

الافتتاح- مدخل ،التعرف



لنتفق جميعا

- .الهواتف الخلوية صامته.
- . لنُبقي نقاشاتنا مركزة دائما.
- .اختلاف الآراء ظاهرة صحية.
- . لنمارس الإنصات والإصغاء لبعضنا البعض.
- .لنسأل ونشارك عندما تطرأ لدينا فكرة في الوقت المناسب.

عنوان الورشة	طرق تعقيم مياه الشرب
•مدة الورشة	١ يوم
•منسق الورشة التدريبية	منظمة المهندسين السوريين لآعمار والتنمية
•مقدم الورشة التدريبية	الدكتور المهندس : عبدالله الصغير



في نهاية هذه الورشة سيتمكن المتدرب من التعرف على:

- ١- آلية عملية التعقيم
- ٢- التعقيم بالحرارة : (Disinfection by heat)
- ٣- التعقيم بوساطة موجات التردد فوق الصوتي : (Ultrasonic frequency waves)
- (
- ٤- التعقيم بوساطة أشعة غاما وبيتا
- ٥- التعقيم بوساطة ايونات المعادن
- ٦- التعقيم بوساطة الحموض والأسس
- ٧- التعقيم بوساطة الكيمائيات ذات السطح الفعال :
- ٨- التعقيم بوساطة الكيمائيات المؤكسدة
- ٩- التعقيم بوساطة الكلور
- ١٠- التعقيم بوساطة ثاني أكسيد الكلور (Chlorine dioxide)
- ١١- التعقيم بوساطة - الاوزون (Ozone) :
- ١٢- التعقيم بوساطة الأشعة فوق البنفسجية : (Ultraviolet radiation)
- ١٣ - التعقيم بوساطة عمليات الفصل



مقدمة عامة

إن الهدف من عمليات تعقيم مياه الشرب هو إزالة العضويات الممرضة من مياه المصادر المائية ، هذه العضويات التي تساهم في نقل الأمراض عبر الماء والتي تتضمن الفيروسات والجراثيم ووحيدات الخلية (الأوليات) والديدان .
ويقصد في هذا الفصل بكلمة التعقيم ، القضاء على العوامل الممرضة في الماء (Disinfection) وليس القضاء التام على العضويات الدقيقة (Sterilisation) .

١ - آلية عملية التعقيم

إن مقدرة مادة معقمة ما على قتل الجراثيم تتعلق بتركيز هذه المادة وزمن التماس . وقانون تشيك يفترض أن معدل اتلاف العضويات الدقيقة يعتمد على عدد هذه العضويات كما في العلاقة :

$$N = N_0 e^{-kt} \text{ حيث :}$$

N : عدد العضويات الدقيقة من نوع واحد في الزمن t .

k : ثابت أبعاده t^{-1} .

١ - آلية عملية التعقيم

لفيروس التهاب سنجابية النخاع الشوكي (Poliomylitis virus) :
CO. 86 . tp = 1.

لفيروس الحمة الكوكسائية (A2 : Cocksackie virus) :
CO. 86 . tp = 6.

ونلاحظ بشكل عام أنه بالنسبة للمواد المعقمة التي تكون فيها قيمة (n) أصغر من الواحد (مثل الكلور) يكون زمن التماس عادة هو العامل الأهم لضمان التعقيم الجيد ، ولهذا يطبق زمن تماس كبير نوعاً ما (٣٠) دقيقة من أجل العديد من الاستعمالات

(Disinfection by heat) ٢ - التعقيم بالحرارة :

يمكن تعقيم المياه بتعرضها إلى الغليان لمدة (١٥ - ٢٠) دقيقة وذلك حسب الارتفاع عن سطح البحر .
كما أن البسترة ، والتي هي التسخين لدرجة حرارة تتراوح بين ٦٠ درجة مئوية وبين ٨٠ درجة مئوية، هي طريقة فعالة للتعقيم بحيث يكون زمن التعرض لدرجة الحرارة ٦٠ درجة مئوية هو ٢٠ دقيقة ويتناقص هذا الزمن مع ارتفاع درجة الحرارة وأيضاً يمكن أن نستخدم للتعقيم التسخين المضغوط (Autoclaving) الذي ترتفع فيه درجة الحرارة إلى أكثر من ١٠٠ درجة مئوية (المثلث ١٢١ درجة مئوية) وذلك مع ضغط متزايد .
من مميزات هذه الطرق جدارتها وبساطتها ، أما مساوئها فهي الكلفة المرتفعة وأنه ليس لتعقيمها أثر متبقي .

٣- التعقيم بوساطة موجات التردد فوق الصوتي : (Ultrasonic frequency waves)

إن موجات التردد فوق الصوتي هي التي لا تستجيب لها أذن الإنسان وتكون ذات تردد فوق (٢٠ ٠٠٠ - ١٨٠٠٠ CPS هرتز) بينما يتراوح تردد الموجات الصوتية الممكن سماعها بالأذن البشرية ما بين (٢٠ CPS و ٢٠٠٠٠) هرتز ويمكن لموجات التردد فوق الصوتي أن تفكك البنية الكيميائية للجزيئات ومن ضمنها الجزيئات الموجودة في الممرضات ، ويكون تأثيرها قاتلاً للاشريكية الكولونية (E.Coli عند تردد (٤٠٠ CPS) في درجة حرارة (٣٧ °C) ويمكن أن نحصل على تعقيم تام بعد تعريض المياه لهذه الموجات لمدة (٦٠ min) ولكن هذه الطريقة من التعقيم تعتبر غير عملية بسبب استهلاكها الكبير للتيار الكهربائي ، وبالتالي كلفتها العالية بالنسبة للتدفقات الكبيرة

٤ - التعقيم بواسطة أشعة غاما وبيتا

إن التوفر المتزايد للمواد النشيطة إشعاعياً أثار بعض الاهتمام بالتعقيم بواسطة الإشعاع المتأين . وليس لدينا معلومات دقيقة عن تحطيم العضويات الدقيقة في الماء بواسطة هذا الاشعاع

٥- التعقيم بواسطة ايونات المعادن

لقد علم لعدة قرون مضت أن شوارد النحاس قاتلة للجراثيم (بشكل ضعيف) ومبيدة للطحالب بشكل قوي ، وكذلك شوارد الفضة فإنها عندما تكون بتركيز ضعيف تؤثر أيضاً بشكل ملحوظ . وقد لوحظ اختفاء متعضيات السبيروجيرا من الماء الذي يحتوي على كمية قليلة من الفضة المترسبة من بعض أملاحها .

٥- التعقيم بوساطة ايونات المعادن

بالإضافة إلى إمكانية إعطاء شوارد الفضة بوساطة التحليل الكهربائي ، يمكن أيضاً أن نضيف الفضة كمحلول لأحد أملاحها ، أو بوساطة انتزاعها بترشيح المياه عبر رمل مغلف بالفضة أو أية مادة ترشيح أخرى مغلفة بالفضة . وأيضاً يستعمل نترات الفضة البلوري (AgNO_3) كوسيلة للتعقيم . وهو يتميز بقلويته الشديدة وقد حددت نظم مياه الشرب كمية الفضة في ماء الإمداد المنزلي بـ (0.05mg/l) أو (50 Ppb) وعادة يكون تركيز شوارد الفضة لعملية التعقيم متراوحاً بين ($25 - 75\text{ Ppb}$). وقد وجد أن تركيزاً لشوارد الفضة قيمته (150 Ppm) (97Ppm AgNO_3) يكون له تأثير مبيد للكبيسات (Cysticidal) كتلثي تأثير كمية من اليود (I_2) مقدارها (10 mg/l) . وقد لوحظ أن تأثير الفضة المبيد للجراثيم يتعلق بتركيز شوارد الفضة أكثر من علاقته بالطبيعة الفيزيائية لمصدر هذه الشوارد .

٥- التعقيم بوساطة ايونات المعادن

- يعتبر استعمال شوارد الفضة غير ذي قيمة عملية بسبب الزمن المديد اللازم للتماس وغلائها النسبي وخاصتها في كبح نمو الجراثيم دون قتلها . ولكن شوارد الفضة تبقى قابلة للاستعمال في بعض المشاريع الخاصة كأحواض السباحة .
- وفيما يلي نبين بعض محسنات استعمال شوارد الفضة لتعقيم المياه :
- ١ - الاكتفاء بجرعات صغيرة من الفضة لإزالة الجراثيم العادية إذا استعملت بدقة ومهارة .
 - ٢ - أثر متبقي مديد وقوي في كبح وتثبيت نمو الجراثيم .
 - ٣ - تمنع نمو الطحالب والفطور .
 - ٤ - معقمات شوارد الفضة المصنوعة والموجودة في الأسواق لا طعم لها وغير سامة وسهلة التناول نسبياً .
 - ٥ - لا تؤثر تغيرات تركيز العضويات على سعة إبادة الجراثيم لشوارد الفضة.

٥- التعقيم بوساطة ايونات المعادن

أما مساوئ التعقيم بوساطة شوارد الفضة فيمكن أن نعددها بما يلي :

- ١ - تحتاج المياه إلى معالجة مسبقة جيدة لإزالة العكارة واللون ذوي الأصل العضوي والمواد العالقة الغروانية التي تمتاز إليها شوارد الفضة .
- ٢ - الفعل المعقم لشوارد الفضة يتناقص بشكل واضح في درجات الحرارة المنخفضة وفي القيم المنخفضة لـPH
- ٣-تسبب شوارد الفوسفات والكلوريدات والكبريتيت والكبريتات تثبيطاً للفعل التعقيمي لشوارد الفضة .
- ٤ - لم تطور حتى الآن بشكل كاف الدراسات اللازمة لتحديد تراكيز Ag^+ اللازمة عملياً
- ٥ - تحتاج إلى وقت طويل للتماس .
- ٦ - تكلف المعالجة بشوارد الفضة مئتا مرة تقريباً المعالجة بغاز الكلور .

