المملكة العربية السعودية
جامعة الحدود الشمالية (NBU)
مجلة الشمال للعلوم الأساسية والتطبيقية (JNBAS)
طباعة ردمد: 1658-7022/ إلكتروني – ردمد: 1658-7014
www.nbu.edu.sa
http://jnbas.nbu.edu.sa

دراسة مقارنة لتقدير الخواص الفيزوكيميائية وبعض الفلزات الموجودة في مياه بعض آبار الشرب بوادي حضرموت

منير سعيد عُبّد[1](*) محمد صالح باشنيني[1] محمد برك القيسي[1]

(قدم للنشر في 1444/9/13هـ؛ وقبل للنشر في 1445/2/21هـ)

مستخلص البحث: هدفت هذه الدراسة إلى معرفة ومقارنة الخواص الفيزوكيميائية مثل الرقم الهيدروجيني، التوصيلية الكهربية، مجموع الأملاح الذائبة وعسر الماء الكلي إضافة إلى معرفة ومقارنة تركيزات الفلزات الرئيسية كالصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم، الحديد، المنجنيز، النحاس، الخارصين، الكادميوم والرصاص الموجودة في بعض آبار مياه الشرب لأهم مديريات وادي حضرموت. واستخدمت في هذه الدراسة عدد من الأجهزة الحديثة كجهاز مقياس الرقم الهيدروجيني، جهاز الامتصاص الذري (AAS)، جهاز انبعاث اللهب وجهاز الامتصاص الجزيئي للطيف المرئي وفوق البنفسجي. وقورنت النتائج المتحصل عليها بالمعايير والمواصفات القياسية الدولية واليمنية. فبعد أن خضعت 80 عينة مأخوذة من 40 بئر لحوالي 1680تحليل، وجدنا أنه 15 % منها فقط غير متطابقة مع المعايير الدولية بما يتعلق بعسر الماء الكلي أو تراكيز بعض المعادن. أما بالنسبة للمعايير والمقاييس اليمنية فقد أظهرت النتائج أيضًا أن 85 % من هذه الآبار متطابقة نتائجها مع هذه المعايير. وخلصت النتائج أن نسبة عدم تطابق آبار مديرية سيئون العاصمة مع المعايير الدولية والمحلية بلغت حوالي 8.4 % فقط. في حين اختلف الأمر لمديرية شبام حيث أن 55.6 % من النتائج أظهرت عدم التطابق وتجاوزت الحد المسموح به دوليًا ومحليًا من حيث بعض الخواص المدروسة. كذلك لم يثبت من خلال هذه الدراسة أي تلوث عضوي بالنيترات في هذه الآبار رغم وجود بعض هذه الآبار بالقرب من مناطق سكنية. وحسب النتائج المتحصل عليها يمكن القول إن معظم مياه آبار حقل جوجة وبئر الحوطة في مديرية شبام وأيضًا بئر الغرفة في مديرية سيئون كانت ذات عسرة عالية. لذلك فأننا نوصي بعمل معالجة أولية مستمرة لمياه هذه الآبار أو استبدالها بآبار أخرى أقل ملوحة.

كلمات مفتاحية: الفلزات الرئيسية، جهاز الامتصاص الذري، جهاز انبعاث اللهب، المعايير والمواصفات القياسية الدولية واليمنية.

. JNBAS ©1658-7022 (1445هـ/2023م) نشر بواسطة جامعة الحدود الشمالية .جميع الحقوق محفوظة.

*** للمراسلة:**
أستاذ مساعد. قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة حضرموت. ص ب: 50511 رمز بريدي: 00967 ، المكلا، الجمهورية اليمنية.

e-mail: m.obbed@hu.edu.ye

DOI:10.12816/0061646

Journal of the North for Basic and Applied Sciences, Vol. (8), Issue (2), (November 2023/ Rabi' II 1445 H) 63-78

KINGDOM OF SAUDI ARABIA
Northern Border University (NBU)
Journal of the North for Basic & Applied Sciences(JNBAS)
p - ISSN : 1658 -7022 / **e-ISSN: 1658 - 7014**
www.nbu.edu.sa
s.journal@nbu.edu.sa

Comparative study to estimate the physicochemical properties and some metals existent in the water of some drinking wells by Valley Hadhramout

Munir Saeed Obbed(*)[1] Mohammed Saleh Bashnaini[1] Mohammed Brek Al-qaisi[1]

(Received 4/4/2023 ; accepted 6/9/2023)

Abstract: Groundwater is one of the most important sources of drinking water; hence, this study aimed to know and compare between the physicochemical properties such as pH, conductivity, total Dissolved salts and total water hardness, in addition analyzing and studying some metals found in some drinking water wells in Hadhramout Valley, which are sodium, potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, copper, zinc, cadmium and lead. With comparing it with international and Yemeni standards and specifications. In the analysis process, we used a number of modern devices such as the pH meter, the atomic absorption device (AAS), the flame photometer, and the visible - ultraviolet spectrum spectrophotometer. During this study, 80 samples from 40 wells were subjected to about 1680 analyzes. The results revealed that only15% of these wells do not conform with international and Yemeni standards and measurements. For example, in the wells of Seiyun directorate, we find that about 91.6% of which are consistent with international and Yemeni standards and measurements. As another example, for the Directorate of Shibam, the results showed that 44.4% of the wells studied matched the international and Yemeni standards and measurements. Also, this study did not prove any organic pollution with nitrates in these wells, despite the presence of some of these wells near residential areas. At the end of this study, we recommend a continuous primary treatment for the water of wells that suffer from high salinity and hardness or to stop work in these wells and replace them with other less saline wells.

Keywords: the main metals, flame photometer, atomic absorption device, international and Yemeni standards.

JNB1658-7022© JNBAS. (1445 H/2023). Published by Northern Border University (NBU). All Rights Reserved.

DOI: 10.12816/0061646

* **Corresponding Author:**
Assistant Professor, Dept., of Chemistry Faculty of Science, Hadhramout University, P.O. Box: 50511 Code: 00967, City of Mukalla, Yemen.

e-mail: m.obbed@hu.edu.ye

1- المقدمة:

يعتبر الماء المكون الأساس لمعظم الكائنات الحية، فثلثي وزن جسم الإنسان عبارة عن ماء، وليس الإنسان فقط فكل الكائنات الحية يشكل الماء نسبة عالية من وزنها (شحاته، 2014). ويعمل الماء على تنظيم درجة حرارة الجسم ويمنحه الرطوبة اللازمة ويساعد على تنشيط وظائف الكليتين ويخلص الجسم من السموم ويساعده على الاتزان الكيميائي حيث يقوم بدور الوسيط في كثير من العمليات الكيميائية داخل الجسم (سليمان، 2020). وتعتبر المياه الجوفية في حضرموت عمومًا ووادي حضرموت بشكل خاص أهم مصدر للمياه العذبة الصالحة للشرب أو للزراعة التي تعتمد على حوالي 27 % من المياه الجوفية في ريِّها، إضافة إلى الاستخدامات المنزلية والصناعية (عبدالجبار، 2020). إلا أن المياه الجوفية في اليمن شهدت تدهورًا كبيرًا في الفترة الأخيرة، وذلك بسبب قلة تغذية المخزون الجوفي مع الاستنزاف الجائر في استهلاك المياه المتوفرة به إضافة لما يحدث من تسرب لمياه الصرف الصحي والمبيدات الحشرية والأسمدة المستخدمة في الزراعة إليه (المنيفي، 2004).

