التعقيم Disinfection

خواص المعقم الجيد :

1- له القابلية على تحطيم كل انواع الاحياء المرضية الموجودة في الماء .
2- له القابلية على انجاز التطهير ضمن الوقت المتوفر .
3- له القابلية على انجاز التطهير ضمن تبدلات التراكيب والتركيز وحالات الماء المعالج.
4- له القابلية على التطهير بدقة وبأمان وبسعر مناسب.
5- له القابلية على توفير حماية متبقية .

العوامل المؤثرة على كفاءة التعقيم

1- تركيز الجرعة Dosage
2- زمن التلامس . Contact time
3- مقدار عكورة الماء. Turbidity
4- وجود مواد اخرى تتفاعل مع الكلور.
5- قيمة الدالة الحامضية. pH
6- درجة حرارة الماء Temperature
7- نوع الاحياء المجهرية المتواجدة .Organism

النواتج العرضية التي تبرز من عملية التعقيم بالمواد الكيمائية وكما يلي :

1- تراي هالو ميثات Tri Halo Methanes THM اعظم تركيز مسموح به 0.08 mg/l
2- هالواسيتك اسيد Halo Acidic Acid HHA اعظم تركيز مسموح به 0.06 mg/l
3- الكلوروفورم $CHCl_4$ من تفاعل الكلور مع المواد العضوية
4- ثالث اوكسيد الكلور ClO_3 وينتج من تفاعل ثاني اوكسيد الكلور في الماء

أعظم تركيز متبقي مسموح للمعقمات

أعظم تركيز للاوزون 0.01 mg/l
اظم تركيز لثاني اوكسيد الكلور 0.8-1.0 mg/l
أعظم تركيز للكلور المتبقي 4 mg/l
اعظم تركيز للكلورامين 4mg/l

انواع التعقيم

اولا :التعقيم بالتسخين Heat treatment

كفاءة التسخين تحتاج الى عاملين هما : الزمن ودرجة الحرارة ، 161 فهرنهايت لمدة 15 دقيقة أو 145 فهرنهايت لمدة 30 دقيقة .

بشكل عام يتحقق التعقيم عن طريق غلي الماء لمدة 15 دقيقة لقتل الاحياء المجهرية المقاومة للحرارة .

محاسن التعقيم بالتسخين :

1- ذو كفاءة عالية بالتعقيم.

2- لا يوجد تأثيرات متبقية.

مساوئ التعقيم بالتسخين

1- مكلفة .

2- صعبة التنفيذ بكميات كبيرة من الماء المعالج.

ثانيا :المعالجة الكيميائية بإضافة الكلور Chlorination treatment

تصنف الكلورة الى ثلاثة اصناف وكما يلي :

- الكلورة البسيطة : وهي كلورة الماء الخام بدون معالجة اخرى وخاصة المياه الجوفية.
- الكلورة المسبقة (الابتدائية) Pre chlorination في الانبوب المؤدي الى حوض المزج السريع لتقليل نسبة الشب ولتحسين عملية التخثير والتلبيد وتزيد من كفاءة التعقيم
- الكلورة النهائية Post chlorination تضاف في حوض خزان الماء الصافي بعد ان تخرج من المرشحات ويجب ان تعطى فترة تماس نصف ساعة على الاقل .

تصميم أحواض تماس الكلور:

الغاية من احواض تماس الكلور هي لإعطاء زمن كاف لتماس الكلور مع البكتيريا لغرض قتلها ومن العوامل المهمة في عملية التعقيم الجيد هو عملية الخلط وجرعة الكلور وزمن التماس .احواض التماس غالبا تصمم بحيث يكون طولها 4 مرات بقدر عرضها لكي يتحقق جريان كتلي Plug flow حيث تعطي اطول فترة تماس ، وفي بعض الاحيان يتم وضع كابحات قرب مدخل الحوض والتي تعمل على خلق دوامات والتيارات القصيرة لزيادة فترة التماس.

