

قسم الهندسة الصحية والبيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

تطهير المياه

تطهير المياه باستخدام المؤكسدات القوية (الكلورة)

Water Disinfection

WATER CHLORINATION

1- مقدمة:

تطهير المياه هي عملية القضاء على الأحياء الدقيقة الممرضة وغيرها من المتعضيات التي يمكن أن تجعل المياه غير صالحة للاستخدام لأغراض الشرب أو لبعض الاحتياجات الاقتصادية الأخرى.

تسبب المياه الكثير من الأوبئة المرتبطة بتناول المياه الملوثة الحاوية على الأحياء الممرضة مثل التيفوئيد والسل والزحار والكوليرا والشلل والتهاب الدماغ والكثير من الأمراض الأخرى مثل التهاب المثانة والكلية والنزلات المعوية وألتهاب الكبد الفيروسي وداء الجيارديات وداء الامبيبات وحمى نظيرة التيفية والحمى السيبيرية... الخ، إضافةً لأمراض أخرى يقضي الناقل فيها جزءاً من دورة حياته في المياه كالبلهارسيا وغيرها.

لا تسمح عملية تخثير الشوائب مع عمليات الترسيب والترشيح اللاحقة، وكذلك عملية الكلورة المسبقة للمياه بالحصول على إزالة كاملة للبكتريا الضارة، حيث تحافظ حتى 10% من البكتريا والفيروسات على حياتها بعد العمليات السابقة. وكذلك لا تسمح عمليات المعالجة المختلفة لمياه الصرف الصحي بالقضاء نهائياً على الأحياء الممرضة في هذه المياه، لذلك تعتبر عملية التطهير هي العملية النهائية اللازمة لتحضير مياه الشرب وكذلك لمعالجة مياه الصرف الصحي قبل استخدامها للأغراض المختلفة.

تجري عمليات التطهير عادة على المياه الخاضعة لأطوار المعالجة الأولية المتضمنة عمليات التخثير والترقيق وإزالة اللون إضافة إلى الترسيب والترشيح حيث تزال هذه المعالجة الجزئية التي يمكن أن تحتجز البكتريا والفيروسات على سطوحها أو في داخلها بعيداً عن تأثير وسائل التطهير.

يجري ضبط فعالية تطهير المياه بتحديد العدد الكلي للبكتريا في 1cm^3 من المياه CFU وكذلك بتحديد تواجد زمرة العصيات المعوية Esherichia Coli وذلك بدلالة مؤشر كولي إيندكس أو مؤشر كولي تيتز للمياه بعد التطهير.

إن العصيات المعوية E.Coli عصيات غير ضارة بحد ذاتها إنما تستخدم عمليات تحديدها كمؤشر للتلوث البكتيري للمياه. ويرتبط استخدام هذه العصيات كدليل لتواجد الأحياء الدقيقة في المياه بالتصورات التالية:

- 1- إن تحديد تواجد العصيات المعوية E.Coli في المياه أبسط من تحديد تواجد البكتريا الأخرى للزمر المعوية.
- 2- تؤثر المؤكسدات القوية المستخدمة لتطهير المياه على هذه العصيات بشكل أصعب من تأثيرها على الأحياء الممرضة التي تسبب الأمراض المعوية المختلفة.
- 3- تتواجد هذه العصيات في أمعاء الإنسان وأمعاء حيوانات الدم الحار، لذلك فإن تواجدها في مصادر الإمداد المائي دليل على تلوث مياه هذه المصادر بالمخلفات البرازية.

2- طرائق تطهير المياه:

عرفت تكنولوجيات المعالجة المائية الكثير من طرائق تطهير المياه يمكن تصنيفها على الشكل التالي:

I - الطرائق الحرارية: يقود غلي المياه لفترة 12-20 min إلى قتل جميع الأحياء الدقيقة ذات التشكلات اللابوغية ولا يؤثر هذا الغلي على التشكلات البوغية. تسمح عمليات تسخين المياه تحت الضغط لدرجة حرارة 120°C أو غلي المياه لمدة 15 min مع التبريد اللاحق حتى درجة الحرارة 35°C لتترك بعدها لمدة ساعتين للسماح بانتشار الأبواغ ليتم بعد ذلك التسخين من جديد للمياه حتى الغليان، بإبادة الأبواغ. وعلى الرغم من بساطة هذه الطرائق إلا أن استخدامها بقي محدوداً جداً نظراً لعدم إمكانية اعتمادها كطريقة أساسية في تطهير حجوم كبيرة من المياه.

II - الطرائق الفيزيائية: تجري عمليات التطهير في هذه الطرائق باستخدام تأثير الأشعة الشمسية أو الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة γ أو β أو استخدام الأمواج فوق الصوتية:

- 1- استخدام أشعة الشمس: تعد أشعة الشمس مطهراً طبيعياً للمياه إذ يجري قتل الكثير من أنواع البكتريا بتعرض المياه لأشعة الشمس فترة من الزمن نظراً لما تحمله أشعة الشمس من إشعاعات قاتلة للبكتريا.

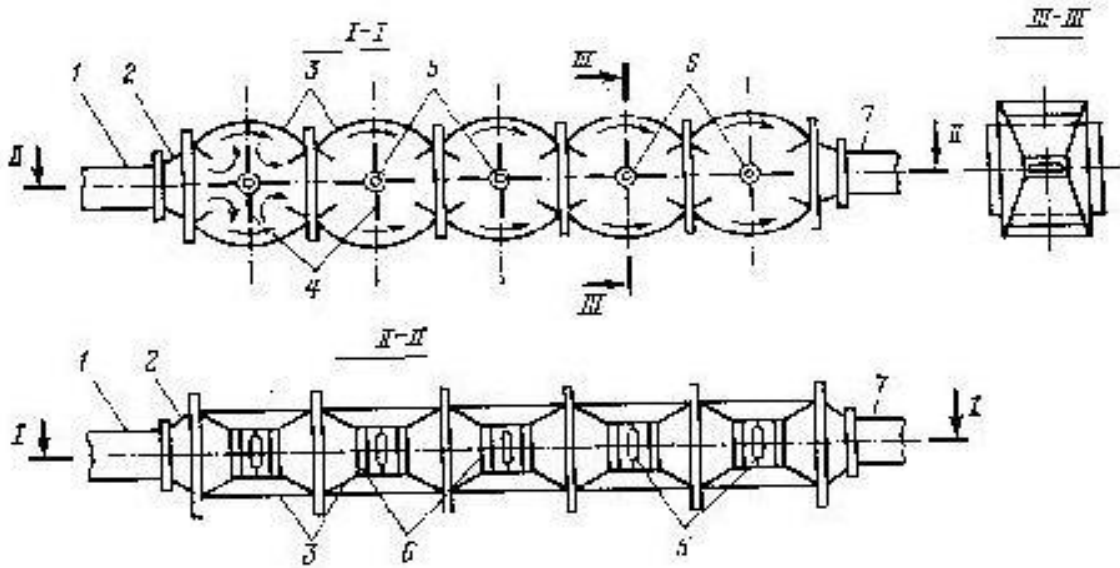
2- الأشعة فوق البنفسجية: وهي طريقة فعالة في تطهير المياه إذ أنها تؤثر بشكل كبير على الحمات الراشحة. يمكن زيادة

البكتريا الممرضة الموجودة في المياه من خلال تعريض المياه لهذه الأشعة لمدة 10-40 sec.

