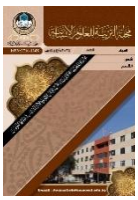
Journal of Education for Humanities

A peer-reviewed quarterly scientific journal issued by College of Education for Humanities / University of Mosul



The Technique of Spatial Completion in Representing the Characteristics of the groundwater / The city of Mosul as a Model

Noor Molod Abd [1] **Suhaib Hassan Khader** [2]

University of Mosul / College of Education for Humanities / Department of Geography / Mosul - Iraq [1, 2]

Article information

Received : 15/12/2024

Accepted: 15/2/2025

Published 10/7/2025

Keywords

Groundwater - Water Resources - Hydrochemistry - Groundwater Properties - Geology

Correspondence:

Noor Molod Abd

noor.23ehp267@student.uomosul.edu.iq

Abstract

The study of groundwater quality is one of the main topics in water resources management. The importance of groundwater is not limited to its presence and abundance. Representing and analyzing groundwater properties using spatial data has become an urgent necessity in light of modern technical development. Modern techniques, represented by data analysis and drawing linear distributions, help in accurately expressing the natural properties of groundwater, by studying the hydrochemical properties represented by (electrical conductivity, salinity, hydrogen factor, and chemical composition of elements). These techniques also provide an analysis of the relationship between groundwater properties and factors such as productivity, well depth, and fixed (stable) and moving water levels, which contributes to improving water resources management and enhancing their sustainability. The use of available data in the study of groundwater requires the use of accurate methodologies that have the ability to link spatial data with qualitative characteristics, which gives a deeper

understanding of the natural phenomena associated with groundwater. Data from (26) wells were collected to represent the groundwater characteristics of (16) variables. The well data were provided by the Ministry of Water Resources, the General Authority for Groundwater in Mosul, the Directorate of Groundwater, and the Department of Geology and Drilling. The study requires the adoption of the analytical inductive approach to achieve the research objectives. The study also showed the suitability of the Kriging and IDW methods in conducting spatial completion operations for groundwater characteristics, and obtaining (16) maps for each characteristic separately, showing its distribution and presence rates in the study area. The study indicates interest in this scientific and technical field and its application in other environmental studies and linking it to other branches of science as it prepares a database that can be used by decision maker

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

تقنية الاستكمال المكاني في تمثيل خصائص المياه الجوفية / مدينة الموصل انموذجا

نور مولود عبد [١] **صهيب حسن خضر** [٢]

جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم الجغرافية / الموصل – العراق [١،٢]

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : ٢٠٢٤/١٢/١٥

تاريخ القبول : ٢٠٢٥/٢/١٥

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/٧/١٠

الكلمات المفتاحية :

المياه الجوفية– الموارد المائية– الهيدروكيميائية– خصائص المياه الجوفية– الجيولوجيا

معلومات الاتصال

نور مولود عبد

noor.23ehp267@student.uomosul.edu.iq

الملخص

تُعد دراسة نوعية المياه الجوفية من المواضيع الرئيسة في إدارة الموارد المائية، ولا تقتصر أهمية المياه الجوفية على وجودها وكثرتها، إذ أصبح تمثيل خصائص المياه الجوفية وتحليلها باستخدام البيانات المكانية ضرورة ملحّة في ظل التطور التقني الحديث.تُساعد التقنيات الحديثة، المتمثلة بتحليل البيانات ورسم التوزيعات الخطية، في التعبير الدقيق عن الخصائص الطبيعية للمياه الجوفية، من خلال دراسة الخصائص الهيدروكيميائية المتمثلة بـ (التوصيلية الكهربائية ،نسبة الملوحة, والعامل الهيدروجيني ، والتركيب الكيميائي للعناصر). كما تعطي هذه التقنيات تحليل العلاقة بين خصائص المياه الجوفية وعوامل مثل الإنتاجية، عمق البئر، ومستوى المياه الثابت(المستقر), والمتحرك، مما يسهم في تحسين إدارة الموارد المائية وتعزيز استدامتها. يتطلب توظيف البيانات المتوفرة في دراسة المياه الجوفية استخدام منهجيات دقيقة لها القدرة على ربط المعطيات المكانية بالخصائص النوعية، مما يعطي فهماً أعمق للظواهر الطبيعية المرتبطة بالمياه الجوفية.ولقد تم جمع بيانات الآبار البالغة (٢٦) بئراً ، لتمثيل خصائص المياه الجوفية لـ (١٦) متغيرا, وزودت بيانات الآبار من وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمياه الجوفية الموصل، مديرية المياه الجوفية، قسم الجيولوجيا والحفر.،وتتطلب الدراسة اعتماد المنهج الاستقرائي التحليلي لتحقيق اهداف البحث ، كذلك اظهرت الدراسة ملائمة طريقتي كريكنج (Kriging)و(IDW) في اجراء عمليات الاستكمال المكاني لخصائص المياه الجوفية، والحصول على (١٦) خريطة لكل خاصية على حدة توضح توزيعه ونسب تواجده في منطقة الدراسة،

تشير الدراسة الاهتمام بهذا المجال العلمي والتقني وتطبيقها في الدراسات البيئية الاخرى وربطها بفروع العلوم الاخرى كونها تجهز قاعدة بيانات يمكن الاستفادة منها من قبل صناع القرار.

