



تقدير آكالية المياه وإمكانية تشكيل القشور باستخدام مؤشرات التشبع لأبار المياه الجوفية في مناطق بلدية إدري الشاطئ

أم السعد عبدالهادي عمر¹ و*فاضل محمد بن محمد¹ و إبراهيم محمد الشريف²

¹ قسم علوم البيئة، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ

² قسم التقنيات البيئية والنفطية، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ

الكلمات المفتاحية:	الملخص
الاستقرارية الأكالية القشور المياه الجوفية أدلة التشبع	تعتبر آكالية المياه وقدرتها على تشكيل قشور كربونات الكالسيوم من العوامل المسببة للمخاوف من الناحية الاقتصادية والصحية في أنظمة إمدادات المياه. تهدف هذه الدراسة إلى التحقق من إستقرارية المياه في نُظم توزيع مياه الشرب ومياه الري في بعض آبار المياه الجوفية في بلدية إدري، وادي الشاطئ. أجريت الإختبارات الفيزيوكيميائية لعينات 12 بئر في منطقة الدراسة شملت درجة حرارة المياه، الأس الهيدروجيني (pH)، الأملاح الذائبة الكلية (TDS)، عسرة الكالسيوم والقلوية الكلية. وتم تحديد إستقرارية المياه باستخدام مؤشر لانجليير Langelier Saturation Index (LSI) ومؤشر ريزنار Ryznar Stability Index (RSI). أظهرت نتائج التحليل الفيزيوكيميائي أن متوسط كل من pH ودرجة حرارة و TDS وعسرة الكالسيوم والقلوية الكلية كانت 0.39 ± 7.05 ، 4.11 ± 19.87 م، 104.34 ± 832.64 ملجم/لتر، 49.79 ± 62.58 ملجم/لتر و 2.20 ± 11.03 ملجم/لتر، على التوالي. وأوضحت النتائج أن غالبية المياه آكلة بشكل عالي جدًا حيث تراوح مؤشر LSI ما بين -0.87 الى 2.9، حيث كانت بئر المنصورة M2 أقل آكالية، وبئر الحطية H2 أعلى آكالية حسب مؤشر LSI، إضافة لذلك، كانت نتائج مؤشر RSI قد تراوحت ما بين 9.7 الى 12، وبصفة عامة تعتبر هذه القيم مرتفعة مما يعني أن هذه المياه شديدة العدوانية. والجدير بالذكر أن الآبار التي أظهرت آكالية عالية كانت مياه يسرة ومستوى الكالسيوم فيها منخفضًا مما يعني عدم قدرتها على تكوين ترسبات قشرية تحمي أسطح المعادن من هجوم التآكل. ومن جانب آخر نجد أن الآبار مثل T3 (متوسطة العسرة) و M1 (عسرة جدا) و M2 (متوسطة العسرة) كان مؤشرها حسب لانجليير أقل آكالية وبالتالي ربما سيكون معدل التآكل فيها أقل نظرًا لقدرتها البسيطة على تكوين القشور.

Evaluation of Corrosivity and Scaling Potential of Groundwater using Saturation Indices in Idri Municipality, Wadi Al Shatti

Om Alsaad Abd Alhadi Omar^a, *Fadel Mohmed Binyehmed^a, Ibraheem Mohamed Alshareef^b

^aEnvironmental sciences department, Faculty of Environment and Natural Resources, Wadi Alshatti University.

^bPetroleum and Environmental Technology Department, Faculty of Environment and natural resources, Wadi Alshatti University

Keywords:

Corrosivity
Groundwater
Scales
Stability
Saturation Indices

ABSTRACT

Corrosivity and scaling tendency of water is an etiology of economic and health concerns in the water supply systems. The corrosivity of water and its ability to form calcium carbonate scales are economic and health concerns in water supply systems. The aim of this study is to verify the stability of water in the distribution systems of drinking water and irrigation water in some groundwater wells in Idri municipality, Wadi Al Shatti. Physicochemical tests were conducted for 12 well samples in the study area, including water temperature, pH, total dissolved salts (TDS), calcium hardness and total alkalinity. Water stability was determined using the Langelier Saturation Index (LSI) and the Ryznar Stability Index (RSI). The results of the physicochemical analysis showed that the mean of pH, temperature, TDS, calcium

*Corresponding author:

E-mail addresses: f.binyehmed@wau.edu.ly, (O. A. Omar) bentlegrandilidrandi@gmail.com, (I. M. Alshareef) I.alshareef@wau.edu.ly

Article History : Received 16 May 2023 - Received in revised form 13 July 2023 - Accepted 02 October 2023

hardness, and total alkalinity were 7.05 ± 0.39 , 19.87 ± 4.11 CO₃, 832.64 ± 104.34 mg/L, 62.58 ± 49.79 mg/L, and 11.03 ± 2.20 mg/L, respectively. The results also showed that the majority of the samples are highly corrosive, as the LSI index ranged between -0.87 to -2.9, where the Mansoura M2 well was less corrosive, and the Al-Hatiya H2 well was the highest corrosive according to the LSI index. In addition, the findings showcased that the RSI values ranged between 9.7 to 12, in general, these values are considered high based on RSI index, which means that this water is very aggressive. Furthermore, the wells that showed high corrosivity were soft water with a low calcium level, which means that they are unable to form scales which protect metals' surface from corrosion attack. On the other hand, the results exhibited that wells such as T3 (medium hardness), M1 (very hard) and M2 (medium hardness) were less corrosive according to Langelier, and therefore the corrosivity would be lower due to their simple ability to form scales.

المقدمة

التآكل تكاليف باهظة على مرافق المياه، فالتآكل مسؤول عن ما بين 10% إلى 32% من إجمالي تكاليف الإنتاج في المرافق. ووفقاً لدراسة أجرتها الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة في الولايات المتحدة The Federal Highway Administration (2002)، فإن التكلفة المباشرة للتآكل في مياه الشرب العامة تقدر بحوالي 22 مليار دولار. وفي نفس السياق، تبنت دراسات أجريت في بلدان أخرى مثل أستراليا وبريطانيا واليابان أن التآكل يكلف حوالي 3-4% من الناتج القومي الإجمالي، ومن الخسائر الأخرى كذلك فقد المنتج سواء ماء أو نפט أو غاز، ويُعتقد أن جزءاً كبيراً من هذه المفقودات يُعزى إلى التسريبات بسبب التآكل.

