جامعة الأكاديميين العرب
Arab Academic University

# الهندسة البيئية
# Environmental Engineering

د/ عامر بن محسن الصبري

2024 – 2023م

# Lecture No. 6

# معالجة المياه 2

# Water Treatment 2

# 8. التعقيم (Disinfection)

إن تعقيم المياه هي طريقة معالجة ينتج عنها القضاء على الجراثيم وأكسدة (حرق) المواد العضوية التي تستخدمها الجراثيم كغذاء.

يعتبر الكلور والأشعة فوق البنفسجية والأوزون من أكثر المعقمات شيوعاً، وبالرغم من أن الكلور ينتج مواد ضارة أحياناً، إلا أنه المعقم الأكثر ملاءمة للاستخدام في معظم الدول. إن العديد من الكيماويات المؤكسدة ليست لها فعالية الكلور في قتل الأحياء الدقيقة، حيث أن حامض الهيبوكلور يدمر أغشية خلايا الأحياء الدقيقة، ويهاجم الأنزيمات الأساسية لها، فيصبح أداؤها غير وظيفي.

- الطرق الرئيسية للتعقيم:
  - الغليان،
  - الكلور،
  - الأوزون،
  - الأشعة فوق البنفسجية.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الغليان (Boiling)

يعتبر غلي الماء من أقدم طرق تطهير المياه التقليدية قبل اكتشاف الكلور. حيث يقتل جميع الجراثيم. وبالرغم من فعاليته العالية، إلا أنه مرتفع الكلفة لكونه يستهلك طاقة أكثر من عملية الكلوره.

أما إذا ما توفرت مصادر غير مكلفة من الطاقة، فإن عملية الغليان تعتبر بسيطة وفعّالة جدا، حيث إنه يتلف الغشاء الخلوي للجراثيم ويقضي عليها. لذلك يستعمل في حالات الضرورة القصوى والكوارث ولكميات بسيطة من المياه. كما يمكن استعمال الغلي إذا لم يكن مصدر المياه معروفاً، أو إذا كان الماء عكراً، حيث إن المغلي له القدرة على قتل الجراثيم حتى لو كان الماء عكراً. إن غلي الماء لمدة تتراوح بين 3 - 10 دقائق تبعا لجودة المياه، يقتل معظم الجراثيم بكفاءة تصل إلى 100%.

غلي الماء لمدة 3 – 10 دقائق يقتل
معظم الجراثيم بكفاءة تصل إلى 100%.

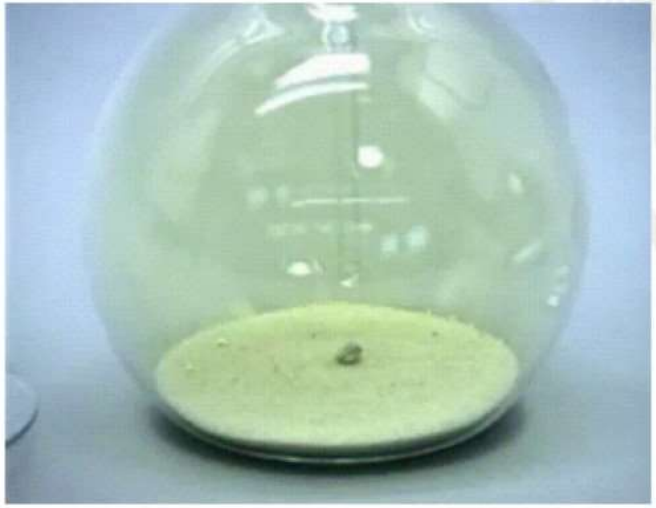
غلي الماء لفترة طويلة يؤدي إلى انخفاض
نسبة الأوكسجين والنيتروجين والاملاح
المعدنية مما يؤثر سلباً على وضائف الكلى.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

الكلور عنصر هالوجيني، ومادة التعقيم الأوسع استخداماً ، وهو عامل مؤكسد قوي. وتعتمد كفاءة التعقيم باستخدام الكلور ومركباته على كمية الكلور وتركيزه، وزمن ملامسة المياه للكلور، وخصائص ونوعية المياه، بالإضافة إلى درجة حرارتها. ويستخدم الكلور على هيئة غاز، أو مسحوق (صلب) أو سائل:

- غاز الكلور



- التركيب الكيميائي: ($Cl_2$).
- المظهر: غاز مسال معبأ في أسطوانات ذو لون أخضر - أصفر.
- التركيز: 100% كلور.
- الاستقرار: غالباً مستقر.
- التطبيقات: في محطات المعالجة المتوسطة والكبيرة.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

### ○ مسحوق الكلور

- التركيب الكيميائي: هيبوكلوريت الكالسيوم ($Ca(OCl)_2$) أو الصوديوم دايكلورو إيزوسيانورات ($NaCl_2(NCO_3)$).
- المظهر: مسحوق، أو حبيبات أو أقراص.
- التركيز: 30 % كلور في المسحوق.
  60 – 70% في الحبيبات.
  0.1 % في الأقراص (1.67 جرام).
- الثبات: أكثر ثباتاً من الكلور السائل، ويقل التركيز مع الوقت (يتحلل بنسبة 5 - 15% بعد 40 يوم).
- التطبيقات: محطات المعالجة الصغيرة.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

### ○ الكلور السائل

- التركيب الكيميائي: هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl).
- المظهر: سائل أصفر غامق.
- التركيز: 5 - 15% كلور.
- الثبات: يقل التركيز مع الوقت (يتحلل بنسبة 50% بعد 790 يوم في هيبوكلوريت الصوديوم 5%، وبعد 220 يوم في هيبوكلوريت الصوديوم 10%، وبعد 100 يوم في هيبوكلوريت الصوديوم 15%).
- التطبيقات: كمبيض منزلي، وفي محطات المعالجة الصغيرة ـ المتوسطة.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

### الجرعة النموذجية للكلور اللازم لتعقيم مياه الشرب

يضاف الكلور للماء نسب تتراوح بين 1 – 5 ملجم/لتر، وتعتمد نسبة الإضافة على العكارة، والرقم الهيدروجيني، والمواد النيتروجينية، والحديد والمنجنيز. ولذلك يتوجب ضبط الجرعة لكل مصدر مياه على حده، بحيث تكون نسبة الكلور الحر المتبقي (FRC) كالتالي:

- 0.2 – 0.5 ملجم/ لتر في الحالات العادية،
- 1 ملجم/لتر في الحالات الطارئة (عند انتشار الأوبئة).

ونظراً لعدم ثبات الكلور، وتعرضه للتحلل مع الوقت، فإن تركيز الكلور في نهاية منظومة التوزيع يتناقص عن نسبة التركيز في محطة التنقية. ويعتمد هذا التناقص على مستوى المواد العضوية وغير العضوية في المياه الخام، والفترة الزمنية التي يبقى فيها الماء داخل منظومة التوزيع.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

### العوامل المؤثرة على كفاءة الكلور

- العكارة (Turbidity)، كلما زادت عكارة الماء زادت جرعة الكلور اللازمة، إذ أن الميكروبات قد تحتمي بالمواد المسببة للعكارة من تأثير الكلور.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

العوامل المؤثرة على كفاءة الكلور

- الرقم الهيدروجيني للمياه (pH): تقل فعالية الكلور بزيادة الرقم الهيدروجيني للمياه أي زيادة قلوية المياه (Alkalinity)، لذلك يلزم جرعات كلور عالية.

نحتاج زمن تلامس أقل
أو تركيز كلور منخفض

نحتاج زمن تلامس أكبر
أو تركيز كلور عالي

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

العوامل المؤثرة على كفاءة الكلور

- زمن التلامس (Contact Time): تزيد فعالية الكلور كلما طال هذا الزمن، وتقل جرعة الكلور بارتفاع درجة الحرارة.

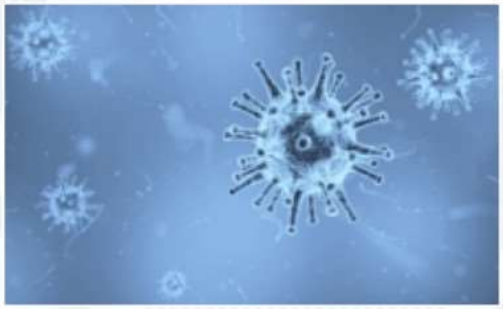
# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

### العوامل المؤثرة على كفاءة الكلور

نوع كائنات الحية الدقيقة (Microorganism)، حيث أن لكل ميكروب مقاومة معينة لتأثير الكلور، كما أن لعدد البكتريا الموجودة في الماء تأثير على جرعة الكلور الواجب إضافتها، فكلما زاد العدد زادت جرعة الكلور.

