تقدير جودة مياه الشـــرب

في مدينة إب - اليمن

محمد هاشم مطلوب *
عبدالسلام محمد الجوفي *
محمد حسان علي صالح *

خلاصـــة :

تقوم مؤسسة المياه والصرف الصحي في مدينة إب بتجميع المياه من عدد من الآبار الواقعـــة خارج المدينة في خزان إسمنتي كبير . تضخ بعد تعقيمها بالكلور عبر شبكة من الأنابيب إلى أغلـــب مناطق المدينة وتحصل بقية مناطق المدينة على الماء من خلال آبار متناثرة خارج المدينة ينقل منها المـــاء بواسطة سيارات حوضية (الوايتات) إلى المساكن ومواقع الاستهلاك الأخرى .

لقد أجرى تحليل كيميائي غير عضوي باستخدام طريقة الخلع المصعدي الجهدي والطـــرق التقليديـــة المعروفة لمياه المؤسسة قبل الضخ وبعده ، وعلى مياه الآبار الأخرى بالإضافة إلى المياه التجارية الشـائعة الإستهلاك في المدينة .

بينت نتائج التحاليل أن مياه المؤسسة قبل وبعد الضخ صالحة للشرب حسب المواصفـــــات المحلية والعالمية ، وأن مياه الآبار الأخرى باستثناء مياه (الذهوب) تتمتع بنفس الكفائـــــة والجـــودة ، وقد ظهر أن عمليات الخزن والنقل تحدث تلوثاً محدوداً لم يخل بصلاحية هذه المياه ، كمـــا أظـــهرت التحليلات أيضاً بأن بعض المياه التجارية اليمنية تتمتع بمواصفات عالية تجعلها منافساً شديداً لمثيلاتها في البلدان المجاورة .

* جامعة إب كلية العلوم .

مقدمة :

تعتمد اليمن اعتماداً كلياً على المياه الجوفية التي تستخدم في الأغراض المختلفة كالشرب والزراعة والصناعة ، وتختلف خواص المياه من منطقة لأخرى بحسب طبيعة المنطقة وخواصها الجيولوجية .

وفي المدن الرئيسية تقوم المؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي بإيصال المياه إلى معظم الأحياء السكنية بعد تعقيمها . أما المناطق الريفية فإنها تحصل عل مياه الشرب من عيون أو آبار موجودة في تلك المناطق دون أن يكون للمؤسسة دور في الإشراف على صلاحية هذه المياه .

ينطبق على مدينة إب ما قيل عن المدن اليمنية باستثناء أنها تتميز بكثرة الأمطار الهاطلة عليها ، وتعمل الأمطار الساقطة بمعدل 1000 مليمتر سنوياً على تغذية الآبار والعيون التي تعتمد عليها المدينة ،ويحصل القسم الأعظم من المدينة على مياه الشرب بواسطة مشروع يشرف عليه فرع المؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي . حيث تقوم المؤسسة بعمل بعض الاختبارات الكيميائية والبيولوجية لقياس مدى صلاحية المياه للاستخدام الآدمي . وتوجد أحياء أخرى في المدينة بعيدة عن المركز تحصل على المياه من آبار محفورة في ضواحي المدينة تعود ملكيتها إلى أفراد . وتنقل هذه المياه إلى خزانات المساكن بواسطة سيارات خاصة لنقل المياه (وايت) ولا تخضع هذه المياه لأية تحاليل لقياس مدى صلاحيتها للشرب .

لقد أنفقت دول العالم المختلفة أموالاً طائلة ومازالت لإجراء البحوث الكيميائية والطبية والإحصائية الشاملة بهدف دراسة تأثير العناصر Elements والمركبات Compounds الذائبة في المياه على صحة الإنسان في المدى القريب والبعيد .

وقد قام كلاً من Clement و آخرون (١) باستعراض شامل لجملة البحوث التي أنجزت في هذا المجال .

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تحليلية كيميائية شاملة لتقييم مدى صلاحية مياه إب بالمقارنة مع المواصفات القياسية الصادرة عن عدة جهات محلية وعالمية وكذلك بالمقارنة بالمياه التجارية المعالجة .

المواد وطرق البحث :

جمعت العينات من مصادرها في فترتين زمنيتين متباعدتين ؛ الأولى في بداية شهر أبريل لسنة ٢٠٠٠م ، والثانية في نهاية شهر أغسطس لنفس السنة . والفترة الأولى تمثل نهاية موسم الجفاف في مدينة إب ، بينما تمثل الفترة الثانية الذروة في هطول الأمطار على المدينة . وقد تم جمع العينات في عبوات من البوليثين تم تنظيفها بواسطة الصابون أولاً ثم شطفت بالماء المقطر بعد ذلك غسلت بـ 10% HNO_3 ثم بماء تم تقطيره ثلاث مرات وأخيراً غسلت بماء العينات (2) . وقبل جمع العينة يسمح للمياه بالمرور لمدة خمس دقائق لتفادي احتمال ترسب الأملاح في أنابيب النقل اختيرت ست عشرة عينة مختلفة موزعة على الشكل التالي :

- ثمان عينات تمثل المصادر الرئيسية لمياه إب قبل ضخها إلى المدينة .
- ثلاث عينات اختيرت من مواقع رئيسية داخل المدينة هي مستشفى ناصر ، مستشفى الثورة ، كلية التربية ، والمصدر الأساسي لهذه المياه هو مشروع مياه مدينة إب الرئيسي، ولكنها نقلت عبر شبكة الأنابيب إلى المدينة .
- خمس عينات تجارية شائعة الاستخدام في المدينة والعينات كانت موزعة وفق المخطط الآتي :

