

Sanitary & Environmental Engineering Department

تطرية المياه

تطرية المياه باستخدام المواد الكيميائية
تطرية المياه باستخدام طريقة التبادل الأيوني

Water Softening

- Reagent softening of water
- Water softening by Ion Exchange

قساوة المياه:

قساوة المياه هو تعبير شعبي أطلق على المياه التي يلزمنا فيها استخدام كميات كبيرة من الصابون أو المنظفات للحصول على رغوة مناسبة أثناء عمليات الغسيل أو التنظيف. وعرفت القساوة في البدايات على أنها سعة الماء على استهلاك الصابون (انحلال الصابون في الماء).

تعتبر القساوة عملياً عن تواجد كاتيونات الكالسيوم والمغنيزيوم والسترونسيوم والباريوم... الخ في المياه، إلا أن المياه الطبيعية تحتوي على كاتيونات الكالسيوم والمغنيزيوم بتراكيز تفوق كثيراً تراكيز الكاتيونات الأخرى المحددة لقساوة المياه والمتواجدة بشكل نادر جداً في المياه الطبيعية، وبالتالي يمكننا اعتبار قيمة مجموع تراكيز الكالسيوم والمغنيزيوم قيمةً معبرةً عن قساوة المياه الطبيعية بدون خطأ محسوس. تتواجد أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم وكذلك المعادن القلوية الترابية الأخرى في كل المياه المتمعدنة. وتعتبر المكامن الطبيعية للجير والكلس والدولوميت مصادر هذه الأيونات.

يعبر عن القساوة بالكثير من الوحدات المرتبطة مع بعضها البعض وأهمها مع مكافئ /ل حيث: **اطلاع**

$$1 \text{ meg/l} = 1 \text{ moll} / \text{m}^3 = 20.04 \text{ mg/l as Ca} = 12.156 \text{ mg/l as Mg} = 2.804 \text{ d}^\circ = 50.050 \text{ ppm (mg/l) CaCO}_3 = 5.005 \text{ f}^\circ$$

ونوضح فيما يلي ارتباطات الوحدات مع بعضها البعض:

$$1 \text{ d}^\circ = 1.786 \text{ f}^\circ = 17.86 \text{ p.p.m} = 10 \text{ mg/l as CaO} = 17.86 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

$$1 \text{ f}^\circ = 10 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

$$1 \text{ p.p.m} = 1 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

/l /m³=m.moll /m³ - درجة القساوة الروسية وتكافئ هذه الوحدة التركيز الكتلي لمكافئات أيونات

$$\text{الكالسيوم } 20.04 \text{ g/m}^3 \text{ (} 1/2\text{Ca) } \text{ والمغنيزيوم } 12.153 \text{ g/m}^3 \text{ (} 1/2\text{Mg) .}$$

d° - درجة القساوة الألمانية.

f° - درجة القساوة الفرنسية .

meg/l - درجة القساوة العالمية.

p.p.m - درجة القساوة الأمريكية (و تعني جزءاً من المليون وهي مطابقة للوحدة مع /ل).

لا تشكل أملاح القساوة خطراً على الصحة البشرية عند تواجدها في مياه الشرب فيقتصر تأثيرها على تسببها في عسر الهضم بينما تسبب أملاح القساوة بعض المشاكل الطفيفة لدى تواجدها في مياه الاستعمالات كإخفاض رغوة الصابون، وتأثير سيئ على الشعر عند الاستحمام، وتأخر الطبخ حتى الاستواء.

ويعتبر تواجد أملاح القساوة في بعض المياه الصناعية مشكلة كبيرة وخصوصاً تلك المياه التي تملك تماساً مع السطوح الساخنة كمياه المراجل، حيث تخفض أملاح القساوة وخصوصاً المؤقتة (أي أملاح كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيزيوم التي يترسب جزء منها في عمليات التسخين) عمليات التبادل الحراري نتيجة تشكل طبقة من القشور على سطوح التسخين. يجب أن تحتوي مياه الشرب على حد أدنى من تركيز الكالسيوم حوالي 40 mg/l (معدل فيزيولوجي)، أما بالنسبة للمغنيزيوم فحوالي 10 mg/l (معدل فيزيولوجي).

تطرية المياه باستخدام المواد الكيميائية

يقصد بعملية تطرية المياه إزالة أملاح القساوة من المياه. تستند تطرية المياه باستخدام المواد الكيميائية إلى معالجة المياه بالمواد الكيميائية التي تشكل مع الكالسيوم والمغنيزيوم اتحادات ضعيفة الانحلال بالمياه مثل $CaCO_3$, $Ca(PO_4)_2$, $Mg(OH)_2$, $Mg(PO_4)_2$... الخ. لذلك تلحق هذه الطرائق دوماً بتجهيزات الإزالة التالية للمواد الراسبة (المروقات، المرسبات رقيقة الطبقات، مرشحات الترويق).

إن المواد الكيميائية المستخدمة لأغراض التطرية هي التالية:

الجير CaO , $Ca(OH)_2$ ؛ الصود الكاوي $NaOH$ ؛ الجير مع الصودا $CaO+Na_2CO_3$ ؛ الصودا مع الصود الكاوي Na_2CO_3+NaOH ؛ الجير مع الصود الكاوي $CaO+NaOH$ ؛ أملاح الفوسفات Na_3PO_4 ؛ أو كسات الصوديوم $Na_2C_2O_4$ ؛

أملاح الباريوم $BaCO_3$, $Ba(OH)_2$, $BaAl_2O_4$.

تستخدم المواد الكيميائية السابقة مع تسخين المياه أو بدون ذلك ويمكن أحياناً دمج الطرائق السابقة مع طرائق فصل عناصر أخرى من المياه كالحديد والمغنيز والسيليكا.

