ISSN 1110-0419

قياس بعض دلائل التلوث الكيميائية للآبار الجوفية في مدينة صنعاء

جمال علي قاسم المنصوري ، أحمد علي عبدالله الطوقي
(قسم الأراضي والمياه – كلية الزراعة /جامعة صنعاء)

الملخص:

هدف البحث (الذي جرى في العام ٢٠٠٣ م) إلى تقدير بعض المكونات الملوثة للمياه (NO_3-N، F، Fe، Cd)، في ثلاثين من الآبار الجوفية (المملوكة للأهالي) المنتشرة في مختلف أحياء وضواحي أمانة العاصمة صنعاء، والتي تلبي احتياجات أكثر من نصف سكان المدينة تقريبا، ومن ثم تقييم صلاحية استخدامها في الشرب والري.

بينت النتائج بان ٣٠%، ٦,٧%، و ٣,٣% من آبار الدراسة ملوثة بالنترات (> ٥٠ ملليغرام NO_3/لتر)، الحديد (> ٠,٣ ملليغرام Fe/لتر)، والفلوريد (> ١,٥ملليغرام F/لتر) على التوالي، ومن المنظور العام للتلوث فإن ٤٠% من الآبارتعتبر غير صالحة للشرب بسبب تلوثها بأحد المؤشرات الثلاثة – المدروسة –، وقد تركز معظم التلوث النتراتي في منطقة وسط المدينة. من جهة أخرى، لم تبين الدراسة وجود تركيزات أعلى من المعتاد للكادميوم بما تؤثر في الصحة (Cd > ٠,٠٠٣ ملليغرام/لتر).

وفي حين أن جميع الآبار المدروسة لا تحتوي مياهها على تركيزات غير صالحه للرى الزراعى من الحديد (> ٥ ملليغرام Fe/لتر)، فان هناك ٦,٧% من هذه الابار تحتوي على تراكيز مرتفعة من الفلورايد (> ١ ملليغرام F/لتر) قد تحد من صلاحية هذه المياه للري بسبب احتمالات التأثير التلوثى – التراكمي – على التربة والنبات، كما أن نسبة ٣,٣% من الآبار الجوفية المدروسة تحتوي على مستوى عالي من النيتروجين ــ النترات –(> ٣٠ ملليغرام N/لتر) مما قد يشكل مشكلة خطره لبعض المحاصيل – الحساسة – دون سواها.

كلمات مفتاحية: آبار جوفية، تلوث المياه، نترات، فلورايد، حديد، صنعاء

مقدمة:

إنه مع تزايد شحة الموارد المائية المتاحة في اليمن، ونظرا لوقوع مدينة صنعاء في منطقة جبلية مرتفعة اتجه السكان – وكذا السلطات المحلية – إلى حفر آبار يدوية (سطحية) وارتوازية(جوفية). ومع ازدياد عدد السكان وإتساع العمران ازدادت الحاجة للمياه خاصة بعد نضوب مصادر المياه السطحية (الغيول/العيون) كالتي كانت تمر في مدينة صنعاء. كل ذلك جعل المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه وبالذات في العقود القليلة الماضية كما جاء فى دراسة البنك الدولى (البنك الدولي، ١٩٩٧). وتشير تلك الدراسات إلى أن إجمالي الموارد السنوية المتجددة في اليمن تقدر بحوالي ٢,١ بليون متر مكعب، وفى عام ١٩٩٤ كانت المياه المستخدمه حوالي ٢,٨ بليون متر مكعب،

وأدى ذلك إلى استنزاف الموارد والتجاوز بحوالي ٠,٧ بليون متر مكعب. وباعتبار أن عدد سكان اليمن حوالي أربعة عشر مليون نسمة في عام ١٩٩٤ فان حصة الفرد لم تتجاوز ١٥٠ متر مكعب/سنة، وهو يقل كثيرا عن ٧٥٠٠ متر مكعب وهو المتوسط العالمي، علاوة على أن ٥٧% من سكان اليمن ليس لديهم خدمات تزودهم بمياه الشرب النقية، ولم يحظى سوى ٥٠% من سكان المناطق الحضرية و ١٧% من سكان المناطق الريفية بخدمة المجاري العامة. ويشير كتاب الإحصاء لعام ١٩٩٩ (الجهاز المركزي للإحصاء، ١٩٩٩) إلى أن معدل نمو السكان هو ٣,٥%، وفي حين بلغ عدد السكان أكثر من ١٧,٥ مليون نسمة فان عدد المنتفعين من خدمات مياه الشرب – العامة–أقل من ٢,٥ مليون نسمة، في حين لم تشمل خدمات الصرف الصحي سوى ما يقارب مليون نسمة فقط.

إن شحة الامكانيات المادية والبشرية يجعل المؤسسة العامة اليمنية للمياه والمجاري غير قادرة على تغطية كامل مدينة صنعاء وضواحيها وإمداد جميع السكان في الأمانة –التي تحتل مركز حوض صنعاء المائي–بمياه الشرب النقية، والآبار الخاصة التابعة للأهالي – التي تقدر أعدادها بما يقارب ٦٠٠ بئرا أهلية منتشرة في حوض صنعاء بالكامل (هاشم، ١٩٩٦) – تقوم بتغطية وإمداد أكثر من نصف سكان أمانة العاصمة صنعاء (٥٥% من السكان تقريبا) باحتياجاتهم من المياه (الصلوي ومحمد، ١٩٩٦)، بالرغم من غياب الرقابة وتزايد عدم الارتياح والتحفظ لأداء هذه الآبار. ويعيش اليمن حاليا أزمة مياه (وذلك نظرا للنمو المتزايد في عدد السكان)، وان هذه الأزمة سوف تتفاقم مستقبلا، حيث أن حصة الفرد من الموارد المائية المتاحة هي حوالي ١٥٠ متر مكعب في السنة فقط (٠,٢% من المعدل العالمي). علاوة على ذلك، وبحسب تقديرات البنك الدولي لعام ١٩٩٦ (السقاف ومحرن، ١٩٩٩) فان مياه الشرب لا تصل إلا لحوالي ٦٠% من سكان المدن، وفي المدن السريعة النمو – مثل صنعاء – فان الأحوال أسوأ بكثير. حيث لا يتلقى سوى ٣٦% من المستهلكين المياه التي يحتاجون إليها، وذلك من حقلين تابعين للمؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي. بالإضافة إلى ذلك، فان مناطق عديدة في مدينة صنعاء قد تلوثت مياهها الجوفية بالمياه العادمة والمخلفات الصناعية نظرا لعدم استكمال شبكة الصرف الصحي من جهة، ولعدم وجود محطات التعقيم في المصانع المتواجدة في حدود هذه المنطقة، مما أدى إلى عدم صلاحية هذه المياه للاستعمال البشري والإنتاج الزراعي.

هناك ثلاثة أنواع من تلوث المياه الجوفية بسبب تداخل مياه الصرف الصحي منها وهي: تلوث آزوتي نتراتي (نيتروجين نتراتي)، تلوث بكتيري، وتلوث بالمعادن الثقيلة والمركبات الكيميائية. ويكون التلوث الآزوتي ثعتبر ثابتا، أما التلوث البكتيري فهو تلوث غير ثابت (حيث لا يتجاوز الزمن الحسابي لحياه البكتيريا في المياه الجوفية ٣٠٠ يوم)، ويشكل التلوث بالمعادن الثقيلة والمركبات الكيميائية خطرا يتسبب بالتدهور البيئي لمجمل المنظومة الحيوية، مهددا الأحياء النباتية والحيوانية بما فيها الإنسان (داوود، ٢٠٠١). إذ يمكن أن تؤدي المعادن الثقيلة إلى تسمم النباتات، كما يمكن أن تؤدي إلى تراكم في التربة ينتقل إلى النباتات الصالحة للأكل ومنها إلى البشر مما يؤدي إلى حدوث تأثير سمي أو سرطانات أو تشوهات في الأجنة (جركس،٢٠٠٠)،

وتعد الأسمدة المعدنية –الآزوتية – سمادا جيدا للنباتات حتى حد معين، يحصل بعده خطر تلوث المياه الجوفية. وقد أثبتت الدراسات أن النشاطات الزراعية يمكن أن تتسبب في دخول النترات وبعض المواد الكيميائية الأخرى إلى المياه الجوفية. وان مستويات النترات (الذي يعتبر تواجدها في مياه الشرب خطرا على الصحة) في المياه الجوفية قد تشكل اتجاها خطرا، كما هو الحال في منطقة الباطنة التي تعد أهم منطقة زراعية بسلطنة عمان (أحمد وأخرين ٢٠٠١).