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

١- المقدمة

تعد المياه الجوفية مورداً حيوياً هاماً لـــدعم الحياة والأنشطة الاقتصادية في مكان تواجدها، إذ لها دوراً أســاســياً في تلبية احتياجات السكان من المياه العذبة. مع وجود تفاوت في نوعيتها بسبب التكوينات الجيولوجية والعوامل البيئية,إذ تســـهم التقنيات الحديثة، مثل تحليل البيانات ، في التعبير الدقيق عن الخصائص الطبيعية للمياه الجوفية، عن طريق دراسة مجموعة من المعاييرالموضوعية و الكيميائية المتمثلة في قياس تركيز الايونات الموجبة (الكربونات cationia) وهي الكالســـيوم ca^{+2} , المغنيســـيوم mg+2بوتاسيوم+K وصوديوم +Na) والايونات السالبة (الانيونات Anionit)هي (الكلوريدات-Cl النترات -No3الكبريتات-So4 الكربونات-CO3 البيكربونات-Hco3) فضـــلا عن حســـاب كمية المواد الصـــلبة الـذائبـة في المـاءTotal Dissolved Solids (T.D.S) والتوصـــيليـة الكهربـائيـة(Electrical (EC Conductivity , ونســـبـة أمتزاز الصـــوديومSAR SodiumAdsorption Ratio , وقيـاس الاس الهيدروجينيPower of Hydrogen (PH) وذلك كما مبين عبر اعتماد 26 قياس لابار موزعة في منطقة الدراســـة ملحق (2) ,كما تتيح هذه التقنيات تحليل العلاقة بين خصـــائص المياه الجوفية وعوامل مثل الإنتاجية، عمق البئر، ومســـتوى المياه الثابت والمتحرك، إذ يمثل هذا النهج خطوة مهمة نحو تحســـين التخطيط والإدارة الفعالة للموارد المائية، ويعزز من قدرة المجتمعات على مواجهة تحديات ندرة المياه والحفاظ على استدامتها للأجيال القادمة.

1:1 – مشكلة الدراسة : تكمن في التساؤلات التالية

- كيف تؤثر الخواص الطبيعية التي تتصف بها منطقة الدراسة في تشكيل الخزانات الجوفية وتحديد خصائصها الموضوعية والنوعية ؟

- هل بالأمكان الاستفادة من خاصية معالجة البيانات المتوفرة وتوظيفها في برمجية نظم المعلومات الجغرافية والتعبيرعن ظاهرة طبيعية متمثلة في بيئة المياه الجوفية وصولا الى اخراج خرائط تعكس بوضوح تركيب الظاهرة قيد الدراسة الحالية ؟

2:1 – اهمية الدراسة : أن الاتجاه الحديث لخطط التنمية في كثير من الاقاليم الجافة وشبه الجافة في العالم يرتكز على مثل هذا النوع من الدراسات التطبيقية في مجال البيئة، من حيث توفير المعلومات والبيانات عن علاقة الهيدرولوجيا السطحية بالجوفية منها وذلك من خلال قياس متغيرات خصائص المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

3:1 – **هدف الدراسة** : تهدف الدراسة الحالية على معرفة بعض الخصائص النوعية للمياه الجوفية في مجموعة من الآبار بلغت (٢٦) بئراً في مدينة الموصل وتمثيلها في خرائط موضوعية تبين خصائصها النوعية بالاستفادة من برامجيات نظم المعلومات الجغرافية .

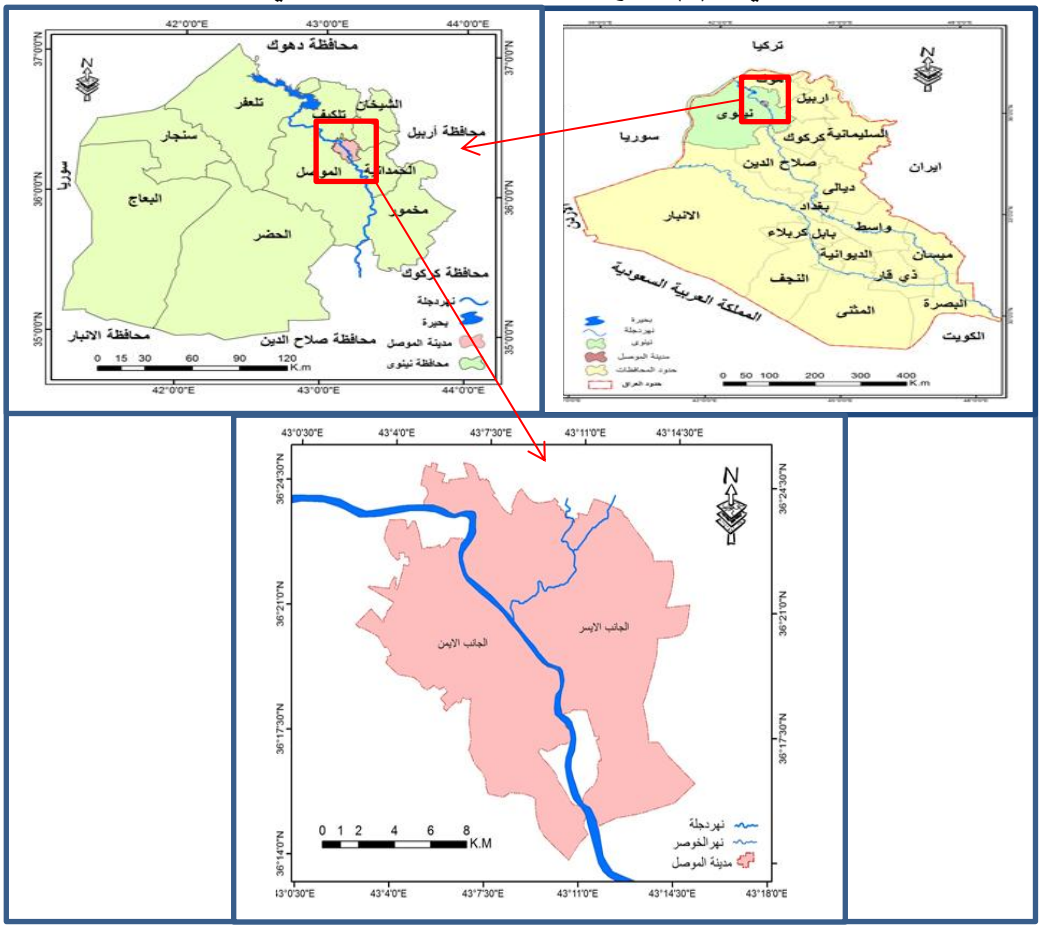
٤:١ :– فرضية الدراسة: تتباين المياه الجوفية في منطقة الدراسة من حيث الخصائص الهيدروجيولوجية والموضوعية (العمق,المنسوب الثابت والمتحرك ,الانتاجية) وكذلك من حيث الخصائص النوعية(Na+2– Mg+2– Hco3– EC pH–TDS – K+1– – Cl–1 –So4).

