المحاضرة السادسة

معالجة الماء للاستعمالات التقنية
Water Treatement for Technical Uses

1-6 مقدمة

كما هو الماء اســـاس الحياة للكائنات الحية فهو العمود الفقري لمعظم الصـــناعات تقريبا. ويعتبر موضـــوع معالجة الماء ذو أهمية بالغة لكلا المهندسين بشكل والصناعيين نظرا لاستخدام في الصناعة لأغراض مختلفة فهو يستخدم مثلاً لتوليد البخار ويستخدم للتبريد وكذلك للتسخين في العمليات الصناعية إما كوسيط أو كمذيب أو كأحد المواد المتفاعلة.

و تنبع اهمية دراســـة معالجة الماء للمهندس الطبي في كون الماء مهم جدا في المشـــافي التي تحتاج الى مياه الشـرب ومياه التسـخين وغير ذلك، ويجب عليه معرفة تركيب المياه وطرق معالجتها. إن دراسـة احتياجات الماء لا تشـمل فقط البحث عن مصـدر مناسـب يسـتطيع تأمين الغزارة المناسـبة للماء بل يجب أن تشـمل المتطلبات النوعية للماء وتكاليف المعالجة وتحسين الشروط الاقتصادية لاستخدام الماء في الصناعة وتقليل ما أمكن من حجم الماء الملوث. واســـترداد بعض المنتجات من الماء الملوث وكذلك اســـتخدام الماء الملوث ثانية بعد معالجته ما أمكن ذلك.

ومن ناحية أخرى تتطلب ظروف استخدام المياه، شـروط معينة ومواصـفات محددة، يجب توفرها في المياه قبل الاستعمال فعلى سبيل المثال لا الحصر:

1. **في المراجل البخارية الثابتة** ذات الضغط حتى $20Kg/cm^2$ تستخدم المياه المخففة (الطرية).

2. **في المحركات** تسـتخدم المياه المكثفة، قسـاوتها، لا تزيد عن (0.2mg equivalent/L) ولا تزيد نسـبة وجود ايونات الكلور فيها عن (10mg/L) مع إضافة مواد مقاومة للصدأ إليها أيضا.

3. **في محركات الاحتراق الداخلي والمراجل والعنفات** تسـتخدم المياه الطرية والخالية من كبريت الهيدروجين، والشوائب العالقة.

4. **في تحضـير المحاليل الكهربائية للمدخرات الحمضـية والقلوية**، تسـتخدم المياه المقطرة، بحيث لا تزيد نسبة الكلورات فيها عن (0.02mg /L) ودرجة قساوتها لاتزيد عن (0.02mg equivalent/L) ولا يسمح بوجود الشوائب المعدنية الثقيلة والكبريت الهيدروجيني فيها أيضا.

6-2 مصادر الماء

يعتبر ماء المطر المصـدر الأسـاسـي للماء وهناك مصـادر أخرى للماء مثل المياه السـطحية في البحيرات والأنهار والمياه الجوفية كمياه الآبار والينابيع.

6-3 خطوات المعالجة الرئيسية

قبل اختيار الطريقة الأكثر ملائمة والأفضـل اقتصـادياً لمعالجة المياه يجب معرفة الشـوائب الموجودة في المصدر المائي ويجب معرفة تأثير هذه الشوائب على الطريقة المتبعة لاستبعادها أو لتقليل تركيزها.
هناك عمليات كثيرة ومتنوعة يمكن أدرجها تحت عنوان معالجة المياه واختيار العملية ومجموعة العمليات يعتمد بالدرجة الأولى على حجم الماء المراد معالجته وعلى درجة النقاوة المطلوبة.

6-4 الشوائب الموجودة بالماء

تحتوي كل المياه على العديد من الشـوائب التي تعتمد كميتها ونوعيتها على الظروف التي تجمعت فيها هذه المياه، وبالتالي فإن قيمة أي مصدر للماء تعتمد على طبيعته الجيولوجية وبصفة عامة يمكن تصنيف الشوائب في أربع فئات عامة هي:
1-المواد المعلقة والمواد الغروية 2- الأملاح المعدنية الذائبة 3- الغازات المنحلة الذائبة 4- المتعضيات الحية الدقيقة.
هذه الشوائب بدورها قد تنشأ عنها تغيرات في اللون والطعم والرائحة.

6-5 طرق معالجة المياه الصناعية تشتمل على واحدة أو أكثر من العمليات:

أ) إزالة قساوة الماء.

ب) تنقية الماء.

