

تقييم هيدروجيوكيميائية المياه الجوفية لحوض وادي كولوران – محافظة السليمانية

نجله عجيل محمد

وسن علي مهاوي

wasan80ww@uomustansiriyah.edu.iqnajlaajeel@uomustansiriyah.edu.iq

الجامعة المستنصرية ، كلية التربية ، قسم جغرافية

الملخص

تناولت الدراسة تقييم هيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية لتسعة آبار ضمن حوض وادي كولوران – محافظة السليمانية، ويقع الحوض ضمن قضائي سيد صادق وبنجوين بالإحداثيات الجغرافية لدائرة عرض (35° 17' 11" N – 35° 36' 09" N) شمالاً، وخطي طول (46° 05' 19" E – 45° 40' 36" E) شرقاً، وتبلغ مساحته 312.89 كم²، تبين ان العناصر السائدة حسب الصيغة الهيدروجيوكيميائية ضمن صنف (كلوريدية-صودية) ($Na^+ - Cl^-$)، ومصدرها ملحي نتيجة الإذابة لوجود طبقات هاليت ملح صخري ($NaCl$) في التكوين الجوفي، العمليات الجيوكيميائية للمياه الجوفية للكاتيونات ضمن هيمنة الصخور التجوية (الإذابة الصخرية)، في حين الانيونات مشتركة بين هيمنة التبخر وإذابة الصخور وهطول الأمطار معاً، وبتطبيق مخطط بايير تبين انها مياه صوديومية – كلوريدية ($Na - Cl$) ، و تتجاوز القلوويات غير الكربونية فيه (50%)، وتسودها القلوويات والاحماض القوية والتي تكون أكثر من الأحماض الضعيفة، وانها ضمن تبادل الأيونات المستمر بالتفاعل الكيميائي مع التربة والصخور وذات ذوبان قليل، كما ان جميع مياه العينات صالحة للشرب والري و البناء والانشاءات معاً.

الكلمات المفتاحية : السليمانية ، مياه جوفية ، تقييم هيدروجيوكيميائي ، كولوران

Hydrogeochemical Assessment of Groundwater in the Koloran Valley Basin

Wasan Ali Mahawi Najla Ajeel Mohammed

Mustansiriyah University, College of Education, Department of Geography

Abstract

This study addresses the hydrogeochemical assessment of groundwater from nine wells within the Koloran Valley Basin – Sulaymaniyah Governorate. The basin lies within the Said Sadiq and Penjwin districts, between the geographical coordinates of latitude (35°36'N – 35°17'N) and longitude (46°05'E – 45°40'E), with a total area of 312.89 km². The results indicate that, according to the hydrochemical formula, the dominant water type falls within the (sodium–chloride) class ($Na^+ - Cl^-$), originating from saline sources due to the dissolution of halite (rock salt, NaCl) layers in the aquifer formation. The hydrogeochemical processes affecting groundwater cations are predominantly governed by rock weathering (rock dissolution), while anions are jointly influenced by evaporation, rock dissolution, and precipitation. Application of the Piper diagram reveals that the water is sodium–chloride type (Na – Cl), with non-carbonate alkalinity exceeding 50%. The water composition is dominated by alkalies and strong acids, which are more prevalent than weak acids, and exhibits ongoing ion exchange due to continuous chemical interaction with soils and rocks, with low solubility. All groundwater samples are suitable for drinking, irrigation, and construction purposes.

Keywords: Sulaymaniyah, groundwater, hydrogeochemical assessment, Koloran

أولاً: المقدمة:

تُعد المياه الجوفية أحد أهم الموارد المائية التي يعتمد عليها الإنسان في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويُعد حوض وادي كولوران من الأحواض الهيدروجيولوجية الحيوية التي تتميز بتركيب جيولوجي معقد وظروف مناخية متباينة، ما يجعله بيئة ديناميكية للتفاعلات بين المياه والصخور. التي تؤدي دوراً محورياً في تلبية احتياجات السكان الزراعية والشرب والصناعية. إلا أن خصائصها النوعية

تتأثر بعدة عوامل طبيعية وبشرية، مثل الخصائص الجيولوجية للخران الجوفي، والتفاعلات الكيميائية بين المياه والصخور، إضافةً إلى الأنشطة الزراعية والصناعية التي قد تؤدي إلى تلوثها. ومن هنا جاءت هذه الدراسة لتحليل مكوناتها الكيميائية وتحديد العوامل المؤثرة على نوعيتها، مما يساعد على وضع استراتيجيات مستدامة لإدارتها وحمايتها. واستخدام مخططات كيميائية متخصصة لفهم مصادر العناصر الذائبة والعمليات الهيدروجيوكيميائية المسيطرة على خصائصها.

ثانياً: مشكلة الدراسة:

- 1- ما هي الخصائص الهيدروجيوكيميائية لمياه آبار منطقة الدراسة ؟
- 2- هل تتباين هذه الخصائص لمياه آبار منطقة الدراسة ؟
- 3- ما هي أوجه إستعمالات مياه الآبار ؟

ثالثاً: فرضية الدراسة:

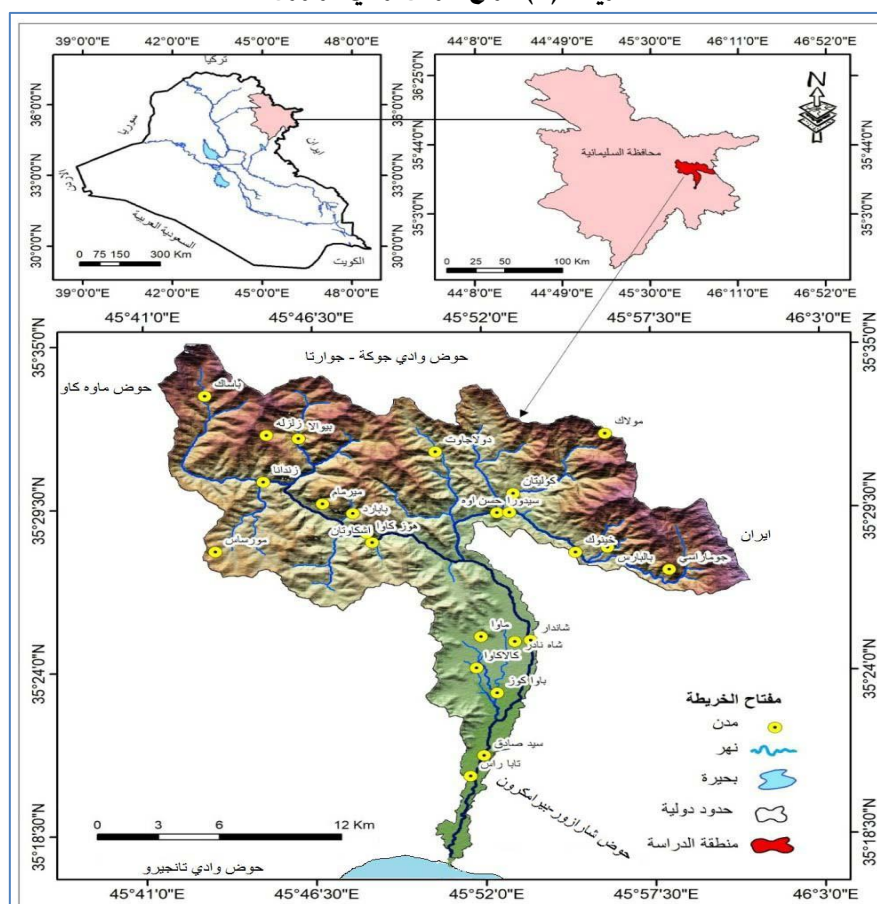
- 1- الخصائص الهيدروجيوكيميائية لمياه آبار منطقة الدراسة متفاوت فيما بينها.
- 2- صلاحية مياه الآبار للاستعمالات المختلفة متفاوت ويمكن استثماره لبعض الأغراض.

رابعاً: أهداف الدراسة : تحليل لخصائص المياه الجوفية للعناصر واجراء تقييم لصلاحيتها لأغراض الشرب والري، ومعرفة الصيغة الهيدروجيوكيميائية لمياه الآبار.

خامساً: حدود منطقة الدراسة

يقع حوض وادي كولوران شرق محافظة السليمانية ضمن قضائي سيد صادق وبنجوين، ويقع ضمن الاحداثيات الجغرافية لدائرة عرض (N 35° 17' 11" - N 35° 36' 09") شمالاً، وخطي طول (E 45° 40' 36" - E 46° 05' 19") شرقاً، يحدّه من الشمال حوض وادي جوكة - جوارتا ومن الشرق دولة ايران ، ومن جهة الجنوب بحيرة دربندخان وحوض وادي تانجرو من الجنوب الغربي، وشمال غرب حوض شارازور-سيرامكرون، وحوض وادي ماوة كاو من الشمال الغربي، وتبلغ مساحة الحوض (312.89 كم²)، ويحتوي الحوض على العديد من الينابيع والعيون المائية مثل ينابيع رشن وسراو وموان. ويتألف من ثمانية أحواض ثانوية وهي (هارتوك، برخ، كلال، قويله، باربرد، مانيولا، بارديرو، كيلولو) إضافة لعدد من الاحواض الصغيرة على جانبي المجرى الرئيس. يُصرف جميع الجريان السطحي للأحواض الثانوية وايضا تصريف المياه الجوفية إلى بحيرة دربندخان بواسطة نهر كولوران (والذي يسمى ايضا باسم جقان). خريطة (1).