٥:١ – منهجية البحث : اتبعت الدراسة منهج البحث التحليلي من خلال تجهيز البيانات المطلوبة عن الظاهرة

٣:– موقع منطقة الدارسة: Location of the study area

تقع مدينة الموصل في الجزء الشمالي الغربي من العراق وتعد مركز محافظة نينوى في الحوض الأوسط لنهر دجلة، ويقسمه نهر دجلة الى شطرين غير متساويين في المساحة، ويتحدد موقعها فلكياً عند قوسي طول (٤٣ °٥٤’١٤”) – (٤٣°٠٢’ ٣١”) شرقاً ودائرتي عرض(٣٦°٥٨’١٣”)–(٣٦°٤٥’٢٥”) شمالاً, وبمساحة (٢٠٢.٩) كم ٢.

الخريطة (١) موقع منطقة الدارسة بالنسبة لجمهورية العراق



المصدر: اعتماداً على: جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، شعبة GIS، خريطة العراق الادارية لسنة٢٠١٢، مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠، وخريطة التخطيط العمراني لمدينة الموصل لسنة ٢٠١٩.

٢: -الخصائص الطبيعية لمنطقة الدارسة : Natural characteristics of the study area

ترتبط نوعية المياه الجوفية وكميتها في اي منطقة في خصائص العوامل الطبيعية السائدة فيها ولذلك يتوجب دراسة هذه الخصائص بدءا من البنية الجيولوجية, كما ان السطح يمتلك تاثيرا على كميات المياه الجوفية عن طريق الانحدار ودرجات ميل السطوح ,بالاضافة الى المناخ عوامل طبيعية مؤثرة في المياه الجوفية ومتحكمة بها .

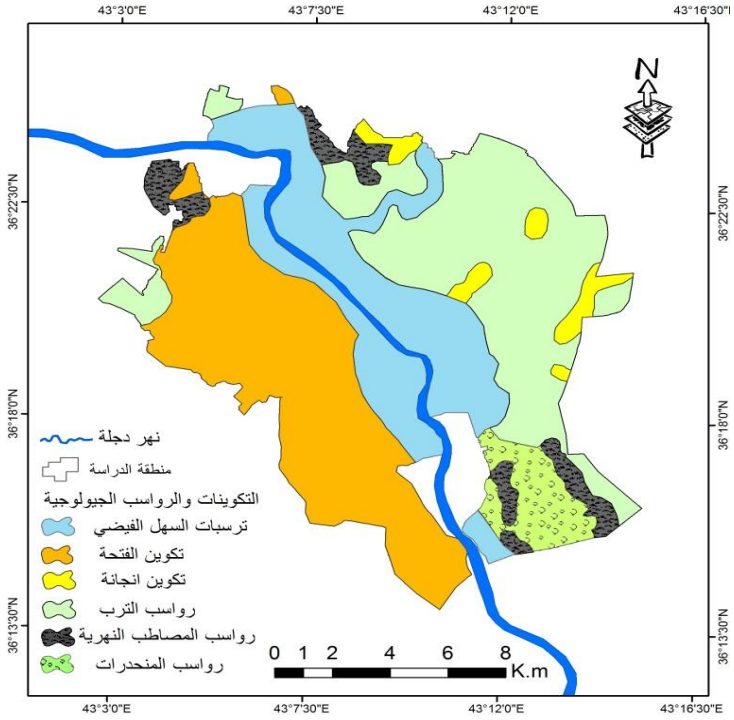
٢:١ – جيولوجية منطقة الدراسة : Geology of the study area

ان للبناء الجيولوجي والخصائص الطبيعية والكيميائية للصخو دوراً اساسياً في توافر المياه الجوفية وتميز خصائصه النوعية وحركتها التي ترتبط ارتباطا وثيقا بالتراكيب البنيوية السائدة في منطقه الدراسة والتي تعكس بيئات ترسيبيه مختلفة وان عمرها الزمني يتراوح بين عصر المايوسين الاوسط الى المايوسين الاعلى من الزمن الجيولوجي الثالث ثم تعقبها ترسبات الزمن الرابع من عصر البلايستوسين والهولوسين, تؤثر هذه التكوينات والترسبات في نوعية المياه التي تمر خلالها.ومن ملاحظة الخارطة (٢) والجدول (١) إن التكوينات تتفاوت في خصائصها نتيجة أختلاف نسيجها الصخري من حيث المسامية والنفاذية وكذلك الشقوق والفواصل, ويمثل تكوين الفتحة الجزء الأكبر من جانب المدينة الأيمن إذ يشغل مساحات كبيرة من منطقة الدارسة خاصة في الأجزاء المنبسطة منها تصل الى(٦٤.٩٧) كم٢ وبنسبة (٣٢.٣٢) كمافي الجدول(٢) ويعد تكوينا خازنا وممررا للمياه بشكل جيد لكن اغلب مياهها غير عذبه لسيادة طبقات الجبس والانهيدرايت ذات القابلية العالية للذوبان في الماء,(Adnan,2010,p35). اما تكوين إنجانة فيعود تكوينه الى عصرالمايوسين الأعلى وبمساحة تقدر(٦.١٨) كم ٢ وبنسبة (٣.٠٦) %, ويمتاز,هذا التكوين بالنفاذية العالية لطبقات الكلس والرمل مما يؤدي الى نفاذ كميات كبيرة من المياه السطحية الى باطن الارض وزيادة منسوب المياه الجوفية,وتمتاز ترسبات الزمن الرباعي بكونها خزاناً غنيا للمياه الجوفية بفضل تركيبها ذي الحبيبات الخشنة التي تسمح بنفاذ وخزن المياه بكميات كبيرة وهذا ما جعلها من أفضل المكامن الجوفية من حيث الخزن والإنتاجية والمناسيب الثابتة والمتحركة (Bellen, 1956, p42).

