج المرشحات هي مصممة لتأمين الزيادة الأعظمية لكثافة تعليل هذه الأغشية ، أي تأمين أكبر سطح ممكن لهذه الأغشية في أصغر حجم ممكن من تعليلها بواحدات (m^2/m^3) .
- إن النموذج الانبوعي يتألف من غشاء أنبوبي موضوع داخل كم مسامي والذي هو بدوره موضوع في داخل أنبوب مقاوم للضغط العالي ومثقب ذو قطر يتراوح بين (12mm) وبين (24mm) . إن النماذج الانبوعية تشغل عادة بنظام الترشيح ذي الجريان العرضي كما في الشكل (6-10) .



الشكل (6-10)

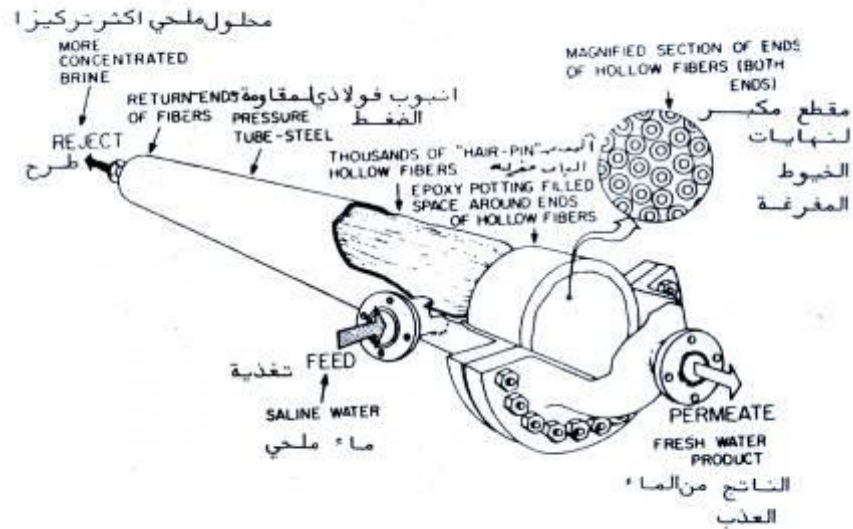
إن النموذج الشعري يتألف من حزم من الأنابيب الشعرية والتي كل نهاية منها تتصل إلى صفيحة أمامية . إن القطر الشعري الداخلي هو عادة بحدود $(400 \mu m)$ إلى $(2500 \mu m)$ وكثافة التعليل هي بحدود $(1000 m^2/m^3)$. النموذج الشعري هو متوفر كميكروفلتر والترافلتر ، ومثل النموذج الانبوبي فإنه يعمل بنظام الترشيح ذي الجريان العرضي .

إن نموذج أغشية الفيبر المفرغ يتألف من حزم من الفيبر المفرغ منحنية عادة بشكل دبوس شعر م ع نهايات مفتوحة معقودة إلى صفيحة أمامية من رزين الايبوكسي كما في الشكل (6-11) والشكل (6-12) ، وإن القطر الداخلي لألياف الفيبر هو عادة في حدود $(10 \mu m)$ إلى $(40 \mu m)$. وكثافة التعليل هي حوالي $(75000 - 10000 m^2/m^3)$.



الشكل (6-11)

وبخلاف النموذج الشعري فإن الترشيح في هذا النموذج هو من الخارج إلى الداخل حيث يتدفق الماء الراشح عبر النهايات المفتوحة لخيوط الفيبر . يبين الشكل (6-11) رسماً مبسطاً لتوضيح فكرة ألياف الفيبر المفرغ المستعملة في الترشيح الغشائي ويلاحظ أن وعاء الضغط يحتوي على ملايين من هذه الألياف .



الشكل (6-12)

إن نماذج الفير المفرغ هي متوفرة في كل من مجالات ترشيح التناضح العكوس (RO) والنانوفلتر والالترافلتر .

ويبين الشكل (6-12) أعلاه استعمال نموذج الفير المفرغ في تحلية ماء البحر بالتناضح العكسي حيث يوضع آلاف من ألياف الفير المفرغ على شكل دبوس شعر في أنبوب فولاذي مقاوم للضغط الكبير ، وتمر تغذية ماء البحر من جانب الخلية لترشح وتخرج من يمين الشكل أما المحلول الملحي الأكثر تركيزاً فيطرح من النهاية اليسرى.

وقد صمم الغلاف الفولاذي ليتحمل ضغطاً يتراوح بين (40 bar) وبين (50 bar) . وعلى كل حال فإنه من المستحيل الحصول على ماء خالي من الملح عبر مرحلة وحيدة من التناضح العكسي لذلك فإننا نحتاج إلى تقسيم العملية إلى مراحل للحصول على ماء قابل للشرب يحوي على أقل من (500 Ppm) من الملح .

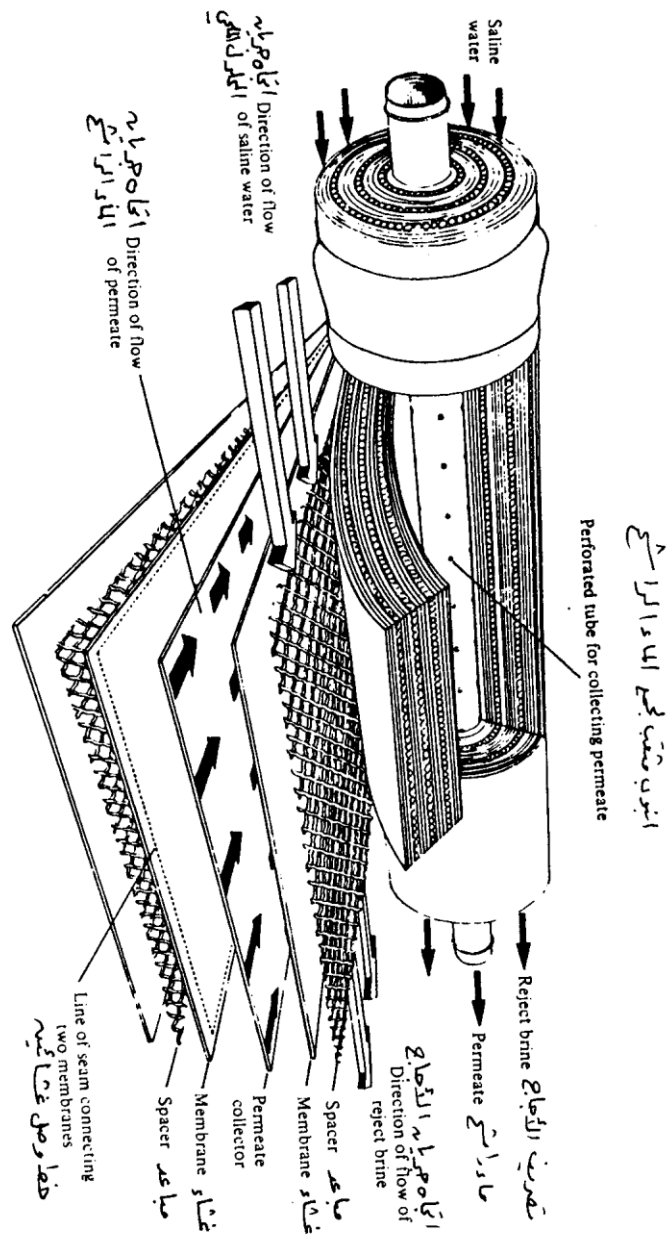
النموذج الملتف حلزونياً يتألف من صفيحة غشائية ملفوفة حول نواة أنبوبية تجمع الماء الراشح . وإن الصفائح مستطيلة الشكل هي منظمة في محافظ يتألف كل منها من صفيحة شديدة المسامية (مبادعات طرف الماء الراشح) موجودة بين غشائين ملتصقين مع بعضهما على طول أطرافهما الثلاثة . أما الطرف الرابع لكل من الغشائين فهو متصل مع أنبوب جمع الماء الراشح . عدة محافظ كهذه تكون ملتفة حلزونياً حول أنبوب جمع الماء الراشح مع مبادع في طرف التغذية موجود بين المحافظ ليشكل ما يسمى بعنصر كما في الشكل (6-13) .

في النماذج المستوية ذات الإطارات تنظم الأغشية في صفائح مستوية متوازية مع مبادعات مسامية يمكن عبرها أن يصرف الماء الراشح .

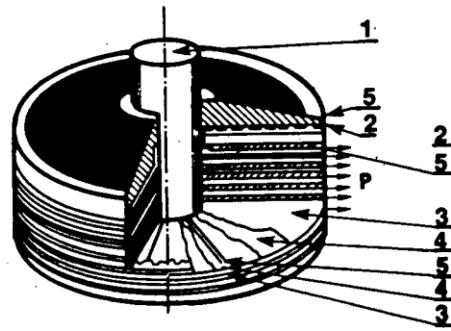
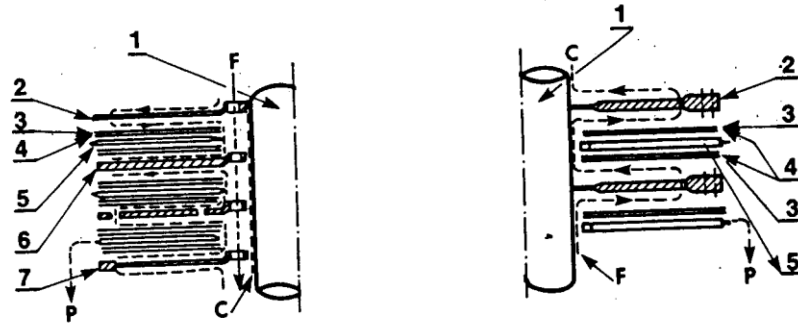
يجري محلول التغذية عبر أفنية مستطيلة موجودة بين الأغشية كما في الشكل (6-14) في هذه النماذج تكون كثافة التعليب بحدود $(100 - 400 \text{ m}^2/\text{m}^3)$.

وبشكل عام فإن المرشحات الغشائية يمكن أن تشغل بنموذج النهاية الميتة (dead - end) أو بنموذج الجريان العرضي (Cross - flow) . في نظام التشغيل بنموذج النهاية الميتة فإن الماء الراشح يجري خروجاً من المرشح أثناء تشغيل المرشح وبالتالي فإن الجزيئات المزالة والمحلول الذي يحملها يتجمعون ضمن النموذج .

أما في نظام التشغيل بنموذج الجريان العرضي فإن هناك إعادة للماء بحيث يدخل مع ماء التغذية بشكل مماسي لسطح الغشاء . وهذا الجريان المماسي يحفز عملية تنظيف ذاتي للغشاء وما يترافق معها من انقاص لانسداد الغشاء ، وتتم إعادة المحلول حتى نحصل على الكفاءة المطلوبة .



الشكل (6-13)



- | | | | |
|----------------|----------------|---------------------|----------------|
| ١. مسمار مركزي | ٢. إطار | ٣. غشاء | ٤. مرشح |
| ٥. لوح تغذية | ٦. خروج الأجاج | ٧. دخول ماء التغذية | ٨. لوح النهاية |
| F. ماء تغذية | C. أجاج | P. الماء المنفذ | |

الشكل (6-14)

تستعمل أغشية ميكروفلتر (MF) لإزالة العكارة وإزالة الجراثيم الممرضة المقاومة للكلور مثل (Cryptosporidium و Giardia) وتبعاً لقطر مساماتها فإن أغشية ميكروفلتر يمكن أيضاً أن تزيل الجراثيم ولكنها لا تقدم إزالة كاملة للفيروسات ، علماً بأن هذه الإزالة تكون كبيرة وهامة إذا ترافق وجود هذه الفيروسات مع الجزيئات المعلقة كبيرة الحجم .

هذه الأغشية تشغل تحت ضغط تفاضلي أقل من (1 bar) وبمعدل تدفق يصل إلى 150 ($l/m^2.h$)

تستعمل أغشية الترافلتر (UF) في الصناعات الغذائية وغيرها من الصناعات كما أن هذه الأغشية تلقي تطبيقات متزايدة في عمليات معالجة مياه الشرب ومياه المجاري . إن أغشية الترافلتر المصنوعة من الفيبر المفرغ تستعمل بالترافق مع بودة الكربون المنشط وذلك لتأمين إنتاج مباشر لمياه الشرب اعتباراً من المياه السطحية في المستودعات المائية (إنتاج مياه الشرب بعملية ترشيح غشائي فقط بدون عمليات تنقية أخرى) .

إن الأغشية في الحدود الدنيا لقيم مساماتها يمكن أن تستعمل لإزالة المواد الدبالية بما في ذلك إزالة لون الماء .

إن أغشية النانوفلتر وأغشية التناضح العكسي تملك حدوداً أخفض للمسامات منها لأغشية الترافلتر ، وهي قادرة على أن تنبذ المواد العضوية وغير العضوية . ويتحدد نبذ النانوفلتر للمواد غير العضوية بالتركيب الكيميائي للماء حيث يكون نبذ الشوارد ثنائية التكافؤ أكبر بكثير من نبذها للشوارد أحادية التكافؤ .

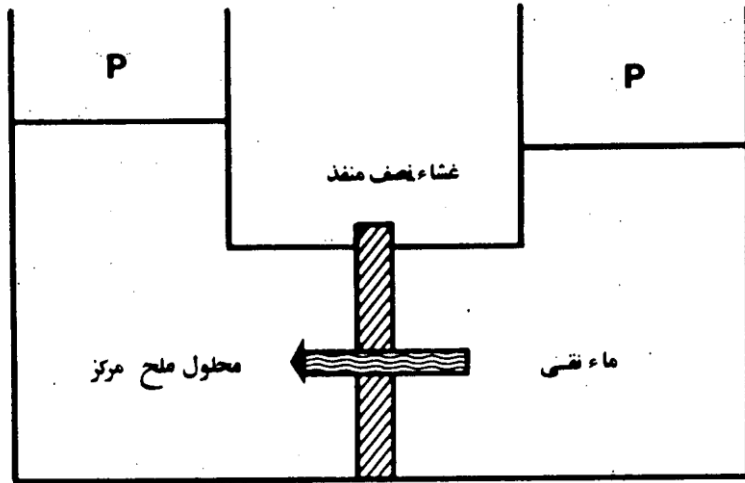
تزيل أغشية التناضح العكسي . المواد العضوية المنحلة في الماء بشكل تام تقريباً وتزيل أيضاً الأملاح اللاعضوية . ولذلك فهي تستعمل للحصول على ماء الشرب اعتباراً من المياه المالحة (مياه البحار) والمياه قليلة الملوحة (مياه مصبات الأنهار في البحار) .

6 - 13 - 2 - انسداد الأغشية :

إن انسداد الأغشية وما يتبعه من نقصان للتدفقات المنتجة منها هو من أهم المشاكل التي تحدث استعمال الترشيح الغشائي في مجال معالجة المياه . وهو يتسبب من البناء التدريجي لطبقة من المواد الصلبة على سطح الغشاء . وهذه المواد الصلبة التي تبنى على سطح الغشاء يمكن أن تحتوي على الجزيئات الغروانية وأكاسيد الحديد والمنغنيز والمواد العضوية أو قد تحتوي على الترسبات اللاعضوية . مثل كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيزيوم وكبريتات الكالسيوم والسيليكا وماءات المغنيزيوم وغيرها . وهذا الانسداد يمكن انقاصه بشكل كبير بتأمين معالجة مسبقة لمياه التغذية بالتخثير الكيميائي والترشيح الثقالي السريع أو بالمعالجة بالترشيح المضغوط . أما ترسبات كربونات الكالسيوم وماءات المغنيزيوم وكبريتات الكالسيوم والسيليكا وكربونات المغنيزيوم فيمكن انقاصها بتدقيق تركيب الماء الكيميائي بحيث يكون ماء التغذية مستقراً قدر الإمكان .

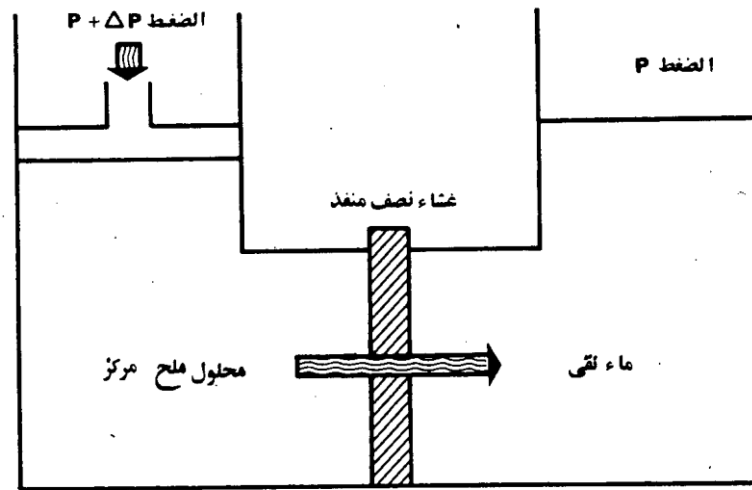
6 - 13 - 3 - مبدأ التناضح العكسي :

التناضح (Osmosis) هو انتقال المذيب (كالماء مثلاً) في محلول (كالماء المالح) عبر غشاء نصف منفذ يفصل بين محلولين مختلفين في التركيز موجودين على جانبي هذا الغشاء كما في الشكل (6-15) .



