

## مشاكل استخدام الكلور الفعال في تطهير مياه الصرف الصحي

### وإمكانية استخدام وسائل تطهير بديلة

#### الدكتور المهندس بسام العجي

قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

E-mail: [basam-al@scs-net.org](mailto:basam-al@scs-net.org)

مقدمة:

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

لا تسمح عملية تخثير الشوائب مع عمليات الترسيب والترشيح اللاحقة، وكذلك عملية الكلورة المسبقة للمياه بالحصول على إزالة كاملة للبكتيريا الضارة، حيث تحافظ حتى 10% من البكتيريا 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 طرحها إلى المجمعات المائية الطبيعية أو استخدامها للأغراض المختلفة.

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

يجري ضبط فعالية تطهير المياه بتحديد العدد الكلي للبكتيريا في 1 سم<sup>3</sup> من المياه وكذلك بتحديد تواجد زمرة العصيات المعوية Esherichia Coli وذلك بدلالة مؤشر كولي . إيندكس أو مؤشر كولي تيتير للمياه بعد التطهير .

إن العصيات المعوية E.Coli 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 البكتيريا 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.

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

**I - الطرق الحرارية:** إن غلي المياه لفترة 20-12 دقيقة يقود إلى قتل جميع الأحياء الدقيقة ذات التشكلات اللابوغية، بينما لإبادة الأبواغ فتجري عمليات تسخين المياه تحت الضغط لدرجة حرارة 120°C أو أن يتم غلي المياه لمدة 15 دقيقة ثم تبرد حتى درجة الحرارة 35°C وتترك لمدة ساعتين للسماح بالانتشار الأبواغ ليتم بعد ذلك التسخين من جديد للمياه حتى الغليان. رغم بساطة هذه الطرق إلا أن استخدامها بقي محدوداً جداً نظراً لعدم إمكانية اعتمادها كطريقة أساسية في تطهير حجوم كبيرة من المياه.

**II - الطرق الفيزيائية:** تجري عمليات التطهير في هذه الطرق باستخدام تأثير الأشعة الشمسية أو الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة  $\gamma$  أو  $\beta$  أو استخدام الأمواج فوق الصوتية.

1- أشعة الشمس: تعد الشمس مطهراً طبيعياً للمياه إذ بتعرض المياه لأشعة الشمس مدة من الزمن يقتل الكثير من أنواع البكتريا نظراً لما تحمله الشمس من إشعاعات.

2- الأشعة فوق البنفسجية: وهي طريقة فعالة في تطهير المياه إذ لا تقتل فقط البكتريا وإنما الحمات الراشحة أيضاً ويقتصر تأثير الأشعة فوق البنفسجية في الطبقة السطحية من المياه بسماكة 30 سم، بينما ينعدم تأثيرها في الأعماق الأكبر. تتولد الأشعة فوق البنفسجية في أنابيب من زجاج الكريستال الصخري الحاوية على سائل الزئبق والمعرضة لتيار كهربائي مستمر بتوتر (220 فولط) ولمدة (10 دقائق). بتعرض المياه لهذه الأشعة لمدة (10-40) ثانية يمكن إبادة البكتريا الممرضة الموجودة فيها. ويجب ألا تزيد عكارة المياه على (15) ملغ/ل حتى نحصل على كفاية عالية في التطهير، إذ لو زادت العكارة على هذا الحد فإنه من المحتمل أن تحتمي البكتريا بالمواد العالقة وتتجنب عندها مفعول الأشعة، ومن محاسن هذه الطريقة أنها سريعة الفعالية ولا تترك أثراً على طعم المياه ورائحتها.

3- أشعة غاما: وهي أشعة فعالة جداً في إبادة البكتريا، ولهذه الأشعة طاقة نفوذ كبيرة ولهذا فإننا نستطيع استعمالها لمعالجة كميات كبيرة من مياه الشرب. لكن هذه الطريقة لا تستعمل حتى الآن في تطهير مياه الشرب وذلك بسبب خطر نشوء نشاط إشعاعي قوي في الجوار المباشر للماء.

4- الأمواج فوق الصوتية: لقد وجد بالتجربة أن هذا النوع من الموجات يقتل البكتريا بصورة سريعة وأكيدة، إلا أن الحصول على الموجات فوق الصوتية ليس بالأمر السهل وهي لا تؤثر على أعماق كبيرة للمياه، ومكلفة من الناحية الاقتصادية، لذلك لم تلق انتشاراً واسعاً في مجال تطهير المياه.

III- استخدام تأثير بعض أيونات المعادن الثقيلة: إن استخدام كميات غير كبيرة من أيونات الفضة والنحاس والذهب يقود إلى تطهير المياه، حيث يمكن تطهير مياه الشرب باستخدام الفضة لإبادة البكتريا فقط، أما الحمات الراشحة فلا تتأثر بها، بالإضافة لذلك فإن استخدام الفضة يتطلب دقة عالية في تقدير الكمية اللازمة والتي تتراوح من (0.05-0.015) ملغ/ل. حيث إن أي زيادة قد تعطي مفعولاً سلبياً وتصبح المياه خطيرة على الصحة العامة. وتتطلب العملية مدة تعريض طويلة فمثلاً نحتاج لتطهير المياه من الأحياء الممرضة باستخدام أيونات الفضة ذات التركيز 0.015 ملغ/ل إلى فترة تماس للمياه مع هذه الأيونات لا تقل عن أربع ساعات. تعتبر أيونات النحاس أقل فعالية في القضاء على زمر الأحياء المعوية من بقية الأيونات المستخدمة في هذا المجال.

يتم غالباً تشريب الكربون المنشط بهذه الأيونات بغية استخدامه في عملية التطهير وخصوصاً في أجهزة التنقية صغيرة أو متوسطة الحجم.

IV- استخدام الترشيح عبر الأوساط المسامية المختلفة: إن أغلب الأحياء الممرضة باستثناء الفيروسات تملك أبعاداً أكبر من 1-2 ميكرون، لذلك فإن ترشيحها خلال أوساط ترشيح بأبعاد مسامات أقل من 1 ميكرون سوف يخلص المياه منها. 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 الطرق شيوعاً في الاستخدام. ومن المؤكسدات المستخدمة لهذا الغرض: الهالوجينات كالكلور ومركباته المختلفة، والبروم، واليود، وكذلك استخدام برمنغنات البوتاسيوم، وبيروكسيد الهيدروجين، والأوزون.. الخ.

### استخدام المؤكسدات القوية:

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

إن أكثر الطرق المستخدمة عملياً في تكنولوجيا التحضير المائي هي الطرق 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.

تخضع كينيتيكا تطهير المياه للقانون التالي:

$$\frac{dy}{dt} = KN = K(N_0 - y) \quad -1-$$

حيث:

-y عدد الأحياء الدقيقة المخربة بمفاعل التطهير المؤكسد في اللحظة الزمنية المدروسة t.  
-t فترة الأكسدة.

-N عدد الأحياء المتبقية في المياه في اللحظة المدروسة.

-N<sub>0</sub> العدد الأولي للأحياء الدقيقة.

-K ثابت السرعة ذو الوحدة t<sup>-1</sup>.

بإجراء التكامل للعلاقة السابقة في الحدود من t=0 y=0 وحتى t=t y=y نحصل على العلاقة التالية:

$$\text{Ln} \frac{N_0 - y}{N_0} = \text{Ln} \frac{N}{N_0} = -K t \quad -2-$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-Kt} \quad \text{أو} \quad -3-$$

وقد أكدت نتائج الأبحاث التجريبية صحة العلاقة السابقة.

ويمكن التعبير عن تأثير تركيز مفاعل التطهير على سرعة موت البكتيريا في المياه الخاضعة للمعالجة بالعلاقة التالية:

$$C^n t_K = \text{Const.} \quad -4-$$

حيث:

-C تركيز مفاعل التطهير.

-t<sub>K</sub> فترة تماس البكتيريا مع مفاعل التطهير والضرورية لخفض العدد الكلي لبكتيريا بالنسبة محددة.

-n مؤشر الدرجة ويسمى أيضاً بمعامل الحل.

ويوصف تأثير العدد الأولي للبكتيريا في المياه على كينيتيكا عملية التطهير بالعلاقات التالية:

$$\frac{C^n}{N_0 - N} = \text{Const.} \quad \frac{C^n}{N_0(1 - e^{-Kt})} = \text{Const} \quad -5-$$

ويبدو تأثير درجة حرارة المياه على كينيتيكا عملية التطهير من خلال رفعها لمعامل انتشار المؤكسد خلال أغشية الخلايا للبكتيريا. وتُسرع عملية رفع درجة حرارة المياه من 0.2°C وحتى 10°C عملية التطهير بشكل شديد، بينما يبدو الرفع التالي لدرجات الحرارة أقل تأثيراً. وتؤثر درجة حرارة المياه بشكل أكبر على كينيتيكا التطهير بالكورامينات منها للكور الحر.

$$\text{Disinfection Kinetics Chick-Watson Law:} \quad N_t/N_0 = -kC^n t$$

مفهوم CT استناداً لقانون تشيك-واتسون : Based on Chick-Watson Law

تركيز المطهر ووقت الاتصال لهما نفس "الوزن" أو المساهمة في نسبة التعطيل وفي المساهمة في CT .

التطهير باستخدام اليود:

استخدم اليود منذ عام 1915، إلا أنه لم يستخدم في تطهير المياه، إلا في عام 1963 وبشكل خاص لتطهير مياه أحواض السباحة إذ أنه يعطي لمياه الشرب طعماً دوائياً غير مرغوب فيه . ويعتبر (HOI) أكثر فاعلية من اليود ( $I_2$ ) بأربع مرات إلا أنه أقل فاعلية من (HOCl)، ويعتبر اليود مبيد فعال للفيروسات وتزداد هذه الفعالية في درجة ( $pH > 8$ ) وتبلغ جرعة اليود التطهيرية (2%) لكل لتر من الماء. من سيئاته تفاعل البطيء مع المركبات العضوية، كما أنه لا يؤثر في النشادر  $NH_3$  بالإضافة لكلفته العالية.

التطهير باستخدام برمغنات البوتاسيوم:

استخدمت برمغنات البوتاسيوم في لندن منذ عام 1913، كما استخدم في أوروبا وفي الولايات المتحدة الأمريكية خلال عقود سابقة حيث استخدم بشكل أساسي لإزالة المنغنيز من المياه. تعتبر برمغنات البوتاسيوم عامل أكسدة قوي، فهي تزيل اللون والطعم والرائحة بصورة فعالة وخاصةً تلك التي تسببها الطحالب، وتتراوح الجرعة المستعملة لهذا الغرض (0.1-0.05) ملغ/ل، كما تتراوح الجرعة المستعملة للتطهير بين (4-16) ملغ/ل وتزداد الفعالية التطهيرية للبرمغنات في درجة pH بين ( $pH = 5.9 - 7.4$ ).

**تطهير المياه باستخدام الكلور**

يساهم الكلور في تطهير المياه بهدف إزالة الأسباب المرضية، وفي أكسدة المياه (إزالة الحديد والمنغنيز، هدم مركبات الطعم واللون والرائحة ، وفي إزالة نتروجين الأمونيا، وفي إزالة ثاني أكسيد الكبريت).  
الكلور غاز أصفر مخضر اكتشفه الصيدلي السويدي Scheele في 1774 من تفاعل ثاني أكسيد المنغنيز مع حمض الهيوكلوريت واعتقد بأن هذا المركب يحتوي أوكسجين. في 1810، جرت تسميته من قبل السير همفري ديفي Sir Humphrey Davy الذي أخذ اسمه من اليونانية chloros وتعني أصفر مخضر. وهو من زمرة الهالوجينات. يتفاعل تقريبا مع كل العناصر .

