الفصل الثانى

خصائص إنتاج ومعالجة مياه الشرب من الآبار الجوفية

مقدمة

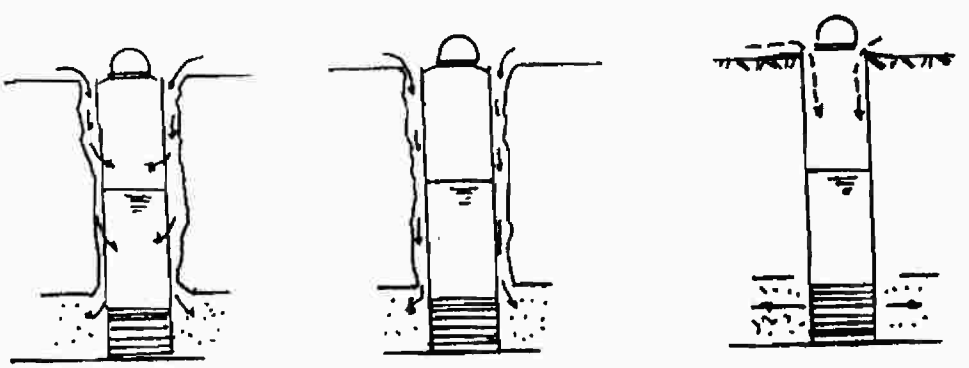
في مصر ستة خزانات جوية، تشغل أكثر من ٥٠% من مساحة مصر وطاقتها التخزينية كبيرة ومعظمها خزانات جوفية متجددة. وهي تشمل خزان جوفي الدلتا الوادي، وخزان جوفي الحجر الرملي النوبي الذي يشكل حوالي ٣٠% من مساحة مصر، ويقع في الجنوب الغربي للصحراء الغربية، ويمتد أسفل خزان جوفي الدلتا والوادي، ولكنه منفصل عنه تماما، وقد تم استغلال هذا الخزان الجوفي أخيرًا في منطقة شرق العوينات. والثالث هو خزان جوفي المغره الذي يقع في الأطواف الغربية للدلتا وجنوب منخفض القطارة، والرابع هو الخزان الجوفي الساحلي الممتد علي سواحل البحرين الأبيض والأحمر. وخزان جوفي الحجر الجيري، ويقع في الجزء الشمالي للصحراء الغربية ثم أخيرًا خزان جوفي الصحراء الشرقية وسيناء.

المستغل من مياه هذه الخزانات الجوفية لايزيد عن ٤,٥ مليار متر مكعب سنويًا ومخطط زيادته إلي ٧مليار معظمها لأغراض الري. كما أن إنتاج مياه الشرب من الآبار يمثل ٧% من الناتج الفعلي لمياه الشرب علي المستوي القومي.

تتصف المياه الجوفية بالنقاء وعدم وجود مواد عالقة، كما أنها علي الأعماق المتوسطة (أكثر من ٦٠مترًا تحت سطح الأرض)، والعميقة تكون خالية من الملوثات البيولوجية؛ نظرًا لتحللها إلي مركبات بسيطة أثناء تحركها إلي الخزان الجوفي، وذلك عند الضخ من آبار مصممة ومنفذة بكفاءة. إلا أنه حاليًا تواجه آبار المياه الجوفية أربع مشاكلات رئيسية، تؤثر علي صلاحية المياه لأغراض الشرب واستمرار إنتاج الآبار. وهذه المشاكلات تشمل التلوث البيولوجي بما يجعل المياه غير صالحة، التلوث بأملاح الحديد والمنجنيز، زيادة الأملاح الكلية المذابة، والتمليح والانسداد لمصافي الآبار وانخفاض إنتاجيتها أو توقفها تمامًا عن الإنتاج.

١- التلوث البيولوجي والكيماوى لمياه الآبار (شكل ٢/١)

يرجع التلوث البيولوجي كنتيجة لتسرب الملوثات من المواد العضوية والجرثومية الحاملة للأمراض (Pathogens) إلي جوف الأرض، وذلك نتيجة للصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي، ومياه صرف الأنشطة الخدمية والإنتاجية سواء علي سطح الأرض أو في المصارف، وكذلك تسرب مياه الصرف الصحي من شبكات الصرف.



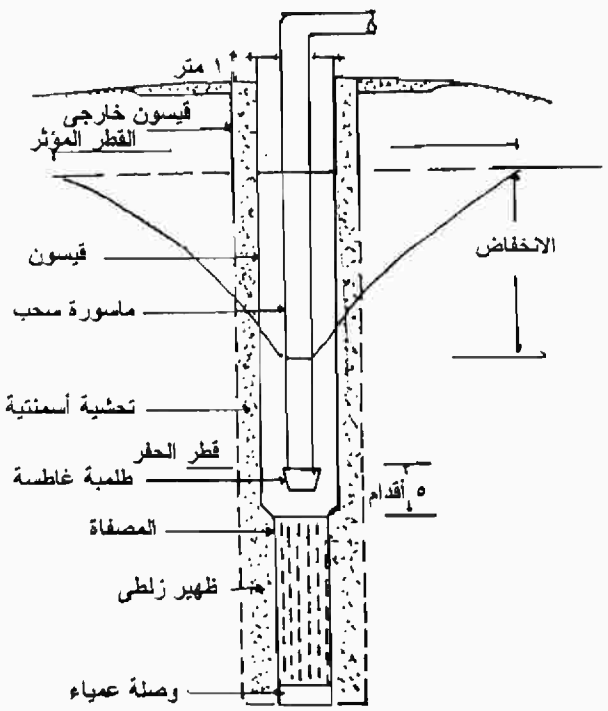
أشكال (٢/١): حالات التلوث لمياه الآبار.

