4 – قييم لبعض معايير المياه في الابار الخاصة بمنطقة صنعاء

تقييم لبعض معايير جودة المياه في الآبار الخاصة بمنطقة صنعاء

أحمد على عبد الله الطوقي جمال علي قاسم المنصوري
قسم الأراضي والمياه – كلية الزراعة – جامعة صنعاء

المستخلص

إن أوضاع وأساليب الصرف الصحي غير السليمة إلى حد كبير، علاوة على غياب الرقابة على تصريف المخلفات الصناعية بدون أية معالجة وتركها للاختلاط بالمياه الجوفية يعد خطرا يهدد مصادر المياه الجوفية المجاورة بالتلوث. مع قلة الأبحاث وغموض الوضع البيئي، فقد هدف هذ البحث إلى قياس العديد من المؤشرات الكيميائية المتعلقة بنوعية المياه وصلاحيتها للشرب والري. شملت الدراسة 30 بئرا جوفية (اختيرت عشوائيا من بين تلك العاملة في القطاع الخاص) منتشرة في مختلف مديريات الأمانة، والتي تقوم بتغطية احتياجات الكثير من المستهلكين نظرا لقصور الإمدادات وشحة المياه في العاصمة اليمنية (صنعاء). أظهرت النتائج بشكل عام صلاحية مياه الآبار قيد الدراسة للشرب إلى حد كبير فيما يخص المواد الصلبه الذائبة الكلية (TDS≤1000 ملغم.لتر$^{-1}$) والصوديوم (Na≤ 200 ملغم.لتر$^{-1}$) و الكلوريد (Cl ≤ 250 ملغم.لتر$^{-1}$)، والكبريتات (SO_4≤400 ملغم.لتر$^{-1}$) والبوتاسيوم (K≤12 ملغم.لتر$^{-1}$) والكالسيوم (Ca≤ 200ملغم.لتر$^{-1}$) والمغنسيوم (Mg ≤ 150 ملغم.لتر$^{-1}$)، مع أن بئرا واحدة (تمثل نسبة 3.3 % من مجموع ابار الدراسة) هي ذات ماء له أس هيدروجيني عالي (pH > 9)، كذلك هو الحال فيما يخص العسرة الكلية (> 500 ملغم.لتر$^{-1}$) في بئر أخرى، إلا أن المستهلكين قد يتحملون مثل هذه القيم نظرا لعدم تعلق المؤشرين بالصحة. وفيما يتعلق بصلاحية المياه للري، فقد تبين انه وفي جميع الآبار قيد الاختبار لا توجد مشاكل حادة يمكن أن تترتب عن استعمال مثل تلك المياه للزراعة، وذلك بالنسبة للتوصيل الكهربائي (EC ≤ 0.3 ديسيسيمنز.م$^{-1}$) و الكلوريد (Cl ≤ 10 ملمكافئ.لتر$^{-1}$)و والبيكربونات ($CO_3 + HCO_3$ ≤ 8.5 ملمكافئ.لتر$^{-1}$)، حيث لم تتعد هذه القيم في كل عينات المياه المفحوصة الحدود القصوى المسموح بها للري . من جانب آخر، فان هناك بئرين (تمثلان نسبة 6.7 %) تتعدى فيهما قيمة معدل امتزاز الصوديوم الحد المقرر (SAR > 9) مما يجعل استخدام مثل هذه المياه في الري محددة.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 37(1) : 35 – 46, 2006 Al-Tawki & Al-Mansouri

EVALUATION OF SOME QUALITY INDICES IN THE PRIVATE WELLS WATER AT SANAA ZONE

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

ABSTRACT

Incorrect sanitary drainage conditions and methods, additional to the absence of control on the industrial waste drainage, into infiltration holes or into the sanitary networks (taking place at the capital Sana'a), without any treatment, may be considered as a danger, alarming polluting the near under ground water resources. Regarding to research lack and the environmental aspect ambiguity, this study was carried out in the year 2003, aimed to measure some chemical indicators related to water quality and its validity for drinking and irrigation. In this study, 30 underground wells were included. Wells were randomly chosen among the operating wells in the sector and distributed in the different directions of the capital, covering the water needs for many consumers (according to the lack in public water supply).

Results showed that the validity of studied wells water for drinking in regard to; the total deleting salts (TDS≤1000 mg/l), sodium (Na≤200 mg/l), chloride (Cl≤250 mg/l), sulfate (SO_4≤400 mg/l), potassium (K≤12 mg/l), calcium (Ca≤200 mg/l), and magnesium (Mg≤150 mg/l). Although one well (presents 3.3% of the whole studied wells) had a high (pH>9) and also for the total hardness (H>500 mg/l) in another well, but the consumers may support such values because these indices are not related to health. Concerning water validity for irrigation and in all the studied wells, it was clear that no chronic problems may be revealed from using such waters in agriculture, as; the electric conductivity (Ec≤0.3 dS/m), chloride (Cl≤10 meq/l), and Bicarbonate (HCO_3, CO_3 ≤8.5 meq/l). For all the three indices and in all the analyzed water samples, the values did not pass the maximum limits accepted for irrigation. On the other hand, there were two wells (presenting 6.7% of the whole studied wells), Sodium adsorption ratio value passes the acceptable limit (SAR > 9), which can limit such waters in irrigation.

المقدمة

يتزايد العجز المائي الذي تعاني منه الجمهورية اليمنية نتيجة لشحة الموارد المائية وندرتها فضلا عن الاستنزاف الجائر للمياه الجوفية بمعدلات تفوق معدلات التغذية في العديد من الخزانات الجوفية إلى الحد الذي قضى على النشاط الزراعي لبعض السكان، فقد كان لارتفاع معدل نمو السكان السنوي (حوالي 3.7 %)، وزيادة حجم الطلب على الموارد المائية للاستخدامات المختلفة كان له دور بارز

*تاريخ استلام البحث 2005/5/24 ، تاريخ قبول البحث 2006/1/16
كلمات مفتاحية: آبار جوفيه، نوعية المياه، مياه الشرب، مياه الري.
Key words: "ground water, water quality, drinking water, irrigation water.

وأساسي في تفاقم الأزمة المائية، علاوة على تدهور نوعية المياه الجوفية والسطحية بفعل تسرب المياه العادمة (الصناعية والمنزلية) بما تحتوية من ملوثات ميكروبية ومواد وعناصر كيميائية سامة تؤثر في الصحة العامة للمجتمع والبيئة (3).

