

الفصل الخامس

تطهير الماء *Disinfection of water*

تساهم معالجة الماء بالمروبات والترشيح في إزالة الأحياء الدقيقة عضوية التغذية أو الممرضة التي نجد منها دائماً في المياه السطحية. لكن يبقى جزء من البكتريا والفيروسات في المياه الراشحة. لذلك لا بد من تطهير المياه قبل توزيعها في شبكة الامداد العامة.

١.٥. تعريف تطهير الماء

تطهير الماء هو القضاء على الأحياء الممرضة الموجودة فيه، بينما تعقيم المياه هو إزالة جميع أنواع الأحياء من المياه سواء كانت ممرضة أو غير ممرضة. أي الهدف من أنظمة التطهير مكافحة الأمراض التي تحملها المياه والتي تسببها البكتيريا أو الفيروسات. إن وجود بكتريا الكوليفورم *Coliform* في ماء يعتبر كدليل على تلوث برازي محتمل، وبالتالي كدليل لوجود محتمل لأحياء ممرضة.

إن البحث عن بكتريا الكوليفورم هو اختبار عام مستخدم لمراقبة النوعية البكتريولوجية للماء. وبما أن البكتريا الممرضة ذات الأصل المعوي هي أكثر حساسية من بكتريا الكوليفورم تجاه أساليب التطهير التقليدية، فإن اختبار الكوليفورم يفيد أيضاً في مراقبة فعالية أساليب التطهير هذه في إزالة البكتريا الممرضة.

٢.٥. طرائق تطهير المياه

يوجد عدة أساليب فيزيائية لتطهير وحتى لتعقيم كميات صغيرة من المياه منها التطهير بأشعة الشمس. لكن على المستوى الصناعي يستخدم التطهير بالاشعاع فوق البنفسجي. كما تستخدم بكثرة أساليب التطهير الكيميائية التي تعتمد على عدة مؤكسدات قوية منها الكلور وبعض مشتقاته وكذلك الأوزون.

١. ٢. ٥ . التطهير بالحرارة Disinfection by heat

يستخدم الغليان لتطهير المياه، وتستمر مدة الغليان لفترة ١٥-٢٠ دقيقة وذلك تبعاً لارتفاع المنسوب عن سطح البحر.

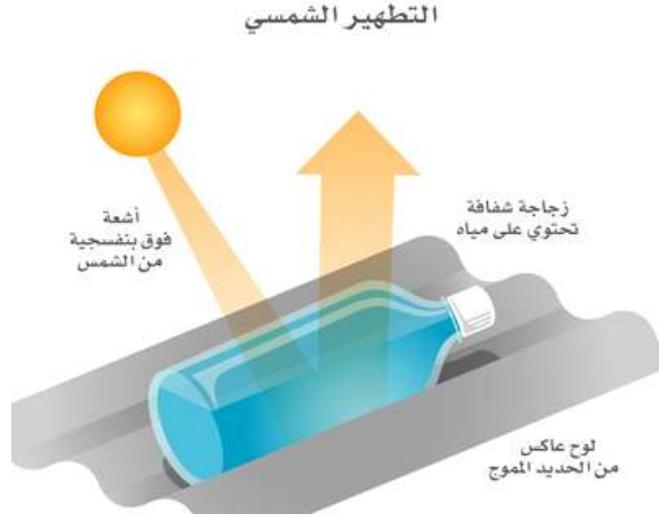
وتستخدم البسترة أيضاً لتطهير المياه وذلك بتعريضها لدرجة حرارة قريبة من ٦٥ مئوية. وكذلك التسخين المضغوط (Autoclaving) حيث ترتفع درجة الحرارة إلى ١٢١ مئوية مع ضغط متزايد.

من ميزات التطهير بالحرارة بساطة التنفيذ، ومن مساوئها ارتفاع تكلفة التشغيل، كما أنه ليس لهذه العملية أثر متبقي لمواجهة تلوث لاحق.

٢. ٢. ٥ . التطهير بالأشعة الشمسية Disinfection by rayon solar

يستخدم التطهير الشمسي أشعة الشمس فوق البنفسجية وارتفاع درجة حرارة الماء لقتل مسببات الأمراض. و تمثل أشعة الشمس خياراً جيداً لتطهير المياه في المناطق قليلة السكان في الدول النامية التي تتمتع بعدد كبير من الأيام المشمسة لأنها رخيصة ولا تحتاج تقريباً لأي استثمار في البنية التحتية.

لتحقيق التطهير الشمسي تملأ أوعية زجاجية أو بلاستيكية شفافة بمياه المصدر وبعد ذلك توضع الأوعية على سطح يعكس إليها أشعة الشمس مثل صفائح الألومنيوم أو الحديد المموج، كما في الشكل (٥-١)، ويحتمل وضعها على سطح المنزل أو المؤسسة. وتعرض هذه الأوعية لأشعة الشمس المباشرة لفترة تتراوح بين يوم ويومين حسب ظروف الإشعاع الشمسي وتعمل أشعة الشمس على قتل الكائنات في المياه عن طريق التعرض للأشعة فوق البنفسجية وكذلك عن طريق رفع درجة حرارة المياه إلى ٥٠ درجة مئوية أو أعلى.



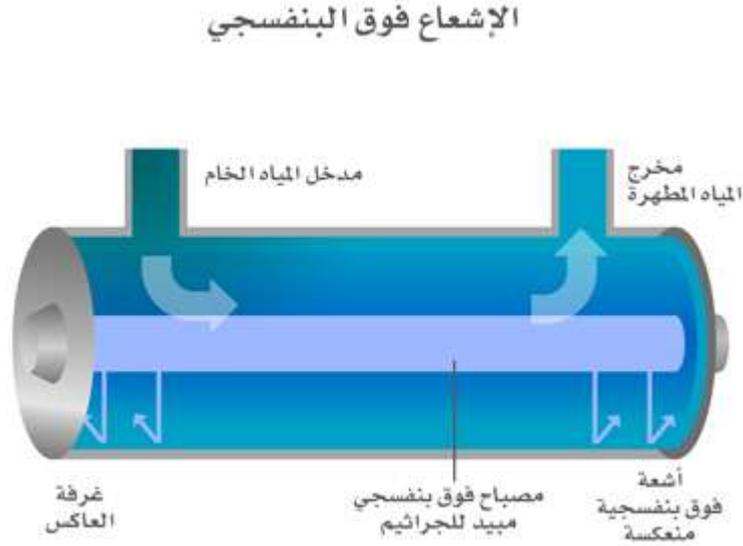
الشكل (٥-١): التطهير الشمسي للمياه.

إن التطهير الشمسي لا يعالج مشكلات نوعية المياه الكيميائية مثل وجود النترات والنتريت و الزرنيخ والمعادن الثقيلة ومبيدات الآفات الح. ويتطلب أيضا مياه نظيفة نسبيا لأن وجود المواد العالقة واللون في المياه يعيق نفاذ الأشعة الشمسية ويجب عدم استخدام الأوعية التي تزيد سعتها عن حوالي لترين، وهذا ما يجد من كمية المياه التي يمكن معالجتها. ولا يوصي باستخدام هذه الطريقة في الأيام التي يستمر فيها المطر، غير أنها تتيح إمكانية تخفيض حالات الإسهال بدرجة كبيرة في المناطق الفقيرة التي لا تتوفر لديها إمكانية تطهير صناعي.

