"Assessment of Hydrogeochemical Characteristics of Groundwater and Surface Water Resources near the Kafriya Asphalt Quarry, Northwestern Syria"

Oday Sadek[*]
Dr. Tamem Alia[**]
Dr. Sharif Hayek[***]

(Received 13 / 4 / 2026. Accepted 24 / 6 / 2026)

□ ABSTRACT □

This study aimed to evaluate the hydrogeochemical characteristics to determine water quality in the vicinity of the asphalt quarry in Kafriya village, northwestern Syria. Seventeen water samples (11 wells, 3 springs, 3 rivers) were collected during May 2025. Physical and chemical analyses were conducted for some physical parameters (pH, EC, TDS), in addition to the concentrations of major ions.

The results showed that the water type of the samples is calcium-magnesium-bicarbonate (Ca-Mg-HCO_3), and that water-carbonate rock interaction is the dominant geochemical process controlling water chemistry, according to Piper and Gibbs diagrams.

TDS values ranged from 975 to 2480 ppm, and total hardness ranged from 410 to 1157 ppm (very hard water). Other pollution indicators (sulfate, nitrate, ammonium, phosphate) showed low concentrations.

The water is suitable for drinking according to World Health Organization standards in terms of major ions, and irrigation indices (SAR, Na%) indicated it is safe for agricultural use. However, the elevated RSC values in most samples indicate a potential risk to soil structure with long-term use.

The study recommends establishing a regular monitoring network for water quality in the area to mitigate any potential impact over time.

Keywords: Hydrogeochemistry, Water quality, Asphalt quarry, Kafriya, Piper diagram, Industrial pollution, Syrian coast.

Copyright **:**Latakia University Journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

[*] **PhD Student, Higher Institute for Environmental Research, Latakia university (formerly Tishreen) Syria. oday.sadek@latakia-univ.edu.sy**
**** Professor - Higher Institute for Environmental Research - Latakia university (formerly Tishreen) – Syria. tamim.alia@latakia-univ.edu.sy**
***** Professor, Faculty of Civil Engineering , Latakia university (formerly Tishreen) Latakia, Syria. shareefhayek@latakia-univ.edu.sy**

"تقييم الخصائص الهيدروجيوكيميائية لموارد المياه الجوفية والسطحية بالقرب من مقلع إسفلت كفرية، شمال غرب سورية"

عدي صادق [*]
د. تميم عليا [**]
د. شريف حايك [***]

(تاريخ الإيداع13/ 4/ 2026. قبل للنشر في 24/ 6/ 2026)

□ ملخّص □

هدف البحث إلى تقييم الخصائص الهيدروجيوكيميائية لتحديد جودة المياه في محيط مقلع الأسفلت بقرية كفرية، شمال غرب سورية. جمعت 17 عينة مياه (11 بئراً، 3 ينابيع، 3 أنهار) خلال أيار 2025، أجريت عليها تحاليل فيزيائية وكيميائية لبعض المعايير الفيزيائية (pH, EC, TDS) إضافةً إلى تراكيز الأيونات الرئيسة.

أظهرت النتائج أن السحنة المائية للعينات هي من نمط (بيكربونات الكالسيوم ـ المغنيسيوم)، وأن تفاعل الماء مع الصخور الكربوناتية هو العملية الجيوكيميائية المسيطرة في كيمياء المياه، وفقاً لمخططي بايبر وجيبس. تراوحت قيم (TDS) بين (975 – 2480) ppm، والقساوة الكلية بين (410 – 1157) ppm (مياه عالية القساوة). وأظهرت مؤشرات التلوث الأخرى (الكبريتات، النترات، الأمونيوم، الفوسفات) تراكيز منخفضة. إنَّ المياه صالحة للشرب وفق معايير منظمة الصحة العالمية من حيث الأيونات الرئيسة، وأظهرت مؤشرات الري (SAR, Na%) أنها آمنة للاستخدام الزراعي، إلا أنَّ قيم (RSC) المرتفعة في معظم العينات تشير إلى خطر محتمل على التربة عند الاستخدام طويل الأمد.

توصي الدراسة بإنشاء شبكة مراقبة دورية لجودة المياه في المنطقة، للحد من أي تأثير محتمل مع الزمن.

الكلمات المفتاحية: الهيدروجيوكيمياء، جودة المياه، مقلع الأسفلت، كفرية، مخطط بايبر، تلوث صناعي، الساحل السوري.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سوريا، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

[*] **طالب دكتوراه، المعهد العالي لبحوث البيئة، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا**.Oday.Sadek@latakia-univ.edu.sy
[**] **أستاذ، المعهد العالي لبحوث البيئة، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا**.tamim.alia@latakia-univ.edu.sy
[***] **أستاذ، كلية الهندسة المدنية، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) ، اللاذقية، سوريا**.shareefhayek@latakia-univ.edu.sy

مقدمة:

تعتمد جودة المياه الجوفية على التركيب الجيولوجي للصخور، وكذلك على الأنشطة البشرية المتعددة كالبناء ورمي النفايات والزراعة وغيرها. تعد البحيرات والأنهار والينابيع مصادر مهمة للمياه العذبة، حيث أنَّ المياه الجوفية ثاني أكبر مصدر للمياه العذبة بعد الأنهار الجليدية والقمم القطبية. يتم الحصول حالياً على حوالي خمس المياه المستخدمة في العالم من موارد مياه جوفية، لذلك تحظى إدارة جودة المياه الجوفية باهتمام عالمي كبير [3,2,1].