الشكل (6-15)

حيث يبدو في الشكل (6-15) الانتقال الطبيعي للمذيب (الماء) من ناحية الماء النقي إلى طرف المحلول المالح عبر غشاء نصف نفوذ ، أي من الطرف الأقل تركيزاً إلى الطرف الأكثر تركيزاً . والغشاء نصف النفوذ هنا هو الغشاء الذي يسمح للمذيب (الماء) بالمرور عبره ولا يسمح للمادة المذابة التي نريد التخلص منها بالنفاذ عبره وهذا الانتقال بالتناضح (Osmotic flow) يمكن تقليل كميته جريانه إذا طبقنا ضغطاً متزايداً في طرف المحلول المركز . وإذا استمر هذا الضغط في الزيادة فإن انتقال المذيب سيستمر بالتناقص حتى الحد الذي تصل فيه قيمة الضغط المطبق إلى ما يسمى بفرق الضغط الأسموزي $(\Delta\pi)$. وعندها يتوقف انتقال الماء النقي (المذيب) من طرف الماء النقي إلى طرف المحلول المركز ، ولو زاد الضغط في طرف المحلول المركز بحيث تصبح قيمته أكبر من فرق الضغط الأسموزي $(\Delta P > \Delta\pi)$ فإن انتقال المذيب ينعكس اتجاهه فيصبح من جهة المحلول المركز إلى جهة الماء النقي كما في الشكل (6-16) .



الشكل (6-16)

ولهذا فإن تعبير التناضح العكسي يطلق على تلك العملية التي يستخدم فيها فرق الضغط لإحداث انتقال مذيب من طرف المحلول المركز عبر غشاء نصف نفوذ إلى طرف المحلول المخفف . وقد أثبتت هذه الطريقة كفاءتها في تحلية الماء قليل الملوحة (Brackish water) .

6 - 13 - 4 - الضغط الأسموزي :

يعرف الضغط الأسموزي لمحلول مائي بأنه الضغط المطلوب تطبيقه على محلول ما إذا كان منفصلاً عن ماء نقي - في ظروف قياسية من درجة الحرارة والضغط - بواسطة غشاء مثالي نصف نفوذ حتى يتم اتزان المحلول على جانبي الغشاء بدون أي انتقال للمذيب (الماء) عبر الغشاء . إن قيمة هذا الضغط الأسموزي - ويرمز له (π) هي خاصية بكل محلول وتعتمد بصورة مباشرة على تركيز المواد المنحلة في المحلول وعلى درجة حرارة العملية والضغط . ويمكن اشتقاق علاقة الضغط الأسموزي لمحلول مائي منفصل عن ماء نقي بواسطة غشاء نصف نفوذ كما مبين في الشكلين (6-15) و (6-16) كما يلي :

إذا تساوى الضغط (P) على جانبي الغشاء في المحلول والماء النقي فإن جزءاً من الماء النقي سينتقل من طرف الماء النقي إلى طرف المحلول ويكون الجهد المسبب لهذا الانتقال هو الجهد الكيميائي للماء النقي الذي يرمز له (μ_w^0) . فإذا زاد الضغط في طرف المحلول عن القيمة (P) فإن الجهد الكيميائي للماء في المحلول يزيد وبالتالي يقل فرق الجهد عبر الغشاء ويقل انتقال الماء بالتناضح عبره . ويقف هذا الانتقال بالتناضح تماماً عندما يصل الضغط المطبق في طرف المحلول إلى قيمة تساوي إلى ($P + \pi$) . وعند هذا الحد يتساوى الجهد الكيميائي للماء النقي مع الجهد الكيميائي لماء المحلول من الناحية الأخرى من الغشاء . وعندما يزيد الضغط المطبق على المحلول عن القيمة ($P + \pi$) فإن الجهد الكيميائي لماء المحلول يزيد عنه في الماء النقي وبذلك ينعكس اتجاه انتقال الماء (المذيب) بالتناضح ويصبح هذا الانتقال من ناحية المحلول إلى طرف الماء النقي . ويمثل الجهد الكيميائي للماء في المحلول عند ضغط (P) ودرجة حرارة (T) وتركيز ماء في المحلول (Xw) بالمعادلة الآتية :

$$\mu_w(P, T, X_w) = \mu_w^0(P, T) + RT \ln X_w \quad (22 - 6)$$

حيث : μ_w^0 : الجهد الكيميائي للماء النقي عند درجة حرارة (T) وضغط (P) .

Xw : تركيز الماء في المحلول ويعطى بالعلاقة :

$$X_w = \frac{n_w}{n_w + n_s} \quad (23 - 6)$$

حيث : n_w : عدد جزيئات الماء ، n_s : عدد جزيئات الملح المنحل في الماء .

$$T = 492 + \frac{9}{5} C^\circ$$

$$T = 460 + F^\circ$$

وبالتالي يكون تركيز الملح في المحلول هو (Xs) :

$$(24-6) \quad X_s = \frac{n_s}{n_w + n_s} = 1 - \frac{n_w}{n_w + n_s} = 1 - X_w$$

ويلاحظ أن الحد (Ln Xw) هو ذو قيمة سالبة ، وبذلك يكون الجهد الكيميائي لماء المحلول (μ_w) أقل من الجهد الكيميائي للماء النقي (μ_w^0) عند نفس القيم لـ (T و P) حيث في الماء النقي يكون (Xw) مساوياً إلى الواحد ويكون اللغارتم النبري له (Ln Xw) مساوياً للصفر . ويمكن التعبير عن التفاضل الكلي للجهد الكيميائي للماء النقي (μ_w^0) باعتباره معتمداً على متغيرين هما (T و P) بالمعادلة الآتية :

$$(25-6) \quad d\mu_w^0 = \left. \frac{\partial \mu_w^0}{\partial T} \right|_P dT + \left. \frac{\partial \mu_w^0}{\partial P} \right|_T dP$$

وفي العمليات التي تتم بدرجة حرارة ثابتة (isothermal) تكون dT=0 ومن ذلك فإنه عند تساوي درجات الحرارة يكون :

$$(26-6) \quad d\mu_w^0 = \left. \frac{\partial \mu_w^0}{\partial P} \right|_T dP$$

$$(27-6) \quad d\mu_w^0 = V_w dP$$

حيث : V_w : هو الحجم النوعي للماء (الحجم لكل جزيء) وهو حسب قاعدة ماكسويل يساوي إلى تفاضل الجهد الكيميائي بالنسبة إلى الضغط عند درجة حرارة ثابتة . إن تكامل العلاقة (27-6) بين الحدين p و p + Δp يعطي :

$$(28-6) \quad \Delta\mu_w^0 = \int_p^{p+\Delta p} V_w dP = V_w \Delta p$$

وذلك باعتبار أن الماء مائع لا انضغاطي و (V_w) ثابتة تقريباً .

إن المعادلة (28-6) يمكن استعمالها للتعبير عن الجهد الكيميائي للماء في المحلول عند ضغط (p+Δp) كما يلي :

$$(29-6) \quad \mu_w(p+\Delta p, T, X_w) = \mu_w^0(p+\Delta p, T) + RT \ln X_w$$

$$(30-6) \quad \mu_w(p+\Delta p, T, X_w) = \mu_w^0(p, T) + V_w \Delta p + RT \ln X_w$$

ومن تعريف الضغط الاسموزي ، فإن الجهد الكيميائي للماء النقي μ_w^0 عند الضغط (p) الذي هو $\mu_w^0(p, T)$ يتساوى مع الجهد الكيميائي للماء في المحلول عند ضغط مساو إلى p + π أي أن :

$$(31-6) \quad \mu_w(p + \pi, T, X_w) = \mu_w^0(p, T)$$

فإذا أخذت Δp مساوية إلى π في المعادلة (30-6) فإن :

$$V_w \pi = - R T \ln X_w$$

$$(32-6) \quad) = - RT \ln (1 - X_s)$$

وعندما تكون قيمة X_s أقل بكثير من الواحد فيمكن اعتبار :

$$(33-6) \quad) \quad \ln (1 - X_s) = - X_s$$

ومنه تكون :

$$(34-6) \quad) \quad V_w \pi = R T X_s$$

ويكون :

$$(35-6) \quad) \quad \pi = \frac{RT}{V_w} \frac{n_s}{n_s + n_w} = \frac{RTn_s}{V}$$

حيث (V) هي الحجم الكلي ويساوي إلى الحجم الجزئي (V_w) مضروباً بعدد الجزيئات الكلية ($n_s + n_w$) .

فإذا كان (C_s) هو تركيز الأملاح بالجزيئات في واحدة الحجم فإن : $C_s = \frac{n_s}{V}$

$$(36-6) \quad) \quad \pi = R T C_s$$

ويمكن تطبيق هذه النتيجة إذا كان الغشاء نصف النفوذ يفصل بين محلولين مختلفي التركيز أحدهما أعلى تركيزاً وتركيزه ($C's$) والآخر أقل تركيزاً وتركيزه ($C''s$) لنفس الملح المذاب وبذلك يمكن التعبير عن الفرق في الضغط الأسموزي ($\Delta\pi$) لهذين المحلولين بالمعادلة :

$$(37-6) \quad) \quad \Delta\pi = \pi' - \pi'' = R T (C's - C''s) = R T \Delta C_s$$

إن المعادلات من (6-22) إلى (6-36) تنطبق على المحاليل المثالية ، أما بالنسبة إلى المحاليل غير

المثالية فإن المعادلات (6-36) و (6-37) تكون تقريبية . وللحصول على تعبير أدق للضغط

الأسموزي للحالة المنحرفة عن الحالة المثالية فيمكننا أن نستخدم معادلة فان هوف كالاتي :

$$(38-6) \quad) \quad \pi = \phi R T C_s$$

حيث يسمى ϕ معامل التناضح وعادة ما يكون أقل من الواحد .

ويلاحظ أن المعادلة (6-38) تؤدي إلى المعادلة (6-36) إذا كانت قيمة معامل التناضح (ϕ) مساوية

إلى الواحد . وقد وجد أن قيم (π) التي يتم قياسها عادة ما تكون أقل من المعطاة بالمعادلة (6-36)

بحوالي (5 - 15 %).

وهناك بعض المعادلات التجريبية المستعملة لإيجاد الضغط الأسموزي لمحلول كلور الصوديوم مثل

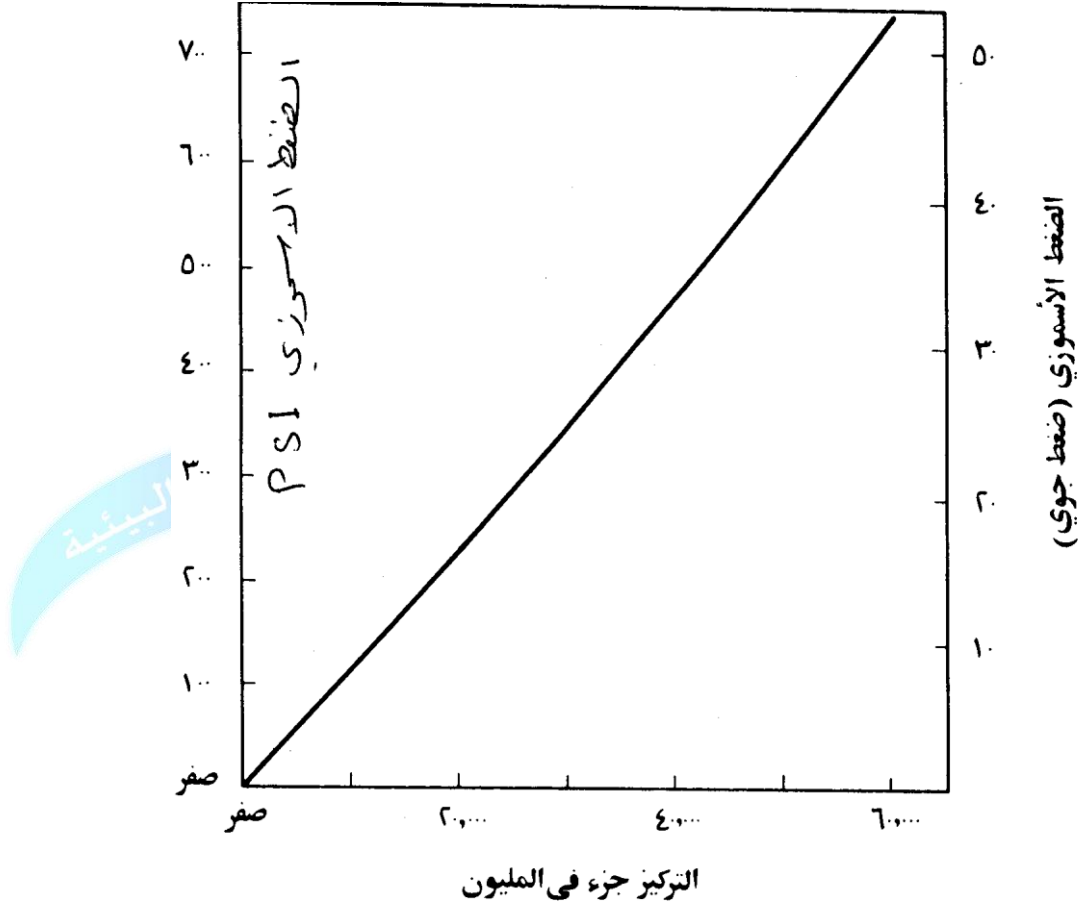
:

$$(39 - 6)$$

$$\pi = 1.24 C_{cl} + 0.0045 C_{cl}.t$$

حيث (π) هو الضغط الأسموزي بواحدات ضغط جوي ، (C_{cl}) تركيز الكلورايد بواحدات (g/Kg) ، t درجة الحرارة بالدرجات المئوية .

ويلاحظ أن الحد الثاني من المعادلة (39-6) هو صغير جداً مما يعني أن الضغط الأسموزي تتناسب قيمته مباشرة مع تركيز الكلورايد في المحلول .



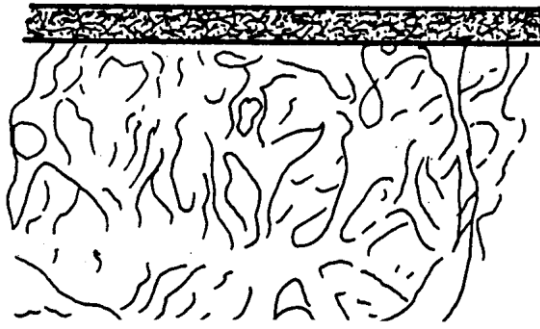
الشكل (6-17)

العلاقة بين تركيز محلول كلورايد الصوديوم والضغط الأسموزي

وقد أعطى الشكل (6-17) الضغط الأسموزي لمحلول كلورايد الصوديوم بدلالة تركيزه في الماء .

6 - 13 - 5 - تصنيع أغشية التناضح العكسي :

بدأ في عام 1960 تصنيع أغشية التناضح العكسي من مادة اس يلفت السيليلوز غير المتماثل ، وأطلق على الغشاء كلمة غير المتماثل بسبب وجود قشرة حدية على السطح كثافتها أعلى بكثير من بدن الغشاء المسامي الذي يليها ، وتم استعمال هذه الأغشية في عمليات التناضح العكسي بسبب قدرتها العالية على إنفاذ الماء خلالها وعدم إنفاذها الكبير للأملاح .

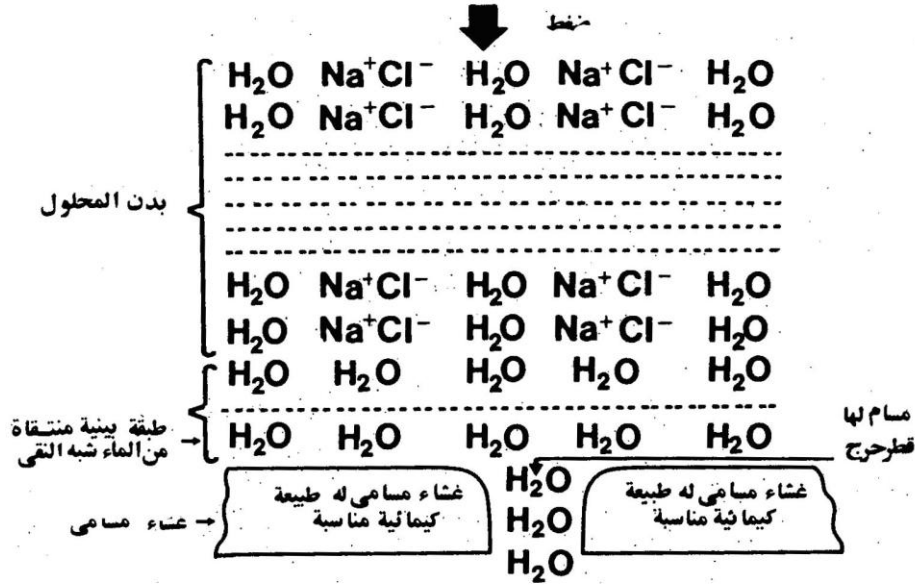


الشكل (6-18)

وهذا الغشاء يتكون من قشرة سطحية سماكتها (0.25) ميكرون ، وهي تكون عند الناحية التي تعرضت للجو عند صب الغشاء وهذه الطبقة السطحية تكون كثافتها البوليميرية عالية جداً وذلك نتيجة لفقد المذيب (الأستون) السريع بعد صب الغشاء . يتبع هذه الطبقة السطحية طبقة مسامية اسفنجية سمكها يتراوح بين (50) وبين (100) ميكرون ويوجد بين هاتين الطبقتين طبقة متوسطة السماكة تعرف بأنها طبقة انتقالية .