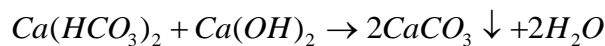
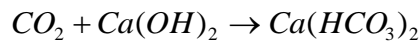
ينصح بشكل عام باستخدام التطرية بواسطة الجير أو بواسطة الجير مع الصودا لإزالة أملاح القساوة من مياه الشرب، أما الطرائق الأخرى فينصح باستخدامها للمياه المخصصة للأغراض التكنولوجية المختلفة كالمياه المخصصة للمراجل مثلاً.

تجري عملية تشكل الرواسب أثناء التطرية باستخدام المواد الكيميائية على طورين، يقتصر الطور الأول على العمليات الكيميائية للتأثير المتبادل بين الأيونات المشكلة للاتحادات صعبة الانحلال ($CaCO_3$, $Mg(OH)_2$)، وهذا الطور لحظي أي أنه يحدث بشكل سريع جداً، أما الطور الثاني فتحدث خلاله عملية تبلور الرواسب المشكلة. تتحدد سرعة التطرية بسرعة العملية للطور الثاني، لذلك فإنه من أجل تسريع التطرية يجب أن يتم تسريع عملية تشكل الرواسب لإزالتها اللاحقة في المرسبات أو المروقات ومن ثم في المرشحات.

إزالة القساوة الكربوناتية للمياه باستخدام الجير (إزالة الكربنة):

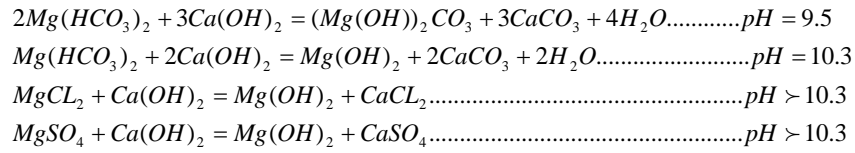
Elimination of water carbonate hardness by liming (water decarbonization).

يستخدم الجير (CaO , $Ca(OH)_2$) لتطرية المياه ذات القساوة الكربوناتية المرتفعة والقساوة اللاكربوناتية المنخفضة، أو في الحالات التي لا يطلب فيها إزالة أملاح القساوة اللاكربوناتية (الدائمة)، كما يستخدم الجير في الحالات التي يطلب فيها تخفيض القلوية مع تخفيض القساوة الكربوناتية كمسألة ثانوية. يدخل الجير إلى المياه على شكل محلول أو مستعلق مع أفضلية تسخين المياه قبل ذلك. وتقوم أيونات الهيدروكسيل بتخريب التوازن بين مختلف أشكال حمض الكربون، وتعتبر أيونات الكربونات الصيغة الأكثر ثباتاً في الأوساط القلوية. يتحول ثاني أكسيد الكربون الحر المنحل في المياه إلى أيونات كربونات (بتواجد أيونات الهيدروكسيل) على مرحلتين، حيث يتحول في المرحلة الأولى إلى أيونات الهيدروكربونات (بيكربونات)، ثم تتحول أيونات الهيدروكربونات المتحولة مع تلك المتواجدة في المياه إلى أيونات الكربونات كما في المعادلات التالية:



عند تواجد كمية فائضة من الجير تشكل أيونات المغنيزيوم اتحادات ضعيفة الانحلال (كربونات قاعدية $(MgOH)_2CO_3$) وهيدروكسيدات المغنيزيوم وذلك تبعاً لدرجة pH الوسط مما يؤدي إلى خفض القساوة الكربوناتية المغنيزيومية.

عند رفع جرعة الجير تتحول القساوة اللاكربوناتية المغنيزيومية إلى قساوة لأكربوناتية كالسيومية كما في المعادلات التالية:



يتم إجراء التجبير بإحدى النظامين التاليين:

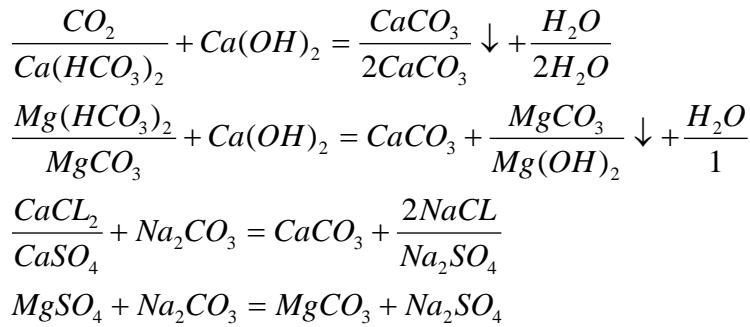
- 1- معالجة المياه حتى درجة pH=9.5 وذلك عندما لا يتوجب إزالة القساوة المغنيزيومية. تزال عملياً أيونات الكالسيوم المتواجدة على شكل كربونات، ثم يزال المغنيزيوم المتواجد على شكل كربونات قاعدية.
 - 2- معالجة المياه بالجير حتى درجة pH=10.5 (وذلك عن طريق رفع جرعة الجير): تستخدم لإخراج أيونات المغنيزيوم واتحادات السيليكات من المياه أيضاً.
- تؤثر المواد العضوية وخصوصاً المواد ذات السطوح الفعالة بشكل سلبي على عملية تشكل الرواسب نظراً لإعاقتها عملية نمو البلورات، تستخدم عملية التخثير بشكل مترافق عادةً مع عملية التطرية بالجير بهدف تسريع وتحسين عملية إزالة الشوائب الغروية والمشتتة ولتخليص المياه من الشوائب العضوية التي يمكن أن تعيق تشكل الندف وترسيب أملاح القساوة.

