الفصل الثامن عشر

ميكروبيولوجيا الماء

• مصادر تلوث الماء بالميكروبات • الاعتبارات الميكروبية • البكتيريا المستخدمة كدلائل على تلوث المياه بالممرضات • تطهير المياه

يحتل الماء مكانا بارزا في حياة الإنسان، وهو مثل باقي الكائنات الحية لا يستطيع البقاء بدون الماء، وهذا مصداق لقوله تعالى ﴿ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾ ﴾ وجعلنا من الماء كل شيء حي". يحتاج الإنسان في المتوسط يوميا حوالي ٢-٣ لترات. وتتعدد مصادر الماء في العالم وتشمل الأنهار، والينابيع، والعيون، والبحيرات، والمياه الجوفية، ومياه البحر المحلاة. وتختلف جودة المياه حسب المصدر وحسب المعالجة التي يخضع لها الماء قبل استهلاكه. ويزيد من أهمية الماء في حياتنا أنه عرضة للتلوث من شتى مختلف مصادر التلوث فتتأثر جودته وسلامته ومن ثم مدى صلاحيته للشرب من قبل الإنسان. وتلعب الملوثات البيولوجية دورا هاما بالنسبة لسلامة الماء؛ ولهذا ارتبط الماء على مر العصور بأوبئة خطيرة في شتى أصقاع المعمورة راح ضحيتها أعداد مهولة أحيانا. ولا يزال الماء إلى اليوم يتسبب في الكثير من الأوبئة لآلاف من البشر في إفريقية وآسيا وأمريكا اللاتينية، عندما لاتتوفر المعالجة السليمة، ولاسيما عملية تطهير المياه من الميكروبات الممرضة.

مصادر تلوث الماء بالميكروبات

الإنسان

يعتبر الإنسان مأوى طبيعيا Natural habitat للكثير من الميكروبات التي تتخذ من القناة الهضمية مأوى لها. ويصل عدد البكتيريا في البراز إلى أكثر من مئات الملايين/جم براز. كما أن الإنسان يؤوي بعض الميكروبات على جسمه وملابسه وأدواته وفي إفرازاته. هذا علاوة على أن الإنسان عرضة للإصابة بالعديد من الأمراض التي تسببها ميكروبات مختلفة يمكن أن تنتقل إلى إنسان آخر عن طريق المياه. وتعتبر المخلفات البرازية للإنسان من أهم مصادر تلوث مياه الشرب ومن أخطرها. ومن الأمراض التي يمكن أن تنقل مسبباتها عن طريق المياه إلى الإنسان ما يلي:

١- الكوليرا (الهيضة) Cholera.

٢- العدوى السالمونيلية.

٣- حمي التيفوئيد.

٤- الزحار الباسيلي (المتسبب ببكتيريا شيجلا *Shigella*).

٥- الزحار الأميبي.

٦- العدوى الجاردية *Giardia lamblia*.

٧- شلل الأطفال.

٨- التهاب الكبد الوبائي (أ).

ولحماية مياه الشرب من التلوث بمسببات الأمراض يتبع ما يلي:

١- الكف عن عادة الاستحمام في مصادر المياه.

٢- الكف عن عادة التبرز في الخلاء.

٣- إبعاد الأشخاص المصابين عن محطات معالجة المياه.

٤- معالجة فضلات الإنسان بطريقة صحية.

٥- تطهير مياه الشرب.

مياه الصرف الصحي (المجاري)

تحتوي مياه المجاري على العديد من الميكروبات ولاسيما مياه الصرف الصحي غير المعالجة حيث يصل عدد البكتيريا إلى 10^9/جم معظمها من بكتريا القولون التي ترتبط بالمخلفات البرازية والتي لا يرغب في وجودها في الماء أبداً ؛ لأن وجودها قد ينبئ عن وجود ميكروبات ممرضة كالسالمونيلا *Salmonella*. ولقد وجد في إحدى الدراسات أن حوالي ٩٥٪ من عينات مياه الصرف الصحي تحتوي على بكتيريا السالمونيلا الممرضة. هذه المياه إذا اختلطت بمياه الشرب فإنها تؤدي إلى تلوثها بغزارة.

