# 4. أخذ عينات المياه وتحليلها

في الأحوال المثالية ينبغي إنشاء بنية مخبرية تحتية تمكّن من إعادة كل العينات إلى المختبر المركزي أو الإقليمي خلال بضع ساعات بعد أخذها. غير أن هذا يتوقف على توافر شبكة طرق جيدة ووسائل نقل آلية يُعوّل عليها لآخذي العينات، وهذا أمر لا يتوافر في كثير من البلدان. ولذلك، وعلى الرغم من إمكانية إنشاء مختبرات مركزية أو حتى إقليمية مجهزة بمعدات جيدة لتحليل المياه، فقد يكون مما لابدّ منه على مستوى الأقاليم أو المناطق أن تعتمد تلك الشبكة على عدد ضئيل نسبياً من الاختبارات البسيطة. وكما ذكر في الفصل الأول، فإن هذا الأسلوب يسمى أحياناً بالمتتابعة الحرجة لاختبار المياه.

وأهم العوامل التي يجب أن نضعها في الاعتبار هو أن الخطر الرئيسي على صحة الإنسان يأتي في معظم المجتمعات من التلوث البرازي. وفي بعض البلدان يمكن أن تكون هناك مخاطر مرتبطة بتلوث كيميائي معين مثل الفلوريد أو الزرنيخ، ولكن ليس من الراجح أن تتغير مستويات هذه المواد تغيراً كبيراً بمرور الوقت. ولذلك فإذا كان هناك سلسلة كاملة من التحليلات الكيميائية يتم إجراؤها على مصادر المياه الجديدة وتتكرر بعد ذلك على فترات متباعدة إلى حد ما، فلن يكون من الراجح أن تمثل الملوثات الكيميائية أحد المخاطر التي لم يجر التعرف عليها. وعلى النقيض من ذلك، يعد احتمال وجود التلوث البرازي في إمدادات المياه غير المعالجة أو المعالجة بصورة غير كافية احتمالاً قائماً دائماً. ولذلك يجب أن يتضمن الحد الأدنى للتحليل اختبار مؤشرات التلوث البرازي (القولونيات البرازية المتحملة للحرارة) والعكر، ومتبقي الكلور، والباهاء pH (إذا كانت المياه مطهرة بالكلور).

وحتى في البلدان النامية التي تقل فيها خدمات الطرق والنقل، يمكن في العادة وضع إستراتيجية عقلانية لأخذ العينات وتحليلها. وينبغي أن يشتمل هذا على مجموعة مختارة بعناية من اختبارات المتتابعة الحرجة في المناطق النائية (الريفية عادة) وذلك باستخدام طرائق بسيطة ومعدات متنقلة لاختبارات المياه حيثما كان ذلك ملائماً (أنظر ص 65 ــ 66). وينبغي إشراك المجتمع المحلي في عملية أخذ العينات، وإذا كانت المياه مطهرة، يمكن تدريب العاملين في الرعاية الصحية الأولية، ومعلمي المدارس، و أفراد المجتمع أحياناً على تنفيذ الاختبارات البسيطة على متبقي الكلور. ويستطيع هؤلاء أنفسهم أيضاً جمع عينات من أجل التحليل الفيزيائي الكيميائي وإعدادها لتسليمها إلى المختبر الإقليمي. على أن استخدام أفراد المجتمع المحلي بهذه الطريقة ينطوي على مضامين لها أهميتها بالنسبة إلى التدريب والإشراف إضافة إلى أنه سيكون أحد الطرق لضمان تغطية بالترصد أكثر اكتمالاً.

## 4.1 أخذ العينات

الدلائل المقدمة هنا تضع في الاعتبار الخبرة في برامج الترصّد في المناطق النائية ذات النمط الريفي والمجتمعات الواقعة في ضواحي المدن. ويوجد المزيد من النصائح العامة حول أخذ

العينات أوردناهـا في المجلـد الأول وفي معايير المنظمـة الدوليـة للتقييس ISO (أنظر قائمـة المراجع).

## 4 ـ 1 ـ 1 تحديد مواقع أخذ العينات

يتمثل أحد أغراض الترصد في تقييم نوعية المياه المقدمة عن طريق هيئة الإمداد وتقييم المياه في نقطة استخدامها، ولذلك فلابدّ من أخذ العينات من كليهما. وأي اختلاف بين هاتين النوعيتين ينطوي على مضامين هامة من ناحية الاستراتيجيات العلاجية.

ولابدّ أن تؤخذ العينات من مواقع لها سمة تمثيلية بالنسبة لمصادر المياه، ومحطة المعالجة، ومرافق التخزين، وشبكة التوزيع، ومن النقاط التي يتم عندها إيصال المياه للمستهلك ومن نقاط الاستخدام. وينبغي، عند اختيار نقاط أخذ العينات، أن ينظر إلى كل موقع بمفرده، وعلى كل حال فالمعايير العامة التالية هي التي يمكن تطبيقها عادة:

- ينبغي اختيار نقاط أخذ العينات بحيث تكون لها سمة تمثيلية بالنسبة للمصادر المختلفة التي يحصل منها عامة الناس على المياه، أو تدخل المياه نظام التوزيع.
- ينبغي أن تشتمل هذه النقاط على النقاط التي تعطي العينات التمثيلية بالنسبة للأحوال السائدة في الأماكن والمصادر الأكثر حرمانًا في نظام الإمداد، ولا سيما نقاط التلوث المحتملة في المصادر غير المحمية وحلقات الوصل والمستودعات ومناطق الضغط المنخفض ونهايات النظام ... إلخ.
- ينبغي أن تكون نقاط أخذ العينات موزعة توزيعاً نظامياً على نظام أنابيب التوزيع بأسره وأن يوضع في الاعتبار توزيع السكان، وينبغي أن يتناسب عدد نقاط أخذ العينات مع عدد الوصلات أو التفريعات.
- ينبغي أن تعطي النقاط المختارة عينات لها سمة تمثيلية بالنسبة للنظام ككل ولمكوناته الرئيسية.
- ينبغي أن تكون نقاط أخذ العينات في مواقع يمكن عندها أن تؤخذ عينات الماء من الأحواض الاحتياطية أو المستودعات ... الخ.
- في النظم التي تعتمد على أكثر من مصدر للمياه، ينبغي أن يُبنى تحديد مواقع أخذ العينات على عدد السكان الذين يخدمهم كل مصدر من هذه المصادر.
- لابد من وجود نقطة واحدة على الأقل لجمع العينات مباشرة بعد مخرج المياه النظيفة من كل محطة معالجة.

ويمكن تصنيف مواقع أخذ العينات في شبكة مواسير التوزيع كالتالي:

- ثابتة ومتفق عليها مع هيئة الإمداد،
- ثابتة، وغير متفق عليها مع هيئة الإمداد، أو
- عشوائية أو متغيرة.

ولكل نمط من مواقع أخذ العينات مزايا وعيوب معينة. فالمواقع الثابتة المتفق عليها مع جهة الإمداد ضرورية إذا اقتضى الأمر اللجوء إلى الإجراءات القانونية باعتبارها وسيلة لضمان التحسين، وإلا فقد تعترض هيئة الإمداد على نتيجة العينة على أساس أن نوعية

المياه يمكن أن تكون قد تدهورت في المنازل أي فيما وراء نطاق مسؤوليتها. ومع ذلك فالنقاط الثابتة لأخذ العينات نادرة أو غير معروفة في بعض الأقطار.

أما المواقع الثابتة التي لا تلتفت إليها هيئة الإمداد بالضرورة فتستخدم مراراً في التحرّيات بما في ذلك الترصد. وتعد مفيدة بصفة خاصة عندما تكون هناك ضرورة لمقارنة النتائج مع مرور الزمن، ولكنها تحد من إمكانية استعراف المشكلات المحلية مثل التوصيلات المتصالبة والتلوث من خلال التسرب في شبكات التوزيع.

وتتميّز نُظم أخذ العينات باستخدام مواقع متغيرة أو عشوائية بأن احتمال كشفها عن المشاكل المحلية احتمال أكثر رجحاناً ولكنها أقل فائدة بالنسبة للتغيرات التحليلية على مدى الزمن.

## 4 ـ 1 ـ 2 تواتر أخذ العينات

تتمثل أكثر الاختبارات أهمية في ترصد نوعية المياه أو مراقبة الجودة في المجتمعات المحلية الصغيرة في اختبارات النوعية الميكروبيولوجية (بمقياس البكتريا الدالّة) والعكر ومتبقيّ الكلور الحر والباهاء pH حيث تستخدم الكلورة. وهذه الاختبارات ينبغي تنفيذها كلما أخذت عينة من العينات، بصرف النظر عن عدد المتغيرات الفيزيائية أو الكيميائية المطلوب قياسها. وقد أوردنا في الجدول 4 ـ 1 موجزاً للحد الأدنى الذي يوصى به من تواتُرات هذه القياسات الحرجة لإمدادات المياه التي لا تجري في المواسير. وأوردنا في الجدول 4 ـ 2 الحد الأدنى لعدد العينات التي تؤخذ من أجل مياه الشرب الجارية في شبكة التوزيع بالأنابيب.

## 4 ـ 1 ـ 3 طرائق أخذ العينات من أجل التحليل الميكروبيولوجي

أوردنا في الملحق رقم 4 تفصيلاً لطرائق أخذ العينات لأغراض التحليل الميكروبيولوجي. وينبغي أن تكون كل العينات مرفقة باستمارة جمع مناسبة، ويعرض الشكل 4 ـ 1 استمارة نموذجية لجمع العينات.