6 - 13 - 6 - الجريان عبر أغشية التناضح العكسي :

- تفسر طبيعة عمل الغشاء بما يسمى بالجريان بالامتصاص الانتقائي بالخاصة الشعرية كما يأتي:
- 1 - إن التركيب الكيميائي لسطح الغشاء له طبيعة انتقائية تسمح بامتصاص الماء ورفض الأملاح .
 - 2 - إن السطح يحتوي على مسام ذات مقاس مناسب تسمح باستمرار سحب طبقة ماء بينية منتقاة للمرور في الغشاء ، وموجودة بصفة دائمة على سطح الغشاء . وإن قطر هذه المسام هو الذي يحدد مدى قدرة الغشاء على فصل الأملاح . وقد وجد أن القطر القياسي للمسام يساوي إلى ضعف سماكة الطبقة البينية للماء النقي على سطح الغشاء .



الشكل (6-19)

البنية المسامية المنفذة للماء في غشاء التناضح العكسي

3 - يلزم وجود أكبر عدد ممكن من المسام ذات المقاس المناسب وتكون متصلة بمسام أكبر في بدن الغشاء تحت السطح وذلك لتقليل المقاومة للتدفق المخفف بعد مروره من طبقة السطح .

6 - 13 - 7 - نظرية الانتقال في أغشية التناضح العكسي :

إن الطريقة التي يتم بها انتقال الماء عبر أغشية التناضح العكسي غير مفهومة تماماً وأغلب الظن أن كلاً من الماء وبعض الأملاح تنتقل بالفعل عبر الغشاء نتيجة الانسياب بالانتشار والانسياب اللزج . ويعتمد نوع الانسياب (انتشارياً أو لزجاً) على مقياس الجزيئات النافذة في الغشاء ومقياس الفجوات الشعرية في هذا الغشاء فإذا كان قطر الفجوات الشعرية كبيراً جداً بالمقارنة مع قطر الجزيء المنتقل فإن الانسياب يكون انسياباً لزجاً ، أما إذا كان قطر الفجوات الشعرية مقارباً لمقاسات الجزيئات المارة فإن الانسياب يكون انتشارياً ، وإذا كان قطر الفجوات أكبر نوعاً ما من مقاس الجزيئات فيكون الانسياب انتشارياً ولزجاً في نفس الوقت وسنعطي هنا تحليل الانسياب المتجانس بالانتشار للوندسال .

6 - 13 - 8 - تحليل الانسياب المتجانس المطلق للوندسال :

في هذا التحليل تفترض تسهياً عدة فروض أهمها :

- 1 - إن الغشاء نصف منفذ ومثالي .
- 2 - ينفذ الماء خلال الغشاء بالانتشار .
- 3 - يعتمد الجهد الكيميائي للماء على تركيزه في المحلول .

4 - يعتمد معدل التدفق على معدل تغير الجهد الكيميائي وبالتالي معدل التغير في التركيز عبر الغشاء ، ولهذا يمكن تطبيق قانون فيك للانتشار .

5 - مدى نفاذية الغشاء وسمكه لا يتأثران بالضغط ويمكن اعتبارهما ثابتين خلال عملية التناضح العكسي .

يعطي فيك معدل التدفق لوحدة المساحة من الغشاء في عملية التناضح العكسي بالعلاقة :

$$\bar{J}_w = -\bar{D}_w \frac{d\bar{C}_w}{dx} \quad (40-6)$$

حيث : J_w هو معدل التدفق لوحدة المساحة من الغشاء بوحدة غ/سم² أو بوحدة جزئي غرامي/سم² .

D_w : معامل الانتشار للماء بوحدة سم²/ثا .

C_w : هو تركيز الماء في الغشاء بوحدة غ/سم³ أو جزئي غرامي /سم³ .

x : هي المسافة المقاسة عمودياً على سطح الغشاء .

- : تعني قيمة العامل المذكور تحتها داخل الغشاء .

إن العلاقة المباشرة بين الجهد الكيميائي (μ_w) للماء والكسر الجزئي للماء X_w هي :

$$\mu_w = \mu_w^0 + R T \ln X_w \quad (22-6)$$

الثابت العام للغازات



درجة الحرارة كلفن

بالاشتقاق :

$$\frac{d\mu_w}{dx} = \frac{RT}{X_w} \frac{dX_w}{dx} \quad (41-6)$$

أو :

$$\frac{d\mu_w}{dx} = RT \frac{1}{C_w} \frac{dC_w}{dx}$$

أي أن :

$$\bar{J}_w = -\bar{D}_w \frac{\bar{C}_w}{RT} \frac{d\bar{\mu}_w}{dx} \quad (42-6)$$

حيث $\bar{\mu}_w$: هو الجهد الكيميائي للماء داخل الغشاء .

ويمكن تقريب معدل تدرج الجهد الكيميائي $\frac{d\mu_w}{dx}$ عندما يكون مدى تغير (μ_w) صغيراً بالمعادلة .

$$(43-6) \quad \frac{d\mu_w}{dx} = \frac{\Delta\mu_w}{\Delta x}$$

حيث : $\Delta\mu_w$: هو فرق الجهد عبر الغشاء .

وبما أن (μ_w) تعتمد على درجة الحرارة (T) والضغط (p) والكسر الجزيئي للماء (X_w) أو درجة التركيز ، فإنه يمكن التعبير عن الفرق في الجهد عبر الغشاء على النحو التالي :

$$(44-6) \quad \Delta\mu_w = \int \left. \frac{\partial\mu_w}{\partial C_w} \right|_{P,T} dC_w + \int \left. \frac{\partial\mu_w}{\partial p} \right|_{T,C_w} dP + \int \left. \frac{\partial\mu_w}{\partial T} \right|_{P,C_w} dT$$

فإذا كانت عملية التناضح العكسي تتم عند درجة حرارة ثابتة $dT=0$ وكانت :

$$(45-6) \quad V_w = \frac{\partial\mu_w}{\partial p}$$

فإن :

$$(46-6) \quad \Delta\mu_w = \int \left. \frac{\partial\mu_w}{\partial C_w} \right|_{P,T} d\bar{C}_w + V_w \Delta p$$

ومن تعريف فرق الضغط الأسموزي فإن $(\Delta\mu_w)$ تساوي صفراً عندما يكون $\Delta p = \Delta\pi$ ومنه يكون :

$$(47-6) \quad 0 = \int \left. \frac{\partial\mu_w}{\partial C_w} \right|_{P,T} d\bar{C}_w + V_w \Delta\pi$$

ويكون بالطرح :

$$\Delta\mu_w = V_w \Delta p - V_w \Delta\pi$$

$$(48-6) \quad \Delta\mu_w = V_w (\Delta p - \Delta\pi)$$

ولكن لدينا :

$$\bar{J}_w = -\bar{D}_w \frac{d\bar{C}_w}{dx}$$

بالتعويض : (48-6) و (42-6) و (43-6) .

$$\bar{J}_w = \frac{\bar{D}_w \bar{C}_w V_w}{RT\Delta x} (\Delta p - \Delta\pi)$$

$$(49-6) \quad \bar{J}_w = A(\Delta p - \Delta\pi)$$

و (A) هنا هو عامل التناسب بين معدل التدفق $\bar{J}_w$ وفرق الجهد المؤثر لنفاذ الماء عبر الغشاء (الضغط) ويسمى معامل نفاذية الماء . ومن المعادلتين الأخيرتين يتضح أن (A) يتناسب تناسباً عكسياً مع سمك الغشاء المؤثر . كما يعتمد على تركيز الماء في الغشاء $\bar{C}_w$ ومعامل انتشار الماء في الغشاء $\bar{D}_w$ ودرجة الحرارة .

أما بالنسبة لنفاذية الأملاح فقد اقترح كلارك أن بعض الأملاح تتدفق عبر الغشاء نتيجة لوجود فرق تركيز للأملاح عبر الغشاء وبوساطة الانتشار وأن قانون فيك للانتشار يمكن تطبيقه كما يلي :

$$(50-6) \quad \bar{J}_s = -\bar{D}_s \frac{d\bar{C}_s}{dx} = \bar{D}_s \frac{\Delta\bar{C}_s}{\Delta x}$$

حيث : $\bar{D}_s$ معامل انتشار الأملاح في الغشاء .

$\bar{C}_s$ تركيز الأملاح داخل الغشاء .

$\bar{J}_s$ معدل تدفق الملح عبر الغشاء مقسوماً على مساحة الغشاء .

هذا ويمكن تعريف معامل توزيع الأملاح (K) الذي يربط بين قيم فرق تركيز الأملاح داخل الغشاء والفرق بين تركيز الأملاح في المحلول على طرفي الغشاء كالآتي :

$$(51-6) \quad K = \frac{\Delta C_s}{\Delta \bar{C}_s}$$

حيث : C_s تركيز الملح بالغرام على السنتيمتر المكعب من المحلول .

$\bar{C}_s$ تركيز الملح (غ/سم³) في الغشاء .

وبالتالي يكون :

$$\bar{J}_s = \frac{\bar{D}_s}{K} \frac{\Delta C_s}{\Delta x}$$

$$(52-6) \quad \bar{J}_s = B \Delta C_s$$

حيث : B يسمى معامل نفاذية الأملاح ويساوي إلى $\bar{D}_s / K \Delta x$. وتتراوح قيمته في غشاء اس يلكت السليلوز من 10⁻⁸ إلى 10⁻¹⁰ .

ΔC_s : هو فرق تركيز الأملاح في المحاليل على جانبي الغشاء .

بالإضافة إلى فكرة انتقال الأملاح بالانتشار خلال الغشاء فلقد افترض في بعض الأبحاث أن يكون انتقال الأملاح عبر الغشاء نتيجة للجريان الهيدروديناميكي لجزء من المحلول خلال المسام الكبيرة للغشاء .

ومن المفروض أنه إذا وجدت قيم لكل من (A) و (B) لغشاء معين فإن ذلك يكون كافياً من الناحية العملية لمعرفة أداء هذا الغشاء .

كذلك يعرف مدى رفض الغشاء لجريان الأملاح فيه (SR) بالمعادلة :

$$(53-6) \quad SR = \frac{C'_s - C''_s}{C'_s} = 1 - \frac{C''_s}{C'_s}$$

حيث $C's$ و $C''s$ هما تركيز الأملاح من طرف جريان المحلول المركز إلى الغشاء وطرف جريان المحلول المخفف على الغشاء على التوالي : ويمكن كتابة العلاقة بين J_s و J_w بالشكل :

$$\bar{J}_s = \bar{J}_w C_s''$$

ومنه :

$$(54-6) \quad SR = 1 - \frac{\bar{J}_s}{\bar{J}_w C_s'}$$

$$(55-6) \quad SR = 1 - \frac{\bar{D}_s \Delta C_s}{K \Delta x} \frac{RT \Delta x}{\bar{D}_w \bar{C}_w V_w} \frac{1}{(\Delta p - \Delta \pi)} \frac{1}{C_s'}$$

$$SR = 1 - \frac{\bar{D}_s RT}{K \bar{D}_w \bar{C}_w V_w (\Delta p - \Delta \pi)} \frac{\Delta C_s}{C_s'}$$

$$(56-6) \quad \frac{1}{SR} = 1 + \frac{\bar{D}_s (RT)}{\bar{D}_w \bar{C}_w V_w (\Delta p - \Delta \pi) K}$$

وتبين المعادلة الأخيرة أن مدى رفض الغشاء لمرور الأملاح لا يعتمد على سمك الغشاء وأن (SR) تزيد بزيادة فرق الضغط (Δp) وهذا ينطبق على الأغشية المثالية ، أما الأغشية الحقيقية فقد دلت التجارب على اختلاف أدائها عن هذا التوقع .

6 - 14 - إزالة الجزيئات بواسطة عمليات التطويف :

إن التطويف هو العملية التي تزال فيها المعلقات ذات الجاذبية النوعية الأقل من الوسط المعلقة فيه بتركها تطوف إلى السطح حيث تزال بالكشط . في معظم الاستعمالات فإن الجاذبية النوعية للمواد المعلقة تحفض صناعياً بالالتصاق إلى فقاعات غاز . وهذا الأمر يمكن هذه العملية من الاستعمال على نطاق واسع من المواد الصلبة التي تكون جاذبيتها النوعية هي أكبر بقليل من تلك للوسط المعلقة فيه .

إن فقاعات الغاز المطلوبة لتؤثر على تطويف المواد الصلبة يمكن الحصول عليها بعدد من الطرق بما في ذلك الوسائل الإلكتروليتية (electrolytic) وبالسحير المنشط انفرغياً للغازات المنحلة ، وبوساطة حقن الهواء خلال ناشرات مغمورة ، وبطريقة حل الهواء تحت ضغط مرتفع في جزء من التدفق ومن ثم تحريره بشكل فقاعات ناعمة بإنقاص الضغط حتى مستوى الضغط الجوي . هذه الطريقة الأخيرة لتوليد الفقاعات هي المفضلة في تطبيقات المياه الصناعية حيث تعرف العملية بعملية تطويف الهواء المنحل (DAF) .

هذه العملية قد طبقت منذ فترة طويلة وخاصة في المناجم ومصافي التكرير من أجل عزل مادتين عن بعضهما . ولأجل المنافع المذكورة أعلاه فإن هذه العملية يمكن أن تستعمل لمعالجة مياه الشرب

ومياه المجاري بدلاً من الترسيب في الحالات التي تكون فيها سرعة الترسيب منخفضة . إن الاستعمالات الخاصة لهذه العملية هي :

- 1 - إزالة ألياف الورق من مياه صرف مطحنة وعجينة الورق .
- 2 - إزالة الزيوت والشحوم والمواد الأخرى المشابهة من مياه الصرف مثل مياه تصنيع الأغذية ومياه مصافي التكرير ومياه المغاسل .
- 3 - لتكرير الفلزات المعدنية في صناعات المناجم .
- 4 - لتنقية المياه المعالجة كيميائياً للحصول على مياه الشرب .
- 5 - لزيادة تركيز حمأة مياه المجاري .

6 - 14 - 1 - تطويف المعلقات :

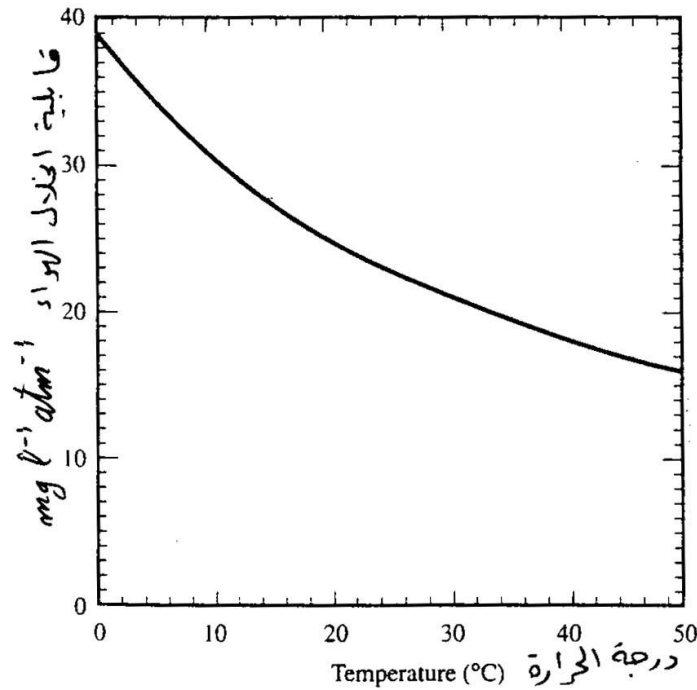
إن تحليل سرعة الترسيب يكون خاطئاً في حالة المعلقات التي تكون جاذبيتها النوعية أقل من الوسط المعلق لها . حيث أنها ترتفع بدلاً من ترسيبها . وإن علاقات سرعة الترسيب يمكن استعمالها لسرعة الصعود ، لكن العلاقة التي ستستعمل تتبع ما إذا كانت حركة الجزيء هي حرة أو معاقة ، وحيثما يكون طفو معلق هو محفز صناعياً بوساطة التصاق فقاعات هواء فإن هذه الحالة هي نوعاً ما أكثر تعقيداً لأن الفقاعات تزداد حجماً مع ارتفاعها إلى السطح .

إن قابلية انحلال الهواء في الماء $Cs(a)$ هي متناسبة خطياً مع ضغطه حسب قانون هنري :

$$Cs(a) = Ha.P \quad (6 - 57)$$

حيث Ha هي عامل انحلال قانون هنري $(\text{mg} \ell^{-1} \text{atm}^{-1})$ الذي يعتمد على درجة الحرارة .
 P هو الضغط المطلق بواحدات ضغط جوي (atm) .

إن قابلية انحلال الهواء المبينة في العلاقة (6 - 57) يمكن تطبيقها بشكل جيد بالنسبة لأغلب أنواع المياه الصناعية وبالتالي فإن قيمة (H) يمكن أن تتحول من نوع مياه صناعية إلى نوع آخر وهي دائماً أقل منها بالنسبة للماء النقي ويعطي الشكل (6-20) معلومات عن تركيز الاشباع للهواء في الماء النقي عند قيمة الضغط الجوي وبدرجات حرارة تتراوح بين (0) وبين (50°C) .



الشكل (6-20)

قابلية انحلال الهواء في الماء عند ضغط مقداره (1) ضغط جوي

إن كمية الهواء (Cr) الذي يتحرر من محلول بوحدة حجم التدفق المضغوط عندما يهبط الضغط من قيمة P (atm) إلى الضغط الجوي يمكن حسابها من العلاقة :

$$Cr = Ha(KP - 1) \quad (6 - 58)$$

حيث : K هي حصة الاشباع الذي حصلنا عليه عند الضغط المطلق المرتفع P (atm) .
إن الكمية الحقيقية للهواء المتحرر في الحال سوف تكون أقل نوعاً ما من القيمة النظرية لأننا نحتاج إلى بعض الوقت للوصول إلى حالة التوازن .

