الباب الأول: تطهير المياه

بانتهاء أعمال التدريب على هذا الباب، ينبغى أن يكون المشارك قادراً على أن:

- يذكر ثلاثة طرق لتطهير المياه وشروط المواد المطهرة وأكثر الطرق شيوعاً ومميزاتها مقارنة بغيرها من الطرق.
- يشرح كيفية تحضير الكلور فى الصناعة وخصائص الكلور وأهم مركباته وأشكاله المستخدمة فى تطهير مياه الشرب.
- يشرح نظرية عمل الكلور وتفاعلاته ونواتجها وتأثيرات هذه التفاعلات على خصائص المياه ودورها فى التنقية.
- يقارن بين تأثيرات العوامل المرتبطة باستخدام الكلور فى التطهير والعلاقات بينها وبين خصائص المياه المختلفة.
- يشرح العلاقة بين طرق إضافة الكلور المختلفة وأسس الاستخدام الأمثل له كمادة كيماوية فى عمليات التنقية.
- يذكر أماكن إضافة الكلور فى محطات التنقية ونقاط الحقن والجرعات والتحكم الآلى فى ذلك وعلاقته بالاستخدام الأمثل.
- يقدر جرعة الكلور المثالية للتطبيق معمليا ومقارنتها بالاستهلاكات الفعلية بالمحطة.

تطهير المياه

عملية تطهير المياه هي أهم خطوة من خطوات معالجة المياه فهى التى تضفى عليه صفة الصلاحية وتؤمنه ضد الأمراض وليدة المياه *Waterborne diseases* وتتم عملية تطهير المياه بطرق متعددة منها:

المعالجة الحرارية:

وهي أول طريقة تم اكتشافها منذ سنوات عديدة ويتم فيها غليان الماء باستخدام الغلايات، ولا تستخدم هذه الطريقة في إنتاج كميات كبيرة من المياه نظرا لارتفاع تكلفة الطاقة المطلوبة لذلك وتستخدم هذه الطريقة في تحلية المياه المالحة.

المعالجة الإشعاعية:

وتتم عن طريق مرور المياه على لمبة تنتج أشعة فوق بنفسجية ويجب أن تكون المياه خالية من العكارة وقريبة جدا من سطح اللمبة المشعة، لذا لا تستخدم هذه الطريقة إلا في إنتاج الكميات الصغيرة من المياه.

المعالجة الكيمائية:

يمكن استخدام العديد من المواد الكيمائية بهدف تطهير المياه ومنها : الكلور (الكلورة)، ثاني أكسيد الكلور، برمنجانات البوتاسيوم، الأوزون، الجير، البروم، اليود.

ومما سبق يتضح أن أغلب المواد المطهرة مواد كيماوية يجب توفر بعض الشروط بها.

الشروط الواجب توافرها فى المواد المطهرة

- أن تكون قاتلة للجراثيم.
- ألا تؤثر علي صحة الإنسان.
- أن تكون رخيصة الثمن.
- أن يكون استعمالها سهلا ومأمونا.
- أن تكون متوفرة محليا أو العمل علي استيرادها طوال العام.
- أن يكون تخزينها سهلا وآمناً.

التطهير بالكلور

- من أكثر الطرق شيوعا في عمليات تطهير المياه هي إضافة الكلور.
- ويتميز التطهير بواسطة الكلور بسهولة استعماله.
- الكلور عامل مؤكسد قوي.
- الكلور عنصر كيماوي ينتج خلال صناعة الصودا الكاوية ،ويدخل في كثير من الصناعات .

التطهير بالكلور

ولا يعرف علي وجه التحديد كيف يعمل الكلورين علي قتل البكتريا في الماء والمعتقد أن مركبات الكلور التي تتكون عندما يضاف الكلورين إلى الماء تقضي علي بعض الأنزيمات الضرورية للعمليات الحيوية في هذه الكائنات ولم يعد أحدا يعتقد مثلما كانوا يعتقدون في الماضي بان البكتريا تتأكسد نتيجة إضافة الكلورين وذلك لان عملية التأكسد تحتاج إلى كميات هائلة من الكلور، في حين أن التطهير الناجح الآن لا يتطلب إلا كميات ضئيلة منه. ومع هذا فإن الكلورين عامل مؤكسد قوي وعندما يستخدم بكميات كافية فإنه يوقف نمو الطحالب في المرشحات.

صناعة الكلور

يتم تحضير الكلور في الصناعة بواسطة التحليل الكهربي لمحلول كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)، ويتجمع الغاز عند القطب الموجب ويتم سحبة حتى تتم إسالته ويحفظ في خزانات كبيرة إلى ان يتم عملية تعبئته في الاسطوانات المستخدمة في محطات المياه ومصانع النسيج وخلافه.

خصائص الكلور

يمكن أن يتواجد الكلور مثله مثل اى مادة فى ثلاث صور مختلفة : **الغازية ، السائلة ، الصلبة** ولكل منهم خصائصه .

خصائص غاز الكلور

* غاز لونه أصفر مائل إلى الخضرة.
* اثقل من الهواء مرتين ونصف.
* له رائحة مميزة شديدة النفاذية.
* وزنة الذري ٣٥.٥ .
* ضعيف القابلية للذوبان في الماء.
*الكلور الرطب مسبب للتآكل.
* غاز الكلور سام ومهيج للأغشية المخاطية.
* يسال تحت الضغط العالي (حوالي ٧كجم/ سم٢).
* ٣ جزء في المليون هى اقل نسبة يمكن حسها بالشم.
* ١٥ جزء في المليون يصبح تأثيرها مهيج للعين والرئة.
* ١ جزء في المليون هى الكمية المسموح بها لغاز الكلور في الجو.

خصائص الكلور السائل

- محلول نقى كهرماني اللون .
- أثقل من الماء مرة ونصف تقريبا .
- للكلور السائل معامل تمدد عالي.
- الكلور السائل يتبخر بسرعة شديدة إذا ما تعرض للهواء الجوى (– ٣٤,١°م)، لذلك فهو نادرا ما يرى في صورته السائلة.
- عند تبخر الكلور السائل فإن وحدة الحجوم الواحدة من الكلور السائل تنتج حوالي ٤٥٦ وحدة حجم من الغاز النقي عند درجة حرارة ١٥°م ، وضغط ٧٦٠ مم زئبق.
- وبالتالي فإنه عند وجود تسرب في اسطوانة الكلور ، يتحتم تعديل وضع الأسطوانة بحيث تكون منطقة التسرب في أعلاها لكي يتسرب غاز الكلور وليس السائل .

الكلور الصلب

نظراً لأن الكلور السائل يتجمد عند درجة حرارة منخفضة جدا (-١٠٢°م) فهو نادرا ما يوجد في صورته الصلبة، غير انه يتواجد متحدا مع بعض العناصر الأخرى فى صورة مركبات على هيئة بودرة أو حبيبات.

