الخواص الفيزيائية والكيميائية لمياه عين ثوبان وعين صويبر بمنطقة الديس الشرقية -محافظة حضرموت باليمن وتقييم نوعيتهما لأغراض الشرب والري

د.سالم فرج بامسعود [31*]، د. فيزان فرج بن سعيد[32]

1-قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة، حضرموت، اليمن saalem88@hu.edu.ye

2-قسم تشغيل وحدات النفط والغاز، المعهد التقني الصناعي، حضرموت، اليمن

3- مركز بحوث العلوم الطبيعية و التطبيقية، مؤسسة حضرموت للاختراع والتقدم العلمي، حضرموت، اليمن

الملخص

اجريت هذه الدراسة وعلى مدى عام كامل لاختبار نوعية مياه عين ثوبان وصويبر الواقعتين في منطقة الديس الشرقية بمحافظة حضرموت باليمن. أوضحت النتائج عدم تتطابق قيم توصيلية المياه الكهربائية E.C، والمواد الصلبة الذائبة الكلية TDS، والقاعدية الكلية-OH، والعسرة الكلية TH، وعسرة الكالسيوم، وعسرة المغنسيوم، وايون الكبريتات -SO42، والفلوريد- F، والمنجنيز -Mn، والكالسيوم Ca2+ ، والبوتاسيوم K+ ودرجة الحرارة T، مع حدود موصفات القياسات اليمنية ومنظمة الصحة العالمية (WHO)، وعلية فمياه عين ثوبان وصويبر يمكن تصنيفها ضمن المياه غير الصالحة الشرب. وبالمقارنة مع التصنيفات المعتمدة من منظمة الاغذية والزراعة FAO، يمكن أيضاً استنتاج ان مياه عين ثوبان وعين صويبر لا تصلح لغرض الزراعة فهي مياه ذات مشاكل حادة.

الكلمات المفتاحية: ينابيع، نوعية المياه، مياه كبريتية، اغراض الشرب، استخدامات زراعية

5

Physical and Chemical Characteristics of Sweiber and Thouban Water Springs in AL-Diss Ashrqiya-Hadhramout in Yemen and The Evaluation of Water Quality for Drinking and Irrigation Purposes

Salim F. Bamosaud[13*], Faizan Farag Bin Saeed[23]

[1]Physics Department, Faculty of Science, Hadhramout University,Mukalla,Yemen
Tel: +967 5 381 255, e-mail: saalem88@hu.edu.ye

[2]Oil and Gas Operations Department, Technical Industrial Institute, Mukalla-Yemen

[3]Center for Natural and Applied Science-Hadhramout Foundation of Invention and Advancement of Science Mukalla-Yemen

ABSTRACT:

This study was performed to investigate, for one year, water quality of Sweiber and Thouban springs which are located in AL-Diss Ashrqiya-Hadhramout, Yemen. The results showed that the values of the electrical conductivity, total dissolved solid, total hardness, calcium hardness, magnesium hardness, sulphate, fluoride, manganese, calcium, potassium and water temperature are not within the permissible levels of Yemeni and World Health Organization (WHO) standards therefore, the water of Sweiber and Thouban can be classified as undrinkable water. In comparison with the classifications adopted in this study, it can be concluded that the water of Sweiber and Thouban springs are not suitable for irrigation purposes, as it is water with acute problems.

Keywords: Springs, water quality, sulfur water, drinking purposes, agricultural uses

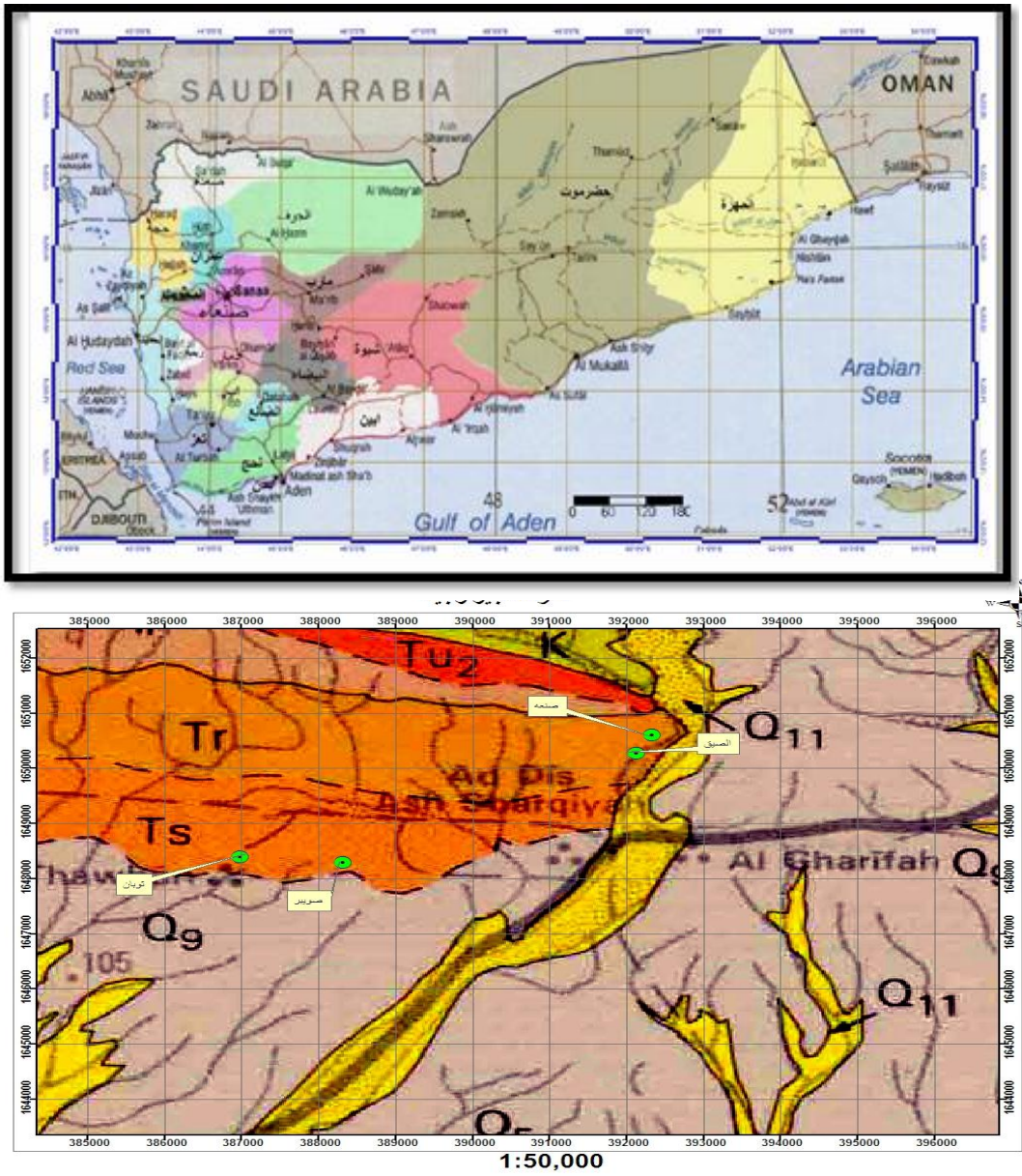
المقدمة:

يعزي استمرار وتجدد جريان المياه الجوفية تحت سطح الأرض إلى التغذية الدائمة التي تتلقاها من مياه الأمطار عند تساقطها، أو عن طريق مياه الأنهار والبحيرات التي تتخلل التربة لتصل إلى حوض المياه الجوفية. قد تكون المياه الجوفية غير متجددة فيقل منسوبها تدريجياً بحسب ما يُستهلك منها. فهذه المياه، وبسبب عدم اتصالها المباشر بمنابع متجددة، تجمعت في باطن الأرض في قرون سابقة وعصور ممطرة فتميزت بصفات مختلفة عن بقية المياه الجوفية نتيجة وجودها في باطن الأرض منذ أزمنة عديدة. ونذكر من هذه الصفات ارتفاع درجة حرارتها المستمدة من الحرارة المرتفعة لباطن الأرض أو نتيجة قربها من أماكن ذات أنشطة بركانية. ومن صفاتها المسببة في تسميتها مياه معدنية وكبريتية هو محتواها الزائد من الأملاح والغازات والكبريت. قد تتفجر هذه المياه على شكل عيون وينابيع وبالتالي أحياناً لا تحتاج هذه المياه الجوفية إلى حفر الآبار لظهورها، فخروجها يكون نتيجة لزيادة الضغط عليها أو ضغط القشرة الأرضية في هذا المكان فتتدفق على هيئة نافورة أو تسيل المياه المتدفقة على سطح الأرض في سواقي تنحتها وتشقها [1] .

البيئات الطبيعية في اليمن كشواطئ البحار أو الوديان الضيقة أو بين الجبال هي غالباً مناطق تواجد الينابيع الساخنة. وتنبع مياهِها من خلال التصدعات والشقوق في مناطق التماس بين الصخور. ففي محافظة حضرموت، التي تقع شرق الجمهورية اليمنية وتُعد أكبر محافظات الجمهورية مساحة [2]، تنتشر في سواحلها عدد من العيون التي يتدفق منها مياه معدنية وكبريتيه. تسمى هذه العيون محلياً (معايين) ومفردها معيان، وتسمى كذلك الينابيع المعدنية حيث مياه هذه العيون تخرج من باطن الارض الى سطحها وتحمل معها الكثير من المعادن والغازات وترتبط هذه العيون غالبا بوجود الفوالق الموازية لفالق البحر الاحمر (شمال - جنوب)، وتعد ظاهرة تدفق المياه المعدنية من الظواهر المميزة في حضرموت [3]. وبطريقة طبيعية تتجمع هذه المياه في مخازن مائية خاصة تمنع امتزاجها بالمياه السطحية، ومن موقع إلى آخر تتغير كمية هذه المياه وفقاً لظروف تكوينها ونوعية الطبقات التي تُخزن فيها، كما تمتاز المياه المعدنية بثبوت تركيبها الكيميائي وعدم تغيره [1]. يتم استغلال مياه كثير من الينابيع في العلاجات الطبية حيث

يبرز دورها في السياحة العلاجية. غالباً ما يرتاد هذه العيون سكان المنطقة، أو السُياح بغرض الاستشفاء من الأمراض الجلدية، وأمراض الروماتيزم[3].