مناطق أخذ العينات ومصادرها

رقم العينة	اســـــم العينة	مصـــدر العينـــــة
1	مشروع مياه مدينة إب	المصـدر الرئيسـى لميـاه الشـرب فى المدينـة ، أخـذت العينـة من الخزان الرئيسى .
2	مياه جوامع مدينة إب	ترد المياه من سائلة بعدان إلى خزان مبني بالحجـارة ومنـه عـن طريـق شبكة إلى الجوامع، أخذت العينة من الخزان .
3	مياه الذهوب	مصدرها عـين في جبـل بعـدان، تصـل الميـاه منـها إلى منطقـة الذهـوب الواقعة شمال مدينة إب عبر مواسير أخذت منها العينة .
4	مياه السائلة	بئر فى منطقة السائلة خلف مفرق جبلة أخذت العينة من البئر .
5	مياه المرزوم	بئر فى منطقة المرزوم ، أخذت العينة من البئر .
6	مياه جولة العدين	بئر فى منطقة جولة العدين ، أخذت العينة من البئر .
7	مياه السبل	بئر فى منطقة السبل ، أخذت العينة من البئر .
8	مياه جامعة إب	بئر فى كلية الزراعة ، أخذت العينة من الأنبوب
9	مياه كلية التربية	مصدر هذه المياه مشروع إب الرئيسي ، أخذت العينة من الصنبور .
10	مياه مستشفى ناصر	
11	مياه مستشفى الثورة	
12	مياه حده	تجارية تنتج فى محافظة صنعاء .
13	مياه شملان	تجارية تنتج فى محافظة صنعاء .
14	مياه مأرب	تجارية تنتج فى محافظة مأرب .
15	مياه اللواء الأخضر	تجارية تنتج فى مدينة إب
16	مياه المدينة المنورة	تجارية تنتج فى مدينة إب

لقد كانت جميع العينات خالية تماماً من الطعم واللون والرائحة والعكارة ، وكانت الكيماويات المستخدمة في تحضير المحاليل المنظمة على درجة عالية من النقاوة . ولضمان تخلص الأخيرة من آثار المعادن فيها فقد تم إجراء تحليل الكتروليتي لها قبل إضافتها للعينات .

تم تحديد العسر الكلي وتركيز أيونات الكاليسوم والماغنيسيوم من خلال المعايرة مع EDTA (3)، والقلوية بالمعايرة مع حامض الهيدروكلوريك (4)، و الكلوريد بالمعايرة مع نترات الزئبقيك بوجود دليل الداي فينيل كاربازون (5) .

واستخدم جهاز تحليل ضوئي Spectrophotometer لشركة Patterson Scientific نموذج (CAT . 4001/4) لتحديد مقدار الكبريتات عن طريق قياس العكارة Turbidimetry (6) والنترات باختزالها إلى النتريت بواسطة عمود الكادميوم (Cd reductor column) ثم مفاعلة النتريت مع حامض السلفانيليك – الفا نفثيلامين Sulfanilic Acid - ∝ Naphthylamin لإعطاء صبغة الآزو (7)، والفلوريد بواسطة كاشف الزارين R (Alizarin garnet R)(8) .

وقد شملت الدراسة تقدير درجة الحموضة pH ، والأملاح الكلية الذائبة T. D . S عن طريق جهاز كوري نموذج (JENWAY 4335) ، وتحديد تركيز أيونات الصوديوم والبوتاسيوم باستخدام مطياف لهب Flame photometer انجليزي من نوع (7 . JENWAY PFP) .

وكان من الأغراض الرئيسية لهذا البحث تحديد مقادير الرصاص والكادميوم والنحاس والزنك (التي يخشى تواجدها في مياه الشرب نتيجة عمليات الخزن والنقل عبر شبكات الأنابيب وتسبب أضراراً خطيرة على المدى البعيد) . واستخدم لهذا الغرض جهاز بلوروجراف سويسري نوع . (METROHM 746 VA) والطريقة التي طبقت في التحليل هي طريقة الخلع المصعدي الجهدي (Anodic Stripping Voltammetry)

وهي تقنية جهدية متطورة قادرة على كشف آثار صغيرة جداً من العناصر تقل عن 10^{-9} مولار وتتضمن هذه الطريقة خطوتين ، في الأولى يتم تركيز العنصر بواسطة اختزاله (ترسيبه) على فلم أو قطرة زئبق معلقة ، وفي الخطوة الثانية يعكس الجهد المطبق في الخطوة الأولى ويتم قياس التيار المصعدي الناتج عن أكسدة العنصر وفق ما ذكر في (9 و 10) .

استخدمت طريقة الإضافة القياسية Standard addition method لتحديد تراكيز هذه الفلزات (12،11) ، وقد أعيد كل قياس ثمان مرات للتأكد من تطابق النتائج حيث تولى الحاسب الآلي المرتبط بجهاز البلوروجراف تنظيم عمليات القياس آلياً ومعالجة النتائج إحصائياً حيث لم يتجاوز الانحراف المعياري 5 % في جميع الحالات ، ويبين المخطط التالي الظروف والمواصفات المنتقاة تجريبياً للكشف عن العناصر الأربعة في عينات المياه المختلفة :

المقادير المجهادية Voltammetric Parameters المنتقات لإجراء التحاليل

نموذج القياس الجهدي	الخلع المصعدي الجهدي النبضي التفاضلي
القطب الكاشف	قطب قطرة الزئبق المعلقة
القطب المرجع	قطب الفضه كلوريد الفضه ($Ag_{(s)}$ lAgcl $_{(s)}$ / CI^- (oq
الجهد الابتدائي	ـ١ . ١٥ فولت
الجهد النهائي	صفر فولت
المساحة السطحية لقطرة الزئبق	cm-0.029
زمن مرور غاز النيتروجين	٣٠٠ ثانية
زمن الترسيب	٩٠ ثانية
طريقة التقدير	الاضافة القياسية
سرعة المسح	٥ مليفولت / ثانية

ولتفادي إمكانية حدوث اتحاد بين الزنك والنحاس على سطح قطرة الزئبق المعلقة والذي يؤدي إلى أخطاء ملحوظة في القياس (13)، فقد تم التحري عن مقدار الزنك بشكل مستقل عن العناصر الثلاثة . إذ تم تحليل الزنك بناء على اقتراح lau و,Cheng

الذي تم نشره أخيراً (14) وذلك بإضافة 20 ميكرولتر من 50µg/ml كبريتيد الصوديوم إلى 10ml من كل عينة لضمان ترسيب النحاس أولاً ثم إجراء القياس في محلول منظم من الأمونيا / كلوريد الأمونيوم عند pH= 8.7 .
أما تركيز الرصاص والكادميوم والنحاس فقد تم تعيينها باستخدام محلول منظم من حامض الخليك / الخلات عند (pH = 4.6 (15) .

لقد ثبت نجاح طريقة الخلع المصعدي الجهدي في تحليل المياه من خلال مجموعة واسعة من البحوث التي لخصها Florence (16) ولا زالت تستخدم لنفس الغرض كما ذكر في (17 و 18) وفي مجالات واسعة أخرى (19) .