تستهلك الزراعة في اليمن حوالي 93 % من إجمالي الاستخدامات المائية لري ما مساحته 488 ألف هكتار تقريبا، يروى ثلاثة أرباعها من المياه الجوفية، وتستهلك الاستخدامات المنزلية حوالي 6 % منها كما يقدر أن نحو 45 % من المناطق الحضرية غير مرتبطة بشبكات المياه العامة، وان باقي المنازل تتزود بالمياه من القطاع الخاص، كما يقدر أن حوالي 10 % فقط من المساكن مرتبطة بشبكات الصرف الصحي العمومية. أما في المناطق الريفية فإن أقل بكثير من نصف المنازل لديها مصدر مأمون للمياه، وأن حوالي 19% من تلك المنازل لديها صرف صحي مأمون(12).

تعرف المياه الجوفية على أنها المياه المتواجدة تحت سطح الأرض في المنطقة المشبعة، وتكون الصخور والتربة فيها مسامية ومتصدعة ومتشققة ومليئة بالمياه بشكل كامل ويصل عمق الآبار اليدوية في بعض مناطق اليمن بين 40 إلى 50 مترا أما الآبار العميقة فيتم حفرها آليا بعدة طرق كالدق والدوران (5).

يعد الماء الجوفي منذ القدم مصدرا هاما من مصادر المياه التي يمكن استعمالها بأمان طالما انه يمكن حمايته من التلوث الذي يتواجد في سطح التربة، إذ أن هناك ثلاثة مصادر رئيسية يمكن أن تلوث الماء الجوفي، (4):

أ-الكائنات الدقيقة: ويعتمد التلوث بهذه الكائنات على معدل التخلص من الممرضات عن طريق التربة خلال قطاعات الأرض ومنه إلى الماء الجوفي.

ب-المركبات النتروجينية: إذ أن الإسراف في الأسمدة المحتوية على النتروجين يؤدي إلى تركيزها في المياه الجوفية أو مياه الأنهار ، حيث تصل إلى مياه الشرب وتلوثها.

ج-التلوث بالعناصر الثقيلة: وأخطرها الزئبق والرصاص والكاديوم، حيث يحدث التلوث غالبا من نفايات المصانع.

تتلوث المياه الجوفية عادة بنوعين من الملوثات هما الملوثات الكيمائية والملوثات الاحيائية، ويحصل التلوث الكيمائي نتيجة طرح فضلات بعض الصناعات التي تحتوي على مركبات كيميائية مختلفة، تشمل المركبات العضوية واللاعضوية. ونتيجة للتطور الصناعي الحاصل في العالم ، وعدم التمكن من السيطرة على الفضلات الصناعية يرمى جزء منها إلى التربة أو الانهار أو المجاري ، وبالتالي يصل إلى المياه الجوفية (10). أما التلوث الأحيائي فيحصل من خلال تواجد أحياء مجهرية في المياه مثل البكتيريا والرواشح (الفيروسات)، والتي تسبب أمراضا تؤثر على صحة الانسان كما يمكن أن تتلوث المياه بالأوليات، والديدان الطفيلية وأيضا الحشرات وغيرها. إن مثل هذا التلوث لمياه الآبار يحدث نتيجة نشاط الإنسان في تربية الحيوانات وإنشاء التجمعات السكانية حول مصادر المياه الجوفية،ومن ثم زيادة طرح الفضلات في المناطق القريبة من الآبار، مما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية، والتي أصبحت تشكل ظاهرة خطرة على مستهلكي تلك المياه(6).

على الرغم من القلق المتزايد حول تلوث المياه الجوفية في اليمن عامة وفي منطقة صنعاء خاصة، فان قلة الدراسات العلمية التي تهتم بمشكلة تلوث المياه الجوفية، لا تتلاءم بأى حال مع الاعتقاد السائد بحدوث تلوث (وإن كان محدودا حاليا)، الأمر الذي يعد ناقوس خطر يحتم على الجهات المعنية الرسمية و الشعبية اتخاذ إجراءات عملية وسريعة تضمن صيانة هذه الثروة – المحدودة – من التلوث.

هدفت هذه الدراسة إلى قياس بعض المؤشرات الكيميائية مثل الـ SO_4, Cl, HCO_3, CO_3, وكذلك الـ Na, Mg, Ca, pH, EC, SAR, A, H,TDS،لمياه الآبار الجوفية (التي يملكها الأهالي) ضمن حدود أمانة العاصمة صنعاء، ومن ثم تقييم جودة تلك المياه وصلاحيتها للاستهلاك الآدمي وري المزروعات، وتحديد مدى مطابقتها للمواصفات التي وضعتها منظمة الصحة العالمية لنوعية مياه الشرب، ومنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة لصلاحية المياه للري، وذلك نظرا لعدم صدور مواصفات قياسية محلية يمكن الاعتماد عليها حتى الآن.

المواد وطرائق العمل

شمل البحث هذه الذي اجري خلال عام 2003 ثلاثين بئرا جوفية اختيرت عشوائيا تبيع المياه مباشرة للأهالي، منتشرة في مديريات أمانة العاصمة صنعاء العشر (منطقة الدراسة)، (شكل 1) والتي تحتل مركز ما يعرف بحوض صنعاء المائي. جمعت عينات مياه الآبار المشمولة بالدراسة (بمكررين) دوريا في

ثلاث فترات متتابعة (خلال الأشهر الثلاثة: أيلـــول و تشرين أول و وتشرين ثاني)، في أوعيـــة بلاســتيكية نظيفة ومقفلة بإحكام سعة 1.5 لتر، وذلك تبعا للأســس المتبعة فيما يتعلق بأسلوب جمع وحفظ عينات الميـــاه لغرض الفحص الكيميـــائي والفيزيـــائي (8) ونقلـت مباشرة إلى مختبر قسم الأراضي والمياه التابع لكليـــة الزراعة في جامعة صنعاء، ليتـم إجـراء التقديـرات المطلوبة.