يعرف الماء القاسي (العسر) بأنه:
الماء المحتوي على كميات غير مرغوب فيها من أملاح الكالسـيوم (Ca) والمغنزيوم (Mg) الذائبة في الماء إما على صورة أملاح بيكربونات (HCO^{-}_{3}) أو كلوريدات (Cl^{-})) وكبريتات (SO^{-2}_{4}) وهذه الأملاح:

- تكون مع محلول الصابون رواسب غير قابلة للذوبان.
- كما أنها تؤدي إلى ترسب قشور لها معامل توصيل حراري منخفض على أسطح التسخين عند استخدامها في المراجل.

6-6 أقسام قساوة الماء

تنقسم قساوة الماء إلى:
أ) قساوة مؤقتة أو قساوة الكربونات (CO^{-}_{3}).
ب) قساوة دائمة أو قساوة اللاكربونات.

1-6-6 القساوة المؤقتة

القســـــاوة المؤقتــة للمــاء يعود لوجود بيكربونــات الكـالســـيوم $Ca(HCO_3)_2$ وبيكربونــات المغنزيوم $Mg(HCO_3)_2$. وهذا النوع يمكن تخفيضه إلى حد كبير بالغليان حسب المعادلات الكيميائية الآتية:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} MgCO_3 + CO_2 + H_2O$$

2-6-6 القساوة الدائمة

القســاوة الدائمة ســببها للمياه يعود لوجود كلوريدات وكبريتات الكالســيوم والمغنزيوم، ($CaCl_2$،$MgCl_2$، $CaSO_4$،$MgSO_4$). وهذا النوع يمكن تخفيضه بإضافة مواد كيماوية مثل كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) حسب المعادلات الكيميائية الآتية:

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + 2\ NaCl$$

$$Mg\ Cl_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow MgCO_3 + 2\ NaCl$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow MgCO_3 + Na_2SO_4$$

وبشكل عام يمكن تقسيم الشوائب الموجودة بالماء إلى:

1) الأملاح الذائبة مثل:

- بيكربونات (HCO_3^-) وكلوريدات (Cl^-) وكبريتات ($SO4^{2-}$) وتكون على هيئة $Ca(HCO_3)_2$, $CaCl_2$, $CaSO_4$, $Mg(HCO_3)_2$, $MgCl_2$, $MgSO_4$.
- كلوريد الصوديوم $NaCl$.
- كبريتات الصوديوم Na_2SO_4.
- السيليكا.
- أملاح الحديد والألمنيوم.

وهذه الأملاح تسبب قساوة الماء وهي المسؤولة عن معظم مشاكل التشغيل في المراجل البخارية. ويمكن التخلص من هذه الأملاح بالمعالجة الكيماوية.

2) المواد الغروية:

وهذه المواد تكون عادة ذات وزن جزيئي كبير ويمكن التخلص منها بإضافة مواد جيلاتينية مثل هيدروكسيد الحديد وهيدروكسيد الألمنيوم $Al(OH)_3$.

3) المواد العالقة:

و يمكن فصلها بالترشيح.

4) الغازات الذائبة:

مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والأكسجين (O_2)، والنتروجين (N_2) وكبريت الهيدروجين (H_2S) ويمكن التخلص منها بالتسخين أو بإضافة مواد كيماوية. وبصفة عامة فإنه يمكن تقسيم الماء وفقاً لنسبة الأملاح الذائبة كما في الجدول التالي:

جدول (1-6) تقسيم الماء وفقاً لنسبة الأملاح الذائبة فيه.

نوع الماء	نسبة الأملاح الذائبة
ماء طري	يحتوي على أقل من 100 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء متوسط القساوة	يحتوي من 100 – 200 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء قاسي	يحتوي على 200 – 500 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء قاسي جدا	يحتوي على أكثر من 500 جزء في المليون أملاح ذائبة

6-7 طرق معالجة الماء

تعتمد عمليات تنقية وتطرية الماء أساساً على الغرض الذي سوف يستخدم فيه هذا الماء بعد ذلك.

الهدف من عملية التطرية:

تهدف عملية التطرية إلى إزالة أو خفض قساوة الماء.

الهدف من عملية التنقية:

عملية التنقية تهدف إلى التخلص من المواد العضوية والكائنات الدقيقة الموجودة بالماء. ويمكن الوصول إلى تطرية وتنقية الماء بعدة طرق. وعادة فإن كل صناعة يكون لها ظروف تشغيل خاصة فمثلاً عمليات الغسيل تتطلب ماءً درجة قساوته صفراً.