البكتريا



الفيروسات

الأوليات

فعالية أعلى ← فعالية أقل

فعالية الكلور تجاه الكائنات الحية الدقيقة

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الكلورة (Chlorination)

العوامل المؤثرة على كفاءة الكلور

- مقدار جرعة الكلور: تزيد فعالية الكلور بزيادة الجرعة.
- نوع الكلور: إضافة الكلور كغاز أكثر فعالية من إضافته كمحلول، وإضافته كمحلول أكثر فعالية من إضافته كمسحوق.
- وجود المركبات النيتروجينية في الماء: إن تواجد هذه المركبات في الماء وخاصة الأمونيا تخفض فعالية الكلور في قتل البكتريا، لذا يلزم إما إضافة جرعات أكبر أو إطالة زمن التماس بين الكلور والماء.
- وجود مركبات الحديد والمنغنيز: تحد من فعالية الكلور في قتل البكتريا.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ جرعة الكلور (Chlorine Dose)

**الكلور المطلوب (Chlorine Demand)**
(الكلور المستهلك أثناء تفاعله مع المواد العضوية و غير العضوية الموجودة في المياه)

↓

**الكلور الكلي (Total Chlorine)**
(بقية الكلور بعد استهلاك جزء من جرعة الكلور أثناء التفاعل مع المواد العضوية و غير العضوية)

↓

**كلور متحد (Combined Chlorine)**
**الكلور المرتبط بالمركبات العضوية**
مركبات الكلورأمين (أحاديه، ثنائية، وثلاثية)
($NH_2Cl$, $NH_2Cl_2$, $NH_2Cl_3$)

معقمات ضعيفة لكن فترة مكوثها في الماء طويلة

**كلور متبقي (Residual Chlorine)**
**الكلور الحر المتوفر للتطهير اللاحق**
حمض الهيبوكلورس ($HOCl$): تطهير قوي جداً
أيون الهيبوكلوريت ($OCl^-$): تطهير قوي

معقمات قوية لكن فترة مكوثها في الماء قصيرة

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ تفاعلات الكلورة

عند إضافة الكلور على هيئة غاز الكلور ($Cl_2$)، أو هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl)، أو هيبوكلوريت الكالسيوم ($Ca(OCl)_2$) أو الصوديوم دايكلورو إيزوسيانورات ($NaC_{12}(NCO_3)$) إلى ماء نظيف، ينتج حمض الهيبوكلورس (HOCl) وأيون الهيبوكلوريت (OCl).

يتكون حمض الهيبوكلورس (HOCl) (كلور حر متبقي) عند رقم هيدروجيني أقل من 6 حسب التفاعلات التالية:

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$$

$$NaOCl + H_2O \rightarrow HOCl + Na + OH$$

$$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \rightarrow 2HOCl + Ca_2 + 2OH$$

$$NaCl_2(NCO_3) + 2H_2O \rightarrow 2HOCl + NaH_2(NCO)_3$$

وعند رقم هيدروجيني أكبر من 6 يتفكك حمض الهيبوكلورس (HOCl) إلى أيون الهيبوكلوريت (OCl) (كلور حر متبقي) حسب التفاعل التالي:

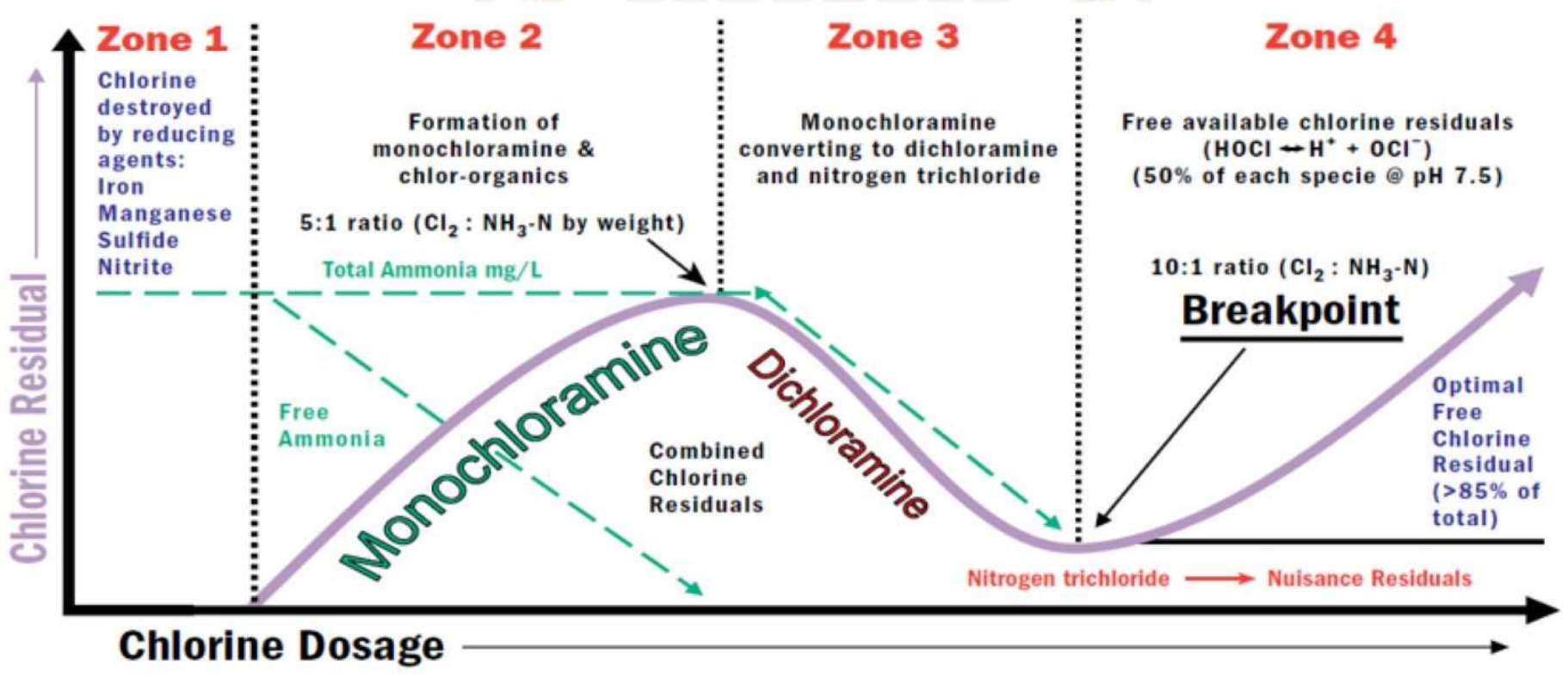
$$HOCl \rightarrow H + OCl$$

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ تفاعلات الكلورة

### النطاق الأول (Zone 1)

عندما يحتوي الماء على شوائب كالحديد والمنجنيز وكبريتيد الهيدروجين ، فإن الكلور المضاف إلى هذا النوع من المياه سيُستهلك في أكسدة الحديد والمنجنيز وكبريتيد الهيدروجين (H2S)، ومع استمرار إضافة الكلور يتكون حمض الهيبوكلورس (HOCl) (كلور حر متبقي).



# 8. التعقيم (Disinfection)

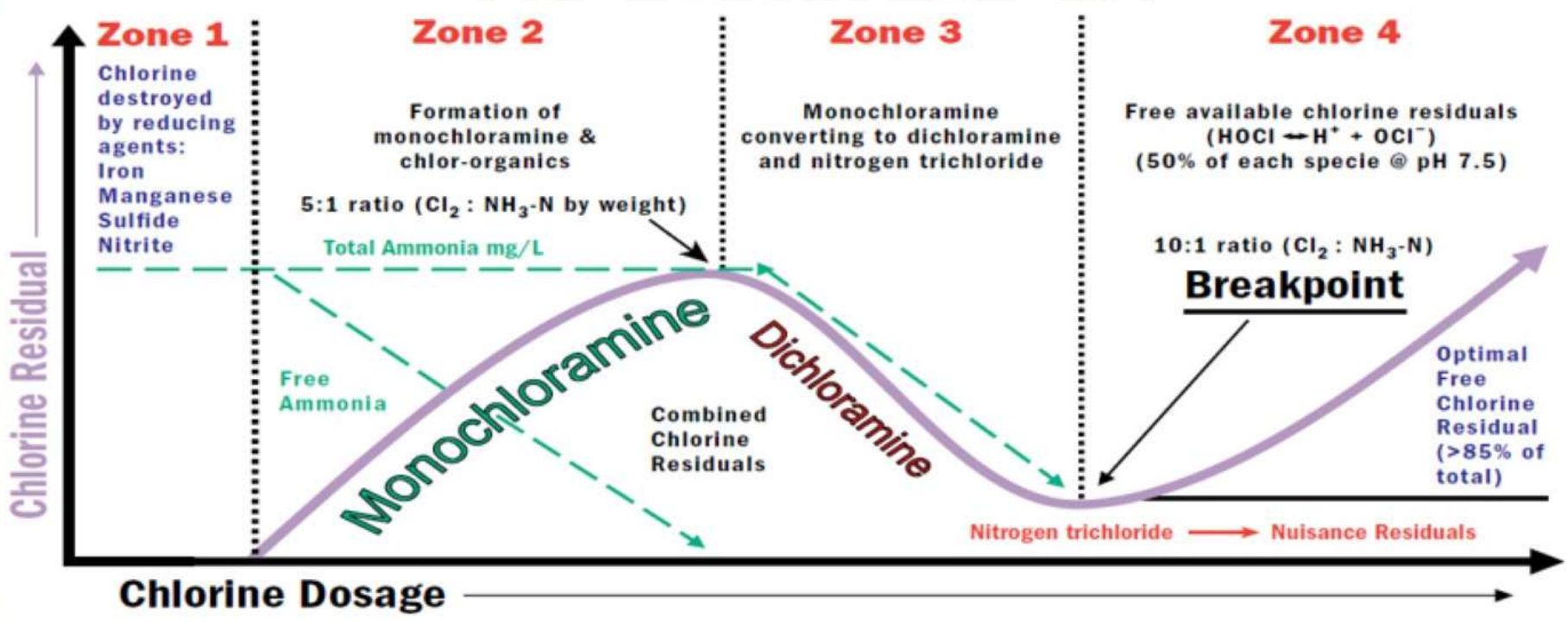
## ➢ تفاعلات الكلورة

### النطاق الثاني (Zone 2)

وإذا احتوى الماء على نسبة من الأمونيا، فإن الكلور الحر المتبقي والمتمثل بحامض الهيبوكلورس (HOCl) سيُستهلك أيضاً من خلال تفاعله مع الأمونيا، مكوناً مركبات الكلورأمين (Chloramines) .