٦- التعقيم بوساطة الحموض والأسس

لا تبقى عادة الجراثيم المرضية على قيد الحياة طويلاً في المحاليل الحمضية أو القلوية القوية ، ولهذا فإن إضافة بعض المواد لتعديل (PH) أو لتعديل قابلية الماء للحت أو لإزالة العسرة أو غير ذلك من الأغراض يمكن أن تؤثر جزئياً في انقاص بعض العضويات الدقيقة وخاصة عندما يتوفر وقت طويل للتماس .

التعقيم بوساطة الكيمائيات ذات السطح الفعال : -٧

إن للمنظفات إيجابية الشحنة إمكانية كبيرة لقتل الجراثيم بينما يكون للمنظفات سالبة الشحنة إمكانية ضعيفة لإبادة الجراثيم . وتحتل المنظفات المعتدلة موقعاً متوسطاً .
تضم مركبات الامونيوم الرباعية
(Quaternary Ammonium Compounds- QAC) مجموعة واسعة من
المنظفات إيجابية الشحنة (Cationic Detergents) والتي تتأين حالاً في الماء .

٥- التعقيم بوساطة ايونات المعادن

هذه المركبات نحصل عليها بشكل سائل أو صلب وهي ثابتة في درجة الحرارة العادية وتسبب تخفيض الشد السطحي للماء وتميل إلى تشكيل الرغوة .
وقد لوحظ أن مركبات الأمونيوم الرباعية المتوفرة في الأسواق هي ذات قابلية مرتفعة لإبادة الجراثيم في حدود لـ (PH) من ٧ إلى ٩.٥ وقابلية الإبادة للجراثيم هذه تتأثر ببعض العوامل كطبيعة الإضافات المستعملة في بنية (QAC) وصفات الماء كعسرتها وكمية المعادن فيها .

لم تستعمل مركبات الأمونيوم الرباعية (QAC) كمعقم لمياه الإمداد العام للشرب بشكل جدي بسبب تأثيرها السمي وطعمها السيء في الماء . وبقي استعمالها مسموحاً كمبيد للطحالب في أحواض السباحة . وكماذا لمنع نمو العضويات المفسدة لمياه التبريد في الصناعة .

٨-التعقيم بواسطة الكيمائيات المؤكسدة

٨-١- البروم (Bromine)

البروم (Br_2) هو هالوجين بني محمر غامق يوجد كسائل تحت الضغط الجوي وبالتالي فهو أسهل نقلاً وتناولاً من الغاز المضغوط ، وهو أثقل من الماء بـ (٣,٢) مرة ، نقطة انصهاره ($7,3^{\circ}C$ م) ونقطة غليانه ($58,7^{\circ}C$ م) ، سائله يسبب حروقاً شديدة بتماسه مع الجلد .
يشكل البروم بانحلاله في الماء مبيداً جيداً للجراثيم . ينتج البروم مع الأمونيا والنيتروجينات الثلاثية مركبات بروم الأمونيوم وقد لوحظ نقطة للتكسير أثناء انحلال البروم في الماء بوجود مركبات النشادر .

٨-التعقيم بواسطة الكيمائيات المؤكسدة

٨-١- البروم (Bromine)

إن البروم والبرومامين أحادي التكافؤ يملكان نفس الأثر التعقيمي وهذا الأثر يشبه الأثر التعقيمي للكلور .

أيضاً فإن البروم لا يستعمل في معالجة الإمداد العام بمياه الشرب ويقتصر استعماله لتعقيم مياه أحواض السباحة ومياه الصرف الصناعية . ومن محسنات استعمال البروم لتعقيم مياه أحواض السباحة ما يلي :

- ١ - بعض أشكال البروم أسهل وأقل خطورة في نقلها وتخزينها من الكلور .
- ٢ - الكفاءة التعقيمية للبرومامين المتشكل في أحواض السباحة أكبر منها للكلورامين.
- ٣ - أقل تهيجاً للعيون .
- ٤ - لا يسبب مشاكل طعم سيء .

٨-التعقيم بواسطة الكيمائيات المؤكسدة

٨-٢- اليود (Iodine)

اليود التجاري عبارة عن بلورات سوداء يميل لونها إلى الأرجوان وهو قابل لحت معظم المعادن ويتصعد ببطء في الظروف الجوية العادية .
وعندما يسخن يشكل بخاراً ساماً بنفسجياً ، ولكنه أقل خطراً من باقي الهالوجينات المستعملة لمعالجة المياه . ينحل اليود في الكحول الاتيلي بنسبة (27%) وذلك في درجة حرارة الغرفة . وينحل اليود في الماء بنسبة (0.03 %) في درجة حرارة الغرفة أيضاً ، وهذه القابلية تزيد بإضافة اليوديد ، وإن المحضرات التجارية الشائعة لليود تحوي على اليوديد وذلك لتأمين ثبات المحلول وحسن قابليته للانحلال .

٨- التعقيم بواسطة الكيمياءات المؤكسدة

٨-٢- اليود (Iodine)

عندما ينحل اليود في الماء فإنه يمكن أن يبقى بشكله الأصلي ويمكن أن يتعرض لتغيرات معقدة مختلفة ، وذلك حسب التركيز البدائي لليود المعايير واليوديد المضاف وحسب قيمة (PH) ودرجة الحرارة أيضاً . ويتم انحلال اليود في الماء حسب العلاقة :

$$I_2 + H_2O \rightleftharpoons HOI + H^+ + I^-$$
 إن كلاً من (I_2 و HOI) مبيد للجراثيم ، وإن الحمض تحت اليودي (Hypoiodous acid) يتحلل في الماء إلى ملح اليودات غير المبيد للجراثيم وشكل اليوديد وذلك بقيمة لـ (PH) من ٩ فما فوق وخاصة بوجود الفوسفات . وبوجود إضافة من اليوديد إلى المحلول المائي يمكن أن يتشكل اليوديد الثلاثي (I_3^-) وذلك بكمية قليلة .

وقد تبين أن إضافة قليل من اليود إلى مياه الإمداد العام لأغراض الشرب سيمنع بعض أنواع تضخم الغدة الدرقية ، ولكن هذه الإضافة قل استعمالها واستعيض عنها بإضافة اليود إلى ملح الطعام . وبقي استعمال صبغة اليود لتعقيم مياه الشرب في حالات الطوارئ فقط ، حيث أن استعمال نقطتين من صبغة اليود عيار (7%) لكل لتر ماء سيجعل الماء آمناً من الجراثيم بعد زمن تماس قدره (15 min) .

وكما أن اليود يخرب الجراثيم المرضية (وخاصة التيفية) في الماء فإنه يحطم الكيبيسات الأميبية وأن انخفاض درجة الحرارة وارتفاع قيمة (PH) يؤثران بشكل سلبي على كفاءة التعقيم باليود .

٨- التعقيم بواسطة الكيمياءات المؤكسدة

٨-٢- اليود (Iodine)

وفي الظروف المتشابهة فإننا نحتاج إلى جرعة من اليود أكبر من جرعة الكلور اللازمة لإعطاء نفس التأثير المبيد للجراثيم .

وقد تبين أن I_2 أكثر إبادة للكبيسات من كل من HOI أو I_3^- .
ويبين الجدول (٥-١) الكفاءة النسبية لليود في إبادة الكبيسات والفيروسات في درجة حرارة (٢٥ °م) .

كمية I_2 المتبقي بواحدت (Ppm)		زمن التماس
إبادة الفيروسات	إبادة الكبيسات	(بالدقائق)
٦,٣	٣,٧	١٠
١٣,٦	٦,٠	٥
٣٤,٠	١٢,٥	٢

٨- لتعقيم بواسطة الكيمائيات المؤكسدة

٨-٢- اليود (Iodine)

وإن التأثير الفيزيولوجي لليود والسمية الممكنة له لم يدرس بشكل واف ، عدا أنه مبيد للجراثيم خطر الاستعمال في عمليات إمداد مياه الشرب ، ولكنه تقرر إمكانية استعماله لتعقيم مياه المسابح وذلك في الظروف المختلفة وعلى مدى واسع لقيمة pH ولأغراض تعقيم مياه المسابح يمكن أن يضاف اليود بشكل أملاحه الصودية أو البوتاسية كأحد المركبات المعقدة العضوية و كعنصر اليود .

التعقيم بواسطة الكيمياءات المؤكسدة

- اليود (Iodine)

وفيما يلي نعطي بعض محسنات اليود كمادة معقمة :

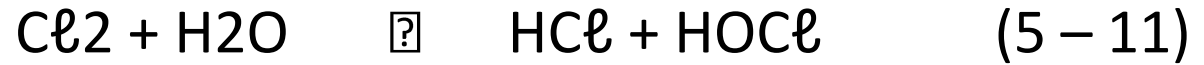
- ١ - لا تتأثر كفاءته التعقيمية كثيراً بقيمة (PH) وذلك عدا الحالات التي تكون فيها درجة الحرارة منخفضة جداً .
 - ٢ - إن للنشادر والملوثات النتروجينية العضوية تأثيراً ضعيفاً على كفاءة إبادة اليود للجراثيم بسبب عدم تشكل مركبات بديلة .
 - ٣ - إبادة الجراثيم أقل علاقة بدرجة الحرارة وبزمن التماس منها بالنسبة إلى الكلور .
 - ٤ - تتم إبادة الجراثيم المرضية والأبواغ والكييسات والفيروسات بزمن قصير وبجرعة صغيرة وبدون شكاية من طعم أو رائحة أو إثارة للعين أو الأذن أو الجلد .
- أما مساوئ اليود كمادة معقمة فيمكن تلخيصها بما يلي :
- ١ - لنفس الظروف فإننا نحتاج إلى جرعات من اليود أكبر من الجرعات اللازمة من الكلور لكي نحصل على نفس الأثر التعقيمي .
 - ٢ - أعلى من الكلور بكثير .
 - ٣ - لم يزل أثره الفيزيولوجي عند الاستعمال المديد وخاصة على الأطفال قيد البحث.