في إيران، لا توجد معلومات دقيقة بشأن الخسائر والأضرار الناجمة عن التآكل والقشور. لكن أغلب الدراسات تبين أن الفقد السنوي للمياه بسبب التآكل يفوق 30% من إستهلاك المياه [12، 13، 14]. ومن الجدير بالملاحظة، إن تكاليف إستبدال وإصلاح منشآت المياه وغيرها من الخسائر المالية تسبب في التقليل من قيمة المنشأة. وتجدر الإشارة إلى أن وجود المركبات الآكلة في المياه غالباً ما يسبب تغير طعمها ورائحتها [15]، أما وجود المركبات السامة، مثل الرصاص والكاديوم والكروم والنيكل والزنك والنحاس المنطلقة إلى المياه بسبب التآكل فيمكن أن تسبب أمراضاً خطيرة للمستهلكين [16]. ومما لا شك فيه، إذا كانت كميات المركبات مثل النحاس والزنك والحديد والمنغنيز أكثر من الحد الأقصى لمستوى الملوثات في الماء، فقد يتسبب ذلك في مشاكل مثل تغير الطعم والرائحة واللون وظهور البقع على الأجهزة المنزلية [17، 18]. وتشير بعض الدراسات إلى أن الجزيئات التي تنفصل عن سطح الأنابيب يمكن أن تحمي الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض من المظهرات [19، 20]. وفي المقابل، فإن نمو الكائنات الحية الدقيقة يسبب مشاكل؛ مثل ظهور طعم ورائحة للماء، وتراكم البيوفيلم وزيادة معدلات التآكل [21، 22]. تعد دراسات التآكل في بلدية إدري قليلة جداً ولم تحظى بالإهتمام الكافي وتسلط الضوء على هذه المشكلة التي تضر بالمقام الأول شبكات توزيع المياه وملحقاتها من مضخات وأنظمة التسخين وأيضاً تؤثر على أنظمة الري. وحيث أن المياه الجوفية هي المصدر الوحيد لتوفير احتياجات السكان من مياه الشرب وللأغراض الزراعية، فإنه من المهم دراسة خصائصها المؤثرة على المعادن الداخلة في تركيب شبكات المياه. إن هذه الدراسة تهدف إلى دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبعض آبار المياه الجوفية في مناطق بلدية إدري (ونزريك، تمسان، إدري والمنصورة) ومدى قدرتها على إحداث التآكل وتكوين الترسبات القشرية لكريونات الكالسيوم وذلك من خلال إستخدام مؤشرات التشبع المتمثلة في مؤشر تشبع لانجليير LSI ومؤشر استقرار رينزاري RSI.

المواد وطرق العمل

تمثل الموارد المائية أهمية محورية لحياة الانسان في العالم وخاصة في ظل شح هذه الموارد، الأمر الذي يدعو إلى توجيه الاهتمام المناسب للتحليل والدراسة والبحث في كافة القضايا والجوانب التي من شأنها أن تسهم في تنمية وصيانة هذه الموارد، وتحقيق أقصى المستويات الممكنة في جودتها وكفاءة استخدامها [1]. وتتباين مصادر المياه الجوفية على نطاق واسع من حيث جودتها الكيميائية، وهذا التنوع يجعل من الماء مقبولاً تارةً وغير مرغوب فيه تارةً أخرى بسبب تفاوت التركيب الكيميائي للمياه الجوفية من منطقة إلى أخرى وفقاً لتنوع الصخور والمعادن المتواجدة بالتكوينات الجيولوجية للأحواض المائية الجوفية، وتحوي المياه الجوفية على العديد من الأيونات المعدنية الذائبة مثل أيونات الكالسيوم، الماغنسيوم، البوتاسيوم، الصوديوم الكلوريد، الكبريتات والبيكربونات، إضافة إلى أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل الناتجة من تأين الماء وبعض الغازات الذائبة في الماء مثل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين والميثان والنتروجين التي يكون مصدرها في الغالب العمليات الحيوية [2]. إن وجود بعض هذه الأيونات والمركبات يكون نشطاً كيميائياً ويساعد على حدوث التآكل؛ أي أنها تساعد على حدوث التوصيل الكهربائي من ناحية وتؤثر على التوازن الكيميائي المتحكم في تفاعلات إذابة وترسيب كربونات الكالسيوم من ناحية أخرى [2]. التآكل هو النتيجة النهائية للتفاعل الكهروكيميائي بين الماء والمكونات المعدنية، وهناك عوامل مسببة للتآكل تشمل الحموضة والعسورة والكلوريد والأكسجين الذائب، أما تكوين القشور Scales فيعتمد على درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيزات HCO_3^- و CO_3^{2-} و Ca^{2+} و Mg^{2+} . يمكن أن يؤدي حدوث تشكّل القشور والتآكل في المياه الطبيعية والمعالجة إلى مشاكل تشغيلية وتكلفة خطيرة في الصناعات وأنظمة إمدادات مياه الشرب. لغرض تقييم آكالية المياه وإمكانية تشكّل الرواسب القشرية، توجد عدة مؤشرات تستخدم لهذا الغرض ولكن يُعد مؤشر تشبع (LSI) ومؤشر إستقرارية (RSI) من أهم مؤشرات تشبع CaCO_3 ، حيث يحدد المؤشر الأول ما إذا كان الماء لديه ميل لترسيب أو ذوبان كربونات الكالسيوم CaCO_3 بينما يقوم المؤشر الثاني بتقدير الكمية المترسبة أو المذابة من كربونات الكالسيوم CaCO_3 حيث أن المياه مفرطة التشبع تشكل القشور على نطاق واسع بينما المياه غير المشبعة تسبب التآكل [3]. وتسبب ظاهرة التآكل مشاكل عدة منها إنطلاق المعادن مثل الرصاص في مياه الشرب [4، 5]، والنحاس [6، 7] والفاناديوم [8] والمعادن النادرة مرتبط أيضاً بتآكل الأنابيب المعدنية [9]. كما أن التآكل يعتبر من العوامل المسببة لتسرب المياه في أنظمة توزيع مياه الشرب وعدم إحتساب المياه في شبكات التوزيع [10، 11]. إضافة لذلك، يسبب تشكّل القشور في إندداد خطوط نقل المياه وإنخفاض كفاءة السخانات [3]. يسبب التآكل خسائر مادية بشكل عام وبشكل خاص يفرض

(pH) فتم قياسه مباشرة عند جمع العينات باستخدام جهاز قياس الأس الهيدروجيني الرقمي الحقلي من نوع LaMotte pH tester10 بعد معايرة الجهاز باستخدام محلول منظم pH10 و pH 4. إضافة لذلك، تم قياس الأملاح الذائبة الكلية TDS حقلياً باستخدام جهاز قياس الأملاح الذائبة الكلية الحقلي من نوع LaMotte TDS tester11. تم قياس العسورة الكلية باستخدام معايرة المعقدات حسب ما ورد في [24]. وأيضاً تم تقدير القلوية الكلية بالمعايرة بحمض الهيدروكلوريك القياسي HCl واستخدام الأدلة اللونية للكشف عن نقطة نهاية التفاعل وفقاً للطريقة الميمنة في [25].