Symbol	Cl
(as gas)	Cl <sub>2</sub>
Atomic Number	17
Atomic Weight	35.453
Melting Point (°C)	-101
Boiling Point (°C)	-34.5
Liquid Density (0° C and 3.65 atm; g/l)	1.47
Vapor Pressure (mmHg @ 20° C)	4800
Vapor Density (@ STP: g/l)	2.49
Viscosity (micropoises) at	
Temperature = 12.7° C	129.7
= 20°	132.7
= 50°	146.9
= 100°	167.9
= 150°	187.5
= 200°	208.5

يحل الماء حوالي 3.10 من حجمه من الكلور في 10°C؛

يحل الماء حوالي 1.77 من حجمه من الكلور في 30°C؛

يستخدم الكلور على نطاق واسع في عمليات التطهير المائي ( القضاء على البكتريا والفطور والطحالب وغيرها) وفي الإنتاج الصناعي (صناعة المنتجات الورقية، الأصباغ، المنسوجات، المنتجات النفطية، بعض المواد الصيدلانية، المطهرات، المبيدات، المحلات، الأظلية، ومنتجات إستهلاكية أخرى...الخ)، كما استخدم الكلور في إنتاج الكلورات، الكلوروفورم، رابع كلوريد الكربون ، وفي استخلاص البروم وفي إنتاج بوليميرات الفينيل المكلورة (pvc)، والكلوروفلوروكربونات، وأكسيد البروبيلين.. استخدم الكلور كغاز حرب أثناء الحرب العالمية الأولى يصنَعُ الكلور بالتحليل الكهربائي من محلول كلوريد الصوديوم.

الكلور السائل ذو لونٍ عنبري أثقل بـ 1.44 مرة من الماء. غاز الكلور هو غاز عالي السمية قادر على التسبب بالموت خلال التعرّض الطويل عن طريق الإستنشاق. وهو مزعج جداً للأغشية المخاطية وللعيون والمنطقة التنفسية. وهو غاز له رائحة قابل للكشف في تركيز أقل من 3.55 ppm. يسبب تهيج الحنجرة بتركيز 15 ppm يعتبر خطر بتركيز 50 ppm خلال حتى التعرّض القصير. قد يكون التعرّض قاتل بتركيز 1000 ppm . يمكن أن يسبب الكلور الحرائق أو الانفجار عند اتصاله ببعض المواد الأخرى. يطلق أذخنة سامّة جداً عند تسخينه.

### التأثيرات البيئية للكلور

لا يمكن للنباتات والحيوانات أن تحتزن الكلور. وقد أظهرت الدراسات أن التعرّض المتكرر للكلور في الهواء يمكن أن يؤثر على نظام المناعة، والدم، والقلب، والنظام التنفسي. يُسبب الكلور الأذى البيئي حتى في مستوياته المنخفضة. الكلور ضار بالكائنات الحية التي تعيش في الماء وفي التربة.

### فعالية الكلور :

تتوقف فعالية الكلور في قتل البكتريا على العوامل التالية:

- 1- درجة تركيز الأيون الهيدروجيني pH : تبين أن الماء ذا التركيز الهيدروجيني المنخفض يلزمه جرعات كلور أصغر من الماء ذا التركيز الهيدروجيني المرتفع للحصول على نفس كفاءة التطهير.
- 2- درجة الحرارة: تقل جرعة الكلور بارتفاع درجة الحرارة للحصول على نفس كفاءة التطهير.
- 3- زمن التماس بين الكلور والماء (Time of contact): تزيد فعالية الكلور كلما طال هذا الزمن ونظراً لاختلاف مقاومة البكتريا المختلفة لتأثير الكلور عليها فقد وجد أنه يجب أن تمر ثلاثين دقيقة بعد إضافة الكلور قبل استعمال المياه.
- 4- قلوية المياه (Alkalinity): تقل فعالية الكلور بزيادة قلوية المياه، لذلك يلزم جرعات كلور عالية كلما ارتفعت قلوية الماء.
- 5- وجود المركبات الأزوتية في الماء (Nitrogenous compound): إن تواجد هذه المركبات في الماء وخاصة الأمونيا تخفض فعالية الكلور في قتل البكتريا، لذا يلزم إما إضافة جرعات أكبر أو إطالة زمن التماس بين الكلور والماء.
- 6- وجود مركبات الحديد والمنغنيز: وهذه أيضاً تحد من فعالية الكلور في قتل البكتريا.
- 7- نوع وعدد البكتريا المراد القضاء عليها: لكل ميكروب مقاومة معينة لتأثير الكلور، ولذا يلزم اختبار الماء لمعرفة أنواع الميكروبات التي يراد قتلها بالكلور، كما أن لعدد البكتريا الموجودة في الماء تأثير على جرعة الكلور والواجب إضافتها، فكلما زاد العدد زادت الجرعة اللازمة.
- 8- عكارة الماء (Turbidity): كلما زادت عكارة الماء زادت جرعة الكلور اللازمة. إذ أن الميكروبات قد تحتمي بالمواد المسببة للعكارة من تأثير الكلور.
- 9- طريقة إضافة الكلور: فالكلور يمكن إضافته 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 لأحد مركباته.
- 10- جرعة الكلور (Chlorine dose): فعالية الكلور في القضاء على البكتريا تزيد بازدياد جرعة الكلور المضافة إلى الماء.

Wastewater Type	Chlorine Dosage (mg/l)
Raw Sewage	6-12
(Septic) Raw Sewage	12-25
Settled Sewage	5-10
Chemical Precipitation Effluent	3-10
Trickling Filter Effluent	3-10
Activated Sludge Effluent	2-8
Sand Filter Effluent	1-5

TABLE 2 Inactivation of Health-related Bacteria in Water by Free Chlorine

Bacteria	Water	Cl <sub>2</sub> Residual (mg/l)	Temp. (°C)	pH	Time (min.)	Reduction (%)	Est. C.t*	Reference
<i>E. coli</i>	BDF	0.2	25	7.0	15	99.998-	ND	Ram and Malley, 1984
<i>E. coli</i>	BDF + N-organics	0.2	25	7.0	15	99.996-99.992	ND	
<i>E. coli</i>	BDF	0.1	23	10	3.5	90	0.6	Haas et al., 1986
<i>E. coli</i>	" 0.1M KNQ <sub>3</sub>	0.1	23	10	0.8	90	0.15	
<i>E. coli</i>	BDF, <7 μm*	0.5	5	7.0	30	ND	0.9	Berman et al., 1988
<i>E. coli</i>	BDF*, >7 μm*	0.5	5	7.0	30	ND	2.7	
<i>E. coli</i>	CDF	1.5	4	?	60	ca.99.9	ca. 2.5	LeChevalier et al., 1984b
<i>E. coli</i> + GAC*	CDF	1.5	4	?	60	<<10	>>60	
HPC	CDF	1.7	4	?	60	>99.995	2.5	
HPC + GAC	CDF	1.7	4	?	60	<10	>>60	
HPC	treated*	0.25-1.3	24	8.0	15	99.82	ND	Wolfe et al., 1984
HPC	treated	0.25-1.3	24	8.0	30	(42->99.99) 99.94	ND	
<i>C. jejuni</i>	BDF	0.1	4	8.0	5	99.98- >99.998	ND	Blaser et al., 1986
<i>L. pneumophila</i> (water grown)	tap	0.25	20	7.7-7.8	58	99	15	Kuchta et al., 1985
<i>L. pneumophila</i> (media grown)	tap	0.25	20	"	4	99	ca. 1.1	
<i>L. pneumophila</i>	tap	4-6	25	?	52	99.9	ND	Muraca et al., 1987
<i>M. chelonae</i>	BDF	0.3	25	7.0	60	40	>>60	Carson et al., 1978
<i>M. chelonae</i>	BDF	0.7	25	7.0	60	99.95	46	
<i>M. chelonae</i>	BDF	1.0	?	7.0	60	96	ca. 80	Pelletier and
<i>M. fortuitum</i>	BDF	0.15	?	7.0	60	0	>720	
<i>M. fortuitum</i>	BDF	1.0	?	7.0	30	99.4	ca. 28	Du Moulin 1987
<i>M. intra-cellulare</i>	BDF	0.15	?	7.0	60	70	>>480	"

\* C.t = product of disinfectant concentration (C) in mg/l and contact time (t) in minutes for 99% inactivation; ND = not done or no data; BDF = buffered demand-free; CDF = chlorine demand free; <7 μm = with <7 μm particles; >7 μm = with >7 μm particles; GAC = granular activated carbon; treated = conventionally treated surface water.

TABLE 3 Inactivation of Health-related Viruses and Protozoan Cysts in Water by Free Chlorine

Microbe	Water	Cl <sub>2</sub> Residual (mg/l)	Temp. (°C)	pH	Time (min.)	Reduction (%)	Est. C·t	Reference
<b>VIRUSES:</b>								
Parvo- H-1	PBS*	0.2	20	7.0	6	99.9	0.53	Churn et al., 1984
Parvo- H-1	PBS	0.2	10	7.0	11	99.9	0.85	Berman and Hoff, 1984
SA11, disp. *	BDF	ca. 0.5	5	10	1.1-1.65	99	0.63	Raphael et al., 1987
" , cell-ass. *	BDF	ca. 0.5	5	10	2.4-4.4	99	1.8	Harekah & Butler, 1984
Rota, Wa	treated	0.75	22	8.3-8.6	60	94.3	ND	Vaughn et al., 1986
Human rota-	effluent	1.1	15	7.2	15	40	>>15	Grabow et al., 1983
Human rota-	effluent	2.2	15	7.2	10	60	>>15	Sobsey et al., 1988
Rota, SA11	BDF	0.1	4	8.0	0.5	99.9	0.03	"
Rota, Wa	BDF	0.1	4	8.0	0.65	99.9	0.03	"
Rota, SA11	BDF	0.4-0.28	25	10.0	1.1	99.99	ca. 4.0	"
Hepatitis A	BDF	0.42-0.06	25	6	0.7	99.99	ca. 3.0	"
Hepatitis A	BDF	0.4-0.28	25	10	2.5	99.99	ca. 5.5	"
Hepatitis A	BDF	0.5	5	6.0	6.5	99.99	ca. 1.8	"
Hepatitis A	BDF	0.5	5	10.0	49.6	99.99	ca. 12.3	"
Coliphage MS2	BDF	0.5	5	6.0	1.2	99.99	ca. 0.25	"
Coliphage MS2	BDF	0.5	5	10.0	26.5	99.99	ca. 6.9	"
<b>PROTOZOAN CYSTS:</b>								
<i>G. lamblia</i>	BDF	1-4	5	7.0	3-32	90	90-170	Jarroll et al., 1981
<i>G. lamblia</i>	BDF	1.5	25	6.0-8.0	47	99	<15	Rice et al., 1982
<i>G. lamblia</i>	BDF	2.5	5	6.0-8.0	19-26	90	ca. 120	Hibler et al., 1987
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2-3.0	5.0	6.0	---	99	54-87	"
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2-3.0	5.0	7.0	---	99	83-133	"
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2-3.0	5.0	8.0	---	99	119-192	"
<i>G. muris</i>	BDF	2.5	5	6.0	30	90	>150	Rice et al., 1982
<i>G. muris</i>	BDF	2.5	5	8.0	48	90	>150	Leahy et al., 1987
<i>G. muris</i>	BDF	23.8-78.5	5	7.0	5.7-42.6	99	449-1012	"
<i>G. muris</i>	BDF	2.8-7.1	25	7.0	3.6-16	99	25.5-44.8	"
<i>G. muris</i>	BDF	11.1	25	9.0	15.6	99	177	"
<i>G. muris</i>	BDF	4.4	25	5.0	16.3	99	71	"
<i>Naegleria</i> (2 species)		0.5-1.0	25	7.3-7.4	1-3 hr?	99.99	12-18	de Jonckheere and van de Voorde, 1976
<i>Acanthamoeba</i> (2 species)		4-8	25	7.3-7.4	24 hr.	99.99	960-7200	"
<i>N. gruberi</i>	BDF	2.64	25	5.0	2.8	99	7.3	Rubin et al., 1983
<i>N. gruberi</i>	BDF	2.2	25	7.0	5.2	99	11.4	"
<i>N. gruberi</i>	BDF	15.4	25	9.0	15.4	99	177	"
Crypto-sporidium	gut homog. in PBS	30,000	4	ca. 7.0	18 hr.	<95	>>18 hrs.	Campbell et al., 1982

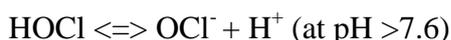
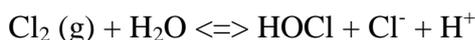
\*PBS = phosphate buffered saline; for other abbreviations see footnote to Table 2.

