



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
المملكة الأردنية الهاشمية  
مؤسسة التدريب المهني

معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية  
Specialized Training Institute for Chemical Industries  
(STICI)



# تعقيم مياه

# الشرب

إعداد : د. جمال محمد الله

تعقيم مياه الشرب

## 1- مقدمة :-

تعتبر عمليات التعقيم من العمليات المهمة الضرورية في المعالجة الاساسية لمياه الشرب ممثلة في محطات مياه الشرب الكبيرة و في المعالجة الثانوية ممثلة في المنشآت المتخصصة لانتاج مياه الشرب معقمة او في المعالجة المنزلية .

لقد برزت الحاجة للتعقيم بعد انتشار التلوث البيئي على نطاق واسع بحيث اصبح من الصعب السيطرة على خصائص الماء البيولوجية في الانهار و البحيرات و الابار الجوفية .

ان اهمية التعقيم تتبع من كون الماء من اهم المواد تداولها بين الناس في حياتهم اليومية واكثرها استعمالا . ولما كان الماء وسطا حيويا لتكاثر الجراثيم و الطفيليات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة ، فقد اصبح من الواجب مراقبة المصادر المائية و السيطرة على المواصفات البيولوجية لمنع انتشار الاوبئة و الامراض السارية و المعدية .

ولقد حددت القوانين و اللوائح العالمية لمواصفات مياه الشرب الشروط الواجب توفرها في مياه الشرب من حيث خلوها من انواع معينة من البكتيريا و الطفيليات و الديدان بما يكفل سلامة الانسان عند تناول هذا الماء .

من هنا فقد اصبحت عملية التعقيم خطوة رئيسية في خطوط انتاج المياه في المحطات و المنشآت الصناعية .

واخذت تكنولوجيا التعقيم مكانها في معالجة مياه الشرب وتطورت الاساليب و الوسائل الكفيلة بتحقيق هذا الغرض من حيث الكفاءة وسهولة الاستعمال و الامان و الكلفة .

## 2- ما هو التعقيم ( Disinfection )

التعقيم هي عملية قتل الكائنات الحية المجهرية ( Microorganisms ) الموجودة في الماء و التي تسبب الامراض و الاصابات الخطيرة للانسان و الحيوان و الزراعة . اذن فالهدف الرئيسي من التعقيم هو الحد من نمو الكائنات الحية المجهرية وتدميرها .

ولكن ما هي الكائنات الحية التي يقوم التعقيم بالتخلص منها ؟

يوجد في الماء العديد من انواع البكتيريا معظمها ليس لها اهمية صحية وبعضها يعتبر دليلا على التلوث ولكنها غير مؤذية واخرى قليلة العدد و لكنها مرضية مثل بكتيريا حمى التيفوئيد و الباراتفوئيد و الزحار ( الديزنطاريا ) والحمى المعوية و الكولوليرا .

ان المياه الجوفية بشكل طبيعي لا تحوي كثيرا من البكتيريا الممرضة بسبب البيئة غير الملائمة لعيثها .

اما المياه السطحية فتحتوي عددا كبيرا من البكتيريا و التي لها اهمية صحية ومن اهمها بكتيريا القولون و التي تتضمن عددا من الكائنات الحية من اهمها بكتيريا الكولاي ( E.Coli ) و التي تقطن في الجزء المعوي من الانسان و الحيوان وتطرح مع البراز ، ومع ان هذه البكتيريا غير مرضية فانها يحتمل ان تسبب العدوى .

لذلك فان كائنات القولون ( Coliforms ) تتفع كدلائل على التلوث حيث يتضح ان الماء الذي له تماس مع التراب و النباتات او الملوث بمياه الفضلات يحوي البكتيريا التي لم تمت طبيعيا بالترشيح الطبيعي

يتم عادة طرح بكتيريا الكولاي ( E.Coli ) باعداد هائلة حيث يحتوي البراز الحديث من (5) ملايين الى (500) مليون من هذه البكتيريا .

بالاضافة لبكتيريا القولونية البرازية هناك الكائنات الطفيلية و التي يعد بعضها مسببا لامراض معينة للانسان . كذلك قد تتواجد في الماء بعض انواع الفيروسات الخطيرة و التي يكفي وجود واحدا منها لنقل العدوى و المرض .

هناك كائنات اخرى تسمى الاوليات مثل الاميبا التي تسبب الدوزنطاريا الاميبية و تتواجد في امعاء المصاب و تحمي نفسها عن طريق الاختباء في اكباس ( Cysts ) .

الديدان قد تتواجد في الماء وتكون صغيرة الحجم لا تكاد ترى بالعين المجردة وعادة تكون حمراء او وردية اللون ، و تعيش هذه الديدان في قعر الخزانات والابار ولا تعيش على سطح الماء مما يزيد من صعوبة اكتشافها .

اما الفطريات ( Fungi ) وهي نباتات غير حاملة للكوروفيل فهي تنمو في غياب الضوء وتنتشر في انابيب المياه الرئيسية وتنمو بشكل خصيب عندما تموت بسبب تحلل اجسامها مذاقا ورائحة غير مرغوب به.

واخيرا تظهر مشكلة الطحالب ( Algae ) في المياه السطحية . وهي نباتات وحيدة الخلية حاملة للكوروفيل لذا تحتاج للضوء بشكل رئيسي لنموها وتنتشر بشكل ملحوظ على سطح مياه الانهار و المستنقعات و التجمعات المائية وهي تسبب مشكلة عكارة الماء وانسداد المرشحات الرملية بالاضافة لظهور مشكلة الطعم و الرائحة غير المرغوبين .

عموما تظهر مشكلة الطحالب في الصيف اكثر من الشتاء بسبب اعتماد الطحالب اساسا على اشعة الشمس لنموها .

### 3- مواصفات مادة التعقيم المثالية :-

هناك مجموعة من المواصفات التي يجب ان تتوفر في مادة التعقيم حتى تصبح صالحة لهذا الغرض منها :-

ا. ان تكون ذات فعالية عالية في قتل الجراثيم .

ب. ان تكون غير سامة للانسان و الحيوان .

ج. ان تكون غير سامة للأسماك و الكائنات المائية .

د. ان تكون سهلة الاستعمال و امينة للتخزين و النقل و الصرف .

ه. ان تكون رخيصة الثمن .

و. ان تكون سهلة التحلل في الماء .

ز. ان تكون ذات زمن مكوث طويل نسبيا في الماء .