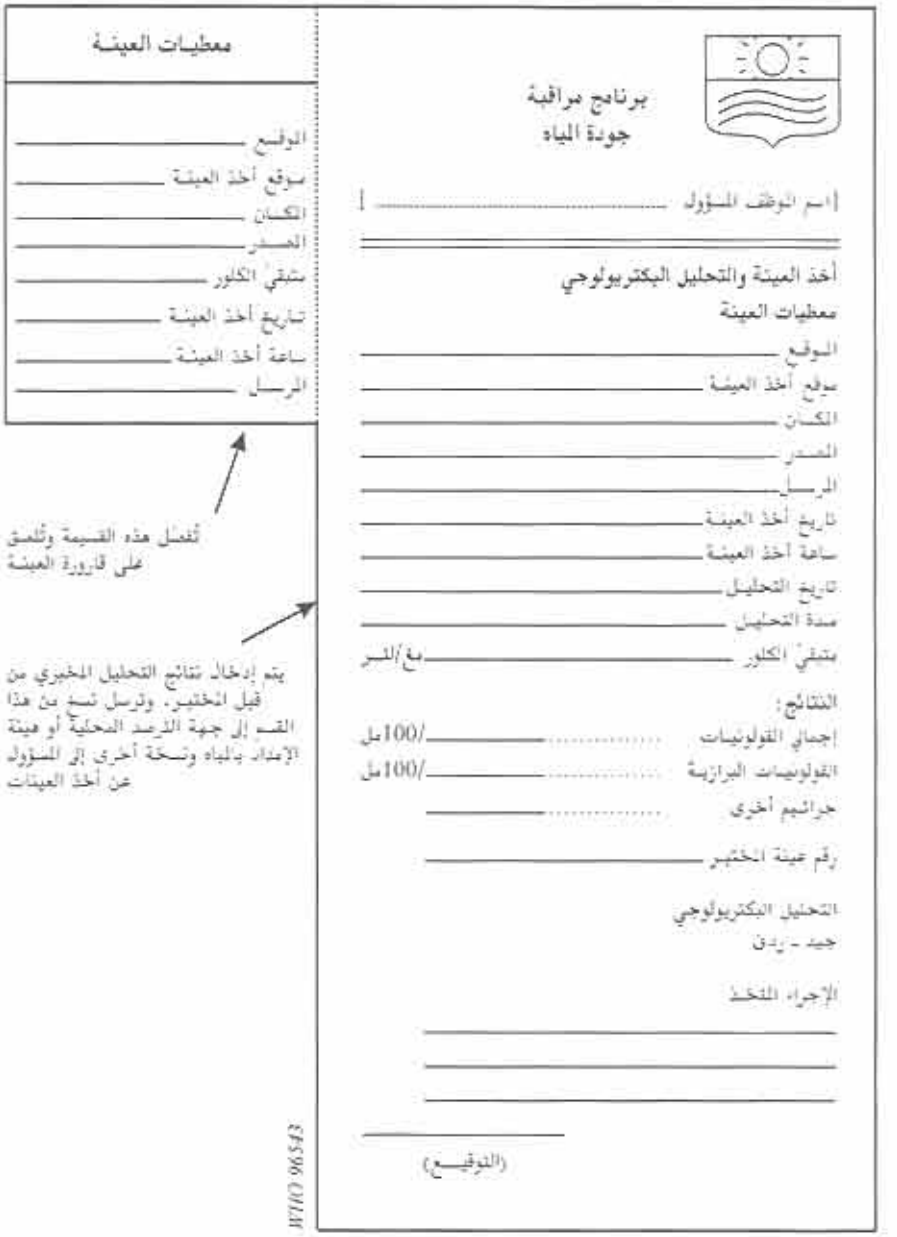
## 4 ـ 1 ـ 4 تخزين العينات من أجل التحليل الميكروبيولوجي

على الرغم من أن التوصيات تتنوّع فإن الوقت الفاصل بين أخذ العينة والتحليل لا يجوز (عموما) أن يزيد على 6 ساعات، ويعتبر 24 ساعة بمثابة الحد الأقصى المطلق. ومن المفترض أن توضع العينات مباشرة في صندوق عازل للضوء يحتوى على ثلج آخذ في الذوبان أو عبوات ثلجية مع الماء لضمان سرعة التبريد. فإذا لم يوجد الثلج، فمن الواجب أن لا تتجاوز مدة النقل ساعتين. ولابدّ أن تحفظ العينات في الظلام وأن يكون التبريد سريعا. فإذا لم تتحقق هذه الشروط وجب نبْذ العينات. وإذا أخذت عينة من المياه التي تحتوي أو قد تحتوي حتى على آثار زهيدة من الكلور، ينبغي العمل على تعطيلها. وإذا لم تكن معطلة فسوف تقتل الميكروبات أثناء النقل وتكون نتيجة التحليل غير صحيحة. ولذلك ينبغي أن تحتوي الزجاجات التي وضعت بها العينات على ثيو سلفات الصوديوم لاستعدال أي كلور موجود بالمياه على نحو ما هو موضح في الملحق (4). ويجب تنظيف الصندوق المستخدم في حمل العينات (كما هو موضح في الشكل 4 ـ 2) وتطهيره بعد كل استخدام لتحاشي تلوث أسطح الزجاجات وأيدي آخذي العينات.

الجدول 4 ـ 1 الحد الأدنى لتواتر أخذ العينات من المياه التي لا تضخ في الأنابيب وتحليلها

| مصدر الإمداد وطرزه | الحد الأدنى لتواتر أخذ العينات وتحليلها | | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| | التحليل البكتريولوجي | التحليل الفيزيائي / الكيميائي | |
| الآبار المكشوفة لإمداد المجتمع المحلي | إجراءات الحماية الصحية، الاختبارات البكتريولوجية إذا دعت الحاجة فحسب | مرة واحدة مبدئياً | من المتوقع حدوث التلوث في العادة |
| الآبار المحفورة يدوياً والمغطاة، والآبار الأنبوبية الضحلة التي تستخدم فيها المضخات اليدوية | إجراءات الحماية الصحية، الاختبارات البكتريولوجية إذا دعت الحاجة فحسب | مرة في البدء وبعد ذلك حسب الحاجة | الأوضاع التي تقتضي الاختبار هي التالية: التغير في الأحوال البيئية، فاشية الأمراض المحمولة بالمياه أو زيادة وقوع تلك الأمراض |
| الآبار الأنبوبية العميقة التي تستخدم فيها المضخات اليدوية | مرة في البدء وبعد ذلك حسب الحاجة | مرة في البدء وبعد ذلك حسب الحاجة | الأوضاع التي تقتضي الاختبار التغير في الأحوال البيئية، فاشية المرض المحمول بالمياه أو زيادة وقوع ذلك المرض |
| الينابيع المحمية | مرة في البدء وبعد ذلك حسب الحاجة | دورياً للكشف عن متبقي الكلور في حالة كلورة المياه | الأوضاع التي تقتضي الاختبار: التغير في الأحوال البيئية فاشية الأمراض المحمولة بالمياه أو زيادة وقوع تلك الأمراض |
| نظم تجميع مياه المطر | إجراءات الحماية الصحية، والاختبارات البكتريولوجية إذا دعت الحاجة إليها فحسب | غير مطلوبة | — |

الشكل 4 ـ 1 استمارة نموذجية لجمع عينات المياه



الجدول 4 ـ 2 الحد الأدنى لأعداد العينات التي تؤخذ من نظم توزيع مياه الشرب التي تضخ بالمواسير

| الجمهرة المستفيدة | عدد العينات الشهرية |
|---|---|
| أقل من 5000 | 1 |
| 5000 ـ 100,000 | 1 لكل 5000 نسمة |
| أكثر من 100,000 | 1 لكل 10,000 نسمة + 10 عينات إضافية |

## 4 ـ 1 ـ 5 طرائق أخذ العينات للتحليل الفيزيائي ـ الكيميائي

تعتبر التحاليل الفيزيائية الكيميائية عديمة القيمة إذا كـانت العينـات المختبرة قـد جمعـت وخزنت على غير الوجه الصحيح. ولهذا عواقب هامة بالنسبة لنظم وإجراءات أخذ العينـات وطرائق حفظها وتخزينها. وعموماً ينبغي أن يكون الوقت الفاصل بين أخذ العينة وتحليلهـا محصوراً في أضيق نطاق ممكن. وأن يكون التخزين في قوارير زجاجية أو قوارير من البولي إثيلين وفي درجة حرارة منخفضة (4° سيلسيوس مثلاً) وفي مكـان مظلم. ويجـب أن تكـون قوارير العينات نظيفـة. ولكنهـا لا تحتـاج إلى التعقيم. وقـد تكـون هنـاك حاجـة إلى بعض الحوافظ من أجل بعض الحلائل (أي المواد التي يجري تحليلها) وينبغي أن يخضـع متبقي الكلور والباهاء pH والعكر للاختبـار بعـد أخـذ العينـة مباشـرة لأن هـذه سـوف تتغير أثنـاء التخزين والنقل.

## 4 ـ 2 التحليـل البكتريولوجـي

يتمثل الخطر الرئيسي على إمدادات المياه في المجتمعات الصغـيرة في الأمـراض المعديـة ذات الصلة بالتلوث البرازي. ولذلك يؤكد الفحص الميكروبيولوجي لمياه الشرب على تقييم الجـودة الصحية لنوعية المياه كما ذكرنا في الفصل الأول. وهذا يتطلب عزل وتعـداد الكائنـات الحيـة التي تشير إلى وجود تلوث برازي. ويمكن في ظروف معينة استخدام مؤشـر الكائنـات الحيـة ذاته لتقييم كفاءة محطات معالجة مياه الشرب التي تعتبر عنصراً هاماً في مراقبة الجودة. كما يمكن أن تستخدم لهذا الغرض أيضاً مؤشرات ميكروبيولوجية أخرى ليست بالضرورة مرتبطة بالتلوث البرازي.