تقدير مؤشرات التآكل وتكوين القشور
تم حساب مؤشر لانجلير من خلال المعادلة (1):

$$LSI = pH - pHs \quad (1)$$

قيمة pHs هي قيمة pH المياه عندما تكون مشبعة بـ كربونات الكالسيوم وتحسب من المعادلة (2):

$$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

حيث أن:

$$A = \frac{\log_{10}(TDS) - 1}{10}$$

$$B = -13.12 \log_{10}(C^0 + 273) + 34.55$$

$$C = \log_{10}(Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3) - 0.4$$

$$D = \log_{10}(Alkalinity \text{ as } CaCO_3)$$

وأيضاً تم حساب مؤشر زيننار بواسطة المعادلة (3) التالية:

$$RSI = 2(pHs) - pH \quad (3)$$

الجدول (2) يفسر ويصف حالة المياه من خلال قيم مؤشري LSI و RSI المتحصل عليهما من المعادلتين (1) و (3).

الجدول 2: يوضح تصنيف أكالية المياه حسب مؤشري LSI و RSI

حالة الماء	المؤشر RSI	حالة الماء	المؤشر LSI
تشكيل قشور مرتفع	5.4	تآكل لا يطاق	2-LSI >
تشكيل قشور طفيف	6-5	تآكل عالي	0.5 > LSI > 2-
متعادل	7-6	تآكل طفيف لكن بشكل قشور	0 > LSI > 0.5-
أكالة بشكل طفيف	7.5-7	محايد	0=LSI
أكالة بشكل عالي	9-7.5	تشكيل قشور بشكل طفيف	0.5 > LSI > 0
أكالة بشكل لا يطاق	9 <	تشكيل قشور	2 > LSI > 0.5

المصدر: [26]

التحليل الاحصائي

تم تحليل البيانات إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الاحصائي IPM SPSS Statistics الإصدار 20

النتائج والمناقشة

1. القياسات الفيزيوكيميائية

الأس الهيدروجيني

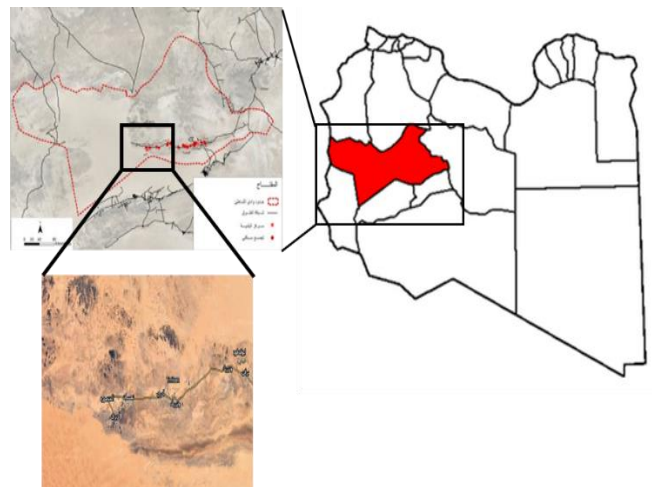
تم قياس الأس الهيدروجيني لعدد 12 بئر وأظهرت النتائج أن القيم كانت متعادلة، حيث تراوحت قيم pH بين 6.5 و 8.0 وبمتوسط بلغ

موقع الدراسة

تقع بلدية إدري في منطقة وادي الشاطيء في الجزء الشمالي من حوض مرزق ويمتد هذا الوادي بشكل طولي بين خط طول 13 إلى 15 شرقاً، بينما يمتد من الشمال إلى الجنوب بين دائرتي عرض 27'20° و 27'39° ويبلغ طول الوادي حوالي 200 كم من الشرق إلى الغرب ويعرض يتراوح بين 8 كم إلى 20 كم ويصل إرتفاعه في بعض الأماكن إلى 400 متر فوق سطح البحر [23]. وتبلغ مساحتها 97,160 كم مربع وتمتد من أشكدة شرقاً حتى منطقة إدري غرباً. ويضم وادي الشاطيء ثلاث بلديات هي بلدية براك وبلدية القرضة وبلدية إدري. تقع بلدية إدري في الجزء الغربي من الوادي، الشكل (1)، تم إجراء هذه الدراسة على بعض آبار المياه الجوفية في مناطق بلدية إدري وهي ونزريك والحطية وتمسان ومنصورة وإدري، كما هو مبين في الجدول (1) والذي يوضح إحداثيات الآبار في بلدية إدري.

الجدول 1: يوضح مواقع الآبار في منطقة الدراسة وإحداثياتها

المنطقة	البئر	الإحداثيات
ونزريك	W ₁	27 48' 49.9 N 13 32' 44.3 E
	W ₂	27 48' 39.1 N 13 33' 09.8 E
الحطية	H ₁	27 49' 64.7 N 13 28' 33.4 E
	H ₂	27 49' 58.4 N 13 28' 11.2 E
تمسان	T ₁	27 48' 34.3 N 13 34' 16.6 E
	T ₂	27 48' 51.5 N 13 32' 46.8 E
	T ₃	27 48' 56.8 N 13 10' 95.2 E
إدري	E ₁	27 44' 05.2 N 13 05' 05.9 E
	E ₂	27 45' 42.1 N 13 05' 55.6 E
	E ₃	27 43' 72.1 N 13 04' 75.1 E
المنصورة	M ₁	27 50' 33.9 N 13 27' 55.1 E
	M ₂	27 49' 91.7 N 13 04' 36.6 E