6 - 14 - 2 - تحديد النسبة التصميمية للهواء إلى المواد الصلبة :

إن الكمية الأصغرية للهواء المطلوب لتطويف معلق هي تلك التي سوف تنتج كثافة
هواء - مادة صلبة أخفض من تلك التي هي للسائل المعلقة فيه (ρ) :

$$\rho_c = \frac{(V_a \rho_a + V_s \rho_s)}{(V_a + V_s)} \quad (6-59)$$

حيث : V_a حجم الهواء الملتصق بجزء ذي حجم V_s .
ρ_a و ρ_s الكثافة للهواء والجزء بالتالي .

إن نسبة الهواء المرافق إلى كتلة الجزء هي :

$$\frac{\text{هواء}}{\text{مادة صلبة}} = \frac{a}{S} = \frac{V_a \rho_a}{V_s \rho_s} \quad (6 - 60)$$

$$(61-6) \quad \rho_c = \frac{(1 + a/s)}{(1/\rho_s + 1/\rho_a \cdot a/s)}$$

وبما أن الجزيء المركب من مادة صلبة وهواء سوف يرتفع إلى الأعلى إذا كان $(\rho_c < \rho)$ فإن القيمة الأصغرى للنسبة (a/s) المطلوبة ليتم التطويف يمكن الحصول عليها بوضع $(\rho_c = \rho)$ في العلاقة (6-61) وبالتالي نحصل على :

$$(62-6) \quad \left(\frac{a}{s}\right)_{\min} = \frac{(1 - \rho / \rho_s)}{(\rho / \rho_a - 1)}$$

إن نسبة الهواء إلى المادة الصلبة هي من أهم العوامل في عملية تصميم نظام التطويف ويفضل أن تحدد تجريبياً باستعمال خلية تطويف .

6 - 14 - 3 - تقديم الهواء :

يقدم الهواء إلى المعلق بشكل فقاعات منتشرة بشكل ناعم عبر نافث هواء أو يمكن أن يجرر الهواء من السائل باستعمال الانفراغ أو تقنية خفض الضغط . يشبع المعلق بالهواء تحت الضغط الجوي وهذا الهواء يتحرر من المحلول عندما يصبح المعلق في الظروف الانفراغية في خلية التطويف . ومن مساوئ طريقة الإفراغ أن كمية الهواء المتوفر تكون محدودة جداً .

يمكن أيضاً أن نستعمل جزءاً منقى من التدفق الخارج أو ماءً نقياً بحيث نشبعه جزئياً بالهواء تحت الضغط المرتفع (4 - 6 atm) . إن تدفق الضغط المرتفع هذا يمزج بعد ذلك مع التدفق الداخل إلى عملية التطويف عند مدخل حوض التطويف . وتحت ظروف انخفاض الضغط فإن فائض الهواء يتحرر من المحلول بشكل فقاعات ناعمة تميل لأن تتجمع عند سطوح جزيئات المواد العالقة . إن طريقة الضغط هي الأكثر استعمالاً في تطبيقات معالجة مياه الشرب . بعد أن نكون قد اخترنا نسبة (a/s) فإننا نحصل على المعدل المطلوب للتدفق المضغوط (QP) من العلاقة :

$$(63-6) \quad Qp = \frac{(a/s)QC}{Cr}$$

حيث : C تركيز المواد الصلبة العالقة في التدفق الداخل .

بإدخال قيمة Cr من العلاقة (6 - 58) نحصل على العلاقة :

(64-6)

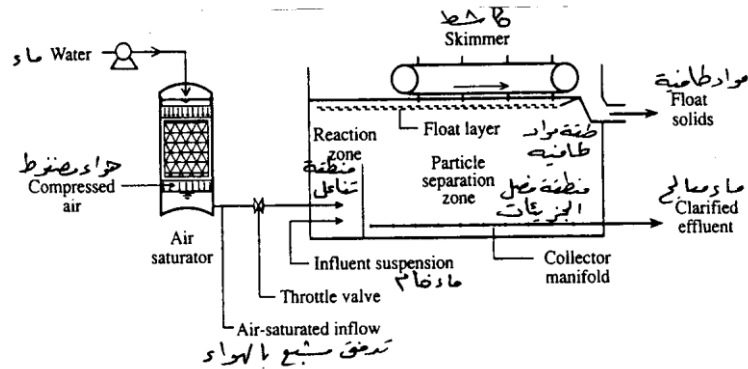
$$Qp = \frac{(a/s)QC}{Ha(KP - 1)}$$

6 - 14 - 4 - مساعدات التطويف :

إن الكثير من المياه الصناعية القابلة للتنقية بالتطويف هي غروانية بطبيعتها مثل مستحلبات الزيت وعجينة ونفايات الورق ونفايات العمليات الغذائية (نفايات الأطعمة) ومن أجل أفضل النتائج فإن نفايات كهذه يجب أن تعرض للترويب قبل تطويفها . وتستعمل المواد ذات السطوح الفعالة (surfactants) غالباً في عمليات تطويف مياه صناعات المعادن وفلزاتها وذلك لإنقاص الشد السطحي للسائل ولإظهار رغوة مستقرة تستطيع أن تحتجز الجزيئات المرفوعة ضمنها .

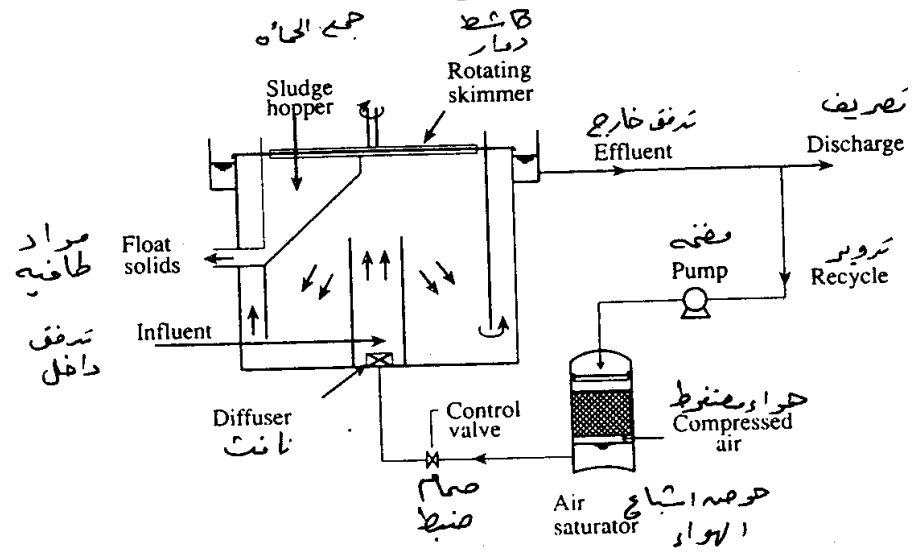
6 - 14 - 5 - تصميم أنظمة التطويف :

إن العناصر الأساسية في نظام تطويف هي حوض إشباع الهواء وحوض التطويف والشكل (6-21) يوضح حوضاً للتطويف بشكل متوازي المستطيلات والشكل (6-22) يوضح حوضاً دائري المسقط . يمكن أن يكون حوض الإشباع في الهواء بشكل عمود كما هي مبين في الشكلين (6-21) و (6-22) . حوضا الإشباع يعملان بشكل نموذجي تحت ضغط يتراوح بين (4 atm و 6 atm) مصممان للحصول على إشباع يصل إلى (90%) . إن الأنبوب الذي يوصل حوض الإشباع بحوض التطويف مجهز بفوهات خاصة تسبب تغيراً متدرجاً بالضغط بين الوحدتين وحدة الإشباع ووحدة التطويف . إن هذا الهبوط المفاجيء في الضغط عبر الفوهات ينتج عنه تحرير فوري للهواء المنحل الذي يصبح بحالة فوق الإشباع بشكل فقاعات ناعمة جداً أبعادها أقل (100 µm) كما هو مفضل .



الشكل (6-21)

نظام تطويف ذو حوض مستطيل



الشكل (6-22)

نظام تطويف ذو حوض تطويف دائري

إن حوض التطويف يشمل منطقة تفاعل أو منطقة مزج يحصل فيها جلب الجزيئات إلى تيارات الفقاعات الناعمة وبالتالي تتشكل تكتلات من الجزيئات والفقاعات ويشمل أيضاً منطقة تطويف . إن منطقة التفاعل هي حجرة منعزلة أمام منطقة التطويف كما هو مبين في الشكلين (6-21) و (6-22) .

إن منطقة التطويف تصمم على نفس أسس تصميم أحواض الترسيب أي على أساس سرعة ارتفاع المواد الصلبة إلى أعلى ومدة البقاء في حوض التطويف .
إن الاستعمالين الرئيسيين لعملية التطويف هما :

- 1 - تنقية المياه التي جرى ترويبها كيميائياً لإنتاج مياه الشرب وخاصة في المياه المحملة بالطحالب.
- 2 - من أجل تكثيف الحمأة المنشطة .

الجدول (6-9)

العامل	الواحدة	معالجة مياه الشرب	تكثيف الحمأة المنشطة
معدل التحميل السطحي لمنطقة التفاعل	m h-1	40 – 100	100 – 200
مدة البقاء في منطقة التفاعل	min	1 – 4	0.5 – 2
النسبة هواء – مواد صلبة			0.02 – 0.04
تحرير الهواء	mg l-1	6 – 8	
سرعة التدفق المستعرض	m h-1	20 – 100	50 – 200
معدل التحميل السطحي في منطقة التطويف	m h-1	5 – 11	

التحميل الصلب في منطقة التطويف	Kg m ⁻² h ⁻¹		2 – 6* و 12 ∇
عمق الجدار الجانبي لمنطقة التطويف	m	1.5 – 3.0	2.0 – 4.0

* بدون مادة مروية .

∇ مع مادة مروية

إن العوامل التصميمية المستعملة في الحياة العملية من أجل تنقية مياه الشرب ومن أجل تكثيف الحمأة هي مبينة في الجدول (6-9) .

6 - 14 - 6 - مقارنة التطويف مع الترسيب :

إن عملية التطويف هي عملياً ملائمة لتنقية المياه السطحية المروية كيميائياً والتي هي ذات عكارة ضعيفة ولها تركيز طحالب واضح ، إن التطويف هو غير ملائم للمياه ذات العكارة العالية 100 NTU< (وحدات عكارة نفلومترية) . من أجل أنواع كثيرة من مصادر مياه الشرب التي تحتوي على تركيز كاف من المواد العضوية الطبيعية ذات المصدر البشري فإن جزيئات كارهة للماء تنتج مع المروبات المعدنية ولا حاجة هناك لاستعمال البولي الكتروليتات كمساعدات ترويب . إن الطبيعة الكارهة للماء لجزيئات الندف تساعد على التصاق فقاعات الهواء . إن متطلبات الترويب المسبق للتطويف تختلف عن تلك التي هي من أجل الترسيب . من أجل التطويف فإنه من المفضل أن تنتج ندفاً قوية صغيرة (حجم جزيئاتها 10 – 30 μm) ، بينما يتطلب الترسيب جزيئات كبيرة ترسب بسرعة .

إن محسنات التطويف تشمل ما يأتي :

- 1 - إن المواد الصلبة القابلة للتسريب والقابلة للطفو يمكن أن تزال في نفس الوحدة .
- 2 - تكون معدلات التنقية مرتفعة مما يؤدي إلى حجوم أحواض أصغر .
- 3 - تنتج حمأة أكثر تركيزاً .
- 4 - إن تأثيرات الأكسدة تنقص مشكلة الرائحة .
- 5 - في استعمالات التنقية يتطلب حجوم ندف أصغر وبالتالي فإن استعمال البولي الكتروليتات لتحفيز الندف غير ضروري .

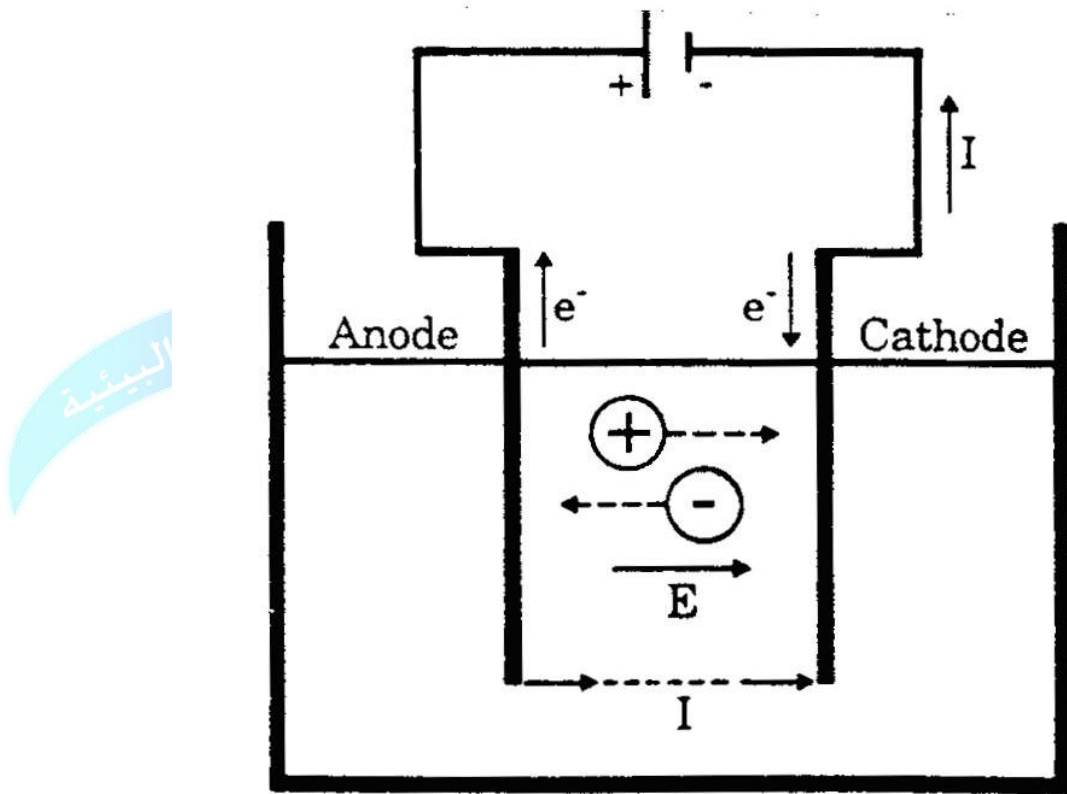
إن مساوئ التطويف الملاحظة هي :

- 1 - إن نوعية التدفق الخارج من ناحية كمية المواد الصلبة يمكن أن لا تكون من نفس جودة الترسيب الثقالي .
- 2 - إن هذا النظام هو أكثر كلفة من ناحية التشغيل والصيانة من نظام الترسيب الثقالي .

6 - 15 - التحليل الكهربائي :

6 - 15 - 1 - مبدأ التحليل الكهربائي :

إن تطبيق اختلاف في الجهد ذي قيمة كافية بين قطبين مغمورين في محلول يحتوي على شوارد ينتج عنه حقل كهربائي تبدأ فيه الشوارد بالحركة حيث تتحرك الشوارد الموجبة (الكاتيونات) باتجاه الكاثود (القطب السالب) وتتحرك الشوارد السالبة (الأنيونات) باتجاه الأنود (القطب الموجب) كما في الشكل (6-23) .



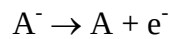
كاثود أنود

الشكل (6-23)

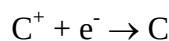
مبدأ التحليل الكهربائي

عندما يكون اختلاف الجهد كافياً تحصل التفاعلات الآتية عند سطح التماس بين القطب والمحلول الحاوي على الشوارد :

عند الأنود تحصل أكسدة مع فقدان الإلكترونات :



عند الكاثود يحصل إرجاع مع ربح الإلكترونات :



6 - 15 - 2 - علاقة نرنست :

عندما نغمر قطبين في محلول يحتوي على شوارد مع تيار كهربائي ضعيف جداً يأخذ الالكترود قوة محرّكة كهربائية (voltage) مقدارها (E_0) . هذه القوة المحركة تعرف بجهد التوازن (equilibrium Potential) وتتبع علاقة نرنست :

$$E_o = E_o^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{A_{ox}}{A_{red}}$$

حيث :

E_o^0 : جهد التوازن للالكترود في الظروف النظامية (عندما تكون فعالية المواد المؤكسدة والمرجعة مساوية إلى الواحد) .

R : ثابت الغازات المثالية .

F : ثابت فاراداي .

T : درجة الحرارة المطلقة .

n : عدد الالكترونات المنطلقة خلال العملية الالكتروكيميائية .

A_{ox} : فعالية المواد المؤكسدة .

A_{red} : فعالية المواد المرجعة .

إن الفعالية يمكن أن تمثل بالتركيز في المحاليل المثالية . وإن جهود (E_0) و (E_o^0) يعبر عنها بالنسبة إلى الالكترود المرجعي، وعادة هو الكترود الهيدروجين النظامي .

يعطي الجدول (6-9) جهود التوازن النظامية لعدد من الروابط الالكتروكيميائية في درجة حرارة (25°C) مقاسة بالنسبة إلى الكترود الهيدروجين النظامي .