تملك عملية تطهير المياه بالأشعة فوق البنفسجية محاسن كثيرة مقارنةً مع عملية الكلورة: تعتبر طريقة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية طريقةً أسرع بكثير من الكلور في تطهير المياه؛ ولا تترك أثراً على طعم أو رائحة المياه؛ وكذلك فهي لا تغير الخواص الكيميائية للمياه خلال عمليات المعالجة؛ يعتبر التطهير بالأشعة فوق البنفسجية أفضل من الكلور في القضاء على التشكلات البوغية؛ إن استئثار تجهيزات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية أبسط من استثمار منشآت الكلورة. من مساوئ هذه الطريقة غياب أسلوب ضبط فعالية التطهير مقارنةً مع الكلور، كما تعتبر هذه الطريقة غير ملائمة لتطهير المياه العكرة، حيث يمكن للبكتريا أن تحتمي بالمواد العالقة وأن تتجنب مفعول الأشعة المطهرة عند قيم عالية للعكارة. ويقتصر تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الطبقة السطحية للمياه بسماكة 30 cm ، بينما يندعم تأثيرها في الأعماق الأكبر من ذلك. ينصح باستخدام الأشعة المضادة للبكتريا لتطهير المياه الجوفية عندما لا يتجاوز مؤشر كولي إيندكس 1000 عسيرة/ل، ولا يزيد تركيز الحديد عن 2 mg/l والعكارة حتى 2 mg/l.

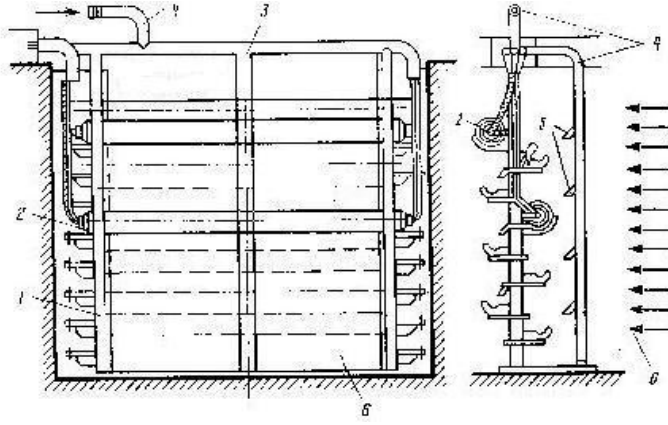
يتلخص ميكانيزم التطهير بالأشعة فوق البنفسجية بعملية تأين الخلية البكتيرية حيث تقوم بعض الذرات بامتصاص للطاقة وتحرير الإلكترونات، وبالتالي ستمتلك هذه الذرات شحنة موجبة، بينما تتحد الإلكترونات الحرة المتحررة مع الذرات غير المشحونة التي ستمتلك عند ذلك شحنة سالبة مما يشكل أزواج الأيونات. إن تغير الهيكل الإلكتروني للذرات يخرق الروابط الكيميائية ويخرب الهيكل الجزيئي للخلية. كما تتأذى العناصر النووية للخلية، وخصوصاً تلك التي تحمل خواصاً وراثية أي الأحماض النووية.

تعتبر مصابيح الزئبق المصنعة من الكوارتز أو الزجاج من أهم مصادر الإشعاع المضاد للبكتريا. يمكن توليد الأشعة فوق البنفسجية في أنابيب من زجاج الكريستال الصخري الحاوية على سائل الزئبق (كوارتز-زئبق عالية الضغط أو مصابيح أوريجون-زئبق منخفضة الضغط) بتعرضها لتيار كهربائي مستمر بتوتر (220 volt) ولمدة 10 min. أثبتت التجارب الاستثنائية أن التأثير المضاد الأقوى في إبادة البكتريا تملكه أشعة UV ذات طول الموجة 200-295 n.m ويكون التأثير الأعظمي قريباً من طول الموجة 260 n.m.



جهاز UV مضاد للبكتريا مخصص لمحطات التنقية المركزية

1- ماسورة دخول المياه 2- ماسورة انتقالية 3- حجرة التطهير 4- حواجز توجيه 5- مشع UV 6- البلورات الكوارتزنية 7- ماسورة خروج المياه.



جهاز UV مضاد للبكتريا لغزارة مائية 3000 m³/hr وأكثر

1- هيكل معدني 2- بلوك حاوي على المصابيح 3- صفائح معدنية 4- أنبوب المياه المضغوطة المخصصة لغسيل البلورات 5- فوهة الغسيل 6- قناة إمداد المياه الخاضعة للمعالجة.

3- أشعة غاما: وهي أشعة فعالة جداً في إبادة البكتريا، ولهذه الأشعة طاقة نفوذ كبيرة مما يمكننا من استخدامها لمعالجة كميات كبيرة من مياه الشرب، إلا أن هذه الطريقة لم تدخل بشكل عملي في تكنولوجيا تطهير مياه الشرب حتى الآن وذلك بسبب خطر نشوء نشاط إشعاعي قوي في الجوار المباشر للمياه.

4- الأمواج فوق الصوتية: الأمواج فوق الصوتية هي عبارة عن الذبذبات الميكانيكية ذات التردد الأعلى من عتبة سماع الأذن البشرية، أي أكثر من 20000 HZ حيث تقع ذبذبات الأمواج فوق الصوتية عملياً في مجال ذبذبات الراديو. أثبتت التجارب أن هذا النوع من الأمواج يقتل البكتريا بصورة سريعة جداً. إلا أن هذه الطريقة لم تلق انتشاراً واسعاً في مجال تطهير المياه بسبب صعوبة الحصول على الأمواج فوق الصوتية وارتفاع تكاليفها مقارنة بالطرائق الأخرى، إضافة إلى انخفاض فعاليتها مع ازدياد عمق المياه.