مركبات الكلور

بخلاف الكلور النقى يتواجد الكلور علي هيئة مركبات سائلة أو صلبة :

- **محلول الكلور:**

ويسمي كيماويا (هيبو كلوريت الصوديوم)وتركيبة الكيماوي هو NaOCl وهو محلول يحتوي علي حوالي ١٥٪ من الكلور الحر .

- **مسحوق أو أقراص الكلور:-**

ويسمي كيماوياً (هيبو كلوريت الكالسيوم) وتركيبة الكيماوي هو $Ca(OCl)_2.4H_2O$ وهذه المادة تحتوي علي حوالي ٦٠-٧٠٪ من الكلور الحر .

- **المسحوق المبيض :-**

ويسمي أحيانا (كلوريد الجير أو الجير المكلور) وتركيبة الكيماوي هو مزيج من (كلوريد كالسيوم قاعدي $CaCl_2Ca(OH)_2$،هيبوكلوريت كالسيوم قاعدي $Ca(OCl)_2Ca(OH)_2$)، وهو مسحوق ابيض مائل للاصفرار، له رائحة قوية نفاذة ،الجديد منه يحتوي علي ٣٢٪ من وزنة كلور فعال .

استعمال مركبات الكلور

استعمال مركبات الكلور اصبح غير شائع في عمليات التطهير الكبرى للمياه نظرا لمتاعب التشغيل إلا انه يستعمل في الحالات الآتية :-

١. تطهير شبكات مواسير توزيع المياه بعد إنشائها أو إصلاحها.
٢. تطهير مرشحات وخزانات المياه .
٣. في حالات الطوارئ مثل حالات الفيضانات .

المناقشة

س١ : اذكر أهم الطرق التي تتم بها عملية التطهير ؟

جـ ١- أهم الطرق التى يتم بها تطهير المياه:

- **التطهير بالمعالجة الحرارية**
- **التطهير بالمعالجة الإشعاعية**
- **التطهير بالمعالجة الكيمائية**

المناقشة

س٢ : ما هي الشروط الواجب توافرها فى المواد المطهرة ؟

جـ ٢ : الشروط الواجب توافرها فى المواد المطهرة هى:

١. أن تكون قاتلة للجراثيم .
٢. ألا تؤثر علي صحة الإنسان .
٣. أن تكون رخيصة الثمن .
٤. أن يكون استعمالها سهلا ومأمونا.
٥. أن تكون متوفرة محليا أو العمل علي استيرادها طوال العام.
٦. أن يكون تخزينها سهلا وآمناً.

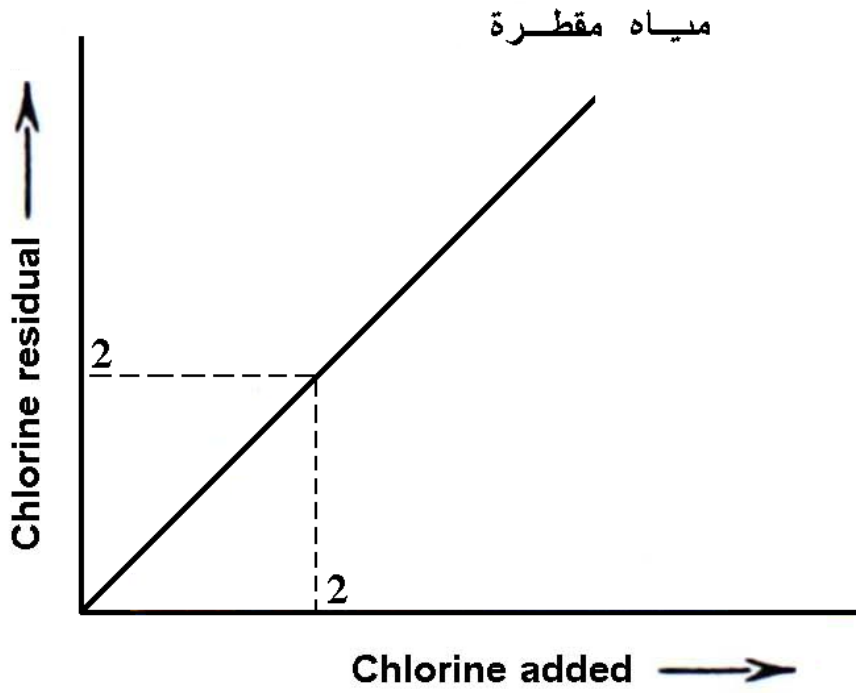
المناقشة

س٣ : اذكر بعض خواص غاز الكلور الطبيعية ؟

جـ ٣ – خواص غاز الكلور :

- غاز لونه أصفر مائل إلى الخضرة.
- اثقل من الهواء مرتين ونصف.
- له رائحة مميزة شديدة النفاذية.
- وزنة الذري ٣٥.٥ .
- ضعيف القابلية للذوبان في الماء.
- الكلور الرطب مسبب للتآكل.
- غاز الكلور سام ومهيج للأغشية المخاطية.
- يسال تحت الضغط العالي (حوالي ٧كجم/ سم٢).

نظرية عمل الكلور



إذا ما أضيف الكلور لمياه مقطرة فإن كمية الكلور الحر المتبقية تتعلق مباشرة بكمية الكلور المضافة (الجرعة).

وسيتم التفاعل كالتالى:

كلور + ماء ← حامض الهيبوكلورز + حامض الهيدروكلوريك

$$Cl_2 + H_20 \rightarrow HOCl + HCl \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

نواتج التفاعل مركبات ضعيفة لا تلبث ان تتفكك إلى نواتج أخرى كالتالي :

حامض الهيبوكلورز ← أيون الهيبوكلوريت + ايون هيدروجين

(حامض ضعيف يتفكك)

$$HOCl \rightarrow OCl^- + H^+ \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

و

حامض الهيدروكلوريك ← ايون كلور + ايون هيدروجين

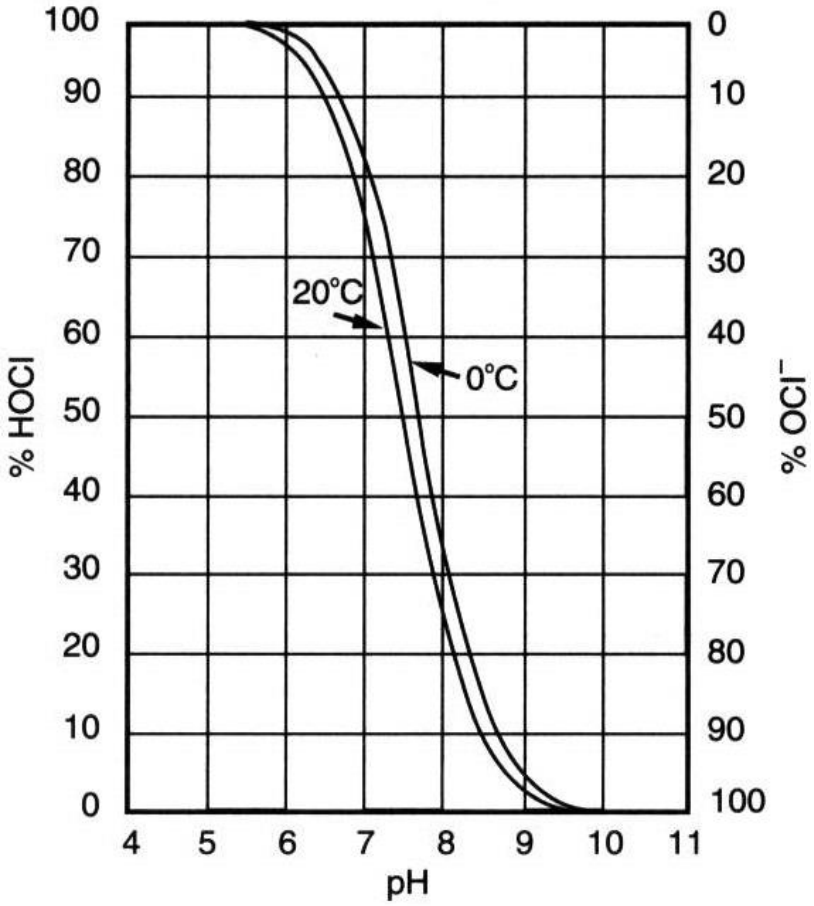
$$HCl \rightarrow Cl^- + H^+ \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