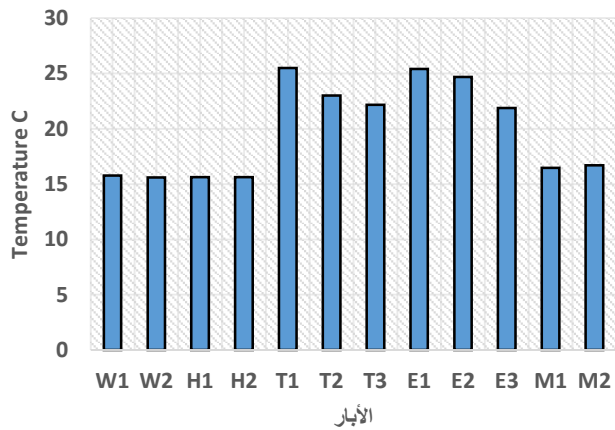
شكل 1: خريطة موقع الدراسة

جمع العينات

جمعت العينات خلال شهري يناير وفبراير 2022 حيث تم جمعها في قنينات نظيفة سعتها 500 مل مباشرة من آبار المياه الجوفية وبعد ثلاث مكررات لكل بئر، وتم أخذ قياسات الأس الهيدروجيني pH ودرجة الحرارة و TDS حقلياً ومباشرة أثناء جمع العينات، ومن ثم نقلت العينات إلى المعمل لإجراء التحليل الكيميائي الأخرى.

القياسات الفيزيوكيميائية

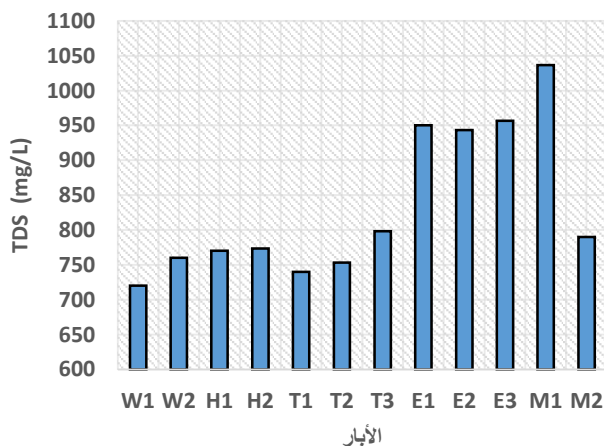
تم قياس درجة الحرارة حقلياً بالتزامن مع جمع العينات باستخدام جهاز قياس درجة الحرارة من نوع LaMotte موديل 545. أما الأس الهيدروجيني



الشكل 3: درجات الحرارة لمياه آبار منطقة الدراسة

الأملاح الذائبة الكلية

الشكل 4 يوضح نتائج قياس الأملاح الذائبة الكلية في عينات 12 بئر في مناطق بلدية إدري. من الشكل نلاحظ أن تراكيز TDS تراوحت بين 710 و 1050 ملجم/لتر وبمتوسط بلغ 104.34 ± 832.64 ملجم/لتر. النتائج أظهرت أيضا أن آبار إدري والمنصورة سجلت إرتفاعاً في قيم TDS مقارنة بآبار المناطق الأخرى. إن وجود الأملاح الذائبة الكلية TDS له تأثير واضح علي صفات المياه مثل الطعم والعسرة والميل إلي تكوين القشور، فالمياه ذات المحتوى العالي من الأملاح الكلية المذابة تكون أقل إستساغة للمستهلك. ونتائج هذه الدراسة لم تتطابق مع ما ذكرته شبيبة وآخرون، [23] حيث أوضحت أن التركيز TDS في مناطق بلدية إدري بلغ 552 ملجم/لتر. نلاحظ ان نتائج الدراسة أعلى مقارنة بدراسة شبيبة وآخرون والتي عزت أسباب ذلك إلى توقف بعض المشاريع الزراعية في الفترة الأخيرة مما ساهم في إنخفاض مقدار السحب الهائل للمياه الجوفية وبالتالي حافظ قليلاً على قيمة التراكيز لتكون مستقرة نسبياً عن آخر دراسة قبل توقف تلك المشاريع، ويمكن ان يكون هناك سبب آخر وهي زيادة استنزاف المياه الجوفية من قبل المزارع التي تعتمد على الري المحوري والذي ربما أدى الى زيادة تركيز الاملاح الذائبة في هذه الابار خاصة في آبار إدري والمنصورة. كما أن الاختلاف في التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة ربما خلق هذا التباين في تراكيز TDS بين الابار في مناطق بلدية إدري.