وإن كانت الملوثات المسببة للأمراض الوبائية تتحلل إلي مركبات كيماوية بسيطة أثناء حركتها إلي جوف الأرض لعدم وجود أكسجين الهواء الجوي؛ حيث ثبت عدم وجود هذه الملوثات الجرثومية علي أعماق تزيد عن ٤٠مترًا من سطح الأرض، وكذلك تتحلل المواد العضوية إلي مركبات ثابتة وبسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون، والماء، النشادر، كبريتيد الهيدروجين، وأملاح النيتريت.

وقد تتسرب إلي جوف الأرض مركبات عضوية مذابة ومتطايرة (VOC's - Volatile- Organic Chemicals) وهي مواد منيعة ولاتتحلل.. أما الأملاح المذابة لبعض العناصر الضارة (المعادن الثقيلة) فهي تتسرب إلي جوف الأرض، وفي بعض الحالات قد يحدث تبادل أيوني بين هذه العناصر الضارة وعناصر مكونات التربة من الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم؛ بما يقلل من تركيزها في المياه الجوفية، ولكن لا يبعدها تماما. ولتفادي هذه الملوثات.. فإنه يلزم أن يراعي عند تنفيذ آبار المياه لأغراض الشرب أن تكون بعيدة عن التجمعات السكنية وشبكات الصرف الصحي والمقابر ومناطق إلقاء المخلفات بمساحة لا تقل عن ١٥٠مترًا، وكذلك أن يكون موقع البئر في مكان مرتفع عن سطح الأرض، وأن يكون فوق التيار لحركة المياه في الخزان الجوفي، وحيث البعد عن موقع مصادر التلوث التي تكون تحت التيار.

وعادة، فإن حركة المياه الجوفية في خزان جوفي الوادي هي من الجنوب إلي الشمال، وبالنسبة لخزان جوفي الدلتا فهي من الجنوب الشرقي إلي الشمال الغربي. كما يلزم عمل بئر اختباري لتحليل المياه الجوفيه كيماويا وبيولوجيا وتحديد العمق المناسب لتركيب المصفاة بعد التأكد من صلاحية المياه المختبرة للشرب، وكذلك التربة الحاملة من الزلط والرمال الخشنة والمتجانسة وخلوها من الرمال الناعمة، قبل البدء في تصميم البئر. وعند التنفيذ يراعي عمل طبقة من الخرسانة العادية بسمك ١٠سم حول فوهة البئر بقطر ١٥مترًا لمنع وصول مياه الرشح السطحى إلى جوف الأرض حول البئر. وأن تعلو فوهة البئر سطح الطبقة الخرسانية بما لا يقل عن ١متر، هذا مع إحكام إغلاق فتحة البئر أثناء التشغيل والتوقف.

ويرجع وصول الملوثات إلي مياه الآبار التي أنشئت في الماضي، والتي لم يراع في تصميمها وتنفيذها ما استجد من زيادة الكثافة السكانية والصرف العشوائي للمياه الحاملة للملوثات. وحيث نفذت الآبار بدون وضع طبقة التحشية الأسمنتية (Grouting) ما بين قطر الحفر والقيسون. وهذه التحشية الأسمنتية تحقق هدفين، أولهما: منع وصول مياه الرشح السطحي الحاملة للملوثات إلي المصفاة عن طريق الفاصل ما بين قطر الحفر والقيسون، والهدف الثاني هو حماية السطح الخارجي للقيسون، والتى تعمل بدورها علي تسرب مياه الرشح السطحي الملوثة إلى داخل القيسون في حالة تآكله، والتي تحقق طبقة التحشية الأسمنتية حمايته من التآكل- كما يفضل صناعة القيسون والمصفاة من مادة خاملة مثل البي في سي، أو البولي إيستر المسلح بالصوف الزجاجي بالسمك المناسب لمقاومة ضغط التربة أو من الصلب المقاوم للصدأ أو من الصلب الكربوني المغطي بطبقة حماية والوصلات المتصلة بالجلب شكل (٢/٢).



أشكال (٢/٢): مكونات بئر الضخ.

٢- تمليح الآبار أو الترسيبات التى تقلل من إنتاجية البئر أو تسبب توقفه تماما

ظاهرة تمليح الآبار والتي ينتج عنها نقص في الإنتاج التصميمي للبئر أو توقف الإنتاج تمامًا، هي ظاهرة طبيعية وتحدث عادة بعد إنشاء البئر بفترة زمنية، تتراوح ما بين عامين إلي ثمانية أعوام طبقًا لنوعية التربة الحاملة للمياه ونوعية المياه الجوفية.

ويرجع ذلك إلي الانسداد في مسام التربة المحيطة بالمصفاة بما يقلل أو يمنع تدفق المياه الجوفية نحو مصفاة البئر، وكذلك انسداد مسام المصفاة. وتحدث هذه الترسيبات نتيجة إذابة أملاح التربة الحاملة للمياه الجوفية مثل كربونات الكالسيوم والماغنسيوم والحديد بفعل ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء، والناتج عن التحلل اللاهوائي للمواد العضوية، حيث تتحول أملاح الكربونات غير المذابة إلي البيكربونات المذابة.

