

تقدير ميل المياه الجوفية في منطقتي الباير والبسيط (شمال غرب سورية) لتشكيل رواسب حرشفية وإحداث تآكل باستخدام مؤشرات لانغوليه وريزنار

د. محمد غفر*

(تاريخ الإيداع 2023 / 9/2 – تاريخ النشر 2023 / 12 / 7)

□ ملخص □

بغية تجنب الآثار الصحية والبيئية التي يمكن أن تتجم عن المياه الجوفية ذات الخصائص المرشبة والأكالة، تم التقصي عن الخصائص المرشبة والأكالة لمياه الآبار في منطقتي الباير والبسيط عبر قياس بعض بارامترات جودة المياه (حقلياً ومخبرياً)، ومن ثم تعيين قيم مؤشر التشبع للانغوليه Langelier Saturation Index (LSI) ومؤشر التشبع لريزنار Ryznar Saturation Index (RSI)، كدالات على ميل مياه الآبار في المنطقة المدروسة على تشكيل الرواسب الحرشفية وإحداث تآكل. بصورة عامة، يُستنتج من نتائج هذا البحث بأن بارامترات تقدير جودة المياه في آبار المنطقة المدروسة تتوافق، إلى حد كبير، مع المعايير الوطنية والدولية بهذا الخصوص. من جهة ثانية، ولدى تطبيق مؤشرات لانغوليه وريزنار، كمؤشرات دالة على إمكانية تشكل رواسب حرشفية وعلى إمكانية إحداث تآكل، تشير النتائج، إلى أنه، وباستثناء مياه الآبار (W3, W4, W13, W14)، تميل مياه الآبار في المنطقة المدروسة إلى تشكيل رواسب حرشفية، مع ميل واضح إلى إحداث تآكل يتراوح بين الجدي والحاد.

الكلمات المفتاحية: مياه جوفية، جودة المياه، مؤشر التشبع للانغوليه، مؤشر التشبع لريزنار، رواسب حرشفية، تآكل (جدي وعنيف).

* أستاذ مساعد في قسم الكيمياء البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية moghafar@gmail.com

Estimation of Scaling and Corrosion Tendencies of groundwater in Al-Bayer and Al-Bassit Regions (Northwestern Syria) through the Use of Langelier Saturation Index (LSI) and Ryznar Stability Index (RSI)

Mohammad GHAFAR*

(Received 2/9/2023.Accepted 7/12/2023)

□ABSTRACT □

Scaling and corrosive properties of groundwater in Al-Bayer and Al-Bassit regions in Northwestern Syria were investigated. Samples of groundwater were collected and taken for physico-chemical analysis and some water quality parameters (field and laboratory) were determined. Langelier and Ryznar Indices were evaluated as indicators for the estimation of scaling and corrosive tendencies of groundwater in the area. It is largely concluded that the parameters of groundwater quality of the studied wells were in agreement with the national and international guidelines. Based on Langelier Saturation Index (LSI) and Ryznar Stability Index (RSI), samples of groundwater were found to be scale forming with the exception of four wells (W3, W4, W13 and W14) as well as a potentially significant tendency towards heavy corrosion.

Keywords: groundwater, water quality, Langelier Saturation Index (LSI), Ryznar Saturation Index (RSI), scale formation, corrosion (serious and aggressive).

*Assistant Professor in the Department of Environmental Chemistry at the Higher Institute for Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria/ moghafar@gmail.com.

مقدمة:

تبدي مصادر المياه الجوفية طيفاً واسعاً من الخصائص الكيميائية التي تحدد درجة جودتها وبالتالي تحديد تاريخ المياه ومنطقة المنشأ. يظهر تأثير الماء على المعدات الصناعية ونظام الأنابيب والأواني والأشياء الأخرى، بأربعة أشكال: الانسداد، الترسيب، المهاجمة والتآكل [١]. يشكل الانسداد ظاهرة معقدة ناتجة عن تراكم الترسبات غير المرغوب فيها على السطح، في حين أن الترسيب هو الظاهرة التي يتم فيها ترسيب الأملاح على السطح. يعد التآكل النتيجة النهائية للتفاعل الكيميائي الكهربي بين الماء والمكونات المعدنية. تشمل العوامل المسببة للتآكل درجة الحموضة، القساوة، تركيز الكلوريد العالي، الأكسجين المنحل وتشكل الرواسب الحرشفية (Scales Formation)، والذي يعتمد، بدوره، على درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيز كل من: HCO_3^- و CO_3^{2-} و Ca^{2+} بالإضافة إلى Mg^{2+} . يمكن أن يتسبب تشكل الرواسب الحرشفية وكذلك التآكل في المياه الطبيعية والمياه المعالجة في إحداث مشاكل تشغيلية جدية وزيادة في التكاليف وذلك عندما يتعلق الأمر بالصناعات وأنظمة إمدادات مياه الشرب [٢].

رغم الاستخدامات المتزايدة للمواد البوليميرية والألياف الزجاجية في التوصيلات وتركيبات شبكات المياه المختلفة، إلا إن التوصيلات المعدنية لا زالت تشكل جزءاً كبيراً من الشبكات بما فيها المضخات والتوصيلات داخل آبار المياه الجوفية، وتعتبر عملية تآكل أنابيب تغليف الآبار والمرشحات والمضخات من الظواهر الخطيرة التي يلعب الماء دوراً رئيسياً في إحداث التآكل الكهربي، وتختلف أنواع المياه حسب مصدرها في تأثيرها على معدل تآكل المعادن المغمورة بها، حيث يمكن أن يتراوح هذا التأثير بين ضعيف الشدة إلى مرتفع الشدة، لذلك فإن اختيار المواد المناسبة من معادن وسبائك لصناعة المعدات مثل المضخات والمرشحات تعتمد على عدة عوامل أهمها: طبيعة البيئة والتفاعلات الكيميائية والإلكتروكيميائية وتوفر فرق في الكون. من الممكن أن لا تتسبب المياه في حدوث تآكل، لكنها مرسبة ولها قابلية لتشكيل الرواسب الحرشفية التي تسبب انسداد مداخل المضخات وفتحات المرشحات في الآبار، وينتج عنه انخفاض في معدلات الإنتاج [٣].