الجدول (١) التعاقب الطباقي لتكوينات المنطقة

	أسم التكوين	خصائصها الصخرية	قابليتها على خزن المياه
	تكوين الفتحة	ترسبات المتبخرات (جبس + أنهايدرايت)	مياه جوفية قليلة وذات نوعية رديئة
	تكوين أنجانة	صخور رملية وغرينية وطينية	يحتوي على المياه الجوفية بكميات كبيرة
	ترسبات العصرالرباعي	يتكون من نواتج النحت للتكوينات الجيولوجية المختلفة	مياهها تكون ذات نوعية جيدة

الخريطة (١) موقع منطقة الدارسة بالنسبة لجمهورية العراق



المصدر: اعتماداً على خريطة جمهورية العراق، وزارة الصناعة والمعادن، الهيأة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، خريطة العراق الجيولوجية، بمقياس ١:١٠٠٠٠٠٠، بغداد ١٩٩٥، وبرمجية Arc Gis10.8

الجدول (٢) المساحات والنسب المئوية للتكوينات والرواسب الجيولوجية في منطقة الدارسة

التكوينات والرواسب الجيولوجية	المساحة كم٢	النسبة المئوية %
تكوين الفتحة	64.97	32.02
تكوين انجانة	6.18	3.06
ترسبات الترب المتبقية	61.76	30.43
ترسبات المنحدارت	10.23	5.04
ترسبات المصاطب النهرية	11.64	5.73
ترسبات السهل الفيضي	48.13	23. 72
المجموع	202.9	%100

المصدر: اعتماداً على خريطة (٢)

٣:١ – مناخ منطقة الدراسة Climate of the study area

يعتبر المناخ من العوامل الطبيعية المهمة التي لها دور اساسي في التاثير على المياه الجوفية, نتيجة العلاقة بين كميات الامطار الساقطة والمتبخرة والمترشحة التي تشارك في تغذية المياه الجوفية ,وان دراسة المناخ ومعرفة خصائصه ذات تأثير كبيرفي تحديد نوعية وكميائية المياه الجوفية(العزاوي, ٢٠٠٩, ٦٧). تم الاعتماد في بيانات المناخ على المعدلات المناخية الخاصة بمحطة الموصل ولسنوات الرصد (١٩٩٠-٢٠٢٤)كما في جدول (٣) إذ يتبين من المعطيات المناخية الشهرية أن هناك تزامن بين حصول انخفاض في ,معدلات الحرارة مع فصل التساقط المطري تحت سيطرة نظام البحر المتوسط الممطر شتاءً مما يسبب الى تدني فعالية التبخر – نتح ونتيجة ذلك زيادة القيمة الفعلية للأمطار الساقطة وحصول تغذية خزانات المياه الجوفية . وتعتبر الحرارة اكثر العناصر,المناخية اهمية إذ تؤثر على المياه الجوفية وطاقتها الانتاجية التصريفية, ويظهر ذلك من خلال الدراسة التحليلية لمعرفة معدلات الحرارة والامطار والتبخر.

الجدول (٣) البيانات المناخية لمنطقة الدراسة لسنوات الرصد (١٩٩٠-٢٠٢٤)

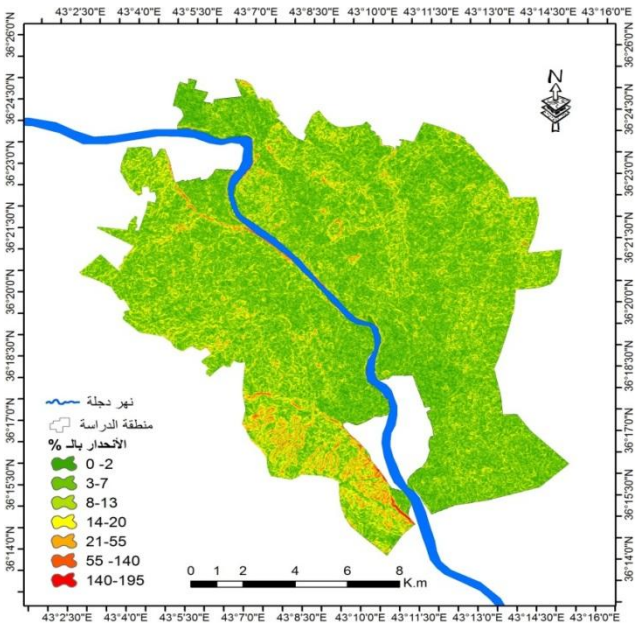
الاشهر	معدلات الامطار/ ملم	معدلات درجة الحرارة	معدلات التبخر / ملم
كانون الثاني	٦١.١	٧.٩	٢٩.٧٦
شباط	51.9	9.8	٤٠.٣٢
اذار	57.8	13.8	٧٤.٤
نيسان	43.6	18.9	110. 7
أيار	16.4	25.0	١٦٩.٥٧
حزيران	1.1	30.9	٢٠٢.٥
تموز	0.2	34.6	٢٢١.٩٦
آب	0.0	34.2	٢٠٦.١٥
أيلول	0.5	29.4	٢٠٦.١٥
تشرين الأول	11.7	23.3	٢٥٧.٣
تشرين الثاني	41.3	15.0	٤٨.٣
كانون الأول	57.2	9.8	٣٠.٣٨
المجموع السنوي	347.3	21.0	١٥٢٩.٣٥

المصدر : الهيئة العامة للأنواء الجوية / قسم المناخ / سجلات غير منشورة

٤:- الخصائص الطبوغرافية والانحدارية : Topographic and slope characteristics

أن تباين ارتفاعات سطح الارض يؤثر في تحديد مناطق تواجد المياه الجوفية اذ كلما قل ارتفاع سطح الارض قلت سرعة الجريان السطحي وازدادت معدلات ترشيح المياه الى باطن الارض مما يساعد ذلك على تغذية المياه الجوفية وبخلاف ذلك في الارتفاعات العالية , تمتاز غالبية منطقة الدارسة بانها سهلية، وأن طبيعية الوحدات التضاريسية تختلف من منطقة الى أخرى . ويختلف جانبي المدينة في مظهرها التضاريسي حيث يمتاز الجانب الأيمن (الغربي) بأرتفاعه العام مقارنة بالجانب الأيسر(الشرقي) وتظهر الاختلافات في الدارسات التفصيلية لمعالم سطح الأرض لذا تظهر في الجانب الأيمن من المدينة على شكل مصطبي حوضي متدرج من الشمال إلى الجنوب الشرقي(الجنابي ، ١٩٩٦ ، ص٩)، أما الجانب الأيسر (الشرقي) يميل الى الاستواء نوعا ما مع وجود مناطق مرتفعة اقل نسبيا في الجانب الأيمن لقلة مقاومة صخورها للتعرية وهي تمثل السهل الفيضي لنهر دجلة (الجبوري,١٩٨٨، ص١٠٢).ويمكن تمييز المظاهر التضاريسية في منطقة الدراسة المتمثلة بـ (السهل الفيضي –هضبة الموصل – المصاطب النهرية – المنحدرات) ,ونلاحظ تواجد كل الفئات من درجات الانحدار في منطقة الدارسة، وان هناك سيادة للأراضي المستوية والمتضرسة نسبيا ,وكما يلاحظ في الخريطة (3) .