الجدول (6-10)

سلم نرنست لجهود التوازن النظامية

المعدن	تفاعلات الالكترود	جهد التوازن (فولت) (E_o^0)
المغنزيوم	$\text{Mg} = \text{Mg}^{2+} + 2e^-$	- 2.34
البيريليوم	$\text{Be} = \text{Be}^{2+} + 2e^-$	- 1.70

الألمنيوم	$Al = Al^{3+} + 3e^{-}$	- 1.67
المغنيز	$Mn = Mn^{2+} + 2e^{-}$	- 1.05
الزنك	$Zn = Zn^{2+} + 2e^{-}$	- 0.76
الكروم	$Cr = Cr^{3+} + 3e^{-}$	- 0.71
الحديد	$Fe = Fe^{2+} + 2e^{-}$	- 0.44
النيكل	$Ni = Ni^{2+} + 2e^{-}$	- 0.25
الرصاص	$Pb = Pb^{2+} + 2e^{-}$	- 0.13
الهيدروجين	$H_2 = 2H^{+} + 2e^{-}$	- 0.00
		by convention
النحاس	$Cu = Cu^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.34
النحاس	$Cu = Cu^{+} + e^{-}$	+ 0.52
الفضة	$Ag = Ag^{+} + e^{-}$	+ 0.80
البلاتين	$Pt = Pt^{2+} + 2e^{-}$	1.2
الذهب	$Au = Au^{3+} + 3e^{-}$	1.42

6 - 15 - 3 - القوة المحركة الكهربائية للتحليل الكهربائي وقانون فاراداي :

في العمليات العادية لخلية كهربائية فإن القوة المحركة الكهربائية V (Voltage) تتبع قانوناً من الشكل :

$$V = (E_o + \eta)_{\text{anode}} - (E_o - \eta)_{\text{cathode}} - rI$$

حيث :

E_o : جهد التوازن (equilibrium potential) للالكترودات .

η : زيادة القوة المحركة الكهربائية (overvoltage) للالكترودات .

rI : الضياع الأومي تبعاً لمقاومة المحلول الحاوي على الشوارد .

إن العلاقة التي تربط كمية الكهرباء المارة عبر الخلية الكهربائية إلى وفرة التفاعلات التي تتم على السطوح

الفاصلة بين المحلول الحاوي على الشوارد وبين الالكترودات تدعى بعلاقة فاراداي والتي هي من الشكل

:

$$W = \frac{itM}{n^{\circ}F}$$

حيث :

W : وزن المواد التي تدخل في التفاعل في واحدة السطح من الالكترود (g/cm^2) .

i : كثافة التيار الكهربائي (أمبير/سم²) .

t : زمن عملية التحليل الكهربائي .

M : الوزن الجزيئي (غرام/الجزيء الغرامي) .

n° : عدد المكافئات الغرامية الالكتروكيميائية لكل جزيء غرامي من المواد المتفاعلة .

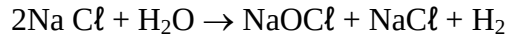
$\bar{F}$: ثابت فاراداي .

6 - 15 - 4 - تطبيقات التحليل الكهربائي في الحياة العملية :

6 - 15 - 4 - 1 - الكلورة الكهربائية :

تتضمن الكلورة الكهربائية صناعة محلول ممدد من هيبوكلوريت الصوديوم في الموقع انطلاقاً من محلول كلور الصوديوم (ماء البحر أو المحلول الملحي) .

يمكن أن نلخص تشكل الهيبوكلوريت من الكلور بالتفاعل الالكتروكيميائي الإجمالي الآتي :

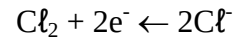
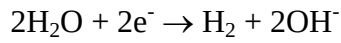


الأنود الموصول

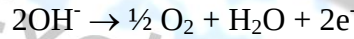
إلى القطب الموجب من مولد

إلى القطب السالب من مولد

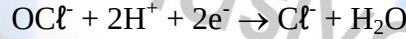
إلى القطب الموجب من مولد



كذلك يحصل كتفاعلات جانبية هجرة وأكسدة جذر (OH⁻) عند الأنود بالمعادلة :



كما يحصل إرجاع لجذر (OCl⁻) عند الكاثود :



كذلك يحصل تشكل للهيدروكسيدات وبشكل خاص هيدروكسيد المغنيزيوم :



وبشكل عام فإن هيبوكلوريت الصوديوم تملك قوة مؤكسدة شديدة ومتبقية تحفز تحطيم المواد العضوية، ومن ثم فهي مادة مؤكسدة مثالية في مجال معالجة مياه الشرب . وإن توليد هذه المادة في الموقع بطريقة الكلورة الكهربائية يخلصنا من مشكلات تخزين الكلور.

وقد طورت الكلورة الكهربائية بشكل مبدئي من أجل حماية أنظمة التبريد العائدة لمحطات الطاقة الكهربائية الموجودة على شواطئ البحار أو المعامل التي تستعمل ماء البحر لمنع تكاثر الطحالب والرخويات .

إن استهلاك الطاقة في وحدة بحجم واقعي هو حوالي (4) كيلو واط لكل كيلو مكافئ من الكلور المنتج ، ويكون تركيز محلول الهيبوكلوريت المنتج هو (1 - 3) مكافئ لكل لتر .

6 - 15 - 4 - 2 - الترويب الكهربائي :

إن هذه العملية الالكتروكيميائية التي استعملت لمعالجة بعض أنواع مياه الصرف نتج عنها بشكل أساسي عملية ترويب بالعمليات الآتية :

1 - إيجاد حقل كهربائي بين قطبين ، هذا الحقل يحفز التصادم بين الشوارد ذات الشحنات المختلفة الموجودة في الماء الداخل إلى المعالجة .

2 - تحرير شوارد معدنية تساهم في عملية الترويب، مثل شوارد: الألمنيوم وشوارد الحديد، وذلك عندما ينحل الأنود . وهذه الشوارد تشكل هيدروكسيدات تمكن من تشكيل الندف .

إن استهلاك الطاقة في هذه العملية يتغير تبعاً لنوعية المياه المعالجة ولكنه بشكل عام يتراوح بين (2 - 4) كيلو واط لكل متر مكعب من الماء المعالج .

6 - 15 - 4 - 3 - التطويف الكهربائي:

إن التطويف الكهربائي هو التكنولوجيا التي يتم فيها إنتاج فقاعات من (H_2) و (O_2) بتحليل المياه باستعمال أقطاب ملائمة . إن الأنود هو ذو حساسية عالية للحت، والكاثود هو ذو قابلية للاكتساء بقشور الكربونات المزالة من السائل، وعندما نحتاج إلى حماية للأنودات فإنه يمكن أن نستعمل التيتانيوم المغلف .

إنه ليس من الممكن أن نعكس الالكترودات بشكل دوري من أجل التنظيف الذاتي، لذلك فمن المفضل أن نجري معالجة كيميائية أولية للماء، أو أن نجري كشطاً للقشور المترسبة على الكاثودات بشكل دوري .

إن كثافة التيار المستعمل هي (80 - 90) أمبير /ساعة لكل متر مربع من سطح وحدة التطويف . ويكون إنتاج الغاز هو محدود (50 - 60) ليتر في الساعة لكل متر مربع من سطح وحدة التطويف وتكون سرعة الصعود الممكنة أقل منها في حالة تطويف الهواء المضغوط وذلك بسبب طبيعة الفقاعات المتوفرة وطريقة الحصول على هذه الفقاعات .

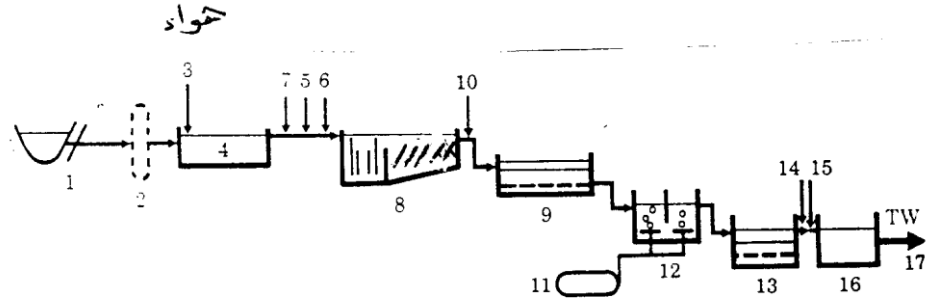
6 - 16 - إزالة الأمونيوم :

إن الأمونيوم يمكن أن يزال من الماء إما بالعمليات الفيزيائية الكيميائية أو بالعمليات البيولوجية .

6 - 16 - 1 - العمليات الفيزيائية - الكيميائية لإزالة الأمونيوم :

في الفصل العائد لعمليات تعقيم المياه لاحظنا أثر الكلور على الأمونيوم الذي يمكن أن يزال عندما تصل جرعة الكلور المقدمة إلى أعلى من نقطة التكسير . وتحت هذه الظروف فإن منتجات أخرى مختلفة (مثل المركبات الكلورة العضوية والهالوجينات 00 وغيرها) يمكن أن تظهر . وهي غير

مرغوبة في مياه الشرب . ولهذا فإن تكنولوجيا استعمال الكلور لإزالة الأمونيوم يمكن أن تكون ملائمة فقط عندما تكون كمية المواد الطبيعية لمشكلات الكلوروفورم وأمثاله هي ذات قيمة دنيا ، مثل المياه ذات التركيز المنخفض للكربون العضوي ، أو عندما يكون استعمال الكلور عند نهاية خط منشأة المعالجة بعد أن تكون المياه قد تمت تنقيتها كما في الشكل (6-24) .



الشكل (6-24)

حيث ذذبندو على هذا الشكل منشأة لمعالجة مياه شرب ذات تدفق مقداره ($1.06 \text{ m}^3/\text{sec}$) وفي هذا الشكل يعبر الرقم (1) عن عمليات التصفية في هذه المنشأة و (2) عن المصافي الدقيقة (1.5mm) و (3) عن الإضافة البدائية للهواء و (4) حوض تجميع وتهوية بدائية و (5) و (6) و (7) و (10) إضافة المروبات ومساعدات الترويب وبودرة الكربون المنشط لاستعمالها في حالات التلوث المفاجئ . أما (8) فهو مرسب الصفائح المائلة ذو سرعة الترسيب المقاربة لـ $(6.3 \times 10^{-3} \text{ m/sec})$ أما (9) فهو عبارة عن ستة مرشحات ذات معدل ترشيح $(3.6 \times 10^{-3} \text{ m/sec})$ أما (11) و (12) فهما توليد الأوزون وإضافته ويمثل (13) ستة مرشحات كربون حبيبي و (14) هو إضافة (NaOH) لتعديل (PH) عند اللزوم أما (15) فهو إضافة الكلور و (16) هو خزان تماس لمدة بقاء ساعتين أي بسعة (7600 m^3) ثم (17) هو توزيع المياه إلى المدينة .

وبشكل عام فإن باقي العناصر المؤكسدة (مثل الأوزون وثاني أكسيد الكلور والكورامين وبرمنغنات البوتاسيوم KMnO_4) غير فعالة في إزالة الأمونيوم .

إن التبادل الأيوني عبر الزيوليت الطبيعي أو عبر الكلينبيتوليت قد نصح به في بعض الأحيان ولكن الكلفة كانت كبيرة جداً .

6 - 16 - 2 - الإزالة البيولوجية للأمونيوم :

6 - 16 - 2 - 1 - شروط الاستعمال :

إن الظروف المطلوبة لهذه الإزالة هي تطوير البكتريا التي تؤكسد بيولوجيا الأمونيوم إلى نترات ثم نترات ويشترط ما يلي :

١ . تأمين كمية كافية من الأكسجين لأكسدة (NH_4) إلى (NO_3) .

٢ . إضافة أو وجود الفوسفور لدعم النمو البكتري .

٣. تأمين تركيز كافٍ من البيكربونات لإمداد البكتريا ذاتية التغذية بالكربون الضروري لتطورها .
 ٤. تأمين (PH) ملائمة أكبر من (7.5) .
 ٥. تأمين مواد داعمة .
 ٦. تأمين درجة حرارة عالية بشكل كافٍ . حيث أنه في حرارة تحت (10°C) فإن أيض البكتريا سيتناقص بشكل سريع ، وستتباطأ أكسدة الأمونيوم وإنتاج النتريت وستتوقف هذه الأمور بشكل كامل في درجة حرارة أقل من (4°C).
 ٧. عدم وجود أي كمية من المواد المعقمة في الماء .
- وإن الظروف الحقيقية لاستعمال هذه المعالجة تتغير بشكل أساسي تبعاً لنوع الدعم المستعمل لإنماء هذه البكتريا وتبعاً للاتجاه الذي عبره ينفذ الماء المعالج خلال هذا الدعم .

6 - 2 - 2 - 16 - 2 - مرشحات البزولان (البزولان هو صخر سيليكوني بركاني الأصل) :

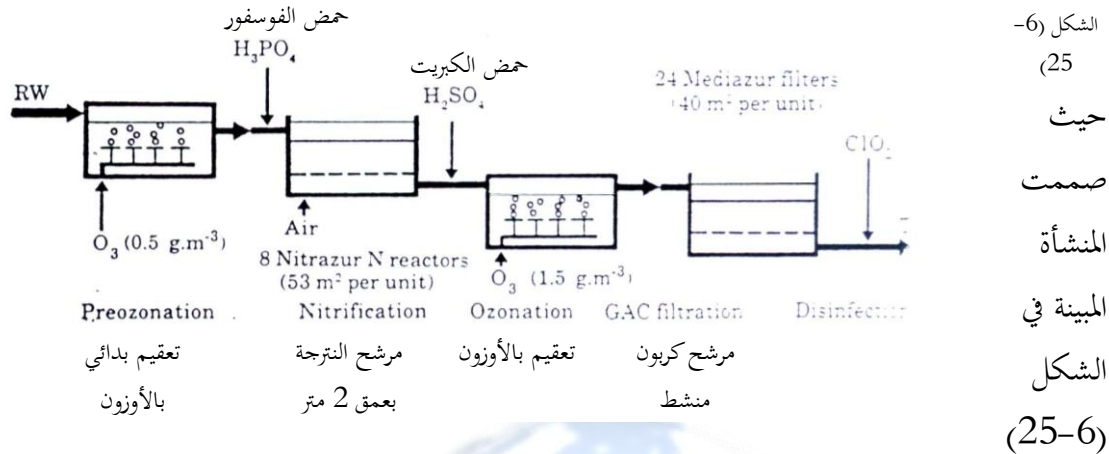
في أكثر دول العالم فإن البزولان هي مادة رخيصة حيث تستعمل بأقطار كبيرة نوعاً ما ($1\text{cm} <$) وبالتالي فإن ضياعات الحمولة أثناء التشغيل هي قليلة ولكن في نفس الوقت فإنه من المستحيل عملياً أن نغسل مادة الترشيح داخل المرشح حالما يصل الانسداد إلى مستوى متعارض مع التشغيل الصحيح لوحدة الترجة .

هناك طريقتان تستعملان لغسيل هذا المرشح الأولي النقع الدوري بماء مكلور لحل الملوثات وللحد من تطور البكتريا وتراكم الحمأة البيولوجية . ومن ثم فإن مادة الترشيح تشطف بالماء الخام ، وأثناء فإن الماء الراشح يصرف إلى المجاري لفترة كافية لإعادة بدء تفاعلات إنتاج النتريت والنترات . وبشكل بديل يمكن كل عامين أو ثلاثة أعوام أن تسحب المواد من مرشح الترجة لتأمين غسيل أكثر فعالية ولمنع تراص سرير الترشيح .

ومع أن الترجة البيولوجية تخفض (PH) فإن الهواء المطلوب من أجل التفاعلات البيولوجية يزيل (CO_2)، ومن ثم فإنه يرفع قيمة (PH) وبالتالي فإن الماء المعالج سيكون قابلاً لتشكيل قشور من الترسبات الكلسية على سطوح حبيبات البزولان وبالتالي فإن هذه التكنولوجيا هي قيد الدراسات المكثفة مخبرياً .

6 - 2 - 3 - 16 - 2 - مرشحات البيولايت :

طورت هذه التكنولوجيا من قبل شركة ديغرمون كما في الشكل (6-25) .



لمعالجة تدفق يحتوي على كمية من الأمونيوم مقدارها (5mg/l) حيث تحتوي هذه المنشأة على خزان للماء الخام بسعة (600000m^3) ما هو كافٍ لتشغيل خمسة أيام بالتدفق الأعظمي . ويتم في هذا الخزان تعقيم بدائي بالأوزون بجرعة (0.5mg/l) لمدة تماس مقدارها ثلاث دقائق . وإدخال الأوزون يتم مع تيار من الهواء (توليد الأوزون يعطي تياراً من الهواء المحمل بالأوزون) يساهم هذا الهواء برفع كمية الأكسجين المنحل في الماء من مستوى صفر إلى مستوى (8mg/l) وهنا تتم أكسدة الحديد والمنغنيز . ومن ثم تنقل المياه إلى ثمانية مرشحات للنتجة طول كل منها (10.5m) وعرضه (5m) بمساحة كلية مقدارها (420m^2) ويتم في هذه المرشحات جريان الماء والهواء بتيارين متعاكسين بحيث تتراوح نسبة الهواء إلى الماء بين (0.5) وبين (1) وهنا يمكن أن نضيف حمض الفسفور (Phosphoric acid) بجرعة قد تصل إلى (0.2mg/l) وذلك لتأمين نمو البكتريا المنتجة . في هذا المرشح يصل عمق طبقة الترشيح إلى (2m)، وبعد خروج الماء من هذا المرشح يضاف حمض الكبريت ثم تنقل المياه إلى الأوزنة وقد صممت مرحلة الأوزنة لتحسين صفات الماء من الناحية العضوية ولتخفيف نشاط الفيروسات ولأكسدة الملوثات العضوية قبل إمرارها على مرشحات حببيات الكربون المنشط ، أما مرشحات الكربون المنشط فقد صممت بشكل (24) وحدة ترشيح مساحة كل منها (40m^2) وبمعدل ترشيح (5.3m/h) حيث كان عمق طبقة الكربون المنشط (0.9m) وأخيراً يتم حقن ثاني أكسيد الكلور .