Table 4. Minimum Bactericidal Chlorine Residuals (mg/l).

pH Value	Free Available Chlorine Residual After 10-min Contact	Combined Available Chlorine Residual After 60-min Contact
6.0	0.2	1.0
7.0	0.2	1.5
8.0	0.4	1.8
9.0	0.8	>3.0

تواجد الكلور في الماء:

1- الكلور الحر (Free chlorine): وهو الكلور الذي يوجد في الماء على شكل حمض الهيپوكلوريك وأيون الهيپوكلوريت وكلور جزيئي.



2- الكلور المرتبط (Combined chlorine): وهو الكلور الذي يوجد في الماء على شكل مركبات الكلورامين .

أشكال الكلور المضاف إلى الماء:

يضاف الكلور إلى الماء على شكل إحدى مركبات الكلور 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  $Ca(OH)_2$  وهيبوكلوريد الكالسيوم القاعدي  $Ca(OCl)_2$  وهو مسحوق أبيض مائل للاصفرار له رائحة قوية نفاذة يحتوي الحديد منه على 32% من وزنه كلور فعال، إلا أن هذه النسبة تأخذ بالنقصان بمضي الوقت خصوصاً إذا تعرض للجو أو الضوء ولذلك يجب حفظه في عبوات خاصة. كما يجب اختياره لمعرفة نسبة الكلور الفعال قبل كل استعمال حتى يمكن تقدير الكمية التي تعطي جرعة الكلور المطلوبة.

وبعد تقدير كمية المسحوق الأبيض، تصنع منه عجينة سميكة تخفف تدريجياً حتى تصبح مستحلب بنسبة 1:100. هذا المستحلب يمزج جيداً ثم يترك لمدة ساعة ثم يصفى لإزالة ما به من رواسب ثم يضاف إلى الماء بالمعدل المطلوب بواسطة أجهزة خاصة.

## 2- هيبوكلوريد الكالسيوم (Calcium hypo chlorite):

تركيبه الكيميائي  $Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$ . وتتراوح كمية الكلور الفعال فيه 60-70% من وزنه ويمتاز عن المسحوق الأبيض بارتفاع نسبة الكلور الفعال ولا يتأثر بالتخزين.

وعند استعمال هيبوكلوريد الكالسيوم يحضر محلول مركز منه ثم يضاف إلى الماء بالجرعات اللازمة بواسطة أجهزة خاصة.

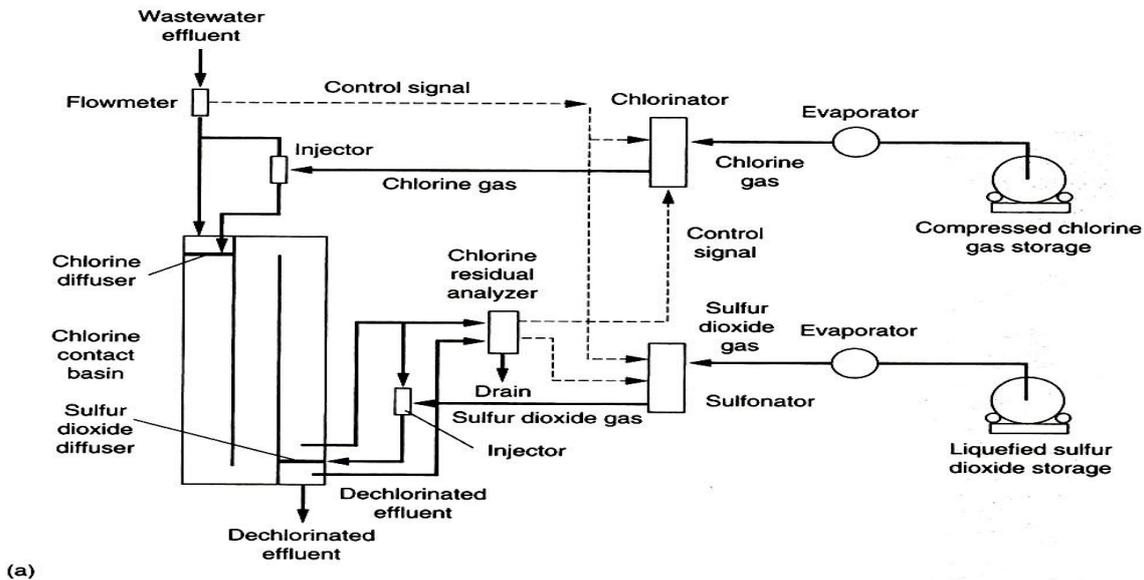
## 3- هيبوكلوريد الصوديوم (Sodium hypo chlorine):

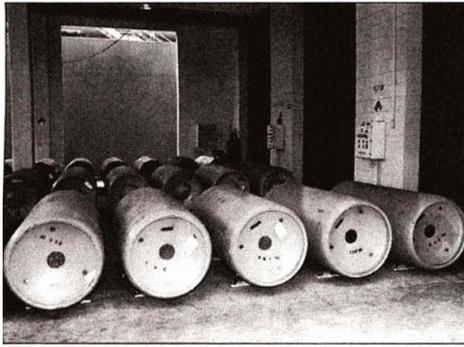
تركيبه الكيميائي  $(NaOCl)$ . ويحتوي هذا الملح على 15% من وزنه كلور فعال، لذلك لا يستعمل بكثرة بالإضافة إلى أن محلوله يسبب تآكلاً في المواسير.

4- إضافة الكلور الغازي: يتميز غاز الكلور بالموصفات التالية: لونه أصفر مائل إلى الاخضرار؛ رائحة نفاذة خانقة؛ غاز الكلور أثقل من الهواء مرتين ونصف، يسيل تحت الضغط العالي لذلك يحفظ وينقل على هيئة غاز مسال بالضغط في أسطوانات من الصلب تختلف سعتها من 50-1000 كغ؛ الكلور المسال أثقل من الماء مرة ونصف؛ عندما يكون الغاز جافاً لا يسبب تآكلاً في المعدن ولكنه يتفاعل مع المعادن إذا كان رطباً.

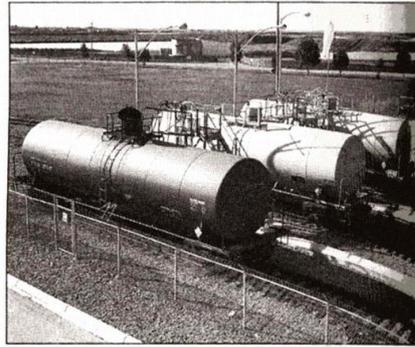
يضاف غاز الكلور بواسطة أجهزة خاصة تسمى أجهزة الكلورة وهي إن اختلفت في الشكل أو طريقة التشغيل إلا أنها تتفق في الأسس الرئيسية التي تتلخص في تخفيف الضغط على الغاز المسال حتى يتحول إلى غاز ثم تمرير هذا الغاز على كمية محدودة من الماء على ألا يقل ضغط المحلول عند نقطة الحقن على ثلاثة أمثال الضغط في الأنبوب الرئيسي للمياه وذلك ضماناً لكفاءة عملية الحقن.

## مخطط التدفق flow diagram





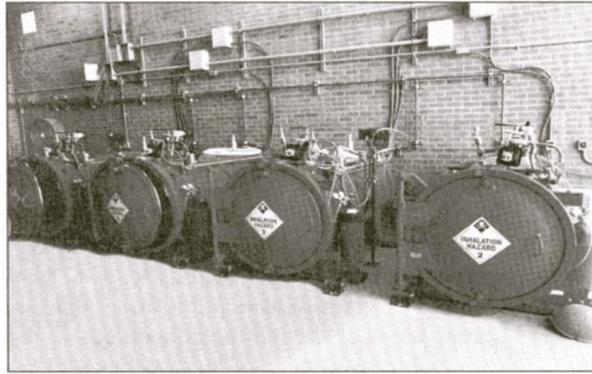
(a)



(b)

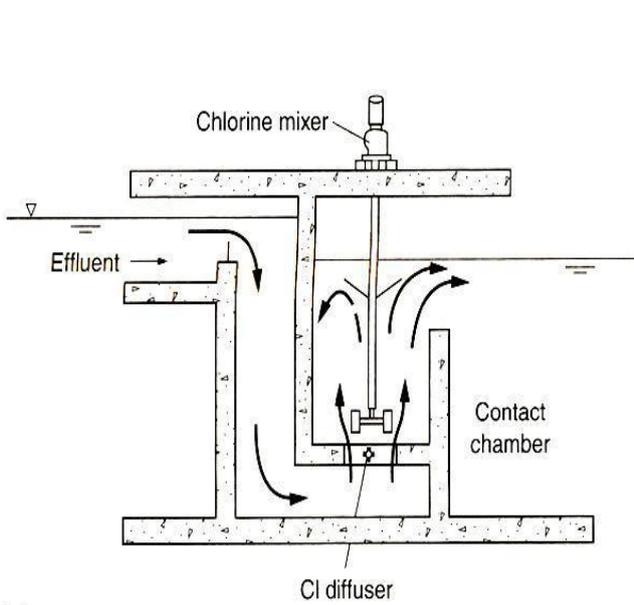


(a)

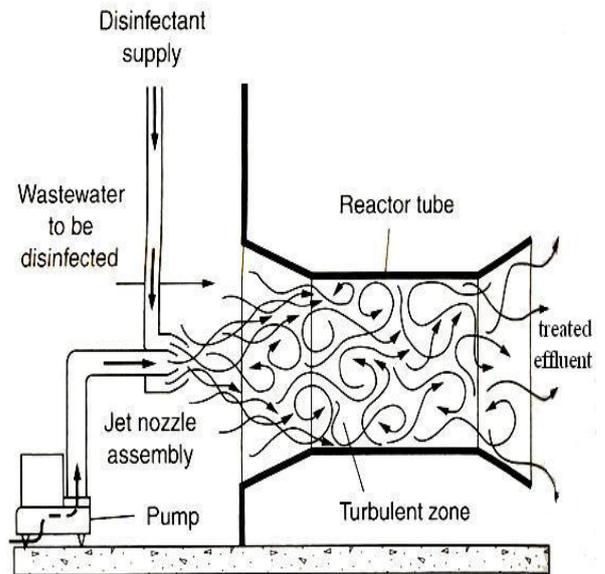


(b)