وأثناء ضخ المياه من البئر حيث تتدفق المياه الجوفية نحو مصفاة البئر، عندئذ تحدث خلخلة في المنطقة المحيطة بالمصفاة وخاصة في حالة زيادة سرعة تدفق المياه نحو المصفاة عن ٣سم في الثانية. ونتيجة لهذه الخلخلة، فإن ثاني أكسيد الكربون يتم انتزاعه من أملاح البيكربونات المذابة إلي الكربونات غير المذابة، والتي ترسب في مسام التربة المحيطة بالمصفاة وكذلك في فراغات الظهير الزلطي حول المصفاة وفي فتحات المصفاة. هذه الترسيبات تحدث علي مراحل بما يسبب الخفض التدريجي في إنتاج البئر، ثم توقفه تمامًا عن الإنتاج. ويضاف إلي ما سبق سبب آخر لانسداد فتحات المصفاة، وهو المعادن غير المتماثلة في الجهد، حيث تغطي فتحات المصفاة المصنوعة من الصلب الكربوني بشبكة من النحاس الأصفر، ونظرًا لاختلاف الجهد يحدث ترسيب لمعدن الحديد وتآكله وتراكم نواتج التآكل علي فتحات المصفاة، والتي عندئذ يحدث لها انسداد.

كما أن هناك عاملاً آخر لقفل مسام المصفاة، وهو أنه في حالة عدم تطهير البئر باستخدام مسحوق الكلور (هيبو كلوريت الكالسيوم) بعد

عمليات الاصلاح والصيانة وإحكام غلق فوهة البئر، حيث في مثل هذه الحالات تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد، ويحدث تآكل لمعدن الحديد المصنوع منه المصفاة، وترسب نواتج التآكل في الفتحات حيث يحدث الانسداد.

ولإزالة هذه الترسيبات واستعادة الطاقة الإنتاجية للبئر.. فإنه يلزم عمل عدة إجراءات، نوجزها فيما يلي:

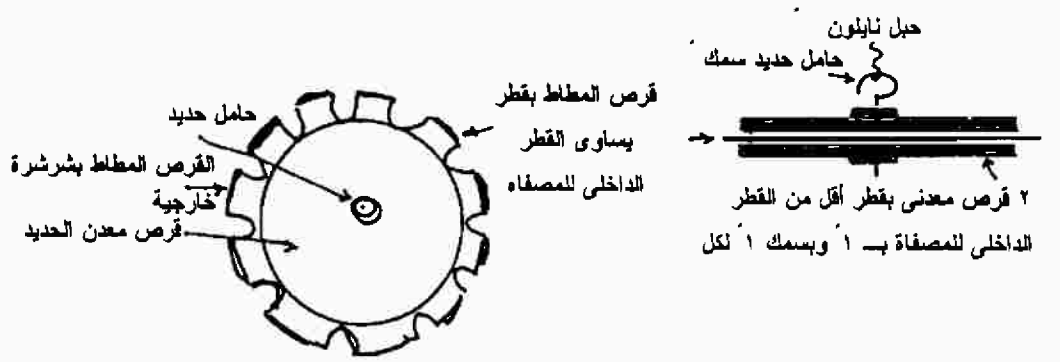
- التأكد من أن النقص في إنتاج البئر أو توقفه عن الإنتاج ليس بسبب السحب الجائر وجفاف البئر، حيث يتم معرفة ذلك بملاحظة منسوب المياه في قيسون البئر وقياسه (وهو منسوب المياه الاستاتيكي) والتأكد من ثباته، عندئذ يكون السبب في نقص إنتاج البئر هو انسداد المسام أو التمليح للتربة المحيطة بالمصفاة، وكذلك انسداد مسام المصفاة والذي يحدث للأسباب التي أوردناها سابقا.

وقد جرت العادة في مواجهة هذه الظاهرة التعامل معها بأحد أسلوبين، وهما: إما هجر البئر وإيقاف استخدامه، أو سحب القيسون والمصفاة وإزالة الترسيبات من مسام المصفاة وإعادة التركيب في مكان البئر أو في مكان مجاور، ورغم أن هذا الأسلوب مكلف فإنه لا يحقق الهدف من استعادة كفاءة الإنتاجية للبئر. فعند إعادة تركيب القيسون والمصفاة في مكان البئر، تظل التربة المحيطة بالمصفاة مقفولة المسام، وفي حالة التركيب في مكان آخر مجاور.. فقد يكون هذا الموقع تحت التيار لحركة المياه الجوفية بالنسبة للموقع القديم، عندئذ فإن الترسيبات في مسام التربة تعيق حركة المياه الجوفية. وقد تتخذ خطوات لتفادي هذا المنسوب لسحب المياه، كما في حالة زيادة أو نقص مواسير القيسون، ولكن سلبياته أنه يلزم اختبار نوعية المياه والتربة مسبقا كما في حالة عمل البئر الاختباري قبل الإنشاء.