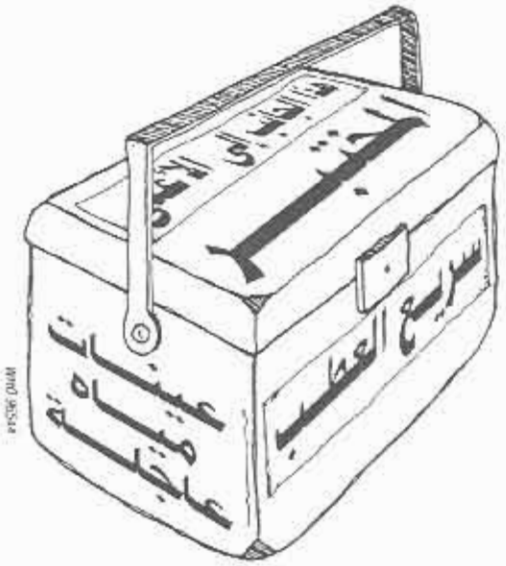
ولا ينبغي أن يتـم عـزل مُمْرضـات معينـة في الميـاه إلا في المختـبرات المرجعيـة لأغـراض الاستقصاء ومكافحة فاشيات المرض. أما في الظروف الأخرى فلا يعتبر العزل الروتيني إجراءاً عملياً.

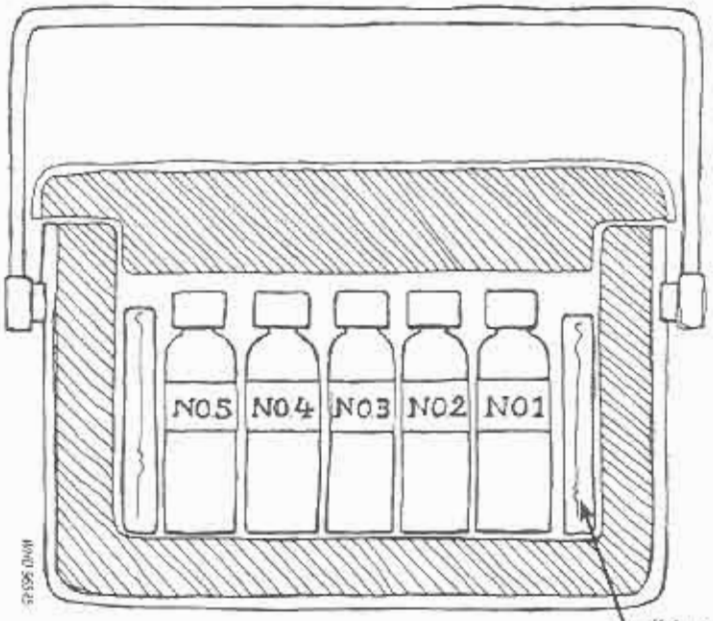
وقد أوردنا في الملحق (5) طرائـق مفصّلـة للاسـتخدام في التحليـل البكتريولوجي (طريقـة الأنابيب المتعددة)، وفي الملحق (6) طريقة استخدام الترشيح الغشائي، وفي الملحق (7) طريقـة الاختبار في الموقع، وفي الملحق (8) اختبار الإثبات أو النفي.

### 4 ـ 2 ـ 1 الكائنات الحية الدلاليّـــة

لقد تم وصف الخصـائص والاعتـداد بالنسبة للبكتريـا البرازيـة التي يكشـف عنهـا المؤشـر بالتفصيل في المجلد (1) ونلخص هذا فيما يلي:

الشكل 4 ـ 2 صندوق نقل العينات ومواد التحليل الجرثومي




عبوة ثلج
أو خليط متجمد

**الإشريكية القولونية** هي أحد أفراد عائلة الأمعائيات وتتميز باحتوائها على إنزيمي غالاكتوزيداز بيتا وغلوكورونيداز بيتا. وهي تنمو في درجات 44 ــ 45° سيلسيوس في وسط معقد، ولاكتوز الخمائر والمانيتول. وتنتج الحمض و الغاز كما تنتج الإندول من التريبتوفان. ومع ذلك، تنمو بعض السذاري منها في درجة 37° سيلسيوس بدلاً من درجة 44 ــ 45° سيلسيوس وبعضها لا ينتج غازات. **والإشريكية القولونية** لا تنتج الأوكسيداز أو يوريا الحلمهة. والاستعراف الكامل للكائن الحيّ أمر أعْتَقد من أن يدخل في الاستخدام الروتيني، ولكن تم تطوير عدد من الاختبارات السريعة من أجل الاستعراف السريع والمعوّل. وبعض هذه الطرائق تم تقييمها على المستويين الوطني والعالمي وتم قبولها في الاستخدام الروتيني، والبعض الآخر مازال تحت التطوير أو التقييم.

وتكثر **الإشريكية القولونية** في براز الإنسان والحيوانات، وقد يبلغ تركيزها في البراز الحديث $10^9$ في كل جرام. وهي موجودة في مياه المجارير والصبوبات المعالجة وكل المياه الطبيعية والأتربة المعرضة للتلوث البرازي الحديث، سواء من جهة البشر أو الحيوانات البرية أو النشاط الزراعي. وقد أشير مؤخرا إلى أن **الإشريكية القولونية** قد توجد، بل تتكاثر في المياه المدارية غير المعرّضة للتلوث ببراز الإنسان. ومع ذلك لا يمكن حتى في الأقاليم النائية استبعاد حدوث التلوث بالبراز عن طريق الحيوانات البرية بما فيها الطيور. ولمّا كانت الحيوانات يمكنها نقل المرضات المُعْدية للبشر فليس من الممكن تجاهل وجود **الإشريكية القولونية** أو البكتريا القولونية المتحملة للحرارة إذ يظل هناك افتراض مؤداه أن المياه قد تلوثت بالبراز وأن معالجتها لم تكن فعالة.

## الجراثيم القولونية المتحملة للحرارة

وهي الكائنات الحية القولونية القادرة على تخمير اللاكتوز في درجة 44 ــ 45° سيلسيوس، وهذه المجموعة تشمل جنس الإشريكية وبعض أنواع **الكليبسيلة والأمعائية والليمونية**. ويمكن أن تنشأ **القولونيات** المتحملة للحرارة، سوى الإشريكية في المياه المُخصّبة عضويا كما هو الحال في الصبوبات الصناعية أو المواد النباتية المتحللة أو التربة. ولهذا السبب لا يعد مصطلح القولونيات "البرازية" مصطلحا صحيحا، على الرغم من استخدامه المتواتر الذي ينبغي أن يتوقف.

وليس من الراجح أن تعاود الكائنات الحية القولونية المتحملة للحرارة النمو في نظام التوزيع إلا إذا وجدت قدراً كافياً من الغذيات الجرثومية، أو إذا كان يحتك بالمياه المعالجة مواد غير ملائمة، وكانت درجة حرارة المياه فوق 13° سيلسيوس مع عدم وجود أي كلور متبق.

وفي أغلب الظروف تكون لتركيزات القولونيات المتحملة للحرارة علاقةٌ مباشرة بتركيزات الإشريكية القولونية. ولذلك يعتبر استخدامها في تقييم نوعية المياه مقبولاً للأغراض الروتينية، ولكن محدوديتها فيما يتعلق بالنوعية يجب إدخالها في الحسبان دائما عند تفسير المعطيات. فإذا وجدت القولونيات المتحملة للحرارة بأعداد كبيرة مع عدم وجود مخاطر صحية يمكن الكشف عنها وجب إجراء اختبارات إضافية نوعية خاصة بالإشريكية القولونية لتأكيد وجودها. وينصح بأن تقوم المختبرات المرجعية الوطنية التي تتولى تطوير

طرائق معيارية وطنية بفحص نوعية اختبار القولونيات المتحملة للحرارة من أجل **الإشريكية القولونية** في الظروف المحلية.

ولما كانت الكائنات الحية القولونية المتحملة للحرارة يسهل كشفها فهي تلعب دوراً ثانوياً هاماً كمؤشر في كفاءة عملية معالجة المياه في إزالة الجراثيم البرازية. ولذلك يمكن استخدامها في تقييم درجة المعالجة الضرورية للمياه من نوعيات شتى وتحديد أهداف الإنجاز المتعلقة بالجراثيم.

## الكائنات الحية القولونية (إجمالي القولونيات)

ظلت الكائنات القولونية ردحاً من الزمن مؤشراً جرثومياً معترفاً به ومناسباً لنوعية مياه الشرب، ويرجع هذا بدرجة كبيرة إلى سهولة الكشف عنها وتعدادها في الماء. ويشير مصطلح **الكائنات الحية القولونية** إلى الجراثيم سالبة الجرام، على شكل قضيب وهي نوع من الجراثيم القادرة على النمو مع وجود أملاح الصفراء أو أي عمائل ذات سطح نشط وخواص مشابهة مُثَبِّطة للنمو، والقادرة على تخمير اللاكتوز في درجة 35– 37° سيلسيوس مع إنتاج الحمض، والغاز والألدهيد خلال 24 ـ 48 ساعة. وهي سالبة الأوكسيداز، وغير مكوِّنة للبوغ، كما أنها تظهر نشاطاً تجاه الغالاكتوزيداز– بيتا.