ظهرت الحاجة إلى المياه الجوفية منذ أمد بعيد في المناطق التي تقل فيها المياه السطحية أو تنعدم (كالمناطق الصحراوية وشبه الصحراوية) حيث تستخدم هذه المياه لأغراض عديدة منها الشرب، للإنسان والحيوان والرى الزراعي وأغراض الصناعة، والأغراض المنزلية. من اجل هذا ازداد الطلب بصورة ملحوظة على هذه المياه في مختلف أنحاء العالم، وتكونت هيئات متخصصة بحفر الآبار واستغلال مياهها، حيث تشكل المياه الجوفية خمس إلى سدس المياه المستخدمة من قبل السكان في العالم، خاصة وان الحصول على هذه المياه – في بعض الحالات – يكون أسهل من الحصول على غيرها من المياه السطحية (Walton, 1970). وتستخدم المياه الجوفية بصورة واسعة كمصدر للشرب وري المحاصيل الزراعية، وذلك بسبب أن بعض المناطق تكون فيها المياه السطحية غير كافية – أو غير متوافرة – ولكون المياه الجوفية عادة خالية من المسببات المرضية المعوية (McCabe *et al.*, 1970). ولقد عرّضت أنشطة السكان المتزايدة أنظمة مائية جوفية تخدم مليون نسمة إلى التلوث في الولايات المتحدة الأمريكية، كما أشار إلى ذلك تقرير منظمة الصحة العامة الأمريكية في عام ١٩٧١ م (William *et al.*, 1973). كما أن الحفر – الصحية – الأرضية التي تستخدم للتخلص من الكثير من النفايات –الصناعية– تضيف كميات من المواد الكيميائية الخطرة للتربة، وبالتالي وصلت هـذه الملوثات إلى المياه الجوفية (Patterson *et al.*, 1972). ويحدث تلوث المياه الجوفية عادة نتيجة دخول الملوثات عند ترشيحها خلال قشرة الأرض من مستوى المياه الجوفية أو من مستوى أعلى، وتتعرض هذه الملوثات إلى عملية امتزاز من قبل دقائق التربة، وقد تجرى عليها تحولات كيمائية (غير حيوية) أو حيوية (بيولوجية) نتيجة نشاط الأحياء المجهرية بالتربة والتي تؤدي إلى زيادة سمية الملوثات (William *et al.*, 1973).

توجد النترات (Nitrate) والنتريت (Nitrite) بشكل طبيعي حيث تشكل جزءا من دورة النيتروجين. وعلى العموم، تبلغ مستويات النترات التي توجد بشكل طبيعي في المياه السطحية والجوفية بضعة ملليغرامات في اللتر الواحد. وقد لوحظ في العديد من المياه الجوفية زيادة في مستويات النترات بسبب الممارسات الزراعية المكثفة، ويمكن لتركيزاتها أن تصل إلى بضعة مئات من الملليغرامات في اللتر. وفي بعض البلدان يمكن أن يتعرض عدد من السكان (تصل نسبتهم إلى ١٠%) لمستويات من النترات في مياه الشرب تربو على ٥٠. وعلى الرغم من أن الأطفال الرضع دون الشهر الثالث من العمر هم الأكثر تأثرا بزيادة النترات، فقد وردت تقارير عن حالات أصيب بها بعض البالغين. وتدعم المعطيات الوبائية الشاملة القيمة الدلالية (الدليلية للنيتروجين النتراتى) البالغة ١٠ ملليغرام Nنتراتى /لتر، وعلى أي حال فلا ينبغي

التعبير عن هذه القيمة على أساس النيتروجين النتراتى بل على أساس النترات نفسها التي تمثل الكيان الكيميائي الباعث للقلق حول الصحة، ولذلك تبلغ القيمة الدلالية للنترات ٥٠ ملليغرام NO_3/لتر. أما النيتروجين النشادرى أو الأمونيومى فهو من الأنواع غير المؤينة (النشادر NH_3) والمؤينة (الأمونيوم NH_4^+)، وتبلغ عتبة تركيز الرائحة للنشادر (الأمونيا) في حالة الـ pH القاعدي حوالي ١,٥ ملغ نشادر (أمونيا)/ لتر، وقد افترض عتبة طعم قدرها ٣٥ ملغ/لتر لهابطة الأمونيوم. وفي حين أنه ليس لوجود الامونيا (Ammonia) في مياه الشرب صلة وثيقة مباشرة بالصحة ولم تقترح لها أي قيم دلالية من أجل الصحة، فقد تم اقتراح قيمة دلالية للنتريت قدرها ٣ ملغ/لتر. ونظرا لإمكانية الوجود المتزامن لكل من النترات (NO_3^-) والنتريت (NO_2^-) في مياه الشرب، فلا يجوز أن يتجاوز مجموع نسب تركيزها إلى قيمته الدلالية (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩).

يشكل الفلورايد (Fluoride) نحو ٠,٣ ملغ/لتر من القشرة الأرضية، ويتوقف التعرض للفلورايد من مياه الشرب على الظروف الطبيعية إلى حد بعيد، أما مستوياته في المياه غير المعالجة فهي عادة دون ١,٥ ملغ/لتر، ولكن يمكن أن تحتوي مياه الآبار على حوالي ١٠ ملغ/لتر في المناطق الغنية بالمعادن المحتوية على الفلورايد. وفي حين يمكن إضافة الفلورايد في بعض الأحيان إلى مياه الشرب – ذات المحتوى الواطئ – لمنع تسوس الأسنان، فإن التركيزات التي لا تتجاوز القيمة الدلالية (البالغة ١,٥ ملغ/لتر) تنطوي على احتمال خطر متزايد يتمثل في التسمم السني بالفلور، وتؤدي التركيزات الأكثر ارتفاعا إلى التسمم الهيكلي بالفلور. ولقد تم العثور على مستويات عالية من الفلورايد تزيد عن ٥ ملغ/لتر في بلدان عديدة (مثل الجزائر، الصين، مصر، الهند، وتايلاند). أما الكادميوم (Cadmium) فيتحرر في البيئة من الفضلات السائلة، وينشأ التلوث المنتشر من جراء التلوث بالأسمدة وتلوث الهواء المحلي، كما يمكن أن ينشأ – التلوث بالكادميوم – في مياه الشرب عن الشوائب الموجودة في زنك الأنابيب المغلفنة واللحام وغيرها من التجهيزات المعدنية. وتعد الكلى العضو المستهدف الرئيسي لسمية الكادميوم، وعلى الرغم من أن المستويات الموجودة في مياه الشرب هي عادة دون ١ ميكروغرام/لتر، فقد تم تحديد القيمة الدلالية (القيمة الدليلية) للكادميوم بمقدار ٣ ميكروجرام/ لتر على أساس تخصيص نسبة ١٠% من المدخول الأسبوعي – المؤقت – الممكن تحمله لمياه الشرب (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩).