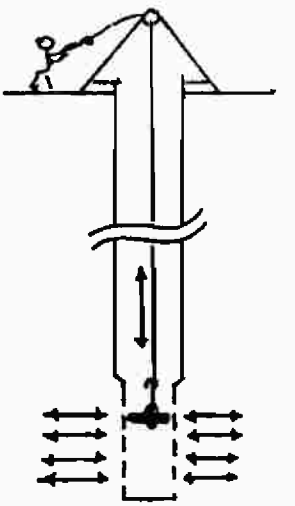
والأسلوب السليم الذي يجب اتباعه لاستعادة كفاءة إنتاجية البئر في مثل هذه الحالة، هو العمل علي إزالة الترسيبات في منطقة المصفاة، وفي مسام التربة المحيطة بالمصفاة حيث يتم ذلك بالخطوات التالية:

- **عمل الاضطراب بالقرص المعدني:**

يتم رفع غطاء فوهة البئر وسحب ماسورة سحب المياه والطلمبة خارج القيسون، وقياس منسوب المياه الاستاتيكي. ثم عمل الاضطراب الميكانيكي (Mechanical Surge) باستخدام قرص معدني، قطره أقل من قطر المصفاة بحوالي ١-٢بوصة كما في الشكل (٢/٣)، (٢/٤)، ثم إنزال القرص المعلق بحبل من النيلون إلي منطقة منتصف المصفاة.



شكل (٢/٣): مقطع فى قرص الاضطراب الميكانيكى.



شكل (٢/٤): استخدام قرص الاضطراب الميكانيكى.

يتم عمل الاضطراب بالرفع والإنزال للقرص في الماء بمسافة تعادل نصف طول المصفاة. ويجب الحذر في الرفع والإنزال للقرص المعدني في المراحل الأولي؛ لمراعاة حالات عدم استقامة قيسون البئر والمصفاة أحيانا.

يستمر الرفع والإنزال للقرص عدة مرات، وتوضع كمية من المياه عند فوهة البئر تعادل تقريبا حجم المياه في قيسون البئر والمصفاة. في حالة نجاح الاضطراب بالقرص المعدني، فإن المياه التي تم إدخالها تندفع بسرعة إلي أسفل خلال القيسون والمصفاة، ثم إلي خارج المصفاة داخل التربة المحيطة بالمصفاة، ثم يستعيد البئر منسوب المياه الجوفية الاستاتيكي الذي تم قياسه.

أما في حالة عدم تصريف المياه المضافة في قيسون البئر، يتم اللجوء إلي إزالة الترسيبات بالمواد الكيماوية:

مراحل إزالة الترسيبات في المصفاة والتربة المحيطة بها باستخدام بالاضطرابات (Surge):

التقنية الحديثة تتمثل في إزالة الترسيبات مع عدم رفع أجزاء من مكونات البئر أو نقله من مكانه، وتتم خطوات العمل علي مراحل طبقًا لحالة الترسيبات وإنتاج البئر كالآتي:

- في حالة ضعف إنتاجية البئر لوجود ترسيبات غير جيدة التماسك والالتصاق. في هذه الحالة يتم تشغيل طلمبة البئر لمدة دقيقتين بما يمكن من امتلاء ماسورة السحب للبئر (أو القيسون في حالة المضخة فوق سطح الأرض) ثم التوقف لمدة ٥-١٠ دقائق. عندئذ ترتد المياه إلي منطقة المصفاة وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة سحب المياه نحو البئر، وهذا يسبب حدوث خلخلة للترسيبات ضعيفة الالتصاق. بتكرار هذه العملية عدة مرات، يمكن تقييم نتائجها بتشغيل البئر وملاحظة كفاءة الإنتاج.

وتسمي هذه العملية بالاضطراب الهيدروليكي (Hydraulic surge) والتي تحقق نتائج طيبة في حالة المراحل الأولي لحدوث الترسيبات. أما في حالة عدم استعادة كفاءة الضخ من البئر، فإن ذلك يكون دلالة علي وجود ترسيبات شديدة الالتصاق في مسام التربة وفي فتحات المصفاة، والتي يتم التعامل معها بالاضطراب الميكانيكي (mechanical surge) باستخدام القرص المعدني الذي سبق توضيحه. أما في حالة عدم استعادة كفاءة البئر فإنه يتم اللجوء إلي إزالة الترسيبات باستخدام المواد الكيماوية.

- **إزالة الترسيبات باستخدام المواد الكيماوية:**

تضاف أحد الكيماويات الآتية من الأحماض إلي المياه في قيسون ومصفاة البئر، ثم تزداد المياه حتى امتلاء القيسون بالكامل، وتكون إضافة الحامض بالنسب التقريبية الآتية:

- حامض الهيدروكلوريك بتركيز ٥% (متوافر تجاريًا بتركيز ٣٢%)
- حامض السلفاميك (Sulphamic Acid) وهو عبارة عن حبيبات وإذابته في الماء بطيئة، بما يتطلب ترك الحامض في ماء البئر لمدة ١-٢ ساعة قبل البدء في تشغيل المكبس.
- حامض الجليوكوليك (Glycolic Acid أو Hydroxy Acetic Acid) وهو سائل، يوجد بتركيز ٢٠% وهو حامض ومطهر مثل الكلور؛ أي قاتل للبكتريا.

تضاف هذه الأحماض إلي كمية المياه المقدرة في قيسون البئر والمصفاة كالآتي:

من حامض الهيدروكلوريك تركيز ٥%، ٢٠لترًا لكل متر مكعب من المياه حامض السلفاميك، ١٠كيلو لكل متر مكعب من المياه، حامض الجليكوليك بتركيز ٢٠%، يضاف ١٠لترات لكل متر مكعب من المياه.