أسفرت جميع الدراسات السابقة والتي قام بتنفيذها عدد من الباحثين خلال العقود الثلاثة الماضية (1976 – 2000م) عن وجود 34 ينبوع ذات مياه حارة في الجمهورية اليمنية بلغت أعلى درجة حرارة لمياهِها حوالي 71 درجة مئوية . ففي منطقة الديس الشرقية والتي تبعد بحوالى110 كم شرقاً عن مدينة المكلا عاصمة محافظة حضرموت (شكل 1) عند الاحداثيات (14.910°N 49.992 E°)، تتواجد مجموع من العيون الحارة، من أشهر هذه العيون عين ثوبان، وعين صويبور، وعين الصيق، وعين صنعه. عين ثوبان وعين صويبر هما محور هذه الدراسة. فثوبان وصويبر قريتان صغيرتان تقعان غرب مدينة الديس الشرقية فيهما عينان تتدفق بالمياه المعدنية الحارة الكبريتية وتقعان على بعد حوالي خمسة كيلومترات الى الغرب من وسط المدينة.



شكل1 : خارطة الجمهورية اليمنية وخارطة بيولوجية لمنطقة الديس الشرقية مبين فيها موقع عين ثوبان وعين صويبر.

تهدف هذه الدراسة الى تحديد موقع عين ثوبان وعين صويبر بمنطقة الديس الشرقية، ورسم خرائطهم لتسهيل إمكانية الوصول إليها وكذلك تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه من خلال دراسة نتائج الفحوصات المخبرية. ومن أهداف هذه الدراسة مقارنة النتائج المخبرية بالمعايير المحلية والدولية بغية تقييم نوعية هذه المياه من حيث صلاحيتها واستخدامها لأغراض الشرب والأغراض الزراعية، ووضع التوصيات الناتجة عن هذه الدراسة والمتعلقة بآليات تطوير هذه العيون والاستفادة منهما لأغراض السياحة العلاجية.

المواد وطرائق العمل :

اجري استطلاع ميداني لينبوعي ثوبان وصويبر المتدفقة بمنطقة الديس الشرقية، واختير هذان الينبوعان لميزة تدفق مياهِها على مدار السنة. تم أخذ إحداثيات كل ينبوع لتحديد موقعها الجغرافي بواسطة جهاز نظام التموضع العالمي(GPS). جمعت العينات خلال فترات زمنية مختلفة ولمدة عام. لجمع وحفظ العينات تم استخدام قناني زجاجية معقمة سعتها (1 لتر). لدراسة خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية تم عمل مجموعة من القياسات المخبرية. اجريت كافة التحاليل في المختبر المركزي للمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بمحافظة حضرموت باليمن.

اشتملت الدراسة قياس درجة الحرارة T، ودرجة تركيز المواد الصلبة (TDS)، والموصلية الكهربية (EC)، والرقم الهيدروجيني (pH). كما تم قياس نسبة تواجد كلاً من أيون الكلوريد (-Cl)، والفلوريد (F−)، والصوديوم (+Na)، والبوتاسيوم (+K)، والكالسيوم (+Ca2)، والمغنسيوم (+Mg2)، وأيون النترات (NO−3) كذلك تم حسب العسر الكلي TH. لقياس اللون وتحديد نسبة الكبريتات والفلورايد والنترات والحديد والمنجنيز، تم استخدام جهاز المطياف (Spectro Photometer DR/2010). واستخدم جهاز (pH Meter، Hanna) لقياس الاس الهيدروجيني، ولقياس الموصلية الكهربائية تم استخدام جهاز (Conductance Bridge, Griffin). قُدرت نسب تواجد أيون الصوديوم والبوتاسيوم بواسطه جهاز

مضواء اللهب الطيفي (Flame Photometer). ولحساب درجة خطورة كل من أيون الصوديوم والكالسيوم والملوحة المتواجدة في المياه والتعرف على نوعية المياه المستخدمة للأغراض الزراعية، تم استخدمت العلاقات الرياضية الآتية –:

نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio (SAR)، وقد تم حسابها وفق المعادلة الآتية:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

كذلك تم قياس كربونات الصوديوم المتبقية The Residual Sodium Carbonate (RSC) بالعلاقة الآتية

$$\mathbf{RSC} = (CO_3^{=} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وتم قياس القاعدية الكلية (Total Alkalinity) وقياس العسرة الكلية (Total Hardness) وعسرة الكالسيوم وقياس الكلوريد (Chloride) باستخدام طريقة المعايرة. كما تم حساب كمية المواد الصلبة الذائبة (TDS) بالمعادلة التالية:

$$TDS = E.C * 0.64 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

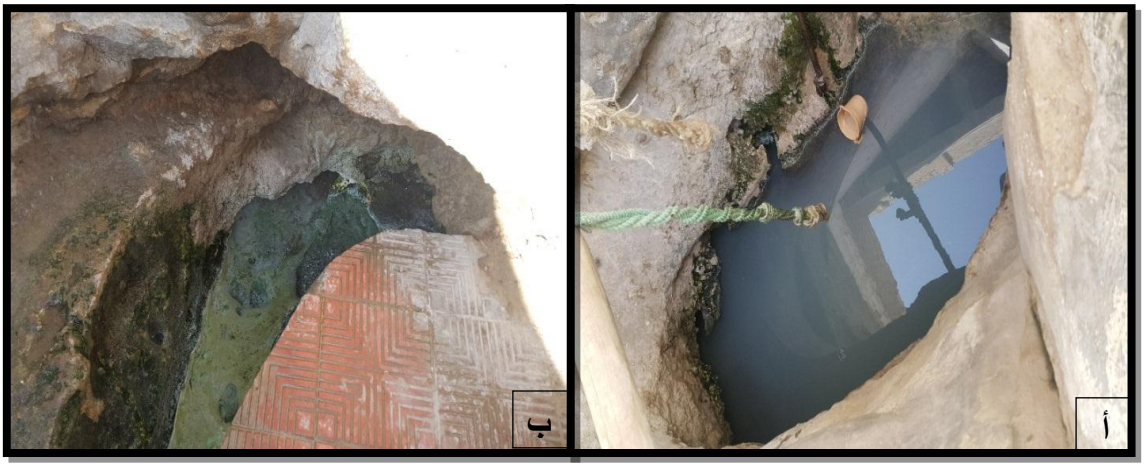
كما تم تحديد عسرة المغنسيوم وفقاً للمعادلة لآتية:

قياس عسرة المغنسيوم = العسرة الكلية – عسرة الكالسيوم [4]

النتائج والمناقشة :

بحسب دراستنا لمواقع ينابيع المياه الحارة في منطقة الديس الشرقية (ثوبان وصويبر) فقد تم تحديد موقع الينبوعين بدقة باستخدام نظام التموضع العالمي (GPS)، حيث تقع عين صويبر عند الاحداثيات (N 14° 54' 28.448" و E 49°56' 57.304") اما عين ثوبان فيقع عند الاحداثيات ("N 14° 54' 24.997

و "42.239 '49°57 E). ومن قياس نسبة تدفق مياه الينبوعين خلال السنة، تبين ان متوسط تدفق مياه عين ثوبان تفوق عن متوسط تدفق مياه عين صويبر بحوالي 14 مرة، حيث متوسط تدفق مياه عين ثوبان وصويبر هما 2.69 و 0.21 لتر لكل ثانية على التوالي. شكل(2أ) يوضح صورة حديثة لعين ثوبان حيث ترتفع عن مستوى سطح البحر ب 84 متر وكذلك شكل(2ب) يعطي صورة لعين صويبر المرتفعة عن مستوى سطح البحر بمقدار 69 متر. كما بينت نتائج قياس درجات الحرارة لمياه الينابيع وجود اختلاف في درجة الحرارة باختلاف نقطة الفحص، فتكون عالية لقربها من منبع المياه ومنخفضة على سطح منطقة تجمع المياه. وعليه فمتوسط قراءات درجات حرارة المياه المتدفقة من عين ثوبان هي (40 درجة مئوية) بينما متوسط درجة حرارة مياه عين صويبر هي (35 درجة مئوية).



شكل 2 : صورة لعين (أ) ثوبان و (ب) لعين صويبر بمنطقة الديس الشرقية

الطع ة وضعف رائحة غاز كبريتيد الهيدروجين(H_2S). فالمياه الحاوية على كبريتيد الهيدروجين لها رائحة البيض الفاسد ومياه المستنقعات لها رائحة مستنقعية خاصة، وتواجد مواد عضوية والكائنات الدقيقة في المياه تعطيها رائحة خاصة. وعند احتوى الماء على كمية معينة من المركبات غير العضوية يتغير مذاق الماء ويصبح مالحاً

عند احتوائه على تركيز عالي من الكلوريدات والكبريتات، ويتميز الماء بمذاق حلو اذا احتوى على كميات كبيرة من المركبات الازوتية ذات المنشأ العضوي. من مواصفات الماء العذب انعدام اللون والرائحة والطعم[5]. ويستطيع الزائر لعين ثوبان وصويبر تمييز الرائحة المنبعثة والشبيهة برائحة البيض الفاسد والدالة على انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين ,حيث تكون هذه الرائحة اقوى ما تكون في مياه عين ثوبان عنها في مياه عين صويبر. وعند تذوق المياه لكلا الينبوعين فيتبين ان المياه مرة المذاق واقل ملوحة ويمكن شربها وهذا لا يعني صلاحيتها لأغراض الشرب.

جدول (1) يوضح نتائج الدراسة المتعلقة بتحاليل الخواص الفيزيائية لمياه الينبوعين (ثوبان وصويبر). ويعبر عن درجة تركيز تواجد أيون الهيدروجين في المحلول بالرقم الهيدروجيني، وذلك لبيان ما إذا كان المحلول حامضياً أو قلوياً[6،7]. ولقد وجد أن معيار الرقم الهيدروجيني pH لعين ثوبان وصويبر يتراوح ما بين 6.19 إلى 6.15، والذي يشير إلى الطبيعة الحامضية لمياه الينبوعين. تقاس العكارة في المياه بنسبة قدرتها على تشتت أو امتصاص الضوء وتظهر العكارة في الماء نتيجة ما يحتويه من مواد جسيمية مثل الطين، ومواد غروية، وبعض الكائنات الحية المجهرية. بيّنت نتائج دراسة العكارة لمياه الينبوعين إن نسبة العكارة لعين ثوبان هي (NTU 56.80) بينما لعين صويبر هي (NTU 41,50). كذلك بقياس نسبة اللون للمياه، كانت نسبة اللون لعين ثوبان هي (103 وحدة) ولعين صويبر هي(69 وحدة).

الفحوصات المختبرية	عين ثوبان	عين صويبر	الحدود المسموح بها للمواصفات القياسية اليمنية [8]	الحدود المسموح بها لمعايير منظمة الصحة العالمية (WHO) [9]
معدل التدفق (l/sec)	2.69	0.21	-	-
درجة الحرارة (C˚)	40	35	8 – 25	0 – 25

قياس نسبة اللون في المياه. Unit	103	69	15	-
قياس نسبة العكورة في المياهNTU	56.80	41.50	5	-
قياس الدالة الحامضية (pH)	6.19	6.15	6.5 – 9.0	6.5 – 9.0
قياس التوصيلية الكهربائية عند 25 °م µmhos/cm	3470	3480	2500	1000 -2500
قياس نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية (T.D.S) mg/l	2221	2227	1500	500 – 1500

جدول1: الخواص الفيزيائية لمياه عين ثوبان وصويبر في منطقة الديس الشرقية.