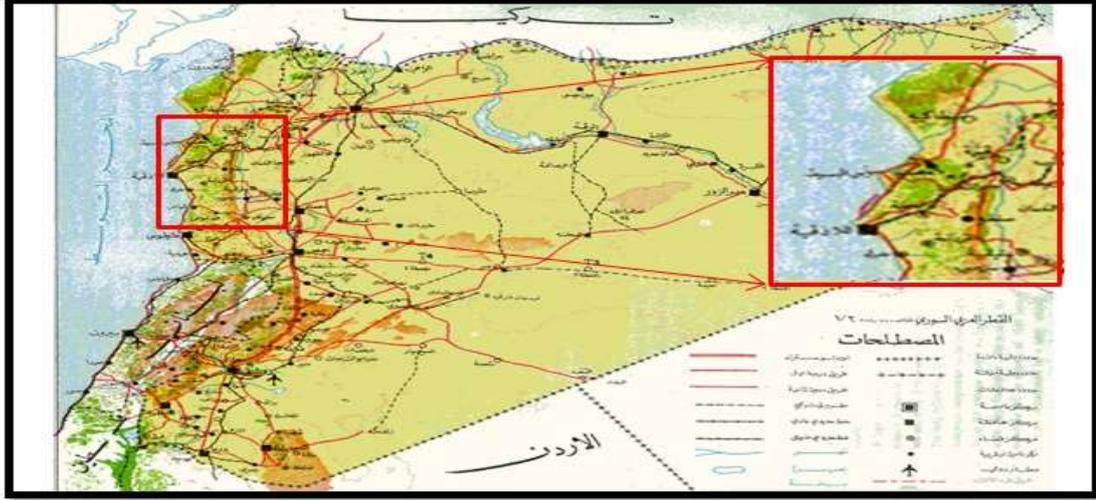
لتقييم تشكل الرواسب الحرشفية وميل المياه لإحداث التآكل، هناك العديد من المؤشرات، لكن، ورغم ذلك، تُعتبر مؤشر التشبع للانغوليه Langelier Saturation Index (LSI) ومؤشر التشبع لريزنار Ryznar Saturation Index (RSI) من أشهر المؤشرات للدلالة على التشبع بـ $CaCO_3$ ، حيث تحدد (LSI) فيما إذا كانت المياه تمتلك ميلاً لترسيب أو إذابة $CaCO_3$ ، في حين تقدر (RSI) كمية $CaCO_3$ المترسبة أو المنحلة. يُعتقد بأن المياه المفرطة التشبع تؤدي إلى تشكل الرواسب الحرشفية، في حين تُعتبر المياه غير المشبعة مسببة للتآكل [١].

أهمية البحث وأهدافه:

تتمثل أهمية البحث في تجنب الآثار الصحية والبيئية التي يمكن أن تنجم عن المياه الجوفية ذات الخصائص المرسبة والمسببة للتآكل. ويهدف البحث إلى التقصي عن الخصائص المرسبة والمسببة للتآكل لمياه الآبار في منطقة البائر والبيسط عبر قياس بعض بارامترات جودة المياه (حقلياً ومخبرياً)، ومن ثم تعيين قيم مؤشرات لانغوليه وريزنار، كدالات على ميل مياه الآبار في المنطقة المدروسة على تشكيل الرواسب الحرشفية وإحداث التآكل، وبالتالي وضع تصور لحلول علمية بغية المعالجات الأولية لهذه المياه قبل استخدامها كمياه شرب.

طرائق البحث ومواده:

تقع منطقة البايير والبسيط في الجزء الشمالي الغربي من الجمهورية العربية السورية وتشغل مساحة 180 km^2 . يحد المنطقة شمالاً كتلة جبل الأقرع ومن الجنوب والشرق نهر الكبير الشمالي ومن الغرب البحر الأبيض المتوسط كما يظهر في الشكل (1)، وتمثل عموماً منطقة جبلية متوسطة الارتفاع تتراوح بين (500-700) م فوق سطح البحر، مجزأة إلى حجيرات تضاريسية رسمتها الأودية وخطوط الصدوع، التي شوهتها الصخور الخضراء (صخور المعقد الأفوليتي) في منطقة البايير والبسيط [4].



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة ضمن خارطة الجمهورية العربية السورية

شملت الدراسة مجموعة من القرى (الضحى، الفجر، النملة، الزيتونة، بلوطة، الدفلة، الإيمان، قره فلاح) المنتشرة ضمن المنطقة المدروسة. وتم القياس، في الموقع، لقيم درجات الحرارة والحموضة والناقلية الكهربائية لمياه الآبار باستخدام جهاز (Milwaukee SM 802) وجهاز (Con 315 I / SET) على التوالي. في حين قيست درجة الحرارة باستخدام جهاز إلكتروني ($0 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$)، وذلك في فصل الشتاء من عام 2021.

تم تحديد تراكيز كل من الكالسيوم والبيكربونات للعينات المأخوذة باستخدام المعايرة الحجمية بمحلول من إيثيلين ثنائي أمين رباعي حمض الخل (Ethylenediaminetetraacetic acid) والذي يرمز له اختصاراً بالـ EDTA، وذلك بالاعتماد على العلاقتين [5]:

$$Wt_{Ca^{2+}} = \frac{M_{EDTA} \times V_{EDTA} \times 40 \times 10^5}{1000}$$

حيث:

M_{EDTA} : التركيز المولي لـ EDTA؛ V_{EDTA} : الحجم المستهلك من الـ EDTA لزوم المعايرة؛

40: الوزن الذري للكالسيوم؛ 10^5 : معامل التحويل إلى الـ ppm.

$$Wt_{HCO_3^-} = \left[\frac{N_{HCl} \times V_{HCl}}{1000} - \frac{Wt_{CO_3^{2-}}}{AeqWt_{CO_3^{2-}}} \right] \times AeqWt_{HCO_3^-}$$

حيث:

N_{HCl} : تركيز حمض كلور الماء العياري المستخدم؛ V_{HCl} : حجم حمض كلور الماء العياري المستهلك؛
 $Wt_{CO_3^{2-}}$: وزن الكربونات في العينة المدروسة؛ $AeqWt_{CO_3^{2-}}$: الوزن المكافئ للكربونات؛ $AeqWt_{HCO_3^-}$:
 الوزن المكافئ للبيكربونات.