النتائج والمناقشة .

درجة الحموضة ، الأملاح الكلية الذائبة ، العسر الكلي ، القلوية :

يحتوي جدول (1) على قيم الأس الهيدروجيني (pH) لعينات المياه التي تم تحليلها وقد ظهر أن معظمها كان مطابقاً لمواصفات منظمة الصحة العالمية WHO الصادرة سنة 1988 (20) ومعايير استرشادية أخرى (22،21) باستثناء مياه (الذهوب) التي تجاوزت القيمة القياسية بمقدار قليل . كما تظهر النتائج تفاوتاً محدوداً في قيم درجة الحموضة للعينات المختلفة بسبب اختلاف محتواها من المواد المؤثرة على هذه الخاصية ، ولكن العينات تتفق جميعاً بأنها قلوية . ويلاحظ أن مياه حده ، شملان ، ومأرب تقترب بشكل كبير من القيمة القياسية المرغوبة الصادرة عن مجلس حماية البيئة اليمني لعام 1993 (22) في وقت تبتعد بقية العينات عن القيم المرغوبة بمقدار قليل .

* مازالت هذه المعايير الاسترشادية سارية حتى تاريخ إعداد هذا البحث .

عند ملاحظة قيم الأملاح الكلية الذائبة T . D . S جدول (1) وجد أن جميعها تقع ضمن المدى المسموح به عالمياً (مع احتفاظ مياه الذهوب بنسبة أعلى) مما يشير إلى جودة مياه إب وصلاحيتها العامة للشرب وغيره من الاستعمالات .
وفي دراسة تعد حالياً لمياه عدن والجنوب لاحظنا فارقا نوعيا واضحا بين مياه إب ومياه عدن حيث بلغ مستوى الأملاح الكلية الذائبة لمياه عدن . (1105 ppm)

لقد كانت مياه حده هي الأفضل بين نظيراتها التجارية حيث لم تتجاوز الأملاح الذائبة الكلية فيها (107. 0ppm) مما يعطيها موقعاً تنافسيا كبيراً للمياه التجارية المحلية و لمياه الدول المجاورة .

جدول (1) نتائج درجة الحموضة ، الأملاح الكلية الذائبة، العسر الكلي والقلوية لعينات مياه إب والمياه التجارية

رقم العينة	منطقة العينة		درجة الحموضة pH	الأملاح الكلية الذائبة T.D.S p.p.m	العسر الكلي ppm CaCO3	قلوية الفينولفثالين ppm CaCO3	قلوية المثيل البرتقالي ppm CaCO3
1	مشروع مياه مدينة إب		7.96	433.0	300.0	----	280.0
2	مياه جوامع مدينة إب		8.50	260.0	220.0	10.0	160.0
3	مياه الذهوب		8.60	1012.0	700.0	----	380.0
4	مياه السائلة		8.00	460.0	320.0	----	252.5
5	مياه المرزوم		7.73	408.0	305.0	----	252.5
6	مياه جولة العدين		8.11	430.0	320.0	----	290.0
7	مياه السبل		8.02	414.0	295.0	----	280.0
8	مياه جامعة اب		7.75	426.0	340.0	10.0	300.0
9	مياه كلية التربية		8.12	446.0	300.0	10.0	280.0
10	مياه مستشفى ناصر		8.26	432.0	300.0	----	300.0
11	مياه مستشفى الثورة		8.41	552.0	400.0	----	330.0
12	مياه حده		7.50	107.0	50.0	----	50.0
13	مياه شملان		7.62	188.6	140.0	----	110.0
14	مياه مأرب		7.65	141.8	230.0	----	60.0
15	مياه اللواء الأخضر		8.38	375.0	240.0	14.0	200.0
16	مياه المدينة المنورة		8.15	363.0	280.0	10.00	220.0
القيمة القصوى المسموحة الصادرة عن WHO سنة ١٩٨٨			8.50-6.50	1000.0	500.0		
القيمة القصوى** الصادرة عن مجموعة الدول الأوربية سنة ١٩٩٢			8.50-6.50	1500.0			
المعايير الاسترشادية الصادرة عن مجلس حماية البيئة اليمني لسنة ١٩٩٢		المسموحة	8.50-6.50	500.0	500.0	120.0	
		القصوى	9.00>-4.00	1500.0	650.0	350.0	

---

* ppm ١ تعني جزء بالمليون = مجلم/لتر

** في حالة عدم إدراج بعض الأصناف في قائمة منظمة الصحة العالمية (W HO) فقد راعينا اللجوء إلى المعايير الاسترشادية الصادرة عن مجموعة دول المجتمع الأوربي (E . C) لعام 1992 (المصدر 21 ، ص 110) أو تلك الصادرة عن مجلس حماية البيئة اليمني لسنة 1993 (22).

يحتوى جدول (1) على كمية العسر الكلي* في عينات المياه المدروسة ، ويلاحظ أن أقصى قيمة للعسر كانت في عينة مياه (الذهوب) ، حيث تجاوزت كمية العسر فيها القيمة القصوى الصادرة عن منظمة الصحة العالمية (WHO) بنسبة 40% . وقد أشار المنهراوي وحافظ(21) إلى أن المجتمعات التي تعيش على مياه عسرة تحدث لها أضرار صحية ، من ناحية : ترسيب الأملاح داخل الشرايين ، تكوين حصوات بالكلية والحالب بالإضافة إلى ظهور الإرهاق البدني العام والشيخوخة المبكرة وعلى ضوء هذه المؤشرات فإن مياه (الذهوب) تعد غير صالحة للاستخدام الآدمي .

تتمتع المياه التجارية بكمية عسر منخفضة بشكل عام مما يجعلها مناسبة للاستهلاك المحلي ، وكانت نسبة العسر في مياه حدة (المعالجة) هي الأدنى مما يضعها في صدارة المياه التجارية المطروحة من حيث الجودة .