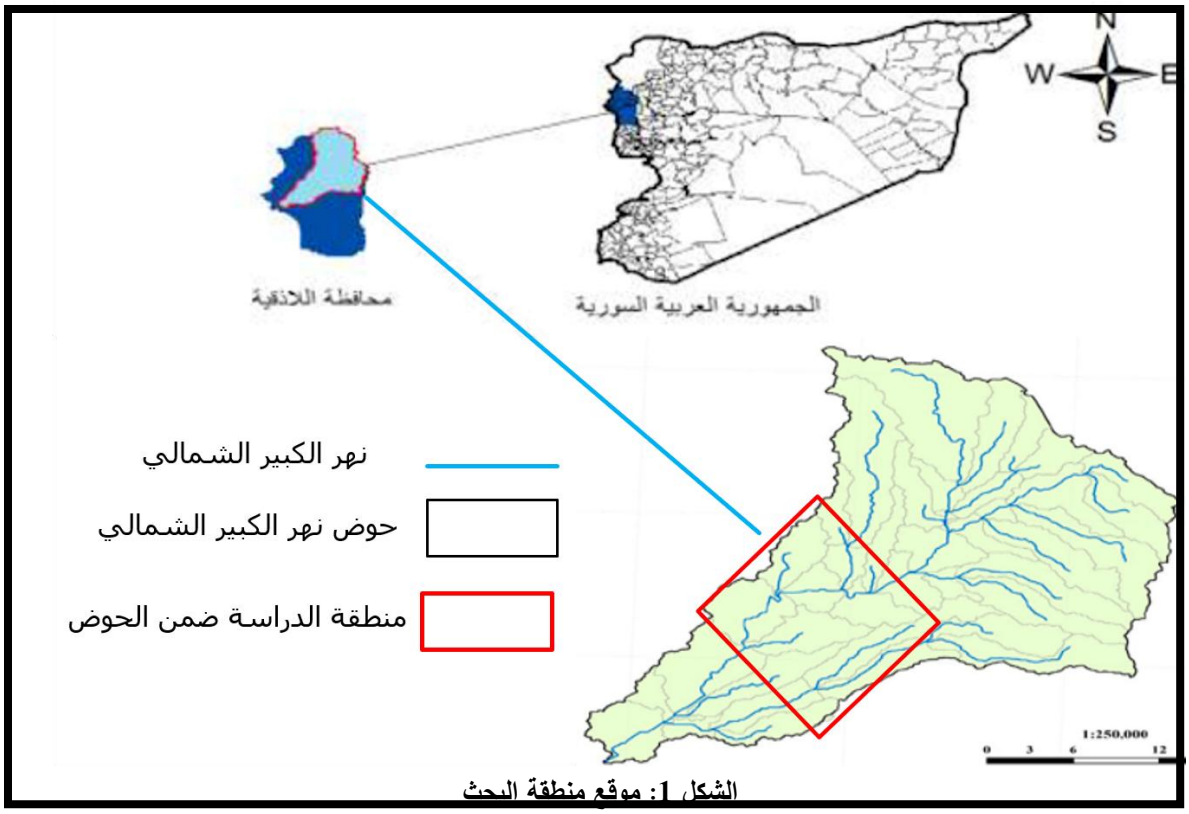
تعرف جودة المياه بأنها مدى مطابقة خواصها الفيزيائية والكيميائية لحدود معينة، فإذا كانت ضمن الحدود المسموح بها، كانت المياه صالحة للشرب. وبشكل عام تكون جودة المياه الجوفية جيدة، ولكن مياه التغذية التي تتسرب من السطح قد تحوي ملوثات تذوب في المياه الجوفية وتلوثها، كما قد تتلوث المياه الطبيعية نتيجة تجوية الصخور ورشح التربة. أثناء الرشح، تتفاعل المياه المتسربة مع التربة، والمواد الرسوبية المفتتة وتحمل معها الملوثات الناتجة عن أنشطة استخدامات الأراضي. تذوب الملوثات حسب انحلاليتها في الماء، قبل وصولها إلى الحامل المائي الجوفي. كما أنَّ تداخل المياه البحرية المالحة مع المياه العذبة يؤدي إلى تدهور جودة المياه الجوفية في المناطق الساحلية بشكل عام [5,4,3].

تعد منطقة كفرية الواقعة في شمال شرق محافظة اللاذقية من المناطق التي تتوافر فيها العديد من المصادر الطبيعية والبشرية التي قد تشكل مصدراً لتلوث المياه، حيث توجد صخور كارستية من عمر الكريتاسي الأعلى تشكل حاملاً مائياً رئيساً للمياه الجوفية في السلسلة الساحلية، كما قد تتسرب إليها (في منطقة البحث وحولها) مواد هيدروكربونية قادمة من الأسفل عبر الشقوق العميقة. إضافةً لوجود معمل الإسفلت والنشاط الزراعي في المنطقة، وقربها من نهر الكبير الشمالي يزيد من احتمالية التأثير السلبي على مصادر المياه في المنطقة.

تقع المنطقة في الجزء الشمالي الغربي من سورية، ضمن محافظة اللاذقية، وتحديداً في محيط قرية كفرية التابعة إدارياً لمنطقة الحفة الشكل (1). بمساحة تقديرية حوالي (17) كم^2. تمتد منطقة البحث ضمن الإحداثيات (35.655798 – 35.685833 N) و(35.997464 – 36.082954 E)، على السفوح الشرقية للجبال الساحلية السورية المطلة على البحر المتوسط. تتميز المنطقة باحتوائها على مقلع ومعمل للإسفلت في قرية كفرية يعمل منذ ثلاثينيات القرن الماضي. ترتفع القرية حوالي (300) متر فوق مستوى سطح البحر، وتحيط بها تضاريس جبلية متوسطة الارتفاع تتراوح بين (80) و (450) متراً فوق مستوى سطح البحر.

تتوزع منطقة البحث بين وحدتين جيولوجيتين هما الجزء الشمالي من وحدة السلسلة الساحلية التي تمثل محدباً غير متناظر مقطوع من الشرق بالصدع المشرقي، وتتكون من صخور كربوناتية تعود للميزوزوي والسينوزوي التي تميل بلطف نحو الشمال الغربي لتغوص تحت توضعات الوحدة الثانية لمنخفض حوض نهر الكبير الشمالي الحطامي النيوجيني. يفصل بين توضعات الوحدتين سطح حتِّي عميق يفسر بنهوض للمنطقة خلال الميوسين الأسفل [6]. إن تشكل حوض نهر الكبير الشمالي تشكل نتيجة تراكب وتحميل منطقة البايرـ بسيط فوق السلسلة الساحلية مما أدى لهبوط تكتوني خلال الميوسين الأوسط ـ الأعلى [7] ترافق مع عمليات إملاء للحوض بسماكات كبيرة من المواد الحطامية وصلت لما يزيد عن (1800) م من رسوبات النيوجين [8]. تتميز توضعات الكريتاسي الأعلى في منطقة كفرية بدرجة عالية من التشقق والظواهر الكارستية، مما يمنحهما نفاذية عالية ويجعل الخزان الجوفي سريع الاستجابة للمدخلات السطحية، يقدر سمك الخزان الجوفي في منطقة كفرية بحوالي (100–200) متر، مع منسوب مياه جوفية متغير العمق تبعاً للتضاريس يتراوح بين (5–50) متراً تحت سطح الأرض [9].

تمثل منشآت الإسفلت مصدراً معروفاً للتلوث البيئي، حيث يمكن أن تنبعث منها الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، والجسيمات الدقيقة المحملة بالمعادن الثقيلة (خاصة الرصاص، الفاناديوم، النيكل)، وأكاسيد الكبريت والنيتروجين [10]. يمكن لهذه الملوثات أن تنتقل إلى الموارد المائية عبر آليات متعددة تشمل الترسب الجاف والرطب للجسيمات الدقيقة على أسطح التربة والمياه، والجريان السطحي لمياه الأمطار المحملة بالمواد من ساحات التخزين المكشوفة، والتسرب عبر الشقوق في المنطقة غير المشبعة إلى المياه الجوفية [11].



الشكل 1: موقع منطقة البحث

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث من خلال تقييم الخصائص الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية والسطحية في محيط قرية كفرية الحاوية على مقلع للإسفلت ومعرفة مدى تأثير الإسفلت على الموارد المائية في المنطقة. كما يساهم البحث في فهم آليات انتقال الملوثات (خاصة الكبريتات) من المصادر الصناعية إلى المياه الجوفية. وتوفير أساس علمي لوضع ضوابط بيئية على المنشآت الصناعية، وإنشاء شبكة مراقبة دورية للموارد المائية في المناطق المتأثرة. إضافةً لتمكين السكان المحليين والمزارعين من تقييم جودة مياه الشرب والري في المنطقة واتخاذ التدابير المناسبة لحمايتها من التلوث.