ومن الميكروبات الممرضة التي يمكن أن تنتقل من مياه الصرف الصحي :

١- السالمونيلا (النزلات المعوية) *Salmonella* spp.

٢- السالمونيلا (حمى التيفوئيد) *Salmonella typhi*.

٣- بكتيريا الكوليرا *Vibrio cholerae* .

٤- شيجلا *Shigella* المسبب للزحار البكتيري (الباسيلي).

٥- فيروس الشلل *Polio virus*.

٦- فيروس التهاب الكبد الوبائي (أ).

٧- طفيل الأميبا المسبب للزحار (الزحار الأميبي) *Entamoeba histolytica*.

٨- طفيل الجيارديا.

وللحد من تلوث المياه من مياه الصرف الصحي يتبع ما يلي :

١- معالجة مياه الصرف الصحي.

٢- إيجاد شبكة لتصريف مياه الصرف الصحي وصيانتها جيداً.

٣- إبعاد شبكة مياه الصرف عن شبكة مياه الشرب.

٤- تنفيذ خزانات مياه الشرب بطريقة تكفل عدم تلوثها منها.

٥- استخدام الكلور لتعقيم مياه الشرب كإجراء وقائي، وتعقيم مياه الصرف بعد معالجتها.

التربة

من المعروف أن التربة مأوى للعديد من الكائنات الحية الدقيقة أي أنها تتخذ منها مأوى طبيعيا لها Natural habitat. وكلما كانت التربة غنية بالعناصر الغذائية والمواد العضوية وكلما كانت رطبة كانت مصدراً جيداً للتلوث. ويتراوح عدد البكتيريا في التربة (السطحية) ما بين أعداد قليلة جداً إلى مئات الملايين بالجرام الواحد. ولهذا فإن التربة يمكن أن تكون مصدراً مهما لتلوث مياه الشرب. أما التربة في الأعماق البعيدة كما هي الحال بالنسبة للمياه الجوفية العميقة فإنها في هذه الحالة تعمل كمرشح. ولهذا فإن هذا النوع من المياه يمتاز بقلة محتواه من الأعداد الميكروبية مادام التكوين المائي Aquifer يحافظ عليه من التلوث.

الهواء

الهواء في الأصل ليس بيئة لإيواء الميكروبات ؛ لأنها تحتاج إلى متطلبات بيئية ليست متوفرة في الهواء ولكن الهواء يمكن أن يعمل كوسط ناقل حيث توجد فيه الميكروبات بشكل مؤقت. وترتبط التشكيلة الميكروبية Microflora للهواء بنوع النشاط المحيط ؛ فالهواء القريب من محطات معالجة مياه الصرف الصحي سيكون مشبعاً ببكتيريا

القولون البرازية Coliforms بينما الهواء المحيط بالمخابز سيكون مشبعاً بالأعفان Molds والخمائر Yeasts... وهكذا. وفي حالة تعرض الماء للهواء يتلوث الماء من الهواء ويعتمد ذلك على نوعية الميكروبات الموجودة في الهواء وعددها.

الحيوانات

يتخذ العديد من الميكروبات من الحيوانات مأوى طبيعي لها ولا سيما في القناة الهضمية حيث يصل عدد الميكروبات في المخلفات البرازية إلى مئات الملايين لكل جرام براز، وعلاوة على ذلك فإن الحيوان أيضاً عرضة للتلوث من البيئة الخارجية من التربة، ومن السماد، ومن الأعلاف، ومن الإنسان ... إلخ؛ مما يجعل الأجزاء الخارجية منه محملة بالميكروبات كما هو الحال في الشعر والأظلاف والجلد .. الخ. وفوق هذا كله فإن الحيوان عرضة للإصابة بالعديد من الميكروبات التي يمكن أن تنتقل للإنسان وتسبب له أمراضاً مختلفة مثل: السل، والحمى المالطية، وحمى Q، والحمى الخبيثة، والنزلات المعوية.