وتتمثل النظرة التقليدية إلى الجراثيم القولونية في أنها تنتمي إلى أجناس **الإشريكية والليمونية والأمعائية والكليبسيلة**. ومن ناحية أخرى نجد أن هذه المجموعة متغايرة المنشأ كما تعرِّفها طرائق التصنيف الحديثة فهي تشتمل على جراثيم تخمير اللاكتوز مثل **الأمعائية المُذرِقية والليمونية الفروبندية** *Citrobacter freundii*، التي يمكن العثور عليها في كل من البراز والبيئة (المياه الغنية بالغذيات، والتربة، والمواد النباتية المتحللة) كما توجد في مياه الشرب التي تحتوي على تركيزات عالية نسبياً من الغذيات، وكذلك في بعض الأنواع التي يندر وجودها في البراز إن وجدت على الإطلاق. وقد تتكاثر في مياه الشرب عالية الجودة نسبياً ومثال ذلك **السراتية الفونتيقة** *Serratia fonticola*،**والرابنيلة الميوعة** *Rebnella aquatilis*، **والبوتكسيلة الزعاجة** *Buttiauxella agrestis*.

إن وجود كل من الجراثيم غير البرازية (التي تنسجم مع تعريفات الجراثيم القولونية) والجراثيم القولونية السالبة للاكتوز يحد من إمكانية استخدام هذه المجموعة كمؤشر على التلوث البرازي. ومن المفروض أن لا تكون الجراثيم القولونية ممكنة الكشف عنها في إمدادات المياه المُعالَجة، فإذا وجدت، فهذا يشير إلى عدم كفاية المعالجة أو حدوث التلوث بعد المعالجة أو زيّد الغذيات. ولذا يمكن استخدام اختبار القولونيات مؤشراً على كفاءة المعالجة وكمال نظام التوزيع. على الرغم من أن الكائنات الحية القولونية قد لا تكون لها على الدوام صلة مباشرة بوجود التلوث البرازي أو المُمْرِضات في مياه الشرب، فإن اختبار القولونيات مازال مفيداً في رصد النوعية الميكروبية للمياه المعالجة التي تُضَخ في المواسير. وإذا كان هناك أي شك، وخاصة عندما توجد الكائنات الحية القولونية مع غياب القولونيات المتحَمِّلة للحرارة، **والإشريكية القولونية**، يمكن إجراء استعراف مستوى النوع أو التحاليل الخاصة بكائنات حية أخرى يكشف عنها المؤشر لاستقصاء طبيعة التلوث كما سيكون من الضروري إجراء التفتيشات الصحية.

### المكورات العقْـدية البرازية

المقصود بهذا النوع هو المكورات العقْـدية الموجودة عموماً في البراز البشري والحيواني. وكلها تحتوي على مستضدات لانسفيلد من الفئة "د" وهي تنتمي من حيث التصنيف إلى **المكورات المعوية والمكورات العقدية**. وقد تعرض تصنيف المكورات المعوية لتغييرات هامة مؤخرا، ولا تتوافر معلومات تفصيلية عن إيكولوجية العديد من الأنواع الجديدة، ويشتمل جنس **المكورات المعوية** حاليا على كل المكورات العقدية التي تشترك في خواص كيميائية حيوية معينة وهي ذات تحمل واسع النطاق لشروط النمو المعاكسة ومثال ذلك ـــ الإشريكية الطيرية *E. avium*، الإشريكية المتصفرة *E. casseliflavus*، الإشريكية الأعورية *E. cecorum*، الإشريكية الصامدة *E. duras*، الإشريكية البرازية *E. faecalis*، الإشريكية الغائطية *E. faecium*، الإشريكية الدجاجية *E. gallinarum*، الإشريكية الهلبا، *E. hirae*، الإشريكية الخبثة *E. malodoratus*، الإشريكية المندتية *E. mundtii*، والإشريكية المستوحدة *E. solitarius*. ومعظم هذه الأنواع أصلها برازي ويمكن اعتبارها على وجه العموم مؤشرات نوعية على التلوث بالبراز البشري من أجل معظم الأغراض العملية. وعلى كل حال فمن الممكن عزلها من براز (روث) الحيوانات، كما أن بعض الأنواع والنويعات مثل الإشريكية المتصفرة *E. casseliflavus*، الإشريكية البرازية المميِّعة *E. faecalis var. liquefaciens*، الإشريكية الخبثة *E. malodoratus*، والإشريكية المستوحدة *E. solitarius*، توجد على المواد النباتية في المقام الأول.

أما في جنس **المكورات العقدية** فلا يوجد مستضد المجموعة D إلاّ في المكورة العقدية البقرية *S. bovis*، والمكورة العقدية الخيلية *S. equinus*، ولذلك فهما ينتميان إلى مجموعة المكورات العقدية البرازية، وهي تنشأ بصورة رئيسية من البراز الحيواني. ومن النادر أن تتكاثر المكّورات العقدية البرازية في الماء الملوّث، كما أنها أكثر استدامة من الإشريكية القولونية والجراثيم القولونية. ولذلك تمثل قيمتها الأولى في فحص نوعية المياه في كونها مؤشرا إضافيا على كفاءة المعالجة. ويضاف إلى ذلك أن المكّورات العقدية تقاوم الجفاف وقد تكون ذات قيمة كبيرة بالنسبة للمراقبة الروتينية بعد تمديد خطوط رئيسية جديدة، أو إصلاح نظم التوزيع أو الكشف عن تلوث مياه الآبار أو المياه السطحية من جرّاء مياه السيل السطحي.

## 4 ـ 2 ـ 2 التقنيات الأساسية في التحليل

يعتبر تقييس الطرائق والإجراءات المخبرية أمراً له أهميته. وينبغي تقييم الطرائق ذات المعيار الدولي في إطار الأحوال المحلية قبل أن تتبناها رسمياً برامج الترصد الوطنية. وقد أوردنا في ثبت المراجع قائمة بطرائق المنظمة الدولية للتقييس التي تعتمد عليها جميع الطرائق الواردة في ملاحق هذا الكتاب مع بعض التعديلات كلما اقتضى الأمر، على ضوء الخبرة المكتسبة في ترصّد إمدادات المياه في المجتمعات المحلية.

وتتمثل الطرائق المستخدمة في عزل الكائنات الدالّة من المياه في طريقة الترشيح الغشائي MF أو طريقة الأنابيب المتعددة MT أو طريقة العدد الأكثر احتمالا MPN واختبارات الإثبات أو النفي.

## طريقة الترشيح الغشائي

في هذه الطريقة يتم إدخال حد أدنى من حجم العينة (أو العينة المخففة) وهو 10 مل طاهراً في مجموعة أجهزة الترشيح معقمة أو مطهرة تحتوى على مُرشّح غشائي معقم (السعة الاسمية للمسَمّ 0.2 أو 0.45 مكرومتر). كما تستخدم مُخلية يتم سحب العينة من خلال هذا المرشح الغشائي. فتُحتَبس جميع الكائنات الحية الدالة فوق المرشح أو بداخله، ويتم تحويله بعد ذلك إلى مستنبت مناسب في طبق بتري. وبعد فترة إنعاش، تتأقلم فيها الجراثيم مع الأحوال الجديدة، ينقل طبق بتري إلى حضانة ذات درجة حرارة يتم اختيارها على النحو الملائم حيث يبقى في الحضانة وقتاً مناسباً يسمح بتنسخ الكائنات الدالة. فتتشكل المستعمرات التي يمكن تمييزها بالنظر وعدّها، ويتم التعبير عن النتائج بأعداد "الوحدات المشكلّة للمستعمرة CFU) في كل 100 مل من العينة الأصلية.

وهذه التقنية غير مناسبة للمياه التي يوجد فيها مستوى للعكر قد يسد مسامّ المرشّح قبل أن يمر خلاله حجم مناسب من المياه. وعندما لا يكون هناك بد من معالجة أحجام ضئيلة من العينات (أقل من 10 مل)، ينبغي استخدام حجم كاف من مخفف معقم لبعثرة العينة قبل ترشيحها لضمان مرورها بالتساوي خلال السطح الكلي للمرشح الغشائي. وقد تكون المرشحات الغشائية باهظة الثمن في بعض البلدان.

أمّا الأحجام النموذجية للعينات من أجل أنماط المياه المختلفة فهي مبينة في الجدول 4 ـ 3. وعندما تكون نوعية المياه مجهولة كل الجهل، قد يستحسن اختبار حجمين أو أكثر لضمان أن يكون عدد المستعمرات على الغشاء ضمن المدى الأمثل للتعداد (20 ــ 80 مستعمرة على كل غشاء).

الجدول 4 ـ 3 الأحجام النمطية لعينات تحليل الترشيح الغشائي

| نمط العينة | حجم العينة (مل) |
|---|---|
| مياه شرب تمت معالجتها | 100 |
| مياه شرب عولجت جزئيا | 10 ـ 100 |
| مياه مصدر محمي أو مياه آبار محمية | 10 ـ 100 |
| مياه سطحية أو مياه من الآبار المكشوفة | 0.1 ـ 100[1] |

[1] ينبغي إضافة الأحجام التي هي أقل من 10 مل إلى جهاز الترشيح بعد إضافة 10 مل على الأقل من المخفف المعقم لضمان التبعثر الكافي للعينة على سطح المرشح الغشائي.

## طريقة الأنابيب المتعددة

يشار إلى طريقة الأنابيب المتعددة أيضاً باسم طريقة "العدد الأكثر احتمالاً" لأن هذه الطريقة تقوم ـ خلافاً لطريقة الترشيح الغشائي ـ على أساس التقييم غير المباشر لكثافة الميكروب في مياه العينة بالرجوع إلى جداول إحصائية لتقرير العدد الأكثر احتمالاً للمكروبات الموجودة في العينة الأصلية. واستخدام طريقة الأنابيب المتعددة ضروري في حالة العينات التي ترتفع فيها نسبة العكر ولا يمكن تحليلها بالترشيح الغشائي. وهذه التقنية تستخدم كثيراً في تحليل عينات مياه الشرب، ولكنها تستهلك وقتاً طويلاً، وتحتاج إلى قدر من المعدات والأوانل الزجاجية والمواد الأخرى المستهلكة أكبر مما يحتاج إليه الترشيح الغشائي. غير أن طريقة الأنابيب المتعددة يمكن أن تكون أكثر حساسية من الترشيح الغشائي.