المحاقن Injectors



(a)

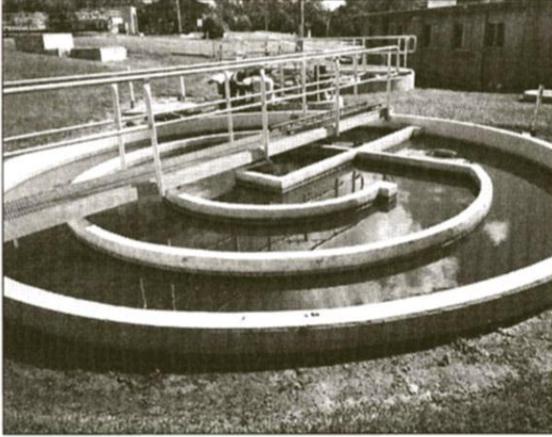


(b)

**Figure 3**

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

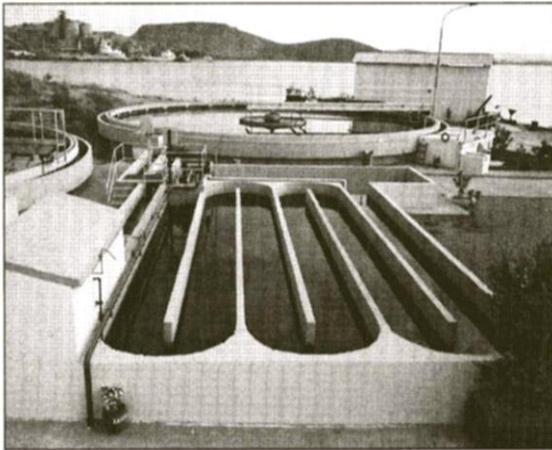
Contact chambers حجر التماس



(a)



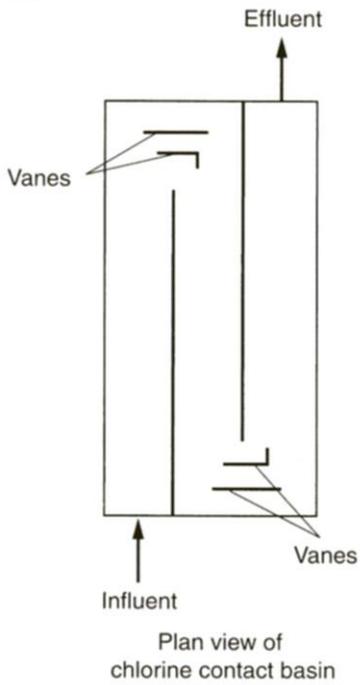
(b)



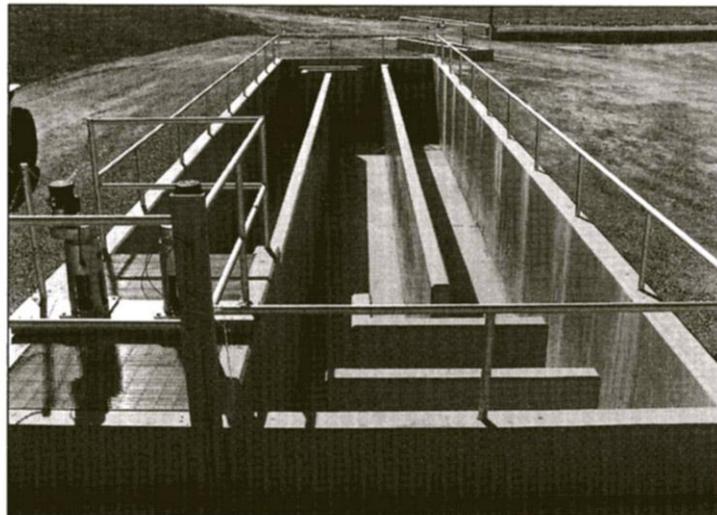
(c)



(d)



(a)



(b)

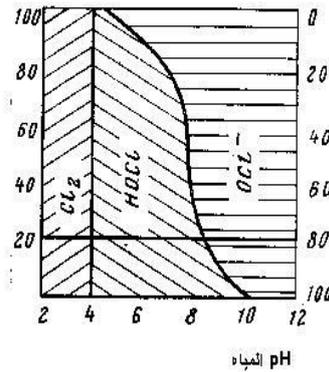
## المشاكل الناجمة عن استخدام الكلور الفعال في تطهير مياه الصرف الصحي:

يعتبر الكلور الفعال أكثر المؤكسدات القوية استخداماً في مجال التطهير. أكثر حالات استخدام الكلور لأغراض التطهير هي الحالة الغازية أو السائلة.

وتعتبر الكلورة 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 (البارتيفية) وأغلب المكورات ذات التشكل البوغي.

بقيت لفترة طويلة طريقة التطهير بالكلور الفعال أكثر الطرق انتشاراً في حماية الصحة العامة من خطر الفيروسات والبكتريا الممرضة المتواجدة في مياه الصرف الصحي الخاضعة للمعالجة التقليدية. يستخدم الكلور الفعال عادة بجرعات عالية نسبياً لضمان أمان عملية التطهير لمياه الصرف الصحي قبل طرحها إلى المحميات المائية الطبيعية أو استخدامها لأغراض الري.

يؤدي استخدام جرعات عالية من الكلور إلى وصول كميات متبقية فائضة من المواد ذات الطبيعة السمية إلى البيئة المحيطة كالكلور الفعال المتبقي واتحادات الكلور المتبقية إضافة إلى اتحادات الكلور العضوية المختلفة. تشكل المواد السابقة تهديداً خطيراً على أشكال الحياة المختلفة في مياه المجمعات الطبيعية أسفل مصبات محطات المعالجة على هذه المجمعات متمثلة بتهديد الثروة السمكية في المجمعات المائية الطبيعية وبالتأثير السلبي على الحياة الميكروبيولوجية فيها بالتأثير السلبي أيضاً على قدرة هذه المجمعات على التنقية الذاتية، كما يحد تواجد المواد السابقة من مجالات استخدام المياه الناتجة عن المعالجة في مجالات الاقتصاد المختلفة.



الشكل 7: أشكال اتحادات الكلور خلال قيم مختلفة لـ pH المياه

ويؤدي الحمض الهيوكلوريتي وأيون الهيوكلوريتي التأثير المؤكسد الرئيسي للأحياء الدقيقة، ويفوق تأثير الحمض الهيوكلوريتي في إبادة البكتريا تأثير أيون الهيوكلوريت بمقدار 70-80 مرة، حيث يستطيع الحمض الهيوكلوريتي المتعادل كهربائياً اختراق الطبقة الكهربائية المضاعفة للبكتريا، بينما لا تستطيع أيونات الهيوكلوريت السالبة ذلك بسهولة، مما يفرض علينا إجراء عمليات التطهير بدرجات  $pH \leq 7$  من أجل تأمين فعالية تطهير عالية.

## محاسن ومساوئ الكلور الحر advantages and disadvantages

### المحاسن

فعال ضدّ (تقريباً) كلّ أنواع الجراثيم Effective against (almost) all types of microbes

صيانة وعملية بسيطة نسبياً Relatively simple maintenance and operation

رخيص Inexpensive

## المساوئ

Corrosive مسبب للتآكل

High toxicity السمية العالية

High chemical hazard الخطر الكيميائي العالي

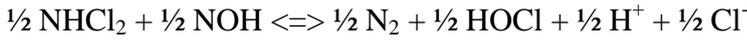
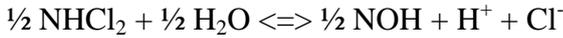
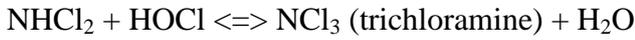
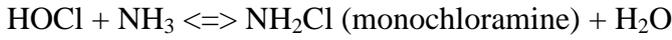
Highly sensitive to inorganic and organic loads حساس جداً للأحمال اللا عضوية والعضوية

Formation of harmful disinfection by-products (DBP's) تشكل نواتج التطهير العرضية الضارة

## كيمياء الكلورامينات : Chloramines

تفاعل الكلور الحر والأمونيا في الموقع في محلول بنسبة وزنية Cl<sub>2</sub> : N=4:1 ، وبنسبة مولارية 10:1 عند قيم pH= 7-

9 تشكل الكلورامينات :



تتعلق درجة سمية مياه الصرف الصحي الخاضعة لعملية الكلورة بتركيز الأمونياك في هذه المياه قبل إخضاعها للتطهير بالكلور الفعال، حيث يشكل الكلور مع الأمونياك المتواجد عادة في مياه الصرف الصحي اتحادات الكلورامين. تعتبر اتحادات الكلورامين مفاعلات تطهير سيئة نسبياً، فحتى تتمكن من الحصول على فعالية تطهير للكلورامينات مشابهة لفعالية تطهير الكلور الفعال لابد من زيادة كلاً من جرعة الكلور الأولية وفترة التماس لهذه الاتحادات مع المياه، إضافة إلى أن تواجد الأمونياك في مياه الصرف الصحي يخفض بشكل كبير جداً من إمكانية تواجد HOCl ضمن قيم pH الشائعة لمياه الصرف الصحي، كما أن الكلورامينات مركبات قاتلة للأسماك حتى في حالات القيم المنخفضة جداً لتراكيزها المتبقية في المياه.

## محاسن ومساوئ الكلورامينات advantages and disadvantages

### المحاسن

Less corrosive أقل تسبب للتآكل

Low toxicity and chemical hazards السمية المنخفضة

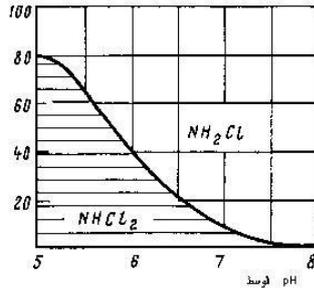
High chemical hazard الخطر الكيميائي العالي

Relatively tolerable to inorganic and organic loads محتمل نسبياً للأحمال اللا عضوية والعضوية

المتبقي يستمر لفترة طويلة نسبياً

### المساوئ

bacterial spores غير فعال جداً ضد الفيروسات ، خراجات بروتوزوية protozoan cysts ، وبوغات جرثومية



الشكل (8): أشكال اتحادات الكلور أمين خلال قيم مختلفة لـ pH المياه

وينبغي دائماً الأخذ بعين الاعتبار أن المياه الطبيعية تملك في الغالب مواداً عضوية منحلة حاوية على الأزوت قادرة على ربط الكلور في الماء باتحادات الكلور أمين العضوية المعقدة والتي تبدي تأثيراً مضاداً للبكتيريا أخفض من تأثير أحادي الكلور أمين بحوالي 8-10 مرة.