وحيث إنه يشترط في مياه الشرب أن تكون نقية وصالحة للاستهلاك البشري مع خلوها من الملوثات الكيميائية، فلهذا فقد أصبحت الفحوصات المتعلقة بتحديد الخصائص النوعية لمياه الشرب في مقدمة الإجراءات المطلوبة والتي يجب أن تعمل بشكل دوري للتأكد من سلامة مياه الشرب من أي نوع من التلوث (الموسوي وحمزة، 2010 ؛ Gebresilasie, Berhe, Tesfay & Gebre 2021) وفي نفس الوقت فقد وُضِعت مواصفات قياسية للمياه متضمنة طريقة فحص هذه المياه والحد (المعيار) للملوثات المسموح بوجودها في مياه الشرب وذلك لحماية المستهلكين من نقص المعادن أو التسمم بها وكذلك من الأمراض التي تنتقل عبر المياه (الحديثي، 1986؛ Al-shaikh 2017). ومن الدراسات التي أجريت في هذا المجال، الدراسة التي أجريت في سنة 2016م من قبل الشيخ أبوبكر على بعض مدارس التعليم الأساسي والثانوي بمدينة المكلا لقياس بعض الخواص الفيزوكيميائية للمياه مثل درجة الحرارة والأملاح الذائبة الكلية وغيرها ومقارنتها بالمواصفات القياسية اليمنية والعالمية، وقد اتضح أنه كلما زادت قيم الأملاح الذائبة الكلية، الناقلية الكهربية، درجة الحرارة، تركيز أيون الهيدروجين، والعكارة زادت أعداد البكتيريا في المياه، مما يدل على عدم صلاحيتها للشرب (Bin Hameed & Bin Alshikh Bubkr, 2019) ودومًا تعتبر مشكلة تلوث مياه الشرب بكافة أنواعها سواءً كان هذا التلوث فيزيائي أو كيميائي أو حيوي أو إشعاعي من أوائل الموضوعات التي اهتم بها العلماء والمختصون بمجال التلوث لما للماء من أهمية وضرورة قصوى للحياة (محمد وأحمد، 2010)، وهو ما يعطي لهذا الموضوع أهمية كبيرة للباحثين مثل بن عباد الذي قام بتقدير تراكيز بعض المعادن الثقيلة والفحص الميكروبيولوجي لعينات مياه الشرب في بعض مناطق ساحل حضرموت (بن عباد، 2019)، وقد أظهرت نتائجه أن متوسط قياس الأس الهيدروجيني وتركيز أهم المعادن لمعظم العينات تقع ضمن الحدود المسموح بها لمياه الشرب حسب المواصفات القياسية اليمنية والدولية. ورغم أن هناك الكثير من الفوائد للمعادن المختلفة لجسم الإنسان مثل الصوديوم، الكالسيوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم، الرصاص، الكادميوم، الحديد، النحاس وغيرها فهي تبني الخلايا والعظام وتساعد في التفاعلات الحيوية بالجسم وترسل الإشارات للأعصاب والعضلات وغيرها من المهام بجسم الإنسان، إلا أن استهلاكها بكميات كبيرة يكون ضارًا بل وسامًا (Kheiralla, Goja, Bakheet, Al-Gamdi & Sadath 2020)، وتأتي خطورة المعادن الثقيلة من تراكمها الحيوي داخل جسم الإنسان بشكل أسرع من عملية التمثيل الغذائي (الأيض) أو إخراجها (زبار وشاكر، 2009؛ الهيئة العامة للموارد المائية، 1999). وعربيًا كان هناك الكثير من الاهتمام بجودة مياه الشرب، وقد عملت الكثير من الدراسات لذلك منها دراسة زاهد بسنة 2002م، لتقدير جودة مياه الشرب المعبأة المحلية والمستوردة في المملكة العربية السعودية، ومقارنتها بالمواصفات والمقاييس السعودية والعالمية، وتم من خلال هذه الدراسة تقييم المعايير الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية. وأظهرت النتائج أن الأصناف المحلية والمستوردة كانت مطابقة للمواصفات فيما عدا الرقم الهيدروجيني ال pH في صنف واحد والفلورايد في 15 صنفاً محلياً والمنجنيز في 12 صنفاً محلياً و6 أصناف مستوردة (زاهد، 2002).

ونظرًا لعزوف السكان المحليين بوادي حضرموت وقلة ثقتهم في مياه الشرب العامة واعتمادهم بشكل كبير على مياه التحلية ومياه الفلاتر المنزلية ومياه الشرب المعبأة المحلية والمستوردة ودفعهم مقابل الحصول عليها مبالغ مالية تثقل كاهلهم، إضافة لما يحدث من اختلاط لمياه الصرف الصحي بمصادر المياه الجوفية عن طريق حفر البيارات وكذلك استخدام شبكات لنقل المياه قديمة ومعرضة أنابيبها للتآكل والصدأ مما قد يؤدي إلى تلوثها بمخلفات الصداء. وهذا كله يترافق مع قلة الدراسات التي تثبت ملائمة هذه المياه للشرب، فقد استدعى كل ذلك لعمل هذه الدراسة والتي تتفق مع الدراسات التجريبية المختبرية في هذا الموضوع من حيث الطريقة في جمع العينات من مصادرها ثم إخضاع هذه العينات للتحليل والقياس في المختبر باستخدام الطرق المختلفة والأجهزة المتنوعة للتعرف على الخواص الفيزيائية والتي منها: الرقم الهيدروجيني، التوصيلية الكهربية، مجموع الأملاح الذائبة، مجموع المواد الصلبة العالقة، العسرة الكلية (علوان، 2017)، أو الخواص الكيميائية والتي منها: التعرف على تراكيز الصوديوم، البوتاسيوم، المغنسيوم، الكالسيوم، الحديد، الزئبق، الكبريتات، البيكربونات، وغيرها. وعند التعرف على النتائج، تتم مقارنتها بمعايير منظمة الصحة العالمية والمعايير والمواصفات اليمنية لمعرفة مدى تطابقها أو اختلافها للحكم على خصائص مياه الشرب ومدى صلاحيتها للشرب، ووضع الحلول للتغلب على المشكلات إما عن طريق المعالجة لهذه المياه أو غيرها من الحلول.

2- العرض:

2 – 1- موقع الدراسة وجمع العينات:

تعتبر محافظة حضرموت أكبر محافظات اليمن وأكثرها أهمية، وتنقسم إداريًا إلى 1- ساحل حضرموت 2- وادي وصحراء حضرموت. وتفصل بين حضرموت الساحل والوادي جبال تتفاوت في ارتفاعها. ويعتبر وادي حضرموت من أهم وأكبر وديان الجمهورية اليمنية حيث يمتد على مساحة تصل إلى أكثر من 1850 كيلومتر مربع (الصبان، 2000)، وهو من المناطق الجافة ويمتد من رملة السبعتين غربًا وينتهي بمصبه في سيحوت محافظة المهرة الواقعة على البحر العربي، ويقع بين خطي عرض 15 -17 درجة شمالاً وخطي طول 46-51 درجة شرقاً ويتراوح ارتفاعه عن سطح البحر بين 600-700 متر. وفي هذا الامتداد الجغرافي الكبير تعاقبت حضارات مازالت معالمها قائمة حتى الآن. وهناك كذلك مجموعة من الأودية الفرعية التي تصب في المجرى الرئيسي للوادي مثل وادي سر ووادي عمد ووادي دوعن وغيرها (بامومن، 2012). ومن أهم مديريات وادي حضرموت: 1- سيئون: وهي من أهم مديريات الوادي وبها أكبر مدنه وهي العاصمة سيئون. 2- تريم: والتي تشتهر بكثرة مساجدها وأشهرها مسجد المحضار وهي من أهم المدن التاريخية بحضرموت. 3- شبام: والتي تعتبر أيضًا من المدن التاريخية وتشتهر بمبانيها القديمة العالية. 4- القطن: وهي مديرية زراعية خصبة تشتهر بكثرة المزارع الصالحة للزراعة. 5- ساه: والتي تقع في موقع متميز على طريق السيول ومياه الأمطار وهي بساط أخضر يحتضن الكثير من المناطق السياحية والأثرية إضافة لمواقع التنقيب وإنتاج النفط (وزارة التخطيط والتعاون الدولي، 2015).

وفي هذه الدراسة تم جمع 80 عينة لمياه الشرب من 40 بئر من آبار وحقول تابعة للمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي لمناطق الوادي والصحراء بمحافظة حضرموت، وبمعدل عينتين لكل بئر، وكانت الفترة الزمنية ما بين أخذ العينة الأولى والثانية ما بين الشهر والنصف إلى الشهرين، وهذه الآبار كانت موزعة على خمس مديريات من مديريات الوادي والصحراء بمحافظة حضرموت وهي سيئون – تريم – شبام – القطن – ساه. وتوزيع هذه الآبار على المديريات وأعماقها موضح في الجدول (1).

جدول (1):

عدد وتوزيع الآبار على المديريات وأعماقها.

المديرية	الحقل	عدد الآبار	متوسط عمق الآبار بالمتر
سيئون	جثمة، الغرفة	13	230
تريم	دمون	9	132-170
شبام	موشح، جوجه، الحوطة	9	245
القطن	شعب الحمضان	5	225
ساه	ساه	4	200- 100

(المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي- مديريات الوادي والصحراء- محافظة حضرموت- اليمن)

وقد تم جمع العينات في الفترة من شهر ديسمبر 2021 م إلى شهر مارس2022م أي في فصلي الشتاء والربيع حيث كان الجو ما بين معتدل وبارد. فبعد فتح الحنفية بشكل كامل وترك الماء يسيل لمدة ثلاث إلى خمس دقائق يتم بعدها جمع عينة الماء المطلوبة في قناني بلاستيكية وزجاجية نظيفة سعة 500 مل ثم تغطى العلبة مباشرة مع وضع حماية لغطاء العلبة (الهيئة العامة للموارد المائية،1999؛ عبد الحافظ ومبارك، 1996). تم تحفظ هذه العينات في البراد إلى حين وصولها إلى المختبر للتحليل خلال فتره زمنية لا تتجاوز ال 48 ساعة.