أشكال الكلور المتبقى

- حمض الهيبوكلورز HOCl أحد شكلين من أشكال الكلور الحر المتبقى ، وهو الأكثر فاعلية في عملية التطهير وعند تحلله كما في المعادلة (٢) السابقة ينتج أيون الهيبوكلوريت OCl^- وهو الشكل الثانى من أشكال الكلور الحر المتبقي ، وتأثيره في عملية التطهير تعادل ١٪ فقط من تأثير حمض الهيبوكلورز

الشكل	فاعلية الكلور مقارنة بحمض الهيبوكلورز
HOCl	1
OCl –	1/100
NCl3	-
NHCl2	1/80
NH2CL	1/150

تأثير PH علي التفاعل



عند أس هيدروجيني ٦,٧ تكون النسبة :

٢٠٪ ملح هيبوكلوريت + ٨٠٪ حمض هيبوكلوروز

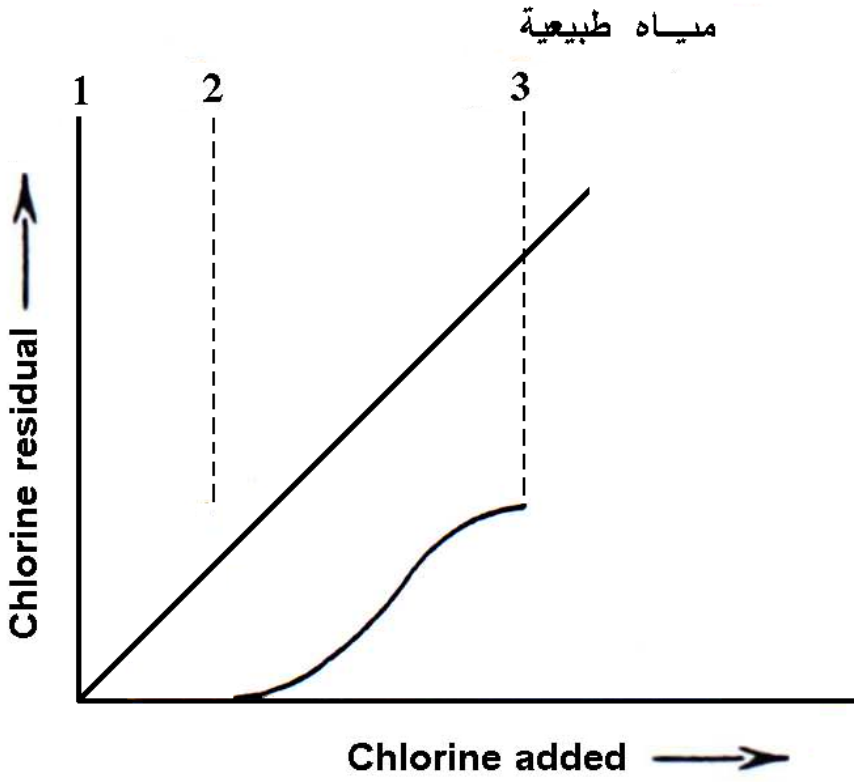
عند أس هيدروجيني ٧,٣ تكون النسبة:

٤٠٪ ملح هيبوكلوريت + ٦٠٪ حمض هيبوكلوروز

عند أس هيدروجيني ٨,٣ تكون النسبة:

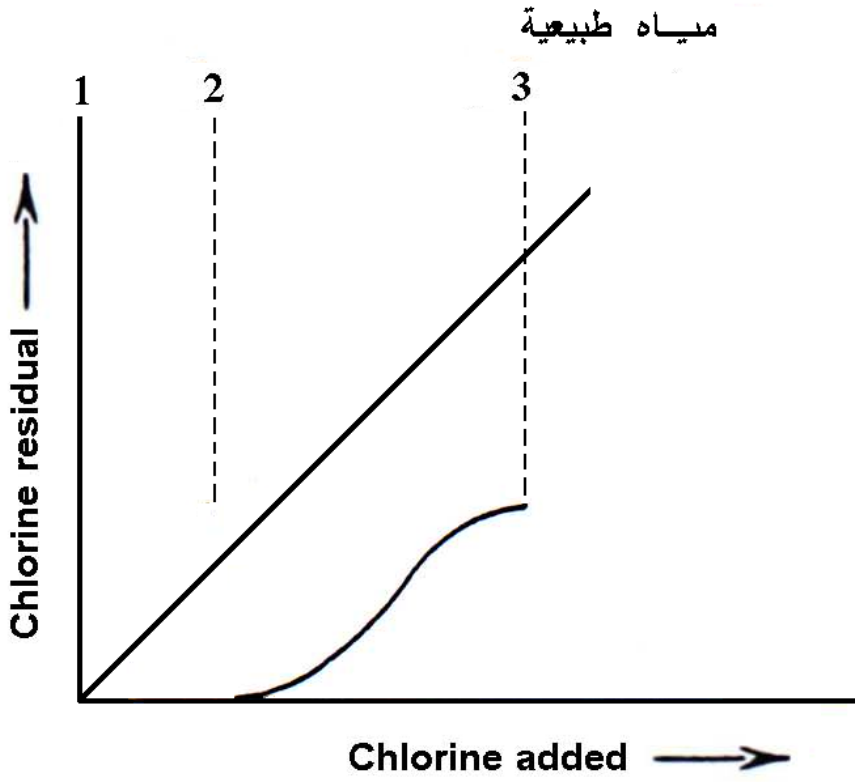
٨٠٪ ملح هيبوكلوريت + ٢٠٪ حمض هيبوكلوروز

نظرية عمل الكلور تابع



أما بالنسبة للمياه الطبيعية فكما نعلم ان بها مواد ذائبة وشوائب عالقة وبالتالى فان تفاعل الكلور مع تلك المواد والشوائب سيتداخل ويؤثر على كمية الكلور المتبقى الحر كنتيجة لذلك.