لا توجد حتى الآن نظرية تشرح التأثير المضاد للبكتريا للأمواج فوق الصوتية إلا أن أغلب الباحثين يربطون الفعل المبيد للبكتريا للأمواج فوق الصوتية بقابلية تشكيل فجوات دقيقة حول الأجسام في الماء وعزلها عن محيطها ليتكون حولها ضغط محلي يؤدي إلى تغيرات حادة في الحالة الفيزيائية للسائل وتدمر البكتريا داخل هذا الحقل. تعرف هذه الظاهرة بالتجويف الفوق صوتي. ويعتقد البعض أن البكتريا تقتل بالتخريب الميكانيكي لخلاياها الذي يقود إلى تعطل الوظيفة الحيوية للخلايا وانحلال المواد البروتينية للسيتوبلازما.

III- استخدام تأثير بعض أيونات المعادن الثقيلة: يقود استخدام كميات غير كبيرة من أيونات الفضة أو النحاس أو الذهب إلى تطهير المياه. يتم غالباً تشريب الكربون المنشط بهذه الأيونات بغية استخدامه في عملية التطهير وخصوصاً في أجهزة التنقية صغيرة أو متوسطة الحجم. تعتبر أيونات النحاس أقل فعالية في القضاء على زمر الأحياء المعوية من بقية الأيونات المستخدمة في هذا المجال.

تطهير المياه باستخدام أيونات الفضة: قام كولسكي في عام 1930 باختراع طريقة الكتروكيميائية لتطهير المياه بالفضة، ثم انتشرت هذه الطريقة بعد ذلك بسنتين في ألمانيا ثم بعد ذلك في بريطانيا، أما الآن فيجري استخدام هذه الطريقة في الكثير من بلدان العالم. تعتبر أيونات الفضة مفاعل تطهير عالي الفعالية بالنسبة لجميع الأحياء الممرضة تقريباً، إلا أن تأثيرها منخفض ضد الحمات الراشحة. من أهم محاسن التطهير بالفضة هو حفظها للمياه لفترة طويلة، حيث تحتفظ المياه المعالجة بالفضة (0.1 mg/l) بمؤشرات صحية عالية لفترة تزيد عن سنة. يتطلب استخدام الفضة فترة مكث كبيرة نسبياً ودقة عالية جداً في تقدير الكمية اللازمة للتطهير، حيث تعطي الزيادة فوق التراكيز المسموحة مفعولاً سلبياً نظراً لخطورة تأثير الفضة على الصحة العامة.

هناك عدة فرضيات تشرح ميكانيزم التأثير البكتيري للفضة:

- إن موت الخلية يجري نتيجة خرق عمليات التبادل المادي تحت تأثير أيونات الفضة على البكتيريا.
- تعبر أيونات الفضة إلى داخل الخلية مخربةً الخلية باتحادها مع السيتوبلازما.
- إن امتزاز أيونات الفضة على سطح الخلية يحفز عملية أكسدة السيتوبلازما بأوكسجين الهواء.
- من المحتمل تأثير جميع الفرضيات السابقة بنسب متفاوتة.

IV- استخدام الترشيح عبر الأوساط المسامية المختلفة: إن أغلب الأحياء الممرضة باستثناء الفيروسات تملك أبعاداً تتجاوز 1-2 ميكرون، لذلك فإن ترشيح المياه خلال أوساط ترشيح بأبعاد مسامات أقل من 1 ميكرون سوف يخلص المياه من هذه الأحياء. أغلب أنواع المرشحات المستخدمة في هذا المجال هي المرشحات فائقة الدقة Ultra Filtration المصنعة من الخزف المسامي أو الخزف الصيني أو المرشحات الغشائية.. الخ.

V- استخدام المؤكسدات القوية: تعتبر هذه الطريقة أكثر الطرائق شيوعاً في تطهير المياه. ومن المؤكسدات المستخدمة لهذا الغرض: الهالوجينات المختلفة كالكلور ومركباته المختلفة، والبروم، واليود، إضافةً إلى برمنغنات البوتاسيوم، وبيروكسيد الهيدروجين، والأوزون.. الخ.

3- استخدام المؤكسدات القوية في تطهير المياه:

يستند اختيار طريقة التطهير إلى الكثير من العوامل المتعلقة بتصريف ونوعية المياه المطلوب معالجتها ودرجة التنقية الأولية لهذه المياه وطرائق تأمين ونقل وضغط وسائل التطهير وإمكانية أتمتة هذه العملية ومكثنة الأعمال الصعبة في عملية الاستثمار.. الخ.

إن أكثر الطرائق المستخدمة عملياً في تكنولوجيا التحضير المائي هي الطرائق التي تستخدم المؤكسدات القوية. تجري عملية تطهير المياه بالمؤكسدات القوية عموماً على مرحلتين: يقوم مفاعل التطهير في المرحلة الأولى بالانتشار إلى داخل أجسام الأحياء الممرضة ويقوم بالمرحلة الثانية بالدخول في تفاعل مع الأنزيمات داخل الخلية. تتحدد سرعة عملية التطهير بكينيتكا الانتشار لمفاعل التطهير داخل الجسم الحي وبالموت الكينيتيكي للخلية بفعل تأكسد الأنزيمات بمفاعل التطهير. ترتفع سرعة عملية التطهير بازدياد تركيز مفاعلات التطهير في المياه ويرفع حرارة المياه. تملك مفاعلات التطهير في المياه انتشاراً أسرع خلال الأغشية الخلوية من انتشار الأيونات المتشكلة أثناء تشرد هذه المفاعلات.

تتباطئ سرعة عملية تطهير المياه بتواجد المواد العضوية القادرة على التأكسد وكذلك بتواجد المرجعات المختلفة والمواد الغروية والمواد العالقة. وتعيق المواد الغروية والمواد العالقة خلال تواجدها في المياه تماس البكتيريا مع مفاعلات التطهير بجذبها لهذه البكتيريا وقدرتها على إخفائها مجنبه إياها التأثير بمفاعلات التطهير.

ويمكن التعبير عن تأثير تركيز مفاعل التطهير على سرعة موت البكتيريا في المياه الخاضعة للمعالجة بالعلاقة التالية (قانون تشيك-واطسون (Disinfection Kinetics Chick-Watson Law):

$$C^n t_K = Const.$$

حيث:

C- تركيز مفاعل التطهير.

t_K- فترة تماس البكتيريا مع مفاعل التطهير وهي الفترة الضرورية لخفض العدد الكلي للبكتيريا بالنسبة المحددة.

n- مؤشر الدرجة ويسمى أيضاً بمعامل الحل.

