

الفصل الخامس

المعالجات الخاصة للمياه واستعمالاتها

أولاً: معالجة عسر المياه:

عسر المياه يكون بسبب وجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم فى شكل عسر مؤقت أو عسر مستديم. العسر المؤقت هو أملاح البيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم. العسر المستديم هو أملاح الكبريتات والكلوريدات والنترات بالإضافة إلى كربونات المغنسيوم. من مسببات العسر أيضاً أملاح الحديد والمنجنيز والكالسيوم والاسترنشيوم، فى حالة وجودها فى الماء كعسر مؤقت أو مستديم.

عسر المياه غير مرغوب فى مياه الشرب، فى حالة زيادته عن ٨٥ جزءاً فى المليون (مقيم ككربونات كالسيوم)؛ وذلك طبقاً للمعايير الخاصة بمياه الشرب. بعض الصناعات تحتاج إلى مياه منخفضة العسر حيث يسبب العسر مشاكلات فى العملية الإنتاجية. عمليات الغسيل والنظافة بالمياه العسر تستهلك كميات كبيرة من الصابون حتى تحدث رغوة الصابون. المياه العسرة تسبب ترسيبات صلبة (Hard Scales)، التى ترسب على السطح المعدنى الملاصق للماء فى الغلايات، بما يسبب زيادة فى استهلاك الوقود اللازم لإنتاج البخار بسبب العزل الحرارى، الذى تسببه هذه الترسبات، هذا بالإضافة إلى ما يسببه من خطورة على معدن الغلاية (بسبب اختلاف درجات الحرارة بين السطح

المغطى بالترسيبات وغير المغطى). تتداخل المياه العسر بشدة مع أعمال الصباغة والتجهيز ودباغة الجلود وصناعة الورق ولب الورق والصناعات الغذائية، مثل: المعلبات والمشروبات الغازية. الماء العسر يسبب الانسداد فى المواسير بسبب ترسيبات أملاح العسر وتراكمها.

تعريف:

القلوية الكلية: تشمل قلوية كل من بيكربونات الكالسيوم، بيكربونات المغنسيوم، بيكربونات الصوديوم.

قلوية العسر: بيكربونات كالسيوم، بيكربونات مغنسيوم.

عسر الكربونات: بيكربونات كالسيوم، بيكربونات مغنسيوم.

عسر الغير كربونات: كبريتات وكلوريدات ونترات كالسيوم ومغنسيوم (ويضاف لها كربونات المغنسيوم، التى تذوب فى الماء).

يلزم التعرف على الملوثات فى المياه لإمكان معالجتها؛ لتكون مطابقة لمتطلبات العملية الصناعية. كثير من الصناعات يحتاج إلى خفض قلوية الكالسيوم إلى ٣٥ جزءاً فى المليون. تحتاج المياه الغازية إلى خفض القلوية إلى ٥٠ جزءاً فى المليون، وفى حالات أخرى يكون من الضرورى الوصول إلى درجة عالية من إزالة العسر. مياه الشرب تعتبر مناسبة فى عمليات صناعية كثيرة (مثل الصناعات الغذائية) عدا فى حالة استخدامها فى تغذية الغلايات. فى بعض الحالات تكون مياه الشرب مفضله بسبب عسرها الطبيعى، كما فى حالة صناعة المخبوزات والبيرة. ولكن كميات صغيرة من الحديد والمنجنيز والكالسيوم يمكن أن تسبب مشكلات كثيرة فى صناعة الورقة.

الجدول (١) يوضح نوعية المياه المستخدمة فى بعض الصناعات:

جدول (١): أنواع المياه المستخدمة في بعض الصناعات.

الصناعة	العسر ملجرام/لتر	القلوية ملجرام/لتر	حديد ومنجنيز ملجرام/لتر	الأملاح المذابة ملجرام/لتر	خواص أخرى
المخبوزات	مطلوب بعضه	-	٠,٢	-	أ
البيرة	-	٧٥-١٥٠	٠,١	٥٠٠-١٠٠٠	أ، ب
للمعلبات	٧٥-١٥٠	٧٥-١٥٠	٠,٢	-	أ
الحلويات	-	-	٠,٢	١٠٠	أ
التلج	٥	٣٠-٥٠	٠,٢	٣٠	أ، د
الجلود	١٥-١٣٥	١٣٥	٠,١	-	-
الورق	٥٠	-	٠,١٠	٥٠٠	د
لب الورق	١٠-١٨٠	-	٠,١-١,٠٠	٢٠٠-٣٠٠	هـ
صباغة ومنسوجات	٢٠	-	٠,٥	-	-
البلاستيك	-	-	٠,٠٢	٠,٠٢	-

أ - مرغوب فيه بعض العسر

ب- كلوريد الصوديوم لا يزيد عن ٢٧٥ ملجرام/لتر

ج- أكسيد الكالسيوم لا يزيد عن ١٠ ملجرام/لتر، بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم تسبب مشكلات.

د-المياه لا تحتوى على عكارة.

هـ-المياه غير عدوانية.

أ- تحويل البيكربونات إلى الكربونات (إزالة العسر المؤقت):

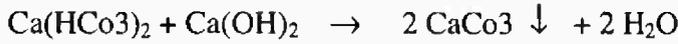
١- الطرق الكيماوية لخفض عسر المياه:

(١) غلى الماء يحول أملاح البيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم (العسر المؤقت) إلى كربونات الكالسيوم، التي لا تذوب في الماء وترسب، وكربونات المغنسيوم التي تذوب ولا ترسب في الماء كالاتى:



(٢) وفي حالة الرغبة في إزالة العسر المؤقت من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم، فإنه يلزم استخدام لبن الجير $\text{Ca}(\text{OH})_2$ لمعالجة المياه

المحتوية على العسر المؤقت من بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم طبقاً للمعادلات الآتية:



كلا من كربونات الكالسيوم وبيروكسيد المغنسيوم لا يذوبان في الماء؛ حيث يمكن إزالتها بالتترسيب تستخدم هذه الطريقة لإزالة العسر المؤقت فقط.

٢- الطرق الكيماوية لإزالة العسر (طريقة الجير الصودا آس):

المياه المحتوية على الكيماويات المسببة للعسر يمكن إزالة عسرها المؤقت والمستديم، باستخدام مجموعة من الكيماويات، وذلك للمياه المعالجة بالمرشحات أو المياه الجوفية.

وهذه الكيماويات هي:

- مادة الترويب من كبريتات الألومنيوم (الشبه) أو كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحديدك أو كلوريد الحديدك.
- لبن الجير $\text{Ca}(\text{OH})_2$ يستخدم بدرجة نقاء ٩٣% على البارد باستخدام الجير الحي



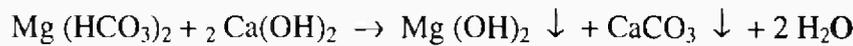
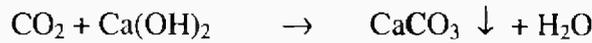
- الصودا آسن (Na CO_3) : وهي تستخدم طبقاً للمواصفات ٥٩% أكسيد صوديوم Na_2O المكافئ لـ ٩٩,٢% كربونات صوديوم.
- كلوريد الكالسيوم (Ca Cl_2) : وهو مطلوب في حالة زيادة القلوية عن العسر في الماء. كل من هذه الكيماويات له دور معين بمجرد إضافته للماء وخطه جيداً، مع إعطاء الوقت الكافي للتفاعل، ولذلك فإنه يلزم تحديد الجرعة المطلوبة بدقة من نتائج التحاليل المعملية للمياه.