٥ . ٢ . ٣ . التطهير بالأشعة فوق البنفسجية Disinfection by ultraviolet radiation

يتم التطهير بتعريض طبقة رقيقة (أقل من ١٠٠ سم) من المياه للأشعة فوق البنفسجية، وتنتج الأشعة فوق البنفسجية، وهي جزء غير مرئي من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يقتل البكتيريا والفيروسات في المياه المعرضة لأشعته باستخدام مصابيح زئبقية قوسية مصنوعة من الكوارتز، كما في الشكل (٥-٢). واستخدام الأشعة فوق البنفسجية رخيص ورائج في المحطات الصغيرة ولكنها ليست فعالة مثل المطهرات الأخرى في إمدادات المياه السطحية التي تحتوى على الكثير من الجسيمات العالقة التي تقلل من كفاءة عملية التطهير.

وعملية الأشعة فوق البنفسجية خيار جذاب في الكثير من الحالات لأنها خالية من الكيماويات وتتطلب فقط استثماراً بسيطاً في البنية التحتية يمكن تحمله.



الشكل (٥-٢): تطهير المياه بمصباح أشعة فوق البنفسجية.

وفي الأنظمة الصغيرة عادة ما يستخدم الضوء فوق البنفسجي حيث يكون هناك مصدر كهربائي يعتمد عليه، ولا يستخدم غالباً لمعالجة مصادر المياه السطحية، ويمكن أن تثير المياه العكرة الغنية بالجسيمات مشاكل للأشعة فوق البنفسجية قد تحول دون قدرتها على تحقيق الاختراق اللازم لاستكمال عملية التطهير، وأحياناً تحل هذه المشكلة بأن تسبق عملية التعرض للأشعة فوق البنفسجية بعمليات ترشيح وترسيب أو غيرها من العمليات المصممة لإزالة الجسيمات المعلقة التي تحملها المياه.

ومن عقبات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية أيضاً قدرتها الزمنية المحدودة على الحماية فالتعرض للتطهير بالأشعة فوق البنفسجية عملية تحدث مرة واحدة لقتل الكائنات الدقيقة لكنها لا تمنع عودتها مرة أخرى لذلك قد يعزز التعرض للأشعة فوق البنفسجية بإضافات كيميائية مثل الكلور أو الكلورامينات لحماية المياه المطهرة حديثاً من التلوث مرة أخرى.

وعلى صعيد آخر قد تستخدم الأشعة فوق البنفسجية ببساطة في حالات سوف تستهلك فيها المياه بسرعة بدلاً من تخزينها للاستخدام مستقبلاً وفي هذا الخصوص أصبحت أنظمة الأشعة فوق البنفسجية سلعة شعبية في البيوت بمناطق لديها مصادر كهرباء يعتمد عليها.

٥ . ٢ . ٤ . التطهير الكيميائي للمياه

يقدم استخدام المؤكسدات القوية مثل الكلور والأوزون ميزات أخرى، كأكسدة عدة ملوثات مرجعة، إزالة الروائح وتحسين طعم المياه. ينتج عن هذا أن معالجة الماء بالكلور، و الأوزون ومؤكسدات أخرى تهدف لتحقيق عدة غايات :

١- قتل الجراثيم الضارة بالصحة العامة.

٢- إزالة الأمونيا.

٣- أكسدة المواد غير العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين والحديد Fe^{++} والمنغنيز Mn^{+} لتسهيل إزالتها.

ومن المطهرات الكيميائية الشائعة الكلور الحر والكلورامينات وثاني أكسيد الكلور. ويعد التطهير بالكلور أكثر (وأقدم) نوع من الإضافات الكيميائية الشائعة .

٥ . ٢ . ٤ . ١ . الكلورة Chlorination

نقصد بالكلورة استعمال الكلور أو أحد مركبات الكلور المؤكسدة. الكلورة هي إحدى أوائل العمليات التي لجأ إليها في بداية القرن العشرين، عندما تبين ضرورة ادخال التطهير في سلسلة المعالجة اللازمة لتحضير مياه الشرب. تبقى الكلورة عملية تطهير مفضلة بسبب بساطتها النسبية، وتكلفتها المتواضعة، وفعاليتها.

أ . الكلور طبيعته وخواصه الفيزيائية

الكلور هو أحد عناصر المجموعات الكيميائية التي تدعى الهالوجينات، تضم هذه المجموعة إضافة للكلور ، الفلور ، البروم ، واليود.

الرقم الذري للكلور ١٧ ، وكتلته الذرية 35.4. في الحالة العنصرية، يكون الكلور في الشروط المحيطة العادية على شكل غاز ثنائي الذرة أي Cl_2 .

وفي هذه الحالة يكون الكلور أصفر اللون وكثافته تساوي ٢.٤٨ مقارنة مع الهواء، رائحته مؤذية وحتى خانقة. عالي السمية، استخدم الكلور كأول غاز حربي في الحرب العالمية الأولى ١٩١٤ .

غاز الكلور قابل للتميع بسهولة في درجة الحرارة المحيطة العادية، لذلك يمكن أن نحصل عليه تجارياً بالحالة السائلة، تحت الضغط في قارورات فولاذية، خزانات معدنية أو صهاريج. يبين الشكل (٥-٣) ضغط بخار الكلور السائل تبعاً لدرجة الحرارة، هذا هو الضغط المسيطر ضمن خزان كلور طالما بقي الكلور بالحالة السائلة.

الشكل (٥-٣): منحنى ضغط بخار الكلور السائل تبعاً لدرجة الحرارة.

الكلور السائل أثقل من الماء، كما يشير لذلك الجدول (٥-١) التالي:

الجدول (٥-١): تغير الكتلة الحجمية للكلور السائل تبعاً لدرجة الحرارة.

درجة الحرارة	٠	١٠	٢٠	٣٠
الكتلة الحجمية كغ/م ^٣	١٤٦٨	١٤٣٨	١٤٠٨	١٣٧٧

الكلور معتدل الانحلالية في الماء، و تتحسن هذه الإنحلالية بوجود تفاعل كيميائي للكلور مع الماء، ضخامة هذا التفاعل تستبعد تطبيق قانون هنري لإنحلال الغازات يبين الجدول (٢. ٥) انحلالية الكلور في الماء.

الجدول (٢. ٥): انحلالية الكلور في الماء تبعاً لدرجة الحرارة.

درجة الحرارة	٠	١٠	٢٠	٢٥	٣٠	٤٠
انحلالية الكلور غ/م ^٣	١٤٦٠٠	٩٩٧٠	٧٢٨٠	٦٤٠٠	٥٦٩٠	٤٦٣٠

في درجات الحرارة الأقل من ٩.٥ م يتميه الكلور ليشكل مادة صلبة متبلورة. هذه الظاهرة ينبغي تجنبها في أنابيب ماء الكلور. ندعو ماء الكلور المحلول المائي حيث يكون فيه تركيز الكلور مرتفع نسبياً.

