

الباب السادس

**تطهير المياه**



## الباب السادس

### تطهير المياه

## Means of Water Disinfection

عملية تطهير المياه تصمم لقتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض بينما عمليات المعالجة الأخرى باستخدام مواد الترسيب والترسيب والترشيح يمكن أن تقلل منها. المطهرات تشمل الكلور في صورته المختلفة وهي الغاز المسال المعبأ في اسطوانات ومسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم ومحلول هيبوكلوريت الصوديوم ومركبات الكلور من الكلورامين وثاني أكسيد الكلور. والهالوجينات الأخرى مثل الفلور واليود والمطهرات الأخرى تشمل الأوزون، والأشعة فوق البنفسجية برمنجنات البوتاسيوم كما تستخدم إمكانيات أخرى مثل الرقم الهيدروجيني المتباعد عند حالة التعادل (Extreme PH,s) وغليان الماء.



## القسم الأول

### الكـلور

#### ١- خواص الكلور:

في الحالة الغازية الكلور عادة له لون أخضر - مصفر. ووزنه ٢,٥ مرة وزن الهواء. للأغراض التجارية يعبأ في اسطوانات في شكل سائل مضغوط لونه أحمر ووزنه ١,٥ ضعف وزن الماء. وعند تحرر الكلور السائل من الاسطوانة فإنه يتحول إلى الغاز حيث تنتج وحدة الحجم من الكلور السائل ٤٥٠ ضعف الحجم من غاز الكلور.

الكلور المحتجز في الاسطوانة يمكن أن يكون في شكل غاز أو سائل أو في كليهما. والاعتبارات الخاصة بسائل الكلور تشمل كذلك غاز الكلور. ولهذا فإن ضغط غاز الكلور داخل الاسطوانة هو دلالة لدرجة الحرارة وليس له علاقة بحجم المحتوى من الكلور، فنجد أن مقياس الضغط لأسطوانة الكلور بها واحد كيلو من الكلور هو نفسه مقياس الضغط لأسطوانة بها ١٠٠ كيلو من الكلور تحت نفس الظروف من درجات الحرارة. وعند زيادة درجة حرارة الكلور يزداد الضغط.

الكلور قليل الذوبان في الماء وتصل أقصى نسبة ذوبان الكلور ١% عند درجة حرارة ٥, ٩°م. وعند درجة حرارة أقل من ذلك فإن الكلور يتحد مع الماء ليكون مادة بلورية في شكل الثلج. ونظراً لأن ضغط غاز الكلور يزداد بارتفاع درجة الحرارة فإن ذوبان الكلور بالتالي يقل. فعند درجة حرارة ١٠٠°م لا يذوب الكلور في الماء. وما بين ٥, ٩°م و ١٠٠°م فإن الكلور المذاب في الماء يكون محلول

عدواني (Corrosive Mixture) من أحماض الهيبوكلورس والهيدروكلوريك والذي يسبب مشاكل عند تناوله.

### أ - الخواص الكيميائية :

تحت ظروف معينة يتفاعل الكلور مع معظم المعادن وفي بعض الحالات يتم التفاعل بسرعة عالية. نظرا لشراهة الكلور العالية للهيدروجين فانه يزيل الهيدروجين من بعض مركباته مثل حالة التفاعل مع كبريتيد الهيدروجين. ويتفاعل الكلور مع النشادر أو المركبات الأخرى المحتوية علي النيتروجين ليكون مركبات مختلفة من الكلورامين. ويتفاعل كذلك مع المواد العضوية وفي بعض الحالات يتم ذلك مع حدوث انفجار .

الكلور ليس مشتعل أو مفرقع مثل الأكسجين ولكن يمكنه تنشيط الاشتعال لمواد معينة ولذا يلزم تناوله وتخزينه بعيدا عن الغازات المضغوطة مثل الأمونيا (النشادر) وكذا المواد القابلة للاشتعال. معظم المعادن العادية لا تتأثر في درجات الحرارة العادية بالكلور الجاف سواء غاز أو سائل. الكلور يتفاعل مع الألومنيوم ويحرق الصلب الكربوني عند درجة حرارة اكبر من ٢٥٥°م. ويعتبر الكلور الرطب عدواني لكل المعادن العادية عدا الذهب، الفضة، البلاتين، التيتانيوم وبعض السبائك الخاصة.

### ب - التأثير الفسيولوجي :

غاز الكلور هو غاز خانق ويمكن كشف وجوده في الهواء بالاستنشاق في حالة زيادة تركيزه عن ٣ جزء في المليون. كما يسبب الكلور التهابات بالجلد (خاصة في وجود رطوبة) والجهاز التنفسي وأغشية التنفس وذلك طبقا للتركيز وزمن التعرض وفي الحالات الشديدة يمكن أن تحدث الوفاة بسبب الاختناق . كما أن سائل الكلور يمكن أن يسبب احتراق للعينين والجلد عند التصاقه بهذه الأعضاء. عند وجود سائل الكلور في وعاء غير مغلق فإنه يتبخر بسرعة وينتج نفس التأثير كما في غاز الكلور. التركيز من ٤٠ - ٦٠ ملليجرام / لتر لمدة ٣٠ - ٦٠ دقيقة يعتبر خطير

جدا . والتركيز الأعلى من ذلك يمكن أن يشكل خطورة شديدة ولو في فترة زمنية وجيزة.

### ج- تفاعلات الكلور مع الماء :

عند إضافة الكلور إلى ماء نظيف كيميائيا فإنه يكون محلول من كلاً من حامض الهيبوكلورس وحامض الهيدروكلوريك.

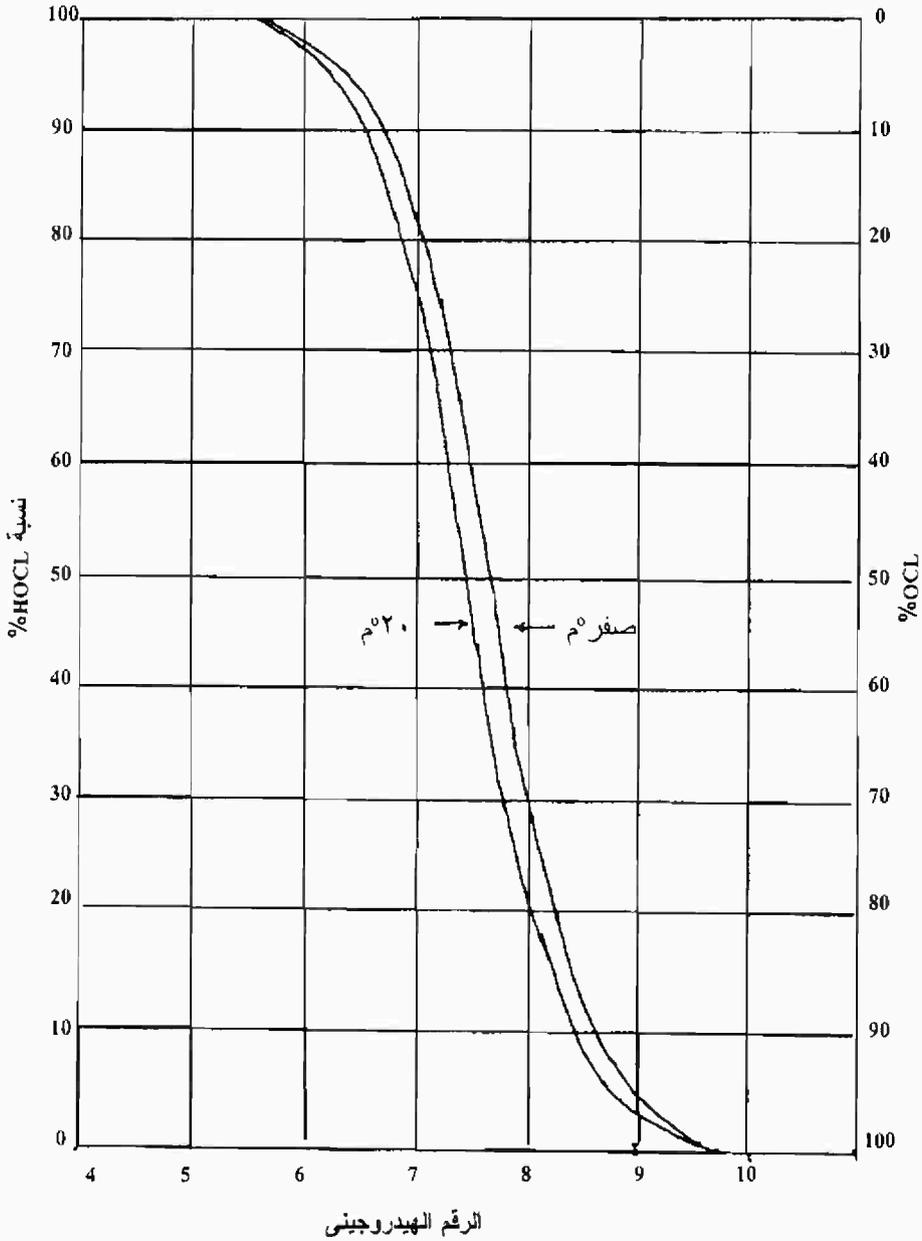


عند درجات الحرارة العادية للمياه فإن هنا التفاعل يتم في ثواني. و عند رقم هيدروجيني ٤ وفي المحلول المخفف فإن التفاعل يميل الى جهة اليمين مع وجود قليل من الكلور في المحلول .

تتوقف قوة الأكسدة للكلور وقدرته على التطهير على تكون حامض الهيدروكلورس (HOCl). يتأين حامض الهيبوكلورس في تفاعل لحظي الى الهيدروجين وأيون الهيبوكلوريت وهذا التفاعل كذلك عكسي وتتوقف درجة التأين على الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة.



حامض الهيبوكلورس هو حامض ضعيف ويتحلل عند رقم هيدروجيني اكبر من ٦. ولذا فإن الكلور يوجد غالبا كحامض هيبوكلورس عند رقم هيدروجيني منخفض نسبياً. عند رقم هيدروجيني ما بين ٦ - ٨,٥ يحدث تغير حاد من حامض الهيبو كلورس الغير متحلل الى تحلل كامل للحامض. وتزداد نسبة أيون الهيبوكلوريت عند رقم هيدروجيني ٩,٥ فاكثراً. الشكل (١٢٤)



شكل (١٢٤) توزيع HOCl، OCl<sup>-</sup> في الماء عند مستويات الرقم الهيدروجيني

الرقم الهيدروجيني لمياه الشرب المكلورة هو عادة في المجال حيث يكون الكلور في شكل حامض الهيوكلورس وأيون الهيوكلوريت وهذا ما يعرف بالكلور الحر المتاح (Free Available Chlorine). أيون الهيوكلوريت ( $\text{OCl}^-$ ) ينتج كذلك عند تأين المركبات المحتوية علي الكلور مثل هيوكلوريت الكالسيوم (70% كلور)  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  وهيوكلوريت الصوديوم  $\text{NaOCl}$  في حالة وجودهما في الماء.