$NH_3 + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O$ (كلورأمين أحادي : معقم ضعيف)

$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl_2 + H_2O$ (كلورأمين ثنائي : معقم ضعيف)



# 8. التعقيم (Disinfection)

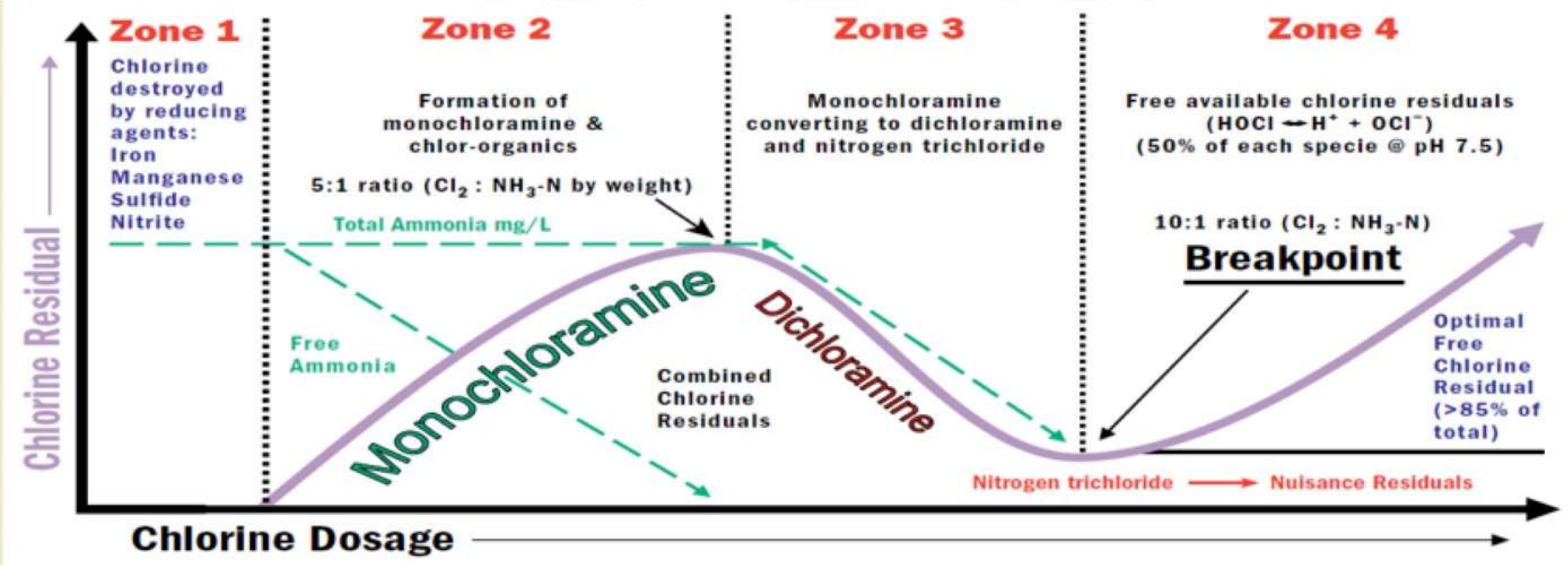
## ➢ تفاعلات الكلورة

### النطاق لثالث (Zone 3)

بعد استهلاك الكلور في النطاق 2، يقل تركيز الكلور الحر، وهو ما يحتم اضافة كميات من الكلور، وعند ذلك يزيد تركيز الكلور الحر، وتسمى النقطة التي يبدا عندها الكلور الحر في الارتفاع بنقطة الكسر (Break Point).

### النطاق الرابع (Zone 4)

منطقة تكون الكلور الحر المتبقي (حمض الهيبوكلورس وأيون الهيبوكلوريت).



# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

ان المحور الرئيسي في التعقيم بالكلور هي ضمان بقاء كميات من الكلورين الحر لأطول فترة ممكنة لضمان منع نمو البكتيريا خلال عملية نقل وتخزين وتوزيع الماء. ومن هنا يجب اضافة كميات من الكلورين كافية لتحقيق هذا الغرض. ولإتمام التعقيم بالكلور بكفاءة عالية يشترط أن تتصف المياه بالآتي:

**Low Turbidity**
**Low Fe, Mn, Nitrogen compound**
**Temperature: above 18°**
**pH: between 5.5 - 7.5**

يتم حقن الكلور إما على هيئة غاز أو مسحوق، أو محلول (عن طريق اذابة مسحوق الكلور في الماء)، وهي الطريقة الأكثر استخداماً، وفيما يلي أمثلة لتحديد جرعة الكلور:

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

### المثال الأول:

- إذا كان لدينا بودرة هيبوكلوريت الكالسيوم، تركيز الكلور فيها 55%، وأردنا عمل محلول كلور ذو تركيز 1%، نقوم بإذابة وزن محدد من البودرة في 1 لتر ماء، حيث يتم تحديد الوزن بحسب المعادلة التالية:

وزن البودرة = 1000 X حجم الكلور المطلوب X تركيز الكلور المطلوب / تركيز الكلور في البودرة

= 1000 X 1 لتر X 1% / 55%

= 18 جرام

- يتم اذابة الـ 18 جرام البودرة في 1 لتر ماء نظيف، ليصبح محلول أم، تركيز الكلور فيه 1% (10,000 ملجم/لتر).
- نأخذ من المحول الأم 4 جرعات مختلفة: 0.5 مل، 0.7 مل، 0.9 مل، 1.1 مل، ونضيفها في 4 عبوات سعة كل عبوة 10 لتر مملوءة بماء نظيف.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

- نقوم بقياس الكلور الحر المتبقي في كل عبوة على حدة، وذلك بعد مرور 30 دقيقة (زمن التلامس) من بعد إضافة جرعات الكلور.

- يتم اختيار الجرعة التي يكون فيها قراءة الكلور الحر المتبقي بين 0.2 - 0.5 ملجم/لتر، واعتمادها كجرعة قياسية.

فإذا كانت قراءة الكلور الحر المتبقي 0.5 ملجم/لتر في العبوة رقم 1 ذات الجرعة 0.5 مل، ولدينا خزان ماء بسعة 1000 لتر، فما هي الجرعة المناسبة لتعقيم مياه الشرب فيه؟

بما أن الجرعة المناسبة من المحلول الأم كانت 0.5 مل لكل 10 لتر، يتم إضافة 50 مل لكل 1000 لتر.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

**المثال الثاني:**

- إذا كان لدينا أقراص الصوديوم دايكلورو إيزوسيانورات (1.67 جرم)، تركيز الكلور فيها 0.1% (1000 ملجم/لتر)، وأردنا عمل محلول كلور ذو تركيز 0.1%، نقوم بإذابة قرص واحد في 1 لتر ماء نظيف، ليصبح محلول أم، تركيز الكلور فيه 0.1% (1000 ملجم/لتر).
- نأخذ من المحول الأم 4 جرعات مختلفة: 5 مل، 7 مل، 9 مل، 11 مل، ونضيفها في 4 عبوات سعة كل عبوة 10 لتر مملوءة بماء نظيف.
- نقوم بقياس الكلور الحر المتبقي في كل عبوة على حدة، وذلك بعد مرور 30 دقيقة (زمن التلامس) من بعد إضافة جرعات الكلور.
- يتم اختيار الجرعة التي يكون فيها قراءة الكلور الحر المتبقي بين 0.2 - 0.5 ملجم/لتر، واعتمادها كجرعة قياسية.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

**المثال الثاني:**

- إذا كان لدينا أقراص الصوديوم دايكلورو إيزوسيانورات (1.67 جرم)، تركيز الكلور فيها 0.1% (1000 ملجم/لتر)، وأردنا عمل محلول كلور ذو تركيز 0.1%، نقوم بإذابة قرص واحد في 1 لتر ماء نظيف، ليصبح محلول أم، تركيز الكلور فيه 0.1% (1000 ملجم/لتر).
- نأخذ من المحول الأم 4 جرعات مختلفة: 5 مل، 7 مل، 9 مل، 11 مل، ونضيفها في 4 عبوات سعة كل عبوة 10 لتر مملوءة بماء نظيف.
- نقوم بقياس الكلور الحر المتبقي في كل عبوة على حدة، وذلك بعد مرور 30 دقيقة (زمن التلامس) من بعد إضافة جرعات الكلور.
- يتم اختيار الجرعة التي يكون فيها قراءة الكلور الحر المتبقي بين 0.2 - 0.5 ملجم/لتر، واعتمادها كجرعة قياسية.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ ضبط جرعة الكلور (Chlorine Dose)

فإذا كانت قراءة الكلور الحر المتبقي 0.5 ملجم/لتر في العبوة رقم 1 ذات الجرعة 5 مل، ولدينا خزان ماء بسعة 1000 لتر، فما هي الجرعة المناسبة لتطهير مياه الشرب فيه؟

بما أن الجرعة المناسبة من المحلول الأم كانت 5 مل لكل 10 لتر، يتم إضافة 500 مل لكل 1000 لتر (نصف قرص/1000 لتر).