6-8 تطبيقات صناعية

6-8-1 ماء الغسيل والصباغة

والهدف من وجود ماء طري في عمليات الغسيل يمكن نلخصه بالآتي:

- منع ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنزيوم غير قابلة للذوبان على الملابس.
- وجود أملاح الكالسيوم والمغنزيوم يؤدي إلى عمليات ترسيب غير مرغوب فيها في عمليات تجهيز وصباغة الأقمشة وفي صناعة الورق.
- أيضاً يؤدي وجود هذه الأملاح إلى تكون القشور في المراجل البخارية.

6-8-2 ماء المراجل

والهدف من وجود ماء طري في مياه تغذية المراجل يمكن نلخصه بالاتي:

- حماية المرجل من التآكل والتنقر وتشكل القشرة والوحل وبالتالي مراعاة ظروف آمان التشغيل.
- المحافظة على سطح التسخين نظيفاً من القشور.
- استغلال المرجل بأقصى كفاءة متاحة عن طريق استخدام الماء المناسب والمعالج خارجياً.

إن التنقر أو التآكل النقطي هو أكبر أعداء أنابيب المراجل إن وجود حفرة واحدة يمكن أن تستدعي استبدال الأنبوب وما يجر ذلك من التكاليف. للوقاية من هذه المشاكل يجب الأخذ بعين الاعتبار في مرحلة التخطيط والتصميم وضع برنامج معالجة ما جيد. الحاجة إلى معالجة ماء المراجل تبدو أكثر وضوحا بعد فهم آلية تشكل القشرة.

6-9 تشكل القشرة

في المراجل البخارية وفي درجات الحرارة السائدة تتشكل القشرة من كل من القساوة الكربوناتية والقساوة الاكربوناتية. تفكك بيكربونات الكالسيوم والمنغنزيوم المشكلة للقساوة الكربوناتية يتم كما يلي:

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + CO_2$$

نتيجة التفاعلات السابقة يتحرر ثاني أكسيد الكربون مع البخار بينما تترسب كربونات الكالسيوم والمغنزيوم وهيدروكسيد المغنزيوم مشكلة القشرة.

مع ارتفاع درجة الحرارة وتزايد الضغط تتناقص انحلالية كربونات الكالسيوم والمغنزيوم، فمثلا تتدنى انحلالية كربونات الكالسيوم عند الدرجة (200) مْ وضغط (210 psi) إلى اقل من (5 ppm). وهيدروكسيد المغنزيوم إلى حوالي (1 ppm) كبريتات الكالسيوم الملح غير الكربوناتي الوحيد الذي يشكل قشرة يتبع نفس القاعدة السابقة إذ أن انحلاليته عند الضغط (322 psi) لا تتجاوز (50 ppm).

تتشكل القشرة عندما تتبلور هذه الأملاح منفصلة عن المحلول الذي هو في الحالة فوق المشبعة. يشكل ماء التغذية فيلما رقيقا على سطح أنابيب المرجل حيث تصبح الأملاح مركزة في هذا الفيلم خصوصا إذا كان الماء يجري بسرعة بطيئة. نتيجة لذلك يتعدى تركيز أملاح الكالسيوم والمغنزيوم حد الانحلالية وتتبلور على سطح التسخين مباشرة (حتى ولو لم يتعد تركيز هذه الأملاح حد الانحلالية في ماء المرجل نفسه)

إن تشكل القشرة تنشئ عنه مشكلة كبيرة في تشغيل المرجل لان الناقلية الحرارية لهذه القشرة منخفضة وهي تعمل كفيلم عازل في طريق الانتقال الحراري من غازات الاحتراق الساخنة إلى ماء المرجل. كلما ازدادت سماكة القشرة كلما هذا العزل الحراري وإذا لم تزل هذه القشرة أو تنفصل فإنها تستمر في الزيادة حتى تتعدى درجة حرارة الأنبوب درجة الأمان.

فعالية التسخين تتأثر بتشكيل القشرة فهذه الأخيرة يمكن أن تقلل انتقال الحرارة بحوالي 12,1%. فمثلا قشرة سماكتها1/8 أنش تسبب انخفاض مقداره 3,2% في فعالية المرجل.
من مصادر القشرة الأخرى (السيليكا). الناقلية الحرارية للسيليكا منخفضة جدا وهي تسبب فشلاً للأنابيب حتى بسماكات قليلة جدا. لكن بالنسبة للمراجل متوسطة أو منخفضة الضغوط يمكن تجنب تشكل القشرة السيليكاتية الزجاجية بالمحافظة على نسبة معقولة من القلويات إلى السيليكا من اجل المحافظة على هذه الأخيرة بحالة منحلة.