خريطة (1) موقع حوض وادي كولوران

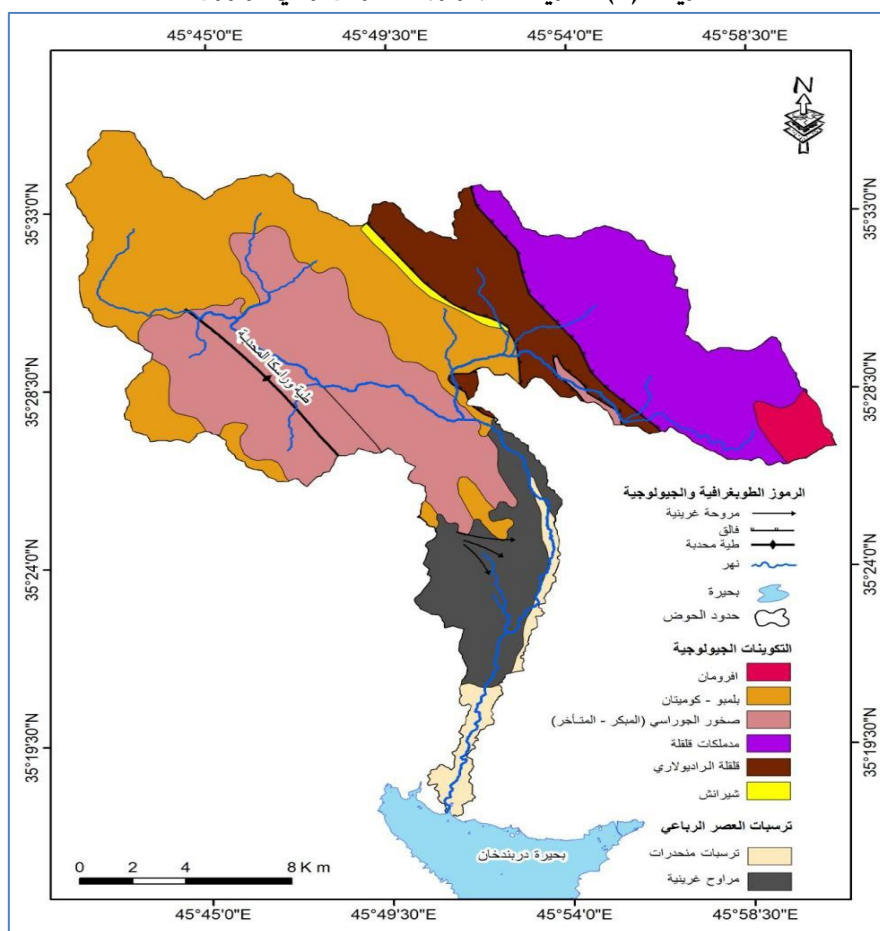


المصدر: من عمل الباحثان بالاعتماد على خريطة العراق الادارية لسنة 2020 وخريطة السليمانية الادارية لسنة 2017، وباستخدام نموذج ارتفاعات رقمي للقمر الصناعي ASTER GDEM

سادساً: الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة:

تتميز المنطقة بتضاريس وعرة، وأن أقدم الصخور المتكشفة تعود الى عصر الترياسي المبكر وأحدثها الترسبات الحديثة، تضم أخاديد عميقة وودياناً ضيقة ذات تضاريس جبلية واضحة المعالم، تتواجد المياه الجوفية في الصخور الكربونية وفي التكرسات والشقوق والتكهفات الكارستية بالإضافة إلى تواجد المياه الجوفية الكربوناتيّة، فإن العديد من الوحدات الفتاتية - بما في ذلك رواسب الزمن الرباعي تتمتع بنفاذية كافية لتكوين طبقات مياه جوفية محلية (Al-Jiburi, 2015)، مصدر مياه التغذية خزان كوميتان الجوفي المُصنّف ضمن نطاق الطيات العالية، والذي يأتي بشكل أساسي من الأمطار المباشرة وذوبان الثلوج خلال أشهر الصيف، وخاصةً في أعلى ارتفاعات المنطقة، تُمثل منطقة الطيات المنخفضة منطقة تصريف، إلى جانب الآبار والينابيع (Al-Basrawi, 2014)، وتتدفق المياه الجوفية عموماً من الشمال والشمال الشرقي والشمال الغربي نحو الجنوب، مع اختلافات محلية ناجمة عن الخصائص الطبوغرافية والتركيبية للمنطقة، ويزداد عمق المياه الجوفية ضمن المناطق العالية وأجنحة الطيات المقعرة، و يقل ضمن الأجزاء الوسطى للحوض ومناطق التصريف. ويتصف خزان كوميتان الجوفي بامتلاكه فجوات كارستية كبيرة، ويُعد أهم مصادر مياه الينابيع في مناطق مُختلفة، مثل ينابيع سرجنار و سروجاه و بيتوانا، ويكون نوع هذا الخزان ضمن نوع المحصور وشبه المحصور (الزبيدي، 2024). يتميز الحوض بوجود العديد من التكاوين الجيولوجية وترسبات الزمن الرباعي تمتد من فترة حقبة الحياة المتوسطة متمثلة بتكاوين العصر الترياسي والجوراسي الى الترسبات الحديثة متمثلة بترسبات المنحدرات والترسبات الفيضية. تتكشف التكوينات الأقدم عادة في لب الطيات المحدبة، بينما توجد التكوينات الأحدث بين هذه الطيات المحدبة أو على طول أطرافها، حيث يُشكل تكوين بلمو - كوميتان نسبة 28.75% من مجموع الحوض، وبمساحة 85.97 كم²، أما صخور الجوراسي المتأخر شكلت نسبة 19.79 %، بمساحة بلغت 63.11 كم²، وتذبذبت بقية التكوينات. خريطة (2). جدول (1).

خريطة (2) التكوينات الجيولوجية لحوض وادي كولوران



المصدر: من عمل الباحثان بالاعتماد على (Al-Jiburi & Al-Basrawi, 2015) وباستخدام نموذج ارتفاعات رقمي للقمر الصناعي ASTER . GDEM

جدول (1) ساحات ونسب التكاوين الجيولوجية والترسبات الحديثة لحوض وادي كولوران

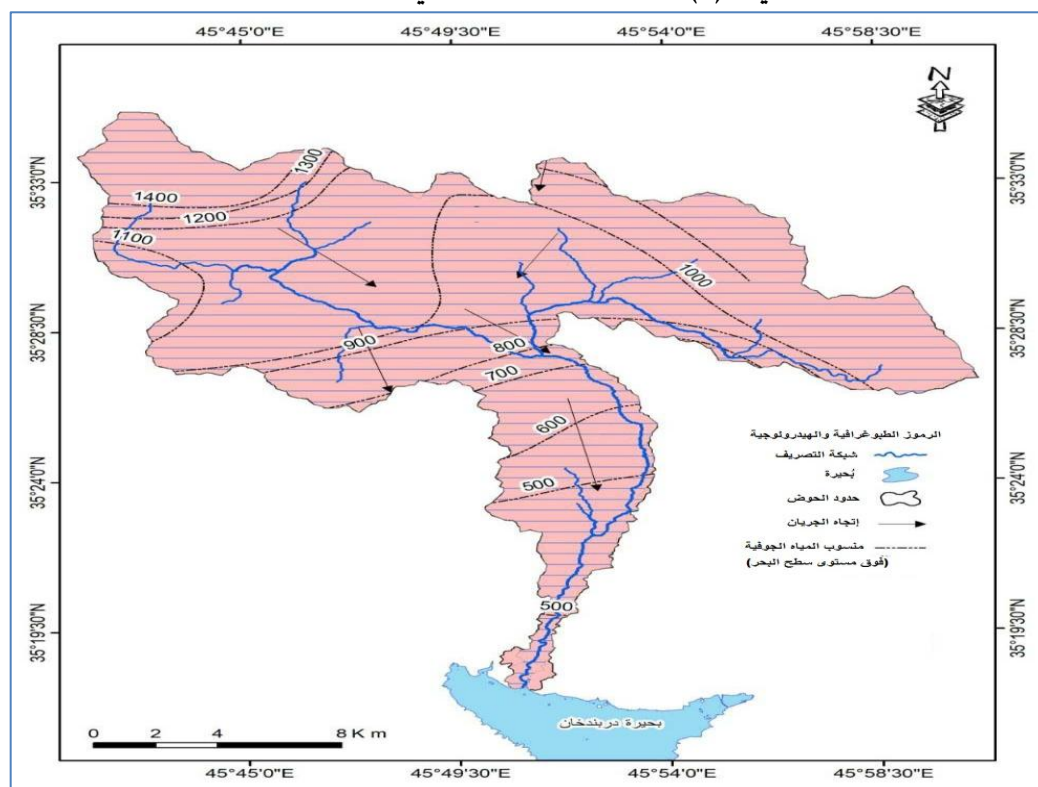
ت	التكاوين والترسبات الحديثة	Formation and quaternary sediments	المساحة (كم ²)	المساحة (%)
1	أفرومان	Avroman	5.96	1.87
2	صخور الجوراسي المبكر	Jurassic (Early)	25.42	7.97
3	صخور الجوراسي المتأخر	Jurassic (Late)	63.11	19.79
4	قلقة الراديولاري	Qulqula Radiolarian	29.7	9.31
5	مدملكات القلقة	Qulqula Conglomerate	59.53	18.67
6	بلمبو - كوميتان	Balambo-Kometan	85.97	28.75
7	شيرانش	Shiranish	2.18	0.68
8	ترسبات المنحدرات	Slope	9.45	2.96
9	ترسبات المراوح الغرينية	Alluvial Fan	31.57	9.9

