

الباب الخامس

## **المعالجات الخاصة**



## الباب الخامس

### المعالجات الخاصة

#### القسم الأول

#### إزالة العسر

#### (Hardness Removal or Softening)

عسر المياه هو الخاصية التي تمنع تكون الرغوة عند استخدام الصابون بما يزيد من استهلاك الصابون عند استخدام المياه العسر. كذلك توجد علاقة بين عسر المياه و امراض القلب. حيث قيمة العسر فى المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى هي ٨٥ جزء فى المليون. الطرق الأساسية لإزالة عسر المياه هي بالترسيب الكيماوى أو بالتبادل الأيونى.

#### - الترسيب الكيماوى:

يستخدم الترسيب الكيماوى فى معالجة المياه لإزالة العسر وإزالة الحديد والمنجنيز. وهو مؤثر كذلك فى ازالة المعادن الثقيلة والعناصر المشعة فى حالة وجودها وكذلك ازالة المواد العضوية المذابة وخفض البكتريا والفيروسات.

عسر المياه يكون غالباً يسبب وجود مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم المذاب في المياه. وبعض العسر يرجع إلى وجود الاسترنشيوم والحديد والمنجنيز. وهذه العناصر تكون موجودة في شكل البيكربونات والكبريتات. وفي بعض المياه توجد في شكل الكلوريدات والنترات.

ويسمى العسر بعسر الكربونات في حالة وجود أملاح العسر في شكل البيكربونات أما عسر الغير كربونات فتكون هذه الأملاح في شكل الكلوريدات أو الكبريتات أو النترات. وكذلك يسمى عسر الكربونات بالعسر المؤقت وعسر الغير كربونات بالعسر المستديم.

\* عند إضافة الجير المطفى إلى الماء المحتوى على عسر مؤقت تحدث التفاعلات التالية :



كلا من كربونات الكالسيوم وايدروكسيد المغنيسيوم لا يذوب ويرسب.

تستخدم هذه الطريقة فقط في ازالة أو تقليل عسر المياه المؤقت وخاصة في حالة تخفيض عسر المياه في مياه الشرب ليكون ٨٥-١٢٠ جزء في المليون مقيم ككربونات كالسيوم. أما في حالة وجود العسر المؤقت والعسر المستديم في الماء. فإن ازالة العسر أو خفضه يتم بطريقة ازالة العسر المستديم كما في حالة ازالة عسر المياه لانتاج مياه الغلايات. ومن بين الطرق المستخدمة طريقة الصودا آش - الجير، التبادل الأيوني، ازالة الملوحة.

## إزالة العسر بطريقة الجير-الصودا على البارد :

### Cold Lime - Soda Softening

إزالة العسر بطريقة الجير - الصودا هي عملية تتم بالترسيب الكيميائي لعسر الكالسيوم والمغنيسيوم من الماء باستخدام الجير المطفئ  $Ca(OH)_2$  والصودا آش ( $Na_2CO_3$ ) وتختلف عملية إزالة العسر طبقاً لحالة المياه الخام ومتطلبات الاستخدام للمياه المعالجة.

في بعض الحالات يكون المطلوب هو المعالجة الجزئية فقط. ففي حالة مياه الشرب يتم إزالة العسر حتى ٨٥ جزء في المليون من العسر الكلي فقط. كثير من المياه المستخدمة في العمليات الصناعية تتطلب خفض قلوية الكالسيوم حتى ٣٥ جزء في المليون فقط. المياه الغازية تتطلب عادة خفض القلوية إلى ٥٠ جزء في المليون. وفي بعض الحالات يكون من الضروري إزالة العسر بدرجة كبيرة. وفي هذه الحالة تتم المعالجة الكاملة لخفض ما أمكن للمحتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم سواء كانت في شكل عسر كربونات أو عسر غير كربونات أو خليط منهما بدون استخدام كيماويات إضافية. وفي حالات أخرى فإن عملية إزالة العسر قد تتم بمعالجة كيماوية إضافية لخفض العسر عن الناتج بالمعالجة الكاملة.

### - الكيماويات المستخدمة في إزالة العسر:

المياه يمكن إزالة عسرها مهما كان محتواها الكيماوي باستخدام خليط من مختلف الكيماويات الآتية:

- \* مروب الشبة (كبريتات الألومنيوم) أو باستخدام مروب كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحد يدك.
- \* الجير المطفئ  $Ca(OH)_2$  بشرط إن يكون نقاءه ٩٣% في عملية الجير - الصودا على البارد.
- \* الصودا آش ( $Na_2CO_3$ ) بنسبة نقاء ٩٩,٢%.
- \* كلوريد كالسيوم.  $CaCl_2$ : و هو يستخدم عندما تكون القلوية أكبر كثيراً من العسر.

## كيمياء إزالة العسر:

كلا من هذه الكيماويات له مهمة معينة عند إضافة الماء، مع الخلط الجيد ثم إعطاء الوقت اللازم للتفاعل. ولتنفيذ ذلك يجب الحساب الدقيق للجرعات من واقع تحليل المياه. ولهذا فإن تحليل المياه يعتبر هام. من المناسب توضيح إن أيون البيكربونات يتفاعل أولاً مع الكالسيوم ثم بعد ذلك مع المغنيسيوم. فعند إضافة الجير فإنه يتفاعل مع الكالسيوم ثم مع استمرار الإضافة من الجير يحدث التفاعل مع المغنيسيوم. الشكل رقم (١٠١) يوضح التعاريف لمحتويات الماء الكيماوية.

يتم أولاً حساب القلوية كما لو كانت مرتبطة بالكالسيوم والماغنسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم (Calcuim Alkalinity). وفي حالة وجود قلوية أكثر يتم حسابها كما لو كانت مرتبطة بالمغنيسيوم وتسمى قلوية المغنيسيوم. في عدد قليل من المياه الطبيعية قد يكون هناك زيادة في القلوية أكثر من قلوية الكالسيوم والمغنيسيوم. في هذه الحالة يتم حسابها على أساس ارتباطها بالصوديوم وتسمى قلوية الصوديوم. في حالة القلوية أقل من إجمالي عسر الكالسيوم والمغنيسيوم الموجود، عندئذ فإن كمية العسر الذائد عن القلوية يسمى عسر الغير كربونات. عسر الغير كربونات عموماً يعني العسر المرتبط بأيونات الكلوريدات والكبريتات.

### • المروب Coagulant :

عند ترسيب العسر، فإنه يكون في شكل ترسيبات دقيقة جداً بما يجعل من الضروري استخدام جرعات صغيرة من المروبات للحصول على زغبات والترسيب وتعتبر الجرعات الآتية مناسبة:

الشبة	٢٠ جزء في المليون
كبريتات الحديدوز	٢٠ جزء في المليون
كبريتات الحد يدك	١٠ جزء في المليون

نظرا لأن المروب يتفاعل مع القلوية الموجودة في الماء فإنه تتكون زغبات جيلائينبه التي تكبر في الحجم حتى ترسب. وهذه الزغبات لها القدرة على جزب وحجز الأجسام العالقة وفصلها عن المياه. وتفاعلات المروبات هي نفسها التي تحدث عند إزالة العكارة واللون.

### • الجير المطفى:

يتفاعل الجير المطفى للترسيب الكيميائي لعسر الكربونات الموجودة في الماء لانتاج المركبات الغير مذابة من كربونات الكالسيوم وأيدر وكسيد الماغنسيوم. وتختلف الجرعة المطلوبة طبقا للقلوية في المياه الخام. كذلك يتفاعل الجير المطفى مع أى من ثاني أكسيد الكربون الموجود وعندئذ مع ايون البيكربونات. الكميات المطلوبة يمكن حسابها من المعادلات الكيميائية للتفاعل.



يلاحظ أنه مطلوب ضعف الجير المطفى لترسيب المغنيسيوم مقارنة بالمطلوب لترسيب الكالسيوم. بمجرد تحول كلا من ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات إلى كربونات الكالسيوم، فإن أي جير مطفى إضافي ينتج عنه خفض في المواد الصلبة المذابة.

### • الصودا أش: $(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ :

تتفاعل الصودا أش مع عسر الغير كربونات منتجة رواسب غير مذابة. يلزم مكافئ من الصودا أش + مكافئ من الجير المطفى المكافئ من عسر الغير كربونات للمغنيسيوم.



يلاحظ انه في التفاعلات السابقة لا يحدث خفض في المواد الصلبة المذابة نظرا لإنتاج أملاح صوديوم مذابة.

### • كلوريد الكالسيوم:

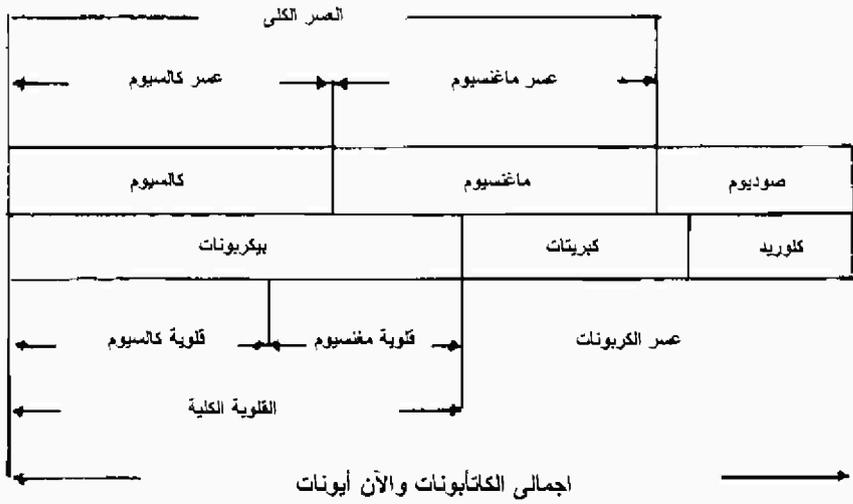
أحيانا يكون هذا المركب مطلوب لخفض القلوية لقيمة مطلوبة، حيث يستخدم كلوريد الكالسيوم في الحالات الآتية:

عندما تزيد قلوية المغنيسيوم عن ١٥ جزء في المليون وان عسر المغنيسيوم ناقص قلوية المغنيسيوم = أقل قيمة من ٤٠ جزء في المليون، في حالة وجود قلوية الصوديوم، عموما المياه الطبيعية لا تحتوى على قلوية الصوديوم عدا في حالة وجود قلوية المغنيسيوم. السبب في استخدام كلوريد الكالسيوم هو أن كلا من كربونات المغنيسيوم والصودا أش يذوب في الماء، ومن ثم لا يرسب من الماء بالجبر المطفى أو الصودا أش. ولكن يتفاعلا مع الصودا أش كالأتي:

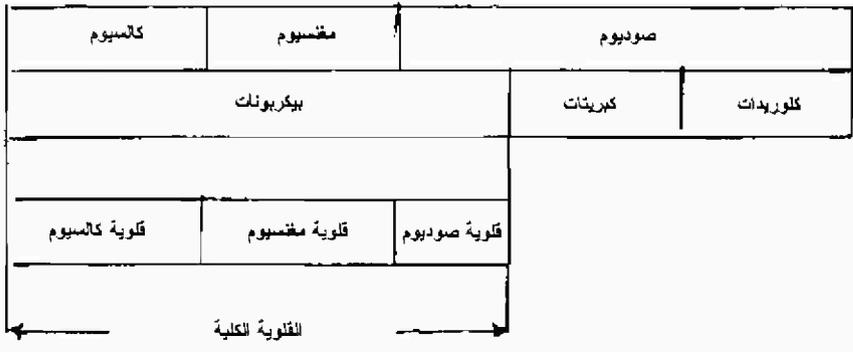


يلاحظ انه عند خفض قلوية كربونات المغنيسيوم، لا يحدث انخفاض في العسر.

كلوريد المغنيسيوم المتكون يتطلب مكافئ إضافي من الصودا أش و الجبر المطفى (نظرا لتفاعلات بخصوص الصودا أش).



← العصر الكلى →



شكل (١٠١) التعاريف للمصطلحات المستخدمة في وصف مكونات الماء الكيميائية



## القسم الثاني

### التبادل الأيوني: Ion Exchange

التبادل الأيوني بالراتجات المخلفة (Synthetic Resins) أو بالأدمصاص علي الألومينا المنشطة (Activated Alumina) يستخدم في إزالة العسر للمياه وذلك في حالة عدم قدرة المعالجة التقليدية. ويكون مفضل عن إزالة العسر بالجير لسهولة التشغيل وقلة التكلفة الرأسمالية. ويعتبر التبادل القاعدي (الكاتأوني) أو التبادل الحمضي (الآن أيوني) أكثر مناسبة لمصادر المياه الملوثة بأيونات سامه أو مواد مشعة مثل الباريوم، والزرنيخ، والكروم، الفلوريد، والنترات، والراديوم، واليورانيوم. وتستخدم الأمونيا المنشطة لإزالة الفلوريد والزرنيخ من المياه. وتعتبر وحدات التبادل الأيوني والأدمصاص اللاعضوي أكثر تكلفة في الإنشاء والتشغيل لإزالة نوع واحد من الملوثات. كما يعتبر التبادل الأيوني إقتصادي في حالة ثبات نوعية المياه المعالجة مثل مياه الآبار وغير مناسب لمصادر المياه السطحية المتغيرة.

يتكون المبادل الأيوني من طبقة من حبيبات راتنج المبادل الأيوني المشبعة بأيون التبادل أو بحبيبات الألومينا المنشطة التي تمتلك سطح أكسيد قابل للتبادل. والعوامل التي يلزم مراعاتها في التبادل الأيوني أو الأدمصاص الغير عضوي هو المعالجة المسبقة للمياه لمنع التراكبات في طبقة التبادل الأيوني بالمواد الصلبة العالقة والرواسب والنمو البيولوجي وذلك مع أهمية اختيار مواد الإنشاء المناسبة لتداول المياه العدوانية ومجال التنشيط الأيوني والمحاليل الناتجة بعد التنشيط.

إن جدوى واستخدام راتنجات التبادل الأيوني أو الادمصاص الغير عضوي سيزداد لإزالة الملوثات من مياه الشرب حيث يزال الراديوم والنترات والفلوريد والزرنيخ والباريوم وخاصة بالنسبة لاحتياجات المياه للتجمعات الصغيرة.

## ١- نظرية عمل التبادل الأيوني :

يحدث التبادل الأيوني عند استبدال أيون بأخر. وعند تطبيق ذلك في معالجة المياه فإنه يعني تبادل عكسي بين السائل والصلب، مع عدم حدوث أي تغيير في حالة المادة الصلبة. يمتلك الجسم الصلب أيونات التي يمكن أن يبادلها بأخر. التبادل القاعدي أو الكاتأيوني هو استبدال أيون موجب أو كاتأيون بأيون موجب أخر. في المياه الطبيعية الكاتأيونات الموجودة عادة هي الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والهيدروجين والحديد والمنجنيز. أما التبادل الآن أيوني أو الحامضي فيحدث عند استبدال أيون سالب أو أن أيون بأن أيون سالب أخر. الآن أيونات الموجودة عادة في المياه الطبيعية هي الكلوريد والكبريتات والنترات والكربونات والايديروكسيد والفلوريد.

## التبادل القاعدي (الكاتأيوني) أو الزيوليت:

وتعتمد هذه الطريقة على قدرة مادة صلبة غير مذابة (أساسا سيليكات) لتبادل الكاتأيون مع مواد أخرى مذابة في الماء. حيث يمرر الماء العسر خلال طبقة من رمل الزيوليت (سيليكات مركبة من الألومنيوم والصوديوم): وعند المرور خلالها يتم استبدال كاتأيونات الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم من المبادل وتصبح المياه يسر. وعند استهلاك الصوديوم من رمل الزيوليت لا يصبح قادر على إزالة العسر من المياه. ولكن التفاعل عكسي حيث يمكن إعادة النشاط للزيوليت بتمرير محلول ملح خلال طبقة الزيوليت. الزيوليت (Zeolites) يمكن أن يبادل أيون الصوديوم أحادي التكافؤ بأيونات ثنائية التكافؤ. ويرمز له (Na<sub>2</sub>R) حيث R رمز للجزء الصلب من الزيوليت.

يوجد نوعين من الزيوليت إحداهما هو الرمل الأخضر الطبيعي الغير مسامي (Natural Nonporous Green Sand) والنوع الآخر هو الزيوليت المخلق الجيلاتيني المسامي (Synthetic Porous Gel Type). والزيوليت الطبيعي ينتج بمعادلة (Neutralization) الرمل الأخضر الطبيعي. أما الزيوليت المخلق فيتم اعداده بخلط محلول سسلييكات الصوديوم مع كبريتات الألومنيوم أو ألومينات الصوديوم (Soduim Aluminate). وراتجات المعادلات الكاتأيونية هي بلمرات عضوية مخلقة عادة من نوع سالفونيت بولى إسيترين (Sulfonate Polystyrene).

راتجات المعادلات الان أيونية (الحامضية) عبارة عن بلمرات عضوية تتكون من الامينات (amines) ومركبات الألومنيوم الرباعية. (Quarternary Ammonium Compounds) ويمكن تنشيطها باستخدام أي قلوى مثل الصودا الكاوية. ومبادلات الفلوريد هي مبادلات أن أيونية والتي تتكون من ثلاثى فوسفات الكالسيوم (Tricalcuim Phosphate).

الذي يزيل الفلوريد بالتبادل الايوني . وأثناء دورة إزالة العسر العادية.

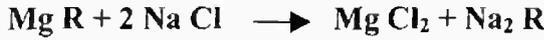
### ٣ - طرق لإزالة العسر بالتبادل الايوني: شكل (١٠٣، ١٠٣)

توجد ثلاث طرق لإزالة العسر بالتبادل الايوني. وهي دورة الصوديوم (Soduim Sycle) والمعالجة الجزئية (Split Teatment) والتحلية (Demineralization). والطريقة الرئيسية هي طريقة دورة الصوديوم. وإزاله العسر بهذه الطريقة تتكون أساسا بتمرير المياه العسر خلال طبقة من المبادلات الكاتأيونية (Cation Exchange Resin) وهنا تزال مكونات العسر للماء من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم واستبدالها بأيونات الصوديوم. معدل التبادل سريع بما يمكن من إزالة العسر من أي مياه بمعدل تدفق طبيعي.

التفاعل الذي يحدث في التبادل الكاتأيوني لإزالة العسر للمياه وفي عملية التنشيط (Regeneration) يمكن توضيحها بالمعادلات الكيميائية حيث يمثل المكون ألان أيون (الحامض) من المبادل الايوني بالرمز R.



عند إعادة تنشيط (Regeneration) المبادل الكاتايوني يحدث التفاعل العكسي كالاتي (باستخدام الملح).



وحدة إزالة العسر بالزيوليت تشبه في إنشائها ومظهرها المرشح الرملي الذي يعمل بالضغط أو بالتدفق بالجاذبية، إلا أنها مملوءة بطبقة من الزيوليت بدلا من الرمل. وهي تتكون من جسم من الصلب قاعه يحتوي على زلط متدرج في الحجم أو الفحم النباتي تلوها طبقة الزيوليت وتكون عادة بسمك ٧٥سم أو أكثر. يضاف إلى ذلك حوض لمحلول الملح للتنشيط مع التوصيلات والأجهزة اللازمة.

مزيلات العسر تعمل بالضغط أو بالجاذبية، وأجهزة إزالة العسر بالجاذبية تكون من الخرسانة أو الصلب. مزيلات العسر بالضغط تعمل بالتدفق العلوي أو السفلي. والفقد في الضغط نتيجة التدفق السفلي يمكن التغلب عليه أثناء دورة إزالة العسر. كثيرا من أجهزة إزالة العسر تستخدم الجاذبية مع التمرير العلوي للمياه في رحلة إزالة العسر مع التمرير السفلي للمحلول الملحي للتنشيط. وبعد تمام دورة إزالة العسر يتم عمل الغسيل لطبقة الزيوليت (Back - Wash) وذلك لتفكك طبقة الزيوليت، وهذه تزيل أي أجسام أو مواد تكون متراكمة على سطح جيبيبات الطبقة

وتجعلها أكثر تفتح لتقبل دورة التنشيط بالماء الملحي، وذلك بمنع عمل مسارات محددة فقط للمياه المالحة في طبقة الراتنج.

وفي عملية إزالة العسر بالضغط تتم التغذية بالمياه المالحة (Brine) بمعدل تدفق يتم التحكم فيه، وتوجد تقنيات كثيرة لتحقيق ذلك. وفي بعض أجهزة إزالة العسر الصغيرة يتم التنشيط بوضع ملح صخري نقاوه ٩٩% كلوريد صوديوم أعلا طبقة الراتنج، ثم تمرر المياه بمعدل ثابت خلال الملح لإنتاج مياه مالحة بتركيز مناسب وبعد استخدام المياه المالحة في جهاز إزالة العسر يتم إزالة كل الفائض من المياه المالحة قبل عودة جهاز إزالة العسر إلى الاستخدام. ونظرا للكثافة العالية للمياه المالحة فإنها تتحرك إلى أسفل الطبقة في شكل مكبس عند استمرار الغسيل بالمياه النظيفة لدفع المياه المالحة خلال طبقة الزيوليت حتى خارج الجهاز. يستمر الغسيل حتى تخليص الجهاز من الكميات الكبيرة من كلوريد الكالسيوم مع كلوريد الصوديوم الذي لم يتفاعل وعودة الجهاز إلى العمل بعد تنشيط الزيوليت. وأفضل طريقة لإزالة الكلوريدات هو زيادة الشطف (الغسيل) خمس مرات. ولقد أظهرت الخبرة أن أقصى تركيز للمياه المالحة المستخدمة في التنشيط هو ١٠ - ١٥%. وقد تستخدم مياه البحر في تنشيط المبادلات الكاتيونية (القاعدية) ولكن يلزم أن تكون هذه المياه خالية من المواد الصلبة و / أو الحديد والمنجنيز المذاب. كما يلزم أن تكون خالية من العفن الذي ينتج كائنات دقيقة (Slime Producing Bacteria) وقد يتم تطهير مياه البحر في بعض الحالات بالكلوريد ثم الترشيح في مرشح رملي لمنع تلوث راتنج الزيوليت. إزالة العسر براتنج الزيوليت يزيل العسر كاملا للمياه شديدة العسر وذات محتوى قليل من السليكا. لا يسمح بدخول المياه العكرة إلى الجهاز والمرور خلال طبقة الزيوليت نظرا لأن الرواسب المتراكه ستغلف حبيبات الزيوليت و تخفض الكفاءة.