إن قلوية معظم العينات تعود إلى كمية البيكربونات الذائبة في تلك المياه ، ولم تسهم الكربونات والهيدروكسيدات إلا في عدد محدود من العينات عكسته قيم قلوية الفينولفثالين (23) . وعند مقارنة النتائج المستحصلة للقلوية مع القيمة القياسية القصوى الصادرة عن مجلس حماية البيئة اليمني – وهي عبارة عن مجموع قلوية الفينولفثالين وقلوية المثيل البرتقالي ومقدارها (350ppm) – يظهر أن عينة مياه (الذهوب) قد تجاوزت القيمة القياسية بنسبة 8.57 % في حين ظلت قلوية العينات الأخرى دون المستوى الأقصى على الرغم من تفاوت قيمها ، وقد حافظت مياه حدة على أدنى قلوية مقارنة بالعينات الأخرى حيث لم تتجاوز . (50ppm)

---

* يطلق اسم العسر الكلي على مجموعة من الأملاح الطبيعية الذائبة والشائع وجودها في المياه الطبيعية والتي يعزى إليها ظاهرة العسر . وهي بشكل أساسي كربونات وبيكربونات وكبريتات كلا من الكالسيوم والماغنيسيوم بالإضافة إلى مكونات أخرى بدرجة أقل .

إن احتواء العينات المختلفة على البيكربونات كمصدر أساسي للعسر يجعل معالجتها أمراً سهلاً ويمكن لمؤسسة المياه الصرف الصحي أن تنصح الأهالي بغلي المياه وترشيحها قبل شربها لأن ذلك سيخفض نسبة العسر بشكل ملحوظ ، ويؤدي أيضاً إلى التخلص من آثار التلوث الميكروبي .

الكالسيوم ، الماغنيسيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكلوريد ، الفلوريد، الكبريتات ، النترات :

يعتبر عنصري الكالسيوم والماغنيسيوم من أكثر العناصر انتشاراً وشيوعاً في القشرة الأرضية، حيث يصل متوسط تركيزهما في القشرة الأرضية إلى 50000 و 25000 ملجم/كجم على التوالي ، لذا كان من الطبيعي أن تتواجد أملاحهما في جميع أنواع المياه الطبيعية السطحية والجوفية وبتركيزات متفاوتة للغاية .

تشير النتائج المستحصلة والموضحة في الجدول (2) لكميات عنصري الكالسيوم والماغنيسيوم في عينات المياه التي خضعت للتحليل بأن معظم العينات موافقة للقيم الصادرة عن مجموعة الدول الأوربية (E.C.) لسنة 1992 ومجلس حماية البيئة اليمني لسنة 1993 (21 و 22)، وأن العينة الوحيدة التي لم تتفق مع القيمة القصوى المسموحة لعنصر الماغنيسيوم هي عينة مياه (الذهوب) ، حيث بلغت نسبة هذا العنصر 187.2% من القيمة القصوى وهو رقم آخر يشير إلى عدم صلاحية هذه المياه للاستخدام .

أما بالنسبة للعينات التجارية فإن مجلس حماية البيئة اليمني عام 1993 قد وضع مقاييس خاصة بالمياه المعبأة أعلى كفاءة من المقاييس العالمية ، وذلك لضمان أن تكون هذه المياه على درجة عالية من الجودة (للمقارنة أنظر 23) ، ويمكن القول بأن المياه اليمنية

المعبأة التي تجتاز معايير مجلس حماية البيئة اليمني تنافس مثيلاتها في الـــدول الأخـــرى وتستطيع أن تجتذب إليها أسواق الدول المجاورة . إن زيادة تركيز عنصري الكالســـيوم والماغنيسيوم عن المدى المسموح به يؤدي إلى أضرار العسر المشار إليها سابقا .

وعند ملاحظة مقدار الصوديوم والبوتاسيوم في العينات اتضح أن جميعها تحتـــوي على مقادير من العنصرين تقل عن القيمة القصوى المســـموح بهـــا مـــن قبـــل المعايـــير الاسترشادية الثلاثة المشار إليها مما يؤكد جودتها . وكانت مياه مأرب التجارية ملفتـــةً للانتباه بمقدار ما تحتويه من أيونات الصوديوم والبوتاسيوم مقارنة بالعينات الأخرى . قد يرجع ذلك إلى المحيط الجيولوجي الذي تسحب من خلاله المياه والذي يظهر أنـــه غنيـــاً بأملاح الصوديوم والبوتاسيوم الذائبة .

إن مياه مشروع إب الرئيسي ومياه مدينة إب الواردة منه تحتوي علـــى نســـبة صوديوم متوسطة نسبياً ولكنها ظلت أقل مما ذكرت للمقيـــاس الأوربي، ومـــن جديـــد سجلت مياه حده أدنى مستوى صوديوم وبوتاسيوم مما يؤكد جودتها ونقاوتها .

جدول (2) نتائج تحليل الكالسيوم ، الماغنسيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكلوريد، الفلوريد ، ،الكبريتات، النترات في عينات مياه إب والعينات التجارية

رقم العينة	اسم العينة	الكالسيوم Ca ppm	الماغنيسيوم Mg Ppm	الصوديوم Na ppm	البوتاسيوم K Ppm	الكلوريد Cl ppm	الفلوريد F ppm	الكبريتات SO_4 ppm	النترات NO_3 Ppm
1	مشروع مياه مدينة إب	88.0	19.2	46.5	2.3	26.0	5.45	24. 2	18.5
2	مياه جوامع مدينة إب	64.0	14.4	21.6	2.7	21.0	0.44	32.0	12.8
3	مياه الذهوب	124.0	93.6	79.6	3.2	101.5	0.30	88.0	118.8
4	مياه السائلة	72.0	33.6	39.4	3.0	28.5	0.30	34.0	22.0
5	مياه المرزوم	68.0	32.4	30.2	2.0	20.0	0.40	18.0	20.7
6	مياه جولة العدين	66.0	37.2	37.2	2.3	28.5	0.25	18.0	23.3
7	مياه السبل	64.0	32.4	34.2	2.1	16.0	0.42	23.5	26.4
8	مياه جامعة إب	72.0	38.4	33.2	2.2	23.5	0.45	25.0	21.1
9	مياه كلية التربية	88.0	19.2	46.5	2.3	22.0	0.30	30.0	18.5
10	مياه مستشفى ناصر	88.0	19.2	45.0	2.0	19.0	0.40	24.0	18.9
11	مياه مستشفى الثورة	104.0	33.6	47.0	2.1	26.0	0.50	27.0	52.8
12	مياه حده	8.0	7.2	11.2	1.7	16.5	0.15	11.0	1.3
13	مياه شملان	32.0	14.4	30.4	3.1	14.0	0.42	27.0	2.6
14	مياه مأرب	48.0	26.4	79.6	7.3	36.5	0.10	10.0	5.7
15	مياه اللواء الأخضر	52.0	26.4	34.4	2.6	26.0	0.37	25.0	19.8
16	مياه المدينة المنورة	56.0	19.2	34.2	1.8	18.0	0.70	16.7	10.1
	القيمة القصوى المسموحة الصادرة عن WHO سنة ١٩٨٨			200.0		250	1.50	400.0	45.0
	القيمة القصوى المسموحة الصادرة عن مجموعة الدول الأوربية سنة ١٩٩٢	200	50	175	12	200	1.50	250.0	50.0
	المعايير الاسترشادية الصادرة عن المسموحة	200.0	150.0	200.0		200.0	0.50	200.0	45.0
	مجلس حماية البيئة اليمني لسنة ١٩٩٢ القصوى	250.0		400.0		600.0	1.50	600.0	50.0
	القيمة المسموحة للمياه المعبأة حسب مجلس البيئة اليمني لسنة ١٩٩٣	46.6 24.6	17.93 1.20	90.0 42.0	4 1 7			7.8	33.0