و بالرغم من ان المواد المستخدمة في التعقيم لا تنطبق عليها جميع المواصفات السابقة بشكل تام الا

ان اختيار المادة المناسبة للتعقيم امر يقرره مدى التلوث و خطورة المادة المعقمة وتكلفة مادة التعقيم وهي معادلة يختلف حلها من حالة لاخرى .

## 4- طرق تعقيم مياه الشرب :-

### ( 4-1 ) الطرق الفيزيائية :

#### 1. التعقيم بالغلي ( Boiling )

ان عملية غلي الماء لمدة (15-20) دقيقة كفيلة بقتل الجراثيم لان عملية الغلي تدمر الخلايا البكتيرية بشكل فاعل وتحد من نموها ونشاطها في الماء . الا ان من عيوب هذه الطريقة هو عدم بقاء الماء المغلي بعد ان يبرد معقما الا اذا تم حفظه بعيدا عن الملوثات المختلفة . وثمة عيب اخر هو ارتفاع تكلفة هذه الطريقة على النطاق الصناعي ، لذا اقتصر استخدامها في المجال المنزلي .

#### 2. الترشيح ( Filtration )

ان عملية الترشيح باستخدام الفلاتر الرملية تضمن ازالة نسبة كبيرة من الكائنات المجهرية الدقيقة تصل الى (90%) او اكثر . كما ان المرشحات المنزلية التي تستخدم اوساط للفلترة مصنوعة من السيراميك المسامي تعتبر ذات كفاءة جيدة في حجز هذه الكائنات من المرور من خلال المسامات . تستخدم مادة الفضة احيانا في بعض المرشحات المنزلية و التي تعتبر فتاكة للبكتيريا والطفيليات الضارة ، ويتم مزج مادة الفضة بنفس وسط الترشيح خلال عملية التصنيع . كما تستخدم اغشية دقيقة جدا مصنوعة من السيليلوز مثل اسيتات السيليلوز ونترات السيليلوز قادرة على حجز اصغر انواع البكتيريا اذ ان بعضها لا يتعدى قطر المسامات فيه (0.001) مايكروميتر . مثل الاغشية المستخدمة في عمليات التناضح العكسي .

### (4-2) الطرق الكيميائية

#### ( 4-2-1 ) استخدام الكلور ( Chlorination )

الكلورين هو غاز سام اقل من الهواء بمقدار (2.45) مرة ويتواجد في الحالات الثلاث حسب درجة الحرارة و الضغط . ففي درجة الحرارة و الضغط العاديين يكون غازا لونه اصفر مخضر ورائحة كريهة وخازة . وفي درجة حرارة اقل من ( -33.6 ) م<sup>5</sup> و ضغط عادي او في درجة حرارة عادية و ضغط من 7-8 بار يتحول الكلور الى سائل . في درجة حرارة اقل من (-102) م<sup>5</sup> يتحول الكلور الى الحالة الصلبة ويكون على شكل بلورات ذات لون برتقالي غامق .

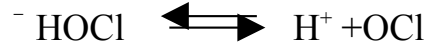
الكلور السائل قليل الذوبان في الماء لذلك لابد عند تعقيم المياه بالكلور تحويله الى الحالة الغازية و الا فان الكلور السائل لا يؤدي الغرض من استخدامه بشكل فعال بالاضافة الى خطورته على العاملين وتسببه في تاكل الانابيب .

عندما يضاف غاز الكلورين الى الماء يتحلل حسب التفاعل التالي :-



النتاج الرئيسي من تفاعل التحلل هو ( HOCl ) وهو ما يسمى بحامض الهيبوكلورس ( Hypochlorous acid ) ان هذا الحامض اقل تطايرا من الكلورين بمئة الف مرة .

يتحلل حامض الهيبوكلورس من جديد وتحت ظروف حموضة و حرارة معينة الى ايون الهيبوكلوريت حسب التفاعل التالي :



ان ضبط درجة الحرارة و الحموضة مهمة جدا للحصول على اعلى تركيز من حامض الهيبوكلورس و الذي يعزي اليه عملية التعقيم .

يبين الجدول التالي العلاقة بين تركيز هذا الحامض في الماء وبين درجة الحرارة و الحموضة .

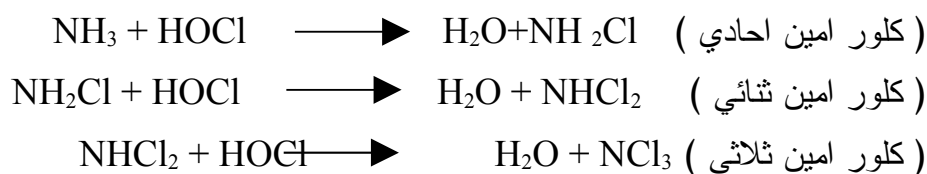
تركيز الحامض (%)		درجة الحموضة
20م <sup>5</sup>	م <sup>5</sup> .:	
100	100	4
99.7	99.9	5
97.4	98.5	6
97.2	86.9	7
54.7	67.9	7.5
27.6	40.1	8
10.8	17.4	8.5
3.7	6.3	9
0.4	0.7	10
0.04	0.07	11

نلاحظ من هذا الجدول ان الكلورين يكون على شكل حامض الهيپوكلورس عند درجات حموضة اقل من (5) بينما يكون على شكل ايون الهيپوكلوريت على درجات حموضة اعلى من (10) .

ان قوة التعقيم للحامض (HOCl) اكبر من قوة التعقيم للايون (OCl<sup>-</sup>) بمقدار 80-200 مرة . و لهذا يفضل استخدام الكلور و مركباته في التعقيم عند درجات حموضة منخفضة .

يتفاعل حامض الهيپوكلورس مع الانزيمات الاساسية في عمليات البناء للخلية البكتيرية مما ينتج عنه مواد جديدة غير قادرة على عمليات البناء مما يؤدي لموت الخلية .

ترتبط انحلالية غاز الكلورين مع درجة الحرارة بعلاقة عكسية فكلما زادت درجة الحرارة قلت ذائبية الكلور في الماء . اذا وجد في الماء نسبة من الامونيا فان الكلورين يتحد معها حسب التفاعلات التالية :



اذن تتكون مجموعة الكلور امينات ( Chloramines ) وهي عوامل معقمة اضعف من حامض الهيپوكلورس و الهيپوكلوريت لكن فترة مكوثها في الماء اطول من حامض (HOCl) او (OCl<sup>-</sup>) وهي صفة جيدة في الكلور امينات .