من المهم معرفة أن أيون البيكربونات (HCO_3) يميل إلى الاتحاد مع الكالسيوم أولاً ثم مع المغنسيوم ثانياً؛ لذلك عند إضافة لبن الجير فإنه يتفاعل أولاً مع الكالسيوم، ومع استمرار إضافة لبن الجير، فإنه يتفاعل مع المغنسيوم.. لذلك فإن القلوية تقدر أولاً على أنها متعلقة بقلوية الكالسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم. وفي حالة وجود قلوية متبقية، فإنها تحسب على أنها متعلقة بالمغنسيوم، وتسمى قلوية المغنسيوم. وفي حالات قليلة من المياه الطبيعية قد توجد زيادة في القلوية عن قلوية الكالسيوم والمغنسيوم؛ حيث تحسب في هذه الحالة على أنها متعلقة بالصوديوم، وتسمى قلوية الصوديوم. في حالة وجود قلوية أقل من إجمالي قلوية الكالسيوم والمغنسيوم الموجودة في الماء، عندئذ فإن كمية العسر الزائد عن القلوية تسمى عسر غير الكربونات (Non Carbonate Hardness). عسر غير الكربونات يعنى عموماً العسر المرتبط بأيونات الكلوريد والكبريتات والنترات.

التفاعلات الكيماوية:

أ-لبن الجير Ca(OH)_2

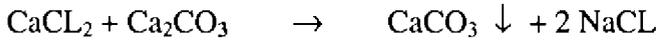
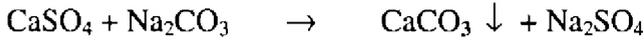
يتفاعل لبن الجير للترسيب الكيماوي للعسر المؤقت (عسر الكربونات) في الماء مكوناً كربونات الكالسيوم، التي ترسب (غير مذابة) وأيدروكسيد المغنسيوم غير المذاب. الجرعة المطلوبة تتوقف على قلوية الماء. يتفاعل لبن الجير أولاً مع ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الماء، ثم مع أيون البيكربونات (HCO_3) طبقاً للمعادلات الآتية:



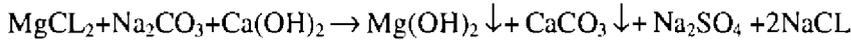
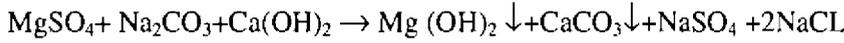
يلاحظ أنه مطلوب ضعف لبن الجير لترسيب المغنسيوم عن
المطلوب لترسيب الكالسيوم.

ب-الصودا آش (Na₂CO₃)

تتفاعل الصودا آش مع عسر غير الكربونات للحصول على أملاح
غير مذابة. مكافئ واحد من عسر غير الكربونات للكالسيوم تحتاج
إلى مكافئ واحد من الصودا آش:

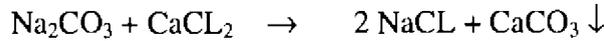
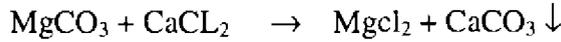


مكافئ واحد من عسر غير الكربونات للمغنسيوم يحتاج إلى مكافئ
واحد من اصودا آش بالإضافة إلى مكافئ واحد من لبن الجير:



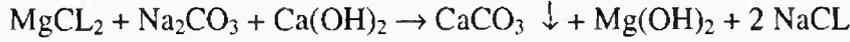
ج- كلوريد الكالسيوم (CaCl₂):

نظراً لأن كلا من كربونات المغنسيوم وكربونات الصوديوم يذوبان
فى الماء، ولا يرسبان بلين الجير أو الصودا آش، ألا أنهم يتفاعلان
مع كلوريد الكالسيوم كالاتى:



(قد تستخدم هذه الطريقة لخفض القلوية فى الماء إلى حد معين طبقاً
للاستخدام المتقبل للمياه)، وفى حالة زيادة قلوية المغنسيوم عن
عسر المغنسيوم ٤٠ جزءاً فى المليون. عموماً فى المياه الطبيعية
لا توجد قلوية الصوديوم إلا فى حالة وجود قلوية المغنسيوم. يلاحظ
أنه عند خفض قلوية كربونات المغنسيوم، لا يحدث انخفاض فى

العسر لوجود كلوريد المغنسيوم المتكون، والذي يحتاج إلى مكافئ إضافي من الصودا آش ولبن الجير.



د- المروب:

عند ترسيب أملاح العسر، فإنها تكون في شكل أجسام عالقة صغيرة جداً (زغبات)، بما يتطلب جرعات صغيرة من المروب لعمل الترغيب والترويب.

الجرعات المطلوبة هي:

في حالة الشبة (كبريتات الألومنيوم) أو كبريتات الحديدوز ٢٠ ملجرام/لتر
في حالة استخدام كلوريد الحديدك ١٠ ملجرام/لتر