ب . سمية الكلور

الكلور الغازي عالي السمية، ، يهاجم بسرعة الأغشية المخاطية لطريق التنفس والعيون. ويسبب الكلور الغازي بسرعة كبيرة التهيج للحلق والسعال الحاد وإذا كان تركيزه عال في الهواء فإنه يؤدي إلى احتناق قاتل ويُلخص الجدول (٣. ٥) الآثار الفيزيولوجية للكلور.

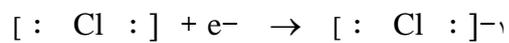
ماء الكلور حامضي قوي ومؤكسد. إنه يطلق حمض كلور الهيدروجين والكلور، لذا ينبغي تجنب تماسه مع العيون والجلد.

ج . الخواص الكيميائية للكلور

تمتلك ذرة الكلور سبعة إلكترونات محيطية، وتميل كثيراً لإكتساب الكترون إضافي للوصول إلى الاستقرار أي:

..

..



الجدول (٣. ٥): تأثير الكلور على الإنسان تبعاً لتركيزه في الهواء.

تأثير	تركيز الكلور في الهواء مل/م ^٣
يمكن الاحساس به وهذا التركيز هو الأقصى المسموح لمدة ٨ ساعات في بيئة العمل	١
رائحة يحس بها	٣
تهيج حلق	١٥-١٠
يسبب السعال الحاد	٣٠
خطير على الإنسان حتى ولو كانت فترة التعرض قصيرة	٦٠-٤٠
يقضي على الإنسان خلال نصف ساعة	١٠٠

يُمثل أيون الكلورايد الحالة الأكثر استقراراً للكلور.

لذلك في الحالة الطبيعية، يوجد الكلور بحالة كلورايد : على سبيل المثال يحتوي ماء البحر على ٢.٧ % من وزنه كلور الصوديوم، لكن من الممكن بفضل تقديم طاقة كافية تحويل الكلورايد إلى كلور عنصري وأيضاً سلسلة من المركبات يمتلك فيها الكلور رقم أكسدة من +١ إلى +٧ إنهما الأحماض الأوكسي كلورية وأيوناتها. جميع العناصر المبينة في الجدول (٤. ٥) هي مؤكسدات قوية غير مستقرة كثيراً أو قليلاً. إضافة لذلك، ضمن ظروف خاصة ، يتشكل غاز ثاني أكسيد الكلور ClO_2 غير المستقر والمؤكسد القوي.

من ناحية أخرى، يمكن أن يدخل الكلور برابطة تساهمية ضمن مركبات عضوية ويشكل مجموعة من المركبات ندعوها بالمركبات الكلور عضوية.

الجدول (٤. ٥) : الأحماض الأوكسي كلورية وأيوناتها.

اسم الحمض	صيغته	رقم أكسدة الكلور	اسم الأيون	صيغته
الهيوكلورو (تحت الكلور)	HClO	+١	هيوكلوريت	ClO ⁻
الكلورو	HClO ₂	+٣	كلوريت	ClO ⁻²
الكلوري	HClO ₃	+٥	كلورات	ClO ⁻³
البركلوري (فوق الكلور)	HClO ₄	+٧	بركلورات	ClO ⁻⁴

بعض الحموض الأوكسي كلورية أو أملاحها تستخدم في معالجة المياه مثل هيوكلوريت الصوديوم NaClO الذي يدعى ((ماء جافيل)) ، هيوكلوريت الكالسيوم Ca(OCL)₂.

ينبغي أن لا نجهل بعض خواص الكلور الغازي. إنه غير قابل للإشتعال، لكنه يُحافظ ويساعد على احتراق عديد من العناصر القابلة للإشتعال مثله مثل الأكسجين، لذلك ينبغي عدم تخزين الكلور مع مواد قابلة للاشتعال.

لا يهاجم الكلور الغازي الجاف كثيراً، في درجات الحرارة الباردة، الفولاذ، النحاس، الرصاص، ولا حتى خلائط هذه المعادن. لكن الكلور الرطب يصبح أكالاً قوي Corrosore حتى في درجات الحرارة الباردة.

قليل من المواد تقاوم الكلور الرطب، من بين هذه المواد الفضة، البلاتين، التيتان، الزجاج وبعض المواد البلاستيكية. يمتلك ماء الكلور ذو التركيز العالي خواص أكالة Corrosion أيضاً.

د . تفاعلات الكلور مع الماء

عند إضافة الكلور إلى الماء يتشكل حمض تحت الكلور الذي يتفكك بدوره وفق التفاعلات التالية:



- يمتلك التفاعل الأول ثابت توازن K يتبع لدرجة الحرارة كما يبين الجدول (٥.٥).

الجدول (٥.٥): قيم ثوابت تفاعل انحلالية غاز الكلور في الماء.

درجة حرارة C	قيمة ثابت توازن K
٠	1.0×10^{-4}
٢٠	3×10^{-4}
٢٥	4.5×10^{-4}

بمساعدة هذه الثوابت التقريبية نجد أنه في مجال تراكيزات الكلور المستخدمة في معالجة الماء تكون الحمضية Hydrolysis كاملة تقريباً. لا نجد الكلور العنصري بكمية واضحة إلا في ماء الكلور ذي التركيز الأعلى من ١٠٠٠ غ/م^٣. تبين هذه الحسابات أيضاً أن ماء الكلور حمضي قوي ويمتلك PH قريب من ٢. بيد أن التفاعل الأول عكوس، فهو يمثل إذاً مصدراً كاملاً للكلور العنصري.

- ويمتلك التفاعل الثاني ثابت توازن 2.9×10^{-8} عند درجة حرارة 25°C .
أي أن حمض الهيوكلورو (تحت الكلور) هو حمض ضعيف، درجة تفكك حمض تحت الكلور تتبع لـ pH الوسط: عند $\text{PH} = 5$ لا يحصل تفكك، بينما يصبح التفكك كاملاً عند $\text{PH} = 10$ ، بين هذين الحدين لا PH نجد خليط من حمض تحت الكلور وأيون تحت الكلوريت.

بما أن حمض الهيوكلورو (تحت الكلور) أكثر إبادة للجراثيم من أيون الهيوكلوريت، فإن توزع الكلور بين هذين الشكلين HClO و ClO^- حسب الـ PH له أهمية عملية كبيرة يمكن حساب هذا التوزع بالطريقة التالية:

على سبيل المثال، لنحسب جزء الكلور الذي هو على شكل حمض تحت الكلور HClO عند $\text{PH} = 7.5$ ودرجة حرارة 25° حيث $K = 2.4 \times 10^{-4}$.

يُصبح التفاعل الأول إذن :

أي أن الشكل الجزئي يمثل إذن 52% من الكلور والشكل الأيوني يمثل 48% نستطيع إذن رسم منحنى توزيع الكلور حسب الـ PH (الشكل ٤.٥).