6-10 الوقاية من القشرة

يمكن تجنب تشكل القشرة بإزالة أو تقليل محتوى ماء التغذية من الكالسيوم والمغنزيوم قبل وصوله إلى المرجل (معالجة خارجية) أو بإضافة مواد كيميائية مثل الفوسفات وبعض المواد العضوية وشبه الغرويات إلى ماء المرجل وبذلك تتشكل رواسب وحلية بدا من تشكل القشرة (معالجة داخلية).

آ – إزالة القساوة بالمبادلات الشاردية

إن إزالة قساوة ماء تغذية المراجل بالمبادلات الكاتيونية الصوديومية من أكثر إجراءات المعالجة الخارجية المستخدمة بالنسبة للمرجل المنخفضة الضغط. أهم مزايا هذه الطريقة هي أنها تزيل بشكل كامل شوارد الكالسيوم والمغنزيوم بالإضافة إلى سهولة استخدامها.

أملاح الصوديوم الناتجة عن التطرية أكثر انحلالا من أملاح المغنزيوم والكالسيوم وبذلك فان تشكل القشرة يرجع إلى حدوده الدنيا. السلبية التي لا يمكن لهذه الطريق تجاوزها هي أنها لاتسطيع تقليل القلوية للماء الذي يعتبر أحيانا ضروريا من اجل كفاءة تشغيل أفضل للمرجل.

إذا كان خفض القلوية مطلبا فيمكن إتباع إحدى الطرق التالية:

1- تعديل قلوية الماء الخارج من المطري جزئيا بوسطة الحموض.
2- تشغيل وحدتي مبادلة صوديومية كاتيونية ومبادلة انيونية كلوريدية على التسلسل.
3- تفريع ماء المرجل إلى فرعين الأول يخضع لتطرية صوديومية والثاني يخضع إلى مبادلة كاتيونية هيدروجينية.

من بين الخيارات الثلاث السابقة فقط الخيار الثالث ينتج عنه خفض في محتوى الماء من المواد الصلبة المنحلة بالإضافة إلى خفض القلوية.

ب- إضافة مواد قلوية

تستخدم مركبات كثيرة من أجل المعالجة الداخلية لماء المراجل من بينها الصودا الكاوية وأملاح الفوسفات وأنواع عديدة من المواد التي سنأتي على ذكرها بالتفصيل. وبشكل عام يمكن تقسيم مواد المراجل إلى صنفين رئيسين حسب تأثيرها:

1. منها ما يقوم بخفض القساوة بتأثيرها الكيميائي وفوسفات الصوديوم هي أكثر المواد الكيميائية استخداما في هذا المجال. عندما تدخل هذه المواد إلى المرجل تتحول إلى فوسفات ثلاثي الصوديوم وتترسب أملاح المغنزيوم تحت تأثير القلوية لان انحلالية هيدروكسيد المغنزيوم منخفضة للغاية.
2. ومنها ما يقوم بأثر ميكانيكي على حسيمات الوحل فيشكل طلاءا واقيا يمنع من التصاقها مع بعضها وتسمنتها. عندما يتشكل الوحل يجب المحافظة عليه بشكل سائل لأنه حتى فوسفات الكالسيوم وهيدروكسيد المنغزيوم يمكنها الالتصاق إلى سطح التسخين. عموما تستخدم المواد العضوية للمحافظة على في الحالة السائلة.

كذلك يحتاج ماء التغذية المعالج معالجة خارجية يحتاج إلى معالجة داخلية لإزالة القساوة المتبقية والسيلكات والأكسجين وغيرها من الشوائب.

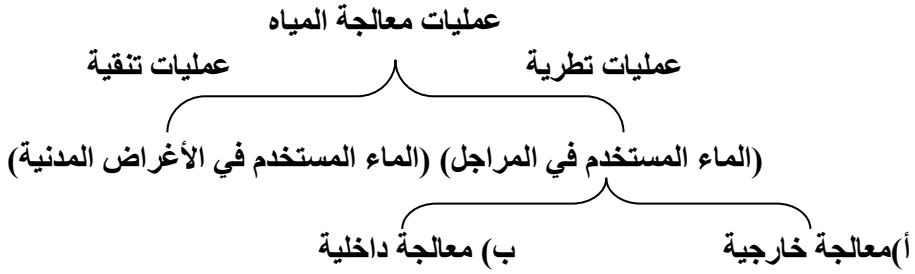
أحياناً تستخدم المعالجة الداخلية فقط بالنسبة للمراجل التي تعمل عند ضغوط منخفضة (15 psi) وعندما يكون ماء التغذية هو ناتج تكاثف البخار. بينما أنظمة المراجل المتوسطة والعالية الضغط تتطلب معالجة مشتركة (المراجل عالية الضغط هي التي تعمل عند ضغوط اكبر من 300 psi).