أهداف البحث

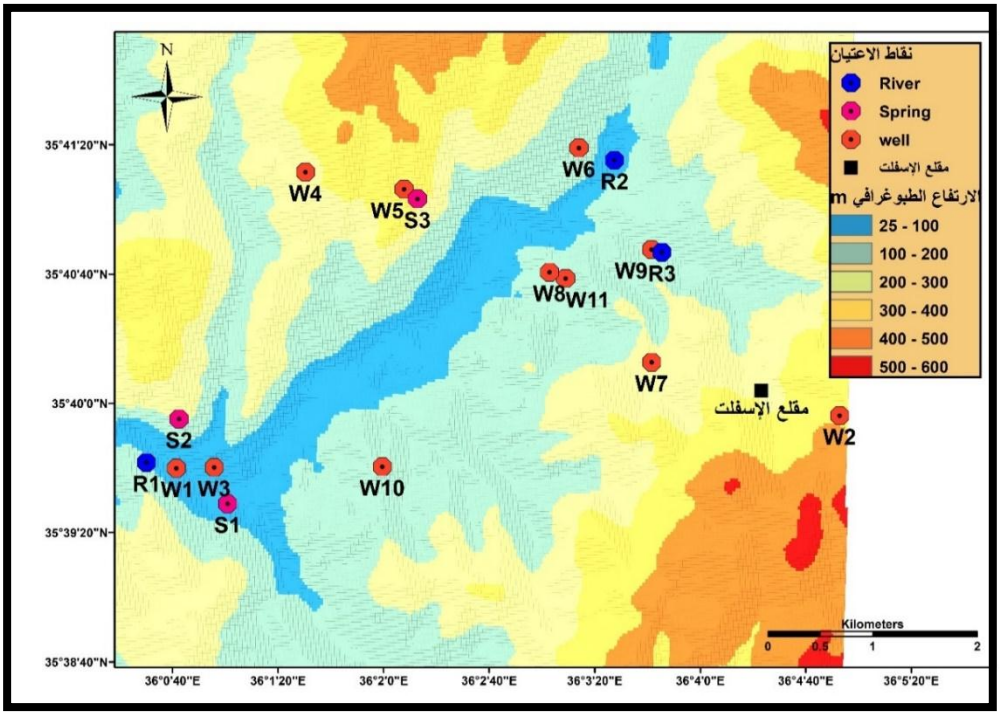
1. تحديد الخصائص الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية والسطحية في منطقة البحث.
2. معرفة السحنة المائية السائدة والعمليات الجيوكيميائية المسيطرة.
3. تقييم صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة (الشرب والري).

طرائق البحث ومواده:

تمَّ جمع العينات خلال الفترة (15–20) أيار من العام (2025) حيث تعد نهاية فترة تغذية المياه الجوفية من الهطولات المطرية (فترة الارتفاع الأعظمي المتوقع للمياه الجوفية – الفترة الحرجة). وهي تعبر عن الصفات العامة للمياه في المنطقة. كما أن المنطقة تعاني من جفاف بعض الآبار والينابيع في بعض أشهر الصيف.

جمعت العينات من (17) موقع موزع في منطقة البحث بناءً على اختلاف الارتفاعات الطبوغرافية في المنطقة من جهة، وتمثيل جميع أنواع المصادر المائية فيها من جهة ثانية، الشكل (2)، وقد شملت:

- آبار جوفية (W): (11) موقع بنسبة (64.8%) من إجمالي العينات، تتراوح أعماقها بين (1 – 42.5) م، وتستخدم بشكل أساسي لتأمين مياه الشرب للأهالي وري بعض بساتين الزيتون.
- ينابيع (S): (3) مواقع (17.6%)، تتميز بجريان موسمي يرتبط بشكل مباشر بالتغذية المطرية، تظهر في سفوح التلال عند نقاط تماس الصخور الكربوناتية مع الطبقات الأقل نفاذية.
- مياه سطحية (R): (3) مواقع (17.6%)، تشمل مجرى نهر الكبير الشمالي، ومجريين مائيين موسميين يتغذيان من مياه الأمطار والينابيع، وتجري في الوديان المنحدرة باتجاه البحر المتوسط.



الشكل 2: مواقع أخذ العينات وارتفاعها عن سطح البحر

قيست بعض خصائص المياه مباشرةً في الحقل باستخدام جهاز قياس جودة المياه متعدد المعايير المحمول (Handheld Multiparameter Water Quality Meter) (رقم الموديل) (EZ-9909-SP)، وشملت (درجة الحرارة، الأس الهيدروجيني، الناقلية الكهربائية). رشِّحَت العينات من الشوائب، ووضعت في عبوات بولي إيثيلين نظيفة ومعقمة، حفظت في مبرد محمول ونقلت إلى مختبر المعهد العالي لبحوث البيئة في جامعة اللاذقية مباشرةً، أجريت عليها بعض التحاليل الكيميائية لكل من الشوارد الموجبة والسالبة، وحسبت على أساس ذلك بعض

المعايير

(مجموع الأملاح المنحلة، القساوة الكلية، نسبة ادمصاص الصوديوم).

تمَّ إسقاط النتائج على مخططات (بايبر، وجيبس) لمعرفة السحنة الهيدروكيميائية السائدة، وتحديد الآليات المسيطرة في تشكلها.

النتائج والمناقشة:

الخصائص الفيزيائية والكيميائية العامة:

يبين الجدول (1) قيم الأس الهيدروجيني (pH) والناقلية الكهربائية (EC) ومجموع الأملاح المنحلة (TDS) بالإضافة لقيم القساوة الكلية (TH).

الجدول 1: بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعينات المدروسة

رمز العينة	الأس الهيدروجيني pH –	الناقلية الكهربائية EC µs/cm	الأملاح المنحلة TDS ppm	القساوة الكلية TH ppm
R1	8.2	712	1049.73	522.35
R2	8.16	779	1219.85	671.29
R3	6.75	586	975.44	585.33
S1	5.84	1565	1842.6	823.35
S2	6.27	839	1399.75	530.91
S3	7.79	761	1364.58	475.44
W1	5.96	1056	1495.54	550.89
W2	6.32	1080	1514.37	706.87
W3	8.47	2250	1589.24	542.97
W4	5.81	890	1264.67	539.86
W5	7.99	1078	1453.63	638.43
W6	8.02	701	1140.56	615.84
W7	6.2	1440	2480.58	780.91
W8	8.14	1250	1750.88	832.33
W9	6.5	863	1309.07	410.39
W10	8.26	2250	1801	608.94
W11	6.14	1397	1680.74	1157.16

على الرغم من أن قيمة (TDS) المحسوب في العينة (W7) (2480 ppm) أعلى منها في العينة (W10) (1801 ppm)، إلا أن الناقلية الكهربائية في (W10) (2250 µs/cm) كانت أعلى منها في (W7) (1440 µs/cm) يعود هذا التناقض الظاهري إلى اختلاف التركيب الأيوني بين العينتين، حيث تحتوي (W10) على أيونات ذات حركية أيونية أعلى مثل الكلوريد (Cl^-) والكبريتات (SO_4^{2-}) والصوديوم (Na^+) والتي توصل التيار الكهربائي بكفاءة أكبر، بينما تحتوي (W7) على أيونات ذات حركية أيونية أقل مثل البيكربونات (HCO_3^-) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) والتي تساهم بشكل أكبر في الكتلة (TDS) ولكن بشكل أقل في التوصيل الكهربائي (EC) هذا يوضح أن (EC) و (TDS) ليسا مترابطين خطياً دائماً، حيث يعتمد (EC) على سرعة حركة الأيونات وليس فقط على كميتها" [12] .