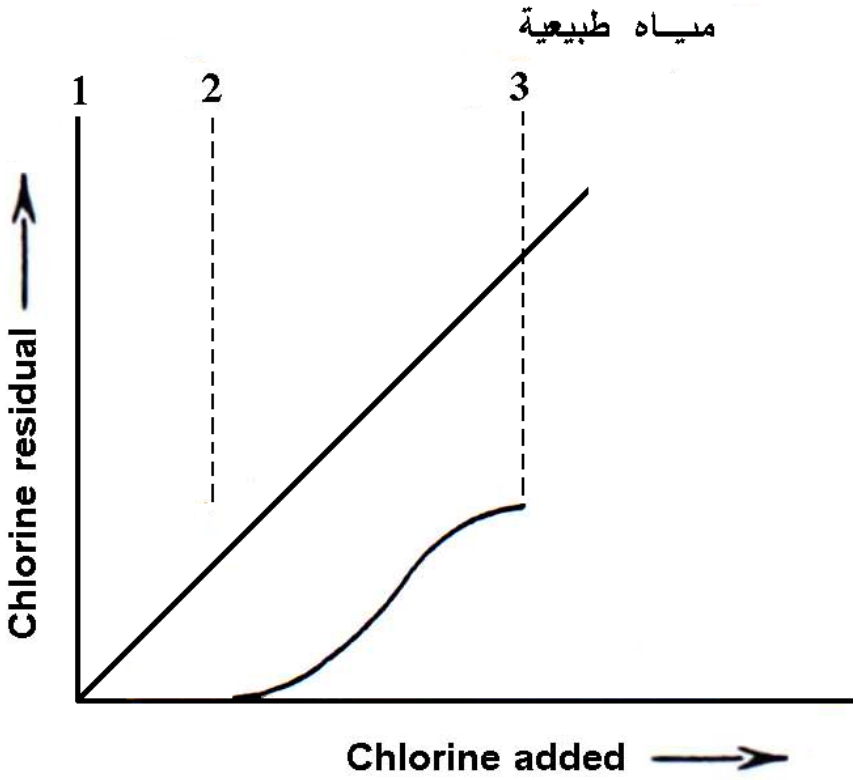
تابع نظرية عمل الكلور



المسافة بين النقطتين ١ ، ٢ الكلور المضاف يتحد مباشرة مع الحديد ، المنجنيز والنيتريت كمواد مختزلة ولا يظهر تبعاً لذلك أي كلور متبقي حتى يتم الانتهاء من أكسدة كل تلك المواد بواسطة الكلور .

باستمرار إضافة الكلور نلاحظ انه على امتداد المسافة بين النقطتين ٢ ، ٣ يبدأ الكلور في التفاعل مع الأمونيا والمادة العضوية ليشكل مركب الكلورامين ، والمركبات الكلورو-عضوية وهذه النواتج من أشكال الكلور وتعرف بالكلور المتبقى المتحد

نظرية عمل الكلور تابع

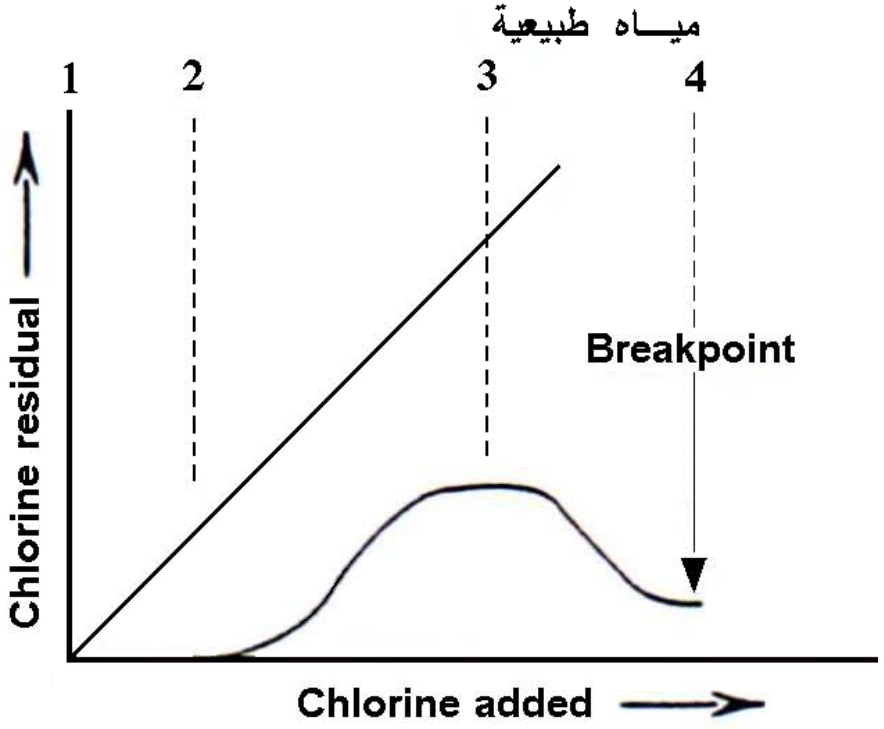


وفيما بين النقطتين ٢ ، ٣ غالبا يكون أحادى الكلورامين هو شكل الكلور المتبقى كناتج التفاعل:

أمونيا + حمض الهيبوكلورز ← أحادى الكلورامين + ماء

$$NH_3 + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O \quad (pH > 7) \ldots\ldots (4)$$

نظرية عمل الكلور تابع



يبدأ الكلور المتبقى من النقطة ٣ حتى النقطة ٤ في الانخفاض وذلك كنتيجة لبدأ أكسدة مركبات أحادى الكلورامين الى مركبات ثاني وثالث الكلورامين أو حتى تمام الأكسدة وتكون غاز النيتروجين .

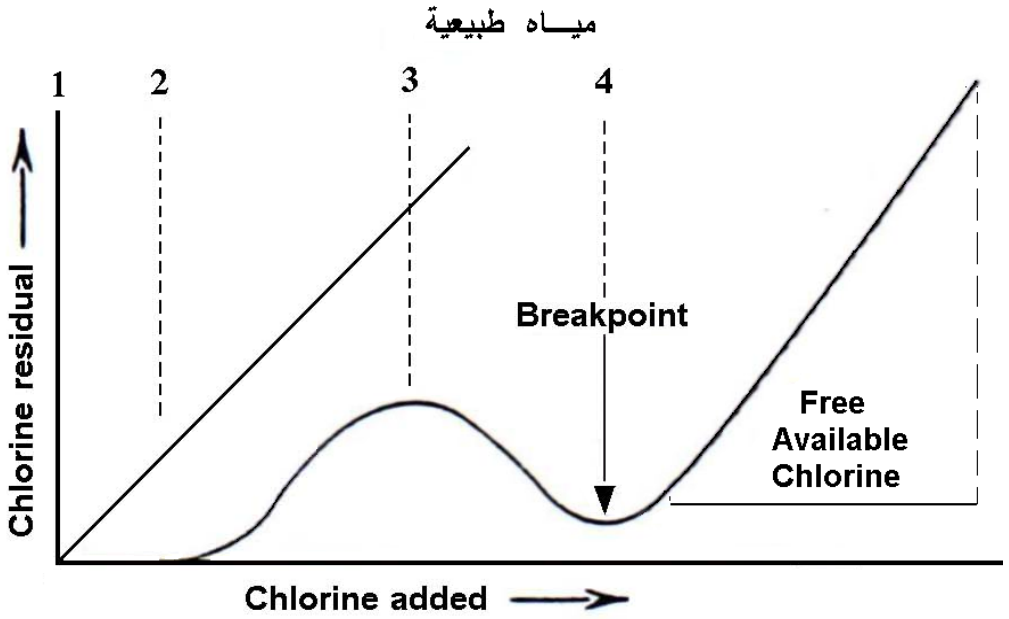
ويوضح ذلك التفاعلات التالية:

