Iraqi National Journal of Earth Science
www.earth.mosuljournals.com

# تقييم الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك

**مهند عيسى خضر** [1*] **، صبار عبدالله صالح** [2] **، عمر صباح ابراهيم** [3]

[1,2] قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

[3] قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

**معلومات الارشفة**

**تاريخ الاستلام:** 15- ابريل -2024

**تاريخ المراجعة:** 17- مايو -2024

**تاريخ القبول:** 21- يونيو -2024

**تاريخ النشر الالكتروني:** 01- يوليو -2025

**الكلمات المفتاحية:**

مشروع ري كركوك

هيدروكيميائية

مياه جوفية

الأيونات الرئيسية الموجبة

**المراسلة:**

**الاسم:** مهند عيسى خضر

Email: Mohanaddroesh@tu.edu.iq

**الملخص**

تقع منطقة الدراسة في محافظة كركوك على امتداد المنطقة المحاذية لجانبي مشروع ري كركوك ابتداءً من سدة الدبس وصولاً الى نهاية قضاء طوز خورماتو وبمساحة تقدر بحوالي (220 كم²) بين خطي طول (″41˚00'00 و″46˚50'00) ودائرتي عرض (″38˚50'00 و″39˚40'00). تراوحت اعماق ومناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة ما بين 4 و36 متراً و178–262 متراً على التوالي. تم جمع (15) نموذجاً مائياً من مياه الآبار في منطقة الدراسة، وتم إجراء الفحوصات الفيزيائية والكيميائية عليها، وهي قيم الأس الهيدروجيني (pH) التي تراوحت ما بين (6.5 و8.5)، وقيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) ما بين (429 و1732 ppm)، وتراوحت قيم التوصيلة الكهربائية (EC) ما بين (2706 و671 µs/cm)، فيما كانت قيم تراكيز الأيونات الرئيسة الموجبة وهي أيون الكالسيوم (Ca+2) ما بين (85.38 ppm–313.60)، وأيون الصوديوم (Na+) ما بين (43.18 205.43 ppm)، وأيون المغنسيوم(Mg+2) ما بين (142.18 و29.34 ppm)، وأيون البوتاسيوم (K+) ما بين (27.99 – ppm 8.28 ppm). كما تراوحت قيم تراكيز الأيونات الرئيسة السالبة وهي أيون الكبريتات (SO4-2) ما بين (680 و 19 ppm)، وأيون الكلوريد (Cl−) ما بين (692 و 63 ppm)، وأيون البيكاربونات (HCO3−) ما بين (220.66 و77.76 ppm). اما المكونات الثانوية، وهي أيون النترات (NO3−) فتراوحت تراكيزها ما بين (8.66 و4.16 ppm)، وايون الفوسفات (PO4-3) ما بين (2.15 0.78 وppm). اما فيما يخص تصنيف المياه فقد استخدم في هذه الدراسة تصنيف بايبر (1944)، وتصنيف ستف (Stiff) وتصنيف Gibbs حيث صنفت المياه حسب تصنيف بايبر (1944) على إنها مياه قلوية أرضية مع الكبريتات السائدة او كلوريد المياه القلوي الارضي مع زيادة جزء القلويات. وبالنسبة لتصنيف ستف (Stiff) يتبين أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز المكونات الموجبة الرئيسة، في حين ان أيون الكلورايد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز المكونات السالبة الرئيسة.

DOI: 10.33899/earth.2024.148833.1270, ©Authors, 2025, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

# Assessment of the Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Vicinity of Kirkuk Irrigation Project

**Mohanad Essi Khudher [1*], Sabbar Abdullah Saleh [2], Omar Sabah Ibrahim [3]**
[1,2] *Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.*
[3] *Department of Earth Sciences, College of Science, Kirkuk University, Kirkuk, Iraq.*

**Article information**

**Received:** 15- Apr -2024

**Revised:** 17- May -2024

**Accepted:** 21- June -2024

**Available online:** 01- Jul – 2025

**Keywords**:
Kirkuk irrigation project
Hydrochemical
Groundwater
Cation Major Ions

**Correspondence**:
**Name:** Mohanad Essa Khudhur

Email:
Mohanaddroesh@tu.edu.iq

## ABSTRACT

The study area is located in Kirkuk Governorate along the area adjacent to both sides of the Kirkuk irrigation project, starting from Debs Dam to the end of Tuz Khurmatu district, with an area of about 220 km². It is situated between longitudes (46˚50'00″ and 41˚00'00″) and latitudes (38 ˚50'00″ and 39˚40'00″). The depths and groundwater levels in the study area (Debs and Tuz Khurmatu) range between 4-36 m and 178-262 m, respectively. Fifteen water samples are collected from well waters in the study area, and their physical and chemical tests are carried out. The pH values range between 6.5-8.5, total dissolved solids (TDS) values between 1732-429 ppm, and the values of the electrical conductivity (EC) range between 671– 2706 µs/cm. The values of the major cation's concentrations: calcium ion ($Ca^{+2}$) between (313.60-85.38 ppm), sodium ion ($Na^{+}$) between (43.18–205.43 ppm), magnesium ion ($Mg_2^{+}$) between (142.18–29.34 ppm) and potassium ion ($K^{+}$) between (27.99–8.28 ppm). The values of the concentrations of the major anions: sulfate ion ($SO_4^{-2}$) range from (680-19 ppm), chloride ion (Cl-) between (692–63 ppm), and bicarbonate ion ($HCO^{-3}$) between (220.66– 77.76 ppm). As for the secondary components concentrations: nitrate ion ($NO^{3-}$) ranges between (8.66–4.16 ppm) and phosphate ion ($PO_4^{-3}$) between (2.15–0.78 ppm). As for water classification, the Piper (1944) and Stiff and Gibbs classifications are used in this study. According to Piper's (1944) classification, the waters are classified as alkaline earth waters with predominant sulphates or chlorides, or alkaline earth waters with an increased alkali fraction. As for the Stiff classification, it turns out that the ion ($Ca^{+2}$) and the ion ($Mg^{+2}$) are the dominant major cations, while the chloride ion and the sulfate ion are the dominant major anions.

DOI: 10.33899/earth.2024.148833.1270, ©Authors, 2025, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## المقدمة

تُعَدُّ المياه الجوفية أحد المصادر الأساسية في العديد من البلدان حول العالم لتوفير المياه للمدن والمناطق الحضرية للاستخدامات المنزلية والزراعية والصناعية نظرًا لنقص المياه السطحية وكميات الأمطار. لذلك، يجب الحفاظ على جودة وكمية المياه الجوفية. كانت الكثير من المناطق في كركوك تعتمد على الأمطار في الزراعة، إلا ان ندرة مياه الامطار في الآونة الاخيرة ادت إلى الاعتماد على المياه الجوفية بشكل كبير للري (Dhahir, 2023). كما وان اي دراسة لتقييم مصادر المياه الجوفية، فإن نوعية المياه (خصائصها الكيميائية والفيزيائية) لا تقل اهمية عن كمية تلك المياه (Al-, 2014 Abaechi).