تعرف قابلية المحلول المائي لتوصيل التيار الكهربائي بالموصلية الكهربائية (E.C.) [7،10]، وتفيد درجة التوصيل الكهربائي في تقدير درجة الملوحة الكلية في الماء[11]، كيميائياً الماء النقي له توصيل كهربائي ضعيف ويعتبر عازلا جيداً وفي حدود اقل من(250 µmhos/cm) بينما تكون المياه مشبوهة أو غير قابلة للاستعمال في حدود (2000 µmhos/cm) أو أكثر [12]، وتتسم مياه عين ثوبان بتوصيلة كهربائية مقدارها 3470 µmhos/cm بينما سجلت مياه عين صويبر توصيلية مقدارها (3480) µmhos/cm. وتعتبر توصيلة المحاليل المائية للتيار الكهربائي دليل لمقياس كمية الأملاح الذائبة فيها، فهناك علاقة طردية بين التوصيل الكهربائي ونسبة الأملاح الذائبة. تتكون مجموعة الأملاح الذائبة (TDS) من مجموعة الأملاح غير العضوية مثل أملاح عناصر(الكالسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والصوديوم، والبيكربونات، والكلوريدات، والكبريتات) وكذاك تتكون من كميات صغيرة من المواد العضوية المذابة في المياه. تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) في الماء تختلف إلى حد كبير في المناطق الجيولوجية المختلفة بسبب الاختلاف في درجات ذوبان المعادن وتكون أملاحها. فمياه عين

ثوبان أعطت تركيز أملاح TDS مقداره 2221 mg/l بينما أعطت مياه عين صويبر قيمة 2227 mg/l (جدول1)، وهذه القيم تفوق القيمة المسموح بها لمياه الشرب وفقاً للمواصفات اليمنية ومواصفات منظمة الصحة العالمية.

ولما كانت زيادة العسر الكلي (TH) في مياه الشرب يؤدي إلى زيادة الإصابة بأمراض القلب الوعائية وارتفاع ضغط الدم تتبعها ترسب للأملاح في الجسم وتصلب الشرايين [13] ، كان من الضروري دراسة العسر الكلي لمياه هذين الينبوعين. فقياس العسر الكلي هو قياساً لأملاح الكالسيوم والماغنسيوم وأملاح الحديد والقصدير والألومنيوم[14]، حيث تُكوّن هذه الأملاح رواسب مع الصابون (بالميتات وأوليات الكالسيوم) هذه الرواسب تحول دون تكون الرغوة المطلوبة للنظافة، ويمكن تعريفه بأنه عدم مقدرة المياه على تكوين رغوة من الصابون [7]. إن أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم هما أهم مصادر عسر المياه الطبيعية فهما من المكونات الرئيسية لخلايا وعظام وأسنان الإنسان [15]. فمن حسابات العسر الكلي وجد ان قيم العسر الكلي لمياه عين ثوبان هو 1570 mg/l بينما لمياه عين صويبر هو 1640 mg/l وتعتبر مياه الينبوعين بهذه القيم مياه شديدة العسرة [7].

يوضح جدول (2) نسبة تواجد عناصر مثل الكلوريد والكالسيوم والماغنيسيوم والفلوريد والصوديوم والبوتاسيوم المنجنيز والحديد ومقارنتها مع النسب المعمول بها وفقا للمقاييس اليمنية ومقايس منظمة الصحة العالمية. فزيادة معدل الكلوريد يؤدي للإصابة بالفشل الكلوي بسبب التأثير الواضح للكلور على وظائف الكلى[13]، ويعتبر الكالسيوم ذات اهمية بالغة لتكون جسم الانسان فهو ضروري لمراحل النمو الجنيني و فترة الحمل ومرحلة الرضاعة فضلا عن أهمية هذا العنصر في تكوين العظام والأسنان وتخثر الدم وعمل الجهاز العصبي [16]، و يأتي الماغنيسيوم بعد الكالسيوم من حيث كونه من أهم الأيونات الأساسية الموجبة الموجودة في المياه الجوفية [10،16].

جدول 2: يوضح معدل تواجد بعض العناصر و المركبات الكيميائية في مياه عين ثوبان وصويبر ومقارنتها بمواصفات القياسية اليمنية ومعايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لصلاحية المياه لأغراض الشرب.

الفحوصات المختبرية (mg/l)	عين ثوبان	عين صويبر	المواصفات القياسية اليمنية [8]	معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) [9]
تركيز القاعدية الكلية في المياه	610	712	120	120 – 350
تركيز العسرة الكلية في المياه	1570	1640	500	100 -500
تركيز العسرة للكالسيوم	980	1080	200	75 – 200
تركيز العسرة للمغنيسيوم	590	560	150	30 – 150
تركيز الكلور الحر في المياه (Cl)	350	360	600	200 – 600
تركيز الفلوريد (F)	2.40	2.61	1.5	1 – 1.5
تركيز الحديد (Fe)	0	0	1.0	0.3 – 1
تركيز المنجنيز (Mn)	0.6	0.6	0.2	
تركيز الكالسيوم (Ca)	392	432	200	75-200
تركيز الماغنسيوم (Mg)	141.60	134.40	150	10 -100
تركيز البوتاسيوم (K)	41	42	12	
تركيز الصوديوم (Na)	241	173	400	0 – 220