ويحقق أيون الهيوكلوريت توازن مع الهيدروجين طبقا للرقم الهيدروجيني كما في المعادلة



لذا فإن نفس حالة الاتزان (Equilibrium) تتوفر في المياه سواء استخدم الكلور أو مركبات الهيوكلوريت. يميل الكلور الى خفض الرقم الهيدروجيني وتميل مركبات الهيوكلوريت لزيادتها. من المعادلة الآتية فان حامض الهيوكلورس الناتج وكذا أيون الهيدروجين يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني ومن ثم خفض القلوية وزيادة الحموضة. كل جزئ من الكلور يتعادل مع 0.7 جزئ من القلوية مقيما ككربونات كالسيوم وقد تصل درجة التعادل الي 1.4 طبقا لدرجة التأين نحامض الهيوكلورس وطبيعة استهلاك الكلور بالمواد الموجودة في الماء. والعسر الموجود في الماء من أملاح كربونات أو بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم يقوم بالتعادل مع التغير في الرقم الهيدروجيني للمياه بما يمنع حدوث إضافة قليلة من الحموضة أو القلوية للمياه. وعند إضافة كميات كافية من الكلور لخفض القلوية الطبيعية عندئذ يتم تصحيح القلوية الطبيعية بمعالجة ثانوية. أملاح الهيوكلوريت تحتوي عادة على زيادة في القلوية وتميل الى رفع الرقم الهيدروجيني.



## ٣- مركبات الكلور:

## أ- الهيبوكلوريت: Hypochlorites

وهي أملاح حامض الهيبوكلورس (HOCL) ويمكن ان تكون جافة أو سائلة طبقاً لتوفرها تجارياً. محلول الهيبوكلوريت يحتوى على زيادة فى القلوى الذى يزيد من الرقم الهيدروجينى وبالتالي يؤثر على نسبة كلا من حامض الهيبوكلورس وأيون الهيبوكلوريت. تستخدم مركبات الهيبوكلوريت فى الحالات الحرجة وفى عمليات تطهير المياه الميدانية وفى العمليات الصغيرة.

\* هيبوكلوريت الكالسيوم المستخدم فى تطهير مياه الشرب يختلف كثيراً عن المادة التى استخدمت لسنوات طويلة كمسحوق لتبييض قماش الدمور. وهو كلوريد الجير أو الجير المطفى المكثور والذى يتكون من مركبات غير مستقرة معظمها من اكسيكلوريد الكالسيوم  $(Ca(OCl_2))$ . ولكن الهيبوكلوريت الذى نعيه هو هيبوكلوريت الكالسيوم عالى الجودة يحتوى على ٦٥-٧٠% كلور وذو لون أبيض وغير شره لامتصاص الماء وهو عبارة عن حبيبات ذات رائحة كلور قوية أو فى شكل بودرة أو أقراص ويذوب سريعاً فى الماء.

\* هيبوكلوريت الصوديوم يوجد عادة فى الشكل السائل والمحلول يكون بتركز ما بين ٥ - ١٥% عادة وهو محلول صافى يميل إلى اللون الأصفر شديد القلوية عدواني وله رائحة كلور شديدة.

\* ثبات مركبات الهيبوكلوريت (Hypochlorites): الهيبوكلوريتات عالية الجودة ذات قوة أكسدة ونشطة. عند التخزين فى درجة حرارة ٣٠م لمدة عام يقل المحتوى من الكلور بنسبة ١٠%. التخزين فى الأماكن الباردة يقلل من التلف والتحلل. معظم محاليل الهيبوكلوريت أقل ثباتاً من مساحيق الهيبوكلوريت. وأقصى عمر للتخزين قبل الاستعمال هو ٦٠ - ٩٠ يوم. الضوء والحرارة تعجلان من تحلل محلول الهيبوكلوريت ويقل التحلل عند التخزين فى أماكن جافة رطبة مظلمة أو فى أنية معزولة عن الضوء.

## ب - ثاني أكسيد الكلور ( CLO 2 – Chlorine Dioxide ) :

ثاني أكسيد الكلور لم يستخدم في تطهير مياه الشرب رغم أنه شديد المفعول في القضاء علي الكائنات الحية الدقيقة جميعها مثل حامض الهيبيوكلورس. ولا يتأثر بالرغم الهيدروجيني في المجالات العادية من 6 - 9 وكذلك لا يتأثر بوجود النشادر. يمكن إنتاجه واستخدامه فوراً كما يمكن قياسه بسهولة وهو مستقر إلى حد ما. في معظم الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور متفوق علي الكلور في حالة إحكام استخدامه. ولكن تظهر ضرورة إنتاج ثاني أكسيد الكلور في الموقع في شكل محلول ثاني أكسيد الكلور. ويصنع هذا المحلول من محلول هيبوكلوريت الصوديوم والكلور. وهذا يعني بالنسبة للجرعات المتساوية من كل من الكلور وثاني أكسيد الكلور يصبح الأخير مكلف جداً.



ولكن تظهر أهمية ثاني أكسيد الكلور في التطهير في حالة وجود نيتروجين الأمونيا مع كميات من مركبات الفينول حيث أن إنتاج المياه عالية النقاوة بالكلور فقط يعتبر أمراً صعباً.

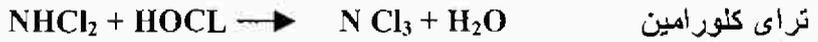
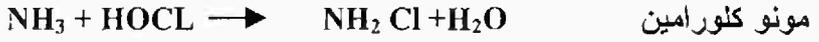
رغم أن ثاني أكسيد الكلور يستخدم عادة منفرداً فإنه قد يستخدم مع أو يسبق أو يلي الكلور. ففي حالة استخدامه لتدمير الكلوروفينول فإنه يستخدم مع الكلور في عمليات الكلورة المسبقة. وفي حالة استخدامه لأكسدة الحديد والمنجنيز فإنه يستخدم قبل الترويب والترسيب والترشيح يلي ذلك استخدام الكلور لأغراض التطهير في الشبكة.

## ج- تفاعلات الكلور مع الأمونيا :

تفاعلات الكلور مع المواد النيتروجينية الغير عضوية مثل الأمونيا (النشادر) له أثر كبير في عمليات الكلورة عند التطهير فعند إضافة الكلور إلى الماء الذي يحتوي أو مضاف إليه أمونيا. أيون الأمونيا يوجد في حالة إتزان بين الأمونيا (النشادر) وأيون الهيدروجين.



تتفاعل الأمونيا مع حامض الهيبوكلورس لتكون مجموعة من مركبات الكلورامين والتي هي مثل حامض الهيبوكلورس تبطئ عملية الأكسدة للكلور. ويمكن توضيح التفاعل ما بين الكلور والأمونيا كالآتي: حيث يتكون كلاً من مونو، داى وتراى كلورامين.



وتتوقف نواتج التفاعل علي درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني والوقت والنسبة بين كلاً من الكلور إلى الأمونيا ( $\text{Cl}_2:\text{N H}_3$ ) انخفاض درجة الحرارة وزيادة نسبة الكلور إلى الأمونيا وانخفاض الرقم الهيدروجيني يساعد في تكوين الداى كلورامين.

ويوضح الشكل (١٢٥) بنسبة الكميات بالوزن من المونو كلورامين والداى كلورامين التي تتكون عند الحالات المختلفة للرقم الهيدروجيني وذلك عند نسبة الكلور إلى الأمونيا ٥ : ١ ( $\text{Cl}_2 : \text{NH}_3$ ).

ويتفاعل الكلور كذلك مع المواد النيتروجينية العضوية لتتكون مركبات كلورامين العضوي. الكلور الموجود في الماء والمتحد مع نيتروجين الأمونيا أو النيتروجين العضوي يسمي الكلور الحر المتحد (Free Combined Chbrine). قوة الأكسدة لمحاليل الكلور تتغير طبقاً للرقم الهيدروجيني نظراً للتغير في نسبة  $\text{HOCL}$   $\text{OCL}^-$  والتي تقل عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني حيث تزداد نسبة أيون  $(\text{OCL})^-$ . الكلورامين اقل قدرة في النشاط والتطهير عن الكلور الحر.

## ٥ - تفاعلات الكلور الأخرى :

التفاعل بين كبريتيد الهيدروجين والكلور يتم عموماً بسرعة مثل التفاعل الذي يحدث بين الكلور والمواد المختزلة الأخرى



أيون الكلور المختزل ( $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ) لا يحقق قدرة الأكسدة للكلور. من الناحية النظرية فإن جزئ واحد من كبريتيد الهيدروجين يحتاج إلي ٥ , ٨ جزء من الكلور وعند حدوث هذا التفاعل يحدث بجانبه استهلاك لعشرة أجزاء من عسر الكالسيوم ( $\text{AsCa CO}_3$ ) عند رقم هيدروجيني ٠.٩. كما أن التفاعل مع الحديد والمنجنيز يؤثر كذلك علي عملية الكلورة. فعند زيارة الرقم الهيدروجيني في وجود الكلور تتأكسد مركبات الحديدوز والمنجنيز (Manganous) الثنائي بسرعة إلي الأيدروكسيد الغير مذاب في الماء ولا يتدخل الكلورامين في تفاعلات الأكسدة. الكلور الحر المتاح وليس الكلور المتحد مطلوب لأزالة الحديد المذاب عند رقم هيدروجيني ٧ أو أكثر والمنجنيز المذاب عند رقم هيدروجيني ١٠ حيث يلزم للحديد ٦ , ٠ جزء وللمنجنيز ٣ , ١ جزء من الكلور لكل جزء من الحديد والمنجنيز مطلوب إزالته وكذلك يستهلك ٤ , ٣ أجزاء من الكلور لأكسدة عسر الكالسيوم (مقيم ككربونات كالسيوم).

ويوجد النيتريت في بعض المياه وخاصة الملوثة بمياه الصرف الصحي وبعض مياه الصرف الصناعي. النيتريت يتأكسد بسرعة بالكلور وخاصة الكلور الحر حيث يستهلك كل جزئ من النيتريت ٥ , ١ جزء من الكلور. وقد توجد بعض المواد العضوية المختزلة في بعض مياه الشرب ولكن تركيزها عادة منخفض. وطبقاً لتركيز الكلور المتوفر وزمن التفاعل فإن بعض المواد العضوية المذابة تتفاعل مع الكلور وإن كان الزمن اللازم لإتمام التفاعل مع المواد العضوية المذابة عدة ساعات إلا ان بعض المواد العضوية المذابة تتفاعل بسرعة مع الكلور. وفي بعض الظروف تتكون مركبات جديدة نتيجة إضافة أو استبدال الكلور. وفي بعض الحالات الأخرى تتأكسد المركبات العضوية تماماً. المركبات العضوية مع الكلور

لها قدرة ضعيفة في القضاء علي البكتريا كما ان لها علاقة بعملية الكلورة لاستهلاكها للكلور وكذا لانتاج الطعم والرائحة.

### ٣ - الأثر البيولوجي والكيمائي للكلور في الماء :

#### أ - أثر السمية :

يقضي علي بكتريا الكوليفورم والبكتريا المسببة للأمراض والكائنات الحية الدقيقة كما يحد من أضرار البكتريا، يقلل من أثر الطعم والرائحة.

#### ب - الأثر الكيمائي :

الأكسدة : يؤكسد الحديد والمنجنيز والنترات ومركبات الكبريت الي الكبريتات. يتحد مع الأمونيا ويكون الكلورامين ومع النيتروجين العضوي ويكون الكلورامين العضوي ومركبات الكلور ومركبات استبدال الكلور.

### ٤ - عمليات الكلورة : (Chlorination Practices)

كانت عمليات الكلورة تتم بغرض التطهير وأدخلت عملية المعالجة بالكلور الأمونيا وذلك للحد من المذاق والرائحة المصاحبة عادة لعملية التطهير بالكلور. وتلا ذلك زيادة الكلورة (Superchlorination) لغرض آخر وهو تدمير وتحلل المواد المنتجة للرائحة والطعم المصاحبة عادة للمواد العضوية المحتوية علي الكلور ثم كانت معرفة نقطة الانكسار للكلورة (Break Point) ومعرفة أن الكلور المتبقي يمكن أن يكون في صورتين مع عملية الكلورة وهما الكلور الحر المتبقي او الكلور المتحد المتبقي.