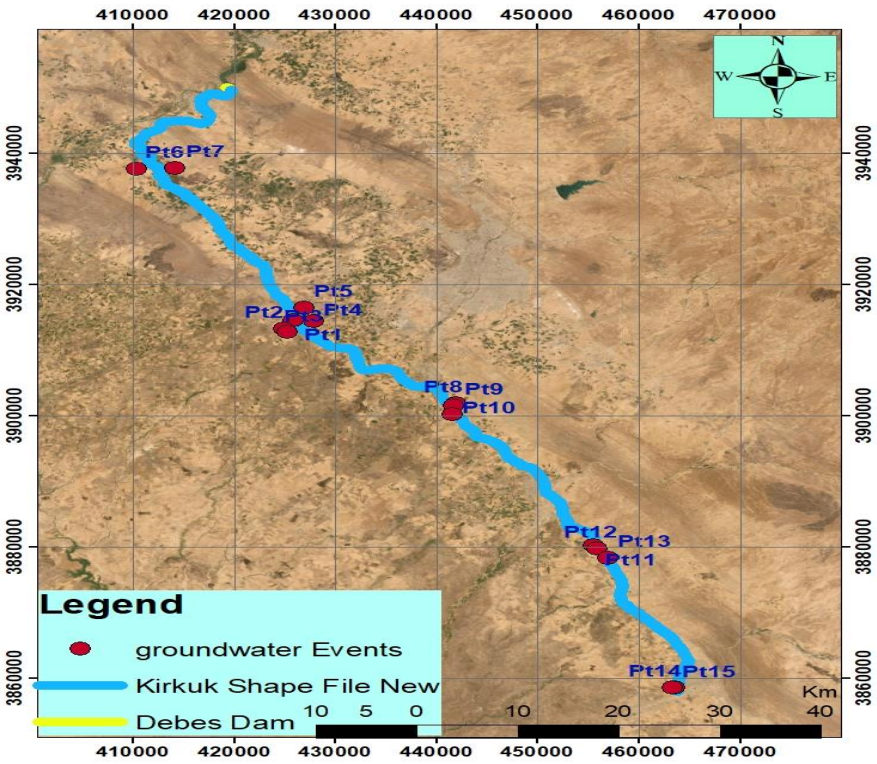
تتحكم العديد من العوامل في التركيب الكيميائي والمعدني للمياه السطحية والمياه الجوفية، ومن هذه العوامل نوعية المياه نفسها ومصدرها والمناخ، والطوبوغرافيا. تجتمع هذه العوامل معًا لإنتاج أنواع متنوعة من المياه التي تتغير مكانيًا وزمنيًا (Güler et al., 2002). وبالتالي، يمكن العثور على تباين كبير حتى في نفس المنطقة، خاصة في المناطق التي تحتوي على صخور ذات تركيبات وقابلية ذوبان مختلفة. كما وان التقارير تشير إلى ان الحروب القادمة سوف تكون بسبب المياه، لان الماء بالرغم من كونه ضرورياً للحياة، فقد يكون السبب في القضاء عليها إذا كان ملوثا (WHO, 2017).

تؤثر جودة المياه الجوفية بشكل كبير على آثار الأنشطة البشرية التي تسبب تلوثًا لسطح الأرض لأن معظم المياه الجوفية تنشأ من خلال إعادة شحن مياه الأمطار المتسربة من السطح (WHO, 1996).

الهدف من الدراسة هو إجراء تقيم هايدروكيميائي لنوعية المياه الجوفية وتصنيف نوعية هذه المياه.

## موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة شمالي العراق في محافظة كركوك على طول المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك ابتداءً من مدينة الدبس وصولا الى حدود قضاء طوز خورماتو مع قضاء سليمان بيك بين خطي طول (″00'00°41 و ″00'50°46) ودائرتي عرض (″00'50°38 و ″00'40°39) (شكل 1).




**شكل 1. خريطة موقعيه مبين عليها مواقع الابار المدروسة ومسار مشروع ري كركوك وموقع سدة الدبس.**

## جيولوجية منطقة الدراسة

تم تحديد جيولوجية منطقة الدراسة بالاعتماد على (Jassim and Goff, 2006)

تشمل المنطقة المدروسة وحدات صخرية مختلفة كما في الشكل (2)، وتشمل الوحدات الجيولوجية التالية:

**تكوين فتحة: Fat'ha Formation**

يتميز تكوين فتحة بسيادة صخور المتبخرات. ويتألف من صخور الأنهايدرايت والجبس مع وجود تداخلات من الحجر الجيري والطين الجيري والرمال الطينية والتي تكون ناعمة نسبياً. كما ويمتاز هذا الكتوين بسمكه الكبير. تعود فترة تكوينه إلى المايوسين الأوسط

**تكوين إنجانا: Injana Formation**

يتألف تكوين إنجانا من الحجر الرملي الجيري والطين الأحمر والأخضر مع وجود طبقة رقيقة من الجبس ويحتوي الحجر الرملي الجيري على علامات النيم. حيث يتم تغطيتها بدورات من الطين الرملي والطين الأحمر. سمك التكوين

متغير بسبب التآكل الحاصل على الطيات الرئيسة (Jassim and Goff, 2006). وعادة ما تعود فترة التكوين الى المايوسين الأعلى

**تكوين مقدادية: Mukdadiya Formation**

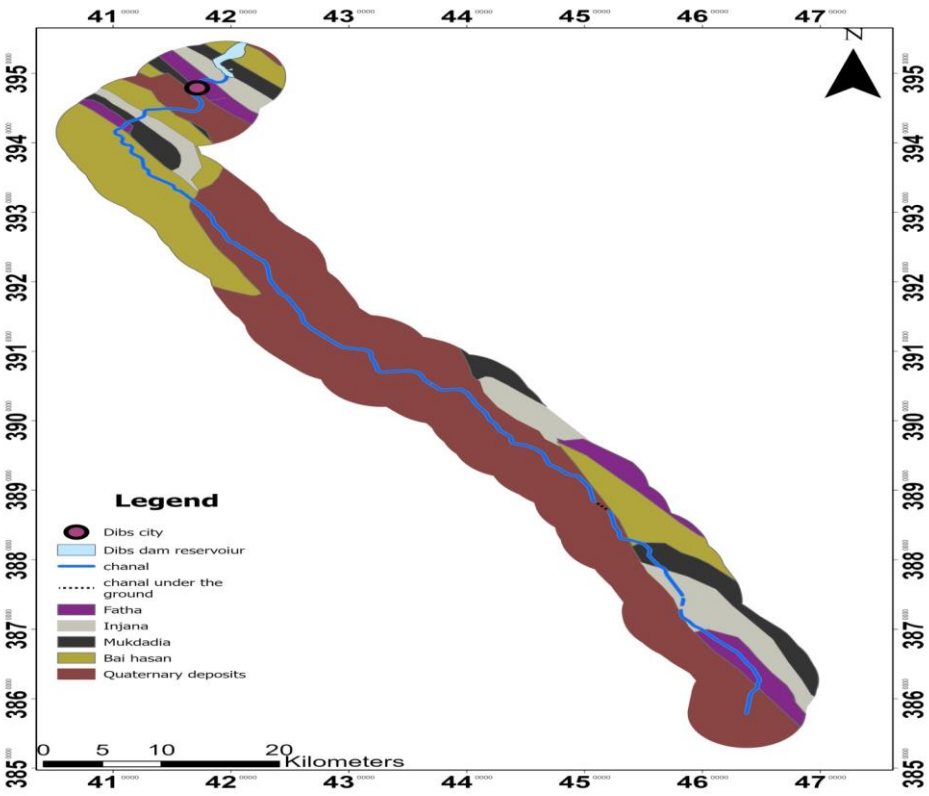
يبدأ تكوين مقدادية عادةً بالحجر الرملي الحصوي. يتميز بطبقات سميكة من الحجر الرملي والطين الرملي بكونها سمة مميزة لهذا التكوين. يمكن ملاحظة نقصان في حجم الحبيبات جزئيًا على طول محور منطقة الترسيب الرئيسة (Buday, 1980). عمر التكوين يعود إلى أواخر العصر الميوسين