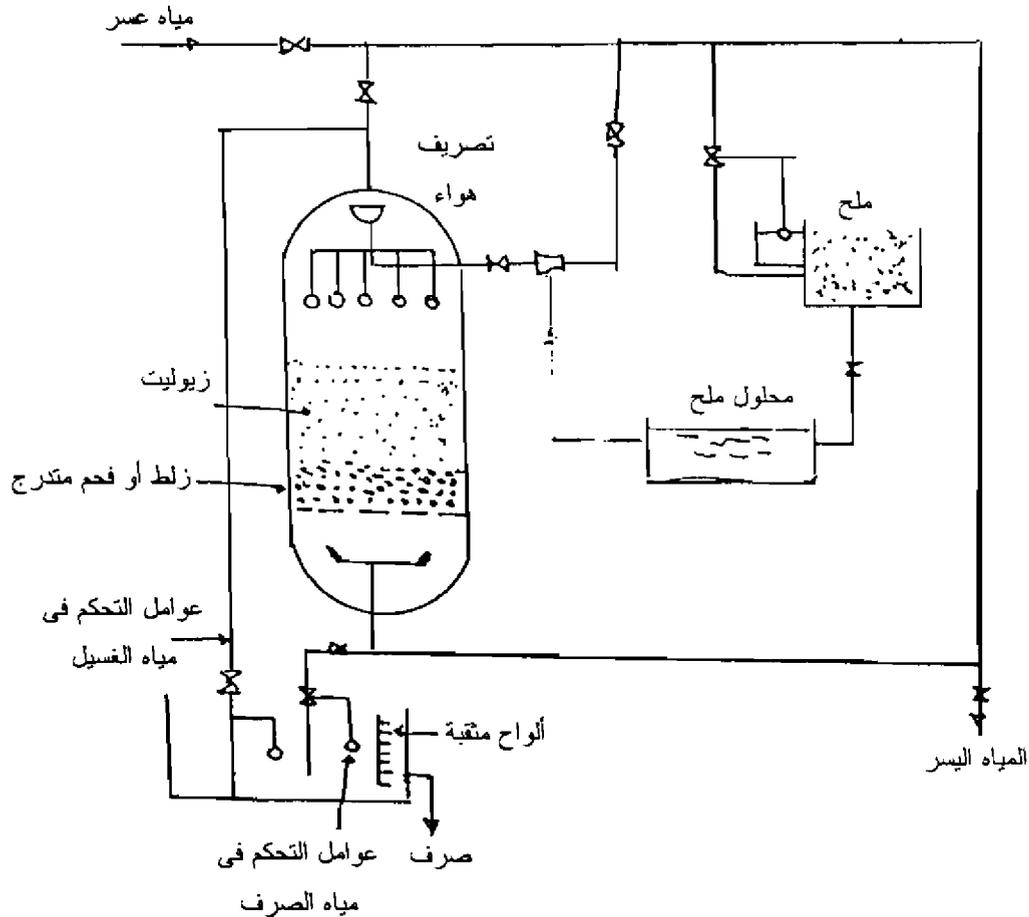
عند تفاعل المروب مع القلوية الموجودة في الماء، تتكون زغبات جيلاتينية تنمو في الحجم حتى ترسب، وهذه الزغبات لها القدرة على جذب وادمصاص الأجسام العالقة في الماء وعزلها. عموماً عند استخدام طريقة الجير الصودا آش لإزالة العسر المؤقت والمستديم، فإن ذلك يتم بإضافة لبن الجير $\text{Ca}(\text{OH})_2$ أولاً ليتكون راسب غير مذاب من كربونات الكالسيوم وإيدروكسيد المغنسيوم؛ حيث يتم التخلص من الراسب. العسر الذي لا يزال بلين الجير فقط يتم إزالته بالصودا آش.

يضاف لبن الجير والصودا آش إما منفصلين أو مع بعضهما مع الخلط الجيد مع الماء. الوحدات المستخدمة لإزالة عسر المياه بطريقة الجير-الصودا آش تشبه تلك المستخدمة في الترويب الكيماوي لمياه الشرب، حيث تمر المياه بعد الخلط بلبن الجير والصودا آش ليضاف لها المروب، ثم إلى أحواض الترسيب. للحصول على نتائج جيدة يكون زمن المكوث من ٣-٤ ساعة. تمر المياه بعد مرورها في أحواض إزالة العسر والترسيب خلال وحدة إعادة الكربنة (التغذية بثاني أكسيد الكربون) لضبط الرقم الهيدروجيني، ثم تمر المياه إلى مرشح سريع يعمل بالجاذبية.

٣- التبادل الأيوني لإزالة العسر (الزبوليت):

شكل (٥/١)

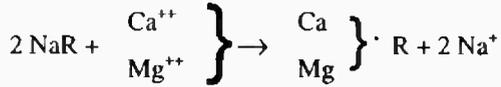
تسمى عملية التبادل الأيوني بالزبوليت. وتعتمد هذه الطريقة على قدرة مواد صلبة في شكل حبيبات لا تذوب في الماء (أساسًا السيليكات) في التبادل الأيوني مع أيونات مواد أخرى مذابة في الماء، وذلك عند مرور المياه خلال طبقة المبادل الأيوني (الزبوليت). يوجد نوعان من المبادلات الأيونية، وهما: المبادل الكاتأيوني والذي يزيل كاتأيونات العسر من الكالسيوم والمغنسيوم، ومبادلتها بكاتأيون الصوديوم، والمبادل الآن أيوني لمبادلة الآن أيونات من الكلوريدات والكربونات والكبريتات والنترات بأيون الهيدروجين.



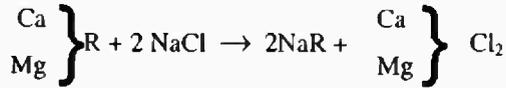
شكل (٥/١): إزالة العسر بالزبوليت.

أ- إزالة العسر بالتبادل الكاتأيوني:

عند تمرير المياه العسر خلال طبقة من الزيوليت الكاتأيوني، يحدث تبادل لكاتأيون الكالسيوم والمغنسيوم للأملاح المذابة في الماء بكاتأيون الصوديوم في المبادل الكاتأيوني الصلب، وتصبح المياه خالية من العسر (يسر). الصوديوم في حبيبات المبادل الكاتأيوني (الزيوليت) يستنفذ حيث يصير الزيوليت غير قادر على إزالة العسر من المياه. ولكن يمكن إعادة تنشيط الزيوليت بالتفاعل العكسي؛ بتمرير محلول ملحي (كلوريد صوديوم) خلال طبقة الزيوليت المستنفذ، حيث يستبدل كاتأيون الكالسيوم والمغنسيوم في الزيوليت بكاتأيون الصوديوم، ويستعيد الزيوليت نشاطه كالآتي: التبادل الكاتأيوني لإزالة العسر:



التبادل لتنشيط الكاتأيون بالمحلول الملحي:



يوضح الشكل رقم (٥/١) نظام عمل جهاز إزالة العسر بالزيوليت، وهو يشبه مرشح الضغط، حيث يوضع الزيوليت، وهو يشبه مرشح الضغط، حيث يوضع الزيوليت في مكان الوسط الترشيحي. تدخل المياه العسر من أعلا، ثم توزع بانتظام على سطح طبقة الزيوليت، ثم تجمع المياه المزال عسرها عند القاع. بعد استنفاد كاتأيون الصوديوم من الزيوليت ينشط بتمرير محلول ملحي بتركيز ٥-١٠% خلال طبقة الزيوليت. يلي ذلك إزالة الزيادة من المحلول الملحي بغسيل المياه بمياه نظيفة. يعمل جهاز إزالة العسر بالزيوليت، إما بالهواء المضغوط أو بالجاذبية. معدل تدفق المياه العسر ٣٠٠ لتر في الدقيقة/المتر المربع من سطح طبقة الزيوليت. يزيل الزيوليت الكاتأيوني العسر الكلي من الماء. وفي حالة

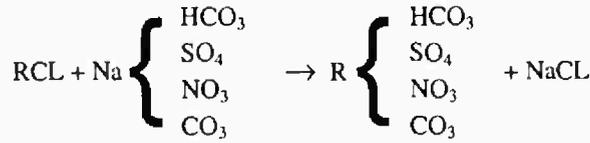
عدم الحاجة إلى الإزالة الكاملة للعسر، يخلط جزء من الماء النيسر مع جزء آخر من المياه العسر؛ لتوفير مخلوط مناسب للاستخدام، كما فى حالة مياه الشرب؛ حيث العسر المطلوب هو ٨٥ جزءاً فى المليون (مقيم ككربونات كالسيوم).