المصدر: بيانات خريطة (2).

وان قيم النفاذية للمياه الجوفية ضمن الخزان الجوفي يتراوح بين (14- 783 م²/يوم)، وان قيم التوصيلية الهيدروليكية تتراوح بين (0.2 - 29 م/يوم) (Stevanovic, 2004)، وتزداد نفاذية طبقات للخرانات الجوفية ضمن الأجزاء الوسطى من الأحواض وعلى طول مجاري الأنهار والمراوح الفيضية، حيث تتواجد الرسوبيات عالية النفاذية، و ترتبط الظروف الهيدروليكية والكيميائية لطبقات المياه الجوفية في منطقة الطيات العالية ارتباطاً وثيقاً بالخصائص الطبقيّة والصخرية والبنوية والطوبوغرافية للتكوينات الحاملة للمياه، بناءً على هذا التقييم الهيدروجيولوجي، تُمثل منطقة الطيات العالية فرصة واحدة لتنمية موارد المياه الجوفية في العراق (Sissakian, 2014). خريطة (3).

يتميز حوض نهر كولوران بتضاريس وعرة في معظم أجزائه؛ إذ تغلب التضاريس الجبلية على الجزأين الشمالي والشمالي الشرقي والغربي. أما الجزء الجنوبي السفلي من الحوض الرئيسي، فيتألف من تضاريس مسطحة وسهول جبلية ومنتجة. يقع أعلى ارتفاع في أقصى الجزء الشمالي الشرقي من الحوض الرئيسي، ويصل إلى 2195 متراً فوق مستوى سطح البحر، بينما يقع أدنى ارتفاع وهو 475 متراً فوق مستوى سطح البحر في أدنى جزء جنوب الحوض. بينما يصل أعلى ارتفاع في المناطق المحيطة بالحوض من الجزء الجنوبي الشرقي إلى حوالي 2536 متر. تقع منطقة الدراسة في منطقة جبلية، تتميز بتضاريس وعرة ومنحدرات شديدة وجروف صخرية. يتميز حوض كولوران بشكله الشجري، وتحيط به قمم جبلية شاهقة. يحده من الشرق والشمال الشرقي سلسلة جبال سورين، التي يصل ارتفاعها إلى 2000 متر. ويضم الجانب الشمالي الغربي جبال كوزه كزوا، بارتفاعات تتجاوز 2000 متر. ومن الجنوب الشرقي جبل كولرد ومن الجنوب الغربي جبل بردرش بارتفاع يصل إلى 1000 متر وجبال ورسكه بارتفاع يصل إلى 1200م (Amin, 2009).

خريطة (3) هايدروجيولوجية حوض وادي كولوران



المصدر: الباحثان بالاعتماد على Sissakian ونموذج ارتفاعات رقمي للقمر الصناعي ASTER GDEM .

سابعاً: التوزيع المكاني لمياه آبار منطقة الدراسة :

تم اخذ عينات مياه تسعة آبار ميدانيا بتاريخ (2025/5/31) بعد تشغيل المضخات الكهربائية الموجودة عليها لمدة ثلاث دقائق، بعد ذلك تم قياس لكل من (درجة الحرارة، الدالة الحامضية PH، مجموع الاملاح الذائبة TDS، التوصيلة الكهربائية E.C) مباشرة عند

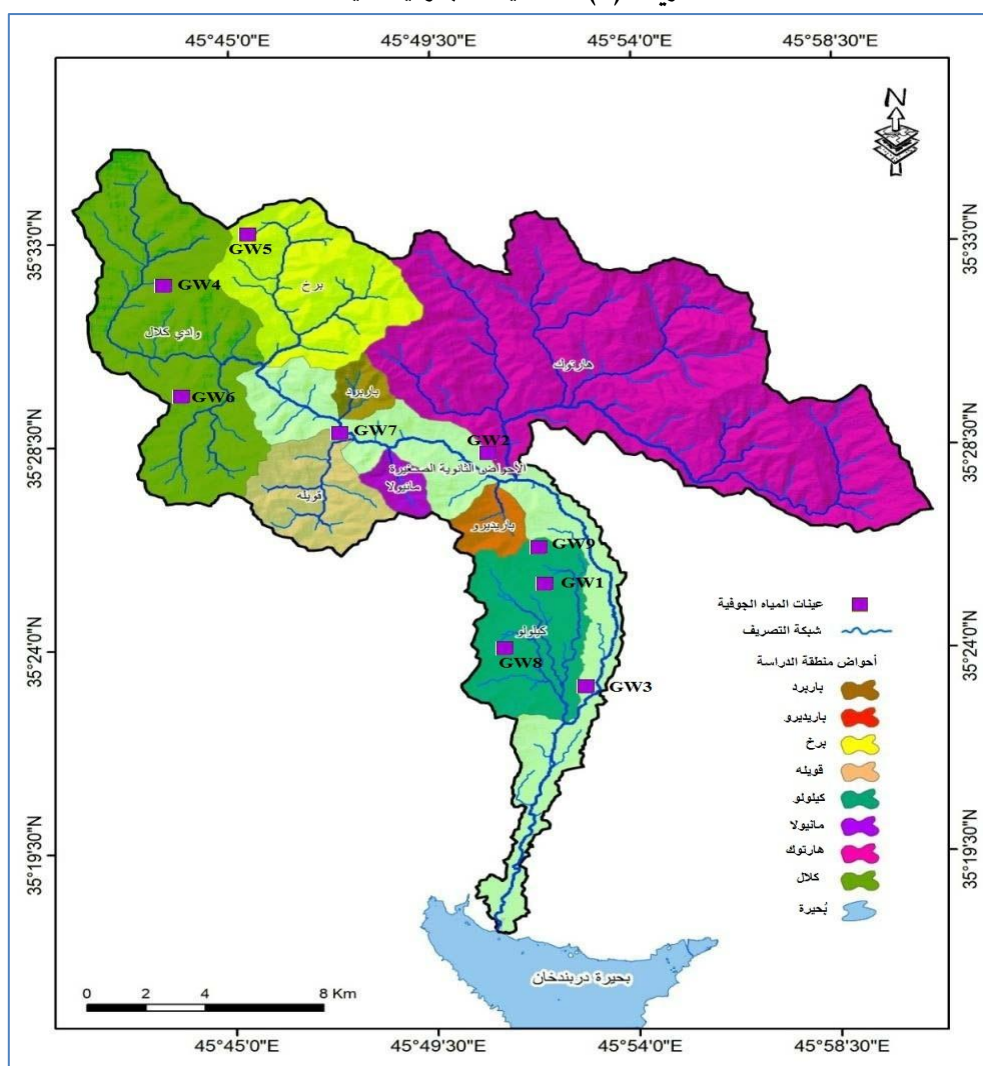
أخذها من قبل الباحثين، بينما بقية ايونات العناصر تم وضعها في غلب اثيلين مختبرية لإجراء تحليلها مختبرياً. جدول (2). خريطة (4).

جدول (2) الاحداثيات الجغرافية وعمق مياه آبار منطقة الدراسة

رقم العينة	شمالاً	غرباً	الموقع	العمق (متر)
GW1	35°24'57.6N	45°51'54.0E	قرية كجري ماوه منزل طه توفيق	135
GW2	35°28'33.6N	45°51'25.2E	قرية كولوس	115
GW3	35°23'06.0N	45°53'13.2E	قرية حاجي نامق	137
GW4	35°33'00.0N	45°43'48.0E	قرية جنار	123
GW5	35°30'21.6N	45°45'18.0E	قرية زندانا	141
GW6	35°30'21.6N	45°43'33.6E	قرية كوترمر	139
GW7	35°28'37.2N	45°47'20.4E	قرية بربرد	148
GW8	35°24'54.0N	45°51'18.0E	قرية كجلي	128
GW9	35°25'39.0N	45°51'09.0E	قرية شمال كجلي	125

المصدر : الباحثان الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/5/31

خريطة (4) الاحداثيات الجغرافية للعينات



المصدر: جدول (2) وباستخدام نموذج ارتفاعات رقمي للقمر الصناعي ASTER GDEM.