تطرية المياه باستخدام الجير مع الصودا:

Water softening with lime and soda

للصودا قدرة على ترسيب أملاح القساوة الدائمة الكالسيومية وتحويل القساوة المغنيزيومية الدائمة (اللاكاربوناتية) إلى قساوة مغنيزيومية كربوناتية ليتم ترسيبها بواسطة الجير.

تجري عملية التطرية باستخدام الجير مع الصودا عادةً وفق مستويين، حيث تزال في البداية الشوائب العضوية وقسم كبير من القساوة الكربوناتية من المياه وذلك باستخدام أملاح الحديد مع الجير في ظروف التخثير الأمثلية، أما في المستوى الثاني من العملية فتدخل الصودا مع الجزء المتبقي من الجير لإتمام عملية التطرية.

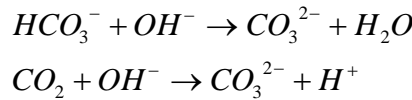


تطرية المياه باستخدام الصود الكاوي أو الصود الكاوي مع الجير

Caustic soda or caustic soda with lime methods of water softening

عند إضافة الصود الكاوي إلى المياه تتحول الهيدروكربونات وحمض الكربون إلى كربونات كما في المعادلتين

التاليتين:



إن استخدام الصود الكاوي محصور بالشرط التالي:

$$2ALK + C_{CO_2} = C_{Ca^{2+}} + U_{CO_3^{2-}}$$

وفي حالات استخدام التخثير يصبح الشرط السابق على الشكل التالي:

$$2ALK + C_{CO_2} = C_{Ca^{2+}} + ALK_n + Dco$$

أما في الحالات التي يتحقق فيها أحد الشرطين التاليين:

$$2ALK + C_{CO_2} > C_{Ca^{2+}} + ALK_n + U_{CO_3^{2-}}$$

$$\frac{[Ca^{2+}]}{20} < Hc$$

فعندها لا يجوز استخدام الصود الكاوي لوحده ولا بد من إضافة أيونات الكالسيوم لربط الكمية الفائضة من أيونات الكربونات أي لا بد من استخدام الجير .

تطرية المياه باستخدام الصودا مع الصود الكاوي

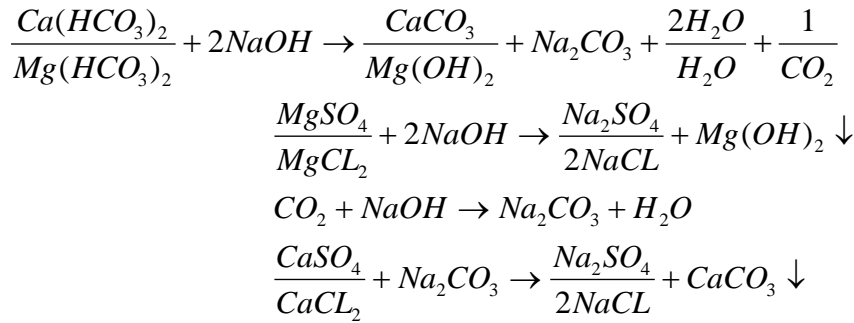
Soda –and–Caustic soda methods of water softening

في الحالات التي يتحقق فيها أحد الشرطين التاليين:

$$2ALK + C_{CO_2} < C_{Ca^{2+}} + ALK_n + U_{CO_3^{2-}}$$

$$\frac{[Ca^{2+}]}{20} > Hc$$

فإن ذلك يعني أن هنالك نقص في أيونات الكربونات اللازمة لربط الفائض من أيونات الكالسيوم مما يفرض إضافة الصودا إلى المياه. تشرح عملية التطرية بإضافة الصودا مع الصود الكاوي بالتفاعلات الأساسية التالية:



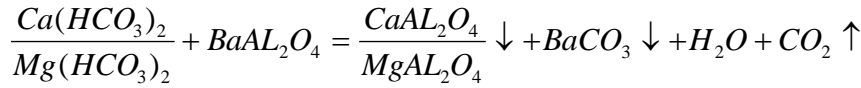
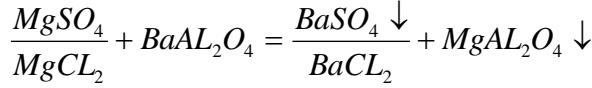
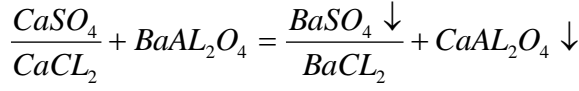
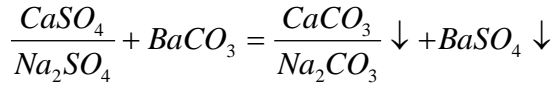
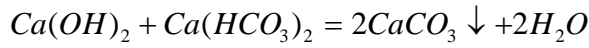
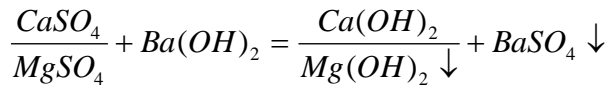
تطرية المياه باستخدام أملاح الباريوم (مطالعة)

Water softening with barium

تعتمد هذه الطريقة على قدرة أيون الباريوم على إزاحة أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم مشكلاً مركبات السلفات والألومينات ذات الانحلالية السيئة في المياه. تستخدم هذه الطريقة في الغالب بشكل مشترك مع الطرائق الأخرى، حيث تدخل مركبات الباريوم ($BaCO_3$, $Ba(OH)_2$, $BaAl_2O_4$) إلى المياه أولاً لإزالة القساوة السولفاتيّة ثم بعد الترويق تعالج المياه بالجير مع الصودا لإتمام التطرية.