الجدول 4 ـ 4 الأحجام النمطية للعينات وعدد الأنابيب المستخدمة في طريقة الأنابيب المتعددة

| نمط العينـــة | عدد الأنابيب مقابل الأحجام التالية من العينات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 50 مل | 10 مل | 1 مل | 0,1 مل | 0,01 مل[1] |
| مياه شرب تمت معالجتها | 1 | 5 | - | - | - |
| مياه شرب تمت معالجتها جزئياً | - | 5 | 5 | 5 | - |
| مياه مصدر محمي أو مياه جوفية محمية | - | 5 | 5 | 5 | - |
| مياه سطحية أو مياه من الآبار الكشوفة | - | - | 5 | 5 | 5 |

(1) الحجمان: 0,1 ـ 0,01 يتم اختبارهما هما بإضافة 1 مل من عينة تخفيف 1/10 و 1/ 100 على التوالي إلى 10 مل من مستنبت أحادي القوة

تعتمد طريقة الأنابيب المتعددة على التحليل المنفصل لعدد من أحجام نفس العينة. إذ يخلط كل حجم مع المستنبت أو الوسط ثم يُحْضَن. ويمكن عندئذ تقدير تركيز المكروبات في العينة الأصلية بالاستناد إلى طراز النتائج الإيجابية (عدد الأنابيب التي تُظهر نمواً في كل سلسلة من سلاسل الأحجام) بواسطة جداول إحصائية تعطي العدد الأكثر احتمالاً في كل 100 مل من العينة الأصلية.

ويتم إختيار توليفة أحجام العينة من أجل المعالجة طبقاً لنمط عينة المياه أو الدرجة المعروفة للتلوث. ويمكن استخدام تركيبات وجداول متنوعة، وقد أوردنا موجزاً للأحجام النموذجية والتخفيفات في الجدول رقم 4 ـ 4.

وتضاف أحجام مناسبة من المياه طاهرة إلى الأنابيب أو الأوعية الأخرى التي تحتوي على وسط من الغذيات معقم بتركيز يضمن تلاؤم الخليط مع وسط مفرد القوة. فعلى سبيل المثال يضاف في الحالة النموذجية 10 مل من العينة إلى 10 مل من الوسط المزدوج القوة أو 1 مل من العينة إلى 10 مل من الوسط المفرد القوة وهكذا دواليك. ولابد أن تحتوي الأنبوبة أيضا على أنبوبة زجاجية صغيرة (أنبوبة دورهام) مقلوبة لتيسير الكشف عن تولّد الغاز. ويتأكد النمو في الوسط من خلال العكر الظاهر وتغيّر اللون، وتُحضَنَ الأنابيب من دون إنعاش، ويسجل عدد التفاعلات الإيجابية بعد 24 أو 48 ساعة، تبعاً لنمط التحليل.

## اختبارات الإثبات أو النفي

قد تكون هذه الاختبارات مناسبة لرصد النوعية الجيدة لمياه الشرب حيث تكون النتائج الموجبة معروفة بندرتها فهي ليست اختبارات كمية. وهي لا تعبر، كما يوحي اسمها، إلا عن وجود أو غياب المؤشر المطلوب. ومثل هذه النتائج قليلة الجدوى في البلدان أو الأحوال التي يشيع فيها التلوث. وعلى هذا فالهدف من التحليلات هو تقرير درجة التلوث بدلاً من الإشارة إلى مجرد وجوده أو عدم وجوده. ولذلك لا ينصح باستخدام هذه الاختبارات في تحليل المياه السطحية، وإمدادات المياه غير المعالجة في المجتمع المحلي الصغير، أو إمدادات المياه الأوسع نطاقاً والتي يمكن أن تعاني من صعوبات في التشغيل و الصيانة من حين إلى آخر.

## 4 ـ 2 ـ 3 اختيار الطرائق

يعتمد الاختيار بين طريقة الأنسابيب المتعددة وطريقة الترشيح الغشائي في كثير جداً من الأحيان على عوامل محلية أو وطنية كالمعدات المتوافرة من قبل، أو تكاليف بعض المواد المستهلكة. ويجب أن توضع في الاعتبار المحاسن والمساوئ لكل طريقة عندما يجرى الاختيار بينهما، وقد أجملنا تلك المحاسن والمساوئ في الجدول 4 ـ 5. وسوف تساعد الشبكة الترسيمية لاتخاذ القرار الموضحة في الشكل 4 ـ 3 على اختيار الإجراء والطريقة. والقصد من هذا الرسم التوضيحي هو مجرد تقديم اقتراحات حول الأسلوب الذي ينبغي استخدامه. كما أن الظروف المحلية وغيرها تؤثر أيضاً في القرار النهائي.

## 4 ـ 2 ـ 4 خفض تكلفة التحليل إلى أدنى حد ممكن

أحياناً يبدو بوضوح أن التلوث البرازي موجود (كما يكون الحال في النقطة التي تلي مباشرة تدفق مياه المجارير في اتجاه التيار) أو أن التلوث بعيد الاحتمال تماماً (كما يكون الحال في شبكات التوزيع التي يوجد فيها متبقّ من الكلور الحر بنسبة أكبر من 0.5 مغ في اللتر، وناصف العكر أقل من وحدة واحدة من وحدات قياس العكر NTU والباهاء pH أقل من 8.0)، وحينئذ قد تعتبر التحليلات الميكروبيولوجية غير ضرورية. ولا يكون هذا مناسباً في ظروف معينة حيث تكون هناك ضرورة قانونية مثلاً لإجراء التحليل، أو حيث يتوقف الإجراء القانوني الذي يمكن اتخاذه على نتائج التحليل الميكروبيولوجي للمياه.

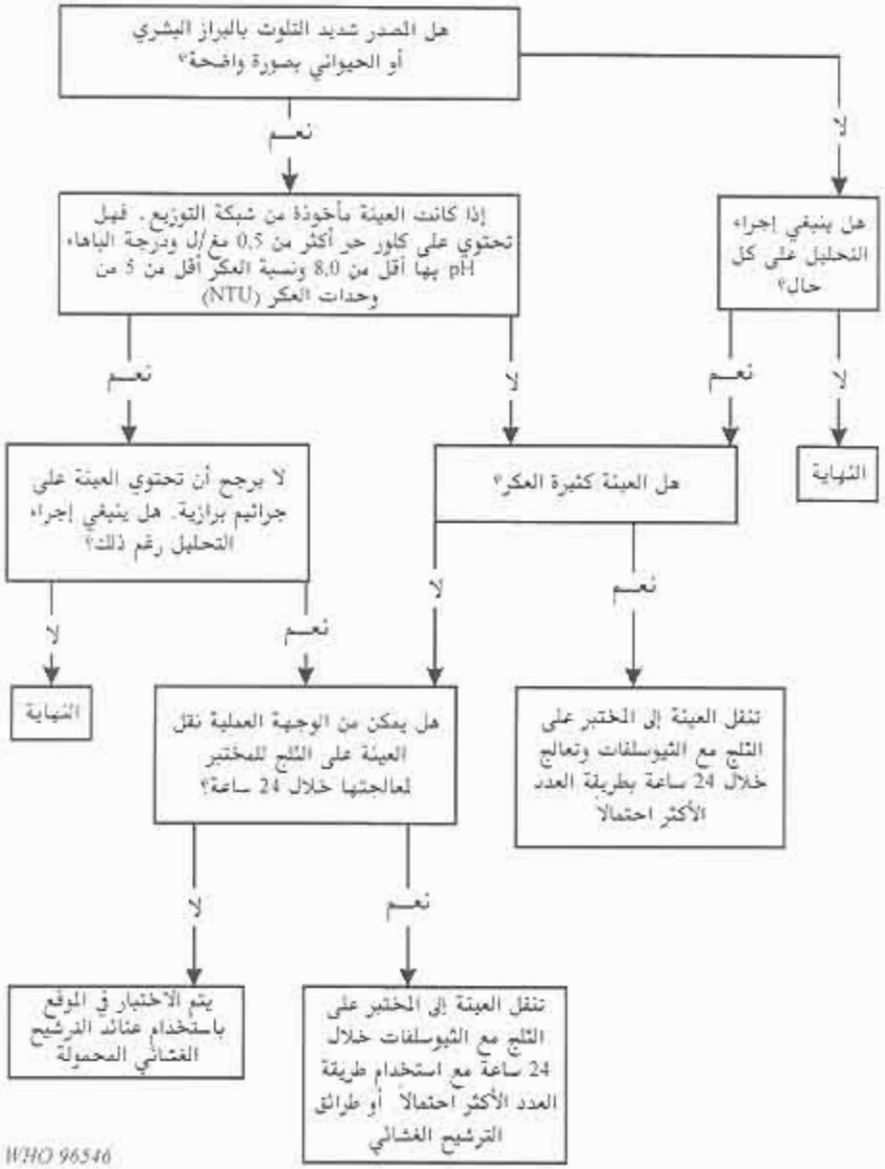
ومن الممكن أن يسهم إغفال التحليل الميكروبيولوجي في الأحوال المناسبة المذكورة آنفاً في خفض النفقات إلى أدنى حد ممكن. كما يمكن أن يضمن أيضاً تحرياً عدد كاف من العينات عندما تكون الموارد المتاحة لإجراء التحليلات غير كافية لإجراء العدد الموصى به من التحليلات الميكروبيولوجية.