تُسرع عملية رفع درجة حرارة المياه من 0.2°C وحتى 10°C عملية التطهير بشكل شديد، بينما يبدو الرفع التالي لدرجات الحرارة أقل تأثيراً ويشرح تأثير درجة حرارة المياه على كينيتيكا عملية التطهير بتأثيرها على معامل انتشار المؤكسد خلال أغشية الخلايا للبكتيريا. وتؤثر درجة حرارة المياه بشكل أكبر على كينيتيكا التطهير بالكلورامينات منها للكلور الحر.

ويشير مفهوم CT استناداً لقانون تشيك-واتسون إلى أن تركيز المطهر وزمن التماس لهما نفس "الوزن" أو المساهمة في قتل البكتريا .

المواصفات التي يجب أن تتوفر في مواد التطهير تتضمن:

- 1- أن تكون قادرة على إبادة جميع البكتريا خلال فترة زمنية محددة .
- 2- أن تكون متوافرة، سهلة التداول والاستخدام يمكن تخزينها وذات أسعار معقولة وغير مكلفة في الاستثمار .
- 3- أن تكون سهلة التحضير، ويمكن التحكم الآلي بالجرعات اللازمة.
- 4- ألا تكون سامة للإنسان والحيوان والنبات ولا تؤثر على طعم المياه ورائحتها .
- 5- أن تترك متبقي في المياه.

4- تطهير المياه باستخدام الكلور

الكلور غاز أصفر مخضر اكتشفه الصيدلي السويدي Scheele في 1774 من تفاعل ثاني أكسيد المنغنيز مع حمض الهيوكلوريت واعتقد بأن هذا المركب يحتوي على الأوكسجين. جرت تسميته الكلور في العام 1810 من قبل السير همفري ديفي Sir Humphrey Davy الذي أخذ اسمه من اليونانية chloros والتي تعني الأصفر المخضر .

الكلور عنصر من زمرة الهالوجينات يتفاعل تقريباً مع كل العناصر. يستخدم الكلور بشكل كبير في عمليات الإنتاج الصناعي (صناعة المنتجات الورقية، الأصباغ، المنسوجات، المنتجات النفطية، بعض المواد الصيدلانية، المطهرات، المبيدات، المحلات، الطلاء، ومنتجات استهلاكية أخرى...الخ)، كما يستخدم الكلور في إنتاج الكلورات، الكلوروفورم، رابع كلوريد الكربون، وفي استخلاص البروم وفي إنتاج بوليميرات الفينيل المكلورة (PVC)، والكلوروفلوروكربونات، وأكسيد البروبيلين. استخدم الكلور كغاز سام خلال الحرب العالمية الأولى. يمكن إنتاج الكلور من محلول كلوريد الصوديوم باستخدام التحليل الكهربائي.

غاز الكلور هو غاز مزعج جداً للأغشية المخاطية وللعيون والمنطقة التنفسية ويعتبر غاز عالي السمية قادر على التسبب بالموت خلال استنشاقه لفترة طويلة من الزمن. الكلور غاز له رائحة قابل للكشف في تركيز أقل من 3.5 ppm ، يسبب تهيج الحنجرة بتركيز 15 ppm ويعتبر خطراً بتركيز 50 ppm خلال حالات التعرض القصير، وقد يكون التعرض القصير للكلور قاتلاً بتركيز أعلى من 1000 ppm . يمكن أن يسبب الكلور الحرائق أو الانفجار عند اتصاله ببعض المواد الأخرى، كما أنه يطلق أدخنة سامة جداً عند تسخينه.

استخدم الكلور على نطاق واسع في عمليات تطهير المياه -القضاء على البكتريا والفطور والطحالب وغيرها. تعتبر عملية التطهير باستخدام الكلور وسيلة آمنة لإعاقة انتشار الأوبئة التي تسببها الأحياء الدقيقة الممرضة مثل أنبوبات التيفوئيد والسل والزحار وفيبريون الكوليرا وفيروسات الشلل والتهاب الدماغ حيث تعتبر الأحياء السابقة غير مقاومة لتأثير الكلور الفعال بينما يعتبر الكلور عديم التأثير تقريباً على بعض النظائر التيفية (الباراتيفية) وأغلب المكورات ذات التشكل البوغي.

يساهم الكلور إضافة لدوره في تطهير المياه بعمليات أكسدة المياه مثل إزالة الحديد والمنغنيز، وهدم مركبات الطعم واللون والرائحة (تحسين خواص استساغة المياه)، وفي إزالة نتروجين الأمونيا، وفي التخلص من ثاني أكسيد الكبريت.

التأثيرات البيئية للكلور

أظهرت الدراسات أن تعرض الإنسان المتكرر للكلور في الهواء يُمكن أن يؤثر على نظام المناعة، والدم، والقلب، والنظام التنفسي. ويعتبر الكلور من العناصر الضارة بالكائنات الحية التي تعيش في المياه والتربة، ويسبب الكلور الأذى لعناصر البيئة حتى في مستوياته المنخفضة.

فعالية الكلور:

تنوقف فعالية الكلور في قتل البكتريا على العوامل التالية:

- 1- درجة تركيز الأيون الهيدروجيني pH: تقل فعالية الكلور بارتفاع قيمة pH الوسط المائي.

- 2- درجة الحرارة: تزداد فعالية الكلور بارتفاع درجة حرارة المياه.
- 3- زمن التماس بين الكلور والماء (Time of contact): تزداد فعالية الكلور بازدياد زمن التماس ونظراً لاختلاف مقاومة البكتريا المختلفة لتأثير الكلور فقد جرى اعتماد زمن التماس بين الكلور والماء بثلاثين دقيقة بالنسبة للكلور الحر.
- 4- قلوية المياه (Alkalinity): إن زيادة قلوية المياه يفرض زيادة جرعة الكلور اللازمة لتطهير المياه.
- 5- وجود المركبات الأزوتية في الماء (Nitrogenous compound): إن تواجد هذه المركبات في الماء وخاصة الأمونيا تخفض فعالية الكلور في قتل البكتريا، مما يفرض إضافة جرعات أكبر من الكلور أو إطالة زمن التماس بين الكلور والماء.
- 6- وجود مركبات الحديد والمنغنيز: إن وجود هذه المركبات يفرض زيادة جرعة الكلور اللازمة لتطهير المياه.
- 7- نوع وعدد البكتريا المراد القضاء عليها: يملك كل ميكروب مقاومة معينة لتأثير الكلور، ولذا يلزم اختبار تأثير جرع الكلور المختلفة المضافة للمياه لتبيان أثرها على الميكروبات التي يراد قتلها بالكلور، كما أن لعدد البكتريا الموجودة في المياه تأثير على جرعة الكلور الواجب إضافتها، فكلما زاد العدد زادت الجرعة اللازمة.
- 8- عكارة الماء (Turbidity): تقل فعالية الكلور بارتفاع عكارة الماء، إذ أن الميكروبات قد تحتمي بالمواد المسببة للعكارة من تأثير الكلور.
- 9- طريقة إضافة الكلور: يمكن إضافة الكلور على هيئة غاز أو محلول أو مسحوق لأحد مركباته، ولقد وجد أن إضافته كغاز أكثر فعالية من إضافته كمحلول وهذه أكثر فعالية من إضافته على شكل مسحوق.