وعلى اعتبار أن مياه الآبار في المنطقة المدروسة مخصصة، وبصورة أساسية، كمياه شرب، حُسب تركيز الأملاح الكلية المنحلة للعينات بالاعتماد على العلاقة التالية [٦]:

$$TDS = 0.65 \times EC$$

حيث:

TDS: تركيز الأملاح الكلية المنحلة مقدراً بـ mg/L .

EC: الناقلية الكهربائية مقدرة بـ $\mu S.cm^{-1}$.

تم حساب مؤشر التشبع لانغولييه (Langelier Saturation Index) للعينات بالاعتماد على العلاقة

التالية [٧]:

$$LSI = pH - pH_s$$

حيث:

LSI: مؤشر إشباع لانجولية؛

pH: درجة الحموضة المقاسة في الموقع؛

pH_s : درجة الحموضة عند الإشباع، والتي تحسب استناداً إلى العلاقة التالية [٨]:

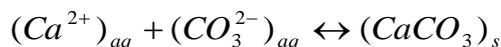
$$pH_s = -\log\left(\frac{K_a \cdot \gamma_{Ca^{2+}} \cdot [Ca^{2+}] \gamma_{HCO_3^-} \cdot [HCO_3^-]}{\gamma_{H^+} \cdot K_{sp}}\right)$$

حيث:

K_a : ثابت التوازن للمعادلة التالية: $(HCO_3^-)_{aq} \leftrightarrow (H^+)_{aq} + (CO_3^{2-})_{aq}$

$\gamma_{Ca^{2+}}$: معامل فعالية أيونات الكالسيوم؛ $\gamma_{HCO_3^-}$: معامل فعالية البيكربونات؛

γ_{H^+} : معامل فعالية أيونات الهيدروجين؛ K_{sp} : ثابت التوازن للمعادلة التالية:



كما حسبت قيم مؤشر التشبع لريزنارد (Ryznar Saturation Index) للعينات انطلاقاً من العلاقة:

$$RI = 2pH_s - pH$$

باستخدام التطبيق الحاسوبي Lenntech،

حسبت، في البداية، قيم درجات الحموضة عند الإشباع ومن ثم حسبت قيم مؤشرات لانجولية وريزنارد، وذلك بعد أن أدخلت قيم درجات

الحموضة المقاسة وتراكيز الكالسيوم والبيكربونات والأملاح الكلية المنحلة ودرجة حرارة المياه المقاسة في

الموقع. يُظهر المرفق (١) والمرفق (٢) واجهة برنامج Lenntech المستخدم في حساب مؤشرات Langelier

ومؤشرات Ryznar ودلالاتها.

النتائج والمناقشة

١- القياسات الحقلية لقيم درجة الحرارة ودرجة الحموضة والناقلية الكهربائية

وحساب الـ TDS:

يوضح الجدول (١) قيم درجة الحرارة ودرجة الحموضة والناقلية الكهربائية وكذلك قيم حساب الـ TDS لمياه الآبار المدروسة في منطقتي البابر والبسط والموزعة جغرافياً وفق ما هو موضح في الشكل (١).

الجدول (١): قيم درجات الحرارة/ الحموضة/ الناقلية الكهربائية والـ TDS لمياه الآبار المدروسة في منطقة الدراسة

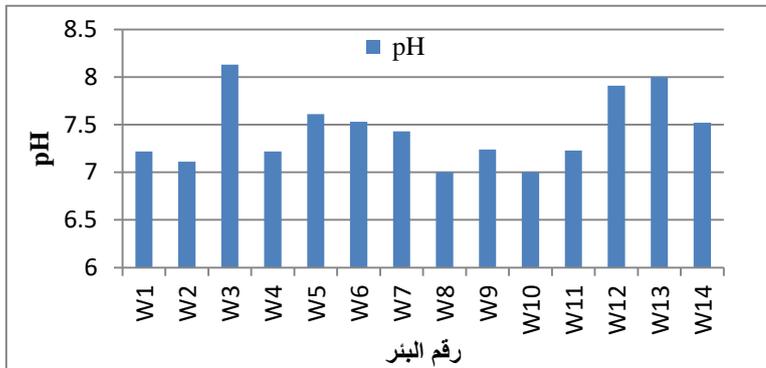
رقم العينة	المنطقة	PH	الناقلية الكهربائية (µS/Cm)	الأملاح الكلية المنحلة TDS (mg/L)	درجة الحرارة °C
W1	النملة	٧.٢٢	١١٧٥	٧٦٣.٧٥	٢٠.٢٠
W2	النملة	٧.١١	١١١٨	٧٢٦.٧٠	١٩.٧٠
W3	النملة	٨.١٣	٩١٠	٥٩١.٥٠	١٩.٩٠
W4	الإيمان	٧.٢٢	١٠٠٠	٦٥٠.٠٠	١٩.٥٠
W5	الزيتونة	٧.٦١	١٢٣٠	٧٩٩.٥٠	١٨.٥٠
W6	الضحى	٧.٥٣	٨٤٠	٥٤٦.٠٠	٢١.٢٠
W7	الضحى	٧.٤٣	١٢٢٠	٧٩٣.٠٠	٢٠.٧٠
W8	الفجر	٧.٠٠	٩٤٠	٦١١.٠٠	٢٠.١٠
W9	الفجر	٧.٢٤	١٤٠٠	٩١٠.٠٠	٢٠.٤٠
W10	الفجر	٧.٠٠	١١١٠	٧٢١.٥٠	١٩.٥٠
W11	قره فلاح	٧.٢٣	١٠٢٠	٦٦٣.٠٠	٢١.٥٠
W12	قره فلاح	٧.٩١	٩٣٠	٦٠٤.٥٠	١٨.١٠
W13	بلوطة	٨.٠٠	١٠٠٠	٦٥٠.٠٠	١٩.٥٠
W14	الدفة	٧.٥٢	٩٤٠	٦١١.٠٠	١٩.١٣

ولدى تمثيل قيم الجدول (١) بيانياً، تم الحصول على الأشكال (٢، ٣، ٤، ٥).

يُلاحظ من الشكل (٢)، بأن درجة حموضة المياه الجوفية في منطقة الدراسة تتراوح ضمن المجال ٧.٠٠ - ٨.١٣، وقيمة متوسطة تبلغ ٧.٤٤. كما يُلاحظ بأن جميع القيم تقع ضمن المجال ٦.٥٠ - ٨.٥٠، أي ضمن المجال الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية [٩].