ولهذا فإن ملامسة الحيوان للماء أو وصول مخلفاته إليه يؤدي إلى حدوث تلوث للماء لا محالة، وعليه يلزم اتباع ما يلي من الاحتياطات لتجنب تلوث الماء من الحيوان:

١- عدم تغسيل الحيوانات في مصادر مياه الشرب.

٢- إبعاد مخلفات الحيوان عن المياه والتخلص منها بطريقة سليمة.

٣- عزل الحيوانات المريضة.

٤- التثبت من استخدام مشارب خاصة للحيوانات.

الحشرات

تؤوي الحشرات العديد من الميكروبات بداخلها وعلى أجسامها، ومن ثم يمكن أن تكون مصدراً لتلوث المياه، وفي هذا الخصوص تجدر الإشارة إلى أن الحشرات التي قد تتخذ من البيارات وشبكات الصرف الصحي مأوى لها، كالصراصير بمختلف أنواعها، يمكن أن تكون مصدراً من مصادر تلوث خزانات مياه الشرب بنوعية خطيرة من البكتيريا والفيروسات؛ ولذا تبدو أهمية الحفاظ على الخزانات من التلوث واضحة وكذلك أهمية مكافحة الحشرات في المنشآت الغذائية والبيوت.

الاعتبارات الميكروبية Microbiological Aspects

يمكن أن يكون الماء وسطاً للعديد من الميكروبات، وخاصة بكتيريا الكبريت، والحديد وبعض مكونات الجراثيم Spore formers خاصة منها تلك البكتيريا التي تتخذ من التربة مأوى لها، مثل *B. subtilis*. وتجدر الإشارة إلى أن الميكروبات المرضية Pathogens ليست جزءاً من التشكيلة الميكروبية Flora الطبيعية للماء تحت الظروف الاعتيادية، ولكنها قد تكون موجودة في الماء نتيجة التلوث.

تختلف نوعية المياه من الناحية الميكروبيولوجية، ومن الناحية المثالية فإن المياه يجب ألاّ تحتوي على أي ميكروب يعتبر ضارا من الناحية الصحية Pathogen. كما يجب أن يكون خالياً من أي ميكروب يدل على تلوث من المخلفات البرازية Indicators of faecal pollution. ولهذا السبب فإنه يلزم أن يتم اختبار المياه بصفة مستمرة للتثبت من خلوها من الميكروبات الضارة. ومن المعروف أن التلوث البرازي Faecal contamination للماء يمكن أن يجلب العديد من الميكروبات الممرضة لمياه الشرب ومن ذلك:

بكتيريا Bacteria

Salmonella و *Shigella* و Enteric *Escherichia coli* EEC و *Leptospirosis*

و *Campylobacter* و *Francisella tularensis* مسببة العدوى التولاريمية Tularemia.

فيروسات Viruses

Hepatitis A وفيروسات معوية Enteroviruses أخرى Enteric Poliomylitis

أحيانا و *Coxsackie* و ECHO.

طفيليات Parasites

Amoebic dysentery و *Giardia lamblia* وNematoda Roundworms و

Schistosomiasis (bilharziasis) و البلهارسيا Helminthes Tapeworms & flukes

وتسببها *Chistosoma*.

ولهذا فبالرغم من أن العدد الكلي يستحب أن يكون قليلاً ما أمكن إلا أن نوعية البكتيريا تلعب دوراً كبيراً في تحديد مدى صلاحية الماء ؛ ولهذا كانت هذه البكتيريا التي تنتقل عن طريق مخلفات الإنسان هي الطريقة المثلى للحكم على صلاحية الماء. ولهذا السبب فإن اختبار بكتيريا القولون من الاختبارات المهمة المستعملة لهذا الغرض. والأساس في هذا يبنى على افتراض أن وجود أحد أفراد بكتيريا القولون مثل *E.coli* يعطي دلالة على تلوث الماء بمخلفات الإنسان ومن ثم احتمال وجود أي من الممرضات المعوية Enteric bacteria مثل *Salmonella*.