أنواع مركبات الكلور التجارية المستخدمة في تطهير المياه:

يضاف الكلور إلى الماء على شكل إحدى مركبات الكلور التجارية التي يتصاعد منها الكلور عند إضافتها للماء وهي:

1- المسحوق الأبيض: (Bleaching powder)

ويسمى أحياناً كلوريد الجير (Chloride of lime). تركيبه الكيميائي مزيج من كلوريد الكالسيوم القاعدي $CaCl_2$ و هيبوكلوريد الكالسيوم القاعدي $Ca(OH)_2$ وهو مسحوق أبيض مائل للاصفرار له رائحة قوية نفاذة يحتوي على 32% من وزنه كلوراً حراً، إلا أن هذه النسبة تأخذ بالنقصان بمضي الوقت خصوصاً إذا تعرض للهواء الخارجي أو للضوء ولذلك يجب حفظه في عبوات خاصة، كما يجب اختياره لمعرفة نسبة الكلور الحر فيه قبل كل استخدام حتى نستطيع تقدير الكمية التي تعطي جرعة الكلور المطلوبة. وبعد تقدير كمية المسحوق الأبيض، تصنع منه عجينة سمكية تخفف تدريجياً حتى تصبح مستحلب بنسبة 1:100. يمزج هذا المستحلب جيداً ثم يترك لمدة ساعة ثم يصفى لإزالة ما به من رواسب وبعدها يضاف إلى الماء بالمعدل المطلوب بواسطة أجهزة خاصة.

2- هيبوكلوريت الكالسيوم (Calcium hypo chlorite):

تركيبه الكيميائي $Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$. وتتراوح كمية الكلور الحر فيه 60-70% من وزنه، ويمتاز عن المسحوق الأبيض بارتفاع نسبة الكلور الحر فيه وعدم تأثره بالتخزين. وعند استخدام هيبوكلوريد الكالسيوم يحضر محلول مركز منه ثم يضاف إلى الماء بالجرعات اللازمة بواسطة أجهزة خاصة.

3- هيبوكلورين الصوديوم (Sodium hypo chlorine):

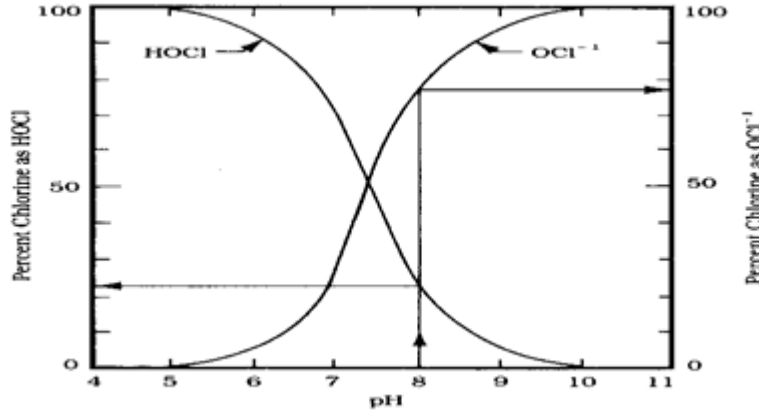
تركيبه الكيميائي (NaOCl). لا يستخدم هذا المركب بشكل واسع نظراً لاحتوائه فقط على 15% من وزنه كلوراً حراً، وكذلك لأن محلوله يسبب تآكلاً للأنيبيب المعدنية.

4- الكلور الغازي:

غاز الكلور غاز أثقل من الهواء بمرتين ونصف، يسيل تحت الضغط العالي لذلك يحفظ وينقل على هيئة غاز مسال بالضغط في أسطوانات من الصلب تختلف سعتها من 50-1000 كغ. لا يسبب غاز الكلور تآكلاً للمعادن عندما يكون جافاً ولكنه يتفاعل معها إذا كان رطباً.

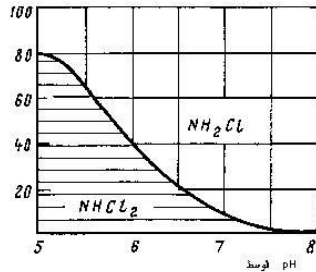
أشكال تواجد الكلور في المياه:

1- الكلور الحر (Free chlorine): وهو الكلور الذي يوجد في المياه على شكل حمض الهيپوكلوريك وأيون الهيپوكلوريت وكلور جزئي. ويرتبط شكل تواجد الكلور الحر بقيمة pH المياه. ويفوق تأثير الحمض الهيپوكلوريتي Hypochlorous acid في إبادة البكتريا تأثير أيون الهيپوكلوريت hypochlorite ion بمقدار 70-80 مرة، حيث يستطيع الحمض الهيپوكلوريتي المتعادل كهربائياً اختراق الطبقة الكهربائية المضاعفة للبكتريا، بينما لا تستطيع أيونات الهيپوكلوريت السالبة ذلك بسهولة، مما يفرض علينا إجراء عمليات التطهير بدرجات $pH \leq 7$ من أجل تأمين فعالية تطهير عالية.



أشكال اتحادات الكلور خلال قيم مختلفة لـ pH المياه

2- الكلور المرتبط (Combined chlorine): يتفاعل الكلور الحر مع المركبات الأزوتية الموجودة في المياه (أملاح الأمونيوم) مشكلاً اتحادات الكلورامين والتي تسمى بالكلور المرتبط. تعتبر اتحادات الكلورامين (أحادي الكلورامين NH_2Cl وثنائي الكلورامين $NHCl_2$) مفاعلات تطهير سيئة نسبياً، وهي مركبات قاتلة للأسماك حتى في حالات القيم المنخفضة جداً لتراكيزها المتبقية في المياه.



أشكال اتحادات الكلورامين خلال قيم مختلفة لـ pH المياه

يمكن اللجوء إلى استخدام عملية الأمينة (استخدام الكلور المرتبط) في حالتين اثنتين:

- في حالات شبكات الضخ الطويلة حتى خزانات المياه النقية الضخمة، حيث تتميز اتحادات الكلورامين ببطء عملية الحلمة مما يسمح باستمرار تأثيرها لفترة أطول نسبياً (60 min.) من الكلور الحر (30 min.).
- في حالات تواجد الفينول ضمن المياه المعالجة بهدف منع تشكل الكلوروفينول.