$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl_2 + H_2O$ $(4 < pH < 6)$….. (5)

$NHCl_2 + HOCl \rightarrow NCl_3 + H_2O$ $(pH < 3)$….. (6)

$2NH_2Cl + HOCl \rightarrow N_2 + 3\,HCl + H_2O$ ….. (7)

تابع نظرية عمل الكلور



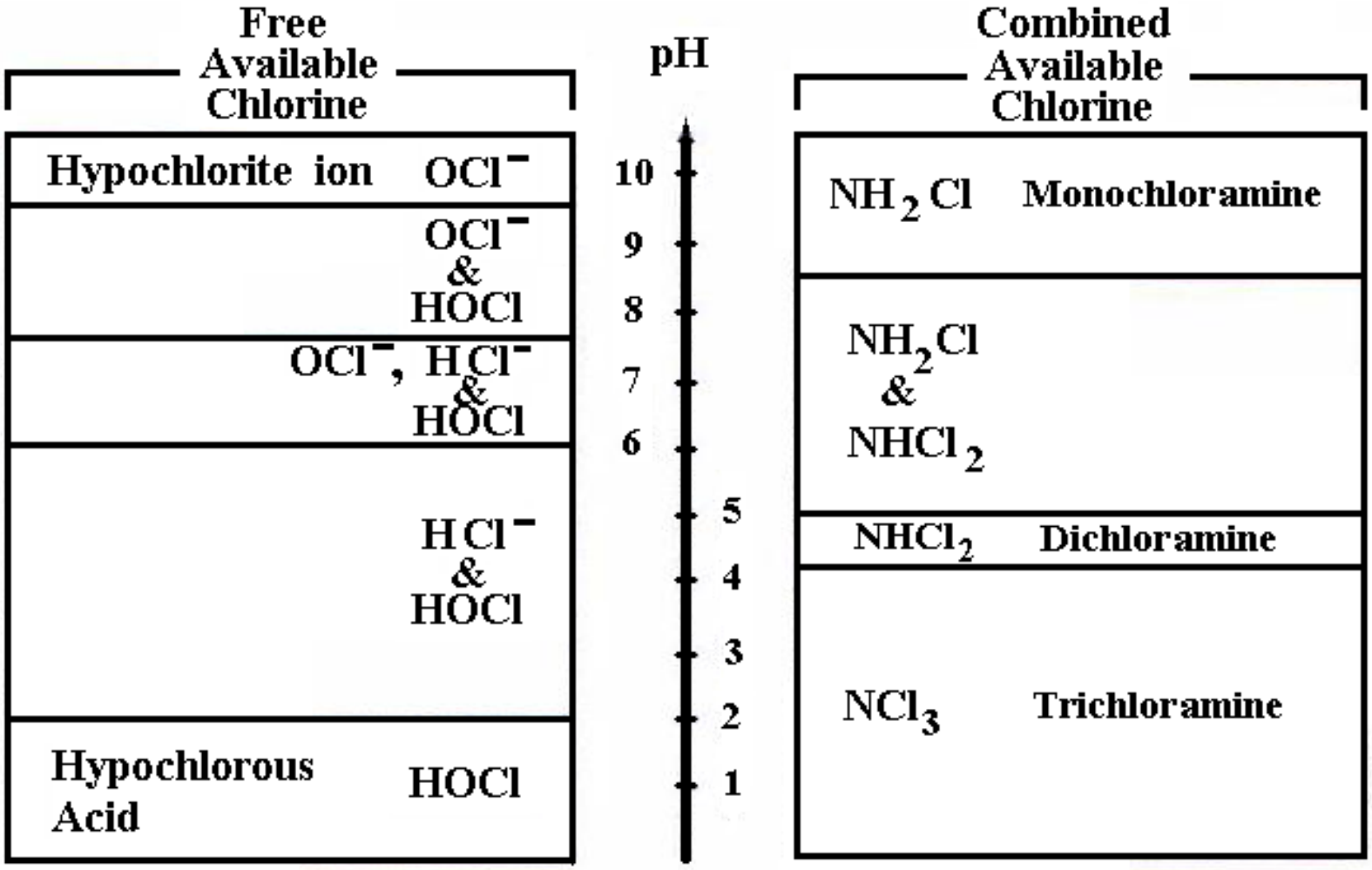
النقطة ٤ هى أدنى قيمة يصل لها الكلور وتعرف بأسم " **نقطة الانكسار** " . ثم يبدأ بعدها ظهور كلور حر متبقي ويزيد بزيادة جرعة الكلور المضافة

تذكر ان

قيمة الكلور الحر المتبقى يجب ان تمثل ٨٥ – ٩٠ ٪ من مجموع الكلور المتبقى (حر + متحد) بالمياه المعالجة.

الكلور المتبقى المتحد يمثل مركبات ثنائي وثلاثى الكلورامين والمركبات الكلورو–عضوية (as THM).

علاقة pH بأشكال الكلور المحتمل تواجدها بالمياه المعالجة .



العوامل المؤثرة في عملية التطهير (فاعلية الكلور)

١-جرعة الكلور

٢-مدة التفاعل بين الكلور والماء (فترة التلامس)