تراوحت قيم الأس الهيدروجيني (pH) بين (5.81 – 8.47) بمتوسط (7.14)، أظهرت غالبية العينات (13 من أصل 17) قيماً قريبة من المتعادل إلى قاعدي قليلاً (7.0 – 8.5)، بينما سجلت أربع عينات (S1, S2, W4, W11) قيماً حمضية قليلاً تراوحت بين (5.81 – 6.5).

تراوحت قيم الناقلية الكهربائية (EC) بين (586 – 2250) µs/cm بمتوسط (1418) µs/cm الجدول (2)، وسجلت أعلى القيم في العينات (W7=1440 , W10= 2250 , W3=2250).

أما قيم TDS (مجموع الأيونات) فتراوحت بين (975 – 2480) ppm بمتوسط (1727.5) ppm الجدول (2)، وكانت أعلى القيم العينات (W10=1801 , S1= 1843 , W7=2480).

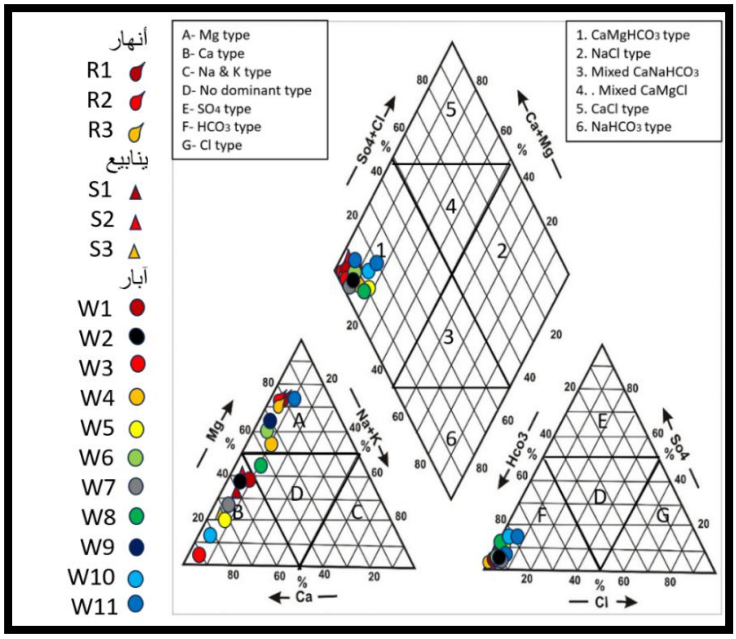
تتفق قيم الأس الهيدروجيني مع طبيعة المياه في الخزانات الكربوناتية، حيث يؤدي تفاعل الماء مع صخور الحجر الكلسي إلى رفع قيم pH إلى متعادلة أو قاعدية قليلاً، القيم الحمضية في بعض العينات خاصةً (W4=5.81) قد تعكس تأثيراً محدوداً لعمليات أكسدة المواد العضوية في التربة. يعكس التباين الكبير في قيم EC وTDS اختلافاً في زمن مكوث المياه ودرجة تفاعلها مع الصخور. تشير القيم المرتفعة في العينة (W7=2480) ppm إلى مياه ذات زمن مكوث طويل أو تغذية من مناطق أعمق، بينما القيم المنخفضة في العينات النهرية (R1, R2, R3) بمتوسط (1080) ppm تعكس مياهاً سطحية حديثة ذات تفاعل محدود مع الصخور.

القساوة الكلية (Total Hardness)

تراوحت قيم القساوة بين (410 – 1157) ppm، ووقعت جميع العينات ضمن الفئة عالية القساوة حسب تصنيف منظمة الصحة العالمية [13]، وهذا يعود لطبيعة الصخور الكربوناتية (الكلسية والدولوميتية) المسيطرة في المنطقة. يعكس التباين في قيم القساوة بين العينات اختلاف نسبة الدولوميت في الصخور الحاملة للمياه. فالعينات ذات القساوة الأعلى (W11) تتغذى من مناطق غنية بالدولوميت، بينما العينات ذات القساوة الأقل (R3) تتغذى من مناطق يغلب فيها الحجر الكلسي. وتجدر الإشارة إلى أن القساوة العالية رغم أنها لا تشكل خطراً على صحة الإنسان وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، إلا أنها قد تسبب مشاكل تقنية كترسب الأملاح في الأنابيب والمعدات الصناعية [13] .

التصنيف الهيدروجيوكيميائي

يوضح الشكل (3) توزيع عينات المياه على مخطط بايبر [14] حيث تتوزع جميع العينات في الحقل (1)، الذي يمثل سحنة بيكربونات الكالسيوم ـ المغنيزيوم ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$). تتركز النقاط في المثلث السفلي الأيسر (الكاتيونات) في منطقة الكالسيوم مع وجود انتشار نحو المغنيزيوم، بينما تنحصر جميع النقاط في المثلث السفلي الأيمن (الأنيونات) في زاوية البيكربونات (HCO_3) دون أي انتشار نحو الكلوريد أو الكبريتات.



الشكل 3: نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث حسب تصنيف بايبر (Piper, 1944)

تؤكد الهيمنة المطلقة لسحنة $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$ في جميع العينات أن تفاعل الماء مع الصخور الكربوناتية هو العملية الجيوكيميائية المسيطرة في المنطقة، يميز هذا النمط المياه الجوفية في الأحواض الكارستية عالمياً [15].

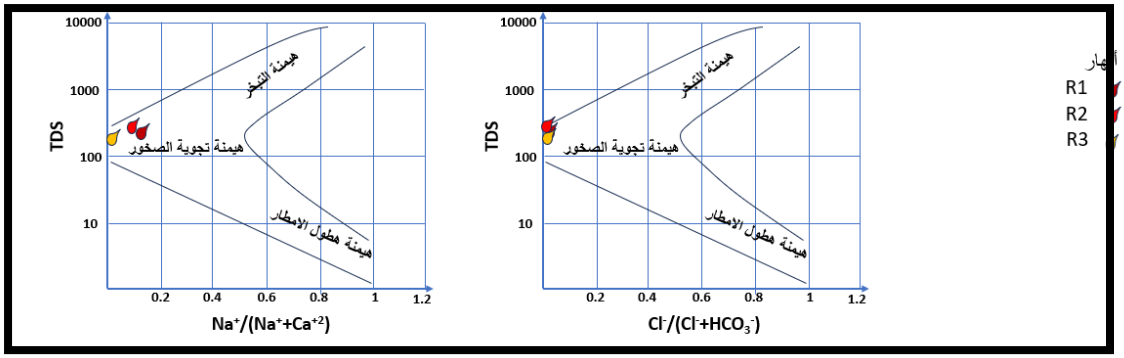
يشير غياب أية عينات في مناطق الأنيونات الأخرى (SO_4^{-2} أو Cl^-) إلى أنَّ تأثير المصادر البشرية أو الجيولوجية الأخرى (مثل إذابة الجص أو تداخل مياه البحر) محدود جداً على المستوى العام. تتفق هذه النتيجة مع دراسة Abou Zakhem & Hafez (2007) [16] التي أشارت إلى تأثير محدود لتداخل مياه البحر في المناطق البعيدة عن الساحل.