إن استخدام هذه الطريقة نادر جداً نظراً لغلاء سعر مركبات الباريوم، وسميتها مما يمنع استخدامها لأغراض تطرية مياه الشرب. يقود استخدام هذه الطريقة عملياً إلى ضرورات إنشاء المرسبات أو المروقات الكبيرة جداً نظراً لأن ترسيب سلفات الباريوم المتشكلة في هذه الطريقة بطيء جداً.

تشرح التفاعلات الجارية أثناء تطرية المياه بأملاح الباريوم على الشكل التالي:

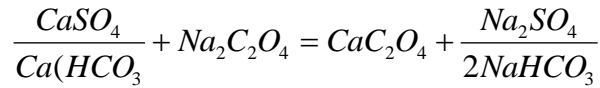


تطرية المياه باستخدام أوكسات الصوديوم (مطالعة)

Water softening with oxat sodium

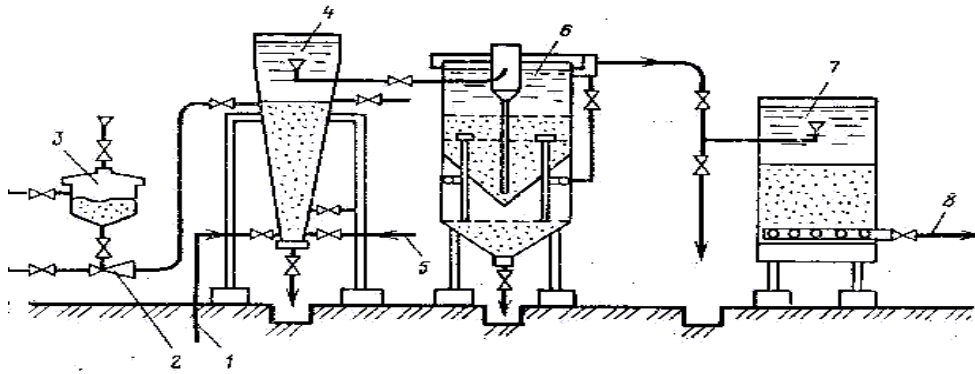
تعتمد هذه الطريقة على الانحلالية المنخفضة لأوكسات الكالسيوم المتشكلة من إضافة أوكسات الصوديوم إلى

القساوة الكالسيومية كما في المعادلة التالية:



تتميز هذه الطريقة بالبساطة التكنولوجية وبساطة التجهيزات التابعة لها، إلا أن ارتفاع سعر هذا المفاعل يحد من إمكانية

استخدامه من أجل تطرية كميات كبيرة من المياه.



تجهيزات تطرية المياه باستخدام الصودا والجير المتضمنة للمروقات.

1-إمداد المياه الأولية 2-القاذف 3-خزان الكتلة التماسية 4-مفاعل زويعي 5-إدخال المواد 6-مرووق مع طبقة رواسب

عالقة 7-مرشح سريع مرووق 8-المياه المعالجة.

تطرية المياه باستخدام طرق المعالجة المغناطيسية

Magnetic methods of water softening

وما زال ميكانيزم تأثير الحقل المغناطيسي على المياه وشوائبها غير واضح بشكل نهائي حتى الآن. ويمكن عرض

بعض هذه الافتراضات:

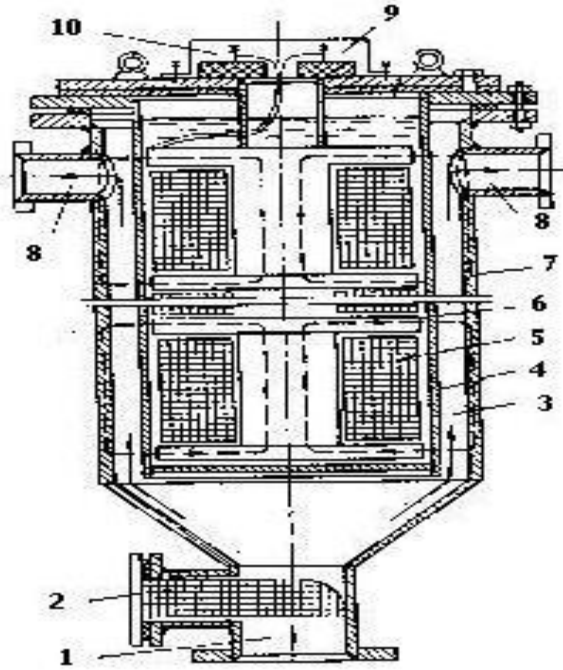
1-الافتراضات التي تربط هذا التأثير بتأثير الحقل المغناطيسي على أيونات الأملاح المنحلة في المياه، والذي يسبب

استقطاب وتشوه الأيونات. يشكل هذا الاتجاه في الشرح النسبة الأكبر للافتراضات المقترحة.

2-الافتراضات التي تربط هذا التأثير بالتأثير المفترض والممكن للحقل المغناطيسي على الشوائب الغروية للمياه.

3-الافتراضات التي تربط هذا التأثير بالتأثير المفترض والممكن للحقل المغناطيسي على بنية المياه.

يتلخص فحوى المعالجة المغناطيسية للتشكلات القشرية في المياه في أن هذه التشكلات لا تخرج إلى سطوح التسخين عند تقاطع المياه مع خطوط القوى المغناطيسية وإنما تبقى في كتلة المياه. هذه الطريقة فعالة في معالجة المياه ذات الصنف الكربوناتي-الكالسيوم والتي تشكل نسبة كبيرة من المياه الباطنية في بلادنا.