وعلى هذا الصعيد، فإن جميع قيم

الـ pH هي أعلى من القيمة ٦.٥٠ والذالة على تجنب التآكل في جميع عينات المياه في منطقة الدراسة، إلا أن وجود قيم أعلى من ٨.٠٠ يشير إلى صعوبات لدى معالجة ونظهير مياه الشرب بالكورين [١٠].

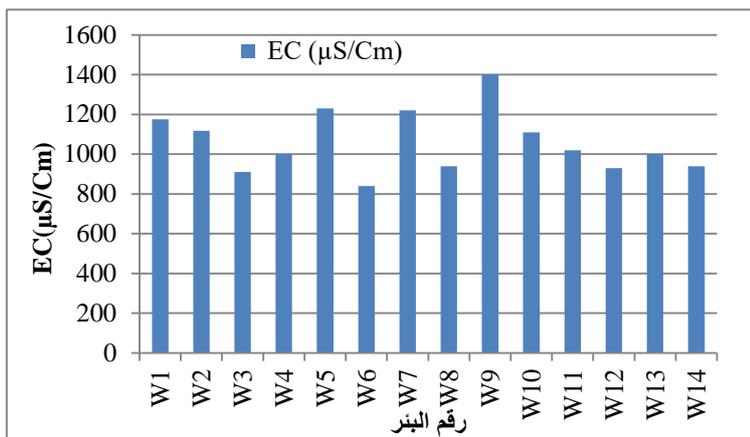


يُظهر الشكل (٣) قيم

الناقلية الكهربائية للعينات المائية المدروسة والتي تقع ضمن المجال 840 - 1400 µS/Cm، وقيمة وسطية تبلغ 1060 µS/L. ووفقاً للدليل الاسترشادي لمنظمة الصحة

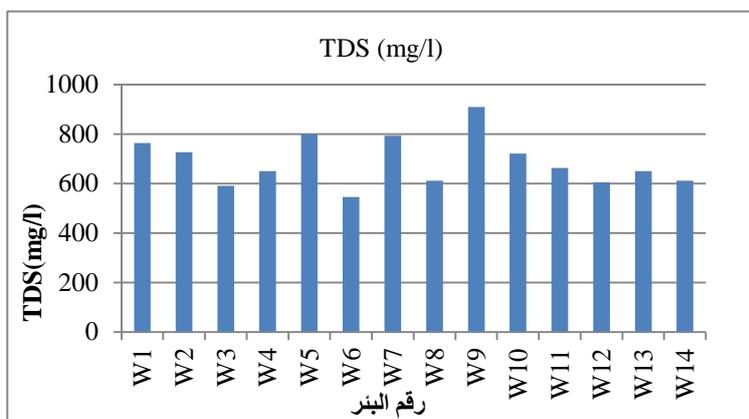
العالمية، فإن الحد المعياري المعتمد هو 1500 µS/Cm. وعليه، فإن

قيم الناقلية الكهربائية لكل العينات المائية المدروسة، تشير إلى الإشباع المنخفض بالأملاح.



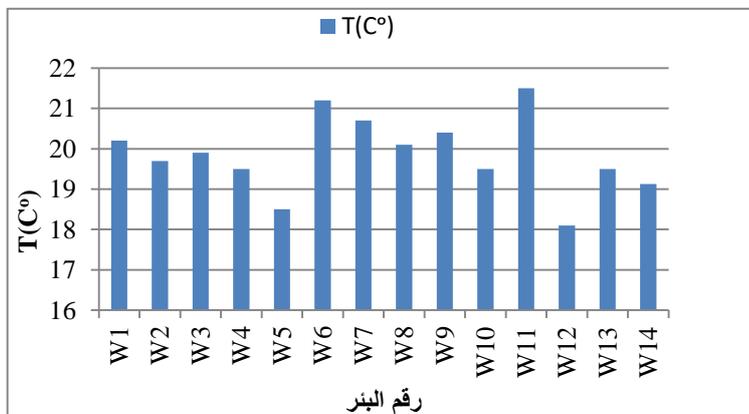
الشكل (٣): تغيرات قيم الناقلية الكهربائية لمياه الآبار في منطقة الدراسة.

تبلغ 644.07 mg/L. تشير قيم الـ TDS التي تم الحصول عليها إلى سمة من سمات التلال ومناطق التجوية



الشكل (٤): تغيرات قيم تراكيز الأملاح الكلية المنحلة (TDS) لمياه الآبار في منطقة الدراسة.

18.10 - 21.50 درجة مئوية، وقيمة وسطية تبلغ 19.85 درجة مئوية. وباعتبار درجة الحرارة معامل هام للدلالة على النشاط البيولوجي والذي يتمثل بالتفاعلات الأيضية للكائنات الدقيقة [١٣]، وبما أن درجات الحرارة



وبالنظر إلى قيم الـ TDS

لمياه الآبار في منطقة

الدراسة، والممثلة في الشكل

(٤)، فإن جميع القيم هي أقل

من قيمة الدليل الاسترشادي

لمنظمة الصحة العالمية [٩]

والمحددة بالقيمة 1000

mg/L. تتراوح قيم الـ TDS

ضمن المجال - 546.00

910.00 mg/L وقيمة وسطية

تبلغ 644.07 mg/L. تشير قيم الـ TDS التي تم الحصول عليها إلى سمة من سمات التلال ومناطق التجوية

المستمرة وفقاً لتصنيف [١١].

إن المياه الحاوية على قيم

من الـ TDS أقل من 1000

mg/L، يمكن اعتبارها مياه

عذبة وجيدة بما فيه الكفاية

لغايات الشرب والري، وهذا

لن يؤثر على الضغط

الأسموزي لمحلول التربة وفقاً

لـ [١٢].

وفقاً للشكل (٥)، تقع قيم

درجة حرارة المياه ضمن المجال

المسجلة منخفضة بالمقارنة مع

الدراسات العالمية، فهذا يعني

استبعاد قابلية هذه المياه لأن

تكون حاضنة لنمو الكائنات

الدقيقة، كما يعني ذلك غياب

الدقوق المائية الملوثة، ويمكن أن

يُعزى ذلك إلى أن مناطق الدراسة

هي مناطق خالية من الأنشطة

الصناعية ومؤثرات الطاقة [١٤]

الشكل (٥): تغيرات قيم درجات الحرارة لمياه الآبار في منطقة الدراسة.