ثامناً: الخصائص النوعية للمياه الجوفية:

تتمثل التفاعلات الهيدروجيوكيميائية بين المياه والصخور والمعادن، إضافة إلى تأثير الأنشطة البشرية (الزراعة وإستخدام الأسمدة، ومخلفات الصناعة)، ليتم خلالها التبادل الأيوني و الذوبان والترسيب ومن ثم عملية الأكسدة والاختزال مثل تغير حالة بعض العناصر (مثل الحديد والمنغنيز) نتيجة الظروف البيئية المتمثلة بنوع الصخور والمدة الزمنية التي تُقضيها المياه داخل الخزان الجوفي. (الكعبي، 2009). تم تناول الخصائص النوعية (الفيزيائية، الأيونات الذائبة الموجبة والسالبة) لمياه تسعة آبار، ومُقارنتها مع المُحددات العالمية والعراقية لشرب الانسان، وللري وكذلك للبناء والإنشاءات. جدول (3).

جدول (3) الخصائص النوعية والمُحددات لمياه آبار منطقة الدراسة

الوحدة	°م	NTU	ملغم/لتر	ملغم/لتر	µs/cm	بدون وحدات	الايونات الذائبة الموجبة والسالبة (ملغم/لتر)										الخصائص النوعية							
							B ⁺ 3	PO ⁻ 43	NO ⁻ 3	CO3	HCO ⁻ 3	SO ⁻ 42	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	PH	EC	TDS	TSS	العكارة	الحرارة	
							0.185	0.29	0.28	3.9	33	65	90	0.25	47	16	32	7.27	515	286	271	18	27.5	GW1
							0.138	0.23	0.26	2.5	29	53	75	0.23	39	14	27	7.39	432	241	319	21	21.3	GW2
							0.196	0.32	0.3	4.2	34	67	89	0.26	48	17	33	7.56	527	292	296	19	21.3	GW3
							0.13	0.21	0.24	2	26	51	70	0.22	38	12	25	7.32	414	232	202	15	28.1	GW4
							0.231	0.37	0.29	5.2	43	80	105	0.29	59	20	37	7.58	635	351	253	17	22	GW5
							0.189	0.35	0.31	4.6	38	72	97	0.27	53	18	35	7.61	577	319	301	20	25.4	GW6
							0.265	0.39	0.33	6.3	53	110	136	0.3	75	26	50	7.73	819	459	382	24	24.8	GW7
							0.149	0.27	0.29	3.5	31	61	83	0.26	43	14	30	7.51	488	273	189	12	24	GW8
							0.156	0.24	0.27	3	30	59	80	0.24	41	13	29	7.46	480	268	231	16	22.8	GW9
							2	-	50	200	600	400	600	12	200	150	200	-6.5 8.5	1250	1500	-	-	35	مُحددات عالمية لشرب الإنسان (WHO, 2017)
							-	-	40		-	250	600	-	200	150	200	-6.5 8.5	1530	1000	-	-	35	مُحددات عراقية لشرب الإنسان (البيئة، 1992)
							4	2	30	-	300	960	1065	10	200	150	400	-6.5 8.5	3000	2000	500	50	35	للري (Surveys., 1978)
											350	1460	2187		1160	271	437							البناء والانشاءات (M.E., 1962)

المصدر : الباحثان الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/5/31 وتحليلها في وزارة العلوم والتكنولوجيا، دائرة البيئة والمياه، مختبر إعادة تدوير المياه.

تاسعاً: تصنيف المياه حسب تراكيز الأيونات الرئيسية:

يعتمد تصنيف نوعية المياه الجوفية على نسبة تراكيز الأيونات الرئيسية فيها، اذ يتم تحويل كل تراكيز الأيونات من ملغم/لتر الى ملي مكافئ/لتر، من خلال هذه الصيغة الرياضية للتحويل (تود، 1992). جدول (4).

$$\text{تركيز العنصر} = \frac{\text{ملي مكافئ} / \text{لتر}}{\text{الوزن المكافئ}}$$

$$\text{الوزن الجزيئي} = \frac{\text{الوزن المكافئ}}{\text{عدد الشحنات}}$$

جدول (4) الخصائص الكيميائية لعينات المياه الجوفية بوحدة ملي مكافئ /لتر

العينة	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻
GW1	1.597	1.315	2.045	0.006	2.538	1.352	0.541	0.129
GW2	1.347	1.151	1.697	0.006	2.115	1.102	0.476	0.083
GW3	1.647	1.397	2.088	0.007	2.510	1.394	0.558	0.139
GW4	1.248	0.986	1.653	0.006	1.974	1.061	0.426	0.066
GW5	1.846	1.644	2.567	0.007	2.961	1.664	0.705	0.172
GW6	1.747	1.480	2.306	0.007	2.735	1.498	0.623	0.152
GW7	2.495	2.137	3.263	0.008	3.835	2.288	0.869	0.208
GW8	1.497	1.151	1.871	0.007	2.341	1.269	0.508	0.116
GW9	1.447	1.069	1.784	0.006	2.256	1.227	0.492	0.099

المصدر : بيانات جدول (3) ومعادلتى التحويل.

لمعرفة نسبة تأثير كل أيون في خصائص المياه يتم تحويل ملي مكافئ/لتر الى النسبة المئوية للمكافئات الجزيئية (ملي مكافئ %) أي (epm%) (Equivalents per Million%). أي نسبة مساهمة كل أيون في مجموع المكافئات الجزيئية، وتُشكل النسبة المئوية للمادة القلوية أو الحامضية أو المتعادلة للمياه عند حساب توازن الأيونات فيها (محمد، 2023). جدول (5).

جدول (5) الخصائص الكيميائية لعينات المياه الجوفية بوحدة epm%

العينة	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻
GW1	32.17	26.50	41.20	0.13	55.66	29.65	11.87	2.82
GW2	32.07	27.40	40.39	0.14	56.02	29.20	12.60	2.19
GW3	32.04	27.19	40.63	0.13	54.57	30.30	12.12	3.01
GW4	32.05	25.34	42.47	0.14	55.97	30.07	12.09	1.87
GW5	30.45	27.11	42.32	0.12	53.82	30.24	12.82	3.12
GW6	31.53	26.71	41.63	0.12	54.62	29.90	12.44	3.03
GW7	31.57	27.05	41.29	0.10	53.26	31.78	12.07	2.89
GW8	33.08	25.43	41.34	0.15	55.29	29.97	12.01	2.73
GW9	33.61	24.82	41.43	0.14	55.37	30.12	12.08	2.43

المصدر : بيانات جدول (3).

تُعد قيم الأيونات الموجبة والسالبة التي تزيد تراكيزها عن (15%) من وحدة (epm%) أساساً في تصنيف المياه الجوفية من ذات الاستجابة المتشابهة من تلك غير المتشابهة، أما الصيغة الهيدروكيميائية فإنها تمثل النسبة الوزنية المكافئة لكل الأيونات الرئيسية الموجبة والسالبة مرتبطة بانتظام بحسب تركيز كل منها في المياه، كذلك مقدار الملوحة (mg/L, T.D.S) والاس الهيدروجيني (PH) وحسب المعادلة (Ivanov, 1968): جدول (6).

$$Kurolov - Formula = T.D.S(mg / L) \cdot \frac{SO_4(epm\%).Cl(epm\%).HCO_3(epm\%).Co3(epm\%)}{Ca(epm\%).Na(epm\%).Mg(epm\%).K(epm\%)} (PH)$$

جدول (6) صنف المياه حسب العناصر السائدة الصيغة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية

نوعية المياه	الصيغة الهيدروكيميائية	البئر
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(286) \cdot \frac{SO_4(29.56).Cl(55.56).HCO_3(11.87)Co3(2.82)}{Ca(32.17).Na(41.20).Mg(26.50).K(0.13)} \cdot PH(7.27)$	GW1
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(241) \cdot \frac{SO_4(29.20).Cl(56.02).HCO_3(12.60)Co3(2.19)}{Ca(32.07).Na(40.39).Mg(27.40).K(0.14)} \cdot PH(7.39)$	GW2
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(292) \cdot \frac{SO_4(30.30).Cl(54.57).HCO_3(12.12)Co3(3.01)}{Ca(32.04).Na(40.63).Mg(27.19).K(0.13)} \cdot PH(7.56)$	GW3
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(323) \cdot \frac{SO_4(30.07).Cl(55.97).HCO_3(12.09)Co3(1.87)}{Ca(32.05).Na(42.47).Mg(25.34).K(0.14)} \cdot PH(7.32)$	GW4
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(351) \cdot \frac{SO_4(30.24).Cl(53.82).HCO_3(12.82)Co3(3.12)}{Ca(30.45).Na(42.32).Mg(12.17).K(0.12)} \cdot PH(7.58)$	GW5
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(319) \cdot \frac{SO_4(29.90).Cl(54.62).HCO_3(12.44)Co3(3.03)}{Ca(31.53).Na(41.63).Mg(26.71).K(0.12)} \cdot PH(7.61)$	GW6
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(459) \cdot \frac{SO_4(31.87).Cl(53.26).HCO_3(12.07)Co3(2.89)}{Ca(31.57).Na(41.29).Mg(27.05).K(0.10)} \cdot PH(7.73)$	GW7
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(273) \cdot \frac{SO_4(29.97).Cl(55.29).HCO_3(12.01)Co3(2.73)}{Ca(33.08).Na(41.43).Mg(25.43).K(0.15)} \cdot PH(7.51)$	GW8
$Na^+ - Cl^-$	$T.D.S(268) \cdot \frac{SO_4(30.12).Cl(55.37).HCO_3(12.08)Co3(2.43)}{Ca(33.61).Na(41.43).Mg(24.82).K(0.14)} \cdot PH(7.46)$	GW9

المصدر: جدول (3) وبتطبيق المُعادلة.

تبين ان العناصر السائدة حسب الصيغة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية ضمن صنف (كلوريدية-صودية) ($Na^+ - Cl^-$)، ومصدرها ملحي نتيجة الإذابة لوجود طبقات هاليت (كلوريد الصوديوم) ($NaCl$) في التكوين الجوفي.

عاشراً: مخطط كُيس *Gibb's Ratio* :

يُستخدم مخطط كُيس لتفسير تأثير العمليات الجيوكيميائية (هطول الامطار، آلية التفاعل بين الصخور، التبخر) على المياه الجوفية، إذ يُمثل هطول الامطار مصدر رئيس للتغذية، لكن قد يحمل ملوثات إذا كان حامضياً، وآلية التفاعل بين الصخور والمياه تعتمد على وقت التلامس بحيث كلما زاد وقت مرور الماء عبر الصخور، زادت الإذابة، أما التبخر والذي يُزيد ملوحة المياه الضحلة، ولهذا التفاعل دور كبير في جودة المياه الجوفية، يتم حساب قيمة كُيس باستخدام المعادلتين ادناه (Gibbs, 1970) :

$$1 - \text{Gibb's Ratio} - I = \frac{CL}{(CL + HCO_3)} \text{ for anions}$$

$$2 - \text{Gibb's Ratio} - II = \frac{Na + K}{Na + K + Ca} \text{ for cations}$$

إذ يُعبر عن الأيونات كافة ب (ملي مكافئ/لتر).جدول (7).

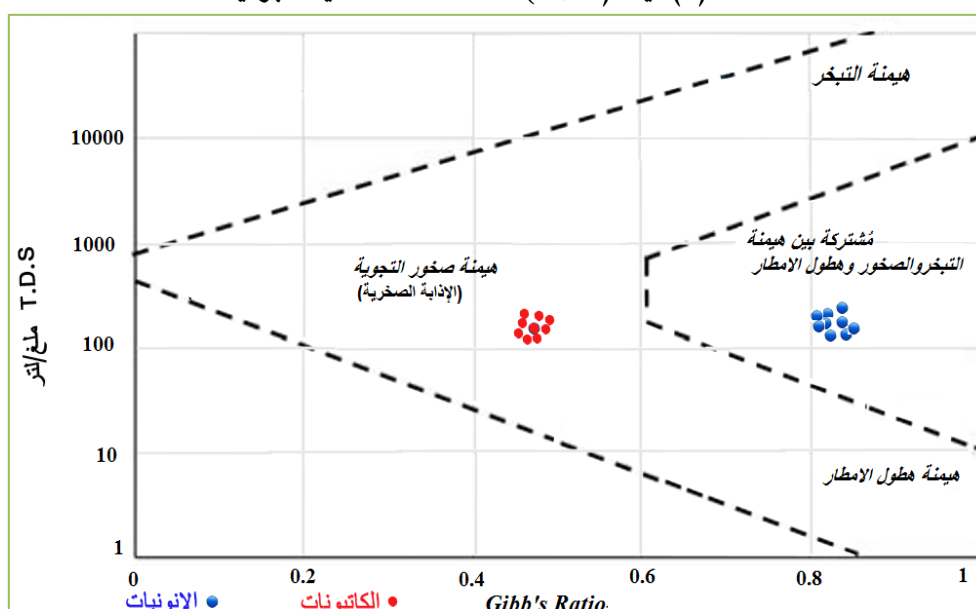
جدول (7) قيمة Gibb's Ratio (I, II) للمياه الجوفية

الموقع	Gibb's Ratio I	Gibb's Ratio II
GW1	0.824	0.562
GW2	0.816	0.558
GW3	0.818	0.560
GW4	0.822	0.571
GW5	0.808	0.582
GW6	0.814	0.570
GW7	0.815	0.567
GW8	0.822	0.556
GW9	0.821	0.553

المصدر : جدول (4). وتطبيق مُعادلتَي Gibb's Ratio .

تبين أن العمليات الجيوكيميائية للمياه الجوفية للكاتيونات وهي الأيونات موجبة الشحنة (Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Na^{+} ، K^{+}) ضمن هيمنة صخور التجوية (الإذابة الصخرية)، في حين الأنيونات سالبة الشحنة مُشتركة بين هيمنة التبخر وإذابة الصخور وهطول الأمطار معاً، مُخطط (1).

مُخطط (1) قيمة Gibb's Ratio (I, II) للمياه الجوفية

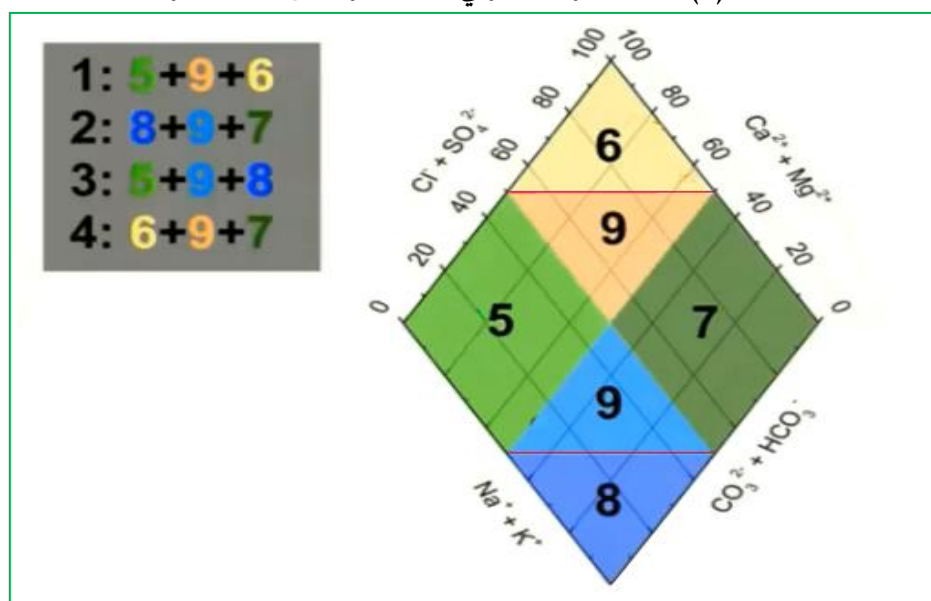


المصدر: الجدولين (3 ، 7) .

أحد عشر: مُخطط بايبر (Piper's diagram)

تمثيل رسومي يُستخدم في الكيمياء الهيدروجيولوجية لتصنيف وتحليل عينات المياه بناءً على تركيبها الأيونية. طوّره العالم الجيولوجي الأمريكي آرثر م. بايبر عام 1944 لتوضيح وفهم مصادر الأملاح المذابة في الماء، ويُعد من أكثر التمثيلات البيانية فائدة الذي يستخدم لمعرفة أصل ومصدر الأملاح المذابة ولتحديد العمليات الهيدروجيوكيميائية المسؤولة عن تغير نوعية المياه الجوفية وللمساعدة في تصنيف أنواع المياه المختلفة، ويتألف المخطط من ثلاثة رسومات، مثلثان في الأسفل الأول يقع في الجانب الأيسر ويضم العناصر الموجبة الرئيسة والثاني في الجانب الأيمن ويضم العناصر السالبة، والثالث معين متساوي الاضلاع ويستخدم لتمثيل التركيب الأيوني للعينة، والعناصر الداخلة في المخطط بوحدة $epm\%$ (Piper, 1953). حيث يتم رسم قيم العناصر السالبة والموجبة على المثلثين في الأسفل ومن ثم رسم خط مستقيم باتجاه شكل المعين، ومن ثم تقاطع هذين المستقيمين يمثل قيمة تصنيف التركيب الأيوني لمياه الآبار ضمن مخطط بايبر، ولبيان وفهم المخطط للمعين الأعلى ضمن المخطط (2). جدول (8).