2-2 - المواد والأجهزة:

لقد تم استخدام العديد من المواد الكيميائية ذات النقاوة العالية مصنوعة كلها من قبل شركة BDH الإنجليزية والتي شملت NaOH (99.5%), EBT, EDTA-Na_2 (99%), $CaCO_3$, NaOH (99%), Murrexide (98%), KCl (97%), $CuSO_4$ (98%), $CdCl_2$ (99.9%), $PbCl_2$ (100%), $ZnSO_4$ (99%). وتمت عملية تحليل العينات في كلًا من مختبر المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي لمناطق الوادي والصحراء، وأيضًا في مختبر محطة البحوث الزراعية بسيئون. في هذه الدراسة تم استخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني pH-meter ذو الموديل HQ40d والذي في نفس الوقت يقيس التوصيلية الكهربية، إضافة إلى جهاز الامتصاص الجزيئي للطيف المرئي وفوق البنفسجي Spectrophotometer والجهازان مصنوعان في الولايات المتحدة الأمريكية من قبل شركة HACH وموجودان بالمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بالوادي والصحراء. كذلك تم استخدام جهاز طيف الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrometer (AAS) من شركة Philips الإنجليزية مع جهاز الانبعاث الذري اللهبي Flame Photometer من شركة jeu way الإنجليزية، والجهازان موجودان في مختبر محطة البحوث الزراعية بسيئون.

2-3- تحليل عينات مياه الشرب بواسطة المعايرة (Titration):

استخدمت المعايرة في هذه الدراسة لتقدير الكالسيوم والمغنسيوم، وأيضًا عسر الماء الكلي وعسر المغنسيوم وعسر الكالسيوم.

2-3-1- إيجاد العسر الكلي (Total Hardness (TH:

تم وضع حجم مناسب حجم مناسب (50 مليليتر) من عينة المياه المدروسة في دورق مخروطي مناسب مضافًا لها 2 مليليتر من المحلول المنظم (pH 10)، وكمية بسيطة من دليل الـ EBT (Black T Eriochromo) والذي يحضر عن طريق خلط 0.5 جرام من صبغة الـ EBT مع 100 جرام من كلوريد الصوديوم ويخلطان خلطًا جيدًا، تتم بعدها المعايرة بواسطة بمحلول EDTA-Na_2 (Ethylene diamine tetra acetic acid disodium) ذو التركيز 0.01M والموضوع بالسحاحة لحين تحول اللون البنفسجي إلى اللون الأزرق ثم تسجل قراءة السحاحة. وبعدها نحسب تركيز العسر الكلي للعينات على هيئة كربونات الكالسيوم بتركيز المليجرام/ لتر باستخدام المعادلة 1.

$$\text{TH as } CaCO_3 = \frac{\text{M(EDTA) X 100 X 1000 X ml titration}}{\text{Sample volume (ml)}} \quad (1)$$

حيث أن M تمثل هنا التركيز المولاري (Ryan and Garabet, 1996).

2-3-2- تقدير الكالسيوم وعسره (Ca Hardness):

تم وضع 50 مليليتر من عينة المياه بالدورق المخروطي، ويضاف إليها 2 مليليتر من محلول هيدروكسيد الصوديوم ذو التركيز 1N وذلك لرفع الأس الهيدروجيني، مع كمية بسيطة من دليل الميروكسيد Murexide (والذي يحضر عن طريق خلط 0.2 جرام من صبغة الميروكسيد مع 100 جرام من كلوريد الصوديوم، ويخلطان خلطاً جيداً)، ثم قمنا بعدها بالمعايرة بواسطة محلول EDTA-Na_2 ذو التركيز 0.01M الموجود بالسحاحة لحين تحول اللون الوردي إلى اللون الأزرق وسجلت عندها القراءة، ثم تم حساب تركيز الكالسيوم بالمليجرام/ لتر عن طريق المعادلة 2. أما المعادلة 3 فاستخدمت لإيجاد عسر الكالسيوم.

$$\text{Ca} = \frac{\text{M(EDTA) X 40.08 X 1000 X ml titration}}{\text{Sample volume (ml)}} \quad (2)$$

$$\text{Ca Hardness} = \frac{\text{M(EDTA) X 100 X 1000 X ml titration}}{\text{Sample volume (ml)}} \quad (3)$$

حيث أن 100 هنا تمثل الوزن الجزيئي لكربونات الكالسيوم، وال 40.08 تمثل الوزن الذري للكالسيوم.

2-3-3- تقدير الماغنيسيوم وعسره:

وقد تم تقديره حسابياً من القيم المتحصل عليها للكالسيوم في الفقرة السابقة وذلك باستخدام المعادلتين 4 و5.

$$\text{Mg mg/L} = \frac{\text{TH} - (\text{Ca X } 2.5)}{4.11} \quad (4)$$

حيث أن TH هو عسر الماء الكلي، بينما المقصود بال 2.5 هي نسبة وجود المغنسيوم في القشرة الارضية. و4.11 تعبر عن وجود الكالسيوم في القشرة الأرضية (Rodger, Andrew and Eugene, 2017).

عسر المغنسيوم = عسر الماء الكلي – عسر الكالسيوم (5)

2-4- التحليل باستخدام جهاز الانبعاث الذري اللهبي (Flame Photometer):

تعتبر هذه التقنية من أقدم الوسائل لمعرفة وتقدير العناصر (أبو الكباش، 2012). وفي هذه الدراسة تم استخدام هذا الجهاز لتقدير كلًا من الصوديوم والبوتاسيوم في عينات مياه الشرب قيد الدراسة. ففي البداية تم ترشيح العينات للتخلص من أي مواد عالقة بها، ثم وضعت هذه العينات في عبوات بولي إيثيلين مع مراعاة أن الخزن الطويل في العبوات البلاستيكية يجب ألا يحدث بسبب فاقد التبخر من خلال الوعاء أو الغطاء. وتتم عملية التقدير من خلال تشغيل الجهاز بإشعال اللهب وتركه لمدة عشر دقائق أو أكثر لكي يسخن ثم ضبط شدة اللهب عن طريق تحريك صمام الغاز. بعد ذلك يتم وضع الجهاز في وضع قياس الصوديوم عند فلتر الصوديوم في حالة تقدير الصوديوم، وعند تقدير البوتاسيوم يتم وضع الجهاز في وضع قياس البوتاسيوم عند فلتر البوتاسيوم. بعدها يصفر الجهاز باستخدام الماء المقطر. وقد تم تحضير محاليل قياسية بتركيز10 جرام / لتر محضرة بشكل دقيق من مواد نقية مصنعة من شركة BDH الإنجليزية لكل عنصر (كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم). يتم بعدها قياس امتصاص هذه المحاليل القياسية على الجهاز لكل عنصر بحسب متطلباته ثم يعاد تصفير الجهاز بالماء المقطر. بعدها تمت عملية إيجاد تراكيز الصوديوم والبوتاسيوم في كل عينات مياه الشرب بوحدة المليجرام/ لتر وعند الطول الموجي المناسب لكل عنصر. ونستخدم بعدها القانون التالي لإيجاد تركيز عنصري الصوديوم والبوتاسيوم في عينات مياه الشرب:

تركيز العنصر بوحدة ppm = قراءة العينة X $\frac{\text{تركيز المحلول القياسي}}{\text{قراءته}}$ (6)

2-5- التحليل باستخدام جهاز الامتصاص الجزيئي للطيف المرئي والفوق البنفسجي Spectrophotometer:

استخدم هذا الجهاز في هذه الدراسة لتقدير عنصري الحديد والمنجنيز في عينات مياه الشرب قيد الدراسة. وعند التحليل يجب هنا أولًا مراعاة أنه عند أخذ العينات وخزنها فإن الحديد المذاب يمكن

أن يتأكسد بعوامل الأكسدة ومن الممكن أن يترسب أيضًا على سطح وعاء العينة، ولذا يمكن منع هذا بإضافة 1.5 ملليلتر من حامض النتريك المركز لكل لتر من العينة مباشرةً بعد جمعها. ولعملية التحليل على الجهاز، نقوم أولًا بتشغيل الجهاز والانتظار قليلًا ثم نضبط الجهاز على الطول الموجي المناسب لقياس الحديد عند 265 nm ولقياس المنجنيز عند 552 nm. نملأ بعدها خليتين من خلايا القياس الخاصة بالجهاز والمصنوعة من الكوارتز لكل عينة من العينات المراد قياسها ونضيف الكاشف الخاص بالحديد إلى إحدى الخليتين مع تغطية الخلية التي بها الكاشف في حالة تقدير الحديد واستعمال الكاشف الخاص بالمنجنيز في حالة تقدير المنجنيز، ونترك العينة بعدها لمدة 3 دقائق وهو الوقت اللازم للتفاعل، وبعد انتهاء وقت التفاعل ندخل الخلية غير المحتوية على الكاشف (Blank) أولًا ونضغط على الزر Zero ثم بعدها ندخل العينة المحتوية على الكاشف ونضغط على الزر Read ونقرأ تركيز الفلز المطلوب بوحدة المليجرام/ لتر.