**تكوين باي حسن: Bai Hassan Formation**

يتألف تكوين باي حسن من تناوب الكونكلوميريت والطين الرملي مع الحجر الرملي والطين الرملي. تظهر هذه المكونات تباينًا سواءً مع الطول أو عموديًا. عمر التكوين يعود إلى أواخر البليوسين

**ترسبات العصر الرباعي: Quaternary Sediments**

تتألف ترسبات العصر الرباعي من مزيج من مختلف احجام الرواسب بما في ذلك الحصى، والحجارة الصغيرة، والرمال، والغرين، والطين. الحصى في الغالب من الكربونات، والتي تُشتق من تكوين باي حسن. هذه الرواسب تغطي تكوين باي حسن والتمييز بينهما صعب للغاية، نظرًا لتشابه تركيبهما الصخري وغياب الأحافير في كلتا الوحدتين. سمك الرواسب الرباعية متغير ويغطي معظم مساحة منطقة الدراسة. عمر هذه الرواسب يمتد من البليستوسين إلى الهولوسين.




**شكل 2. خريطة جيولوجية مبين عليها سدة الدبس ومسار مشروع ري كركوك والتكوينات الظاهرة في منطقة الدراسة معدلة من Sissakian and Fouad, 2015).**

## المواد وطرائق العمل

تم اجراء جولات استطلاعية، ففي الجولة الأولى تم التعرف على جيولوجية المنطقة بصورة عامة، اما الجولة الثانية، فقد تم خلالها تحديد مواقع الابار المنتخبة للدراسة. وفي الجولة الثالثة بدأت عملية النمذجة من الابار التي تم تحديدها مسبقا. تم جمع عينات المياه الجوفية من 15 موقعًا (بئراً) والمبينة مواقعها في الشكل (1). تمت عملية جمع

النماذج من الآبار بقناني بلاستيكية ذات سعة (1) لتر من كل بئر، اي ان مجموع العينات المأخوذة هي (15) عينة. وقبل اخذ العينات من الآبار تم غسل القنينة بماء البئر بشكل جيد قبل ملئها ومن ثم أخذ العينة بعد تشغيل المضخة لمدة لا تقل عن (25) دقيقة لغرض التأكد بان المياه التي تم اخذها تمثل مياه الخزان الجوفي، ويتم ملؤها ببطء لتجنب حدوث عكوره او فقاعات، مع تثبيت أسم صاحب البئر ورقم البئر وتاريخ أخذ النموذج وجهة الحفر، ومن ثم حفظ العينات في حاوية باردة وبعيدا عن اشعة الشمس لكيلا تطرأ عليها أي تغيرات نوعية ومن ثم نقلها إلى المختبر. تم اجراء القياسات الفيزيائية والتحاليل الكيميائية للعينات المائية التي تم جمعها من آبار منطقة الدراسة في مختبرات قسم الهندسة الكيمياوية، كلية الهندسة، جامعة تكريت وفقًا للإجراءات التحليلية القياسية.

**الدقة Precision**

وهي عملية إحصائية تبين اختبار مدى ملاءمة وقرب النتائج من قيمها الفعلية، ويمكن أن تقاس بوساطة التوازن الأيوني (Ionic Balance) بوحدة (epm) باعتبار أن تراكيز العناصر الثانوية قليلة وغير مؤثرة عند الاعتماد عليها في التفسيرات الخاصة بالصفات الهيدروكيميائية، اذ يتم ذلك بقياس الفرق النسبي (Relative Difference) ويقصد به الفرق الحاصل في مجموع الأيونات الرئيسة السالبة والموجبة على المجموع الكلي لتلك الأيونات (Hem, 1985) وكما يأتي:

$$\%E = \frac{\sum r.Cat - r.Ani}{\sum r.Cat + r.Ani} * 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$A = 100 - \%E$$

إذ أن، $\%E$ : النسبة المئوية للخطأ؛ $\sum r.Cat$: مجموع تراكيز الأيونات الموجبة بوحدات (epm)؛ $\sum r.Ani$: مجموع تراكيز الأيونات السالبة بوحدات (epm)؛ $A$: دقة التحليل.

يوضح الجدول (1) نتائج حساب الدقة للنماذج المدروسة.

وبالاعتماد على قيمة (A) يؤخذ القبول أو الرفض للتحليل وكما يلي (Hem, 1989) (جدول 2):

1- إذا كانت قيمة A= 100-95 وتعني دقة عالية ويمكن اعتماد التحليل.
2- إذا كانت قيمة A= 94-90 تعني هذه استخدام التحليل بحذر.
3- إذا كانت قيمة A < 90 فهذا يعني لا يمكن استخدام نتائج التحليل.

يبين الجدول (1) النسبة المئوية للخطأ ودقة التحليل للمياه الجوفية والسطحية في منطقة الدراسة.

**جدول 1: النسبة المئوية للخطأ وصحة نتائج التحاليل الكيميائية لمياه الآبار في منطقة الدراسة.**

| No. of Sample | E (%) | A | Destines (m) |
|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 97 | 230 |
| 2 | 4.8 | 95.2 | 1.991 |
| 3 | 4.5 | 95.5 | 2.149 |
| 4 | 5.5 | 94.5 | 1.687 |
| 5 | 3.5 | 96.5 | 1.413 |
| 6 | 4.8 | 95.2 | 1.733 |
| 7 | 4.7 | 95.3 | 2.133 |
| 8 | 4.3 | 95.7 | 1.465 |
| 9 | 5.5 | 94.5 | 1.691 |
| 10 | 3.3 | 96.7 | 606 |
| 11 | 5.4 | 94.6 | 271.1 |
| 12 | 4.8 | 95.2 | 2971 |
| 13 | 3.6 | 96.4 | 432 |
| 14 | 4.6 | 95.4 | 48 |
| 15 | 4.9 | 95.1 | 606 |

وعند مقارنة النسبة المئوية للخطأ مع الجدول (2) وجد إن النماذج المائية في منطقة الدراسة تقع ضمن الحدود المسموح بها لصحة التحاليل، وبذلك يمكن الاعتماد عليها في التفسيرات الهيدروكيميائية.

**جدول 2: تصنيف الصحة للتحاليل الكيميائية**

| النتيجة | صحة التحليل | A الصحة | E الخطأ النسبي |
|---|---|---|---|
| أكيد | Certain | A ≥ 95% | E ≤ 5% |
| محتمل أكيد | Probable certain | 90% ≤ A ≤ 95% | 10% ≥ E ≥ 5% |
| غير أكيد | Uncertain | 90%<A | E > 10% |

## النتائج والمناقشة

من أجل فهم هيدروكيميائية المياه الجوفية في المنطقة المدروسة وتقييمها للأغراض والاستخدامات المختلفة، تم إجراء تحاليل لعينات المياه الجوفية من الابار المنتخبة. وقد تمت مناقشتها بالملاحظات التالية وفق المعايير المختلفة.

### الصفات الفيزيائية للمياه الجوفية

#### الأس الهيدروجيني (pH)

يمثل الأس الهيدروجيني للمحلول قيمة عددية لوغارتمية مقلوبة لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول والمراد قياس دالته الحامضية أو **القاعدية (**Boyd, 2000**) حيث:**

$$pH = -Log\ [H^+]$$

تكون قيمة الأس الهيدروجيني للمياه النقية متعادلة عندما $[H^+]=[OH^-]$، أي إن (pH)=7.