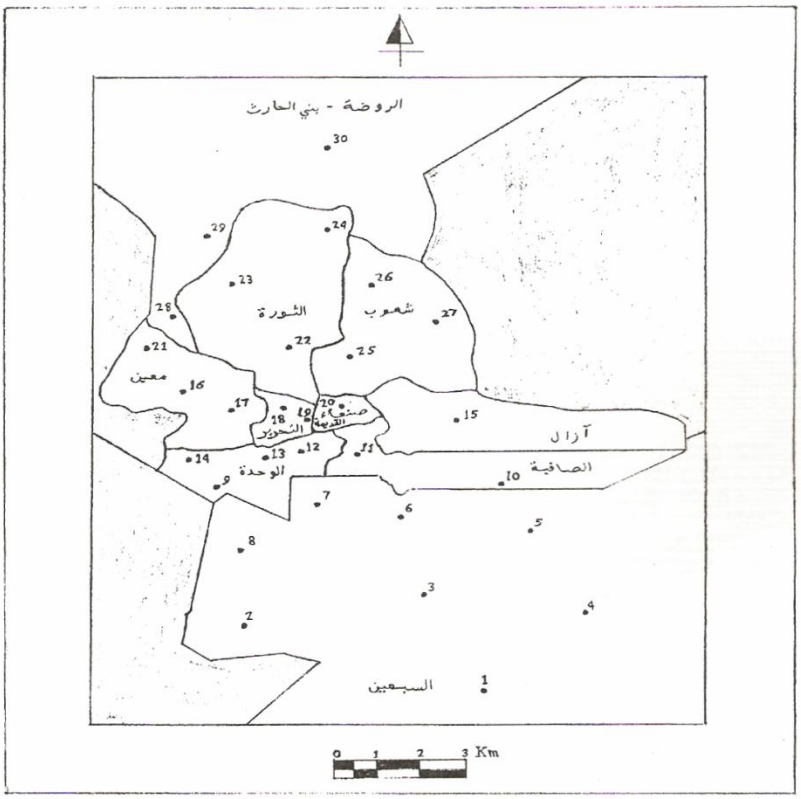
تـم تقديـر التوصيـل الكـــهربائي و الأس الهيدروجيني مباشرة باستخدام جهاز Ec meter وpH meter بالتتابع. وحسبت المواد الصلبة الذائبة الكليـة (TDS) مـن العلاقـــة(25): TDS (mg/l) = Ec(dS/m)×640. وقـدرت الكبريتـــات(SO_4) بالطريقة الوزنية (Gravimetric method) و عـــن طريـق الترسـيب بكلوريـد البـاريوم (8و9). أمـا الكربونات والبيكربونات (CO_3, HCO_3) فقد قدرتـــا عـن طريـق المعـــايرة، باســتخدام الدليليـــن Phenolphthalein وMethyl orange. وقـــدر الكلوريد (Cl) بطريقـــة المعـــايرة بنـــترات الفضـــة، باستعمال دليل كرومـــات البوتاسـيوم (9 و13). تـم حساب القاعدية على صورة كربونات كالســـيوم مـــن خلال العلاقة :

$$A(mg/l) = (2.03\ CO_3 + HCO_3)/1.22$$

تم تقدير الكالسيوم والمغنيسـيوم (Ca ، Mg) عن طريق المعايرة بمحلول الفرسـنيت (Na-EDTA) باستخدام دليـــل Erio-chrome Black –T، (2 و 13). أما عسرة المياه الكلية فقد تم حسابهاعلى هيئـــة $CaCO_3$ وفقا للمعادلة: $H(mg/l) = (Ca \times 2.5) + (Mg \times 4.11)$. وجـــرى تقديـر الصوديـوم (Na)، والبوتاسيوم (K) بطريقة التحليل الطيفي بواسطة جهاز الامتصاص الذري (Atomic absorption). وحسبت نسبة امتزاز الصوديوم من العلاقة(20) :

$SAR = Na/[(Ca + Mg)/2]^{1/2}$ علما ان التراكـيز بالملمكافئ. لتر$^{-1}$.

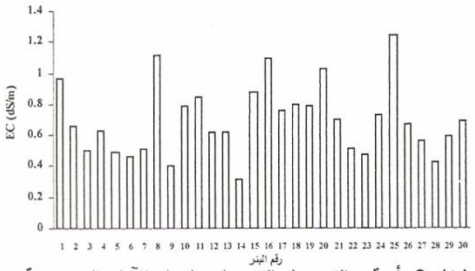
بعد تقدير وحساب النتائج النهائية تم ترتيـــب النتائج وادخالها الى الحاسب الآلي، حيث جرى تحليلها احصائيا (19).



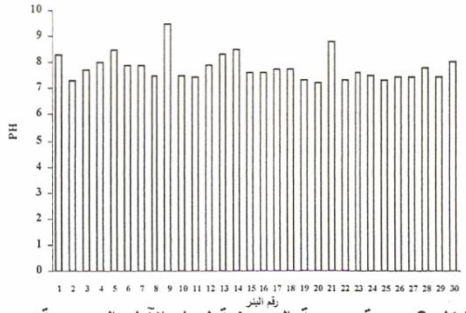
شكل 1. خارطة أمانة العاصمة صنعاء موضحة عليها مواقع آبار الدراسة

النتائج والمناقشة

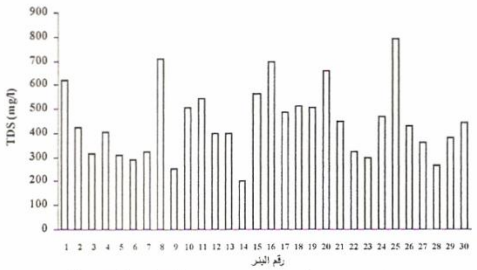
يبين الشكل (2– أ، ب، ج، د) قيم بعض المعايير المدروسة (EC, pH, TDS, SAR)، كما يبين الشكل (3– أ، ب) نتائج التقديرات المختبرية للايونات الرئيسية (Ca, Mg, Na, K & CO_3, HCO_3, SO_4,Cl)، الخاصة بعينات مياه الآبار الجوفية المشمولة في هذه الدراسة، معبرا عنها ملغم.لتر$^{-1}$.



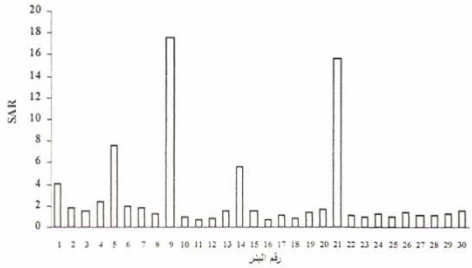
شكل 2–أ. قيم التوصيل الكهربائي لمياه الآبار المدروسة



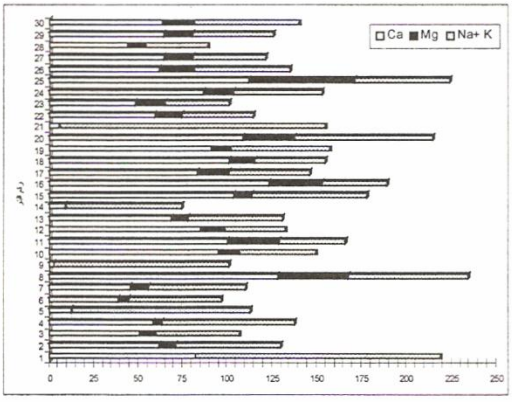
شكل 2–ب. قيم درجة الحموضة لمياه الآبار المدروسة



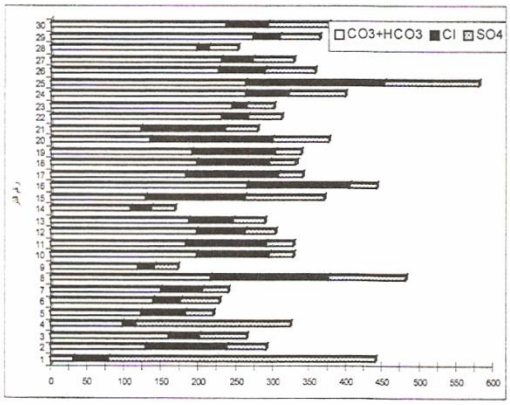
شكل 2–ج. قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية لمياه الآبار المدروسة