٩- التعقيم بواسطة الكلور

٩-١ - الكلور كمادة معقمة

في الأحوال العادية فإن الكلور غاز مخرش لونه أخضر مصفر ذو كثافة تعادل (٢.٥) مرة كثافة الهواء . ويمكنه أن يوجد بشكل سائل تحت ضغط منخفض نسبياً (٣.٧ ضغط جوي) . وهو ذو قابلية مرتفعة للانحلال في الماء . كما أنه مادة معقمة ولو كان بتركيز منخفض .

إن انحلال الكلور في الماء يؤدي إلى تشكيل حمضين حمض كلور الماء وحمض الهيبوكلوري:



إن حمض كلور الماء لا يلعب دوراً في عملية التعقيم أما حمض الهيبوكلوري فهو العامل الفعال في التعقيم ويشار إليه عادة بالكلور المتوفر الحر .

٩- التعقيم بوساطة الكلور

٩-١ - الكلور كمادة معقمة

إن نسبة (50%) من حمض الهيبوكلوري تتفكك عند (PH) للماء تعادل (٧.٥) تقريباً لتعطي شاردة الهيبوكلوريت كما في المعادلة التالية :

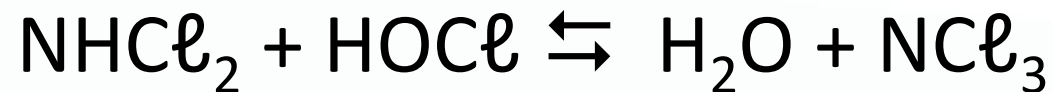
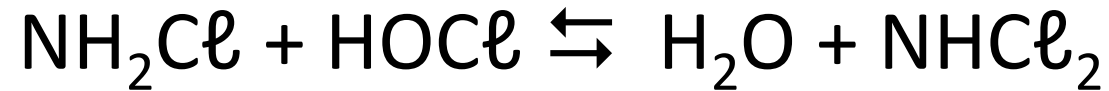
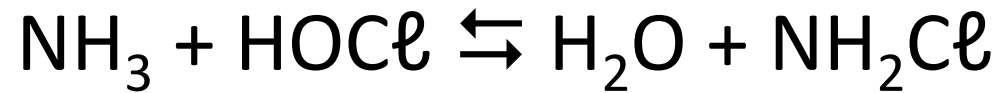


إن شاردة الهيبوكلوريت لا تلعب دوراً هاماً في عملية التعقيم ويبين الشكل (٥-١) علاقة نسبة (HOCl) إلى (OCl) في الماء عند قيم مختلفة لـ (PH) .

ولضمان تعقيم فعال يجب الحفاظ على قيمة (PH) للماء بحيث تكون نسبة (90%) من الكلور في حالة (HOCl) .
إن الكلور ينفذ بسرعة ضمن الخلايا الجرثومية ليؤكسدها كما في المعادلة :
$$\text{HOCl} \rightarrow \text{HCl} + \text{O}$$

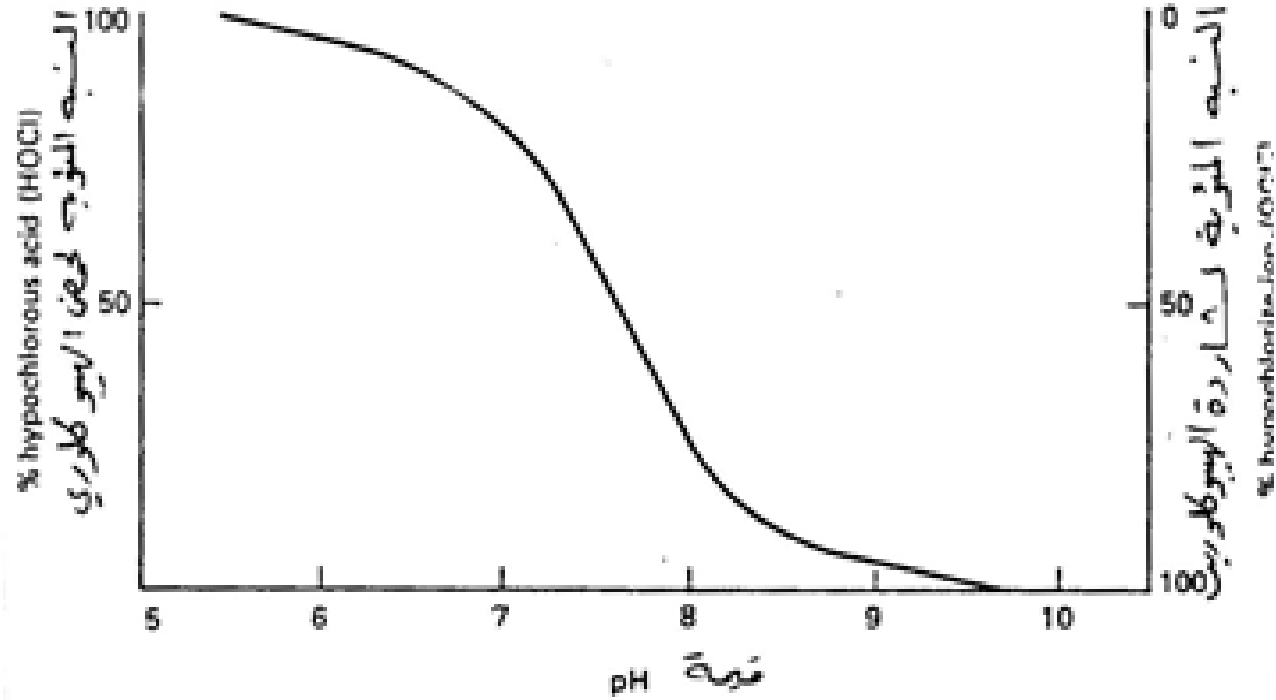
٩- التعقيم بواسطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة



٩- التعقيم بوساطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة



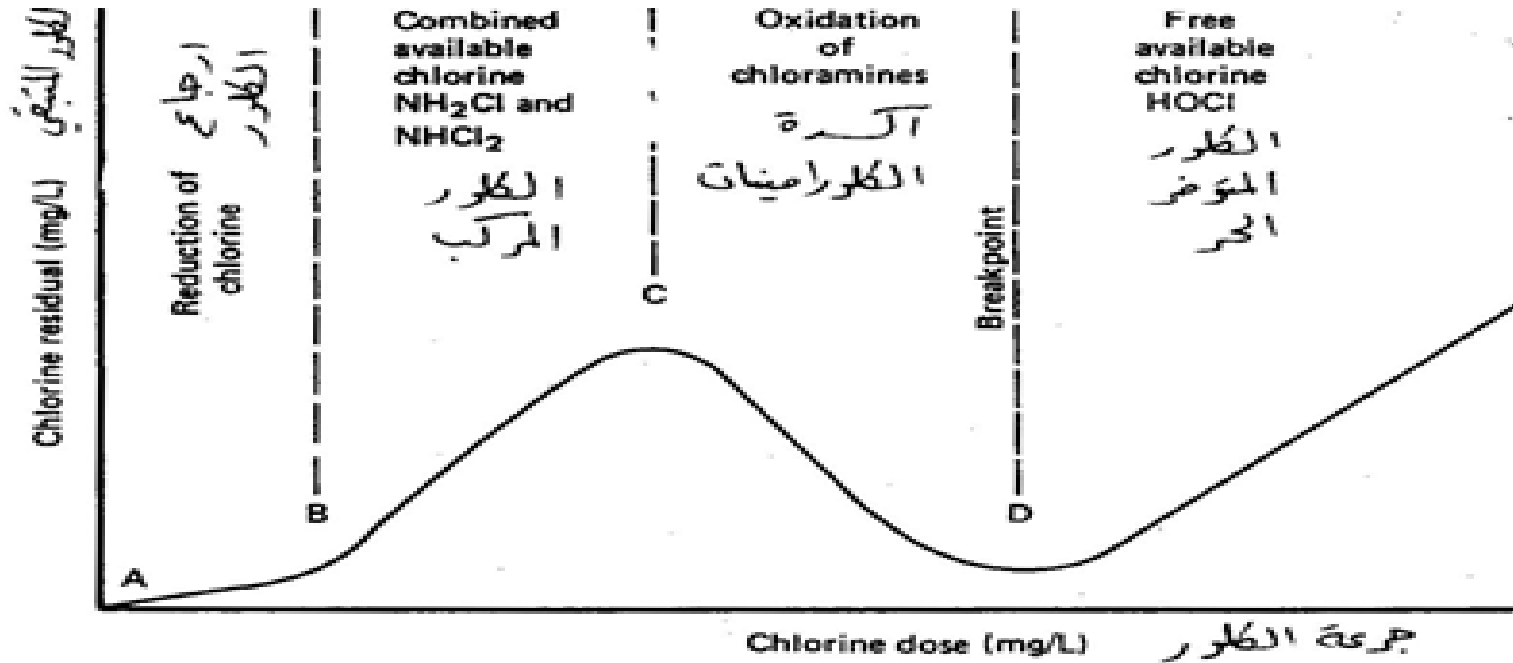
٩- التعقيم بواسطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة

بالإضافة إلى ذلك فإن الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي يمكن أن يتفاعلا ليعطيا غاز النتروجين (N_2) أو أكسيد الآزوت (N_2O) أو الاثنين معاً . وإن أي نسبة من هذه النواتج تعتمد على شروط التفاعل التي من أهمها : التراكيز ودرجة الحرارة وقيمة (PH) . نمثل على الشكل (٥-٢) العلاقة البيانية بين جرعة الكلور وكمية الكلور المتبقي في الماء وذلك بوجود مركبات النشادر .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة



٩-التعقيم بوساطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة

في المجال (AB) يتفاعل الكلور المضاف مع أية مادة موجودة في الماء قابلة للتفاعل معه ، مما يؤدي إلى نقله إلى مركبات الكلورايد (Cl^-) غير المعقمة . وتبقى كمية قليلة جداً من الكلور لعملية التعقيم . بإضافة المزيد من الكلور (كما في المجال BC) فإن الكلور سيشكل الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي بتفاعله مع الأمونيا . هذه الكلورامينات تعتبر مواد معقمة ، ولكنها ذات فعالية أقل من الكلور الحر في عملية التعقيم . وهي إذا وجدت بتركيز كبير أو أتيح لها زمن تماس طويل فإنها سوف تقضي على العضويات الممرضة .