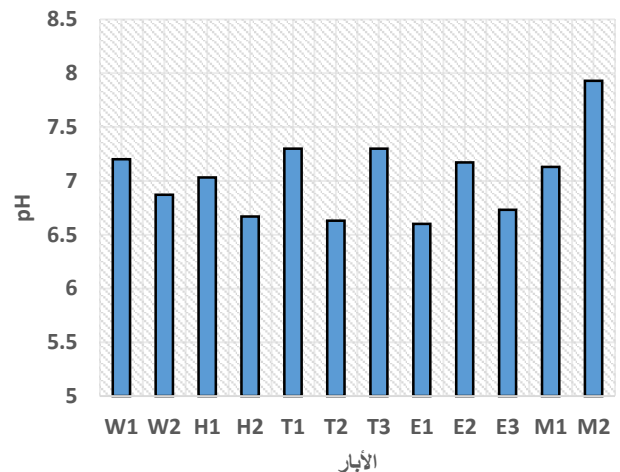


الشكل 4: الأملاح الذائبة الكلية TDS لأبار منطقة الدراسة

عسورة الكالسيوم

النتائج أظهرت أن عسورة الكالسيوم تراوحت بين 24 و 189.3 ملجم/لتر

0.39 ± 7.05 (الشكل 2). كما أوضحت النتائج أن أقل قيمة للأس الهيدروجيني كانت في بئر T2، H2 و E1، بينما كانت أعلى قيمة في بئر M2. وعلى أية حال فإن النتائج المتحصل عليها كانت قريبة من نتائج الدراسة التي أجراها [27] في أدري والمنصورة وتمسان والتي أظهرت أن نتائج الأس الهيدروجيني كانت 6.71، 6.86 و 7.35 على التوالي، وأيضاً توافقت النتائج المتحصل عليها مع نتائج دراسة شبيبة وآخرون، [23] والتي ذكرت أن الأس الهيدروجيني للمنطقة الغربية (وهي منطقة الدراسة) لوادي الشاطيء بلغ 7.26. ويعتبر الأس الهيدروجيني مقياساً للتوازن الحمضي والقلوي الذي تحققه عدة مركبات ذائبة في الماء، غير أن هناك عوامل أخرى تتحكم في قيمته، فعندما يرتفع الرقم الهيدروجيني تكتسب مياه الشرب طعمًا لاذعًا وتزداد كذلك كثافة اللون، وفي المقابل عند إنخفاضه يؤثر علي تآكل المعادن المسببة للسمية مثل معدن الرصاص، كما أن إرتفاع قيم تركيز الهيدروجين في الوسط الحمضي يؤدي إلى إنخفاض أيونات الكربونات والبيكربونات مما يؤدي إلى تحللها لتنتج ثاني أكسيد الكربون الذي أيضا بدوره يعمل على زيادة البروتونات في المحلول ويفعل من نصف التفاعل الكاثودي. ولا توجد علاقة مباشرة بين الأس الهيدروجيني لمياه الشرب وصحة الانسان ولكن له تأثير غير مباشر علي الصحة العامة وإن كانت العلاقة تخص جوانب متعددة لجودة المياه [28].

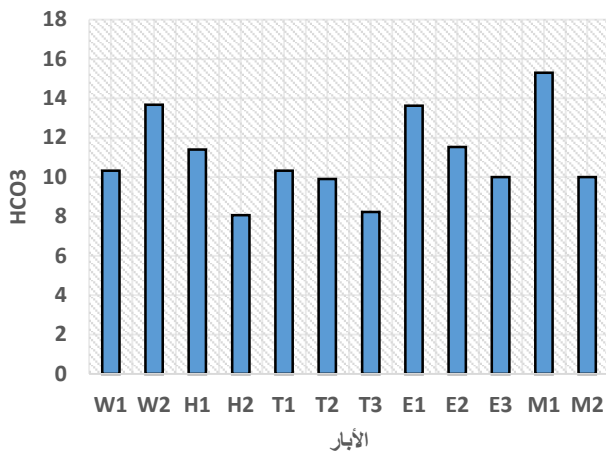


الشكل 2: قيم الأس الهيدروجيني لمياه آبار منطقة الدراسة

درجة الحرارة

الشكل 3 يوضح درجات حرارة المياه التي أخذت في الفترة ما بين شهري يناير وفبراير، من هذا الشكل نلاحظ أن أقل درجة حرارة سجلت 15.5 م° كانت في بئر W2 بينما أعلى درجة حرارة كانت 25.5 م° والتي سجلت في البئر T1 في حين بلغ متوسط درجة حرارة المياه في المنطقة قيد الدراسة 4.11 ± 19.87 درجة مئوية. من الشكل نلاحظ أن درجة الحرارة لمياه ونزريك والحطية والمنصورة لها درجة حرارة أقل من مياه آبار تمسان وإدري. تكمن أهمية هذا المتغير في قياس أدلة التشبع. إن الإختلاف في درجات الحرارة ربما يكون راجع إلى الإختلاف في عمق الآبار.

HCO₃ تراوحت بين 7.30 إلى 15.30 ملجم/لتر وبمتوسط بلغ 2.20±11.03 ملجم/لتر. وقد يعزى هذا الاختلاف إلى التكوين الجيولوجي في منطقة الدراسة، وكذلك إختلاف أعماق الآبار المدروسة كل ذلك بسبب تباين واضح في قيم تركيزات أيونات العناصر [23].



الشكل 6: القلوية الكلية لمياه آبار منطقة الدراسة

2. قياس الأكالية وإمكانية الترسيب

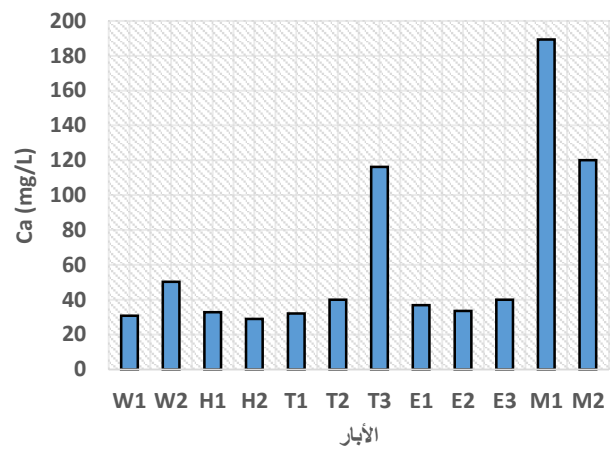
درجة التفاعل pH والأكالية

في حالة غياب البيانات الفعلية العملية حول التآكل، فإن قيمة درجة التفاعل pH للمياه يمكن أن تستعمل لمعرفة الشدة المحتملة لحدوث التآكل، وكذلك كدليل على ميل المياه لإحداث التغطيات والترسبات القشرية الصلدة على الأنابيب أو المضخات أو الخزانات أو الغلايات وغيرها. فالمياه ذات درجة التفاعل أقل من 6.5 يمكن أن تكون مسببة للتآكل، أما المياه ذات درجة تفاعل أعلى من 7.5 تكون آمنة ضد التآكل، وهناك إمكانية لظهور الترسبات القشرية التي قد توفر الحماية من التآكل ولكنها قد تسبب أنسداد جزئي أو كلي للأنابيب وخاصة الصغيرة منها. أما المدى ما بين هاتين الدرجتين فيكون غير مؤكد لحدوث التآكل وكذلك الترسيب [2]. وعند إستعمال مؤشر درجة التفاعل كما في الشكل 2 تبين أنه معظم العينات وقعت في المدى غير المؤكد لحدوث الترسبات القشرية أو التآكل، حيث كانت هذه العينة تقع في منطقة ما بين 6.5 و 7.5 [2].