حين ننتقل إلى الكلوريد نلاحظ أن كميته تبقى دون مستوى القيمة القصوى المسموحة حسب المقياس العالمي (WHO) وهي لا تبعد كثيراً عن القيم المرغوبة(25ppm) ضمن المقياس الأوربي (21) باستثناء مياه الذهوب التي أشارت جميع الأرقام إلى عدم صلاحيتها ، وفي الدراسة التي تعد حالياً لتقييم مياه عدن والجنوب لاحظنا أن كمية الصوديوم والكلوريد في مياه عدن تتجاوز القيمة القصوى للمقياس العالمي بشكل ملحوظ قد يعزى إلى قرب مصادر المياه (الآبار) من البحر . إن ارتفاع معدل تعاطي الكلوريد عن القيم المذكورة (لفترة طويلة) يؤدي إلى إختلال في وظائف الجسم ، مثل : ارتفاع ضغط الدم ، وتصلب العضلات، وهبوط القلب بصورة حادة قد تودي بحياة الإنسان .

لقد كان تركيز أيون الفلوريد في جميع عينات المياه المدروسة (الجدول 2) أقل من الحد الأقصى الذي حددته منظمة الصحة العالمية . ولهذه المقادير الصغيرة تأثيراً إيجابياً حيث تتفاعل مع طبقة المينا المغلفة للأسنان فتوفر لها مناعة مؤقتة ضد الذوبان في السوائل الحمضية (24) كما أنها تساهم في دعم التركيب الكيميائي للهيكل العظمي للإنسان والحيوان . أما في حالة التركيزات العالية فإن أيون الفلوريد يقوم بمهاجمة مركبات الكالسيوم المكونة للهيكل العظمي ونظراً لقابلية تراكم أيون الفلوريد جزئياً في جسم الإنسان ، فإن القيمة المعيارية الاسترشادية الموصى بها يجب أن لا تتجاوز 1.5 مليجرام/لتر في مياه الشرب المستخدم على مدى زمني طويل .

عند تأمل الجدول (2) نلاحظ أن تركيز الكبريتات في جميع العينات يقع دون المستوى الأقصى المسموح عالمياً مما يشير إلى عدم تلوث مياه إب بمركبات الكبريتات الناتجة من المخلفات الصناعية خاصة المستخدم بها حامض الكبريتيك . إن ازدياد تركيز الكبريتات في المياه عن المستوى المسموح يؤدي إلى تحلل الرصاص في الأنابيب الناقلة للمياه فيتلوث الماء بملوث آخر أشد خطورة .

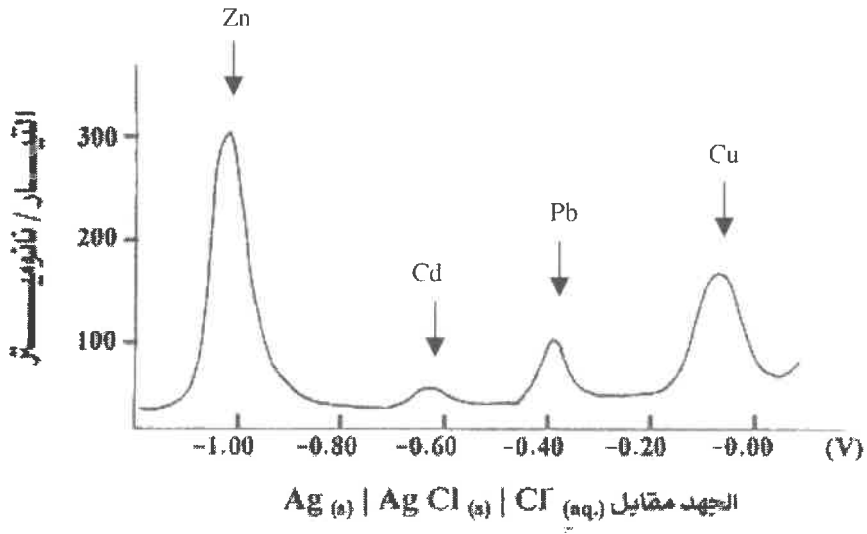
وحين ننتقل إلى النترات نلاحظ أن مستواها في جميع عينات إب باستثناء (مياه الذهوب ومستشفى الثورة) هو دون المستوى المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمة (WHO) وهذا مؤشر مهم آخر لجودة مياه إب ، فالنترات بتركيزات ضئيلة لها أهمية حيوية لجسم الإنسان إلا أن أعجب وظائفها تكمن في امتصاصها بواسطة الغدد اللعابية والتي تفرز اللعاب الغني بأيونات النترات ، واللازم لتفتيت جزئيات الطعام إلى مركبات أبسط تمهيداً للاستفادة منه في أجزاء الجهاز الهضمي المتنوعة والمتخصصة ، وأثناء هذه العملية الحيوية الهامة يجرى اختزال حوالي 20% من أيون النترات (21) إلى أيون النتريت والذي يجري افراز جزء منه عن طريق البول والبراز والعرق .

وارتفاع تركيز أيون النتريت في جسم الإنسان له تأثير سلبي لسببين: الأول : أن النتريت قادر على اختزال هيموجلوبين الدم إلى مركب الميثيموجلوبين Methaemoglobin الغير قادرة على حمل الأوكسجين في دورة الدم الأمر الذي يسبب عند الأطفال ظاهرة الطفل المزرق (25)، والسبب الثاني: أنه تحت ظروف كيميائية معينة قد تتفاعل أيونات النتريت مع الأمينات والأميدات الموجودة في جسم الإنسان وتحولها إلى مركبات النتيروز أمينات Nitrosamines والتي تبين أن بعض أنواعها ذات تأثير سرطاني .