(الشكل ٤.٥) : منحنى توزيع الكلور إلى HClO ، ClO^- تبعاً لـ PH عند درجة حرارة 25° مئوية.

- أما التفاعل الثالث فهو غير عكوس ويدل على عدم ثبات حمض تحت الكلور وايون الهيبوكلوريت في وسط مائي. هذا التفاعل سريع عند PH منخفض ويحفز بوجود الأشعة الشمسية وبعض المعادن مثل الحديد والنحاس. يُكبح التفاعل جزئياً بالحفاظ على PH مرتفع، لهذا السبب ماء جافيل يحتوي على فائض خفيف من الصودا الكاوية.

أمام هذه التفاعلات الثلاثة المعتبرة إجمالية، ينبغي بيان أن كيمياء الكلور في محلول مائي عند التركيزات الضعيفة المستخدمة في معالجة المياه، تختلط مع كيمياء حمض تحت الكلور وأيون تحت الكلوريت. تفيد هذه الاعتبارات في تحديد بعض الصيغ المستخدمة في مجال معالجة المياه.

. **الكلور الفعال:** يشمل الكلور نفسه، وحمض الهيوكلورو (تحت الكلور) HOCl ، أيون الهيوكلوريت OCI^- وكل مركب يحرر بواسطة التمييه Hydrolysis العناصر المذكورة سابقاً .

. **الكلور الفعال الحر أو الكلور الحر:** هو كلور فعال على شكل كلور CL_2 ، حمض تحت الكلور أو أيون تحت الكلوريت.

. **الكلور الفعال المشترك أو المتحد أو ((الكلور المشترك):** ويشمل مشتقات الكلور وخاصة الكلور أمين التي تحرر بواسطة الحلمهة في وسط مائي، كلور فعال حر، هذا الكلور الفعال الكلبي أو ((الكلور الكلبي))، و يشمل ((الكلور الحر)) و((الكلور المشترك)). مهما يكن شكل الكلور الفعال فإننا نعر بشكل عام عن تركيزه بـ ملغ/ل من الكلور العنصري المكافئ نسبة إلى تفاعل أكسدة إرجاعية بغية إيضاح هذا التأكيد، نعتبر التفاعلات التالية:

بقبول أن الكتلة المكافئة لمؤكسد هي تلك التي تؤكسد ذرة . كتلته من الهيدروجين، أمر مكافئها الكيميائي تصل إلى القيم التالية:

الكتلة المكافئة للكلور Cl_2

$$70.5/2 = 35.25$$

الكتلة المكافئة لحمض تحت الكلور HClO

$$1.0 + 35.25 + 16$$

$$\frac{\text{—}}{2} = 26.23 \text{ وحدة}$$

الكتلة المكافئة لتحت كلوريت الصوديوم NaClO

$$22.99 + 35.45 + 16$$

$$\frac{\text{—}}{2} = 37.22 \text{ وحدة}$$

الكتلة المكافئة لأيون تحت الكلوريت ClO

$$35.45 + 16$$

$$\frac{\text{—}}{2} = 25.72 \text{ وحدة}$$

الكتلة المكافئة لتحت كلوريت الكالسيوم Ca(OCl)₂

$$40.08 + 70.9 + 32$$

$$\frac{\text{—}}{4} = 35.74 \text{ وحدة}$$

الكتلة المكافئة لكلور الكلس CaOCl₂

$$40.08 + 70.9 + 16$$

$$\frac{\text{—}}{2} = 63.49 \text{ وحدة}$$

هكذا هذه الكميات تتكافئ في تفاعلات الأكسدة الإرجاعية .

تطبيق عددي

لدينا ماء جافيل يحتوي على ٤٢ غ من تحت كلوريت الصوديوم NaClO في اللتر منه. ماهو تركيز الكلور الفعال فيه؟ وماهو تركيز تحت كلوريت الكالسيوم Ca(ClO)_2 الذي يملك نفس القوة.

الحل:

تركيز الكلور الفعال

$$35.45 \times 42$$

$$\frac{\quad}{37.22} = 40 \text{ gr/l}$$

$$37.22$$

تركيز Ca(ClO)_2 اللازم

$$35.74 \times 40$$

$$\frac{\quad}{33.45} = 40.3 \text{ gr/l}$$

$$33.45$$

ملاحظة:

إن مول واحد من الكلور أو من هيبوكلوريت الصوديوم يوافق (2) مكافئ من الكلور، أو مول واحد من هيبوكلوريت الكالسيوم $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ يوافق 4 مكافئ من الكلور، و من جهة أخرى نعبر عن تراكيز كل المشتقات بنفس الوحدة: ملغ/لتر من الكلور Cl ، أي بإعارة كل مكافئ كتلة قيمتها 35.45 غرام.

مثال:

ما هي كتلة NaClO اللازم إذابتها في لتر لتحضير محلول يحوي 60 غرام/لتر من كلور فعال. نفس السؤال في حالة هيبوكلوريت الكالسيوم التجاري، علماً أن نقاوة الملح 70%.

الحل:

$$\text{التركيز المرغوب فيه للمحلول} = 60 \text{ غرام/لتر} = \frac{60}{35.45} \text{ مكافئ/لتر} = 1.69 \text{ مكافئ/لتر}$$

أ)

- كتلة 1 مول من NaClO : 74.45 غرام .

$$\text{- كتلة 1 مكافئ من } \text{NaClO} : \frac{74.45}{2} = 37.2 \text{ غرام.}$$

- كتلة NaClO اللازمة: $1.69 \times 37.2 = 62.9$ غرام.

ب)

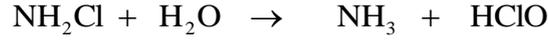
- كتلة 1 مول من $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 142.9 غرام.

$$\text{- كتلة 1 مكافئ } \text{Ca}(\text{ClO})_2 : \frac{142.9}{2} = 71.45 \text{ غرام.}$$

- كتلة $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ النقية اللازمة: $1.69 \times 71.45 = 120.7$ غرام.

$$\text{- كتلة الملح التجاري اللازم: } \frac{120.7}{0.7} = 172.4 \text{ غرام.}$$

من جهة أخرى، نميز أشكال الكلور الفعال الحر (Cl_2 ، HClO ، ClO^-)، أي الكلور الذي يتفاعل بسرعة كبيرة مع المرجعات مثل: Fe^{2+} ، Mn^{2+} ، وأشكال الكلور الفعال المركب والذي لا يتفاعل إلا ببطء، هذه حالة مركبات الكلور أمين التي تنتج كما سنرى فيما بعد عن تفاعل الكلور مع النشادر NH_3 أو مع الأمينات: NH_2Cl أول كلور أمين، NHCl_2 ثنائي كلور أمين، NCl_3 ثلاثي كلور أمين (نادراً ما يظهر الشكل الثالث الأخير في المياه المعالجة). بالفعل تتفاعل مركبات أمين مع تحرير HClO .