خارطة (٣) فئات الانحدار حسب تصنيف Zuidam



المصدر: اعتماداً على: - نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرمجية (Arc Gis 10.8
Van Zuidam, R.A & Van Zuidam-Canceldo, F.I., Terrin analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach. ITC Textbook of photo-interpretation 7(8): 1-310. ITC, Enschede, 1979.

الجدول (٣)اصناف المنحدرات الارضية في منطقة الدراسة بتصنيف (Zuidam)

اشكال التضرس	الانحدار%	المساحة كم٢	النسبة %
ارض مستوية	0-2	31.21	15.31
ارض قليلة الميل	3-7	109.33	53.87
ارض مائلة	8-13	34.93	17.21
ارض متوسطة الميل	14-20	7.90	3.89
ارض منحدرة	21-55	3.07	1.51
ارض شديدة الانحدار	55-140	0.06	0.03
ارض شديدة الانحدارجدا	140 فأكثر	16.43	8.09
المجموع		202.9	100

المصدر: اعتماداً على خريطة (٣)

٥: - طرائق الاستكمال,المكاني : SPATIAL INTERPOLATION Methods

توجد العديد من طرائق الاستكمال المكاني لمعالجة تمثيل البيانات وجميعها تستخدم في المجالات العلمية المختلفة ولا يمكن القول بان هذه الطرائق ليست جيدة أو صحيحة . بل اختيار إحداها التي توافق متطلبات الدراسة والصفات العامة للبيانات ولكل واحدة منها لها مزاياها وعيوبها التي تفرقها عن الأخرى.يمكن عرض أهمها على النحو الأتي(القصاب ٢٠٢٠,,ص ١٣١):

١:١:٥- طريقة المسافة المعكوسة والموزونة (IDW) : اختصاراً لـInverse Distance Weighted :

إذ تقوم بتقدير قيم السطح بالنسبة لكل خلية على حدة وذلك بأستخدام قيمة ومسافة النقطة القريبة.أن القيم المستكملة بالنسبة لاسطح الـ IDW تُحسب على انها متوسط موزون لقيم مجموعة من النقط القريبة .ان تأثير وزن النقطة القريبة يصبح اكبر من تاثير وزن النقطة البعيدة (الوزن يقل كلما زادت المسافة) .

٢:١:٦- طريقة spline وطريقة Trend:

تقوم بعمل استكمال لأسطح جيدة التوفيق الى نقاط العينات ,ان الاستيفاء بطريقة الـ splineيقوم الى توفيق سطح رياضي من خلال النقط التي تعمل على تقليل الحجم بشكل كبير وتكون مفيدة بالنسبة للأسطح المختلفة مثل ارتفاعات المياه الجوفية ,اما الاسطح التى تنتج عن الاستكمال بطريقة Trend تكون جيدة من اجل التعرف على هوية نماذج البيانات ذات المقياس coarse والسطح الناتج عن الاستكمال نادرا ما يمر خلال نقاط العينات .

٣:١:٥ - طريقة كريكينج (Kriging)(Kevin and Jay ,2003):

تعد طريقة (Kriging) من التقنيات المهمة في الاحصاء الرياضي Analyst Geostatistical وهي إجراء تمثل خطي تؤمن أفضل تقدير غير متحيز للكميات المتباينة مكانيا . تقديرات كريكينج مجاميع موزونة لتركيز النماذج المتجاورة اي اذا ظهرت أي البيانات مستمرة في المكان فالنقاط الأقرب الى تلك المتوقعة تحتوي على أوزانا أكبر من النقاط البعيدة عنها . يعرف عن كريكينج أنها الطريقة المثلى للتنبوء المكاني خصوصا في الدراسات البيئية والمياه الجوفية والتربة (القصاب ٢٠٢٠,,ص ١٣١).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i) \quad \text{..... (1)}$$

إذ ان

- Z (S0) القيمة الفعلية عند المواقع SO
- Z(Si) القيمة المعرفة عند مواقع,النمذجة
- N عدد المواقع داخل المنطقة المجاورة ,المستخدمة للتقدير والتخمين.

٢:٥ – خطوات العمل :

ظهرت خطوات العمل في الدراسة بتهيئة البيانات الأساسية المعتمدة في الدراسة والتي تمثل الابار لمنطقة الدراسة إذ تم الحصول عليها من شركة حفر الابار/ فرع نينوى), ومن ثم تصدير تلك البيانات بصيغة

(EXcel) الى برمجية Arc Map 10.8 ,واسقاطها على شكل نقاط تحمل كل منها قيم (x.y) ورسم شيب فايل نقطي لكل نقطة مسقطة مع ادخال بيانات لكل نقطة تحمل كل نقطة خصائص موضوعية وكيمائية لموقع الممثل.

ولغرض اختيار الطريقة المثالية لعملية الاستكمال المكاني للبيانات يتم ايجاد القيم الاحصائية (مقاييس النزعة المركزية ومقاييس التشتت) كل خاصية من خصائص الابار لمعرفة طريقة توزيع البيانات وإجراء التحويلات اللازمة لها واختيار طريقة مناسبة للاستكمال المكاني اعتمادا على قيم المتوسط الخطأ والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ وتطبيق ذلك على طرائق الاستكمال المكاني المتوفرة في نافذة (Geostatistical analysis) ضمن برمجية نظم المعلومات الجغرافية ,واختيار الطريقة المثلى للبيانات من حيث الدقة .