جهاز إزالة العسر بالزيوليت يتطلب صيانة بسيطة وهو سهل التشغيل.

### ٣- إزالة الأملاح بالتبادل الأيوني : (Deminerlizarion)

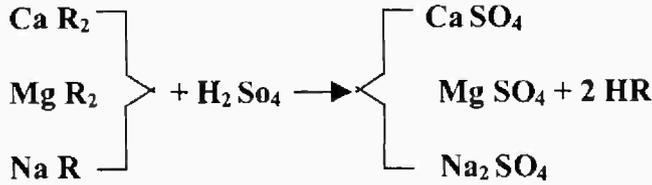
إزالة الملوحة تتم بهدف إزالة الاملاح بالتبادل الأيوني. فيمكن التخلص من إزالة الأملاح لدرجة اكبر من التي يمكن الحصول عليها بالتقطير. في هذه الحالة فإن الشق القاعد في (الكاتأيونات) مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم تزال في مبادل قاعدى هيدروجينى (Hydrogen Cation Exchanger). والشق الحامض (الآن أيونات) مثل الكبريتات والكلوريد تزال في مبدل أن أيونى (حامضى) (Anion Exchanger).

#### أ- المبادل القاعدى (الكاتأيونى) : Cation Exchanger

عند مرور المياه خلال راتنج (Resin) يحتوى على مبادل قاعدى (كاتأيونى) مثل مجموعات حامض السلفونيك (Sulphonic Acid Groupings). عندئذ يحدث تبادل للكاتأيونات في الماء بالهيدروجين في الشق الحامضى للراتنج وبدا تتحول الأملاح الموجودة في الماء إلى الأحماض لهذه الأملاح. المعادلات التالية توضح التفاعلات . يرمز لمادة التبادل القاعدى (الكاتأيونى) بـ HR



ومثل كل تفاعلات التبادل الأيوني فإن هذه العملية عكسية (Reversible). فعند استهلاك الراتنج يمكن إعادة تنشيطه باستخدام محلول مخفف من حامض قوى (Strong Mineral Acid). وعملية التنشيط توضحها المعادلة التالية.



الحامض المتبقى فى المياه المعالجة جزئيا يلزم إزالته فى المبادلات الآن أيونينة (الشق الحامضى).

### ب- المبادلات الآن أيونية : (Anion Exchangers)

تمرر المياه الحامضية خلال طبقة راتنج محتوى على راتنج يحتوى على مجموعات قلووية قوية أو ضعيفة. المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلووية (Weekly Basic) سوف تمتص الكبريتات والكلوريدات والنترات، ولكن لا تمتص السيليكا أو ثانى أكسيد الكربون. المبادل ذو الآن أيون أو القاعدى القوى يزيل السيليكا و الكبريتيد (Sulphide) وثانى أكسيد الكربون بالإضافة إلى الآن أيونات العادية الأخرى. المعادلات التالية يمكن أن توضح كيفية عمل المبادل القاعدى (الآن أيونى).

مبادل قاعدى ضعيف القلووية :



مبادل قاعدى قوى القلووية :



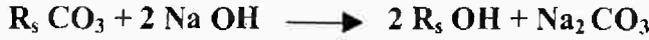
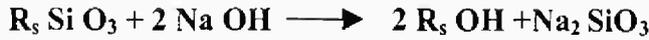
وفى كل حالة الأملاح المذابة الموجودة فى الماء تزال.

التنشيط (Regeneration) لراتبخ المبادل الآن أيونى سيتم بتمرير محلول مخفف لقلوى قوى مثل الصودا الكاوية خلال طبقة الراتبخ الذى استهلك نشاطه. التفاعلات هي:

مبادل أن أيونى ضعيف القلوية



مبادى أن أيونى قوى القلوية



كما ذكر سابقا، فإن المبادل القاعدى شديد القلوية يمكن أن يزيل الآن أيونات لكل من الأحماض القوية والضعيفة. ولكنة عادة مكلف وله قدرة محدودة على التبادل عن المواد ضعيفة القلوية. ولهذا، فإنها تستخدم على نطاق واسع لإزالة أحماض السيليكا (Silicic Acid) فى المرحلة الثانية لعملية إزالة الأملاح. ولهذا تستخدم مجموعتين من المواد عند الحاجة الى الإزالة الكاملة للأملاح (Demineralization).

### ج- طبقات الراتبخ القاعدية والحامضية : Mixed Beds

فى حالة تمرير المياه التى عولجت بنظام التبادل القاعدى والحمضى خلال وحدتين مشابھتين تعملان على التوالى، عندئذ يمكن زيادة التحسن فى نوعية المياه. فى جهاز الطبقة المزدوجة التى تشمل خليط من راتبخ المبادل الكاتأيونى والآن أيونى. عندئذ فإن عدد لا نهائى من الكاتأيونات والآن أيونات تعمل بالتوازى، والنتيجة هو الحصول على مياه معالجة ذات نوعية عالية.

## ٤- معدات واستعمالات إزالة الملوحة :

تستخدم عملية إزالة الملوحة من المياه وذلك لتوفير المياه اللازمة للتعويض (MakeUp Water) وخاصة في حالة المياه الخالية تماما من الأملاح المذابة للغلايات ذات الضغط العالى. هذا بالإضافة الى استخدام هذه المياه فى المنتجات الدوائية والكيمائية وبعض عمليات فى صناعة المنسوجات وفى تفضيض الزجاج (Silvering) وفى بعض عمليات الترسيب الكيماوى الكهربى. المعدات المستخدمة فى إزالة الأملاح تشابه تلك المستخدمة فى إزالة العسر بالزبوليت. حامض الكربونيك الناتج من المبادل الكاتايونى (القاعدى) غير ثابت فى محلول الماء يتحلل إلى الماء وثانى أكسيد الكربون الذى يمكن أن يزال بعملية إزالة الغازات (Degasification). الجهاز المستخدم فى إزالة الأملاح المذابة شكل (١٠٣).

## ٥- إزالة القلوية : Dealkilation

المياه التى أزيل عسرها باستخدام زبوليت الصوديوم عادة تحتوى على كمية كبيرة من بيكربونات الصوديوم زيادة عن المقبول فى مياه تغذية الغلايات. فى الغلايات تتحلل بيكربونات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة الى أن بعض كربونات الصوديوم تتحلل الى الصودا الكاوية وثانى أكسيد الكربون. وثانى أكسيد الكربون هذا يمر مع البخار ويشكل مصدر وسبب للتآكل فى شبكة البخار. والفائدة من عملية إزالة القلوية تقع على خفض قلوية البيكربونات فى المياه المعالجة بدون استخدام حامض. وفى وحدة إزالة القلوية يستخدم راتنج أن أيونى عالى القلوية. عند مرور المياه فى خلال الراتنج فإن أملاح الصوديوم المذابة مثل بركربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم تتحول الى الكمية المكافئة من كلوريد الصوديوم. تفاعلات مبادل الكلوريد القاعدى كالاتى:

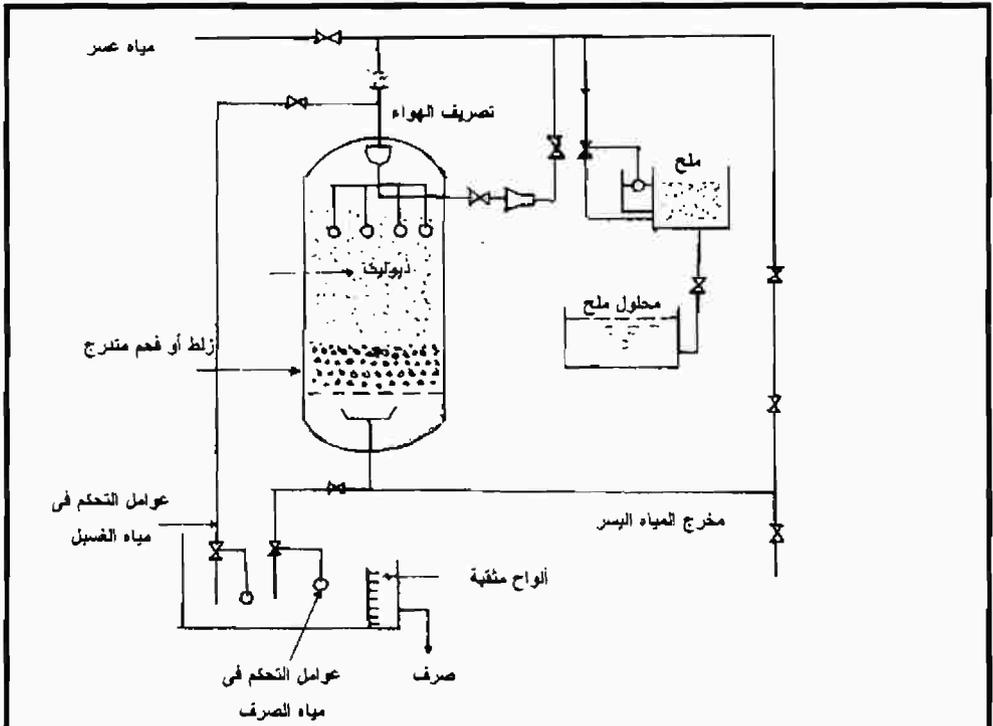


يتم التنشيط للراتنج باستخدام كلوريد الصوديوم كالآتي :

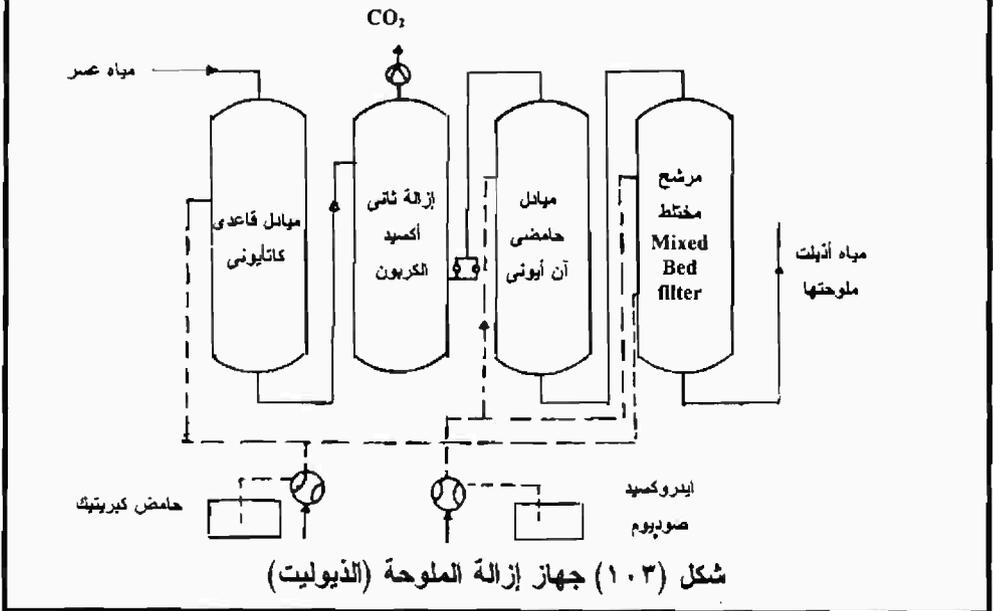


مبادل القاعدي بالكوريد (Chloride Anion Exchanger) يشبه في إنشائه جهاز زيوليت الصوديوم ومجهز بنفس التجهيزات اللازم للتنشيط يوصي بسمك طبقة الراتنج من ٧٥ - ٩٥ سم. مع إزالة القلوية فإن الأملاح الكلية المذابة تقل بنسبة عسر القلوية (Alkaline Hardness). الجدول التالي (١٣) يوضح مثال تقريبي لنوعية المياه بعد عمليات المعالجة المختلفة لإزالة العسر على عينة من الماء العسر والأرقام بالجزء في المليون.

الأملاح الكلية	أملاح الصوديوم	سيلكا	العسر		طرق المعالجة
			غير قلوي	قلوي	
٣١٠	٥٠	١٠	٥٠	٢٠٠	الماء الخام
١٣٨	٥٠	٨	٥٠	٣٠	الجير
١٣٨	١٠٠	٨	صفر	٣٠	الجير - الصودا
١٣٨	١٢٥	٨	صفر	٥	الجير - الصودا - الزيوليت
٣١٠	٢٩٥	١٠	صفر	٥	الزيوليت
١١٥	٥٠	١٠	٥٠	٥	إزالة القلوية
١٢٥	١٠٠	١٠	صفر	٥	الزيوليت + إزالة القلوية
٣	٢	آثار	صفر	١	إزالة الأملاح



شكل (١٠٢) إزالة العسر بالذبوليت



شكل (١٠٣) جهاز إزالة الملوحة (الذبوليت)



## القسم الثالث

### التهوية : Aeration

التهوية هي عملية الألتصاق بين الماء والهواء بغرض زيادة الأوكسجين المذاب في الماء وتقليل ثاني أكسيد الكربون المذاب وإزالة كبريتيد الهيدروجين وبعض المركبات العضوية المسببة للمذاق والرائحة. مذاق المياه وقابليتها للشرب بتحسين بإزابة الأوكسجين في الماء وإزالة كبريتيد الهيدروجين. وإن كان إزالة ثاني أكسيد الكربون يحول البيكربونات الي كربونات بما يسبب تكون راسب من كربونات الكالسيوم التي قد تسبب بعض المشاكل. تستخدم التهوية علي نطاق واسع لمعالجة مياه الأبار المحتوية علي نسب عالية من الحديد والمنجنيز. وهذه المواد تسبب المرارة في المذاق للمياه كما تسبب التغير في لون الأرز عند أعداده للطعام وكذلك تكون بفع سوداء عند استخدام هذه المياه في غسيل الأنية والملابس. وعند التصاق أوكسجين الهواء الجوي بالماء في عملية التهوية فإنه يتفاعل مع مركبات الحديد والمنجنيز ثنائية التكافؤ المذابة في الماء (Ferrous & Manganous) وتتحول الي الأوكسيد ثلاثية التكافؤ الغير مذابة (Ferric & Manganic) وهذه يمكن إزالتها بالترسيب والترشيح.

درجة تشبع المياه الملامسة للهواء الجوي المشبع ببخار الماء عند منسوب سطح البحر، وفي درجة حرارة ١٠ م وضغط جوي واحد هو: نيتروجين ١٧،٩ ملجرام / لتر، أوكسجين ١١،٤ ملجرام / لتر، ثاني أكسيد الكربون ٠،٧ ملجرام / لتر وقد استخدمت التهوية لأزالة الملوثات من المواد العضوية المتطايرة من الماء

والتي هي من مسببات بعض الأمراض. وفي محطات المعالجة عند التصاق الماء بالهواء لإزالة مادة من الماء تسمى هذه العملية الكسح (Stripping Or Disorbtion) والتي حد ما استخدمت التهوية لنقل غاز الي الماء وهذه العملية تسمى الأدمصاص (Adsorbition) مثال ذلك إضافة أكسجين الهواء الجوي الي الماء أو إضافة الأوزون الي الماء والعملية كلها تسمى التصاق المياه بالهواء لنقل الغازات ما بينهما. وكلمة غاز هنا معناها المواد التي تكون في الحالة الغازية في درجة الحرارة العادية والضغط العادي، وكذلك المركبات التي تكون في حالة السوائل المتطايرة. وفي أي الحالات فان النقل يكون في الشكل الغازي. ولتحقيق الانتقال فإنه يلزم وجود تدرج في تركيز الغاز ما بين السائل (الماء) والهواء الجوي، حتي الوصول الي حالة الأتزان (Equilibrium) ما بين الماء والهواء وعندئذ ولا يحدث انتقال.

## ١- نظرية إنتقال الغازات : (Theory Of Gas Transfer)

### الإتزان : Equilibrium

عند مناقشة كمية الغاز أو المعدل الذي ينتقل به الغاز من والي الماء فإنه يلزم الأخذ في الاعتبار الغازات التي تذوب في الماء والعوامل التي تؤثر علي إذابتها. توجد غازات تتفاعل مع الماء مثل كبريتيد الهيدروجين والنشادر وثاني أكسيد الكربون وغازات لا تتفاعل مع الماء مثل الأكسجين والميثان والكلوروفورم. في حالة عدم حدوث تفاعل فإن إذابة الغاز في الماء يتم بطاقة ديناميكية حرارية تسمى الأنتروبي (Entropy) مثل حالة الأكسجين والماء. والزيادة في قوة الأنتروبي تقاوم بقوة الجذب بين جزيئات الماء ببعضها البعض. ويمكن زيادة الغاز في الماء فإنه يلزم التغلب علي قوة الجذب لجزيئات الماء لبعضها ولقد عرف أن جزيئات الماء تنجذب لبعضها بواسطة الربط الهيدروجيني (Hydrogen - Bonding) ولزوبان الغازات في الماء فإنه يجب أن يكون أكثر إنجذابا بالماء من انجذاب جزيئات الماء لبعضها. فإذا كان الهواء يحتوي علي غاز الأكسجين ووضع في إناء

مقفل به ماء خالي من الأكسجين فإن الأكسجين يبدأ في الانتقال الي الماء وإذا تسم ضخ أكسجين زيادة في الهواء أي زيادة نسبة جزيئات الأكسجين في الهواء عندئذ يحدث إنتقال للأكسجين الي الماء حتى الوصول إلى حالة اتزان جديدة في الماء. وفي حالة معالجة المياه فان إزابة الغازات تتأثر بالضغط ودرجة الحرارة وأن كلن التغير في الضغط يحدث عند التغير في درجات الحرارة وتطبق المبادئ التالية في نظم الماء والغازات.

\* عند الوصول الي حالة الأتزان (Equilibrium) لا يحدث إنتقال للغاز ما بين الماء والهواء.

\* عند عدم الوصول إلى حالة الإتزان يحدث إنتقال للغاز لحين الوصول إلى حالة الإتزان وزمن الوصول إلى حالة الإتزان قد يستغرق وقت كبير أو يكون فوري.

\* لكل غاز، ضغط كلي، درجة حرارة. تحدث حالات من الأتزان. كلما زادت درجة الحرارة قلت الازابة وكلما زاد الضغط الكلي زادت الإذابة.

### معدل إنتقال الغاز: Mass Transfer.

أن معدل وصول الماء والهواء الي حالة اتزان يوفر القوة الدافعة لحركة الغاز (Diffusion) ولحدوث ذلك يلزم وجود تدرج في التركز في اتجاه إنتشار الغاز في كل من الماء والهواء. يمكن توضيح ذلك من الشكل رقم (١٠٤). عند درجة حرارة ٢٠م° وعند منسوب سطح البحر وعندما تكون المياه في حالة إتزان مع الهواء الجوي ستحتوي المياه على ١٥,٨ مليجرام / لتر نيتروجين، ٩,٤ مليجرام / لتر أكسجين، ٠,٥ مليجرام / لتر ثاني أكسيد الكربون وكمية صغيرة لا تقاس من كبريتيد الهيدروجين.

كلا من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين قابل للذوبان في الماء فعند ٢٠م° ومنسوب سطح البحر يذوب ثاني أكسيد الكربون بمعدل ١٧٠٠ مليجرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين ٣٥٠٠ مليجرام / لتر. الضغط الجزئي لكل من هذه الغازات في الهواء الجوي عمليا صفر. ولهذا فإنه عند حدوث حالة الأتزان، ما بين

الماء والهواء بواسطة التهوية سينتج عنه تشبع الماء بغازات النيتروجين والاكسجين والتخلص تماما من غازات ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الماء بالتهوية. الأساس في إزالة الغازات بالتهوية هو تحقيق حالة الأتزان ما بين الغازات في الماء والغازات الموجودة في الهواء الجوى المحيط. يساعد على إزالة الغازات بالتهوية إرتفاع درجة الحرارة، زمن التهوية، حجم الهواء الملاصق للماء، مساحة سطح الماء المعرض للهواء. وتزداد كفاءة الإزالة كلما زادت نسبة تركيز الغاز في الماء عنه في الهواء. فمثلا كفاءة التهوية تكون عالية للماء المحتوى على ١٠٠ ملليجرام / لتر ثاني أكسيد الكربون عنه في الماء المحتوى على ١٠ ملليجرام / لتر.

### ٣- أنواع تجهيزات التهوية: Aerators Types

المعدات المستخدمة في التهوية يمكن أن تقسم إلى التهوية بالتدفق الهابط للمياه (Water Fall Aerators) والتي هي نافورات البثق (Spray Nozzles)، تدفقات المياه من أعلى إلى أسفل لتلتصق بالهواء (Cascades)، الصوانى المتعددة (Multiple Trays)، التهوية بالفقاعات (Diffusion Or Bubble Aerators) والتي تضخ الهواء في شكل فقاعات خلال الماء، التهوية الميكانيكية (Mechanical Aerators). واجهزة التهوية بالتدفق الهابط للمياه تسبب التهوية بسبب نزول المياه في شكل رزاز (Drops) أو في شكل طبقات رقيقة جدا من المياه (Thin Films) بمايزيد من مساحة الماء المعرض لوحدة الحجم. أما التهوية بالفقاعات فتحدث تأثير أقل وذلك بضخ فقاعات الهواء الى الماء باستخدام تجهيزات ضخ الهواء (Air Lnjector Devices). وبالنسبة للتهوية الميكانيكية فهي تتم باستخدام مراوح أو ريش تدار بمحركات منفردة أو يستخدم معها تجهيزات لحقن الهواء، وتستخدم هذه على نطاق واسع في معالجة مياه الصرف.