إن لأول ولثنائي كلور أمين مقدره مبيدة للجراثيم غير مهملة.
ينبغي حين معايرة الكلور، تحديد للكلور الفعال الحر بشكل منفصل و الكلور الفعال المركب، وحتى إذا
أمكن تحديد كل كلور أمين على حدة.
وسنرمز بدون تمييز تحت اسم الكلور المتوفر كل أشكال الكلور الفعال أي القابل لتحرير حمض هيبوكلورو
في وسط مائي: الكلور الغازي، الهيبوكلوريتات و HClO نفسه أو خليط من هذه المواد هم أشكال
الكلور المتوفر الحر والكلور أمينات، أشكال الكلور المتوفر المركب. (ليس ثاني أكسيد الكلور رغم كونه
مؤكسد ومبيد للجراثيم كلور متوفر)

هـ . تفاعلات الكلور الحر مع المرجعات المعدنية

توجد العناصر المعدنية المرجعة في بعض المياه الجوفية. عدا النشادر الذي يوجد بتركيز ضعيف في أغلب
المياه السطحية. باستثناء النشادر، تتفاعل المرجعات المعدنية بسرعة مع حمض الهيبوكلورو (تحت
الكلوريت) أو أيون تحت الكلوريت .

و . أساليب الكلورة *Chlorination method*

يمكن إنجاز كلورة الماء بعدة طرائق حسب نوعية الماء المعد للمعالجة والغايات المطلوبة:

. فيما يخص مكان تطبيق الكلورة ضمن سلسلة المعالجة، حيث تميز بين الكلورة المسبقة
Prechlorination أي كلورة الماء الخام قبل معالجته والكلورة في الموقع (كلورة بعدية
Postchlorination) حيث يضاف الكلور بعد ترشيح الماء.
. أما فيما يخص تركيز الكلور فنميز بين كلورة بسيطة وبين كلورة زائدة أي إضافة كلور بتركيز أكبر من
تركيز النقطة الحرجة.

. أما فيما يخص المركبات المستخدمة، فنميز الكلورة بالكلور الواصل من المكثور، الكلورة بمركب تحت
كلوريت الصوديوم أو الكلورة بالمركبات الكلور أمينية.

. الكلورة البسيطة Simple chlorination

تعتمد على حقن الكلور في ماء نقي نسبياً، أو خضع مسبقاً إلى ترويب وتشكيل ندف، و ترسيب، وترشيح بغية ضمان تركيز ما من الكلور الكلي المتبقي. أي أن الكلورة البسيطة هي بطبيعة الحال كلورة في الموقع (كلورة بعدية Postchlorination).

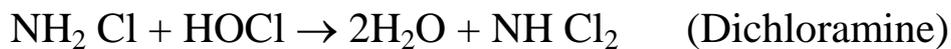
ونميز هنا حالتين:

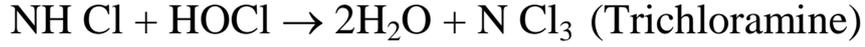
- الماء المعالج خالي من الامونيوم: نلاحظ في هذه الحالة أن كمية الكلور المتبقي تتناقص بشكل واضح بعد تجريعه مباشرة وبعد عدة دقائق يقل الكلور المتبقي بتدرج أكبر أما في شبكة الامداد العامة حيث يتخطى الزمن بعد التجريع ١٠ فلا يلاحظ في الغالب أي أثر متبقي للكلور (كما في الشكل (٥-٥))

الشكل (٥-٥): تغير تركيز الكلور المتبقي تبعاً للزمن بعد التجريع في حالة خلو الماء من الامونيوم.

- الماء المعالج يحتوي بعض الامونيوم: نلاحظ في هذه الحالة أن كل الكلور المضاف يتحول إلى أول كلور الامونيوم $NH_2 Cl$. ويكون انخفاض الكلور بطيء جداً كما يبين الشكل.

وإذا كانت كمية الكلور المضافة كبيرة يتحول أول كلور أمين إلى ثنائي كلور أمين ثم إلى كلور الأزوت ، وفق التفاعلات التالية:





يُحصل التفاعل الأول عندما تكون النسبة الوزنية للكلور ضعيفة والـ PH مرتفع، أما التفاعل الثاني فيتم عندما تكون النسبة الوزنية أكبر من ٥ وعند PH حمضي، أما التفاعل الثالث فيتطلب نسبة وزنية تساوي أو تزيد على ١٥.

إن التفاعلات الأولى والثاني عكوسان. هذا يعني أن أول كلور الأمين وثاني كلور الأمين يمتلكان قدرة أكسدة وتطهير معينة.

تُشكل هذه المركبات في الواقع مانعوه الكلور المشترك. إن أول كلور أمين عديم الرائحة والطعم، بينما ثاني كلور الأمين يمتلك رائحة مشابهة لرائحة الكلور ويعطي الماء رائحة غير جيدة، لذا يفضل تجنب تشكيله. أخيراً ثالث كلور الأمين، أو ثالث كلور الآزوت NCl_3 ، يعطي الماء أيضاً طعم غير جيد، لكنه يشكل نادراً مشكلة ويتشتت بسرعة إذا خض الماء أو خضع للتهوية، أما فيما يخص حمض تحت الكلور وأيون تحت الكلورين فهذان المركبان مبيدان للجراثيم لكنهما أقل قوة من الكلور الحر: عند درجة حرارة ٤م يلزم ٣ غ/م^٣ من أول كلور الأمين لإزالة ٩٩% من الكوليفورم البرازية خلال ٣٠ دقيقة.

الشكل (٥-٦): تغير تركيز الكلور المتبقي تبعاً للزمن بعد التجريع في حالة احتواء الماء على الامونيوم.

أما إذا كانت المياه لا تحتوي على الأمونيوم وكنا نريد أن نحصل على كمية من الكلور المتبقي في شبكة الامداد العامة فيمكن أن نضيف إلى الماء امونيوم على شكل كلور الأمونيوم وذلك قبل إضافة الكلور للتطهير. ويستفاد من خاصية ثبات أول كلور الأمين NH_2Cl وثاني كلور الأمين $NHCl_2$ لمدة أطول في حالة سير المياه لمسافة طويل بين مكان إضافة الكلور واستهلاك الماء، نطبق إذن تطهير بالكلور أمين عن طريق إضافة للنشادر متبوعة بالكلور.

. كلورة نقطة التأكسیر Break point chlorination

نستعمل كلورة نقطة التأكسیر إذا كان الماء يحتوي على الأمونيوم ، وكنا نريد إزالة هذا الأمونيوم بواسطة الكلور. وقد تكون كلورة نقطة التأكسیر كلورة مسبقة تهدف إلى تلبية استهلاك الماء من الكلور لإنجاز الأكسدة للملوثات المرجعة وتحطيم النشادر والكلور أمينات حتى لا يترك سوى كلور حر كمطهر متبقي. ظاهرة نقطة التأكسیر Break Point أو النقطة الحرجة تتأكد أثناء كلورة ماء لا يجوي سوى النشادر كعنصر مرجع. العلاقة بين تركيز الكلور المضاف والكلور الفعال المتبقي الكلي تأخذ شكل المنحني المتقطع في حالة غياب الملوثات، وفي حال وجود النشادر كملوث في الماء تأخذ شكل المنحني المستمر (شكل ٥ . ٧). المنحني الصحيح يتبع للتركيز البدائي للنشادر، ولدرجة الحرارة ولمدة التماس.