ان مركب الكلور امين الاحادي له طعم مستساغ بينما يسبب الكلور امين الثنائي رائحة وطعم غير مستساغين اما الكلور امين الثلاثي فهو مركب غير ثابت . اجمالاً يجب ضبط تركيز الكلور امينات في الماء كونه سام للحياة البحرية .

في حالة اضافة الكلورين الى الماء المحتوي على المركبات العضوية و اللاعضوية يحدث التسلسل الاتي :

- 1- بما ان الكلورين عامل مؤكسد قوي فان المركبات اللاعضوية تختزل الجرعة الاولى من الكلورين وتحوله الى ايون الكلورايد (Cl<sup>-</sup>) و الذي ليس له فاعلية تعقيم كبيرة .
- 2- الجرعة الثانية من الكلورين تختزل بواسطة الامونيا ( الموجودة في المخلفات العضوية ) وتحوله الى مجموعة الكلور امينات .

3- الجرعة الاضافية وبعد استهلاك الامونيا والعوامل المختزلة الاخرى يعود الكلورين للتحويل الى  
(HOCl) او (OCl<sup>-</sup>) .

ان جرعة الكلورين التي تم اضافتها الى الماء تسمى الكلورين الكلي ( Total Chlorine ) بينما  
يسمى الكلورين الذي اتحد مع الامونيا بالكلورين المتبقي المتحد ( Combined Chlorine Residual )  
ويسمى الكلورين الذي تحلل الى (HOCl) او (OCl<sup>-</sup>) بالكلورين الحر المتبقي ( Free Residual  
Chlorine ) ان مجموع الكلورين المتحد و الكلورين الحر يشكل ما يسمى بالكلورين الكلي او :-  
الكلورين الكلي = الكلورين المتحد + الكلورين الحر

ان المحور الرئيسي في التعقيم بالكلور هي ضمان بقاء كميات من الكلورين الحر لاطول فترة ممكنة  
لضمان منع نمو البكتيريا خلال عملية نقل وتخزين وتوزيع الماء . و من هنا يجب اضافة كميات من  
الكلورين كافية لتحقيق هذا الغرض .

الجرعة الاولى من الكلور كما اسلفنا تستهلك في اكسدة المواد اللاعضوية و العضوية والامونيا .  
ولهذا ينخفض تركيز الكلورين الحر في البداية كما هيو موضح في الشكل (1).  
ومع اضافة كميات اضافية من الكلورين يبدأ تركيز الكلورين الحر بالارتفاع مجددا مما يدل على  
استهلاك الامونيا تماما ان النقطة التي يبدأ عندها تكون الكلورين الحر من جديد تسمى نقطة الكسر  
( Break point )

يجب ان تكون جرعة الكلورين اعلى من نقطة الكسر لضمان بقاء الكلور فترة اطول في الماء .  
يضاف احيانا الامونيا الى الماء التي تحتوي على تراكيز قليلة من الامونيا للحصول على نقطة كسر واضحة  
و احيانا تضاف مركبات الكلور امين المحضرة مسبقا . تكمن خطورة استخدام الكلورين في التعقيم من  
الناحية الصحية في اتحاده مع بعض المواد العضوية مما يؤدي لتكون مواد تسمى بالهالوميثانات الثلاثية  
( Trihalomethanes ) وتختصر هكذا ( THMs ) وهي مركبات تسبب مرض السرطان  
( carcinogenic ) .

ومن الامثلة على هذه المركبات مادة الكلوروفورم و البروموفورم و البروموداي كلوروميثان وداي  
بروموكلورو ميثان .

يتم تقادي هذه المشكلة الخطيرة من خلال استخدام الكربون المنشط الذي يعمل على امتزاز المركبات  
العضوية قبل عمليات التعقيم .



تساعد عمليات التخثير و الفلترة في تقليل فرص اتحاد الكلورين مع المركبات العضوية . ان هذه الخطورة في تكون مركبات ( THMs ) تقل كثيرا في مركبات الكلور امين وثنائي اكسيد الكلور المستخدمة في التعقيم

يستخدم الكلور ايضا بالاضافة لتعقيم مياه الشرب في ترسيب الشوائب المعدنية عن طريق اكسدتها كالحديد و المنغنيز و الكبريت و السيانيد و غاز كبريتيد الهيدروجين . كما يستخدم للسيطرة على نمو البكتيريا و الطحالب في محطات معالجة المياه حيث يضاف الى المرشحات الرملية وفي تنظيف احواض الترسيب و التخثير . يستخدم ايضا للسيطرة على الطعم و الرائحة عن طريق اكسدة المواد المسببة للطعم و الرائحة و تحليلها - ماعدا الفينولات حيث تتكون مركبات الكلوروفينول ذات الطعم السيئ جدا . كما يستخدم للسيطرة على الطحالب بجرعات مناسبة . يستخدم الكلورين بجرعات تعتمد على نوعية التلوث المائي ومصدر الماء ودرجة الحرارة . لكن عادة تتراوح جرعة الكلورين الكلية من (0.2) ملغم / لتر الى (15) ملغم / لتر وقد تزيد عن هذه الجرعة . لكن من المعتاد ان تكون الجرعة الطبيعية للكلور في مياه الشرب حول (1) ملغم / لتر .

لدى اضافة (3) ملغم / لتر على سبيل المثال من الكلورين الى الماء في محطات التنقية نلاحظ عند فحص الكلورين الكلي في الماء ان تركيز الكلور انخفض الى (1.5) ملغم / لتر نتيجة تفاعل الكلورين مع الكائنات المجهرية و المواد العضوية و اكسدتها . كما نلاحظ ان تركيز الكلورين الحر يبلغ (1.2) ملغم / لتر تقريبا بينما يكون تركيز الكلورين المتحد بحدود (0.3) ملغم / لتر . بالطبع فان تركيز الكلورين المتحد يعتمد على تركيز الامونيا في الماء . وتركيز الامونيا يعتمد على محتوى المياه من المواد العضوية .

ان تركيز الكلور في الماء سواء كان حرا او متحدا يتناقص مع مرور الوقت بسبب تفاعله مع الكائنات المجهرية . كما تتناقص قيمته فتنخفض خلال مرور الماء عبر شبكات الانابيب و خزانات التجميع فتنخفض الى تركيز (0.8) ملغم/ لتر تقريبا في نهاية شبكة التوزيع .