جهاز المعالجة الالكترومغناطيسية المخصص لدرء خطر التشكلات القشرية.

تطرية المياه باستخدام طريقة التبادل الأيوني

1- مقدمة: (لإطلاع)

تحتوي المياه الطبيعية على تراكيز مختلفة من الأملاح المنحلة التي تنتشتت في المياه لتشكيل الأيونات المشحونة. تسمى الأيونات المشحونة إيجابياً كاتيونات cations أما الأيونات المشحونة سلبياً فتسمى أنيونات anions . يتلخص فحوى عملية التبادل الأيوني في قدرة مواد التبادل الأيوني (الريزينات الأيونية) الغير منحلة في المياه على امتصاص الأيونات الموجبة أو السالبة من المحاليل الألكتروليتية(المياه) عن طريق مبادلتها بكمية مكافئة من أيونات الأيونيت. إذا كانت الأيونات المتحركة للزمر الوظيفية موجبة الشحنة فالأيونيت يملك خواص مبادلة الكاتيونات ويسمى الأيونيت بالريزين الكاتيوني (الكاتيونيت)، أما إذا كانت الأيونات المتحركة للزمر الوظيفية سالبة الشحنة فالأيونيت يملك خواص مبادلة الأنيونات ويسمى الأيونيت بالريزين الأنيوني (الأنيونيت).

تستبدل المبادلات الأيونية أحد الأيونات بآخر تحمله زمورها الوظيفية بشكل مؤقت وتطلقه بعد ذلك إلى محلول التنشيط. يجري في أنظمة التبادل الأيوني استبدال الأيونات غير المرغوبة في المياه بأيونات أكثر قبولاً، فعلى سبيل المثال يجري استبدال أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم بأيونات الصوديوم في عمليات تطرية المياه.

استخدم الصيدلاني Gans في 1905 مواد سيليكات الألومينيوم الصناعية synthetic aluminosilicate المعروفة بمواد الزيوليت الصناعية synthetic zeolite في عمليات التبادل الأيوني. استبدلت مواد الزيوليت الصناعية بمواد طبيعية للتبادل الأيوني تسمى بالرمل الأخضر Greensand تملك قدرة تبادل منخفضة مقارنةً بقدرة تبادل المواد الصناعية، لكنها تملك استقراراً فيزيائياً أكبر مما يجعلها أكثر مناسبة للتطبيقات الصناعية.

سمح تطور الفحم المسلفن sulfonated coal cation exchange medium المسمى باسم الزيوليت الفحمي بتخفيض القلوية بالإضافة إلى عملية التبادل الأيوني. كما طورت مبادلات التبادل الأنيوني، حيث استخدمت ريزينات التبادل الأنيوني الجديدة ذات أيون الهيدروجين الموجب في إزالة ملوحة المياه. كانت الريزينات الأنيونية الأولى غير مستقرة ولا تستطيع إزالة الأحماض المؤيئة الضعيفة كحمض السيليكون وحمض الكربون، إلى أن طوّرت في منتصف أربعينات القرن الماضي ريزينات مصفوفة البولي ستايرين - ديفينيل البنزن polystyrene-divinylbenzene المستقرة جداً وذات سعة التبادل الكبيرة مقارنةً مع أسلافها، حيث كانت هذه الريزينات قادرة على إزالة كل الأنيونات بما فيها الأحماض المؤيئة الضعيفة كحمض السيليكون وحمض الكربون، وهذا ما جعل إزالة الملوحة الكاملة عملية متاحة باستخدام التبادل الأيوني. تملك الريزينات الأحدث ذات الهيكل الأكريليكي مقاومة أكبر للتلوث العضوي، وما زالت هذه الريزينات مستخدمة في أغلب تطبيقات التبادل الأيوني. أحد أهم تحديات الريزين اعتمدت على تطوير الهيكل المسامي الماكروي والميكروي له وجعل هيكل الريزين أكثر مقاومة كيميائية وفيزيائية، وكذلك أكثر مقاومة للحرارة والمواد المؤكسدة.

يحتوي المبادل الأيوني بالإضافة إلى المصفوفة البلاستيكية على مجموعات وظيفية قابلة للتأين تملك عناصر موجبة وسالبة. تملك الزمرة الوظيفية للكاتيونيت مواقع أيونية ثابتة مثل جذور SO_3^- وأيونات الصوديوم الموجبة القابلة للنقل Na^+ . يحدث التبادل الأيوني عندما تنتشر أيونات الماء الخام عبر هيكل الريزين وتتبادل مع الجزء القابل للنقل من المجموعة الوظيفية.

2- أنواع ريزينات التبادل الأيوني:

كاتيون قوي الحامضية (SAC) Strong Acid Cation

كاتيون ضعيف الحامضية (WAC) Weak Acid Cation

أنيون قوي القلوية (SBA) Strong Base Anion

أنيون ضعيف القلوية (WBA) Weak Base Anion

تقسم الأيونيتات إلى معدنية وعضوية ويقسم كل منهما إلى الأيونيتات ذات أصول طبيعية وأيونيتات ذات أصول صناعية. تتميز الأيونيتات المعدنية ذات الأصول الطبيعية بالسعة التبادلية المنخفضة وبعدم الثبات الكيميائي الجيد مما يقود إلى استبدالها بالأيونيتات الصناعية التي تستخدم بشكل واسع في الوقت الحالي في تكنولوجيا تنقية المياه، وأكثر هذه الأيونيتات الصناعية استخداماً هو الفحم السولفاتي متعدد المهام SC والناتج عن سلفنة (المعالجة بحمض الكبريت المركز بدرجة حرارة عالية) الفحم الطبيعي.