تركيز الكربونات (CO_3)	0	0	120	–
تركيز البيكربونات (HCO_3)	744.20	868.64	500	150 – 500
تركيز الكبريتات (SO_4)	880	1160	400	200 – 400
تركيز النترات (NO_3)	3	2.8	50	

ويعتبر ايون الفلوريد من الايونات الشائعة في الطبيعة [15]، ويوجد في المياه الجوفية بكمية قليلة [10] فإذا ارتفع معدل الفلوريد عن المعدل الطبيعي (0.7- 1.2 جزء من المليون) فمن الممكن ان يتسبب ارتفاع الفلور في المياه إلى تبقع وتآكل الأسنان وأمراض لين العظام خصوصاً عند الاطفال، أما إذا قلت نسبة الفلوريد عن (0.5) فنتيجة ذلك تكون تسوس في الأسنان [17]. واذا نظرنا للصوديوم الذي يتواجد في معظم المياه الطبيعية فيحتل المرتبة السادسة ببين المعادن، ويتواجد بتركيز عال في المياه المالحة والمياه التي تتم معالجتها باستخدام محلول كلوريد الصوديوم [18]. كذلك من المركبات الكيميائية التي يجب تحديد نسبة تواجدها في المياه هي النترات (NO3) والكبريتات (SO4) والكربونات (CO3) والبيكربونات (HCO3)، فتواجد هذه المركبات في المياه بكميات تفوق المسموح به تسبب مخاطر على استخدام هذه المياه للشرب والاغراض الزراعية.

من خلال دراسة الخواص الكيميائية لمياه عين ثوبان وعين صويبر ومقارنة معدلات تواجد العناصر و المركبات الكيميائية في مياه منطقة الدراسة تبين عدم توافق معدل غالبية العناصر والمركبات الكيميائية المدروسة مع المقاييس اليمنية ومقايس منظمة الصحة العالمية. كما بينت الدراسة وقوع نسبة تواجد الكلور الحر والصوديوم في حدود المسموح بها وفقا للمقاييس اليمنية و مقاييس الصحة العالمية. كذلك اظهرت الدراسة ان معدل المغنيسيوم وايون النيترات اقل من حدود المقاييس اليمنية وان مياه ثوبان وصويبر تخلو من عنصر الحديد و النيترات.

جدول 3: يوضح تصنيف المياه حسب قيمة الموصلية الكهربائية ونسبة الأملاح الذائبة ونسبة ادمصاص الصوديوم وفقاً لمعمل الملوحة الامريكي[19،20]. .

الصنف	التوصيلية الكهربائية (EC) µmhos/cm	نسبة الأملاح الذائبة (TDS) mg/l	الوصف
C1	250-0	160-0	قليل الملوحة
C2	250-750	480-160	متوسط الملوحة
C3	2250-750	1440-480	شديد الملوحة
C4	5000-2250	3200-1440	شديد الملوحة جدًا
الصنف	نسبة الصوديوم المدمص (SAR)%		الضرر الناتج عن القلوية
S1	10–0		منخفض
S2	18–10		متوسط
S3	26–18		مرتفع
S4	30 – 26		شديد جدا

وفقا ولدراسة صلاحية مياه عين ثوبان وعين صويبر لأغراض الري والزراعة، تم استخدام تصنيفات عالمية مثل مقياس معمل الملوحة الأمريكي[19،20]. جدول رقم (3) يوضح اصناف المياه وفقاً لتقسيم معمل الملوحة الأمريكي الذي يعد من أكثر التصنيفات انتشارًا في العالم والمتكون من أربع درجات. يعتمد تصنيف معمل الملوحة الامريكي على درجة الملوحة وقيمة التوصيلية الكهربائية المقاسة للماء ونسبة ادمصاص الصوديوم. وفقاً لنتائج التوصيلية الكهربائية المقاسة لمياه الينابيع الحارة (ثوبان وصويبر) المحددة بالقيم (3470-3480) مايكروموز/سم والتي تقع في حدود التصنيف الرابع (C4) لتقسمات معمل الملوحة الامريكية، فمياه عين ثوبان وعين صويبر تعتبر مياه ذات ملوحة شديدة جدا.

وبالتالي نتوقع احتمال حدوث مشكلة شديده من استعمال هذه النوعية من المياه وإنها صالحة لري المحاصيل الأكثر تحملا للملوحة مثل النخيل وتستعمل فقط في الأراضي جيدة النفاذية بشرط استعمال المياه بكميات زائدة تكفي لإزالة الأملاح المتراكمة في التربة من الريات السابقة [21]. كما بينت النتائج في جدول 4 أن قيمة ادمصاص الصوديوم (SAR) لمياه الدراسة قد تراوحت من (1.87 – 2.66 %) أي تقع بين (0 - 10) والذي يضم القسم (S1) والذي يمثل رتبة التأثير المنخفض للقلوية وبالتالي نتوقع ان يكون الضرر الناتج عن القلوية منخفض [22]. وبمقارنة نتائج فحوصات مياه منطقة الدراسة (جدول 4)على تقسيم ايتون [23] والذي يعتمد على العلاقة بين درجة التوصيل الكهربي بالميكرو سيمنز/سم وقيمة كربونات الصوديوم المتبقية (RSC) بالمللي مكافئ/ لتر، وجد أن عينات مياه الينابيع الحارة بمنطقة الديس الشرقية تراوحت بين (3470-3480) مايكروموز/سم، أي انها حسب هذا المقياس أكبر من (3000 مايكروموز/سم) وبالتالي تقع ضمن المياه غير الصالحة للري. كذلك بينت النتائج أن قيمة كربونات الصوديوم المتبقية (RSC) لجميع مياه منطقة الدراسة قد تراوحت من (- 13.91) الى (- 19.02) مللي مكافئ/ لتر أي أنها أقل من (1.25) وبالتالي تقع ضمن المياه الصالحة للري.