وقد يتم مضاعفة تركيز الحامض في حالة الآبار المتوقفة عن الضخ، مع ثبات منسوب المياه الاستاتيكي في البئر.

بعد إضافة الحامض يترك لمدة ١-٢ ساعة، ثم يتم البدء في تشغيل القرص أو المكبس الميكانيكي. ثم تضاف كمية من المياه حتى امتلاء القيسون. في حالة نقص المياه المضافة في القيسون لتسربه خلال المصفاة، تزاد كمية المياه المضافة إلي ما يعادل حجم المياه في القيسون والمصفاة، مع الاستمرار في رفع وإنزال المكبس (القرص) عدة مرات. يمكن استنتاج إزالة الترسيبات بملاحظة سرعة تدفق أي مياه مضافة خلال المصفاة حتى وصول المياه في قيسون البئر إلي المنسوب الاستاتيكي.

عندئذ تضاف كمية أخرى من المياه لإزاحة جميع المياه في القيسون والمصفاة المحملة بالحامض إلي التربة المحيطة بالمصفاة.

يتم رفع القرص أو المكبس الميكانيكي، وإعادة تركيب ماسورة السحب والطلمبة الغاطسة وإعداد البئر للتشغيل.

يتم تشغيل الطلمبة لسحب المياه في القيسون والمصفاة، وكذلك المياه المحيطة بالمصفاة في التربة الحاملة القريبة والمحملة بالأحماض. تستمر فترة تشغيل الضخ لفترة زمنية كافية لإزالة كل آثار للحامض في الماء مع ملاحظة الآتي:

تحديد الرقم الهيدروجيني للماء قبل المعالجة بالحامض، وكذلك استمرار ضخ المياه من البئر بعد المعالجة بالحامض حتى وصول المياه إلي الرقم الهيدروجيني (PH-Value) قبل المعالجة وثباته مع استمرار الضخ.

صرف المياه المحملة بالحامض يكون في مكان بعيد، مع توجيه المياه إلي حفره أو برميل به جير مطفي $Ca(OH)_2$؛ لإزالة حموضة المياه

بتعادلها مع قلوية الجير.. يمكن كذلك إضافة الصود آش (Na_2Co_3)، أو محلول الصودا الكاوية بتركيزه ٥% لمعادلة كمية الحامض المضافة مع الضخ، قبل إعادة تجهيز البئر للإنتاج.

تطهير البئر:

قبل إحكام قفل البئر وإعادة تشغيله تجري عملية أخيرة وهي تطهير البئر من الكائنات الحية الدقيقة باستخدام الكلور؛ حيث يضاف الكلور إلي مياه البئر من خلال فوهة قيسون البئر، وعادة الكلور المستخدم في هذه الحالة هو حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم ذات المحتوى من الكلور بنسبة ٦٥%، حيث تضاف الحبيبات مباشرة بما يحقق جرعة ١٥٠ملجرامًا في اللتر للمياه في القيسون والمصفاة.. ولمسافة ٣٠سم لحجم التربة حول المصفاة، ثم يترك البئر لفترة ٣-٦ ساعات. كما يجب ملاحظة تأكيد عدم وجود حموضة في الماء؛ أي إن الرقم الهيدروجيني (٧) فأكثر، وإلا تصاعد غاز الكلور أثناء إضافة الهيبوكلوريت إلي الماء.

تؤخذ الإجراءات الوقائية للعاملين باستخدام الكمامات الواقية للوقاية من غاز الكلور وغازات الأحماض، وكذلك الحذاء الواقي.

بعد فترة المكث للكلور للتطهير، يتم البدء في تشغيل البئر لسحب المياه المحملة بهيبوكلوريت الكالسيوم.يتم قياس جرعة الكلور لمياه البئر قبل وبعد المعالجة؛ للتأكد من تحسن نوعية المياه وخلوها من الملوثات البكيترية (ومنها البكتريا المؤكسدة للحديد). وكذلك عمل التحاليل المعملية الكيماوية والبيولوجية للمياه، قبل البدء في تشغيل البئر للإنتاج؛ بهدف الاطمئنان علي سلامة وصلاحية المياه للشرب والاستخدام المنزلي.

جدول (١-٢) يوضح كميات مركبات الكلور

اللازمة لعمل تركيزات الكلور في ٣,٨م^3 مياه.

تركيز الكلور ملجرام/لتر	هيبوكلوريت الكالسيوم كيلو جرام	محلول هيبوكلوريت الصوديوم (لتر)		
		٥%	١٠%	١٢%
٥٠	٠,٣	٣,٨	١,٩	١,٥%
١٠٠	٠,٦	٧,٦	٣,٨	٣%
٥٠٠	٢,٩	٣٧,٩	١٨,٩	١٥.١%
١٠٠٠	٥,٨	٧٥,٧	٣٧,٩	٣٠.٣%

٣- إزالة الغازات المذابة وأملاح الحديد والمنجنيز من مياه الآبار:

أ- إزالة الغازات المذابة في مياه الآبار:

جرت العادة علي استخدام التهوية لمياه الآبار كمرحلة أولي أساسية في إزالة الحديد والمنجنيز: وإن كان هذا مطلوبًا إلا أن التهوية لها وظائف أخرى، بالإضافة إلي الأكسدة الأولية لأملاح الحديد والمنجنيز- فالتهوية تزيل الغازات المذابة في الماء، مثل: غاز ثاني أكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين بما يحسن من المذاق ورائحة المياه. وهذه الغازات التي تزال تستبدل بالهواء الجوي (الأكسجين حيث توجد حالة من الاتزان بين الماء والهواء).