تحتوي الكاتيونيتات العضوية زمراً وظيفية فعالة كيميائياً مثل الأمين الرباعي NH_3OH^+ ، الزمر السولفاتيّة HSO_3^- ، زمر الفينولات أحادية الشحنة OH^- ، زمر الفوسفور HPO_3^- ، زمر الكاربوكسيل $COOH^-$.

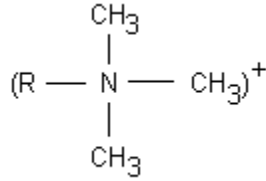
الزمرة الوظيفية للكاتيون قوي الحامضية SAC مشتقة من زمرة حمض السولفونيك الزمر السولفاتيّة HSO_3^- ويستخدم لإزالة الملحقة لقدرته على مبادلة كل كاتيونات الماء مع أيون الهيدروجين القابل للنقل.

يعمل الكاتيون قوي الحامضية في كل مجالات قيم الـ pH مما يجعله مناسب لتشكيلة واسعة من التطبيقات، فعلى سبيل المثال يجري استخدامه للتطرية عند استخدام الصوديوم كأيون قابل للنقل، وللتحلية عند استخدام الهيدروجين كأيون قابل للنقل. تقوم الكاتيونيتات قوية الحامضية بمبادلة الكاتيونات في الأوساط المختلفة القلوية والحامضية والمعتدلة.

الزمرة الوظيفية للكاتيون ضعيف الحامضية WAC مشتقة من الزمرة الكاربوكسيلية $(COOH^-)$ أو زمرة الفينولات أحادية الشحنة مع أيون الهيدروجين القابل للنقل ويستخدم لإزالة الكاتيونات المرتبطة بالقلوية مشكلاً حمض الكاربونيك. تقوم الكاتيونيتات ضعيفة الحامضية بمبادلة الكاتيونات في الأوساط القلوية فقط.

الزمرة الوظيفية للأيون قوي القلوية SBA مشتقة من زمرة الأمونيوم. في النموذج الأول تملك الزمرة الوظيفية ثلاث

زمر ميثيلية:



في النموذج الثاني تستبدل إحدى الزمر الميثيلية في الزمرة الوظيفية بزمرة إبتانولية.

الزمرة الوظيفية لراتنج الأيون السالب ضعيف القلوية WBA مشتقة من زمرة أولية $(R-NH_2)$ ، وثانوية $(R-NHR')$ ،

وثالثية $(R-NR'_2)$.

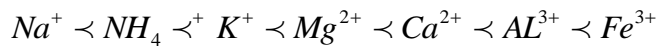
يمكن للأيونيت أن يملك زمرة وظيفية واحدة ويسمى عندها بأحادي الوظيفة (مثل الفحم السولفاتي قوي الحامضية)، أو يملك عدة زمر وظيفية ويسمى عندها بمتعدد الوظيفة.

3- عملية التبادل الأيوني:

يتشكل على السطح الخارجي للجزئية غشاءً مائياً غير متحرك ترتبط سماكته بسرعة تيار المياه الخاضعة للتطرية وبأبعاد حبيبات الريزين. يجب أن ينتشر أيون الكالسيوم والمغنيزيوم (اللذان يسعيان للوقوع داخل جزئية الريزين في الزمرة الوظيفية) من المياه عبر الغشاء المائي ويمر خلال السطح المحدد للجزئية وفي داخل الريزين في محلول الانتفاخ ليسعى إلى الترابط مع الزمرة الوظيفية. يعتبر انتشار الأيونات خلال الغشاء المائي المرحلة الأهم للعملية.

يمكن توضيح طاقة دخول الكاتيونات المختلفة إلى الكاتيونيت تبعاً لقيمة فعاليتها الديناميكية ضمن ظروف متشابهة

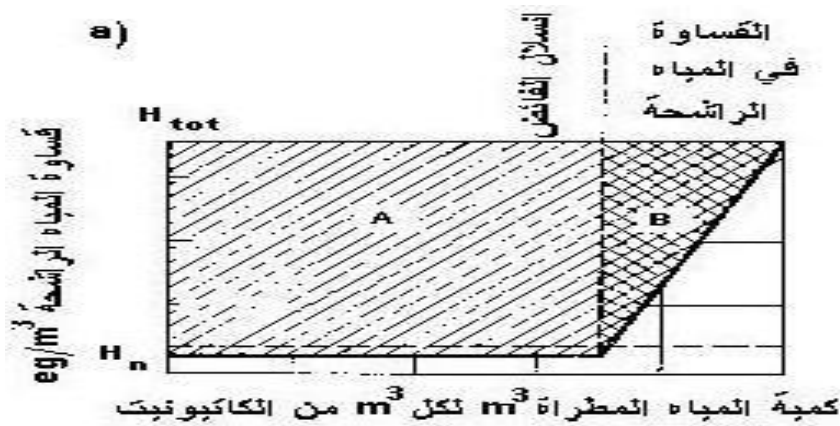
بالتتابع التالي:



أي أنه بزيادة شحنة الكاتيون تزداد طاقة دخوله إلى الكاتيونيت. تتغير هذه القواعد بزيادة تركيز الكاتيونات كحالة تمرير محلول مركز من ملح الطعام خلال الكاتيونيت (التنشيط). بالنسبة للكاتيونات ذات التكافؤات المتشابهة فإن طاقة الدخول مرتبطة بإمالة الكاتيونات.

يتصف كل كاتيونيت بالسعة التبادلية المحددة والتي تعكس كمية الكاتيونات التي يمكن للكاتيونيت أن يبادلها خلال دورة العمل، وتقاس بالغرام مكافئ من الكاتيونات المحجوزة في متر مكعب واحد من الكاتيونيت المتواجد في وضع العمل (الحالة المنفخة). ونميز بين تعريفين للسعة التبادلية للكاتيونيت هما السعة التبادلية الكلية والسعة التبادلية العاملة للكاتيونيت.