مخطط (2) تصنيف التركيب الأيوني لمياه الآبار ضمن مخطط بايير



المصدر: (Shimadar, 2023).

جدول (8) وصف التركيب الأيوني لمياه الآبار ضمن مخطط بايير

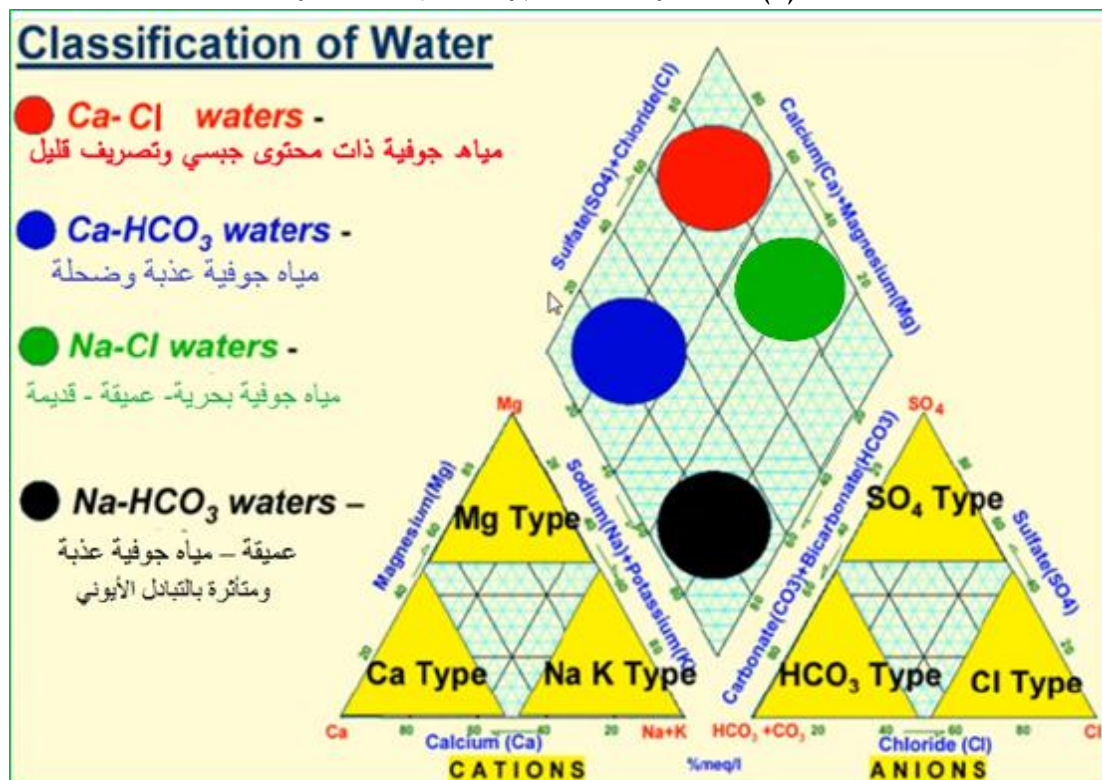
رقم الشكل ضمن المعين	نوعية المياه	الوصف
5	(كالسيوم - بيكربونات) (Ca- HCO ₃)	تتجاوز الرواسب الكربونية فيه (50%)، وتسودها الاتربة القلوية والاحماض الضعيفة
6	(كالسيوم - كلوريد)، (Ca - Cl).	الرواسب غير الكربونية تتجاوز (50%)
7	(صوديوم - كلوريد)، (Na - Cl)	تتجاوز القلويات غير الكربونية فيه (50%) وتسودها القلويات والاحماض القوية
8	(صوديوم - بيكربونات)، (Na- HCO ₃)	تتجاوز القلويات الكربونية (50%)
المثلث العلوي رقم 9	مشتركة، ضمن صنف (مشتركة كالسيوم -مغنيسيوم -كلوريد)، (Ca -Mg -Cl)	الانايون والكاتيون لا تتجاوز (50%).
المثلث السفلي رقم 9	مشتركة، ضمن صنف (مشتركة كالسيوم -مغنيسيوم - كاربونات) (Ca -Mg - HCO ₃)	الانايون والكاتيون لا تتجاوز (50%).
مجموع كل من 6+9+5	-	تركيز الاتربة القلوية فيه اكثر من القلويات.
مجموع كل من 9+8+7	-	يكون تركيز القلويات فيه اكثر من الاتربة القلوية.
مجموع كل من 8+9+5	-	يكون الأحماض الضعيفة أكثر من الأحماض القوية .
مجموع كل من 7+9+6	-	يكون الأحماض القوية أكثر من الأحماض الضعيفة .

المصدر: (Yasuhiro, 2023)

كذلك يوجد تصنيف لأربعة مناطق ضمن مخطط باير لبيان نوعية المياه الجوفية وكما يلي (Gargini, 2020):

- الجزء العلوي من المعين (اللون الاحمر)، تمثل مياه جوفية ذات محتوى جبسي وتصريف قليل.
- الجزء الأيمن من المعين (اللون الاخضر)، تمثل مياه جوفية بحرية وعميقة وقديمة.
- الجزء الاسفل من المعين (اللون الاسود)، تمثل مياه جوفية عذبة وعميقة ومتأثرة بالتبادل الأيوني
- الجزء الأيسر من المعين (اللون الازرق)، تمثل مياه جوفية بحرية وضحلة، شكل (1).

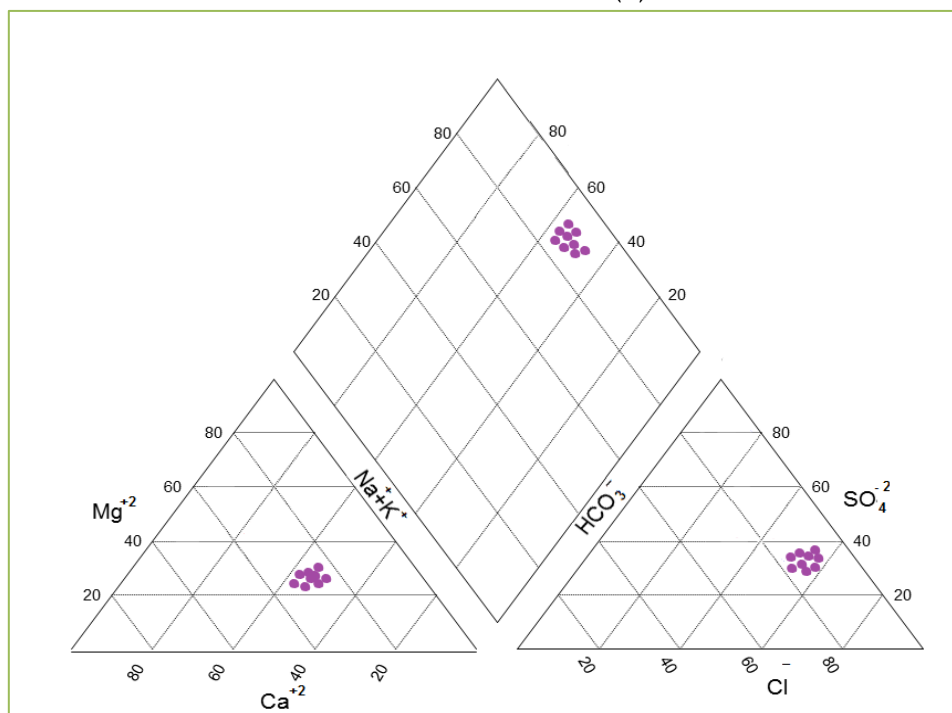
شكل (1) تصنيف نوعية المياه الجوفية ضمن مخطط باير



المصدر: من عمل الباحثة باستخدام برنامج Corel Draw، واعتماداً على (Gargini., 2020):

من خلال تسقيط العينات على مخطط باير تبين انها مياه صوديومية - كلوريدية ($Na - Cl$)، وترتبط هذه المياه بتداخل مياه البحر وأصلها مياه جوفية بحرية وعميقة وقديمة، فضلاً عن تأثير الصخور الملحية كما ان لمياه الصرف الصحي تأثير بذلك ولكنه ضعيف، كما تتجاوز القلويات غير الكربونية فيه (50%)، وتسودها القلويات والاحماض القوية والتي تكون أكثر من الأحماض الضعيفة. مخطط (3).

مخطط (3) مخطط باير لتصنيف المياه الجوفية



المصدر: جدول (5) وباستخدام برنامج (Aquachem v.13).