عملية إزالة العسر بالزيوليت يمكنها كذلك إزالة الحديد والمنجنيز المذاب فى حالة مياه الآبار المحتوية على الحديد والمنجنيز. ونظراً لأكسدة أملاح الحديد والمنجنيز المذابة فى مياه الآبار، عند تعرضها للهواء الجوى؛ حيث تتحول إلى الأملاح غير المذابة بما يسبب تراكمًا وانسداداً فى مسام طبقة الزيوليت. لذلك فإنه عند إزالة عسر المياه الجوفية المحتوية على الحديد والمنجنيز، يتم عدم تعرض المياه للهواء الجوى حتى لا تتأكسد وترسب، بل تضخ مباشرة فى المواسير من البئر إلى وحدة إزالة العسر. كما يجب كذلك التأكد من خلو المياه الجارى إزالة عسرها من المواد العالقة والعكارة أو من الملوثات البيولوجية.

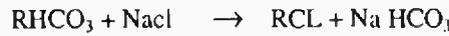
إزالة القلوية: (Dealkalizers)

المياه التى أزيل عسرها باستخدام زيوليت الصوديوم، تحتوى عادة على كمية كبيرة من بيكربونات الصوديوم زيادة عن الحد المقبول فى مياه تغذية الغلايات. فى الغلايات تتحلل بيكربونات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وثانى أكسيد الكربون، هذا بالإضافة إلى أن بعض مركبات الصوديوم تتحول إلى الصودا الكاوية وثانى أكسيد الكربون، وهذا يمر مع البخار ويسبب تآكل وتلف لشبكة البخار وخفض لكفاءة البخار. عند مرور المياه لإزالة العسر خلال دورة الكاتايون، فإن القلوية تتحول إلى حامض لكربونيك ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)، حيث يزال ثانى أكسيد الكربون فى سخانات طرد الغازات الموجودة فى كل غلاية. ولكن ثانى أكسيد الكربون فى البخار يكون نتيجة تحلل الكربونات والبيكربونات، عند درجة حرارة تشغيل الغلاية.

لإزالة القلوية المسببة لإنتاج ثانى أكسيد الكربون، فإنه يتم تمرير المياه التي أزيل عسرها بالمبادل الكاتأيوني للصوديوم إلى مبادل أن أيوني (حامضى) للكلوريد



تفاعلات راتنج زيوليت الكلوريد الآن أيوني تشمل أملاح الكبريتات، الكربونات، النترات، البيكربونات. ناتج التبادل أملاح الكلوريدات التى تذوب فى الماء. عملية التنشيط تتم باستخدام محلول ملحي كذلك:



يفضل أن يتم تنشيط الراتنج بمحلول الملح والصودا الكاوية. وهذا يحقق إزالة كبيرة لثانى أكسيد الكربون المتحد وغير المتحد، بالإضافة إلى التخلص من أن أيون الكبريتات والسيليكات. توجد السيليكات فى مصادر المياه بأقصى تركيز عدة ملجم/لتر. إزالة السيليكات أساسى فى حالة الغلايات ذات الضغط المرتفع. السيليكات تتراكم على الراتنج الآن أيوني، ويمكن أن تكون بوليمر مع الراتنج الآن أيوني، وكذلك عند التنشيط باستخدام الملح والصودا الكاوية، يكون استخدام الصودا الكاوية ليس فقط لتنشيط الآن أيونات، ولكن لإزالة بلمرات السيليكات.

٤- التطبيقات التكنولوجية لتغذية الغلايات بالمياه:

معالجة مياه تغذية الغلايات هدفها هو عدم وجود ترسيبات (Scales) أو رواسب (Sludge) أو تآكل أو حمل لمواد أخرى، تكون ترسيبات فى مياه الغلايات.

(Prevent Scale, Sludge, Deposition, Corrosion, Carry Over)

تعتبر معالجة المياه أساسية لتغذية الغلايات، سواء كانت ذات ماسورة مياه أو ذات ماسورة لهب، وسواء كانت الغلاية تعمل بالضغط

المنخفض أو المتوسط أو المرتفع. فى درجة حرارة الغلاية تتكون قشور (Scales) من عسر الكربونات وغير الكربونات (العسر المؤقت والعسو المستديم).

تحلل عسر الكربونات للكالسيوم والمغنسيوم كما فى المعادلة.



ينطلق ثانى أكسيد الكربون مع البخار، بينما ترسب القشور من كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنسيوم. تحدث الترسيبات عند انخفاض الإذابة لهذه الأملاح، وذلك بتكون بلورات من المحلول المشبع، عندما تتكون طبقة رقيقة من المياه على سطح ماسورة الغلاية، والتي تكون مركزة وخاصة فى حالة بطء سرعة المياه. نتيجة لذلك تزداد الإذابة للأملاح الكالسيوم والمغنسيوم فى هذه الطبقة؛ مما يترتب عليه تكون بلورات الرواسب (Scales) على السطح الساخن مباشرة، وذلك على السطح الداخلى لمواسير المياه والخارجى لمواسير اللهب.

هذه الترسيبات تعمل على خفض قدرة الغلاية على التوصيل الحرارى، حيث تعمل كطبقة عزل رقيقة بين الماء واللهب. مع زيادة الترسيبات، يزداد تأثير العزل الحرارى والذي يصل إلى مرحلة الخطر؛ حيث يحدث تلف لمعدن الماسورة، وبالتالي خسارة كبيرة نتيجة لانفجار الغلاية فى بعض الحالات. هذا بالإضافة إلى أن أملاح كبريتات الكالسيوم هو الملح الوحيد بين أملاح غير الكربونات، الذى يكون ترسيبات قشرية (Scales).. كما أن السبب الآخر لتكون الترسيبات هو ترسيبات السيليكا الزجاجية الصلبة بما يتطلب إزالة الكبريتات أو السيليكا بالتبادل الآن أيونى، أو المحافظة على النسبة بين القلوية وكل من السيليكا والكبريتات، وبهذا تستمر هذه الأملاح فى المحلول ولا ترسب.

أ- المعالجة الخارجية والمعالجة الداخلية لمياه التغذية للغلايات:

(١) المعالجة الخارجية:

إزالة العسر لمياه تغذية الغلايات بالتبادل الكاتيوني للصوديوم هو الأكثر استخدامًا للمعالجة الخارجية للغلايات، التي تعمل بالضغط المنخفض. ميزة هذه الطريقة هي الإزالة الكاملة للكالسيوم والمغنسيوم، ولكنها لا تعمل على خفض القلوية، والذي يعتبر ضروريًا أحيانًا لتوفير كفاءة الأداء للغلاية، ويتم ذلك بإحدى الطرق الآتية:

- التبادل الآن أيوني بمبادل أيون الكلوريد، كما سبق توضيحه.
- التبادل الكاتيوني بالصوديوم والهيدروجيني بتجزئة المياه، وهذه الطريقة تحقق خفضًا في المحتوى من المواد الصلبة المذابة، يقابله خفض في القلوية.