**الجدول 4 ـ 5 مقارنة طرائق تحليل الجراثيم القولونية**

| طريقة العدد الأكثر احتمالاً | طريقة الترشيح الغشائي |
|---|---|
| أبطأ: تتطلب 48 ساعة من أجل نتيجة سالبة أو نتيجة إيجابية ظنيّة | أسرع: تخرج النتائج الكمية بعد 18 ساعة تقريباً |
| تحتاج إلى جهد أكثر تركيزاً | تحتاج إلى جهد أقل تركيزاً |
| تحتاج عدد أكبر من المنابت | تحتاج إلى عدد أقل من المنابت |
| تحتاج إلى عدد أكبر من الأوانل الزجاجية | تحتاج إلى عدد أقل من الأوانل الزجاجية |
| أكثر حساسية | أقل حساسية |
| يتم الحصول على النتائج بصورة غير مباشرة من خلال التقريب الإحصائي (قليلة الدقة) | يتم الحصول على النتائج مباشرة بتعداد المستعمرات (دقتها عالية) |
| لا يمكن تكييفها بسهولة للاستخدام الميداني | يمكن تكييفها بسهولة للاستخدام الميداني |
| يمكن تطبيقها على كل أنماط المياه | غير ممكنة التطبيق على العينات العكرة |
| التوافر السهل للمواد المستهلكة في معظم البلدان | المواد المستهلكة باهظة في كثير من البلدان |
| يمكن أن تؤدي إلى تحقيق إفادة أفضل للكائنات الحية المجهدة أو التي تعرضت للتلف في بعض الظروف | |

**الشكل 4 ـ 3 شبكة اتخاذ القرار من أجل اختيار طريقة التحليل**

ملاحظة: قد يكون التحليل في بعض الأحيان ضرورياً بسبب ظروف محلية نوعية. ومثال ذلك عندما يتطلب التشريع إجراء مثل هذا التحليل. أو يكون من الممكن اتخاذ إجراء قائمي على أساس نتائج التحليل



## 4 ـ 2 ـ 5 الاختبار المخبري في مقابل الاختبار في الموقع

يمكن أن يكون تحليل نوعية المياه في المجتمعات المحلية عرضة للمشاكل التالية، وخاصة عندما تكون المجتمعات المحلية أو مواقع أخذ العينات نائية أو يصعب الوصول إليها:

- تدهور العينة أثناء نقلها إلى مرافق المختبرات المركزية؛
- التكاليف الباهظة لنقل العينات؛
- عدم كفاية التقنيات لتخزين العينة وحفظها أثناء نقلها، مما يحدّ من نطاق أخذ العينات؛
- زيادة تكاليف العاملين، بسبب الحاجة إلى تكرار الرحلات لأخذ العينات؛
- الحاجة إلى الإبلاغ، مما يفرض ضرورة القيام بالمزيد من الرحلات

وإذا كان هناك تأخير في نقل العينة وتحليلها فسوف يتأخر الإبلاغ واتخاذ الإجراء العلاجي أيضاً. ولهذه الأسباب سيكون من المناسب إجراء اختبارات المياه في الموقع باستخدام أجهزة محمولة في الأماكن النائية. والمعدات المحمولة تستخدم في كثير من البلدان النامية، وهي تساعد بالفعل على التغلب على بعض المعوقات اللوجستية والمالية. إلا أنها تتباين تبايناً شاسعاً في مواصفاتها التقنية بما في ذلك مدى التحليلات التي يمكن إجراؤها ومدى الطرائق المستخدمة ومتانتها ودرجة استقلالها عن مرافق المختبرات المركزية وإمكان حملها ومتطلباتها من المواد المستهلكة.

ومن الممكن أن تكون أجهزة الاختبار المحمولة محبّذة لدى الهيئات التي تنفذ مشروعاً للترصّد في أكثر من منطقة واحدة على أساس غير روتيني. ولذلك فهي تفضل الأجهزة المحمولة على إنشاء مختبر تقليدي أو قد تستخدم المعدات المحمولة أيضاً داخل المختبرات التقليدية ولا سيما إذا كان عدد التحليلات المطلوب إجراؤها بصورة روتينية ضئيل نسبياً، وذلك للأسباب التالية:

- عدم الاعتماد على إمدادات الطاقة غير المعوّلة. فإن أنماطاً عديدة من المعدات المحمولة إمّا أن تشتمل على بطارية قابلة لإعادة الشحن وإمّا أن يتم توصيلها ببطارية خارجية. واستخدام البطاريات قد ينطوي على بعض المزايا (إذا كانت إمدادات الطاقة غير معوّلة لعدم استقرار الفولطية).
- الكلفة. يمكن أن تظهر مقارنة تكاليف المعدات المطلوبة حتى بعد تخصيص الاعتماد للتكاليف اللازمة من أجل الدعم أن تأمين معدات الاختبار المحمولة للمختبرات المحيطية أو اللامركزية إجراء أكثر اقتصاداً من معدات المختبرات التقليدية.
- سهولة الاستخدام. لما كانت المعدات المحمولة تصمم في كثير من الأحيان للاستخدام من قبل عاملين غير مؤهلين كل التأهيل في التقنيات الخبرية، فسيكون استخدامها في العادة واضح المعالم وبسيطاً. ومع ذلك، فهذا لا ينفي الحاجة إلى عاملين مدربين تدريباً حسناً، وذلك على وجه الخصوص لأن بعض المعدات المحمولة قد لا تكون مرفقة بكتيبات تتضمن إيضاحات جيدة بلغة القائمين على استخدامها.

على أن استخدام المعدات المحمولة في المختبرات التقليدية ينطوي على عدد من المساوئ أيضاً بما في ذلك أشكال المحدودية في المواصفات التكنولوجية. وعلى الرغم من عدم صحة

المقولة التالية على إطلاقها فإن الحاجـة إلى المعدات المحمولـة يمكـن أن تعني أن المعدات المحمولة أقل دقة وحساسية من المعدات التقليدية، ويضاف إلى ذلك أنه بينما تساعد بعض الأنماط المعدات المحمولة في تقليل الاعتماد على المواد المستهلكة الباهظة والتي يصعب الحصول عليها في بلدان عديدة (ومنها على سبيل المثال استخدام أطباق بتري المصنوعة من الألومنيوم التي يمكن تكرار استعمالها، بدلاً من الأطباق المصنوعة من البلاستيك، الوحيدة الاستعمال أو الزجاج الهش)، تزيد الأنماط الأخرى في الواقع من الاعتماد على أدوات زجاجية غير مطابقة للمعايير ولا سيما المواد المستهلكة (كالمنابت الميكروبيولوجية في الأمبولات والكواشف المسبقة الوزن لأغراض الاختبارات الكيميائية). فهذه المواد تظل على نحو ثابت أكثر تكلفة إلى حد بعيد من المواد المستهلكة في المختبرات العادية ولا يمكن الحصول عليها إلا من لَدُنْ صانعي المعدات المحمولة. وعدم الاعتماد على المواد المستهلكة الخصوصية له أهمية خاصة فيما يتعلق ببعض الكواشف والمنابت الميكروبيولوجية، فالمنابت السائلة المجـهزة في الأمبولات تقضي على الأخطاء في تجهيز المنابت ولكن عمرها الاختزاني محدود. وهذا من الاعتبارات الوثيقة الصلة بالموضوع في البلدان النامية حيث يؤدي التأخير في الاستيراد وقابلية الطلب للتغير ومشكلات النقل إلى خفض العمر الاختزاني المتبقي للمنابت إلى حد خطير. وفي هذه الأحوال يفضل الإمداد بمنابت منزوعٍ منها الماء ــ وتكون في الأحوال المثالية بكميات مسبقة الوزن ـ على أن تكون ذات عمر اختزاني طويل نسبياً.

وقد يكون استخدام معدات الاختبار المحمولة من نتائج الالتزام بمبدأ اللامركزية في مجال مرافق الاختبار. وسواء أكان الحال كذلك أم لا. فهذا يعني على وجه العموم أن هناك أعداداً ضئيلة من التحليلات تجري في عدد أكبر من المواقع، ولهذا مضامين ذات أهمية بالنسبة إلى التدريب:

- سوف يزداد عدد العاملين الذين ينفذون التحاليل ومن هنا ستزداد الحاجة إلى التدريب.
- لن يكون عمل العاملين الذين يفترض فيهم استخدام المعدات (ومن ثم ينبغي تدريبهم) في العاصمة بل في مناطق نائية نسبياً، وبعيدة عن مراكز التدريب.
- سيكون احتمال حصول هؤلاء العاملين على التدريب البدئي الجيد على التقنيات المخبرية أقلّ رجحاناً.

ولذلك فهناك بالفعل حاجـة أكبر للتدريب عندما يجري النظر في إجراء اختبارات لنوعية المياه بأسلوب لامركزي، مما يتعارض مع المفهوم الشائع عن معدات الاختبار المحمولة (المبسّطة) التي لا تتطلب إلا القليل من التدريب الإضافي. ولا يُرجّح أن يتحقق الكثير من الفوائد المتوقعة من اختبار نوعية المياه بالأسلوب اللامركزي أو التحليل في الموقع إلا إذا تم تكريس مصادر كافية للتدريب.

## 4 ـ 2 ـ 6 عتائد الاختبار الوحيدة الاستعمال

هذا النوع من العتائد يجري تسويقه على نطاق واسع ويستخدم على نحو متزايد في البلدان النامية وقد تتباين مُعَوّليته تبايناً كبيراً ومن ثم ينبغي تقييمها على الوجه الصحيح عن طريق مختبر مرجعي. وهناك عوائق أخرى تحول دون استخدام العتائد ذات الاستخدام الوحيد. وذلك أن تكلفة الوحدة التي تعد مرتفعة في البلدان المتقدمة يمكن أن تكون أكثر ارتفاعاً في

البلدان النامية. وعلى هذا لا تجد محاولة تفادي تكاليف هيئة العاملين فرصاً مواتية في البلدان النامية.