٣:٥- خرائط الاستكمال المكاني Spatial Interpolation Maps

يوفر التحليل المكاني لبرمجية ArcGIS 10.8 طرق متعددة الاستكمال المكاني لإنشاء شبكة خلايا سطحية من البيانات النقطية . الاستكمال هو عملية تستخدم لتخمين قيم الخلايا عند النقاط أو المواقع التي لا تتوفر فيها نماذج حقيقية . يرتبط مبدأ الاستكمال على العلاقة المتداخلة المكانية(Spatial auto correlation) أو الاعتماد المكاني (Spatial Dependence) ,التي تقيس درجة العلاقة أو الاعتماد ما بين النقاط أووالأشياء القريبة والبعيدة.

يوجد فئتان من تقنيات الاستكمال هما :

٣:٥: ١- الحتمية (Deterministic) : لتصميم سطوح تعتمد على نقاط مقاسة أو معادلات رياضية طريقة تعتمد على امتداد تماثل الخلايا او تشابهها مثل معكوس المسافة المرجحة .

٣:٥: ٢- الإحصائية الجيولوجية : تعتمد على المعالجات الاحصائية وتستخدم في تصميم موديلات السطوح المخمنة المتطورة , ويتميز بتضمنه حسابات الدقة والتوكيد للنقاط المخمنة كما في طريقة كريكينج.

ويتبين مما تقدم أن طرائق الاستكمال المكاني الموجودة في المحلل المكاني للبرنامج تتبع معايير مختلفة للوصول الى الخارطة المنشودة من البيانات , جميعها صحيحة ,حينما تفي بالشرو ط التي وضعت,على أساسها وتكون الخارطة الممثلة لمنطقة الدراسة أقرب,الى الواقع , أي لا تحتوي إلا على النسبة,القليلة جدا من الأخطاء .وتم تحديد طريقة المسافة المعكوسة والموزونة (IDW) لإنتاج خرائط الاستكمال المكاني لكونها مناسبة لخصائص المياه الجوفية في منطقة الدراسة .وكنتيجة نهائية على وفق,المراحل السابقة تم الحصول على خرائط الاستكمال المكاني الأتية والتي تمثل الخصائص الهيدروجيوكيمائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

٦ : – الخصائص الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية في منطقه الدراسة

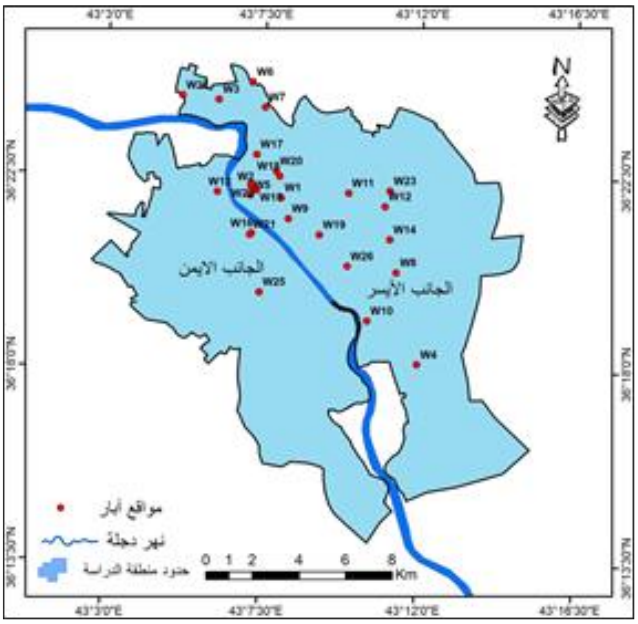
Hydrogeochemical properties of groundwater

لتمثيل خصائص المياه الجوفية في منطقة الدراسة تم جمع البيانات لآبار منطقة الدراسة بلغت (٢٦) بئراً تمثل الجانب الايمن والجانب الايسر في المنطقة والخريطة (٤) تبين توزيع هذه الآبار في منطقة الدراسة.وشملت الخصائص الهيدروجيوكيميائية كل من الخصائص الموضوعية والخصائص النوعية الاتية :

١:٦ : الخصائص الموضوعية للمياه الجوفية : Hydrogeochemical properties of groundwater

١:١:٦ :عمق البئر Depth : توجد عوامل متعددة تؤثر في أعماق الآبار منها التكوين الجيولوجي الذي يتم الحفر فيها ,فضلا عن نوعية صخورها والمسامية والنفاذية للطبقات ووجود الشقوق والفواصل في التكوينات الصخرية إذ يتم ملاحظة الطبقات أثناء حفر البئر والتأكد من وجود طبقات مغذية وحاملة للمياه الجوفية، وحسب بيانات الابار (ملحق ١) يتضح ان اعماق الابار في منطقة الدراسة يتفاوت بين (١٦) متر في بئر مقتربات الجسر الرابع (W26) و(٥٤) في بئر حدائق حي النور/١ (W12).

خريطة (٤) التوزيع الجغرافي للآبار في منطقة الدراسة.



المصدر: اعتماداً على الملحق (١) و برمجية Arc GIS 10.8

١:١:١:٦عمق المياه الجوفي الاستقراري (ثابت) Groundwater static level

يقصد المياه في البئر عندما لا يكون هناك سحب من,البئر بالضخ أو بالتدفق الحر. يشار إليه عادة بالمسافة من سطح الأرض إلى عمق المياه في البئر. بالنسبة للبئر الذي يتدفق عند سطح الأرض، ويتكافأ فيه الضغط الجوي,والضغط الهايدروستاتيكي عند سطح المياه الجوفية Water table في الخزانات المائية الحرة (كيف تووود ، ١٩٧٩، ص١٦٩) . وحسب بيانات الابار (ملحق ٢) تراوحت اعماق المناسيب الثابتة بين (١) متر في بئر (W10) و(٣٩) متراً في بئرتقاطع التاميم (W14) ,كما موضح في خريطة (٥).