(٢) المعالجة الداخلية:

تستخدم مركبات مختلف للمعالجة الداخلية للغلاية، منها: خفض العسر باستخدام أملاح الفوسفات، التي تتحول في الغلاية إلى فوسفات الصوديوم الثلاثي (Trisodium- Phosphate). وهو راسب في شكل زغبات عالقة (Floc's) كمادة ترويب، بينما تترسب أملاح المغنسيوم بواسطة القلوية الكلية إلى أيروكسيد المغنسيوم غير المذاب. ولمنع ترسيب أملاح الفوسفات وأيدروكسيد المغنسيوم والتصاقها بالأسطح الساخنة، مع استمرار هذه المواد عالقة في السائل تستخدم المواد العضوية المناسبة، التي تعمل على تغطية الرواسب وتغليفها (Chelating Agents) ومنعها من الالتصاق.

تستخدم المعالجة الداخلية فقط للغلايات، التي تعمل تحت ضغط منخفض. الغلايات ذات الضغط المتوسط أو المرتفع تحتاج إلى

المعالجة الداخلية والخارجية لإزالة العسر المتبقى والسيليكا والأكسجين وبعض المواد.

ب- حدود التركيز للمواد الصلبة المذابة طبقاً لضغط ودرجة حرارة الغلاية:

نظراً لأن كل المواد الصلبة المذابة والعالقة التي تدخل الغلاية تزداد باستمرار مع استمرار التغذية بالمياه (التعويض)؛ حتى يصل التركيز إلى عدم كفاءة الغلاية، أي حتى حدوث زبد ورغاوى (Priming and Foaming). الزبد هو خروج الماء مع البخار، والرغاوى هي خروج فقاعات مع البخار، وكلاهما هو حمل للمواد الصلبة والرطوبة مع البخار. يختلف التركيز النوعي الذي تحدث عنده هذه الظاهرة؛ طبقاً لنوع وكمية المواد المذابة، ووجود أو عدم وجود مواد عالقة. كلما زاد ضغط التشغيل، يلزم زيادة الخفض للمواد الصلبة المذابة في مياه التغذية للغلايات، التي تعمل بضغط أكبر من ٦٠٠ رطل/البوصة المربعة؛ حيث يلزم الإزالة الكاملة للأملح من مياه التغذية.

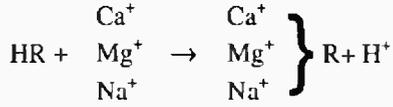
لحماية معدن الغلاية من التآكل وكذلك مواسير البخار وبقية المكونات حيث قد يحدث التآكل إما بسبب الحموضة أو الأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون. لذلك يلزم المحافظة على الرقم الهيدروجيني ليكون مرتفعاً مع التخلص من غازات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بسخانات إزالة الغازات. كما يمكن التخلص من الأكسجين المذاب باستخدام سلفيت الصوديوم أو الهيدرازين باستخدام سخانات إزالة الغازات.

في حالة استخدام المياه لتغذية الغلايات ذات الضغط العالي فإنه يلزم الإزالة الكاملة للأملح. تتم الإزالة بالتبادل الأيوني حيث كاتيون المبادل الأيوني يكون بتبادل أيون الهيدروجين، والتنشيط باستخدام

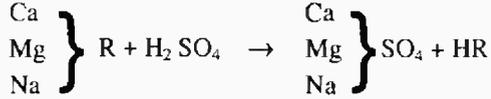
٥- إزالة الاملاح بالتبادل الأيوني: شكل (٥/٢) (Demineralization)

حامضى الكبريتيك، والمبادل الآن أيونى ببتبادل أيون الإيدروكسيد،
والتنشيط باستخدام الصودا الكاوية كما فى المعادلات الآتية:

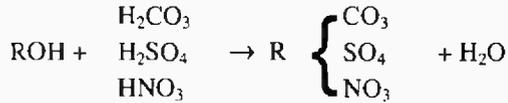
أ- الكاتايون:



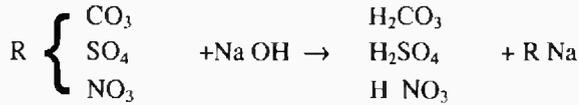
التنشيط



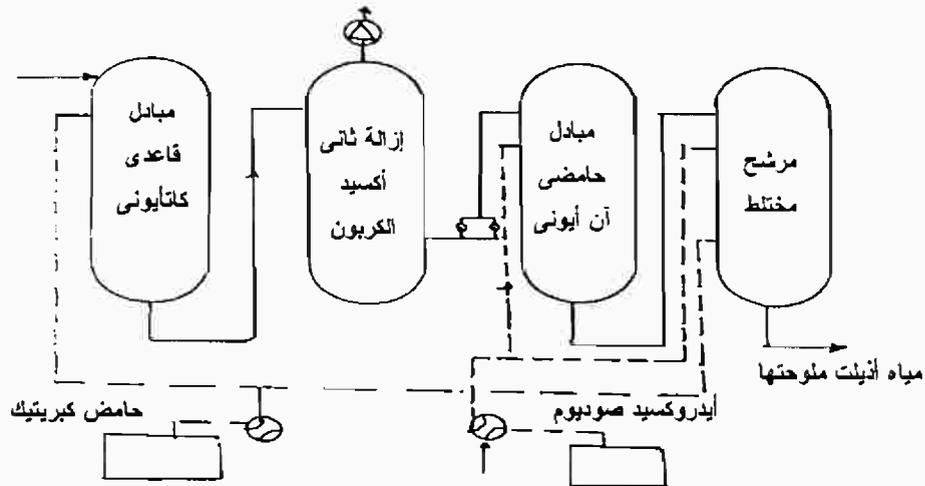
ب- الآن أيون:



التنشيط



تتم عملية إزالة الأملاح أما فى كل المبادل الكاتايونى والمبادل الآن أيونى على التوالى، أو فى المبادل الأيونى ذى الطبقة المختلطة من المبادلات الكاتايونية والمبادلات الآن أيونية.



شكل (٥/٢): جهاز إزالة الملوحة (بالتبادل الأيونى).

٦- المياه المستخدمة في الأغراض الطبية:

مياه الحقن (Injection):

تزال الملوحة من مياه الصنبور على مرحلتين بالتقطير الحرارى أو بالدليزة الكهربائية (Electrodialysis)، ثم يلى ذلك التنقية بالتناضح العكسى (Reverse Osmosis)؛ للوصول بالمياه إلى حد الملوحة الذى لا يمكن اكتشافه بالتحاليل المعملية. يلى ذلك التعقيم بغلى الماء فى وعاء ضغط (Autoclave) لمدة ٣٠ دقيقة، عند درجة حرارة ١٣٠°م، ثم توضع المياه فى أوعية زجاجية معقمة بالأزون.

جدول (١): حدود التركيز لمياه الغلايات طبقاً لضغط التشغيل للحصول على بخار بنوعية جيدة.