TABLE 4 Inactivation of Health-related Microbes in Water by Chloramines

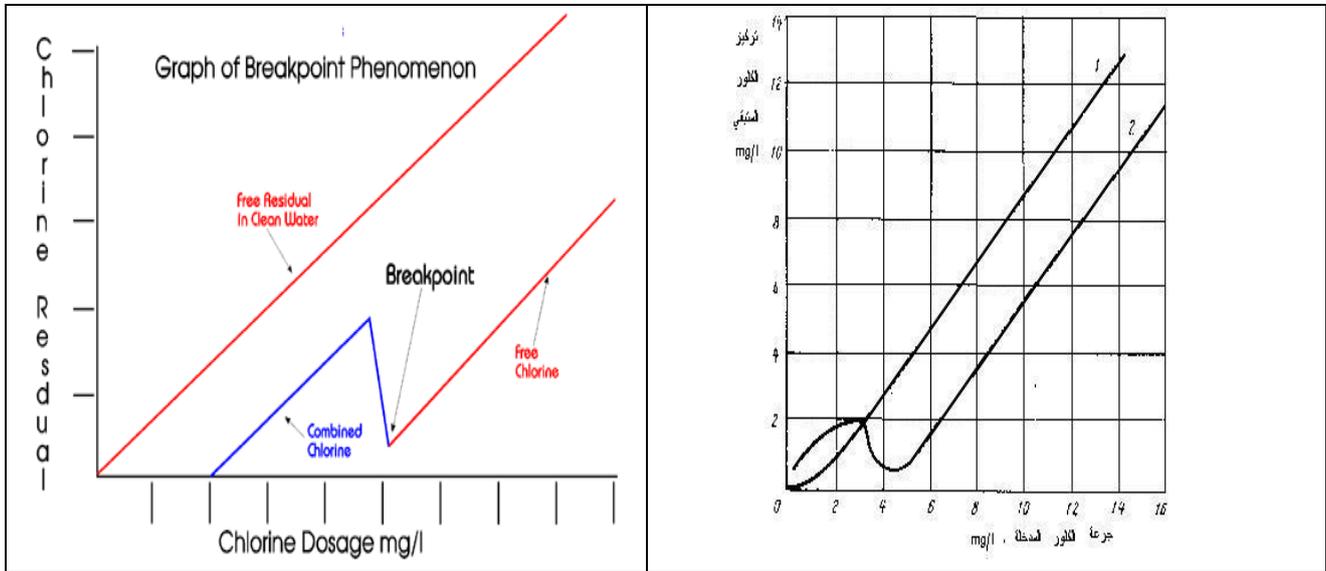
Microbe	Water	Residual (mg/l)	Temp. (°C)	pH	Time (min.)	Reduction (%)	Est. C-t*	Reference
<b>BACTERIA:</b>								
<i>E. coli</i>	BDF*	1.9-2.2	5	9.0	51-59	99	113	Scarpino, 1984
<i>E. coli</i>	BDF	1.0	22	6.0	5-8	99	ND*	Ward et al., 1984
<i>E. coli</i>	BDF	1.0	22	8.0	29-46	99	ND	1984
<i>K. pneumoniae</i>	BDF	1.0	22	8.0	8.5-22	99	ND	"
<i>S. typhimurium</i>	BDF	1.0	22	8.0	12-14	99	ND	"
HPC	treated*	1.6	24	8.0	15	95	ND	Wolfe et al., 1985
HPC	treated	1.6	24	8.0	30	(35-99.73) 99.68 (88.4-→99.99)	ND	
Coliforms, <i>S. typhimurium</i> & <i>S. sonnei</i>	tap + 1% sewage	0.4-1.5	20	6.0	ND	90	8.5	Snead et al., 1980
"	"	"	"	8.0	ND	90	40	
<i>M. fortuitum</i>	BDF	3.25	20	7.0	50	90	2667	Engelbrecht et al., 1977
<i>M. fortuitum</i>	BDF	3.0	17	7.0	ca. 116	90	ND*	Pelletier and Du Moulin, 1988
<i>M. avium</i>	BDF	3.0	17	7.0	1320	90	ND	
<i>M. Intra-cellulare</i>	BDF	3.0	17	7.0	660	90	ND	
<b>VIRUSES:</b>								
Polio 1	BDF	5-22	5	9.0	170	99	1420	Scarpino, 1984
Polio 1	1° effl.	1-10	25	7.5	60-308	99	ca. 345	Fujioka et al., 1983
Polio 1	tap	0.5	24	7.0-8.2	15	50	ND	Keswick et al., 1985
Polio 1	+ 10% effl.	0.5	24	"	15	0	ND	
Polio 1	+ 10% effl.	2.0	24	"	15	99.7	ND	
Hepatitis A	BDF	10	5	8.0	117	99.99	ca. 592	Sobsey et al., 1988
Coliphage MS2	BDF	10	5	8.0	>>60		ca. 2100	
Rotavirus SA11 dispersed	BDF	10	5	8.0	366-402	99	4034	Berman and Hoff, 1984
cell-assoc.	BDF	10	5	8.0	570-636	99	6124	
<b>PROTOZOAN CYSTS:</b>								
<i>G. muris</i>	BDF	1.5-2.6	3	6.5-7.5	188-296	99	430-580	Meyer, 1982
<i>G. muris</i>	BDF	6.35	5	7.0	220	99	ca. 1400	Rubin, 1988
<i>G. muris</i>	BDF	1.5-30	15	9.0	---	99	ca. 600	Rubin, 1988
<i>G. muris</i>	BDF	"	"	6.0-7.0	---	99	ca. 1000	Rubin, 1988

يشكل الكلور الفعال مع بقايا المواد العضوية المتواجدة في مياه الصرف الصحي اتحادات الكلور العضوية ذات الصفات السمية. تعيق هذه الاتحادات عمليات التحلل البيوكيميائي في المياه الطبيعية، وتعتبر اتحادات الكلور العضوية مركبات غير ثابتة في هذه المياه مما يعقد من مشاكل تواجدها في المياه الطبيعية.

يعتقد أن اتحادات الكلور العضوية مركبات مستوطنة مما يخفض بشكل كبير من تراكيزها المسموحة في المياه المخصصة للأغراض المنزلية، كما أن تواجدها في مياه المصادر الطبيعية المخصصة للإمداد المائي المركزي يعقد بشكل كبير من تكنولوجيا التنقية المائية ويرفع بشكل كبير من التكاليف الإنشائية والاستثمارية لمحطة التنقية.

تتشكل اتحادات الكلور العضوية بتواجد كميات منخفضة من الكلور الفعال لا تزيد عن 1% من كمية الكلور الأولية المضافة إلى المياه، حيث تحتوي أغلب هذه الاتحادات على ذرة كلور واحدة فقط في جزيئها.

كل ذلك قاد الباحثين إلى دراسة طرق بديلة للتطهير بالكلور الفعال (وخصوصاً عند تطهير مياه الصرف الصحي) كالتطهير باستخدام ديوكسيد الكلور أو كلوريد البروم أو الأوزون أو إلحاق عمليات الكلورة بعمليات إزالة الكلور (Dechlorination).



الشكل (9): ارتباط الكلور المتبقي بجرعة الكلور الأولية المدخلة إلى المياه بغياب أملاح الأمونيوم المنحني 1 ويتواجد أملاح الأمونيوم المنحني 2 .

## بدائل استخدام الكلور الفعال في تطهير مياه الصرف الصحي:

وقد أظهرت الدراسات التي أجرتها وكالة EPA Task Force الأمريكية المتخصصة في هذا المجال أنه لا بد من البحث عن بدائل فعالة في تطهير مياه الصرف الصحي وذات سمية أقل من الكلور الفعال. وسنعرض في مقالتنا هذه لإمكانية استخدام كلوريد البروم كبديل للكلور الفعال في مجال تطهير مياه الصرف الصحي.

### 1- كلوريد البروم

#### الخواص الكيميائية والتطهيرية لكلوريد البروم:

حتى نعرض لإمكانية استخدام كلوريد البروم كوسيلة تطهير بديلة عن الكلورة لمياه الصرف الصحي لآبد من عرض الخواص الكيميائية والتطهيرية لهذه المادة. كلوريد البروم سائل ثقيل ذو لون أحمر داكن برائحة حادة. يملك كلوريد البروم توازناً مع كل من البروم والكلوريد في طوريه الغازي والسائل:



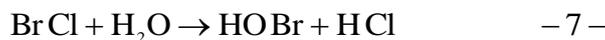
إن أغلب خواص كلوريد البروم هي خواص وسيطة بين خواص البروم وخواص الكلور الفعال (انظر الجدول 5).

الجدول 5-

الخاصة	Br <sub>2</sub>	Br cl	Cl <sub>2</sub>
درجة حرارة الانصهار °C	-7.3	-66.0	-101.0
درجة حرارة الغليان °C	58.8	5	-34
الكثافة غ/سم <sup>3</sup> (بدرجة 20°C)	3.12	2.34	1.40
ضغط البخار (20°C)، ميغا باسكال	0.0	0.2	0.7
الانحلالية غ/١٠٠ غ من الماء	3.30	8.50	0.75

هذه الخواص الوسيطة تعطي لكلوريد البروم محاسن كثيرة مقارنة مع كل من البروم والكلور فمثلاً درجة حرارة التجمد المنخفضة لكلوريد البروم تستبعد مشكلة تجمده شتاءً بينما تبقى هذه المشكلة قائمة عند استخدام البروم السائل. يقع كلوريد البروم في عبواته بضغط أقل من الضغوط التي يتواجد فيها الكلور الفعال في عبواته. وتتشابه بعض خواص كلوريد البروم الكيميائية مع خواص الكلور الكيميائية فمثلاً يؤثر كلوريد البروم بشكل سريع على الجلد والخلايا الحية الأخرى مسبباً التهابات وحروق، كما يؤثر كلوريد البروم ضمن تراكيز أبخرته المنخفضة على المجاري التنفسية للإنسان.

كلوريد البروم مؤكسد قوي في حالتيه السائلة والغازية، وتشكل نواتج تفاعل كلوريد البروم مع الماء، الأمونياك والمرجعات المختلفة بما فيها المواد العضوية تأثيراً تطهيرياً إضافياً لهذه المادة. يشكل كلوريد البروم أثناء عملية الحلمة الحمض HOBr كما هو موضح في التفاعل التالي:



يتميز الحمض الناتج HOBr بفعالية تطهير جيدة تفوق في الأوساط القلوية فعالية الحمض HOCl المنشكل أثناء حلمة الكلور.

تفوق حلمة كلوريد البروم حلمة كل من الكلور والبروم، وتعود سرعة الحلمة العالية لكلوريد البروم وكذلك الانحلالية العالية له إلى قطبية جزيء كلوريد البروم.

يتفاعل كلوريد البروم ومنتجات حلمته مع الأمونياك المتواجد في مياه الصرف الصحي بسرعة كبيرة مشكلاً اتحادات البروم أمينات (أحادي وثنائي البروم أمين) وفق التفاعل التالي:



تعتبر البروم أمينات المتشكل أشد فعالية كيميائية وتطهيرية من الكلور أمينات وأقل استقراراً وثباتاً منها ويرجع ذلك إلى قوى الارتباط الأضعف لاتحادات البروم مقارنة مع اتحادات الكلور المماثلة.

ونبين في الجدول -6- مقارنة تأثير تركيز الأمونياك في مياه الصرف الصحي على فعالية القضاء على الميكروبات (وكمثال للمقارنة أخذت العصيات E.Coli) لدى استخدام BrCl والكلور الفعال بكميات متكافئة.

Table 5. Physical Properties of BrCl.