٣-درجة الحرارة

٤-درجة تركيز أيون الهيدروجين

٥-عكارة الماء

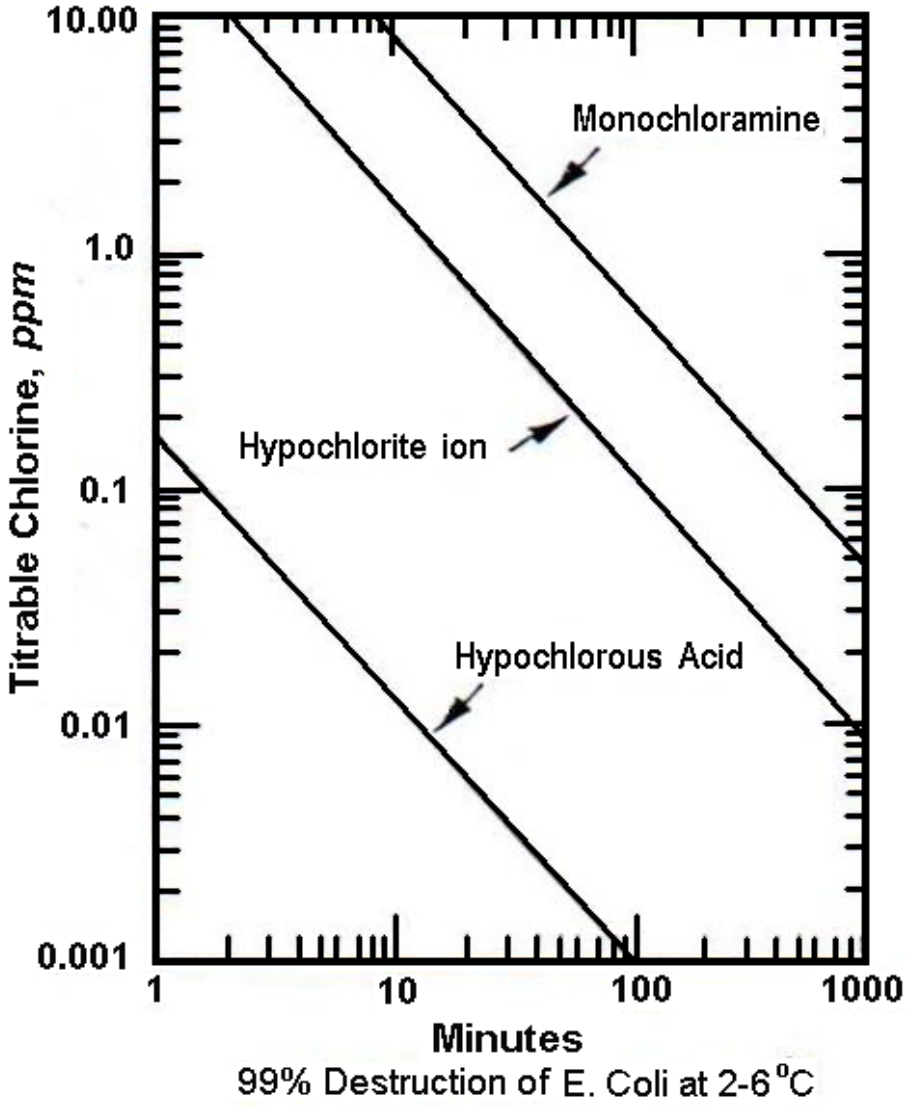
٦-قلوية وحامضية الماء

٧-وجود المركبات الآزوتية في الماء

٨-وجود مركبات الحديد والمنجنيز

٩-نوع وعدد البكتريا المراد القضاء عليها

١٠- طرق إضافة الكلور



الشكل يوضح العلاقة بين الوقت اللازم لقتل بكتريا E-coli بنسبة ٩٩٪ عند درجة حرارة ٢-٦°م ،وبين نوع الكلور المتبقى بالماء .

استخدام الكلورامين لتطهير المياه

وهو ما يسمي أحيانا *Chloramination* وفي هذه الحالة يضاف النشادر (الأمونيا) إلى الماء قبل إضافة الكلور وتكون جرعة النشادر حوالي ٠.٠٦ جزء في المليون ، بينما تكون جرعة الكلور حوالي ٠.٢٥ جزء في المليون ، ويضاف النشادر بأجهزة خاصة تسمي *Amoniators*

وهذه الطريقة تتميز بالآتي :-

=الحد من توليد الطعم والرائحة في الماء .

=كفاءة عالية في التطهير .

=يستمر تأثير الكلور مدة طويلة

=توفير في جرعة الكلور

=عدم تهيج الجلد والعين من الكلورامين لا يوجد خطورة عند الخطأ في التشغيل بإضافة جرعات عالية من الكلورامين.

إضافة الكلور

يتم إضافة الكلور للمياه بإحدى طريقتين :

- إضافة الكلور بجرعات عالية ثم إزالة الكلور الزائد.
- إضافة الكلور بعد تحديد النسبة بواسطة التجارب المعملية الدقيقة.

<u>أولاً: إضافة الكلور بجرعات عالية ثم إزالة الكلور الزائدة:</u>

والمقصود بذلك إضافة الكلور بجرعات زائدة عن حد الطلب ،وبهذا نضمن الحصول علي كفاءة وفاعلية عالية لعملية التطهير وممكن أن نضطر إلى ذلك في حاله الطوارئ أو إذا ما كان هناك شك في حدوث تلوث بكتيري لمصدر المياه (أثناء الحرب مثلا). أو انتشار وباء معين (مثل الكوليرا).

وتتميز هذه الطريقة بالآتي:

- كفاءة وفاعلية عالية لتأثير الكلور علي البكتريا.
- أكسدة الكلور للمواد العضوية التي قد تتواجد في الماء.
- الحد من الطعم والرائحة التي قد توجد في الماء.
- إبادة الكائنات الحية الدقيقة التي تقاوم الجرعات العادية للكلور، علي انه يلزم إزالة الكلور الزائد بعد التأكد من تمام قتل الكلور للبكتريا.

إضافة الكلور

يتم إضافة الكلور للمياه بإحدى طريقتين :

- إضافة الكلور بجرعات عالية ثم إزالة الكلور الزائد .
- إضافة الكلور بعد تحديد النسبة بواسطة التجارب المعملية الدقيقة .

أولاً:إضافة الكلور بجرعات عالية ثم إزالة الكلور الزائدة

والمقصود بذلك إضافة الكلور بجرعات زائدة عن حد الطلب ،وبهذا نضمن الحصول علي كفاءة وفاعلية عالية لعملية التطهير وممكن أن نضطر إلى ذلك في حاله الطوارئ أو إذا ما كان هناك شك في حدوث تلوث بكتيري لمصدر المياه (أثناء الحرب مثلا) . أو انتشار وباء معين (مثل الكوليرا).

وتتميز هذه الطريقة بالآتي:-

- كفاءة وفاعلية عالية لتأثير الكلور علي البكتريا .
- أكسدة الكلور للمواد العضوية التي قد تتواجد في الماء .
- الحد من الطعم والرائحة التي قد توجد في الماء .
- إبادة الكائنات الحية الدقيقة التي تقاوم الجرعات العادية للكلور ، علي انه يلزم إزالة الكلور الزائد بعد التأكد من تمام قتل الكلور للبكتريا .

طرق إزالة الكلور الزائد

١-إضافة ثاني أكسيد الكبريت :

$$SO_2 + H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + H_2SO_4$$

٢-إضافة ثيوسلفات الصوديوم :

$$2\,Na_2S_2O_3 + Cl_2 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2\,NaCl$$

٣-إضافة كبريتيت الصوديوم :

$$Na_2SO_3 + Cl_2 + H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 2\,HCl$$

٤ -**تخزين الماء** في أحواض مكشوفة لمدة ثلاث أو أربع ساعات قبل الاستعمال

٥- **ترشيح الماء** في طبقة من الكربون المنشط الذي يمتص الكلور الزائد

٦- **مزج المياه** المضاف إليها جرعات عالية من الكلور بمياه لم يضاف إليها الكلور فتتعادلان.