تتراوح قيم الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية في الطبيعة عموماً ما بين (6.5-8.5) مع احتمالية وجود قيم اقل من (6.5) لبعض مياه الينابيع الحارة (Boyd, 2000) .

وتراوحت قيم الـ (pH) في نماذج مياه الآبار قيد الدراسة ما بين (7.82– 8.02) (جدول 3).

#### المواد الصلبة الذائبة الكلية Total Dissolved Solid (TDS)

تعرف المواد الصلبة الذائبة الكلية على إنها الكمية الكلية للمواد المتبقية من عملية التبخر للنموذج المائي حينما يصل لدرجة الجفاف(Hem, 1985) ، وقد وصفها (Boyd, 2000) بأنها المواد التي تمر من خلال ورقة الترشيح (0.2 µm) أو من خلال المسامات الدقيقة.

تراوحت قيم (TDS) في نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة ما بين (1732 ppm – 429 ppm)، وقد لوحظ وجود تفاوت كبير في تراكيز الـ TDS ويعود السبب في ذلك الى عدة عوامل وهي تغاير ليثولوجية المنطقة، وكذلك الانحدار وطوبوغرافية سطح الأرض، والذي انعكس على ملوحة المياه الجوفية، بحيث أعطى هذا المدى الكبير من التفاوت في القيم (جدول 3).

#### التوصيلية الكهربائية Electrical Conductivity (EC)

هي مقياس قدرة المياه على توصيل التيار الكهربائي من خلال حاملات الشحنة الأيونية، ترتبط السهولة التي يتحرك بها التيار عبر الماء بكمية الايونات المذابة ( $CO_3^{2-}$, $HCO_3^-$ $Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $Na^+$, $K^+$ $Cl^-$, $SO_4^{2-}$) السائدة (Nag and Suchetana, 2016). تراوحت قيم التوصيلية الكهربائية في نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة ما بين (2706 µs/cm –671 µs/cm)، ويلاحظ زيادة قيم التوصيلية الكهربائية بزيادة كمية الأملاح المذابة (جدول 3). تكون العلاقة بينهما خطية حسب (Liñán Baena *et al.*, 2008).

**الجدول 3: قيم الصفات الفيزيائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.**

| النموذج | pH | TDS Ppm | EC µ mohs/cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 7.98 | 1347 | 2104 |
| 2 | 7.94 | 1436 | 2279 |
| 3 | 7.95 | 1273 | 1989 |
| 4 | 7.97 | 1362 | 2128 |
| 5 | 8.02 | 1732 | 2706 |
| 6 | 7.92 | 903 | 1411 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1249 | 799 | 7.88 | 7 |
| 1295 | 829 | 7.94 | 8 |
| 1272 | 814 | 7.93 | 9 |
| 1642 | 1051 | 7.99 | 10 |
| 1457 | 932 | 7.86 | 11 |
| 1179 | 755 | 7.89 | 12 |
| 1318 | 844 | 7.82 | 13 |
| 879 | 562 | 7.85 | 14 |
| 671 | 429 | 7.86 | 15 |

**الأيونات الرئيسة Major Ions**

**الأيونات الموجبة الرئيسة Major Cations**

يكون وجود الأيونات الموجبة الرئيسة في المياه الجوفية على نوعين هما أيونات العناصر القلوية التي تشمل أيوني البوتاسيوم ($K^+$) والصوديوم ($Na^+$)، وأيونات العناصر القلوية الأرضية والتي تشمل أيوني الكالسيوم ($Ca^{2+}$) والمغنيسيوم ($Mg^{2+}$).

**أيون الكالسيوم ($Ca^{+2}$) Calcium Ion**

يعد الكالسيوم أحد الكتيونات الرئيسة في المياه الجوفية، ويأتي أيون الكالسيوم من التجوية الكيميائية للصخور والمعادن الحاوية على هذا الأيون مثل البايروكسين والامفيبول والفلدسبار في الصخور النارية والكالسايت والدولومايت والاراغونايت والجبسوم في الصخور الرسوبية، وتعد المعادن الطينية هي الأخرى مصدرا لهذا الأيون (Todd, 2005)، كما تعد عمليات الدلمتة مصدراً للأيون الذي يتحد مع أيون البيكاربونات مكوناً بيكاربونات الكالسيوم المسؤولة عن العسرة المؤقتة (Al-Hamdani, 2009).

تراوحت تراكيز أيون ($Ca^{+2}$) في آبار المنطقة ما بين (85.38 ppm –313.60)، وان السبب وراء التباين والزيادة الحاصلة في تركيز هذا الايون قد يعود لاختراق الابار تكوين فتحة جزئيا، وبالتالي تأثرت مياهها بالمواد المذابة فيه وهي على الارجح صخور الجبس (جدول 4).

**أيون الصوديوم ($Na^+$) Sodium Ion**

تعد تجوية صخور المتبخرات أهم المصادر لأيون الصوديوم. تتميز أملاح الصوديوم بانحلالها الشديد في المياه ولا تترسب بسهولة ويمكن أن تزال كميات كبيرة من أيون ($Na^+$) من المياه بفعل عملية التبادل الأيوني (Ionic exchange) (Al-Shammari, 2006)، ويعد الفلدسبار القلوي (Alkali Feldspar) من المصادر الأساسية لأيون الصوديوم (Al-Manami, 2002)، كما يوجد الأيون في معادن المتبخرات مثل الهالايت (NaCl).

يقدر وجوده في المياه السطحية بحدود (6.3 ppm)، وفي المياه الجوفية بحدود (30 ppm) (Langmuir , 1997 )ويصل في المياه البحرية إلى (10000 ppm) (Ali *et al.*, 2000).

تراوحت تراكيز أيون ($Na^+$) في آبار منطقة الدراسة ما بين ( 43.18 ppm– 205.43 ppm )، كما يعود ارتفاع تركيز هذا الأيون في بعض الآبار إلى وجود ترسبات ملحية، حيث تؤدي مياه الري والأمطار المترشحة إلى ارتفاع تركيز هذا الأيون في المياه الجوفية، وخاصة في الآبار القريبة من هذه الترسبات فضلا عن زيادة تركيز هذا الأيون في داخل القرى، وهذا يعود إلى تأثير الفعاليات البشرية التي تؤدي إلى زيادة تركيز هذا الأيون (جدول 4).

**أيون المغنسيوم ($Mg^{+2}$) Magnesium Ion**

يوجد أيون المغنيسيوم في المعادن القلوية الأرضية، كذلك يوجد بمقدار اقل من الصوديوم والكالسيوم في الصخور النارية وخاصة في معدن الأولفين البايروكسين والامفيبول والمايكا، وفي الصخور الرسوبية يوجد المغنيسيوم متداخلا مع الكاربونات، مثل: معدن المغنسايت والهيدرومغنسايت ومعدن البروسايت المتكون من هيدروكسيد المغنيسيوم ( Helstrup *et al.*, 2007).

تراوحت تراكيز **أيون ($Mg^{+2}$) في** آبار منطقة الدراسة ما بين (29.34 ppm –142.18)، اذ ترتفع التراكيز في بعض الآبار، فيما نلاحظ انخفاضها في ابار اخرى، ويعود السبب في ذلك الى نوعية الطبقات الحاوية لهذه المياه في التكوينات الحاملة لها (جدول 4).