**ملاحظة:** من المهم جداً قياس مركب ثلاثي هالوميثان (Trihalomethanes)، حيث يتوجب أن لا يزيد تركيزه في مياه الشرب عن 1 ملجم/لتر.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ قياس الكلور الحر (Measurement of Free Residual Chlorine)

يتم قياس الكلور الحر المتبقي (FRC) عن طريق أجهزة رقمية أو لونية، حيث يتم أخذ عينة بمقدار 10 مل من مياه الشرب، وإضافة كاشف (DPD 1) وهو عبارة عن مركب كيميائي يتكون من:

**Diethyl-P-Phenylene Diamine**

هذا المركب يتأكسد بواسطة الكلور، ونتيجة لذلك ينتج لون احمر ارجواني متفاوت في شدة اللون، اعتماداً على كمية الكلور الحر المتبقي، حيث أن اللون يتناسب طردياً مع تركيز الكلور في العينة.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ قياس الكلور الحر (Measurement of Free Residual Chlorine)

العلبة (1) مياه لا تحتوي على كلور، في حين أن العلبة (2) تحتوي على تركيز ضئيل من الكلور الحر، ومع زيادة تركيز الكلور باتجاه العلبة (4) يزيد اللون.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الاحتياطات اللازمة

تعتبر محاليل مركبات الكلور من المركبات الكيميائية التي لها القدرة على إحداث حروق وتآكل في الجلد اذا انسكبت عليه، ولها القدرة على إحداث أضرار بالغة على العيون، والجهاز التنفسي في حال استنشاق الكلور المتطاير، كما يمكن أن تتسبب في التسمم اذا ما تم شربها عن طريق الخطأ، ولذلك وجب أخذ الاحتياطات التالية:

- ارتداء النظارات الواقية.
- ارتداء الكمامات والقفازات.
- منع التدخين أثناء تحضير أو استخدام محاليل الكلور.
- عدم تناول الطعام أو الشراب أثناء تحضير أو استخدام محاليل الكلور.
- يُخزن الكلور في مناطق معتدلة الحرارة، جيد التهوية وبعيدة عن الضوء حتى لا يحدث لها تحلل، كما يتوجب حفظها في أوعية محكمة الإغلاق، لا تسمح بتطاير الكلور، الأمر الذي يتسبب في تقليل كفاءتها في التعقيم.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الاحتياطات اللازمة

في حالة انسكاب محلول كلور مركز على أي جزء من جلد الإنسان، يتوجب غسل هذا الجزء جيداً باستعمال الماء والصابون، أمّا إذا لوحظت أية حروق أو تبقعات جلدية على الجسم، وجب مراجعة الطبيب وإبلاغه بالتعامل مع محلول الكلور المركز لتمكينه من تقديم العلاج المناسب.

وفي حالة انسكاب محلول كلور مركز على العينين، فيمكن غسلهما بكميات كبيرة من الماء، وتغطيتها بقطعة قماش نظيفة ومراجعة الطبيب.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ إزالة الكلور الزائد (Dechlorination)

عند ملاحظة رائحة وطعم الكلور، يتم قياس الكلور الحر المتبقي وتحديد الجرعة الزائدة التي يلزم ازالتها باستخدام مركبات الكبريت أو مرشحات الكربون المنشط، كما يلي:

إضافة ثاني اكسيد الكبريت (Sulfur Dioxide) الى الماء بجرعات 1.5 جزء في المليون لكل جزء في المليون من الكلور المراد إزالته وفي هذه الحالة يتفاعل ثاني اكسيد الكبريت مع الكلور الزايد كما يلي:

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

ويتوجب أن تمر فترة خمس عشرة دقيقة بعد إضافة ثاني أكسيد الكبريت قبل استعمال المياه.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ إزالة الكلور الزائد (Dechlorination)

- إضافة ثيوكبريتات الصوديوم (Sodium Thiosulfate) إلى الماء ليتفاعل مع الكلور الزائد كما يلي:

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

- إضافة كبريتات الصوديوم (Sodium Sulfate) إلى الماء ليتفاعل مع الكلور الزائد كما يلي:

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

- تخزين الماء في أحواض مكشوفة لمدة 3 - 4 ساعات قبل الاستعمال وفي هذه الفترة يتصاعد الكلور الزائد في الجو.
- ترشيح الماء في طبقة من الكربون المنشط لامتصاص الكلور الزائد.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ مواصفات حاويات الكلور

من المهم اختيار الحاويات المناسبة للكلور المستخدم للتطهير في أنظمة حقن آبار مياه الشرب، أو محطات تنقية مياه الشرب، ويفضل الحاويات المصنوعة من كلوريد البوليفينيل (PVC).

مقاومة أنواع البلاستيك للكلور بدرجة تركيز (10%)

| نوع البلاستيك | | المقاومة عند درجة حرارة | |
|---|---|---|---|
| الاسم | الرمز | +20°C | +50°C |
| Polyethylene (high density) | HDPE | مقاوم جزئياً | غير مقاوم |
| Polyethylene (low density) | LDPE | مقاوم جزئياً | غير مقاوم |
| Polyvinyl chloride | PVC | مقاوم | غير مقاوم |
| Ethylene-chlorotrifluoroethylene (Halar) | E-CTFE | مقاوم | مقاوم |
| Ethylene-tetrafluoroethylene | ETFE | مقاوم | مقاوم |
| Tetrafluoroethylene-perfluoropropylene (Teflon, FEP) | FEP | مقاوم | مقاوم |
| Polytetrafluoroethylene (Teflon) | PTFE | مقاوم | مقاوم |
| Polyvinylidene fluoride | PVDF | مقاوم | مقاوم |

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأوزون (Ozone)

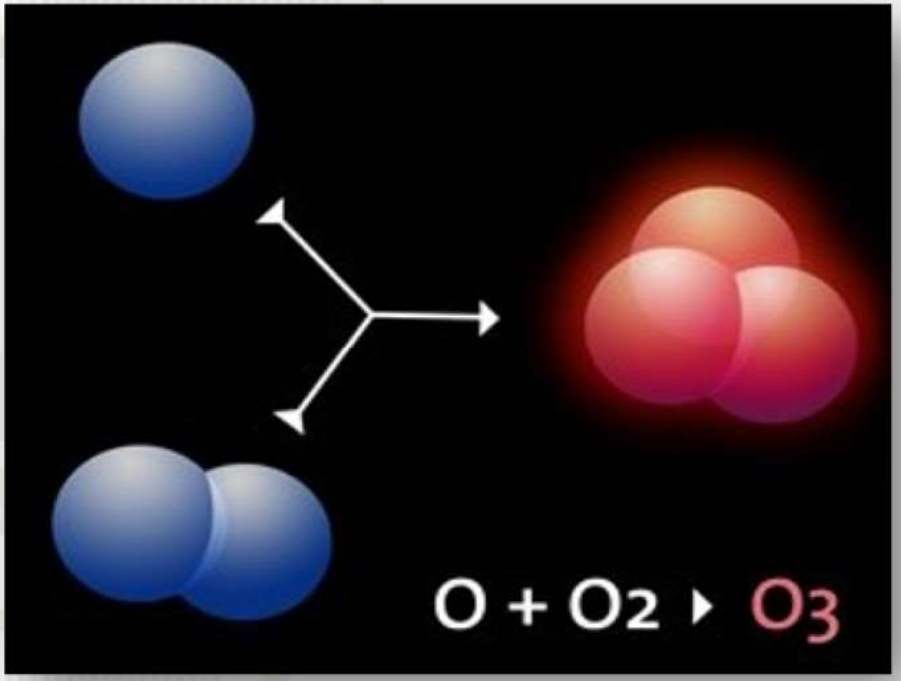
الأوزون غاز مركب من ثلاث ذرات أوكسجين ($O_3$).

يتم تحضيره من خلال تمرير هواء جاف أو أوكسجين نقي خلال مجال كهربائي ذو جهد عالي الشدة في حيز مغلق.