Molecular weight	115.37
Melting point (°C)	-66
Boiling point (°C)	5
Density (g/cc), 20 ° C	2.34
Heat of fusion (cal/g)	17.6
Heat of vaporization (cal/g)	53.2
Heat formation (kcal/mole)	0.233
Heat capacity (cal./deg. mole, 298° K)	8.38
Entropy (cal./deg. mole, 298° K)	57.34
Dipole moment	0.56
Electrical conductivity (dm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )	-
Degree of dissociation (% , vapor 25° C)	21

الجدول -6- مقارنة فعالية التطهير (أخذت العصيات \*E.Coli كمثال) لكلوريد البروم والكلور الفعال

نسبة العصيات غير المقتولة %						فترة التماس دقيقة
10 mg /l	NH <sub>3</sub>	0.5 mg /l	NH <sub>3</sub>	0 mg /l	NH <sub>3</sub>	
BrCl	Cl <sub>2</sub>	BrCl	Cl <sub>2</sub>	BrCl	Cl <sub>2</sub>	
7.9	56 <	2.6	72 <	23.7	40 <	0.5
0.016	55 <	0.0001	55 <	0.0007	18 <	5
0.0001	26.6	0.0001	28.5	0.0001	1.8	15
0.0001	18.6	0.0001	1.6	0.0001	0.015	30

\* التركيز الأولي للأحياء الدقيقة 10<sup>6</sup> عضية/مل، تركيز الهالوجينات 0.5 مغ/ل

يلاحظ من الجدول -6- التباين الكبير لتأثير الأمونياك في مياه الصرف الصحي على فعالية التطهير وتؤكد النتائج السابقة أن فعالية البروم أمينات في القضاء على البكتريا أكبر بكثير من فعالية الكلور أمينات.

تشير بعض الأبحاث إلى أن فعالية البروم أمينات مساوية تقريباً لفعالية البروم الحر في القيم الشائعة لـ pH في مياه الصرف الصحي. وتؤكد أبحاث أخرى إلى أن البروم أمينات تبدي فعالية مضادة للبكتيريا عالية جداً بحيث أنه لا توجد ضرورة لتشكيل الظروف المناسبة لظهور البروم الحر في مياه المعالجة من أجل الحصول على الفعالية العظمى للتطهير كما هو الحال في حالة الكلور الفعال.

تؤمن البروم أمينات إبادة أسرع وأكمل للفيروسات من الكلور أمينات، فقد جرت إبادة فيروس PolioII بكلوريد البروم ويتواجد 10 مغ/ل من الأمونياك خلال فترة تماس أقل من 5 دقائق، بينما لم تستطع كمية كافية من الكلور الفعال إبادة هذا الفيروس بتواجد الكمية السابقة من الأمونياك حتى خلال فترة تماس 60 دقيقة.

كما أشارت الأبحاث إلى أن تواجد الأمونياك يرفع من قدرة كلوريد البروم على إبادة فيروس PolioI ضمن المجال pH = 7-9. يبدي كلوريد البروم تأثيراً فعالاً يزيد قليلاً عن فعالية الكلور في إبادة الفيروسات f2.

أظهرت الدراسات التي أجريت على مقارنة فعالية تطهير مياه الصرف الصحي لكل من كلوريد البروم والكلور الفعال أن العدد الكلي للبكتيريا في مياه الصرف الصحي المعالجة لكلوريد البروم أقل من عدد البكتيريا الكلي في مياه الصرف الصحي المعالجة بالكلور الفعال لدى استخدام كميات متكافئة في عملية التطهير. ويبين الجدول -7- مقارنة فعالية تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجياً لدى استخدام كلاً من كلوريد البروم والكلور الفعال كوسائل للتطهير.

الجدول -7- فعالية تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجياً باستخدام كلاً من كلوريد البروم والكلور الفعال كوسيلة تطهير

العدد الكلي للأحياء المعوية الدقيقة* عصية/100 مل		فترة التماس دقيقة	الجرعة مع/ل	العدد الكلي للأحياء المعوية الدقيقة* عصية/100 مل		فترة التماس دقيقة	الجرعة مع/ل
Cl <sub>2</sub>	BrCl			Cl <sub>2</sub>	BrCl		
~ 8000	25	5	2.0	600 000	100 >	5	1.0
280	20	15		> 5000	12	15	
3000	20	5	2.5	600 000	100 >	5	
20	8	15		> 4000	24	15	1.5

\* العدد الكلي لبكتيريا الكوليفورم في مياه الصرف الصحي المدروسة  $6.10^5$  عصية/100 مل من الماء، حيث المواد العالقة 18 مغ/ل، pH=7.3، T=14°C

تظهر نتائج الجدول -7- أن استخدام كلوريد البروم كوسيلة لتطهير مياه الصرف الصحي يلغي الحاجة إلى خزانات التماس الضرورية عند استخدام الكلور الفعال.

كما أكدت أبحاث وكالة EPA أن النمو التالي للبكتيريا بعد عملية تطهير مياه الصرف الصحي بكلوريد البروم كان أقل منه بالنسبة لمياه الصرف الصحي الخاضعة للتطهير بالأوزون.

تشير الدراسات المختلفة إلى أن المرجعات العضوية المختلفة كالعولات والأدهيدات وغيرها تتأكسد بكلوريد البروم مشكلة منتجات غير سمية (المعادلة -9-) مقارنة مع منتجات الكلور العضوية



وقد وجد أن الاتحادات التي تتأكسد بسرعة بالبروم تكون حساسة جداً للحممة وللتحلل الضوئي الكيميائي وبالتالي فإن اتحادات البروم العضوية المتشكلة وذات الكمية القليلة جداً نسبياً تتخرب بسرعة في المجمعات المائية قبل أن تنجح في التراكم البيولوجي أو في الوصول إلى محطات التنقية أسفل مصبات مياه الصرف الصحي الخاضعة للتطهير. مما سبق نؤكد على ضرورة استبدال طريقة تطهير مياه الصرف الصحي باستخدام الكلور الفعال في بلدنا بالطرق الحديثة في هذا المجال كاستخدام كلوريد البروم أو ديوكسيد الكلور أو اتباع عملية الكلورة بعمليات إزالة الكلورة باستخدام الفحم المنشط أو باستخدام المفاعلات الكيميائية المختلفة. وتؤكد الأبحاث المختلفة على فعالية كلوريد البروم التطهيرية الجيدة وسميته المنخفضة مقارنة مع الطرق البديلة السابقة وكذلك في تجهيزات التحضير والتجريح والنقل إضافة إلى التكاليف المنخفضة نسبياً لعملية التطهير ككل.

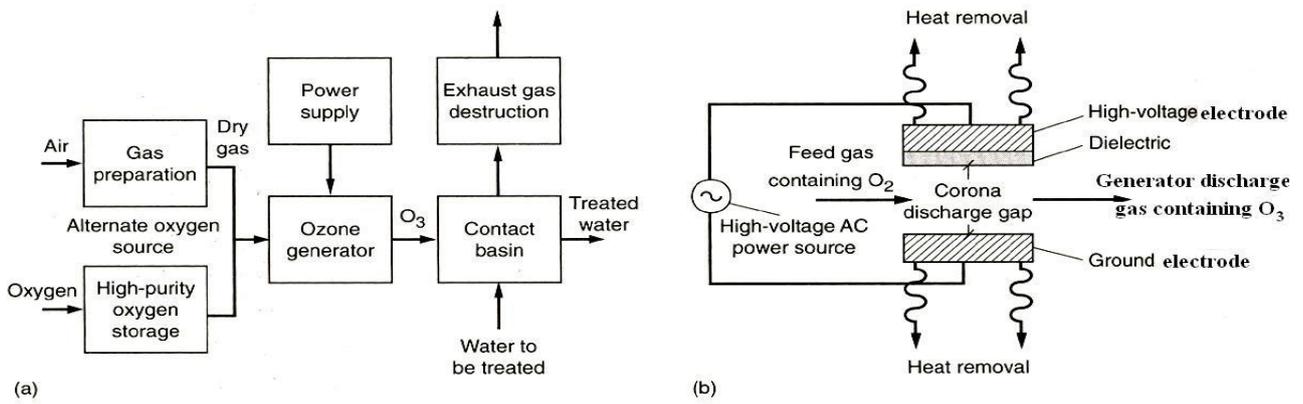
## 2- تطهير المياه باستخدام الأوزون:

يقتضي الوضع اليوم زيادة الاعتماد على استخدام الأوزون كمادة بديلة للتطهير تحل محل الكلور وبشكل خاص لمعالجة مياه الصرف الصحي وحالات إعادة استخدام المياه المستعملة وذلك للأسباب التالية:

- 1- المتطلبات الجديدة للتحكم بالتلوث، تتطلب درجات عالية من المعالجة للمياه ، حيث يعد الأوزون عامل تطهير ممتاز.
- 2- الاتجاه نحو إعادة استخدام المياه المعالجة والتي تتطلب إبادة الفيروسات.
- 3- مشاكل السمية المرتبطة بالمعالجة بالكلور.
- 5- الفوائد الإضافية للأوزون والتي تعطي مستو عالٍ من الأكسجين المنحل في المياه بالإضافة إلى تخفيض COD, TOC. غاز الأوزون هو غاز بدون لون غير مستقر نسبياً نشاطه الكيميائي عالي جداً ؛ يوَلد في الموقع بمرور الهواء الجاف (أو الأوكسجين) خلال أقطاب الفولطية الكهربائية العالية (مولد أوزون)؛ يتفاعل مع نفسه ومع الهيدروكسيل OH في الماء.

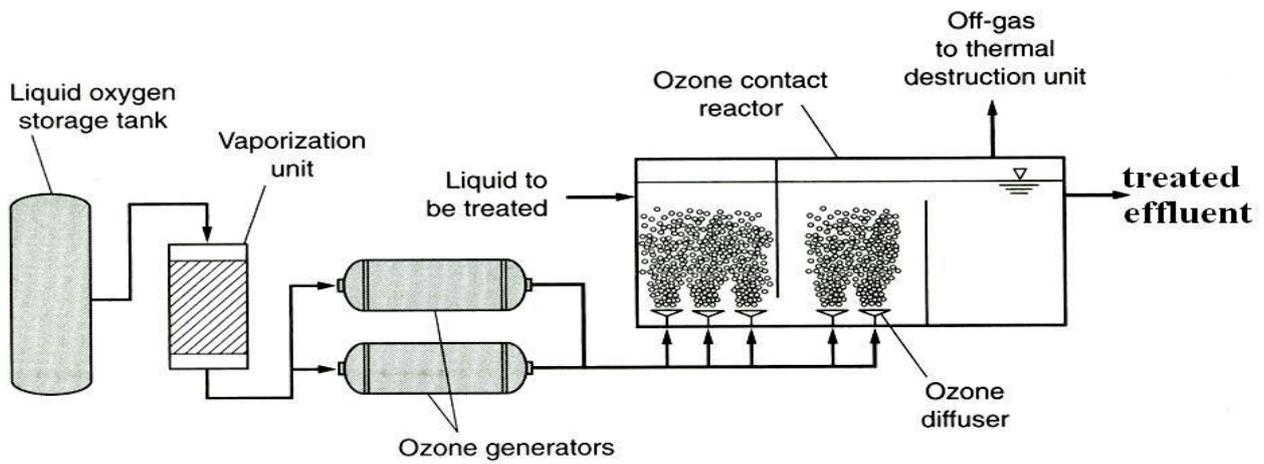
### محاسن ومساوئ الأوزون

<p>المحاسن</p> <p>المساوئ</p>	<p>فعال جداً ضد كل أنواع الجراثيم وهو مبيد فيروسي فعال جداً.</p> <p>غير مستقر (يجب أن ينتج في الموقع)</p> <p>السمية العالية High toxicity</p> <p>الخطر الكيميائي العالي High chemical hazard</p> <p>عمليات الصيانة والتشغيل معقدة جداً</p> <p>طريقة مكلفة جداً</p> <p>حساس جداً للأحمال اللا عضوية والعضوية Highly sensitive to inorganic and organic loads</p> <p>تشكيل نواتج التطهير العرضية الضارة (DBP's) Formation of harmful disinfection by-products</p>
-------------------------------	---