6 - 16 - 3 - المعالجة البيولوجية للماء الحاوي على الأمونيوم والحديد والمنغنيز :

إن الماء الذي نحصل عليه من أعماق كبيرة أو من بعض المستودعات المائية كثيراً ما يحتوي على الأمونيوم والحديد والمنغنيز بالإضافة إلى المواد العضوية . ولمعالجة مياه كهذه يجب أن نأخذ بعين النظر النقاط الآتية :

١. من الضروري في كل مرحلة من المعالجة أن ندقق أن الكمية المتوفرة من الأكسجين وطاقة الإرجاع للوسط هما ملائمتان لمتطلبات كل مادة على حدة .
 ٢. حينما يوجد (Fe) و (NH₄) في آن واحد فإن الأمونيوم يمكن أن يتأكسد غالباً بعد أن يكون الحديد قد أزيل .
 ٣. حينما يوجد (Mn) و (NH₄) في آن واحد ويكون مستوى (NH₄) هو عالياً جداً فإن طاقة الإرجاع للوسط السائل يمكن أن تنخفض إلى مستوى يجعل المنغنيز غير قابل للإزالة وفي حالة كهذه يجب أن نستعمل مرحلتين من المعالجة .
 ٤. المنغنيز هو العنصر الذي يزال بعد الحديد ومن ثم الأمونيوم .
- وعادة فإنه عندما نعالج المياه السطحية للحصول على مياه الشرب في مشروع متكامل فإننا نلاحظ درجة جيدة من النترجة في خزانات الماء الخام وفي المرشحات وفي مرشحات الكربون المنشط .

6 - 17 - إزالة النترات :

إن النترات يمكن أن تزال بالطرق الفيزيائية - الكيميائية أو بالعمليات البيولوجية .

6 - 17 - 1 - العمليات الفيزيائية - الكيميائية لإزالة النترات :

يمكن أن تزال النترات بطرق التناضح العكسي أو التحليل الكهربائي أو التبادل الأيوني . وحتى الآن فإن التبادل الأيوني هو العملية الوحيدة التي تستعمل على أرض الواقع لهذا الهدف وهي العملية الوحيدة التي أخذت كفايتها من الدراسة المخبرية.

6 - 17 - 1 - 1 - الشروط الأساسية للعملية :

إن استعمال التبادل الأيوني لإزالة النترات يجب أن يدقق تبعاً للعديد من العوامل:

١. إن قيمة (SS) للماء الذي يجب معالجته يجب أن تكون أقل من (1mg/l)، وخلافاً لذلك فإن المواد الصلبة العالقة المحبوسة في سرير التبادل الأيوني سوف تؤدي إلى ضياعات حمولة كبيرة وإلى غسيل متكرر للسرير وإلى اهتراء مبكر للرزين .
٢. يجب أن يدقق التركيب الأيوني للماء بصرف النظر عن شوارد (NO₃⁻) إذ أنه عندما يحدد الرزین بکلور الصوديوم فإن الرزین سيحتجز شوارد (SO₄²⁻) وبعض شوارد (HCO₃⁻) ويستبدلها

بشوارد (Cl⁻) . وبالتالي فإن تركيز شوارد (Cl⁻) في الماء المعالج يمكن أن يصبح كبيراً . بعض أنواع الرزينات تقاوم هذه المشكلة بأنها تحتجز النترات في المقام الأول ولكن سعتها التبادلية هي أقل .

٣. يجب أن تؤمن إزالة لمحلول التجديد الذي يحتوي على النترات والكبريتات من الماء الخام بالإضافة إلى جزء من شوارد البيكربونات ونسب عالية من كلور الصوديوم المستعمل للتجديد . ومن المفضل أن تؤمن قناة خاصة لتصريف هذا السائل .

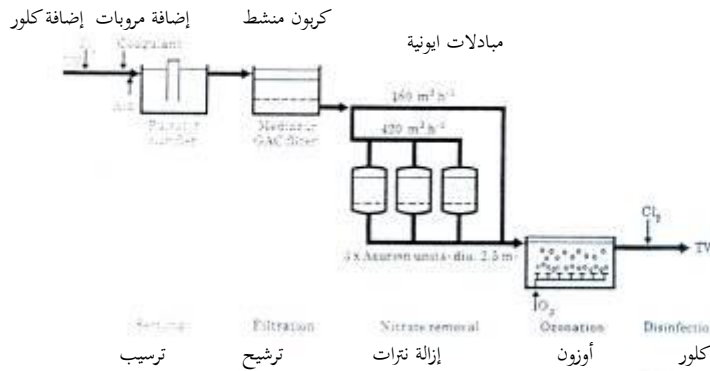
٤. يجب أن ندقق تأثير درجة حرارة الماء المعالج .

ويبين الشكل (6-26) منشأة لإزالة النترات بالتبادل الأيوني ذات تدفق مقداره (0.167m³/sec) حيث مصدر الماء هو المياه السطحية .

يضاف الكلور إلى الماء الخام كما تضاف المواد المروية ومساعدات الترويب بعدها يدخل الماء إلى المروك ذي النبض، ومن ثم إلى مرشحات الكربون المنشط ثم تساق نسبة (70%) من التدفق إلى المبادلات الأيونية المؤلفة من ثلاثة أعمدة قطر كل منها (2.5m) بسرعة جريان مقدارها (7.9 x 10⁻³ m/sec) . ومن ثم يمزج التدفق المعالج مع الجزء غير المعالج ليذهب جميع التدفق إلى الأوزنة ثم إلى التعقيم الإضافي بالكلور .

يتم تجديد المبادل بالتيار المعاكس ويحفظ سائل التجديد المطروح في الفصل الجاف في أحواض قليلة العمق لتجفيفه أما في وقت الأمطار فيضخ سائل التجديد المطروح إلى النهر المجاور .

الشكل (6-26)



6 - 17 -

2 - إزالة

النترات

بالعمليات

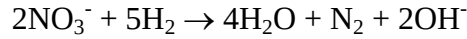
البيولوجية :

6 - 17 -

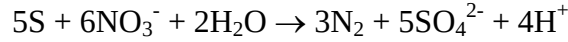
2 - 1 -

الشروط الأساسية للعملية :

هذه التكنولوجيا تستعمل البكتيريا الملتصقة . وقد أجريت البحوث على البكتيريا ذاتية التغذية (autotrophic bacteria) التي تنمو باستعمال الهيدروجين كما في المثال الآتي :



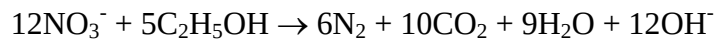
أو على دعم غني أو مَغْنِي بالكبريت :



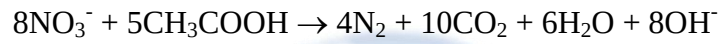
أظهرت النتائج أن العملية باستعمال هذه البكتريا هي بطيئة جداً وتحتاج إلى زمن تماس كبير وبالتالي فإنه من الصعب تطبيقها على المقاس الواقعي .

إن استعمال البكتريا عضوية التغذية (heterotrophic bacteria) التي تستعمل الكربون والنيتروجين لأيضها هو التكنولوجيا الأكثر شيوعاً في هذا المجال . حيث تحصل البكتريا على طاقتها من المغذيات الغنية بالكربون كما في التفاعلات الآتية :

مع الإيثانول :



مع حمض الخل :



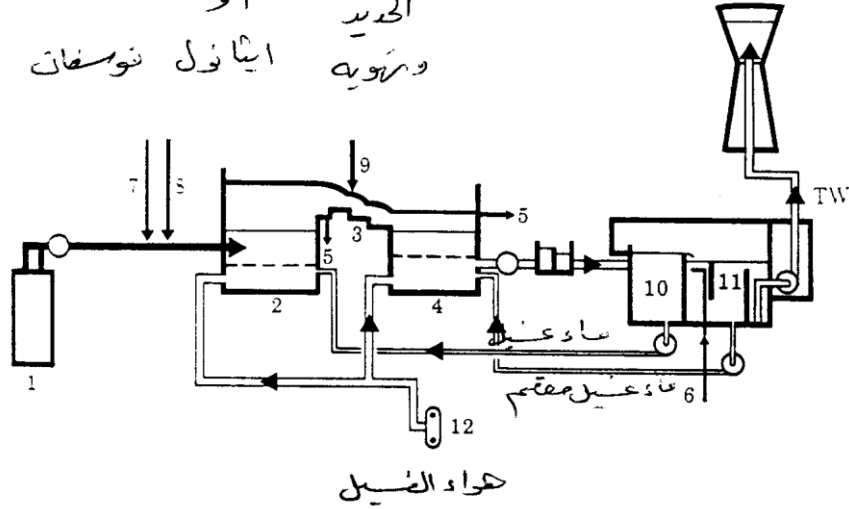
إن المظاهر البارزة لهذه العملية هي ما يلي :

- 1 - نقل النترات إلى نيتروجين غازي .
- 2 - يمكن معالجة الحمأة الناتجة والتي هي فائض الكتلة الحيوية مع حمأة مياه المجاري المنزلية .
- 3 - العملية ذات تأثير ضعيف على التوازن الكربوني للماء .
- 4 - العملية حساسة لتغيرات الحرارة ومن الصعب تطبيقها في درجات حرارة أخفض من (7° - 8°C) .
- 5 - يتطلب التشغيل الأول لها مدة شهر لإتمام نمو البكتريا ، أي أن الشهر الأول من العملية هو غير ذي كفاءة .

6 - 17 - 2 - تجهيزات عملية إزالة النترات بيولوجياً :

يبين الشكل (6-27) منشأة لإزالة النترات بالعملية البيولوجية حيث تتألف المنشأة من مستودع للماء الخام (1) ومن مفاعل بيولوجي (2) يتم فيه الجريان من الأسفل إلى الأعلى بنفس اتجاه النيتروجين المتحرر مما يخفف مشكلة إعاقة الحركة الناتجة عن تصريف الغاز .

ترشيح كلوريد حمض الخل
الحديد أو
دمهوية ايثانول نوسفات



هواء الضيل

الشكل (6-27)

حيث يضاف قبل المفاعل الفوسفات (7) وأي مادة غنية بالكربون (8) كالإيثانول أو حمض الخل . بعد خروج الماء من المفاعل يضاف له مادة مربية مثل كلوريد الحديد (9) ويعرض للتهوية (3) ثم إلى الترشيح (4) ثم إلى خزان الماء غير المعقم (10) ثم إلى خزان الماء المعقم (11) حيث يتم التعقيم بالكلور (6) . يصرف ماء الغسيل عبر (5) ويعطى الهواء عبر (12) . وبشكل عام فإن استعمال الإيثانول كمادة مغذية يفضل على استعمال حمض الخل إذا كان الماء ذا معدنية ضعيفة وذلك لتجنب الهبوط الكبير في قيمة (PH) . يفضل أيضاً استعمال حبيبات الكربون المنشط للترشيح بسبب كفاءته في إزالة المغذيات الكربونية المضافة إلى الماء . يغسل عادة المفاعل البيولوجي بماء غير متعرض للتعقيم، في حين يقدم الكلور للتعقيم في الخزان الثاني . يبين الجدول (6-11) مقارنة بين الإزالة البيولوجية للنترات وإزالة النترات بواسطة التبادل الأيوني .

الجدول (6-10)

عنصر التشغيل	الإزالة البيولوجية للنترات	إزالة النترات بالتبادل الأيوني
الكلفة الابتدائية	أكبر	أقل
كلفة التشغيل	تقريباً متشابهة	تقريباً متشابهة
الناتج	حمأة بيولوجية - لا يوجد ناتج غيرا لأن (NO ₃) تنقل إلى (N ₂)	يوجد ناتج ملحي مركز ، تنتقل (NO ₃) من محلول إلى آخر
التوازن الكربوني	يتأثر قليلاً	يتأثر بشكل كبير .
التشغيل الاتوماتيكي	معقد	سهل
ملوحة الماء الخام	ذات تأثير قليل	لا تستخدم هذه الطريقة إذا وجد في الماء

الكثير من الكلوريدات والكبريتات		
هذه الطريقة حساسة جداً لكمية (SS) في الماء الخام		محتوى الماء الخام من المواد العالقة
أقل تأثيراً	المعالجة غير ممكنة في درجات الحرارة المنخفضة جداً	درجة الحرارة
التشغيل متوازن جداً	يحتاج إلى مراقبة دقيقة	التشغيل

6 - 18 - إزالة الكلوريدات والكبريتات :

إن أكثر ما توجد الكلوريدات والكبريتات في مياه البحار وفي مياه مصبات الأنهار في البحار وهذه يتبع في التعامل معها ما ورد في فصل إزالة ملوحة ماء البحر. أكثر ما يستعمل هو التبخير الومضي متعدد المراحل . أما في حالة التدفقات الصغيرة أو المياه قليلة الملوحة جداً (قليلة المحتوى من الكلوريدات والكبريتات بالنسبة إلى ماء البحر) فإن الترشيع الغشائي هو الحل الأمثل بشكله : الميز الغشائي بالكهرباء أو ما يسمى بالديليزة الكهربائية (Electrodialysis) أو التناضح العكسي (Revers Osmosis) .

- الديليزة الكهربائية هي العملية الملائمة للمياه قليلة الملوحة ، لأن كفاءة الغشاء تهبط بشكل كبير مع زيادة ملوحة الماء وهذه الديليزة ملائمة لماء ملوحتة أقل من (3000mg/l) هذه الملوحة التي يمكن أن تهبط إلى (500mg/l) . وهنا كلما كانت الملوحة أقل نحتاج إلى تيار كهربائي ذي شدة أكبر بسبب زيادة مقاومة الماء الأقل ملوحة للتيار الكهربائي، ولهذا فإن هذه الطريقة لا تستعمل لماء ذي محتوى من المعننية أقل من (500mg/l) . وهي ملائمة من أجل تدفق يومي لا يزيد عن بضعة آلاف من الأمتار المكعبة.

- بالتناضح العكسي نحصل على ماء معالج بملوحة أقل بكثير مما نحصل عليه بالديليزة الكهربائية وإن مستوى ملوحة الماء الخام المقبول لهذه المعالجة هو ذو حدود عريضة .
- يمكن لإزالة الكبريتات أن نستعمل مبادلات أيونية كما هو مستعمل لإزالة النترات .

6 - 19 - إزالة الزرنيخ :

لإزالة الزرنيخ فإنه من المهم أن نؤكسد الزرنيخ ثلاثي التكافؤ AS(III) إلى زرنيخ خماسي التكافؤ AS(V) مثلاً بالكلور بحيث نتأكد أن جميع الزرنيخ قد تمت أكسدته . وإن وجود الحديد (Fe^{2+}) والمنغنيز (Mn^{2+}) والكربون العضوي يؤثر بشكل سلبي على أكسدة الزرنيخ . وبشكل عام يمكن أن نستعمل إحدى العمليات الآتية لإزالة الزرنيخ :

١. الترسيب مع الترويب بوجود مروبات الحديد أو الألمنيوم عند (PH=7) .
٢. إزالة العسرة بطريقة الكلر صودا بحيث نتأكد أن جميع المغنيزيوم قد أزيل فيزال معه الزرنيخ .

٣. الامتزاز على الألومينا المنشطة التي تستعمل لإزالة الفلورايد وبشكل عام فإنه يجب إجراء تجارب مخبرية وحقلية لتحديد أي الطرق أكثر فعالية واقتصادية في حالة المياه المطلوب معالجتها .

6 - 20 - السرير المميع :

يستخدم السرير المميع في وحدات مختلفة من أعمال معالجة المياه منها :

- المفاعلات البيولوجية ذات السرير المميع .
- إزالة العسرة بوساطة التبلور في السرير المميع .
- أفران ومجففات السرير المميع .
- المفاعلات والمرشحات ذات السرير الحبيبي أثناء عملية الغسيل الارتدادي .
- سرير الكربون النشط الحبيبي المميع .

6 - 20 - 1 المعلومات الهيدروليكية عن السرير المميع :

إن جريان الماء في السرير المميع يتم عبر طبقة من الرمل أو أية مادة أخرى (الكربون المنشط أو رزين التبادل الأيوني أو أية مادة بلاستيكية كحبيبات البولي بروبيلين 000) وذلك باتجاه جريان من الأسفل إلى الأعلى بسرعة كافية لتعليق حبيبات حشوة المرشح الحبيبي المصمم للغرض من المعالجة . وإن المقاومة (Z) التي ترافق الجريان الخطي ذا السرعة (V) خلال سرير حبيبي ذي سماكة (Lo) ومسامية (Po) (قبل التميع) ويتألف من حبيبات كروية ذات أقطار موحدة (d) تعطى بعلامة كرمان وكوزني من الشكل :

$$Z = 180 \frac{\nu}{g} \frac{(1-Po)^2}{Po^3} \frac{V}{d^2} Lo$$

حيث :

g - تسارع الثقالة الأرضية .

ν - اللزوجة الحركية للسائل .