نسب الازالة:

غالبا يتم التعبير عن نسب الازالة للكائنات المرضية باسلوب لوغاريتمي وكما يلي :

90% removal = Log1
99% removal = log2
99.9% removal = Log3
99.99% removal = Log4
And so on

نسب الإزالة المتحققة لكل نوع من المعالجة للمياه السطحية:

Treatment	Giardia	Viruses
Conventional treatment	Log 2.0=99%	2.0
Direct filtration	Log 2.0=99%	1.0
Slow sand filter	Log 2.0 =99%	2.0
Membrane process uses ultra filtration	Log 3=99.9%	3.0

اقطار الكائنات الحية الممرضة والمنقولة بالماء

Size (µm)	الكائنات المرضية
0.01-0. 1	فيروسات
0.1-5	بكتريا
5-10	طحالب
10-25	بروتوزوا

أشكال التعقيم بالكلور

تفاعلات غاز الكلور في الماء بدون او مع وجود مواد اخرى يكون على ثلاثة أنواع وكما يلي :

A- التعقيم بغاز الكلور Chlorine (Cl_2) disinfection

فوائد التعقيم الكلور :

عند اضافة غاز الكلور مع الماء سوف ينتج الهيبوكلوروز HOCL والذي يتأين بدوره الى ايون الهيبوكلورايت OCL علما ان درجة التعقيم تعتمد على الهايبوكلوروز يكون فعال بنسبة 80 % بينما الهايبوكلوريات يعقم بنسبة 20 % فقط .

$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCL + HC$ pH > 5

$HOCL \longrightarrow H^+ + OCL^-$ pH<8

ملاحظة 1 : يدعى كل من HOCL , OCL بالكلور المتوفر الطليق (Free available chlorine)

ملاحظة 2 : طلب الكلور = كمية الكلور المضاف – كمية الكلور المتبقي بعد فترة زمنية

محاسن التعقيم بالكلور

1. مؤكسد قوي Strong oxidant حيث انه يعمل على ازالة الحديد والمنغنيز والفضة بالإضافة الى دوره في عملية التعقيم .
2. اسلوب تغذية سهلة Simple feeding.
3. ذات تأثير متبقي لفترة طويلة نوعا ما Persistent residual .
4. ينتج غاز الكلور الحر كناتج عرضي في حالة زيادة الجرعة Chlorine by product

مساوئ التعقيم بالكلور

1. تفاعل الكلور مع المركبات العضوية منتجة الكلوروفورم $CHCl_3$ وهي مادة مسرطنة وخطرة على الصحة ، وكذلك يتفاعل مع الهالوجينات فينتج كل من كل من تراي هالة ميثان THM ، وكذلك هالواسيتك اسيدHHA .
2. يعمل ضمن مدى ضيق من الدالة الحامضية لان كل من الهايبوكبلوروز والهايبكلورات يعملان بدالة حامضية مختلفة ..
3. يتفاعل الكلور مع الفينولات وتنتج الفينولات الاحادية والثنائية والثلاثية والتي تضفي طعم ورائحة لاذعة للماء .

جدول يبين اقل تركيز للكلور المتبقي لمياه الشرب

pH	اقل تركيز للكلور المتبقي (ملغم/لتر)
6-7	0.2
7-8	0.2
8-9	0.4
9-10	0.8
10-11	More than 0.8

ملاحظة : كمية الكلور المطلوب اضافتها = جرعة الكلور * كمية الماء

مثال : ما هي كمية الكلور المطلوب اضافتها تكفي لتطهير 20,000 متر مكعب /ساعة بجرعة. تركيزها 5غم/م^3 ؟

Solution ; (20,000)(m^3/hr)*(5/1000) (kg/m^3)=100 kg/hr

B- التعقيم بالكلورواميناتChloramines disinfection

يتم اضافة غاز الأمونيا بالإضافة الى غاز الكلور ويعتمد مبدأ عمله على تعطيل انزيمات البكتريا والفيروسات . غالبا يتم اللجوء الى التعقيم بالكلورواميناتللتخلص من النواتج الغير مرغوب بها من اضافة الكلور لوحده .

تفاعلات غاز الكلور مع الأمونيا في الماء في انتاج الكلورواميناتوكما يلي :

1- تفاعل غاز الكلور مع الماء ينتج ايون الهيبوكلوروز HOCL.
2- تفاعل ايون الهيبوكلوروز مع النترات NH_3 ينتج الكلورامين الاحادي NH_2CL (وهي مادة معقمة) .
3- تفاعل NH_3 مع ايون الهيبوكلوروز فينتج الكلور امين الثنائي $NHCL_2$ (وهي مادة معقمة ايضا) وماء.
4- تفاعل NH_3 مع HOCL فينتج الكلور امين الثلاثي NCl_3 (وهو ليس معقم) وانما مادة متطايرة .