طرائق إضافة الكلور إلى المياه:

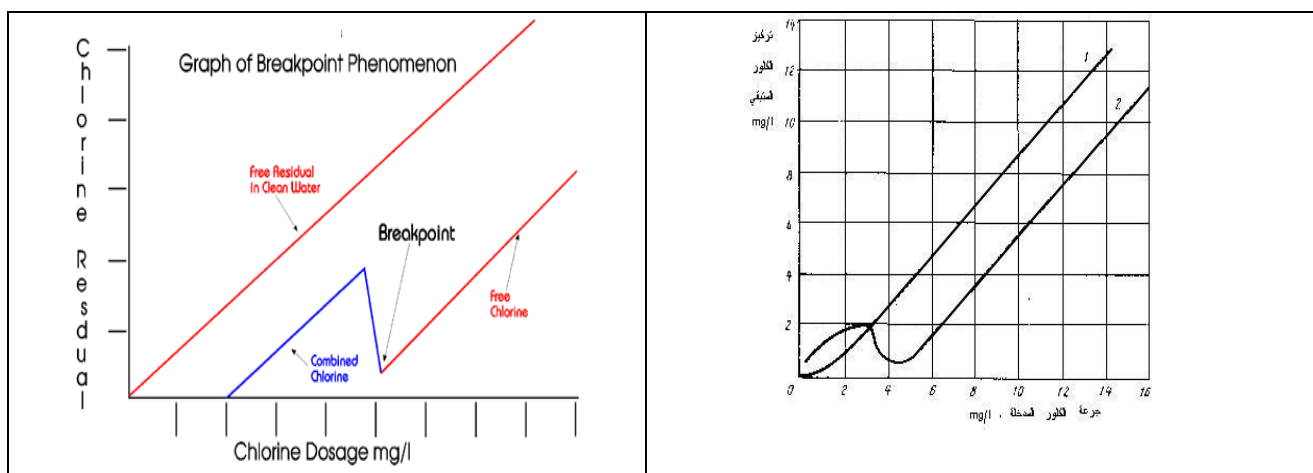
يضاف غاز الكلور بواسطة أجهزة خاصة تسمى أجهزة الكلورة وهي إن اختلفت في الشكل أو في طريقة التشغيل إلا أنها تتفق في الأسس الرئيسية التي تتلخص في تخفيف الضغط على الغاز المسال حتى يتحول إلى غاز ثم يحمله هذا الغاز في كمية محدودة من الماء ويحقن ضمن المياه المراد تطهيرها بالجرعة المطلوبة على ألا يقل ضغط المحلول عند نقطة الحقن عن ثلاثة أمثال الضغط في الأنبوب الرئيسي للمياه وذلك ضماناً لكفاءة عملية الحقن. يمكن أن يضاف الكلور للمياه في بداية المخطط

التكنولوجي أو حتى في مكان المأخذ المائي وخصوصاً في حال تواجد الطحالب في المياه مع ضرورة تجنب تشكل الشري هالوميثانات وتسمى هذه الطريقة بالكلورة المسبقة **prechlorination**، أو يمكن إضافة الكلور للمياه بشكل لاحق وتسمى هذه الطريقة بالكلورة اللاحقة **postchlorination** ، وقد تستخدم الطريقتين السابقتين معاً وتسمى الطريقة بالكلورة المضاعفة حيث يجري استخدام الكلورة اللاحقة لتأمين متبقي الكلور ضمن الشبكات في حالات الإمداد المائي. وقد تستخدم طرائق أخرى من الكلورة كالكلورة بتركيز عالية جداً **shock chlorination** بحالات التلوث الشديد للمصادر المائية.

الاحتياج الكلوري Chlorine demand: هو الفرق بين تركيز الكلور المضاف للمياه وتركيز الكلور المتبقي بعد نهاية العملية واكتمالها ويختلف هذا الاحتياج تبعاً لتركيز الكلور المضاف وزمن التماس ودرجة الحرارة ونوعية المياه.

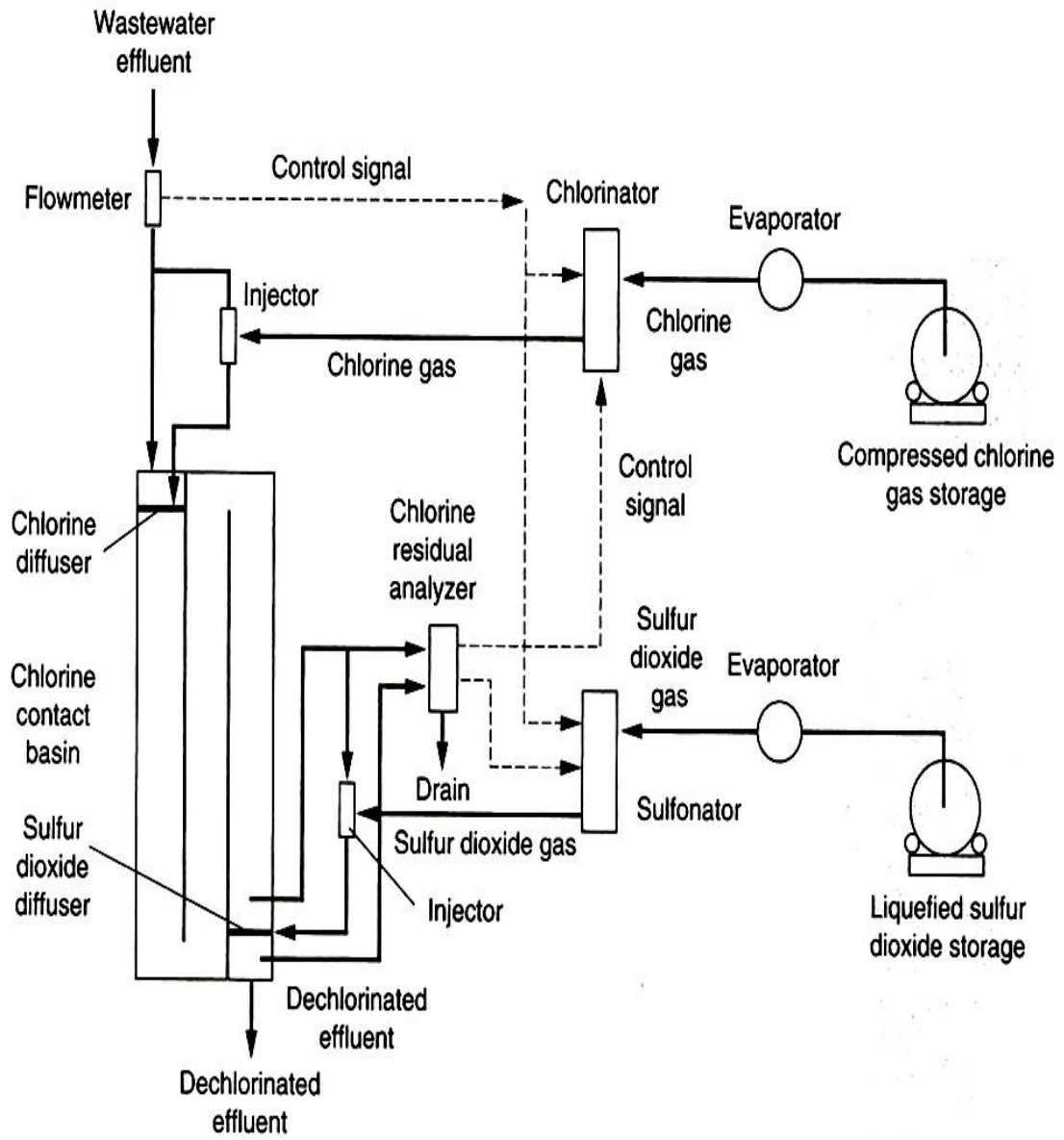
الكلور المتبقي Chlorine residual: هو التركيز الكلي للكلور المتبقي بعد نهاية العملية واكتمالها. ويعتبر هذا الكلور الضمان لدرء أي تلوث تالي قد يطرأ على المياه بعد خروجها من محطة التنقية (التلوث ضمن شبكات التوزيع).