من الواضح انه كلما ازداد ضغط المراجل كلما توجب إزالة قدر اكبر من مجموع المواد الصلبة المنحلة TDS من ماء التغذية بالنسبة للمراجل التي تعمل عند ضغوط أعلى من (600 psi) يجب تحلية ماء تغذيتها بشكل كامل.

من عمليات المعالجة الشـــائعة لخفض كل من القســـاوة والقلوية هي الدمج بين التيار الخارج من المبادل الكاتيوني الهيدروجيني و(1) تعديل القلوية أو (2) تعديل قلوية الماء الخام، أو(3) مزجه مع الخارج من مبادل كاتيوني صـوديومي. طرق المعالجة السـابقة تجعل من الممكن الحصـول على ماء التغذية ذي قسـاوات مختلفة وذي قلويات مناسـبة (أو بالقلوية المرغوبة) وهذه الإجراءات تناسـب عادة المراجل ذات الضـغوط المتوسطة (15-300 psi).

11-6 عمليات معالجة المياه

يمكن توضيح عمليات معالجة المياه بالمخطط التالي:



أ) في المعالجة الخارجية يتم التخلص من المواد المسببة للقشور والتآكل تخلصاً تاماً بقدر الإمكان قبل دخول الماء إلى المرجل.

ب) في المعالجة الداخلية يتم حقن الماء داخل المرجل بمواد مختلفة بهدف التفاعل مع المواد المسببة لعسر أو قساوة اللاكربونات وتقليل القابلية لتكوين القشور والتآكل داخل المرجل. وفي معظم الأحوال فإن الماء تجري معالجته بكلتا الطريقتين (معالجة خارجية ومعالجة داخلية).

12-6 طرق معالجة قساوة الماء

1-12-6 المعالجة الخارجية للماء وتتضمن عمليات التجميع والترسيب والترشيح

والهدف منها التخلص من المواد العالقة وتجري عملية التجميع والترسيب والترشيح باستخدام أحواض أو خزانات كبيرة حسب كمية الماء المعالج. والمواد التي تستخدم في عملية التخثير والترسيب تسمى بالمواد المخثرة مثل كبريتات الحديد أو كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3$ أو ألومينات الصوديوم أو الجير $Ca(OH)_2$ وتتم هذه العملية بعدة طرق أهمها:

1) التطرية باستخدام الجير والصودا:

تتم هذه الطريقة باستخدام الجير $Ca(OH)_2$ بمفرده أو مع الصودا (كربونات الصوديوم Na_2CO_3) لإزالة عسر الماء وتقلل هذه الطريقة من عسر الماء إلى حوالي 35 جزء في المليون.

في ترتيب عمليات المعالجة تأتي هذه العملية قبل عملية الترشيح لأنة ينتج عنها راسب بحاجة إلى فصل. نزع القساوة بالكلس والصودا عملية تترسب خلالها القساوة الكالسيومية والمغنيزيومية كميائياً من خلال تفاعل مع الكلس $Ca(OH)_2$ والصودا.

يتم التخلص من أيونات (Ca^{2+}) و(Mg^{2+}) الموجود في الماء العسر بترسيبهما على صورة كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وهيدروكسيد المغنزيوم $Mg(OH)_2$.

أ) استخدام الجير أو الكلس $Ca(OH)_2$ وذلك لتخلص من القساوة الكربونية (القساوة المؤقتة)

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \leftrightarrows 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \leftrightarrows MgCO_3 + CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

و حيث أن كربونات المغنزيوم تذوب إلى حد ما فإنه يحدث:

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \leftrightarrows Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \leftrightarrows Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

من المفيد ملاحظة انه لترسيب شاردة المغنزيوم نحتاج إلى ضعف كمية الكلس اللازمة لترسيب شاردة الكالسيوم.

ب) استخدام الصودا والجير وذلك للتخلص من القساوة اللاكربوناتية (القساوة الدائمة) حيث تتفاعل الصودا مع القساوة اللاكربوناتية لتعطي رواسب غير منحلة. مكافىء واحد من القساوة الكالسيومية الكربوناتية يتطلب مكافئا واحدا من الصودا.

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \leftrightarrows CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$
$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \leftrightarrows CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

كما يمكن التخلص من القساوة اللاكربوناتية المغنزيومية بإضافة الجير

$$MgCL_2 + Ca(OH)_2 \leftrightarrows Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2$$

أيضا يمكن التخلص من القساوة اللاكربوناتية باضافة الجير والصودا معا

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \leftrightarrows Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

كما نلاحظ فان مكافئاً واحداً من القساوة المغنزيومية اللاكربونية يتطلب مكافئا واحدا من الصودا بالإضافة إلى مكافئ واحد من الكلس المطفأ.