ايون الهايبوكلوروز Cl_2+H_2---------- HOCL +HCL

الكلورامين الاحادي NH_3+HOCL----------NH_2Cl $+H_2O$

الكلورامين الثنائي NH_2Cl +HOCL ----------$NHCL_2$ $+H_2O$

الكلورامين الثلاثي $NHCL_2$+HOCL ----------NCL_3 $+CL_3$

علما ان هذه التفاعلات تعتمد على قيمة الدالة الحامضية للماء pH

محاسن التعقيم بالكلوروامينات

1- لا يوجد تكوين للتراي هالو ميثان No THM formation

2- تغدية بسيطة Simple feeding

3- ذات تأثير متبقي لفترة طويلة Persistent residual

مساوئ التعقيم بالكلوروامينات

1- مؤكسد ضعيف Week oxidant وغالبا يستخدم مع باقي المعقمات وغالبا يتم حقنه بعد معالجة المياه بالأوزون.

2- الماء الناتج ذات طعم و رائحة بسيطة Some taste and Odors formation

3- فترة التماس له اطول من الكلورين تقريبا ساعتين

اشكال التعقيم بالكلور والكلورامينات

يتم التطهير في المحطات على عدة اشكال اعتمادا منها التعقيم بالكلور فقط او بالكلورامينات فقط او حقن كليهما بفترات مختلفة اعتمادا على فترة التماس وعلى تركيز الامونيا في الماء وكما يلي

1) **Disinfection with free chlorine**

تستخدم غالبا في معالجة المياه ذات محتوى من الامونيا جيد أكثر من 0.2 ملغم/لتر ، ومن محاسنها ان التطهير يكون قوي وفعال ولكن احتمال ظهور التراي هالوميثان THM المسرطنة.

2) Free chlorine before &Chloramines after disinfection

يتم حقن الكلور قبل الخزن وحقن الكلوروامينات بعد الخزن (قبل المضخات) بعد مرور ربع ساعة . نسبة الكلور الى الكلورامينات 3:1 الى6:1 ، من محاسنه رائحة اقل وزمن تلامس عال حيث يجب ان يكون زمن المكوث في الخزان اكثر من ساعتين. من محاسنه انه يستفاد من مزايا الكلور الحر والمتحد من حيث السيطرة على الكائنات الحية والمركبات الجانبية

3) Chloramines disinfection

ويعني التعقيم بالكلوروامينات ولكن كفاءة التعقيم تكون اقل من التعقيم بالكلور الحر بالاضافة الى ان زمن تلامس اطول حيث يحتاج الى زمن تلامس أكثر من ساعتين.

4) Emergency chlorination

في حالة وجود تركيز امونيا عالي في الماء الخام يتم كسر الامونيا من خلال كلورة اولية بمعدل0.1 ملغم/ لتر ثم تضاف الكلور النهائية ولكن بجرعة منخفضة مع فترة تلامس عالية وبعد ذلك يتم اضافة كلورة الطوارئ بعد الضخ وبجرعة منخفضة في حدود 2 ملغم/م ^{3} وبذلك سوف يتحقق التطهير الكامل بالاضافة الى ذلك نضمن عدم وجود اي مشكلة للروائح والنواتج العرضية

C - التعقيم بثاني اوكسيد الكلور ClO_2 Chlorine dioxide

ينتج من امرار غاز الكلور على كلوريد الصوديوم

محاسن التعقيم بثاني اوكسيد الكلور

1. مؤكسد قوي Strong oxidant
2. لا ينتج مواد عرضية مثل تراي هالوميثان THM
3. لا يوجد لقيمة الدالة الحامضية تأثير على التعقيم مثل الكلور.
4. شديد الذوبان في الماء.
5. لا يتفاعل مع الامونيا NH_3 .