العلاقة ما بين الحجم والمساحة والزمن: (Area Vólume and Time Relation).

العلاقة العكسية ما بين المساحة المعرضة لوحدة الحجم ( $A/V$ ) والزمن ( $T$ )، فعند ثبات ناتج ( $A/V$ ) والزمن ( $T$ ) فإن كفاءة جهاز التهوية تظل ثابتة. ولذلك فإن الزمن ( $T$ ) يمكن أن يزداد على حساب العلاقة ( $A/V$ ) والعكس صحيح بدون فقد

في الكفاءة. وهذه العلاقة العكسية تستخدم في الأنواع المختلفة لأجهزة التهوية. فميزه التهوية بالتدفقات الهابطة للمياه عموماً هو النسبة العالية بين المساحة إلى الحجم ( $A/V$ ) نتيجة إنتاج المياه في شكل رزاز أو طبقات رقيقة جداً. أقصى مساحة يمكن إنتاجها باستخدام جهاز النافورات بالبتق (Spray Nozzles) ولكن زمن التعرض سيكون قليلاً جداً إلا في حالة توفير قوة ضغط عالية لدفع المياه إلى اعلي في الهواء. وعلى الجانب الآخر فإن التهوية بالمصاطب المتدرجة (Cascade Aerators) تنتج مساحة تعرض أقل ولكن زمن التعرض يكون كبيراً.

والتهوية باستخدام ناشرات الهواء (Diffusion Types Aerators) توفر زمن أكبر فمثلاً المياه في نافورة ناشرات الهواء بارتفاع ١٠ متر عمودي وعودة عامود المياه ثانياً بمعدل تقريبي ١٣ قدم في الثانية بما يوفر زمن تعرض أقل من ٢ ثانية. وعلى الجانب الآخر فإن فقاعة الهواء بالحجم المستخدم عادة في ناشرات الهواء لها سرعة حوالي ١ قدم في الثانية وبالتالي زمن التصاق ١٠ ثانية في حوض عمق فيه ١٠ قدم. تفيد التهوية تحت الضغط في خزان مغلق في تحقيق كفاءة في ادمصاص الأوكسجين ولكن ليست ذات كفاءة في ازالة ثاني اكسيد الكربون والذي يزال بالهواء الجوي. ولكن للتخلص من غاز في خزان مغلق يمكن خفض الضغط الكلي للهواء ولذلك استخدمت وحدات التهوية التي تعمل بالتفريغ (Vacuum Deaerating Systems). التهوية الجيدة مهمة لازالة غازات مثل ثاني أكسيد الكربون الخانق، او غاز الميثان الذي يسبب الانفجار او كبريتيد الهيدروجين شديد السمية. في درجة حرارة المياه العادية ما بين صفر الى ٣٠م فإن المركبات التي تغلى عند درجة حرارة أعلا من صفر درجة مئوية لايمكن أن تزال بالتهوية. كمثال ثاني أكسيد الكربون له درجة غليان - ٧٨م ولذلك فإنه شديد التطاير عند درجة الحرارة العادية ويمكن إزالته بالتهوية، وعلى الجانب الآخر فإن الفينول له درجة غليان عالية وضغط بخار منخفض عند درجة الحرارة العادية، ونظراً لانخفاض ضغطه الجوى فليس من المناسب إزالته بالتهوية العادية.

إذا أمكن التعرف على المركبات المسببة للمذاق والرائحة وتحديد الإذابة وضغط البخار يمكن تقدير درجة إزالتها بالتهوية. وعموماً فإن قليلاً من المواد المسببة للمذاق والرائحة يمكن إزالتها بالتهوية باستثناء كبريتيد الهيدروجين.

### إزالة كبريتيد الهيدروجين :

يمكن إزالة كبريتيد الهيدروجين بالتهوية ولكن إذا كان التركيز عالى فإن ذلك يتطلب احتياطات خاصة. والخاصية العامة لكبريتيد الهيدروجين هي إزابته العالیه مقارنة بثانى أكسيد الكربون. وكذلك فإن كبريتيد الهيدروجين يتأين فى الماء، فهو حامض ضعيف ومعادلة تأينه كالاتى:



فعند تهوية المياه المحتوية على كل من ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين فإن ثانى أكسيد الكربون الأقل إزابة يزول بسرعة وإزالته تقلل من تركيز أيون الهيدروجين (حامض ضعيف يتأين) حيث يرتفع الرقم الهيدروجين للماء. وبذا يتحرك التفاعل لتأين كبريتيد الهيدروجين فى اتجاه زيادة التركيز للمركب H<sub>2</sub>S، ولذا لا يمكن إزالة بالتهوية. وعامل آخر فى أن التهوية تعمل على أدمصاص الماء بالأكسجين والذى يتفاعل مع كبريتيد الهيدروجين مكوناً ماء وكبريت حر. وهذا التفاعل يقلل من تركيز كبريتيد الهيدروجين ولكن بالتفاعل الكيماوى وليس بانتقال الغاز الى الهواء الجوى، وأن لم يزال الكبريت الحر فإنه يسبب مشاكل فى معالجة المياه.

يمكن زيادة كفاءة الإزالة لكبريتيد الهيدروجين بالتهوية فى جو يحتوى على ثانى أكسيد الكربون أكثر من العادى باستخدام غازات الحريق. تهوية الماء فى جو يحتوى على ١٠% ثانى أكسيد الكربون يوفر الظروف للرقم الهيدروجين ليظل كبريتيد الهيدروجين (H<sub>2</sub>S) محافظاً على تركيزه فى الماء. وهذا يساعد على نقله من الماء إلى الحالة الغازية. يعد ذلك يمكن إزالة ثانى أكسيد الكربون بعملية تهوية عادية.

### ٣- مبادئ التصميم :

من واقع نظريات التهوية فإن إنتقال المواد المتطايرة من وإلى الماء بالتهوية يتوقف على عدة عوامل كثير منها متعارض. والمصمم قد يمكنه التحكم وقد لا يستطيع التحكم فى بعض هذه العوامل. وأساساً بالنسبة للاضطراب (Turbulence) والعلاقة بين المسافة والحجم وزمن التعرض. وفى الحدود يمكن التحكم فى جو جهاز التهوية وفى تصميم وحدة التهوية قد يفضل عامل على الآخر. يلزم الاهتمام بالعامل الاقتصادى والقرار الأخير هو نوع عملية التهوية التى تنفذ أو مدى ملاءمة استخدام التهوية عموماً والذى يحدد طبقاً للقواعد الطبيعية والاقتصادية. وعامل آخر هام جوا هو الشكل المعمارى والجمالى لوحدة التهوية بما يدعو إلى الابتهاج والسرور وتقبل نوعية المياه المعالجة للشرب.

انواع تجهيزات التهوية : Aerators Types أشكال (١٠٦ إلى ١١٢)

### ٤- التهوية بالرش او التريز: Spray Aerators شكل (١٠٩، ١١١)

فى هذا النظام تدفع المياه لأعلى إما عمودياً أو بزاوية مائلة بطريقة تجعل المياه تترز إلى نقط صغيرة جداً. ويتكون المنشأ عادة من نافورات مثبتة (Fixed Nozzles) على شبكة مواسير متصالبة. التهوية بالتريزات ذات كفاءة بالنسبة لنقل الغازات (إزالة ثاني أكسيد الكربون أو إضافة الأوكسجين) ولها تأثير على استنساغ المياه. ولكنها تحتاج إلى مساحة كبيرة.

ويتوقف زمن التعرض لكل نقطة على سرعتها الأولية ومسارها. حجم النقط والنسبة بين المساحة والحجم هو دليل على تريز النافورة. السرعة الأولية للنقطة

$$2gh\sqrt{V} = Cv \quad \text{الخارجة من النافورة أو الثقب تقدر بـ}$$

$$Q = cdA\sqrt{2gh}$$

والتصرف بالمعادلة

$$\text{Total Head} = h$$

الضغط الرأسي على النافورة

$$g = \text{عجلة الجاذبية}$$

$$A = \text{مساحة الثقب}$$

$$cv = \text{معامل السرعة}$$

$$cd = \text{معامل التصرف ( حيث } ce \times cv = cd \text{ )}$$

معامل الانكماش

معاملات السرعة والانكماش والتصرف تتغير طبقاً للشكل والخواص الأقوى للنافورة أو الثقب.

ومسار التريز قد يكون عمودياً أو مائلاً. إذا كانت  $\theta$  هي الزاوية بين محصلة السرعة الأولية والأفقية فإن زمن التعرض لنقط المياه يكون.

$$T = 2Cv \sin \theta \sqrt{2g/h}$$

ونظراً لأن جيب الزاوية أقل من  $90^\circ$  درجة (أقل من 1)، فإن التريز العمودي يعطي أطول زمن تعرض لقيمة (h). والتريز المائل له ميزه وهي طول المسار وعدم التداخل بين النقاط المتساقطة. وتؤثر الرياح على مسار النقاط الصاعدة والهابطة مما يتطلب أخذ ذلك في الاعتبار.

وتصميم النافورات هام لتوفير أقصى انتشار للماء. ومن بين هذه التصميمات النافورة القاذفة (Riffled Nozzle)، النافورة بالطرد المركزي، الأقماع الطافية. والنافورة الدوارة. يتوقف العدد والفواصل بين النافورات على الضغط ومساحة التهوية والتداخل بين الرشاشات المتجاورة. وعملياً يجب تجنب النافورات الصغيرة جداً لمنع الانسداد.

من أشكال التهوية بالرش حيث تريز المياه يتم من خلال فوهة مثبتة متصلة بلوحة منقبة للتوزيع حيث تنتشر من خلالها المياه إلى الهواء الجوي بسرعة 3-5 متر في الثانية. وشكل آخر حيث المياه تتدفق لأسفل خلال قطع قصيرة من

المواسير بطول ٢٥ سم وقطر ١٥-٣٠ سم. والتي تتغذى من ماسورة توزيع رئيسية تحمل المياه تحت ضغط عامود مائي من ٢-٨ متر. ويوضع قرص مستدير زجاجي أسفل نهاية كل ماسورة. وأحيانا توضع المواسير الفرعية مائلة لمنع التصادم بين قطرات المياه المتساقطة والمنعكسة. ولمنع تلوث المياه يلزم عمل تهوية صناعية وتحديد مستمر لتيار الهواء.

ونوع آخر من التهوية بالرش والذي يستخدم فوهات لماسورة تغذية حيث المياه تتدفق لأعلى (شكل ١١١). عادة فإن تجهيزات التهوية بالرش توضع فوق حوض الترسيب أو وحدة الترشيح لتوفير المساحة الأرضية ولعدم الحاجة إلى توفير حوض تجميع للمياه المهواه. ولمنع الانسداد يجب أن تكون فتحة خروج المياه كبيرة نسبياً أى أكبر من ٥ ملليمتر (شكل ١٠٩). وفى نفس الوقت يجب أن توفر هذه التجهيزات التركيز للمياه إلى نقاط صغيرة جداً. وتوجد تصميمات كثيرة لتوفير هذه الاشتراطات منها جهاز التهوية البسيط الذى يستخدم عائق شكل (١١١). التهوية بالنافورات تزيل أكثر من ٧٠% من ثانى أكسيد الكربون المذاب حتى ٩٠%.

## ٥- التهوية بتساقط المياه :

### أ- التهوية بالصوانى المتعددة (Multiple Tray Aeration) شكل (١٠٦)

وهذه طريقة سهلة وغير مكلفة وتشغل حيز صغيره. وهذا النوع من أبراج التهوية يتكون من ٤-٨ صوانى متتابة بفواصل ٣٠-٦٠ سم. وتمر المياه من أعلا البرج خلال مواسير متتابة للتوزيع بانتظام على أسطح الصوانى العليا، ثم تتدفق الى اسفل بمعدل ٠.٢ و ٠.٣ م<sup>٣</sup>/ث / المتر المربع من مسطح الصانوية. نقاط المياه تنتشر ثم تتجمع عند كل صانوية تالية. هذه الصوانى تصنع من الاسبستوس أو البلاستيك أو الخشب الأحمر البحرى المقاوم للمياه أو من المواسير البلاستيك صغيرة القطر. ولزيادة تشتت المياه يمكن ملئ الحوض بالزلط الفاير بسمك ١٠ سم وقد يستخدم فحم الكوك أو كسر الأحجار أو قطع السيراميك أو الدولوميت. ولهذه المواد فائدة فى حجز الرواسب والتخلص منها أولاً بأول. كما تفيد فى تحويل

المياه إلى قطرات صغيرة بما يزيد من مساحة الأسطح المعرضة للهواء ويرفع من قيمة معامل الانتقال للغازات وبذا تتحسن نوعية المياه بإزالة ثاني أكسيد الكربون وإزالة الأكسجين في الماء. وتمتاز هذه الطريقة بصغر المساحة التي تتراوح ما بين ١٥-٤٥ متر لكل ١٠٠٠ متر مكعب من المياه في الساعة. كما يلزم من أن لآخر تنظيف أو تغيير طبقة الفحم وإلا تعطل مرور المياه وتوقفت العملية كلها. وفي كثير من الحالات تغطي هذه الأعمال بالإنشآت المسقوفة وبالتالي ضرورة الالتجاء إلى التهوية الصناعية. وبالنسبة للتجمعات الصغيرة ذات الاستهلاك المحدود من المياه يستخدم برج التهوية اليدوي مع الترشيح للمياه المحتوية على نسب عالية من الحديد والمنجنيز شكل (١٠٦).

### ب - التهوية بالمصاطب المتدرجة : Cascade Aerators شكل (١٠٧، ١٠٨)

في التهوية بالمصاطب المتدرجة يتوفر زيادة زمن التعرض وكذلك زيادة نسبة المساحة إلى الحجم وذلك بتدفق المياه لأسفل خلال عدد من المصاطب أو العوائق. وأبسط أنواع المصاطب المتدرجة هو المصاطب الخرسانية والتي تجعل المياه تنساب في رقائق من منسوب إلى آخر. يمكن زيادة زمن التعرض بزيادة عدد المصاطب، كما يمكن زيادة نسبة المساحة إلى الحجم بإضافة عوائق (هدارات) لا حدات الاضطراب (Turbulence). والضغط المطلوب من ٣-٥ قدم. إزالة ثاني أكسيد الكربون تتم بنسبة ٢٠-٤٥%. ويتراوح عدد المصاطب بين ٣-٥ حسب الجودة المطلوبة للمياه من عملية التهوية. وتبلغ مسافة سقوط المياه من ١٥-٣٠ سم، كما يبلغ معدل التصرف ٢٠ إلى ١٠٠٠ متر مكعب في الساعة لكل متر طولي من الهدار (عرض الحوض)، على أن تكون الهدارات مزودة بإطراف على هيئة سن المنشار لتوزيع المياه وتفكيكها على هيئة قطرات يسهل تهويتها وقد وجد أن المساحة المطلوبة لهذا العملية تبلغ حوالي ٣٠ متر مسطح لكل ١٠٠٠ م<sup>٣</sup> مياه في الساعة. وإن كانت هذه الطريقة قد أثبتت كفاءة عالية في زيادة نسبة الأكسجين المذاب في المياه إلا أنها لم تعط نتائج جيدة لإزالة ثاني أكسيد الكربون. ومقارنة ببرج التهوية ذو الصواني (Tray Aerators) فإن المساحة المطلوبة للتهوية بالمصاطب أكبر وإن كان الفقد في الضغط أقل، إلا أنه لا يحتاج إلى صيانة. نوع

آخر من حوض التهوية متعدد الأرضية (Multiple Platform Aerator) شكل (١٠٨) حيث تستخدم ألواح لنزول المياه إلى أسفل بما يعرض المياه بالكامل للهواء. وفي المناخ البارد يجب أن تكون هذه المصاطب في مبنى مغلق كما يجب عمل إجراءات تحسين التهوية وكذلك الاحتياط لتجنب التآكل وتكوين الطحالب والمواد الهلامية.

## ٦- التهوية بفقاغات الهواء : Bubble Aerators

كمية الهواء للتهوية بالفقاغات صغيرة ولا تزيد عن ٠,٣ - ٠,٥ متر مكعب من الهواء لكل متر مكعب من الماء. وهذه الأحجام يمكن توفيرها بسهولة بشفط الهواء إلى الداخل (Sucking- In Of Air). يمكن توفير ذلك باستخدام التهوية بالفنتوري (Venture) شكل (٥) حيث يوضع جهاز التهوية أعلا من الماسورة الحاملة للمياه. في فتحة الفنتوري تكون سرعة المياه عالية حيث في المقابل يقل ضغط الماء إلى أقل من الضغط الجوي ولذا فإن الهواء يجذب (Sucked) إلى الماء. وبعد المرور في فتحة الفنتوري تتدفق المياه خلال ماسورة متسعة المقطع وتقل سرعة المياه مع ما يقابلها من زيادة ضغط الماء. تختلط فقاعات الهواء الصغيرة جدا مع الماء ويمتص الأكسجين من الهواء إلى الماء. ويعتبر التخلص من ثاني أكسيد الكربون في هذا النوع من التهوية غير مؤثر نظرا لأن حجم الهواء في الفقاعات صغير نسبيا. وكذلك التخلص من باقي الغازات غير مجدي في هذه الطريقة.

## ٧- التهوية بالهواء المضغوط (الحقن) : Injection Aerators

شكل (١٠٥- أ، ب، ج)

في هذه الطريقة يتم ضغط الهواء داخل المياه المطلوب تهويتها فيخرج الهواء على هيئة فقاعات تمد المياه بالأكسجين اللازم. وهذه الطريقة غير مجدية في إزالة النسب العالية من ثاني أكسيد الكربون، ألا أنها لا تتأثر بالتقلبات الجوية والرياح كما في الطرق السابقة. وللهوية بالهواء المضغوط عدة طرق أهمها شكل (١٠٥).

وفى هذه الطريقة تتم التهوية فى حوض مستطيل من الخرسانة المسلحة مزود بناشرات هواء قرب قاعة. وهى عبارة عن أنابيب مثقبة أو مسامية ينفذ خلالها الهواء المضغوط وتنتشر على هيئة فقاعات هوائية تتخلل المياه فتحدث التهوية شكل (أ) والسرعة الرأسية المناسبة لصعود هذه الفقاعات لا تزيد عن ٣٠ سم/ث، وذلك بفصد إطالة زمن التلامس لفقاعات الهواء مع الماء وإمكان حصول المياه على الأكسجين من هذه الفقاعات. ويبلغ عمق الحوض ٣-٤,٥ فإذا نقص عن ذلك إنخفض زمن التلامس وقلت الاستفادة من الهواء المضغوط. أما إذا زاد عمق الحوض فإن ذلك يتطلب طاقة كبيرة لضغط الهواء دون أن يقابل ذلك تحسن فى التهوية. يجب ألا يزيد عرض الحوض عن ضعف عمقه. ويحدد الطول اللازم للحوض بعد تحديد سعة وهذه تصمم لزمن مكث ما بين ١٠ الى ٢٠ دقيقة. المساحة اللازمة لهذه الأحواض تتراوح ما بين ٤٠ الى ١٢٠متر مربع لكل ١٠٠٠متر مكعب من المياه فى الساعة. وتختلف كمية الهواء المطلوب من عملية لآخرى ولكنها عادة تتراوح بين ٤٠%، ٨٠% من كمية المياه المطلوب تهويتها. وفى هذه الطريقة كلما صغر حجم فقاعات الهواء كلما زادت أسطح التلامس وتحسنت التهوية. ونظرا لأن حجم فقاعات الهواء يبلغ تقريبا عشرة أضعاف حجم الفتحة التى خرجت منها فإن الحصول على فقاعات صغيرة يتطلب ناشرات هواء ذات مسام صغيرة وهذه تكون سريعة الانسداد، ولتفادى ذلك يفضل ترشيح المياه قبل التهوية للتخلص من المواد العالقة التى تسبب انسداد ناشرات الهواء. كما أن تقليب المياه باستمرار يحسن التهوية ولتحقيق ذلك توضع ناشرات الهواء على جانب واحد من قاع الحوض لاعطاء الماء حركة حلزونية والتى تساعد على بقاء الفقاعات فى الحوض فترة من الزمن ومنع هروبها بسرعة إلى السطح شكل (ب) ويبين الشكل (ج) حوض تهوية يعمل بنفس النظرية ولكن باستعمال أنابيب مثقبة أو مسامية توضع عند منتصف عمق الحوض، وبالحوض أيضا حوائط حائلة لاعطاء المياه حركة حلزونية.

وتصمم هذه الأحواض على أساس ٣٠ متر مكعب فى الساعة لكل متر مسطح واستهلاك الهواء يقدر بحوالى متر واحد من الهواء لكل متر مكعب من المياه وهذه

تحتاج الى طاقة عالية نسبيا. وللحوض قاع مخروطي لجمع الرواسب وتصريفها في ماسورة خاصة.