شكل 2–د. قيم معدل امتزاز الصوديوم لمياه الآبار المدروسة



شكل 3– أ. تركيز الكاتيونات في مياه الآبار المدروسة (ملغرام/لتر)



شكل 3– ب. تركيز الأنيونات في مياه الآبار المدروسة (ملغرام/لتر)

جدول 2. توزيع الآبار المدروسة وفقا لمستويات الكبريتات والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم في المياه

الآبار المدروسة	الكبريتات [SO_4] ((ملغم.لتر$^{-1}$))				البوتاسيوم [K] ((ملغم.لتر$^{-1}$))			
	(1) 200 >	(2) *400 – 200	(3) 400<	المجموع	(1) 8 >	(2) *12–8	(3) 12<	المجموع
العدد	29	1	0	30	30	0	0	30
النسبة	%96.7	%3.3	%0	%100	%100	%0	%0	%100

الآبار المدروسة	الكالسيوم [Ca] ((ملغم.لتر$^{-1}$))				الماغنسيوم [Mg] ((ملغم.لتر$^{-1}$))			
	(1) 75 >	(2) * 200 – 75	(3) 200 <	المجموع	(1) 30 >	(2) * 150– 30	(3) 150 <	المجموع
العدد	17	13	0	30	27	3	0	30
النسبة	%56.7	%43.3	%0	%100	%90	%10	%0	%100

*القيم المقترحة في مياه الشرب {(1) الحد الأمثل ، (2) الحد الأقصى ، (3) الحد غير المسموح } وفقا لمشروع المواصفات اليمنية لمياه الشرب لعام (7)

يشير الجدول (3) إلى أن مياه بئر واحدة فقط هي ذات أس هيدروجيني عالي (pH > 9)، بحسب المواصفات اليمنية لمياه الشرب لعام 1993 (7)، وقد يعود ارتفاع قيمة الـpH هنا إلى الطبيعة الجيولوجية للمنطقة التي ربما تحتوي على صخور قاعدية ذات قابلية ذوبان عالية، كانت السبب في ارتفاع تركيز كل من أيوني الكربونات والصوديوم المقدرة في مياه تلك البئر (2.2 ملمكافئ/لتر و 4.3 ملمكافئ/لتر على التوالي). أن وجود أملاح صودية عالية الذوبان (مثل Na_2CO_3) والتي تزداد قابلية ذوبانها بارتفاع درجة الحرارة (5)، تكون هي المسؤلة عادة عن رفع الـ pH عن 8.4 إلى المدى القلوي، كما هو الحال هنا (في البئر 9) حيث الـ pH =9.5، وهي قيمة تقع ضمن الحدود القصوى التي كانت مقترحة من قبل منظمة الصحة العالمية للجودة الجمالية (26)، التي تتراوح بين 6.5 – 9.5، ولم تعد هذه المنظمة تشترط أي قيمة دلالية للأس الهيدروجيني لعدم تعلقه بالصحة (27). إن هذه القيم لمياه الآبار القريبة إلى التعادل أو المائلة للقاعدية (6.8 – 8.4) تتفق مع ما ذكر سابقامن باحثون آخرون (18 و21) من أن مياه الآبار تكون متعادلة تقريبا أو ضعيفة القلوية، وعزوا ذلك إلى أن مياه الآبار تكون بعيدة عن التغيرات الجوية المباشرة التي قد يتسبب من خلالها إذابة غاز ثاني أكسيد الكربون في المياه الذي يجعلها تميل إلى الحامضية، أما سبب القلوية فيعود إلى إضافات الكربونات والبيكربونات المتواجدة في الأرض إلى مياه الآبار.

جدول 3. تقسيم الآبار المدروسة وفقا لقيم الأس الهيدروجيني والعسرة والمواد الصلبة الذائبة في المياه

الآبار المدروسة	الأس الهيدروجيني* [pH]				
	(1) 6.5 >	(2) 8.4–6.5	(3) 9–8.4	(4) 9 <	المجموع
العدد	0	26	3	1	30
النسبة	%0	%86.7	%10	%3.3	%100

الآبار المدروسة	العسرة الكلية** [H](ملغم$CaCO_3$ لتر$^{-1}$)				
	(1) 100>	(2) 200–100	(3) 500–200	(4) 500 <	المجموع
العدد	4	7	18	1	30
النسبة	%13.3	%23.3	%60	%3.3	%100

الآبار المدروسة	المواد الصلبة الذائبة الكلية *** [TDS] (ملغم.لتر$^{-1}$)				
	(1) 300 ≤	(2) 600–300	(3) 900–600	(4) 900 <	المجموع
العدد	4	21	5	0	30
النسبة	%13.3	%70	%16.7	%0	%100

* بحسب المواصفات اليمنية /بتصرف (7) ، {(1) واطئ ، (2) الحد الامثل ، (3) الحد الأقصى ، (4) عالي} .
** بحسب منظمة الصحة العالمية /بتصرف (11) ، { (1) يسره ، (2) متوسطة ، (3) عسرة ، (4) عسرة جدا}.
*** وفقا لعلاقة TDS بالطعم (21).{ (1) طعم ممتاز ، (2) جيد ، (3) لا بأس به ، (4) غير مستساغ}.

كذلك فأن هناك بئرا واحدة تعد ذات مياه عسرة جدا (اعلى من 500 ملغم.لتر$^{-1}$) ورغم من ان القيمة العالية هذة تتعدى القيمة القصوى المسموح بها للعسة في مياة الشرب (التي تتراوح بين 100–500 ملغم .لتر$^{-1}$إلا أن المستهلكين قد يتحملون مثل عسرة المياه هذه والتي تزيد عن 500 ملغ/لتر (11). إن ارتفاع ايونات الكالسيوم والماغنسيوم – المقدرة – التي ينتج عنها ارتفاع قيمة العسرة، كما هو حاصل في هذه العينة (Ca = 5.6 meq/l, Mg = 4.8 meq/l) ربما يكون بسبب الطبيعة الصخرية – الجيرية – لتلك المنطقة (7)، إذ أن انحلال الصخور أو المعادن (مثل الكالسيت، والدولوميت) تؤدي إلى زيادة نسبة مثل هذه الكاتيونات بالمياه الجوفية.ومع هذا فأن ذوبانية معادن الكربونات قليلة جدا ولاسيما معدن الدولمايت لذلك تكون مساهمتها بالتملح طفيفة ولا تذكر.