كما أن وجود الكالسيوم والمغنيسيوم معاً يعكس مساهمة كل من الحجر الكلسي ($CaCO_3$) والدولوميت ($CaMg(CO_3)_2$) في التركيب الكيميائي للمياه [12].

العمليات الجيوكيميائية المسيطرة

يوضح الشكل (4) توزيع عينات الأنهار على مخطط جيبس (Gibbs) [17]، الذي صُمم لفهم كيمياء المياه السطحية [18].

حيث تتجمع كل العينات في المنطقة الوسطى من المخطط (منطقة تفاعل صخر ـ ماء)، مع قيم للنسبة $Na^+/(Na^+ + Ca^{+2})$ تتراوح بين (0.04 − 0.32)، وقيم للنسبة $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$ تتراوح بين (0.01 − 0.15).



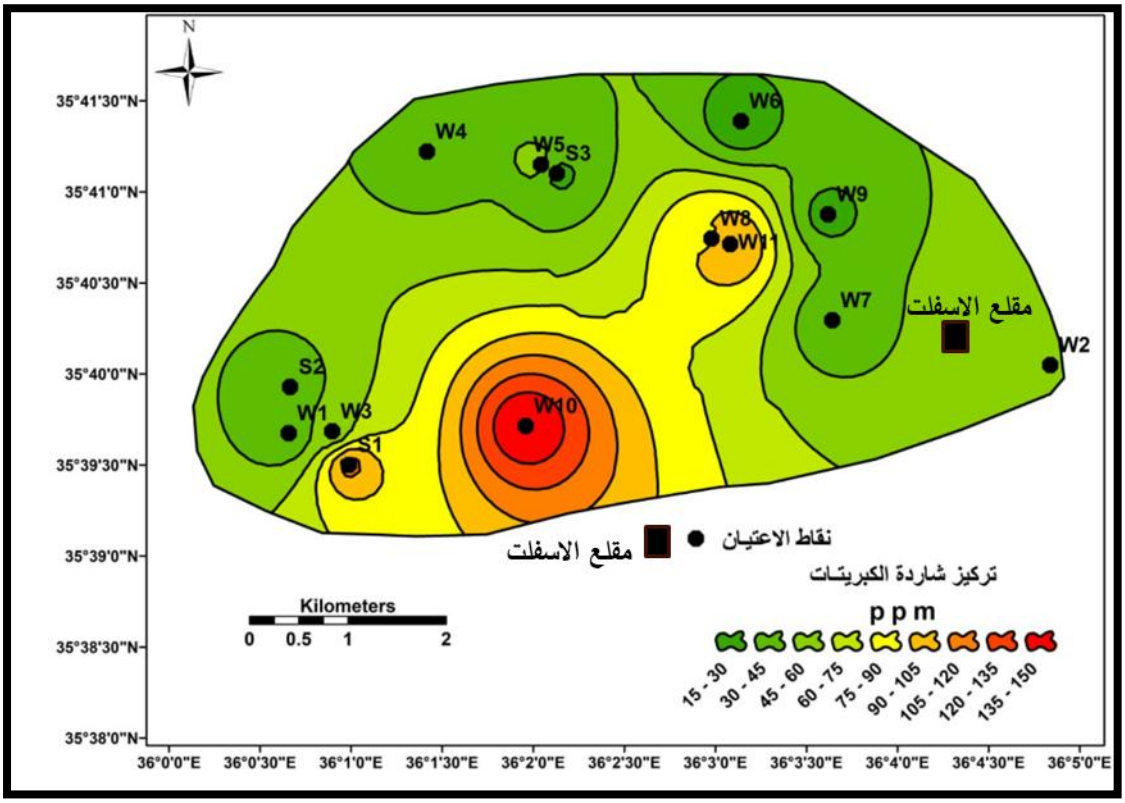
الشكل 4: العمليات الجيوكيميائية المسيطرة وفق مخطط جيبس (Gibbs, 1970)

يؤكد تجمع العينات في منطقة "تفاعل صخر ـ ماء" أنَّ التركيب الكيميائي للمياه يتحكم به التفاعل مع الصخور، وليس عمليات التبخر أو الهطول الجوي (Gibbs, 1970) [17].

تؤكد النسب المنخفضة لـ $Na^+/(Na^++Ca^{+2})$ أنَّ الكالسيوم يأتي بشكل أساسي من إذابة الكالسيت وليس من مصادر أخرى مثل التبادل الأيوني أو مياه البحر، كما أنَّ النسب المنخفضة لـ $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ تؤكد غياب تأثير مياه البحر المالحة، التي تتميز بارتفاع نسبة الكلوريد [16].

مؤشر التلوث بالكبريتات (SO_4^{-2})

تراوحت تراكيز الكبريتات بين (6.1 – 150) ppm، بمتوسط (50.87) ppm، وجميعها أقل بكثير من الحد المسموح به وفق منظمة الصحة العالمية (250 ppm)، ويظهر الشكل (5) خارطة التوزع المكاني لشاردة الكبريتات.



الشكل 5: خارطة التوزع المكاني لشاردة الكبريتات

مؤشر التلوث بالنترات (NO_3^-) والأمونيوم (NH_4^+) والفوسفات (PO_4^{-3})

- النترات (NO_3^-): تراوحت التراكيز بين (2.3 – 6.2) ppm، بمتوسط (3.81) ppm. وهي أقل بكثير من الحد المسموح به في مياه الشرب حسب منظمة الصحة العالمية (50 ppm).
- الأمونيوم (NH_4^+): تراوحت التراكيز بين (0.10 – 0.42) ppm، بمتوسط (0.24) ppm.
- الفوسفات (PO_4^{-3}): كانت التراكيز منخفضة جداً (0.04 – 0.16) ppm بمتوسط (0.09) ppm.

ويشير هذا الانخفاض العام في تراكيز النترات إلى أنَّ تأثير الصرف الصحي المحلي محدود حالياً، خاصة بالمقارنة مع مناطق أخرى في الساحل السوري التي سجلت تراكيز أعلى بالنترات [19]. وإنَّ القيم المسجلة تقع ضمن المدى الطبيعي للمياه الجوفية غير الملوثة في المناطق الريفية [13].

إنَّ وجود الأمونيوم بتراكيز منخفضة قد يعود إلى تحلل المواد العضوية في التربة.

يعكس الانخفاض الشديد في تراكيز الفوسفات غياب تأثير الأسمدة الزراعية بشكل كبير، حيث يرتبط الفوسفات عادة بالأنشطة الزراعية المكثفة [20].

تحديد مصادر التلوث باستخدام تحليل المركبات الرئيسية (PCA)

تم تطبيق تحليل المركبات الرئيسة (Principal Component Analysis - PCA) على البيانات الكيميائية للعينات المدروسة (بعد توحيد البيانات) بهدف التمييز بين المصادر الطبيعية والبشرية للعناصر المذابة في المياه. أظهرت النتائج وجود مركبين رئيسيين بقيم ذاتية أكبر من الواحد يفسران معاً نحو (70.6)% من التباين الكلي في البيانات. تميز المركب الأول (PC1) الذي فسر (48.2)% من التباين الكلي، بتراكيز عالية موجبة للكالسيوم والمغنيزيوم والبيكربونات والناقلية الكهربائية والأملاح المنحلة. يُعزى هذا المركب إلى المصادر الطبيعية، وتحديداً إلى عمليات تفاعل الماء مع الصخور الكربوناتية (ذوبان الكالسيت والدولوميت) التي تسود في منطقة البحث.