## ٨- ضوابط استعمالات التهوية : Limitation For Aeration :

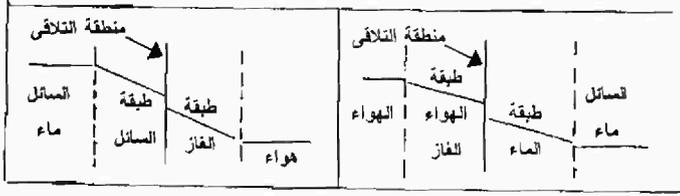
- \* أكثر التطبيقات العملية للتهوية تتم بغرض إدمصاص الغازات والتخلص من الغازات أساسا بالنسبة للأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. عند تهوية المياه فإن المحتوى من الأكسجين المذاب يزداد بما يجعل المياه أكثر عدوانية للتآكل. وإن كان هناك إجراءات لتجنب هذه المشكلة.
- \* إن استخدام عمليات التهوية بعد الترشيح أو لمعالجة مياه الآبار كعملية وحيدة تشكل بعض السلبيات نظرا لتعرض المياه للهواء المحمل بالملوثات وذلك عند التهوية قبل الضخ المباشر في شبكة التوزيع. وكذلك فإن التهوية الزائدة قد تحدث أثر سلبي عند إزالة الحديد والمنجنيز وذلك عند وجود هذه العناصر متحدة مع المواد العضوية وفي هذا الحالة إذا كان المصدر المائي من المجارى السطحية العذبة يتم التخلص من الحديد والمنجنيز في مراحل المعالجة بالمروبات والترسيب والترشيح حيث تزال كذلك المواد العضوية. وعندما يكون المصدر هو مياه الآبار يفضل عمل تهوية بسيطة أو استخدام مواد الأكسدة من الكلور ويرمنجات البوتاسيوم.
- \* معظم المشاكل الخاصة بالمذاق والرائحة لمصادر المياه يكون سببها كميات صغيرة من المواد العضوية، وكثير من هذه المواد العضوية ليس لديها القدرة الكافية على التطاير (التبخار) لتتجاوب مع عمليات التهوية التقليدية. ولهذا فإن عمليات التهوية التقليدية ليست مؤثرة في إزالة المذاق والرائحة في جميع الحالات. ولكن هناك استثناءات من هذا التعميم فعند التهوية باستخدام الضغط المرتفع أثبتت تقليل الرائحة بنسبة ٩٨% عند استخدام ضغط ٧-٨ كج /سم<sup>٢</sup> عند فتحات الفنى (Nozzles). ولكن مشكلة استخدام الضغط المرتفع للتهوية يسبب البرى والتلف للريش الدافعة لفتحات الفنى وأن كان هذا التلف يرجع للعكارة في المياه المعالجة في حالة وجودها.

\* بالنسبة لإزالة ثانى أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى فعند استخدام التهوية التي تعمل بتدفقات المياه فإن الضغط المطلوب هو حوالى ٤ متر والاحتياجات من المعدات لضغط الهواء هي تقريبا المطلوبة لعمليات بثق الهواء (Air Diffusion). أى أن الطاقة المطلوبة فى الحالتين تقريبا متساوية . وقد بثت أنه فى حالة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الماء ١٠ جزء فى المليون أو قل فإنه يتم إزالة ثانى أكسيد الكربون بالتعادل الكيميائى باستخدام الجير (Lime) وليس بالتهوية. ويعتبر إزالة ثانى أكسيد الكربون من المياه الجوفية ذو أهمية خاصة عند معالجة المياه لإزالة العسر بطريقة الجير - الصودا (Soda-Lime Process). كما أن التهوية تضيف الأكسجين الى الماء الذى يتم به أكسده الحديد والمنجنيز والتهوية تزيل كبريتيد الهيدروجين من المياه الجوفية حيث يمكن إزالة تركيزات من ١-٢ جزء فى المليون والتي لها تأثير على الرائحة. ولكن التركيزات الأعلى يمكن إزالتها بزيادة زمن التهوية أو باستخدام التهوية فى مجال جوى به ضغط جزئى عالى من ثانى أكسيد الكربون أو إضافة قلوئى إلى الماء.

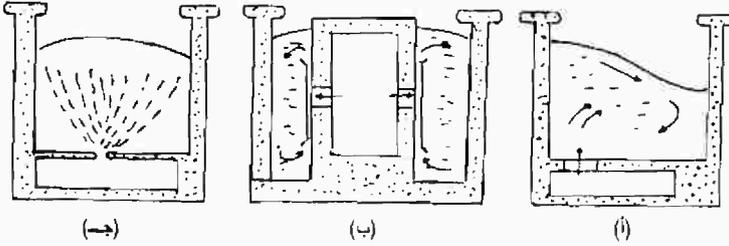
\* الأبراج للتهوية ذات الحشو : Packed Towers شكل ( ١١٢ )

لقد استخدمت فى عمليات الكسح (Stripping) للملوثات شديدة التطاير مثل كبريتيد الهيدروجين. ولكن توجد مجموعة من الكيماويات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Chemicals) بالإضافة الى مركبات الترايها لوميتان أقل فى التطاير والتبخر مما يتطلب استخدام أكثر كفاءة لإزالتها.

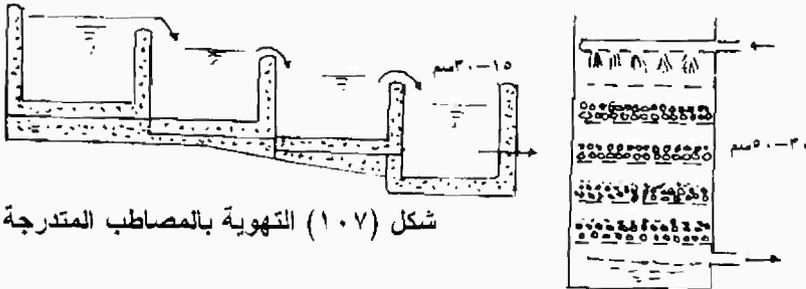
البرج ذو الحشو النموذجى يتكون من جسم أسطوانى به قرص لحمل مادة الحشو (Packing Material). مادة الحشو تكون من قطع عشوائية فى البرج. ويصنع جسم البرج من الصلب أو السيراميك أو البلاستيك. وتستخدم التهوية فى هذه الأبراج بالتدفق المعاكس حيث تتدفق المياه الى أسفل داخل البرج ويمر الهواء الى أعلا. ويمكن كذلك تصميم الأبراج بالتدفق الموازى والتدفق المنقطع



شكل (١٠٤) التدرج في إنتشار الغاز في الماء والهواء

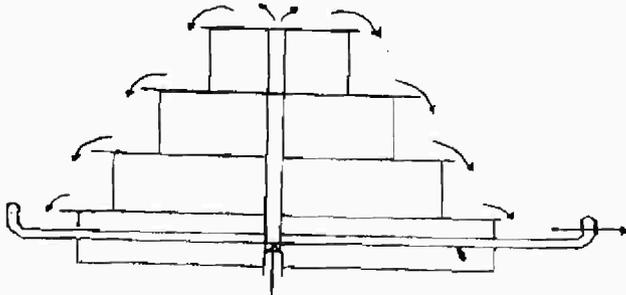


شكل (١٠٥) التهوية بالهواء المضغوط (أ، ب، جـ)

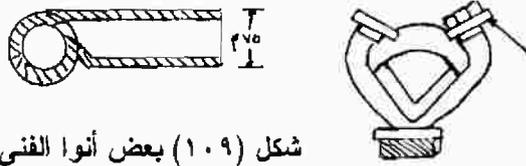
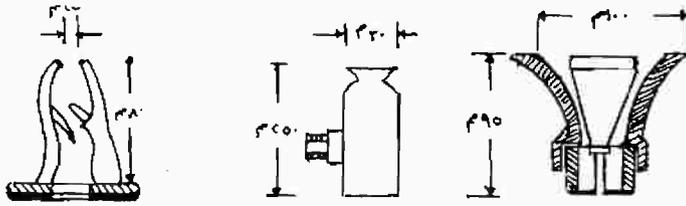


شكل (١٠٧) التهوية بالمصاطب المتدرجة

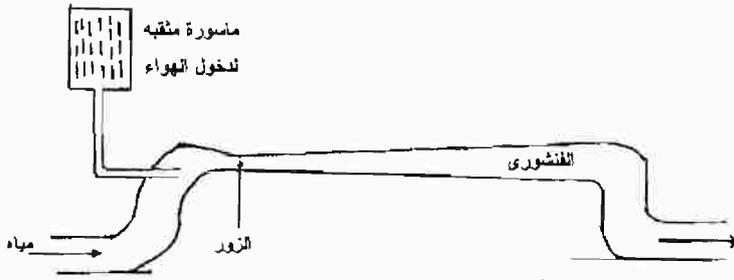
شكل (١٠٦) التهوية بالصواني المنقبة



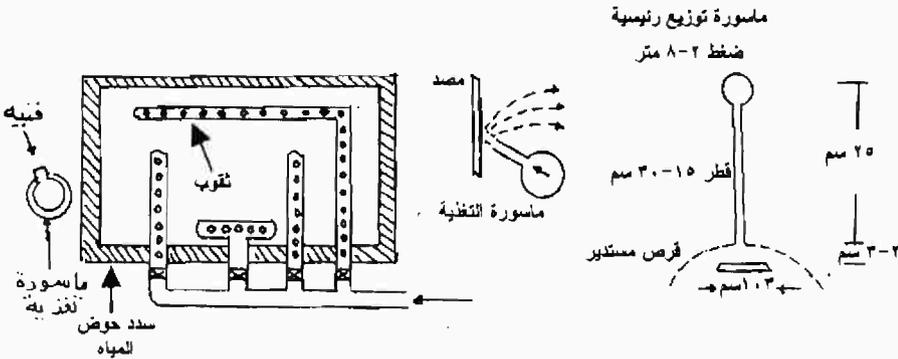
شكل (١٠٨) التهوية بالمصاطب المستديرة



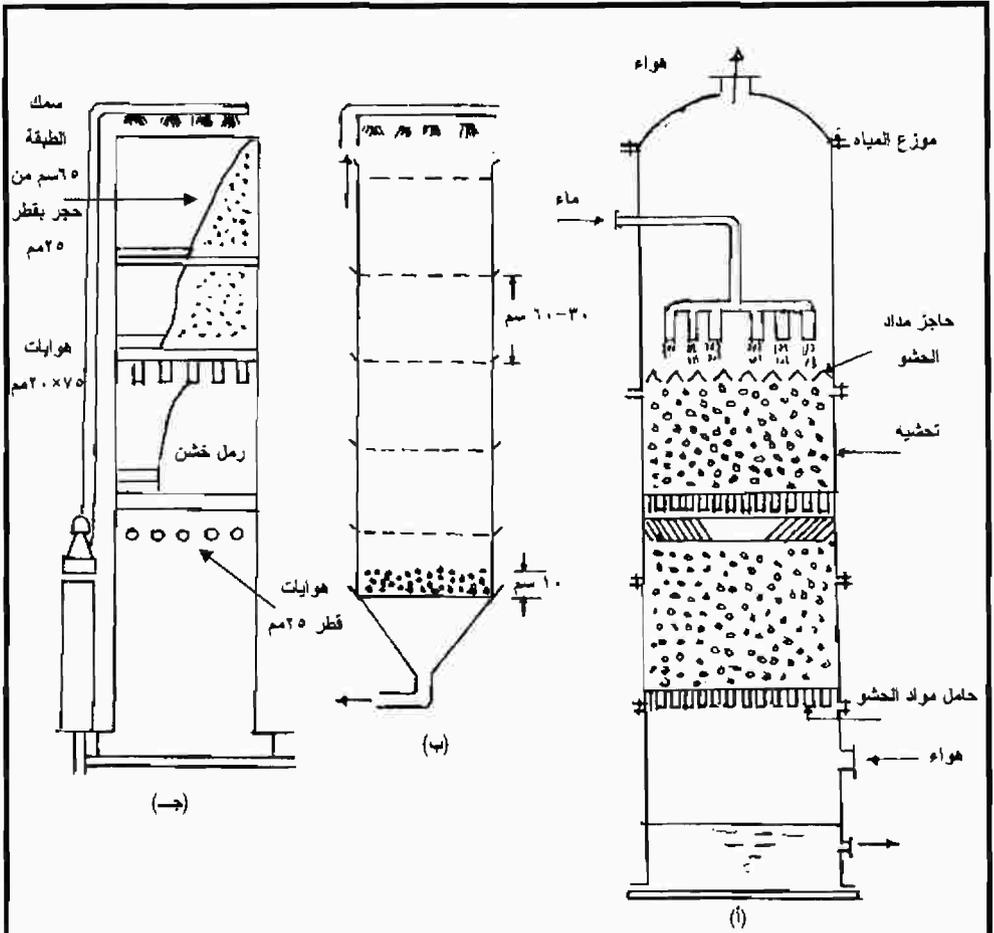
شكل (١٠٩) بعض أنواع الفنى لتهوئة المياه بالترزيز



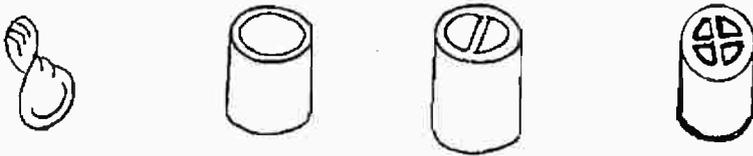
شكل (١١٠) التهوية بالفنشورى (Venture Aerator)



شكل (١١١) التهوية بالترزيز



شكل (١١٢) نموذج لبرج الكسح بالهواء (أ، ب، جـ) (Air Stripping Tower)



شكل (١١٣) نماذج لمادة الحشو لأبراج التهوية - من البلاستيك



## القسم الرابع

# إزالة الحديد والمنجنيز من مياه الشرب والاستخدام المنزلى

مقدمة :

مركبات الحديد والمنجنيز بالإضافة إلى مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم والألومنيوم من مسببات العسر فى المياه. يوجد الحديد والمنجنيز فى صخور وأملاح التربة فى شكل مركبات الكربونات والأكاسيد والكبريتيد (Sulphides)، كما يوجد فى الطفلة وفى أنسجة الكائنات الحية. الحديد والمنجنيز من الملوثات الغير مقبولة فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى.

### ١- الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه الجوفية والسطحية :

أ- فى مصادر المياه الجوفية :

يوجد الحديد والمنجنيز فى كثير من مصادر المياه الجوفية ويوجد المنجنيز عادة مع الحديد ولكن بنسب اقل. المياه الجوفية عادة تحتوى على نسب عالية من ثانى أكسيد الكربون ونسب قليلة من الأوكسجين المذاب ويرجع تكون ثانى أكسيد الكربون إلى تحلل المواد العضوية فى التربة لا هوائيا وفى هذه الظروف فان أملاح الحديد والمنجنيز فى الشكل على التكافؤ تكون غير مذابة وعند توفر ثانى أكسيد الكربون وغيبية الأوكسجين تتحول هذه الأملاح الغير مذابة الى المركبات

المذابة ثنائية التكافؤ مثل ايدروكسيد وبيكربونات الحديدوز والمنجنيز ثنائى التكافؤ (Manganous). ( $Mn^{++}$  ,  $Fe^{++}$ ). وكذلك توجد الكبريتات المذابة فى المياه الجوفية وكذلك يوجد الايون الثنائى التكافؤ للحديد والمنجنيز محتوى على كبريتيد الهيدروجين.

كما يوجد الحديد والمنجنيز مرتبط بالمركبات العضوية الناتجة عن تحلل الكائنات الحية (النباتات والحيوانات) والتي تسمى بالحامض الاصفر فى المياه (Yellow Acid) والذي يتحد مع مركبات الحديدوز مكونا مركبات عضوية وهذه مواد ملونة معقدة (Complex).

ويوجد الحديد فى المياه الجوفية بنسب حتى ٢٥ جزء فى المليون وقد يزيد عن ذلك أو يقل كما أن المنجنيز يوجد عادة بنسب اقل من واحد جزء فى المليون. الملاحظة العامة ان المياه ذات القلوية العالية بها نسب اقل من الحديد والمنجنيز عن المياه ذات القلوية المنخفضة وكذلك فان تركيز الحديد فى المياه الجوفية حيث التربة الحاملة تكون زلطية يكون اقل منه فى التربة الحاملة الصخرية مركبات الحديد المتحدة مع مواد عضوية (Colloidal) أو الغير مذابة تزال بفعل الترشيح للتربة الحاملة للمياه الجوفية أثناء ضخ المياه من البئر الجوفى.

### ب - الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه السطحية :

يوجد الحديد فى مصادر المياه السطحية المحتوية على الأوكسجين فى أشكال مختلفة من الحديد الثلاثى التكافؤ (الحديديك - Ferric Iron) فقد يوجد فى مستحلب الطفلة والطين، والأجسام العالقة الصغيرة من أكسيد الحديد المائى تكون فى شكل جيلاتينى (Colloidal) أو فى شكل مركب عضوى معقد ملون أو فى شكل أجسام محاطة بمواد مانعة لظهور اللون (Chelated) كما يوجد فى شكل مواد ومركبات غير عضوية أو مركبات مع مواد عضوية عالقة. فى العينات المرشحة من المياه المحتوية على أوكسجين نادرا ما تزيد نسبة الحديد عن واحد جزء فى المليون. أما المنجنيز فانه يوجد فى المياه السطحية فى شكل مركبات عضوية عالقة محتوية على المنجنيز رباعى التكافؤ وكذلك فى شكل مركبات ثلاثية التكافؤ المعقدة القابلة

للذوبان نسبياً وفي المركبات المعقدة الغير عضوية. وفي الحالة المذابة كأيون المنجنيز ثنائي التكافؤ نادر ما تزيد نسبة المنجنيز في المياه السطحية عن واحد جزء في المليون وغالبا ما يوجد المنجنيز بنسبة من ٠,١ الى ١ جزء في المليون وتصل نسبة المنجنيز من ثلث الى نصف نسبة الحديد.

### ج- المشاكل التي يسببها وجود الحديد والمنجنيز في المياه :

يحدث عند غسل الملابس أو الأواني أو أى أجسام تلامسها المياه المحتوية على الحديد والمنجنيز وجود بقع ملاصقة قبيحة المنظر غير قابلة للذوبان ذات لون الصدا البني والأصفر والرمادي والأسود. المنجنيز لاذع في حالة زيادة نسبته في مياه الشرب والحديد والمنجنيز يحول مشروب الشاي الى اللون الأسود ويغمق لون الخضراوات المغلية كما انه غير صالح لإعداد الأطعمة من بعض البقول مثل العدس ويعطى الحديد مذاق معدنى ما بين المر والحلو ويمكن اكتشافه بواسطة الذواقة عند تركيز ١-٢ ملليجرام في اللتر ويشكل كل من الحديد والمنجنيز مشاكل في العمليات الصناعية التي تدخل فيها المياه.

ويساعد وجود الحديد والمنجنيز على نمو وتكاثر البكتريا والذي يسبب الانسداد للمواسير والوصلات والمحابس بما يزيد استهلاك الطاقة كما أن البكتريا المؤكسدة للحديد تعمل على ترسيب الحديد في شبكة التوزيع والسباكة المنزلية بما يسبب اللون الأحمر للمياه وبما يزيد من تراكم الترسبات. بالإضافة إلي ذلك فإنه عندما تتحلل البكتريا فإنها تسبب مذاق ورائحة غير مقبولة للمياه بما يجعله غير مناسب للشرب. وعند تحلية المياه بطريقة التبادل الأيوني أو باستخدام الأغشية (Membranes) فإنه يلزم التخلص من الحديد والمنجنيز لتجنب الترسيب والانسداد مما يتطلب التنظيف بصفة مستمرة للمحافظة علي كفاءته.

وقد وجد من الخبرة ان الحديد غير مقبول بنسبة اكبر من ٠,٢ جزء في المليون والمنجنيز بنسبة ٠,١ جزء في المليون وللأغراض الصناعية فان الحديد قد يصل إلي ٠,١ جزء في المليون والمنجنيز ٠,٠٥ جزء في المليون. وقد أجازت وزارة الصحة نسب الحديد حتي ٠,٥ ملليجرام / لتر والمنجنيز حتي ٠,٣ ملليجرام /

لتر في قانون البيئة ٤ / ٩٤ في حالة استخدام المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي.

### د- إزالة الأشكال المختلفة للحديد والمنجنيز :

رغم إن الحديد والمنجنيز سواء المذاب أو الغير مذاب يوجد في أشكال متعددة في مصادر المياه السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب فإن وجودهم في المياه المرشحة محدود إلي درجة كبيرة بما لا يزيد عن ١ مليجرام وذلك لإلتزامهم في عمليات المعالجة بالمرشحات. ولكن لا يعتمد عليها في إزالة المنجنيز المذاب. المعالجة الأولية بواحد أو أكثر من العوامل المؤكسدة يؤكد المنجنيز المذاب إلي ثاني أكسيد المنجنيز الغير قابل للذوبان في الماء.



وجود غطاء من ثاني أكسيد المنجنيز الغير مذاب علي حبيبات الرمل في المرشح لا يساعد فقط في خفض المنجنيز إلي المستوي المطلوب ٠,٥ مليجرام / لتر ولكن يساعد في الحصول علي مياه مرشحة تحتوي علي حوالي ٠,٠١ مليجرام / لتر منجنيز وهي الحالة المثالية لنوعية المياه.

اللون العضوي في المياه السطحية مرتبط عادة بالمياه ذات القلوية الضعيفة أو المنعدمة ويزال اللون عند استخدام الشبة كمروب. كما أن استخدام كبريتات الحديدك كمروب ممتاز في مجال رقم هيدروجيني من ٦,٥ - ٨,٥. عند إزالة العسر للمياه من المصادر السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب بواسطة عملية الجير - الصودا (Soda - Lime) فإنه يتم إزالة الحديد والمنجنيز المذاب والغير مذاب مع باقي أملاح العسر. وتعتبر هذه الطريقة مؤثرة في إزالة المنجنيز نظراً لارتفاع الرقم الهيدروجيني.

يوجد ثلاث أشكال للحديد والمنجنيز في المياه الجوفية والتي يلزم إزالتها

\* أيونات الحديدوز عادة مع مركبات عضوية ملونة وكذلك المنجنيز ثنائي التكافؤ مع مركبات عضوية ملونة ثم اللون حيث جزء بسيط منه متحد مع الحديد وكذلك يحتمل مع المنجنيز .

\* المياه الملوثة ليست بالضرورة مياه سطحية، اللون العضوي في المياه الجوفية مرتبط عادة بالمياه العسر في الآبار الضحلة.

عندما تحتوي المياه الجوفية الملونة علي ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر من الحديد يوجد ثلاث أنواع من معالجات يمكن عملها.

\* المعالجة الأولية بالتهوية ثم الترويب والترسيب والترشيح.