**أيون البوتاسيوم ($K^+$) Potassium Ion**

يعد البوتاسيوم من الفلزات القلوية والأقل وفرة من الصوديوم، ويأتي من التجوية الكيميائية للمعادن الحاوية على البوتاسيوم مثل: الفلدسبار والأورثوكليس والمايكروكلاين، ويوجد في صخور المتبخرات مثل معدن السلفايت ويوجد أيضا بنسبة اقل من الصوديوم

تراوحت تراكيز أيون ($K^+$) في آبار منطقة الدراسة ما بين (8.28 ppm –27.99)، اذ لوحظ وجود تباين في نسبة أيون البوتاسيوم، ويعود السبب الى التجوية الكيمائية الحاصلة في منطقة الدراسة وكذلك مصدره من الصخور الملحية. (جدول 4).

**الجدول 4: قيم الأيونات الموجبة الرئيسةMajor Cations للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.**

| $K^+$ (ppm) | $Mg^{++}$ (ppm) | $Ca^{++}$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | النموذج |
|---|---|---|---|---|
| 20.51 | 138.30 | 281.90 | 186.91 | 1 |
| 26.52 | 141.88 | 306 | 205.43 | 2 |
| 17.71 | 130.29 | 313.60 | 86.42 | 3 |
| 18.89 | 140.60 | 279.83 | 112.59 | 4 |
| 27.99 | 142.18 | 302 | 176.91 | 5 |
| 8.281 | 91.63 | 180.09 | 51.35 | 6 |
| 12.42 | 78.53 | 170.12 | 77.65 | 7 |
| 15.14 | 96.52 | 182.93 | 87.80 | 8 |
| 11.03 | 73.70 | 114.62 | 73.51 | 9 |
| 18.17 | 105.66 | 198.55 | 135.49 | 10 |
| 8.93 | 74.57 | 113.07 | 58.76 | 11 |
| 10.39 | 68.40 | 106.47 | 72.79 | 12 |
| 20.21 | 114.07 | 240.37 | 103.80 | 13 |
| 12.27 | 29.34 | 85.387 | 43.18 | 14 |
| 9.08 | 38.41 | 110.74 | 46.11 | 15 |

**الأيونات السالبة الرئيسة Major Anions**

وتشمل دراسة أيونات الكبريتات والكلوريد والبيكاربونات:

**أيون الكبريتات ($SO_4^{-2}$) Sulphate Ion**

يوجد أيون الكبريتات في المياه الجوفية بسبب تفكك وذوبان صخور المتبخرات (Evaporites) مثل الجبس ($CaSO_4.2H_2O$)، والانهايدرايت ($CaSO_4$).

إن أغلب مركبات الكبريتات لها قابلية الذوبان في مياه الأمطار والسقي، وزيادة تلك المياه تعمل على غسل الترب وزيادة المذابات في مياهها أو المياه التي يعاد ضخها، مما يعمل على زيادة المواد المذابة وبمرور الزمن يزداد تأثير العملية ويؤثر على المياه الجوفية (Al-Janabi, 2008).

تراوحت تراكيز أيون ($SO_4^{-2}$) في آبار منطقة الدراسة ما بين (194 ppm –680) (جدول 5).

**أيون الكلورايد ($Cl^-$) Chloride Ion**

وهو الأيون الذي تكون معظم أملاحه سريعة الذوبان بالمياه الجوفية، لذلك فإنه من أكثر الأيونات شيوعا وتركزا في المياه الجوفية، ويتوفر بكثرة في الصخور الرسوبية كصخور المتبخرات، وفي معادن الصخور النارية مثل الاباتايت (Hem, 1985)، يكوّن الكلورايد أملاحا سهلة الذوبان ولا يمتز الأيون بسهولة من المعادن الطينية ويعد متحركاً جداً في الغلاف المائي (Hussein, 2006). تراوحت تراكيز الأيون ($Cl^-$) في آبار المنطقة ما بين (63 ppm –692 ) (جدول 5).

### أيون البيكاربونات ($HCO_3^-$) Bicarbonate Ion

يعد أيون البيكاربونات أحد الأيونات الرئيسة في المياه الطبيعية، وان أحد مصادره في المياه يعود إلى تفكك حامض الكاربونيك ($H_2CO_3$) الذي يتكون من ذوبان غاز ($CO_2$) من الجو أو من بعض الكائنات الحية (كالأسماك أو البكتريا) في الماء، حيث ان هذه القيمة من الأس الهيدروجيني هي النقطة التي تتحول فيها كل ($H_2CO_3$) إلى ($HCO_3^-$) وتحت هذه القيمة يتحول كل ($CO_3^=$) إلى بيكاربونات أيضا (Appelo and Postma, 1999). تراوحت تراكيز أيون ($HCO_3^-$) في آبار منطقة الدراسة ما بين (73.44 ppm –220.66) (جدول 5).

**الجدول 5: قيم الأيونات السالبة الرئيسة Major Anions للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.**

| $HCO_3^-$ ppm | $Cl^-$ ppm | $SO_4^=$ ppm | النموذج |
|---|---|---|---|
| 194.40 | 692 | 453 | 1 |
| 161.56 | 596 | 660 | 2 |
| 212.00 | 365 | 680 | 3 |
| 194.82 | 468 | 542 | 4 |
| 220.66 | 576 | 622 | 5 |
| 155.00 | 234 | 388 | 6 |
| 73.44 | 255 | 412 | 7 |
| 133.92 | 238 | 510 | 8 |
| 168.48 | 149 | 322 | 9 |
| 151.20 | 290 | 610 | 10 |
| 159.84 | 146 | 304 | 11 |
| 164.16 | 148 | 298 | 12 |
| 77.76 | 489 | 456 | 13 |
| 138.24 | 63 | 194 | 14 |
| 123.62 | 89 | 258 | 15 |

## المكونات الثانوية Minor Contents

### أيون النترات ($NO_3^-$) Nitrate Ion

يعد أيون النترات أحد أهم أشكال النتروجين في المياه الجوفية (Manii, 2009) وكما هو معروف، فإن النايتروجين عنصر مهم في الدورة البايوجيوكيميائية ويوجد في المواد العضوية (Al-Manami, 2002).

هناك العديد من مصادر النترات في المياه الجوفية، ومن هذه المصادر مياه الأمطار، ومياه الفضلات الصحية (Sewage)، ونتيجة للعمليات البايولوجية في التربة؛ وكذلك نتيجة للنشاط الزراعي (Al-Zaibe, 2000).

تراوحت تراكيز أيون ($NO_3^-$) في آبار منطقة الدراسة بين (4.16 ppm– 8.66 ppm ) (جدول 6).

### ايون الفوسفات ($PO_4^{-3}$) Phosphate Ion

يوجد الفسفور في حالات تأكسد عديدة بين ($P^{+5}$ - $P^{-3}$) والشكل الذي يوجد عليه في المياه الطبيعية هو ($PO_4^{-3}$) (Hem, 1989)، أما الـ Poly phosphate فتنتج من فضلات مساحيق الغسيل أو الفضلات المنزلية ويتحول هذا النوع إلى Orthophosphate (Mckenzie *et al.*, 2001).

تراوحت قيم تراكيز أيون الفوسفات ($PO_4^{-3}$) في آبار منطقة الدراسة ما بين (0.78 ppm– 2.15 ppm )، وان هذه التراكيز تعد طبيعية ولا يوجد فيها ارتفاع وأن المنطقة المأخوذة منها النماذج هي مناطق زراعية ولا يوجد تأثير للفعاليات البشرية فيها باستثناء استعمال الأسمدة الكيمائية للمزروعات (جدول 6).