يتحول الأوكسجين إلى أوزون كالتالي:

$O_2$ ..... $O + O$

$O_2 + O$ ..... $O_3$




يعتبر الأوزون من اقوى العوامل، ويُستخدم لتعقيم مياه الشرب من البكتيريا والفيروسات. كما يستخدم لأكسدة المواد المسببة للطعم والرائحة كالفينولات والبنزين، والمواد السامة كالحديد والمنجنيز.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ بيروكسيد الهيدروجين (Hydrogen Peroxide)

**Concentration: 35%**
**Dose: 20-35 mg/l**

يستخدم بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) أو ما يسمى بـ"الهواسان" في التعقيم، لكن يتوجب التحقق من نسبة بيروكسيد الهيدروجين المتبقي في المياه والتي يتوجب ألا تزيد عن 2.5 ملجم/لتر. يتم القياس بعد زمن اتصال (contact time) 30 دقيقة من حقن بيروكسيد الهيدروجين بسبب أنها مادة مؤكسدة قوية ذات استخدام محدود جداً في تعقيم مياه الشرب، ولذلك لا يوصى باستخدامه إذا لم يتم التعامل معها بحذر شديد.

من المهم توفر فاحص الكتروني لقياس بيروكسيد الهيدروجين المتبقي، خاصة وأن هذه المادة ليس لها رائحة أو طعم.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأوزون (Ozone)

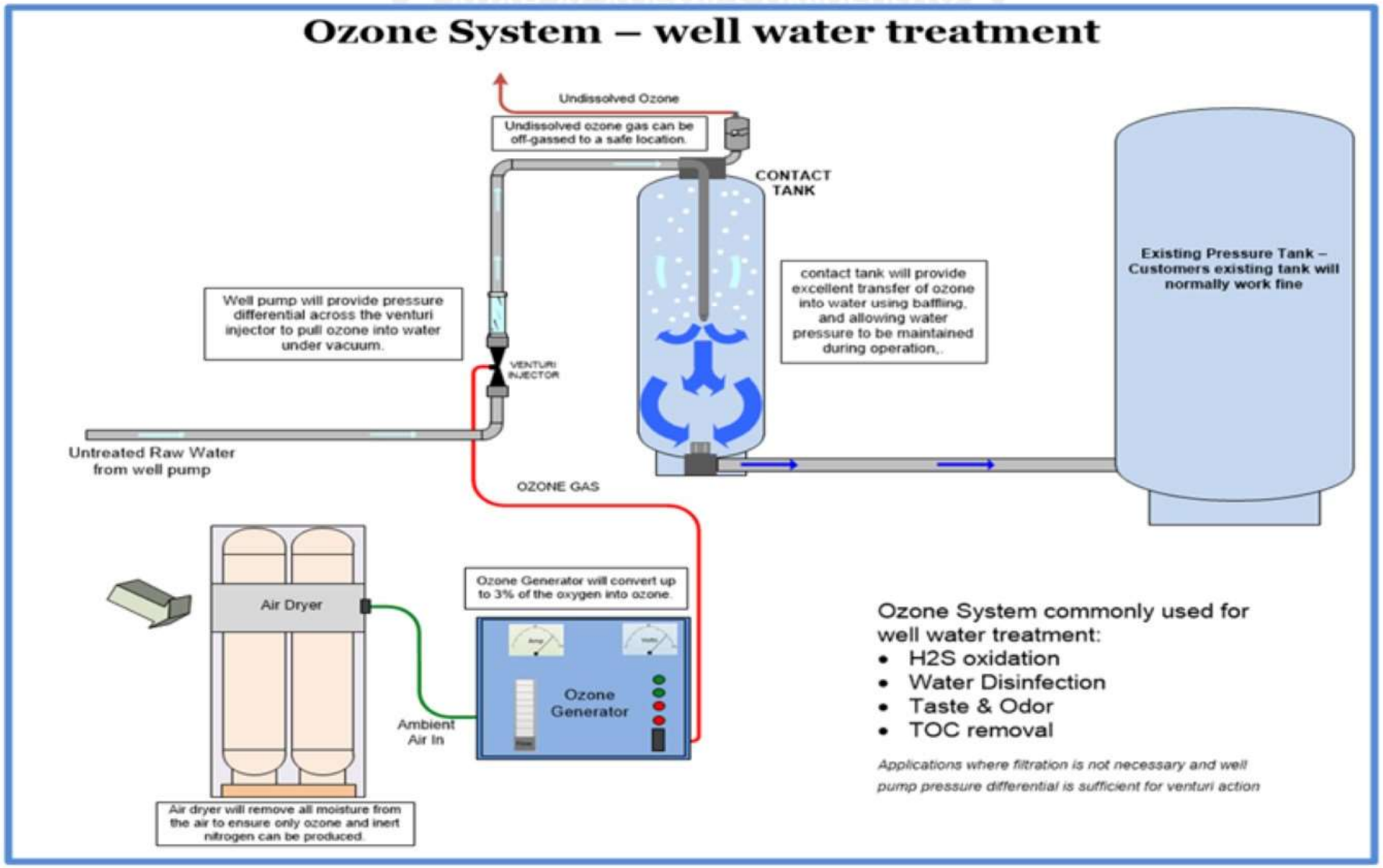
### طريقة التعقيم بالأوزون

يستخدم الهواء الجاف أو الأوكسجين النقي، حيث يمر الهواء عبر مرشح للتخلص من جسيمات المواد الصلبة كالغبار، بعد ذلك يتم ضغطه وتبريده، ثم يمر على مرشح للتخلص من الرطوبة، ثم يمر الهواء الجاف الى مولد الغاز وهي عبارة عن أنابيب تحتوي قطبين متصلين بمولد كهربائي حيث يتم توليد ذرات الأوكسجين التي تتفاعل مع الأوكسجين لإنتاج الأوزون، والذي يتم دفعه الى حجرة التعقيم عبر أنابيب خاصة لتوليد فقاعات من الأوزون عبر تيار الماء النازل لمنطقة التعبئة.

جرعة الأوزون المستخدمة في التعقيم 1 ملجم/لتر للمياه المنتجة بتقنية التناضح العكسي، وتتراوح نسبة الأوزون المتبقي (Ozone residual) بين 0.1 - 0.2 ملجم/لتر بعد زمن اتصال (Contact time) 5 - 10 دقائق من حقن الأوزون في المياه.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأوزون (Ozone)



# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأوزون (Ozone)

### المميزات:

- للأوزون قدرة على قتل جميع البكتريا والأوليات والفيروسات.
- لا يسبب الأوزون أي طعم سيئ للماء.
- لا يتسبب في تكوين المركبات المسرطنة (THMs).

### العيوب:

- يتراوح عمر النصف (Half - Life) للأوزون بين 5 - 20 دقيقة (20 دقيقة عند 6 pH، 15 دقيقة عند 7 pH، دقيقة عند 8 pH) وهي احدى عيوبه بسبب أن الماء سيكون معرضاً للتلوث ولا بوجد أوزون متبقي لتعقيمه.
- تكلفة هذه التقنية عالية.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## تقييم كفاءة وحدة الأوزون (Ozone)

يتم التحقق من أن لمبة الأوزون (Ozonizer) ولمبة الهواء الجوي (Air Pump) تعملان.

التحقق من جرعة الأوزون المستخدمة في التعقيم والتي يتوجب ألا تزيد عن 1 ملجم/لتر للمياه المنتجة بتقنية التناضح العكسي، ثم قياس نسبة الأوزون المتبقي (Ozone residual) والذي يتوجب أن تكون بين 0.1 - 0.2 ملجم/لتر بعد زمن اتصال (Contact time) 5 - 10 دقائق من حقن الأوزون في المياه.

التحقق من نقاوة الأوزون من خلال وجود فلتر لفصل الرطوبة والأبخرة و الغبار في جهاز توليد الأوزون من الهواء الجوي.

التحقق من أن المياه المنتجة قد مضى على إنتاجها مدة لا تقل عن 8 ساعات ويفضل يوم واحد قبل الاستهلاك.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

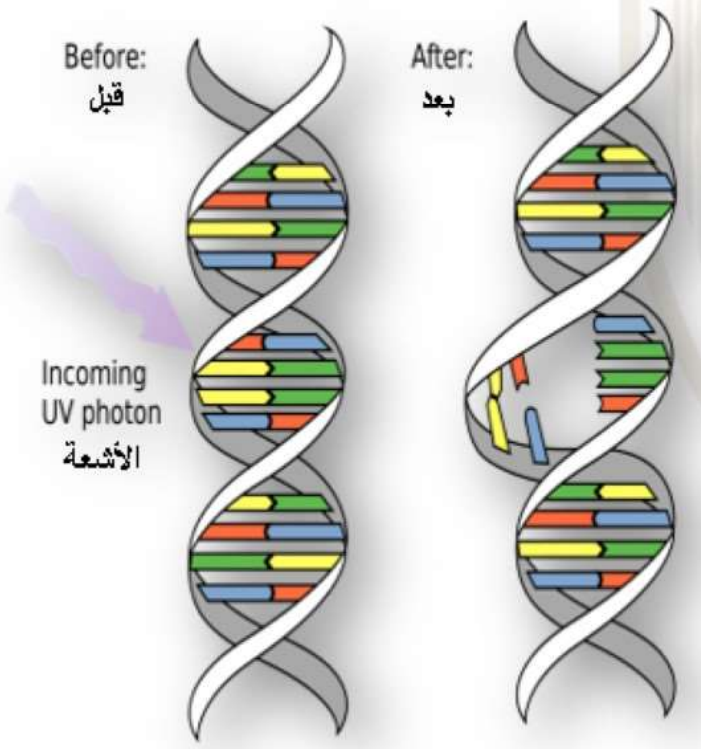
الأشعة فوق البنفسجية عبارة أشعة كهرومغناطيسية قصيرة تتراوح أطوالها الموجية بين (253.7- 400) نانوميتر، وهي فعالة في قتل غالبية أنواع البكتيريا و الفيروسات، حيث تقوم هذه الأشعة بتدمير الحامض النووي للخلايا الحية، من خلال التعرض للأشعة في زمن يتراوح من عدة ثواني الى دقائق معدودة حيث تستخدم عادة لمبات كروية أو أنبوبية لتوليد الأشعة فوق البنفسجية.