2-6- التحليل باستخدام جهاز الامتصاص الذري (AAS):

تم هنا استخدام جهاز الامتصاص الذري مع جميع توابعه (الشفاط، اسطوانة الغاز، وخلايا القياس والتوابع الأخرى ذات العلاقة). وذلك لتقدير كلًا من فلزات النحاس Copper والخارصين (الزنك) Zinc وكذلك لتقدير الرصاص Lead والكادميوم Cadmium. ولتحقيق ذلك، تم في البداية تشغيل الجهاز وإشعال اللهب مع ضبط شدة اللهب عن طريق تحريك صمام الغاز، ويترك لمدة عشر دقائق تقريبًا لكي يسخن ثم بعدها يتم وضع الجهاز عند قياس العنصر المطلوب في كل مرة وبتحديد الطول الموجي المناسب لكل عنصر (النحاس 324.8 nm، الخارصين 213.9 nm، الرصاص 217 nm والكادميوم 228.8 nm). وبعدها يصفر الجهاز باستخدام الماء المقطر. وقد حضرت محاليل قياسية بتركز 1 مليجرام/ لتر (1 ppm) للفلزات المدروسة، ومحضرة بدقة من مواد نقية لكل عنصر من العناصر المدروسة (كبريتات النحاس $CuSO_4$، كبريتات الخارصين $ZnSO_4$، كلوريد الرصاص $PbCl_2$ وكلوريد الكادميوم $CdCl_2$). وبعد كل قياس للمحلول القياسي بالجهاز يعاد تصفير الجهاز بالماء المقطر ثم يتم بعدها قياس تركيز الفلز المطلوب في عينات ماء الشرب المدروسة وتؤخذ القيمة من الجهاز بوحدة مليجرام/ لتر. وإذا كانت قيمة القراءة على الجهاز للعينة أعلى من 1 مليجرام/لتر يتم تخفيفها بالماء المقطر وتضرب القراءة بعد ذلك في معامل التخفيف. ونستخدم المعادلة الآتية لإيجاد تركيز العنصر.

تركيز العنصر بوحدة ppm = (7)

$$\text{قراءة العينة} \times \frac{\text{تركيز المحلول القياسي}}{\text{قراءته}}$$

(8)

2-7- قياس الأس الهيدروجيني (pH) والتوصيلية الكهربية ومجموع الأملاح الذائبة لعينات مياه الشرب المدروسة:

لقياس الأس الهيدروجيني والتوصيلية الكهربية ومجموع الأملاح الذائبة لعينات الماء قيد الدراسة، فهي تتم كلها على نفس الجهاز وهو pH meter، حيث تُغسل أولاً أقطاب الجهاز جيدًا بالماء المقطر ثم تجفف الأقطاب برفق بواسطة مناديل الورق الناعم قبل استخدام الجهاز. وبعد ذلك تتم معايرة الجهاز بالمحاليل المنظمة الخاصة بالجهاز وذلك للتحقق من صلاحيته للاستخدام وضبطه. وقد تم أخذ كل عينة على انفراد ووضعها في دورق زجاجي نظيف وترج جيدًا لمجانستها، وبعد ذلك تمت عملية قياس الخواص المطلوبة لعينات المياه المأخوذة وذلك بوضع قطبي الجهاز في العينة وتدوين النتيجة على أن يتم غسل قطبي الجهاز بالماء المقطر بين كل قياس وآخر. وقد تم أخذ ثلاث قراءات لكل عينة، وأخذ متوسط القراءات بعد ذلك. مع العلم أن قراءة مجموع الأملاح الذائبة يتم أخذها عن طريق ضرب قيمة التوصيلية الكهربية للعينة في المعامل الخاص باليمن وهو 0.65.

جدول(2):

يوضح العناصر التي تم قياسها وطريقة تحليلها أو قياسها

الرقم	العنصر	طريقة التحليل
1	الكالسيوم	المعايرة
2	المغنسيوم	المعايرة
3	الصوديوم	الانبعاث الذري اللهبي
4	البوتاسيوم	الانبعاث الذري اللهبي
5	الخارصين	الامتصاص الذري
6	المنجنيز	الامتصاص الجزيئي للطيف المرئي والفوق البنفسجي

7	النحاس	الامتصاص الذري
8	الحديد	الامتصاص الجزيئي للطيف المرئي والفوق البنفسجي
9	الرصاص	الامتصاص الذري
10	الكادميوم	الامتصاص الذري

3- النتائج والمناقشة:

بعد إخضاع 80 عينة مجموعة من 40 بئر والتي تشمل الخمس المديريات المستهدفة للتحليل والقياس في مختبر المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي ومختبر البحوث الزراعية بسيئون، وباستخدام الأجهزة المختلفة المذكورة سابقًا، والتي تم من خلالها إيجاد الخواص الفيزوكيميائية لعينات مياه الشرب مثل التوصيلية الكهربية، مجموع الأملاح الذائبة الكلية والرقم الهيدروجيني وغيرها، هذا إضافة إلى تقدير تراكيز فلزات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد والرصاص والمنجنيز والنحاس والزنك والكادميوم. وبعد أن تم أخذ متوسط القراءتين لكل هذه الخواص والتقديرات تم بعد ذلك مقارنة هذه النتائج المتحصل عليها مع المعايير والمقاييس الدولية واليمنية لكل من الخواص الفيزوكيميائية وتراكيز الفلزات قيد الدراسة. وكانت النتائج المتحصل عليها كالآتي:

3-1- قيم الرقم الهيدروجيني والتوصيلية الكهربية لعينات مياه الشرب المدروسة:

أن متوسط قراءات جميع الآبار قيد الدراسة لقيم الرقم الهيدروجيني كانت بين (7.29 – 8.04) حيث كانت أدنى قيمة له لبئر سيئون رقم (9) بينما أعلى قيمة له هي لبئر جوجة القبلية فهي تميل نوعًا ما إلى القلوية. وبالنسبة للحد الأدنى والحد الأعلى لقيم الرقم الهيدروجيني لمياه آبار المديريات الخمس التابعة لمؤسسة المياه بوادي حضرموت فجميعها تقريبًا تقع في إطار الحد المسموح به، ففي مديرية سيئون تراوحت هذه القيم ما بين 7.29 – 7.74 لبئري سيئون رقم (9) وسيئون رقم (2) على التوالي. أما مديرية شبام، فأن أدنى قيمة للرقم الهيدروجيني هي لبئر موشح رقم (3) وكانت 7.45، بينما أعلى قيمة كانت لبئر جوجة القبلية ومقدارها 8.04 والتي تعتبر أيضًا أعلى قيمة لجميع الآبار ككل. وفي مديرية تريم، فأن القيم تتأرجح في المتوسط ما بين 7.55 – 7.90 لبئري تريم رقم (7) وتريم رقم (2) على التوالي. وعند أخذ متوسط قيم الرقم الهيدروجيني لآبار مديرية القطن، فأدنى قيمة كانت لبئر الحمضان رقم (6) وأعلى قيمة لبئر الحمضان رقم (2) وسجلت هذان البئران القيم 7.52 – 7.84 على التوالي. وأخيرًا بمديرية ساه يكون متوسط القيم المسجل لدينا هو ما بين 7.68 – 7.86 في أدنى قيمة له لبئر ساه رقم (3) وأعلى قيمة لبئر ساه رقم (1) وجدول (3) يوضح هذه القيم. وعمومًا فأن هذه النتائج تتفق مع ما توصلت إليه دراسات سابقة لبعض آبار الشرب باليمن من حيث قيم الرقم الهيدروجيني للآبار المدروسة لديهم، مثل دراسات بامتيرف وحسن وبن يحيى (بامتيرف،2007؛ Bin yahia, 2005؛ Hassan, Mugbil and Alballem 2008). أما متوسط قيم التوصيلية الكهربية (EC) لجميع الآبار قيد الدراسة فقد تراوحت ما بين (753 - 2220) ميكرو سيمنس/ سم، حيث سجلت أدنى قيمة لبئر سيئون رقم (13) تليها بئر ساه رقم 4 بمقدار 767 ميكرو سيمنس/ سم. أما أعلى قيمة فهي من نصيب بئر جوجة الوسطى بشبام ويليها بئر الغرفة بمقدار 2168، وهذه القيمة المرتفعة تجاوزت الحد المسموح به عالميًا. وبالنظر إلى نتائج قيم الرقم الهيدروجيني والتوصيلية الكهربية المتحصل عليها بشكل عام، نرى أن معظم مياه آبار الشرب بوادي حضرموت التابعة للمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي متطابقة تقريبًا مع المواصفات القياسية لمنظمة الصحة العالمية والمواصفات اليمنية ماعدا بئر الغرفة بمديرية سيئون وبئر جوجة الوسطى بمديرية شبام حيث كانت قيم التوصيلية الكهربية لهاتين البئرين قد تجاوزت الحد المسموح به حسب معايير منظمة الصحة العالمية بنسبة زيادة وصلت إلى 49 % لتلك البئرين مما يدل دلالة واضحة إلى ارتفاع نسبة الملوحة بهما، لكنهما لا يزالان في إطار الحد المسموح به حسب المواصفات اليمنية. ومن الجدول (3) نلاحظ أن مديرية شبام سجلت أعلى متوسط للموصلية الكهربية بالنسبة لجميع الآبار قيد الدراسة بها. وحيث إن هناك تناسب طردي بين التوصيلية الكهربية ومجموع الأملاح الذائبة، فأي زيادة بالموصلية يقابلها دائمًا زيادة لمجموع الأملاح الذائبة، وهذا يتوافق مع ما توصلت اليه دراسات سابقة (Gharan, Bharti, Giri and Kumar 2023).

جدول (3):
يوضح النتائج النهائية لقيم الرقم الهيدروجيني pH والتوصيلية الكهربية EC بالميكرو موز/ سم لعينات الشرب المدروسة.