ثانياً: إضافة الكلور بعد تحديد النسبة بواسطة التجارب المعملية

" تحديد احتياج الكلور "

يحسب احتياج الكلور بأنه الفرق بين كمية الكلور المستخدم والكلور المتبقي في المياه عند نهاية فترة التلامس .

المصطلحات الفنية الخاصة بالكلور

الكلور المستهلك :-

هو الفرق بين كمية المضافة للماء وكمية الكلور المتبقي (الحر والمتحد) في الماء بعد انتهاء فترة التلامس .

جرعة الكلور :-

هى اقل كمية كلور تضاف إلى وحدة حجم من الماء تكفى للقضاء على الكائنات الحية ، وينتج عنها كلور متبقي فى حدود معينة (٠,٢ ملجم /لتر ماء).

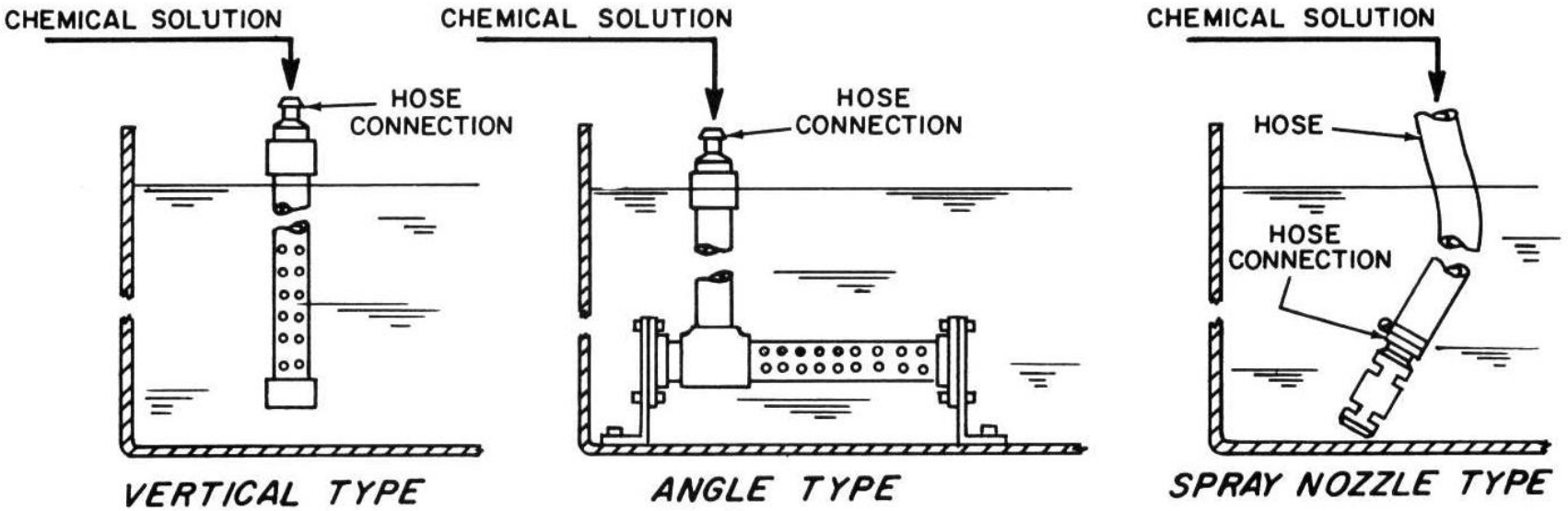
أماكن إضافة الكلور في محطات التنقية

أ- إضافة الكلور المبدئي Prechlorination

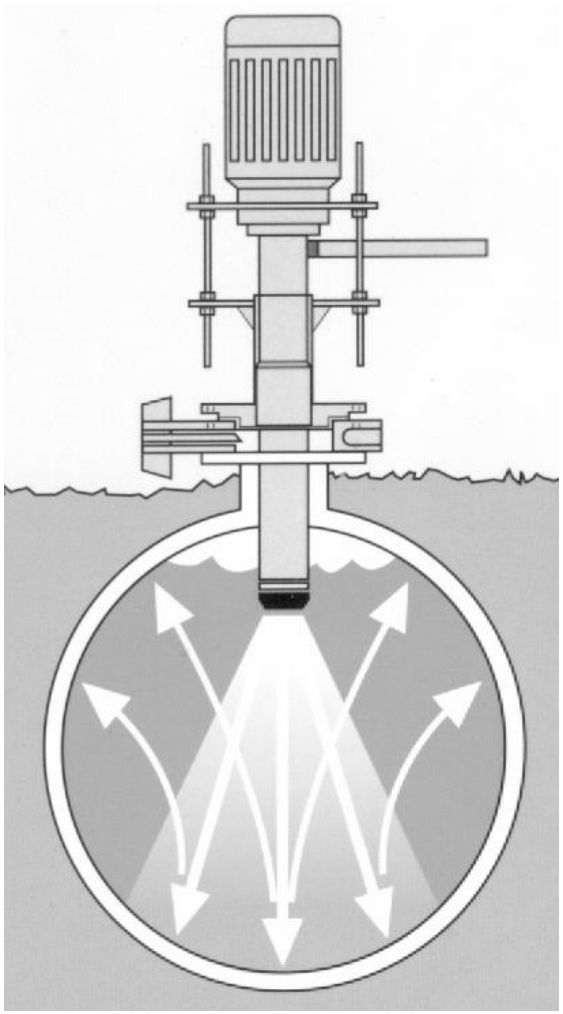
ب- إضافة الكلور النهائي Postchlorination