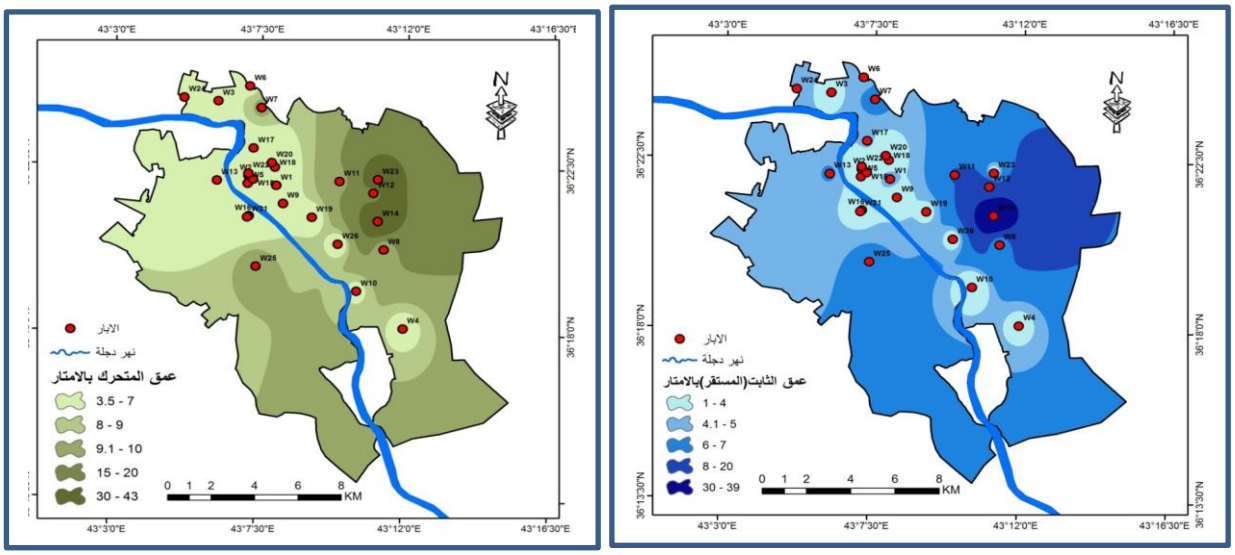
٢:١:١:٦ عمق المياه الجوفية المتغير (المتحرك) Groundwater Dynamic

عمق الضخ هو عبارة عن عمق المياه في البئر عندما يكون البئر جاري السحب منه(ضخه). ويدعى عمق الضخ ايضا بعمق المياه الديناميكي إذ تنخفض عملية الضخ لأكثر من ساعات متواصلة وترتبط أعماق المناسيب المتغيرة بمقدار,السحب المائي ومقدار الوارد للخزانات الجوفية (ألشمري, ٢٠٢٢,ص ٧٦).إذ سجلت أدنى قيم انخفاض (٣.٥) متراً في بئر (W21) في وسط منطقة الدراسة، ويعود السبب إلى الضخ المستمر لسحب المياه. أما أعلى قيم الانخفاض فقد سجلت (٤٣) متراً في ابار (W14),نتيجة ارتفاع المنطقة عن مستوى سطح البحر والسحب المستمر فضلا عن أعماقها العالية. كما في خريطة (٦).

٢: ١:٦: الطاقة الانتاجية للآبار (التصريف لتر/ثانية) Well production capacity

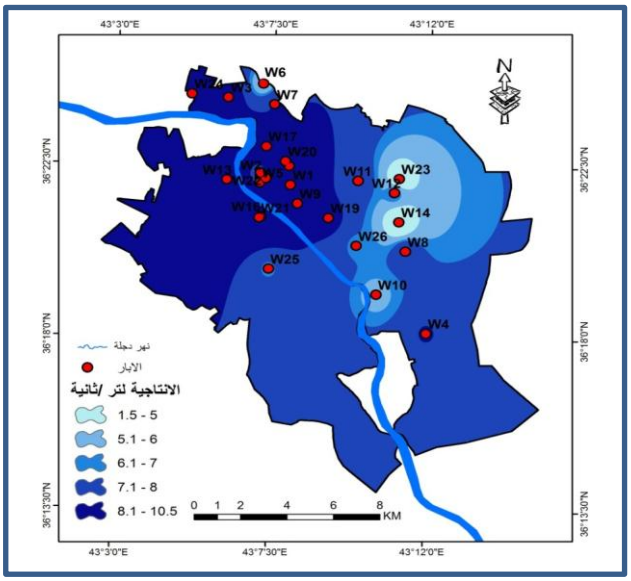
هي كمية تصريف البئر لوحدة الانخفاض ويعبر عنها لتر/ الثانية، أي قسمة التصريف على الانخفاض (ألدليمي ,٢٠١٨). ترتبط انتاجية الابار في الخصائص الصخرية للمكمن المائي الجوفي من ناحية المسامية والنفاذية لان هاتين الخاصيتين تُحددان قدرة التكوين الصخري على تشبعه بالماء. ولهذا السبب فإن منطقة الدراسة توجد فيها تكوينات صخرية متباينة في خصائصها من حيث المسامية والنفاذية والتي ترجع الى ازمنة جيولوجية عديدة منها تكوين الفتحة– انجانة وترسبات لعصر الرباعي إذ تحتوي هذه التكوينات مكامن مائية جوفية مستثمرة في عموم منطقة الدراسة , ومن خلال الملحق (١) والخريطة (٧) نلاحظ أن هناك اختلاف في إنتاجيات الآبار تراوحت بين (١.٥) في بئر((W14 وبين (١٠.٥) لتر/ ثانية لبئر مجمع سدير في غابات الموصل (W13) .

خريطة (5) عمق الماء الجوفي الثابت الاستقراري (م) **خريطة (6) عمق الماء الجوفي المتحرك (م)**



المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على الملحق (١) و برمجيةArc GIS 10.8

خريطة (٧) الانتاجية التصريفية (لتر/ثانية) لآبار منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على الملحق (١) و برمجية Arc GIS 10.8

٦:٢: الخصائص النوعية للمياه الجوفية Qualitative properties of groundwater

وتشمل الاس الهيدروجينيPH, المواد الصلبة الذائبة T.D.S,التوصيلية الكهربائيةEC, والأيونات الموجبة الرئيسة Major Cationsالمتمثلة بمجموعة عناصر الأيونات التالية (الكالسيوم- المغنيسيوم- البوتاسيوم -الصوديوم) , والأيونات السالبة الرئيسية Major Anionsالمتمثلة بـ (الكلوريد -النترات - الكبريتات- البيكاربونات), فضلا عن نسبة امتزاز الصوديومSAR .