\* المعالجة الأولية بالتهوية ثم الأكسدة بالكلور أو ثاني أكسيد الكلور أو الأوزون.

\* الترويب والترسيب مع إضافة ١ - ٣ ملليجرام / لتر من كبريات الحديد كعامل تزغيب في حالة تركيزات الحديد القليلة.

كما يمكن إزالة أيون الحديدوز والمنجنيز ثنائي التكافؤ سوياً مع باقي أيونات العسر من المياه الجوفية باستعمال الزيوليت الخاص بإزالة العسر، وذلك مع الحرص من دخول الهواء الي المبادل الأيوني حتي لا يرسب الحديد المؤكسد ويسبب الأنسداد أو التلف لطبقة التبادل الأيوني. وقد أصبح المألوف حالياً إزالة الحديد والمنجنيز بالتهوية مع استخدام مفاعل طبقة الحماة (Sludge Blanket) من أكاسيد الحديد والمنجنيز الرباعي ثم الترشيح وذلك قبل استخدام التبادل الأيوني لإزالة الملوحة. تقل إزالة أيون الحديد والمنجنيز عند أكسدة الحديد الي الثلاثي التكافؤ والمنجنيز الي الرباعي التكافؤ حيث يحدث ترسيب وأنماج مما يسهل إزالتهم بالترشيح.

#### هـ - التفاعل مع المؤكسدات :

عند أكسدة الحديد الثنائي الي الثلاثي التكافؤ فإن هذه الأكسدة تزيد الحديد بمكافئ واحد وفي حالة أكسدة المنجنيز الثنائي الي المنجنيز الرباعي التكافؤ فإن الأكسدة للمنجنيز تزيد بمعدل ٢ مكافئ

لذلك فإنه يصرف النظر عن الوزن الذري للحديد والمنجنيز فإن المنجنيز الثنائي يتطلب عملياً ما يعادل حوالي ضعف المؤكسد الذي يتطلبه الحديد الثنائي. يهتم المصمم بإيجاد الحديد والمنجنيز في الشكل الغير مذاب أثناء عملية الأكسدة مع إزالة الرواسب في العمليات التالية. ويلاحظ أنه بزيادة سرعة الأكسدة يتكون راسب الأيدروكسيد ومع بطئ تفاعل الأكسدة تتكون الكربونات. العوامل المؤكسدة عادة والتي تشمل الكلور وثاني أكسيد الكلور وبرمنجات البوتاسيوم. يظهر في الجدول التالي كمية المؤكسد المطلوب والقلوية المستهلكة وتقدير للراسب المتكون.

الرواسب المتكونة تكون أساساً من إيدروكسيد الحديدك وثاني أكسيد المنجنيز (Fe ( OH )<sub>3</sub> & MnO<sub>2</sub>) مع احتمال تكون كربونات الحديد وفورمات المنجنيز المتحد مع ثاني أكسيد المنجنيز MnO<sub>2</sub> (Mn(OOH)<sub>2</sub>) - .

### أكسدة الحديد:

التفاعل	(المؤكسدة) مليجرام / مليجرام حديد ثنائي	(القلوية المستخدمة) مليجرام / مليجرام حديد ثنائي
أ - الأكسجين $Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$	٠,١٤	١,٨
ب - الكلور $2Fe(HCO_3)_2 + Ca(HCO_3)_2 + Cl_2 = 2Fe(OH)_3 + CaCl_2 + 6CO_2$	٠,٦٤	٢,٧
ج - البرمنجات $3Fe(HCO_3)_2 + KmnO_4 + 2H_2O = 3Fe(OH)_3 + MnO_2 + KHCO_3 + 5CO_2$	٠,٩٤	١,٥
د - ثاني أكسيد الكلور $Fe(HCO_3)_2 + NaHCO_3 + ClO_2 = Fe(OH)_3 + NaCl + 3CO_2$	١,٢١	٢,٧

## أكسدة المنجنيز :

التفاعل	(المؤكسد) مليجرام / مليجرام منجنيز ثنائي	(القلوي المستخدم) مليجرام / مليجرام منجنيز ثنائي
أ - الأكسجين $2 \text{MnSO}_4 + 2 \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 = 2 \text{MnO}_2 + 2 \text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$	٠, ٢٩	١, ٨
ب - الكلور $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Cl}_2 = \text{MnO}_2 + \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$	١, ٢٩	٣, ٦٤
ج - ثاني أكسيد الكلور $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{NaHCO}_3 + 2 \text{ClO}_2 = \text{MnO}_2 + 2 \text{NaClO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$	٢, ٤٦	٣, ٦
د - برمنجنات البوتاسيوم $3 \text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{KmnO}_4 = 5 \text{MnO}_2 + 4 \text{HCO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$	١, ٩٢	١, ٢١

## ٣- ديناميكا التفاعل مع الأكسجين :

إن معدل أكسدة الحديدوز في أي رقم هيدروجيني هو دلالة لتركيز الحديدوز في حالة توفير الأكسجين حيث يقل معدل الأكسدة كلما قل التركيز. ومن ناحية أخرى فإن معدل أكسدة الحديدوز يتوقف على الرقم الهيدروجيني بدرجة كبيرة حيث يزداد مائة مرة لكل زيادة واحدة في الرقم الهيدروجيني عند ثبات درجة الحرارة. وتأثر الأكسدة بدرجة الحرارة أقل حيث تزداد عشرة مرات لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره ٨ درجات مئوية. في المياه المحتوية على البيكربونات وعند درجة حرارة ١٦°م فإن الأكسدة تتم ببطء شديد جدا عند رقم هيدروجيني ٦,٥ ولكن عند رقم ٦,٩ & ٧,٢ فإن الوقت اللازم لإكمال التفاعل بنسبة ٩٠% هو تقريبا ٤٨ دقيقة، ٨ دقائق وأقل من دقيقة عند نفس درجة الحرارة ورقم هيدروجيني ٧,٩. القلوية المرتفعة تساعد كذلك على أكسدة أيون الحديدوز. وللحصول على أكسدة فورية لأيون الحديدوز في المياه الجوفية ذات القلوية

المنخفضة، فإنه من الضروري رفع قلوية البيكربونات إلى ١٠٠ - ١٣٠ ملليجرام / لتر مقيمة ككربونات كالسيوم.

قد تكون التهوية غير مؤثرة في المياه المحتوية علي مركبات عضوية مركبة وذلك لأن الحديدوز يمكن أن يكون مركبات عضوية مركبة مع هذه المواد العضوية ومنها أحماض التينك (Tannic Acids) وهذه المركبات يمكن أن تعيق تماما أكسدة الحديدوز لعدة أيام حتي عند توفر الأوكسجين. أيون النحاس ثنائي التكافؤ ( $Cu^{++}$ ) يؤثر علي سرعة أكسدة أيون الحديدوز كعامل وسيط حتي ان الكميات الصغيرة جدا (Traces) لها تأثيرها علي معدل التفاعل ولا يتأثر هذا العامل الوسيط بدرجة الحرارة أو في حالة تكوينها لمركبات معقدة مع المواد العضوية ومن العوامل المساعدة لسرعة أكسدة الحديد والمنجنيز ايونات الفسفور ثنائية الهيدروجين ( $H_2PO_4$ ) لاتحادها مع المنجنيز ثنائي التكافؤ والحديد ثلاثي التكافؤ لتكون مركبات معقدة. وكذلك أيون الميتافوسفيت أحادي التكافؤ ( $P_2O_5$ ) يمكنه العمل كعامل وسيط لإسراع عملية الأكسدة للحديدوز وكذلك السيلكا تعمل كعامل وسيط في تفاعل الأكسدة.

أكسدة المياه المحتوية علي المنجنيز الثنائي والرابعي يؤدي الي ترسيبه في شكل ثنائي أكسيد المنجنيز أو إزالته من المياه. وتتوقف أكسدة المنجنيز مثل الحديد علي الرقم الهيدروجين حيث يقل معدل الأكسدة عند رقم هيدروجيني أقل من ٩ وعند الوصول الي رقم هيدروجيني ٩,٥ يزداد على الرقم الهيدروجيني فقط معدل الأكسدة بوضوح. ولا يتوقف معدل الأكسدة للمنجنيز على الرقم الهيدروجيني فقط بل كذلك على ثاني أكسيد المنجنيز وقد ثبت أن ثاني أكسيد المنجنيز يقوم بامتصاص المنجنيز ثنائي التكافؤ. امتصاص ثاني أكسيد المنجنيز يزداد بمعدل ٢,٥ مرة من ٠,٣ جرم منجنيز ثنائي لكل واحد ملليجرام ثاني أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٧ إلى ٠,٧٥ ملجرام منجنيز ثنائي لكل واحد ملليجرام ثاني أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجين ٨. وذلك يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بامتصاصه علي ثاني أكسيد المنجنيز في مجال رقم هيدروجيني الموضح في الشكل (١١٤). وبدون رفع الرقم الهيدروجيني فإنه بزيادة ترسيب ثاني أكسيد

المنجنيز المؤكسد يمكن زيادة إدمصاص المنجنيز الثنائي التكافؤ الموجود في الماء. ويمتص كذلك المنجنيز الثنائي علي أكسيد وايدروكسيد الحديديك.

يتوقف كذلك امتصاص المنجنيز الثنائي علي الرقم الهيدروجيني فكلما زاد الرقم الهيدروجيني وخاصة عند رقم هيدروجيني أكبر من ٨,٢ كما في الشكل (١١٥). يزداد امتصاص المنجنيز الثنائي علي ايدروكسيد الحديديك ثلاث مرات عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني من ٨,٢ إلي ٨,٧. وهذا يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بالإمتصاص علي ايدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك المائي في مجال الرقم الهيدروجيني الموضح بالشكل (١١٥). وذلك بدون رفع الرقم الهيدروجيني إلي درجة غير عملية. ولذا فان الرقم الهيدروجيني الأكثر مناسبة لترسيب ايدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك بالأكسدة هو نفس المجال للرقم الهيدروجيني لامتصاص المنجنيز الثنائي علي كل من ايدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك أو ثنائي أكسيد المنجنيز.

ودراسة معدل الأكسدة في مجال رقم الهيدروجيني مرتفع أظهرت أن ١٠ مليجرام / لتر من أيون المنجنيز الثنائي بدون خلط والذي يقلل من امتصاصه لأقل حد ، فإن كفاءة التفاعل هي ٩٠% في زمن ١٥ دقيقة عند رقم هيدروجيني ٩,٩٥، أن المنجنيز الثنائي يمكن أن يقل عند رقم هيدروجيني ١٠,١ الي ٠,٥ مليجرام / لتر أو أقل في بضع دقائق.

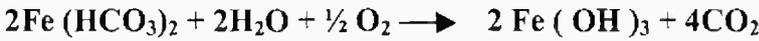
مركبات المنجنيز الثنائي والرباعي مثل الحديد الثنائي يمكن ان يكون مركبات عضوية معقدة غالبا ملونة مع أحماض الهيوميك (Humic Acids) ومواد أخرى نتيجة تحلل النباتات وهذه المركبات مثل مركبات الحديدوز تؤخر عملية الأكسدة لمركب المنجنيز الثنائي والرباعي.

### ٣ - استخدام الهواء الجوي :

التهوية تعتبر الخطوة الأولى الضرورية لإزالة الحديد والمنجنيز من المياه المعزولة عن الهواء (المياه الجوفية). التهوية تحقق السرعة في امتصاص الأوكسجين من الهواء والتخلص من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين.

التخلص من ثاني أكسيد الكربون يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه وهذا يساعد علي التخلص من كبريتيد الهيدروجين وكذلك علي ترسيب الحديدوز الي أيدر وكسيد حديديك او أكسيد الحديديك وكربونات الحديديك التهوية في الأبراج المفتوحة لا تزيل كل ثاني أكسيد الكربون كما ان ازالة ثاني أكسيد الكربون تقل كلما زادت القلوية او كمونها (Buffer).

تهوية المياه المحتوية علي الحديد والمنجنيز هي عملية عادية حيث أن بيكربونات الحديدوز المذابة في الماء ليس لها لون بينما أيدر وكسيد الحديديك له درجة إذابة ضعيفة (أقل من ٠,١ جزء في المليون). ونتيجة لذلك، فعند أكسدة بيكربونات الحديدوز فإن محتوى الماء من الحديد يرسب في شكل أيدروكسيد حديديك. عملية الأكسدة هذه تكون تامة وسريعة عند رقم هيدروجيني ٧ فاعلي أما عند رقم هيدروجيني أقل فإنها تكون بمعدل بطيء جداً والتفاعل كالاتي:



أكسدة بيكربونات المنجنيز الذي نادرا ما يوجد في الماء مشابه لبيكربونات الحديدوز إلا أن الرقم الهيدروجيني يجب أن يرتفع كما أن الزمن اللازم لإتمام التفاعل اكبر. لذلك عندما يكون كلا من الحديد والمنجنيز مذاب في الماء فانه ومن الضروري رفع الرقم الهيدروجيني الي ١٠. حيث عند رقم هيدروجيني أقل فان الحديد يترسب والمنجنيز يظل مذاب في الماء عند الماء الأكسدة بالهواء الجوي. ويرفع الرقم الهيدروجيني بإضافة لبن الجير، والصودا الكاوية أو الصودا آش، وإزالة الحديد فقط فانه ليس ضرورياً إضافة قلوئى لأن التهوية تزيل جزيئات ثاني أكسيد الكربون بما يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني. رغم هذا فان الزيادة في الرقم الهيدروجيني قد لا تكون كافية دائما لإزالة الحديد، عندئذ فانه يلزم إضافة قلوئى.

### المعدات المستخدمة في التهوية :

نوع جهاز التهوية المستخدم يتوقف علي عدة عوامل وهي المحتوى من ثاني أكسيد الكربون، الإزالة للحديد والمنجنيز وكبريتيد الهيدروجين، درجة الإزالة المطلوبة، وحجم المياه التي سيتم معالجتها.

المستخدم عادة في تصميم معدات التهوية وهو جهاز الهواء الذي يعمل بضغط الهواء والألواح الخشبية أو يرج التهوية المملوء بمادة تحشبية (Tower Packed). نموذج برج التهوية وتوزيع الهواء المضغوط لسحب الغازات في الشكل (١١٦) ويتكون من منشأ مغلق دائري أو مربع محتوياً علي عدد من الصواني ذات الألواح الخشبية حيث الفواصل بين الألواح غير متعامدة ما بين العليا والتي تليها. المياه تدخل من أعلا برج التهوية وتوزع بانتظام. نظراً لعدم تعامد الألواح الخشبية المكونة للصواني علي بعضها البعض فإن طبقة المياه الرقيقة التي تسقط علي الأطراف لأحد هذه الألواح تسقط علي وسط اللوح في الصينية التي أسفلها. وعند قاع البرج فان المياه التي يتم تهويتها تتدفق بمعزل عن الهواء إلي حوض تجميع. تتم التغذية بالهواء إلي قاع البرج بواسطة جهاز دفع الهواء (Aerator) والذي يدفعه إلي أعلا خلال برج التهوية وفي اتجاه معاكس لسقوط المياه بمعدل قدم مكعب من الهواء في الدقيقة لكل جالون في الدقيقة من المياه (بما يعادل ٣٠ لتر من الهواء في الدقيقة لكل ٣,٧٨٥ لتر من المياه). في الجزء العلوي من برج التهوية فإن الهواء مضافا إليه المحتوي من الغازات التي أزيلت يتم سحبه من خلال عوائق هوائية (Air Baffles) إلي الجر فوق صينية الموزع والذي يخرج منها الهواء إلي الجو.

الكفاءة العالية لهذا النوع من الهوايات يرجع إلي التحكم العكسي لكل من الهواء والماء بالإضافة إلي عمل عدد كبير من ألواح الصواني وما توفره من طبقات متجددة من المياه وتنقيط للمياه. المعدل التطبيقي المستخدم لتصميم هذا النوع من الأبراج هو ٣٠ - ٤٠ جالون في الدقيقة لكل قدم مربع. كثير من الهوايات (Aerators) القديمة والتي سميت فيما بعد بهوايات التلامس (Contact Aerators) كانت تتكون من صواني محتوية علي فحم مجروش ويرش فوقها المياه المحملة بالحديد علي طبقات الفحم بعمق من ٦ - ١٠ قدم وكانت تسمى المرشحات (Tricklers). وللحصول علي أكبر سطح للتلامس فإن الوسط الترشيحي في جهاز التهوية يتكون عادة من فحم النباتي، الزلط، الرخام، الحجر الجيري حيث يتم الترشيح بعد التهوية في مرشح التلامس. وبذلك أصبح إمكان إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام الهوايات. مرشح التلامس يستخدم فيه عادة فحم الكوك ذو أحجام كبيره نسبياً يليه أحواض الترسيب ثم الترشيح.

وعند استخدام مادة ناعمة في جهاز التهوية بالتلامس يتم توفير مساحة كبيرة. بما يوفر فراغ كافي لاحتواء الحديد المرسب. ويستخدم في هذا المرشح فحم نباتي لحجز المواد العالقة بما يترتب عليه عدم الحاجة الي استخدام الترسيب والترشيح. اما الهوايات بالصواني ذات الثقوب الغير متعامدة علي بعضها البعض (Staggard Slot Trays) فقد استخدمت لانالته الحديد والمنجنيز في التهوية ثم الترشيح. والهوايات ذات الضغط (Pressure and Forced draft) فقد انتشر استخدامها في التهوية حيث أن أيروكسيد الحديد الراسب في وحدات التهوية التي تستخدم سحب او ضغط الهواء (Pressure or Forced draft) سوف يمكنها إمصاص كميات صغيرة من المنجنيز الموجود في الماء.

أجهزة التهوية والترشيح واجهزة التهوية والمكث (Detention) والترشيح تستخدم عند احتواء المياه الجوفية علي ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر من الحديد ومازالت التهوية بالصواني المتعاقبة التي بها مادة التلامس تستخدم حتي الآن. كما أدخلت نظم سرعة الترسيب للحديد بإضافة الجير - الصودا آس في حوض المكث بعد التهوية لرفع القلوية إلي ١٠٠ - ١٣٠ ملليجرام / لتر.

وفي حالة إضافة ايون النحاس (كبريتات النحاس  $CuSO_4 \cdot 2H_2O$ ) كعامل وسيط للأكسدة قبل التهوية مباشرة حيث ثبت في أحد وحدات المعالجة أن أيون الحديدوز لكي يتأكد إلى الحديدك إنخفض زمن المكث من ٩٠ دقيقة إلى ١٨ دقيقة بإضافة ٠,١ ملليجرام / لتر نحاس (كبريتات النحاس المائية وزن ٣,٩٣ ضعف النحاس).

إذا كان التركيز الحديد في المياه الجوفية من ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر فإن المعالجة بالتهوية يمكن ان يليها الترويب والترغيب ثم الترسيب والترشيح. حيث بدون الترويب والترغيب فان الحديد المؤكسد يمكن ان يتطلب من ١٢ - ٢٤ ساعة أو أكثر ليرسب تماما بينما في حالة الترسيب بالمروبات يتطلب زمن ٢ ساعة في حالة وجود المنجنيز الثنائي يلزم الأكسدة بواحد أو أكثر من المؤكسدات بجانب إزالة المنجنيز بالإمصاص فإنه يزال كذلك بالترشيح خلال مرشح رملي حيث تتكون طبقة من ثاني أكسيد المنجنيز علي حبيبات الرمل.

بعد التزغيب والترويب تمر المياه إلى أعلا خلال طبقة الرواسب بمعدل ارتفاع أو تدفق باللتر / سم<sup>2</sup> / الثانية من السطح المؤثر. طبقة الراسب الطافي في مثل هذا الاستخدام بها تركيز المواد العالقة حوالي ٠,٠٨ الي ١ % أو ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ ملليجرام / لتر والتي تتكون معظمها من أيدر وكسيد الحديدك و كربونات الكالسيوم وبعض أكسيد المنجنيز الرباعي المائي. وبهذا يتكون افضل مرشح تلامسي (Contact Filter) حيث لا يوجد انسداد وذو طاقة او إدمصاص لانهاية حيث مع مرور المياه لأعلي خلال طبقة الرواسب (Sludge Blanket) يمتص المنجنيز الثنائي المتبقي والذي لم يحدث له أكسدة أثناء عملية الترويب. وبعض هذه الأيونات الممتصة تحدث لها أكسدة بواسطة الأوكسجين المذاب في الماء وترسب ثاني أكسيد المنجنيز.

## ٤ - استخدام المؤكسدات :

### أ- استخدام الكلور :

في كثير من الحالات فان إضافة الكلور بعد التهوية سواء في حالة التهوية / المكث (Detention). الترشيح او التهوية. الترسيب. الترشيح يساعد علي الأكسدة. ففي حالة الكلوره للمياه فإنها تزيد من كفاءة المرشح.

رغم ان المنجنيز الثنائي المؤكسد إلى الرباعي لا يذوب في الماء ونظرا لأن حبيباته صغيرة جدا ولا ترسب بسهولة وفي البداية يكون لها استعداد جيد للمرور من المرشح. ولكن بعد وقت قصير بعد عملية الكلورة فان حبيبات الرمل في المرشح تصبح سوداء إذا كان الموجود فقط هو المنجنيز ولونه بني قاتم (ما هو جانبي) في حالة وجود الحديد كذلك. وهذا يرجع إلى وجود طبقة ثاني أكسيد المنجنيز فقط أو معها أكاسيد الحديدك أو أيدر وكسيد الحد يدك. وعند تغطية حبيبات المرشح كما سبق نكره فإن المرشح لا يمرر المنجنيز مطلقا وذلك بالإدمصاص والأكسدة. وهذه الرواسب على حبيبات الرمل ضرورية لمنع مرور المنجنيز ولا يتم إزالتها مطلقا.