**الجدول 6: قيم الأيونات السالبة الرئيسة Major Cations للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.**

| $PO_4$ ppm | $NO_3$ ppm | النموذج |
|---|---|---|
| 1.25 | 8.66 | 1 |
| 1.02 | 8.12 | 2 |
| 1.22 | 7.88 | 3 |
| 1.68 | 6.49 | 4 |
| 1.48 | 8.55 | 5 |
| 0.97 | 4.322 | 6 |
| 1.26 | 5.12 | 7 |
| 2.15 | 5.34 | 8 |

| | | |
|---|---|---|
| 1.55 | 5.18 | 9 |
| 1.4 | 6.42 | 10 |
| 0.88 | 4.86 | 11 |
| 1.12 | 5.74 | 12 |
| 0.94 | 6.48 | 13 |
| 0.78 | 4.22 | 14 |
| 1.24 | 4.16 | 15 |

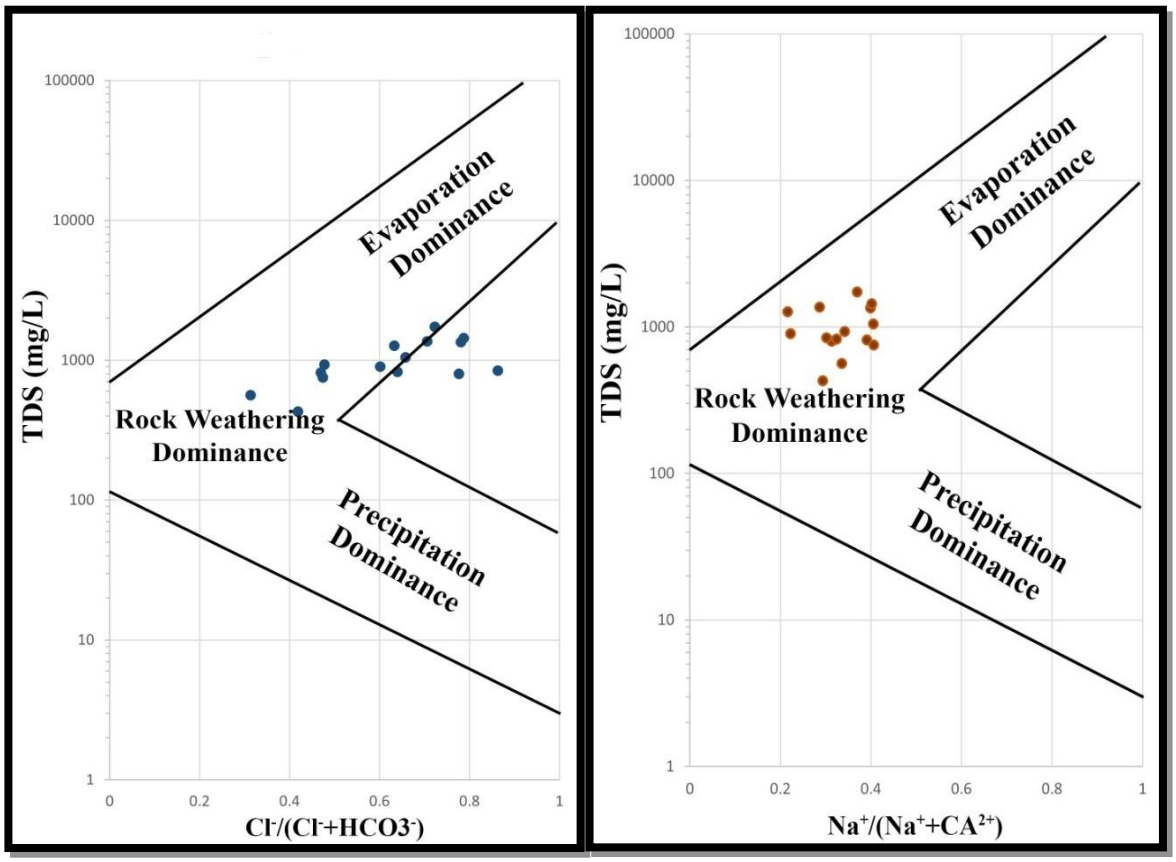
## تصنيف المياه Water Classification

يستخدم عدد كبير من التصانيف والعلاقات والطرائق البيانية بغية معالجة نتائج التحاليل الكيميائية للمياه وترتيبها وتنظيمها وتهيئتها للتفسير المتكامل. وتكمن أهمية تصنيف المياه في تحديد مصادر المكونات المذابة في الماء وبالتالي تحديد نوعية المياه، والتطور في صفات الماء وخاصة المياه الجوفية عند مرورها خلال منطقة ما وتحديد العوامل الجيوكيميائية.

وقد استخدمت في هذه الدراسة عدة تصانيف ومنها تصنيف (Gibbs)، تصنيف بايبر (1944)، وتصنيف ستف (Stiff).

### تصنيف (Gibbs)

يعد هذا التصنيف مهماً للتعرف على العوامل الطبيعية المؤثرة على كيميائية المياه. هذه العوامل كما أكدها راتري وآخرون (2021) وتشمل التبخر، والتفاعل بين الماء والصخور، وهطول الأمطار (Umar, 2024) (الشكل 3).

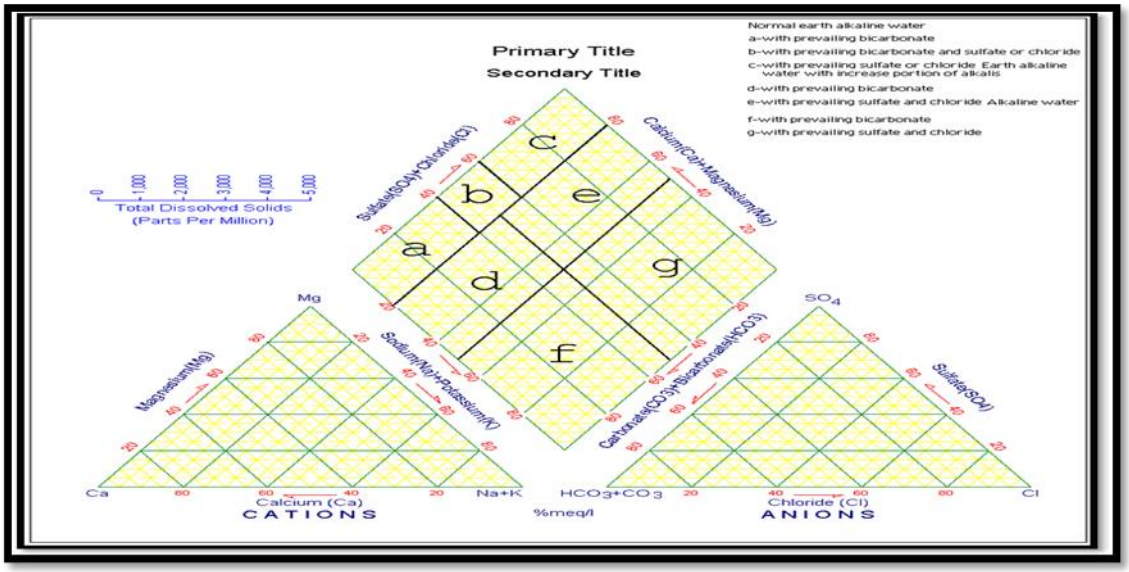



**شكل 3. مخطط Gibbs يوضح العوامل الطبيعية المؤثرة على كيمياء المياه الجوفية في ابار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.**