ويعد الحديد من أكثر المعادن توافرا في القشرة الأرضية، ويوجد في المياه الطبيعية العذبة بمستويات تتراوح بين ٠,٥ إلى ٥٠ ملغ/لتر، كما يمكن أن يتوافر – الحديد – في مياه الشرب نتيجة لاستخدام مخثرات الحديد أو نتيجة لتآكل الفولاذ وحديد الصب أثناء توزيع المياه، ويؤدي تخصيص نسبة مقدارها ١٠% من المدخول اليومي الأقصى المؤقت الذي يمكن تحمله لمياه الشرب إلى قيمة مقدارها ٢ ملغ/لتر وهي قيمة لا تشكل خطرا على الصحة، يتأثر مذاق ومظهر مياه الشرب عادة تحت هذا المستوى. ولم تقترح قيمة دلالية – من قبل منظمة الصحة العالمية–من أجل الصحة بالنسبة لوجود الحديد في مياه الشرب. ويمكن أن تحتوي المياه الجوفية اللاهوائية على حديد الحديدوز بتركيزات تصل إلى عدة ملليغرامات في اللتر دون وجود تغير في اللون أو

العكر في المياه حين تضخ من البئر مباشرة، وبمجرد تعرضه للجو يتأكسد الحديدوز متحولا إلى حديديك ويعطي لونا بنيا ضاربا إلى الحمرة يعتبر محل اعتراض في المياه، كما يعزز الحديد نمو جراثيم الحديد التي تستمد طاقتها من تأكسد الحديدوز وتحوله إلى حديدك وترسب غلاف مخاطي على تمديدات الأنابيب، أما في المستويات التي تزيد عن ٠,٣ ملغ/لتر فيمكن للحديد أن يصبغ غسيل الملابس ومثبتات لحام تمديدات المياه، ولا يلاحظ عادة أي طعم في حالة تركيزات الحديد التي تقل عن ٠,٣ ملغ/لتر (على الرغم من احتمال ظهور اللون والعكر). ويمكن أن تكون تركيزات الحديد البالغة ١-٣ ملغ/لتر مقبولة لمياه الشرب (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩).

أفاد تقرير المتابعة حول تلوث المياه الجوفية في حوض صنعاء (مجلس حماية البيئة، ١٩٩٣) الذي أوجز نتائج بعض المسوحات الميدانية، المتمثلة بدراستين جرت الأولى عام ١٩٩١، وغطت أربع مناطق في مدينة صنعاء هي:منطقة مقلب القمامة بالأزرقين، والمنطقتان الصناعيتان حول مجمع الثورة الصناعي شمال غرب المدينة وحول مصنع الغزل والنسيج شمال شرق المدينة، وبرك مياه مجاري صنعاء في منطقة الروضة، وأجزاء من وسط المدينة حيث توجد مشاريع بيع المياه من آبار جوفية بالقرب من بيارات المياه العادمة - الملوثة - المنزلية (مياه المجارى)، وقد خلصت الدراسة - تلك-إلى أن مياه المجاري في منطقة الروضة قد لوثت المياه الجوفية من الناحية الكيميائية (البكتريولوجية)، وفي وسط المدينة لوحظ أن هناك بئران - من آبار مشاريع المياه الأهلية - قد تلوثتا تلوثا واضحا وخطرا نتيجة لتسرب مياه المجاري من البيارات المجاورة، وجرت الدارسة الثانية - عام ١٩٩٣ - كمتابعة للدراسة الأولى، وقد غطت - تقريبا - المواقع السابقة نفسها، وشملت ٢١ بئرا للمياه الجوفية في منطقة صنعاء، وخلصت الدراسة - الثانية - إلى أن هناك ما يشير بصورة أكيدة إلى تلوث المياه الجوفية كيميائيا وجرثوميا بسبب تدخل مياه المجارى.

بالرغم من أن تشجيع وتعزيز البحوث التطبيقية الميدانية في مختلف المواضيع المائية، وكذلك ضبط وتنظيم أسواق المياه (التابعة للقطاع الخاص) وتوعية الجمهور، وإحكام الرقابة على نوعية المياه، - وأيضا - وضع المواصفات القياسية الوطنية - اليمنية - الخاصة بالمياه والصرف الصحي ومراجعتها وتحديثها وتطبيقها، علاوة على حماية الموارد المائية (وخاصة الجوفية منها) من الاستنزاف والتلوث مهما كان مصدره (بما فيه الفضلات الصلبة والسائلة والتعدين وغزو مياه البحر ومقالب النفايات والمدخلات الزراعية)، باعتبار أن قطاع المياه يحتل المرتبة الأولى بين قطاعات التنمية الاقتصادية والاجتماعية، ويعد الأمن المائي في المرتبة الثانية بعد الأمن القومي. كل ذلك، لم يخف على القائمين بتوجيه السياسات المائية - في اليمن - فجعلوه من اولويات الاستراتيجية الوطنية للمياه (الهيئة العامة للموارد المائية، ١٩٩٨). إلا أنه - رغم ذلك - فان الاعتقاد السائد حاليا والمتزايد باستمرار، هو أن نسبة كبيرة من مصادر المياه الجوفية في المدن الرئيسية (خاصة المزدحمة بالسكان) مهددة بالتلوث - أو ملوثة فعلا - بالمخلفات العادمة (خاصة الآدمية منها) في ظل نقص شبكات المياه وتردي أوضاع الخدمات، وعدم كفاءة الصرف الصحي (كما هو الحال في أمانة العاصمة صنعاء)، مما قد ينذر بكارثة بيئية، وهو ما يستوجب جهودا -

رسمية وشعبية – حثيثة ومخلصة لمنع الخطر القادم الذي لن يستثنى أحدا. وإسهاما في تغطية النقص الواضح والملموس في الدراسات العلمية المتخصصة والمتعلقة بتلوث المياه والتقييم البيئي لأوضاع الآبار الجوفية، فقد هدف هذا البحث إلى الوقوف عند مستويات بعض الملوثات الكيميائية (النيتروجين النتراتي والفلوريد والحديد والكادميوم (Cd ،Fe ،F ،N NO3-)، ومدى صلاحية استخدام مياه الآبار الجوفية (الخاصة بالأهالي والواقعة ضمن حدود أمانة العاصمة صنعاء) للاستخدامات البشرية والزراعية، اعتمادا – بصورة رئيسية – على القيم الدلالية (الدليلية) المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية (للشرب)، ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (للري) وذلك نظرا لعدم توافر مواصفات قياسية يمنية – حتى الآن–يمكن الاعتماد عليها.

المواد وطرق العمل:

شملت هذه الدراسة ثلاثين بئرا جوفية (بأعماق مختلفة)، جميعها مملوكة – بالكامل– للقطاع الخاص (أفراد أو تجمعات أهلية)، تم اختيارها عشوائيا من بين الآبار العاملة (التي تصل أعدادها إلى حوالي ١٢٠ بئرا أهلية)، والتي تبيع المياه – غير المعالجة–لتلبية النقص في حاجة السكان (للشرب والأغراض الأخرى)عن طريق الصهاريج المتنقلة (الوايتات) أو الأنابيب – الخاصة– إلى المنازل القريبة، والمنتشرة في مختلف أحياء مدينة صنعاء (أمانة العاصمة) سواء التي تستخدم المجاري العامة (شبكة الصرف الصحي) أو البيارات الخاصة (الحفر الامتصاصية) في تصريف المخلفات الصحية للمساكن "مياه المجارى"– والمنشآت الأخرى –، والمقسمة إداريا إلى عشر مديريات تمثل منطقة الدراسة (التي جزئت إلى ثلاث مناطق تضم شمال ووسط وجنوب المدينة) – كما هو مبين على الخريطة (شكل رقم ١) –، والتي تقع–جميعها – في وسط المنطقة المائية المعروفة بحوض صنعاء.