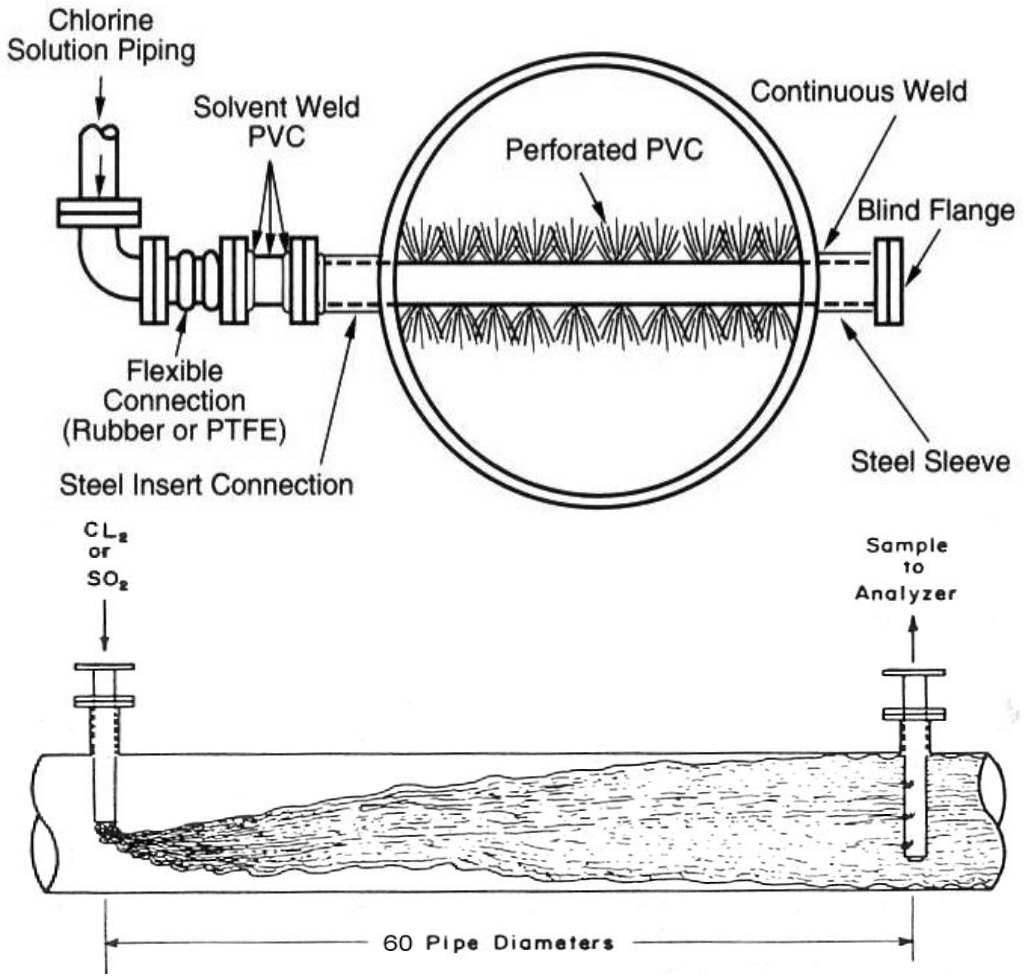
جـ- إضافة الكلور في اكثر من موقع Multiple Chlorination

طرق الحقن بالوحدات المفتوحة



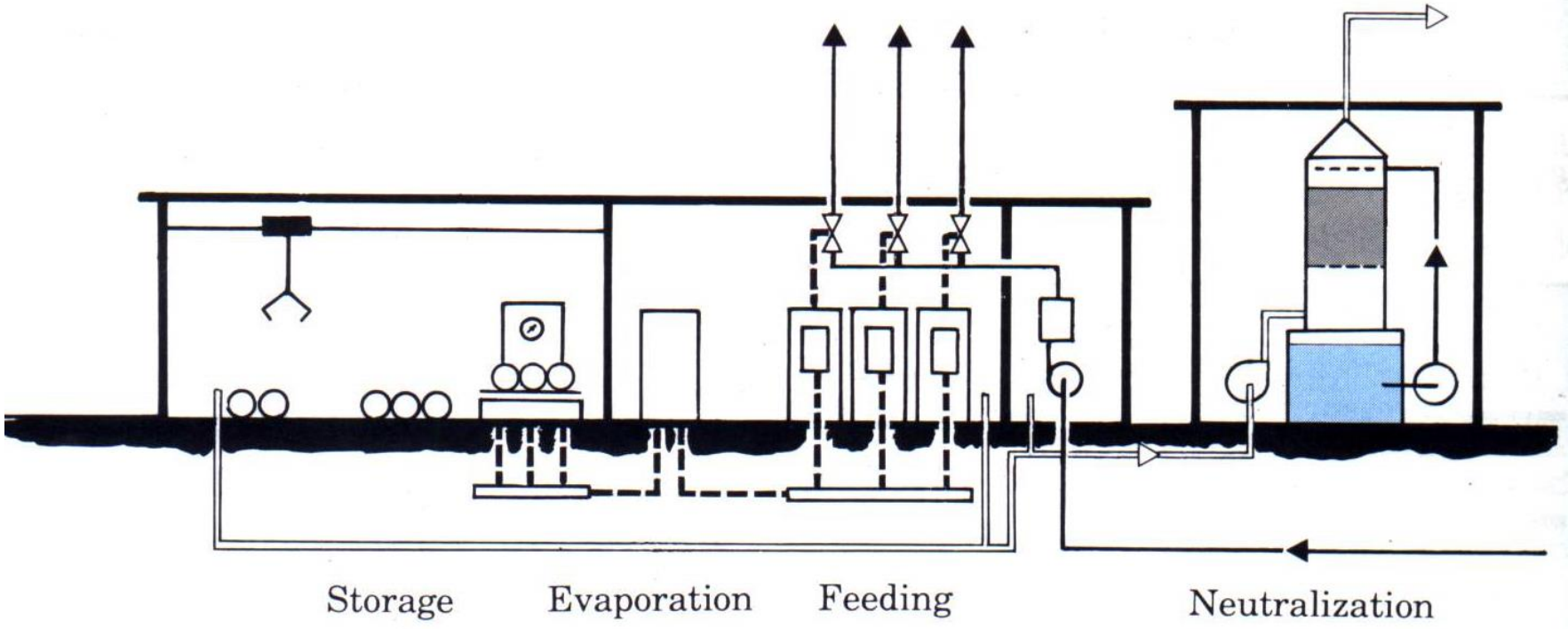
طرق الحقن بالمواسير





شكل رقم (٢-٣١)
طرق الحقن بالمواسير

عنبر الكلور



وكما هو واضح من الرسم التخطيطي أن مكونات النظام تشمل :-

١. مخزن اسطوانات الكلور .
٢. غرفة الأجهزة .
٣. غرفة التعادل .
٤. خطوط الكلور حتى نقاط الحقن .

المناقشة

س١ : ما هى العوامل المؤثرة على عملية التطهير ؟

جـ١-العوامل المؤثرة على عملية التطهير هى :-

١-جرعة الكلور
٢-مدة التفاعل بين الكلور والماء (فترة التلامس)
٣-درجة الحرارة
٤-درجة تركيز أيون الهيدروجين
٥-عكارة الماء
٦-قلوية وحامضية الماء
٧-وجود المركبات الآزوتية في الماء
٨-وجود مركبات الحديد والمنجنيز
٩-نوع وعدد البكتريا المراد القضاء عليها
١٠- طرق إضافة الكلور

المناقشة

س٢ : ما هى الطرق المتبعة عند إضافة الكلور للمياه الخام ؟

حـ٢- يتم إضافة الكلور للمياه بإحدى طريقتين :

- إضافة الكلور بجرعات عالية ثم إزالة الكلور الزائد .
- إضافة الكلور بعد تحديد النسبة بواسطة التجارب المعملية الدقيقة .

المناقشة

س٣ : ما الفرق بين جرعة الكلور والكلور المستهلك ؟

جـ٣:

الكلور المستهلك :-

هو الفرق بين كمية المضافة للماء وكمية الكلور المتبقي (الحر والمتحد) في الماء بعد انتهاء فترة التلامس .

جرعة الكلور :-

هى اقل كمية كلور تضاف إلى وحدة حجم من الماء تكفى للقضاء على الكائنات الحية ، وينتج عنها كلور متبقي فى حدود معينة (٠,٢ ملجم /لتر ماء).