## 4 ـ 3 التحليل الفيزيائي ـ الكيميائي

### 4 ـ 3 ـ 1 متبقي الكلور

يشكلّ تطهير إمدادات مياه الشرب حاجزاً هاماً ضد الأمراض المحمولة بالماء. وعلى الرغم من إمكانية استخدام العديد من المطهرات، يعد الكلور بكل أشكاله هو العميل المطهر الرئيسي المستخدم في المجتمعات المحلية الصغيرة في معظم البلدان.

ويمتاز الكلور بالعديد من المزايا كمطهر، بما في ذلك انخفاض سعره نسبياً ونجاعته وسهولة قياسه، سواءا في المختبرات أم في الميدان، وتتمثل المزية الإضافية الهامة التي يتفوق بها الكلور على بعض المطهرات الأخرى في أن الكلور يخلّف متبقياً مطهراً يساعد في منع حدوث التلوث من جديد أثناء التوزيع، والنقل، والتخزين المنزلي للمياه. ويمكن أن يشير غياب متبقي الكلور في نظام التوزيع، في بعض الحالات إلى إمكانية حدوث التلوث بعد المعالجة.

وهناك ثلاثة أنواع لشمالة الكلور يمكن قياسها "الكلور الحر" (وهو أكثر أنواع الكلور تفاعلاً وهو حمض الهيبوكلوروري والأيون تحت الكلوريتي)، و"الكلور المزيج" (وهو نوع أقل تفاعلاً وإن كان أكثر استدامة وهو يتكوّن من تفاعل أنواع الكلور الحر مع المواد العضوية والأمونيا)، وهناك أيضاً "الكلور الكلي" (مجموع متبقيات الكلور الحر والكلور المتحّد). والكلور الحر غير ثابت في المحاليل المائية، وقد يتناقص الكلور الموجود في عينات المياه تناقصاً سريعاً ولا سيما في درجات الحرارة الدافئة. كما أن تعريض العينات للضوء الشديد أو الخضّ سيسرّع معدل فقد الكلور الحر. لذلك ينبغي تحليل العينات للكشف عن الكلور الحر بعد أخذها مباشرة ولا يجوز تخزينها وإجراء الاختبارات عليها فيما بعد.

والطريقة التي يوصى بها لتحليل متبقيّ الكلور في مياه الشرب تستخدم مادة ثنائي إيثيل الفينيلين ديامين *N,N-p* والتي تعرف باسم أكثر شيوعاً DPD. وفي السابق كان ينصح باستخدام الطرائق التي تستخدم مادة *o-tolidine*، ولكن ثبت أن تلك المادة مسرطنة كما أن طريقة استخدامها غير دقيقة ومن ثم ينبغي عدم اللجوء إليها. أما التحليل باستخدام يوديد البوتاسيوم النشوي فليس نوعياً بالنسبة للكلور الحر، بل يقيس مباشرة إجمالي الكلور الحر والكلور المتحد، ولا يوصى بهذه الطريقة إلا في البلدان التي يستحيل فيها الحصول على طريقة DPD أو تحضيرها.

وأما الإجراءات اللازمة لتقرير وجود متبقي الكلور الحر فهي موصوفة في الملحق 9.

### 4 ـ 3 ـ 2 الباهاء pH درجة التركيز الأيوني

من المهم قياس الباهاء pH في نفس الوقت مع متبقي الكلور لأن نجاعة التطهير بالكلور تعتمد بدرجة كبيرة على نسبة التركيز الأيوني وتكون هذه الفعالية أقل إذا تجاوزت الباهاء pH 8.0 ولكي نتأكد أن الباهاء pH ضمن المدى الأمثل للتطهير بالكلور (أقل من 8.0)، يمكن إجراء اختبارات بسيطة في الميدان باستخدام مقارنات كتلك التي تستخدم من أجل متبقي

الكلور. ففي حالة وجود بعض مُقارنات الكلور يمكن قياس الباهـاء pH ومتبقي الكلـور في نفس الوقت. وهناك، بـدلاً من ذلك مساري الباهـاء pH الكهربائيـة المحمولـة وعـدادات قياسها. فإذا تم استخدامها في المختبر فينبغي تعييرها في مقابل معايير جديـدة للباهـاء pH كل يوم على الأقل، وإذا استخدمت ميدانياً فينبغي تعييرها مباشرة قبيل كـل اختبـار. وقد لا تكون النتائج دقيقة إذا كانت قـدرة المياه على الـدَّرْء ضعيفة. وقد أوردنا وصفاً لإجـراءات قياس الباهـاء pH باستخدام مقارنة في الملحق رقم 10.

## 4 ـ 3 ـ 3 العَكَر

العَكَر مهم لأنه يؤثر في مقبولية الميـاه عنـد المستهلك، واختيـار عمليـات المعالجـة وكفاءتهـا وخاصـة كفاءة التطهير بالكلور (إذ يزيد العكر من الحاجة إلى الكلور ويحمي المكروبات).

وينبغي أن تكون نسبة العكر منخفضة دائماً في جميع العمليات التي تستخدم التطهير ـــ ويفضل أن تقل عن وحدة واحدة من وحدات قياس العكـر NTU أو وحـدة جاكسـون لقيـاس العكر (وهاتان الوحدتان تستخدمان بالتبادل في الممارسة العملية). ويستحب عند تطهير المياه أن تظل نسبة العكر على نحو ثابت أقلّ مـن خمس وحـدات NTU أو JTU وأن تكـون لهـا قيمة ناصفة أقل من وحدة واحدة.

ويمكن أن يتغير العكر أثناء نقل العينة وتخزينها، ومن ثم ينبغي قياسـه في الموقـع عنـد أخذ تلك العينة مباشرة. ويمكـن تنفيـذ هـذا باسـتخدام عـدادات إلكترونيـة (وهـي ضروريـة لقياس نسبة العكر البالغة أقـل مـن 5 وحـدات). غـير أنـه ليس مـن الضـروري توافـر هـذه الحساسية العالية عند رصد إمدادات المياه في المجتمعات الصغيرة. ويكفي استخدام الطرائـق العيانية التي تستخدم الأنطفاء والتي يمكنها قياس حالات العكر الذي تزيـد نسـبته علـى 5 من وحدات قياس العكر NTU. وهذه الطرائق تعْول على الأجهـزة المتينـة القليلـة التكـاليف والتي لا تحتاج إلى البطاريات ويمكن نقلها إلى المواقع بيسر وسهولة.

ولذلك تُفضَّل على غيرها. وقـد أوردنـا في الملحـق رقـم (10) إجـراءات قيـاس العكـر في الموقع باستخدام "أنبوب العكر".

## 4 ـ 4 المتشابتات المتعلقة بطعم المياه ولونها

المتشابتات المتعلقة بطعم المـاء ولونه هي تلك المتشابتات الـتي يمكـن الكشـف عنهـا عـن طريق الحواس وهـي العكـر، واللـون، والطعـم، والرائحـة. وهـذه المتشابتـات هامـة في رصـد إمدادات المياه في المجتمع المحلي لأنها قد تتسبب في رفض تلك الإمدادات وتبنـّي مصـادر أخرى (ربما كانت أقل جودة)، ويمكن رصد تلك المتشابتات ميدانياً بسهولة ومن دون تحمـل نفقات عالية.

### 4 ـ 4 ـ 1 اللـــون

قد يرجع لون مياه الشرب إلى وجود مادة عضوية ملوّنة كالمواد الدبالية، والمعـادن كـالحديد والمنجنيز أو الفضلات الصناعية الملوّنة بدرجة عالية. وينبغي أن تكون مياه الشرب عديمـة اللون، ومن المفيد في أغراض ترصُّد إمدادات المياه، أن نلاحـظ ببسـاطة وجـود أو غيـاب أي

لون يمكن ملاحظته وقت أخذ العينة. كما أن التغيرات في لون المياه ومظهرها تعتبر بمثابة مؤشرات على الحاجة إلى المزيد من الاستقصاء.

### 4 ـ 4 ـ 2 الطعم والرائحة

تنجم الروائح في المياه أساساً عن وجود المواد العضوية. وتشير بعض الروائح إلى نشاط بيولوجي زائد، وقد يكون بعضها الآخر ناجماً عن التلوث الصناعي. وينبغي أن يشتمل التفتيش الصحي دائماً على البحث عن المصادر المحتملة أو الموجودة للرائحة في المياه، وأن تبذل المحاولات للتخلص من أي مشكلة تتعلق بالرائحة إذا ثبت وجودها. أما مشكلات الطعم (التي يتم إجمالها مع مشكلات الرائحة أحياناً) فتمثل في العادة أكبر فئة منفردة من فئات شكاوى المستهلكين.

وعلى وجه العموم فإن براعم الذوق في التجويف الفموي تكشف عن وجود المركبات اللاعضوية للمعادن مثل المغنزيوم والكالسيوم والصوديوم والنحاس والحديد والزنك، ولما كان من المفروض خلو المياه من أي طعم أو رائحة غير مرغوبة، فليس من الجائز أن تكون رائحتها كريهة بالنسبة لأغلبية المستهلكين. وإذا كان لدى المسؤول عن أخذ العينات سبب يحمل على الاشتباه في وجود تلوث ضار في المياه، فينصح بتجنب التذوق والابتلاع المباشر للمياه. وفي مثل هذه الظروف ينبغي أخذ عينة للاستقصاء في المختبر المركزي.