مديرية سيئون			مديرية شبام			مديرية تريم			مديرية ساه			مديرية القطن		
البئر	EC	pH	البئر	EC	pH	البئر	EC	pH	البئر	EC	pH	البئر	EC	pH
سيئون 1	1098	7.68	جوجة الشرقية	1449	8	تريم 1	1067	7.79	ساه 1	886	7.86	الحمض ان 2	1246	7.84
سيئون 2	922	7.74	جوجة القبلية	1518	8.04	تريم 2	1023	7.90	ساه 2	832	7.85	الحمض ان 3	1203	7.62
سيئون 3	849	7.68	جوجة الوسطى	2220	7.58	تريم 3	959	7.68	ساه 3	862	7.68	الحمض ان 4	1277	7.62
سيئون 4	828	7.68	الحوطة	1950	7.59	تريم 4	905	7.82	ساه 4	767	7.69	الحمض ان 5	1214	7.54
سيئون 5	836	7.58	موشح 1	1383	7.82	تريم 5	895	7.74				الحمض ان 6	1250	7.52
سيئون 6	917	7.57	موشح 2	1175	7.63	تريم 6	932	7.70						
سيئون 7	847	7.58	موشح 3	1210	7.45	تريم 7	945	7.55						
سيئون 8	1167	7.53	موشح 4	1262	7.51	تريم 8	934	7.66						
سيئون 9	1034	7.29	موشح 5	1210	7.49	تريم 9	934	7.59						
سيئون 10	946	7.58												
سيئون 11	817	7.69												
سيئون 13	753	7.57												
الغرفة	2168	7.58												

2-3- مجموع الاملاح الذائبة (TDS) والعسرة الكلية لعينات مياه الشرب المدروسة:

تقع قيم الاملاح الذائبة الكلية المتحصل عليها ما بين (489 – 1444) ppm. وكانت أدنى قيمة هي لبئر سيئون رقم (13) وأعلى قيمة هي لبئر جوجة الوسطى، تليها بئر الغرفة بسيئون بقيمة 1409ppm، وهي قيمة تجاوزت الحد المسموح به عالميًا، لكنها لاتزال في إطار الحد المسموح به حسب المعيار اليمني. أما العسرة الكلية لهذه العينات المدروسة والتي هي عبارة عن عسرة الكالسيوم والمغنسيوم (فائق،2020)، فقد تراوحت قيمها بين (266 – 608) ppm حيث إن أدنى قيمة كانت لبئر سيئون رقم (13) وأعلى قيمة هي لبئر جوجة الوسطى بشبام، وكما نلاحظ فإن أعلى قيمة قد تجاوزت الحد المسموح به حسب المعيار اليمني ومعيار منظمة الصحة العالمية. وعليه فإننا نعتبر بئر سيئون رقم (13) هي من أفضل الآبار من ناحية نسبة الأملاح، بينما أكثر هذه الآبار ارتفاعًا لنسبة الأملاح هي بئر الغرفة بمديرية سيئون وبئر جوجة الوسطى بمديرية شبام. ويوضح الجدولان (4 و7) قيم هذه النتائج لكل بئر وكذلك متوسط القيم لكل مديرية والذي يمكن أن نلاحظه كذلك بالشكل (1) وهذه النتائج اتفقت كذلك مع دراسات سابقة مشابهة لمدن ساحل حضرموت (بارجاء، 2006; بامتيرف، 2007).

أما بالنسبة للكربونات فقد تراوحت قيمها في المتوسط ما بين 230 – 320 ppm. فأدنى قيمة تشترك فيها آبار سيئون 3, 4, 13. وأعلى قيمة تظهرها بئر سيئون رقم 9 كما هو واضح بالجدول 4 والذي يوضح كذلك قيم عسرة الكالسيوم والمغنيسيوم لجميع الآبار المدروسة.

شكل (1): مخطط لمتوسط قيم آبار كل مديرية بالنسبة لمجموع الاملاح الذائبة (TDS) والعسرة الكلية لعينات مياه الشرب المدروسة.

جدول (4):

عسر الماء الكلي و عسرة الكالسيوم والمغنيسيوم بوحدة mg / L لعينات مياه الشرب المدروسة.

مديرية القطن					مديرية ساه					
البئر	TDS	العسر الكلي لـ $CaCO_3$	عسر الكالسيوم	عسر المغنيسيوم	عسر الكربونات	البئر	TDS	العسر الكلي لـ $CaCO_3$	عسر الكالسيوم	عسر المغنيسيوم	عسر الكربونات
الحمضان 2	810	381	215	166	280	ساه 1	576	321	192	130	260
الحمضان 3	782	398	210	189	290	ساه 2	541	289	163	127	250
الحمضان 4	821	432	237	195	300	ساه 3	560	312	182	130	250
الحمضان 5	789	397	218	177	300	ساه 4	499	290	156	134	290
الحمضان 6	813	397	220	178	300	مديرية شبام					
مديرية سيئون						البئر	TDS	العسر الكلي	عسر الكالسيوم	عسر المغنيسيوم	عسر الكربونات

			لـ $CaCO_3$							
270	171	233	404	942	**جوجة الشرقية**	عسر الكربونات	عسر المغنيسيوم	عسر الكالسيوم	العسر الكلي لـ $CaCO_3$	TDS	**البئر**
260	260	264	523	987	**جوجة القبلية**	280	160	218	377	713	**سيئون 1**
306	289	319	608	1444	**جوجة الوسطى**	250	128	204	309	599	**سيئون 2**
290	257	303	560	1267	**الحوطة**	230	124	173	302	552	**سيئون 3**
310	158	261	419	899	**موشح 1**	230	108	182	290	539	**سيئون 4**
260	148	236	384	764	**موشح 2**	240	127	181	308	544	**سيئون 5**
270	160	246	401	787	**موشح 3**	240	131	172	303	616	**سيئون 6**
270	163	253	416	820	**موشح 4**	250	102	185	287	550	**سيئون 7**
270	158	230	391	787	**موشح 5**	280	164	211	375	759	**سيئون 8**
مديرية تريم						320	174	204	378	672	**سيئون 9**
عسر الكربونات	عسر المغنيسيوم	عسر الكالسيوم	العسر الكلي لـ $CaCO_3$	TDS	البئر	240	124	212	336	615	**سيئون 10**
260	154	211	365	694	**تريم 1**	250	113	201	314	531	**سيئون 11**
280	152	200	351	665	**تريم 2**	230	76	190	266	489	**سيئون 13**
260	128	195	323	624	**تريم 3**	300	275	325	624	1409	**الغرفة**
240	131	180	311	588	**تريم 4**						
250	143	175	318	582	**تريم 5**						
260	140	185	325	606	**تريم 6**						
270	135	182	317	615	**تريم 7**						
290	164	200	364	672	**تريم 8**						
270	154	206	360	608	**تريم 9**						

3-3- إيجاد تراكيز الفلزات الرئيسية (الصوديوم، البوتاسيوم، مغنيسيوم والكالسيوم) لعينات مياه الشرب المدروسة:

من النتائج لدينا، فقد تراوحت قيم الصوديوم ما بين (44 – 273) ppm فأدنى قيمة له كانت لبئر ساه رقم (4) وأعلى قيمة هي لبئر جوجة الوسطى بشبام والتي تجاوزت الحد المسموح به عالميًا لكنها في إطار الحد المسموح به وفق المعيار اليمني. ونلاحظ أن هناك ارتباط وتناسب طردي بين كلًا من الملوحة والتوصيلية الكهربية وبين تركيز الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد فالآبار المرتفعة فيها قيم التوصيلية الكهربية ومجموع الأملاح الذائبة نجد أن قيم الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد فيها ايضاً مرتفعة. ومن خلال النتائج يتضح لنا أن معظم مياه آبار حقل جوجه وبئر الحوطة والغرفة مرتفعة الملوحة وذلك لتجاوز التوصيلية الكهربية لها 2000 ميكروموز/ سم ومجموع الأملاح الذائبة لها تجاوز 1000 مليجرام/ لتر ويعود السبب في ذلك إلى الطبيعة الجيولوجية والمحتوى الملحي للأراضي التي تحتضن مصدر المياه، وهذا بدوره أدى إلى ارتفاع الملوحة، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه علوان في دراسته (علوان، 2017). أما بالنسبة لبئر الحوطة وهي بئر حديثة الإنشاء أو الحفر فقد أظهرت النتائج السابقة أن هذه البئر منذ حفرها كانت منخفضة الملوحة وشهدت في الأشهر الأخيرة ارتفاعاً في الملوحة، أي أن الملوحة هنا مؤقتة وسببها هو الضخ الجائر والمستمر الذي أدى إلى فقدان التوازن في الطبقات الحاملة للماء وهذا أدى بدوره إلى ارتفاع الملوحة وهو ما يتوافق مع ما توصل إليه الزرقة في دراسته (الزرقة، 2010). كما إن عدم تجديد وتغذية الخزان الجوفي بمياه الأمطار على مدار السنة أو لعدة سنوات له دور في ذلك (Komex,1996)

أما قيم البوتاسيوم فكانت ما بين أدناها 5 ppm لبئر ساه رقم (4) وأعلاها 13 ppm لبئري الغرفة بسيئون وجوجة الوسطى بشيام، وهي قيمة مرتفعة تجاوزت الحد المسموح به يمنيًا، ويعود السبب في ذلك لارتفاع نسبة الملوحة فيهما حيث سجلت نسبة الملوحة لهما أعلى قيمة بالنسبة للآبار بشكل عام.