## ب- استخدام برمنجنات البوتاسيوم :

برمنجنات البوتاسيوم لها استخدامان أحدهما كمؤكسد لإزالة الحديد والمنجنيز والأخر كمؤكسد مع مرشح الزيوليت - المنجنيز. مع إضافة البرمنجنات ومادة الترويب في حوض الخلط السريع عند رقم هيدروجيني عادي يعطي نتائج طيبة وذلك لسرعة تفاعل البرمنجنات مع المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٦ فأكثر. ويمكن إضافة الكلور أولاً لأكسدة الحديد وكذلك لتوفير جزء من الكلور المطلوب ثم تستكمل الأكسدة بعد ذلك باستخدام البرمنجنات ويعتبر إضافة البرمنجنات بأهمية خاصة عند إزالة المنجنيز، حيث يلزم أن يتطابق العمل في وحدة المعالجة مع التجارب المعملية لتعيين الجرعة المطلوبة. فمثلاً في وحدة معالجة كان النظام أولاً كلور مع زمن مكث ٥-١٠ دقيقة ثم شبة ثم جير، برمنجنات. وتختلف عملية المنجنيز - الزيوليت عن عملية تبادل أيون الصوديوم في أنه بالتحديد إزالة للحديد والمنجنيز وليست عملية تحلية المياه. ويتم تنشيطها باستخدام محلول برمنجنات البوتاسيوم بدلاً من الملح العادي. ويجهز زيوليت المنجنيز من الرمل الأخضر (Green Sand) معد بالمعالجة المتبادلة بمركبات المنجنيز الثانوية وبرمنجنات البوتاسيوم منتجة أكاسيد عالية من المنجنيز داخل وخارج الرمل الأخضر. ونظراً لأن عملية التنشيط تتطلب وقت نظراً للإسداد المستمر في المسام فقد استبدلت هذه العملية بنظام التغذية المستمر بالبرمنجنات لإستمرار التنشيط للرمل الأخضر، حيث تم وضع طبقة من الفحم النباتي فوق طبقة الرمل الأخضر لإحتواء الرواسب من أكاسيد الحديد والمنجنيز وبذلك تعمل كلا من طبقة الرمل وطبقة الفحم النباتي كمرشح. وعند تراكم رواسب الحديد والمنجنيز يتم الغسيل العكسي للمرشح طبقاً لما هو متبع في أي مرشح بالإضافة إلى مهمتها الأساسية كطبقة ترشيح فإن المنجنيز - زيوليت يعمل حقيقة كعامل درئى (Buffer) - حيث يتأكسد أي منجنيز ثنائى متبقى أو حديدوز إذا كانت جرعة البرمنجنات ضعيفة إلى حد ما. أما فى حالة زيادة الجرعة فإن البرمنجنات تعمل كمنشط لطبقة المرشح من المنجنيز - الزيوليت. مع استخدام مرشح المنجنيز - الزيوليت يفضل رفع الرقم الهيدروجيني للمياه الجوفية إلى القلوية ما بين ٧,٥ إلى ٨ حيث عندئذ يتأكسد ليس فقط الحديدوز

ولكن المنجنيز الثنائي في الحال. ويستخدم المرشح من الزيوليت- المنجنيز على نطاق واسع في مجال ٠,٥ إلى ٥ ملليجرام / لتر من الحديدوز المنجنيز الثنائي، وتوجد استخدامات خاصة لتركيزات أكبر. وقد نجحت عملية أكسدة المنجنيز المتحد مع المواد العضوية باستخدام البرمنجنات.

### ج- الأوزون :

يستخدم للتطهير للمياه وأصبح منافس للكلور إلا أنه لا يحقق وجود أوزون متبقى شأن الكلور، نظراً لأنه يتحلل بوجود عامل وسيط مثل الحديد. ويعتبر من المؤكسدات البديلة للحديد والمنجنيز عند رقم هيدروجيني عادي ومتعادل. كما يصبح مؤثر في حالة وجود مواد عضوية مثل أحماض الهيوميك والفولفيك (Humic . Volvic . Acids) - عند زيادة جرعة الأوزون يعطي لون غامق كما يحدث في حالة زيادة جرعة البرمنجنات.

### د - ثاني أكسيد الكلور CLO2 :

يتميز ثاني أكسيد الكلور في أنه لا يكون ألترايهالومثيان بالإضافة إلى قدرته على أكسدة الحديد المتحد مع المركبات العضوية وكذا أكسدة المنجنيز.

### ٥- تصميم وحدة إزالة الحديد والمنجنيز :

سوف يتم توضيح سبعة طرق لهذا الغرض وهي:

- أ - التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط.
- ب- التهوية والمكث والترشيح باستخدام الهواء المسحوب.
- ج- التهوية والمكث (الانتظار)؛ الترشيح باستخدام التهوية بالصوانى المتعاقبة.
- د- الزيوليت لإزالة العسر مع الزيوليت المنجنيز على جزء من ممر جانبي.
- هـ- مرشح الزيوليت- المنجنيز.
- و- التهوية والترسيب والترشيح.
- ز- الكلورة والترشيح.

من العوامل لرئيسة لإنجاح عملية إزالة الحديد والمنجنيز هو الترشيح المؤثر. حيث أن الوسط الترشيحي يلزم حسن اختياره. عادة القطر المؤثر يكون أكبر من ١،٥ مم. لا يستخدم الرمل الأخضر إلا في التدفقات الصغيرة. يمكن تكوين طبقة ثانی أكسيد المنجنيز على الوسط الترشيحي بالتغذية المستمرة الأولية بالصودا الكاوية حيث تتكون طبقة غطاء ثانی أكسيد المنجنيز في خلال عدة أشهر قليلة ثم يتوقف بعد ذلك التغذية بالصودا الكاوية.

#### أ- التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد من مياه الآبار:

مع التشغيل وضخ المياه من البئر تمر المياه على فتحة في الخط الرئيسي مع تثبيت جزء من المياه يمر خلال خزان للتشبع بالهواء. ينظم تدفق الهواء من خزان التشبع بالهواء بواسطة جهاز ضبط المنسوب مع التشغيل لضغط الهواء. تندمج تدفقات الماء الهواء بعد الفتحة حتى المرشح بالضغط.

في هذا النظام يتم تشبع جزئي للمياه بالأكسجين (الهواء) كما في الشكل (١١٧).

#### ب- التهوية بالتلامس (Detention) الترشيح باستخدام الهوائية ذات الضغط (الهواء المسحوب):

يتم توجيه مياه الآبار إلى جهاز التهوية حيث يقوم الهواء (الأكسجين) بأكسدة الحديد والمنجنيز إلى التكافؤ الأعلى. ويتم تغذية جهاز التهوية أما من المضخة الجوفية مباشرة أو من حوض المكث (Detention Basin). وعند مرور الهواء فوق المياه في جهاز التهوية فإنه يزيل كذلك جزء من ثاني أكسيد الكربون ولذا يرتفع الرقم الهيدروجيني للماء بأسرع من أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز في شكل الأيدروكسيدات. ورغم أن التهوية بسحب الهواء (Forced draft Aerator) مع حوض المكث قبل الترشيح يستخدم في إزالة الحديد والمنجنيز إلا أن استخدامهما الرئيسي كان للمياه المحتوية على ٥-١٠ ملجرام / لتر شكل رقم (١١٨) حوض المكث مطلوب لتوفير الزمن اللازم للتفاعل نظرا لأن التفاعلات لا تتم في الحال.

كما يجب أن تعرف أن الرقم الهيدروجيني له تأثير علي زمن إتمام التفاعل. وتشتت مواصفات التصميم الحالية زمن تلامس (مكث) من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة في حوض المكث. الحديد المؤكسد الغير قابل للذوبان في الماء هناك حدود لإمكان إزالته في المرشحات بما يتطلب توفير العوائق في حوض الترسيب لتحقيق زمن التلامس والتأخير المطلوب والترسيب.

في حالة التصميم لإزالة ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر حديد فإن حوض المكث يستبدل بحوض الترسيب الذي تسبقه عملية الترويب والترغيب في حوض التفاعل. ولذا فكلما زاد زمن الترسيب في حوض الترسيب كلما اكتمل التفاعل وكلما ترسبت المواد الغير مذابة بما يقلل من الأحمال علي مرشح الضغط الذي يلي حوض الترسيب.

\* في سحب الهواء في جهاز التهوية كما في الشكل السابق (١١٨) يدخل الهواء الي أسفل جهاز التهوية بواسطة جهاز ضغط الهواء، يتدفق الهواء إلى اعلي ملامسا سطح الماء المتدفق من اعلي علي الصواني المتعاقبة. الجهاز مقفل تماما ويعمل عند ضغط من ١ - ٣ بوصة ضغط هواء استاتيكي (Static Air Pressure) الماء يتساقط من اعلي خلال موزع بحوائط مانعة حيث يسمح للهواء بالخروج مع استمرار المحافظة علي الضغط (Baffled distribution System).

\* والبدل لهذه الوحدة هو دفع الهواء لوحدة التهوية وفي هذه الحالة يتم وضع جهاز ضغط الهواء اعلي برج التهوية حيث يدفع الهواء إلى أعلا من خلال مداخل متقبة سفلية. جهاز التهوية بالضغط أو بالدفع له شكل مربع أو مستطيل مع وجود جانب يمكن سحبه او فكه في حالة الحاجة إلى عمل النظافة. في الأصل كانت الصواني من الخشب الأحمر ولكنها الآن من الألومنيوم أو البلاستيك. الجزء الخارجي يمكن تصنيعه من الخشب البحري أو الصلب المغطى أو الألومنيوم او من الفيبر جلاس المقوي. يعتبر التهوية بالضغط أو بالدفع أكثر كفاءة من الصواني المتعاقبة او وحدات صواني الكوك بالإضافة إلى ان وحدات التهوية بالهواء المضغوط او المسحوب تعمل بكفاءة أكثر من ٥٠ %

تدفق عن الصواني المتعاقبة أو بفحم الكوك. مما يترتب عليه إمكان صغر حجم الوحدات.

ج- التهوية، التلامس (التأخير)، الترشيح باستخدام التهوية بالصواني المتعاقبة:

#### Aeration, Detention, and Filtration using Multiple Tray Aerators

هذا النظام مثل النظام السابق عدا وحدة التهوية. وهو عادة ما يستخدم لإزالة الحديد والمنجنيز عندما تكون نسبتهم من ٥ الى ١٠ ملليجرام / لتر. التهوية بوحدة الصواني وفحم الكوك كما في الشكل (١١٩) ما زالت تستخدم حتى الآن. حيث تدفق المياه إلى اسفل خلال صواني التوزيع والتي تملا عادة إلى سمك ١٠ الى ١٥ سم بقطع من فحم الكوك بسمك ٥ الى ١٠ سم أو بسبخ الحديد بدلا من الكوك - الثقوب في قاع صواني الكوك تسمح للمياه بالتدفق الى اسفل حوض التجميع اسفل وحدة التهوية. وحدة التهوية إما مربعة أو مستديرة وتتكون من ٣-٥ صواني. الهواء المار فوق الصواني ملاصقا لسطح الماء الرقيق فوق فحم الكوك يؤكسد الحديد والمنجنيز الثانى. وبعد فترة تشغيل تتكون طبقة على سطح فحم الكوك والتي تساعد في عملية الأكسدة. ولذا فان نواتج الأكسدة يمكن ان تحدث انسداد فى التصريف للمياه مما يتطلب تنظيفها أو استبدال الكوك كما في الشكل رقم (١١٩).

د - إزالة العسر بالزيوليت باستخدام المنجنيز - الزيوليت

#### Zeolite Softener with Manganese Zeolite On By Pass portion

هذا النظام يحقق إزالة العسر الي الحد المقرر سابقا. ولكن بإزالة عسر الحديد والمنجنيز. حيث يتم التحكم في تدفقات المياه من البئر الي جهاز الزيوليت لإزالة العسر علي أساس نسبة إزالة العسر المطلوبة. نظرا لأن جهاز إزالة عسر الزيوليت يزيل كاتأيونات العسر ومنها كاتأيونات الحديد والمنجنيز مما يتطلب عدم تعرض المياه للمؤكسدات أو الهواء الجوى أو كيماويات المعالجة قبل دخولها الى جهاز إزالة العسر حتى لا يحدث انسداد بواسطة نواتج الأكسدة. والجزء الآخر من المياه الخارجة من البئر يتم توجيهها مع تدفقات الكيماويات من البرمنجنات والقلوى الى وحدة المعالجة لإزالة الحديد والمنجنيز بما يحدث تأثير قليل على

كاتأيونات العسر. يتم خلط المياه الخارجة من وحدة إزالة العسر مع المياه المعالجة في وحدة إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام زيوليت المنجنيز في الترشيح. عندئذ تكون المياه بالعسر المطلوب مع خلوها تماما من الحديد و المنجنيز. شكل (١٢٠).

#### هـ- نظام الترشيح باستخدام زيوليت المنجنيز :

يتم التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم وقلوي (عند الحاجة لرفع الرقم الهيدروجيني) علي أساس المتوسط من مطالب البرمنجنات. نظام التغذية بالكيماويات متصل بنظام تحكم تشغيل البئر. تتم الأكسدة للحديد والمنجنيز في الخط في طريقها إلى المرشحات. نقطة التغذية بالكيماويات تكون قريبة ما أمكن من البئر لتوفير الزمن اللازم للتفاعل شكل (١٢١). ترسب نواتج الأكسدة علي سطح طبقة الترشيح من الفحم النباتي ذات الحجم الكبير حيث بذلك تحتجز هذه الرواسب. ونظرا لأن البرمنجنات تغذي طبقا لمتوسط المطلوب فان الزائد منها يتم امتصاصه بواسطة زيوليت المنجنيز. زيوليت المنجنيز عبارة عن مادة في شكل حبيبات سوداء ذات قطر منخل ١٦ - ٥٠ (50 Mesh - 16) والوزن ٩٨ رطل / القدم المكعب. كل قدم مكعب له طاقة ٠,٠٩ رطل من الحديد والمنجنيز. ظروف التشغيل توفر تدفق المرشح من ٣ إلى ٥ جالون في الدقيقة / القدم المربع مع معدل غسيل عكسي من ٨ - ١٠ جالون في الدقيقة / القدم المربع. عادة يكون الهواء مطلوب للغسيل عندما يزيد تركيز الحديد الداخل عن ٣ - ٥ مليجرام / لتر. معدلات التدفق الأعلى للوحدات مزدوجة، وذلك عندما تكون أحد الوحدات في الغسيل العكسي أو التنشيط في التشغيل تكون المياه المنتجة للرشح الذي تم ضبط أدائه لا يكون لها لون يظهر عدم التفاعل للبرمنجنات.

كما يوفر النظام ميزة نظام التشبع بالهواء المضغوط بمضخة واحدة. بالإضافة وطبقا لتركيز الحديد الموجود يمكن ان تعمل الوحدات بمعدل حتى ٥ جالون / الدقيقة للقدم المربع. ونظرا لأن معدل الغسيل العكسي المطلوب هي ٨٠% بالنسبة للمرشح الرملي، لذلك فان مياه الغسيل العكسي تكون اقل. عادة فان رمل الزيوليت الأخضر يتم إنتاجه من المحاجر ثم تنظيفه وتدرجه، ثم تنشيطه باستخدام

كلوريد المنجنيز (Manganous Chloride) لتحويلها الي زيوليت المنجنيز. كما هو موضح بالشكل رقم (١٢١).

### و- التهوية / الترسيب / الترشيح : شكل رقم (١٢٢) Aeration ,Settling,And Filteration

عندما تكون كميات الحديد أو المنجنيز أو كليهما مرتفعة (١٠ ملليجرام / لتر أو أكثر) يتم إزالتها بنظام التهوية ثم الترشيح . في هذا النظام تمر المياه المتدفقة من البئر خلال جهاز التهوية. التهوية بفحم الكوك مبين في الشكل التالي (١٢٢) حيث استخدام صوانى فحم الكوك أو الصوانى المتعاقبة محدود للمياه المحتوية على اقل من ٣٠-٤٠ ملليجرام / لتر من ثانى أكسيد الكربون. أما التهوية بسحب أو ضغط الهواء وأن كانت اقل من التهوية بصوانى فحم الكوك أو الصوانى المتعاقبة إلا أنها أكثر كفاءة في عملية الأكسدة وإزالة ثانى أكسيد الكربون بما يعمل على رفع الرقم الهيدروجينى وبالتالي يزيد من تكون وترسيب هيدروكسيدات الحديد والمنجنيز.

يتم توجيه المياه من وحدة التهوية إلى وحدة الترويق الذى يعمل بطريقة امتصاص المواد الصلبة (Solids Contact Clarifier) حيث زمن المكث فى وسط غرفة التفاعل (الترويب - التزغيب) لا يقل عن عشرين دقيقة. تزداد القلوية للمياه ليس فقط فى جهاز التهوية ولكن بإضافة قلوى ويفضل ان يكون الجير المطفى أو لين الجير (Lime). معدل الصعود المؤثر للمياه هو ٣ لتر / ق / ٠,١ متر مربع من المساحة المؤثرة والذى يمثل زمن مكث يعادل ٢ ساعة. بعض المصممين يحدد معدل الارتفاع فى منطقة فصل الراسب بما لا يزيد عن ٣,٢ لتر / ق / ٠,١ متر مربع. والعمق الجانبى للمياه من ٣-٤ متر وأقصاه هو ٥ متر، كما يتم توفير مساحة اكبر لصعود المياه فى المروب بما يوفر طبقة متسعة من الراسب. نظرا لان كل المياه تمر من خلال هذه الطبقة للراسب فانه تتحقق الاستفادة من الكيماويات وكذلك الاستفادة بالعامل المساعد من الرواسب المتكونة. ثم تسحب المياه من مأخذ علوى. مع تراكم الراسب يصبح أكثر كثافة ويرسب الى قمع تجميع الرواسب. تدفع المياه من حوض تجميع المياه فى المروق بفرق المنسوب او

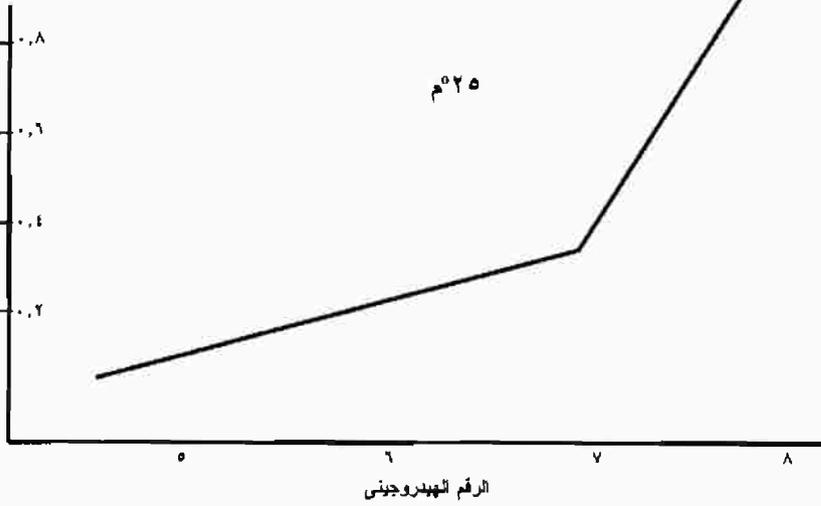
بواسطة مضخة. ثم تضخ المياه إلى مرشح الضغط أو مرشح الجاذبية كما في الشكل (١٢٢). تضخ المياه المتجمعة أسفل المرشح إلى الخدمة.

يتم التحكم في سحب الراسب من خلال مخرج للسحب بواسطة محبس يعمل بالتحكم الموقوت. وعند تكون كميات كبيرة من الراسب فإن نظام سحب الراسب يعطى دفعة مياه مرشحة إلى حوض غسيل المياه بعد كل استخدام بدون حدوث أي تدخلات أو إعاقة.

### ز- الكلورة والترشيح : Chlorination And Filtration

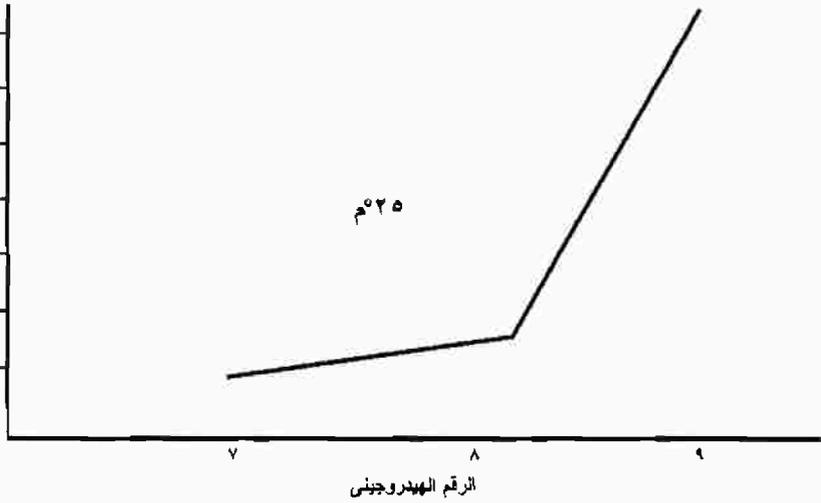
توجد طرق أخرى بديلة لما سبق ذكره. من هذه الطرق المستخدمة عادة هي الكلورة ثم الترشيح في مرشح ذو وسط ترشيحي واحد. يتم ضبط الرقم الهيدروجيني لتحقيق أقصى أكسدة وترسيب بإضافة لبن الجير مع زمن مكث ١٠ - ٣٠ دقيقة. الوسط الترشيحي المناسب هو الفحم النباتي شكل (١٢٣).