مؤشر التشبع لانجلير (LSI) Langelier Saturation Index

النتائج المجدولة في الجدول 4 توضح قيم مؤشر لانجلير للآبار قيد الدراسة حيث أستخرجت هذه القيم من خلال المعادلة (1). وقد تراوحت قيم مؤشر LSI ما بين -0.87 إلى 2.9، وقد أظهرت آبار مياه المنصورة M₂ أقل مؤشر للأكالية، وفي المقابل كان أعلى مؤشر ظهر في بئر الحطية H₂، غير أن هناك آبار أخرى أعطت مؤشرات عالية لا تقل خطورة عن بئر H₂ مثل بئر تمسان T₂ وبئر إدري E₁. وكما هو واضح من خلال هذا الجدول أن جميع عينات الآبار في منطقة الدراسة تعتبر تحت حالة التشبع فيما يتعلق بتركيزات الكالسيوم، لذلك تميل هذه المياه إلى إزالة طبقات الكالسيوم التي ترسب داخل الأنابيب والسخانات وبالتالي توصف هذا النوع من المياه بأنها ذات أكالية خطيرة. والجدير بالذكر أن هذه المناطق تشهد معدلات تآكل عالية في وحدات نقل المياه من أنابيب ومضخات وكذلك السخانات المنزلية مما يزيد ويرهق كاهل

وبمتوسط بلغ 49.79±62.58 ملجم/لتر، حيث كانت أقل قيمة في بئر H₂ (28.97 ملجم/لتر) وأعلى قيمة كانت في بئر M₁ (189 ملجم/لتر) (الشكل 5). هذه النتائج تطابقت مع دراسة العلواني والأمين، [27] التي أجريت في كل من أدري والمنصورة وتمسان والتي أظهرت أن متوسط الكالسيوم كان 40، 36 و 40 ملجم/لتر على التوالي. وقد ذكرت شيبية وآخرون، [23] أن تركيز العسورة في مناطق بلدية إدري قد إرتفعت عبر الزمن والذي ربما يرجع ما ذكرته من الاستنزاف المكثف وأيضا ربما يرجع إلى إختلاف التكوينات الجيولوجية للمنطقة. إن عسر المياه لا يمثل مركباً أو عنصراً منفرداً، وإنما سببه مجموعة من الأملاح الطبيعية الذائبة (كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنيسيوم وكبريتات الماغنيسيوم) والتي ربما يُعزى إليها هذه الظاهرة، بالإضافة إلى مكونات أخرى بدرجة أقل مثل كربوناتوبيكربونات وكبريتات كل من الإسترنشيوم والباريوم والسيليكا وأملاح الحديد والمنجنيز والألومنيوم وجميع أملاح المعادن الثقيلة الذائبة [29].



الشكل 5: عسورة الكالسيوم لمياه آبار منطقة الدراسة

الجدول 3 يوضح تصنيف عسورة الماء (كربونات الكالسيوم) للآبار المياه المدروسة. من خلال هذا الجدول يتضح أن غالبية المياه في منطقة الدراسة كانت يسرة soft بإستثناء بئري T₃ و M₂ اللتان أظهرتا أن المياه فهما كانت متوسطة العسورة، وفي المقابل كانت المياه عسرة جدا في البئر M₁.

جدول 3: يوضح عسرة الكالسيوم للآبار في منطقة الدراسة

البئر	Ca	العسورة Hardness
W ₁	30.87	يسرة Soft
W ₂	50.26	يسرة Soft
H ₁	32.89	يسرة Soft
H ₂	28.97	يسرة Soft
T ₁	32	يسرة Soft
T ₂	40	يسرة Soft
T ₃	116.27	متوسطة العسورة Moderately Hard
E ₁	36.8	يسرة Soft
E ₂	33.6	يسرة Soft
E ₃	40	يسرة Soft
M ₁	189.3	عسرة جدا Very Hard
M ₂	120	متوسطة العسورة Moderately Hard

القلوية الكلية

الشكل 6 يوضح نتائج قياس القلوية الكلية في عينات 12 بئر في مناطق ونزريك والحطية وتمسان والمنصورة وإدري. من الشكل نلاحظ أن تراكيز

9.8	8.5	15.3	189.3	1036.67	7.13	16.47	M1
9.7	8.8	10	120	790	7.93	16.7	M2

الشكل (7) يوضح صور لبعض الأضرار الناجمة عن تآكل المعادن نتيجة لعدم قدرة هذه المياه على ترسيب كربونات الكالسيوم التي لها القدر على حماية الأسطح من التآكل، هذه الأضرار سوف تزيد من كلفة التآكل عن طريق استبدال القطع المتآكلة بشكل دوري وأيضا فقد المنتج عن طريق تسرب المياه من شبكات التوصيل ومن أنظمة التسخين. النتائج أكدت ان جميع مياه الآبار لها صفة العدوانية أي أنها تميل بدرجة كبيرة لإحداث تآكل المعادن في مكونات شبكات المياه، فأغلب الأضرار التي يواجها المستهلكين تتمثل في تآكل سخانات وحدوث تسرب المياه منها، وأيضا تلف مضخات المياه سواء المنزلية أو الزراعية بحيث يصبح عمرها أقل من المتوقع.



الشكل 7: الأثار السلبية لنوعية المياه في منطقة الدراسة

الاستنتاجات

أوضحت هذه الدراسة مدى أكلية المياه وقابليتها لترسيب القشور في بعض آبار المياه الجوفية في مناطق ونزريك والحطية وتمسان والمنصورة وإدري (بلدية إدري) الواقعة في المنطقة الغربية لوادي الشاطئ. وقد أجريت القياسات الفيزيوكيميائية المتمثلة في درجة حرارة المياه والأمس الهيدروجيني والأملاح الذائبة الكلية وعسورة الكالسيوم والقلوية الكلية، ومن ثم استخدمت هذه البيانات في قياس أكلية وعدوانية المياه ومدى قدرتها على تكوين القشور باستخدام مؤشري Langelier Saturation Index (LSI) و Ryznar Stability Index (RSI). وقد استنتجت هذه الدراسة النقاط الآتية:

- 1) النتائج أظهرت أن قيم الأمس الهيدروجيني تراوحت بين تراوحت بين 6.5 و 8.0 وبمتوسط بلغ 7.05 ± 0.39 . كما أوضحت النتائج أن أقل قيمة للأمس الهيدروجيني كانت في بئر H₂T₂ و E₁، بينما كانت أعلى قيمة في بئر M₂.
- 2) أظهرت النتائج أن أقل درجة حرارة سجلت بلغت 15.5 م° كانت في بئر W₂ بينما أعلى درجة حرارة كانت 25.5 م° والتي سجلت في البئر T₁ في حين بلغ متوسط درجة حرارة المياه قيد الدراسة 19.87 ± 4.11 درجة مئوية.
- 3) متوسط عسورة الكالسيوم بلغ 62.58 ± 49.79 ملجم/لتر مما يؤكد أن أغلب المياه كانت يسرة، لكن بعض الآبار كانت فيها المياه متوسطة العسورة وعسرة جدا.
- 4) نتائج القلوية الكلية بينت أن تراكيز HCO₃ تراوحت بين 7.30 الى 15.30 ملجم/لتر وبمتوسط بلغ 11.03 ± 2.20 ملجم/لتر.
- 5) وفقاً لمؤشر لانجلير LSI فإن النتائج أظهرت أن المياه الآبار في منطقة الدراسة كانت أكالة جداً وأن هذه المياه لا يمكن أن ترسب فيها كربونات الكالسيوم.