#### أ- الكلور الحر المتبقي : Free Residuel Chlorine

عملية إنتاج الكلور الحر المتبقي تشمل حقن الماء بالكلور لإنتاج كلور حر متبقي إما مباشرة أو من خلال تحلل وتكسير الأمونيا الموجودة طبيعيا في المياه

(حتى لا تتحد الأمونيا مع الكلور مكونة كلور متحد متبقي من الكلورامين) مع استمرار هذا الكلور الحر المتبقي خلال مرحلة أو كل نظام المعالجة المياه. الكلور الحر المتبقي له قدرة أكسدة أكثر من المتحد. ولذا فعند الرغبة في إنتاج كلور حر غير متحد فان خصائص المياه هي التي تحدد أسلوب التنفيذ.

\* في حالة عدم احتواء المياه علي امونيا (أو مركبات نيتروجينية أخرى) فان استخدام الكلور سينتج عنه توفر الكلور الحر المتبقي.

\* في حالة وجود الأمونيا في المياه والتي ينتج عنها كلور متحد متبقي (كلورامين) فإنه يلزم تدميره بواسطة الكلورة الزائدة.

### ب - نقطة الانكسار للكلورة : (Breek Point Chlorination) شكل (١٢٦)

التركيز الجزئ  $NH_3 : Cl_2$  (كنتروجين) حتى ١ : ١ يكون مونو كلورامين ودايكلورامين. الكلورامين المتبقي يبلغ أقصاه عند تساوى التركيز الجزئى لكل من الكلور والامونيا. أى زيادة فى تركيز الكلور عن الامونيا ينتج عنها أكسدة للأمونيا واختزال للكلور. تفاعل الأكسدة والاختزال يكتمل عند إضافة ٢ جزئ من الكلور لكل جزئ من الامونيا مع توفر الزمن اللازم للمكث. عندئذ يقل الكلورامين المتبقي الى اقل قيمة "نقطة الانكسار" عندما تكون نسبة الكلور الى الامونيا ١:٢ حيث تفاعل الأكسدة - الاختزال. إضافة كلور زائد ينتج عنه كلور حر متبقي. ولذلك فان الكلورامين المتكون بإضافة الكلور الى الماء المحتوى على امونيا يظل كما هو طالما أن نسبة الامونيا عالية، ولكن يبدأ الكلورامين فى التحلل والتكسير عندما تزيد نسبة الكلور وقبل نقطة الانكسار فان حامض الـهيبوكلورس (HOCl) الغير متفاعل يظل فى المحلول. المعادلات التالية تعطى تصور للتفاعلات التى قد تحدث لتحلل الكلور.

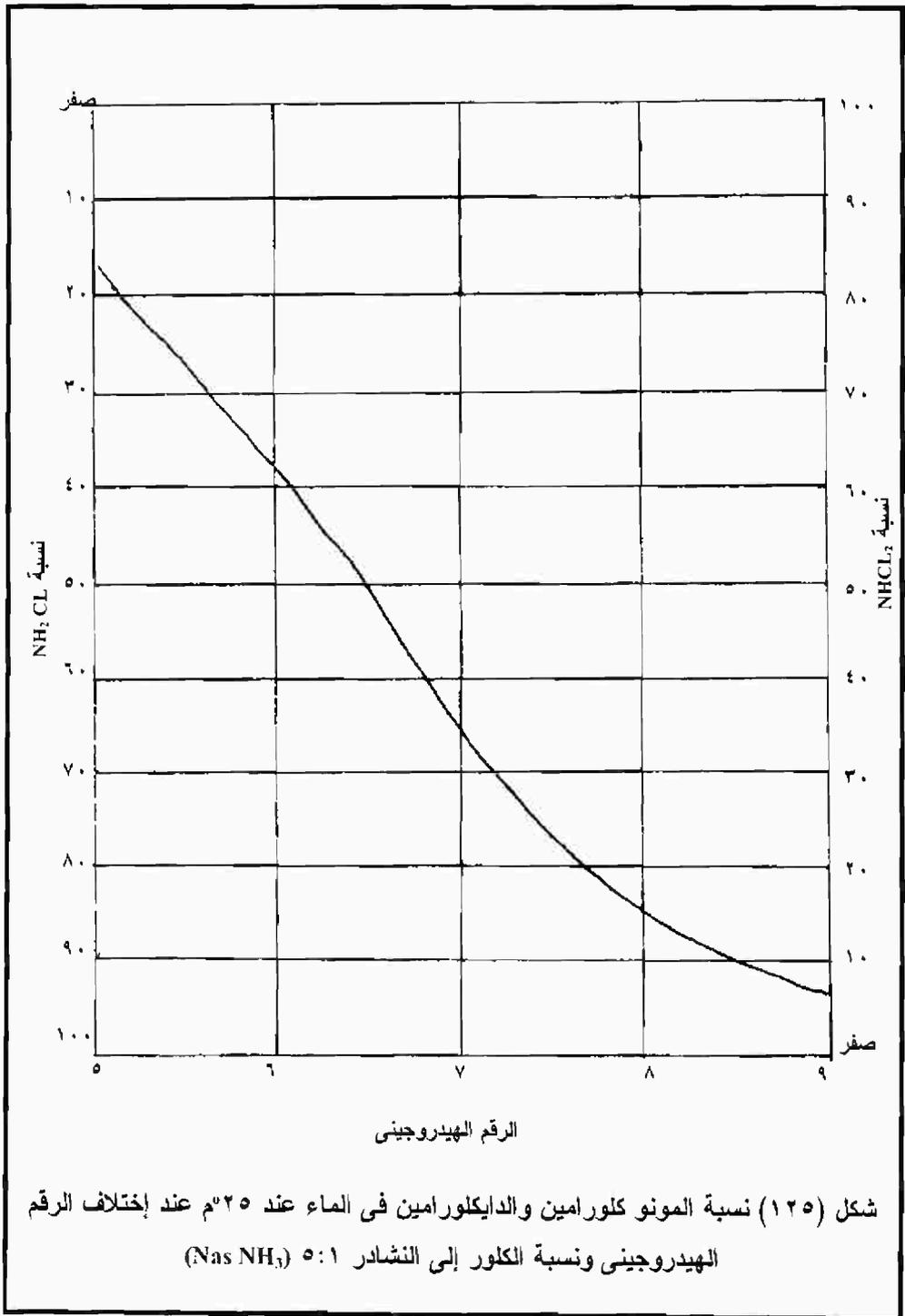


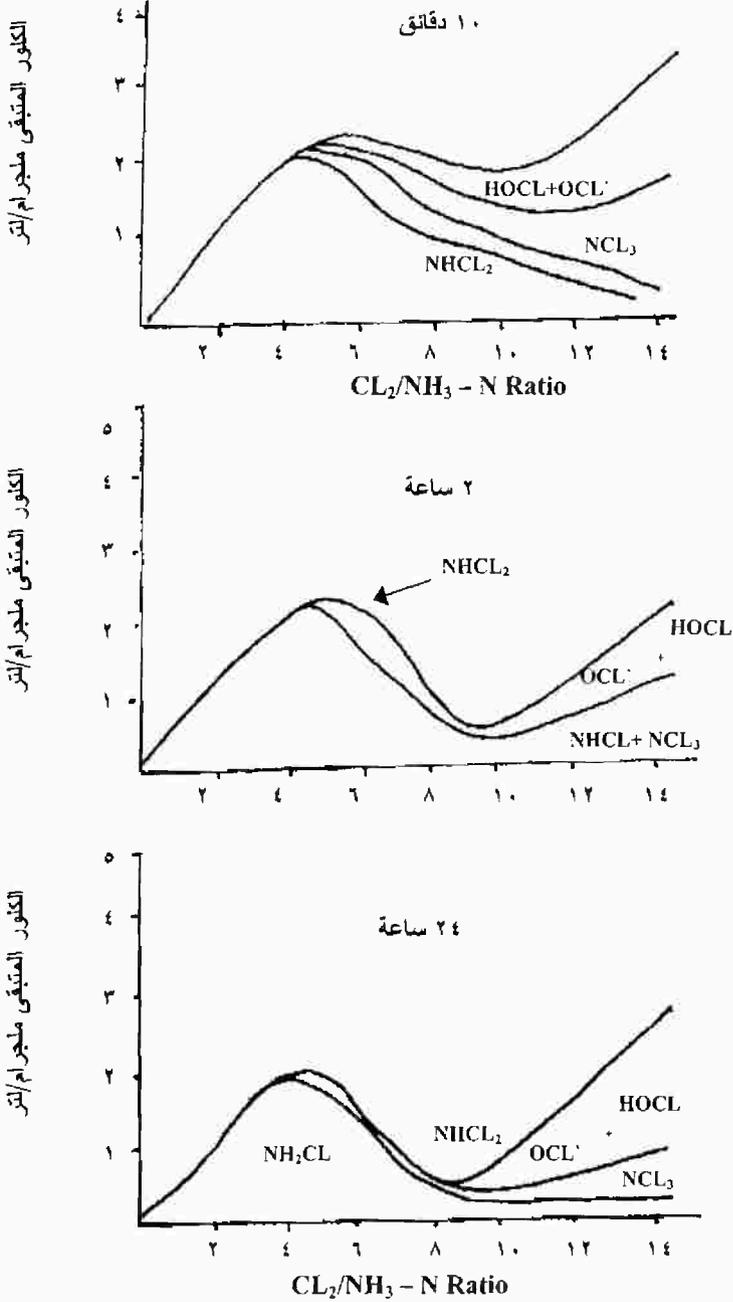
وهذه المعادلات توضح جرعة الكلور اللازمة للحصول على كلور حر متبقى.  
الجدول التالي يوضح الجرعة النظرية من الكلور - الأمونيا لحدوث التفاعل.