السيليكا جزء فى المليون	مواد صلبة عالقة جزء فى المليون	قلوية كلية جزء فى المليون، مقيمة ككربونات كالسيوم	مواد صلبة مذابة جزء فى المليون	ضغط الغلاية رطل على البوصة المربعة
١٢٥	٣٠٠	٧٠٠	٣٥٠٠	صفر-٣٠٠
٩٠	٢٥٠	٦٠٠	٣٠٠٠	٣٠١-٤٥٠
٥٠	١٥٠	٥٠٠	٢٥٠٠	٤٥١-٦٠٠
٣٥	١٠٠	٤٠٠	٢٠٠٠	٦٠١-٧٥٠
٢٠	٦٠	٣٠٠	١٥٠٠	٧٥١-٩٠٠
٨	٤٠	٢٥٠	١٢٥٠	٩٠١-١٠٠٠
٢,٥	٢٠	٢٠٠	١٠٠٠	١٠٠١-١٥٠٠
١	١٠	١٥٠	٧٥٠	١٥٠١-٢٠٠٠
٠,٥	٥	١٠٠	٥٠٠	أكبر من ٢٠٠٠

أقصى تركيز للسيليكا (Si) فى البخار لا يزيد عن ٠,٢ إلى ٠,٣ جزء فى المليون.

ثانياً: إزالة الملوحة للمياه المالحة والحمضاء:

(Desalination of sea water And Brakish water)

١- أنواع المياه طبقاً لدرجة مكوناتها:

١- مياه عالية التركيز (Brine) - الملوحة أكثر من ٣٠٠٠٠ ملجرام / لتر.

- ٢- مياه البحر من ١٠٠٠٠ - ٣٠٠٠٠ ملجرام /لتر.
- ٣- مياه حمضاء (Brakish water) من ١٥٠٠ - ١٠٠٠٠ ملجرام / لتر
- ٤- مياه الشرب من ٣٠٠ - ١٥٠٠ ملجرام /لتر
- ٥- مياه الاستخدامات الصناعية من ٣٠ - ٣٠٠ ملجرام / لتر.
- ٦- مياه خالية من الأيونات من ٣-٣٠ ملجرام /لتر
- ٧- مياه خالية من الأيونات لتغذية الغلايات عالية الضغط من ٠,٣ - ٣ ملجرام/لتر
- ٨- مياه عالية الإزالة من الأيونات للصناعات الإلكترونية من ٠,٠٠٣ - ٠,٣ ملجرام/لتر

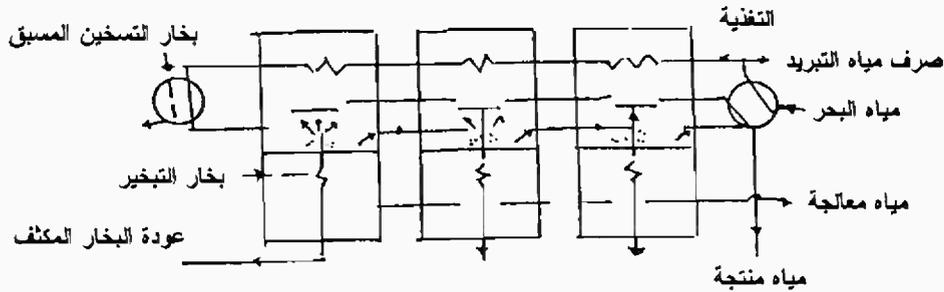
٢- إزالة الملوحة من المياه تتم بطريقتين أساسيتين، وهما: بالحرارة أو بالغشاء:

١- إزالة الملوحة بالطريقة الحرارية (Thermal Desalination)

النظام المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للاستخدام للشرب أو لرى الأراضى، هو نظام التقطير الحرارى. فى هذه الطريقة يتم غلى الماء للحصول على بخار المياه النقى، وسائل تتبقى به أملاح مركزة، ثم يتم تكثيف بخار الماء واستخدامه. ولتحقيق الاقتصاد فى الطاقة الحرارة المستخدمة، يستخدم النظام متعدد التأثير (Multi Effect System)؛ حيث تدفع أبخرة المياه النقية المنتجة فى المرحلة الأولى بغلى الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانية؛ حيث يتكثف بخار الماء، وتنطلق الطاقة الحرارية الكافية لتحويل المياه المالحة إلى بخار ماء. باستخدام هذه العملية يمكن إنتاج رطل من المياه المحلاة باستخدام وحدة طاقة حرارية (IBTU/ Ib of water).

طريقة العمل للمبخر متعدد التأثير، موضحة في الشكل (٥/٣). المياه المالحة من ملوحة ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ ملجرام في اللتر يتم تسخينها بالتدريج بطريقة المبادلات الحرارية، بواسطة تكثيف البخار في عدد مساوٍ من غرف التبخير. مياه البحر التي تم تسخينها تدخل غرف التبخير الأكثر سخونة، عند درجة حرارة ما بين ٦٠ - ١٠٠ م° عادة، ثم تبخر جزئياً بواسطة بخار من مصدر خارجي.

البخار الناتج يمر إلى المؤثر الثاني بعد سحب البخار المكثف (المستخدم في التسخين المسبق) - في الوقت نفسه، فإن المياه المالحة التي لم يتم تبخيرها في المؤثر الأول تدفع (Flashed) إلى المؤثر الثاني. يحدث تبخير آخر في المؤثر الثاني ما بين البخار الداخل والمياه المالحة المحررة من الضغط. ثم يكرر العمل في كل من المؤثرات التالية، والتي يصل عددها إلى ٢٠ أو أقل من ١٠، قبل تكثيف بخار آخر غرفة تأثير وسحب المياه المالحة (المركزة). طاقة الضخ اللازمة للمبخر متعدد التأثير، هي عادة من ٢ - ٣ كيلوات ساعة / المتر المكعب.



شكل (٥/٣): نموذج مبسط لعمل المبخر متعدد التأثير.

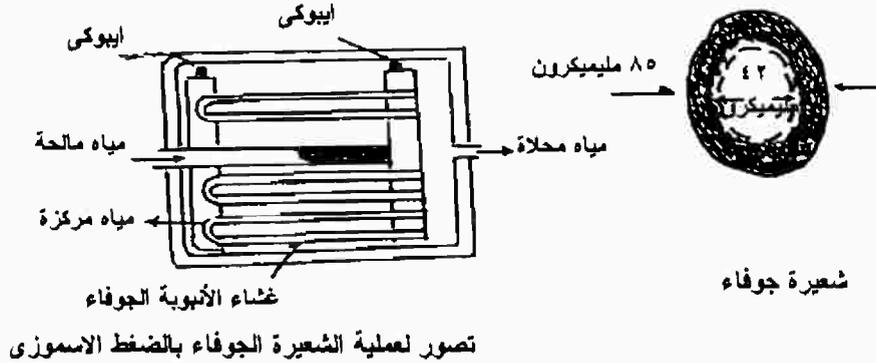
المياه المعالجة بالطرق الحرارية تحتاج إلى معالجات خاصة قبل المعالجة لتجنب الترسبات (Scales) على أسطح التسخين الحرارية، كما أنها تحتاج إلى معالجة كيميائية بعد تكثيفها؛ لتكون صالحة للاستخدام، كما في حالة ضبط الرقم الهيدروجيني لإزالة آثار المعالجة الكيماوية المسبقة قبل التبخير.