جزء من المنجنيز الثنائي لكل جزء من المنجنيز الثنائي أو ملغرام من الثنائي لكل ملغرام من الرصاص ( $MnO_2$ )

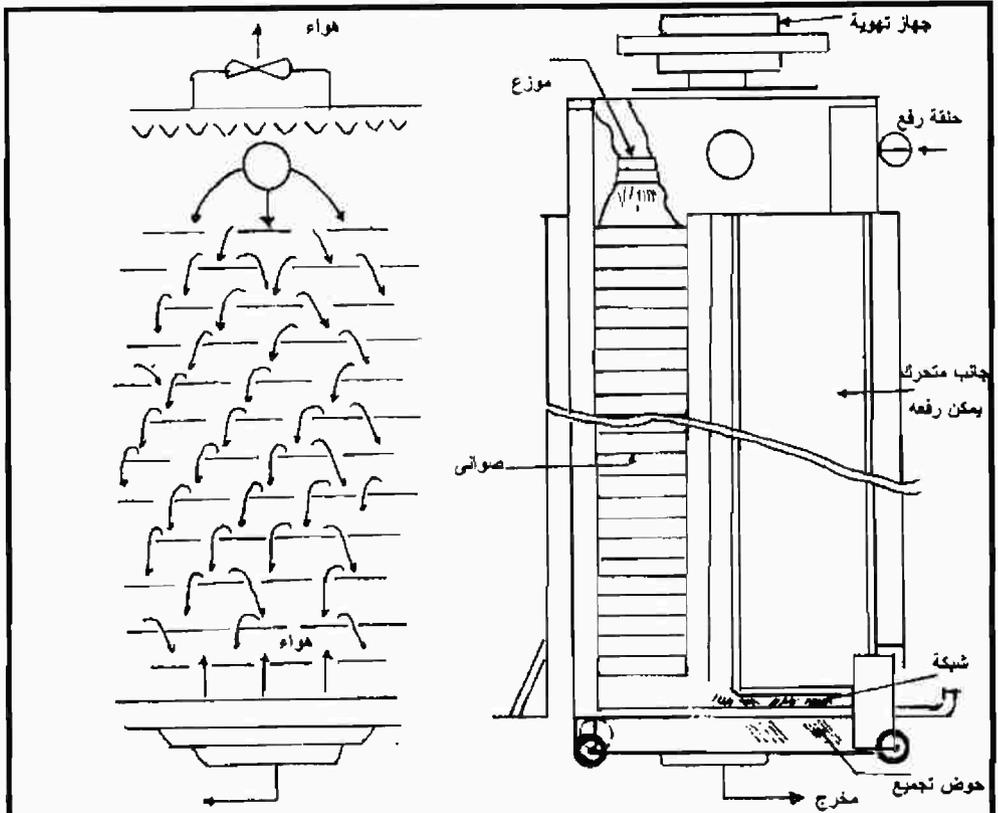


شكل (١١٤) معدل إدمصاص المنجنيز الثنائي بواسطة ثنائي أكسيد المنجنيز بدلاً من الرقم الهيدروجيني

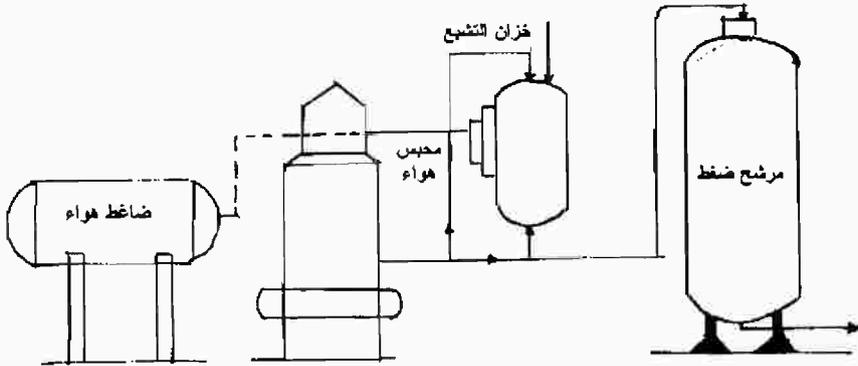
جزء منجنيز ثنائي لكل جزء من هيدروكسيد الحديد أو جزء منجنيز ثنائي لكل جزء من بيروكسيد الحديد



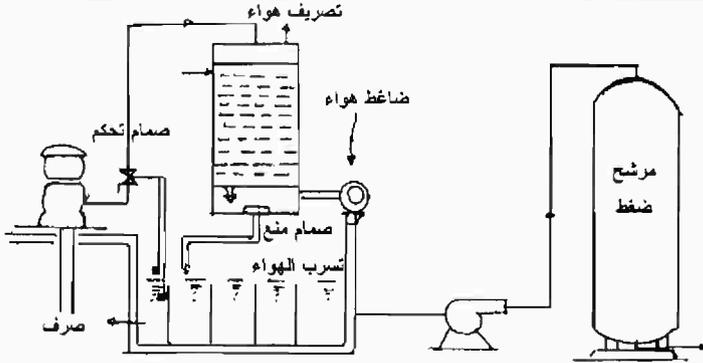
شكل (١١٥) معدل إدمصاص المنجنيز الثنائي بواسطة إيدروكسيد الحديد  $Fe(OH)_3$



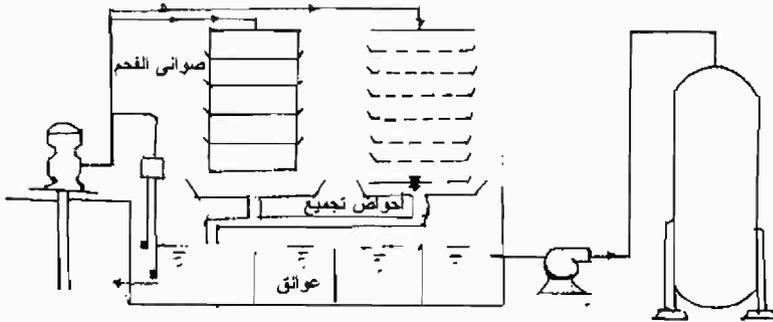
شكل (١١٦) مكونات برج التهوية من صواني الألواح الخشبية لعمل التهوية وإزالة الغازات المذابة



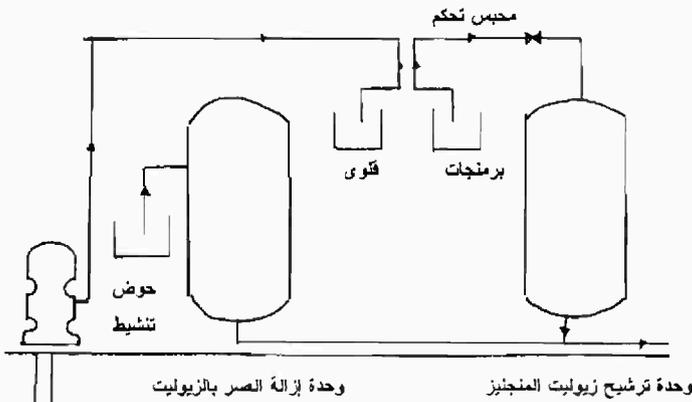
شكل (١١٧) التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد



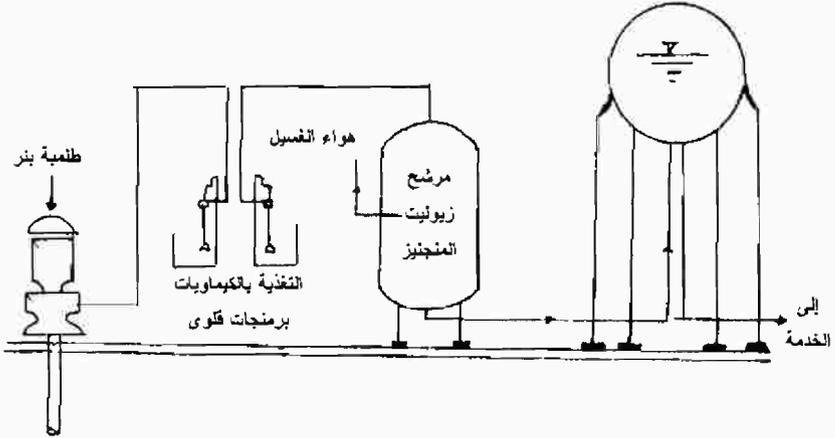
شكل (١١٨) التهوية / الإلتصاق / الترشيح باستخدام الهواء المضغوط



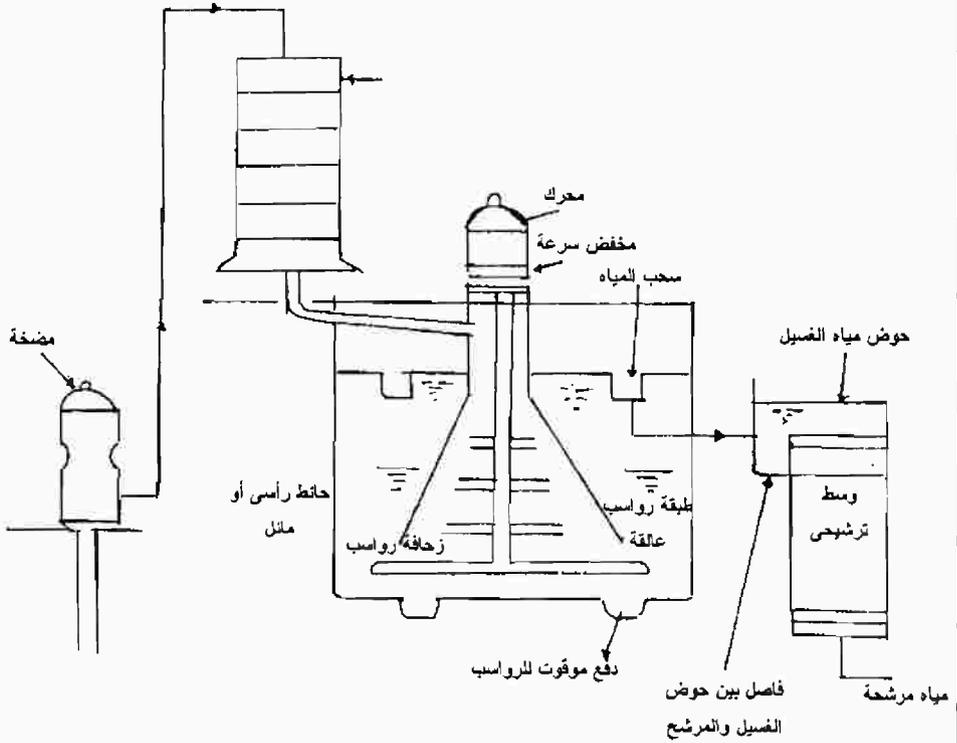
شكل (١١٩) إزالة الحديد والمنجنيز بالتهوية / الإلتصاق / الترشيح



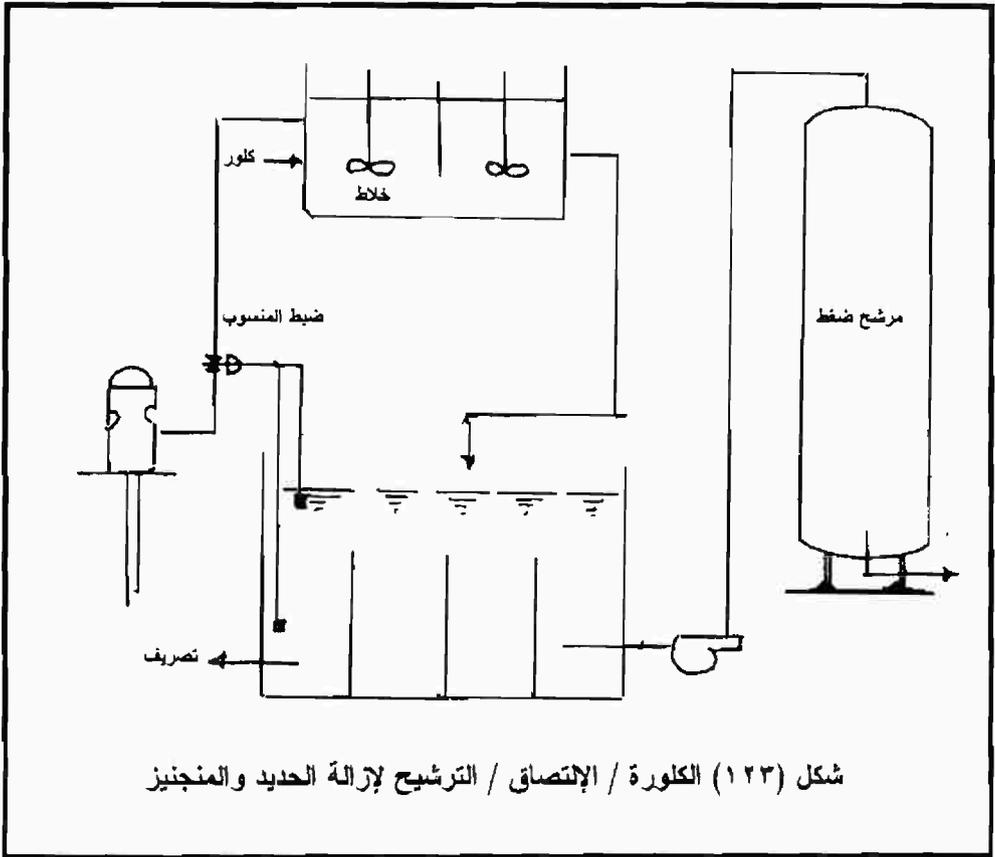
شكل (١٢٠) إزالة الحديد والمنجنيز مع الإزالة الجزئية للعسر



شكل (١٢١) مرشح زيوليت المنجنيز لإزالة الحديد والمنجنيز



شكل (١٢٢) التهوية / الترسيب / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز لأكثر من ١٠ ملجم/لتر



## القسم الخامس

# التخلص من المواد المشعة والكيماوية ذات التركيز المنخفض جدا

### ١- إزالة الملوثات من المواد المشعة : Removal Of Radioactive Contaminants

يعتبر الراديوم المستحضر المشع السائد في بعض مصادر المياه الجوفية حيث التربة الحاملة للخزان الجوفي تكون محتوية على هذا العنصر. كما ان مصادر التلوث بالمواد المشعة من صنع الانسان مثل التريسيوم والاسترنشيوم ٩٠ والتي تلوث المجارى السطحية في حالة الصرف العشوائى الغير معالج. وبترز خطورة هذه الملوثات على الصحة العامة في حالة زيادة تركيزها عن ٥ كورى (SPCi). توجد ثلاث طرق لإزالة المواد المشعة من مصادر المياه السطحية أو الجوفية وهى.

. إزالة العسر بالجير أو بالجير الصودا (Lime Or Lime Soda).

. إزالة العسر بالتبادل الأيونى.

. التناضح العكسى Reverse osmosis.

يمكن بهذه الطرق إزالة المواد المشعة من المجارى السطحية بنسبة ٩٠% كما إن المعالجة لأي من هذه الملوثات (من المصادر السطحية أو الجوفية) بطريقة

إزالة العسر بالجير يمكن أن يزيل حتى ٩٠% من الراديوم في الماء إذ كان تركيزه حتى ٢٥ كوري (25pci) عندما يكون الرقم الهيدروجيني أكبر من ١٠ أما التبادل الأيوني فيمكن أن يزيل حتى ٩٥%، التناضح العكسي يزيل ٩٥%، من الراديوم جنباً إلى جنب مع إزالة النسبة العالية من الملاح الكلية المذابة.

يتم التخلص من مياه الصرف بأى من تقنيات المعالجة ليس فقط بسبب المواد المشعة ولكن بسبب المحتوى العالى من الأملاح. عندئذ يمكن التخلص باستخدام آبار الحقن الجوفى (Ingection Wells) بحيرات البحر (Evaporation Lagoons) أو باستخدام نظام باستخلاص هذه المواد.

### ٣- تقنيات المعالجة لخفض تركيز الملوثات لبعض الكيماويات فى

#### المياه :

الجدول (١٨) يبين تقنيات المعالجة للتلوث المفاجئ للمياه عند عدم وجود بديل للاستخدام.

الجدول (١٩) بين عدد المعالجات الست لمعالجة الملوثات من المصادر الجوفية أو السطحية وهى الكلورة، إزالة العسر بالتبادل الأيوني، الترشيح، التناضح العكسي، التقطير، الأشعة فوق البنفسجية.

## جدول (١٨) إزالة وخفض الملوثات المؤثر من مياه الشرب

المشكلة العامة من الكيماويات	المعالجة
١	٢
مركبات الزرنيخ بتركز حتى ١٠٠ ملجم/لتر	الترسيب بكبريتات الحديد مع رفع الرقم الهيدروجيني بالجدد إلى ٦,٨ ثم الترسيب والترشيح.
مركبات السيانيد؛ الاسيتون سيانوهيدروين كلوريد السيانوجين	الكلورة مسبقة لتوفير الكلور الحر عند رقم هيدروجيني ٧ ثم الترويب والترسيب والترشيح يلزم مراعاة التهوية. مع ملاحظة أن الترسيب باستخدام أملاح الحديد أو الحديدوز لتكوين أزرق بروسيا (Brussian Blue) وهو (Iron ferric cyanide) ثم الترويب والترسيب والترويق. طالما أن هناك زيادة في إضافة الحديد فإن المياه المرشحة لا تكون سامة حتى ولو كان لونها أزرق.
مواد الأعصاب (مركبات الفسفور العضوية)	الكلورة العالية عند رقم هيدروجيني ٧ لتوفير ما لا يقل عن ٤٠ ملجم/لتر كلور متبقى مع زمن مكث والتصاق ٣٠ ق تم إزالة الكلور ثم الترويق العادي
مركبات عضوية أخرى LSD (Lysergic Acid Derivatives)	الكلورة الذائدة عن رقم هيدروجيني ٧ قلوباً بإضافة الجير أو الصودا أس لتوفير كلور حر. يلزم ٢ جزء من الكلور للتفاعل مع ١ جزء LSD
مبيدات الحشرات: Pesticides ٢، ٤- دا يكورو فيتول	الإدمصاص على الفحم المنشط ثم الترويب والترسيب والترشيح
DDT يتركز ١٠ جرام/لتر	الترويب والترسيب والترشيح
الداباً لدرين ١٠ جرام/لتر	الترويب والترسيب والترشيح قد يكون من الضروري عمل معالجة إضافية بالفحم المنشط مثل الداباً لدرين
الاندرين ١٠ جرام/لتر	استخدم الفحم المنشط ثم الترويب والترسيب والترشيح
بارايتون ١٠ جرام/لتر	قد يكون من الضروري الإدمصاص على الفحم المنشط. لا تستخدم الكلورة المسبقة نظراً لتفاعل الكلور مع البارايثون ليكون البار أكسون والذي هو اشد سمية من البارايثون

جدول (١٩) المعالجات لإزالة الملوثات من المواد الصلبة المذابة

الاشعة البنفسجية	الفليان والتبخر	تناضح عكسي	الترشيح بالفحم	الترشيح	الكلورة	تبادل كتأيوني	الملوثات من المواد الصلبة المذابة	المشكلة العامة للمياه
	x			x			رمل	جسيمات عالية
	x			x			طفلة	جسيمات عالقة
	x			x			جسيمات صدا	
	x	x				x	زرنيع	مواد غير
	x	x				x	الباريوم	عضوية
	x	x				x	كادميوم	
	x	x				x	كاليوم	
	x	x				x	كروم	
	x	x				x	نحاس	
	x	x				x	حديد	
	x	x				x	رصاص	
						-	مغنيسيوم	
						x	منجنيز	
	x	x				x	زئبق	
	x	x					راديوم ٢٢٦؛ ٢٢٨	
	x	x					سيلينيوم	
	x	x					فضة	
	x	x					صوديوم	
	x	x					إسترنشيوم ٩٠	
	x	x				x	زنك	
	x	x					كلوريدات	
	x		x				الكلور	
	x						فلوريدات	
	x						نترات	
	x	x					كبريتات	
	x	x					كبريتيد	
	x	x	x				بنزين	
	x	x	x				الترايهالوميثان	
	x	x	x				مذيبات بترولية	
	x	x	x				مبيدات حشرية	
	x	x					تاينن (مواد هيوميك)	
	x	x					رائحة	
	x	x					مذاق	
x	x	x			x		طحالب	
x	x	x			x		بكتريا	
x	x				x		فيروسات	

بيولوجي

### ٣- إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية :-

يمكن أن توجد الملوثات من المواد الغير عضوية في مصادر المياه في الشكل الكاتيوني أو الآن أيوني وفي حالات مختلفة من الأكسدة الكيماوية (التكافؤ) أو في شكل مركبات مركبة تكونت مع مركبات عضوية.

تعتبر حالة التكافؤ والحالة الأيونية للملوثات الغير عضوية مهمة حيث أنها عادة تؤثر على الإذابة وكذلك المعالجة بطرق المعالجة المختلفة. كثير من المعادن الثقيلة التي توجد كإيدروكسيد أو كربونات معقدة (كاتأيونات) تكون قابليتها للذوبان قليلة وبذلك تزال بسرعة بالمعالجة التقليدية. أما الشكل الآن أيوني مثل الزرنيخ والسلينيوم يصعب معالجتها ويتوقف إزالتها على حالة التكافؤ التي بها الآن أيون. الجدول (٢٠) يوضح معظم الأشكال الأيونية التكافؤ المصادر الرئيسية أحتتمالات حدوث الملوثات الغير عضوية.