جرعة الكلور اللازمة لتفاعلات الكلور - الأمونيا

التفاعل	ملجرام كلور/ ملجرام أمونيا	التفاعل	ملجرام كلور /ملجرام/ أمونيا
مونو كلورامين $NH_2Cl$	٤,٢	نيتروجين $N_2$	٦,٣
دايكلورامين $NHCl_2$	٨,٤	نترات $NO_3$	١٦,٧
تراي كلورامين $NCl_3$	١٢,٥	ونيتريت	
الجرعة التصميمية للحصول على كلور حر متبقى ٩ ملجرام كلور/ملجرام أمونيا			

يلاحظ أن كم كبير من الكلور لازم لإنتاج النترات وقل منه قليلا لازم لتكوين الكلورامين. ولكن نسبة الكلور الي الأمونيا بالوزن لتكوين النيتروجين أقل من اللازم لتحويل كل الأمونيا إلى الدايلكلورامين. وقد ثبت أن النيتروجين هو الناتج الرئيسي عند تفاعل المتبقي الحر. ولكن الخبرة العملية تتطلب ٨ ملجرام كلور / ملجرام نشادر ولكن الجرعة ٩ - ١٠ ملجرام كلور / ملجرام نشادر مطلوبة لأغراض التصميم. ومن الناحية العملية فان تركيز التراكلورامين يزداد بسرعة مع زيادة جرعة الكلور عن أقصاها ولذا فإن الزيادة في جرعات الكلور يلزم تجنبها وهذا مبين في الشكل (١٢٦). وعمليا نظرا لوجود المواد العضوية والمواد الأخرى النشطة مع الكلور قد يتطلب حتى ٢٥ من الكلور ضعف نيتروجين الأمونيا للوصول إلى هذه النقطة. بعد عملية الكلورة والحصول على الكلور المتبقى الذي يلي نقطة الانكسار فإن الكلور المتبقى الناتج يتكون من ٩٠% كلور متبقى حر وبنسبة قليلة من الكلور المتبقى المتحد. شكل (١٢٧)





شكل (١٢٦) منحنيات الكلور الحر المتبقى

- استخدام الكلورة المتبقية الحرة أو كلورة نقطة الانكسار مناسب في الحالات الأتية:
- \* عندما تكون نوعية المياه رديئة مع ملاحظة عدم القدرة على إيقاف نشاط الفيروسات الضارة.
  - \* لأكسدة الحديد والمنجنيز.
  - \* عندما يكون زمن المكث غير كافئ لتحقيق التطهير لتوفير التطهير بالكلور المتحد العادي.
  - \* عندما يكون هناك مذاق غير مقبول للمياه وكذا الرائحة الغير مقبولة.
  - \* للحد من نمو الطحالب على المرشحات وإطالة دورات الترشيح.
  - \* للقضاء على البكتريا المقاومة للكلور وكذا نمو البكتريا فى شبكة التوزيع.

#### د- الكلور المتحد المتبقى : ( Combined Residual Chlorine )

عملية الكلور المتحد المتبقى هو كلورة المياه مع الأمونيا الطبيعية سواء كانت موجودة أصلا فى الماء أو مضافة للحصول على الكلور المتحد المتبقى واستمراره خلال وحدة المعالجة أو شبكة التوزيع. الكلور المتحد المتبقى له قدرة أكسدة أقل من الكلور الحر المتبقى وكذا أقل قدرة فى عملية التطهير وقتل الكائنات الحية الدقيقة. حيث أن ما يعادل ٢٥ ضعف من الكلور المتحد المتبقى للحصول على نفس النتيجة تحت الظروف المتساوية من الحرارة والرقم الهيدروجينى وزمن المكث مقارنة بالكلور الحر.

خصائص المياه هى التى تحدد الحصول على كلور متحد متبقى وذلك فى الحالات الأتية:

- \* إذا أحتوى الماء على الأمونيا الكافية لانتاج الكلور المتحد المتبقى بالقدر المطلوب فإن إضافة الكلور فقط تكفى.
- \* فى حالة احتواء المياه على أمونيا قليلة جدا أو عدم وجود أمونيا بالمياه فإن إضافة الأمونيا والكلور قد تكون مطلوبة فى حالات خاصة.
- \* فى حالة احتواء الماء على كلور حر متبقى فإن إضافة الأمونيا سوف تحول الكلور الحر المتبقى الى كلور متحد متبقى.

عملية الكلورة التي تحقق كلور متبقى متحد تتم بعد الترشيح للقضاء على الطحالب والبكتريا بعد نموها وتقلل من المياه الحمراء في النهايات الميتة لشبكات المياه كما أنها توفر الكلور المتبقى خلال الشبكة حتى صنبور المستهلك. عادة الكلورة لانتاج الكلور الحر تسبق الكلورة لنتاج الكلور المتحد (التي تتم بعد الترشيح) وذلك للحصول على مذاق جيد للمياه إلا في حالة توفير زمن مكث أكبر.

## 5 - التطهير البيولوجي : Biological Control

يبني التطهير بالكلور على أساس الحصول على كمية محددة وذات نوعية خاصة من الكلور المتبقى بعد تمام المعالجة لتأكيد صلاحية المياه للشرب.

المياه المحملة بالميكروبات هي المتعلقة بميكروبات حمى التيفود والدوسنتاريا والإضرابات المعوية المختلفة والبكتريا الخاصة بهذه الأمراض هي من نوع السلمونيلا والشيغيلا. ويمكن تحديد فعالية التطهير باختبار وجود كائنات الكوليفورم. وذلك حيث أن بكتريا حمى التيفود وغيرها هي على الأقل لها مقاومة مثل الكوليفورم وأن عدوانيتها تتمثل في المياه الحاملة لبكتريا السلمونيلا والشيغيلا. من المعلوم أن الفيروسات المعوية تختلف في حساسيتها ومقاومتها للكلور وكذلك فإن الفيروسات أكثر مقاومة للكلور من الكوليفورم والبكتريا المعوية الأخرى.

### أ- الجرعات من المطهر اللازمة للتطهير :

أقل كمية من الكلور المتبقى عند درجات حرارة ٢٠-٢٥°م باستخدام زمن مكث ١٠ ق مع التعرض للكلور الحر المتبقى عند رقم هيدروجيني ٦-٨ هي كلور حر متبقى لا يقل عن ٠,٢ مليجرام /لتر وعند رقم هيدروجيني ٨-٩ لا يقل عن ٠,٤ مليجرام /لتر. وفي حالة الكلور المتحد المتبقى وزمن مكث ٦٠ ق وعند رقم هيدروجيني ٧-٨ لا يقل الكلور المتحد المتبقى عن ١,٥ مليجرام /لتر وعند رقم هيدروجيني ٨-٩ لا يقل عن ١,٨ مليجرام / لتر. وهذه القيم لا تناسب جميع أنواع المياه وخاصة المياه العكرة وعند درجة حرارة أقل من ٢٠°م.

وبالنسبة لإبادة الحويصلات (الجارديا) وهي جرعة تقتل كل البكتريا وهي مالا يقل عن ٠,٥ ملليجرام / لتر للكولور الحر المتبقى، ٢,٥ ملليجرام / لتر للكولور المتحد المتبقى مع زمن مكث ٣٠ دقيقة ودرجة حرارة ٢٢-٢٥°م. لإزالة الفيروسات نتيجة التلوث بمياه الصرف أو المخلفات الأدمية فإن التطهير المناسب هو بتعقيم المياه (غلي المياه عند درجة حرارة ١٠٠°م). ولا يقف نشاط الفيروسات فإن حامض الهيبوكلورس (HOCl) يعتبر المؤثر في إيقاف نشاطها حيث يلزم ٠,٥ ملليجرام / لتر من الهيبوكلورس مع زمن مكث ٣٠ق. ولذلك فإنه في حالة تلوث المياه بالفيروسات يلزم توفر كلور حر متبقى في مجال رقم هيدروجيني مناسب لإنتاج حامض الهيبوكلورس. ونظرا لأن مثل هذه المياه بها نيتروجين أمونيا بكميات كبيرة فإنه يلزم توضيح نقطة الانكسار للكولور (حيث حامض الهيبوكلورس الذي يتكون أثناء عملية نقطة الانكسار وكذلك الذي يتكون بعد أكمال تفاعلات الانكسار يكون مناسب لإيقاف نشاط الفيروسات). المياه المحتوية على نيتروجين الأمونيا من ٠,١ إلى ١ ملليجرام / لتر فإن أفضل رقم هيدروجيني للكولور الحر المتبقى لإنتاج مياه خالية من الفيروسات هو ٧,٥ في هذا المجال ستواجد نسبة كبيرة من حامض الهيبوكلورس مع عدم احتمال تكون ثلاثي كلوريد النيتروجين عنه في المياه الأشد حموضة.

## ب- أماكن ونقاط استخدام الكلور :

### (١)- الكلورة المسبقة : Prechlorination :

وهي استعمال الكلور قبل أي عملية معالجة، وهي تحقق زيادة كفاءة الترشيح للمياه بتقليل حمل البكتريا والطحالب والفطريات وتحسن عملية الترويب وتقليل آثار المذاق والرائحة والمواد المسببة للألوان بأكسديتها وتوفير عوامل الأمان لتطهير المياه شديدة التلوث مع الاحتفاظ بالكلور المتبقى في شبكة التوزيع أقل ما يمكن. وعند استعمال الكلورة المسبقة فإنه يمكن الحصول على زمن مكث أطول ما يمكن وذلك يحقن الكلور في مأخذ السحب للمياه العكرة لتوفير الالتصاق الجيد بين الكلور والماء خلال مراحل الترويق للمياه. وطبيعي فإن الجرعة تتوقف على الهدف. ففي

بعض الحالات يلزم توفير الكلور الحر المتبقي وفي حالات اخري يكتفي بالكلور المتحد المتبقي مع الاهتمام بتوفير الكلور المتبقي الضروري لتحقيق الهدف.

### (٢) - الكلورة التالية : (PostChlorination)

وهي كلوره المياه بعد أي عملية من عمليات المعالجة واهم عمليات الكلورة التالية هي التي تلي عملية الترشيح بغرض التطهير للحصول علي كلور حر متبقي أو كلور متحد متبقي في كل شبكة التوزيع. ويؤخذ في الاعتبار زمن المكث حيث يضاف الكلور للمياه الخارجة من المرشح (زمن المكث في الخزانات العلوية أو الأرضية بعد المرشح). وعندما تلي الكلورة التالية الكلورة الأولية وتسبق عملية الترشيح يتم الحصول علي كفاءة ترشيح عالية.

### (٣) - إعادة الكلورة : (Rechlorination)

وهي حقن الكلور في الماء بعد معالجة المياه ويتم ذلك في نقطة أو أكثر في شبكة التوزيع حيث يتكون كلور حر متبقي أو كلور متحد متبقي. ويتم ذلك عادة عندما تكون شبكة التوزيع طويلة جدا ومعقدة وعندما يكون الكلور المتبقي من محطة المعالجة غير كافي للقضاء علي البكتريا والطحالب التي تنمو...الخ. يمكن حقن الكلور في نهاية خط التغذية الرئيسي الطويل في شبكة التوزيع. وفي منطقة التوزيع ومن الخط الرئيسي الي تجمع سكني بعيد او في بعض الأماكن كالخزانات والمواسير الرئيسية او محطات الضخ.

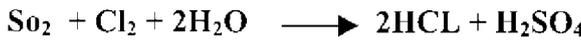
### (٤) - إزالة الكلورة : (Dechlorination)

إن المحافظة علي كمية ثابتة من الكلور الحر المتبقي أو الكلور المتحد المتبقي تعمل فقط كدليل عملي لتطهير المياه ولا يمكن استبدالها بالتحاليل البيولوجية أو التحاليل الميكروسكوبية. حيث إن تأكيد خلو المياه من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض سيظل الوسيلة الوحيدة لتحقيق صلاحية المياه للشرب. وعند استخدام الكلور الحر أو المتحد المتبقي مع استمرار التطهير. إلا انه في بعض الحالات يكون المتبقي غير مرغوب فيه مما يتطلب إزالته. في حالة زيادته وخاصة في

حالة زمن المكث قليل (بين الماء والكلور) جدا. حيث تجرى الكلورة المسبقة في وحدة المعالجة أو الكلورة البسيطة في خط المواسير تليها إزالة الكلور مع أهمية وجود كلور حر متبقي ٠,١ ملليجرام / لتر في صنوبر آخر مستهلك في الشبكة. يعتبر استخدام ثاني أكسيد الكبريت مناسب واقتصادي. أساس عمل مواد الأختزال أو مزيلات الكلور (Dechlor) هو إمكان استخدامها بعد الكلورة البسيطة كما يستخدم سلفيت الصوديوم (Na<sub>2</sub> S) وإن كان ثاني أكسيد الكبريت أكثر ثباتا واكل في التكلفة. ويستخدم ثيوسلفيت الصوديوم لإزالة الكلور عند عمل التحاليل البيكتريولوجية (Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) للمياه، كما يستخدم كذلك في معالجة المياه للأغراض الصناعية. وقد يستخدم الفحم المنشط.