تسمى طبقة الكاتيونيت التي تعمل على تطرية المياه في لحظة الترشيح بالطبقة العاملة، أو بمنطقة التطرية. وعند الترشيح اللاحق للمياه فإن الطبقة العليا للكاتيونيت تستنفذ وتفقد القدرة التبادلية وبالتالي تدخل الطبقات السفلية في التبادل الأيوني، أي أن منطقة التطرية تنخفض بالتدرج وبالتالي يمكننا تمييز ثلاث مناطق للكاتيونيت أثناء العمل وهي: منطقة الكاتيونيت المستنفذ ومنطقة الكاتيونيت العامل ومنطقة الكاتيونيت الطازج.



تتكون عملية تطرية المياه على المرشحات الكاتيونيتية من العمليات المتتابعة التالية:

- ترشيح المياه خلال طبقة الكاتيونيت حتى لحظة الوصول إلى القساوة الحدية المسموحة في المياه الراشحة بسرعة

الترشيح بحدود 10-25 m/h

- خلخلة طبقة الكاتيونيت بتيار صاعد للمياه المطرأة بشدة 3-4 l/sec.m²

- إنزال مخدة مائية لتلافي إمكانية تخفيف تركيز محلول التنشيط.

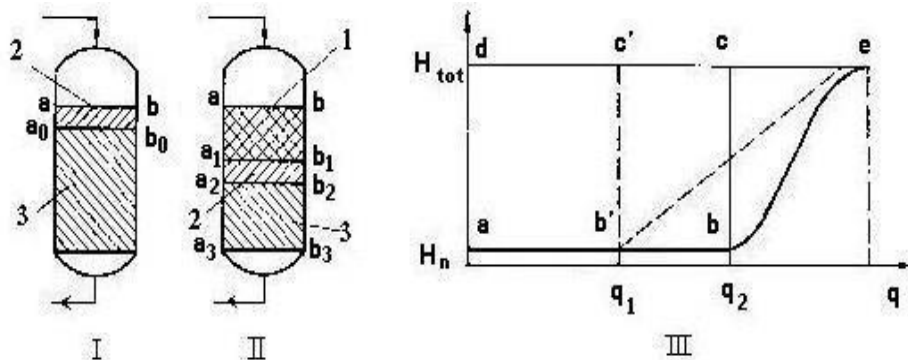
- بعد استنفاد السعة التبادلية العاملة للكاتيونيت فإنه يفقد قدرته على تطرية المياه ولا بد عند ذلك من تنشيطه. يجري

تنشيط الكاتيونيت بطريقة الترشح للمحلول المناسب بسرعة ترشيح 3-5 m/h

- غسل الكاتيونيت بمياه غير مطرأة بسرعة ترشيح 8-10 m/sec

وتجري عادةً عملية تنشيط الكاتيونيت بفترة تقدر بحوالي 2 h منها حوالي 10-15 min تصرف على عملية الخلخلة

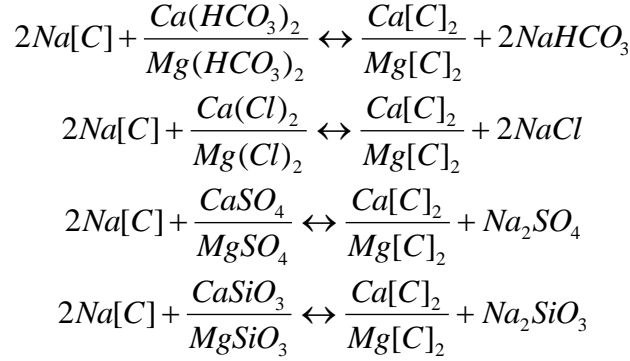
وحوالي 25-40 min تصرف على عملية ترشيح محلول التنشيط وحوالي 30-60 min تصرف على عملية الغسيل.



4- تطرية المياه باستخدام الكتيبة الصوديومية -exchange Water softening by sodium cation

تستخدم الكتيبة الصوديومية لتطرية المياه الحاروية على عوالق لا تزيد عن 8 mg/l ولون لا يزيد عن 30 درجة.

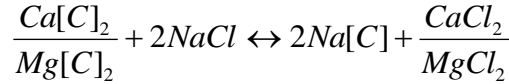
وتشرح هذه العملية على الشكل التالي:



حيث [C] - مصفوفة البوليمير غير المنحل للكاتيونيت.

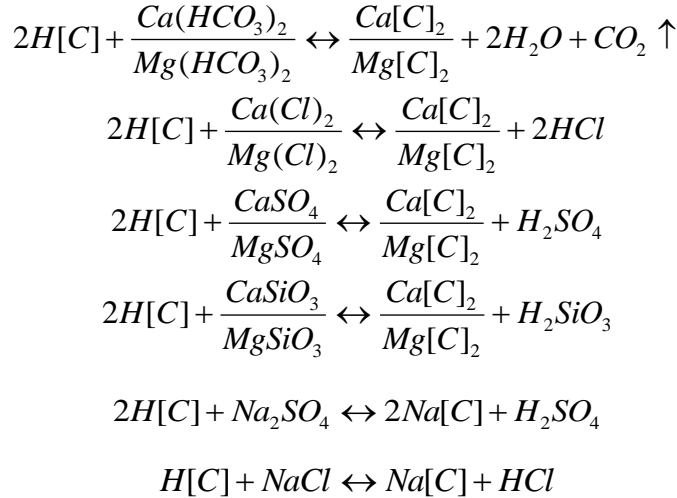
يتم تنشيط المرشحات باستخدام محلول ملح الطعام بتركيز % 5-8 بسرعة ترشيح 3-4 m/h . وتجري عملية التنشيط