مساوئ التعقيم بثاني اوكسيد الكلور

1. ينتج CLO_3 كناتج عرضي سام.
2. احتمالية تواجد روائح هايدروكاربونية Hydrocarbon odors possible
3. لا يمكن خزنه اي يحتاج الى تكوين هذا الغاز في الموقع.

ملاحظة : تصنف المعقمات حسب قوتها كما يلي :

$O_3 > ClO_2 >$ Free chlorine> Chloramines

ملاحظة : تصنف المعقمات حسب فترة بقائها بشكل متعاكس كما يلي

Chloramines> $ClO_2 >$ Free chlorine > O_3

حيث يتراوح زمن بقاء الكلوروامينات الى ثلاثة ايام وثاني اوكسيد الكلور يومان والتعقيم بغاز الكلور يوم واحد بينما التعقيم بغاز الاوزون ثلث ساعة فقط

ثالثا: التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet irradiation):

مبدأ العمل : يعمل على تدمير ال DNA للفيروسات والبكتريا .

ميكانيكية العمل : السماح ل 85% من ضوء قوسي لبخار الزئبق ذو ضغط منخفض ذو طول موجي 2500-2600 انكستروم بالتعرض الى مجرى مائي لفترة بسيطة جدا.

محاسن التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية :

1- تحتاج الى اتصال قليل (فترة بسيطة للتعرض).
2- لا يتفاعل مع مكونات المواد و لا يوجد نواتج سامة .
3- فعال في قتل البكتريا والفيروسات.

المساوئ:

1- ليس هنالك تأثير لفعل متبقي .
2- مكلف .
3- يجب ان يكون الماء خال من العكورة ولا يوجد غشاوة على لمبة الجهاز.
4- من الصعب جدا تقدير كمية الجرعة المطلوبة .

ملاحظة : ان قتل الاحياء المجهرية المتواجدة في المياه يعتمد على كل من زمن التلامس وتركيز جرعة المعقم يعني اذا كانت الجرعة عالية وزمن بقاء بسيط سوف يعطي نفس النسبة من قتل الاحياء المجهرية في حالة تم زيادة فترة التلامس وتقليل تركيز الجرعة

رابعا : التعقيم بأشعة كاما Disinfection Gamma irradiation

المحاسن :

يعتبر معقم جيد له القابلية على القضاء على معظم الفيروسات والأحياء المجهرية والسبورات وذلك لان طاقة اشعة كاما تقريبا اكثر من مليون ضعف من طاقة الاشعة تحت الحمراء .

المساوئ:

1- مكلف Expensive .
2- استعماله خطر Hazardous to apply .

خامسا : التعقيم بالفضة :

ميكانيكية العمل :

ايونات الفضة لها القابلية للتفاعل مع مجاميع الكبريت في الخلايا العضوية لتشكل كبريتات الفضة المتصلبة ولهذا توقف تفاعلات الانزيمات الضرورية للخلايا .

المحاسن :

تعتبر فلاتر الفضة البيتية ممتازة في التعقيم .

المساوئ:

1- يتفاعل مع المواد الغير بروتينية في الماء .
2- تحتاج لوقت طويل للتماس نسبيا .
3- تحديد كفاءته صعبة اي ان تأثيره غير واضح في حالة استعماله بكميات قليلة منه
4- مكلف .
5- الفضة غير قابلة للإذابة في الماء لهذا فان املاح الفضة او الفضة سوف تغطي وسط المرشح

سادسا : التطهير بالهالوجينات : Disinfection Halogens

الهالوجينات : هي مجموعة لا فلزية لها قابلية اكسدة قوية وتوجد في الطبيعة غالبا بشكل مركبات ودائما لها شحنات سالبة ولكن تكون مركبات موجبة وتقل قابليتها في الاكسدة حسب الوزن الجزيئي وكما يلي : I :127 , Br: 80 , Cl:35.5 , F=19

استعمالات الهالوجينات :

1) الفلور Fl : استعماله غير مشجع بالرغم من فعاليته العالية .
2) البروم Br : اسهل في التجهيز والخزن من الكلور ولكن تأثيره قليل في ابادة الجراثيم ، ويكلف حوالي ثلاثة اضعاف الكلور .
3) اليود I : يعتبر مؤثر بكميات حجمية صغيرة من الماء المعالج وتأثيره يشبه تأثير البروم.