البكتيريا المستخدمة كدلائل على تلوث المياه بالممرضات

نظراً لأن البكتريا الممرضة Pathogenes توجد عادة في الماء بأعداد قليلة فإنه بدلاً من الكشف عنها بصعوبة لقلتها ولكثرة أنواعها فإنه استعيض عنها بما يعرف بالدلائل

Indicators والتي يكتفى بالكشف عنها للاستدلال على وجود الممرضات. هذه الميكروبات المستخدمة يجب أن تتوافر فيها ما يلي:

١- أن توجد دائماً حينما توجد الممرضات وبأعداد أكثر منها.

٢- ألاّ تتكاثر في الماء بمعدل أكبر من الممرضات.

٣- أن تستطيع البقاء حية في البيئة المائية فترة معقولة.

٤- أن تقاوم فعل المطهرات نسبياً.

٥- أن يكون من السهل الكشف عنها وأن يكون من السهل تنميتها في البيئات المعملية.

٦- أن يكون من السهل تنميتها منفردة باستخدام بيئة انتقائية.

٧- ألاّ توجد في الماء بشكل طبيعي.

ومن البكتيريا المستخدمة لهذا الغرض:

بكتيريا القولون (مجموعة القولون) Coliform Bacteria

تعرف بكتيريا القولون على أنها أي بكتيريا عصوية Rod-shaped غير مكونة للجراثيم Non-spore forming، سالبة لصبغة جرام Gram negative، سالبة الأكسديز وتنمو في وجود أملاح الصفراء والمواد ذات النشاط السطحي الأخرى ذات الأثر التثبيطي عادة. وتخمر اللاكتوز عند ٣٥°م أو ٣٧°م مع إنتاج حامض وغاز خلال ٢٤-٤٨ ساعة.

البكتيريا التي لها نفس الخواص عند درجة حرارة ٤٤,٥°م يطلق عليها بكتيريا القولون البرازية أو المتحملة للحرارة Thermotolerant. أي أن بكتيريا القولون البرازية هي التي تخمر اللاكتوز والمواد الأخرى كالمانيتول عند ٤٤,٥°م مع إنتاج الحامض والغاز والتي تكون الإندول من التربتوفان.

لقد كان العدد الكلي لبكتيريا القولون Total coliform هو المستعمل ولكن وجد أن بعضها ليس ذا أصل برازي، ووجد في بعض الحالات أنه توجد بعض الممرضات في الوقت الذي لم توجد فيه بكتيريا القولون، كما أن بعضها يمكن أن تتكاثر في المياه الطبيعية.

ولهذا وجد أن استعمال بكتيريا القولون البرازية Faecal coliform وهي ايشريشيا كولاي *Escherichia coli* تعطي دلالة أكثر دقة على التلوث البرازي نظراً لارتباطها الدائم بالمخلفات البرازية للإنسان أو الحيوان.

البكتيريا العنقودية (السبحية) البرازية Faecal Streptococci

وتصلح أكثر في المناطق الباردة أو المعتدلة ولكن يعاب عليها أنها لا تبقى حية لفترة طويلة في المياه العذبة ولهذا يستدل من وجودها على حدوث تلوث حديث. ومن النسبة بين بكتريا القولون البرازية والعنقودية السبحية FC:FS يمكن الاستدلال على ماهية التلوث فإذا كانت النسبة أكثر من أربعة فهذا يدل على حدوث تلوث بمياه المجاري، وفيما أقل من ٠.٦ تدل على حدوث تلوث حديث كالذي يحدث للمياه السطحية عند تعرضها لعاصفة رملية.

كلوستريديوم بيرفرنجنس Clostridium perfringens

اقترحت كبديل لبكتيريا القولون البرازية ولاسيما في المناطق الباردة حيث يعتقد بوجود مواد سامة في الماء ؛ إذ تنقل العينة لمسافة طويلة أي عندما يستلزم ذلك أكثر من ١٢ ساعة.

ومن البكتيريا الأخرى أيضاً *Bifidobacterium* sp. التي لا توجد إلا في القناة الهضمية أصلاً.