تطهير نقطة التكسير Breakpoint chlorination هي عملية التطهير بالكلور في حال تشكل الكلورامينات وذلك بتركيز للكلور يفوق التركيز اللازم لتكسير جميع مركبات الكلورامينات المتشكلة بحيث يصبح الكلور المضاف بعد هذه النقطة جميعه حر .



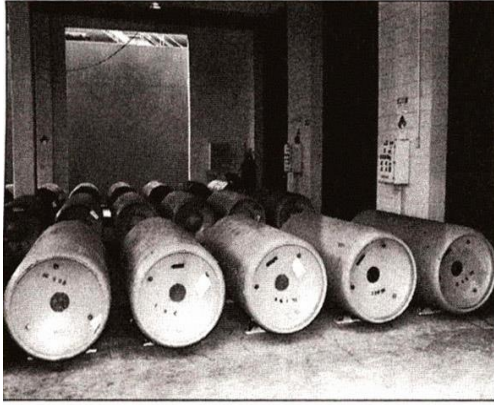
ارتباط الكلور المتبقي بجرعة الكلور الأولية المدخلة إلى المياه بغياب أملاح الأيونيوم المنحني 1 وبتواجد أملاح الأيونيوم المنحني 2

مخطط التدفق : flow diagram : اطلاع

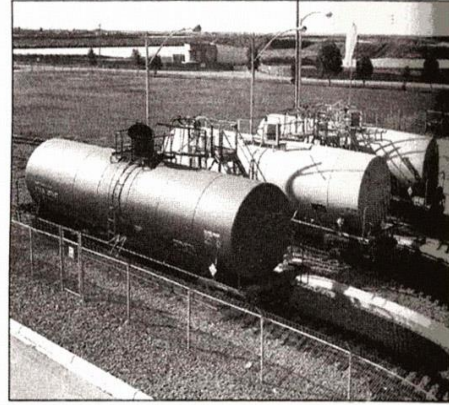


(a)

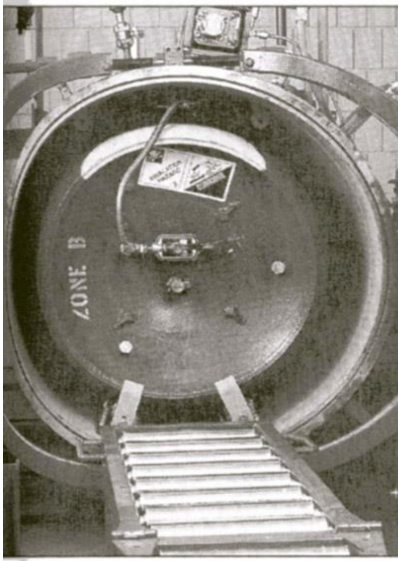
أسطوانات الغاز المسال



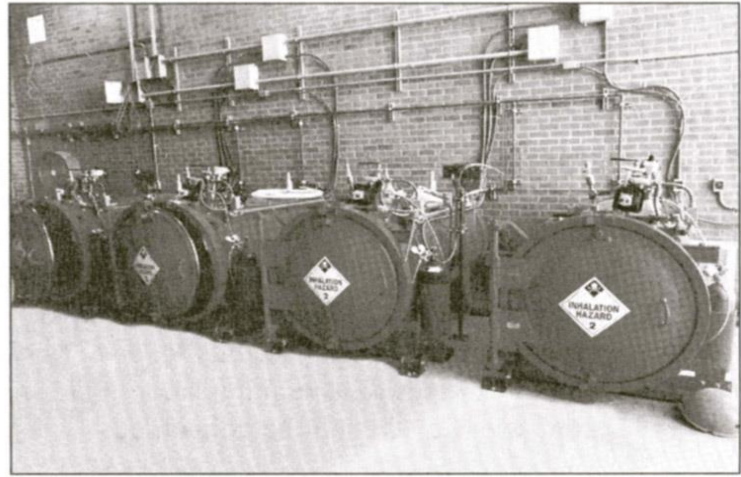
(a)



(b)



(a)



(b)