سابعا : التطهير بالأوزون Disinfection Ozone

ميكانيكية العمل : يؤكسد مكونات الخلايا المائية الحيوية .

المحاسن :

1- 99% من بكتريا القولون تقتل خلال 1-3 دقائق بعد تعرضه للأوزون بتركيز 0.5-1 ملغم /لتر.
2- يعتبر مطهر ومؤكسد ممتاز .
3- كلفته مقاربة لكلفة الكلورين .
4- لا يتحد مع المواد الموجودة في الماء ليعطي ذوق او طعم مرفوض.
5- فترة تماس قليلة مع ابادة واسعة ضمن مدى واسع من الحرارة وال pH .
6- فعال ضد الفيروسات المقاومة .
7- يحطم الفينولات .
8- لا ينتج ترايهالوميثان كناتج عرضي .

المساوئ :

1- تغذية صعبة لأنه غير ثابت عندما يجهز في وقت التطبيق .
2- مكلف اكثر من الكلورين.
3- لا يوفر حماية متبقية .
4- يجب توفير تركيز اكبر من 0.15 ملغم/لتر لان هذا التركيزغير فعال ضد الفيروسات .
5- السيطرة عليه وقياساته صعبة .
6- يسبب صدأ تآكل للأنابيب والأجهزة .

ملاحظة : كفاءة التعقيم تتدرج كما يلي :
الاوزون > ثاني اوكسيد الكلور> غاز الكلور> الكلوروامينات

ملاحظة 2 : زمن التماس تتدرج كما يلي :
الكلوروامينات> ثاني اوكسيد الكلور> غاز الكلور>الاوزون

طريقة استخدام غاز الكلور في التعقيم

يتم الحصول على غاز الكلور بواسطة اسطوانات مختلفة السعات من 45 كغم الى 1000 كغم وتفضل الكبيرة في المحطات الكبيرة لأنها اقتصادية. يتم حقن الكلور الى الماء بواسطة المكلورات والتي تسيطر على ضغط الغاز والتصريف بحيث تجهز تركيز كلور متوفر يتراوح من 1.5–2 ملغم/لتر.

السلامة المهنية في استعمال غاز الكلور

يجب توفير الشروط التالية عند انشاء واستخدام مخازن الكلور :

1. يجب توفير تهوية للمكلورات واسطوانات الكلور وبما ان غاز الكلور ثقيل فيجب الانتباه الى التركيز على تهوية اسفل الغرفة قرب الارضية.
2. يجب ان تكون المفاتيح الكهربائية للمراوح والانارة خارج الغرفة وقرب المداخل .
3. ضرورة وجود نافذة زجاجية واضحة تسمح بالرصد من الخارج .
4. ضرورة حماية الغرفة من الحرارة الزائدة والأفضل بقاء درجة حرارتها 15 درجة مئوية .وفي حالة كون الماء الواصل درجة حرارته اقل من 10 درجة مئوية فان الكلور سوف يتحد مع الرطوبة لتكوين كلور مائع يدعى (جمد الكلور) ويسبب مشكلة في صمام تخفيض ضغط الكلور مما يتسبب في غلقه كليا او جزئيا.
5. من الضروري لبس قناع واق من الغازات مع البدلة الخاصة عند تبديل قناني الغاز او في حالة حدوث تسرب كبير.
6. من الضروري وجود منظومة انذار للتحذير من وجود تراكيز من الكلور عالية .
7. تحديد التسريبات التي تحدث في مجموعة الانابيب الناقلة لغاز الكلور بشكل دوري والعمل على اصلاح التسربات ويتم ذلك من خلال تحريك قنينة امونيا (هيدروكسيد الامونيوم) على طول مجموعة الانابيب وعندما يظهر دخان ابيض فهو دليل على وجود تفاعل بين الكلور والامونيا حيث يتكون كلوريد الامونيوم .

الكلورة الواطئة :Hydro chlorination

-تستعمل هيبو كلورايت الصوديوم NaOCl والذي يعرف بقاصر الغسيل بتركيز كلور متوفر يصل الى 15% فقط وهو سائل يتم نقله بحاويات كبيرة.