جمعت العينات من مياه الآبار المشمولة بالدراسة في ثلاث فترات زمنية (خلال الأشهر الثلاثة: سبتمبر، أكتوبر، نوفمبر ٢٠٠٣)، وقد جلبت–العينات–بواسطة (قنانى) قوارير بلاستيكية (نظيفة ومغطاة) سعة ١,٥ لتر (بمكررين). ملئت القنينة بعد غسلها جيدا (عدة مرات) بماء البئر، وذلك باتباع الخطوات الخاصة بطريقة أخذ – وحفظ – عينات المياه (من البئر المزودة بمضخة ميكانيكية) لأغراض الفحوصات الكيميائية – والفيزيائية–(العكيدي و أبو سعيد، ٢٠٠٠ & بكر وآخرون، ١٩٩٩). وتم نقل عينات المياه – مباشرة – إلى مختبر قسم الأراضي والمياه بكلية الزراعة/جامعة صنعاء، حيث جرى تقدير العناصر الكيميائية المحددة في هذه الدراسة، وذلك خلال فترة ٧٢ ساعة بعد أخذها.

تم تقدير النيتروجين النتراتي باستعمال جهاز الطيف الضوئي بالأشعة فوق البنفسجية (UV Spectrophotometer) عند طول موجي ٢٢٠ nm، وبعمل منحنى قياسي (المفرجي والعزاوي، ١٩٩١ و Maria *et al.*, 2000). وتم تقدير الفلورايد بالطريقة اللونية بواسطة جهاز قياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) عند طول موجي ٥٤٠nm باستخدام محلول Solochrome Cyanine R وكاشف Acidic Zirconium (Geza. and Livia, 2000 والعكيدي وأبو سعيد، ٢٠٠٠). وقدر الحديد –

والكادميوم – بواسطة جهاز امتصاص الطيف الذري Atomic absorption spectrophotometer (فضل، ١٩٩٧ ويوسف، ١٩٩٩).

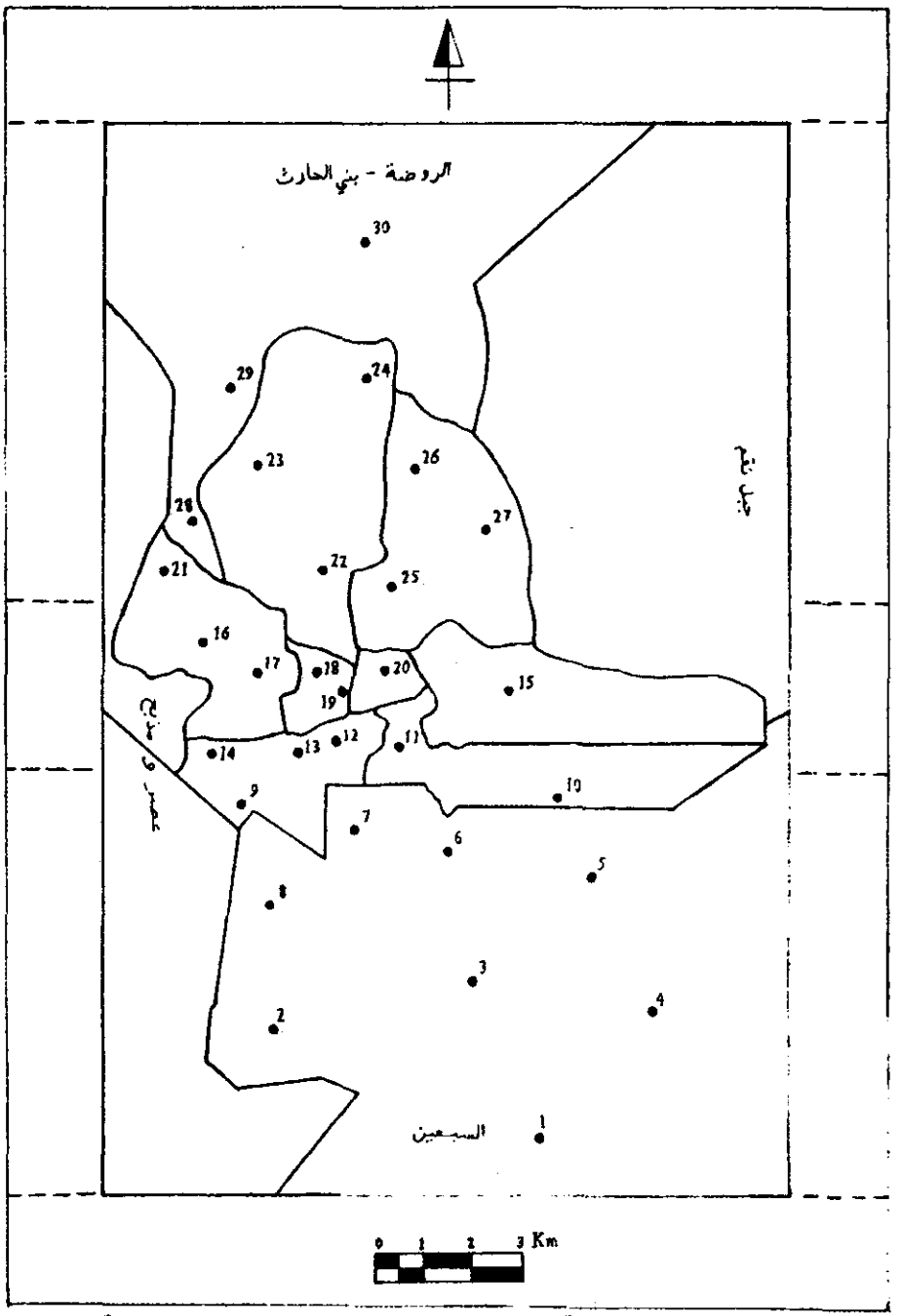
النتائج والمناقشة:

تبين الأشكال (٢) و (٣-أ، ب) نتائج التحاليل المختبرية التي أمكن قياسها في هذه الدراسة. وتم تقييم حالة النترات ى المياه وعرضها فى شكل تركيز أيون النترات NO_3^-، وكذلك فى شكل تركيز عنصر النيتروجين النتراتي NO_3-N علما بأن ١ملغ أيون نترات $NO3^-$/لتر = ٠,٢٢٥ ملغ نيتروجين نتراتي NO_3^-N/لتر وتباين تركيز النترات ($NO3^-$) في مياه الآبار – الثلاثين المدروسة – بين ١٣٨,٣ملغ/لتر و ٥,١ ملغ/لتر بمتوسط ٣٨,٩ ملغ/لتر وانحراف معياري (SD) قدره ٣٨,٢، أى تباينت تركيز النيتروجين (النتراتى NO_3^-N) بين ٣١,٢ ملغ/لتر و ١,٢ ملغ/لتر بمتوسط ٨,٨ ملغ/لتر وانحراف معياري يساوي ٨,٦، أما مستويات الفلورايد (F) فقد تباينت بين ٢,٢ ملغ/لتر و ٠,١ ملغ/لتر بمتوسط قدره ٠,٥ ملغ/لتر وانحراف معياري يساوي ٠,٤، في حين تفاوتت تركيزات الحديد (Fe) بين ٠,٨٣ ملغ/لتر و ٠,٠١ ملغ/لتر بمتوسط يساوي ٠,١٠ ملغ/لتر وانحراف معياري قدره ٠,١٨.

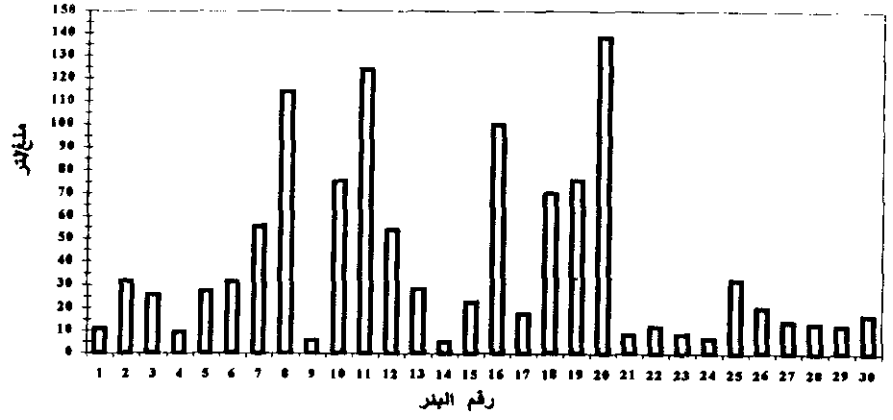
ومن جانب آخر، لم يلاحظ – خلال هذه الدراسة – وجود تركيزات مهمة (يمكن أن تذكر) لعنصر الكادميوم (Cd) في أي من عينات مياه الآبار الجوفية المدروسة، إذ كانت جميع القيم – المقدرة – في جميع الآبار المشمولة بالدراسة هي دون الحدود المسموح بها (Cd < 0.003 ppm)، وفقا للقيم الدلالية التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية – للشرب –، ولا تشكل خطرا على الصحة (WHO, 1993).