طبقا للدليل الذي وضعته منظمة الأغذية والزراعة (FAO) [24،25] فان مقدار التوصيلية الكهربائية (E.C) لمياه الينابيع الحارة في منطقة الديس الشرقية قد تراوحت مابين (3.470-3.480) (ms / cm) (وبالتالي نتوقع احتمال حدوث مشكلة ملوحة شديدة من استعمال هذه المياه [26].

جدول 4: التحاليل الكيميائية والفيزيائية لمياه عين ثوبان وعين صويبر ومقارنتها بمعايير منظمة الاغذية والزراعة (FAO) لاستخدام المياه لأغراض الري.

خصائص الفحوصات المختبرية	عين ثوبان	عين صويبر	الحدود المسموح بها لمعايير منظمة الاغذية والزراعة (FAO) [25,24]
الدالة الحامضية (pH)	6.19	6.15	6.0 – 8.3
التوصيلية الكهربائية عند 25 °م (EC) µmhos/cm	3470	3480	700 –3000
تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) mg/l	2221	2227	450 – 2000
تركيز البيكربونات (HCO_3) mg/l	744.20	868.64	0 – 610
تركيز الكربونات (CO3) mg/l	0	0	0 – 120
تركيز الكلور الحر في المياه (Cl) mg/l	350	360	0 – 1065
تركيز الكبريتات(SO4) mg/l	880	1160	0 – 960
تركيز النترات (NO3) meq/l	0.05	0.04	

تركيز الكالسيوم(Ca) mg/l	392	432	0-400
تركيز الماغنسيوم (Mg) mg/l	141.60	134.40	0 -60
تركيز الصوديوم (Na) +البوتاسيوم (K) mg/l	282	215	0 – 47
نسبة ادمصاص الصوديوم (SAR) %	2.66	1.87	0 -15

ودلت النتائج كذلك أن قيمة ادمصاص الصوديوم (SAR) لمياه الينابيع الحارة في منطقة الديس الشرقية كانت اقل من (3) لهذا نتوقع ان لا توجد مشكلة ناتجة عن ادمصاص الصوديوم في التربة من استعمال هذه المياه[27]. كما أظهرت النتائج أن تركيز الكلوريد (Cl-) في مياه الينابيع الحارة في منطقة الديس الشرقية قد تراوحت ما بين (8.40 – 10.08) مللي مكافئ/ لتر، وبالتالي عند استعمال هذه المياه نتوقع تتزايد المشكلة الناتجة عن الكلوريد سواء للتربة او النبات. وكان تركيز النترات (NO3) أقل من (5 مللي مكافئ/ لتر) في مياه الينابيع الحارة في منطقة الديس الشرقية وبالتالي لا نتوقع وجود مشكلة ناتجة عن سمية النترات من استعمال هذه المياه. كما وجد ان قيم الدالة الحامضية (pH) لجميع مياه الينابيع الحارة في منطقة الدراسة تقع ضمن المدى الملائم لمياه الري. وبينت النتائج كذلك ان تركيز البيكربونات (HCO3) في مياه عين ثوبان وعين صويبر هما (11.91،13.90) مللي مكافئ/ لتر على التوالي وبالتالي نتوقع حدوث مشكلة ناتجة عن وجود البيكربونات في مياه عين ثوبان وصويبر.

الاستنتاجات:

من خلال دراستنا لمياه الينابيع في منطقة الديس الشرقية وجد أن مياه ينبوع ثوبان و ينبوع صويبر متدفقة على مدار السنة وان متوسط حرارة مياه هذه الينابيع تتراوح بين 35 الى 40 درجة مئوية وتزداد حرارة هذه المياه كلما زاد العمق للعين. تواجد ايونات الكالسيوم, والمغنيسيوم, والصوديوم في مياه الينابيع يُبين تأثر الخواص الكيميائية لهذه المياه بنوعية الصخور وعليه يمكن استخدام مياه هذين الينبوعين لغرض الاستشفاء من الامراض الجلدية والروماتيزمية. مياه عين ثوبان وعين صويبر بمطقة الديس الشرقية غير صالحة لأغراض الشرب لأن كثير من خصائصها الكيميائية والفيزيائية أعلى من الحدود المسموح بها حسب مواصفات القياسية اليمنية ومعايير منظمة الصحة العالمية (WHO) لمياه الشرب. صنفت مياه الينابيع الحارة في منطقة الديس الشرقية وفق مقياس معمل الملوحة الأمريكي على أنها مياه ذات ملوحة شديدة جدا وقليلة الصوديوم (C4 – S1). وفقا لدراسة تطابق مياه الينبوعين مع موصفات منظمة الأغذية والزراعة (FAO) يمكن استخدام هذه المياه لري المحاصيل الأكثر تحملا للملوحة مثل النخيل وخصوصا في الأراضي جيدة النفاذية.