- تستعمل هيبوكلورايت الكالسيوم $Ca(OCl)_2.4H_2O$ وهو مسحوق يتم نقله في براميل او حاويات كبيرة تحت اسم تجاري يدعى HTH مثل (البركلورون ، البتكور) ومن ميزات هيبوكلورايت الكالسيوم بان له محتوى كلور يصل الى 70% وانه لا يفقد محتوى الكلور مع الخزن ويمكن استخدامه بوجود مكائن تغذية جافة .

– يمكن استخدام جهاز تغذية هايبوكلورايت البوتاسيوم في حقن الشب ايضا للتخثير وفي حقن كاربونات الصوديوم في عملية تيسيير الماء.

استعمالات الكلورة الواطئة

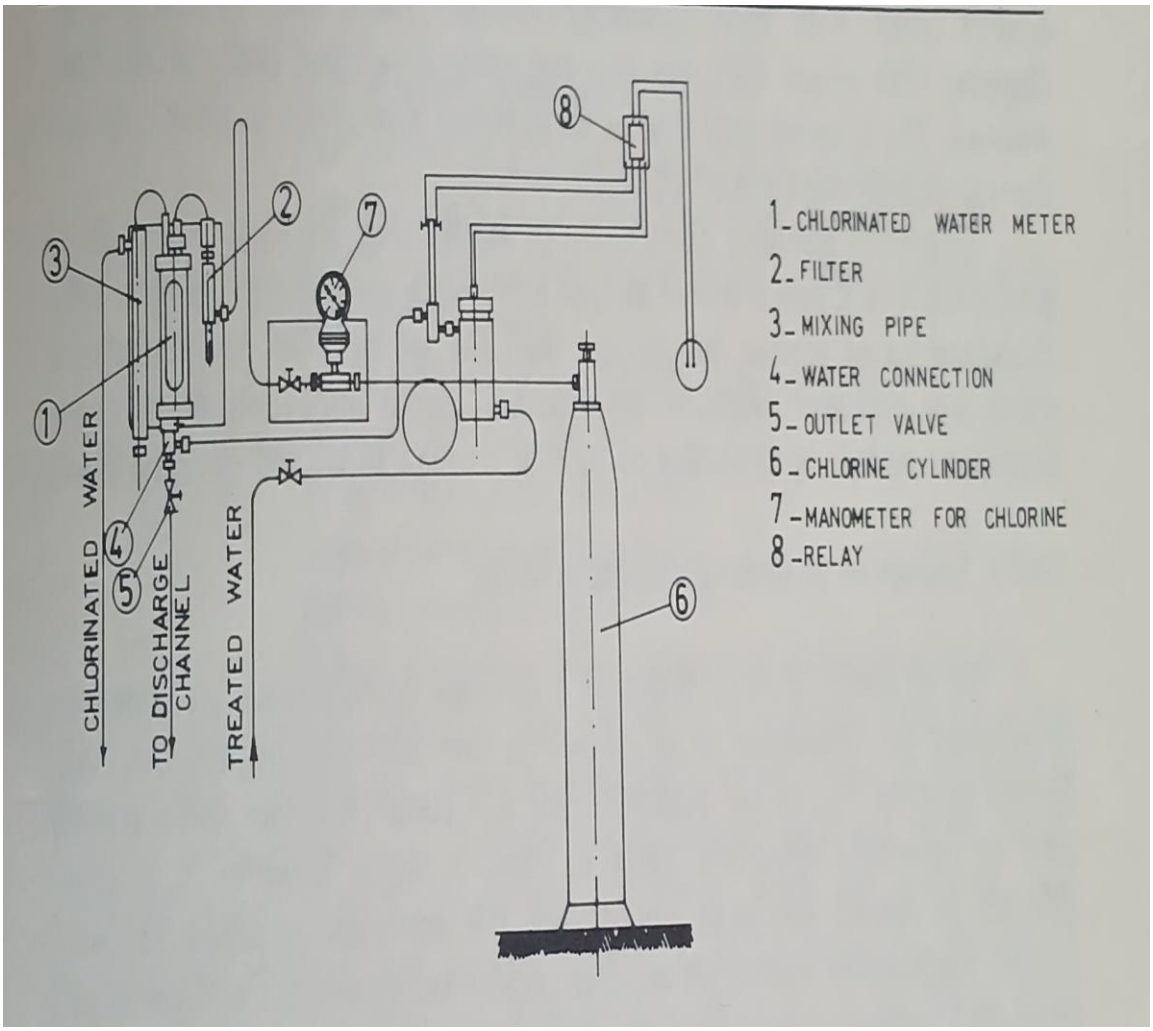
تستخدم الكلورة الواطئة في

1- الاستعمالات الطارئة عند توقف التجهيز بالكلور

2- وفي المحطات الصغيرة

3- وفي تعقيم مياه احواض الخزن حيث يتم سحب كيس من هذه المادة في حوض الخزان.

تستخدم الكلورة الواطئة كذلك مع كبريتات النحاس للتخلص من الطحالب في الخزانات الضخمة الغير المغطاة للتخلص من هذه الطحالب وقد اظهرت الدراسات ان استعمال كبريتات النحاس مع الكلورة الواطئة بتراكيز مدروسة يعطي نتائج ممتازة في قتل الطحالب والاشنات مع تقيم اولي للماء الخام .



مقارنة بين انواع المعقمات ذات الاستعمالات المحددة

الخاصية	التسخين	الاشعة فوق البنفسجية	اشعة كاما	الفضة	بالهالوجينات
الكفاءة	عالية	عالية	عالية	غير محددة	غير محددة
الكلفة	عالية	عالية	عالية جدا	عالية	عالية
زمن التعرض	15 دقيقة بعد الغليان	قليل	قليل جدا	عال	عال
النواتج العرضية	لا يوجد	لا يوجد	غير محدد	ترسبا ت في الشبكة	ترسبات في الشبكة
تقدير الجرعة	بسيطة	بسيطة	صعبة	صعبة	صعبة

مقارنة بين انواع المعقمات ذات الاستعمالات الواسعة