إن الارتفاع الكبير في تركيز النترات في مياه الذهوب يرجع إلى الاستخدام المكثف والعشوائي للأسمدة الكيمياوية ، مثل نترات الأمونيوم و احتمال استخدام مياه الصرف الصحي في ري الأراضي الزراعية المحيطة بها . أما مستوى النترات في مياه مستشفى الثورة والذي تجاوز الحد الأقصى المسموح من قبل منظمة الصحة العالمية بقليل فهو يعكس حصول تعفن في الخزان الرئيسي لحفظ المياه ، ويحتم معالجة سريعة ويستلزم إجراء فحص دوري للمياه المستخدمة في هذه المواقع الحيوية .

العناصر الثقيلة (Zn Cd ' Pb) :

يوضح الشكل (1) منحنى جهدي نموذجي لاختزال الرصاص ، الكادميوم، النحاس والزنك عند pH = 8.4 لإحدى العينات المدروسة . حيث يظهر الإحداثي السيني جهود الإختزال الخاصة بكل عنصر في وقت يعطي الإحداثي الصادي شدة التيارات المصعدية التي تتناسب طردياً مع تركيز الأيونات المختلفة (26).



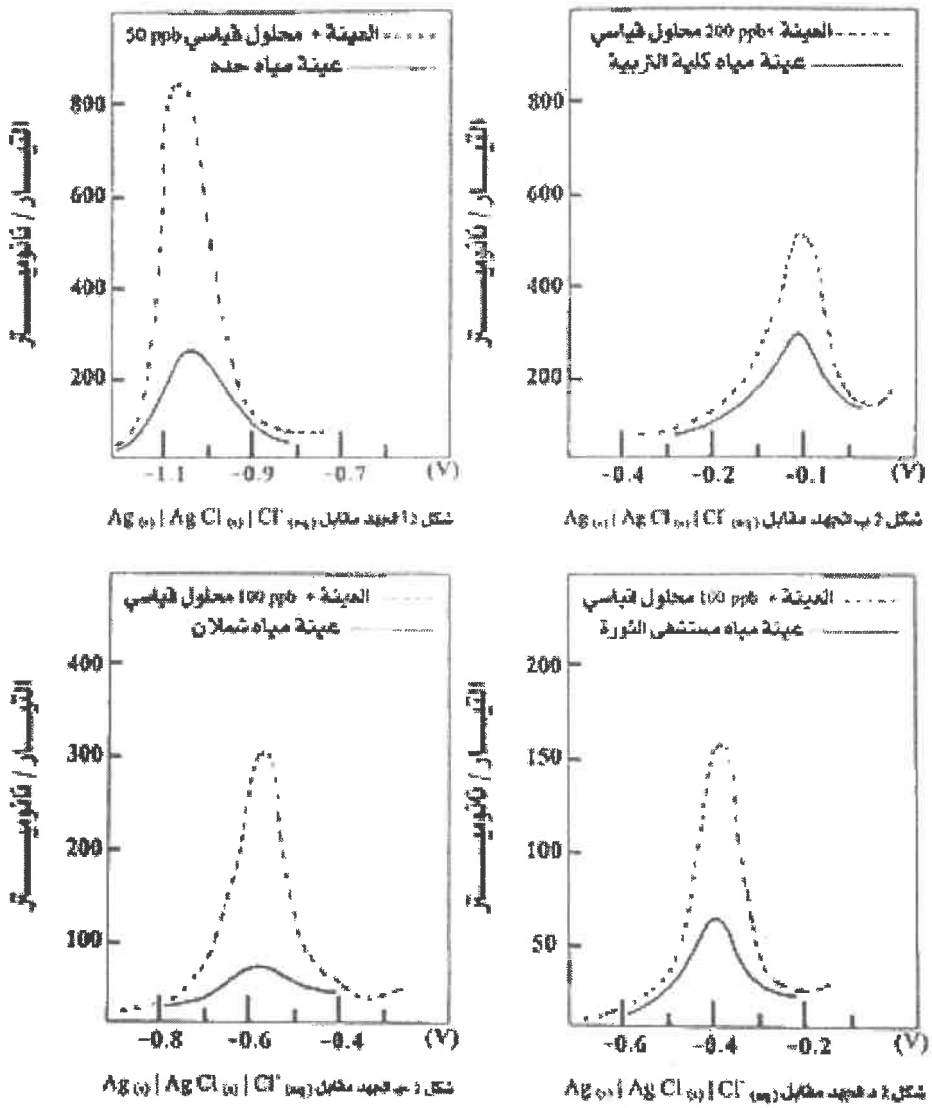
شكل (١) : منحنى جهدي خلعي مصعدي لآثار العناصر Zn , Cu , Cd , Pb

ويمثل الشكل (2) المنحنيات الجهدية للأيونات الأربعة (في عينات متنوعة من المياه) قبل وبعد إضافة المحاليل القياسية لقد كانت شدة الإشارات عالية بحيث أمكن

تشخيص تراكيز واطئة جداً لا تتعدى *0.2 ppb وهذه النتيجة تتفق مع ما أشار إليه Flora و Nleboer (27) ويلخص الجدول (3) تراكيز العناصر الأربعة في عينات المياه المختلفة .

تشير النتائج في الجدول (3) إلى أن تركيز الرصاص في جميع العينات يقع دون القيمة القصوى الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ، وهذا مؤشر مهم على جودة مياه إب والمياه التجارية وبخاصة إذا أدركنا أن الرصاص الذي يتراكم داخل أنسجة وعظام جسم الإنسان يؤدي إلى حدوث أعراض التسمم المعروفة مثل الشعور بالضعف والاضطرابات النفسية والعصبية ، وبالنسبة للأطفال فإن التعرض للتلوث بمركبات الرصاص يؤدي إلى حدوث تخلف عقلي وبدني(28) .