أثنا عشر: مخطط دوروف Durov plot

رسم بياني جيولوجي - هيدروكيميائي مركب يتكون من مثلثين ومربع، بواسطته يتم استنتاج عمليات جيولوجية مثل إذابة المعادن، التبادل الأيوني، المزج بين مصادر مائية عديدة، أو التلوث. حيث يتم رسم النسب المئوية للملي مكافئ للكاتيونات مقابل النسب المئوية للأنيونات، وتشكل الجوانب رسماً بيانياً مربعاً مركزياً ثنائياً لتركيزات الكاتيون الكلية مقابل تركيزات الأنيون الكلية، يُستخدم لفهم تركيب الماء الجوفي من حيث الأيونات ومقارنة عينات متعددة، من خلال تجميع العينات ذات التركيب الهيدروجيوكيميائي المتشابه (Durov, 1948) يتألف مخطط دوروف عادةً من ثلاث أجزاء رئيسية:

1. مثلثان متجاوران:

- مثلث يمثل الأنيونات (الكاتيونات) مثل: الكالسيوم (Ca^{2+})، المغنيسيوم (Mg^{2+})، والصوديوم والبوتاسيوم ($Na^+ & K^+$).
- مثلث آخر يمثل الأنيونات مثل: الكربونات (CO_3^{2-})، البيكربونات (HCO_3^-)، الكلوريد (Cl^-)، والكبريتات (SO_4^{2-}).

2. مربع مركزي:

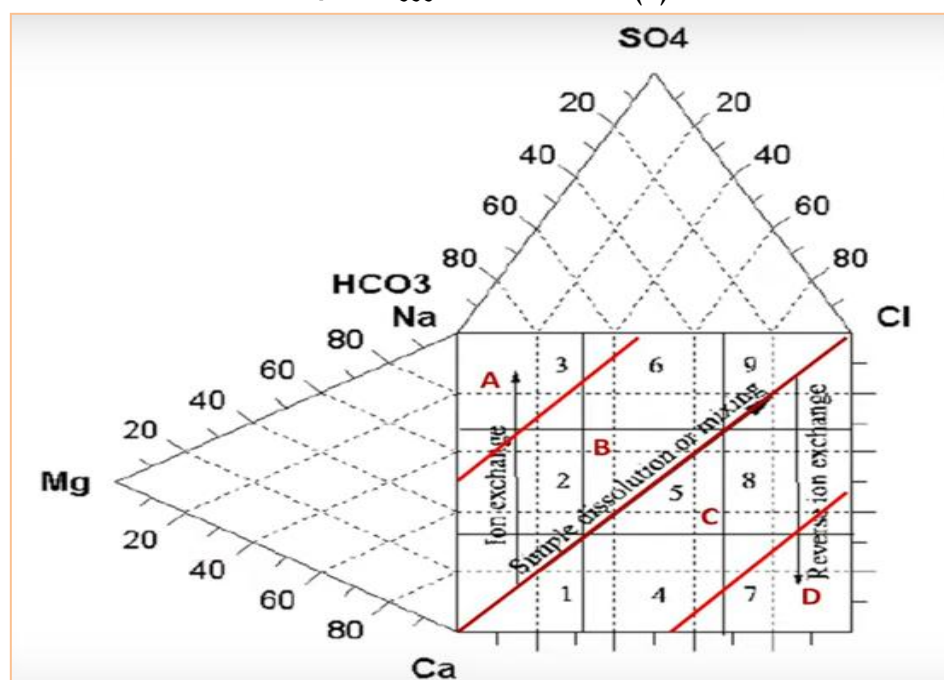
- يتم إنشاؤه عبر إسقاط البيانات من مثلثي الأنيونات والكاتيونات على محورين أفقي ورأسي، لدمج البيانات وعرض النمط العام للمياه. ليتم تحديد النطاق المحدد لنوعية المياه. جدول (9). مخطط (4).

جدول (9) وصف الاسقاطات مُخطط دوروف Durov plot

النطاق المحدد ضمن الشكل المربع	الصيغة الهيدروكيميائية للمياه	
A	pure water	مياه نقية
B	no contamination	قليلة التلوث
C	moderate quality	جودة متوسطة
D	High concentration of Na & Cl	تركيز عالي من أيوني الصوديوم والكلوريد
1 - 2 - 3	ion exchange	تبادل الأيونات
4/5/6	simple dissolution or mixing	ذوبان بسيط أو خلط
7/8/9	reverse ion exchange	تبادل أيوني عكسي

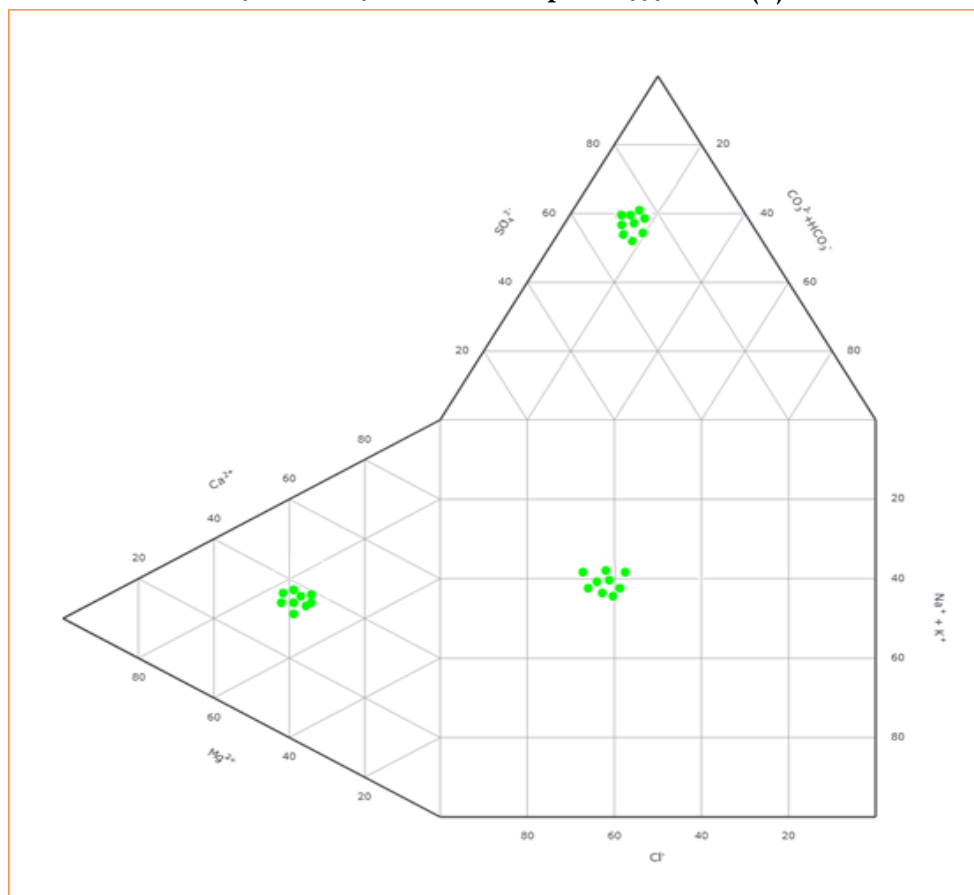
المصدر: (Ravikumar, 2015) A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydro chemical processes in groundwater from SRLIS river basin Ravikumar et al. / Elixir Earth Sci. 80 India Karnataka, 2015, pp. 31073-31085.

مُخطط (4) الاسقاطات لمُخطط دوروف Durov plot



المصدر: (Ravikumar, 2015)

ان مياه العينات تقع ضمن النطاق المحدد (B)، بمعنى انها قليلة التلوث، وأنها ضمن المربعين (2، 5) بمعنى انها ضمن تبادل الأيونات المُستمر بالتفاعل الكيميائي مع التربة والصخور وذات ذوبان قليل. مُخطط (5).

مخطط (5) مخطط دوروف *Durov plot* لمياه آبار منطقة الدراسة

المصدر: جدول (4) واستخدام برنامج AquaChem Ver. 13.0

ثلاثة عشر: امكانية استخدام المياه للأغراض المختلفة: عند مقارنة قيم العناصر لجميع العينات مع محددات مسموح باستخدامها، تبين انها صالحة للشرب والري و البناء و الانشاءات معاً.