الخاصية	غاز الكلور	الكلوروامينات	ثاني اوكسيد الكلور	الاوزون
شدة الفعالية	99%	%99	%99.9	%99.99
فترة البقاء	يوم كامل	ثلاثة ايام	يومان	ثلث ساعة
زمن التلامس	نصف ساعة	ساعتان	ساعتان	اقل من دقيقة
اسلوب التغذية	بسيط	بسيط	صعب	صعب
النواتج العرضية	الكلوروفورم ، هالوميثان ، الفينولات (مواد مسرطنة)	الكلورو امينات(مواد معقمة ماعدا الثلاثية متطايرة)	ثلاثي اوكسيد الكاربون (طعم كاربوني غير مستساغ)	لا يوجد
مدى الدالى الحامضية	ضيق (6-8)	ضيق(6-8)	واسع	لا يتاثر
امكانية الخزن	خطر ويحتاج الى عناية خاصة	اقل خطورة من غاز الكلور	ينتج موقعيا ولا يخزن	ينتج موقعيا ولا يخزن
القابلية على تاكل المعادن	لا يعمل	لا يعمل	يعمل	يعمل

التبادل الايوني

هو عملية امتزاز متبادلة بحيث ان الايونات المتجمعة للمتز الصلب تتبادل مع ايونات المحلول .
ان عملية التبادل الايوني تحدث في عدة مواد طبيعية صلدة مثل التربة ، القطن ، البروتين ، الكاربون ، اوكسيد الالمنيوم ، وكذلك الخلايا الحية . ان حساسية المبادل تختلف من الواحد الى الاخر وحسب ما يلي :

1) **شحنة الايون** : حيث ان التبادل الايوني يزداد طرديا بزيادة تكافؤ الايون ، مثال على ذلك مبادلات الكاتايون تحتجز ايونات الكالسيوم الثنائية اكثر قوة من احتجازها لايونات الصوديوم الاحادية عندما يغمر في محلول ضعيف :

$Na^{+1} < Ca^{+2} < Al^{+3}$

2) **الوزن الجزيئي** : حيث ان التبادل الايوني يزداد طرديا بزيادة الوزن الجزيئي او العدد الذري

Li<Na<K

Mg<Ca<Sr<Ba

F<Cl<Br<I

3) **تركيز المحلول** : ان الحساسية بين قطع المبادل الايوني تزداد مع زيادة تركيز المحلول .