* ppb تعني جزء بالبليون = ميكروجرام / لتر



شكل (٢) : منحنى جهدي خلعي مصعدي للخارصين 2 أ ، النحاس 2 ب ، الكادميوم 2 جـ ، والرصاص 2 د باستخدام عينات متنوعة من المياه

جدول (3) نتائج تحليل العناصر الثقيلة لمياه إب والمياه التجارية

رقم العينة	اسم العينة	تركيز الرصاص pb ppb	تركيز الكادميوم cd ppb	تركيز الزنك Zn ppb	تركيز النحاس Cu ppb
١	مشروع مياه مدينة إب	6.4	0.1	110.4	2.0
٢	مياه جوامع مدينة إب	1.5	---	7.1	2.0
٣	مياه الذهوب	5.0	2	16.1	2.1
٤	مياه السائلة	8.0	0.2	17.0	10.7
٥	مياه المرزوم	4.8	---	97.4	12.9
٦	مياه جولة العدين	8.0	4	6.5	6.4
٧	مياه السبل	6.4	0.4	4.5	3.8
٨	مياه جامعة إب	16.0	0.3	889.1	4.3
٩	مياه كلية التربية	9.6	0.4	123.3	10.7
١٠	مياه مستشفى ناصر	11.0	0.4	217.2	3.0
١١	مياه مستشفى الثورة	16.0	0.5	174.17	3.0
١٢	مياه حده	2.4	--	8.6	16.1
١٣	مياه شملان	6.5	--	32.0	1.6
١٤	مياه مأرب	2.4	--	6.8	8.0
١٥	مياه اللواء الأخضر	2.5	--	157.1	7.0
١٦	مياه المدينة المنورة	3.2	---	57.4	3.0
القيمة القصوى المسموحة حسب WHO		50.0	5.0	5000.0	1000.0
القيمة القصوى الصادرة عن مجموعة الدول الأسوربية سنة 1992		50.0	5.0	5000.0	3000.0
المعايير الاسترشادية الصادرة عن مجلس حماية البيئة اليمني لسنة 1992	المسموحة			5000.0	1000.0
	القصوى			15000.0	1500.0

إن تركيز الرصاص لم يتجاوز (16.0 ppb) حتى بعد نقله من خزان إب الرئيسي إلى مواقع الاستهلاك داخل المدينة مثل مستشفيي الثورة وناصر ، وهذا تأكيد آخر على جودة مياه إب إذا قورنت مثلاً بمياه صنابير تم تحليلها في مختبرات مدينة الرياض في المملكة العربية السعودية (29) حيث كانت معدلات الرصاص بحدود (30 ppb) .

إن جودة مياه إب تنعكس أيضاً من خلال خلوها تقريباً من الكادميوم جدول (3) القابل للامتصاص والتراكم في أنسجة الجهاز الهضمي والكلى والكبد والرئة ، والتي أشارت البحوث إلى وجود علاقة قوية بين تركيز الكادميوم المرتفع والإصابة بأنواع مختلفة من السرطانات (30) .

وتتعزز جودة مياه إب من خلال تأمل نسب النحاس والزنك المثبتة في جدول (3) ، فالنحاس ظل بعيداً جداً عن المستويات المسموح بها، وكذلك الزنك في أغلب العينات . وقد انفردت مياه جامعة إب بمستوى عال من الزنك يرجع في الأساس إلى قدم خزان التجميع المطلي بالزنك ، ويمكن معالجة ذلك باستبداله .

إن نقل المياه من خزان إب الرئيسي إلى مواقع المدينة لم يحدث زيادة كبيرة في مستوى الزنك مما يزيد الاطمئنان في سلامة المياه الواصلة إلى المدينة من العناصر الثقيلة ، والملفت للنظر أن مياه الجوامع والمياه التي أخذت من الآبار مباشرة سجلت أدنى مستوى للعناصر الثقيلة لكونها لم تخزن أو تنقل في وسائط ملوثة لهذه المياه، ولكن مستوى العسر ظل فيها عالياً نسبياً، وتفاوتت المياه التجارية في مقدار العناصر فيها، ولكنها ظلت مستوفية للمعيار العالمي مع احتفاظ ماء حده بأعلى المؤشرات كفاءة ، ويبقى أن نشير إلى أن النحاس والزنك أقل العناصر المعدنية المسببة للتسمم غير أن تناول أملاح الزنك بمعدل 60 إلى 120 مرة زيادة على المقررات الموصى بها تؤدي إلى حدوث تقيؤ وإسهال ودوار وخمول وفشل كلوي وانيميا (31) .

إن تحليل مياه إب في فترتين متباعدتين أظهر لنا أن الفارق لم يتجاوز 10% حيث إزداد العسر ومجموع الأملاح الذائبة بمقدار محدود في العينات التي جمعت في شهر أغسطس 2000 م لاحتمال انجراف الأملاح واختلاطها مع ماء الآبار، وهذا ما دفعنا إلى

الاستنتاج بأن مياه إب باستثناء (الذهوب) صالحة للشرب وللاستخدامات الأخـرى ، وأن بالإمكان توظيف هذه المياه للتعبئة والتصدير بعد معالجتها وتثبيت مواصفاتها .

وأخيراً فإن طريقة الخلع المصعدي الجهدي التي استخدمت في هذه الدراسة تتمتـع بمواصفات فريدة كالسرعة والدقة وقلة التكلفة (32) ولا تقل في كفاءتها عـن طريقـة الامتصاص الذري Atomic Absorption (33) . لذا يمكن اسـتخدامها مـن قبـل مؤسسات المياه والصرف الصحي في الرصد الروتيني لجودة المياه وخلوها من الكيمياويات الضارة .

المراجع

(1) Rey E . Clement, Paul W Yang, and Carolyn J Koester, Environmental Analysis, Anal . Chem . 71 (1999) 257R .

(2) Duncan P . H . Laxen, and Roy M . Harrison, Cleaning Methods for Polythene Containers Prior to the Determination of Trace Metals in Freshwater Samples, Anal . Chem . 53 (1981) 345 .

(3) ليون نجم ، التحليل الكمي ، كلية العلوم – جامعة حلب (١٩٩٥) ص ٢٤٨-٢٥٥

(4) غوردن ك . بانكويف ، مقدمه في كيمياء المياه الطبيعية ، ترجمة صابر السيد و سعد محمد جامعة عمر المختار – البيضاء – ليبيا (١٩٩٦) ص ٥٩.

(5) I Z Al- Zamil , and A . A . Al – Hobaish, Estimation of the water Quality of Riyadh – water Purification stations, J . Coll . Sci . , king Saud Univ, 14 (1983) 369 .