الكلور الفعال المتبقي ملغ/ل

تركيز الكلور المضاف ملغ من Cl_2 / ملغ من NH_3

الشكل (شكل ٧.٥) : منحنى تركيز نقطة التأكسير

عند النسبة الوزنية للكلور الأدي من ٥ ملغ CL_2 / ملغ NH_3 ، يكون الكلور المتبقي على شكل أول كلور الأمونيوم بشكل أساسي. عندما يقع التركيز بين ٥ و ١٠ ملغ CL_2 / ملغ NH_3 ظهور ثاني كلور الأمين يأخذ أهمية وسيطر عندما يصل التركيز إلى ١٠. لكن في نفس الوقت تحصل تفاعلات تحطيم الأمينات ويتجه المتبقي إلى الصفر. يوجد الكلور المتبقي الأصغري عندما تكون النسبة الوزنية قريبة من ١٠. إنه يحدد النقطة الحرجة (نقطة التأكسير) والتركيز الموافق يدعى ((تركيز نقطة التأكسير)). عندما يكون تركيز الكلور المضاف أعلى فإن الكلور المتبقي يتكون بشكل أساسي من الكلور الحر، وبعد نقطة التأكسير كل زيادة في تركيز الكلور المضاف تقود إلى زيادة مكافئة في الكلور الحر المتبقي. هكذا تضمن بوساطة إضافة تركيز أعلى من تركيز نقطة التأكسير إزالة للنشادر والأمينات مع ضمان التركيز المطلوب للكلور الحر المتبقي.

عملياً، نادراً ما يكون النشادر هو الملوث الوحيد. يوجد أحياناً ملوثات عضوية مرجعة بغياب النشادر. في مثل هذه الحالة يكون منحنى نقطة التأكسير أكثر إنسلافاً، تقعر المنحنى خفيف جداً أو غير موجود. مع ذلك إضافة كلور أعلى من استهلاك الماء المعد للمعالجة بالكلور يضمن وجود كلور حر متبقي. المنحنى الناتج يظهر إذن نقطة صعود مكافئة لنقطة التأكسير، التركيز عند نقطة الصعود يساوي لاستهلاك الماء من الكلور.

الكلورة حتى نقطة التأكسير هي أسلوب ينبغي تطبيقه بحيث تحقق من جهة المعايير الخاصة بالكلور المتبقي، ومن جهة ثانية الحصول على ماء ذي نوعية حسية مثلى (غياب الطعم).

يمكن تطبيق الكلورة البعدية حتى نقطة التأكسير للسماح بتحقيق اقتصاد في الكلور، حيث أزيلت أجزاء من ملوثات الماء الخام بفضل المعالجات التي سبقت الكلورة. من ناحية ثانية، مدة التماس لا تكفي دائماً متطلبات النوعية المرغوبة. فالكلورة المسبقة تضمن مدة تماس أعلى لكنها تتطلب تركيزات أعلى من الكلور. ينبغي تطبيق الكلورة المسبقة في حالة المياه الخام الحاوية على أحياء بلاكتونية أو مياه ذوات نوعية حسية سيئة.

ولمعالجة المياه تضاف كمية كافية من الكلور تكفي لمعالجة المياه، ويتبقى بعد ٢٠ دقيقة من الإضافة ٠.٢ إلى ٢.٠ ملغ/لتر (جزء في المليون) على الأقل من الكلور الفعال المتبقي **Residual chlorine** فوجود هذا التركيز المتبقي يدل على أن كمية الكلور المضافة كانت كافية لقتل الميكروبات الحساسة مع تبقي جزء منه كاحتياط وقائي ضد احتمالات التلوث الأخرى.

وتزداد الكمية المضافة من الكلور إذا زاد عدد الميكروبات بالماء أو احتوى الماء على مواد عضوية أو مواد قابلة للأكسدة وأيضاً حسب الظروف الصحية بالمنطقة ففي فترة الأوبئة تزداد جرعة الكلور المضافة للماء.

وتتوقف كمية الكلور أو مركباته التي تضاف إلى الماء على عوامل عديدة منها:

١. تركيز الكلور ومدة التأثير.
٢. عدد وأنواع الأحياء الدقيقة الموجودة بالماء فالبكتريا السالبة لصبغة جرام شديدة الحساسية للكلور بينما الجراثيم الحرة والبكتريا الموجبة لصبغة جرام والبروتوزوا المتحصلة مقاومة لتركيزات الكلور المستعملة عادة
٣. كمية المادة العضوية خاصة البروتينية الموجودة بالماء فالكلور يتحد بالمادة العضوية فيقل تركيزه، وتضعف فاعليته
٤. درجة الـ pH ودرجة الحرارة حيث تزيد سرعة تفكك الكلور في الوسط الحامضي وفي الحرارة العالية فيقل تأثيره

. الكلورة الزائدة Super chlorination

تعتمد الكلورة الزائدة على تطبيق تركيز كلور عالي، أكبر من استهلاك الكلور، وبالتالي يلزم فيما بعد إزالة جزء من الكلور المتبقي بواسطة مرجع مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 الذي يحقن بفضل معايير مماثل لمعايير الكلور.

الكلورة الزائدة هي دائماً كلورة مسبقة، وتستخدم في حالة المياه الغنية بالأحياء البلاكتونية أو البكتريا والفيروسات أو المياه السيئة النوعية الحسية. وتهدف هذه الكلورة إلى أكسدة قصوى للملوثات وإلى عملية تطهير قوية.

و . تفاعل الكلور مع الملوثات العضوية

يمكن إنجاز إزالة اللون في الماء على الأقل جزئية بوساطة الكلورة .

ينتج التطهير من التفاعلات الكيميائية للكلور الحر مع بعض المكونات الأساسية للخلية البكتيرية أو للفيروسات. في الواقع، يتفاعل الكلور الحر بطرائق عديدة مع الملوثات العضوية، تتحدد هذه التفاعلات بتركيز الكلور المستخدم، PH الوسط ودرجة الحرارة .

إن التفاعلات التي تحصل عند التركيزات الضعيفة للكلور والمستخدم في معالجة المياه ليست معروفة جيداً، قد يحصل أحياناً أكسدة بسيطة للمادة العضوية وأحياناً تشكيل لمركبات كلور عضوية.

من بين التفاعلات المعروفة أكثر من غيرها ينبغي الإشارة لتفاعل الكلور الحر مع الفينولات، وتشكل عدة مركبات تدعى كلور فينولات تعطي طعم سيء للماء، لهذا يوجد معايير قاسية جداً تجاه وجود الفينولات في المياه المعدة لتحضير مياه الشرب نبين فيما يلي تفاعلين ممكنين:

يوجد مجموعة أخرى من التفاعلات تشغل الباحثين، وهي تلك التي تحصل عند كلورة ماء خام حاوي على مواد دبالية. ينتج عن الكلورة هذه مجموعة من مركبات كلور عضوية مثل الكلوروفوم ورباعي كلور الكربون CCl_4 ، بعض هذه المركبات يعتبر مسرطن. لا نجد لحسن الحظ من هذه المركبات في الماء إلا تركيزات ضعيفة جداً.