جدول (١٤) الكيماويات المستخدمة لازالة الكلور

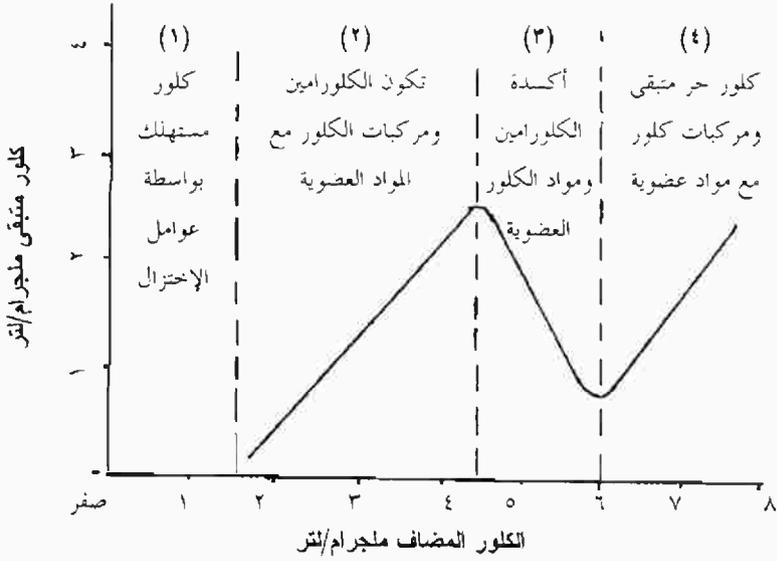
المادة	جزء مطلوب لازالة جزء من الكلور	القلوية المستهلكة ككربونات كالسيوم
ثاني أكسيد الكبريت SO <sub>2</sub>	٠,٩	٢,٨
سلفيت الصوديوم (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	١,٤٦	١,٣٨
ثيوسلفيت الصوديوم (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	١,٧٧	١,٣٨
الفحم المنشط	٠,٠٨٥	٢,١



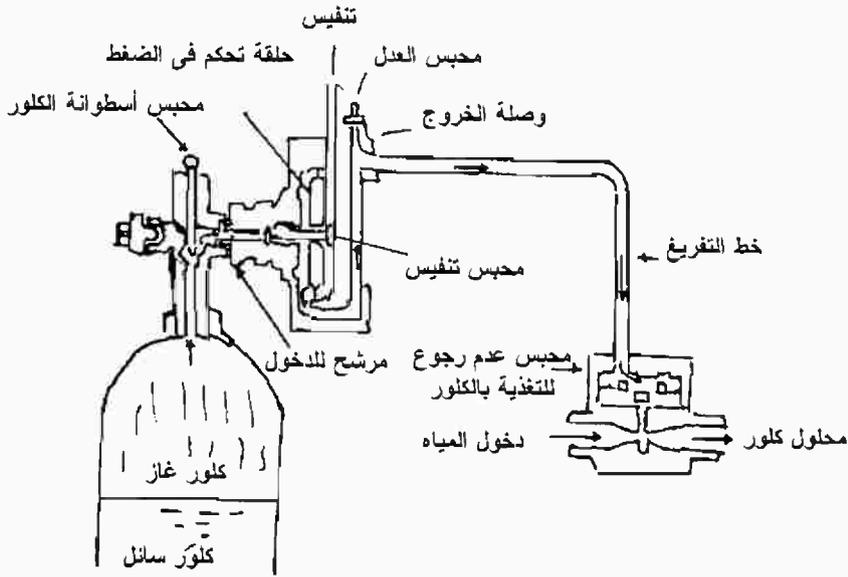
تخزين المياه المحتوية علي الكلور لفترة طويلة في وجود أشعة الشمس يعمل علي الاختفاء التدريجي للكلور المتبقي.

## ٦-١ اعتبارات هندسية :

بالإضافة إلى الاعتبارات الكيماوية الخاصة بكفاءة التطهير. فإن الاعتبارات الهندسية لها أهميتها. حيث يلزم الخلط السريع والجيد للكلور مع الماء الجاري تطهيره بما يمكن من قتل حوالي ٩٠% من الكائنات الدقيقة في وقت قصير جدا قبل أن يتمكن الكلور المضاف من التفاعل مع المواد النيتروجينية الموجودة. وذلك لأن الخلط الغير جيد يساعد علي تكوين الكلورامين في بعض أجزاء من المياه قبل الالتصاق بالكائنات الدقيقة في أجزاء أخرى. ولهذا يمكن رفع كفاءة التطهير بوحداث الخلط السريع جدا. كما أن تصميم خزانات المكث للكلور مع الماء هام جدا وذلك من ناحية شكل الخزان والعوائق (Baffles) المناسبة يعتبر حساس وهام.



شكل (١٢٧) منحنى مطالب الكلور



شكل (١٢٨) مخطط تدفق الكلور

**٧- كلورة شبكة التوزيع :****أ- الإنشاءات الجديدة :**

يلزم الحرص في تطهير شبكة التوزيع المنشأة والجاري إنشائها فمن بين مصادر التلوث التسرب لمياه الصرف وكذا التربة الملوثة في خنادق الحفر والتلوث بفعل عمال الإنشاءات أو من معدات الإنشاء وكذا التلوث من المواد الغريبة في الخندق أثناء الإنشاء. ولذلك يكون من المهام الأساسية لعمال الإنشاءات تجنب التلوث للمهمات أثناء العمل حيث يلزم وضع المواسير علي أماكن مرتفعة قبل التركيب، كما يجب سحب المياه من الخندق قبل تركيب المواسير مع الاهتمام بتغطية فتحات المواسير لمنع دخول المياه. كما يجب فحص كل ماسورة، محبس، ووصلة وتنظيفها قبل التركيب.

بعد اختبار الضغط للشبكة يتم ضخ المياه فيها بسرعة مناسبة لإزالة كل المواد الغريبة. وعند اكتمال هذه العملية يمكن إجراء التطهير باستخدام الكلور السائل أو هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم بأحد الطرق الآتية:

**ب- التغذية المستمرة :**

في هذه الطريقة يتم التغذية بالمياه المعالجة والكلور (سائل الكلور أو محلول الهيبوكلوريت) بمعدل ثابت وبتركيز لا يقل عن ٥٠ مليجرام / لتر من الكلور حتي امتلاء المصدر. تظل المياه لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة حيث خلال هذه الفترة يلزم تشغيل المحابس ومحابس التصريف... الخ حتى يمكن تطهيرها. وبعد انقضاء ٢٤ ساعة فإنه يجب ألا يقل الكلور المتبقي عن ٢٥ مليجرام / لتر في المصدر الجديد. شكل (١٢٨)

**ج- الطريقة البطيئة :**

وفي هذه الطريقة تجري التغذية المستمرة بجرعة ثابتة كما في الحالة الثابتة وبالمعدل الذي يعطي جرعة كلور لا تقل عن ٣٠٠ مليجرام / لتر. مع استمرار

التغذية بالكور لمدة زمنية تسمح بتلامس المياه المكلورة الي الأسطح الداخلية للمصدر لمدة لا تقل عن ٣ ساعات. مع مرور المياه المكلورة خلال المحابس والقطع والتقاطعات... الخ كما يجب تشغيل المحابس لضمان التطهير. وتستخدم هذه الطريقة للأقطار الكبيرة حيث التغذية المستمرة تكون غير عملية.

#### د- طريقة الأقراص ( Tablet Method )

لا يستخدم الغمر في هذه الطريقة رغم أنها تستخدم عادة في المواسير ذات الأقطار الصغيرة. في هذه الطريقة توضح حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم في أجزاء من الماسورة والمحابس والقطع. ثم يتم الملىء البطئ بالماء بسرعة في حدود ٣٠ سم / الثانية وذلك لعدم كسح الهيبوكلوريت الي نهاية المصدر. المحلول الأخير يجب ان يحتوي علي كلور متبقي لا يقل عن ٥٠ ملليجرام / لتر وان يظل زمن المكث لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة. وبطرف النظر عن الطريقة المستخدمة. بعد زمن المكث يتم صرف المياه التي بها الكلور متبقي مع عمل الاختبارات البكتريولوجية وفي حالة عدم مطابقة التحليل للمواصفات يتم إعادة خطة التطهير مع اختبار النتائج قبل وضع مصدر المياه في الخدمة.

#### هـ- التطهير لعمليات الإصلاح :

أعمال التلف في الشبكات بمثل اكبر المشاكل المسببة للتلوث. حيث ينتج التلوث في منطقة التلفيات بالإضافة إلى ان الإسراع الضروي لعملية الإصلاح يزيد من التلوث. لذلك مع تتبع التلف وتحديد الكسر المعرض للتلوث يلزم العمل علي عزل مياه الصرف وأي مصادر تلوث أخرى. في حالة توفر الوقت يستمر ضخ المياه في الخط وسحب المياه وضخها من الخندق. وهذه الطريقة سوف تزيل كثيرا من الملوثات التي اندفعت الي المواسير. واقل قدرة من التطهير تشمل غسيل الماسورة الجديدة والوصلات بمحلول الهيبوكلوريت ٥% قبل التركيب وعندما تسمح الظروف يتم عزل منطقة التلفيات التي تم إصلاحها مع تعرضها للتطهير بأحد الطرق السابقة للمنشآت الجديدة وذلك مع زيادة الجرعة الي ٥٠٠ ملليجرام /

لتر وزمن المكث لا يقل إلى ٣٠ ق. يتم التحليل البكتريولوجي للعينات بعد التطهير لاختبار عملية التطهير.

### و- تطهير الخزانات ومستودعات المياه :

يتم عمل خطة للتنظيف والتطهير للخزانات، حيث يمكن تطهير الخزانات بطرق مختلفة. أحد هذه الطرق هو الإضافة المباشرة للكلور مع المياه لملي الخزان، أو إضافة محلول الهيپوكلوريت للمياه، أو إضافة مسحوق هيپوكلوريت الكالسيوم الي الخزان بعد ملئه بالمياه وذلك بالرش والتوزيع علي سطح المياه أو الإزابة المسبقة ثم الرش علي سطح المياه في الخزان. وفي جميع الحالات يلزم توفير ٥٠ مليجرام / لتر كلور متبقي لمدة لا تقل عن ٦ ساعات. كما يمكن استخدام طرق أخرى حيث بعد الغسيل الحوائط والأسطح الداخلية للخزان يمكن رشها بمحلول به ٥٠٠ مليجرام / لتر من الكلور وذلك للتطهير السريع للخزان بدون إلحاق أضرار للدهانات الداخلية للخزان.

### ز- تطهير الآبار :

مثل حالات الشبكات والخزانات توجد خطورة من تلوث المعدات والمهمات والمياه السطحية أثناء عملية الإنشاء والإصلاح للبر. حيث يلزم عمل التطهير بالكلور أو بأي مادة من مواد الكلور مع توفير من ٥٠ - ١٠٠ مليجرام / لتر كلور حر متبقي لمدة ١٢ ساعة لضمان التطهير المطلوب.