لا بد من الإشارة الى أن إضافة الصودا Na_2CO_3 يمكن التخلص من القساوة المؤقتة والدائمة

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2CO_3 = \downarrow CaCO_3 + 2Na\,HCO_3$$
$$Mg(HCO_3)_2 + Na_2CO_3 = MgCO_3 + 2Na\,H\,CO_3$$

من المعادلات السابقة يتبين أن الأملاح الذائبة في الماء $Ca(HCO_3)_2$ $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$ وغيرها تتحول إلى اتحادات غير منحلة $Mg(OH)_2$، $CaCO_3$ تتساقط بشكل رواسب. كما نلاحظ من المعادلات السابقة أنه أثناء التطرية لا ينخفض محتوى الماء من الأملاح (الأجسام الصلبة المنحلة الكلية TDS) لأنة ينتج لدينا أملاح صوديوم منحلة نتيجة للعملية.

2) استخدام مواد مخثرة

التخثير هو عملية تشـــكيل خثرة من المواد المعلقة الموجودة في الماء ونتيجة هذه العملية يزداد حجم المواد المعلقة إلى درجة أنها تترسب بسهولة. وبما أن معظم عمليات المعالجة تتطلب تغذية بماء شفاف وعديم اللون لذلك فإن هذه العملية تكون هي العملية الأولى في أكثر محطات المعالجة.

إن أكثر عوامل التخثير اســـتعمالاً هي كبريتات الألمنيوم، وكبريتات الحديد، وكبريتات الحديدي. هذه المواد ذات طبيعة حمضـية وهي تتفاعل مع المواد القلوية أو المضـافة لتشـكيل كبريتات الكالسـيوم أو المغنزيوم أو الصوديوم بإضافة إلى راسب هلامي.

أ - الشب-كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3$

كبريتات الألمنيوم هي أكثر مواد التخثير اسـتعمالاً وهي تتفاعل لدى إضـافتها إلى الماء مع القلويات الطبيعية أو المضافة كما يلي:

$$Al_2(SO_4)_3+3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3+3CaSO_4+6CO_2 \quad (1)$$

$$Al_2(So_4)_3+3Na_2CO_3+H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3+3NaSO_4+3CO_2 \quad (2)$$

$$Al_2(So_4)_3+3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3+3CaSO_4 \quad (3)$$

ب - كبريتات الحديد $Fe_2(SO_4)_3$

تتفاعل كبريتات الحديد مع القلويات لتشكل هيدروكسيد الحديد المترسب والتفاعلات التي يمكن أن تتم:

$$Fe_2(SO_4)_3+3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3+3CaSO_4+6CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3+3Ca(OH)2 \rightarrow 2Fe(OH)_3+3CaSO_4$$

3) استخدام الزيوليت

تعتبر هذه الطريقة أهم طرق نزع قساوة ويطلق اسم الزيوليت على مادة سيليكات الصوديوم والألمنيوم المائية المحتوية على أيونات الصوديوم أو البوتاسيوم القابلة للإحلال. وتركيب الزيوليت هو: $Na_2O.Al_2O_3.2SiO_2.6H_2O$ ويمكن تمثيله اختصاراً بالرمز Na_2Ze.

وتتم العملية بإمرار الماء القاسي على الزيوليت حيث يتم تفاعل تبادلي بين أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})و المغنزيوم (Mg^{2+}) الموجودين في الماء ليحل محلهما أيونات الصوديوم (Na^+) الموجود في الزيوليت حسب المعادلات التالية:

$$Na_2\overline{Ze} + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow Ca\ \overline{Ze} + 2NaHCO_3$$

$$Na_2\overline{Ze} + CaCl_2 \longrightarrow Ca\ \overline{Ze} + 2NaCl$$

$$Na_2\ \overline{Ze} + MgSO_4 \longrightarrow Ca\ \overline{Ze} + Mg\ \overline{Ze}$$

تجديد الزيوليت:

عندما يتحول الزيوليت تماماً إلى زيوليت الكالسيوم ($Ca\overline{Ze}$) وزيوليت المغنزيوم ($Mg\overline{Ze}$) فإنه يمكن تجديده إلى زيوليت صوديوم ($Na_2\overline{Ze}$) بمعالجته بزيادة من محلول تركيزه 10 % كلوريد صوديوم (NaCl)

(3 أمثال الكمية النظرية المطلوبة) حسب المعادلات التالية:

$$Ca\ \overline{Ze} + 2\ NaCl \longrightarrow CaCl_2 + Na_2\ \overline{Ze}$$

$$Mg\ \overline{Ze} + 2NaCl \longrightarrow MgCl_2 + Na_2\ \overline{Ze}$$

والماء الناتج عن المعالجة بالزيوليت درجة قساوته صفر.