من الجدير ذكره ان عملية التعقيم الفعالة بالكلور تحتاج الى زمن تلامس ( Contact time ) كاف مع الماء المراد تعقيمه ويتراوح هذا الزمن بين 20-30 دقيقة . تستخدم عملية التعقيم بالكلور في محطات التنقية في اكثر من موقع منها :-

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

حيث تتم اضافة الكلور في الانابيب الماصة للماء الخام ولهذه العملية فوائد عديدة حيث يقوم الكلور باكسدة الحديد و المنغنيز و المواد العضوية ويحسن عملية التخثير ويقلل من الطعم و

الرائحة الناتجة عن الخبث العضوي في احواض الترسيب . كما يتم اضافة الكلور قبل المرشحات الرملية لمنع تكون الطحالب و المخلفات العضوية الاخرى .

## 2- الكلورة التالوية ( Post Chlorination ) :-

وهي اضافة الكلور الى الماء في المرحلة الاخيرة من المعالجة - أي بعد الفلتره - وفي خزان الماء الصافي لضمان بقاء الكلور فترة اطول خلال شبكات التوزيع وفي الانابيب و الخزانات الفرعية . و احيانا تتم اضافة الكلور في نفس الخزانات الفرعية وفي نقاط مهمة في شبكة التوزيع .

## 3- الكلورة البسيطة ( Plain Chlorination ) :-

حيث تتم اضافة الكلور الى المياه السطحية او الجوفية دون اية معالجة اخرى وهذا يعتمد على نوعية المياه المعالجة . و تستخدم هذه الطريقة في المحطات الصغيرة الذي تغذي تجمعات سكنية محدودة .

## استخدامات مركبات الكلور الاخرى :

تستخدم احيانا مركبات الكلورين كبديل عن غاز الكلورين وهذه المركبات لدى تحللها بالماء تطلق حامض الهيوكلورس وهي المادة الفعالة في التعقيم ومن هذه المواد :-

### 1. الكلس الكلوري ( $\text{CaOCl}_2$ )

وهو مسحوق ابيض او فضي فاتح يحتوي على كلور بنسبة 30-35% . من عيوب هذه المادة تلفها مع الزمن بسرعة بسبب امتصاصها للرطوبة مما يخفض نسبة الكلور الى 25% عند تحلل الكلس الكلوري في الماء ينتج التفاعل التالي :



### 2. هيبوكلوريت الصوديوم ( $\text{NaOCl}$ )

ويسمى احيانا بقاصر الغسيل ويتم الحصول عليه على شكل سائل لونه اصفر وله رائحة الكلور ويبلغ تركيز الكلور فيه من 12-15% . بسبب استخدامه تاكل في المواسير .

### 5. هيبوكلوريت الكالسيوم ( $\text{Ca(OCl)}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

و هو مسحوق يتم الحصول عليه في براميل معدنية تحت اسماء تجارية مثل البتكلور او البركلورون . تقدر قيمة الكلورين في هذا المركب بـ (70%) وهو لا يفقد محتوى الكلور

مع التخزين . لدى انحلال هيبوكلوريت الكالسيوم في الماء بوجود ثاني اكسيد الكربون الذائب في الماء ينتج التفاعل التالي :



عند استعمال هيبوكلوريت الكالسيوم يحضر محلول منه يضاف الى الماء بالتركيز المطلوب من خلال اجهزة خاصة .

ان استعمال مركبات الكلور المذكورة اصبح قليلا بسبب متاعب التشغيل وخطورة تداول هذه المواد و التي قد تنفجر لمجرد تعرضها لاشعة الشمس . ولا تزال تستخدم هذه المركبات في تعقيم شبكات مواسير المياه بعد انشاءها او صيانتها او في حالات الطوارئ مثل الفيضانات بالاضافة لتعقيم خزانات المياه .

## 8. اوكسيد الكلور ( Chlorine Dioxide )

وهو غاز يتم توليده من خلال تفاعل غاز الكلورين مع هيبوكلوريت الصوديوم حسب التفاعل التالي :



وهو اقوى من الكلورين في التعقيم بمقدار (2.5) مرة . ولدى تفاعله مع المواد العضوية لا يسبب تكون المواد المسرطنة مثل ( THMs ) وهي حسنة اضافة يتغلب فيها على الكلورين لذا يستخدم كثيرا في عمليات التعقيم الاولية ( Post Chlorination ) عند محطات المآخذ من مصدر المياه قبل عمليات المعالجة الاخرى ويستخدم كذلك في اكسدة الحديد و المنغنيز المسببين للطعم والرائحة و اللون غير المستساغ . ولا يتاثر بدرجة الحموضة بعكس الكلورين ، ويستخدم بتركيز قريب من تركيز الكلورين ( 1 ملغم / لتر ) . من سيئاته تحلله الى الكلورايت (  $\text{ClO}_2^-$  ) و الكلوريت (  $\text{ClO}_3^-$  ) وهذا الاخير يسبب مرض " ميثو ميجلوبينيميا ) الذي يتعرض له الاطفال ، لذا يتم السيطرة على اوكسيد الكلور باضافة الحديد احيانا .

واخيرا فان اوكسيد الكلور لا يتفاعل مع الامونيا و بالتالي لا ينتج كلور امينات ، ومع انه معقم قوي الا انه غير فعال في القضاء على الفيروسات . ومن حسناته انه يدوم نسبيا في الماء في درجات الحرارة الاعتيادية مما يعطي الماء فترة تعقيم طويلة .

## المخطط التكنولوجي لعمليات التعقيم بالكلور :

تتم عملية التعقيم بالكلور من خلال اخذه من اسطوانات من الفولاذ تحتوي الكلور على شكل سائل تحت ضغط 6-8 بار يصل وزن عبوات الكلور في المحطات الكبيرة الى 1600 كيلوغرام او اكثر .