إن عدم وجود أي ارتباط واضح بين كل من: النترات والفلورايد، النترات والحديد، الفلورايد والحديد (r = -0.34، r = -0.29، r =- 0.10 على التوالي) في مياه الآبار المشمولة في هذه الدراسة يشير-على الأرجح -- إلى اختلاف مصادر التلوث بأي من هذه العناصر (كلا على حده)، وربما وجود مصادر مختلفة – مستقلة – للتلوث.

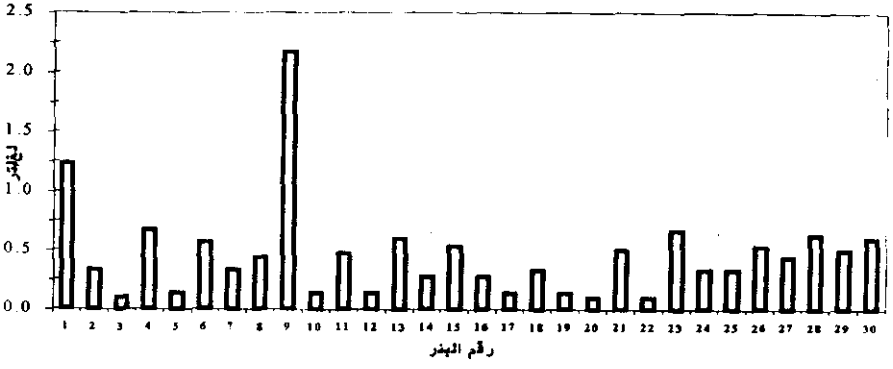
يوضح الجدول رقم (١) توزيع الآبار المدروسة بحسب تركيزات كل من النترات (NO_3^-)، الفلورايد (F)، والحديد (Fe) المقدرة في مياه الآبار الأهلية المدروسة، وذلك وفقا للقيم الدلالية (الدليلية) للشرب التي حددتها منظمة الصحة العالمية (WHO, 1993)، يشير إلى أن هناك تسع آبار (تمثل ٣٠% من جملة الآبار الأهلية المدروسة) تعد ملوثة بالنترات (NO_3^- > ٥٠ ملغ/لتر)، وان هناك بئران (تمثلان نسبة ٦,٧%) ملوثتان بالحديد (Fe > ٠,٣ ملغ /لتر)، علاوة على بئر واحدة (تمثل نسبة ٣,٣%) ملوثة بالفلورايد (F > ١,٥ ملغ /لتر).



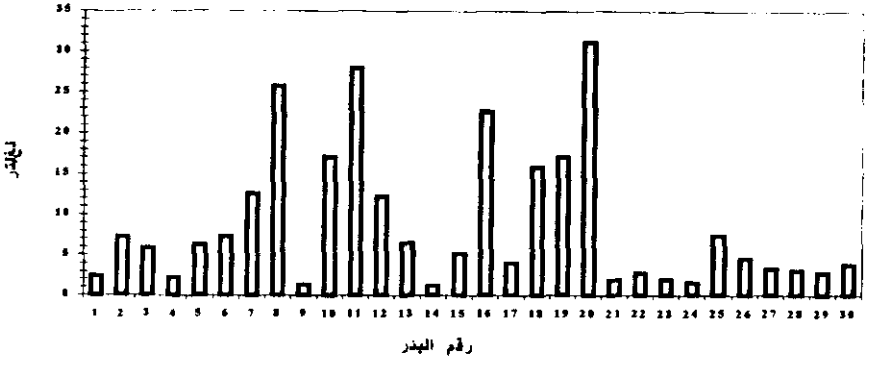
شكل (١): خارطة أمانة العاصمة صنعاء موضح عليها مواقع الآبار المدروسة.



شـــكل (٢): تركـــيز أيون النترات NO_3 (والنتروجين النتراتى NO_3^-N) المقدرة في مياه الآبار المدروسة



شكل (٣-أ): قيم الفلورايد (F) المقدرة في مياه الآبار المدروسة



شكل (٣-ب): قيم الحديد (Fe) المقدرة في مياه الآبار المدروسة

وتشير نتائج جدول رقم ٢ إلى أن مجموع الآبار غير الصالحة للشرب (وفقا للمؤشرات المدروسة) هو ١٢ بئرا تمثل ٤٠% من جملة الآبار المدروسة – البالغ عددها ٣٠ بئرا –، منها تسع آبار ملوثة بالنترات تقع معظمها في وسط المدينة (٦ آبار) والباقي في شمال المدينة (٣ آبار). جميعها تحتوي على تركيزات عالية من النيتروجين – نترات (NO_3^- > ٥٠ ملغ /لتر) – جدول (٣) – مما قد يشكل خطرا على الصحة، فقد أجمعت المواصفات الدولية التي تتعلق بمياه الشرب على وجوب ألا يتعدى تركيز النترات في المياه ٥٠ ملغ /لتر للبالغين و ٢٥ ملغ/لتر للأطفال (خاصة الرضع لغاية ستة اشهر الذين يتناولون الحليب الجاف)، والنساء الحوامل (حلواني، ١٩٩٨).

جدول (١): توزيع الآبار المدروسة وفقا لتلوث مياه الشرب بالنترات والفلورايد والحديد

الآبار المدروسة	النترات NO_3^- (ملغ/لتر)			الفلورايد F (ملغ/لتر)			الحديد Fe (ملغ/لتر)		
	≤ ٥٠ *	> ٥٠	المجموع	≤ ١,٥*	> ١,٥	المجموع	≤ ٠,٣*	> ٠,٣	المجموع
العدد	٢١	٩	٣٠	٢٩	١	٣٠	٢٨	٢	٣٠
النسبة	٧١ %	٣٠ %	%١٠٠	٩٦,٧ %	٣,٣ %	%١٠٠	٩٣,٣ %	٦,٧ %	%١٠٠

* القيم الدليلية للشرب (WHO, 1993)

جدول (٢): توزيع الآبار – في المناطق المختلفة – بحسب نوع تلوث المياه المدروس

المنطقة	الآبار المدروسة	نوع التلوث في المياه			جملة الآبار الملوثة (غير الصالحة للشرب)	جملة الآبار غير الملوثة (الصالحة للشرب)	المجموع
		NO_3 (< ٥٠ ملغ/لتر)	Fe (< ٠,٣ ملغ/لتر)	F (< ١,٥ ملغ/لتر)			
جنوب المدينة	العدد	٣	٠	١	٤	٦	١٠
	النسبة	%٣٠	%٠	%١٠	%٤٠	%٦٠	%١٠٠
وسط المدينة	العدد	٦	١	٠	٧	٣	١٠
	النسبة	%٦٠	%١٠	%٠	%٧٠	%٣٠	%١٠٠
شمال المدينة	العدد	٠	١	٠	١	٩	١٠
	النسبة	%٠	%١٠	%٠	%١٠	%٩٠	%١٠٠
المجموع	العدد	٩	٢	١	١٢	١٨	٣٠
	النسبة	%٣٠	%٦,٧	%٣,٣	%٤٠	%٦٠	%١٠٠