التوصيات:

بالاعتماد على ما تم عرضه في هذه الدراسة يمكننا طرح التوصيات الآتية:

1- استكمال دراسة العيون الحارة التي لم تتناولها أي دراسات في الجمهورية اليمنية.
2- تتعاون القطاعات المختلفة مثل قطاع الزراعة والتجارة و الصحة لتعزيز آليات الاستفادة من هذه العيون الحارة .
3- إنشاء هيئة لمراقبة حالة مياه العيون الحارة بصفة دورية لضمن استغلالها بالشكل الأمثل.
4- التعريف بأهمية العيون الحارة والحفاظ عليها من التلوث من خلال توعية المجتمع المحلي عبر عمل محاضرات أو منشورات أو مرافق من البلدية, وإعداد كتيبات عن العيون الحارة لتشجيع السياحة العلاجية في منطقة الديس الشرقية.

شكر وتقدير

يشكر الباحثان سالم بامسعود وفيزان بن سعيد مؤسسة العون للتنمية-حضرموت للدعم المادي لإنجاز هذا البحث ضمن مشروع برنامج باحث الجامعة. كذلك يتقدم الباحثان بالشكر و التقدير لمؤسسة المياه و الصرف الصحي بمحافظة حضرموت لما قدمته من تسهيلات لاستخدام مختبراتها المتقدمة وتقديم الاستشارات الفنية لاستكمال هذه الدراسة.

المراجع (References):

1. عساف، هدى والمصري، محمد سعيد،(2007)، مصادر تلوث المياه الجوفية الكيميائية، ، قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية، دمشق.
2. المركز الوطني للمعلومات باليمن ، (2004)،النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والمساكن والمنشآت.
3. بارشيد، محمد عوض، (2017)، مظاهر الكارست والعيون الحارة في ساحل حضرموت، مجلة الاندلس للعلوم التطبيقية، 16(7)،7-31.
4. عبد الحمزة، جبار سلال، (2015)، مقارنة أنظمة التصانيف العالمية للمياه لبعض مياه الآبار في محافظة القادسية / العراق، مجلة القادسية للعلوم الزراعية، 5(2)،62-72.
5. الزواوي، خالد ،(2004)، الماء "الذهب الأزرق" في الوطن العربي، مجموعة النيل العربية، القاهرة، مصر.
6. الحفيظ، عماد (2012)، أساسيات الكيمياء، عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع.
7. أحمد، عصام محمد، والدرديري، الطاهر محمد ، (2001)، الماء، الطبعة الثانية، الخرطوم: الدار السودانية للكتب.
8. المواصفات القياسية اليمنية للمياه، مياه الشرب العامة، قطاع السياسات المائية والبرمجة، (يوليو 1999)، مشروع إعداد معايير ومواصفات للمياه بحسب استخدامها، صنعاء-اليمن.

9. World Health Organization, WHO. (2011). Guidelines for Drinking Water Quality, 4th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 564 pages.

10. درادكة، خليفة ،(1988)، هيدرولوجية المياه الجوفية، عمان، الأردن.

11. محمود، نور مصباح (2013 م) التقييم المائي لنوعية مياه آبار الشرب في محافظة خان يونس من عام (2012-2000 م) (رسالة ماجستير غير منشورة) الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.

12. السيد خليل، محمد (2003 م) المياه الجوفية والآبار، القاهرة، مصر: دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.

13. محمد عبد المجيد عبد العباس

14. مدوخ، هالة ، (2013)، مرضى الفشل الكلوي المزمن في محافظات غزة دراسة في الجغرافية الطبية، (رسالة ماجستير غير منشورة) الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.

15. خضير، ثعبان كاضم،(2011)، الكيمياء الصناعية، الطبعة الاولى، عمان- الأردن، دار الميسرة.

16. المنهراوي، سمير، حافظ، عزة، (1997)، المياه العذبة مصادرها وجودتها، القاهرة- مصر الدار العربية للنشر.

17. رزوقي، سراب محمد، والراوي، محمد عمار، (2010)، دراسة بعض الخصائص الفيزيوكيميائية والمايكروبية للمياه المنتجة محليا والمستوردة في مدينة بغداد، المجلة العراقية لبحوث السوق وحماية المستهلك، 2(3)، 75-99.

18. الزرقة، محمد عبد الناصر،(2010)، تلوث المياه في محافظتي الشمال والوسطى وتأثيراتها على صحة الإنسان، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الإسلامية، غزة- فلسطين.

19. عبد العباس، محمد عبد المجيد(2012)، دراسة تأثير شحة المياه واستخدام مياه السدود والبحيرات على نوعية مياه شط الكوفة للأغراض الإروائية، مجلة جامعة بابل،1(20)،-354 368.

20. Regional Salinity Laboratory (US). (1954), Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture Handbook 60, Washington, DC.
21. Pearson, R. G. (1968), Hard and soft acids and bases . HSAB .Part I . Fundamental Principles. J, Chem . Edue 45,581-585.
22. Kelley, W. P. (1951). AIkali soils. Their formation, properties and reclamation. AIkali Reinhold Publ. Corp., New York.
23. Eaton,F.M(1950)Significance of carbonatc In Irrigation water,Soil Sci69.P123- 133.

24. دليل استعمال المياه العادمة المعالجة في الري، منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة،(2000م) ، المكتب الاقليمي للشرق الأدنى، القاهرة – مصر.

25. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

26. بليغ ، عبدالمنعم ، عطا، السيد خليل، 1997، الماء: مأزق ومواجهات، الانتصار للطباعة، منشأة المعارف، الإسكندرية- مصر.

27. Landon, J. R. (1984). Booker Tropical Soil Manual. xiv. Booker Agriculture International Ltd., London, and Longman, Burnt Mill, UK, 450.