اما بحسب التقسيم لاستساغة طعم المياه وفقا لقيم TDS 22)، فقد ظهر انه لا توجد أي بئر من الآبار المدروسة البالغ عددها ثلاثين بئرا يمكن أن يعد طعم المياه فيها غير مستساغ، حيث أن قيمة المواد الصلبة الذائبة الكلية في جميع العينات هي دون الحد الذي يمكن أن يعطي طعما غير مقبولا للمياه (TDS < 900 mg/l).

إن صلاحية المياه للري تعتمد على مطابقتها لمواصفات خاصة أدنى من تلك المحددة للشرب، وفي نطاق المعايير المدروسة، فقد تم تصنيف مدى صلاحية مياه الآبار الجوفية (جدول 4) وفقا للقيم الدلالية القياسية التي وضعتها المنظمة العالمية للأغذية والزراعة (20)، التي وردت كما هي إلى حد بعيد في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الري التي ذكرها الجنيد (3). وعلى أيه حال،فان دليل القيم اعتمد في اشتقاقه على ظروف تربة رملية مزيجة إلى طينية مزيجة، وفي منطقة جافة وشبة جافة، وذات هطول مطري منخفض لا يكفي لغسيل الأملاح المتراكمة، ويشير هذا الدليل بشكل عام إلى ثلاث درجات لحدود الاستخدام هي: بدون مشاكل ، مشاكل متوسطة إلى قليلة) ومشاكل حادة. ويعد هذا التقسيم تدريجي، ولا يوجد فيه حد فاصل وقاطع (1).

جدول 4. توزيع الآبار المدروسة وفقا لقيم التوصيل الكهربائي ومعدل امتزاز الصوديوم وتركيز الكلوريد والبيكربونات بالمياه المستعملة في الري

الآبار المدروسة	التوصيل الكهربائي [Ec] (ديسيسيمنز/م)				معدل امتزاز الصوديوم [SAR]			
	(1) 0.7 >	(2) * 0.3–0.7	(3) 0.3 <	المجموع	(1) 3 >	(2) * 9–3	(3) 9 <	المجموع
العدد	17	13	0	30	25	3	2	30
النسبة	%56.7	%43.3	%0	%100	%83.3	%10	%6.7	%100

الآبار المدروسة	الكلوريد [Cl] (ملمكافئ/لتر)				البيكربونات [CO_3+HCO_3] (ملمكافئ/لتر)			
	(1) 4 >	(2) * 10–4	(3) 10<	المجموع	(1) 1.5>	(2) * 8.5–1.5	(3) 8.5 <	المجموع
العدد	27	3	0	30	1	29	0	30
النسبة	%90	%10	%0	%100	%3.3	%96.7	%0	%100

* القيم الدلالية لمياه الري { (1) آمن ، (2) تزايد المشكلة ، (3) خطر} (20).

وفيما يتعلق بالتوصيل الكهربائي، الكلوريد، البيكربونات (التي تشمل ضمنا الكربونات، والتي تؤثر فقط في حالة الري بالرش)، فانه وفي جميع الآبار المدروسة لا توجد مشاكل بيئية حادة يمكن أن تترتب عن استخدام مثل تلك المياه في ري المزروعات، حيث لم تتعدى القيم المقدرة في جميع العينات الحدود: 0.3 ديسيسيمنز .م، 10 ملمكافئ.لتر$^{-1}$، و 8.5 ملمكافئ.لتر$^{-1}$ فيما يخص المؤشرات الثلاثة: EC ، Cl، و HCO_3 على الترتيب. من جانب آخر، فان هناك بئران تتعدى قيم معدل امتزاز الصوديوم فيهما القيمة المحددة (حيث SAR > 9 في العينتين)، مما يجعل استخدام مثل هذه المياه للبئرين في الري محدودة، إذ قد يترتب عنه مشاكل حادة بالنسبة للمحاصيل الحساسة بسبب ارتفاع نسبة الصوديوم المتبادل في المياه، وفي الوقت نفسه فان ارتفاع نسبة الصوديوم تترافق عادة مع قيم أس هيدروجيني عالي للمياه (pH > 8.4) مقارنة بالمدى الطبيعي (6.5 – 8.4) للـpH في مياه الري (20)، وبالنسبة للمحاصيل

الفصلية التي تعتبر غير حساسة فانه يمكن استخدام مثل هذه المياه في الري دون أن تسبب مخاطر كبيرة. ومن جانب آخر، يفضل استخدام جداول تحمل الملوحة في حالة المحاصيل الحساسة (5).

لقد اقترح نظام لتصنيف مياه الري من قبل مختبر الملوحة الأمريكي في بداية الخمسينيات، ويعد من أكثر النظم استعمالا في العالم حتى الآن، حيث يأخذ هذا النظام بنظر الاعتبار المؤشرين الأساسيين في تقييم مياه الري وهما التركيز الكلي للأملاح معبرا عنها بالتوصيل الكهربائي (EC_w) التي تؤثر في قدرة النبات على امتصاص الماء، و معدل امتزاز الصوديوم SAR والذي يؤثر في المحاصيل الحساسة بسبب السمية النوعية للايون، إذ يعتبر ايون الصوديوم من أهم العناصر المحددة لصلاحية مياه الري وذلك لتأثيره المباشر في الخواص الطبيعية للتربة وكذلك تأثيره في بعض النباتات الحساسة (كأشجار الزينة)، حيث ربط هذا النظام المعيارين (EC, SAR) للحصول على مخطط يضم 16 صنفا مختلفا لمياه الري، وقد وزعت مياه الآبار المدروسة على أساسه (جدول 5). تبين أن 17 بئرا (تمثل نسبة 56.67% من جملة الآبار المدروسة) تقع في القسم C_2S_1، وان 11 بئرا (تمثل نسبة 36.67 % من جملة المدروسة) تقع في القسم C_3S_1، علاوة على بئرين فقط تقعان في القسم C_2S_2. وعليه وبحسب USDA(25)،فإن صنف مياه الري C_2: تعد مياه ذات ملوحة متوسطة وهي صالحة لري معظم المحاصيل متوسطة التحمل للملوحة، فيما تعد C_3: مياه ذات ملوحة عالية ومثل هذه المياه لا تستخدم إلا بوجود شبكة بزل فعالة ولمحاصيل عالية التحمل للملوحة. أما تصنيف مياه الري بحسب معدل امتزاز الصوديوم، فان صنف S_1: مياه قليلة الصوديوم ويمكن أن تستخدم لمعظم الترب دون أي أضرار، ويمكن أن تتأثر أنسجة النبات في بعض المحاصيل الحساسة جدا للصوديوم (مثل أشجار الفاكهة)، أما S_2: فهي مياه متوسطة الصوديوم ويمكن لهذه المياه أن تسبب بعض المخاطر في تغيير صفات بعض الترب وخاصة الطينية(الناعمة النسجة)عند عدم توفر البزل الجيد والجبس، ويمكن استخدام هذه المياه دون أي مخاطر في الترب الرملية(خشنة النسجة).