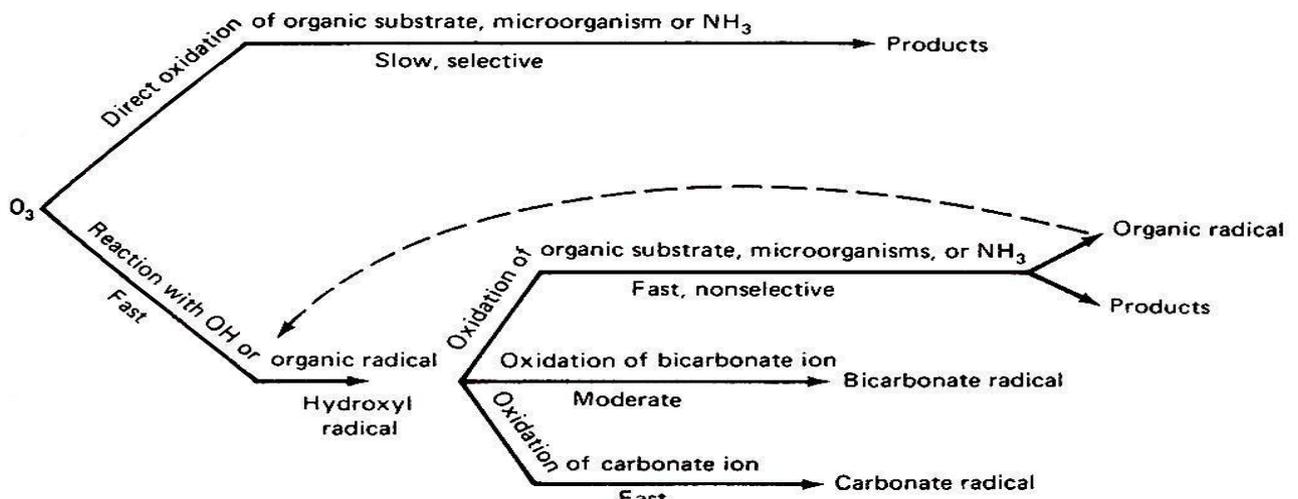


**Figure 10:** Elements of ozone disinfection system: (a) schematic flow diagram for complete ozone disinfection system (Adapted from U.S. EPA, 1986.) (b) schematic detail of the generation of ozone.

Application of ozone : flow diagram



**Figure 11:** Typical flow diagram for the application of ozone for disinfection.



**FIGURE 12:** Reaction pathways of ozone in water.

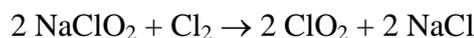
TABLE 5 Inactivation of Health-related Microbes in Water by Ozone

Microbe	Water	O <sub>3</sub> Residual mg/l	Temp. (°C)	pH	Time (min.)	Reduction (%)	Est. C·t	Reference
<i>E. coli</i>	?	0.04-0.07	1	7.2	0.08-0.5	99	0.006-0.02	Katzenelson et al., 1974
Tot. colif.	effl.	5.0	12.6	7.1	18	99.89	ND	Netzer et al., 1979
Fecal strep.	effl.	5.0	12.6	7.1	18	99	ND	Farooq and Akhlaque, 1983
<i>E. coli</i>	effl.	0.29-0.36	24	7.4	0.6	99.94	ND	"
<i>S. typhi-murium</i>	effl.	"	"	"	"	99.9998	ND	"
<i>M. fortuitum</i>	effl.	0.29-0.36	24	7.4	0.6	89	ND	"
<i>M. fortuitum</i>	BDF	0.8-1.08	24	7.0	0.58	99	0.53	Farooq et al., 1977
<b>VIRUSES:</b>								
Polio 1	BDF	0.15-0.2	5	7.2	0.4-1.5	99	0.2	Roy et al., 1982
Polio 2	BDF	0.15	25	7.2	4.83	99	0.72	Farooq and Akhlaque, 1983
Polio 1	effl.	0.29-0.36	24	7.4	0.6	99.5	ND	Harakeh and Butler, 1985
Polio 1 effl. + HCO <sub>3</sub>		0.2	20	7.0	10-15	97		Vaughn et al., 1987
Polio 1 effl.		0.2	20	7.0	10-15	80		Harakeh and Butler, 1985
Rota SA11	BDF	0.1-0.3	4	6.0-8.0	0.12-0.19	99	0.019-0.064	Vaughn et al., 1987
Human rota	BDF	0.05-0.3	4	6.0-9.0	0.0.12-0.19		0.006-0.036	Harakeh and Butler, 1985
Rota SA11 effl.		0.26	15	7.2	15	96	ND	Butler, 1985
Human rota effl.		0.26	15	7.2	15	40	ND	
Human rota effl.		0.4	15	7.2	15	99.99	ND	
<b>PROTOZOAN CYSTS:</b>								
<i>G. muris</i>	BDF	0.15-0.7	5	7.0	2.8-12.9	99	1.94	Wickramanayake et al., 1984;
<i>G. lamblia</i> *	BDF	0.11-0.48	5	7.0	0.94-5.0	99	0.53	1985
<i>N. gruberi</i>	BDF	0.55-2.0	5	7.0	2.1-7.8	99	4.23	
<i>N.</i> (6 sp.)	DW	0.4	25	7.0	4	>98.9	ND	Langlais and Perrine, 1986
<i>A. polyphaga</i> *	DW	0.4	25	7.0	4	95	ND	
<i>A.</i> (3 sp.)	DW	0.4	25	7.0	4	>98.9	ND	

\* BDW = buffered demand free water; DW = distilled water; *G.* = *Giardia*; *N.* = *Naegleria*; *A.* = *Acanthamoeba*.

### 3- تطهير المياه باستخدام ثاني أوكسيد الكلور:

ثاني أوكسيد الكلور مركب غير مستقر (ينتج في الموقع) يتفاعل الكلور (الغاز أو السائل) مع كلوريت الصوديوم:



وهو مركب قابل للذوبان بشدة في الماء، ومؤكسد قوي (جهد أكسدة عالية أكبر بـ 2.63 مرة من الكلور الحر).

TABLE 7 CHLORINE DOSAGES FOR WASTE TREATMENT PLANT EFFLUENTS

Type of Treatment	Approximate Dosage* (mg/l)
Primary plant effluent	20 to 25
Trickling filter plant effluent	15
Chemical precipitation effluent	15
Activated-sludge plant effluent	8
Sand filter effluent	6

Note: \*Dosages vary from plant to plant and are those required to produce 0.5 to 1.0 mg/l combined residual chlorine after 15 min.

محاسن ومساوئ ثاني أوكسيد الكلور

المحاسن فعال ضد (تقريباً) كل أنواع الجراثيم

المساوئ السمية العالية High toxicity

الخطر الكيميائي العالي High chemical hazard

طريقة مكلفة

مسبب للتآكل Corrosive

Highly sensitive to inorganic and organic loads العضوية واللاعضوية  
 Formation of harmful disinfection by-products (DBP's) تشكل نواتج التطهير العرضية الضارة

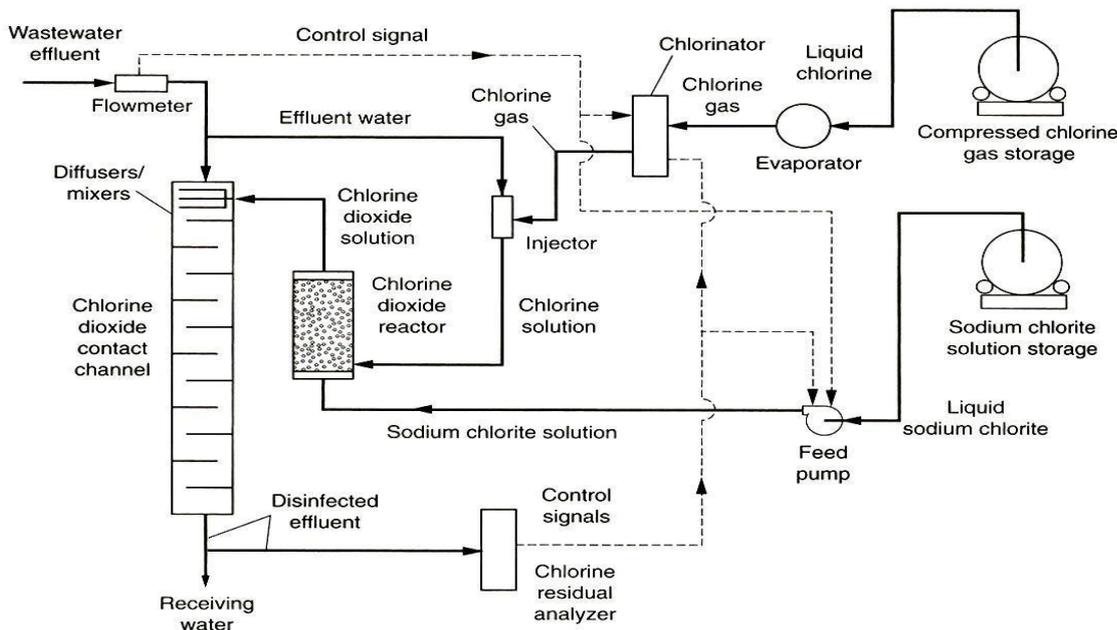


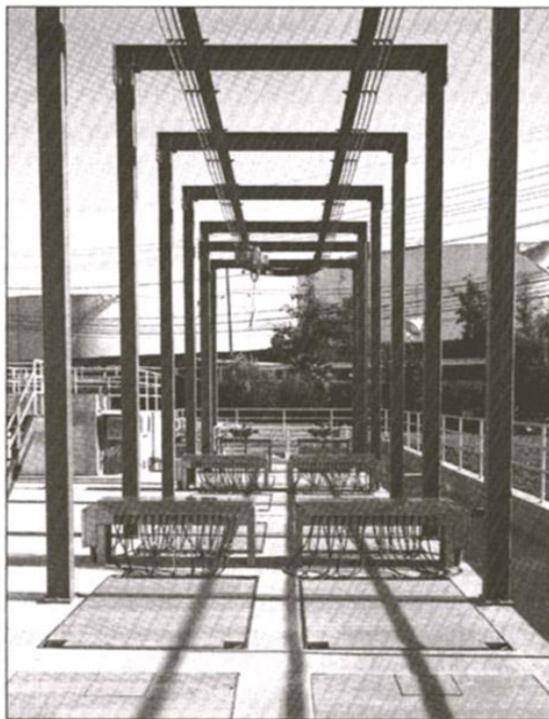
Figure 13 Typical flow diagram for the addition of chlorine dioxide.