تطهير المياه

الكلورة Chlorination

إضافة الكلور إلى ماء الشرب من الأشياء واسعة الانتشار الأمر الذي يصعب معه تصور مدى خطورة تلوث المياه بدونه .مع أنه ولسوء الحظ، لا يزال انتشار الأمراض عن طريق الماء ظاهرة عامة في بعض البلدان وخاصة الكثير من دول إفريقية وبعض من دول آسيا وأمريكا اللاتينية.

وهو أهم المواد المستخدمة في التعقيم ويمكن استخدامه في عدة صور؛ إذ يمكن استخدامه كغاز كلور Cl_2، أو هيبوكلورايت أو ثاني أكسيد الكلور، أو كلورامين

$$Cl_2 + H_2O \xrightleftharpoons{\text{Hydrolyzation}} HOCl + H^+ + Cl^-$$

$$HOCl \xrightleftharpoons{\text{ionization}} H^+ + OCl^-$$

$$Ca(OCl_2) + H_2O \rightleftharpoons Ca^{++} + P_2O + 2OCl^-$$

$$OCl^- + H^+ \rightleftharpoons HOCl$$

وبالنسبة للكلورايد:

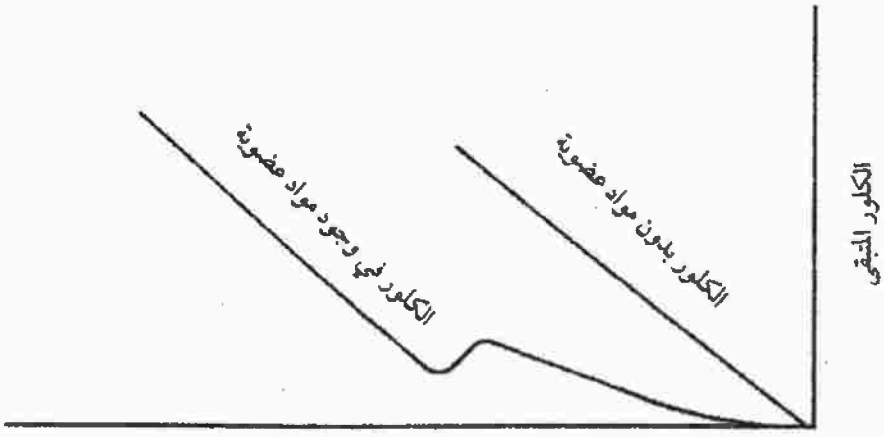
$$HOCl + NH_3 \rightleftharpoons NH_2Cl + H_2O \text{ (Monochloramine)}$$

$$NH_2Cl + HOCl \rightleftharpoons NHCl_2 + H_2O \text{ (Dichlorimine)}$$

تجدر الإشارة إلى أنه يكفي ٠,٢ جزءاً بالمليون من الكلور المتبقي لضمان القضاء على البكتيريا المرضية، أما الفيروسات المعوية Enteric viruses فيحتاج الأمر إلى جزء واحد بالمليون.

ما هو المقصود بالكلور المتاح أو الحر Available chlorine والكلور المتبقي Residual chlorine ؟

يقصد بذلك أن هناك جزءا من الكلور المضاف للماء لهدف التعقيم يتفاعل مع بعض المركبات العضوية الموجودة في الماء غير الميكروبات وهو مايعبر عنه بالطلب على الكلور Chlorine demand (شكل ٦٧).



الشكل رقم (٦٧). منحنى يوضح الطلب على الكلور، والكلور المتاح.

ويزداد الطلب على الكلور بوجود المواد العضوية. ومثل ذلك يحدث عند استعمال الكلور لتطهير المياه المستعملة في تنظيف المواد الغذائية وخطوط الإنتاج حيث تتوافر المواد العضوية بكثرة، ولهذا يجب مراعاة ذلك بدراسة احتياج هذه المواد العضوية من الكلور لكي نضمن تركيز متبقٍ من الكلور يكفي لعملية الإبادة.