جدول 5. تصنيف مياه الآبار المدروسة بحسب خطورة كل من الصوديوم (SAR) والملوحة (EC_w)

SAR *	أقسام الصودية	الآبار المدروسة	** EC_w(dS/m) أقسام الملوحة C_1 (1) 0.25-0.1	C_2 (2) 0.75-0.25<	C_3 (3) 2.25-0.75<	C_4 (4) 2.25<	المجموع
(1) 10-0	S_1	العدد	0	17	11	0	28
		النسبة	%0	%56.67	%36.67	%0	%93.33
(2) 18-10<	S_2	العدد	0	2	0	0	2
		النسبة	%0	%6.67	%0	%0	%6.67
(3) 26-18<	S_3	العدد	0	0	0	0	0
		النسبة	%0	%0	%0	%0	%0
(4) 26<	S_4	العدد	0	0	0	0	0
		النسبة	%0	%0	%0	%0	%0
المجموع		العدد	0	19	11	0	30
		النسبة	%0	%63.3	%36.7	%0	%100

*/** وفقا لتصنيف صلاحية مياه الري – المقترح من قبل مختبر الملوحة الأمريكي لعام 1954م-
{ (1) خطورة واطئة (2) خطورة متوسطة (3) خطورة عالية (4) خطورة عالية جدا (5/بتصرف)

تكمن أهمية قياس القلوية في معرفة نوع العسر في الماء (في العسر المؤقت: القاعدية الكلية ≤ العسر الكلي، وفي العسر الدائم والمؤقت: القاعدية الكلية < العسر الكلي). إن العسر المؤقت يتسبب عن وجود أملاح الكالسيوم و/أو المغنسيوم على صورة بيكربونات، ويمكن ازالته بتسخين الماء حيث ترسب البيكربونات على صورة كربونات. أما العسر المستديم فيكون نتيجة وجود أملاح الكالسيوم و/أو المغنسيوم

بصيغة كلوريد أو كبريتات أو نترات، والتي يمكن ترسيبها على صورة كربونات بمعاملة المياه بكربونات الصوديوم (13). ويبين الجدول (6) بعض المؤشرات الإضافية الأخرى المتعلقة بنوعية مياه الري والقيم الخاصة بكل منها للآبار المدروسة.

من المعلوم أن وجود ايونات البيكربونات (HCO_3) في مياه الري يسبب ترسيب الكالسيوم على صورة كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم على هيئة الكالسايت الحامل للمغنيسيوم ، فتتغير بذلك النسبة بين الصوديوم ومجموع الكاتيونات الذائبة بالماء مما يؤدي إلى زيادة خطورة ايون الصوديوم (29). ولقد قدم Eaton(17) معادلة لحساب كربونات الصوديوم المتبقية) كملمكافئ.لتر$^{-1}$ وهي:

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$$

(حيث تركيز الايونات كملمكافئ.لتر$^{-1}$).

يمكن تقسيم مياه الري على أساس محتواها من كربونات الصوديوم المتبقية (13)إلى ثلاثة أقسام هي: مياه غير صالحة للري (RSC > 2.5)، مياه مشكوك في صلاحيتها (1.25 – 2.5)، ومياه صالحة للري (RSC < 1.25). ويراعى انه يجب أن يوضع نوع الأرض في الحسبان، فعينات مياه الري التي لها قيمة RSC مرتفعة قد يكون استخدامها ضار في حالة الأراضي القلوية (ويفيد في حالة الأراضي الحامضية)، ويختلف الأمر أيضا بالنسبة للأراضي الرملية سهلة الغسل عنه في الطينية.

إن درجة تركيز ايون الهيدروجين المعدل (الأس الهيدروجيني المحور) pH_c، هي درجة تركيز ايونات الهيدروجين النظرية بمياه الري، والمحسوبة لها وهي في حالة اتزان مع كربونات الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون بالتربة (24)، وتحسب كما يلي:

$$pH_c=(pK_2-pK_c)+p(Ca+Mg)+p(Alk.)$$

جدول 6. قيم بعض المؤشرات الأخرى الخاصة بمياه الآبار المدروسة

رقم البئر	H	A	RSC	pH_c	adj-SAR	ESP	adj-R_{Na}	Ca_x	Ca/Mg	ES	SP
1	205	25	Nil	8.3	4.54	4.61	2.69	9.62	497.56	5.60	58.92
2	192	104	Nil	7.6	3.28	1.41	1.99	2.43	3.86	3.39	39.47
3	163	130	Nil	7.6	2.82	1.04	1.72	1.96	3.30	1.75	37.77
4	166	79	Nil	7.8	3.94	2.32	2.36	3.19	6.77	2.98	48.56
5	32	104	1.44	8.4	7.61	9.06	6.45	0.85	14.56	4.26	86.48
6	121	113	Nil	7.8	3.17	1.63	2.07	1.68	3.66	2.19	46.88
7	154	121	Nil	7.6	3.35	1.46	1.95	1.96	2.73	2.03	42.53
8	480	176	Nil	7.1	2.97	0.64	1.57	3.29	1.99	5.37	22.64
9	6	152	2.93	8.9	8.84	19.88	12.95	0.20	6.07	3.88	97.00
10	287	160	Nil	7.3	2.16	0.26	1.33	2.43	4.80	4.02	23.09
11	369	148	Nil	7.3	1.62	0.00	0.88	3.29	2.10	4.78	16.58
12	270	160	Nil	7.3	1.73	0.00	1.00	2.43	3.52	2.11	19.83
13	210	172	Nil	7.4	3.00	0.95	1.83	2.01	4.25	2.01	33.82
14	25	92	1.36	8.5	5.06	6.57	4.45	0.69	4.41	2.71	84.57
15	299	104	Nil	7.5	2.96	1.03	1.77	3.82	6.19	4.47	30.91
16	431	216	Nil	7.1	1.59	0.00	0.91	2.51	2.49	5.78	14.19
17	280	149	Nil	7.3	2.35	0.39	1.34	2.43	2.86	3.93	24.84
18	312	160	Nil	7.3	1.86	0.05	1.16	2.43	4.23	4.05	19.89
19	274	156	Nil	7.3	2.87	0.75	1.73	2.43	4.59	4.08	28.94
20	390	109	Nil	7.4	3.26	1.13	1.83	3.82	2.25	6.50	29.01
21	17	116	2.00	8.7	10.99	17.96	12.63	0.43	3.03	6.67	94.60
22	211	188	Nil	7.3	2.33	0.37	1.33	1.68	2.32	0.89	27.31
23	189	200	0.22	7.3	2.13	0.23	1.19	1.35	1.73	0.92	26.44
24	285	215	Nil	7.2	2.66	0.52	1.56	2.01	3.05	1.60	26.13
25	520	215	Nil	7.0	2.29	0.15	1.14	2.51	1.16	5.46	17.19
26	236	184	Nil	7.2	3.17	0.86	1.70	1.73	1.81	1.98	31.69
27	228	188	Nil	7.2	2.41	0.35	1.34	1.68	2.35	1.05	26.36
28	150	160	0.20	7.5	2.23	0.47	1.33	1.49	2.53	1.21	31.91
29	225	224	Nil	7.2	2.74	0.57	1.58	1.49	2.44	1.40	29.01
30	232	192	Nil	7.2	3.39	1.01	1.85	1.73	2.11	2.27	33.07