٢- قياس تراكيز الكالسيوم والبيكربونات باعتماد المعايرة الحجمية:

يعرض الجدول (٢) تراكيز كل من Ca^{2+} و HCO_3^- بالاعتماد على المعايرة الحجمية باستخدام محاليل من الـ EDTA.

يُلاحظ من الجدول (٢) بأن قيم تركيز الكالسيوم تتراوح ضمن المجال 104.186 – 11.657

48.269 mg/L، وقيمة وسطية تبلغ 48.269 mg/L، وهي قيمة أصغر، وبصورة
الجدول (٢): تراكيز الـ Ca^{2+} , HCO_3^- اعتماداً على المعايرة الحجمية
بمحاليل من الـ EDTA الآبار في منطقة الدراسة.

رقم العينة	المنطقة	Ca^{2+} (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)
W1	النملة	٣٣.٢٧٨	٩١.١٢٠
W2	النملة	٣٤.١٢٩	٩٨.١٥٠
W3	النملة	٢٩.٨٢٨	٩٣.٦١٠
W4	الإيمان	١٠٤.١٨٦	١٢٠.٣٠٠
W5	الزيتونة	٢٧.٠٥٣	٨٠.٦٦٠
W6	الضحى	٢٥.٢٢٨	٧٠.٦٦٠
W7	الضحى	٢٧.١٤٩	٨٣.٤٤٠
W8	الفجر	٥٣.٩٩٩	٩٦.٦٥٠
W9	الفجر	٨٣.٨١٧	٩٩.١٨٠
W10	الفجر	٦٤.٠٧٤	١٠٠.٦٥٠
W11	قره فلاح	٢٨.٨٣٢	٨٠.٢٣٠
W12	قره فلاح	١١.٦٥٧	٩٠.٠٢٥
W13	بلوطة	٥٢.٢١٠	٩٩.١٣٠
W14	الذفلة	١٠٠.٣٢٠	١٣٣.٣٨٠

ملحوظة، من القيمة الحدية المشار إليها في معايير منظمة الصحة العالمية بخصوص مياه الشرب والبالغة 75 mg/L [9]. كما يلاحظ من الجدول ذاته، أن قيم تركيز البيكربونات تتراوح ضمن المجال 133.380 – 70.660 mg/L وقيمة وسطية تبلغ 95.513 mg/L، حيث أن تركيز الكربونات في المياه الطبيعية متعلق وتابع لكل من ثاني أكسيد الكربون المذاب، درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، الكاتيونات والأملاح الذائبة الأخرى. أما تركيز بيكربونات المياه الطبيعية، عادةً ما يكون ضمن نطاق معتدل، خاضعاً لآثار توازن الكربونات. تحتوي معظم الجداول السطحية على أقل من ($\frac{200}{10} = 20$) درجة عسرة فرنسية من الكربونات والبيكربونات، ولكن في المياه الجوفية أعلى إلى حد ما [١٥].

٣- حساب قيم مؤشرات Langelier ومؤشرات Ryznar ودلالاتها بالاعتماد على

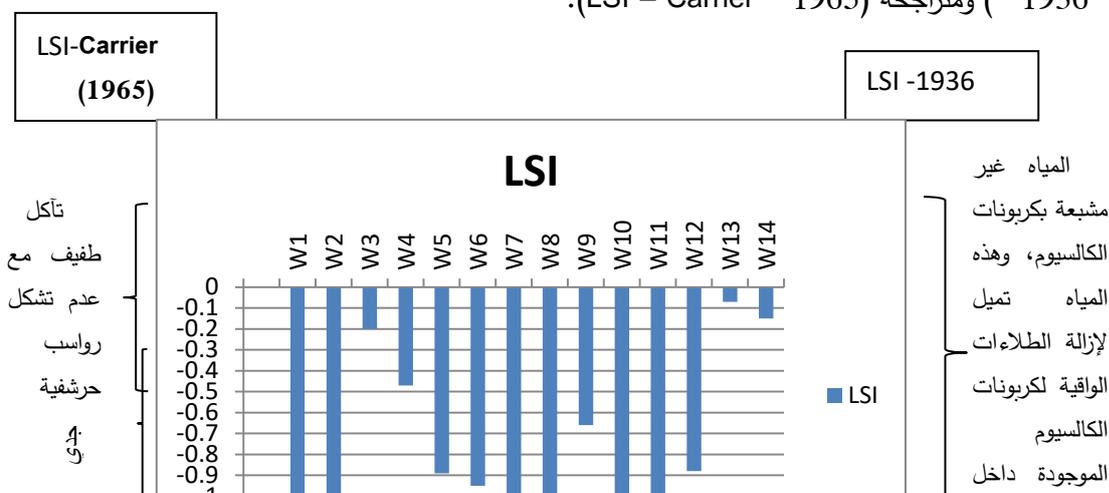
برنامج Lenntech:

تم إدخال قيم ومعطيات الجدولين (١، ٢) إلى واجهة البرنامج الحاسوبي Lenntech، ليصار بعد ذلك إلى حساب قيم درجات الحموضة عند الإشباع (pH_s) ومؤشرات Langelier ومؤشرات Ryznar ودلالاتها، وفق ما هو موضح في الجدول (٣).

الجدول (٣): قيم درجات الحموضة عند الإشباع (pH_s) ومؤشرات Langelier ودلالاتها.