٢- إزالة الملوحة بعملية الغشاء: (Membrane Processes):

عمليات الأغشية تشمل فصل الأملاح المذابة باستخدام الغشاء، بعدة طرق: التناضح العكسي (Reverse Osmosis)، الديليزة الكهربائية (ED) (Electrodialysis)، الترشيح بأنواعه (الفائق، النانو، الميكرو).

أ- التناضح العكسي (R.O.): شكل (٤ / ٥).

التناضح العكسي هو باستخدام غشاء يعمل كمرشح لجزيئات المواد المذابة، حيث يزيل ٩٠% من كل الأملاح المذابة، ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة، أكثر من ٩٨% من المواد الغروية (Colloidal) والبيولوجية من الماء التي تركيزاتها تكون حتى ٥٠٠٠٠ جزء في المليون أو أكثر.



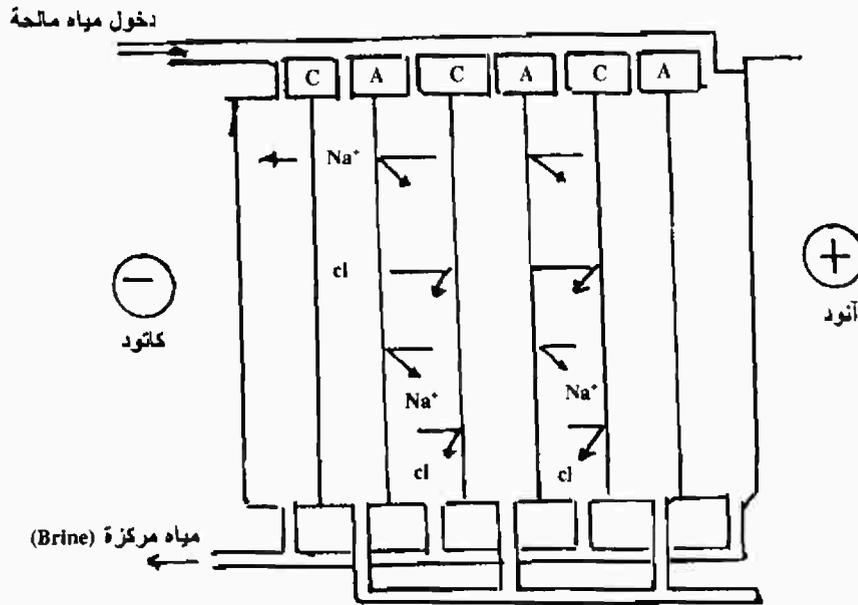
شكل (٤/٥): الشعيرة الجوفاء.

الأغشية المستخدمة من مواد مختلفة مثل أسيتات السيليلوز والبولى أميد. تدفق المياه خلال الغشاء يتوقف على الضغط المستخدم، ولهذا تزداد كمية المياه المنتجة مع زيادة الضغط، ويقل معدل تدفق المياه خلال الغشاء مع زيادة ملوحة المياه المالحه؛ نظرا لزيادة الضغط الأسموزي. ويتوقف معدل الإنتاج على نوعية المياه ومدى تشبع الغشاء بالرواسب مثل كبريتات الكالسيوم وكبريتات الباريوم. الأغشية المستخدمة عادة في تنقية المياه هي ذات الشكل الحلزوني،

الأغشية الرقيقة الجوفاء - كما يلزم إزالة المواد الصلبة العالقة والعاكسة من المياه قبل معالجتها.

ب- الديليزة الكهربائية: (Electrodialysis): شكل (٥/٥)

الديليزة الكهربائية هي عملية فصل كهروكيميائية؛ حيث تنتقل الأيونات من محلول أقل تركيزاً إلى محلول أكثر تركيزاً، خلال أغشية أن أيونية وأغشية كاتأيونية؛ بفعل تدفق تيار كهربى ثابت (DC). فى مصفوفة الأغشية بالديليزة الكهربائية، يتم ضخ المياه المحتوية على الأيونات المذابة خلال مجرى من البولى إيثيلين بين الغشاء الكاتايونى والغشاء الآن أيونى. تمر الأيونات السالبة خلال الغشاء الآن أيونى، بينما الأيونات الموجبة تحتجز - وعلى العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتايونى بينما الأيونات السالبة تحتجز. وهذه الأيونات المارة خلال الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية تجمع فى غرفة التجميع، وتكون المحلول المحلى المركز (Brine).



شكل (٥/٥): نظام المصفوفات للديليزة الكهربائية.

أغشية الديليزة الكهربائية هي أغشية موصلة للكهرباء، وهي غير منفذة للمياه تحت ضغط - بدلاً من الديليزة الكهربائية التقليدية في الاتجاه الواحد، فقد استخدمت الديليزة الكهربائية العكسية (Electrodialysis Reversal - EDR) لعكس الأقطاب طبقاً لدورة زمنية محددة، وهي حوالي ١٥ - ٢٠ دقيقة، حيث التغير في الشحنة الكهربائية للقطب عبر منظومة الغشاء يغير في اتجاه حركة الأيونات، ويحدث ذلك آلياً باستخدام المحابس لتغيير مسار تدفقات المياه. القطبية المعكوسة (EDR) توفر الغسيل الآلي للمواد المكونة للترسيبات من على سطح الغشاء.

ج- أغشية الترشيح:

١- الترشيح الفائق: (Ultra Filtration)

الترشيح الفائق هو عملية ترشيح، تتم بالضغط لتركيز المحاليل المحتوية على مواد هلامية غروية ومواد ذات وزن جزيئي عالٍ - الترشيح الفائق يحجز المواد غير الأيونية (Non Ionic)، وعموماً يمرر المواد المذابة الأيونية، وذلك طبقاً لقدرة الحجز للوزن الجزيئي للغشاء، وكذلك على شكل الجزيئي وحجمه وشحنته.

٢- النانوفلتر (Nanofilter - NF):

يسمى النانوفلتر غشاء إزالة العسر، وناوتعنى (١ / ١٠^{-٩})، وهذا هو حجم الثقب في الغشاء.. النانوفلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جداً، ويمرر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو، وبذلك يشبه إلى حد ما خصائص غشاء الترشيح الفائق والتناضح العكسي. يعمل غشاء النانوفلتر عند مجال وزن جزيئي مرتفع أكثر من التناضح العكسي. وبذا فإنه لا يمرر نسبة عالية من الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنسيوم، ويمرر الأحادية التكافؤ بنسبة عالية.

٣- الميكروفلتر (Micro filtration)

الميكروفلتر يعمل على ترويق المياه والسوائل الأخرى، وذلك بحجز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة على سطح الغشاء أو داخل المرشح، بينما يمرر المواد المذابة والماء؛ فهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومترى (10^{-6} ملليمتر).