أنواع الزيوليت

1 - النوع الطبيعي

ويؤخذ من الرمل الطبيعي الأخضر. وهذا النوع له طاقة تبادل 200 – 300 غرام لكل قدم مكعب (ft^3).

2 - النوع الصناعي

ويحضر بصهر فلسبار، طفلة، كربونات صوديوم ((Na_2CO_3) ثم معالجة ناتج الصهر بالماء. وهذا النوع من الزيوليت (أي الزيوليت الصناعي) له قوة تبادل أكبر من النوع الطبيعي حيث تبلغ طاقة التبادل له من 500 – 800 غرام لكل قدم مكعب.

4) استخدام المبادلات الأيونية

تستخدم في هذه الطريقة الراتنجات. والراتنجات (المبادلات الأيونية) هي مواد عضوية تستعمل لإزالة الأملاح المسببة للقساوة الماء. وتنقسم الراتنجات إلى:

1) مبادلات كاتيونية 2) مبادلات أنيونية.

1) المبادلات الكاتيونية

المبادلات الكاتيونية هي مواد عضوية تحتوي على مجموعة نشطة مثل مجموعة الكربوكسيلات أو السلفونات (HSO_3) تحتوي على أيون الهيدروجين (H^+) القابل للإحلال. ويستخدم هذا النوع من المبادلات للتخلص من الكاتيونات (الأيونات الموجبة) من الماء وفق المعادلات التالية:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HSO_3\ \overline{R} \rightarrow Ca(SO_3)\ \overline{R} + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2HSO_3\ \overline{R} \rightarrow Mg(SO_3)\ \overline{R} + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$NaHCO_3 + HSO_3\overline{R} \rightarrow NaSO_3\overline{R} + CO_2 + H_2O$$

والحمض المتكون في هذه الحالة هو حمض الكربون H_2CO_3 الذي يتحلل ويمكن التخلص منه بسهولة. أما الكبريتات والكلوريدات فتتفاعل حسب المعادلات الآتية:

$$CaSO_4 + 2HSO_3\overline{R} \rightarrow Ca(SO_3)_2\overline{R} + H_2SO4$$

$$MgCl_2 + 2HSO_3\ \overline{R} \rightarrow Mg(SO_3)_2\ \overline{R} + 2HCl$$

الماء الناتج في هذه الحالة يكون حامضياً وهو غير مطلوب ولا يصلح لكثير من الاستخدامات لذلك تتم معالجة هذا الماء الحامضي قبل استخدامه بإحدى الطرق:

- إضافة القلويات لتعديل الحموضة قبل استخدامه.

- إذا كان المطلوب ماءً خالياً من الأيونات فإن الماء الناتج يمرر على مبادل أنيوني وهي راتنجات من النوع الذي يحتوي على مجموعة الأمين (H_2N-R), (-NH_2).

تجديد المبادلات الكاتيونية

يتم تجديد المبادلات الكاتيونية بعد تحويلها جميعاً إلى أملاح الكالسيوم والمغنزيوم باستخدام (0.4 % - 0.5 %) من حمض الكبريت عيارية (1N H_2SO_4) أو حمض كلور الماء عيارية (2N HCl) حسب المعادلات الآتية:

$$Ca(SO_3)_2\,\overline{R} + H_2SO_4 \rightarrow 2HSO_3\,\overline{R} + CaSO_4$$

$$Mg(SO_3)_2\,\overline{R} + H_2SO_4 \rightarrow 2HSO_3\,\overline{R} + MgSO_4$$

و هذه الراتنجات لها طاقة تبادل كبيرة تصل إلى 1200 غرام لكل قدم مكعب.

2) المبادلات الأنيونية

المبادلات الأنيونية عبارة عن مواد عضوية تحتوي على مجموعة (مجموعة قاعدية) نشطة مثل مجموعة الأمين. ويستخدم هذا النوع من المبادلات للتخلص من الانيونات (الأيونات السالبة) من الماء وفق المعادلات التالية:

$$\overline{R}\ H_2NH^+ + Cl^- \rightarrow \overline{R}\,H_2N(HCl)$$

$$2\ \overline{R}\ H_2NH^+ + SO_4^{2-} \rightarrow (\overline{R}\ H_2N)_2(H_2SO_4)$$

تجديد المبادلات الأنيونية

يتم تجديد المبادلات الأنيونية بعد استخدامها بواسطة محلول من كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH):

$$\overline{R}\,H_2N(HCl) + + Na_2CO_3 \rightarrow \overline{R}\ H_2N + 2NaCl + H_2O + CO_2$$

أهمية المعالجة بالمبادلات الكاتيونية والأنيونية

تكمن أهمية المعالجة الثنائية بالمبادلات الكاتيونية والأنيونية بأنها تعطي ماء خالياً من الأيونات وليس فقط ماء طريا. والطريقة الأخرى الوحيدة للتخلص من الأيونات الموجودة بالماء هي التقطير.