بينما تميز المركب الثاني (PC2) الذي فسر (22.4)% من التباين الكلي، بتراكيز عالية موجبة (للكبريتات والكلوريد) مع تراكيز منخفضة للمغذيات (النترات والأمونيوم) نظراً لانخفاض تراكيزها في جميع العينات، حيث يُستبعد أن يكون مصدر هذا المركب هو مياه الصرف الصحي أو الزراعة. لذلك، يُعزى هذا المركب إلى تأثير بشري، قد يكون مرتبطاً بأنشطة صناعية أو حضرية في المنطقة.

على الرغم من أن جميع تراكيز الكبريتات كانت أقل بكثير من الحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية (250 ppm)، إلا أن الارتفاع النسبي في تراكيزها في بعض العينات، إلى جانب ارتباطها الواضح بـ (PC2) يشير إلى تأثير بشري محتمل .هذا يعزز فرضية أن مصادر بشرية (سواء كانت صناعية أو غيرها) تساهم في زيادة تراكيز الكبريتات في المياه الجوفية والسطحية، وإن كانت ضمن الحدود المسموحة عالمياً.

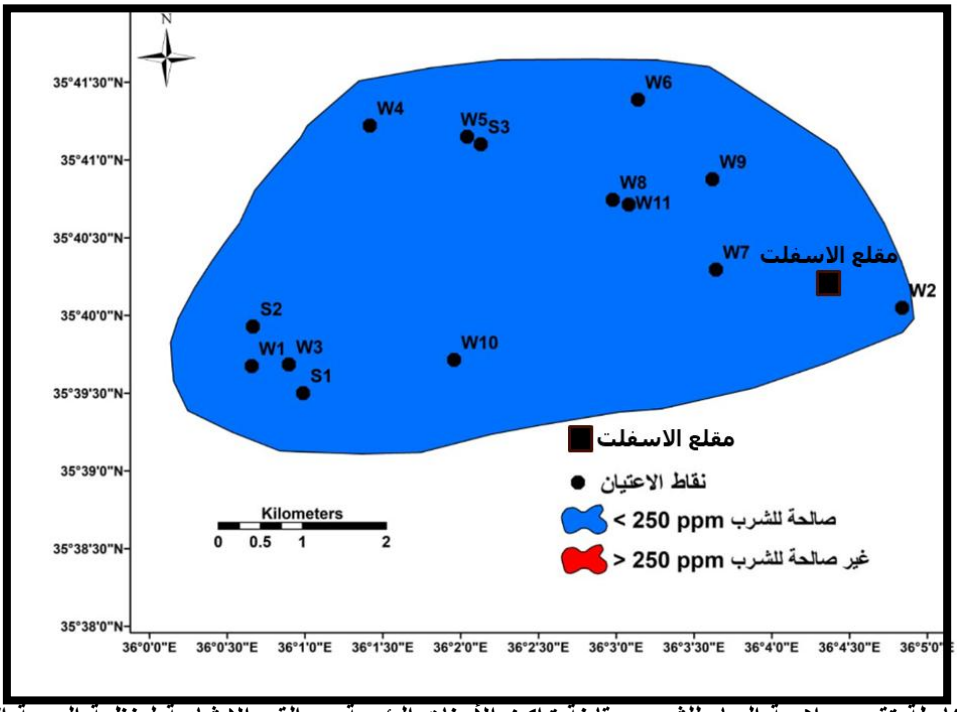
تحليل الارتباط بين TDS وEC وSO_4^{-2}

تم حساب معامل ارتباط بيرسون (Pearson correlation) لتقييم العلاقات الإحصائية بين الأملاح المنحلة والناقلية الكهربائية وتركيز الكبريتات. وقد أظهرت النتائج وجود ارتباط قوي جداً بين الأملاح المنحلة والناقلية الكهربائية مما يؤكد العلاقة الطردية بين مجموع الأملاح المنحلة وقدرة الماء على التوصيل الكهربائي.

كما لوحظ ارتباط إيجابي متوسط إلى قوي بين الكبريتات وكل من الأملاح المنحلة والناقلية الكهربائية، وهذا يشير إلى أن الكبريتات تساهم بشكل ملحوظ في زيادة الأملاح الذائبة في المياه، خاصة في بعض العينات التي أظهرت تراكيز أعلى نسبياً. هذا الارتباط يعزز إمكانية وجود تأثير بشري (سواء صناعي أو غيره) على جودة المياه في المنطقة، وإن كانت جميع التراكيز ضمن الحدود المسموحة وفقاً لمنظمة الصحة العالمية.

تقييم صلاحية المياه للشرب

تم تقييم صلاحية المياه للشرب من خلال مقارنة تراكيز الأيونات الرئيسة مع القيم الإرشادية لمنظمة الصحة العالمية [13] الجدول (2) والشكل (6) تمَّ التمييز بين الأيونات ذات التأثير الصحي المباشر (النترات) وتلك التي تؤثر على الخواص الحسية للمياه (الطعم، الرائحة، المظهر).



الشكل 6: خارطة تقييم صلاحية المياه للشرب بمقارنة تراكيز الأيونات الرئيسة مع القيم الإرشادية لمنظمة الصحة العالمية

الأيونات ذات التأثير الصحي المباشر:

تعد النترات (NO_3^-) من أهم الملوثات الكيميائية ذات التأثير الصحي الحاد، حيث ترتبط بمرض (متلازمة الطفل الأزرق). تراوحت تراكيز النترات في جميع العينات بين (2.3 – 6.2) ppm بمتوسط (3.8) ppm وهي أقل بكثير من الحد المسموح به (50 ppm)، وهذا ينفي إمكانية وجود تلوث عضوي أو زراعي.

الأيونات التي تؤثر على الخواص الحسية دون أن تشكل خطراً صحياً حاداً:

- الصوديوم (Na^+): تراوح بين (2.5 – 20.7) ppm بمتوسط (10.21) ppm، وهي أقل من الحد الإرشادي (200 ppm).
- البوتاسيوم (K^+): تراوح بين (1.8 – 4.1) ppm بمتوسط (2.7) ppm، وهي أقل من الحد الإرشادي (12 ppm). وهي قيمة إرشادية جمالية حيث لا يوجد قيمة إرشادية صحية لأن تراكيزه في المياه الطبيعية دوماً أقل من الحاجة اليومية لجسم الإنسان.
- الكلوريد (Cl^-): تراوح بين (3.9 – 31.9) ppm بمتوسط (15.7) ppm وهي أقل من الحد الإرشادي (250 ppm).
- الكبريتات (SO_4^{-2}): تراوحت بين (6.1 – 150.0) ppm بمتوسط (50.87) ppm وهي أقل من الحد الإرشادي (250 ppm).