يشار إلى الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي بالكلور المركب المتوفر . وفي هذا المجال (BC) فإن إضافة الكلور تنتج زيادة نسبية في كمية الكلور المركب المتبقي .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة

إن إضافة المزيد من الكلور فيما بعد يعطي الكلورامين الثلاثي والنتروجين وأكسيد الآزوتي ومنتجات أخرى لا تعتبر جميعها فعالة في عملية التعقيم . وهكذا فإنه في المجال (CD) فإن إضافة المزيد من الكلور تنقص كمية الكلور المتوفر للتعقيم . بعد النقطة (D) فإن أية إضافة لمزيد من الكلور سوف تظهر بشكل كلور حر متوفر (HOCl) فعال في عملية التعقيم . تدعى النقطة (D) نقطة التكسير . تبلغ كمية الكلور المطلوبة للوصول إلى نقطة التكسير عدة مرات تركيز الأمونيا في الماء .

إن التراكيز النسبية للكلور الحر والمركب المتبقيان يمكن تحديدها إما بالوسائل البسيطة لقياس اللون أو بالوسائل الآلية .

٩- التعقيم بواسطة الكلور

١ - الكلور كمادة معقمة

وتعتمد غالبية طرق التحديد هذه على السرعة الكبيرة لتفاعل الكلور الحر، الأمر الذي يعطي قراءة سريعة بينما يتفاعل الكلورامين الثنائي والأحادي (NHCl_2 و NH_2Cl) ببطء نسبياً. فمثلاً إن الكاشف (كبريتات الديامين - فنيولين - دايثيل - ب) أو كبريتات (DPD). (Diethyl-p-phenylene- diamine sulphate) يعطي لوناً أحمر بتفاعله مع الكلور الحر وإن إضافة يوديد البوتاسيوم يحدث إنتاجاً للون بوجود الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي. وقد دمجت بعض المواد مع كبريتات (DPD) لمنع التداخل مع المعادن التي تترك أثراً. وهذا الكاشف متوفر بشكل حبوب (DPD_1) لتحديد الكلور الحر المتوفر و (DPD_2) لتحديد الكلور الحر والكلورامين الأحادي (DPD_3) لتحديد الكلور الكلي.

٩-التعقيم بوساطة الكلور

١ ٢ - استعمالات الكلور

يمكن أن نستعمل كمادة معقمة غاز الكلور الذي تكون فيه المادة الفعالة هي حمض الهيبوكلوري . أو أن نستعمل كبديل مركبات الكلورامين بحيث تشكل هذه المركبات في الماء وتعمل كمواد معقمة . بالنسبة للمياه ذات النقاء المقبول وغير الحاوية على عكارة أو لون شديدين وليست عرضة لتغيرات واسعة في النوعية وخالية من المركبات الطحلبية أو الفينولية فإن كمية (٠.١ - ٠.٢) ملغ/ل من الكلور بزمان تماس قدره (٣٠) دقيقة تعطي تعقيماً جيداً عند قيمة لـ (PH) بين (٦) وبين (٧) . زمن التماس هذا يمكن تأمينه إما ضمن محطة المعالجة أو ضمن محطة المعالجة وفي الخزانات وفي شبكة التوزيع . أما إذا كانت المياه ذات نوعية أسوأ من هذا فيجب زيادة الجرعة .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٢ - استعمالات الكلور

تعتبر الكلورامينات معقمات ضعيفة وتتطلب زمناً للتماس يصل إلى ساعة ويمكن استعمالها في الحالات التي يجب فيها الحفاظ على الكلور المتبقي لمدة طويلة .

إن الكلور مؤكسد قوي قادر على أكسدة بعض المعادن الموجودة في الماء كأملح الحديد والمنغنيز مما يؤدي إلى تخفيف طعم ورائحة الماء وتحويل الحديد ثنائي التكافؤ إلى الحديد ثلاثي التكافؤ المترسب .

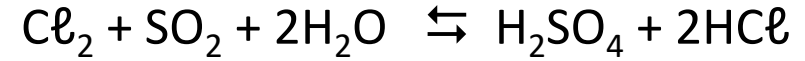
تسبب المركبات الفينولية مع الكلور مشكلة خاصة ، إذ تتفاعل الفينولات (C_6H_5OH) مع الكلور لتشكل فينولات الكلور ذات الطعم والرائحة النفاذة ، وقد يجنب استعمال الكلورامينات للتعقيم الرائحة والطعم الكلوروفينولي .

إن إضافة جرعة كبيرة من الكلور بما يعرف بالكلورة العالية تسبب أكسدة تامة للأمونيا وللكلوروفينولات مما يؤدي إلى إزالة الطعم والرائحة ، ولكن يجب الانتباه إلى إزالة الكلور المتبقي في الماء بعد هذه الأكسدة ، لأنه سيعطي الماء طعماً ورائحة واضحين وسيجعل الماء قابلاً للحت .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٢ - استعمالات الكلور

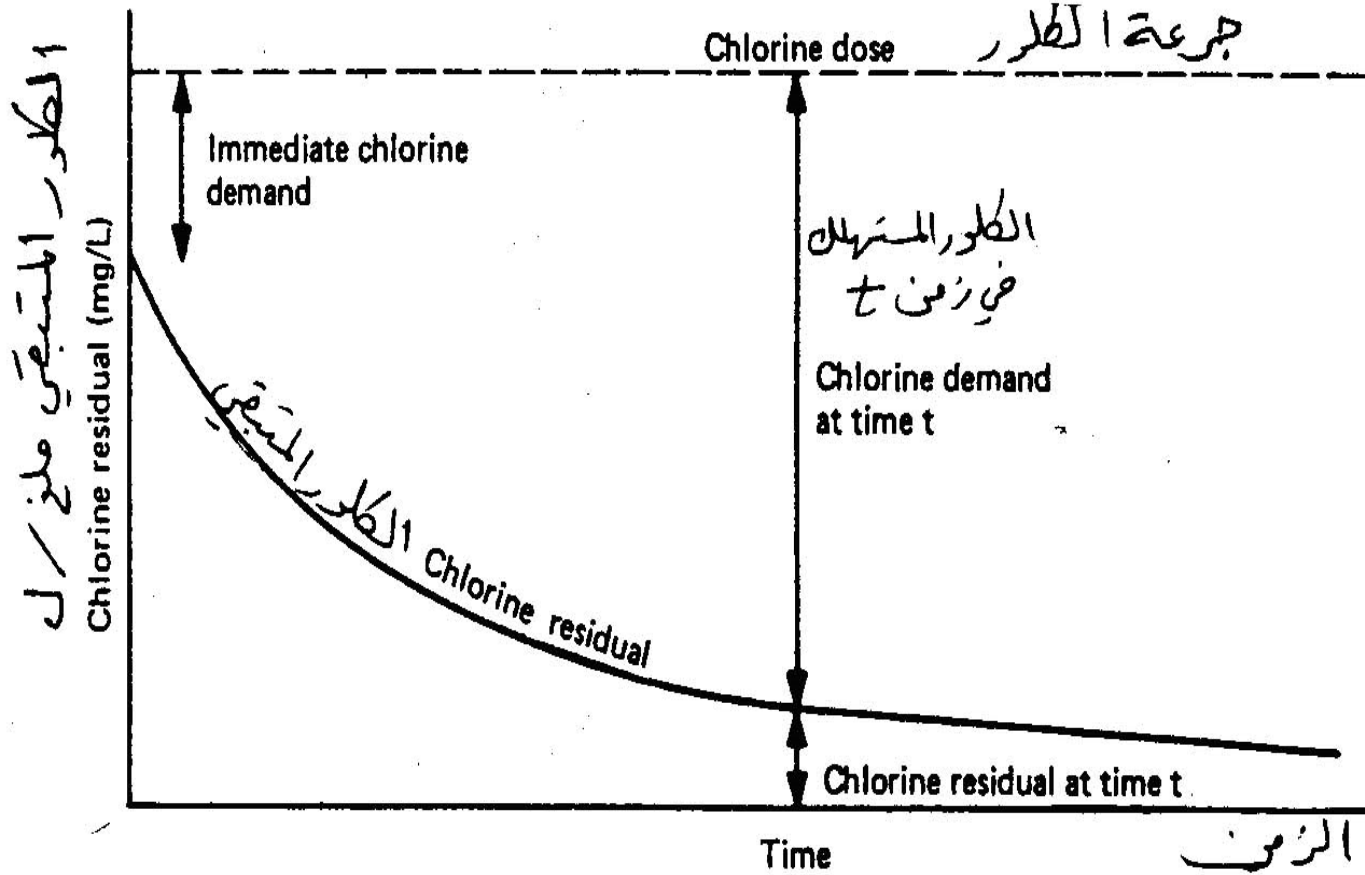
يمكن أن تتم عملية نزع الكلور باستعمال ثاني كبريتات الصوديوم أو ثاني أكسيد الكبريت أو الكربون المنشط ، وذلك لمدة تماس مقدارها ١٠ - ١٥ دقيقة كما في المثال التالي :



ويبين الشكل (٥-٣) علاقة جرعة الكلور المضافة مع كمية الكلور المتبقي في الأزمنة المختلفة وذلك أثناء عملية تعقيم اعتيادية .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٢ - استعمالات الكلور