يتم حقن الكلور في الماء اما على شكل غاز مباشرة او على شكل محلول كلوري ، أي عن طريق اذابته في الماء قبل ضخه الى احواض التعقيم ، و الطريقة الثانية هي الاكثر انتشارا لانها تؤمن التجانس و المزج الجيد قبل اضافة الكلور للماء . يخرج الكلور من الاسطوانة الى جهاز لفصل الغاز عن السائل بعد تسخينه ثم يمر عبر مرشح يحتوي على الصوف الزجاجي المبلى بحامض الهيدروكلوريك حيث يتم التخلص من الشوائب الصلبة ثم ينتقل الغاز الى جهاز لتخفيض الضغط الى (1.5) بار ثم الى جهاز التدفق لتحديد الكمية ثم يتم مزج الكلور مع كمية من الماء يم يتم ضخه الى حوض التعقيم او يتم ضخ غاز الكلورين فورا الى مناطق محددة في احواض المعالجة مثل مرحلة ما بعد الترسيب و مرحلة ما بعد الترشيح . في احواض التعقيم تستخدم حواجز عمودية او افقية لضمان فترة تلامس كافية مع الماء . وفي نهاية الحوض تتم السيطرة على تركيز الكلور باستخدام احد مركبات الكبريت ، انظر الشكل (2).

## احتياطات السلامة العامة في التعامل مع الكلورين :-

كما علمنا سابقا فان غاز الكلورين غاز سام جدا و احيانا قابل للانفجار . ان هذه الخصائص تتطلب

مجموعة من الاحتياطات لدى التعامل مع هذا الغاز منها :

- أ . تأمين عبوات الكلورين ضد السقوط و التدحرج خشية الانفجار .
- ب. فتح الصمام ببطء و يفحص بواسطة الامونيا لمعرفة التسرب .

3. تسخن الصمامات التي لا تتفتح بسهولة بواسطة الهواء الساخن وليس بشعلة ظاهرة

لكن بدرجة حرارة تقل عن (40)م<sup>5</sup> ، ولا يجوز استخدام القوة لتشغيلها .

4. اتمام تفريغ العبوات بتاثير الضغط الذاتي ويمكن الكشف عن العبوة الفارغة عن طريق فحص وزنها .

5. تبنى عادة محطات الكلورة في مناطق بعيدة عن المناطق السكنية بمسافة لا تقل عن (150)م .

6. يتم تصميم قسم اجهزة الكلور في محطة المعالجة بحيث يتم الدخول اليه بشكل مباشر

وليس عبر أي من الاقسام الاخرى ويجب الاتقل مساحته عن (7) م<sup>2</sup> وارتفاعه عن (2.6)م .

كما يجب تأمين اضاءة كافية وتهوية مناسبة

7. يمكن الكشف عن تسرب الكلور من خلال رائحته المميزة ومن خلال استخدام الامونيا حيث يشكل الكلور مع الامونيا ضبابا ابيضاً ونظراً لان الكلور اثنل من الهواء لذا يتجمع الكلور المتسرب عادة في القنوات و الحفر الارضية و الاقبية . لذا يجب تهوية الاماكن التي تحتوي اسطوانات الكلور وان تجهز بابواب هروب تتناسب مع اتجاه الريح .
8. يمكن تكثيف الكلور باستخدام الماء لكن يجب الحذر بسبب تكون حامض الهيبوكلورس الذي يسبب تاكل الانابيب و الجدران .
9. يجب تجهيز قسم الكلور بكافة ادوات السلامة العامة مثل الكمامات و النظارات وواقيات اليدين و القدمين و الملابس الواقية من الحوامض بالاضافة للحمام المائي ( Water – Shower )
10. اذا لم تتوفر امكانيات منع التسرب يمكن حفر حفرة في الارض عمقها مترين تقريبا ووضع الخزان المتسرب فيها على ان تكون نقطة التسرب الى اعلى ثم تغطيتها بكبريتات الصوديوم
11. يجب ان تتوفر نفس الشروط في مخازن اسطوانات الكلور بالاضافة الى عدم تخزين الاسطوانات لاكثر من ثلاثين يوماً والا تزيد الكمية عن خمسة اطنان والا تزيد الحرارة عن (12)م<sup>5</sup> ولا تقل عن الصفر . تجهز المخازن بفتحات تهوية قريبة من الارض لان الكلور اثنل من الهواء .
12. الاسعاف الاولي من حروق الغاز يجب ابعاد المتسممين بالغاز حالاً من منطقة الغاز وعلى المسعف ان يرتدي الملابس الواقية لدى انقاذ المصاب . كما ينبغي ابعاد الملابس عن المصاب بسرعة لان الكلور يبقى عالقا في الملابس . ويجب وضع اغطية على المصاب لتوفير الدفاء له . تغسل التقرحات في انحاء الجسم الخارجية بالماء بكشل جيد كما يمكن تخفيف الحرق في العينين بغسلها بالماء ايضا . يجب توفير الهواء النقي للمصاب لحين نقله للمستشفى .

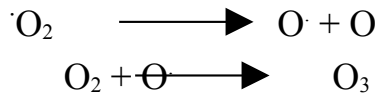
## السيطرة على تركيز الكلور في الماء :

يمكن السيطرة على الكلور في الماء من خلال استخدام مركبات الكبريت مثل كبريتات الصوديوم وثيوكبريتات الصوديوم وغاز ثاني اكسيد الكبريت . وهذا يستخدم في احواض التعقيم الكبيرة . اما في المعالجة المنزلية فيستخدم الكربون المنشط للسيطرة على الكلور وما يسببه من طعم و رائحة .

## (4-2-2) استخدام الاوزون ( Ozone )

الاوزون غاز غير ثابت يحمل الصيغة الجزيئية ( $O_3$ ) يتم توليد الاوزون من خلال تمرير هواء جاف او اوكسجين نقي من خلال مجال كهربائي قوي حيث يتحول (1%) تقريبا من الاوكسجين الى اوزون من خلال استهلاك طاقة قدرها (25) كيلو واط . ساعة لكل غرام اوزون .

يتم تفاعل تحول الاوكسجين الى الى اوزون من خلال تحويل جزيئات الاوكسجين الى ذرات فردية حرة تتفاعل مع نفس جزيئات الاوكسجين كالتالي :



تستخدم احيانا الاشعة فوق البنفسجية ( UV ) لتسهيل تكوين ذرات الاوكسجين الحرة .

يتكون جهاز التعقيم بالاوزون من انبوب خاص لتوليد الاوزون ويكون عادة من الزجاج القطبي ، يتم تمرير تيار كهربائي متردد ( AC ) عالي التردد خلال الانبوب لتامين فولتية قدرها من 6-12 كيلوفولت من خلال اليكترودين .

يتم طلاء الانبوب من الداخل بمعدن خاص موصل للتيار الكهربائي حيث يتم تمرير الهواء الجاف من خلال الانبوب بعد فصل الرطوبة والابخرة و الغبار منه - و التي تؤثر في نسبة تكون الاوزون .