إن عدم وجود أي تداخل في مؤشرات التلوث المدروسة (إذ لم يلاحظ تلوث أي من الآبار المدروسة بأكثر من ملوث – من الثلاثة المقاسة – في الوقت نفسه)، يؤكد احتمال تعدد مصادر تلوث الآبار المدروسة بكل من النترات، الفلورايد، والحديد (كما سبق الذكر). وان تركز معظم التلوث بالنترات في منطقة وسط المدينة بشكل رئيسي (٦ آبار) التي تشمل المديريات القديمة (التحرير، صنعاء القديمة، وما حولهما من الأحياء القديمة)، بما تمثله من كثافة سكانية عالية ونشاط مستمر منذ فترات طويلة، والتي ظلت تعاني كثرة استخدام الحفر الراشحة (البيارات) في تجميع المخلفات المنزلية "الصرف الصحى أو مياة المجارى"، وتردي خدمات الصرف الصحي، واستنزاف المياه الجوفية. وعليه، فيمكن أن يعود هذا التلوث – بالنترات– إلى تسرب مياه المجاري العادمة إلى الطبقات الأرضية ووصولها إلى المياه الجوفية بسبب الحفر العشوائي – وبدون ضوابط – للبيارات، وبأساليب ومواصفات لا تعير جانب السلامة اهتماما. كما أن تجاور المواقع يجعل من السهل انتشار هذا التلوث الكيميائي (الذي لاتعوقه المسافة عادة)، إذ أن تأثيره يمكن أن يمتد إلى مسافات بعيدة إذا توافرت الظروف الهيدرولوجية المساعدة على انتقاله (عطروس، ٢٠٠٠)، وهو ما قد يفسر تلوث بعض الآبار الأخرى (٣ آبار) المجاورة لوسط المدينة – باتجاه الجنوب –، علاوة على كون هذه الأحياء المجاورة للوسط تمثل الامتداد القريب جدا والملاصق للتوسع العمراني والنشاط السكاني المتزايد، الذي بدا بها منذ سنوات بعيدة–مضت – ليمتد تدريجيا بالاتجاه الأبعد، بالاضافة الى كونه موجودا أصلا في أحياء قديمة (كالصافية). وفضلا عن ذلك، تشكل الآبار اليدوية – أحيانا – طريقة سهلة لوصول التلوث إلى الخزانات الجوفية، وذلك عند هطول المطر وجريان السيول خاصة التي تكون موجهه نحو الآبار اليدوية، وغالبا ما تجرف السيول المخلفات العضوية والكيميائية في طريقها مما يؤدي إلى تلوث مصادر المياه، وهذا ما يحصل في كثير من مناطق اليمن. كما انه – وكما ذكر (عطروس، ٢٠٠٠)–وفي كثير من المناطق الزراعية الواقعة على ظفتي وادي السائلة – بصنعاء – والمليء بمياه الصرف الصحي غير المعالجة، تتم عملية الترشيح مباشرة إلى المياه الجوفية، أضف إلى ذلك استخدام المزارعين هذه المياه العادمة مباشرة في ري أراضيهم مما يزيد رقعة الأحواض الجوفية الملوثة.

جدول (٣): تصنيف مياه الآبار – في مختلف مناطق الدراسة – وفقا لمستوى النترات NO_3^-

التقسيم*	الآبار المدروسة						المجموع	
	جنوب المدينة		وسط المدينة		شمال المدينة			
نترات (NO_3 ملغ /لتر)	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %
≤ ٢٥	٣	٣٠	٣	٣٠	٩	٩٠	١٥	٥٠
٢٥< – ٥٠	٤	٤٠	١	١٠	١	١٠	٦	٢٠
٥٠ <	٣	٣٠	٦	٦٠	٠	٠	٩	٣٠
مجموع	١٠	١٠٠	١٠	١٠٠	١٠	١٠٠	٣٠	١٠٠

* وفقا للكميات – في مياه الشرب – المتعلقة بالصحة (حلواني، ١٩٩٨/بتصرف)

من ناحية أخرى، قد يعزى وجود النترات – وبعض العناصر الفلزية الثقيلة كالحديد – بتركيزات مرتفعة في بعض آبار أمانة العاصمة صنعاء إلى استخدام الأسمدة في الزراعة، واحتمال بعض التلوث الصناعي بالنسبة لعنصر الحديد (مجلس حماية البيئة، ١٩٩٣). ومع احتمال أن تكون للأسمدة الكيميائية والمخلفات الحيوانية – المستخدمة في الزراعة – دورا مهما في التلوث النتراتي لمياه بعض الآبار المدروسة باعتبارها من مصادر مثل هذا التلوث (حلواني، ١٩٩٨)، خاصة في ظل استمرار الأنشطة الزراعية المختلفة في أجزاء متعددة من المناطق المشمولة بالدراسة (كما هو ملحوظ). وتجدر الإشارة إلى أن التلوث من أماكن تجميع القمامة ومقالب النفايات – في المناطق ذات الهطول المطري – تكون عادة مصحوبة بقيم عالية من الملوثات ومنها الحديد، حيث تتغلغل المياه السطحية عبر المخلفات الصلبة، ومن خلال الشقوق والفوالق لتغذي الخزانات الجوفية بمياه ملوثة، كما هو الحال في صنعاء (عطروس، ٢٠٠٠).

وفي حين تشير النتائج – جدول (٤) – إلى أن هناك بئرا واحدة فقط (في جنوب المدينة) تحتوي على مستوى عالي (> ١,٥ ملغ /لتر) من الفلورايد (ربما يكون بسبب الطبيعة الجيولوجية ونوع الصخور المختلفة، مما قد يزيد من مخاطر التسمم السني وتبقع الأسنان)، فإن هناك ٢٨ بئرا (تشكل ٩٣,٣٣% من جملة الآبار المدروسة) تعد نسبة الفلورايد فيها واطئة (<١ ملغ F/لتر)، مما قد يستدعي إضافة الفلورايد عند استخدام مثل هذه المياه–ذات المحتوى الواطئ من الفلورايد – في الشرب، وذلك لمنع تسوس الأسنان (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩).

جدول (٤): تصنيف مياه الآبار – في مختلف مواقع الدراسة – وفقا لتركيز الفلورايد.

التقسيم*	الآبار المدروسة						المجموع	
الفلورايد (ملغ F /لتر)	جنوب المدينة		وسط المدينة		شمال المدينة		العدد	النسبة %
	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %		
١ >	٨	٨٠	١٠	١٠	١٠	١٠٠	٢٨	٩٣,٣٣
١ – ١,٥	١	١٠	٠	٠	٠	٠	١	٣,٣٣
١,٥ <	١	١٠	٠	٠	٠	٠	١	٣,٣٣
مجموع	١٠	١٠٠	١٠	١٠٠	١٠	١٠٠	٣٠	١٠٠

* وفقا للمقادير – في مياه الشرب – المؤثرة صحيا (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩ /بتصرف)

إن وجود الاختلافات-الموقعية – بين الآبار في مستوى الفلورايد، ربما يعود إلى نوع الأرض والطبيعة الجيولوجية وحركة الماء في البئر، والتي تسبب وصول ايون الفلورايد من قاع وجوانب البئر وتتحكم بكميته في المياه الجوفية، باعتبار أن مصدر الفلورايد الأساسي في المياه هو القشرة الأرضية (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٩).