رقم العينة	المنطقة	pH_s	LSI	Langelier (1936)	Carrier (1965)	الدلالة
W1	النملة	٨.٣	-1.10	تآكل جدي	تآكل جدي	
W2	النملة	٨.٣	-1.20	تآكل جدي	تآكل جدي	
W3	النملة	٨.٣	-0.20	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	المياه غير مشبعة فيما
W4	الإيمان	٧.٧	-0.47	تآكل جدي	تآكل جدي	يتعلق بكاربونات الكالسيوم، ولها ميل لإزالة
W5	الزيتونة	٨.٨	-0.89	تآكل جدي	تآكل جدي	الطلاءات الواقية
W6	الضحى	٨.٥	-0.95	تآكل جدي	تآكل جدي	للكربونات الكالسيوم الموجودة في
W7	الضحى	٨.٤	-1.00	تآكل جدي	تآكل جدي	الأنايبب والمعدن
W8	الفجر	٨.١	-1.10	تآكل جدي	تآكل جدي	
W9	الفجر	٧.٩	-0.66	تآكل جدي	تآكل جدي	
W10	الفجر	٨.٠	-1.00	تآكل جدي	تآكل جدي	
W11	قره فلاح	٨.٤	-1.20	تآكل جدي	تآكل جدي	
W12	قره فلاح	٨.٨	-0.88	تآكل جدي	تآكل جدي	
W13	بلوطة	٨.١	-0.07	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	
W14	الدفلة	٧.٧	-0.15	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	تآكل طفيف مع عدم تشكل الرواسب الحرشفية	

ولدى تمثيل قيم الجدول (٣) بيانياً، تم توضيح دلالات قيم (LSI)، من خلال الشكل (٦)، وفقاً لمتراجحة (LSI - 1936) و (LSI - Carrier - 1965).



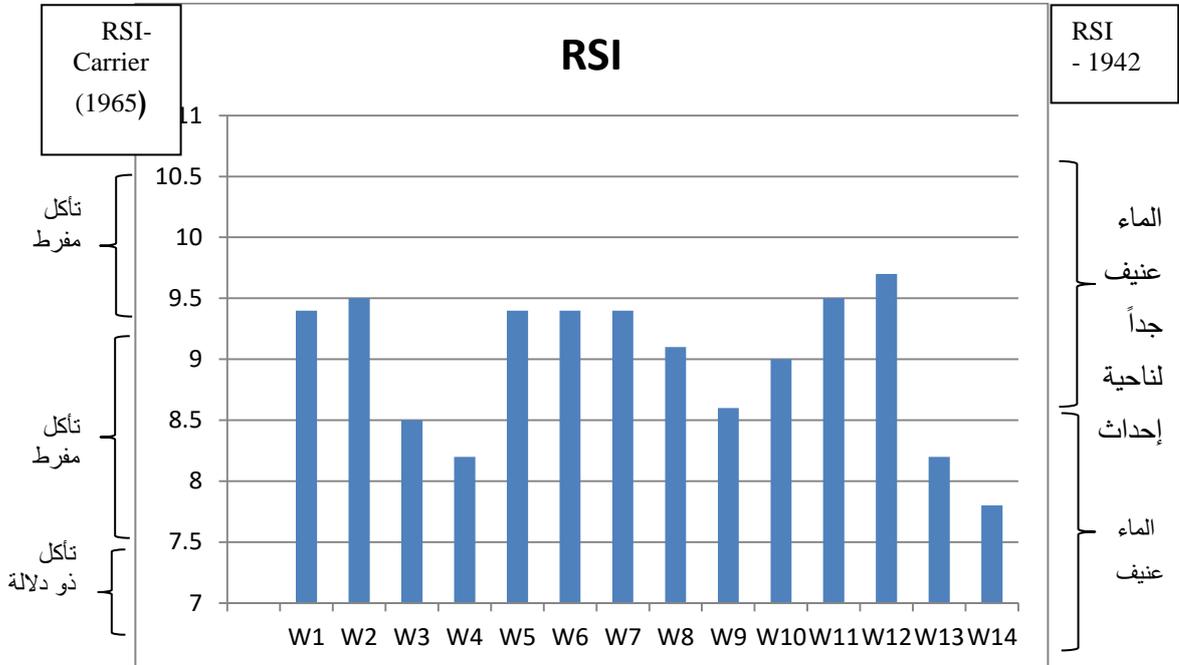
الشكل (٦): مخطط تمثيلي لقيم مؤشر التشبع للانغوليبه لمياه الآبار في منطقة الدراسة (من W1 وحتى W14) مع بيان دلالات

قيم (LSI) وفقاً لمتراجحة (LSI - 1936) و (LSI - Carrier - 1965).

الجدول (٤): قيم درجات الحموضة عند الإشباع (pH_s) ومؤشرات Ryznar ودلالاتها.

الدلالة		RSI	pH_s	المنطقة	رقم العينة
Carrier	Ryznar				
(1965)	(1942)				
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٤	٨.٣	النملة	W1
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٥	٨.٣	النملة	W2
تآكل حاد	الماء مهاجم جداً	٨.٥	٨.٣	النملة	W3
تآكل حاد	الماء هجومي	٨.٢	٧.٧	الإيمان	W4
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٤	٨.٨	الزيتونة	W5
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٤	٨.٥	الضحى	W6
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٤	٨.٤	الضحى	W7
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.١	٨.١	الفجر	W8
تآكل حاد	الماء مهاجم جداً	٨.٦	٧.٩	الفجر	W9
تآكل حاد	الماء مهاجم جداً	٩.٠	٨.٠	الفجر	W10
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٥	٨.٤	قره فلاح	W11
تآكل مفرط	الماء مهاجم جداً	٩.٧	٨.٨	قره فلاح	W12
تآكل حاد	الماء هجومي	٨.٢	٨.١	بلوطة	W13
تآكل حاد	الماء هجومي	٧.٨	٧.٧	الدفة	W14

ولدى تمثيل قيم الجدول (٥) بيانياً، تم توضيح دلالات قيم مؤشرات Ryznar ودلالاتها ، من خلال الشكل (7)، وفقاً لمتراجحة (Ryznar - 1942) و متراجحة (Carrier - 1965).



الشكل (7): مخطط تمثيلي لقيم مؤشر التشبع لريزنار لمياه الآبار في منطقة الدراسة (من W1 وحتى W14) مع بيان قيم مؤشرات Ryznar ودلالاتها، وفقاً لمتراجحتي (Ryznar.1942) و (Carrier. 1965).

علماً بأنه، وبغية استنباط الدلالات لقيم مؤشرات Langelier ومؤشرات Ryznar، تم الاعتماد على القيم والشروحات الموجودة في الجدولين (٦، ٧) [٧].

الجدول (٥): دلالات قيم (LSI) وفقاً لمتراجحة (LSI - 1936) و متراجحة (LSI - Carrier - 1965).