٩-التعقيم بوساطة الكلور

٢ - استعمالات الكلور

يستعمل أيضاً غاز الكلور في عمليات معالجة مياه الشرب كمرحلة كلورة قبل عملية الترشيح في المرشحات الرملية السريعة ، مما يقلل من الحمولة البكتيرية على المرشحات ويسبب فترة تشغيل أطول بين عمليتي غسيل ، ولكن هذه الكلورة ذات محذور في المياه ذات المحتوى العالي من المواد العضوية أنها قد تشكل مع الكلور مركبات لا تزال خلال عمليات المعالجة اللاحقة مما يعطي الماء طعماً ورائحة . يستخدم الكلور كمادة معقمة بشكل واسع في أحواض السباحة وهنا تطبق الأسس العامة المذكورة أعلاه ، مع الأخذ بعين النظر النقطتان التاليتان :

- ١ - يفضل في هذه الحالة ترك كمية أكبر من الكلور المتبقي لتؤمن تعقيماً لاحقاً للماء.
- ٢ - تفضل في أحواض السباحة المكشوفة إضافة الكلور مع وافي كيميائي هو داى كلورو ايزوسيانوريت الصوديوم الذي يقلل من تفكك الكلور الكيمياضوي . كما يمكن تعقيم مياه أحواض السباحة بوساطة هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٣ - طرق إضافة الكلور

يمكن شراء الكلور على شكل هيبوكلوريت الكالسيوم الصلب أو هيبوكلوريت الصوديوم السائل أو بشكل كلور سائل متوفر في اسطوانات أو براميل . ويكون معدل إزاحة الكلور من اسطوانته تابع لدرجة الحرارة .

يتعلق ضغط بخار الكلور بدرجة الحرارة ، وحالما يتم تبخر الكلور يجب أن تعوض حرارة التبخر الكامنة وسوف تكون حرارة اسطوانة الكلور السائل أقل من حرارة الجو بسبب امتصاص الحرارة الكامنة للتبخر .

أما إذا سحب الكلور من اسطوانته بسرعة كبيرة فإنه سيحدث تجمد أو تعرق شديد بسبب التكاثرات الحاصلة . كما يجب أن نخفض معدل سحب الكلور من اسطوانته في الأجواء الرطبة جداً . وهكذا فإنه من الممكن سحب الكلور بسرعة عندما تكون حرارة الجو مرتفعة ، وببطء في درجات الحرارة المنخفضة ، فمثلاً يمكن استخدام اسطوانة كاملة خلال أربعة أيام في درجة حرارة (٢١ °م) ، بينما تحتاج إلى شهر لاستهلاكها في درجة حرارة (٢ °م) . كما يجب تجنب تكاثف الغاز في أنابيب نقله .

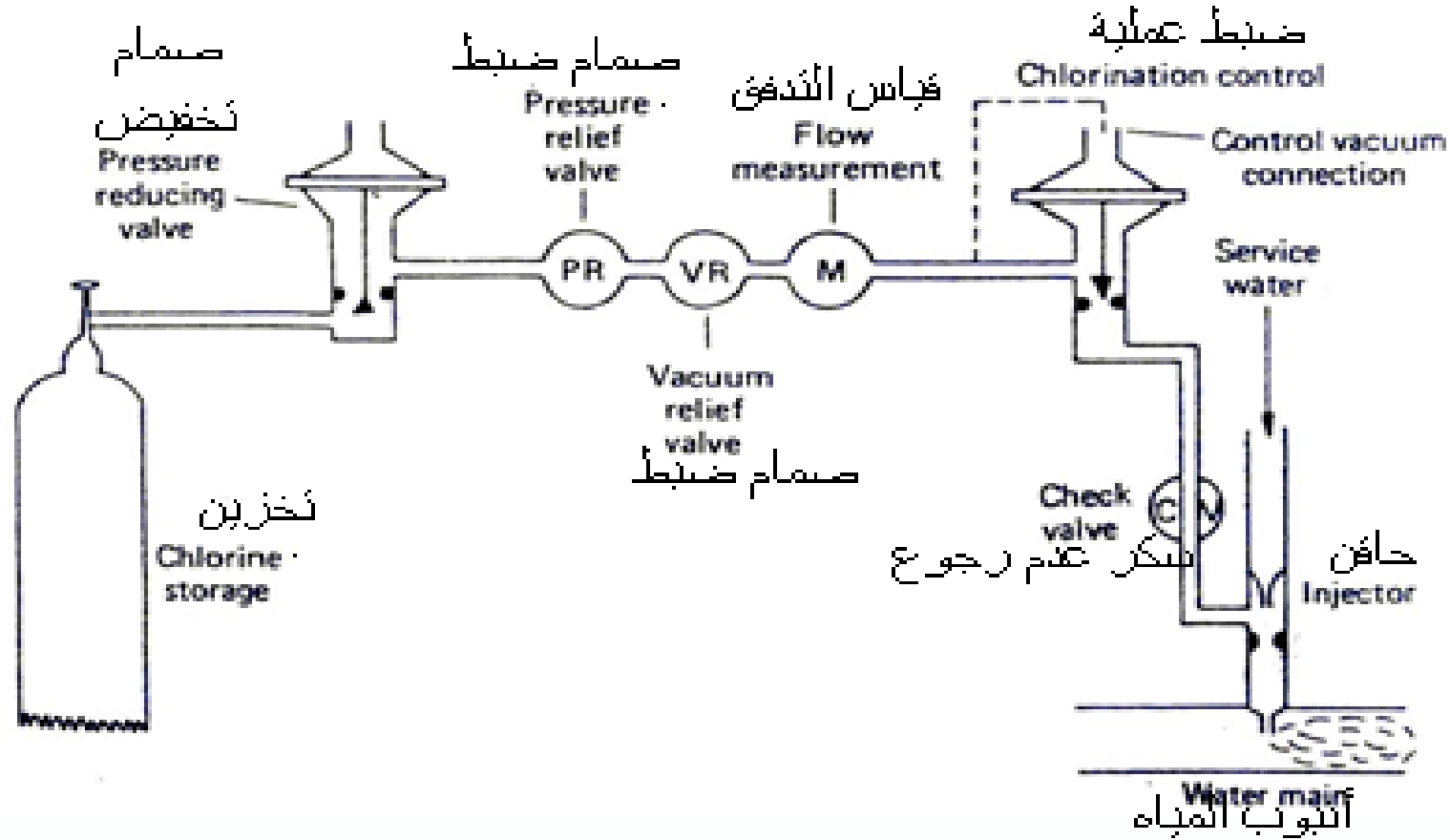
٩-التعقيم بواسطة الكلور

٣ - طرق إضافة الكلور

يحل الغاز بكمية صغيرة من التدفق المراد تعقيمه مما ينتج محلولاً قوياً من حمض الهيبوكلوري يضاف هذا المحلول بعدها إلى الماء المراد تعقيمه .
تحتاج آلية حقن الكلور إلى المياه إلى ضبط شديد ، ويكون غاز الكلور أميناً فقط عندما يتم استعماله بشكل صحيح .
يمثل الشكل (٥-٤) رسماً تخطيطياً لجهاز الكلورة الذي يتضمن صماماً لخفض الضغط وصمامين لتغيير الضغط والانفراغ ومقياساً للتدفق ووصلة لضبط الانفراغ وصماماً للضبط