فإذا كان عدد رينولد معطى بالعلاقة :

$$Re = \frac{1}{(1-Po)} \frac{Vd}{\nu}$$

فإن علاقة كرمان وكوزني يمكن أن تكتب من الشكل :

$$Z = \frac{360}{Re} \frac{Lo}{d} \frac{1-Po}{Po^3} \frac{V^2}{2g}$$

مما يظهر التناسب العكسي بين (Z) و (Re) الذي هو الأمر النموذجي في الجريان الخطي. هذا الجريان الخطي يكون موجوداً فقط عندما يكون رقم رينولد صغيراً، أقل من حوالي (5) وتكون سرعة الجريان إلى الأعلى صغيرة جداً تقارب (4×10^{-3} m/sec) ولكن عملية تميع السرير الحبيبي تتطلب سرعة أكبر من

هذه قد تصل إلى $(30 \times 10^{-3} \text{ m/sec})$ أو أكثر . وهذا يعني جرياناً يقع في المنطقة الانتقالية بين الخطي والمضطرب .

وفي الجزء الأول من المنطقة الانتقالية ($50 < Re < 5$) فإن ضياع الحمولة (Z) يمكن أن يعطى بالعلاقة :

$$Z = \frac{330}{Re^{0.8}} \frac{Lo}{d} \frac{1-Po}{Po^3} \frac{V^2}{2g}$$

وبتعويض قيمة (Re) يكون :

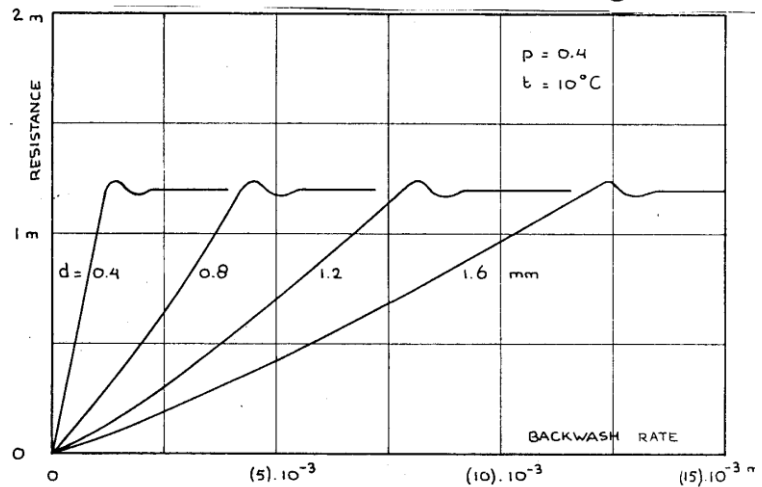
$$Z = 150 \frac{v^{0.8}}{g} \frac{(1-Po)^{1.8}}{Po^3} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}} Lo$$

وإن استعمال هذه العلاقة مبين في الشكل (6-28) وذلك من أجل سرير حبيبي سماكته قبل التميع ($Lo = 1.2$) ومساميته قبل التميع أيضاً هي ($Po = 0.4$) وبأقطار مختلفة لحشوة السرير (d) . وقد رسمت على الشكل العلاقة بين المقاومة (Z) وبين معدل الجريان في السرير المميع الذي يتم من الأسفل إلى الأعلى بدرجة حرارة (10°C) ونلاحظ من الشكل أنه فوق معدل جريان محدد فإن المقاومة ستبقى ثابتة . ويحدث هذا عندما تساوي المقاومة (Z) إلى الوزن المغمور لمادة السرير المميع :

$$\rho_w g z = (1 - \rho_o) Lo (\rho_f - \rho_w) g$$

$$Z = (1 - \rho_o) Lo \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w}$$

حيث ρ_f و ρ_w هي الكثافات الكتلية للماء ومادة السرير المميع على الترتيب ومن أجل حبيبات كروية ذات أحجام واحدة لمادة السرير المميع وعندما تكون هذه المادة هي الرمل (حالة الغسيل الارتدادي للمرشحات الرملية السريعة أو حالة إزالة عسرة الماء في السرير المميع) يكون :



الشكل (6-28)

$$\rho_o = 0.5 \quad \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} = 1.6 \quad Z \cong Lo$$

وفي هذه الحالة تكون المقاومة الأعظمية مساوية تقريباً إلى سماكة السرير قبل التميع. وهذه المقاومة ستكون أعلى عندما تكون مسامية السرير قبل التميع أقل .
إن معدل الجريان (v) الذي يبدأ عنده التمدد بالحدوث يمكن أن نحصل عليه بمساواة قيمتي (Z) المحسوبتين أعلاه :

$$(1 - \rho_o)Lo \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} = 150 \frac{v^{0.8}}{g} \frac{(1 - \rho_o)^{1.8}}{d^{1.8}} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}} Lo$$

وإن زيادة (V) فوق هذه القيمة سوف لا تنتج مقاومة أكبر ولكن سوف تمدد السرير ، مما يزيد المسامية من القيمة (po) إلى القيمة (p) وتزيد سماكة هذا السرير إلى القيمة (L) وهذا يغير العلاقة أعلاه إلى الشكل :

$$(1 - \rho_o)Lo \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} = 150 \frac{v^{0.8}}{g} \frac{(1 - \rho)^{1.8}}{\rho^3} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}} L$$

ومع كمية محددة لحشوة السرير يمكن أن نكتب :

$$(1 - \rho_o)Lo = (1 - P)L$$

$$(1 - \rho)L \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} = 150 \frac{v^{0.8}}{g} \frac{(1 - \rho)^{1.8}}{\rho^3} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}} L$$

ويكون :

$$\frac{\rho^3}{(1 - \rho)^{0.8}} = 150 \frac{v^{0.8}}{g} \frac{\rho_w}{\rho_f - \rho_w} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}}$$

وبتقريب جيد نكتب :

$$\frac{\rho^3}{(1 - \rho)^{0.8}} = 2.63 \rho^{3.6}$$

$$\rho^{3.6} = \frac{150}{2.63} \frac{v^{0.8}}{g} \frac{\rho_w}{\rho_f - \rho_w} \frac{V^{1.2}}{d^{1.8}}$$

$$\rho = 3.07 \frac{v^{1/4.5}}{g^{1/3.6}} \left(\frac{\rho_w}{\rho_f - \rho_w} \right)^{1/3.6} \frac{V^{1/3}}{d^{1/2}}$$

وبشكل عام فإن قيمة اللزوجة (v) كتابع لدرجة الحرارة يمكن أن تعطى من الجدول (6 - 12) .

t °C	0	5	10	15	20	25	30
v x10 ⁶ m ² /sec	1.792	1.519	1.310	1.146	1.011	0.898	0.804

وهذا الجدول يمكن أن يقرب إلى العلاقة :

$$\frac{1}{v^{4.5}} = \frac{1}{(20.2)(0.94 + 0.006 t)}$$

وعندما تكون حشوة السرير المميع هي من الرمل يمكن أن تكتب :

$$\left(\frac{\rho_w}{\rho_f - \rho_w} \right)^{\frac{1}{3.6}} = \left(\frac{1}{1.6} \right)^{\frac{1}{3.6}} = 0.877$$

$$g^{\frac{1}{3.6}} = 1.887$$

بالتعويض نجد :

$$P = \frac{0.07}{(0.94 + 0.006t)} \frac{V^{\frac{1}{3}}}{d^{\frac{1}{2}}}$$

يعبر عادة عن تمدد السرير كنسبة زيادة سماكة السرير عنه في الحالة الساكنة :

$$E = 100 \frac{L - L_o}{L_o} = 100 \left(\frac{L}{L_o} - 1 \right)$$

ولكن لدينا :

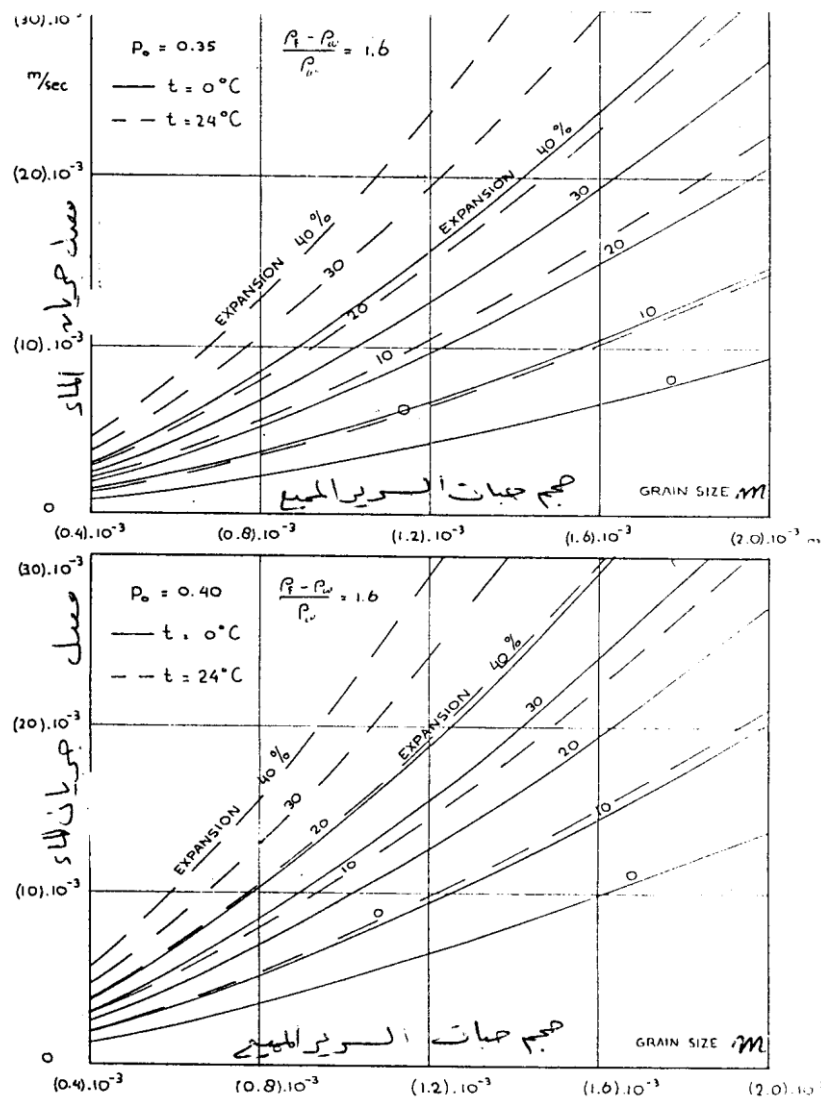
$$(1-P) L = (1-P_o) L_o$$

$$\frac{L}{L_o} = \frac{1 - P_o}{1 - P}$$

$$E = 100 \left(\frac{1 - P_o}{1 - P} - 1 \right)$$

$$E = 100 \frac{1 - P_o}{1 - P} - 1$$

وعندما تكون حشوة السرير هي من الرمل ذي المسامية (0.35) أو (0.4) وفي درجات حرارة (0°C) و (24°C) فإن الشكل (6 - 29) يعطي تمدد السرير كتابع لمعدل جريان الماء في السرير المميع (V) ولحجوم حبيبات هذا السرير (d).



الشكل (6-29)

ويظهر الشكل (6 - 29) التأثير الكبير لدرجة الحرارة على سرعة الجريان اللازمة لتمدد السريرميع وعلى قيمة هذا التمدد .

فمن أجل نفس الكمية من تمدد السريرميع فإن معدل الجريان في السريرميع المميع يجب أن يكون في الصيف أعلى (50%) منه في الشتاء مما يتطلب تجهيزات مرنة لإمداد السريرميع بالماء المعالج يمكن معايرتها بسهولة. كما تملك المسامية الأصلية لحشوة السريرميع (P_o) تأثيراً معتدلاً على عمل السريرميع المميع فمن أجل نفس معدل جريان الماء في السريرميع المميع فإنه من أجل القيم الأقل للأفض للمسامية يزداد حجم المادة في واحدة الحجم من السريرميع مما ينتج عنه تمدد أكبر . وبشكل عام فإن النتائج الحسابية للشكل (6 - 29) هي صحيحة فقط من أجل حبيبات رمل كروية . وعندما تكون حبات السريرميع كلها بنفس الحجم ولكنها ليست ذات شكل كروي فإن تمدد السريرميع عند نفس معدل الجريان يكون أقل عادة ، لأن الحركة الحرة للحبيبات في السريرميع المميع تمكن هذه الحبات من أن تأخذ الوضعية التي تقدم أقل مقاومة لجريان الماء

عبر السرير المميع . هذا التأثير لا يمكن حسابه ولكن يمكن قياسه في سرير تجريبي وبالتالي يمكن أخذه بعين النظر بتعويض القطر (d) بالقيمة (ΦS) حيث (S) هي الفتحة الصافية للمناخل و (Φ) هو عامل تصحيح أكبر من الواحد .
وأيضاً فإنه يفضل أن نستعمل حبيبات لحشوة السرير المميع متجانسة قدر الإمكان .

6 - 20 - 2 - تجهيزات السرير المميع من أجل المعالجة البيولوجية :

ومن أجل تجهيزات السرير المميع في حالة استعماله لعمليات المعالجة البيولوجية فإننا نستعمل مواد للحشوة ذات أقطار صغيرة مما يعطي مساحات سطحية كبيرة تسمح بتثبيت وتطوير كمية كبيرة من الكتلة البكتيرية وبالتالي تعطي إمكانية للحصول على نشاط بكتيري أعلى بكثير مما يمكن أن نحصل عليه من البكتريا الحرة . وإن تطوير البكتريا على سطوح حبيبات حشوة السرير المميع يقود إلى تشكيل غشاء بكتيري على هذه السطوح تكون فعاليته أكبر كلما كانت سماكته أقل . وبالتالي فإن تركيبة حبيبة غشاء تشكل حبيبة جديدة تكون ثقلاتها النوعية أخفض من الثقلات النوعية للحبيبات الأصلية . ومن أجل سرعة صعود للسائل المعالج هي نفسها فإن تمدد حبيبات السرير يزداد مع زيادة سماكة الغشاء البيولوجي حول حبيبة حشوة السرير .

إن التشغيل الصحيح للسرير المميع يعتمد على :

- 1 - التوزيع الصحيح للسائل في قاع المفاعل .
 - 2 - استعمال مواد للحشوة تكون متجانسة قدر الإمكان ومقاومة للاهتراء .
 - 3 - استعمال نظام غسيل ملائم يسمح بتفريغ الحمأة الفائضة مع المحافظة على كمية كافية من البكتريا التي تستطيع أن تعيد تشغيل المفاعل من جديد .
- إن المواد التي يمكن استعمالها كحشوة للسرير المميع المستعمل في المعالجة البيولوجية هي الرمل أو حجر الخفاف أو البيولايت أو غيرها من المواد، والجدول (6 - 13) يعطي سرع التميع من أجل المواد الأكثر شيوعاً .

الجدول (6 - 13)

السرع الدنيا اللازمة لتميع بعض أنواع حشوة السرير المميع في درجة حرارة (20°C)

المادة	الرمل ذو الحبيبات الكروية		البيولايت 2.7mm	الانتراسيت (1.4-2.5mm)		حجر الخفاف
	NES0.55	NES0.95		معالج بالحرارة	طبيعي	
ES mm	0.53	0.95	2.58	1.62	1.16	1.38
V m/h	21	47	125	65	38	37

حيث :

ES – الحجم الفعال المقاس .

NES – الحجم الفعال الاسمي .

6 - 20 - 3-تجهيزات السرير المميع المستعمل لعملية الامتزاز على الكربون المنشط:

هناك ثلاثة أنواع من التجهيزات المستعملة لعملية الامتزاز على الكربون المنشط الحبيبي:

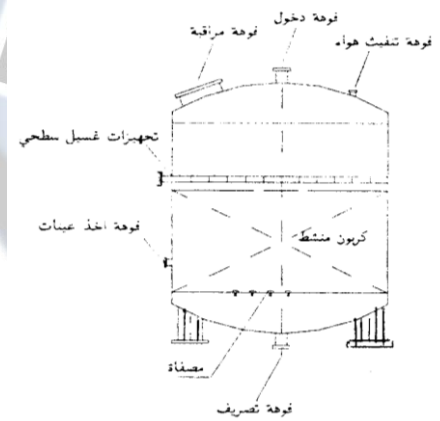
1 – ما يسمى ببرج امتزاز السرير الثابت .

2 – برج امتزاز السرير المميع .

3 – برج امتزاز السرير المميع ذي الطبقات المتعددة ، وبين الجدول (6 - 14) مميزات كل نوع من هذه التجهيزات :

1 – برج امتزاز السرير الثابت (الشكل 6 - 30) :

البرج في هذه الحالة عبارة عن حوض مضغوط من الفولاذ إما أن يكون مبطناً من داخله بإبوكسي القطران أو بالمطاط . إنه من الضروري أن نؤمن غسيلاً ارتدادياً للسرير بشكل دوري كل فترة من الزمن بسبب الارتفاع القصير للسرير وطول المدة التي يمر فيها الماء المصروف عبر السرير .



الشكل (6-30)

وبالتالي يجب أن نترك بعض الارتفاع الفارغ فوق السرير ، وأيضاً يجب أن نجهز السرير بتجهيزات غسيل سطحي بسبب إمكانية تشكل كرات الطين .