جدول (٢٠) الأشكال الرئيسية ومصادر الملوثات الغير عضوية

الملوثات	التكافؤ	الشكل الرئيسي في الماء	المصادر	احتمالات الوجود
الزرنيخ	زرنيخ ثلاثي 3	آن أيون $AsO_2$	التربة	مياه جوفية
	زرنيخ خماسي 5	آن أيون $AsO_4$	الصناعة	مياه سطحية
الباريوم	ثنائي	كاتأيون $Ba^{++}$	التربة	مياه جوفية
الكاديوم	ثنائي	كاتأيون $Cd^{++}$	ناتج التآكل	شبكة التوزيع
			الصناعة	مياه سطحية
النحاس	ثنائي	كاتأيون $Cu^{++}$	نواتج التآكل	شبكة التوزيع
			الصناعة	المياه السطحية
الفلوريد	أحادي	آن أيون $F^-$	المناجم	المياه الجوفية شبكة التوزيع
الرصاص	ثلاثي	كاتأيون $Pb^{+++}$	التآكل	المياه السطحية
			الصناعة	المياه السطحية
الزئبق	ثنائي (عضوي وغير عضوي)	كاتأيون $Hg^{++}$	الصناعة	مياه جوفية
		كاتأيون $CH_3 Hg^+$	الزراعة	مياه جوفية
النترات	أحادي	آن أيون $NO_3$	مناجم	مياه جوفية
الراديوم ٢٢٦	ثنائي	كاتأيون $Ra^{++}$		
السيلينيوم	رباعي	آن أيون $SeO_3$		
	سداسي	آن أيون $SeO_4$	الصناعة	المياه السطحية
الفضة	أحادي	كاتأيون $Ag^+$	معالجة المياه	المياه المعالجة بالبكتيريا لإزالة الفضة
الزنك	ثنائي	كاتأيون $Zn^{++}$	نواتج التآكل	شبكة التوزيع

## مبادئ التصميم لعمليات المعالجة للمواد الغير عضوية :

عدا عمليات التقطير والتحلية المستخدمة في معالجة مياه الشرب في الدول الغنية، فإنه لا توجد عملية معالجة منفردة ومؤثرة في إزالة كل الملوثات من المواد الغير عضوية. ولكن لحسن الحظ كثير من هذه الملوثات يمكن إزالتها في عمليات ترويب المياه أو في عمليات إزالة العسر والتي يتوقف قدرتها في الإزالة على الرقم الهيدروجيني، المروب المستخدم، جرعة المروب، التركيز الأولي للملوث، وشكل وحالة التكافؤ للملوث. من أهم هذه المتغيرات الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة.

التبادل الأيوني يمكن أن يكون مؤثرا في حالة عدم إمكان إزالة الملوث بطريقة الترويب التقليدية أو بإزالة العسر بواسطة الجير. عمليات الأغشية مثل التناضح العكسي والأليكترودياليسيس رغم ارتفاع تكلفتها إلا إنها مؤثرة في إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية. إزالة الملوثات الغير عضوية من مصادر المياه لأغراض الشرب يمكن أن تختلف كثيرا من مصدر إلى مصدر آخر. أي عملية معالجة يجب أن تختبر معمليا أو على المستوى النصف صناعي (Pilot-Scale)، على استخدام المياه الحقيقية المطلوب معالجتها وذلك قبل البدء في التصميم الفعلي لعملية المعالجة. الجدول (٢١) يوضح العمليات القابلة للتنفيذ والملوثات القابلة لأزاله بهذه العمليات.

جدول (٢١) التقنيات القابلة للتطبيق في إزالة الملوثات الغير عضويه

الترويب باستخدام أملاح الحديد أو الألمنيوم	إزالة العسر بالجير - الصودا	التبادل الأيوني	منع التآكل	التناضح العكسي	الفحم المنشط
الزرنبيخ، الكادميوم (أملاح الحديد)، الكروم الثلاثي، الكروم السداسي، (أملاح الحديد)، الزئبق (غير عضوي)، السيلينيوم، الفضة.	الزرنبيخ، الباريوم، الكادميوم، الفلور، الرصاص، الزنك، السيلينيوم، الراديوم، الفضة.	الباريوم، الكادميوم، الفلور، النترات، السيلينيوم، الراديوم، الرصاص، الزنك، السيلينيوم، الراديوم، الفضة.	مؤثر في إزالة النحاس	يزيل كل المكونات الغير عضويه بما فيها المشعة.	يزيل الزئبق المكون لمركب مع مواد عضوية.

يمكن تعريف المعالجة التقليدية بأنها الترويب الكيماوي باستخدام أملاح الألومنيوم أو الحديد وكذلك إزالة العسر بالجير أو الجير - الصودا. وتشمل عملية المعالجة التقليدية الخلط، الترويب، الترسيب، الترشيح وسبق شرح مراحلها.

إزالة الملوثات الغير عضوية في المعالجة التقليدية يمكن أن تكون إما يترسب المواد الغير مذابة من الأيدروكسيدات أو الكربونات لهذه المعادن أو بالترسيب مع أيدروكسيد الحديد أو الألومنيوم أو بالادمصاص مع العكارة الطبيعية أو على جسيمات الزغبات المتكونة نتيجة تميؤ أملاح الترويب مع الماء. ترسيب الكاديوم والرصاص والفضة يحدث بسرعة أثناء المعالجة التقليدية في حالة التحكم في الرقم الهيدروجيني.

الترسيب للملوثات العضوية التي تكون مركبات معقدة لا تنوب ترسب مع المرويات، الحديد والألومنيوم (Cocprecipitation). أملاح الحديد عموماً أكثر تأثيراً في إزالة الملوثات الغير عضوية في المحلول والرقم الهيدروجيني هام عند تقرير الإزالة بالترسيب بالالتصاق مع المواد المروية.

فمثلاً الزرنيخ يمكن إزالته عند التكافؤ الخماسي ولكن تقل إزالته كثيراً عند التكافؤ الثلاثي.

المعادن مثل الرصاص، الفضة، الزئبق تمتص بسهولة على العكارة للمياه العكرة أو على الزغبات لمواد الترويب. إزالة هذه المعادن تتوقف على العكارة في المياه العكرة، وطبيعة الزغبات المتكونة في عملية الترويب، الإزالة الكلية للعكارة.

#### ٤- إزالة الملوثات من بقايا المواد العضوية: Trace Organics

مشاكل القابلية الخاصة بالمذاق والرائحة واللون معروف إنها نتيجة تأثير المواد العضوية الموجودة طبيعياً بكميات صغيرة جداً وتركيزات ضعيفة في مياه الشرب. بالإضافة إلى أن الكيماويات المخلقة من صنع الإنسان من المواد العضوية

في زيادة سريره. ولتوفير مياه شرب مقبولة وخالية من السمية زاد الاهتمام بازاله هذه الملوثات.

المواد العضوية هي كيمائيات تحتوي على عنصر الكربون تنقسم إلى خمسة أقسام من وجه نظر معالجة المياه وهي:

- مواد عضوية مسببه للرائحة مثل مادة جيوسين (Geosmin).

- مواد عضوية مخلقه مثل المبيدات والمخصبات.

- مواد عضوية تتفاعل مع الكلور مكونه الترايبالوميثان.

- مواد عضوية تتفاعل مع الكلور منتجاً مواد عضوية مكلوره مثل الأسيون.

- مواد عضوية طبيعية.

### وجود الملوثات العضوية وقياساتها

المياه السطحية عموماً هي الأكثر عرضه للتلوث بعيد من بقايا المواد العضوية أكثر من المياه الجوفية وإن كانت المياه الجوفية تتأثر بالمواد العضوية المخلقة المستخدمة في الزراعة كالمخصبات والمبيدات شأنها شأن المياه السطحية.

### أ- إزالة الملوثات العضوية بالمعالجة للمياه :

#### (1) الترسيب والترشيح :

إضافة مواد الترويب لإزالة العكارة أو رفع الرقم الهيدروجيني لإزالة الكالسيوم والمغنسيوم في عمليات إزالة العسر تحقق إزالة لبعض المواد العضوية. ويمكن قياس ذلك بخفض التركيز للكربون العضوي بنسبة تصل إلى ٥٠% في بعض أنواع المياه وكذلك يخفض اللون. وإن كانت المروبات تأثيرها قليل في إزالة المركبات العضوية المكلورة. الترشيح مؤثر في إزالة اللون والعكارة ولكنه قليل التأثير في إزالة المركبات العضوية المكلورة.

## (٢) التهوية:

تم مناقشة التهوية لأكسدة الحديد والمنجنيز. ميزه التهوية في إزالة المواد العضوية هي أن المواد العضوية تزال من الماء بدون تكون منتجات جانبية. أما سلبيات التهوية فهو أن هذه الملوثات المزالة تلوث الهواء الجوي. توجد عوامل متعددة ذات تأثير على إزالة المركبات العضوية من الماء بالتهوية. بين هذه العوامل زمن الالتصاق (Contact Time) ونسبه الهواء إلى الماء ودرجة حرارة الماء وضغط البخار وإزابة الملوثات. العاملين الأخيرين يمكن الاستفادة بها في تقدير جدوى التهوية. ولتوضيح ذلك وطبقا لقاعدة هنري (Henry's law) التي تنص على إنه عند إزابة مركب في الماء فان الضغط الجزئي للمركب (Partial Pressure) يتغير طبقا لتركيز المركب في السائل كالمعادلة  $P=C$

حيث  $p =$  الضغط الجزئي،  $c =$  التركيز في السائل

ولهذا  $P = HC$  حيث  $H$  معامل قاعدة هنري

إن  $H = P/C$

مقلوب معامل هنري  $1/H$  يسمى معامل التجزئة. وهذا المعامل دليل لأدنى نسبه بين الهواء والماء لإزالة المركبات العضوية المتطايرة. تزداد كفاءة التهوية كلما زادت قيمة المعامل  $H$  وهذه تزداد كلما انخفض الوزن الجزئي للمركب العضوي وأفضل أبراج التهوية ذات التحشية الزلطية (Packed Tower).

## (٣) الأدمصاص Adsorbtion :

الأدمصاص يتأثر بدرجة الحرارة والرقم الهيدروجيني للماء ويتوقف على خصائص وتركيز المادة العضوية وزمن الالتصاق وطريقة تنفيذ الإدمصاص. ومادة الإدمصاص سواء كانت بودرة الفحم المنشط أو حبيبات الفحم المنشط.

**٥- حبيبات الفحم المنشط: (GAC).**

يستخدم في هذه الحالة برج تهوية محتوى على عامود من حبيبات الفحم المنشط لإنتاج مياه محتوية على تركيز ضعيف جدا من المواد العضوية. القطر المؤثر ومعامل التجانس لحبيبات الفحم المنشط المناسبة للاستخدام كوسط ترشيحي وكعامل أدمصاص موضح في الجدول (٢٢)

جدول (٢٢) خصائص حبيبات الفحم المنشط المستخدم كوسط ترشيحي لإزالة المواد العضوية

٠,٦	القطر المؤثر بالمليمتر
$\geq 19$	معامل التجانس
٠,٤٧	الكثافة (للخام)
١١٠٠-١٠٠٠	المساحة السطحية متر مربع/جرام
١٠٥٠-٩٥٠	الرقم اليودي

ويعتبر هذا النظام بديل عن الرمال في العمل كمرشح. ولكن نظرا لأنه وسط ترشيحي واحد فإن حبيبات الفحم المنشط توفر ترشيح سطحي وليس ترشيح بالعمق ولذلك دورة المرشح تكون أكثر من دورة المرشح المحتوى على أكثر من وسط ترشيحي ولكنها تشابه المرشح الرملي. عامود الترشيح في برج التهوية يجب أن يوفر مسافة عليا خالية من حبيبات الفحم بطول ٣٠ إلى ٥٠ % لتلائم التمدد أثناء عملية الغسيل. الفحم المنشط عندما يبتل يصبح شديد العدوانية ولذلك تكون مواد الإنشاء متوفر لها الحماية الداخلية أو تكون من الصلب المقالوم أو الخرسانة المسلحة حيث أسياخ الصلب المغطاة بسمك لا يقل عن ٥ سم من الخرسانة. وكذلك تكون المواسير والوصلات والمحابس وأحواض التخزين وكاشطات الخبث السطحي كلها معرضة للتآكل بما يتطلب حمايتها. الغسيل لحبيبات الفحم المنشط ليس صعبا ولكن يحتاج إلى مراقبة مستمرة من العاملين، حيث الزيادة المفاجئة في الغسيل تسبب فقد المباشر لخروج المياه والمادة من الأحواض، نظرا للتمدد بنسبة ٣٠ إلى ٥٠ % عند الغسيل بمعدل ٣٥-٩٠ متر مكعب على المتر المربع من سطح الحوض.

حبيبات الفحم المنشط المبللة لها كثافة اقل من كثافة الرمل (١،٤ جرام / سم<sup>٣</sup> مقابل ٢،٦ جرام / سم<sup>٣</sup>)، لذلك تستخدم مياه الغسيل ببطيء حيث يكون معدل الزيادة بطيء حتى تمام تمدد طبقة الفحم المنشط، كما يلزم الحرص عمليا لمنع الارتفاع الكامل لطبقة الفحم المنشط ككتلة بما يتلف التجهيزات المثبتة داخل علوود الترشيح بما يمنع حدوث ذلك بالكشط السطحي والانتباه الكامل. عند الإنشاء لأول مرة يلزم الغسيل لعدة مرات حتى عشرة مرات حتى تكون مياه الغسيل خالية تماما من رماد الفحم المنشط. استخدام مرشح الغشاء (Membrane filter) يفيد في إيقاف تسرب حبيبات الفحم المنشط مع مياه الغسيل. البعض يرى أن ترشيح مياه الصرف للغسيل لعدة دقائق بعد الغسيل يمنع تراكم رماد الفحم المنشط في شبكة التوزيع ويقلل من مشاكل النمو البيولوجي. استخدام وحدات الادمصاص المنفصلة بعد الترشيح يوفر المرونة في تداول حبيبات الفحم المنشط والتغير في ظروف الادمصاص مثلا، زمن الالتصاق، معدل التدفق العلوي مقابل التدفق لأسفل. وحدات الادمصاص تصمم عادة بنسبة العمق إلى القطر لمادة الادمصاص ١،٥ أو اكثر لتأكيد التوزيع الجيد للتدفق. يكون قاع التحمل من سطح منقب أو من لوح من الصلب المقاوم ٣١٦، كما يمكن استخدام بلوكات السيراميك المنقب المغطاة بالزلط أو الرمل ولكن في هذه الحالة يكون من الصعوبة فصل الوسط في حالة الحاجة إلى تنشيط الفحم المنشط من أن إلى آخر.

### التنشيط : Reactivation

أثناء الاستخدام، يصبح السطح الكبير الداخلي لحبيبات الفحم المنشط مشبع بالمواد التي تم ادمصاصها. عندئذ تسمى حبيبات الفحم المنشط أنها إستنفذت طاقتها في الادمصاص مما يتطلب إما استبدالها أو تنشيطها. أما التخلص من المادة بالدفن في التربة فهو البديل الثالث ولكن من الناحية الاقتصادية يعتبر التنشيط هو الأفضل وذلك في حالة استنفاد قدرة الفحم المنشط على الادمصاص خلال ٦ إلى ١٢ شهر.

**التنشيط:** هو عملية إزالة المواد العضوية التي تم ادمصاصها واستعادة خاصية الادمصاص للفحم المنشط ثانيا.

يمكن تنفيذ عملية التنشيط كيميائيا أو حرارية. التنشيط الكيمياوي باستخدام مذيب يستخدم في بعض الصناعات ، ولكون استخدامه في مجال معالجة مياه الشرب محدود جدا. التنشيط الحراري يوفره موردو حبيبات الفحم المنشط أو يتم في الموقع كالآتي :

- يتم الغسيل لحبيبات الفحم المشبع والتنظيف بالهواء.
- توضع حبيبات الفحم في فرن وتعرض إلى جو من البخار والأكسجين يتم التحكم فيه وعند درجة حرارة حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية. الغازات الخارجة يجب أن لا تسبب تلوث للهواء الجوي المحيط.
- يتم إطفاء حرارة الفحم المعاد تنشيطه بالماء ثم نقله هيدروليكيًا إلى الملامس (Contractor) أو إلى التخزين.
- يتم إضافة حبيبات فحم خام لتعويض الفقد.

تكوين مساحة النقل الهيدروليكي للفحم المنشط قصيرة، ما أمكن مع تجنب الانحناءات كلما أمكن ذلك وتكون السرعة ما بين ١,٥ إلى ٣ متر في الثانية ويستخدم للتخزين أحواض من الصلب المقاوم (درجة ٣١٦) وكذلك في حالة الانحناءات. أما في حالة استقامة خط المواسير يمكن استخدام مواسير بي في سي أو أي نوع آخر بلاستيك. نظرا لاحتمال حدوث انسداد. زيادة نسبة الماء إلى الفحم تخفض الفقد بالاحتكاك.

### أنواع الأفران المستخدمة في التنشيط :

توجد أنواع كثيرة من الأفران المستخدمة لتنشيط وإعادة تنشيط حبيبات الفحم المستنقذ طاقته منها الفرن متعدد الغرف الحرارية (Multiple hearth) وهو الأكثر استخداما. حيث يوجد من ٤ - ٨ غرفة حرارية، مع حدوث التجفيف في الغرفة العليا. زراع التقلب تحرك حبيبات الفحم إلى الداخل والخارج في الغرفة. يسلط النجار عند قاع الفرن وتخرج الغازات خلال مرشح (Scrubber) أو إلى الحرق التالي بعد المرشح. كما توجد أنواع أخرى منها الفرن الدوار. كما يستخدم البخار فقط في إزالة المواد العضوية المكلورة من الفحم المنشط كما في حالة الاستخدا

لانتاج المياه الغازية. يستخدم في هذه الحالة البخار بمعدل  $2,4 \text{ م}^3 / \text{م}^2 / \text{الساعة}$ . ويتم التكثيف للأبخرة الصاعدة. هذه العملية تستغرق من 18 إلى 24 ساعة.

مراقبة كفاءة التنشيط أو إعادة التنشيط:

الرقم اليودي والكثافة الظاهرة : **Iodine number and Density**

الرقم اليودي هو كمية 0,2 يود عياري بالمليجرام التي يحدث لها امتصاص بجرام واحد من الفحم المنشط عند التعادل. وكنموذج فإن جليبات الفحم المنشط ذات المساحة السطحية 1000 متر مربع في الجرام لها رقم يودي يقترب من 1000 مليجرام / جرام من الفحم المنشط.

**بودرة الفحم المنشط : Powdered Activated Carbon** تصنع حبيبات الفحم المنشط من الفحم البيبوميني أو اللجنين أو الخشب أو من قشور جوز الهند ومن البترول ومن قشور ولحاء الأشجار وتبلغ حجم الحبيبات من 5 إلى 100 ميكرو متر وكثافتها 0,48 جرام / سم<sup>3</sup>. بودرة الفحم المنشط مؤثرة جدا عند الحقن في أماكن متعددة ما بين المآخذ والمرشحات. في حالة استخدام الكلور لا يضاف الكلور وبودرة الفحم المنشط معا، نظر للاختزال السريع للكلور بواسطة بودرة الفحم المنشط بما يمنع من أداء وظيفته كمطهر. وهذا لا يقلل من تأثير المطهر فقط بل كذلك يوكسد مادة الفحم. يمكن تعيين جرعة بودرة الفحم المنشط المطلوبة باختبار القيلنه (jar test) كما في حالة تعيين جرعة المرب. ومن بين الملوثات العضوية التي يمكن أن تزال هو مركب التوكسافين والذي يتطلب جرعة 10 مليجرام / لتر. إضافة بودرة الفحم المنشط بالإضافة إلى ما يترتب عليه من تكاليف إضافية إلا أنها تشكل كذلك إضافة عند التخلص من الروبة (sludge).

الراتنجات المختلفة : **Synthetic Resins**:-

هناك أبحاث ودراسة على هذا النحو كاستخدام البلمرات من الأكليرك وأن كانت طاقتها في امتصاص الكربون العضوي الكلي محدودة. ولم تستخدم هذه الراتنجات في مجال مياه الشرب حتى الآن.

### طرق أخرى لخفض وإزالة بقايا الملوثات العضوية :

في هذه الطريقة يتم الاستخدام المزدوج للأوزون والفحم المنشط. فعند استخدام الأوزون مع الفحم المنشط أو استخدام الأوزون مع الترشيح ثم استخدام الفحم المنشط يمكن الحصول على مياه بمحتوى منخفض جداً من إجمالي الكربون العضوي وتكوينان الترايها لوميثان عن استخدام الأوزون فقط أو الفحم المنشط فقط. عند استخدام الأوزون بالجرعة المكافئة لا يحقق معالجة جيدة مشابهة. وذلك لأن الأوزون يعمل على تكسير المواد العضوية الغير قابلة للتحلل منتجا غذاء عضوي يساعد على تكاثر ونمو البكتريا والتي تنتشر في الوسط الحبيبي بعد استخدام الأوزون. جرعة الأوزون ذات التأثير وجد أنها تتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٣ مليجرام / لتر لكل ملجرام / لتر من إجمالي الكربون العضوي (TOC). من الناحية الاقتصادية فإن استخدام الأوزون مع الفحم المنشط يكون أفضل وذلك عند إستنفاد طاقة الفحم المنشط في ثلاثة أشهر أو أقل.

### الغليان للماء : Boiling :-

في حالة الطوارئ يمكن إزالة بعض من معظم المركبات العضوية المتطايرة من مياه الشرب بالغليان. يراعى عدم استنشاق البخار الصاعد من الغليان. والعمل على صرفه في الهواء. كما يلاحظ أن التبخير قد يعمل على تركيز بقايا الملوثات من المواد الغير عضوية المذابة بما يتطلب إن أمكن الغليان في أوعية ضغط البخار. الجدول (٢٣) يوضح تأثير الغليان على بقايا المواد العضوية الموجودة في مياه الشرب :

جدول (٢٣)

متوسط نسبة المتبقي				زمن الغليان بالدقيقة
د	ج	ب	أ	
-	٧	١٤	٢	٣
١ >	٣	٧	١ >	٥
١ >	١ >	١	١ >	١٠

- أ. تتراكلورو إيثيلين
- ب. ترايكلورو إيثيلين
- ج. كلور وفورم
- د. رابع كلوريد الكربون

كما أنه لا توجد طريقة واحدة لقياس المحتوي من المواد العضوية. فانه كذلك لا توجد طريقة واحدة للتخلص من كل المواد العضوية. ولهذا يلزم المراقبة الجيدة والتحكم في وصول الملوثات إلى المياه العكرة بالإضافة إلى إتقان مراحل عمليات المعالجة لمياه الشرب.