يجب استخدام الاوزون في موقع التعقيم فورا نظرا لعدم ثباته ، حيث يتم توليد فقاعات من الاوزون خلال التيار المائي الداخل للوحدة او من خلال رش الماء الساقط على تيار الاوزون الصاعد من خلال عمود مخصص لهذا الغرض .

يعتبر الاوزون من اقوى العوامل المؤكسدة ومن اقوى المواد المعقمة حيث يستخدم للحد من نمو البكتيريا و الفطريات و الاوليات بالاضافة لفعاليته الجيدة في قتل الفيروسات .

كما يستخدم لأكسدة المواد المسببة للطعم و الرائحة كالفينولات و البنزين و الكحول بالإضافة للمواد السامة و الحديد و المنغنيز . يمكن استخدام الكلور مع الاوزون لجمع ميزات كل منهما فالاوزون معقم قوي و الكلور يدوم فترة اطول في الماء . و يستخدم الاوزون مع الاشعة فوق البنفسجية احيانا اخرى مما يضاعف قوة الاوزون في الاكسدة (10) مرات وتكون النواتج عن الاكسدة غير ضارة ، انظر الشكل (3) .

يستخدم الاوزون بجرعة مقدارها (0.25) ملغم / لتر للمياه الجوفية ذات النوعية الجيدة وتصل الى ( 5) ملغم / لتر بعد ترشيح المياه السطحية ذات النوعية الرديئة ويبقى منه في الماء (0.1) ملغم / لتر بعد (10) دقائق يحتاج الاوزون الى زمن تلامس يتراوح بين (25) ثانية الى دقيقتين لضمان قتل الجراثيم و الفيروسات . ولا يتجاوز عمر النصف ( Half – life ) للاوزون اكثر من (20) دقيقة وهي احدى سيئاته حيث لا يضمن بقاء الماء معقما بعد انتهاء عملية التعقيم.

ينجح الاوزون في تحطيم مركبات ( THMs ) المسرطنة الناتجة عن الكلورة ، لكنه قد يؤدي الى تكون نواتج جانبية عن الاكسدة مثل البيروكساييد و الايبوكساييد وهي ضارة بصحة الانسان ، لذا يفضل استخدام فلتر كربوني بعد عملية التعقيم لفصل هذه المركبات العضوية .

يمكن استخدام الاوزون في المحطات الكبيرة كما هو الحال في فرنسا . حيث يتم توليد الاوزون على عمق ( 4.5 - 7 ) م. ويتم السيطرة على تركيز الاوزون في الماء المعالج من خلال تحطيمه باستخدام وحدة تحطيم حرارية ( Thermal Catalytic ) . لا يسبب الاوزون أي طعم سيء للماء وانما يعزى اليه طعم الماء الفواكهي ( Fruity taste ) . من مساوئ استخدام الاوزون الكلفة العالية و الحاجة الى توليد الاوزون في نقطة الاستعمال وعدم بقاء الاوزون لفترة طويلة في الماء مما يؤدي لتلوث الماء من جديد بعد استهلاك الاوزون ، ويتم التغلب على هذه المشكلة باستخدام الكلور مع الاوزون .

وبما ان الاوزون اثقل من الهواء بمقدار (1.6) مرة فيجب مراعاة الحذر لدى استخدامه حيث يسبب تخريش الاغشية المخاطية و يمكن الاستدلال عليه من خلال لونه الازرق ورائحته المميزة .

## تكنولوجيا التعقيم بالاوزون :-

يستخدم كما ذكرنا الهواء او الاكسجين النقي الذي يمر على فلتر لترشيحه من الغبار و الشوائب ثم يتم ضغطه وتبريده ثم يمر على فلتر لفصل الرطوبة ثم يمر الهواء الجاف الى مولد الغاز وهي عبارة عن

انابيب تحتوي قطبين متصلين بمولد كهربائي حيث يتم توليد الاوكسجين الذري الذي يتفاعل مع الاوكسجين ليعطي الاوزون و الذي يتم دفعه الى حجرة التعقيم عبر انابيب خاصة لتوليد فقاعات من الاوزون عبر تيار الماء النازل ، انظر الشكل (4).

### (4-2-3) استخدام بيرمنغنات البوتاسيوم (KMnO4)

يعتبر هذا المركب عامل اكسدة متوسط بين الكلور وثاني اكسيد الكلور وهو فعال في القضاء على الجراثيم لكن غير فعال في القضاء على الفيروسات .

تستخدم جرعة من بيرمنغنات البوتاسيوم تتراوح بين 5-10 ملغم / لتر للقضاء على الجراثيم خلال (40 دقيقة) . يتم اضافة البيرمنغنات عادة في المحطات الكبيرة في بداية المعالجة في حالات زيادة نسبة التلوث العضوي حيث تقوم هذه المادة باكسدة المواد العضوية و الحديد و المنغنيز .

تتميز هذه المادة بلونها الوردي المميز حيث يتم اضافتها على شكل سائل بعد اذابتها في الماء ثم ضخها الى احواض الاكسدة الاولى وهي شبيهة باحواض الكلورة من حيث وضع حواجز افقية او عمودية لتأمين زمن تلامس كاف . يجب مراقبة نسبة البيرمنغنات وعدم ظهور لونه الوردي بعد عمليات الفلترة وعدم تكون مادة المنغنيز من جديد في الماء المعالج .

### (4-2-4) البرومين و اليود ( Br2 & I2 )

هاتين المادتين كغيرها من الهالوجينات تعتبر عوامل مؤكسدة و معقمة قوية .

البروم سائل شديد التآكل ذو لون احمر بني يطلق ابخرة شديدة التخريش يسبب حروقا خطيرة لدى ملامسته الجلد وهو قليل الانحلال في الماء . يجب الحذر الشديد لدى التعامل مع البروم ويجب تجهيز مقاومة للتآكل في كل مراحل المعالجة . لدى تحلل البروم في الماء يعطي حامض الهيوبروميس اما اليود فيعطي حامض الهيوبودز ، وفي وجود الامونيا يعطي البروم بروموامينات مثل الكلور امينات اما اليود فيبقى على شكل حامض الهيوبودز . يستخدم اليود بشكل جيد في تعقيم احواض السباحة وكذلك البرومين بتركيز (0.2-0.6) ملغم / لتر .