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٣ - طرق إضافة الكلور



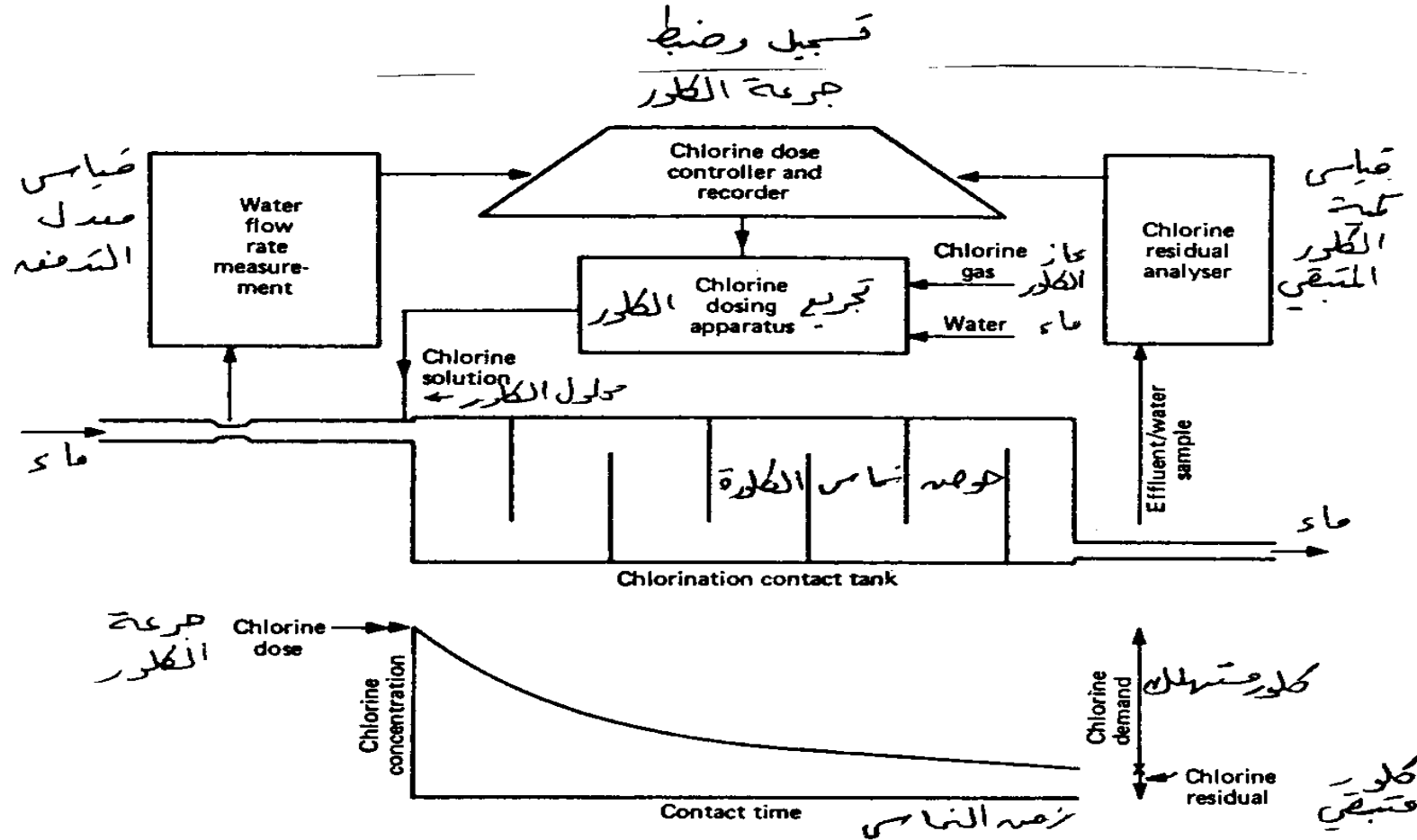
٩-التعقيم بوساطة الكلور

٣ - طرق إضافة الكلور

إن الانحلال الكبير للكلور في الماء مع التصميم الهيدروليكي لجهاز الحقن يضمنان سحباً للكلور إلى الماء في جو مفرغ ، مما يقلل إمكانية تحرر الكلور إلى الجو فيما إذا حدث تسرب في الجهاز يمكن أن يعطى محلول حمض الهيبوكلوري إلى الماء المراد تعقيمه عند نقطة اضطراب في الأنبوب الرئيسي يصل رقم رينولد فيها إلى /٤٠٠٠/ أو أكثر ، أو عند اجتياز الماء لهدار مغمور . والشكل (٥-٥) يبين تخطيطاً لعملية الكلورة .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

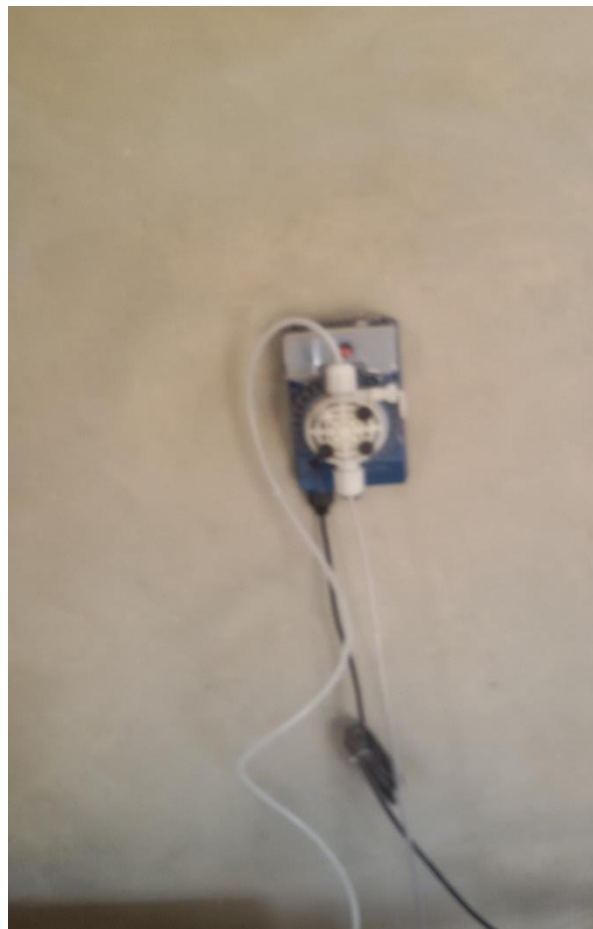
٣ - طرق إضافة الكلور



٩-التعقيم بوساطة الكلور

٤ – محسنات ومساوىء الكلور

ينتج الكلور عادة خلال عملية تصنيع هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) من كلور الصوديوم (الملح العادي أو الصخري) وبما أن هيدروكسيد الصوديوم منتج كيميائي صناعي هام ينتج بكميات كبيرة ، فإن الإنتاج الواسع النطاق للكلور والمتعلق به يجعله مادة معقمة رخيصة الثمن نسبياً . هذا بالإضافة إلى أنه مادة معقمة قوية حتى في التراكيز المنخفضة وهو قادر على القضاء على العضويات الممرضة بدون أن يؤثر عكسياً على استخدام المياه . ومع ذلك فهناك بعض المساوىء لاستخدامه فتفاعله مع المركبات الفينولية يؤدي إلى طعم سيء للماء .





التعقيم بواسطة الكلور

٤ – محسنات ومساويء الكلور

إن كلاً من الكلور الحر والكلورامينات تؤثر بشكل طفيف على بعض الحيوانات الراقية وبشكل ملحوظ على الأسماك ، الأمر الذي يشكل خطراً في الوسط الحيوي لعالم الأسماك .

أيضاً فقد تبين أن الكلور قد ينتج مركبات الهالوميتان الثلاثي مثل الكلوروفورم (CHCl_3) وذلك بتفاعله مع بعض المواد العضوية طبيعية المنشأة مثل الحموض الدبالية (humic acids) أو ذات المنشأ البشري . كما أن الكلور لم يبد تأثيراً ملحوظاً في إزالة مقومات أنواع معينة من طعم ورائحة ولون الماء .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٥ - تشكل الهالوميتان الثلاثي

كما هو مبين في الشكل (٥-٢) فإنه عندما يضاف الكلور إلى الماء يتفاعل مع المركبات العضوية المنحلة ليشكل تنوعاً من مركبات الكلور العضوية وكما هو مشار أعلاه فإن مركبات الهالوجين العضوي هي مركبات خطيرة على العضويات الحية وما هو الأهم بالنسبة إلى عملية تعقيم مياه الشرب بوساطة الكلور فهي الهالوميتانات الثلاثية ، التي تتشكل من التفاعل بين الكلور الحر وبين المواد الدبالية التي تتواجد في الماء بشكل طبيعي . هذه الهالوميتانات الثلاثية هي ذات صيغة عامة (CHX_3) حيث (X) يمكن أن تكون إما (Cl) أو (Br) أو (I) . والأهم من هذه المركبات في مياه الشرب هو الكلوروفورم $(CHCl_3)$ لأنه يعتقد أنه مسبب للسرطان . إن الصيغ البرومينية من هذه المركبات تشمل ديكلوروبروموميثان $CHCl_2Br$ (dichlorobromomethane) وديبروموكلوروميثان $CHClBr_2$ (dibromochloromethane) وبروموفورم $CHBr_3$ (Bromoform) .