المحاقن Injectors

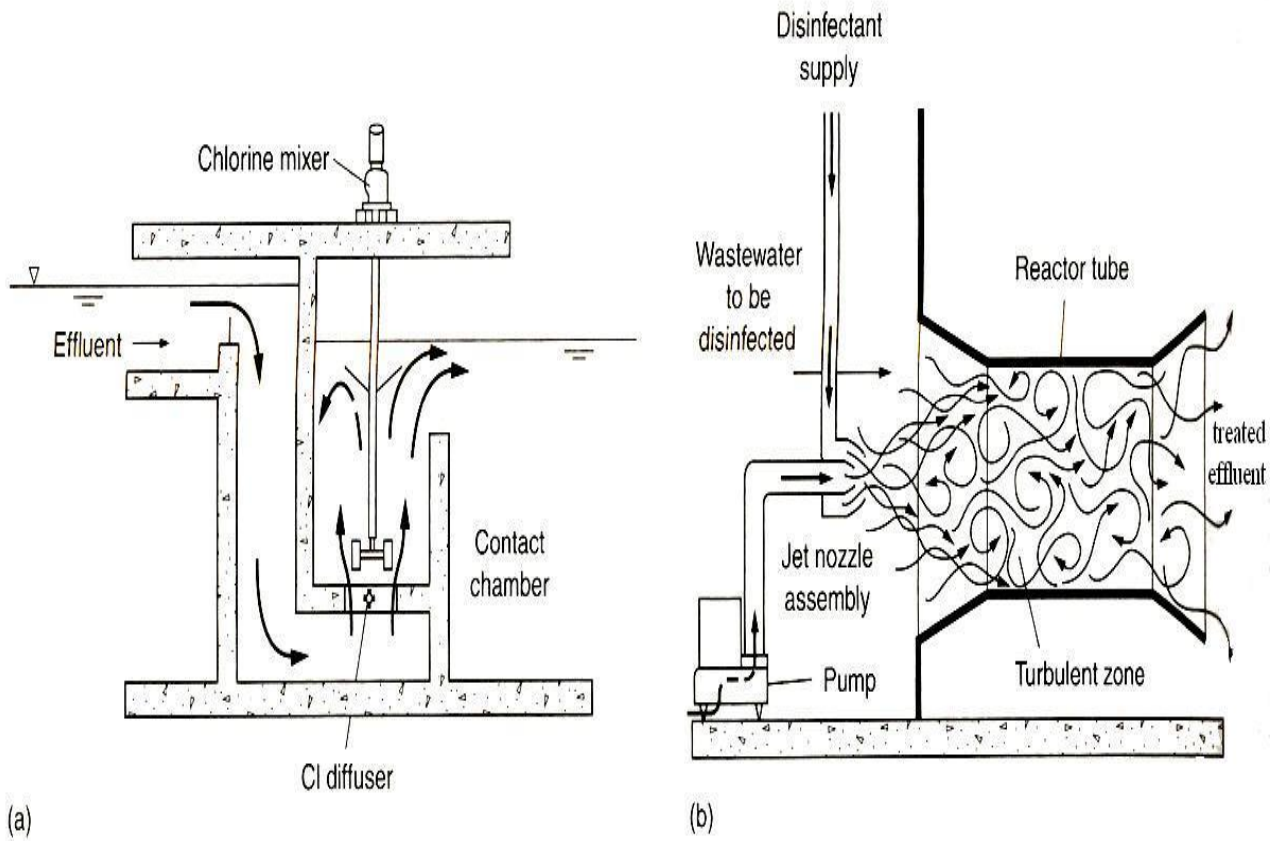


Figure 3

Typical mixers for the addition of chlorine: (a) in-line turbine mixer and (b) injector pump type.

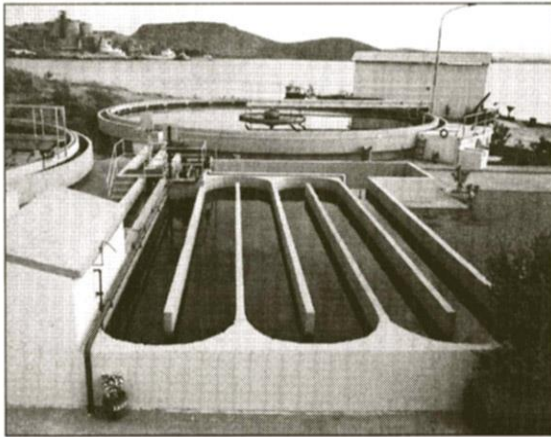
Contact chambers حجر التماس



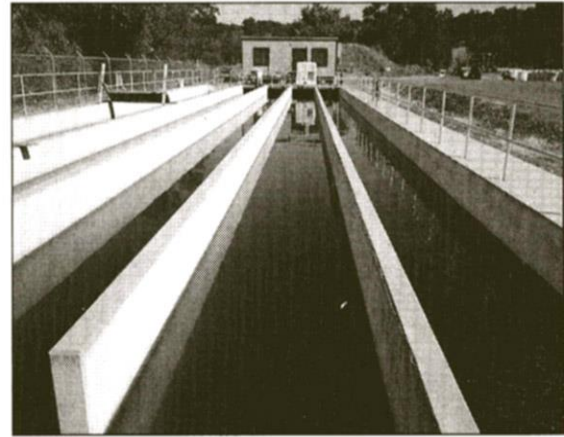
(a)



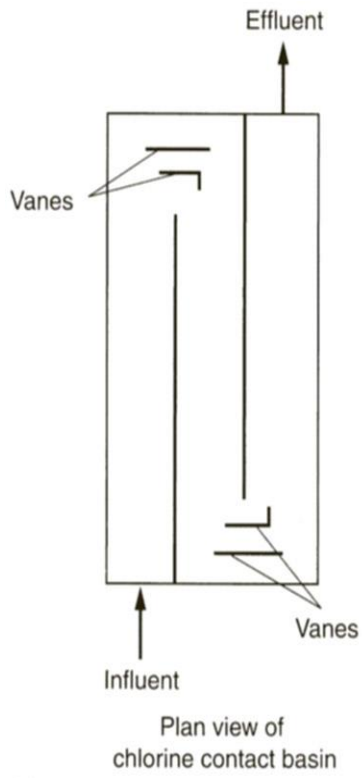
(b)



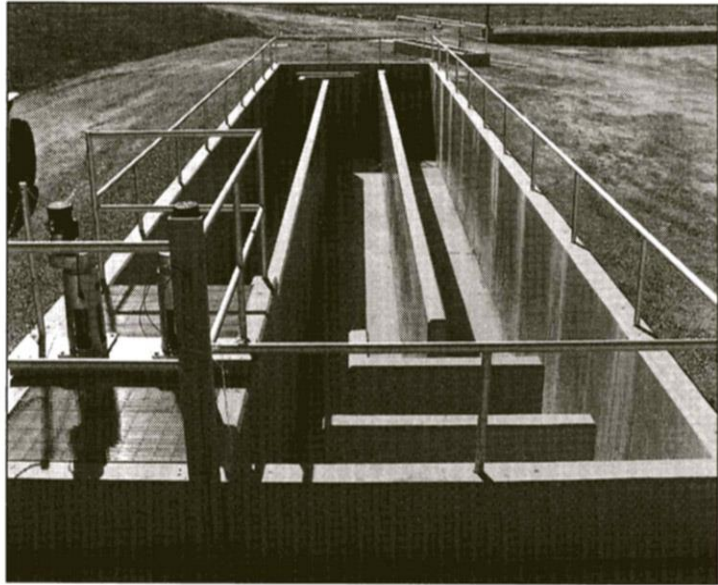
(c)



(d)



(a)



(b)