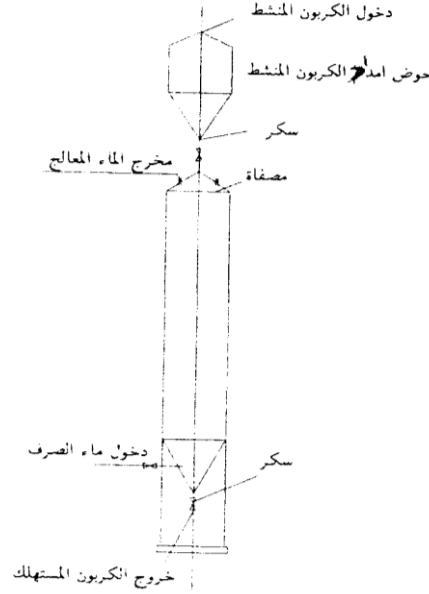
الجدول (6-14)

العنصر المدروس	برج امتزاز السرير الثابت	برج امتزاز السرير المميع (السرير المتحرك)	برج امتزاز السرير المميع ذي الطبقات المتعددة
شكل الكربون	يمكن استعمال أي شكل	يمكن استعمال أي	يفضل استعمال حجوم

المنشط	متوفر علماً بأنه كان الكربون أقسى كلما كان أكثر فعالية	شكل متوفر علماً بأن الأقسى هو الأكثر فعالية .	حبيبات موحدة .
منطقة الامتزاز	البرج القصير هو أكثر فعالية .	البرج الأطول هو أكثر فعالية .	البرج الأطول هو أكثر فعالية .
معدل جريان الماء	لا يوجد معدل جريان صارم	صارم بسبب مساحة قليلة	يكفيه مساحة قليلة
المساحة اللازمة للتركيب	يحتاج إلى مساحة واسعة	يكفيه مساحة قليلة	يكفيه مساحة قليلة
إنشاء البرج	معقد نوعاً ما بسبب الطبقات الاستنادية التي توضع تحت طبقة الكربون	إنشاء البرج بسيط	إنشاء البرج معقد
التفتيش الداخلي للبرج	داخل البرج يمكن أن يفرغ لذلك فهو بسيط	يجب إزالة جميع الكربون المنشط	يجب إزالة جميع الكربون المنشط
الأنابيب والسكورة	كثيرة	قليلة	قليلة
التشغيل الاتوماتيكي	معقد	بسيط	بسيط

2 - برج امتزاز السرير المميع (السرير المتحرك) :

إن برج امتزاز السرير المميع هو شديد الفعالية عندما يكون طول هذا السرير كبيراً حيث تدخل المياه الخام عبر فوهة في القاع وتخرج كماء معالج من مصفاة في أعلى السرير كما في الشكل (6- 31) .



الشكل (6-31)

3 - برج امتزاز السيرير المميع ذي المراحل المتعددة :

يبين الشكل (6-32) برج امتزاز سيرير مميّع متعدد المراحل حيث تشكل صفائح مثقبة فواصل بين المراحل وتجهز هذه الصفائح المثقبة بعدة فوهات . يضاف كربون منشط جديد في حوض الوزن ومنه يغذى معلقاً بماء نقي إلى أعلى البرج بواسطة مضخة ، في حين يغذى الماء الخام من أسفل البرج ثم يتحرك باتجاه الأعلى عبر الصفائح المثقبة . عندما يصبح الماء الخام بتماس مع الكربون المنشط المميّع فإن المواد العضوية الموجودة فيه تُمتص إلى حبيبات الكربون . عندما تتوقف تغذية الماء ويفتح السكر الموجود في الأسفل لإزالة الكربون المنشط المستهلك (القديم) فإن الكربون المنشط يمر إلى القاع مع الماء طبقة بعد طبقة .

الشكل (6-32)

ويبين الشكل

(6 - 33)

مثالاً عن

استعمال

السرير المميع

في معالجة مياه

المصابغ لتدفق

مقداره (3000

m³/day)

باستعمال

الكربون المنشط

ذي الأصل

الفحمي

المجروش حيث

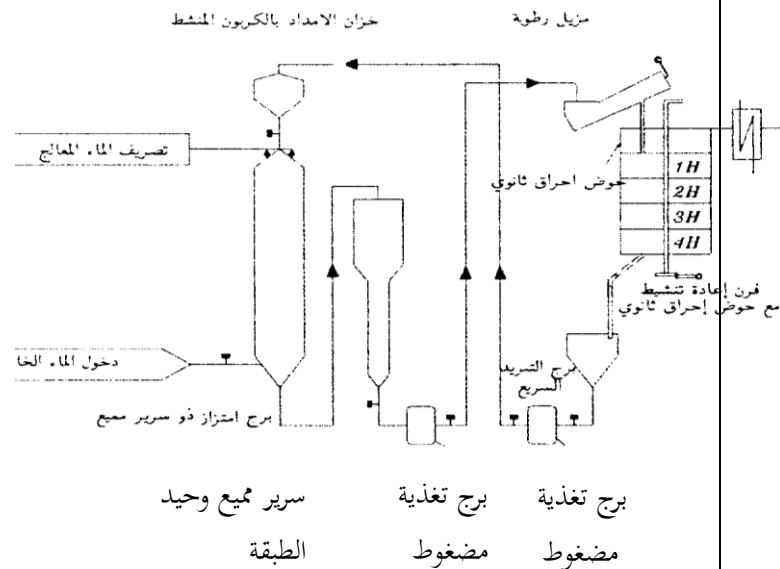
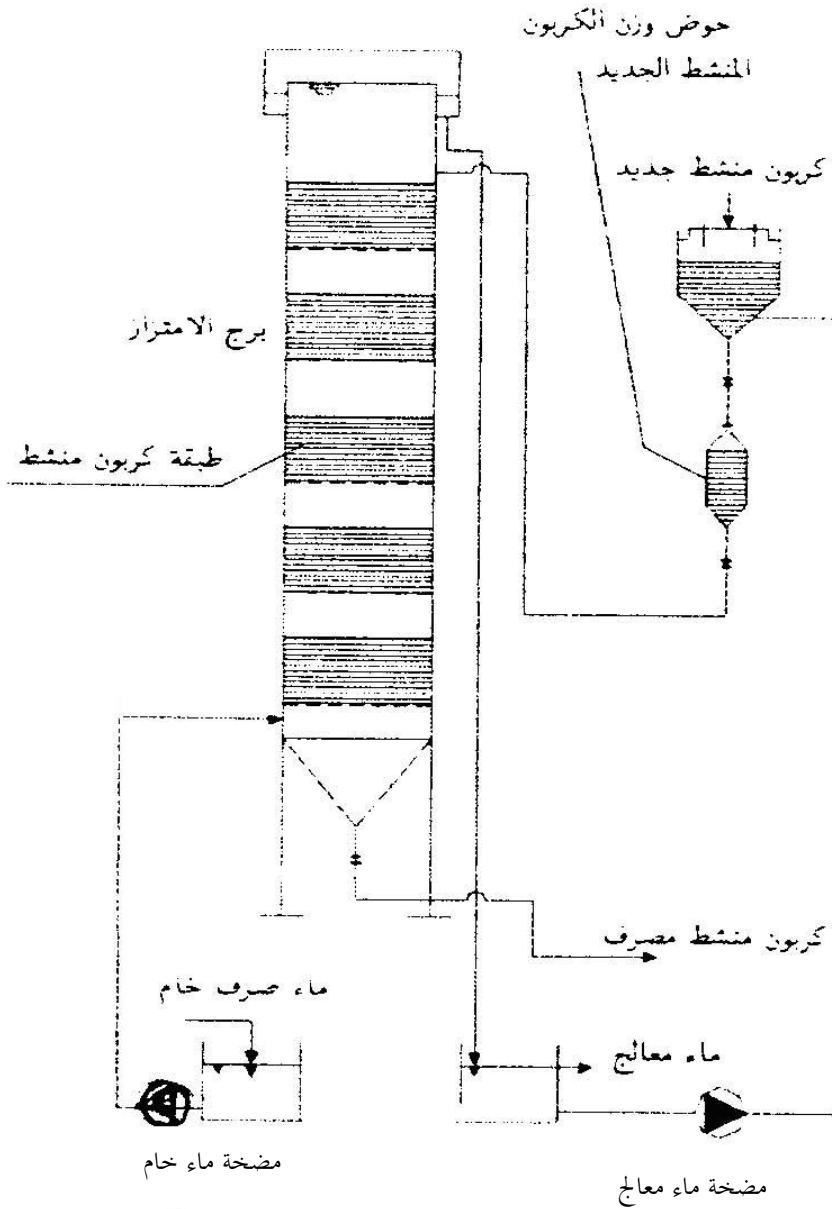
كانت كمية

الكربون المعاد

تنشيطه يومياً

هي (1500

. Kg)



الشكل (6-33)

6 - 21 - التهوية :

تستعمل التهوية في معالجة المياه لتغيير تركيز الغازات المنحلة في الماء وفصل (strip) العضويات القابلة للتطاير ولإنقاص الطعم والرائحة. حيث تتم إزالة الطعم والرائحة بإزالة الغازات المنحلة مثل كبريت الهيدروجين أو الكلور أو بإزالة المواد العضوية القابلة للتطاير .

تتضمن تكنولوجيا التهوية النوافير والشلالات والهواء المنفوث والأطباق المتعددة وأنظمة أعمدة التهوية . وإن هدف جميع التصميم هو إعطاء مساحة أعظمية للتماس بين الماء والهواء ، وتأمين حركة للماء بالنسبة إلى الهواء أو بالعكس وبالتالي فإنه يمكن زيادة التبادل بزيادة تدرج التركيز .

- نوافير التهوية : تؤمن فوهات النوافير سطح تماس كبير بين الماء والهواء ولكن زمن التعرض لهذا التماس هو قصير إذ قد يقل عن (2 sec) . تتطلب هذه الفوهات كميات كبيرة من الرؤوس وبالتالي مساحة أرض كبيرة، ومن ثم فإنه من الصعب تنفيذها ضمن بناء وأيضاً فإنه قد يكون من الصعب تشغيلها في العراء في أوقات الشتاء . وبشكل عام فإن ضغط التشغيل هو بشكل نموذجي من (70) إلى (140) كيلو باسكال وارتفاع نافورة الماء هو (2m) تقريباً .

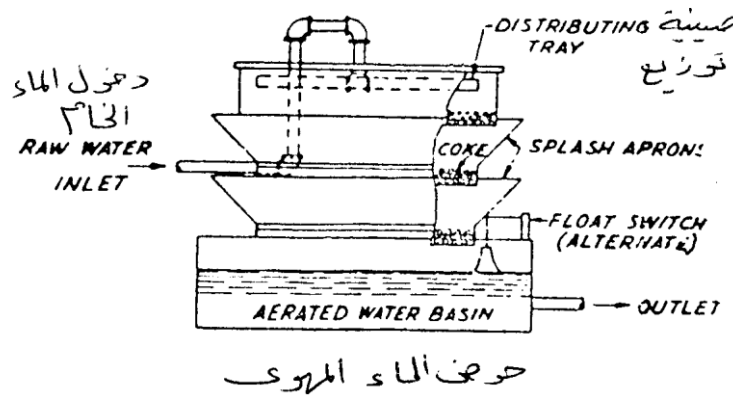
- شلالات التهوية : يتألف الشلال عادة من مجمع يشبه الدرج يتم جريان الماء فوقه بطبقة رقيقة من طبقة إلى أخرى .

إن الضغط المطلوب من أجل الشلال يعتمد على ارتفاع المنشأة الذي يتراوح عادة من (1m) وبين (3m) . وبشكل عام فإن الشلالات هي أقل فعالية من غيرها من تجهيزات التهوية ولكنها أقل عرضة للتعلمد في الطقس البارد .

- مهوريات الهواء المنفوث : تتألف مهوريات الهواء المنفوث (diffused air aerators) من أحواض بيتونية بعمق يتراوح بين (4m) وبين (5m) وعرض يتراوح بين (3m) وبين (10m) وطول ملائم لتأمين مدة بقاء في الحوض تتراوح بين (5 min) وبين (30 min) . يعطى الهواء على طول أحد أطراف الحوض خلال نفس نوع النافثات المستعملة لمعالجة مياه المجاري . هذا الهواء يؤمن حركة حلزونية للماء ضمن الحوض مما يزيد زمن التماس بين الفقاعات وبين السائل .

يتراوح تدفق الهواء في مهوريات الهواء المنفوث بين $(0.4m^3)$ وبين $(1.5m^3)$ لكل متر مكعب من الماء وذلك تبعاً للحالة التطبيقية .

إن أنظمة التهوية المنفوثة تؤمن أيضاً بعض المرح وبعض تشكيل الندف وتمنع إمكانية التجمد في الطقس البارد . وهذه الأنظمة فعالة بشكل معقول في عمليات فصل العضويات القابلة للتطاير (VOC) - **مهويات الأطباق المتعددة** : تتألف مهويات الأطباق المتعددة من سلاسل من الأطباق مشكلة من شرائح خشبية أو صفائح مثقبة أو مناخل بتباعدات (500mm). تحتوي الأطباق الإفرادية في بعض الأحيان على طبقات عميقة بسماكة (200- 300 mm) مؤلفة من كرات أقطارها (50 - 150mm) من السيراميك أو الأحجار أو الخبث أو فحم الكوك . إن مهويات الأطباق ذات الطبقة العميقة من الأحجار أو غيرها تقترب من مهويات السرير المتراس كما في الشكل (6-34) .



الشكل (6-34)

تعطى المياه إلى مهويات الأطباق المتعددة عند أعلى المنشأة وذلك إما عبر بخاخات أو عبر وعاء مثقب وذلك بمعدل (40-200l/min) لكل متر مربع من المساحة الكلية تبعاً لحالة الماء . ويؤمن جريان الهواء عبر الأطباق بواسطة فتحات تهوية على الجوانب وذلك بتيار هواء طبيعي وقد يستعمل في حالات أخرى أنظمة فتحات تهوية قسرية . وهذه الأخيرة تملك ميزة السماح بتصميم ذي معدل جريان متوازن للسائل والغاز ولكنها ذات كلفة أولية وكلفة تشغيل أعلى . يجب أن يكون جريان الهواء معاكساً لجريان الماء وذلك للحصول على الفعالية المثالية . وبشكل عام فإن مهويات الأطباق قد تتعرض للتجمد في المناطق الباردة وقد تحتاج إلى أن تكون ضمن مبنى .

- **مهويات السرير المتراس** : يمكن أن تستعمل مهويات السرير المتراس (Packed bed aerator) من أجل التهوية البسيطة . ولكنها أكثر استعمالاً في عمليات فصل المواد العضوية القابلة للتطاير . وقد ثبت أن التهوية البرجية هي التكنولوجيا الأكثر اقتصادية من أجل إزالة المواد العضوية القابلة للتطاير (VOC) . وإن تحول المركبات القابلة للتطاير بين الحالة الغازية والحالة السائلة يتبع قانون هنري سواء كانت المادة المتحولة هي غاز أو سائل عضوي ذو ضغط بخار مرتفع . وإن معدل التحول هو تابع للاختلاف بين الضغط الجزئي للمادة في حالي السائل والغاز.

من أجل بعض المواد الخاصة فإنه من الممكن أن نحسب النسبة المثالية للغاز إلى السائل وذلك بالاستناد إلى ثابت هنري وإلى فرضية أن التركيز في تيار الهواء الداخل وتيار السائل الخارج كلاهما يساويان الصفر . هذه النسبة النظرية يجب أن تعدل لتأخذ بعين النظر التغيرات في درجة الحرارة، ووجود مزيج من المواد القابلة للتطاير، ومحدودية طول برج التهوية الواقعي .

إن درجة الحرارة تملك تأثيراً واضحاً على ضغط البخار العائد للمواد القابلة للتطاير في كلتا الحالتين الغازية والسائلة .

إن ضغط البخار لكلتا الحالتين يزداد بازدياد درجة الحرارة ، ولكن ليس بالضرورة بقيم متساوية . فإذا وجد مزيج من الملوثات، وهو الأمر الذي يشكل الحالة العادية في الحياة العملية ، فإن كلاً من هذه الملوثات سوف يؤثر على الضغط الجزئي لباقي الملوثات وبالتالي سوف يؤثر على معدل إزالة باقي الملوثات . وإن فرضية التركيز الصفري في تيار الغاز الداخل وفي السائل الخارج تتطلب مدة تماس لا محدودة وبالتالي برجاً ذا ارتفاع لا نهائي .

وبما أن ارتفاع البرج الواقعي يمكن أن يتراوح بين (5m) وبين (10m) فإن تدفق الهواء يجب أن يزداد للحصول على أداء ملائم .

إن النسبة النظرية للهواء إلى الماء من أجل مواد قابلة للتطاير (VOC) عادية تتراوح بين (1/1) إلى (20/1) أي قد يصل حجم الهواء اللازم إلى عشرين ضعف حجم الماء المعالج ، في حين تصل هذه النسبة في التشغيل الوسطي إلى ما يتراوح بين (6/1) إلى (200/1) .

تستعمل مهبويات السرير المتراص مواد تجبر الماء أن يتحرك بغشاء رقيق على سطح واسع بمسار متعرج بحيث يؤمن هذا الماء أكبر زمن تماس ممكن مع الهواء وبشكل مشابه فإن الهواء يتحرك بالاتجاه المعاكس عبر وسط التماس الشكل (6-35).

مواد التماس في مهويات السرير المتراص قد تكون من البلاستيك ذي الشكل العشوائي أو أسطوانيات أو حلقات من السيراميك أو المواد الطبيعية مثل الأحجار . إن مهويات السرير المتراص يمكن أن تتجمد في الشتاء إن لم تؤمن تدفئة للهواء المستعمل .

إن الهواء الذي يغادر المهويات يحتوي على المركبات القابلة للتطاير (VOC) التي أزيلت من الماء وهذه المركبات هي ملوثات للهواء كما هي ملوثات للماء . وتبعاً لكمية (VOC) المزالة من الماء وحسب الأنظمة المحلية لنوعية الهواء فإنه قد نحتاج إلى معالجة للغازات الناتجة عن السرير المتراص قبل أن تصرف إلى الهواء الجوي.

غاز إلى الهواء الجوي أو إلى معالجة الغازات