ز . استهلاك الكلور Chlorine demand

بسبب التفاعلات العديدة المذكورة سابقاً، تستهلك المياه الخام أثناء معالجتها بسرعة كبيرة أو ضعيفة كمية من الكلور في لحظة الكلورة. تتبع أهمية استهلاك المياه للكلور لدرجة تلوثها، ولطبيعة الملوثات. لضمان وجود مستمر للكلور الحر ضمن الماء المعالج ينبغي تطبيق تركيز كلور أعلى من التركيز المستهلك.

ندعو كلور حر متبقي تركيز الكلور الحر المتبقي ضمن ماء خضع مسبقاً إلى الكلورة ، وخلال فترة تماس محددة. بما أن تفاعلات الكلور مع الملوثات ليست لحظية خاصة مع الملوثات العضوية، فإن استهلاك الكلور يتبع لفترة التماس ولدرجة الحرارة. لهذا ينبغي على المعايير الخاصة بالكلور الحر المتبقي تحديد مدة من الزمن بين لحظة الكلورة ولحظة أخذ العينة لإجراء التحليل. هذه المدة الزمنية ينبغي أن تأخذ بالاعتبار درجة حرارة الماء.

إن حمض تحت كلور HOCL أسرع تأثيراً كميدي للجرائيم مقارنة مع أيون تحت الكلوريت OCL .

نستنتج إذن باعتبار منحنى الشكل (٥ . ٨) أن ال PH الحامضي يوفر تطهير سريع. هكذا قدر أنه للقضاء على مجموعة الكوليفورم البرازية (الايشرشيا الكولونية) بنسبة ٩٩% خلال ٣٠ دقيقة عند درجة حرارة ٤°C ُ يلزم تركيز متبقي من الكلور الحر قدره 0.005 غ/م٣ إذا كان المقصود حمض تحت الكلور بينما يلزم 0.2 غ/م٣ إذا كان المقصود أيون تحت الكلوريت أما فيما يخص قدرة الكلور على إبادة الفيروسات المنقولة بالماء متعددة وغير معروفة، كما أن مقاومة الفيروسات للكلور الحر متغيرة:

فحسب الباحثين تتطلب الإزالة الكاملة لفيروسات بوجود 0.5 غ/م٣ من الكلور الحر زمن تماس قدره عدة دقائق فقط ، بينما يلزم أكثر ٦٠ دقيقة في حالة إزالة الفيروسات 12(ECH). يبدو ومع ذلك أن العوامل التي تُفعل الإزالة السريعة للبكتريا تؤثر بنفس الأسلوب تجاه الفيروسات.

ح . تجهيزات إضافة الكلور للماء

يقدم الكلور بطور سائل ضمن قوارير أسطوانية، أو خزانات أفقية من الفولاذ، تحت الضغط. يتطلب استعمال خزان الكلور وصله بمعايير كلور (مكلور) يغذي بالكلور الغازي، يقدم المكلور ماء كلور water Chlorin ذي تركيز عالي نسبياً ويقاد ماء الكلور إلى نقطة الحقن بواسطة أنابيب مناسبة.

تشمل منشأة إضافة الكلور:

. أوعية تخزين

. خزانات قيد الاستعمال مركبه على ميزان

. مكلورات

. شبكة توزيع ماء الكلور مع تجهيز توزيع

ونظراً لسمية الكلور، توجد معايير وضوابط قاسية لتحديد أساليب صناعة وتخزين الخزانات، وكذلك تصميم صالات التخزين وتلك المعدة للمكلورات.

حسب المعايير الاعتيادية، ينبغي أن تكون صالات التخزين والمعايرة على مستوى الأرض ولا تفتح إلا على الخارج. و يفضل أن يتم التخزين والمعايرة في أوعية منفصلة عن بعضها. وينبغي أن توضع الأوعية في درجات حرارة بين ١٨ و ٢٠ م .

درجة حرارة صالات المعايرة ينبغي أن لا تكون أكثر برودة لأنه يمكن أن يحصل تكاثف للكلور في الأنبوب المؤدي للمعاير. وينبغي أيضاً تزويد كل وعاء تخزين كلور بنظام تهوية منفصل وبكاشف للتهريب.

خارج هذه الصالات ينبغي توفر أقنعة وأجهزة تنفس بأشكال مناسبة من أجل حالات الطوارئ.

ط . خزانات الكلور السائل

تستخدم محطات معالجة المياه الصغيرة قوارير أسطوانية تحتوي عند ارسالها من شركة التعبئة ٦٨ كغ كلور، أما المحطات الأكبر فتستخدم خزانات أسطوانية تحتوي حوالي طن واحد من الكلور، في كلا الحالتين لا تملئ الخزانات إلا بنسبة ٨٨% (عند درجة حرارة ٢٠ م) من سعتها لترك مجال للتمدد الحراري الذي قد يحصل عند درجات حرارة مرتفعة.

إن الضغط المسيطر في الخزان عندما يوجد كلور سائل يساوي لضغط بخار الكلور السائل، يتبع هذا الضغط لدرجة الحرارة حسب الشكل (٥ . ٩).

الشكل (٥ . ٩) .:

يُزود كل نموذج من خزانات الكلور بحنفية نظامية في حالة القارورة، تحتوي الحنفية على سدة قابلة للإنصهار عند درجة حرارة ٧٠ و ٧٤ م .

دور هذه السدة حماية القارورة ضد تسخين زائد قادر على تفجير القارورة ، في حالة الخزانات الأفقية تثبت السدة القابلة للإنصهار على الخزان نفسه.

بالتأكيد هذه الحنفيات مصنعة من مواد مقاومة للكلور الجاف مثل البرونز، لكن في حالة تهريب الكلور وحسب رطوبة الهواء المحيط يمكن أن يحصل تآكل وزيادة في خطورة التهريب.

في مرحلة الاستخدام يكون خزان الكلور مُركب على كفة ميزان بمستوى الأرض يسمح هذا بالتأكد من وزن الكلور المتبقي في الخزان ومعدل الاستهلاك.
يتصل الخزان بالملكور بواسطة أنبوب مرن ووصيلة موفقة توضع في مكانها بواسطة وصلة معدنية تشد قطعتين ((١٠.٥ و ١١.٥)).

الشكل (١٠.٥):.

تزود المكورات بشكل عام بمقياس ضغط وحنفية تحكم وفي مثل هذه الحالة ، من غير المفيد تزويد القارورة بنفس التجهيزات.
ينبغي إنجاز الوصل حسب تعليمات الشركة المصنعة للخزانات وأن لا تستخدم إلا الأدوات الخاصة بهذه الغاية.
ونتأكد بعد إتمام الوصل من كل الجوانب لكشف التهريبات .
لذلك نفتح حوجلة تحتوي على نشادر حول كل جوانب فعداد وجود تهريب يتشكل دخان أبيض من كلور الأمونيوم.