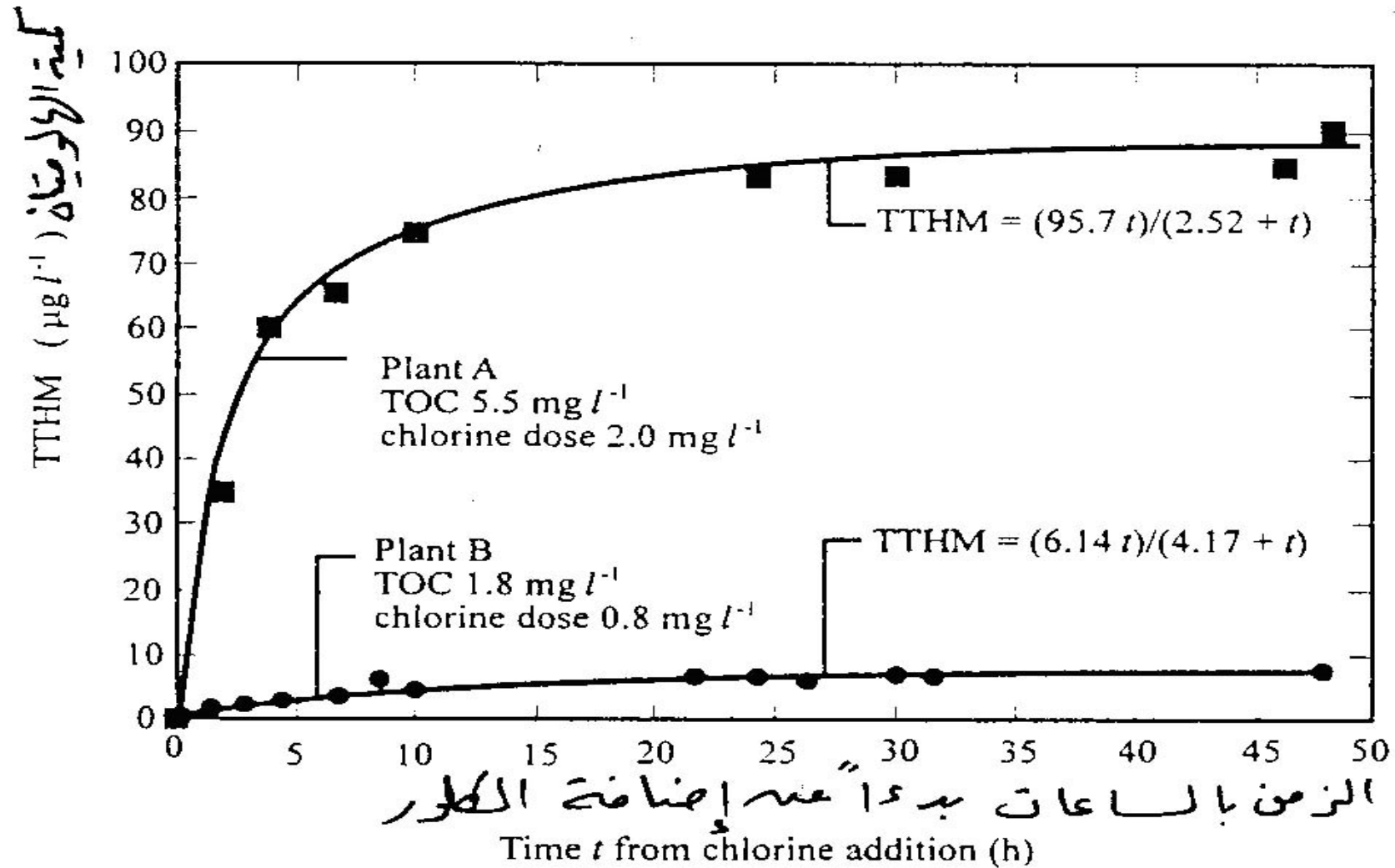
التعقيم بوساطة الكلور

٥ - تشكل الهالوميتان الثلاثي

إن التركيز الكلي للهالوميتانات الثلاثية في مياه الشرب المكلورة هو تابع لتركيز المادة العضوية في الماء ، كما هو مبين في الشكل (٥-٧) حيث يبين المنحني (A) تطور الهالوميتانات الثلاثية مع الزمن لمنشأة تحتوي مياهها على كمية كربون عضوي كلي مقداره (5.5 mg/L) واحتاجت لتعقيمها إلى جرعة كلور مقدارها (2 mg/L) . ويبين المنحني (B) تطور كمية الهالوميتانات الثلاثية بواحدات (mg/L) مع الزمن لمنشأة تحتوي مياهها على كمية من الكربون العضوي مقداره (1.8 mg/L) واحتاجت هذه المياه إلى جرعة كلور مقدارها (0.8 mg/L) .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٥ - تشكل الهالوميثان الثلاثي



٩-التعقيم بوساطة الكلور

٦ -إجراءات الأمان الواجب اتخاذها عند استعمال الكلور للتعقيم

- إن غاز الكلور هو مؤكسد قوي وسام وبالتالي فإنه يجب تأمين تهوية انفراغية مناسبة عند مستوى الأرض في قسم اسطوانات وجهاز الكلورة لأن الكلور أثقل من الهواء ونظام التهوية يجب أن يكون قابلاً لتغيير الهواء مرة كل دقيقة واحدة . ويفضل تزويد الموقع بجهاز لغسيل الغاز وذلك لحل الكلور المتسرب في حالات الطوارئ.

٢ - يجب أن يتم عزل غرف المعدات الخاصة بالكلور وغرف حفظ اسطواناته عن سائر محطة المعالجة بحيث يمكن الوصول إلى هذه الغرف عبر أبواب خارجية فقط ويجب أن تزود بنافذة زجاجية ثابتة يمكن الرؤية عبرها . كما يجب أن يوضع في مداخل هذا القسم مراوح محكمة . ويوضع في جوار هذه المداخل أقنعة واقية بشكل يسهل الوصول إليها عند الحاجة .

٩-التعقيم بواسطة الكلور

٧ - المشاكل التي يمكن أن تصادف أثناء عملية الكلورة

ويبين الجدول (٥-٢) بعض المشاكل التي يمكن أن تحصل أثناء عملية الكلورة مع أسبابها والإجراءات التي يمكن اتخاذها لتلافي هذه المشاكل .

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٧ - المشاكل التي يمكن أن تصادف أثناء عملية الكلورة

المشكلة	السبب	الحل
فقدان ضغط غاز الكلور في المكور	نفاذ الكلور انسداد صمام إنخفاض الضغط	الانتقال إلى اسطوانة كلور أخرى ملأنة تنظيف المرشح وإصلاح صمام إنخفاض الضغط
انخفاض ضغط غاز الكلور في المكور	عدد الاسطوانات الموصولة إلى الخدمة قليل	يجب ربط عدد كاف من الاسطوانات بحيث لا يزيد معدل التغذية على معدل السحب المسموح تبعاً لدرجة الحرارة
تسرب غاز الكلور	عائق بين الاسطوانات والمكورات	أزل العائق (قد يكون جليداً متراكماً) ونظف واصلح .
مناطق باردة أو متجمدة في منظومة التغذية	أسباب مختلفة	تحديد مكان التسرب بوساطة قارورة أمونيا حيث تتشكل غيمة بيضاء عند موقع التسرب ثم تصليح سبب التسرب ، ويجب لبس تجهيزات الوقاية الشخصية أثناء ذلك تقليل معدل السحب أو إدخال اسطوانات كلور إضافية في الخدمة

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٧ - المشاكل التي يمكن أن تصادف أثناء عملية الكلورة

تركيب مسخن جديد	تعطل المسخن	حرارة منخفضة على المبخر
إصلاح المبخر أو إدخال مكثور آخر في الخدمة.	تعطل المبخر أو قلة استطاعته	ضباب حول المبخر
زيادة الضغط بإضافة اسطوانات جديدة في الخدمة أو استبدال الاسطوانة الفارغة في الخدمة إلى أخرى جديدة .	ضغط غير كاف للكلور	عدم الحصول على أقصى تغذية ممكنة من المكثور
تنظيف الحاقن .	انسداد حاقن الماء	
فصل صمام تخفيف الانفراغ وإعادة ضبط كافة النوابض .	تسرب في صمام تخفيف الانفراغ	
إصلاح التسربات حسب الحالة .	تسربات في منظومة المكثور	
إصلاح منظومة الحاقن .	حاقن معطل	
إزالة العوائق .	عوائق في التغذية	
تركيب فوهة مناسبة	فوهة غير مناسبة	
نظف الحاقن أو عدل فوهته .	حاقن عليا أو ساخ أو وجود عائق في الجريان	قراءة منخفضة لانفراغ الحاقن
أغلق العنق أو افتح العنق أو زد تغذية الماء إلى الحاقن .	ضغط منخفض أو ضغط عالي أو ضغط سالب	

٩-التعقيم بوساطة الكلور

٧ – المشاكل التي يمكن أن تصادف أثناء عملية الكلورة

وصلات غير كتيمة	اهتراء طوق الكتامة	تركيب حلقة كتامة جديدة
مكلور لا يضبط معدلات التغذية المنخفضة	عطل في صمام تخفيف ضغط الكلور	تنظيف أنبويه صمام تخفيف الضغط والوصلات .
	ازدياد الطلب على الكلور	تحسين المعالجة السابقة أو/و زيادة عيار الكلور
زيادة في مستوى العصيات الجرثومية أو انخفاض كمية الكلور المتبقي في المياه المكلورة	مزج غير تام في خزان التماس	وضع حواجز في خزان التماس أو إضافة خلاطات
	تراكم المواد الصلبة في خزان التماس	إيقاف استخدام الخزان وتنظيفه
	دوامات في الجريان في خزان التماس	تحقيق جريان منتظم ومستقر في خزان التماس مع الكلور
	نافث مسدود	تنظيف النافث
زيادة كمية الكلور المتبقي في المياه المكلورة	تناقص الطلب على الكلور أو زيادة جرعة الكلور عن الحد اللازم	تخفيف كمية الكلور المضاف .

١٠-التعقيم بوساطة ثاني أكسيد الكلور Chlorine dioxide

إن ثاني أكسيد الكلور (ClO_2) هو غاز غير مستقر يمكن توليده بإضافة حمض أو كلور إلى كلوريت الصوديوم .
فمثلاً مع كمية زائدة من الكلور عند قيمة لـ ($\text{PH} > 5$) :

$\text{Cl}_2 + 2\text{NaClO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NaCl} + 2\text{ClO}_2$ يعطي ثاني أكسيد الكلور في الماء حمضين غير
مستقرين هما الحمض الكلوري الثنائي والحمض الكلوري الثلاثي (Chlorous acid , Chloric acid) . هذان
الحمضان يعملان كمادتين معقمتين :

$2\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO}_2 + \text{HClO}_3$ إن ثاني أكسيد الكلور غاز شديد الفعالية ويتطلب
تداوله الآمن اتخاذ الحذر الشديد . وبسبب عدم استقراره يجب توليده في الموقع واستعماله فوراً .

١٠-التعقيم بوساطة ثاني أكسيد الكلور Chlorine dioxide

وبالرغم من أن ثاني أكسيد الكلور مكلف في استخدامه كمادة معقمة ، إلا أن خصائصه القوية في الأكسدة تجعله ذا قيمة كبيرة في السيطرة على الطعم والرائحة واللون والحديد والمنغنيز . كما أن ثاني أكسيد الكلور لا يتأثر بمركبات الأمونيا فهو يؤكسدها ليعطي نواتج لا طعم لها وليشكل باق مستمر في شبكة التوزيع . وحتى الآن فإن ثاني أكسيد الكلور يستخدم على نطاق واسع في الولايات المتحدة .

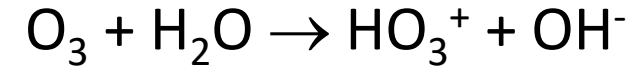
١١ -التعقيم بوساطة – الاوزون (Ozone) :

الاوزون هو مؤكسد قوي يستعمل لتعقيم مياه الشرب ولأغراض أخرى كما أنه فعال في إزالة مكونات الطعم والرائحة واللون والحديد والمنغنيز من الماء وهو أيضاً يقلل من المحتوى العضوي للماء وبالتالي يمنع نمو أشكال الحياة الدنيا في الماء . وبشكل عام فإن الاوزون هو غاز أزرق اللون ذو رائحة مميزة يتكون من ثلاث ذرات اكسجين مرتبطة ببعضها (O_3) وهو غاز مخرش لاذع يزعج الأنف والعيون والحنجرة ، وهو سام في التراكيز المنخفضة ، كما أن طبيعته المسببة للتآكل تعني إمكانية تداوله فقط باستعمال الفولاذ غير القابل للصدأ (ستانلس ستيل) والكلورايد الفينيلي متعدد الجزيئات (Polyvinyl Chloride) ، وهو غاز قليل الانحلال في الماء وغير مستقر يتفكك ليعطي جزيء الاكسجين (O_2) وإن انحلاله القليل وعدم استقراره يقتضيان توليده في الموقع وتقديمه على شكل فقاعات دقيقة وإن فترة تماس مع الماء تصل إلى (5- 10 min) تكون كافية عادة للقضاء على العضويات الممرضة .