(LSI) Langelier (1936)		مؤشرات مبنية على مؤشر Langelier والمثبتة من قبل Carrier (1965)	
LSI	الدلالة	LSI	الدلالة
$LSI < 0$	المياه غير مشبعة بكاربونات الكالسيوم، وهذه المياه تميل لإزالة طلاءات حماية كربونات الكالسيوم الموجودة داخل الأنابيب والمعدات	$-2.0 < -0.5$	تآكل جدي
$LSI = 0$	المياه طبيعية، لا تشكل ولا إزالة للرواسب	$-0.5 < 0$	تآكل طفيف مع عدم تشكل رواسب حرشفية
$LSI > 0$	المياه فائقة التشبع فيما يتعلق بكاربونات الكالسيوم مع إمكانية تشكل الرواسب	$LSI = 0$	توازن ولكن يوجد إمكانية تحريض على التآكل
		$0.0 < 0.5$	تشكل رواسب حرشفية وآكلة
		$0.5 < 2$	تشكل رواسب حرشفية دون آكلة

الجدول (٦): دلالات قيم مؤشرات Ryznar وفقاً لمتراجحة (Ryznar - 1942) و متراجحة (Carrier - 1965).

(RSI) Ryznar (1942)		مؤشرات مبنية على مؤشر Ryznar والمثبتة من قبل Carrier (1965)	
RSI	الدلالة	RSI	الدلالة
< 5.5	تشكل رواسب حرشفية كثيفة	$4.0-5.0$	رواسب حرشفية كثيفة
$5.5 < RI < 6.2$	تشكل رواسب حرشفية	$5.0-6.0$	رواسب حرشفية خفيفة
$6.2 < RI < 6.8$	لا صعوبات	$6.0-7.0$	تحرشف طفيف أو تآكل
$6.8 < RI < 8.5$	الماء عنيف لناعية إحداث تآكل	$7.0-7.5$	تآكل ذو قيمة معنوية
$RI > 8.5$	الماء عنيف	$7.5-9.0$	تآكل حاد
		> 9.0	تآكل مفرط

يُلاحظ من الشكل (6) بأن مياه آبار منطقة الدراسة، وباستثناء الآبار (W3, W4, W13, W14)، قادرة على إحداث تآكل جدي. من جهة ثانية، يُلاحظ من الشكل (7) بأن مياه جميع آبار منطقة الدراسة قادرة على إحداث تآكل، يتراوح بين التآكل الحاد والتآكل المفرط.

بصورة عامة، يُستنتج من نتائج هذا البحث بأن بارامترات تقدير جودة المياه في آبار المنطقة المدروسة تتوافق، وإلى حد كبير، مع المعايير الوطنية والدولية بهذا الخصوص. من جهة ثانية، ولدى تطبيق مؤشرات لانغولييه وريزنار، كمؤشرات دالة على إمكانية تشكل رواسب حرشفية وعلى إمكانية إحداث تآكل، تشير النتائج، إلى أنه، وباستثناء مياه الآبار (W3, W4, W13, W14)، تميل مياه آبار منطقة الدراسة إلى تشكيل رواسب حرشفية، ويتوافق ذلك مع ميل واضح إلى إحداث تآكل يتراوح بين الجدي والحاد، وهذا يتوافق مع النتائج التي

توصل إليها B.M. Hussien وآخرون [١٦]، والذي اقترح بضرورة المعالجة الأولية لتلك المياه الجوفية، ليصار بعد ذلك إلى استخدامها كماء شرب. فيما أكدت F. Eslami وآخرون [١٧]، وبعد أن تبين بأن المياه المستخدمة لأغراض الشرب في معظم مناطق الدراسة في محافظة کرمان كانت في نطاق التآكل، وبالنظر إلى الأضرار الاقتصادية والصحية الناجمة عن هاتين الظاهرتين المتمثلتين في تشكل الرواسب الحرشفية والتآكل بواسطة الماء، أكدت على ضرورة إنجاز عمليات توازن إضافية وبخاصة ضبط درجة الحموضة بواسطة الحجر الجيري (lime).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

يُستنتج من نتائج هذا البحث بأن بارامترات تقدير جودة المياه في آبار المنطقة المدروسة تتوافق، وإلى حد كبير، مع المعايير الوطنية والدولية بهذا الخصوص. من جهة ثانية، ولدى تطبيق مؤشرات لانغوليه وريزنار، كمؤشرات دالة على إمكانية تشكل رواسب حرشفية وعلى إمكانية إحداث تآكل، تشير النتائج، إلى أنه، وباستثناء مياه الآبار (W3, W4, W13, W14)، تميل مياه آبار منطقة الدراسة إلى تشكيل رواسب حرشفية، ويتوافق ذلك مع ميل واضح إلى إحداث تآكل يتراوح بين الجدي والحاد. وعليه، ستساهم نتائج هذا البحث في وضع منهجية، على المستوى المحلي، لتقدير جودة المياه الجوفية، وبما يؤدي إلى الاستخدام المستدام لهذه المياه.

التوصيات:

تتمثل التوصية الأساسية المتحدرة من نتائج هذا البحث في ضرورة المعالجة الأولية للمياه الجوفية المخصصة للشرب عبر مزيد من البحوث والدراسات العلمية المعنية بالترسيب والترسيب المتزامن باستخدام فوسفات ثلاثية الصوديوم بغية الحصول على مياه لا تتمتع بخصائص أكالة [١٨]، وبالتالي الحد من المخاطر الصحية والبيئية لهذه المياه، والربط بين الجدوى البيئية مع الجدوى الاقتصادية.

المراجع

- [1] GUPTA, N.; NAFEES, S.M.; JAIN, M.K.; and KALOANA, 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, Vol. 8, No.3, 1330 -1338. DOI: [10.1155/2011/607836](https://doi.org/10.1155/2011/607836).
- [2] LOEWENTHAL, R E; MORRISON, I.; and WENTZEL, M C. 2004, *Control of corrosion and aggression in Drinking Water Systems*. The 1st IWA Conference on: Scaling and Corrosion in Water and Wastewater Systems, Cranfield University, UK, 25 – 27. DOI: [10.2166/wst.2004.0075](https://doi.org/10.2166/wst.2004.0075).
- [3] World Health Organization (WHO, 1993), *Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd ed., Vol. 1, Geneva, Switzerland*. 138 – 142.
- [4] ADRA, A. 2022, *Hydrogeochemical characteristics of ground water in the Bassit ophiolitic area*, Northwestern Syria, Journal of Geoscience and Environment Protection, Vol. 10, No. 12, 373 – 392. DOI: [10.4236/gep.2022.1012021](https://doi.org/10.4236/gep.2022.1012021).