المستهلك جراء هذه المشكلة. وبالرجوع إلى الجدول (4) يمكن الربط بين نتائج عسورة الماء ونتائج مؤشر لانجلير، ومنها يمكن ملاحظة أن الآبار التي أظهرت أكلية عالية كانت مياه يسرة ومستوى الكالسيوم فيها منخفضاً مما يدل على عدم قدرتها على تكوين القشور التي تحمي أسطح المعادن من هجوم التآكل. من جانب آخر نجد أن الآبار مثل T₃ (متوسطة العسورة) و M₁ (عسرة جدا) و M₂ (متوسطة العسورة) كان مؤشرها حسب لانجلير أقل أكلية وبالتالي ربما سيكون معدل التآكل فيها أقل نظراً لقدرتها على تكوين القشور بشكل بسيط.

الجدول 4: يوضح نتائج الخصائص الفيزيوكيميائية ونتائج مؤشر Langelier Index (LSI)

البئر	T	pH	TDS	Ca	HCO ₃	pHs	LSI
W ₁	15.77	7.2	720	30.87	10.33	9.4	-2.2
W ₂	15.6	6.87	760	50.26	13.67	9.1	-2.2
H ₁	15.63	7.03	770	32.89	11.4	9.3	-2.1
H ₂	15.63	6.67	773.33	28.97	8.07	9.5	-2.9
T ₁	25.5	7.3	740	32	10.33	9.2	-1.9
T ₂	23	6.63	753.33	40	9.9	9.1	-2.5
T ₃	22.17	7.3	798.33	116.27	8.23	8.8	-1.5
E ₁	25.4	6.6	950	36.8	13.63	9	-2.4
E ₂	24.7	7.17	943.33	33.6	11.53	9.1	-2
E ₃	21.87	6.73	956.67	40	10	9.2	-2.5
M ₁	16.47	7.13	1036.67	189.3	15.3	8.5	-1.3
M ₂	16.7	7.93	790	120	10	8.8	-0.87

2.2.3 مؤشراستقرارية ريزنار (RSI) Ryznar Stability Index

الجدول 5 يوضح قيم مؤشر ريزنار للآبار في منطقة الدراسة وقد أستنتجت هذه القيم من خلال المعادلة (3). ويختلف هذا المؤشر عن سابقه في أنه يبين فقط ما إذا كانت المياه عدوانية أم لا. ومن خلال هذه النتائج نجد أن قيم مؤشر RSI قد تراوحت ما بين 9.7 الى 12، وتعتبر هذه القيم مرتفعة جدا حسب الجدول (2) الذي أوضح أن المياه التي تكون قيم مؤشرها يقع أعلى من 9 تعتبر مياه شديدة العدوانية. وقد أظهرت آبار مياه المنصورة M₂ أقل المؤشرات عدوانية، ومن ناحية أخرى كان أعلى مؤشر ظهر في آبار W₁ و H₁ و H₂ و T₂ و E₃. ومن هنا يمكن القول أن جميع عينات الآبار في منطقة الدراسة تعتبر شديدة العدوانية تجاه المعادن التي تتكون منها شبكة المياه من أنابيب، مضخات، سخانات وحتى الاواني المعدنية المستخدمة في الطبخ. وهذا ما أكده جُل سكان هذه المنطقة من أنهم يعانون من الأثار العدوانية لهذه المياه مما يزيد من كلفة الخسائر الناجمة عن التآكل بسبب هذه المياه. وهذه النتائج تدعم نتائج مؤشر لانجلير بأن غالبية المياه في هذه البلدية توصف بأنها أكالة.

الجدول 5: يوضح نتائج الخصائص الفيزيوكيميائية ونتائج مؤشر Ryznar Index (RSI)

البئر	T	pH	TDS	Ca	HCO ₃	pHs	RSI
W ₁	15.77	7.2	720	30.87	10.33	9.4	12
W ₂	15.6	6.87	760	50.26	13.67	9.1	11
H ₁	15.63	7.03	770	32.89	11.4	9.3	12
H ₂	15.63	6.67	773.33	28.97	8.07	9.5	12
T ₁	25.5	7.3	740	32	10.33	9.2	11
T ₂	23	6.63	753.33	40	9.9	9.1	12
T ₃	22.17	7.3	798.33	116.27	8.23	8.8	10
E ₁	25.4	6.6	950	36.8	13.63	9	11
E ₂	24.7	7.17	943.33	33.6	11.53	9.1	11
E ₃	21.87	6.73	956.67	40	10	9.2	12