معايير فيزياكيميائية أخرى:

إن القساوة العالية في جميع العينات والتي تراوحت ما بين (410 – 1157 ppm)، قد تسبب مشاكل تقنية (ترسبات في الأنابيب)، ولكنها لا تشكل خطراً صحياً وفقاً لمنظمة الصحة العالمية.

من وجهة نظر كيميائية، تعد مياه منطقة البحث صالحة للشرب من حيث تراكيز الأيونات الرئيسة ذات التأثير الصحي المباشر (النترات) والأيونات المؤثرة على الطعم (Na^+, K^+, Cl^-, SO_4^{-2}).

الجدول 2: القيم الإرشادية لتراكيز الأيونات الرئيسة الصادرة عن منظمة الصحة العالمية

المعيار PPM	الحد المسموح به (WHO)	المدى في العينات	التقييم
النترات (NO_3^-)	50	6.2-2.3	ضمن الحد
الصوديوم (Na^+)	200	20.7-2.5	ضمن الحد
البوتاسيوم (K^+)	12	4.1-1.8	ضمن الحد
الكلوريد (Cl^-)	250	31.9-3.9	ضمن الحد
الكبريتات (SO_4^{-2})	250	150-6.1	ضمن الحد

تقييم صلاحية المياه للري

لتقييم صلاحية المياه للاستخدامات الزراعية، تم حساب كل من نسبة ادمصاص الصوديوم (SAR) ونسبة الصوديوم المئوية (Na%) وكربونات الصوديوم المتبقية (RSC)، وهي المؤشرات الأكثر شيوعاً في تقييم خطورة الصوديوم والقلوية على التربة والمحاصيل.

نسبة ادمصاص الصوديوم (SAR)

تراوحت قيم SAR بين (0.04 – 0.26) meq/l، بمتوسط (0.15) meq/l. وفقاً لتصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1985) [21] الجدول (3) وتصنيف معهد سلامة جودة مياه الري الأمريكي (US Salinity Laboratory) [22] ، فإن جميع قيم SAR تقع ضمن الفئة S1 (منخفضة الخطورة). هذا يعني أن المياه لا تشكل خطراً يذكر على بنية التربة نتيجة استبدال أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم بالصوديوم، ومن ثمَّ يمكن استخدامها لري معظم المحاصيل دون مخاوف كبيرة من تدهور التربة أو تقليل نفاذيتها.

الجدول 3: قيم SAR وفق منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1985)

درجة خطر الصوديوم	مدى SAR
مياه ذات خطورة منخفضة على نفاذية التربة	3–0
مياه ذات خطورة متوسطة على نفاذية التربة	6–3
مياه ذات خطورة عالية على نفاذية التربة	12–6
مياه ذات خطورة عالية جداً على نفاذية التربة	20–12
مياه ذات خطورة شديدة على نفاذية التربة	40–20

نسبة الصوديوم المئوية (Na%)

تراوحت قيم Na% بين (1.74 – 5.21) % بمتوسط (3.82) %، وهي أقل من الحد الحرج (60) % الموصى به من قبل منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1985) [21] الجدول (4). القيم المنخفضة لـ Na% تؤكد مجدداً الهيمنة الطبيعية لأيونات الكالسيوم والمغنيزيوم، وهو أمر إيجابي للزراعة.

الجدول 4: قيم Na% وفق منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1985)

التأثير على التربة والمحاصيل	درجة الخطر	مدى Na%
مياه صالحة للري، لا خطر على التربة أو المحاصيل	ممتاز	< 20
مقبولة للري، خطر بسيط على التربة الحساسة	جيد	20 – 40
خطر متوسط، تحتاج إدارة مناسبة للري	مسموح به	40 – 60
خطر مرتفع، غير مناسبة إلا لظروف خاصة	مشكوك فيه	60 – 80
خطر شديد، غير صالحة للري إطلاقاً	غير صالح	> 80

كربونات الصوديوم المتبقية (RSC)

تم حساب كربونات الصوديوم المتبقية (Residual Sodium Carbonate - RSC) وفقاً للمعادلة [23]:

$$RSC = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$ جميعها (meq/l)

حيث تشير القيم الموجبة إلى زيادة أيونات الكربونات والبيكربونات على الكالسيوم والمغنيسيوم، مما يؤدي إلى ترسب كربونات الكالسيوم في التربة وزيادة خطورة الصوديوم.

وفقاً لتصنيف Richards (1954) [24] تعد المياه ذات RSC أقل من (1.25) meq/l صالحة للري، والمياه ذات RSC بين (1.25 – 2.5) meq/l مشبوهة، أما المياه ذات RSC أكبر من (2.5) meq/l فهي غير صالحة للري. تراوحت قيم RSC بين (3.14 – 19.38) meq/l بمتوسط (7.17) meq/l الجدول (5).

الجدول 5: قيم كربونات الصوديوم المتبقية (RSC) في عينات الدراسة

العينة	RSC meq/l	التصنيف
R1	4.55	غير صالحة
R2	3.57	غير صالحة
R3	2.29	مشبوهة
S1	6.53	غير صالحة
S2	8.58	غير صالحة
S3	9.29	غير صالحة
W1	9.98	غير صالحة
W2	6.26	غير صالحة
W3	10.74	غير صالحة
W4	6.20	غير صالحة
W5	5.83	غير صالحة
W6	2.68	غير صالحة
W7	19.38	غير صالحة
W8	6.35	غير صالحة
W9	10.99	غير صالحة
W10	11.82	غير صالحة
W11	3.14-	صالحة

لوحظ أن معظم العينات (15 من أصل 17) سجلت قيماً موجبة أعلى من (2.5)، مما يصنفها ضمن المياه غير الصالحة للري وفقاً لهذا المؤشر.

سجلت العينة (W11) القيمة السالبة الوحيدة (3.14-) meq/l مما يشير إلى زيادة الكالسيوم والمغنيزيوم على الكربونات والبيكربونات، ومن ثمَّ فهي آمنة للاستخدام الزراعي.

أما العينة (W7) فقد سجلت أعلى قيمة RSC (19.38) meq/l، وذلك نتيجة الارتفاع الكبير في البيكربونات (2110.6 ppm) مقارنة بالكالسيوم والمغنيسيوم.

على الرغم من أن مؤشرات الري الأخرى مثل SAR وNa% أشارتا إلى صلاحية المياه للري، إلا أن قيم (RSC) المرتفعة تشير إلى أن خطر القلوية مرتفع بسبب ارتفاع تراكيز البيكربونات (HCO_3^-) مقارنة مع الكالسيوم والمغنيسيوم. وارتفاع قيم RSC يعني أن البيكربونات الزائدة ستؤدي إلى ترسب كربونات الكالسيوم في التربة، مما يزيد من نسبة الصوديوم المتبادل ويؤدي إلى تدهور بنية التربة وانخفاض نفاذيتها [23].

لذلك، يُنصح بتوخي الحذر عند استخدام هذه المياه للري واتخاذ تدابير وقائية مثل إضافة محسنات التربة (الجص الزراعي)، أو خلط المياه مع مصادر أخرى ذات تراكيز منخفضة من البيكربونات للتخفيف من تأثيرات (RSC) المرتفعة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. تتميز مياه منطقة البحث بقساوة عالية (< 400 ppm) وتراوحت قيم TDS بين (975–2480 ppm)، وكانت قيم pH متعادلة إلى قاعدية قليلاً في معظم العينات. وذلك تبعاً لمعيار منظمة الصحة العالمية.