ان كلفة البرومين اعلى من الكلور بـ (3) مرات اما كلفة البرومين فهي اعلى من الكلور بـ (40) مرة . يمكن استخدام اليود و البرومين لتعقيم كميات محدودة من مياه الشرب بجرعات (5-8) ملغم / لتر حيث



يقضى على الجراثيم خلال (10) دقائق ، و تستخدم احيانا اقراص من اليود لتعقيم الخزانات ، لكنه يخلف طعاما ملحوظا في الماء .

يستطيع الجسم التخلص من البرومين بنجاح اما اليود فهناك تخوف من حدوث مشاكل فسيولوجية تحد من استخدامه . تستخدم مركبات اخرى للحصول على اليود و البروم مثل يوديد البوتاسيوم ( KI ) وبروميد البوتاسيوم و اللتين تزيدان من ذائبية اليود و البروم في الماء .

كذلك تستخدم مادة بروميد الكلور للتعقيم ( BrCl ) وهي مادة لها قوة تعقيم اكبر من قوة تعقيم الكلور و البروم منفصلين . ان الكلفة العالية ونقص الخبرة الواسعة عاملين اساسيين في قلة استخدام البروم و الكلور في تعقيم الماء في المحطات الكبيرة واقتصر استخدامهما في الخزانات الصغيرة و المنزلية . يمكن التحكم بزيادة نسبة اليود و البروم من خلال اضافة مادة ثاني كبريتيت الصوديوم .

#### (4-2-5) الاشعة فوق البنفسجية ( UV ) :

هي اشعة كهرومغناطيسية قصيرة تتراوح اطوالها بين (200-400) نانوميتر . وهي فعالة في قتل كل انواع البكتيريا و الفيروسات حيث تقوم هذه الاشعة بتدمير الحامض النووي للخلية البكتيرية . يتم توليد الاشعة فوق البنفسجية بتمرير تيار كهربائي بين قطبين في وسط من بخار الكوارتز الزئبقي . ان اقصى طاقة تنتجها اشعة ( UV ) هي عند طول موجة (253.7) نانوميتر .

زمن التعرض المطلوب للاشعة من عدة ثواني الى دقائق معدودة حيث تستخدم عادة لمبات كروية او انبوبية لتوليد الاشعة الفوق بنفسجية .

لدى تشغيل لمبات اشعة ( UV ) فان انتاجية اللمبات لاول (100) ساعة غير مستقرة ثم تصبح الانتاجية بنسبة (100%) بعد ذلك ومع مرور الوقت تنخفض الانتاجية . لذا يتم تركيب ساعة وقت او تسجيل عدد ساعات التشغيل لمعرفة متى تصبح اللمبة غير فعالة .

ان التطبيق التكنولوجي لاستخدام اشعة ( UV ) يتم من خلال تمرير الماء على شكل طبقات رقيقة بسمك لا يزيد عن (30) سم من تحت مصدر للاشعة والذي يكون على شكل لمبات انبوبية موضوعة فوق سطح الماء بمسافة لا تزيد عن (20) سم ، انظر الشكل (5)

من اهم حسنات هذه الطريقة سهولة التشغيل وزمن المكوث القصير اللازم للتعقيم وعدم وجود نواتج جانبية وعدم التأثير على الخصائص الكيميائية للماء ولا يوجد تاثير مرضي للجرعة المفرطة من الاشعة كما ان تكاليف الصيانة قليلة .

ومن عيوب هذه الطريقة عدم بقاء الاشعة في الماء مما يؤدي لفقدان عقامة الماء بعد انتهاء عملية التعقيم . كذلك يجب ان تكون عكارة الماء قليلة جدا لان المواد العالقة في الماء تؤثر على مسار الاشعة وتؤدي لتشتتها من جهة وتحمي البكتيريا من جهة اخرى لذا تستخدم اشعة ( UV ) عادة بعد عمليات الترشيح و الفلترة . من عيوب هذه الطريقة ايضا عدم فعاليتها في قتل البكتيريا من نوع ( Giardia ) كما ان هناك انواعا من البكتيريا قادرة على استعادة الحامض النووي الذي تدمره الاشعة . ويكمن العيب الرئيسي في الكلفة العالية لاستخدام معدات الاشعة فوق البنفسجية وكلفة التشغيل ، لذا من النادر استخدام هذه الطريقة في المحطات الكبيرة وانما يقتصر استخدامها على المنشآت الصغيرة وفي المعالجة المنزلية . من الشائع كما اسلفنا استخدام الاشعة فوق البنفسجية مع الازون حيث تتضاعف قوة التعقيم عشر مرات . في الحالات التي تتطلب نقاوة عالية جدا للماء مثل المياه المقطرة التي تدخل في الصناعات الدوائية يستخدم عادة بعد عمليات التعقيم باشعة ( UV ) فلتر دقيق جدا - قطر المسامات لا يتجاوز (0.2) مايكروميتر - لترشيح مخلفات البكتيريا التي ماتت بالتعقيم .

بقي ان نشير الى ان طريقة التحقق من فعالية الاشعة في التعقيم تتم باضافة كمية من الكلور لا تتجاوز (0.1) ملغم / لتر وفي حال بقاء هذه الكمية في الماء فان ذلك يعتبر دليلا على كفاية عملية التعقيم بالاشعة والا وجب تعديل ظروف التعقيم لتصبح كافية للحصول على مياه معقمة .

و اخيرا يجب الحذر اثناء التعامل مع الاشعة فوق البنفسجية وعدم التعرض لها بشكل مباشر لفترة طويلة لان هذه الاشعة ذات طاقة عالية جدا ويخشى ان يكون لها علاقة بالاصابات السرطانية للجسم .

#### (4-2-6) الفضة ( Silver )

تستخدم الفضة كمعقم للماء بتركيز اقل من تلك المعروفة انها سامة ومؤذية لصحة الانسان - أي اقل من (0.05) ملغم / لتر - تستخدم الفضة بشكل واسع من خلال دخولها في تركيب وسط الترشيح في الفلاتر المنزلية و الصناعية . ومن عيوب استخدام الفضة كلفتها العالية وانخفاض كفاءتها مع الحرارة واحتمالية امتزازها بالمواد الغروية .

تستخدم الفضة احيانا في احواض السباحة عن طريق تمرير تيار كهربائي من خلال الفضة المغمورة في الماء . يستخدم احيانا اوكسيد الفضة ( $Ag_2O$ ) كبديل عن الفضة .