الشكل (١٠ . ٥): الحنفية ، والوصلة المرفقة لوصل خزان الكلور بالمكنور.

الشكل (١١ . ٥): قارورة كلور أثناء الاستخدام.

ينبغي أن يكفي الضغط داخل الخزان أو القارورة لتغذية المكنور بالكلور الغازي. لكن عندما يبدأ تبخير الكلور يحصل تبريد لكتلة السائلة والحاوية ، حرارة تبخر الكلور السائل هي ٢٥٥ كيلو جول/كيلو غرام عند درجة حرارة ٢٠° م ، والحرارة النوعية للكلور هي 0.99 كيلو جول/كيلو غرام . درجة مئوية. يتم هذا التبريد حتى يحصل توازن حراري بين الخزان والهواء المحيط. تتبع درجة التوازن لتدقق الكلور من جهة ودرجة الحرارة المحيطة من جهة أخرى . تحدد درجة الحرارة ضغط البخار في الخزان ويمكن أن تحد من تدفق الكلور الغازي الممكن. يلزم إذن في الفصل البارد توفير تسخين الصالة الحاوية على خزانات الكلور. عندما لا تكفي قارورة واحدة ينبغي اللجوء إلى خزان كبير للكلور أو إلى عدة قوارير موصولة على التوازي.

إن حصول إنخفاض فجائي في الضغط يشير إلى الإفتقار إلى الكلور السائل الذي ينبغي التأكد منه بواسطة الميزان ، قبل استبدال الخزان.

ي . المكورات

يوجد عدة نماذج للمكورات، في المحطات الحديثة تكون المعايير مأمّنة حيث تقدم الكميات اللازمة تبعاً لتدفق الماء المعد للمعالجة ولتركيز الكلور المتبقي المطلوب أو تبعاً لهذين المتغيرين.

يتبع تركيز ماء الكلور الناتج لتدفق الماء ولتدفق الكلور الغازي. ليس هناك عقبات من استخدام تراكيزات ضعيفة نسبياً، أي حوالي عدة مئات غرامات في المتر المكعب لكن التركيز الأكثر استعمالاً يقارب ١٠٠٠ غ/م^٣ . نستطيع أن نحصل على مياه كلور ذوات تراكيزات أكبر ، لكن وجود الكلور العنصري يمكن أن يسبب مشاكل سببها تطور فقاعات غازية ، أو إذا كان الماء بارداً كثيراً فتتشكل بلورات كلور مائية $CL_2 \cdot 8H_2O$.

ك . شبكة توزيع ماء الكلور

ينبغي على التجهيز المعد لإنجاز الكلورة السماح بحقن الكلور في عدة أمكنة من مسار الماء أثناء معالجته. نستطيع هكذا كلورة الماء الخام، الماء الراشح، أو الماء المعالج جزئياً. يحتوي التجهيز على عدة مقاييس للضغط وحنفيات بسكورة مناسبة. الأنابيب مزودة بمصايح تسمح بالتأكد من وجود تيار ماء كلور. ينبغي أن يكون ضغط ماء الكلور الذي سيحقن كافي لتأمين التدفقات في كل فروع الشبكة.

ل . تشغيل تجهيزات إضافة الكلور للماء

لتشغيل سلسلة تجهيزات إضافة الكلور، ينبغي في البداية فتح أنبوب الماء المغذي للحاقن والتأكد من وجود سبيل لهذا التيار نحو نقطة الحقن المطلوبة؛ ثم نفتح حنفيات الإيقاف على طول أنبوب الكلور ثم أخيراً نفتح الحنفية الموجودة على قارورة الكلور ثم نعاير بعد ذلك تركيز الكلور تبعاً لتدفق الماء المطلوب. لإيقاف سلسلة تجهيزات إضافة الكلور نلجأ إلى تسلسل عكسي أي نبدأ بإغلاق حنفية قارورة الكلور.

٢ . ٥ . ٢ . ٤ . استخدام ثاني أكسيد الكلور في تطهير الماء

ثاني أكسيد الكلور فعال ضد الجيارديات ، والبكتيريا والفيروسات وإلى حد ما ضد الكريبتوسبورديوم وكثيراً ما يمزج مع وسائل معالجة أخرى مثل التطهير بالكلور أو التطهير بالأوزون

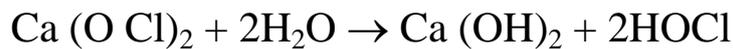
غير أن عملية إنتاج ثاني أكسيد الكلور تتسم بالتعقيد فهي تحتاج إلى فنيين مهرة ورقابة حذرة وتحد هذه المتطلبات التقنية من فائدته بالنسبة لكثير من الأنظمة الصغيرة

ومثله مثل الكلور والكلورامينات يستخدم ثاني أكسيد الكلور في أنظمة التوزيع ولكنه يتحلل بمرور الوقت أسرع من الكلور، لذلك يتم تصنيعه أحياناً في الموقع بأساليب كهركيميائية.

٥. ٢. ٤. ٣. استخدام مركبات تحت كلوريت في تطهير الماء

تحت كلوريت الصوديوم $NaOCl$ المتوفر تجارياً على شكل ماء جافيل، نادراً ما يستخدم في محطات معالجة المياه المتوسطة أو الكبيرة. لكنه يستخدم في حالة عطل (كعجز المكلورات مثلاً) لأن ثمن تحت كلوريت الصوديوم أعلى من ثمن الكلور العنصري. استخدام تحت كلوريت الصوديوم لا يظهر خطراً مثل استخدام الكلور الغازي ولا يتطلب تجهيزات معقدة. يتمتع تحت كلوريت الصوديوم بنفس خواص الأكسدة وإبادة الجراثيم التي يتمتع بها الكلور الحر الناتج عن الكلور الحر الناتج عن الكلور الغازي عند نفس الـ PH. إن ماء جافيل المركز عالي القلوية ويسبب التآكل للأنياب المعدنية، لذا ينبغي استعماله مع الاحتياطات الملائمة. وينبغي تجنب تماسه مع عناصر حمضية لأن ذلك يؤدي لإنطلاق كلور غازي. محاليل تحت الكلوريت غير مستقرة نوعاً ما، لذلك لا ينصح بتخزينها لفترات طويلة. عمر النصف لمحلول ماء جافيل يحوي في البداية ١١% من وزنه كلور فعال هو حوالي ١٦٠ يوم عند درجة حرارة ٢٥ م، أما عمر النصف لمحلول يحوي ٤.٩% من وزنه كلور فعال فهو ٩٠ يوم. لذا ينبغي الانتباه من إجراء معايرة بمحلول ماء جافيل قديم.

وقد يستعمل مسحوق قصر الألوان Bleaching powder وهو هيبوكلوريت الكالسيوم Calcium hypochlorite في صورة أقراص أو بعد تحويله إلى محلول بدلاً من الكلور في معالجة المياه لسهولة استعماله وهو يعطي مع الماء التفاعل التالي



www.islamsc.com