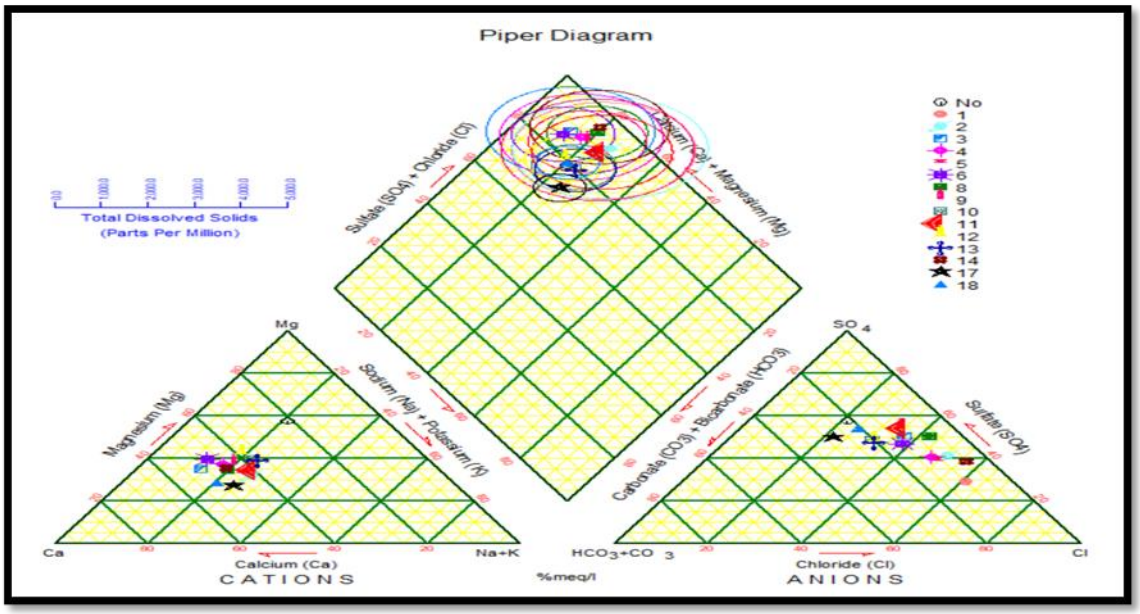
### تصنيف بايبر (Piper Classification, 1944)

يعد هذا التصنيف احد الطرائق المتبعة لمعرفة نوعية المياه عن طريق التسقيط الثلاثي لتمثيل نتائج التحاليل الكيمياوية معبرا عنها بـ (epm%) للأيونات الموجبة والسالبة على مثلثين ومعين متساوي الأضلاع، ويخصص المثلث

الأيمن للأيونات السالبة، ويكون اتجاه القراءة عليه بعكس اتجاه عقارب الساعة، أما المثلث الأيسر فهو للأيونات الموجبة والقراءة علية باتجاه عقارب الساعة، ويستخدم المعين لتمثيل التركيب الأيوني للعينة، ، وبهذا كانت غالبية النماذج المائية على موقع الحرف (c) والحرف (e) كما في الشكل (3)، إذ ان هذه الأشكال توضح التمثيل الثلاثي لنتائج تحاليل النماذج المائية في منطقة الدراسة، حيث صنفت المياه فيها على انها مياه قلوية أرضية مع الكبريتات السائدة او كلوريد المياه القلوي الارضي مع زيادة جزء القلويات، ومياه قلوية ارضية مع الكبريتات السائدة وكلوريد المياه القلوية على التوالي (الشكلان 4 و 5).




**الشكل 4. مخطط بايبر الثلاثي (Piper trilinear diagram, 1944)**

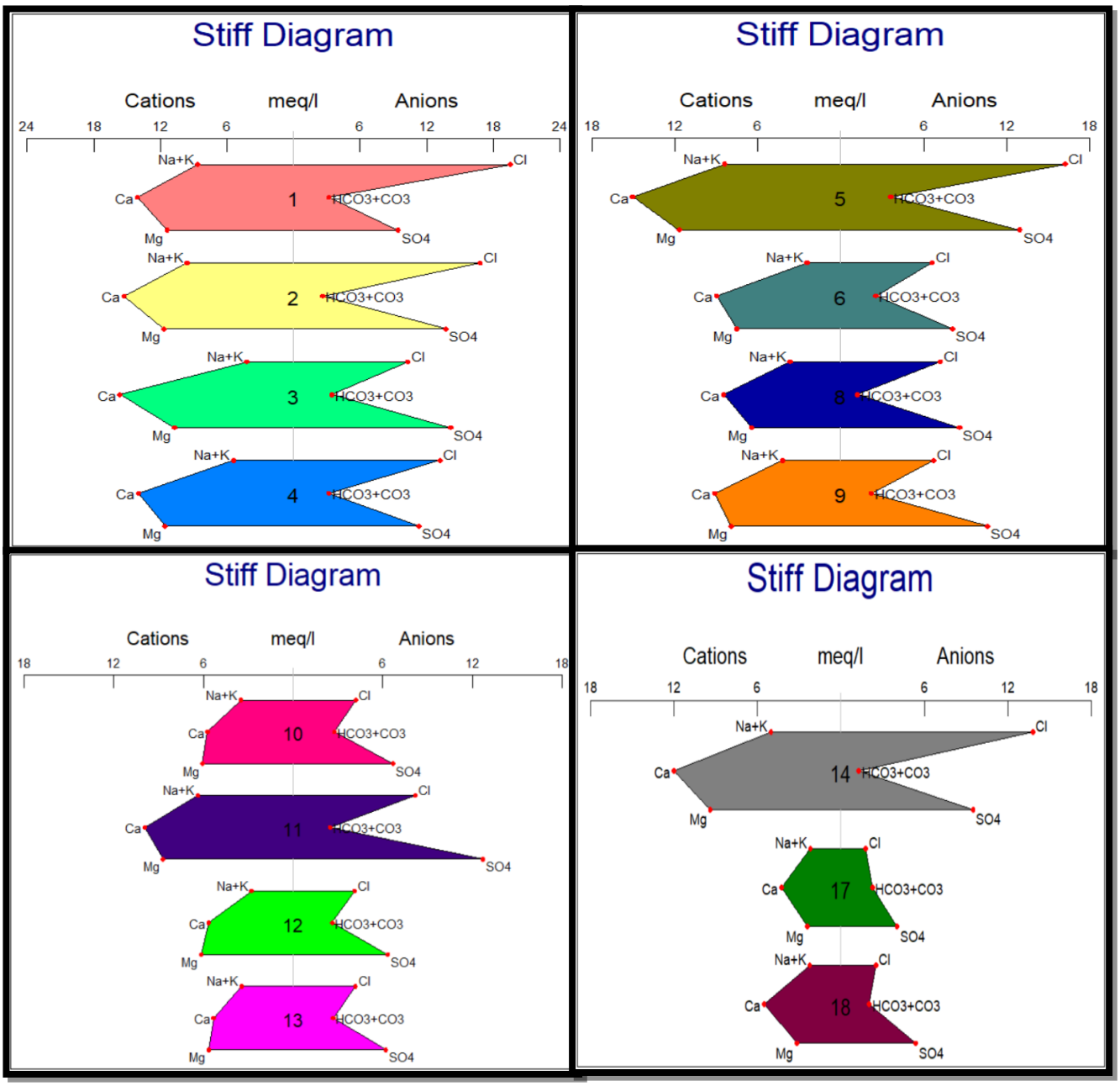



**الشكل 5. التمثيل الثلاثي لنتائج التحليل الكيمياوي للمياه في منطقة الدراسة.**

## تصنيف ستف (Stiff)

يعد هذا التصنيف وسيلة جيدة لإظهار العلاقة بين تراكيز الأيونات الموجبة والسالبة الرئيسة لنماذج مياه الآبار بوحدات (meq/l) بوساطة مخطط بياني، إذ تسقط الأيونات الموجبة على الجهة اليسرى من المخطط، والأيونات السالبة على الجهة اليمنى منه وحسب النسب، ومن خلال تطبيق تمثيل (Stiff) على نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة، يتبين

أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز الأيونات الموجبة الرئيسة، في حين أيون الكلورايد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز الأيونات السالبة الرئيسة (الشكل 6).