(6) نوري طاهر الطيب وبشير محمد جرار ، قياس التلوث البيئي، دار المريخ للنشر ، الرياض (١٩٨٨) ، ص١٠٠-١٠١

(7) هومر . د . شاتمان وباركر . ف . برات، طرق تحليل التربة والنباتات والمياه ، ترجمة فوزي محمد الدومي، يوسف القرشي الماحي ، جاد الله عبد الله حسن ، جامعة عمر المختار – البيضاء – ليبيا (١٩٩٦) ص٤٠٠-٤٠٢

(8) D . A . Skoog and D . M . west, Fundamentals of Analytical chemistry, philadelphia, PA, (1982) P . 493 .

(9) T . R . Copeland, and R . K . Skogerboe, Anodic Stripping voltammetry, Anal . Chem . 46 (1974) 1257 A .

(10) J . T . Stock, Automated Anodic Stripping Voltammetry, Journal of chemical Education 57 (1980) A 125 .

(11) M . Bader, A systematic Approach to Standard Methods in Instrumental Analysis, Journal of Chemical Education 57 (1980) 703 .

(12) عبد العزيز رمضان،طرائق التحليل الآلي،كلية العلوم–جامعة حلب(١٩٩٥)ص ٧١-٧٢.

(13) T . R . Copeland, R . A . Ostergoung, and R . k . Skogerboe, Elimination of Copper –Zinc Intermetallic Interferences in Anodic Stripping Voltammetry, Anal . Chem . 46 (1974) 2093 .

(14) Oi – Wah Lau, Oi – Ming Cheng, Determination of Zinc in environmental Samples by anodic Stripping Voltammetry . Anal . Chim . Acta 376 (1998) 197 .

(15) Ω Metrohm, 746 VA Trace Analyzer / 747 VA Stand, Instructions for use , CH - 9101 Herisau - Switzerland (1997) 7 - 33 .

(16) T . M . Florence, Electrochemical Approaches to Trace Element Speciation in waters , Review, Analyst 3 (1986) 489 .

(17) R . K . Mahjan, and Anita Mahjan, Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetric Determination of Zn, Cd, Pb and Cu Simultaneously in sea water, Res . J . chem . Enviroment 3 (1999) 25 .

(18) J . F . Van Staden, and M . C . Matoetoe, The use of Differential Pulse Anodic stripping Voltammetty in a flow system for the simultaneous Determination of Cu, Cd, Fe, Pb, and Zn, Anal . Chim . Acta 411 (2000) 201 .

(19) T . R . Crompton, Analysis of Solids in Natural Waters, Springer - Verlag Berlin Heidelberg (1996) P . 47 .

(20) World Health Organization, WHO (1988) Guidelines For Drinking Water Quality , Vol . 2, Health Critevia and Other Supporting Information, after The First Impression 1984, Geneva .

(21) سمير المنهرواي و عزة حافظ ، المياه العذبة ، الدار العربية القاهرة (١٩٩٧)

(22) مجلس حماية البيئة اليمني لسنة (١٩٩٣) – صنـــــــعاء

(23) Z . H . Mohamed and L . E . Abdel Fattah, Fluoride and Carbonate / Bicarbonate Contents of drinking water in Riyadh, Saudi Arabia, J . Coll . Sci . king Sud Univ . 18 (1987) 151 .

(24) R . A . Seymour, J . G . Meechan, and M . S . Yates, pharmacology and Dental Therapeutics , 3rd . edn . . Oxford press (1999) pp . 178-181 .

(25) R . R . Levine, Pharmacology Drug Actions and Reactions 5th edn . , Pathenon Publishing Group, (1996) P . 264 .

(26) John H . Kennedy, Analytical Chemistry Principles, HBT Florida (1984) PP . 592 - 594 .

(27) Carmen J . Flora, and Evert Nleboer, Determination of Nickel by Differential pulse Polarography at a Dropping Mercury Electrode, Anal . Chem . 52 (1980) 1013 .

(28) Xiaomei Yu, Haodan Yuan, Tadeusz Gorecki, and Janusz Pawliszyn, Determination of Lead in Blood and Urine by SPME / GC Anal . Chem . 71 (1999) 2998 .

(29) Khalid A . Al - Rashood, and M . E . Mohamed, Anodic Stripping Voltammeric Analysis of Trace Metal Ions of Pb, Cd, Cu and Zn in tap . Water . Arab Gulf J . Scient Res . Math Phys . Sci . A 6 (3) (1988) 377 .

(30) أحمد عبد الوهاب عبد الجواد ، تلوث المياه العذبة ، الدار العربية – القاهرة (١٩٩٥) ص ١٥٩ ، ١٦٠ .

(31) عصام بن حسن عويضة ، أساسيات تغذية الإنسان ، جامعة الملك سعود – الرياض (١٩٩٣) ص ٣٢٨ – ٣٣٤

(32) J . Wang, Stripping Analysis - Principles , Instrumentation, and Applications, VCH . Deerfield Beach, Fl, (1985) PP 2-3 .

(33) S . J . Reddy, P . Valenta, and H . W . Nurnberg, Simultaneous Determination of the Toxic Trace Metals Cd, Cu, Pb and Zn in Soils by Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry, Fresenius Z . Anal . Chem . 313 (1982) 390 .

The assessment of the quality of drinking water in Ibb City , Yemen .

Mohammed H . Matloob *
Abdusalam M . Al- Joufi, *
Mohammed Hassan Ali Saleh *

Abstract :

The Ibb Water and Sanitation Authority (Ibb WSA) collects water from several wells located on the outskirts of the city in a large water – reservoir made of cement . After it is chlorinated, water is pumped through a network of water - pipes to most of the city . The remaining areas of the city are supplied by water – tankers which collect water from a few scattered wells lying outside the city .

Chemical analysis (using anodic stripping voltammetry and several conventional methods) was conducted before and after the pumping process, on water from both sources as well as the portable water commercially purified and sold in the city .

Based on the results of these analysis, water supplied by the Ibb WSA has been found to be drinkable in accordance with local and international water standards . The water from other wells except those in Al- Dhahoub Valley, has also been found to have the same quality . The water storage and delivery processes have been found to cause a little pollution of an order which does not affect its quality for human consumption .

The chemical analysis of commercially sold water is of the same standard as that sold in neighbouring countries .

* **Ibb University – Faculty of Science**