تستخرج القيم من نتائج تحليل المياه (المقاسة لبعض الأيونات) بإيجاد ما يقابلها من الجدول الخاص بذلك(15 و28) ، إذ أن ($pK_2 - pK_c$) يحصل عليها بإيجاد القيمة الجدولية المقابلة لمجموع Ca+Mg +Na، أما p(Ca+Mg): فيحصل عليها من القيمة الجدولية المقابلة لمجموع Ca+Mg، وتمثل p(Alk.): القيمة الجدولية المقابلة لمجموع $HCO_3 + CO_3$ (حيث: تركيز الايونات كملمكافئ.لتر$^{-1}$). وإن معدل امتزاز الصوديوم المحور (نسبة امدصاص الصوديوم المعدل) adj-SAR ، هو المعدل النظري لادمصاص الصوديوم الموجود بمياه الري بعد إضافتها للتربة واتزانها مع كربونات الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون بالتربة (24)، ويضيف هذا الاصطلاح تأثير الكربونات والبيكربونات على إذابة أو ترسيب الكالسيوم 14)، ويحسب كالتالي:

$$adj - SAR = SAR\ (1 + 8.4 - pH_c)$$

كذلك فإنه، يوجد ارتباط بين معدل امتزاز الصوديوم (SAR) وبين صيغة أخرى قد تستخدم للتعبير عنه تعرف بالنسبة المئوية للصوديوم المتبادل إذ أن:

$$ESP=[100(-0.0126+0.01475\ SAR)]/\ [1+(-0.0126+0.01475SAR]$$

من جانب آخر، وحيث أن معدل امتزاز الصوديوم (SAR) يعبر عنه أحيانا بالمصطلح R_{Na}، قد يستخدم مؤشر آخر محور هو adj-R_{Na} (Adjusted Sodium Adsorption Ratio)، والذي يحسب من العلاقة التالية (20):

$$adj\text{-}R_{Na}= Na/[(Ca_x +Mg)/2]^{1/2}$$

إذ أن Na, Mg تمثل محتوى مياه الري من ايونات الصوديوم والماغنيسيوم بالملمكافئ. لتر$^{-1}$. أما Ca_x فهي عبارة عن قيمة الكالسيوم المعدلة (Modified Calcium Value)، وهي قيمة جدولية (ملمكافئ/لتر) تعتمد على قيمة EC_w (التوصيل الكهربائي ديسيسيمنز.م$^{-1}$) وقيمة HCO_3/Ca (نسبة البيكربونات والكربونات إلى الكالسيوم ملمكافئ.لتر$^{-1}$). وزيادة على ذلك، فان المؤشر Ca/Mg (نسبة الكالسيوم إلى المغنسيوم كلاهما كملمكافئ.لتر$^{-1}$ المستخدم أيضا في كثير من النتائج المنشورة لتحليل مياه الري على مستوى العالم قد يكون ذا دلالة مهمة عن مشاكل المغنيسيوم.

جدول 7. تقسيم الآبار المدروسة تبعا لقيم كربونات الصوديوم المتبقية ودرجة تركيز أيون الهيدروجين المعدل ومعدل امتزاز الصوديوم المحور ونسبة الكالسيوم إلى المغنسيوم في مياه الري

الآبار المدروسة	كربونات الصوديوم المتبقية (RSC)				درجة تركيز أيون الهيدروجين المعدل (pH_c)			معدل امتزاز الصوديوم المحور (adj-SAR)			نسبة الكالسيوم إلى الماغنسيوم (Ca/Mg)		
	< 1.25	1.25–2.5	> 2.5	المجموع	≤ 8.4	> 8.4	المجموع	≤ 9	> 9	المجموع	< 1	> 1	المجموع
العدد	26	3	1	30	27	3	30	29	1	30	0	30	30
النسبة	%86.7	%10	%3.3	%100	%90	%10	%100	%96.7	%3.3	%100	%0	%100	%100

ويشير الجدول (7) إلى أن مياه بئر واحدة فقط – من الآبار المدروسة – تعد غير صالحة للري طبقا لتصنيف مياه الري على أساس مستوى كربونات الصوديوم المتبقية (RSC)، ويلاحظ أن قيمة درجة تركيز الهيدروجين المعدلة (pH_c) الأعلى من 8.4 (في مياه ثلاثة آبار) معناها أن مثل هذه المياه تميل لإذابة كربونات الكالسيوم من التربة، في حين أن قيم pH_c الأقل من 8.4 (في 90 % من جملة الآبار المدروسة) تدل على أن هذه المياه تميل لترسيب الكالسيوم الموجود بها (وليس لها قدرة لإذابة الكربونات من التربة)، كما أن ارتفاع قيمة معدل امتزاز الصوديوم المحور (adj-SAR) عن 9 (في بئر واحدة فقط) يعني أن وجود ايون الصوديوم بهذه المياه يشكل خطورة محتملة على كل من التربة والنبات (13). من جهة أخرى، فان جميع عينات مياه الآبار المدروسة (30 بئرا)، كانت فيها النسبة Ca/Mg (نسبة التركيز المكافئ للكالسيوم إلى المغنسيوم) اكبر من واحد صحيح، وليس هناك أي بئر على الإطلاق تفوق فيها كمية المغنسيوم المكافئة كميات الكالسيوم أو تساويها (بمعنى آخر، ليس هناك أي عينة فيها نسبة Ca/Mg < 1). إذ أن سيادة ايون المغنسيوم في مياه الري ربما يزيد تدريجيا من التأثير الضار لايونات الصوديوم في التربة القلوية (23). إن الملوحة الفعالة (Effective Salinity) (ES)، هي عبارة عن الملوحة الكلية (بالملمكافئ.لتر$^{-1}$) مطروحا منها كميات محسوبة من أزواج ايونات $CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$ أيهما أقل ، فهذه الأملاح ذات درجات ذوبان منخفضة وتترسب بالتربة بنفس هذا الترتيب (بدءا من $CaCO_3$ وانتهاء بـ $CaSO_4$) عندما تصل تركيزاتها حدود حاصل إذابتها،