الجدول (٥) الذي يبين توزيع الآبار المدروسة وفقا لصلاحية المياه للري – فيما يخص المؤشرات الثلاثة (النيتروجين النتراتى NO_3^-N والفلويد F والحديد Fe) المدروسة – بحسب منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1989)، يشير إلى أن بئرا واحدة فقط (تمثل ٣,٣% من الآبار المدروسة) تحتوي على تركيز عالي من النيتروجين النتراتى (> ٣٠ ملغ N/لتر) قد يشكل خطورة حادة (تؤدي إلى تأثيرات متنوعة) يجب أخذها بالاعتبار بالنسبة لبعض المحاصيل التي تتأثر بذلك. وفي حين أن جميع الآبار المدروسة (٣٠ بئرا) لا تحتوي مياهها على تركيزات معاكسه للنمو من عنصر الحديد (Fe ≥ ٥ ملغ/لتر)، فان هناك بئران (تمثلان نسبة ٦,٧%) تحتويان على تراكيز مرتفعة من الفلورايد (> ١F ملغ/لتر)، إذ يعد وجود مثل هذه المعادن من المشكلات المحددة لاستعمال المياه في الري، حيث أن زيادة تركيزها – عن حد معين – وتراكمها في التربة لفترات طويلة يؤثر تأثيرا مباشرا في نمو وحياة النبات. إلا أن المعلومات المتوافرة حول اثر مثل هذه العناصر الثانوية لا تزال بحاجة إلى تجارب مكثفة لكشف التأثير المعاكس للنمو من أجل حماية التربة من التلوث، لتكون وسط نمو جيد للنبات (الزبيدي، ١٩٨٩).

جدول (٥): توزيع الآبار النتراتى المدروسة وفقا لقيم النيتروجين النتراتى NO_3^-N- والفلورايد والحديد في مياه الري

الآبار المدروسة	النيتروجين النتراتى NO_3^-N (ملغ/لتر)				الفلورايد F (ملغ/لتر)			الحديد Fe (ملغ/لتر)		
	(١) ≤ ٥	(٢) ٥-٣٠*	(٣) > ٣٠	المجموع	≤١ *	١<	المجموع	≤ ٥*	٥ <	المجموع
العدد	١٤	١٥	١	٣٠	٢٨	٢	٣٠	٣٠	٠	٣٠
النسبة%	٤٦,٧	٥٠,٠	٣,٣	١٠٠,٠	٩٣,٣	٦,٧	١٠٠	١٠٠	٠	١٠٠

* القيم الدليلية للري { (١) آمن (٢) خطورة متزايدة (٣) مشكلة حادة} (FAO, 1989).

لعل قلة مستوى التلوث بالنيتروجين النتراتى، المتمثل بزيادة نسبة الآبار غير الملوثة (N > ١٠ ملغ/لتر) مع زيادة عمق الآبار المدروسة – بشكل عام – (جدول ٦)، يتوافق مع اعتبار أن سرعة تسرب التلوث نحو الأسفل ووصوله إلى عمق معين (خلال زمن محدد) يعتمد على المسافة، ومن ثم فان الآبار الأقل عمقا تكون أكثر تلوثا (فيما سيحتاج وصول التلوث إلى أعماق بعيدة زمنا أطول). وإن التباين الحاصل في نسب الآبار الملوثة (N تساوي ١٠ إلى ٣٠ ملغ/لتر) والملوثة جدا (< N ٣٠ ملغ/لتر) في الأعماق المختلفة، ربما يعود إلى اختلاف الظروف الطبيعية والجيولوجية (من

مكان إلى آخر)، علاوة على طبيعة ونوع مصادر هذا التلوث – المختلفة – والعوامل المؤثرة الأخرى.

جـدول (٦): توزيـع الآبار المدروسة وفقا للتلوث – بالنيتروجين النتراتى بحسب العمق التقريبي للبئر

الآبار المدروسة			مستوى التلوث بالنيتروجين النتراتى (NO_3^-N)						مجموع	
			١٠ >		١٠ – ٣٠		٣٠ <			
			غير ملوثة		ملوثة		ملوثة جدا			
عمق البئر (بالأمتار)	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %
١٠٠ >	٣	١٠,٠	١	٣٣,٣	٢	٦٦,٧	٠	٠,٠	٣	١٠٠
١٠٠ >– ٢٠٠	٤	١٣,٣٣	٢	٥٠,٠	١	٢٥,٠	١	٢٥,٠	٤	١٠٠
٢٠٠ >– ٣٠٠	٧	٢٣,٣٣	٥	٧١,٤	٢	٢٦,٦	٠	٠,٠	٧	١٠٠
٣٠٠ >– ٤٠٠	٩	٣٠,٠	٨	٨٨,٩	١	١١,١	٠	٠,٠	٩	١٠٠
٤٠٠ >– ٥٠٠	٦	٢٠,٠	٤	٦٦,٧	٢	٣٣,٣	٠	٠,٠	٦	١٠٠
٥٠٠	١	٣,٣٣	١	١٠٠,٠	٠	٠,٠	٠	٠,٠	١	١٠٠
المجموع	٣٠	١٠٠	٢١	٧٠,٠٠	٨	٢٦,٦٧	١	٣,٣٣	٣٠	١٠٠

إن الحساب الزمني – التقريبي – لوصول المياه العادمة والراشحة من سطح الأرض حتى منسوب المياه الجوفية، وتوقع تغير نوعية المياه الجوفية يحتاج إلى دراسات خاصة بانتقال التلوث، إذ يتعلق تركيز المواد الملوثة في المياه الجوفية والتربة بالتركيز الأولى لها في بؤرة التلويث ومعاملات ارتشاح التشتت ومعامل نفوذية التربة وكمية المياه الملوثة (داوود، ٢٠٠١).

يشير الجدول (٧) إلى أن نسبة الآبار الملوثة (بالنترات) في مناطق استخدام البيارات في الصرف الصحي، هي أقل من نسبة التلوث في مناطق نظام المجاري (٢٦,١%، ٠% مقارنة بـ ٢٨,٦%، ١٤,٣% هي نسبة الآبار الملوثة التي تحتوي على ١٠ – ٣٠ ملغ/ لتر، والملوثة جدا التي تحتوي على >٣٠ ملغ نيتروجين نتراتى NO_3^-N /لتر، وذلك لكل من مناطق البيارات، والمجاري على الترتيب). وعموما، قد لا يكون ذلك مستغربا – فيما يخص هذه الدراسة، إذ أن مشكلة تلوث المياه الجوفية بمياه الصرف الصحي ستظل قائمة حتى بعد الانتهاء من تنفيذ شبكة مجاري تغطي جميع مناطق أمانة العاصمة صنعاء بالكامل، لان الكمية التي قد تكون تسربت – من المجاري – منذ سنوات طويلة مضت (منذ العام ١٩٨٤) هي كبيرة بالقدر الكافي

للوصول إلى الخزانات الجوفية، وان انتهاء هذه المشكلة وانعدام تأثيرها لابد سيأخذ وقتا طويلا قد يصل إلى عدة سنوات قادمة (عطروس، ٢٠٠٠).

جدول (٧): توزيع الآبار المدروسة وفقا للتلوث بالنيتروجين النتراتى وبحسب نوع الصرف الصحي حول البئر

الآبار المدروسة			مستوى التلوث بالنيتروجين النتراتى (NO_3-N)						مجموع	
			< ١٠		١٠ – ٣٠		> ٣٠			
			غير ملوثة		ملوثة		ملوثة جدا			
نوع الصرف الصحي (حول البئر)	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %	العدد	النسبة %
بيارات	٢٣	٧٦,٦٧	١٧	٧٣,٩	٦	٢٦,١	٠	٠,٠	٢٣	١٠٠
مجاري	٧	٢٣,٣٣	٤	٥٧,١	٢	٢٨,٦	١	١٤,٣	٧	١٠٠
المجموع	٣٠	١٠٠,٠٠	٢١	٧٠,٠٠	٨	٢٦,٦٧	١	٣,٣٣	٣٠	١٠٠

إن تلوث المياه الجوفية له تأثيرات ومخاطر مستقبلية على مصادر المياه الجوفية واستخدام مياه الآبار للأغراض البشرية وغيرها، وتمثل مصادر التلوث – هذه – مشكلة بيئية ذات أهمية حيوية، الأمر الذي يتطلب دراسات علمية خاصة بانتقال التلوث ومقداره وطرق وسرعة انتقاله، والتأثيرات المستقبلية في الاحتياطي الاستراتيجي لمياه الشرب النقية (داوود، ٢٠٠١).