إذابة الهواء الجوي المحتوى علي الأكسجين الذى يؤكسد أملاح الحديدوز المذابة، وكذلك يؤكسد أملاح المنجنيز منخفضة التكافؤ مثل بيكربونات المنجنيز، والتي تذوب في الماء حيث تتحول هذه الأملاح إلي الحديديك غير المذاب، وإلي أيدروكسيد المنجنيز غير المذاب. والغازات التي قد تكون مذابة في مياه الآبار الجوفية تشمل ثاني أكسيد الكربون، كبريتيد الهيدروجين، والنشادر، والمواد العضوية المتطايرة (Voc s).

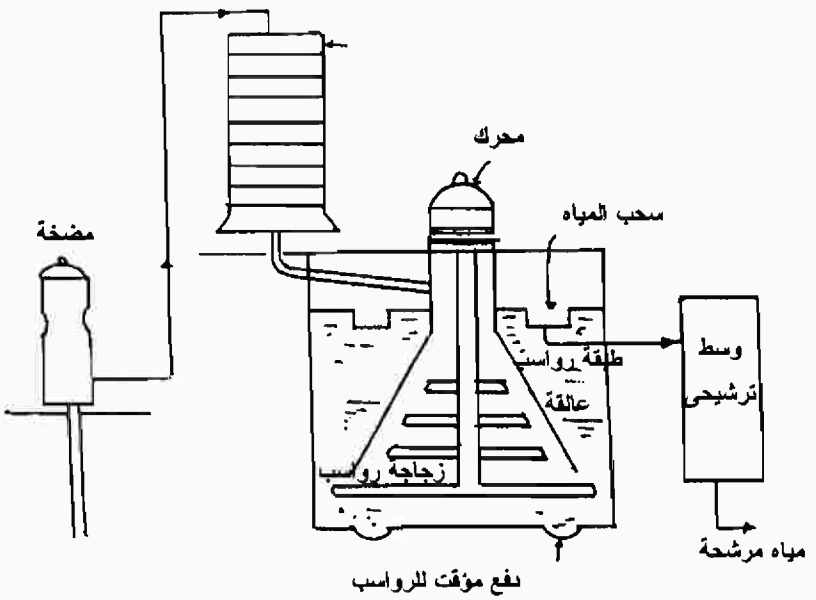
وإزالة هذه الغازات المذابة بالتهوية تخضع لقانون هنري، الذي يفيد بأن كمية الغازات المذابة في الماء تتناسب طرديًا مع ضغط الغاز في الهواء

الجوي. حيث عند درجة حرارة ٢٠°م وعند الضغط الجوي العادي يكون الماء في حالة اتزان مع الهواء، حيث يحتوي الماء عندئذ على ١٥,٨جزءاً في المليون من غاز النيتروجين، ١١,٧ جزءاً في المليون من غاز الأكسجين، ٠,٥ جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون وكمية صغيرة لا تقدر من كبريتيد الهيدروجين. ويذوب كل من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين نسبيًا في الماء عند درجة حرارة ٢٠°م وعند الضغط الجوي العادي حيث يذوب ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٧٠٠جزء في المليون، كبريتيد الهيدروجين بنسبة ٢٥٠٠جزء في المليون.

ولكن نظرًا لأن الضغط الجزئي (Partial Pressure) لهذه الغازات في الضغط الجوي العادي يساوي صفرًا؛ نظرًا لعدم احتواء الهواء الجوي علي هذه الغازات.. لذلك فإنه في حالة إيجاد حالة من الاتزان بين الماء المذاب فيه غازات والهواء الجوي بواسطة التهوية الجيدة، فإن الماء يتخلص من كل الغازات المذابة ويتشبع بالنيتروجين وأكسجين الهواء الجوي. وتزداد إزالة الغازات من الماء مع زيادة زمن التهوية وخلط الماء بالهواء، وكذلك مع ارتفاع درجة الحرارة، وزيادة حجم الهواء الملاصق، مع زيادة مساحة التلامس بين الماء والهواء. وتزال الغازات من الماء كلما زاد تركيزها في الماء وقل في الهواء.

وتتم التهوية لإزالة الغازات المذابة باستخدام أبراج التهوية المقفلة المجهزة بصوانٍ مثقبة بفواصل في برج التهوية، موضوعة بما يسمح بحرية الماء وانتشاره علي الصواني أكبر فترة زمنية، وأكبر سطح تلامس وزمن تلامس، أو تكون الأبراج محتوية على وسط ترشيحي زلطي ليحقق التلامس بين الماء والهواء. وتعمل أبراج التهوية إما بسحب الهواء من أعلى برج التهوية؛ حيث يدخل من فتحات جانبية أو سفلية، أو بدفع الهواء من أسفل حيث فتحات تصريف الهواء أعلا البرج. ويجهز برج التهوية بهوايات تركب أعلا البرج أو أسفل البرج

مجهزة بمحركات تدار بالطاقة الكهربية. وتكون حركة الهواء في الحالتين في اتجاه معاكس لتدفق الماء من أعلا برج التهوية. تستخدم الأبراج المقفلة أساسا في إزالة الغازات المذابة في الماء وغير المرغوب فيها وغير الموجودة في الهواء الجوي: كما تزال بكفاءة تامة، وكذا تزال مواد عضوية أخرى وغازات ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. وتسمي عملية إزالة الغازات بأبراج التهوية (Air Stripping) وهذه تحقق تحسناً فى نوعية المياه واستساغتها للشرب شكل (٢/٥).