2. تسيطر السحنة المائية من نمط بيكربونات الكالسيوم ـ المغنيزيوم ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$) على جميع عينات المياه. وهذا يؤكد أن العملية الجيوكيميائية المسيطرة على كيمياء المياه هي تفاعل الماء مع الصخور الكربوناتية

3. (صخر ـ ماء) وهو العامل الرئيس المتحكم في كيمياء المياه.

4. أظهرت مؤشرات التلوث (الكبريتات، النترات، الأمونيوم، الفوسفات) تراكيز منخفضة تعكس تأثيراً بشرياً محدوداً.

5. تعد المياه صالحة للشرب وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية (WHO) من حيث الأيونات الرئيسة.

6. مياه المنطقة صالحة للري حسب SAR وNa%، إلا أن قيم RSC المرتفعة في معظم العينات تشير إلى خطر حقيقي على التربة عند استخدام هذه المياه للري لفترات طويلة.

التوصيات:

1. ضرورة إنشاء شبكة مراقبة دورية لجودة المياه في الآبار والينابيع الواقعة ضمن دائرة نصف قطرها (2) كم على الأقل حول مقلع الأسفلت، مع التركيز على قياس تراكيز الكبريتات والمعادن الثقيلة المرتبطة بالأنشطة البترولية (الكادميوم، الرصاص، النيكل...).

2. إجراء دراسة موسعة لتقييم المخاطر الصحية المحتملة المرتبطة بالاستخدام طويل الأمد لهذه المياه للشرب والري، خاصة في ضوء ارتفاع القساوة، واستمرار مراقبة تراكيز الكبريتات في المنطقة مع الزمن.

3. إعداد دراسات مستقبلية لتشمل تحليل الملوثات العضوية (مثل PAHs) في المياه والتربة والرواسب، وتحليل المعادن الثقيلة في المحاصيل الزراعية المروية بهذه المياه لتقييم انتقال الملوثات عبر السلسلة الغذائية.

4. تطبيق ضوابط بيئية على المنشآت الصناعية في منطقة البحث.

References:

[1] M. Berhe Desta and M. Muuz Weldemariam, "Distribution of Trace Metals in Two Commercially Important Fish Species (Tilapia Zilli and Oreochromis Niloticus) Sediment and Water from Lake Gudbahri, Eastern Tigray of Northern Ethiopia", *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, No. 9, pp. 1-6, (2013).

[2] R. Bhateria and D. Jain, "Water quality assessment of lake: A review", **Sustainable Water Resources Management**, Vol. 2, pp. 161-173, (2016).

[3] R. Sudha, "Assessment of Water Quality Parameters of Mavadi Kulam and its Surrounding Bore Well Water Samples, Ponmalai Patti, Tiruchirappalli (Dt), Tamil Nadu, India",* *Asian Journal of Advanced Research and Innovation (AJOAIR)*, Vol. 5, No. 1, pp. 324-334, (2022).

[4] N. Diersing, "Water Quality: Frequently Asked Questions", *Florida Brook, Keys National Marine Sanctuary Key West*, FL, (2009).

[5] N. Subba Rao, "Spatial control of groundwater contamination, using principal component analysis", **Journal of Earth System Science*, Vol. 123, No. 4, pp. 715-728, (2014).

[6] Sh. Yossef, "The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Al-Haffeh, scale 1:50 000", **Ministry of Petroleum and Resources of the Syrian Arab Republic*, (1979).

[7] A. Al Abdalla, "Evolution Tectonique de la Plate-forme Arabe en Syrie depuis le Mésozoïque", *Doctoral dissertation, Paris 6*, (2008).

[8] Y. Leonov, "Geology of Nahr Alkabir Alshmali Depression", *Report on the Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus*, (1985).

[9] V.P. Ponikarov, "The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, scale 1:200 000", *Ministry of Industry, Syrian Arab Republic*, (1966).

[10] A.U. Itodo, M. Ubimago, and R.A. Wuana, "Environmental impact of abandoned asphalt production site on soil, water and vegetables from near farmlands", **Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol. 6, pp. 107-122, (2018) . https://doi.org/10.4236/gep.2018.64007

[11] H.C.A. Brandt and P.C. de Groot, "Aqueous leaching of polycyclic aromatic hydrocarbons from bitumen and asphalt", **Water Research*, Vol. 35, No. 17, pp. 4200-4207, (2001). https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00216-0

[12] C.A.J. Appelo and D. Postma, "Geochemistry, groundwater and pollution", 2nd ed., *A.A. Balkema Publishers*, (2005). https://doi.org/10.1201/9781439833544

[13] World Health Organization, "Guidelines for drinking-water quality", 4th ed., incorporating the first addendum, **World Health Organization*, (2017). https://iris.who.int/handle/10665/258887

[14] M. Piper, "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses", **Eos, Transactions American Geophysical Union*, Vol. 25, No. 6, pp. 914-928, (1944).

[15] N. Goldscheider, Z. Chen, A.S. Auler, M. Bakalowicz, S. Broda, D. Drew, J. Hartmann, G. Jiang, N. Moosdorf, Z. Stevanovic, and G. Veni, "Global distribution of carbonate rocks and karst water resources", **Hydrogeology Journal*, Vol. 28, No. 5, pp. 1661-1677, (2020). https://doi.org/10.1007/s10040-020-02139-5

[16] B. Abou Zakhem and R. Hafez, "Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria)", **Environmental Geology*, Vol. 51, No. 8, pp. 1329-1339, (2007). https://doi.org/10.1007/s00254-006-0431-x

[17] R.J. Gibbs, "Mechanisms controlling world water chemistry", **Science*, Vol. 170, No. 3962, pp. 1088-1090, (1970). https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088

[18] A. Marandi and P. Shand, "Groundwater chemistry and the Gibbs Diagram", *Applied Geochemistry*, Vol. 97, pp. 209-212, (2018) . https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.07.009

[19] S. Haifa, A. Assad, and R. Fares, "Temporal and spatial changes of some heavy elements in the lower part of the northern great river", *Syrian Journal of Agricultural Research*, (2022). (in Arabic)

[20] R. Jafar, A. Awad, A. Gbilly, Z. Mayea, K. Jafar, and I. Shahrour, "Comprehensive assessment of surface water quality and pollution sources in Al-Muzaynah dam lake, Syria: insights from multivariate statistical analysis", *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, Vol. 10, No. 2, pp. 901-915, (2025) . https://doi.org/10.1007/s41207-024-00665-2

[21] R.S. Ayers and D.W. Westcot, "Water quality for agriculture", Rev. ed., FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, (1985). https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm

[22] U.S. Salinity Laboratory Staff, "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils", L.A. Richards, Ed., Agriculture Handbook No. 60, *U.S. Department of Agriculture*, (1954).

[23] F.M. Eaton, "Significance of carbonates in irrigation waters", *Soil Science*, Vol. 69, No. 2, pp. 123-133, (1950). https://doi.org/10.1097/00010694-195002000-00004

[24] L.A. Richards, Ed., "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils", Agriculture Handbook No. 60, *United States Department of Agriculture*, (1954). https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/hb60pdf/hb60complete.pdf