- [5] AL-HAYEK, S. 2017, *Introduction to Water Chemistry, Publication of the Higher Institute for Applied Sciences and Technology, Syrian Arab Republic. Available online at: <http://www.hiast.edu.sy>.*
- [6] KUMAR, S.; SURIYANARAYANAN, A.; BANIGRAHI B.S. 2012, *Studies on performance in indices in cooling water system, Indian Journal of Chemical Technology*, Vol. 19, 75 – 80.
- [7] AMOUEI, A.; ASGHARNIA, H.; FALLAH, H.; MIRI, S.; and 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. DOI: [org/10.29252/jhs.5.2.11](https://doi.org/10.29252/jhs.5.2.11).
- [8] LennTech, (n.d.), *Langelier Saturation Index Calculator*. Retrieved from LennTech: <https://www.lennotech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>
- [9] World Health Organization (WHO, 2017), *Guidelines for Drinking Water Quality*, 4th Edition. World health organization, 174 – 175.
- [10] *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Guideline Technical Document*, pH of Drinking Water, Health Canada Ottawa, Ontario August, 2015, p. 23.
- [11] OLOBANIYI, S.B.; OGALA, J.E.; and NFOR, N.B. (2007), *Hydrogeochemical and bacteriological investigation of groundwater in Agbor area, southern Nigeria. Journal of Mining and Geology*, 43(1), 79-89. DOI: [org/10.4314/jmg.v43i1.18867](https://doi.org/10.4314/jmg.v43i1.18867)
- [12] SHAHIDULLAH, S.M.; HAKIM, M.A.; ALAM, M.S.; and SHAMSUDDOHA, A.T.M. (2000), *Assessment of groundwater quality in a selected area of Bangladesh. Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (2): 246-249. DOI: [10.3923/pjbs.2000.246.249](https://doi.org/10.3923/pjbs.2000.246.249).
- [13] MURHEKAR GOPALKRUSHNA, H. (2011), *Assessment of physico-chemical status of ground water samples in Akot city, Research Journal of Chemical Sciences*, 1 (4), 117-124. [Available online at: www.isca.in](http://www.isca.in).
- [14] IYASEL, J.U; DAVID J. and IDIATA D.J. 2015, *Investigation of the relationship between electrical conductivity and total dissolved solids for mono-Valent, di-valent and trivalent metal compounds, International Journal of Engineering Research and Reviews*, Vol. 3, Issue. 1, 40 – 48. , [Available at: www.researchpublish.com](http://www.researchpublish.com).
- [15] KRISHNA KUMAR, S.; LOGESHKUMARAN, A.; MAGESH, N.S.; GODSON, P.S.; and CHANDRASEKAR, N. (2015), *Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. Applied Water Science*, 5, 335-343. DOI: [org/10.1007/s13201-014-0196-4](https://doi.org/10.1007/s13201-014-0196-4).
- [16] HUSSIEN, B.M.; RABEEA, M.A.; and MEKHLIF, H.N. (2020), *Estimation of corrosion and encrustation from groundwater chemistry of the aquifers: a case study of Al Hammad zone. Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 14: 100334. DOI: [10.1016/j.enmm.2020.100334](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100334).
- [17] ESLAMI, F.; SALARI, M.; YOUSEFI, N.; HOSSIEN MAHVI, A., (2020), *Evaluation of quality scaling and corrosion potential of groundwater resources using stability index; case study Kerman Province (Iran)*, *Desalination and Water Treatment* www.deswater.com, 179, 19 – 27, DOI: [10.5004/dwt.2020.24999](https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24999)
- [18] GHAFAR, M., ADLE, A. 2023, *Contribute to the Removal of Mg²⁺ from Brime Produced by Reverse Osmosis Units Using Na₃PO₄*. *International Journal of*

Scientific Research in Chemical Sciences, Vol. 10, Issue-4. Available online at: www.isroset.org.

المرفق (١) واجهة برنامج Lenntech المستخدم في حساب مؤشرات Langelier ودلالاتها. <https://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>

Langelier Saturation Index Calculator

This calculator helps you determine the scaling potential of the water by using the Langelier Saturation Index formula.

Give the values of your water analysis. All the fields with * are required.

Table 1: Input table

pH	7	
Conductivity / TDS	474.5	mg/L
[Ca ²⁺]	55.61	mg/L
[HCO ₃ ⁻]	226	mg/L
Water temperature	17	degree C

Table 2: Additional data

pH =	7.7	8	8.6
TDS =	20	34483	273
[Ca ²⁺]	5	400	49
[HCO ₃ ⁻]	10	140	121
T =	20	20	20

Table 3: Results Langelier Saturation Index

pH _s	7.7
LSI	-0.70

Indication based on Langelier (1926): Water is undersaturated with respect to calcium carbonate. Undersaturated water has a tendency to Serious corrosion.

Indication based on improved Langelier by Carrier (1958):

The Langelier Saturation Index formula is: $LSI = pH - pH_s$. For an explanation of the formula click here.

المرفق (٢) واجهة برنامج Lenntech المستخدم في حساب مؤشرات Ryznar ودلالاتها. <https://www.lenntech.com/calculators/ryznar/index/ryznar.htm>

Ryznar Stability Index Calculator

This calculator helps you determine the scaling potential of the water by using the Ryznar Stability Index formula.

Give the values of your water analysis. You have to fill all the boxes with *.

Table 1: Input table

pH	7	
Conductivity in TDS	474.5	mg/l
[Ca ²⁺]	55.61	mg/L
[HCO ₃ ⁻]	226	mg/l
Water temperature	17	degree C

Table 2: Additional data

pH =	7.7	8	8.6
TDS =	20	34483	273
[Ca ²⁺]	5	400	49
[HCO ₃ ⁻]	10	140	121
T =	20	20	20

Table 3: Results Ryznar Stability Index

pH _s	7.7
RI	5.4

Indication base on Ryznar (1942): Water is aggressive.

Indication based on improved Ryznar index by: Heavy corrosion.

The Ryznar Stability Index formula is: $RI = 14 - pH_s - pH$. For an explanation of the formula click here.