وبالنسبة لقيم الكالسيوم فقد تراوحت في جميع آبار هذه الدراسة ما بين (63 – 130) ppm، فأدنى قيمة لها لبئر ساه رقم (4) وأعلى قيمة هي لبئر الغرفة، وجميع القيم المسجلة لاتزال في إطار الحد المسموح به كما يوضح جدول (5). ونلاحظ من النتائج أن ارتفاع قيم الكالسيوم يكون مصحوبًا بارتفاع قيمة العسرة الكلية للعينة مما يشير إلى ارتباط وتناسب طردي بينهما، وهذا يتوافق مع ما توصلت إليه دراسة للرزوقي وآخرون (رزوقي والراوي، 2010). وتتراوح قيم تراكيز المغنسيوم في العينات ما بين (19 – 70) ppm، وقد سجلت أدنى قيمة له ببئر سيئون رقم (13) وأعلى قيمة كانت لبئر جوجة الوسطى بشبام تليها بئر الغرفة حيث كان تركيز المغنسيوم بها 66 ppm لكنهما لا يزالان في إطار الحد المسموح به. كما نلاحظ أن ارتفاع قيم المغنسيوم لكل من بئر الغرفة وبئر جوجة الوسطى صاحبه ارتفاع لقيم العسرة الكلية لكل منهما (الجدولان 4،5)، مما يدل على الارتباط بين العسرة وتركيز المغنسيوم ويتوافق هذا مع ما توصل إليه طه وزملاءه في دراستهم (طه و أسري وعبيد 2005).

3-4- إيجاد تراكيز العناصر الانتقالية (الحديد، المنجنيز، الرصاص، الكادميوم، النحاس والخارصين) لعينات مياه الشرب المدروسة:

بينت النتائج الموضحة في الجدولين (5،6) أن قيم الحديد تراوحت ما بين (0.03 – 2.61) ppm، فأدنى قيمة هي للآبار ساه (3) و (4) و تريم رقم (2) و(3) و (8) و بئر سيئون رقم (2)، حيث أخذت نفس النتيجة، وأعلى قيمة هي لبئر موشح رقم (4) تليها بئر موشح رقم (2) بشبام، وقد تجاوزت قيم هذين البئرين الحد المسموح به عالميًا ومحليًا فقط عند أخذ القراءة الأولى ولكن عند أخذ القراءة الثانية انخفضت قيم الحديد وأصبحت طبيعية ولعل السبب في ارتفاع قيم الحديد هو تعرض أنابيب الحديد للصدأ بسبب توقف بعض هذه الآبار عن العمل لفترة من الزمن بسبب أعمال الصيانة، أما سبب انخفاض نسب الحديد في القراءة الثانية هو بسبب المعالجة الأولية من قبل الجهات المعنية في المؤسسة حسب إفادتهم بذلك، كما أن الماء يتم ضخه أولاً إلى خزان قبل ضخه إلى المنازل. وهذا يتوافق مع ما توصلت إليه دراسة قام بها حسين واخرون (حسين وعبد وكاظم، 2010).

ولم يظهر جهاز الامتصاص الذري (AAS) أي تراكيز لعناصر النحاس والرصاص والكادميوم في جميع آبار الشرب التابعة للمؤسسة بوادي وصحراء حضرموت، ويعود السبب في ذلك إما لعدم وجود هذه العناصر في ماء الشرب لكون معظم آبار الشرب محكمة الإغلاق وبالقرب من مناطق جبلية بعيدة عن المناطق السكنية ومصادر التلوث الأخرى وبالتالي استبعاد تلوث مياه الشرب بهذه العناصر، أو أن تراكيز هذه العناصر منخفضة جدًا وتقع في خارج نطاق الجهاز. ويتوافق هذا مع ما توصل إليه بن عباد عندما قام بدراسة تركيز هذه العناصر بساحل حضرموت (بن عباد، 2019) حيث وجد أن معظم تركيز هذه العناصر لم يظهرها جهاز الامتصاص الذري (AAS) وأعطى القيمة صفرًا كذلك. وفي هذه الدراسة كانت كذلك قيم تركيز الخارصين بشكل عام منخفضة كما في الجدولين (5،6) وجاءت ما بين (0.01 – 0.49) ppm فأدنى قيمة هي لبئر جوجة الشرقية بشبام وأعلى قيمة هي لبئر الحمضان رقم (2) بالقطن. وجميع القيم لم تتجاوز الحد المسموح به. مع العلم أن تركيز الخارصين لم يظهره الجهاز لبعض آبار الشرب وأعطى القراءة صفر، والسبب في ذلك كما ذكرنا آنفًا وهو عدم وجود العنصر في ماء الشرب لكون هذه الآبار محكمة الإغلاق ولبعدها عن مصادر التلوث أو أن تركيزه منخفض جداً أقل من مدى الجهاز.

ونجد هنا كذلك، أن معظم الآبار قيد الدراسة لم يتجاوز فيها المنجنيز الحد المسموح به عالميًا ويمنيًا، وتراوحت قيمه ما بين (0.3 – 0.7) ppm. فأدنى قيمة هي لبئر سيئون رقم (13) وتريم (6). وأعلى قيمة هي لبئر موشح (2) وساه (4) وتريم (1).

جدول (5):

قيم االعناصر في مياه آبار سيئون شبام وتريم*.

	رقم البير	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	الغرفة
سيئون	الصوديوم	108	77	67	74	64	75	104	114	110	79	67	76	223
	البوتاسيوم	9	8	7	7	6	7	8	9	8	8	8	8	13
	مغنيسيوم	39	31	30	26	31	28	33	38	42	29	28	19	66
	كالسيوم	87	82	69	73	66	69	77	83	82	85	81	76	130
	منجنيز	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5
	حديد	0.04	0.03	0.44	0.44	0.25	0.26	0.44	0.08	0.26	0.39	0.35	0.31	0.04
	خارصين						0.28	0.40	0.03					0.03
شبام	رقم البير	جوجة الشرقية	جوجة القبلية	جوجة الوسطة	الحوطة	موشح 1	موشح 2	موشح 3	موشح 4	موشح 5				
	الصوديوم	160	136	273	191	149	109	112	111	104				

	البوتاسيوم	9	10	11	12	13	10	10	10	9			
	مغنيسيوم	41	63	38	62	70	36	39	39	38			
	كالسيوم	93	106	105	122	127	94	102	99	68			
	منجنيز	0. 5	0. 6	0. 5	0. 5	0. 4	0. 7	0. 5	0. 5	0. 4			
	حديد	0. 24	0. 08	0. 20	0. 04	0. 15	1. 43	2. 61	0. 16	0. 31			
	خارصين	0. 01		0. 04	0. 02		0. 12		0. 01				
تربع	رقم البير	1	2	5	4	3	6	8	7	9			
	الصوديوم	110	92	80	82	91	90	104	104	104			
	البوتاسيوم	8	8	7	7	8	8	8	7	9			
	مغنيسيوم	37	36	35	32	32	34	40	32	37			
	كالسيوم	84	80	70	72	78	74	80	73	83			
	منجنيز	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.5			
	حديد	0.04	0.03	0.06	0.08	0.03	0.11	0.03	0.04	0.05			
	خارصين		0.03	0.04	0.03	0.05	0.07		0.04				

*عناصر النحاس والرصاص والكادميوم كانت قيمها صفرًا

جدول (6):
قيم االعناصر في مياه آبار ساه والقطن.*

	رقم البير	الصوديوم	البوتاسيوم	مغنيسيوم	كالسيوم	منجنيز	حديد	خارصين
ساه	1	54	10	31	77	0. 6	0. 04	
	2	48	9	30	65	0. 6	0. 38	
	3	46	6	31	73	0. 6	0. 03	0. 03
	4	44	5	32	63	0. 7	0. 03	0. 05
القطن	الحمضان 2	112	9	40	86	0. 4	0. 16	0. 49
	الحمضان 3	116	8	45	84	0. 4	0. 04	0. 11
	الحمضان 4	121	10	47	95	0. 4	0. 17	0. 04
	الحمضان 5	109	9	43	88	0.5	0. 20	0. 02
	الحمضان 6	118	9	43	88	0. 4	0. 04	0. 03

*عناصر النحاس والرصاص والكادميوم كانت قيمها صفرًا

4- الخاتمة:

من النتائج المتحصل عليها يمكن القول، أن بئر الغرفة في حقل الغرفة التابع لمديرية سيئون تظهر ارتفاعًا في قيم التوصيلية الكهربية تصل إلى 2168 ميكرو/ سيمنس كحد متوسط، لذلك تصنف حسب تصنيف منظمة الصحة العالمية بأن ماءها شديد الملوحة غير أنها لاتزال في إطار حدود المياه العذبة حسب ما هو موضح في الجداول أعلاه، ولكن لا ننسى أننا حصلنا على قيم مجموع الأملاح الذائبة بضربها في المعامل الخاص باليمن (منطقة الدراسة) وهو 0.65 وهو معامل منخفض القيمة مقارنة بالمعاملات الخاصة بالدول الأخرى. كما نلاحظ أيضًا ارتفاع لقيم العسرة والصوديوم والبوتاسيوم لبئر الغرفة التي يمكن وصف مياها بأنها شديدة العسرة بسبب أن الصخور التي حفرت فيها هذه البئر حاوية لكميات كبيرة من ملح كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم، غير أنه لم يلاحظ أي تلوث عضوي بالنيترات رغم أن هذه البئر قريبة من منطقة سكنية. وتعتبر

بئر سيئون رقم (13) في حقل جثمة من أفضل وأعذب مياه الآبار التابعة للمؤسسة في صحراء ووادي حضرموت وذلك لوصول قيم التوصيلية الكهربية والأملاح الذائبة إلى أدنى قيمة. وفي مديرية شبام أظهرت قيم التوصيلية الكهربية سواء في حقل موشح بوادي بن علي أو حقل جوجة أو حقل الحوطة أن معظم الآبار تصنف حسب تصنيف منظمة الصحة العالمية بأنها مياه متوسطة الملوحة. إلا أن هذه الملوحة قد تكون موقتة كما في حقل الحوطة وناتجة عن الضخ الجائر للمياه الذي أدى إلى فقدان التوازن في الطبقات الحاملة للماء مما أعطى فرصة لاندفاع الملوحة إلى أعلى، أو تكون دائمة ومستمرة كما في آبار حقل جوجة نتيجة لتكوين التربة أو الصخور التي حفرت فيها هذه الآبار. ويصاحب ارتفاع العسرة ارتفاع في قيم أملاح الكالسيوم والمغنسيوم لكون العسرة تتوزع على هذه الأملاح ولكونها السبب في تكون العسرة، كما أظهرت النتائج ارتفاعًا ملحوظًا في قيم الحديد لكل من بئر موشح رقم (1) و (2) عند أخذ العينة الأولى في شهر يناير مع العلم أن هاتين البئرين كانتا مغلقتين قبل ذلك لإجراء صيانة بها وعند تشغيلهما وأخذ العينة الأولى كانت قيم الحديد فيها مرتفعة ولكن عند أخذ العينة الثانية في شهر فبراير كان هناك انخفاضًا ملحوظًا في قيم الحديد مع العلم أن مؤسسة المياه بالمديرية تجري معالجة أولية في حالة ارتفاع قيم الحديد عن الحد المسموح به. وفي مديرية تريم وحسب الجداول أعلاه، كانت مياه آبارها تقع حسب التصنيف ضمن المياه الجيدة والمتوسطة الملوحة، أي في إطار حدود المياه العذبة. بينما لم تشهد آبار مياه هذه المديرية أي تلوث عضوي أو ارتفاع في قيم بقية الخواص أو الفلزات قيد الدراسة. ونفس النتائج كانت لآبار مديريتي القطن وساه فهما تقع ضمن حدود المياه العذبة المتوسطة الملوحة.

جدول (7):
متوسط آبار كل مديرية

	سيئون	شبام	تريم	ساه	القطن	المعايير اليمنية*	المعايير الدولية*
EC	1014	1486.3	954.9	836.75	1238	2500 – 450	1500
pH	7.6	7.68	7.7	7.77	7.63	9 – 6.5	8.5 – 6.5
TDS	660.6	966.3	628.2	544	803	1500 – 650	1000
العسر الكلي لـ $CaCO_3$	341.9	456.2	337.1	303	401	500 – 100	500
عسر الكالسيوم	204.46	260.56	192.67	173.25	220		
عسر المغنيسيوم	138.9	196	144.56	130.25	181		
عسر الكربونات	256.9	278.4	264.4	262.5	294		
الصوديوم	95.23	155.12	95.22	48	116	400 – 200	200
البوتاسيوم	8.15	10.62	7.78	7.5	9	12 – 8	
مغنيسيوم	33.85	48.5	35	31	44.5	150 – 30	
كالسيوم	81.54	106	77.11	69.5	88.75	200 – 75	200
منجنيز	0.48	0.51	0.5	0.625	0.42	0.1 – 0.2	0.1
حديد	0.26	0.58	0.052	0.12	0.122	1 – 0.3	0.3
خارصين	0.185	0.04	0.043	0.04	0.138	5 – 1.5	1.5
النحاس	0	0	0	0	0	1 – 0.5	1
الرصاص	0	0	0	0	0	0.05	0.05
الكادميوم	0	0	0	0	0	0.005	0.005

*(المصدر: منظمة الصحة العالمية (WHO) والمواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب العامة)

التوصيات:

- إجراء دراسات تهتم بالفحص الميكروبيولوجي لجميع آبار الشرب بوادي حضرموت.
- عدم خلط مياه الآبار مرتفعة الملوحة مع مياه الآبار منخفضة الملوحة في خزان واحد قبل إجراء المعالجة الأولية لها وذلك للتقليل من كمية الأملاح الزائدة فيها قبل وصولها إلى المنازل.
- استبدال الآبار مرتفعة الأملاح في حالة توفر الإمكانيات بآبار أخرى نقية لتحسين جودة المياه ولرفع الإنتاجية للمياه بشكل عام بحيث تغطي مساحات أكبر من المحافظة.
- عند حفر الآبار وتكون هذه الآبار على مرتفع أو تلة يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار ارتفاع هذا التل أو المرتفع أو الجبل عن سطح الأرض بحيث لا يقل من عمق البئر وبالتالي يزيد من احتمالية وصول الملوثات إليها خصوصًا في المناطق السكنية.

- فرض رقابة صارمة على حفر آبار مياه الصرف الصحي (الحفر الامتصاصية) وعدم إيصال هذه الحفر إلى منابع المياه الجوفية حتى لا تلوثها مياه الصرف الصحي.
- إعادة النظر من قبل الجهات المختصة في المعايير أو المواصفات القياسية اليمنية التي وضعت لمياه الشرب العامة حيث إنها تعتبر أعلى المعايير في الدول الأخرى.

شكر وعرفان:
يعرب الباحثون عن جزيل شكرهم وتقديرهم لكل من المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي لمناطق وادي وصحراء حضرموت- اليمن ومختبر محطة البحوث الزراعية بسيئون على ماقدموه من تعاون سواء بتوفير البيانات أو السماح باستخدام مختبراتهم لأجراء الكثير من تجارب هذا البحث.

المراجع:

أبو الكباش، عبد الله محمد. (2012). **الكيمياء التحليلية المفاهيم الأساسية في التحليل التقليدي**. الطبعة الأولى، العبيكان للنشر.

الحديثي، هديل توفيق (1986). **الأحياء المجهرية المائية**. مجلة جامعة الموصل، مديرية دار الكتب للطباعة، (ط1).

الصبان، عبد القادر محمد (2000). **تعريفات تاريخية عن وادي حضرموت**. الطبعة الخامسة. إصدار مكتب وزارة الثقافة بالمكلا محافظة حضرموت.

الزرقة، محمد عبد الناصر (2010). **تلوث المياه في محافظتي الشمال والوسطى وتأثيراتها على صحة الانسان**. رسالة ماجستير، الجامعة الإسلامية-غزة-كلية الآداب-قسم الجغرافيا.

المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي- مديريات الوادي والصحراء- محافظة حضرموت.

المنيفي، عبد اللطيف أحمد (2004). نوعية مياه الشرب في مدينة صنعاء. **مجلة جامعة حضرموت**، 7 (3)،161 – 178.

الموسوي، بهاء نظام عيسى؛ حمزة عصام شاكر (2010). التحري عن الملوثات الميكروبية والكيميائية لمياه الشرب المعبأة بالقناني البلاستيكية. **المجلة العراقية لبحوث الأسواق وحماية المستهلك**، 2 (3)،168-184.

الهيئة العامة للموارد المائية (1999). **المواصفات القياسية لمياه الشرب العامة في الجمهورية اليمنية**. صنعاء.

بارجاء، هود أحمد (2006). **التحليل الكيميائي والفيزيائي والبكتيري لمياه الشرب في مدينة القطن في وادي حضرموت**. رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة عدن.

بامتيرف، سالم خميس (2007). دراسة تقويمية لمياه الشرب في مدينة المكلا. **مجلة جامعة حضرموت**، 6 (12)، 12 -19.

باومن، سالم صالح (2012). **الموارد الطبيعية بوادي حضرموت**. الطبعة الأولى، دار حضرموت للنشر.

بن عباد، خيران برك (2019). **تقدير تركيز بعض المعادن الثقيلة والفحص الميكروبولوجي لعينات مياه الشرب في بعض مناطق ساحل حضرموت**. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة حضرموت.

حسين، طالب خماس؛ عبد مجيد محمود؛ زبون ، كاظم جبر (2010). تقويم مياه الشرب الشبكة العامة لبعض مناطق بغداد والمياه المعبأة المحلية والمستوردة. **مجلة جامعة كربلاء العلمية**، 9 (2).