في بداية تشغيل لمبات الأشعة فوق البنفسجية، يكون إنتاجية اللمبات لأول 100 ساعة غير مستقرة، ثم تصبح الإنتاجية بعد ذلك (100%)، ومع مرور الوقت تنخفض الإنتاجية، ولذا يتم تركيب ساعة وقت أو تسجيل عدد ساعات التشغيل لمعرفة متى تصبح اللمبة غير فعالة .

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

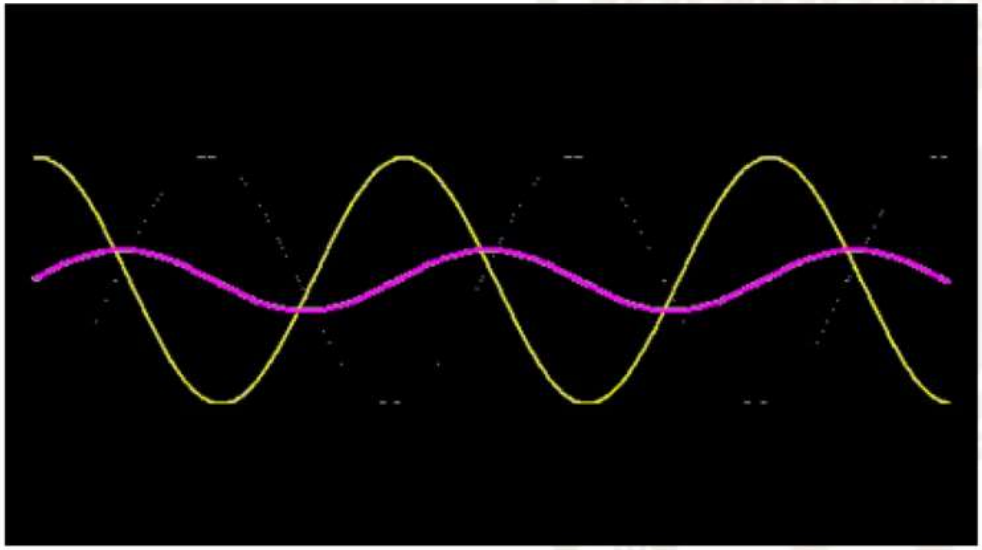
تتوقف كفاءة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية على شدة كثافتها الضوئية، وطولها الموجي، وعمق الماء المار فوق الأشعة، ونسبة العكارة.

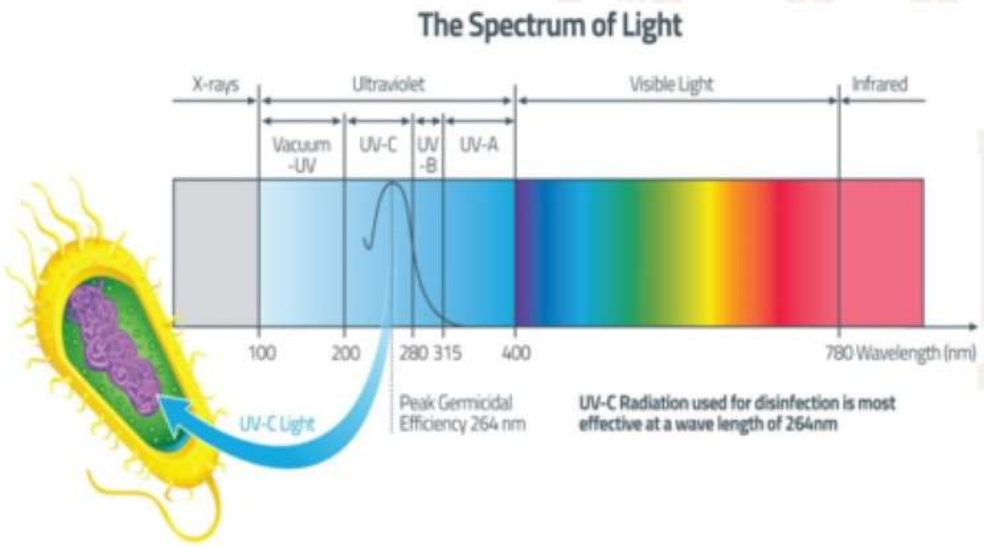



يتم تعقيم المياه من خلال تمرير الماء من تحت مصدر للأشعة فوق البنفسجية (لمبات أنبوبية)، عند أطوال موجية تتراوح من 253.7 إلى 280 نانومتر، وجرعة (Dose) مقدارها 40 مللي جول/سم$^2$ ( 40 mJ/cm$^2$)، فتقوم خلايا لكائنات الحية الدقيقة الموجودة في المياه بامتصاص الأشعة، مما يتسبب في اتلاف المادة الوراثية (DNA) داخل الخلايا، ويتسبب في عدم قدرتها على النمو والتكاثر.

# 8. التعقيم (Disinfection)

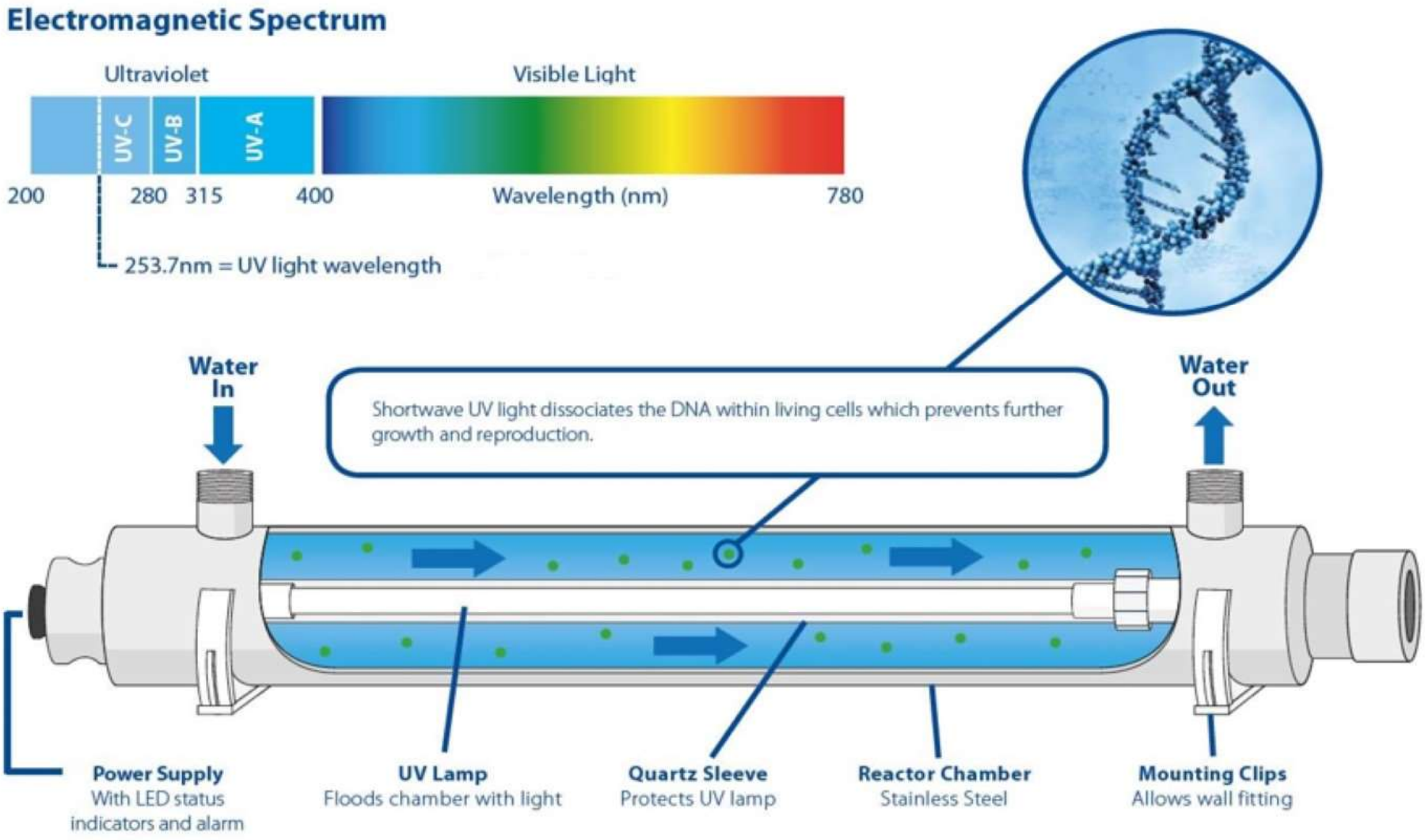
- الأشعة فوق البنفسجية (UV)





# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)



# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

ARAB ACADEMICS UNIVERSITY

**Typical properties of different UV lamp technologies**

| | LP | LPHO | MP |
|---|---|---|---|
| UV output range | 254nm | 254nm | <200nm to >600nm |
| Typical Power/lamp | 40-85W | 100-500W | 1-30kW |
| Efficiency | 35% | 30% | 15% |
| Warm-up Time | 2 min | 5 min | 10 min |
| Operating Temp | 40°C | 200°C | 800°C |
| Lamp Life | 12,000 hours(15 months) | 12,000 hours (15 months) | 5,000 hours (7 months) |
| Power \Variability | No (on/off) | 60% to 100% | 30% to 100% |

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

### المميزات:

- قتل كل أنواع البكتريا ومعظم أنواع الفيروسات.
- عدم حدوث أي تغيير كيميائي أو فيزيائي للمياه، وبالتالي عدم وجود نواتج تفاعل ثانوية ضارة.
- لا يوجد ضرر من زيادة جرعة الأشعة.