**شكل 6. تراكيز المكونات الرئيسة لمياه الآبار في منطقة الدراسة بطريقة ستف.**

## الاستنتاجات

1. كان لجيولوجية المنطقة والظواهر التركيبية في منطقة الدراسة الدور الاساسي والمتحكم في صياغة النظام الهيدروجيولوجي للحوض وكذلك تحديد ملامحه وحدوده الهيدروجيولوجية.
2. عكست قياسات مناسيب المياه الجوفية في الآبار المدروسة في منطقة الدراسة ان اعلى قيمة للمياه الجوفية هي المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك والذي قد يعتبر مصدراً لتغذية المياه الجوفية، وتقل المناسيب كلما ابتعدنا عن مشروع ري كركوك.
3. من خلال اسقاط تراكيز الايونات الرئيسة في مياه منطقة الدراسة على مخططات ((Piper, 1944 و (Stiff)، يتبين أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز الأيونات الموجبة الرئيسة، في حين أيون الكلورايد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز الأيونات السالبة الرئيسة.

4. بعض نماذج مياه منطقة الدراسة غير صالحة لأغراض الري وبنسب متفاوتة ماعدا الآبار القريبة من مشروع ري كركوك (منطقة التغذية) اذ تكون مياهها ذات نوعية جيدة نوعاً ما. وأن أهالي المنطقة يعتمدون عليها في بعض الاحيان في الشرب وكذلك للزراعة والاستعمالات الأخرى.

## شكر وتقدير

يعرب المؤلفون عن امتنانهم الكبير الى السيد رئيس تحرير المجلة العراقية الوطنية لعلوم الارض الأستاذ الدكتور ريان غازي ذنون، ومدير التحرير الاستاذ المساعد الدكتور عزالدين صالح الجوادي، وجميع المحررين الفنيين على جهودهم الكبيرة وتعليقاتهم القيمة.

## المصادر

Al- Abaechi, O.M.S.O., 2014. Hydrogeochemistry of Selected Wells on Both Banks of the Tigris River in Mosul Area/ Northern Iraq, Iraqi National Journal of Earth Science (INJES), Vol. 14, No. 1, pp. 1-18. DOI:10.33899/earth.2014.87483 (In Arabic)

Al-Hamdani, J. A., 2009. Hydrochemical Effect of Groundwater Due to Irrigation and Drainage Projects in Tawuq Sub-Basin (South of Kirkuk - North of Iraq), MSc Thesis, University of Baghdad (Unpublished), 121 P.

Ali, M.H., Muhammad, K.I., and Hassoun, N.A., 2000. Water Sciences, Dar Al-Kutub Directorate for Printing and Publishing, Baghdad, 1063 P. (In Arabic)

Al-Janabi, M.A.J., 2008. Hydrochemistry of the Open Aquifer and the Relationship of its Water to the Sediments of the Unsaturated Range in the Samarra-Tikrit Basin (East Tigris), Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, PhD Thesis (unpublished), 154 P. (In Arabic)

Al-Manami, D.M., 2002. A Geochemical and Environmental Study of Groundwater in the City of Sulaymaniyah and its Suburbs, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, Master's Thesis (unpublished), 200 P. (In Arabic)

Al-Shammari, A.N., 2006. A Hydrogeological and Hydrochemical Study of Al-Rehab / South and Southwest of Samawa City, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, MSc. Thesis (unpublished), 111 P. (In Arabic)

Al-Zaibe, A.H., 2000. Geochemical and Environmental Characteristics of the Soil and Ground Water Sources in the North Eastern of Region of Almafreq. Jordan, Unpubl. PhD. Thesis, University of Baghdad, 201 P.

Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1999. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam.

Boyd, C.E., 2000. Water Quality an Introduction, Klwer Academic Publishers, USA, 330 P.

Buday, T., 1980. The Regional Geology of Iraq (Vol. I): Stratigraphy and Paelogeography. Dar Al-Kutib Publ., Mosul, Iraq, 445 P.

Dhahir, K.A., 2023, Groundwater Investigation Using Self-Potential (SP) Method in Part of Kirkuk City - Northern Iraq, Journal The Iraqi National Journal of Earth Science (INJES), Vol. 23, No. 2, pp. 266-278, DOI:10.33899/earth.2023.141257.1099.

Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E. and Turner, A.K., 2002. Evaluation of Graphical and Multivariate Statistical Methods for Classification of Water Chemistry Data. Hydrogeology Jour., Vol. 10, pp. 455-474.

Helstrup, T., Jorgensen, N.O. and Yakubo, B.B., 2007. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater from the Cretaceous-Eocene Limestone Aquifer in Southern Ghana and Southern Togo using Hierarchical Cluster Analysis. Hydrogeology Journal Vol. 15, pp. 977-989. DOI:10.1007/S10040-007-0165-1

Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply. pp 254-263.

Hussein, T.A., 2006. Hydrogeology and Hydrochemistry of the Muqdadiya (Lower Bakhtiari) Reservoir in Erbil City/Northern Iraq, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, PhD Thesis (unpublished), 143 P. (In Arabic)

Jassim, S.Z. and Goff, J.C., 2006. Geology of Iraq, published by Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, 400 P.

Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice Hall, USA, 600 P.

Linan C., Baena, B., Andreo, J., Mudry, F., and Carrasco, C., 2008. Groundwater Temperature and Electrical Conductivity as Tools to Characterize Flow Patterns in Carbonate Aquifers: The Sierra de las Nieves Karst Aquifer, Southern Spain, Hydrogeology Journal, 11 P. DOI:10.1007/S10040-008-0395-X

Manii, J. K., 2009. Hydrochemistry of Al-Hammar Marsh Environment Southren Iraq, MSc. Thesis, University of Baghdad (unpublished), 205 P.

McKenzie, J.M., Siegel, D.I., Patterson, W. and McKenzie, D.J., 2001. A Geochemical Study Survey of Spring Water from the Main Ethiopian Rift Valley, Southern Ethiopian, Implications for Well–Well-Head Protection. Hydrogeology Jour., pp. 265-272.

Nag S.K. and Suchetana B., 2016. Groundwater Quality and Its Suitability for Irrigation and Domestic Purposes: A Study in Rajnagar Block, Birbhum District, West Bengal, India. J Earth Sci Clim Change, 7(2), https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000337

Sissakian, V.K. and Fouad, S.F., 2015. Geological Map of Iraq, Scale 1: 1000000, 2012. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11(1), pp. 9-16.

Todd, D. K., 2005. Groundwater Hydrogeology, 2nd Edition, John Wiley and Sons. New York, USA, 650 P.

Umar, F.I., Edward, K.A., Bright, S.A., and Valentine, C.M., 2024. Assessing the Groundwater Quality in Ghana's Nanton District: Comprehensive Evaluation and Implications for Sustainable Management. AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society 1 January 2024; 73 (1): pp. 34–56. Doi: https://doi.org/10.2166/qua.2024.196