لتطهير بئر محفور قبل تركيب مكوناته (Dug Well) يتم غسل القيسون أو الدهان الداخلي (السطح الداخلي) بمحلول كلور قوي (٥٠ مليجرام / لتر) وكذا طلمبة الأعماق وماسورة السحب. يتم تشغيل طلمبة الاختبار المؤقتة لملي البئر ثم ترفع طلمبة السحب المؤقت ثم تضاف جرعة كلور ٥٠ مليجرام / لتر لكل المياه في البئر وحول المصفاه (في التربة الجاملة) لمسافة مناسبة بما يعادل ضعف المياه في البئر تقريباً. تركيب الطلمبة وماسورة السحب ويغطي البئر ليظل محلول الكلور في البئر لمدة لا تقل عن ١٢ - ٢٤ ساعة قبل الضخ وصرف المياه المحملة بالكلور.

أما في حالة البئر المتدفق أو الأرتوازي فإنه من الضروري الحد من التدفق المستمر للمياه للمحافظة علي كلور متبقي لها حيث يضاف محلول الكلور الي قاع البئر باتباع نفس الطريقة المستخدمة في البئر الجوفي ويتم ذلك باستخدام ماسورة حقن وهذا لعمل خلط ما بين الماء والكلور ما أمكن ثم مع تدفق البئر يوفر كلور متبقي ٥٠ مليجرام / لتر. ثم يغلق البئر تماما لمدة ١٢ ساعة ثم يفتح ويعاد ضخ المياه من البئر الي الصرف.

الاحتياطات: يلزم توفير وسائل ومهمات الأمان للعاملين في تداول الكيماويات وكذا تأمين الكائنات المائية من صرف المياه المكلورة بما يتطلب إزالة الكلور قبل صرفها.

### ح- تنظيم إضافة الكلور : (Chlorination Control)

#### (١) مطالب الكلور Chlorine Demand

تختلف خصائص المياه طبقا للمصدر، وقد تختلف خصائص المياه لنفس المصدر من وقت لآخر. وتتأثر كمية الكلور المضافة طبقا لهذه الاختلافات ولهذا يلزم ضبط معدل الكلور ليس فقط طبقا لمعدل تدفق المياه ولكن كذلك لمواجهة التغير في نوعية المياه. من المواد النشطة والتي تتفاعل بسرعة مع الكلور المواد الغير عضوية المختزلة من الحديد والمنجنيز والأمونيا. وكذلك تتفاعل المواد العضوية وتستهلك الكلور ولكن ببطئ مثل البروتينات والأحماض الأمينية والمواد الكربونية. هذه المواد العضوية والغير عضوية تستهلك الكلور الذي تحقق به المياه كما ان بعض التفاعلات وخاصة مع المواد الغير عضوية قد تحدث قبل إتلم عملية التطهير والقتل لكل الكائنات الحية الصغيرة وان كانت هذه الكائنات هي الأسرع في استهلاك الكلور ولهذا فان المواد التي تؤثر علي مطالب الكلور تعقد استخدام الكلور في عملية التطهير نظرا لوجوب استخدام الكلور الكافي ليس فقط لقتل الكائنات الدقيقة ولكن لتعويض الكلور المستهلك. التفاعلات مع المواد الغير عضوية سريع جدا والتفاعل مع المواد العضوية بطئ عموما وتتوقف معدلات التفاعل علي تركيز ونوع الكلور المستخدم عندما تكون إضافة الكلور بهدف معالجة

الخصائص الكيميائية للمياه مثل معالجة المذاق والرائحة من اثر المواد العضوية فان عملية الكلورة تكون حساسة. فعند إضافة الكلور لتحقيق كلور متبقي يكون الكلور المتبقي السائل هو الكلور المتحد المتبقي. وعند إضافة كلور لتوفير كلور حر متبقي عندئذ ستعود تفاعلات الأكسدة للمواد العضوية المسببة للرائحة والمذاق وذلك بتغيير هذه المواد أو تدميرها تماما وتحويلها الي مواد لا تسبب مذاق أو رائحة.

يعرف الكلور المطلوب بالفرق بين كمية الكلور المضافة الي الماء وكمية الكلور الحر أو المتحد أو اجمالي الكلور المتبقي حر ومتحد بعد فترة مكث (التصاق) محدودة. وبنوع معين من المياه فان مطالب الكلور تختلف طبقا لكمية الكلور المستخدم وزمن المكث ودرجة الحرارة.

### (٢) الكلور المتبقي ( Residual Chlorine )

نوع وكمية الكلور المتبقي المطلوبة لحالة تطبيقية معينة ترتبط بالغرض من المعالجة وتختلف من وقت لآخر ومن مكان لآخر. عندما يكون الهدف هو التطهير عندئذ يؤخذ في الاعتبار الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومطالب الكلور وكذا حساسية الكائنات الدقيقة أو مقاومتها للكلور. ففي حالة طول زمن المكث والالتصاق بين الماء والكلور يكفي تركيز قليل من مادة التطهير بينما زمن المكث القليل يتطلب تركيز عالي لتحقيق نفس المعدل الكافي من التطهير. وكذلك زيادة قدرة التطهير وقتل الكائنات الدقيقة تزداد بزيادة درجة الحرارة. بينما يقل اثر الكلور كلما زاد الرقم الهيدروجيني.

### ط - معدات الكلورة (Chlorination Equipment) شكل (١٢٨)

يجب أن تحقق معدات الحقن بالكلور الآتي:

\* طرق تحديد والتحكم في التغذية الدقيقة بالكلور.

\* نظام التحكم بالتفريغ لمنع تسرب الغاز مع القفل الآلي تحت أي ظروف في التشغيل.

- \* حاقن لعمل التفريغ المطلوب وحقن المحلول لتأمين الاستخدام الكفؤ لتدفقات المياه المستهدفة تطهيرها.
- \* مقياس لقياس معدل التغذية بالكلور.
- \* طريقة مناسبة لتحديد والتحكم في معدل التدفق.
- \* وسيلة آمنة لتسرب الغاز الي الجو في حالة تلف محابس قفل الغاز.
- \* محبس عدم رجوع لمنع ارتداد المياه أثناء القفل بالإضافة إلى أجهزة قفل الغاز ومحابس التفريغ.

## ٨- ثاني أكسيد الكلور (CLO<sub>2</sub>):

في بعض الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور البديل المناسب لتطهير مياه الشرب. فهو مؤثر في تدمير الفينولات (Phenols) ولا يكون مركبات الترايها لومثيان بكميات مؤثرة وكذلك خصائصه في التطهير لا تتأثر بارتفاع الرقم الهيدروجيني كما في حالة الكلور الحر المتبقي وبالتالي فهو مطهر سريع في الرقم الهيدروجيني المرتفع. ولهذا يستخدم كمطهر في البلاد التي تستخدم مصادر المياه الملوثة من المجاري السطحية لأغراض الشرب. وفي هذه الأماكن يستخدم عادة ثاني أكسيد الكلور بعد استخدام التطهير بالأوزون. ثاني أكسيد الكلور لا يتفاعل مع المواد العضوية المذابة في الماء لتكوين الترايها لومثيان ولا يتفاعل مع الأمونيا ليكون الكلورامين. ولهذا فإن استمرار ثاني أكسيد الكلور في الماء أطول من الكلور الحر المتبقي في نفس الظروف. ولكن ثاني أكسيد الكلور مثل الكلور حساس للضوء ولكن نظرا لأنه لا يتفاعل مع الماء مثل الكلور فإن المتبقي منه يمكن إزالته بالتهوية. ناتج التفاعل لثاني أكسيد الكلور يشمل (Aldhydes, Ketones and Carboxylic) أما المركبات الغير عضوية فتشمل الكلوريد والكلوريت (CLO<sub>3</sub>) وقد ثبت أن هذه المركبات من مسببات تكون ميثو مجلو بين الدم (Methemoglobin) ولذلك فقد أوصت منظمة البيئة (EPA) بالا تزييد نسبة نواتج التفاعل مع الماء مع المركبات الغير عضوية التي ذكرت عن ١ جزء في المليون.

ينتج ثاني أكسيد الكلور لمعالجة مياه الشرب من كلوريت الصوديوم ( $\text{NaOCl}_2$ ) مع الكلور (الغاز أو في شكل محلول) وذلك بالخلط ويكون التفاعل كالاتي :



وبالإضافة إلى تكون ثاني أكسيد الكلور فإنه قد يتكون أيون الكلوريت ( $\text{ClO}_3$ ) كمنتج ثانوي كالاتي:



## القسم الثاني

### الأوزون (OZONE)

لقد تطابق استخدام الأوزون في معالجة المياه لأغراض الشرب مع استخدام الكلور في توقيت واحد، وإن كان حالياً قل استخدامه عدا في بعض الدول وخاصة في ألمانيا، وفرنسا، وكندا. كما ازداد اهتمام الولايات المتحدة باستخدام الأوزون وذلك نظراً لاحتمال التأثير المسرطن لمركب الترايها لوميثان الناتج عند استخدام الكلور. الأوزون غاز نشط جداً، ورائحته نفاذة. واستخدام الأوزون في معالجة المياه يتطلب الفهم الجيد لخصائصه الطبيعية والكيميائية. كما تعتبر الخصائص الطبيعية ذات أهمية خاصة نظراً لأن إذابته في الماء ونشاط وتحلله، وثباته يتأثر بعدة عوامل معقدة. والأوزون غاز عديم اللون ( $O_3$ ) يتم إنتاجه في الموقع ويتم تداوله في الألومنيوم والزجاج والسيراميك، ويتآكل الأوزون المتبقي في الماء سريعاً ولكنه يستمر لمدة أطول في الرقم الهيدروجيني المنخفض وفي المياه ذات قدرة الدري العالية (Highly Buffered Waters) فعند رقم هيدروجيني ٨ فإن نصف العمر للأوزون (Half Life) حوالي ٢٣ دقيقة. ويتوقف نصف العمر للأوزون على نوعية المياه (الكربون العضوي الكلي (TOC)، الكربونات) وكذا على جرعة الأوزون المستخدمة. والأوزون مؤثر في إيقاف نشاط الفيروسات، وقتل البكتيريا، وأكسدة الخلايا الملونة (Chromophores) بما يعمل على إزالة الألوان. وفي حالات كثيرة فإن الأوزون يقلل من استعدادات المياه لتكوين مركبات الترايها لوميثان. والأوزون يعتبر مزيل للمذاق والرائحة، ويؤكسد الفينول والأوزون لا يكون الترايها لوميثان حتى في وجود البروميد بتركيز يصل إلى ٥.٠ ملليجرام/لتر. ويتفاعل الأوزون مع السيانيد (Cyanides) بمعدل سريع جداً. وتنشط عملية الأكسدة

في حالة وجود مركبات النحاس مع السيانيد كوسيط (Copper Complexes of Cyanides) ولكن التفاعل يثبط في حالة وجود مركبات الحديد المعقدة (Iron Complexes) وبمجرد دخول الأوزون في المحلول، فإنه يسلك طريقين للتفاعل. الأكسدة المباشرة والتي هي بطيئة نسبياً ولكنها اختيارية بدرجة كبيرة، والتفكك الآلي (Auto Decomposition) الي الأيدروكسيد، وهذا التفاعل نشيط في وجود شق الأيدروكسيد أصلاً في الماء، أو شق عضوي أو ثاني أكسيد الهيدروجين أو الأشعة فوق البنفسجية أو التركيز العالي لأيون الأيدروكسيد. وشق الأيدروكسيد سريع التأثير في أكسدة المواد العضوية بدون تمييز، ولكن في نفس الوقت، فإنه يزال بأيونات الكربونات والبيكربونات مكوناً شق الكربونات والبيكربونات، وهذه المركبات ليس لها نتيجة في التفاعلات العضوية. ولهذا فإن الرقم الهيدروجيني المنخفض يساعد علي بطئ تفاعلات الأوزون المباشرة في الأكسدة، أما ارتفاع الرقم الهيدروجيني أو زيادة تركيز المواد العضوية ينشط التفكك الآلي:

والتركيز العالي لعامل الدري (Buffer) من الكربونات أو البيكربونات وخاصة دري الكربونات يقلل من معدل التفكك الآلي بإزالة شق الأيدروكسيد.