6-12-2 المعالجة الداخلية للمياه

تعتمد المعالجة الداخلية لماء المراجل على تثبيت تركيز بعض المواد الكيميائية في الماء داخل المرجل لترسيب أي بقايا للأيونات المسببة للقساوة أو مواد غير مرغوب فيها ولتقليل عملية التآكل داخل المرجل.

المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الداخلية

أن نوعية وكمية المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الداخلية تختلف باختلاف خواص الماء الداخلة إلى المرجل وبنتائج عمليات تشغيل المرجل. أهم المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة:

1) فوسفات الصوديوم Na_3PO_4, Na_2HPO_3, NaH_2PO_4

أحادي وثنائي وثلاثي فوسفات الصوديوم يستخدم لترسيب الأيونات المسببة للقساوة وتكوين رواسب فوسفاتية يسهل التخلص منها.

2) كبريتيت الصوديوم Na_2SO_3:

يساعد كبريتيت الصوديوم في التخلص من الأكسجين الذائب بالماء وهي عملية ضرورية لتلافي تآكل المرجل خاصة في المراجل الحديثة التي تعمل تحت ضغط وحرارة مرتفعين.

3) كربونات الصوديوم Na_2CO_3:

وتستخدم لكي:

- تعطي الماء درجة قاعدية مناسبة.
- ولمنع تكوين قشور كبريتات الكالسيوم.
- كما أنها تساعد في تأخير تكوين قشور السليكا.

13-6 تنقية المياه

تنقية المياه للأغراض المدنية (التطهير)

تعني هذه العملية أساساً التخلص من المواد العضوية والكائنات الدقيقة الضارة بالصحة من الماء حتى يناسب الأغراض المدنية (كالشرب) وجعلها صالحة للاستهلاك البشري.

ويكفي عادة لهذا الغرض:

- إجراء عمليات تخثير – ترشيح خلال مرشحات رمل أو مرشحات فحم صلب.
- ثم الأكسدة بإمرار الهواء للتخلص من المواد العضوية.
- و تتم معالجة الماء الناتج بغاز الكلور لاحتياجات الصحة.

1- التعقيم بالكلور: تعتبر عملية التطهير أو الكلورة من العمليات الضرورية للقضاء على البكتيريا الضارة وتتلخص هذه العملية في إضافة الكلور إلى الماء:

$$H_2O + Cl_2 \rightarrow HCl + HOCl$$

تأين ضعيف تأين كامل

وحمض هيبوكلوريت الماء **(HOCl)** الناتج من الكلورة هو النشط كيميائياً المسؤول عن التطهير لأنه يتفكّك معطياً الأكسجين الوليد، الذي يقتل الجراثيم ويطهر الماء. ويمكن اختبار الماء الناتج باستخدام اختبار البكتيريا للتأكد من كفاءة التطهير. وتجدر الإشارة إلى أنّ نسبة الكلور المضاف لا تتجاوز (0.2 g) لكلّ ليتر من الماء. ويتم التخلص من الكلور الزائد إما بإضافة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) أو ثيوكبريتات الصوديوم ($Na_2S_2O_3$) ويفضل الأخير:

$$SO_2 + Cl_2 \leftrightarrows H_2SO_4 + 2HCl$$
$$2Na_2S_2O_3 + Cl_2 \leftrightarrows Na_2S_4O_6 + 2NaCl$$

2- المعالجة بالأوزون: تتميّز المياه المعالجة والمطهرة بالأوزون بأنّها ذات طعم لذيذ، لكنّ طريقة المعالجة بالأوزون مكلفة ماديّاً. أما مبدأ هذه الطريقة فيرتكّز على دور الأوزون الذي يتفكّك في الماء معطياً الأكسجين الوليد القاتل للجراثيم.

3-المعالجة بالأشعّة فوق البنفسجيّة: وتتميّز هذه الطريقة بأنّها لا تستخدم الموادّ الكيميائيّة، وهي تعتمد على تغلغل ونفوذ الأشعّة فوق البنفسجيّة عبر المياه، لتعقيمها وقتل الجراثيم الموجودة فيها.

نهاية المحاضرة السادسة

إضافات مدرس المقرر