الاستنتاجات:

- 1- تبين ان قيم النفاذية للمياه الجوفية ضمن الخزان الجوفي يتراوح بين (14 - 783 م/يوم)، وان قيم التوصيلية الهيدروليكية تتراوح بين (0.2 - 29 م/يوم).
- 2- توصلت الدراسة ان العناصر السائدة حسب الصيغة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية ضمن صنف (كلوريدية-صودية) (Na^{+} , Cl^{-}) ومصدرها ملحي نتيجة الإذابة لوجود طبقات هاليت ملح صخري (كلوريد الصوديوم) ($NaCl$) في التكوين الجوفي.
- 3- تبين أن العمليات الجيوكيميائية للمياه الجوفية للكاتيونات ضمن هيمنة صخور التجوية (الإذابة الصخرية)، في حين الانيونات مشتركة بين هيمنة التبخر وإذابة الصخور وهطول الأمطار معاً.
- 4- العينات ضمن صنف مياه صوديومية - كلوريدية ($Na - Cl$)، وترتبط هذه المياه بتداخل مياه البحر وأصلها مياه جوفية بحرية وعميقة وقديمة، فضلاً عن تأثير الصخور الملحية كما ان لمياه الصرف الصحي تأثير بذلك ولكنه ضعيف، كما تتجاوز القلوويات غير الكربونية فيه (50%)، وتسودها القلوويات والاحماض القوية والتي تكون أكثر من الأحماض الضعيفة.
- 5- بتطبيق مخطط دوروف تبين ان مياه العينات قليلة التلوث، انها ضمن تبادل الأيونات المستمر بالتفاعل الكيميائي مع التربة والصخور وذات ذوبان قليل.
- 6- يمكن استخدام جميع مياه الآبار للشرب والري و البناء و الانشاءات معاً.

المقترحات:

- 1- ضرورة وضع خطط إرشادية للمزارعين بشأن كميات ونوعيات الأسمدة المسموح بها، و تعتمد على مبادئ الزراعة المستدامة، مثل الاسمدة العضوية، والاسمدة الحيوية، والتي هي مُستحضرات تحتوي على كائنات حية دقيقة نافعة مثل البكتيريا، الفطريات، أو الطحالب، والتي تعمل على زيادة خصوبة التربة بطريقة طبيعية من خلال تثبيت النيتروجين الجوي، وإذابة الفوسفات غير القابل للذوبان، مما يقلل تسرب النيتروجين والفوسفور إلى المياه الجوفية والأنهار.
- 2- اعتماد طرق الري الحديثة ذات الكفاءة العالية (مثل الري بالتنقيط) للحد من تسرب النترات والأملاح إلى الخزان الجوفي.
- 3- الاستغلال الأمثل للمياه الجوفية من خلال ترشيد استعمال المياه والمحافظة عليها من خلال مراقبة كمية المياه المسحوبة مع معدل التغذية للبئر.
- 4- اجراء الفحوصات المخبرية بشكل دوري لمعرفة التغيرات التي ستحدث من ناحية نسبة المكونات الكيميائية والأملاح المذابة فيها تقاديا لعدم حدوث تدهور في صلاحيتها.

المراجع

- الزبيدي. أحمد سرداح كاظم (2024). المياه الجوفية في العراق. دار آراء للطباعة والنشر، بغداد، ص 45 .
- ديفيد كييف تود، (1992). هيدرولوجيا المياه، ترجمة رياض حامد الدباغ، حميد رشيد وفيق، مطبعة جامعة الموصل، ط1، ص 199.
- الكعبي.فاضل قاسم جبار (2009). دراسة هيدروجيوكيميائية تقييمية لأبار مختارة في مناطق شمال شرق ميسان، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة البصرة، ص60.
- محمد. نجله عجيل (2023). تقييم خصائص المياه الجوفية للإرواء الزراعي لمنطقة سبع قصور شمال شرق بغداد. المؤتمر العلمي السادس والعشرين للعلوم الإنسانية والتربوية/ مجلة كلية التربية/ الجامعة المستنصرية 4-5 أيار. ص 641 .
- محمد، نجله عجيل. تقييم هيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية لقضاء الحسينية – محافظة كربلاء ، مجلة المستنصرية للعلوم الإنسانية، عدد خاص للمؤتمر الدولي التخصصي الاول للعلوم الإنسانية والتربوية للمدة 26-27 شباط 2025، ص 266.
- وزارة البيئة. (1992). دائرة المتابعة والتخطيط، المواصفات العراقية لمياه الشرب رقم (417)، ص 4-5.
- وزارة العلوم والتكنولوجيا. (2025). دائرة البيئة والمياه، مختبر إعادة تدوير المياه .
- وزارة العلوم والتكنولوجيا. (2025). دائرة البيئة والمياه، مختبر إعادة تدوير المياه.

References

- A. Gargini .(2020) .Ecohydrogeology: The interdisciplinary convergence needed to improve the study and stewardship of springs and other groundwater-dependent habitats ‘biota ‘and ecosystems. Ecological Indicators 110: 105803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.20>.
- Al-Kaabi, F. Q. J. (2009). *A hydrogeochemical evaluative study of selected wells in northeastern Maysan* (Master’s thesis, College of Science, University of Basra, Iraq), p. 60.
- Altoviski, M.E .(1962) .*Handbook of Hydrology, Gosgoelitzdat, Moscow* , P 614.
- Dara, F., H Amin .(2009) .Hydrogeological Assessment of the Cretaceous Stratigraphic Units Exposed Along the North-Eastern Limb of Azmar Anticlinorium, Sulaimany, Ne Iraq . *Iraqi Journal of Science, Vol.50, No.1, pp. 56.66 –*
- Durov .(1948) .Classification of natural waters and graphic presentation of their composition. Dokl Akad Nauk SSSR.59(1):87.90–
- Gibbs .(1970) .*Mechanisms controlling world water chemistry. Science 170:10811090 – IDFC Foundation India Rural Development Report Orient Black swan ‘New Delhi.*
- H. K & ,Al-Basrawi, N. H Al-Jiburi . (2015) .Hydrogeological map of Iraq, scale 1: 1000 000 .*Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11. pp(1.26-17)*
- Ivanov .(1968) .*The main genetic types of the earths crust mineral water and their distribution in the USSR. Inter. Geol. Cong. of 23rd. Sessions‘ V. 12.p33.*
- Ivanov ‘V.V ‘,Barbanov ‘L. N ‘,and Plotnikova ‘Czechoslovakia G .(1968) .*NThe main genetic types of the earths crust mineral water and their distribution in the USSR. Inter. Geol. Cong. of 23rd. Sessions‘ V. 12.p33.*
- Ministry of Environment. (1992). *Iraqi standards for drinking water No. (417), Monitoring and Planning Department* (pp. 4–5). Baghdad, Iraq.
- Ministry of Science and Technology. (2025). *Water recycling laboratory, Environment and Water Department.* Baghdad, Iraq.
- Ministry of Science and Technology. (2025). *Water recycling laboratory, Environment and Water Department.* Baghdad, Iraq.
- Mohammed, N. A. (2023). *Evaluation of groundwater characteristics for agricultural irrigation in the Sab‘ Qusur area, northeast of Baghdad.* The 26th Scientific Conference on Humanities and Educational Sciences, *Journal of the College of Education, Al-Mustansiriyah University*, May 4–5, p. 641.
- Mohammed, N. A. (2025, February 26–27). *Hydrogeochemical assessment of groundwater in Al-Husseiniya District, Karbala Governorate. Al-Mustansiriyah Journal of Humanities*, Special Issue for the First International Specialized Conference on Humanities and Education, p. 266.

- N. H & ,Al-Jiburi, H. K Al-Basrawi .(2014) .Hydrogeology of the high folded zone .*Iraqi Bulletin of Geology and Mining*,6, pp .183-163
- Piper .(1953) .*A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. U.S. Geol. Survey Groundwater Note. pp12.
- Ravikumar .(2015) .A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydro chemical processes in groundwater from SRLIS river basin ‘ . Karnataka ‘India ‘Ravikumar et al. / *Elixir Earth Sci*. 80.pp. 31073-31085.
- Todd, D. K. (1992). *Hydrology of water* (R. H. Al-Dabbagh & H. R. Wafiq, Trans.) (1st ed., p. 199). Mosul, Iraq: University of Mosul Press.
- UNESCO/WHO Water Quality Surveys .(1978) .*A Guide for the colle.Ction and Interpretation of Water Quality Data*. Studies and Reports in Hydrology ‘United Nations Educational Scientific and Cultural Organization ‘No. 23 Paris. .https://hydrologie.org/BIB/Publ_
- V.K., Al-Jiburi, B.S Sissakian .(2014) .Stratigraphy of the High Folded Zone .*Iraqi Bulletin of Geology and Mining, Special Issue, No.6*, pp. 73.161 –
- WHO .(2017) .*Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the frist Addendum*. World Health Organization, Geneva.
- Yasuhiro .(2023) .THE CHARACTERISTICS AND DISTRIBUTION OF DEEP GROUNDWATER IN DJIBOUTI ‘ *International Journal of GEOMATE* ‘Vol.24 ‘Issue 102 ‘Feb ‘2023 ‘,pp.93-100 ‘ DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.102.s8555>.
- Z. and Markovic, M. Stevanovic .(2004) .*Hydrogeology of Northern Iraq*. Vol.2. *General Hydrogeology and Aquifer Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. p246.
- Zubaidi, A. S. K. (2024). *Groundwater in Iraq* (p. 45). Baghdad, Iraq: Ara’a Press for Printing and Publishing.