### العيوب:

- ليس لها أثر ممتد المفعول.
- غير قادرة على قتل كل أنواع الفيروسات.
- يلزم الحذر أثناء التعامل مع الأشعة فوق البنفسجية وعدم التعرض لها بشكل مباشر لفترة طويلة.

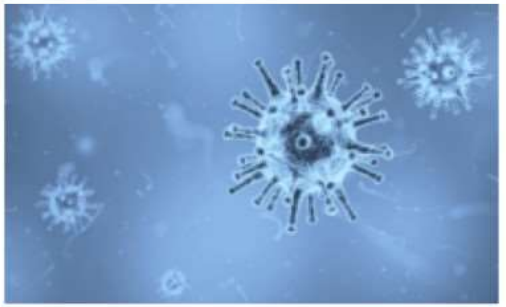
# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

يعتبر التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية جيد لقتل البكتريا والأوليات ومعظم أنواع الفيروسات، وذلك في مدة زمنية تقدر بنحو 10 ثواني خلال مسافة تقدر بنحو 15 سم من لمبة الأشعة.

البكتريا

الأوليات



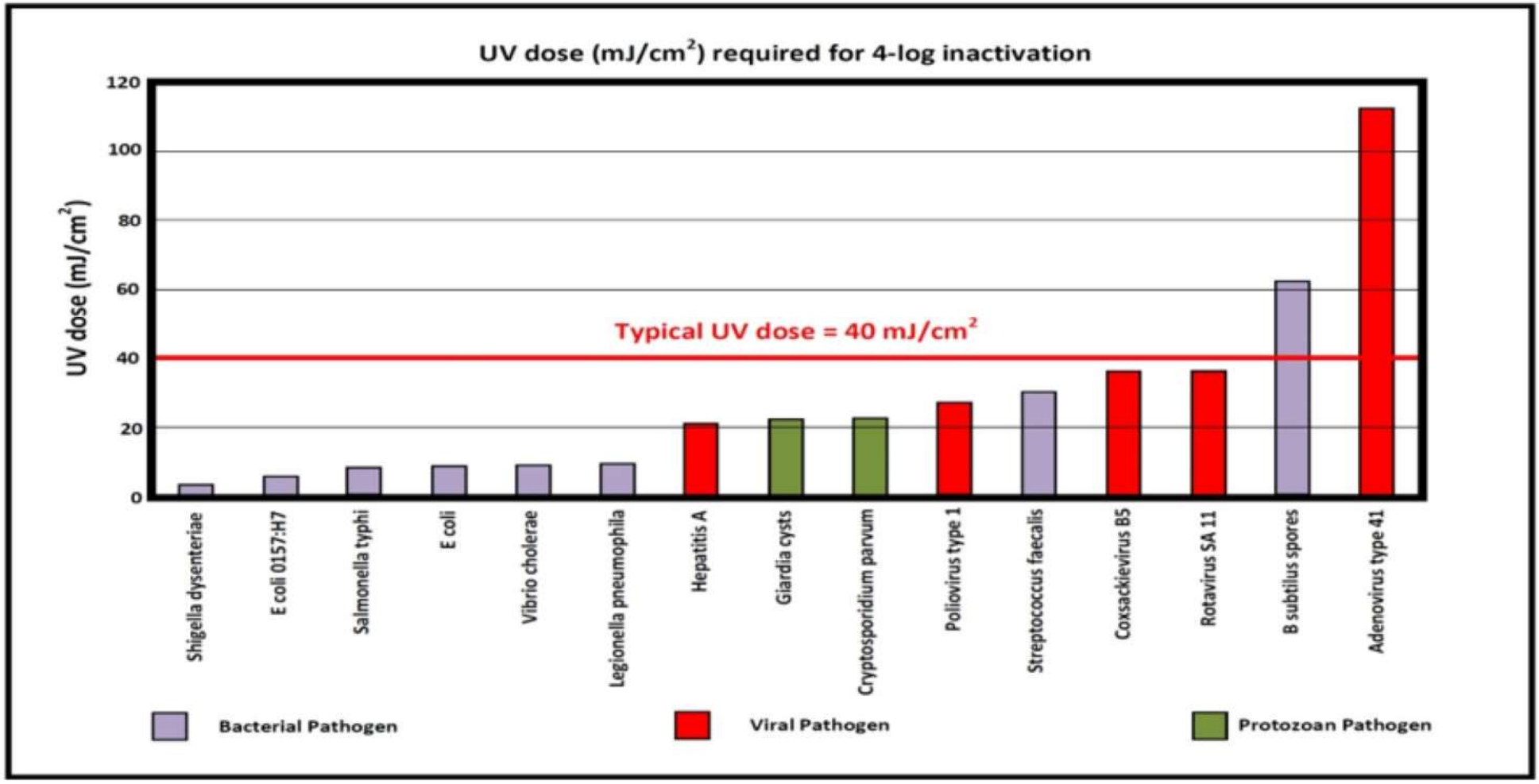
الفيروسات

فعالية أعلى ← فعالية أقل

فعالية الأشعة فوق البنفسجية تجاه الكائنات الحية الدقيقة

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)




**Bacteria > Protozoan > Viruses & bacterial spores**

# 8. التعقيم (Disinfection)

## ➢ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

### جرعة الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet Dose)

**The UV dose is the product of UV intensity (I) and residence time (T). Therefore: Dose = I x T "expressed as $mJ/cm^2$"**

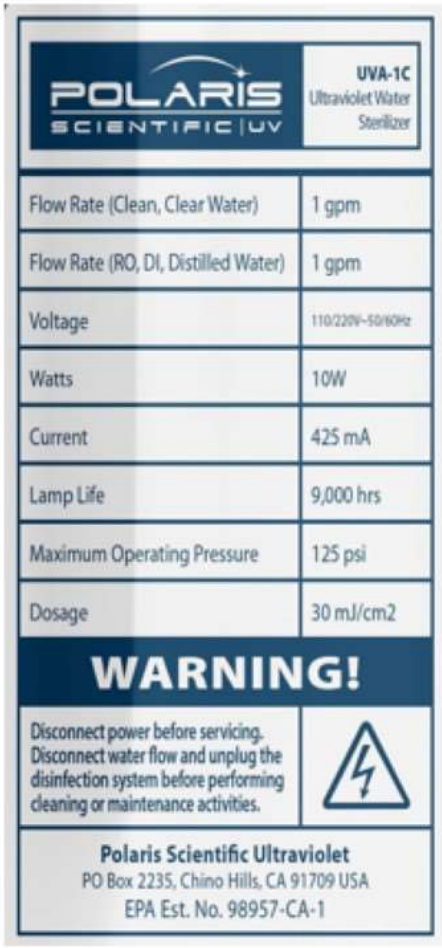
## How Long Does it Take UV light to Kill waterborne?

**As water flows through the UV chamber, bacteria and other waterborne microbes are killed within 10 seconds "contact time".**

**Fast Flow = Low Dose**
**Slow Flow = High Dose**

# 8. التعقيم (Disinfection)

## تقييم كفاءة وحدة الأشعة فوق البنفسجية (UV)



POLARIS SCIENTIFIC | UV — UVA-1C Ultraviolet Water Sterilizer

| | |
|---|---|
| Flow Rate (Clean, Clear Water) | 1 gpm |
| Flow Rate (RO, DI, Distilled Water) | 1 gpm |
| Voltage | 110/220V~50/60Hz |
| Watts | 10W |
| Current | 425 mA |
| Lamp Life | 9,000 hrs |
| Maximum Operating Pressure | 125 psi |
| Dosage | 30 mJ/cm2 |

**WARNING!**

Disconnect power before servicing. Disconnect water flow and unplug the disinfection system before performing cleaning or maintenance activities.

Polaris Scientific Ultraviolet
PO Box 2235, Chino Hills, CA 91709 USA
EPA Est. No. 98957-CA-1

UV Lamp life

تقييم الكفاءة: مراقبة عداد زمن تشغيل لمبة الأشعة، والتحقق من أن الحساس (Sensor) يعمل، وأن جرعة الأشعة لا تقل عن ($40\ mJ/cm^2$).