كما في التفاعل التالي:



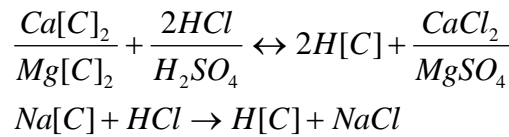
5- تطرية المياه باستخدام الكتيبة الهيدروجينية -exchange Water softening by hydrogen cation

يمكن شرح عملية تطرية المياه باستخدام الكاتيونيئات الهيدروجينية في المعادلات التالية:



تتخف بشدة أثناء الكتيبة الهيدروجينية قيمة pH الوسط نتيجة الأحماض المتشكلة في المياه الراشحة. يمكن إزالة غاز الكربون المنطلق أثناء المعالجة باستخدام مزيلات الغاز Degazator، وتتبقى في الراشح الأحماض المعدنية بكميات مكافئة لتركيز السلفات والكلوريد في المياه الأولية.

تجري عملية تنشيط الكاتيونيئات الهيدروجينية بواسطة حمض الكبريت أو حمض كلور الماء كما في المعادلة التالية:



وستملك المياه خلال الكتيبة الهيدروجينية قيمة منخفضة لـ pH حيث تتحول الأملاح اللاكربوناتية لمختلف الكاتيونات المتواجدة في المياه إلى أحماض. تظهر لدى تنشيط الكاتيونيئات الهيدروجينية مشكلة التأثير المتبادل بين منتجات

التفاعل وبشكل خاص الكالسيوم المنتزع من الكاتيونيت مع أنيونات السلفات مما يقود إلى تشكل الرواسب الجبسية في طبقة الكاتيونيت، وإلى ضياع فعالية التنشيط.

لتلافي مساوئ الكتيبة الصوديومية والكتيبة الهيدروجينية يجري استخدام الكتيبة الصوديومية-الهيدروجينية، والتي تعتبر أكثر طرق الكتيبة استخداماً في عمليات تطرية المياه، من أهم محاسن هذه الطريقة أنه بالخلط الطردي للمياه الراشحة بعد المرشح الكاتيونيتي الصوديومي ذات الخواص القلوية مع المياه الراشحة بعد المرشح الكاتيونيتي الهيدروجيني ذات الخواص الحمضية يمكن الحصول على مياه طرية بالقلوية المطلوبة. ويجري استخدام ثلاثة مخططات لهذه الطريقة: المخططات المتوازية، المخططات المتتابعة، المخططات المختلطة.

▪ تطرية المياه باستخدام المخططات المتوازية H-Na : اطلع

يجري في هذا المخطط ترشيح جزء من المياه خلال الكاتيونيت الصوديومي، بينما يرشح الجزء المتبقي خلال الكاتيونيت الهيدروجيني. يجري خلط المياه القلوية والحمضية الناتجة بحيث يتم الحصول على قلوية متبقية لا تزيد عن 0.4 meq/l. تستخدم هذه المخططات عندما لا يتجاوز تركيز السلفات والكلوريد عن 4 meq/l ، أي للمياه ذات القساوة اللاكربوناتية المنخفضة، ولا يزيد تركيز الصوديوم عن 2 meq/l . يمكننا باستخدام هذا المخطط الحصول على مياه ذات قساوة متدنية وقلوية قريبة من الصفر. يمكن الحصول على تطرية عميقة (حتى 0.01 meq/l) بترشيح المياه الخارجة من مزيل الغاز عبر مرشح كاتيونيتي صوديومي حاجزي.

▪ تطرية المياه باستخدام المخططات المتتابعة H-Na : اطلع

يجري في هذا المخطط ترشيح جزء من المياه خلال الكاتيونيت الهيدروجيني، ثم يخلط مع المياه المتبقية ليمر الخليط بكامله عبر مزيل الغاز لإزالة غاز ثاني أكسيد الكربون، ثم ترشح المياه كلها خلال الكاتيونيت الصوديومي. تستخدم هذه المخططات للمياه ذات القساوة العالية نسبياً. تسمح المخططات المتتابعة باستخدام أمثل للسعة التبادلية للكاتيونيت الهيدروجيني، ويخفض استهلاك الحمض على عمليات تنشيطه، حيث أن إيقاف هذا الكاتيونيت للتنشيط يجري عند انسداد كاتيونات القساوة بتراكيز 1meq/l وليس بتراكيز 0.5meq/l . يجري إضافة مرشح كاتيونيتي صوديومي حاجزي عند رفع متطلبات تطرية المياه. يعتبر الاستهلاك الكبير للطاقة المصروفة على نقل المياه خلال المرشحات المتتابعة من مساوئ هذه الطريقة. يستخدم المخطط المتتابع لتطرية المياه ذات القساوة المرتفعة والتركيز الملحي المرتفع، وتتراوح القلوية المتبقية أثناء ذلك بحوالي 0.7 meq/l .

▪ تطرية المياه باستخدام المخططات المختلطة H-Na : اطلع

تتحقق الكتيبة المشتركة لمخطط الكتيبة H-Na في مرشح واحد، حيث تتكون الطبقة العلوية لهذا المرشح من الكاتيونيت H بينما تتكون الطبقة السفلية من الكاتيونيت Na . يجري تنشيط المرشح السابق على الشكل التالي: بعد عملية نفش الكاتيونيت تجري معالجته بمحلول الحمض ثم بمحلول ملح الطعام مع الغسل اللاحق.