١١ - التعقيم بوساطة - الأوزون (Ozone) :

إن انحلال الأوزون في الماء يتم حسب المعادلات الآتية :

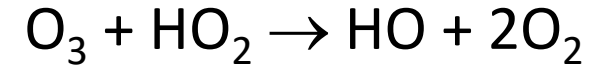
(٢٠ - ٥)



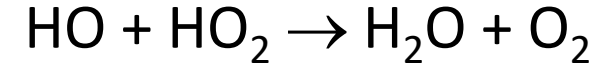
(٢١ - ٥)



(٢٢ - ٥)



(٢٣ - ٥)



إن الجذور الحرة (HO_2) و (HO) تملك قوة مؤكسدة كبيرة ومن المحتمل أن تكون هي الأشكال الفعالة في عملية التعقيم . وأيضاً هذه الجذور الحرة تملك القوة المؤكسدة الكافية للتفاعل مع الشوائب الأخرى الموجودة في الماء مثل أملاح المعادن والمواد العضوية .

١٢ - التعقيم بوساطة الأشعة فوق البنفسجية : (Ultraviolet radiation)

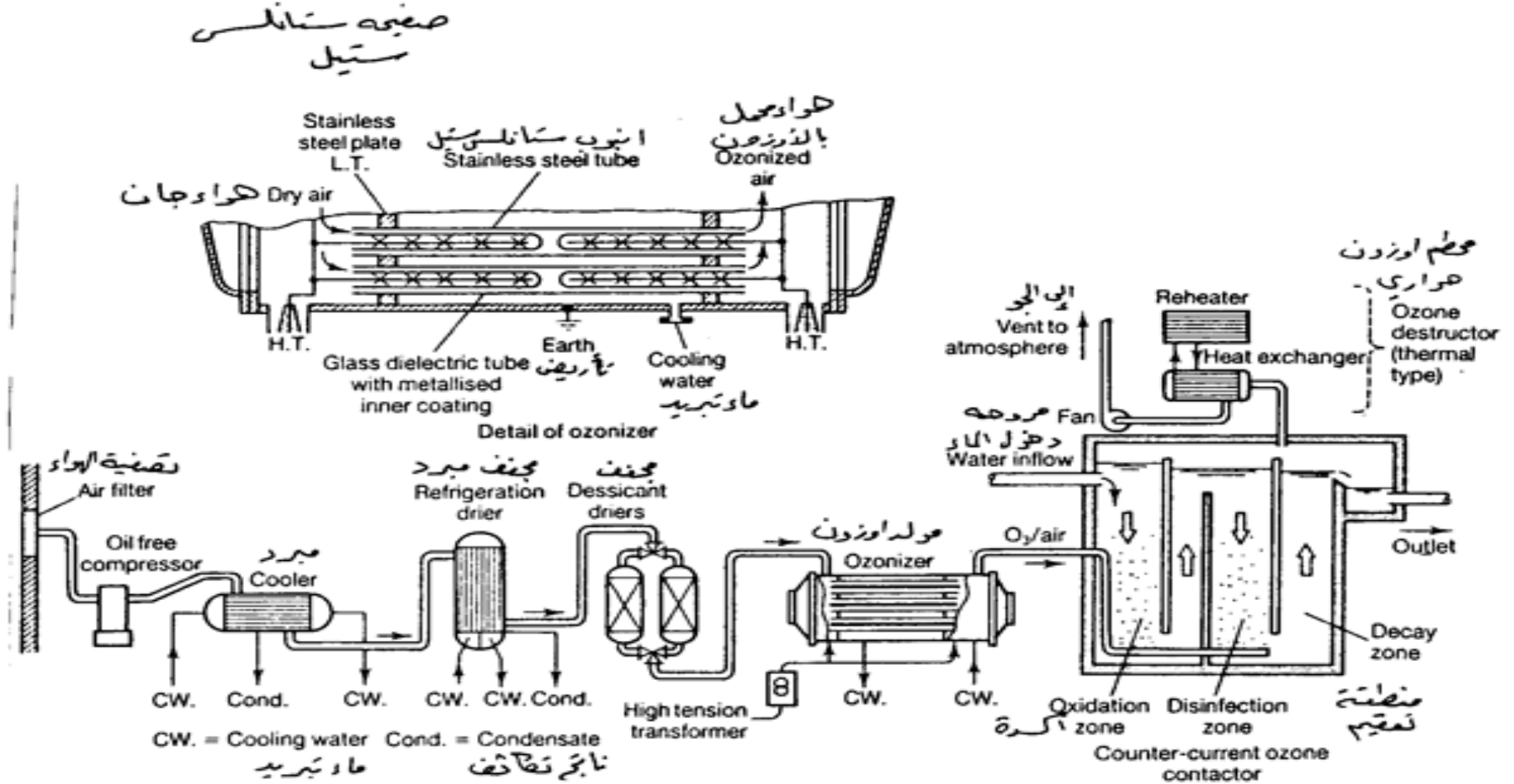
تقتل الأشعة فوق البنفسجية الخلايا النامية وأبواغ العضويات الدقيقة وهي أيضا مميتة للفيروسات ويتم هذا الأمر بتعريض طبقة رقيقة (12سم) من المياه للأشعة فوق البنفسجية . تختلف قابلية الأشعة فوق البنفسجية للتعقيم مع طولها الموجي وتمتد قابليتها للتعقيم بين الطول الموجي (200 nm وبين الطول الموجي (295 nm ويكون تأثيرها أعظمياً عند الطول الموجي (٢٥٤ nm) وإن معدل إبادة العضويات الدقيقة يتبع علاقة تشيك ويكون عامل الإبادة تابع لشدة الإشعاع .

حيث : $k = k' \ln$ k' هو ثابت .

ا هو شدة الإشعاع

n هو عامل يقارب الواحد في قيمته .

١٢-التعقيم بواسطة الأشعة فوق البنفسجية : (Ultraviolet radiation)



١٢ -التعقيم بوساطة الأشعة فوق البنفسجية : (Ultraviolet radiation)

من مميزات هذه الطريقة للتعقيم ما يلي :

- ١ - لا تدخل مواد غريبة إلى الماء ويبقى تركيبه الفيزيائي والكيميائي ثابتاً إلى حد ما .
- ٢ - لا تتدخل المواد المنحلة في الماء مثل الأمونيوم في عملية التعقيم .
- ٣ - لا تنتج الأشعة فوق البنفسجية طعماً ولا رائحة (وهي أيضاً لا تزيل الطعم والرائحة إن وجدا)
- ٤ - الاكتفاء بزمان قليل للتعرض للأشعة ولا نحتاج إلى حوض تماس .
- ٥ - زيادة الجرعة لا يؤدي إلى أثر مؤذي .

أما مساوئ هذه الطريقة فنتلخص بالنقاط التالية :

- ١ - تحتاج هذه الطريقة إلى المراقبة الدائمة لضمان عدم التوقف المفاجيء لمولد الأشعة عن العمل .
- ٢ - يجب أن لا تحتوي المياه المراد تعقيمها على مواد عالقة أكثر من (١٥) ملغ/ل لكي لا تمنع هذه المواد تعرض الجراثيم للأشعة .
- ٣ - لا تحتفظ المياه بالأثر التعقيمي لمدة طويلة لذلك تحتاج إلى جرعات من الكلور كعامل أمان للمنشآت الكبيرة .
- ٤ - تتطلب تجهيزات غالية وتيار كهربائي غالي أيضاً .
- ٥ - تكون الفيروسات والكييسات والأبواغ أقل تأثراً بهذه الأشعة .

١٣ - التعقيم بوساطة عمليات الفصل

يمكن إزالة العضويات الدقيقة في بعض الأحيان بالترشيح باستعمال مرشحات دقيقة جداً . كما يمكن إزالة العضويات الدقيقة من السائل أيضاً بتطبيق قوى نابذة كبيرة . كما أن إنقاصاً هاماً للمحتوى الجرثومي يمكن أن نصل إليه من العمليات التي يكون هدفها الأساسي هو إزالة المواد العالقة والمواد العضوية الخشنة ، مثل المصافي الخشنة والمصافي الناعمة وأحواض إزالة الرمال والمرسبات البسيطة والمرشحات البطيئة والخشنة، كما أن الترسيب بالترويب يترافق مع إنقاص هام للمحتوى الجرثومي للماء.

المراجع العربية

- ١- م عفش رزان، د حجار سلوى ، إزالة النترات من المياه الجوفية بالطريقة البيولوجية في مفاعل RBC ، رسالة ماجستير جامعة حلب ، ٢٠١١ .
- ١- د حجار سلوى ، معالجة مياه الشرب ، منشورات جامعة حلب ٢٠٠٦ .
- ٢ - د حجار سلوى ، الهندسة الصحية ، منشورات جامعة حلب ١٩٨٧ .
- ٣ - د. حجار سلوى ، معالجة مياه الشرب والمياه الصناعية ، منشورات جامعة حلب ١٩٨٥ .
- ٤ - د. أحمد فيصل أصفري " إرشادات في تصميم وتشغيل وصيانة محطات معالجة المياه العادمة " منظمة الصحة العالمية، عمان، الاردن ٢٠٠٤ .

المراجع الأجنبية

- 1-John W.Clark , Warren Viessman . Jr, Mark J.Hammer “ Water Supply and Pollution Control “ . Harper and Row Publishers . Inc 5 th .ED . 1993 .
- 2- Bablitt H.E. et al , Water Supply Engineering , Mc Graw Hill – 1962 .
- 3-A. C. Twort , E.C. Hoather , E.M. Law . Water Supply 4 th Eddition 1994 .
- 4-T.J.Casey “ Unit Treatment Processes in Water and Wastewater Engineering “ John Wiley & Sons 1997 .