المراجع:

البنك الدولي (١٩٩٧) اليمن نحو استراتيجية للمياه (تقرير، رقم: ١٥٧١٨).

الجهاز المركزي للإحصاء (١٩٩٩) كتاب الإحصاء السنوي (ص: ٤٩ – ٨٨). الجمهورية اليمنية.

الزبيدي، أحمد حيدر (١٩٨٩) ملوحة التربة – الأسس النظرية والتطبيقية. جامعة بغداد، العراق.

السقاف، على عيدروس و أحمد محمد محرن (١٩٩٩) إدارة الموارد المائية في اليمن. المجلة اليمنية للبحوث الزراعية (العدد ١٢، ص: ٨٩ – ١١٦). كلية ناصر للعلوم الزراعية. عدن، اليمن.

الصلوي، محمد سعيد و نوري جمال محمد (١٩٩٦) مضامين السياسات المتعلقة باستعمالات مياه الشرب في المناطق الحضرية/دراسة نمطية لكل من صنعاء وتعز. ندوة الادارة المتكاملة للموارد المائية في اليمن (صنعاء ٩ – ١١ ديسمبر، ص: ١١ – ٢٢). الهيئة الهامة للموارد المائية صنعاء، اليمن.

العكيدي، حسن خالد حسن و جوزيف أنطوان أبو سعيد (٢٠٠٠) الأسس العلمية والتحاليل المخبرية للمياه والأغذية. دار زهران. عمان، الأردن.

المفرجي، طالب كاظم و شذى سليمان العزاوي (١٩٩١) الاختبارات الكيمياوية للمياه. علم الأحياء المجهرية للتربة والمياه – الجزء العملي. جامعة بغداد، العراق.

الهيئة العامة للموارد المائية (١٩٩٨) الاستراتيجية الوطنية للمياه – نشرة مشروع الصياغة. ورشة العمل لمناقشة الورقة الخاصة بمشروع استراتيجية المياه، بالتعاون مع البنك الدولي (صنعاء ١٧ – ١٨ نوفمبر).الجمهورية اليمنية.

بكر، محمد نبيل ؛ عبد الواحد يوسف نجم ؛ كمال السيد خليل ؛ و يحي عبد الرحمن يحي (١٩٩٩) طرق تحليل التربة والنبات والمياه. الادراة العامة لمشروع تقدير خصوبة التربة، الهيئة العامة لصندوق الموازنة الزراعية. مصر.

جركس، أمل (٢٠٠٠) استخدامات مياه الصرف الصحي في الري. المجلة العربية لإدارة مياه الري (العدد ٣، ص: ٥١ –٥٧). المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الخرطوم، السودان.

حلواني، جلال (١٩٩٨) تلوث المياه بنيترات الأسمدة الكيميائية. مجلة الدراسات اللبنانية العربية – أبعاد (العدد ٧، ص: ٤١ – ٤٦). المركز اللبناني للدراسات.

داوود، معن دانيال (٢٠٠١) تأثير الري باستخدام المياه العادمة على تلوث المياه الجوفية. المجلة العربية لإدارة مياه الري (العدد ٥، ص: ٢٣ – ٣٢). المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الخرطوم، السودان.

عطروس، على سعد (٢٠٠٠) المياه الجوفية (الطبعة الأولى). مطابع الشامي التجارية. صنعاء، الجمهورية اليمنية.

فضل، عبد الكريم العبيد (١٩٩٧) طرق التحاليل الكيميائية والفيزيائية للتربة والمياه (الجزء الأول/الطرق الكيميائية) مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي. اليمن.

مجلس حماية البيئة (١٩٩٣) تقرير المتابعة حول تلوث المياه الجوفية في حوض صنعاء. الجمهورية اليمنية.

منظمة الصحة العالمية (١٩٩٩) دلائل جودة مياه الشرب – الطبعة الثانية (مترجم/الجزء الأول). المكتب الإقليمي لشرق المتوسط. الإسكندرية، مصر.

هاشم، عبد الحليم (١٩٩٣) الآثار الصحية المترتبة على تلوث المياه. ندوة الإدارة المتكاملة للموارد المائية في اليمن (صنعاء ٩ – ١١ ديسمبر، ص: ٥٧ – ٧١). الهيئة العامة للموارد المائية. صنعاء، اليمن.

يوسف، أحمد فوزي (١٩٩٩) أجهزة وطرق تحليل التربة والمياه. جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

Ahmed, M ; Al-Rawahy, S ; Al Handhaly, J.; Al Saadi, S.N ; and Al Ajmi, H (2001): Management of Nitrate in Groundwater: A simulation study. Agricultural Sciences, 6 (1-2): 59 – 65. Sultan Qaboos University. Oman.

FAO (1989): Water quality for agriculture (Reprinted). R.S. Ayers and Westcot, D.W,. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Food and Agriculture Organization of (FAO). The United Nations, Rome Italy.

Geza, N. and Livia, N. (2000): Halogens-Fluoride, In: Handbook of water analysis (edited by Leo, M.L.Nollet). Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

Maria, T.O; Amalia, C.; and Victor, C. (2000) Analysis of nitrates and nitrites, In: Handbook of water analysis (edited by Leo, M.L.Nollet). Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

McCabe, L.J.: Symons, J.M.; Lee, R.D.; and Robech, G.G. (1970): Survey of community Water Supply Systems. J.Amer. Water Works Assoc. (62): 670-687.

Patterson, J.W.: Minear, R.A.; and Nedved, T.K. (1972): Septic tanks and the environment, Illinois, Institute for Environmental Quality, Chicago USA.

Walton, W.C. (1970): Quality of ground water. In: ground water resources and environmental engineering. (Cited by: Abed Al –Redha, Q. 1981. A Bacteriological Studies on Some Wells water, used as drinking water source – In Arabic- M.Sc. Thesis. College of Science. University of Baghdad. Iraq).

WHO (1993): Guidelines for drinking – water quality (Second Edition), Volum 1. World Health Organization, Geneva.

William, J. D ; James, F. M.; and Robert, S.K. (1973): Subsurface biology activity in relation to ground water pollution. U.S. Environmental Protection Agency, Oregon (97330) USA.

MEASUREMENT OF SOME WATER CHEMICAL POLLUTION INDICATORS OF THE UNDERGROUND WELLS AT SANA'A CITY BY

Al Mansouri, J.A.K. and Al Tawki, A.A.A.
Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Sana'a University, Yemen.

ABSTRACT

This is wirdespread concern about underground water, of main cities in Yemen such as Sana'a, are menaced with pollution, is increased. Considering the main water source huge abuse, terrible sanitary drainage methods and service deficient, along with the chronic lack in information and studies, this paper (carried out in the year 2003) aimed to determinate some water pollution elements ($N\text{-}NO_3$, F, Fe, and Cd), in 30 underground private wells, distributed in the different districts and boundaries of the Capital city and that supply water requirement for more than a half of the city inhabitants approximately. The paper equally, aimed to evaluate actual, drink and irrigation, water use convenience.

The results revealed that 30%, 6.7%, and 3.3% of the studied wells are nitrate polluted (>50 mg NO_3/l), Iron (> 0.3 mg Fe/l), and Fluoride (> 1.5 mg F/l), respectively. Generally, 40% of the studied wells are imputable in reason of pollution with one of the three studied indicators. The most nitrate pollution found to be concentrated in the city center. On the other hand, this study revealed no important Cadmium concentration may have influence on health (Cd < 0.003 mg/l).

While all the studied wells waters do not contain agriculturally toxic Iron concentration (≤ 5 mg Fe /l), about 6.7% of them contain Fluoride high concentration (>1 mg F/l) which can limit validity of this water for irrigation use because of toxic accumulation probable effect on soil and plant. Meanwhile, 3.3% of the underground studied wells contain high percentage of Nitrate-Nitrogen (> 30 mg N/l), that can cause a serious problem to some sensitive crops, exclusively.

Key words: "Ground water, Water Pollution, Nitrate, Fluoride, Iron, Sana'a.