- [10]- Mwendera, E.J. et al., 2003. Overcoming constraints to the implementation of water demand management in southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(27): 761-778.
- [11]- Li, W.; Liu, S.; Zhao, J.; Liu, R.; Chen, Q.; Qiang Z. and Qu, J. 2011. Development of systems for detection, early warning and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study. *Journal of Environmental Sciences*. 23(11): 1816-1822.
- [12]- Taghipour, H.; Shakerkhatibi, M.; Pourakbar, M.; Belvasi, M. 2012. Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. *Health promotion perspectives*. 2(1):103-111.
- [13]- Kawamura S. 2000 Integrated designs and operation of water treatment facilities, 2nd Ed. New York: John Wily and Sons Inc.
- [14]- Salvato, J. A.; Nemerow, N. L., Agardy, F.J. 2009. Environmental Engineering. Fifth edition. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- [15]- Nawrocki, J.; Stanislawiak, Swietlik, U. R.; Olejmik, A.; Sroka, M.J. 2010. Corrosion in a distribution system: Steady water and its composition. *Water Research.*; 44: 1863-1872.
- [16]- Lianga, J.; Deng, A.; Xie, R.; Gomez, M.; Huj, Zhang J.; Ong, C. N.; Adin, A. 2013 Impact of flow rate on corrosion of cast iron and quality of remineralized seawater reverse osmosis (SWRO) membrane product water. *Desalination*. 2013; 322: 76-83.
- [17]- Melidis, P.; Sanosidou, M.; Mandusa, A.; Ouzounis, K. 2006. Corrosion control by using indirect methods. *Desalination*. 2007; 213: 152-158.
- [18]- Amouei, A.; Asgharnia, H.; Fallah, H.; Miri, S.; Momeni, H. 2017. Evaluating corrosion and scaling potential of drinking water supplies in Juybar, North of Iran. *Iranian Journal of Health Sciences*. 5(2): 11-18.
- [19]- [19] Whitters, A. 2005. Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants. *Desalination*. 179 (1-3): 11-24.
- [20]- Peng, C. Y.; Korshin, G. V.; Valentine, R.; Hill, R. L.; Friedman, A. S. 2010. Characterization of elemental and structural composition of corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems. *Water Research*. 44: 4570-80.
- [21]- World Health Organization. 2008. Drinking Water Quality Guidelines, vol.1, Geneva.
- [22]- Atasoy, A. D.; Yesilnacar, M. I. 2010. Effect of high sulfate concentration on the corrosivity: a case study from groundwater in Harran plain, Turkey. *Environ Monit Assess*. 166 (1-4): 595-607.
- [23]- شيبه، فاطمة ناجم؛ ابوعزوم، عبدالقادر ابوعزوم؛ المثاني، عبد السلام محمد؛ محمد، عائشة رمضان. 2019. بعض الآثار البيئية للتنمية بمنطقة وادي الشاطئ، جنوب غرب ليبيا. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية. المجلد (5)، العدد (1). 43-27.
- [24]- عون، أحمد إمام محمد. 2002. الماء من المصدر إلى المكب. الهيئة العامة للبيئة. طرابلس، ليبيا.
- [25]- أبوستة، مسعود فرج. 2009. تجارب في الكيمياء التحليلية. الطبعة الأولى. دار الكتب الوطنية. بنغازي، ليبيا.
- [26]- Momeni, H.; Nekounam, H.; Salmani, E. R. 2018. Corrosion and scaling potential of drinking water resources of Sarayan County, Iran. *Iranian Journal of Health Sciences*. 6(3). 36-44.
- [27]- العلواني، الأمين. 2014. قسم علوم البيئة، كلية التقنية، جامعة سبها، بحث تخرج.
- [28]- خليل، محمد أحمد السيدر. 2003. إعداد المياه للشرب والاستخدام المنزلي. الطبعة الأولى، المكتبة الأكاديمية، القاهرة، مصر.
- [29]- العروسي، حسين. 1997. الماء والحياة. الطبعة الأولى، مكتبة المعارف الحديثة، الإسكندرية، مصر.
- 6) نتائج مؤشر ثباتية زينر RSI أكدت على نتائج مؤشر LSI وأثبت أن المياه في الآبار قيد الدراسة كان عدوانية جدًا.
- أخيرًا وليس آخرًا، من خلال هذه النتائج يمكن الاستنتاج أن الآبار في منطقة الدراسة تسبب التآكل للمعادن وفساد أنظمة نقل المياه والري والأنظمة الأخرى. إن التباين الواضح في خصائص المياه الفيزيوكيميائية وأكاليهما ومدى قدرتها على تكوين قشور كربونات الكالسيوم ربما يرجع إلى عدة متغيرات منها الاختلاف في درجة حرارة مياه الآبار، واختلاف التكوينات الجيولوجية للمنطقة بسبب تفاوت التركيب الكيميائي للمياه الجوفية من منطقة إلى أخرى وفقًا لتنوع الصخور والمعادن المتواجدة بالتكوينات الجيولوجية للأحواض المائية الجوفية، وأيضًا اختلاف أعماق الآبار في منطقة الدراسة.
- التوصيات
- ومن خلال هذه الاستنتاجات نوصي باتباع بعض خطوات من خلالها التقليل من الآثار السلبية لهذه الظاهرة:
- تغيير مواصفات الآبار كأن يتم الحفر بأعماق أكبر لإستخراج مياه أكثر جودة.
 - استخدام معدات أكثر حماية مثل سخانات التي تعتمد على مبدأ الحماية الكاثودية.
 - استخدام مضخات مقاومة للتآكل مكونة من سبائك ذات قدرة عالية على المقاومة، أو أن تكون مطلية بطبقة عازلة تحمي المعادن من هجوم التآكل.
- قائمة المراجع
- [1]- الحياني، عبدالستار جبير. 2009. تقييم المياه الجوفية لبعض آبار قرية الخفاجية في محافظة الأنبار. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة. المجلد الثالث. العدد الثاني.
- [2]- أبو زخار، أحمد علي وبالاحاج، مها محمود. 2014. إستعمال بعض المؤشرات للتنبؤ بحدوث الترسبات القشرية أو التآكل للمنظومات المائية بشمال غرب ليبيا. *المجلة الليبية للعلوم الزراعية*. 19 (2-1) 1-9.
- [3]- Gupta, N.; Nafees S.M.; Jain, M.K. & Kalpana, S. 2011. Assessment of Groundwater Quality of Outer Skirts of Kota City with Reference to its Potential of Scale Formation and Corrosivity. *E-Journal of Chemistry*. 8(3), 1330-1338.
- [4]- Zietz, B.; Kevekordes, S.; and Dunkelberg, H. 2001. Lead contamination in tap water of households with children in Lower Saxony, Germany. *The Science of the Total Environment*. (275): 19-26.
- [5]- Kim, E. J.; Huggins Dan, J. E. H.; Braam, J.; and Koshowski, S. 2011. Effect of pH on the concentrations of lead and trace contaminants in drinking water: A combined batch, pipe loop and sentinel home study. *Water Research*. (45): 2763-2774.
- [6]- Boulay, N. & Edwards, M. 2001. Role of temperature, chlorine and organic matter in copper corrosion by-product release in soft water. *Water Research*. 35(3): 683-690.
- [7]- Till, H.; Merkel, H.J.U.G.; Werner, W.; Dahlke, T.; Reicherter, S.; Beuchle, G. & Siegfried, H. E. 2002. Copper corrosion by-product release in long-term stagnation experiments. *Water Research*. (36): 1547-1555.
- [8]- Tammie, L.; Gerke, K.G.S.; Maynard, J. B. 2010. Speciation and distribution of vanadium in drinking water iron pipe corrosion by-products. *Science of the Total Environment*. (408): 5845-5853.
- [9]- Kavcar, P. and Sofuoglu, S. C. 2009. A health risk assessment for exposure to trace metals via drinking water ingestion pathway. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. (212): 216-225.