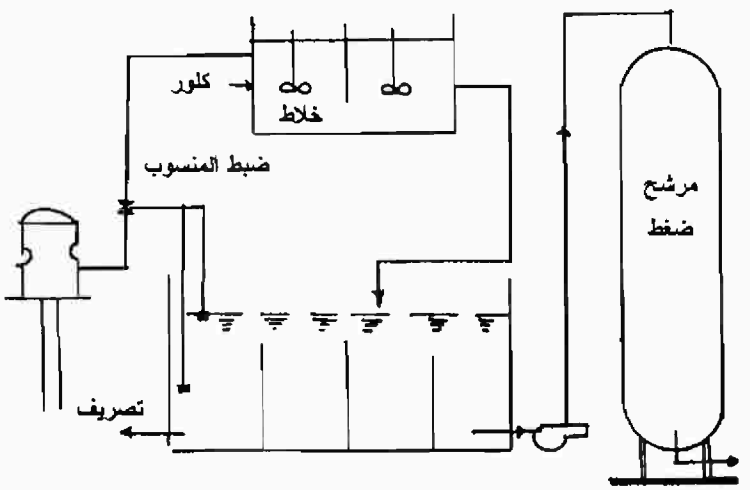


شكل (٢/٥): التهوية / الترسيب / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز لأكثر من ١٠ ملجرامات/لتر.

ب- <u>إزالة أملاح الحديد والمنجنيز:</u> شكل (٢/٥)، شكل (٢/٦).

توجد أملاح الحديد والمنجنيز غير العضوية عالية التكافؤ (الحديد ثلاثي التكافؤ والمنجنيز رباعي التكافؤ) في التربة وغير مذابة في الماء. وعند تعرض المياه الجوفية لظروف الاختزال، وخاصة نتيجة تحلل المواد العضوية التي تستهلك الأكسجين وتنتج ثاني أكسيد الكربون، عندئذ فإن مركبات الحديد والمنجنيز عالية التكافؤ وغير المذابة تتحول إلي ثنائية

التكافؤ، التي تذوب في الماء، لا لون لها. ولكن عند خروج المياه الجوفية وتعرضها لأكسجين الهواء الجوي، فإن هذه الأملاح المذابة تتأكسد وتتحول إلي الأملاح غير المذابة، والتي تظل عالقة في الماء حيث تعطي الماء اللون البني الطولي، وكذا المذاق المعدني غير المستساغ للشرب، هذا بالإضافة إلي سوء هذه النوعية من المياه في الاستخدامات المنزلية؛ لأنها تترك بقعًا ولطعًا حمراء علي الأجسام الملاصقة عند غسيلها بهذه المياه. أملاح الحديد المنجنيز مثل أملاح الكالسيوم والماغنسيوم تسبب العسر للمياه.



شكل (٢/٦): الكلورة / المكث / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز.

يوجد الحديد والمنجنيز في المياه الجوفية بتركيزات، قد تصل إلي ٢٥ جزءًا في المليون أو أكثر، والمنجنيز عادة تكون نسبته أقل من نسبة الحديد، وتكون في حدود جزء واحد في المليون. أما مركبات الحديد مع المواد العضوية، فهي تكون عادة في شكل هلامي (Colloidal)، والتي تحتجز بواسطة حبيبات التربة. أما في حالة وجود هذه المواد في المياه السطحية (هذا نادرا ما يحدث بالنسبة لمياه النيل)، فإنه يلزم معالجة المياه بمحلول من لبن الجير (قلوي) لتكسير المركب الهلامي من المواد العضوية والحديد؛ حتى يمكن أكسدة الهواء بالهواء الجوي أو بالمواد الكيماوية.

ولإزالة الحديد والمنجنيز من مياه الآبار.. فإنه يلـــزم عمـــل مراحـــل تتلخص أساسا في الأكسدة بالتهوية، أو باستخدام المواد الكيماويـــة، ثـــم ترسيب الأملاح غير المذابة ثم الترشيح في المرشحات.

أكسدة الحديد والمنجنيز المذاب في المياه الجوفية:

تتأكسد مركبات الحديد المذابة في مياه الآبار الجوفية بأكسجين الـــهواء الجوي؛ حيث يتأكسد الحديد بنسبة عالية، ولكن المنجنيز يتأكسد بنســـبة قليلة جدًا؛ وذلك لأنه لكي يتأكسد، يتطلب رقمًا هيدروجينيًا للماء أعـــلا من ٩,٥. الاحتياج الفعلي لكل جزء في المليون من الحديـــد هـــو ٦,٢ جزءًا في المليون من الأكسجين. ونظرًا لأن أكسجين الـــهواء الجـــوي المذاب في الماء عند التعرض للهواء الجوي، هو في حدود ١١,٧ جزءًا في المليون، لذلك فإن عملية التهوية تحقق أكسدة للحديد والمنجنيز فـــى حدود ٢ جزء فى المليون (للحديد أساسًا). ولذا يتم تكرار التهوية للمـــاء لأكسدة ما يزيد عن ٢جزء في المليون من الحديد، وقد يتم اللجوء إلـــي استخدام الكيماويات لاستكمال عملية الأكسدة.