وهذا يعني أن الأوزون المتبقي (Ozone Residuals) يستمر أكثر في الرقم الهيدروجيني المنخفض وكذا في المياه ذات الدري العالي (Highly Buffered) الأتي يوضح مسار تفاعلات الأوزون في الماء.

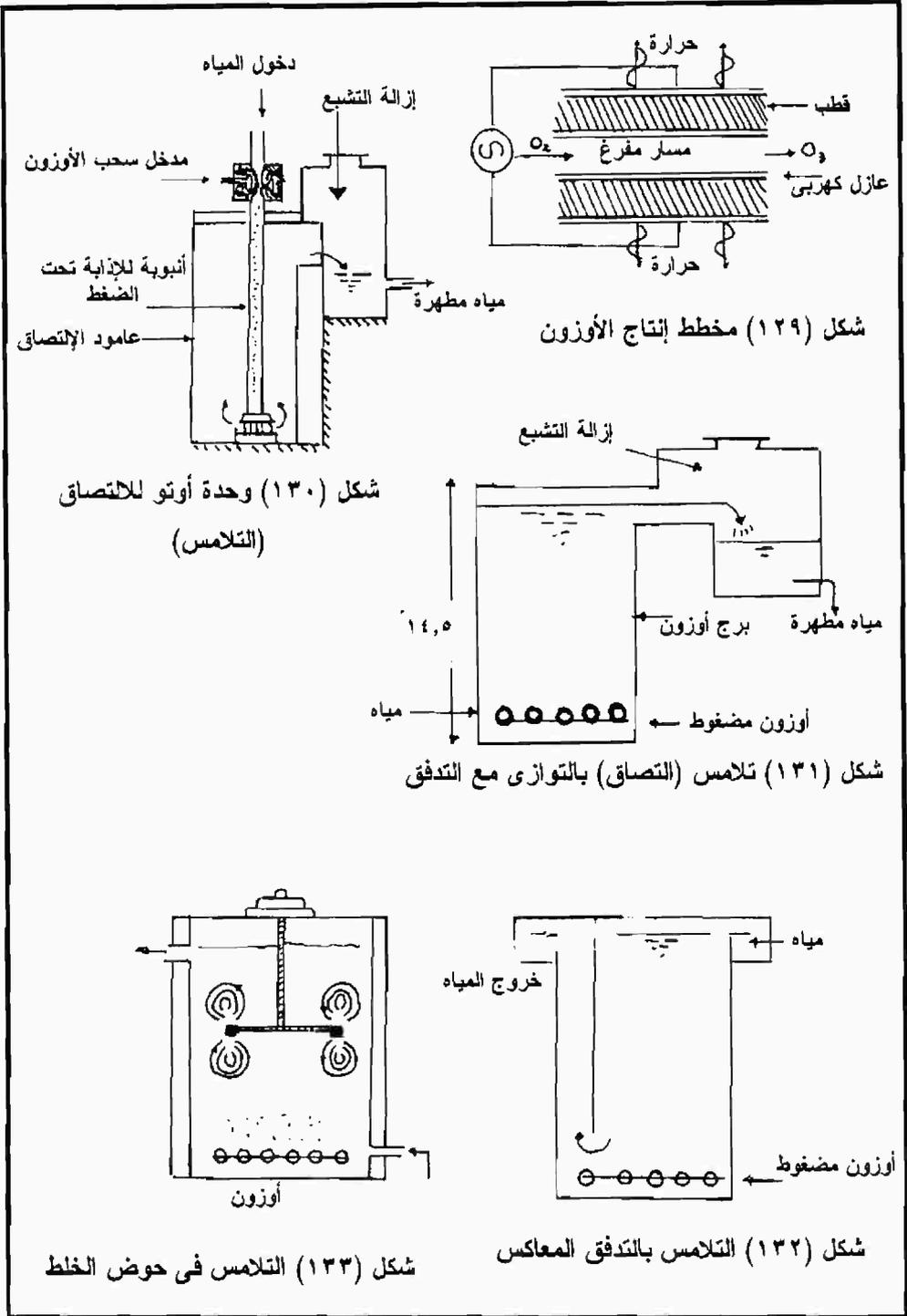
\* تفاعل بطئ إنتقائي بالأكسدة المباشرة للمواد ذات القاعدة العضوية، والكائنات الدقيقة والنشادر.

\* تفاعل سريع مع الأيدروكسيد أو الشق العضوي مكوناً شق الأيدروكسيد:

\* أكسدة الخمائر العضوية، والكائنات الدقيقة، النشادر وهو تفاعل سريع انتقائي.

\* أكسدة أيون البيكربونات مكوناً شق البيكربونات. وهو تفاعل متوسط.

\* أكسدة أيون الكربونات مكوناً شق الكربونات وهو تفاعل سريع.



## الإنتاج والتخزين والتغذية بالأوزون :

الشكل (١٢٩) يوضح الطريقة الأساسية لإنتاج الأوزون. حيث توفير جهد كهربى (فولت- Electromotive Force) خلال قطبين مع وجود عازل وفاصل بينهما يتم إمرار الهواء خلال المسار المفرغ بين القطبين، حيث يتحول بعض أكسجين الهواء الي الأوزون. ويتوقف الفولت (فرق الجهد) اللازم لتوليد الأوزون علي ضغط المسار (Gap Pressure) وعرض المسار. وكذا فإن كفاءة وحدة إنتاج الأوزون تزداد بزيادة التردد، معامل العزل، وتتناسب عكسياً مع سمك العازل (Dielectric).

والعازل يكون قليل السمك ما أمكن ولو أن العازل الرقيق معرض للتلف. ونظراً لأن زيادة الإنتاج تتوقف علي مربع فرق الجهد أي أن الجهد العالي مطلوب. وأن تلف العازل يحدث مع الجهد العالي. ولذا فإن التصميمات الحديثة تستخدم نوعية جيدة من العازل وطرق جيدة لإزالة الحرارة من خلية الأوزون. حيث يستخدم الصلب المقاوم أو الخرسانة.

## طريقة التلامس بين الماء والأوزون : (Contactor Configuration)

توجد أربعة طرق لتوفير التلامس المستعملة عادة. والشكل العام لهذه الطرق هو استخدام حوض تلامس عميق لتوفير أكبر فرصة لإذابة الأوزون. وأقدم هذه الأشكال هو نموذج (Otto) في الشكل (١٣٠) حيث يتم سحب غاز الأوزون بواسطة شفاط في مدخل المياه المعالجة حيث يحمل المخلوط الي قاع حوض عميق حيث تتدفق المياه والغاز في اتجاه واحد. وعيوب هذه الطريقة هو ان الشفاط لا ينتج فقاعات صغيرة من جرعات الأوزون مع معدل تدفق المياه الداخلة. ونموذج آخر للتدفق الموازي للماء والأوزون كان استخدامه لا يحقق أقصى تلامس للأوزون مع الماء شكل (١٣١) والشكل (١٣٢) يوضح التدفق المعاكس وهو الشكل السائد الإستخدام الآن، حيث تستخدم أكثر من غرفة علي التوالي. وفي هذا الشكل يستفاد بأكثر كمية من الأوزون. والشكل (١٣٣) حيث يستخدم التقليل يعتبر مناسب كذلك حيث يحقق أكبر انتقال لكمية الغاز وأقصى التصاق للفقاعات في معالجة

المياه. وغرفة الخلط تصنع عادة من الصلب المقاوم للصدأ للتخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس شكل (١٣٤): (Off Gas Disposal)

أحد مشاكل التصميم الرئيسية في نظام التلامس بالأوزون مع الماء هو التخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس والتي تشكل صعوبة في حلها. بفرض أن ملامسات الأوزون تستخدم من ٩٠ الي ١٠٠ من الأوزون المستخدم، فإن الهواء الخارج من الملامس قد يحتوي علي تركيز أوزون بنسبة مرتفعة تصل إلى ٠,١ من حجم الهواء وهذا يزيد عن مستوي ٠,٠٥ جزء في المليون وهو مستوي الرائحة لمحتوي الهواء من الأوزون، وكذلك يزيد عن المعدل القياسي ٠,١ جزء في المليون طبقا لمعايير الأمان من تركيز الغاز حسب مواصفات المنظمة العالمية (OSHA). ولذلك فإنه لا يمكن التخلص من الهواء المحتوي علي ٠,١% أوزون. وللتخلص من زيادة تركيز غاز الأوزون في الهواء تتبع خمسة طرق رئيسية:

- \* إعادة الحقن.
- \* التسخين لإحداث التحلل الآلي.
- \* الاختزال الكيماوي باستخدام عامل اختزال.
- \* الاختزال باستخدام عامل مساعد من أكسيد معدن.
- \* التخفيف.
- \* وبالنسبة للطريقة الأولى وهي إعادة الحقن فإنها تتطلب إنشاء برجين للتلامس حيث يضخ الأوزون الخام الي التدفق الهابط للمياه، ثم يعاد ضخ الغازات الخارجة وحقنها في حوض التدفق الصاعد. والهواء الخارج في هذه الحالة يحتوي نسبة أوزون حوالي ٠,٠٠١% أو ١٠ جزء في المليون فإن إعادة الحقن فقط لا يحل المشكلة - ولذا فإن إعادة الحقن يجب أن تستخدم مع أحد التقنيات الأخرى.

والطريقة الأخرى هي الاختزال الكيماوي للتخلص من الأوزون المتبقي في الهواء الخارج من الملامس ويتم ذلك بتمرير الهواء الخارج المحتوي علي بقايا الأوزون في تدفق معاكس مع عامل اختزال للأوزون في مدخنة مثل المستخدمة في التخلص من الأدخنة في العمليات الصناعية. ويتحكم في هذه الطريقة اختبار عامل

الاختزال الغير مكلف والذي لا يتأكد بأكسجين الهواء الجوي. وان كان العثور علي عامل الاختزال هذا لم يتحقق حتي الآن.

الأوزون يتحلل بسرعة عند التسخين. ولذا ففي بعض التصميمات يتم التسخين لدرجة حرارة ٢٥٠م°. وإن كان سلبيات هذه الطريقة هي كمية الحرارة اللازمة. وفي بعض التصميمات يتم تدوير الهواء الخارج بعد التسخين الي ٢٥٠م° لتسخين الهواء الداخل الي مدخنة التحلل. وهذا يقلل من الطاقة اللازمة ، ولكن يضيف في التكاليف الرأسمالية.