رزوقي، سراب محمد محمود؛ الراوي محمد عمار (2010). دراسة بعض الخصائص الفيزوكيميائية والميكروبية للمياه المعبأة المنتجة محليًا والمستوردة في مدينة بغداد. **المجلة العراقية لبحوث السوق وحماية المستهلك**، 3 (2) 75-103.

زاهد، وليد محمد كامل. (2002). جودة مياه الشرب المعبأة المحلية والمستوردة في المملكة العربية السعودية. **مجلة جامعة الملك عبد العزيز، العلوم الهندسية**، 14 (2).

زبار، سامي شاكر محمود (2009). تلوث مياه الشرب بالعناصر الثقيلة في مدينة بيجي. **مجلة كلية دار العلم الجامعة**، 1 (1)، 27-36.

سليمان، صبحي (2020). **كيف تربح معركتك ضد طعامك**. الطبعة الأولى، وكالة الصحافة العربية.

شحاتة، حسن أحمد (2014). **معجزات السماء من آيات الله في الكون**. الأكاديمية الحديثة للكتاب الجامعي.

طه، داخل ناصر؛ أسري، سعدي عبد الأمير؛ عبيد فوزي مراد (2005). **الماء الخام وماء الشرب في محافظة بابل دراسة وتحليل**. رسالة ماجستير، جامعة بابل كلية العلوم.

عبد الجبار، حسن عبد الله. (2002). **أزمة المياه في اليمن**. مركز الدراسات والنشر، الطبعة الأولى، صنعاء-اليمن.

علوان، محمد دياب محمود. (2017). **خصائص مياه الشرب في محافظة خان يونس**. رسالة ماجستير، كلية الآداب – قسم الجغرافيا، الجامعة الاسلامية بغزة.

عبد الحافظ، عبد الوهاب محمد؛ مبارك محمد الصاوي. (1996). **الميكروبيولوجيا التطبيقية**. المكتبة الأكاديمية – القاهرة، الطبعة الأولى.

فائق، أفنان جنكيز. (2020). **دراسة تحليلية حياتيه لمدى تلوث مياه الآبار بالعناصر الثقيلة بواسطة الامتصاص الذري في القرى المحيطة بمحافظة كركوك**. رسالة ماجستير، قسم علوم الكيمياء بجامعة كركوك.

محمد، أنصاف حميد؛ أحمد هبة ياسين. (2010). دراسة واقع مياه الشرب في بعض مناطق مدينة بغداد. **المجلة العراقية لبحوث السوق وحماية المستهلك**، 2 (3) 228-243.

وزارة التخطيط والتعاون الدولي (2015). **النشرة الإحصائية لعام 2015 الجهاز المركزي للإحصاء**، مكتب سيئون، محافظة حضرموت، اليمن.

المراجع العربية مترجمة:

Abdel Hafez, A. M.; Al-Sawy M. M. (1996). Applied Microbiology. Academic Library - Cairo, 1st ed.

Abdul-Jabbar H. A. (2002). Water crisis in Yemen. Center for Studies and Publishing, 1st ed, Sanaa-Yemen.

Abu Al-Kabash, A. M. (2012). Analytical Chemistry Basic concepts in conventional analysis. 1st ed, Obeikan Publishing.

Al-Hadithi H. T. (1986). Aquatic microorganisms. Mosul University Journal, Directorate of Dar Al-Kutub for Printing, 1st ed.

Al-Moussawi B. N. I.; Hamza E. S. (2010). Investigating microbial and chemical contaminants in drinking water bottled in plastic bottles. Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection, 2 (3), .184-168.

Al-Munifi, A. A. (2004). Drinking water quality in Sana'a city. Hadramout University Journal, 7 (3), 178-161.

Al-Sabban A. M. (2000). Historical definitions about Wadi Hadhramaut. 5th ed. Issued by the Office of the Ministry of Culture in Mukalla, Hadramaut Governorate.

Alwan, M. D. M. (2017). Characteristics of drinking water in Khan Yunis Governorate. Dissertation, Faculty of Arts - Department of Geography, Islamic University of Gaza.

Al-Zarqa M. A. (2010). Water pollution in the northern and central governorates and its effects on human health. Dissertation, Islamic University - Gaza - Faculty of Arts - Department of Geography.

Bamoumn, S. S. (2012). Natural resources in Valley Hadhramaut. 1st ed, Hadhramaut Publishing House.

Bamterv S. K. (2007). An evaluation study of drinking water in the city of Mukalla. Hadhramaut University Journal, 6 (12), 12-19.

Baraja, H. A. (2006). Chemical, physical and bacterial analysis of drinking water in the city of Cotton in Valley Hadhramaut. Dissertation, College of Education, University of Aden.

Ben Abbad K. B. (2019). Estimation of the concentration of some heavy metals and microbiological examination of drinking water samples in some areas of Hadramout coast. Unpublished, Dissertation, College of Science, Hadramout University.

Faiq A. C. (2020). A real-life analytical study of the extent of well water contamination with heavy metals by atomic absorption in the villages surrounding Kirkuk Governorate. Dissertation, Department of Chemistry, University of Kirkuk.

Hussein, T. K.; Abdul Majeed M.; Zaboun, K. J. (2010). Evaluation of drinking water, the public network for some areas of Baghdad, and bottled water, local and imported. Karbala University Scientific Journal, 9 (2).

Ministry of Planning and International Cooperation (2015). Statistical Bulletin for the year 2015, Central Bureau of Statistics, Sayun Office, Hadhramaut Governorate, Yemen.

Muhammad, A. H.; Ahmed H. Y. (2010). Study of the reality of drinking water in some areas of the city of Baghdad. Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection, 2 (3) 228-243.

Public Authority for Water Resources (1999). Standard specifications for public drinking water in the Republic of Yemen. Sana'a.

Razouki, S. M. M.; Narrator M. A. (2010). Study of some physicochemical and microbial characteristics of locally produced and imported bottled water in the city of Baghdad. Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection, 3(2).103-75.

Shehata, H. A. (2014). Heaven's miracles are God's signs in the universe. Modern Academy for University Books.

Suleiman S. (2020). How to win your battle against your food. 1st ed, Arab Press Agency.

Taha, D. N.; Asry S. A.; Obaid F. M. (2005). Raw water and drinking water in Babil Governorate, study and analysis. Dissertation, University of Babylon, College of Science.

The Local Corporation for Water and Sanitation - Valley and Desert Directorates - Hadramout Governorate.

Zabbar, S. S. M. (2009). Contamination of drinking water with heavy elements in the city of Baiji. Dar Al-Ilm University College Journal, 1 (1), 36-27.

Zahid, W. M. K. (2002). Quality of domestic and imported bottled drinking water in the Kingdom of Saudi Arabia. King Abdulaziz University Journal, Engineering Sciences, 14 (2).

المراجع الإجنبية:

Al-shaikh T. M. (2017). Study of microbial characteristics of well groundwater in the city of Arar, Kingdom of Saudi Arabia. **Journal of the North for basic and Applied Sciences**, 2 (2), 41-50.

Bin Hameed E. A., Bin Alshikh Bubkr, K. S. (2019). Assessment of Bacteriological Quality of Drinking Water in Some Primary and Secondary Schools in Mukalla City-Hadhramout/ Yemen. **Hadhramout University Journal of natural and applied sciences**, 16 (2), 185- 191.

Bin yahia A. (2005). The qulity of drinking water in Al-Ghaydah city- Al-Mahraa governorate. **Journal of Nutural and applied Sciences**, 9 (2), 259- 268.

mass index, age, and gender with bone mineral density in patients referred to king Fahad university hospital. **Journal of the North for basic and Applied Sciences**, 5 (2), 132-141.

Komex I. (1996). **Ground water assessment, project in the Masila**-Hadramout – Yemen. fourth, Quarter report.

Rodger, B. B., Andrew, D. E. and Eugene, W. R. (2017). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, Washington.

Ryan J., Garabet S., Harmsen K., Abdul Rashid. (1996). **A soil and Plant Analysis Manual Adapted for the West Asia and North Africa Region**. Beirut, Lebanon: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).

Charan G., Bharti V. K., Giri A., Kumar P. (2023). Evaluation of physico-chemical and heavy metals status in irrigation, stagnant, and Indus River water at the trans-Himalayan region. **Discover Water**, 3 (3), https://doi.org/10.1007/s43832-023-00027-z

Gebresilasie K. G., Berhe G. G., Tesfay a. H., Gebre S. E. (2021). Assessment of Some Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Hand-Dug Well Water Samples of Kafta Humera Woreda, Tigray, Ethiopia. **International Journal of Analytical Chemistry**, https://doi.org/10.1155/2021/8867507

Hassan N.A., Mugbil N.A. and Alballem F.A. (2008). Biological Analysis of Drinking Water in Aden Governorate. **Aden University Journal of Natural and Applied Sciences**, 3 (12), 509- 516.

Kheiralla O. A. M., Goja A.M., Bakheet A. O., Al-Ghamdi. A., Sadath S. M. (2020). Association of body