المعاملة بالأوزون

يمكن استخدام الأوزون بتركيز ٣-٥ أجزاء بالمليون، حيث يعد الأوزون عاملا مؤكسدا قويا. كما يعتبر أكثر فعالية للقضاء على الفيروسات، ولكنه مكلف نسبيا. ويستخدم الأوزون بفعالية لتعقيم مياه الشرب المعبأة (الشكل رقم ٦٨)، حيث ليست هناك حاجة للأثر المتبقي للمطهر. أما في حالة ما يكون هناك حاجة لهذا الأثر كما هو الحال بالنسبة لإمدادات المدن، لحماية الماء من التلوث الطارئ أثناء مرور الماء في الشبكة في طريقه للمستهلك؛ فحينئذٍ يكون الكلور هو المطهر المناسب؛ لأنه يعمل على حماية الماء، مادام تركيزه أعلى من ٠,٢ جزءاً بالمليون.

الشكل رقم (٦٨). ماء معبأ معالج بالأوزون لتعقيمه.

مياه الشرب

لكي يكون الماء صالحاً للشرب ينبغي ألاَّ يزيد العدد الكلي عن ٥٠٠ ميكروب/مل. وحسب مواصفات منظمة الصحة العالمية يجب ألاَّ يزيد عدد بكتيريا القولون عن ١/١٠٠مل في ٩٠٪ من العينات، كما يجب ألا يزيد عدد بكتريا القولون في كل العينات عن ١٠/١٠٠مل بأي حال من الأحوال. أما في أمريكا فإنه يجب ألاَّ يزيد عن ٢,٢/١٠٠مل إذا ما أجري العد بطريقة العد التقريبية MPN.

وتنص المواصفات القياسية السعودية لمياه الشرب على أن تكون مياه الشرب المعبأة وغير المعبأة خالية من الميكروبات المرضية والميكروبات الغائطية، والفيروسات التي قد تسبب ضررا للصحة العامة، وذلك حسب الاختبارات المذكورة في مواصفة طرق الاختبار الميكروبيولوجية للمياه. وهي على النحو التالي:

- أن تكون الحدود القصوى للتلوث ببكتيريا المجموعة القولونية كما يلي:

المياه المعالجة

١- ألا يحتوي ٩٠٪ من عينات المياه المفحوصة خلال أي سنة على بكتيريا المجموعة القولونية، أو أن يقل العدد الأكثر احتمالاً في ٩٠٪ من عينات المياه المفحوصة عن ١ (واحد)، أو ألا تعطي أي من العينات عدداً أكثر احتمالاً يزيد على عشرة، وألا يظهر عدد أكثر احتمالاً بين ٨ و ١٠ في عينات متتالية. وعند فحص خمسة أنابيب كل منها يحتوي على ١٠مل من العينة فيجب ألا تعطي ثلاثة من الأنابيب الخمس نتيجة موجبة (عدداً أكثر احتمالاً ٩,٢) في عينات متتالية.

٢- أن يقل المتوسط الحسابي لأعداد بكتيريا المجموعة القولونية عن واحد لكل ١٠٠مل في عينتين متتاليتين أو أكثر من ١٠٪ من العينات المختبرة، وذلك عند استخدام طريقة الترشيح الدقيق.

المياه غير المعالجة

١- أن يقل العدد الأكثر احتمالاً للمجموعة القولونية في ٩٠٪ من العينات المفحوصة خلال أي سنة عن عشرة، وألا يزيد العدد الأكثر احتمالاً لأي عينة منفردة على عشرين. ويجب ألا يسمح بعدد أكثر احتمالاً يزيد على ١٥ أو أكثر في عينات متتالية.

٢- ألا تعطي أربعة عينات من الأنابيب الخمس التي تحتوي كل منها على ١٠ مل من العينة نتيجة موجبة (عدد أكثر احتمالاً ١٦) في عينات متتالية.

٣- ألا يزيد المتوسط الحسابي لأعداد بكتيريا المجموعة القولونية على ١٥ لكل ١٠٠مل، ولا يزيد على ٢٠ لكل ١٠٠مل في أي عينتين متتاليتين، أو في أكثر من ١٠٪ من مجموع العينات المختبرة، وذلك عند استخدام طريقة الترشيح الدقيق.