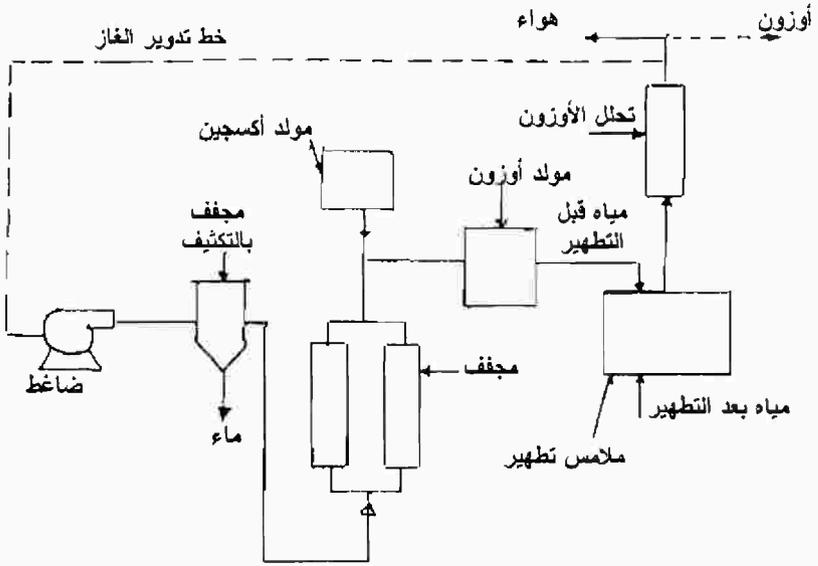
الاختزال باستخدام عامل مساعد حيث تمر الغازات علي سطح العامل المساعد الذي يعمل علي تحلل الأوزون الي الأكسجين. ومن بين هذه العوامل المساعدة أكسيد الحديد، وإن كان هناك مواد أخرى كثيرة. ولكن في جميع الحالات يصعب تقييم هذه العوامل المساعدة والتي قد تتلف أو لا تصلح لفترة استخدام طويلة لتحلل الأوزون في الهواء. وهذه الطرق عموما واسعة الانتشار في أوروبا رغم عن مسالبتها. التخفيف (Dilution) طريقة بسيطة جدا. حيث يتم خلط الهواء مع الغازات المخلوطة بالأوزون خلال برج به ركام (Stack) باستخدام مروحة ذات ضغط عالي وحجم قليل. وفي هذه الحالة يلزم أن يكون البرج الخاص بالخلط عالي بما فيه الكفاية.

### مميزات استخدام الأوزون :

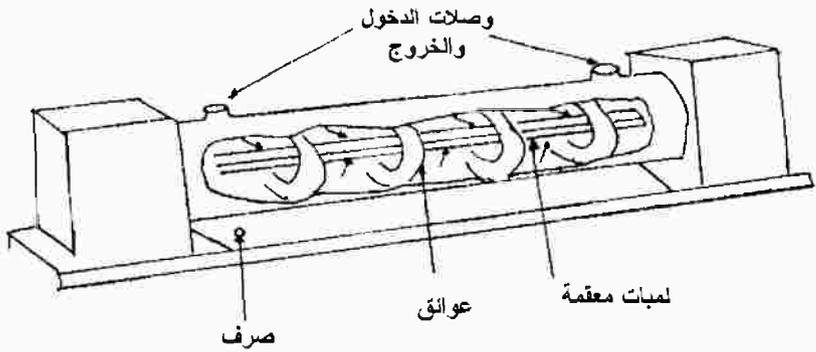
- \* التركيز المنخفض من الأوزون (١،٥ - ٥،٥ جزء في المليون) يقلل الكائنات المسببة للأمراض في أقل من ١٠ دقائق زمن مكث.
- \* الأوزون سريع في تفاعلاته عن الكلور ويعتبر أقوى مبيد للكائنات الدقيقة.
- \* الأوزون لا يتفاعل مع الكيماويات العضوية ليكون الترايبها لوميثان ويمكن استخدامه بأمان كمؤكسد أولي.

### عيوب الأوزون :

الأوزون مركب كيماوي غير مستقر يتحلل بسرعة ولا يوفر متبقي في الماء بعد حفنه حوالي ٢-٥ دقائق. الأوزون مكلف لارتفاع تكاليف إنتاجه مقارنة بالمطهرات الأخرى.



شكل (١٣٤) عملية التطهير بالأوزون



شكل (١٣٥) نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية



## القسم الثالث

### مواد تطهير أخرى

وهذه تشمل :

#### ١- برمنجنات البوتاسيوم :

برمنجنات البوتاسيوم مادة مؤكسدة وذات تأثير في القضاء علي الطحالب وتستخدم في أكسدة الحديد المنجنيز وكبريتيد الهيدروجين وكذلك لتحسين المذاق والرائحة وذات أثر محدود كمطهر . وهي مادة مكلفة.

#### ٢- اليود :

استخدم اليود كمطهر لمياه الشرب للوحدات العسكرية في المناطق المنعزلة وهو يسبب بقع وينتج عنه مذاق غير مستساغ. اليود يتفاعل مع المواد العضوية في الماء مكونا مادة الترايها لومثيان.

#### ٣- كلوريد البروم :

يصنع كلوريد البروم من البروم والكلور ويعبا في اسطوانات مثل غاز الكلور . البروم مطهر جيد ولكنه شديد العدوانية علي المواد المعدنية ويسبب مذاق دوائي للماء . يستخدم أساساً في حمامات السباحة لكونه لا يسبب حساسية للعين مثل الكلور . ويكون الترايها لومثيان بتفاعله مع المواد العضوية.

## ٤ - الأشعة فوق البنفسجية : (UV) شكل (١٣٥)

ضوء الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجة ٢٥٠٠ وحدة أنجسترم مؤثر في القضاء علي البكتريا. تنتج الأشعة فوق البنفسجية من خلال لمبة زئبقية محكمة الغلق توضع موازية لتدفقات المياه بكثافة ضوئية حوالي ١٦٠٠٠ ميكرو وات ثانية علي السنتمتر المربع عند طول موجة ٢٥٣٧ أنجسترم. العوامل التي تؤثر علي التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية هي كثافة الضوء وطول الموجة وزمن التعرض وعمق المياه المارة فوق اللبة الزئبقية وكذلك لون وعاكسة المياه وكمية ونوع المواد المذابة والعالقة والتي تؤثر بالسلب علي كفاءة التطهير.

جدول(١٥) تأثير المواد المؤكسدة في معالجة المياه

المعالجة	الكلور	الكلورامين	الأوزون	ثاني أكسيد الكلور	برمنجفات البوتاسيوم	الأكسجين
إزالة الحديد	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر
إزالة المنجنيز عند رقم هيدروجيني اكبر من ٧	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر	غير مؤثر
الكبريتيد	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر مع كسح الهواء
إزالة المذاق والرائحة	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا
للون	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر
مساعادات الترويب	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	غير معروف	مؤثر قليلا	غير مؤثر
الترايبها لوميتان	غير مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر
المواد العضوية المخلفة	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	غير مؤثر
النمو البيولوجي	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر
			عدا في حالة الحقن على مرحلتين			

## جدول (١٦) معامل القضاء على بعض الكائنات الدقيقة باستخدام بعض المطهرات

المطهر	بكتريا معوية	فيروسات	الجرثيم	حويصلات الأميبا
الأوزون ( $O_3$ )	٥٠٠	٥	٢	٠,٥
ثاني أكسيد الكلور ( $ClO_2$ )	١٠	١,٥	٠,٦	٠,١
حامض الهيبوكلوروس ( $HOCl$ )	٢٠	١	٠,٠٥	٠,٠٥
أيون الأكسيكلوريد ( $OCl$ )	٠,٢	٠,٠٢	٠,٠٠٥	٠,٠٠٥
مونوكلورامين ( $NH_2 Cl$ )	٠,١	٠,٠٠٥	٠,٠٠١	٠,٠٢

## ٥- إضافة الفلور الى الماء : Water Flouridation

يضاف الفلور الى مياه الشرب طبقا لمعايير علمية وطبيعية. الفلور موجود بنسب مختلفة في التربة، المياه، النباتات، الحيوان، وفي الأطعمة. أقصى تركيز في الثدييات يكون في العظام والأسنان.

## فائدة الفلور للأسنان عند خلطة في مياه الشرب.

عند شرب المياه المحتوية على الفلور فإن ٥٠% من الفلور يتسرب الى عظام الفك والأسنان والباقي (٥٠%) توجه الى المعدة ثم الى جدار المعدة ثم الى مجرى الدم حيث ينتشر في الجسم حيث يزداد تركيزه مع تقدم السن. ونظرا لأن الفلور يعتبر الباحث عن العظام ولذلك فإن كلا من العظام والأسنان تجذب الفلور وتحتفظ به. أما الأنسجة الأخرى لا تحتفظ بالفلور، يتسرب في العظام ما يزيد عن ٩٦% من الفلور في الجسم ويكون امتصاص الاسنان للفلور سريعا في مرحلة تكوين ونمو الاطفال ولهذا يفضل شرب المياه المحتوية على الفلور بالنسبة للأطفال قبل تكوين الاسنان المستديمة.

مستويات الفلور المرتفعة في مياه لها مردود صحي سيئ. الفلور يجعل الاسنان مقاومة للأحماض البكتيرية بالإضافة الى أن الفلور يساعد على بناء المينا.

يوصى بتركيز الفلور في مياه الشرب بتركيز من ٠,٧ - ١ مليجرام / لتر بالنسبة لتلاميذ المدارس يكون التركيز أربع اضعاف ليكون من ٣,٢ - ٤ مليجرام / لتر ويضاف الفلور أما في شكل فلوريد الصوديوم ( $Sodium Fluoride$ ) حيث ٨,٦

كيلو جرام من فلوريد الصوديوم توفر ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه. في حالة إضافة الفلور من مادة صوديوم سيلكون فلوريد (Sodium Silicon Fluoride) حيث ٦,٣ كيلوجرام تضيف ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه وفي حالة استخدام حامض الهيدروفلوروسيميك (Hydro Fluosilicic) بتركيز ٢٣% فإنه لتوفير ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر ماء سيتطلب إضافة ٢٠,٨ كيلوجرام حامض. وقد يستعاض عن إضافة الفلور للماء باستخدام الأقراص أو النفط للتحكم في النسب المضافة طبقاً لدرجات الحرارة أو الحالة العمرية.

جدول (١٧) المزايا والعيوب العامة لمؤكسدات معالجة المياه

المؤكسد	المميزات	العيوب
الكلور	مؤكسد قوي سهل الاستخدام يوفر كلور متبقي استخدم منذ زمن بعيد	منتجات مكلورة يتأثر بالرقم الهيدروجيني يمكن ان يسبب مذاق ورائحة في وجود الفينول
الكلورامين	لا يكون الترايبها لوميثان يوفر كلورامين متبقي سهل الاستخدام	مؤكسد ضعيف يتأثر بالرقم الهيدروجيني يمكن ان يسبب مذاق ورائحة وبعض السميات
الأوزون	مؤكسد قوي لأثرها لوميثان ولا مواد سامة لا مشاكل للمذاق أو الرائحة، بعض نواتج ألا كسده قابلة للتحلل البيولوجي يتأثر قليلاً بالرقم الهيدروجيني، مساعد للترويب	استمرارية محدود يتم انتاجه في المواقع يتطلب طاقة بعض نواتج الاكسده قابلة للتحلل البيولوجي عدواني معقد في الانتاج والتغذية مكلف
ثاني اكسيد الكلور	مؤكسد قوي يوفر متبقي نسبيا لا يكون تراي هالوميثان لا يتأثر بالرقم الهيدروجيني	يكون مواد سامة ينتج ثانوي من $ClO_2$ ينتج في الواقع يمكن وجود رائحة من الهيدروكربونات
برمنجنات البوتاسيم	سهل التغذية لا منتجات جانبية غير سام	مؤكسد ضعيف يسبب تآكل وترسيب