TABLE 6 Inactivation of Health-Related Microbes in Water by Chlorine Dioxide

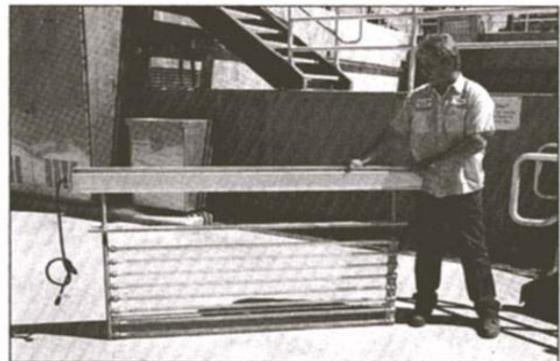
Microbe	Water	ClO <sub>2</sub> Residual (mg/l)	Temp. (°C)	pH	Time (min.)	Reduction (%)	C-t	Reference
<b>BACTERIA:</b>								
<i>E. coli</i>	BDF*	0.3-0.8	5	7.0	0.6-1.8	99	0.48	Cronier, 1977
<i>E. coli</i>	PBS*	0.4-0.8	?	7.0	5	>99.999	ND	Fujioka et al., 1986
Fec. colif.	effl.	1.9	?	?	10	99.94	ND	"
Fecal strep.	effl.	1.9	?	?	10	99.5	ND	"
<i>C. perfringens</i>	effl.	1.9	?	?	10	0	ND	"
<i>E. coli</i>	BDF	0.3-0.5	5	?	15	99.9-99.999	ND	Berg et al., 1982; 1985
<i>L. pneumophila</i>	BDF	0.5-0.35	23	?	15	99.9-99.99	ND	Harakeh et al., 1985
<i>K. pneumonia</i>	BDF	ca. 0.12	23	?	15	99.3-99.7	ND	"
<b>VIRUSES:</b>								
Coliphage f2	BDF	1.5	5	7.2	2	99.994	ND	Olivieri et al., 1985b
Polio 1	BDF	2.0	5	7.2	5-10	99-99.96	ND	Scarpino et al., 1979
Polio 1	BDF	0.4-14.3	5	7.0	0.2-11.2	99	0.2-6.7	Fujioka et al., 1986
Polio 1	PBS	0.4-0.8	?	7.0	5	99.9-99.97	ND	"
Polio 1	effl.	1.9	?	?	10	99.4	ND	"
<b>Rota SA11:</b>								
dispersed	BDF	0.5-1.0	5	6.0	0.2-0.6	99	0.2-0.3	Berman and Hoff, 1984
cell-assoc.	BDF	0.45-1.0	5	6.0	1.2-4.8	99	1.0-2.1	"
cell-assoc.	BDF	0.46-0.52	5	10.0	0.3-0.4	99	0.16-0.2	"
Hepatitis A	BDF	0.14-0.23	5	6.0	8.4	99	1.7	Battigelli & Sobsey, 1987
Hepatitis A	BDF	0.2	5	9.0	<0.33	>99.9	<0.04	in preparation
Coliphage MS2	BDF	0.15	5	6.0	34	99	5.1	"
Coliphage MS2	BDF	0.15	5	?	<0.33	>99.95	<0.03	"
<b>PROTOZOAN CYSTS:</b>								
<i>N. gruberi</i>	BDF	0.8-1.95	5	7.0	7.8-19.9	99	15.5	Chen et al., 1985
<i>N. gruberi</i>	BDF	0.46-1.0	25	5.0	5.4-13.2	99	6.35	"
<i>N. gruberi</i>	BDF	0.35-1.26	25	7.0	4.0-14.2	99	5.51	"
<i>N. gruberi</i>	BDF	0.42-1.1	25	9.0	2.5-6.7	99	2.91	"
<i>G. muris</i>	BDF	0.1-5.55	5	7.0	1.3-168	99	10.7	Leahy, 1985;
<i>G. muris</i>	BDF	0.26-1.2	25	5.0	4.0-24	99	5.8	1987;
<i>G. muris</i>	BDF	0.21-1.12	25	7.0	3.3-28.8	99	5.1	Rubin, 1988
<i>G. muris</i>	BDF	0.15-0.81	25	9.0	2.1-19.2	99	2.7	"

\* BDF = buffered demand free; PBS = phosphate buffered saline

الأشعة فوق البنفسجية ( حالة الضغط المنخفض - مياه الصرف الصحي) Low pressure (LP) UV for wastewater



(a)



(b)

TABLE 7 Inactivation of Health-Related Microbes in Water by Ultraviolet Radiation

Microbe	Water	UV Dose (mW-s/cm <sup>2</sup> )	Temp. (°C)	pH	Reduction (%)	Reference
<b>BACTERIA:</b>						
<i>E. coli</i>	BDW*	6.5	room	?	99.9	Chang, et al., 1985
Total coliforms	effl.	8.2	room	?	99.9	"
HPC	effl.	14	room	?	99.9	"
<i>B. subtilis</i> spores	BDW	60	room	?	99.9	"
Total coliforms	effl.	6.5	?	?	99	Qualls et al., 1985
Total coliforms	effl.	9.6-52	?	?	99.97	"
Total coliforms	filt. effl.	5.7	?	?	99	"
Total coliforms	tea	7.2-28	?	?	>99.95	Tobin et al., 1983
HPC	tea	7.2-28	?	?	88-96	"
Fecal coliforms	sewage	ca. 275	?	?	99.9	Zukovs et al., 1986
Enterococci	sewage	ca. 275	?	?	99.9	"
<i>P. aeruginosa</i>	sewage	ca. 280	?	?	99.9	"
<i>E. coli</i> recA-, uvrA-	on medium	10.3	?	?	99.9	Knudson, 1985
<i>E. coli</i> , B/r	"	0.1	?	?	99.9	"
<i>Legionella</i> (6 sp.)	"	0.8-5.5	?	?	99.9	"
<i>L. pneumophila</i>	tap	30	25	?	99.9	Muraca et al., 1987
<i>L. pneumophila</i>	dist. water	1.8	room	?	99.9	Butler et al., 1987
<i>Y. enterocolitica</i>	dist. water	2.7	room	?	99.9	"
<i>C. jejuni</i>	dist. water	5.0	room	?	99.9	"
<b>VIRUSES:</b>						
Polio 1	PBS*	21	room	7.5	99.9	Chang et al., 1985
Rota SA11	PBS	25	room	7.5	99.9	"
Polio 1	BDW	29	?	7.2	99.9	Harris et al., 1987
Reo 1	BDW	45	?	7.2	99.9	"
<b>PROTOZOAN CYSTS:</b>						
<i>Giardia lamblia</i>	BDW	63	?	?	70	Rice and Hoff, 1981
<i>A. castellanii</i>	BDW	100	room	?	99.9	Chang et al., 1985

\* BDW = buffered distilled water; PBS = phosphate buffered saline

## محاسن ومساوئ التطهير بالأشعة فوق البنفسجية advantages and disadvantages

### المحاسن

فعال جدا ضد البكتيريا، فطر *fungi* ، بروتوزوا *protozoa*  
مستقل عن pH، درجة حرارة، والمواد الأخرى في الماء  
لا تشكل DBP

### المساوئ

ليس فعال جدا ضد الفيروسات  
طريقة مكلفة  
لا يشكل متبقي

تظهر الجداول اللاحقة والملحق (١) والملحق (٢) مقارنة لفعالية وسائل التطهير المختلفة.

### C\*t<sub>99</sub> Values for Some Health-related Microorganisms (5 °C, pH 6-7)

Organism	Disinfectant			
	Free chlorine	Chloramines	Chlorine dioxide	Ozone
<i>E. coli</i>	0.03 – 0.05	95 - 180	0.4 – 0.75	0.03
Poliovirus	1.1 – 2.5	768 - 3740	0.2 – 6.7	0.1 – 0.2
Rotavirus	0.01 – 0.05	3806 - 6476	0.2 – 2.1	0.06-0.006
<i>G. lamblia</i>	47 - 150	2200	26	0.5 – 0.6
<i>C. parvum</i>	7200	7200	78	5 - 10

**I\*<sub>t99,99</sub> Values for Some Health-Related Microorganisms**

Organism	UV dose (mJ/cm <sup>2</sup> )	Reference
<i>E.coli</i>	8	Sommer et al, 1998
<i>V. cholera</i>	3	Wilson et al, 1992
Poliovirus	21	Meng and Gerba, 1996
Rotavirus-Wa	50	Snicer et al, 1998
Adenovirus 40	121	Meng and Gerba, 1996
<i>C. parvum</i>	< 3	Clancy et al, 1998
<i>G. lamblia</i>	< 1	Shin et al, 2001

**INDEX 1 OXIDATION POTENTIALS OF CHEMICAL DISINFECTANTS**

Disinfectant	Oxidation Potential (volts)
Ozone	2.07
Permanganate	1.67
Hypobromous acid	1.59
Chlorine dioxide	1.50
Hypochlorous acid	1.49
Hypoiodous acid	1.45
Chlorine gas	1.36
Oxygen	1.23
Bromine	1.09
Hypochlorite	0.94
Chlorite	0.76
Iodine	0.54

## References

1. Alan J. Rubin., Chemistry of Wastewater Technology, Ohio., 1978.
2. CHLORINE AUDIT TEMPLATE. FOR USE BY MUNICIPALITIES REQUIRED TO COMPLY WITH THE. Notice Requiring the Preparation and Implementation of Pollution Prevention Plans for Inorganic Chloramines and Chlorinated Wastewater Effluents under CEPA, 1999 .Prepared by: Canadian Water and Wastewater Association (CWWA) April, 2006
3. Connell, Gerald. F. 2002. The Chlorination/Dechlorination Handbook. Water Environment Federation, Alexandria, Virginia, U.S.A. (See: <http://www.wef.org>.)
4. Dennis J. M. - J. Am. Water Works Assoc., 1959, V. 31, P1288.
5. Disaffection of Wastewater, Task Force Report, USEPA Office of Research A. Development. Washington DC, 1975.
6. Dow Chemical USA. Bromine Chloride Hand Book, Publication No. 101=15, Midland, MI, 1972.
7. Environment Canada. 2003. Review of Municipal Effluent Chlorination/Dechlorination Principles, Technologies and Practices. November 2003. (See: Environment Canada's Georgia Basin Website at: [www.pyr.ec.gc.ca/georgiabasin/reports\\_e.htm](http://www.pyr.ec.gc.ca/georgiabasin/reports_e.htm).)
8. Great Lakes Sustainability Fund, October 2003t U.V. Guidance Manual for Municipal Wastewater Treatment Plants in Canada (October 2003),
9. Great Lakes Sustainability Fund, Guidance Manual for Sewage Treatment Plant Process Audits, (Contact the Manager, Great Lakes Sustainability Fund, 867 Lakeshore Road, Burlington, Ontario .
10. Johanneson J. D. - Am. J. Public Health 1960, V. 50, P. 1731.
11. Mills J. F., Oakes B. D. - Chem. Eng., pp. 102-106, August 6, 1973.
12. Morris J. C. Formation of Hologenated Organics by Chlorination of Water Supplies, EPA-600/1-- Rook J. J. - Environ. Sci. Technol. 1977 V. 11 (5) P. 478.
13. Sollo F. W. e. a. - in: Disaffection - Water and Wastewater, MI, 1975.
14. U.S. Environmental Protection Agency. 1986. Design Manual Municipal Wastewater Disinfection. EPA/626/1-86/021, October 1986.
15. <http://sustainabilityfund.gc.ca/default.asp?lang=En&n=44E68789>