#### ( 4-2-7 ) كبريتات النحاس ( Copper Sulphate )

تستخدم كبريتات النحاس بشكل رئيسي للسيطرة على نمو الطحالب التي تخلف في الماء الطعم و اللون و الرائحة . ويتم اضافة النحاس بتركيز يبلغ (1) ملغم / لتر في الوضع الطبيعي لكن يجب الحذر من استخدام جرع كبيرة في المياه التي تحتوي على اسماك وكائنات بحرية و التي تموت من تاثير اضافة كبريتات النحاس .

#### ( 4-2-8 ) استخدام الاشعاع الايوني ( Ionic Radiation ) :

يتم توليد هذا الاشعاع عن طريق توليد اشعة جاما او اكس على طول موجة (100-0.001) نانوميتر او حزمة من الاليكترونات . وهي طريقة فعالة جدا في تدمير الخلايا البكتيرية تدميرا شاملا ولا تخلف أي اثر للاشعة في الماء لكن هذه الطريقة محدودة نظرا للكلفة العالية وخطورة التعامل مع هذه الاشعة الخطرة .

#### ( 4-2-9 ) استخدام الموجات فوق الصوتية ( Ultrasonic )

تستخدم الموجات فوق الصوتية بترددات تتراوح بين (20-400) كيلوهرتز بشكل فعال في تعقيم الماء خلال زمن تلامس قدره (60) دقيقة ، الا ان كلفة هذه الطريقة عالية مما جعل استخدامها محدودا .

### 5- تعقيم خطوط وشبكات توزيع المياه :

يتم تعقيم الخطوط الحديثة او الخطوط التي تم صيانتها واصلاحها وذلك بضخ تيار مائي خلال المواسير يحتوي على تركيز من الكلورين يبلغ (50) ملغم /لتر ويبقى الماء في المواسير طوال (24) ساعة و اذا كان الوقت لا يسمح بالانتظار يتم زيادة نسبة الكلور الى (150) ملغم / لتر لمدة ساعة ونصف . كذلك يجب تعقيم الوصلات و السدادات و الصمامات المستخدمة في عمليات الصيانة وذلك بغمسها بمحلول كلورين بنسبة (1%) ثم تجفيفها واستخدامها .

## 6- التحقق من عقامة الماء من خلال الفحص المايكروبيولوجي

مهما كانت عملية التعقيم سليمة و الجرعة كافية وظروف التشغيل صحيحة فإنه لا يمكن التحقق من خلو الماء من البكتيريا و الكائنات الدقيقة الممرضة الا من خلال الفحص المايكروبيولوجي ( Microbiology )

يجب ان يكون في كل محطة مياه كبيرة مختبر مايكروبيولوجي مجهز بكافة الاجهزة و المعدات اللازمة لمعرفة نوعية الكائنات الموجودة في الماء وعددها . تؤخذ عادة عينات من الماء قبل عمليات التعقيم وبعدها . وتجرى عليها الفحوصات اللازمة . يجب ان تكون العبوة من الزجاج نظيفة ومعقمة وعديمة اللون بحيث لا يقل حجمها عن (200) مل . ويتم حماية غطاء العبوة بورق سولفان او المنيوم . عند اخذ العينة يجب عدم لمس عنق الزجاجاة وتؤخذ العينات دون غسلها ثم تقفل فورا . وفي حالة اخذ العينات من شبكات التوزيع يجب التأكد من ان الصنبور الماخوذة منه العينة متصل مباشرة بالشبكة وليس من خزان علوي مثلا يجب قبل اخذ العينة تنظيف الصنبور جيدا وتعقيمه بلهب صغير ثم فتحه كاملا لمرور المياه لمدة لا تقل عن (15) دقيقة . يجب فحص العينات فورا قدر الامكان واذا لم يتيسر ذلك تحفظ العينات في درجات حرارة بين الصفر المئوي وعشر درجات مئوية .

يتم ايجاد عدد البكتيريا من خلال ترشيح عينة الماء خلال فلتر يعمل على حجز البكتيريا و التي يتم وضعها في وسط تتغذى عليه ويتم وضع العينة في حاضنة لمدة ايام على حرارة ملائمة .

ان البكتيريا القادرة على النمو في الوسط المغذي ستنتج مستعمرات مرئية و التي يمكن حسابها بسهولة ، وكل مستعمرة تمثل جرثومة واحدة في العينة الاصلية .

يتم تمييز البكتيريا القولونية عن اللاقولونية من خلال لون المستعمرات حيث تعطي البكتيريا القولونية لونا ورديا الى احمر مسود بينما تفقد البكتيريا اللاقولونية في هذا الوسط البريق . ويكون لون البكتيريا البرازية ازرق .

لقد حددت مواصفات عالمية لتعداد البكتيريا في الماء ، فمثلا يجب الا يزيد عدد عصيات القولون عن عصابة واحدة في (100) مل من الماء ويجب الا يزيد العدد الكلي للجراثيم عن (1000) جرثومة في كل (1) مل من الماء . كما يجب ان تخلو العينة من الطفيليات و الجراثيم الممرضة و لا تحتوي على بكتيريا نوع ( E.Coli ) و بكتيريا القولون البرازية و الديدان المسببة و الناقلة للأمراض و الفطريات .

يتم عادة اخذ عينات تكرارية دورية تعتمد على عدد السكان المستفيدين من محطة المعالجة حيث تؤخذ بشكل يومي من مصدر المياه و الخزان الرئيسي ومن شبكات التوزيع ومن خزانات المستهلكين .

## المراجع

- 1 هندسة الامداد بالمياه ، هندسة صحية ، دكتور محمد صادق العدوي ، كلية الهندسة / جامعة الاسكندرية 1990 م .
- 2 تحليل المياه ، م. مظهر السمان – منشورات جامعة دمشق ، 1998 م .
- 3 فحوص و معالجة المياه المخصصة للصناعة ، احمد عميران .
- 4 اسالة الماء ومنظومة المجاري ، الجزء الاول ، تاليف ستيل ومكي ، ترجمة د . فاضل حسن احمد – جامعة صلاح الدين 1990 م .
- 5 معالجة المياه ، م. عبد الكريم درويش ، دار المعرفة 1997 م .
- 6 هندسة المياه ، احمد عبد الباسط الرجوب ، ط 1، 1994 .
- 7 " Theory & Practice of Water and Waste Water Treatment " ، Ronald Droste , 1<sup>st</sup> Edition , 1997 .