التحقق من أن عدد لمبات الأشعة يتناسب مع حجم الإنتاج في المحطة أو المصنع، فإذا كانت القدرة الإنتاجية للمبة الأشعة 45 لتر/ دقيقة (2700 لتر/ساعة)، وكان إنتاج مصنع ماء 5000 لتر/ساعة يلزم تركيب لمبتين أشعة.

ضبط كمية المياه المتدفقة خلال وحدة الأشعة بحيث لا تزيد عن القدرة الإنتاجية لعدد اللمبات، وذلك عن طريق محبس يركب قبل وحدة الأشعة.

التغيير: قبل شهر من انتهاء عمر اللمبة الذي عادة ما تتراوح بين 4000 - 17000 ساعة (بعد ذلك تقل الكفاءة بنسبة 20%)، واستبدال غلاف الكوارتز (quartz sleeve) كل 2 - 3 سنوات.

# 8. التعقيم (Disinfection)

## تقييم كفاءة وحدة الأشعة فوق البنفسجية (UV)

Bacteria Count = 88

Too Numerous To Count (TNTC)

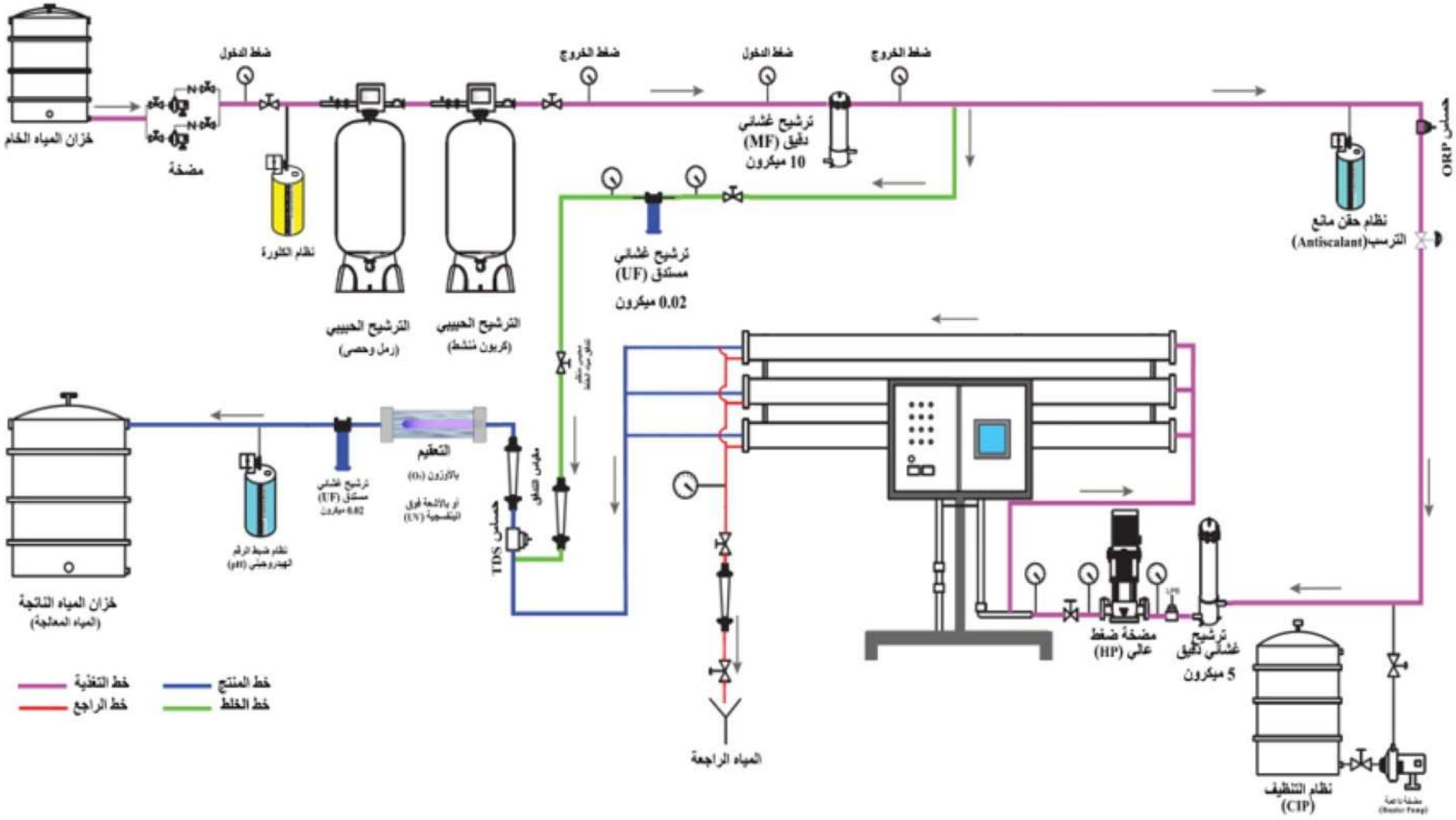
إجراء التحليل الميكروبيولوجي يعد معياراً مهماً لتقييم وحدة الأشعة فوق البنفسجية، وحدة الأوزون، ووحدة الكلورة، فإذا ظهر تلوث بيولوجي في المياه يتم تغيير شمعات الأشعة.

يتم تقييم نتائج الفحص الميكروبيولوجي من خلال تحديد عدد عصيات البكتريا.

يمكن تحديد عدد عصيات البكتريا عندما يقل عددها عن 700 عصية. وفي حالة وجود عدد كبير من عصيات البكتريا يزيد عن 700 عصية فيكتب في النتيجة عدد كبير جداً غير قابل للعد واختصارها (TNTC).

# ملخص عمليات معالجة المياه

## Flow chart of Water treatment system



# ملخص عمليات معالجة المياه

## تغذية المياه (Water Feeding)

بئر المياه

حقن كلور

حقن الكلور بغرض تعقيم المياه من البكتريا، وترسيب الحديد في حالة وجوده في المياه بتركيز عالي.

خزان المياه الخام

يجب أن تكون الخزانات ذات جودة عالية مثل تلك المصنوعة من البولي إيثلين العالي الكثافة (HDPE)، أما البولي إيثلين المنخفض الكثافة (LDPE) يمكن أن يتحلل ويترك بعض المواد البلاستيكية في الماء.

إلى وحدات الترشيح الحيبي

مضخة المياه الخام

# ملخص عمليات معالجة المياه

الادمصاص

الكربون المنشط

الترشيح الحبيبي

مرشح رملي : 20 ميكرون

# ملخص عمليات معالجة المياه

## التبادل الأيوني (Ion Exchange)

**or**

**مرشح الحديد والمنجنيز**
**(Birm filter)**

يُضاف في حالة ارتفاع
الحديد في المياه الخام

**مرشح العسرة**
**(Softener filter)**

يُضاف في حالة ارتفاع
الكالسيوم والماغنسيوم)

# ملخص عمليات معالجة المياه

## الترشيح الغشائي الدقيق (Micron Filtration)

مرشح دقيق: 5 ميكرون

مرشح دقيق: 1 ميكرون

# ملخص عمليات معالجة المياه

## التناضح العكسي (Reverse Osmosis)

**حقن مانع ترسب**
**(Antiscalant)**

لمنع تكون القشور (scaling) على سطح الأغشية نتيجة لترسيب أملاح مثل كربونات الكالسيوم، كبريتات الكالسيوم، فوسفات الكالسيوم، هيدروكسيد الماغنسيوم، كبريتات الباريوم، كبريتات الاسترنشيوم، بالإضافة إلى السيليكا.

**مضخة**
**ضغط عالي**

**خزان**
**المياه الراجعة**
Reject Water

# ملخص عمليات معالجة المياه

## ضبط الأملاح الصلبة المذابة (TDS)

تنخفض نسبة إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) بعد عملية التناضح العكسي (RO) إلى قيمة تتراوح بين 10 – 20 ملجم/لتر، وحيث أن المواصفات القياسية اليمنية لمياه لشرب المعبأة قد حددت قيمة تتراوح بين 100 – 600 ملجم/لتر، يلزم ضبط قيمة إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS)، ويتم ذلك عن طريق إعادة ضبط العناصر المعدنية الأساسية مثل إضافة ملح، أو إعادة المعادن بعد وحدة التناضح العكسي مثل معدن الكالسيت ($CaCO_3$) أو الدولومايت ($MgCO_3.CaCO_3$) في صورة مرشحات، أو إضافة قطرات معدنية (Trace Mineral Drops).

من المياه الداخلة إلى وحدة (RO)

إعادة ضبط العناصر المعدنية الأساسية

مرشح مستدق: 0.1 ميكرون

# ملخص عمليات معالجة المياه

التعقيم
(Disinfection)

المنتج النهائي

UV

المياه بعد ضبط (TDS)

or

Ozon

ضبط (pH)

حقن حمض ( HCl or $H_2SO_4$) أو قاعدة (NaOH) بحسب قيمة الرقم الهيدروجيني

# NEXT WEEK

## LECTURE (7)

# Wastewater Treatment