والذي يتوقف إلى حد ما على التركيز الكلي للأملاح ودرجة تركيز ايون الهيدروجين (16). وتحسب الملوحة الفعالة (ملمكافئ. لتر$^{-1}$) كالآتي:

$$ES=(EC\times10)-[(Ca+Mg)] \text{ or } [(CO_3+HCO_3+SO_4)]$$

بمعنى أن: تركيز الكاتيونات أو الانيونات ايهما اقل بالملمكافئ. لتر$^{-1}$ مطروحة من الملوحة المكافئة [ECdS/m ×10]. وفيما يخص النسبة المئوية للصوديوم الذائب، التي تحسب كنسبة مئوية من العلاقة:

$$SP = Na/(Ca +Mg + Na + K)$$

(حيث تركيز الكاتيونات بالملمكافئ. لتر$^{-1}$)

فيعتبر الماء غير صالح للري إذا وصلت هذه النسبة إلى 60 % من الكاتيونات الذائبة وقد تصل إلى 80 % إذا كانت درجة تركيز الأملاح في ماء الري اقل من 10 ملمكافئ. لتر$^{-1}$ (13).

المصادر

1-أكساد .1997. استخدام المياه المتدنية النوعية في الري التكميلي، الدورة التدريبية حول الري التكميلي – المحاضرات.(طرابلس 9-16 مارس. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد). ص: 12 – 20.

2-بكر، محمد نبيل ، عبد الواحد يوسف نجم ، كمال السيد خليل ، و يحي عبد الرحمن يحي. 1999. طرق تحليل التربة والنبات والمياه. الادراة العامة لمشروع تقدير خصوبة التربة، الهيئة العامة لصندوق الموازنة الزراعية. مصر.

3-الجنيد، عز الدين. 2001. ورقة عمل قطرية في تنمية الموارد المائية غير التقليدية والآثار المترتبة عليها في جمهورية اليمن/الندوة القومية حول التقانات البديلة لتنمية الموارد المائية من المصادر غير التقليدية والآثار المترتبة عليها (القاهرة 11 – 14 يونيو، ص: 387 – 426). المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الخرطوم، السودان.

4-حسن، فاطمة عبد العزيز. 2001. استخدام مياه المجاري المعالجة في إقامة غابات صناعية. المنظمة العربية للتنمية الزراعية. المجلة العربية لإدارة مياه الري (العدد 4، ص:16-26). الخرطوم، السودان.

5-الزبيدي، أحمد حيدر. 1989. ملوحة التربة-الأسس النظرية والتطبيقية. جامعة بغداد، العراق.

6-عبد الرضا، كاظم عبد الرضا. 1981. دراسات بكتريولوجية على مياه بعض الآبار المستعملة كمصدر لمياه الشرب. رسالة ماجستير، كلية العلوم. جامعة بغداد، العراق.

7-عطروس، علي سعد. 2000. المياه الجوفية (الطبعة الأولى). مطابع الشامي التجارية. صنعاء، الجمهورية اليمنية.

8-العكيدي، حسن خالد حسن و جوزيف أنطوان أبو سعيد. 2000. الأسس العلمية والتحاليل المخبرية للمياه والأغذية. دار زهران. عمان، الأردن.

9-فضل، عبد الكريم العبيد. 1997. طرق التحاليل الكيميائية والفيزيائية للتربة والمياه (الجزء الأول/الطرق الكيميائية) مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي. اليمن.

10-المطلك، صالح محمد و حسام صالح جبر. 1978. استغلال المياه الجوفية في العراق والتلوث. مركز بحوث تلوث البيئة (نشرة علمية، رقم 1). بغداد، العراق.

11-منظمة الصحة العالمية. 1999. دلائل جودة مياه الشرب – الطبعة الثانية (مترجم/الجزء الأول). المكتب الإقليمي لشرق المتوسط. الإسكندرية، مصر.

12-الهيئة العامة للموارد المائية. 1998. الاستراتيجية الوطنية للمياه – نشرة مشروع الصياغة. ورشة العمل لمناقشة الورقة الخاصة بمشروع استراتيجية المياه، بالتعاون مع البنك الدولي (صنعاء 17-18 نوفمبر).الجمهورية اليمنية.

13-يوسف، أحمد فوزي. 1999. أجهزة وطرق تحليل التربة والمياه. جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

14-Ayers, R. S. 1977. Quality of Water for Irrigation. J. Irrig. and Drainage Division. Amer. Soc. Civil Eng. 2: 135–154.

15-Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1976. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage paper (29), FAO. Rome.

16-Doneen, L. D. 1958. Quality of water for irrigation. Proc. Conference on Quality of Water for Irrigation. Water Resources Center Contribution 14. University of Calfornia, Davis.

17-Eaton, F. M. 1950. Significance of carbonate in irrigation waters. Soil Sci. 69: 123 – 133.

18-Eisen, C. and M. P. Anderson. 1979. The effects of urbanization on ground water quality–a case study. Ground water 17: 456-462.

19-Excell. 2000.Microsoft office XP.2000.

20-FAO. 1989. Water quality for agriculture (Reprinted). R. S. Ayers and

D.W. Westcot. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Food and Agriculture Organization of. .United Nations, Rome.

21-McFeters, A., K. B. Gary, J. J. James, A. T. Carole and G. S. David 1974.Comparative survival of indicator bacteria and entric pathogens in well water. Appl. Microbiol. 5: 823 – 829.

22-Ongerth, H. J. 1964. The Test of Water. Public Health Report, USA.

23-Rahman, W. A. and D. L. Rowell. 1979.The influence of magnesium in saline and sodic soils: A specific effect or a problem of cation exchange. J. Soil Sci. 30: 535 – 546.

24-Rhoades, J. D. 1972. Quality of water for irrigation. Soil. Sci .113: 277 – 284.

25-USDA. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils. Handbook No.60.

26-WHO. 1984. Guidelines for Drinking-Water Quality, Vol. 1. World Health Organization, Geneva.

27-WHO. 1993. Guidelines for Drinking – Water Quality (2nd ed), Vol. 1. World Health Organization, Geneva.

28-Wilcox, L. V. 1966 Tables for Calculating the pH_c Values of Water. US Salinity Laboratory Mimeo Report.

29-Wilcox, L. V., G.Y. Blair and C. A. Bower. 1954. Effect of bicarbonate on solubility of water for irrigation. Soil Sci. 77: 259 – 266.

30-Zacharina, G. V. 1963. Problem concerning the classification of natural water and solution according their composition. Sov. Soil Sci. 4: 351 – 362.

4 – قييم لبعض معايير المياه في الابار الخاصة بمنطقة صنعاء

4 – قييم لبعض معايير المياه في الابار الخاصة بمنطقة صنعاء