رابعاً: المعالجات الخاصة لمياه الصرف الصحي لحماية البيئة المائية:

١- إزالة الفوسفور من مياه الصرف الصحي:

المصدر الرئيسي للفوسفور في مياه الصرف الصحي والصرف الزراعي، هو المخلفات الأدمية (وخاصة البول)، ومركبات الفوسفور المركزة الموجودة في المنظفات الصناعية، في حالة مياه الصرف الصحي، وفي حالة مياه الصرف الزراعي يكون نتيجة استخدام الأسمدة الفوسفاتية.

مركبات الفوسفور تعتبر ضارة للكائنات المائية من الأسماك، كما أنه يعتبر غذاءً جيداً للنباتات المائية، ولهذه الأسباب يلزم إزالته من مياه الصرف الصحي. أقل من ١٠% من الفوسفور في مياه الصرف الصحي يكون غير مذاب؛ حيث يمكن إزالته بالمعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي. المعالجة التثائية تحول جزءاً من الفوسفور المذاب إلى الكتلة البيولوجية، التي يتم التخلص منها في شكل حمأة مرسبة.

ونسب الإزالة هذه تكون عموماً في حدود ٣٠-٤٠% من الفوسفور الموجود في مياه الصرف الصحي. أما بقية الفوسفور الموجود، فالطريقة الوحيدة لإزالته هي بالترسيب الكيماوي باستخدام أملاح الترويب، مثل: كلوريد الحديد، كبريتات الحديد، كبريتات الحديدوز، الشبة، الجير المطفي، ألومينات الصوديوم. ونسبة الإزالة للفوسفور باستخدام أملاح الترويب هي ما بين ٧٥-٩٥%، نسبة الإضافة من ملح الترويب هي من ١,٤-٢,٤ جزئ من المروب/

جزئ من الفوسفور. يضاف المروب لإزالة الفوسفور عادة بالخلط في مسار تدفق المياه إلى حوض الترسيب الأولي.

أما لإزالة الفوسفور من مياه الصرف الزراعي، فهذا يعتمد على كمية استخدام الأسمدة الفوسفورية، والعمل على الحد منها.

٢- إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحي:

يتحول النيتروجين العضوي في مياه الصرف جزئياً أو كلياً إلى الأمونيا. مياه الصرف ذات التركيز العالي من الأمونيا والمركبات النيتروجينية الأخرى تتطلب إزالة هذه المواد منها؛ وذلك نظراً لسميتها على الكائنات المائية الحيوانية (لوجود الأمونيا والنيتريت أساساً)، أو لكون هذه المواد غذاءً للكائنات المائية النباتية؛ حيث يساعد وجودها على تكاثر ونمو هذه النباتات بما يقلل من تدفق المياه في المصارف الزراعية.

عملية النترجة هي خلق مجال حمضي بالبكتريا ذاتية التغذية لنيتروجين أملاح الأمونيا لتكوين النيتريت والنترات بعد ذلك. ولنجاح عملية النترجة، فإنه يجب المحافظة على الرقم الهيدروجيني ما بين ٧,٥/٧ (في حالة ارتفاع الرقم الهيدروجيني، يتم إضافة الجير المطفي أو الصودا آش)، وكذلك يتم المحافظة على المحتوى من الأكسجين المذاب، في حدود ٢ ملجرام/لتر. لعمل النترجة تستخدم أي تجهيزات أحواض تهوية، أو مرشحات بيولوجية، أحواض أكسدة... إلخ.

تستخدم النترجة البيولوجية كمرحلة أخيرة في معالجة المياه، وذلك عند صرف هذه المياه على المسطحات المائية. غالباً ما تكون مرحلة النترجة هي مرحلة بسيطة مرحلة بيولوجية تالية لإزالة النيتروجين (Denitrification).

عملية إزالة النيتروجين هي عملية اختزال بيولوجي لأكسجين النترات والنيتريت إلى الأكاسيد والنيتروجين الحر (N_2). لنجاح هذه العملية يلزم

وجود مواد عضوية معينة، والتي تتحلل سريعا بالطرق البيوكيماوية. البكتريا المختزلة للنترات والموجودة بكميات كبيرة في مياه الصرف يمكن أن تؤكسد أنواعا كثيرة من المواد العضوية مثل الهيدروكربونات والكحولات والأحماض العضوية. في حالة تنفيذ عملية إزالة النيتروجين بالمعالجة البيولوجية؛ حيث تكون مياه الصرف خالية من المواد العضوية الأولية، عنئذ عادة يستخدم الكحول الميثيلي (Methanol) كغذاء من الهيدروكربونات للكائنات الدقيقة، وهو لا يسبب تلوثا لمياه الصرف المعالجة.

أفضل رقم هيدروجيني لعملية إزالة النترجة هو ما بين 6-8,5، كما أن تركيز الأكسجين الذي لا يزيد عن 0,5 ملجرام/لتر ليس له تأثير إعاقة على العملية؛ حيث ما زاد عن ذلك يمكن أن يسبب إعاقة للعملية.

عملية إزالة النترجة على خلاف عملية النترجة حيث تزيد القلوية، ولكن تحول الميثانول إلى الحالة الحامضية، فإنه يعمل كعامل درء (Buffer) لزيادة الرقم الهيدروجيني. لذلك.. فإن عمليات النترجة وإزالة النيتروجين يجب أن تتم بالتالي في ظروف هوائية، وفي ظروف محدودة المحتوى من الأكسجين المذاب، وفي وجود الكربون العضوي؛ حيث يمكن أن تتم في أحواض التهوية مع زيادة زمن المكوث، في إحدى المناطق تحدث أكسدة لنيتروجين الأمونيا إلى النيتريت والنترات، وفي المناطق الأخرى يحدث الاختزال للنترات.

التنقية المؤثرة والاقتصادية لتنفيذ هذه العمليات، تتم في قنوات أكسدة ذات شكل دائري طويل (بيضاوي) حيث يكون القطر في أوسع جزء من 30,5 إلى 152,5 مترا. يتم توفير معدات تهوية على طول القناة بطريقة تسمح بوجود مناطق مهواه ومناطق غير مهواة بالتالي (تغيير هذه المناطق على الأقل مرتين).

يمكن كذلك أن تتم عمليات النترجة وإزالة النيتروجين في حوض التهوية، وفي أحواض الترسيب، وذلك بإيقاف نظام التهوية من أن

لآخر وبذا توجد حالات هوائية ولا هوائية. أكبر تكلفة تكون عند المعالجة بإنشاءات خاصة.

عموما، كفاءة إزالة المركبات النيتروجينية من مياه الصرف بالطرق البيولوجية بالنترجة وإزالة النترجة، تصل إلى ٧٠-٩٠%. من بين عيوب المعالجة البيولوجية زمن المكوث الطويل للسائل، الحساسية لصدمات التحميل، السمية مع المحافظة على درجة الحرارة.

٣- الكلورة لمياه الصرف الصحي المعالجة:

لل قضاء على الملوثات البكتيرية الحاملة للأمراض الوبائية، فإنه يتم حقن جرعة كلور لمياه الصرف المعالجة، ثم المعالجة بعامل مختزل مثل ثاني أكسيد الكبريت لاختزال الكلور المتبقي، وذلك قبل الصرف على المسطحات المائية.