ويكفي التهوية لأكسدة الحديد والمنجنيز في حالة التركيز بنسبة ٢جـــزء في المليون، حيث تحقق التهوية كذلك الاستفادة بإزالة الغازات المذابـــة، وبذلك تتحسن نوعية المياه.. هذا بالإضافة إلي أن التهوية التـــي تزيـــل ثاني أكسيد الكربون المذاب تعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للميـــاه، والذي يساعد علي سرعة الأكسدة. في المجال المتعادل للميـــاه (الرقـــم الهيدروجيني٧) يمكن أكسدة الحديد بالكلور، أو باستخدام مركبات الكلور ولكن المنجنيز لا يتأكسد بالكلور في المجال المتعادل، بل يتطلب رفـــع الرقم الهيدروجيني إلي أعلا من ٩,٥ لكي يتأكسد بالكلور.

ولكن يمكن أكسدة المنجنيز في المجال المتعادل باســـتخدام برمنجنـــات البوتاسيوم؛ لذلك تجري مراحل الأكسدة بالكلور بعد التهويـــة لأكســـدة

الحديد، ثم تتم الأكسدة بالبرمنجنات لأكسدة المنجنيز. زمن التلامس اللازم لأكسدة الحديد بالهواء الجوي وباستخدام الكلور هو ١٠ دقائق، أما زمن التلامس لأكسدة المنجنيز بالبرمنجنات هو دقيقتين. ثم بعد إتمام الأكسدة يتم فصل أملاح الحديد والمنجنيز المؤكسدة في حوض ترسيب قبل الترشيح أو الترشيح مباشرة؛ طبقًا لكمية المواد العالقة المطلوب إزالتها.

يتم الترشيح في مرشحات رملية باستخدام مادة أكسيد المنجنيز كعامل مساعد للأكسدة، ويكون في شكل طبقة متوسطة في الوسط الترشيحي، وبسمك ١٠-٢٠سم للمساعدة في إزالة المنجنيز. كما يفضل أن يتم الترشيح علي مرحلتين حيث يفصل الحديد المؤكسد أولاً، ثم يفصل المنجنيز بعد أكسدته بالبرمنجنات وإزالته بالترشيح. وإذا كانت نسبة الحديد والمنجنيز أقل من ٢ جزء في المليون، فإنه يمكن استخدام مواد التغليف (Chelating Agents)؛ لعمل غلاف حول أملاح الحديد بما يمنع من أكسدتها بالهواء الجوي. في هذه الحالة يختفي اللون الطوبي لهذه المواد، وتظل أملاح الحديد والمنجنيز في الماء. وقد تختصر المعالجة باستخدام التهوية والترسيب لإزالة هذه الأملاح القليلة.

كما تجدر الإشارة إلي أن التهوية أساسية لمعالجة مياه الآبار؛ نظرًا لأنها تزيل الغازات الحامضية، وبذا يرتفع الرقم الهيدروجيني للمياه، ومن ثم زيادة قدرة أكسجين الهواء الجوي أو الكلور علي أكسدة أملاح الحديد والمنجنيز.

طرق التهوية متعددة منها أبراج التهوية المقفلة بالصواني المثقبة أو بالوسط الترشيحي الزلطي أو التهوية بالرش أو بالمصاطب المتدرجة أو بالهواء المضغوط، أو بطرق أخرى كثيرة.

تقنيات معالجة المياه لإزالة الحديد والمنجنيز موضحة في الشكلين (٢/٥)، (٢/٦).

٤- إضافة الفلور إلى مياه الشرب: (Water Flouridation)

يضاف الفلور إلي مياه الشرب طبقا لمعايير علمية وطبية. الفلور موجود بنسب مختلفة في التربة، المياه، النباتات، وفي الأطعمة. أقصي تركيز للفلور في الثدييات يكون في العظام والأسنان.

الفلور مفيد للأسنان عند خلطه بمياه الشرب. فعند شرب المياه المحتوية علي الفلور يتسرب ٥٠% من الفلور إلي عظام الفك والأسنان، ٥٠% إلي المعدة وجدار المعدة ثم إلي مجرى الدم؛ حيث ينتشر في الجسم ويزداد تركيزه مع تقدم السن. ونظرا لأن الفلور يعتبر العنصر الباحث عن العظام.. فإن العظام والأسنان تجذب الفلور وتحتفظ به، حيث يكون امتصاص الأسنان للفلور سريعًا في مرحلة نمو الأطفال، ولهذا يفضل شرب المياه المحتوية علي الفلور بالنسبة للأطفال، قبل تكوين الأسنان المستديمة.

مستويات الفلور المرتفعة في مياه الشرب لها مردود صحي سئ، ولكن الفلور يجعل الأسنان مقاومة للأحماض البكتيرية، كما يساعد علي بناء المينا.

يوصي بتركيز الفلور في مياه الشرب بتركيز ٠,٧-١,٠ ملجرام/لتر. أما بالنسبة لتلاميذ المدارس يكون التركيز ٤ أضعاف ليكون من ٣,٢-٤ملجرام/لتر. يضاف الفلور في شكل فلوريد الصوديوم؛ حيث توفر ٨,٦ كيلوجرامات من فلوريد الصوديوم تركيز ١ملجرام/لتر لعدد ٣٨٠٠متر مكعب من المياه.