## 5.4 تحاليل أخرى ذات صلة بالصحة

على الرغم من أن الغالبية العظمى من مشكلات جودة مياه الشرب في المجتمعات كانت ترتبط بالتلوث البرازي، فإن عدداً كبيراً من المشكلات الخطيرة يمكن أن ينجم عن التلوث الكيميائي من مصادر شتى طبيعية أو من صنع الإنسان. ولإثبات وجود مثل هذه المشكلات ينبغي إجراء التحاليل الكيميائية. غير أن البت في نطاق واسع من التثابتات بصورة منتظمة سيكون باهظ التكاليف إلى حد فائق ولا سيما في حالة الإمدادات التي تخدم أعداداً ضئيلة من الناس، ولحسن الحظ فإن مثل تلك التثابتات تجنح إلى أن تكون أقل تغيراً في مياه المصدر من التلوث البرازي، وعلى هذا يمكن استخدام بعض الاستراتيجيات البديلة.

ويمكن أن يتضمن نطاق التثابتات ذات الصلة بالصحة ما يلي:

- الفلوريد (حيث يكون معروفاً بوجوده الطبيعي)
- النيترات (حيث يكون التكثيف الزراعي قد أدى إلى مستويات عالية منها في مياه الآبار)
- الرصاص (في المناطق التي استخدم فيها في أعمال اللحام)
- الكروم (في أماكن تعدينه)
- الزرنيخ (حيث يكون معروفاً بوجوده الطبيعي)
- مبيدات الهوام (حيث تشير الممارسات والاستخدام المحلي إلى رجحان وجود مستويات عالية منها).

فإذا كان هناك اعتقاد بوجود المواد الكيميائية سالفة الذكر أو أي مواد كيميائية غيرها ذات أهمية صحية فينبغي رصدها وفحص النتائج على ضوء القيم الدلالية لمنظمة الصحة العالمية وأية معايير وطنية ذات صلة بها (أنظر المجلدين 1 و 2).

ويمكن قياس بعض المتثابتات ذات الصلة بالصحة في إمدادات المياه العائدة للمجتمع المحلي باستخدام عتائد الاختبار المحمولة بالاستناد إلى المعايرات والمُقارنات والمقاييس الضوئية. فإذا تم ذلك فلابد أن تكون الكواشف عالية الجودة ومقيسة بدقة. وهناك متثابتات أخرى تحتاج إلى التحليل المخبري التقليدي باستخدام قياس الطيف الضوئي، وتنظير الطيف الخاص بالامتصاص الذري أو الاستشراب باستخدام الطرائق المعيارية.

## 6.4 ضمان الجودة التحليلية ومراقبة الجودة

ينبغي أن يتم اختبار الطرائق المعيارية لتحليل مياه الشرب في الظروف المحلية لإثبات صحتها ودقتها، وأن يكون هناك اتفاق عليها على المستوى الوطني، وأن يكون قد تم تطبيقها بصورة شاملة عن طريق هيئات الإمداد بالمياه والهيئات التنظيمية، غير أن استخدام الطرائق المعيارية لا يمثل في حد ذاته ضماناً لمعولية ودقة نتائجها.

إن اصطلاحي ضمان الجودة ومراقبتها يستخدمان في سياق العمل التحليلي على أنهما مترادفان، ولكن الحقيقة أنهما مفهومان مختلفان.

فمراقبة الجودة التحليلية هي توليد المعطيات لأغراض التقييم ولرصد مدى جودة التشغيل بدقة اليوم الواحد والدقة القائمة على المقارنة بين يوم وآخر.

أما ضمان جودة التحاليل فهو، على النقيض من ذلك، يشتمل على كل الخطوات المخبرية التي تهدف إلى طمأنة أولئك الذين يتلقون المعطيات بأن نتائج المختبر صحيحة، وبذلك يشمل ضمان الجودة مراقبة الجودة التحليلية مع كثير من الجوانب الأخرى كإثباته أن الأفراد الذين أجروا التحاليل يتمتعون بالكفاءة اللازمة لأداء ذلك، وضمانة أنّ المختبر يستخدم طرائق تحليلية ثابتة وموثّقة وإجراءات لتعيير العدات وتنظيما للحدود الإدارية المسؤولية. ونُظُما لاسترجاع المعطيات وإجراءات لمعالجة العينات ... وهكذا دواليك.

وقد أوردنا في الجدول 4 ـ 6 قائمة مراجعة لضمان الجودة التحليلية الفعالة.

وتجدر الإشارة إلى أن ضمان الجودة في صورته التي تنطبق على المختبرات التقليدية بسيط نسبيا. كما أنه يمتاز بأهميته أيضاً في الاختبارات الميدانية بالنظر إلى ظروف إجرائه الأكثر قسوة وهيئة العاملين غير المتخصصين. ولذلك يعّد مما ينطوي على التناقض أن ضمان الجودة تبلغ أهميته ذروتها القصوى في الظروف التي يكون فيها تنفيذ اختباراته أصعب ما يكون. وفيما يلي نقدم الأساليب الممكنة للتغلب على هذه المشكلة:

- الإشراف. لا يمكن لشبكة فعالة لإجراء الاختبارات في الموقع أن تقوم بوظيفتها من دون إشراف كاف يُفترض أن يغطي كل الأنشطة الميدانية بما في ذلك اختبارات جودة المياه. وهذا يساعد على المحافظة على معايير ملائمة للتحليل.
- تحليل العينات باستخدام عينات شاهدة تنقصها بعض المقوّمات الرئيسية. ليس من الراجح أن تقوم هيئة العاملين من تلقاء نفسها برفع تقارير ميدانية تضع قدرتها الخاصة موضع الشك ويضاف إلى ذلك أنه لن يكون من العملي في كثير من الأحيان إعداد وتوزيع

الجدول 4 ـ 6 القائمة التفقدية للتأكّد الفعال من الجودة التحليلية

**هل يتوافر للعاملين في المختبر:**
- مسؤوليات محددة بوضوح؟
- المؤهلات؟
- الخبرة؟
- التدريب؟

**هل المكان:**
- كاف لأنماط وعدد التحاليل التي يتم إجراؤها؟

**هل المعدات:**
- كافية؟
- تتم خدمتها وصيانتها بصورة منتظمة؟
- يتم تعييرها واستخدامها عن طريق العاملين المسؤولين فيها فقط؟

**هل يتم شراء المواد:**
- من جهة إمداد يعوّل عليها، تعنى بمراقبة الجودة؟

**هل هناك مرافق مناسبة:**
- لاستقبال وتخزين العينات، وهل توجد نظم لترميز تلك المواد واستعرافها؟

**المعطيات:**
- هل يتم حفظها في أرشيف؟
- هل يمكن استرجاعها؟

**هل الطرائق:**
- صحيحة؟
- موثّقة؟
- وهل يجري رصدها (بإخضاع النتائج لمراقبة الجودة التحليلية)؟

**هل تتأكد المأمونية من خلال:**
- إجراءات العمل الكافية وإجراءات التخلص من الفضلات؟
- تدريب هيئة العاملين؟
- الصيانة الجيدة للمعدات؟
- الإشراف الجيد على هيئة العاملين؟

وجمع النتائج الخاصة بعينات مراقبة الجودة المعروفة والتي ستحظى على أية حال بمعالجة ميدانية متأنية على وجه الخصوص، ولذلك فالإستراتيجية البديلة هي تشجيع هيئة العاملين على معالجة الماء المقطر المعقم بدلاً من العينة من وقت لآخر. فإذا حدث التلوث بالفعل فينبغي أن يدرك المحللون حينئذ عدم كفاية تقاناتهم ويشككون في سلامة عملهم بناءً على ذلك، ويمكن، على نحو مماثل، معالجة العينات المعروفة بتلوّثها بهدف تقديم شاهد إيجابي خام.

- تفقد المعدات يسفر الالتزام بالاختبارات الميدانية اللامركزية، باستخدام عتائد الاختبار الميداني والمعدات المحمولة الأخرى، في العادة، عن كمية أكبر من المعدات الموضوعة قيد

الاستخدام، ومن الضروري تفقد المعدات بصورة منتظمة (مثلاً تـفـقـُّـد درجـة الحـرارة في الحضانات). ولضمان التقييس ينبغي أن يقـوم بهـذا هيئـة إشـراف مـن أحـد مختبرات المراقبة.

كما ينبغي تقييم مـدى قابليـة الطرائـق للتطبيـق في الظـروف الميدانيـة مـن قبـل مختبر مركزي.

## 4.7 السلامـــة

تتسم سلامة هيئة العاملين الذين يقومون بإجراء التحاليل بالأهمية القصوى سـواء ميدانيـاً أو في المختبر. فينبغي تدريب كل أفراد هيئة العاملين على إجراءات المأمونية والسلامة المتعلقة بأعمالهم. ففي المختبر لا يجوز تفويض أفـراد مـن هيئـة العـاملين بتنفيـذ الإجـراءات الـتي تنطوي على خطر محتمـل مـن أي نـوع كـان إلاّ بعـد أن ينـالوا التدريـب المناسـب عليهـا، وينبغي عدم السماح لهيئة عاملين غير مفوضة القيام بالتحاليل.

وعلى كل المختبرات أن تصوغ سياسة للمأمونية والسلامة وأن تقوم بتنفيذها وأن تغطي تلك السياسة إجراءات النظافة والتطهير واحتواء المواد الخطرة. كما ينبغي توافر معدات السلامة كـأجهزة الإطفاء ونظارات السلامة وعتائد الإسعاف الأولي وأن تكون في مكـان مناسب، وأن تتوافر بيسر وسهولة وأن يتم فحصها بصورة روتينيـة وأن يتم تدريب جميع هيئة العاملين على استخدامها.