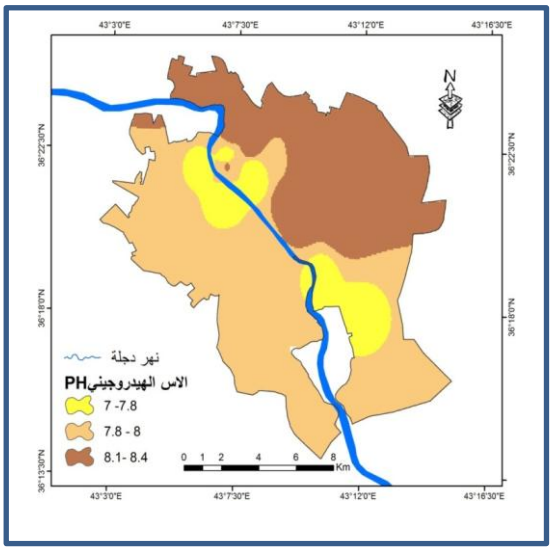
١:٢:٦ الاس الهيدروجيني (Power of Hydrogen PH) :

يتضح من الملحق(٢) والخريطة (٨) ان قيم درجة الاس الهيدروجيني في ابار منطقة الدراسة تراوحت بين (٧.٤-٧.٨) كاقل قيم في ابار (w1-w2-w4-w9-w10-w13-w16-w20-w21) وبين (٨.٤) كاعلى قيمة في بئر (١٧) وهذا يدل ان كل القيم في منطقه الدراسة تميل نحو القاعدية ويرجع سبب ذلك الى وجود ايونات البيكربونات القادمة من ذوبان كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم في التتابعات الصخرية للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة.

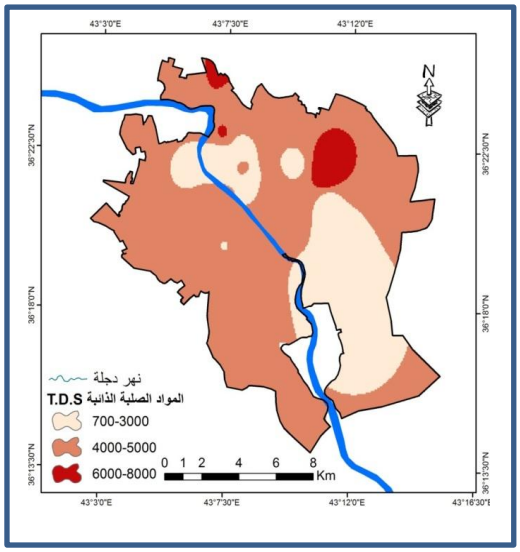
٢:٢:٦ المواد الصلبة الذائبة (Total Dissolved Solids T.D.S)

تتباين تراكيز T.D.S في المياه تبعاً للتكوينات الجيولوجية المختلفة وذلك لاختلاف قابلية المعادن المكونة لها على الذوبان في المياه(شهاب، ٢٠١٧ ،ص ٦). ويتضح من ملحق (٢) والخريطة (٩) إن أعلى قيمة للمواد الصلبة الذائبة (T.D.S) في الآبار المدروسة كانت في بئر (W23) والبالغة (٧٩٧٠) ملغم/ لتر، وأدنى قيمة(٦٤٢) في بئر(W15). تعود التراكيز المنخفضة الى ترسبات الحجر الجيري أما التراكيز المرتفعة الى ترسبات الزمن الرابع, وتبين أن حركة المياه الأفقية التي تنحدر من الأجزاء الشمالية تزيد من فرص الاحتكاك بالصخور واذابتها وزيادة معدلات الأملاح المذابة فيها.كما يشير ان توزيعها تماثل مع توزيع متغير التوصيلية الكهربائية (EC).

خريطة(٨) التوزيع المكاني للأس الهيدروجيني



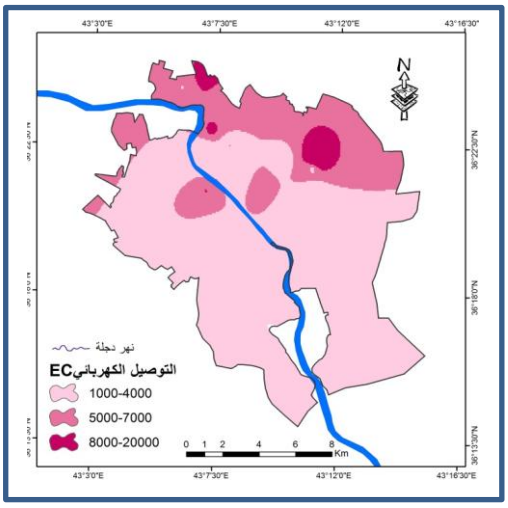
خريطة(٩) التوزيع المكاني للمواد الصلبة الذائبة



٣:٢:٦التوصيلية الكهربائية (Electrical Conductivity) EC

اشارت القياسات في الملحق(٢) والخريطة (١٠) ان القيم تتراوح ما بين ادنى قيمة والبالغة (١٥٧٢) وذلك في بئر(w15) وبين اعلى قيمة والبالغة (١٦٥٥٥) في بئر(w23) , ويبدو ان طول فترة مكوث المياه وتحرك المياه اليها من النطاقات الاخرى تزيد من كميه الاملاح الذابه وبالتالي ترتفع نسبة (EC) قياسا بالاجزاء الاخرى .

خريطة (١٠) التوزيع المكاني للتوصيلية الكهربائية EC



المصدر :بالاعتماد على الملحق (٢) و برمجية Arc GIS 10.8

٤:٢:٦ : تركيز أيون الكالسيوم (Calcium Ca+2)

يعد من اهم الايونات الرئيسية الموجبة الشحنة في المياه الجوفية , أذ يوجد في الصخور الكلسية والجبسية سواء كانت,ممررة ام حاوية له, ومن بيانات الملحق (٢) وخريطة (١١) يتضح أن قيم أيون الكالسيوم Ca+2 في الآبار المشمولة بالدراسة بلغت بين (١٠٩) كأقل قيمة في بئر (W15) وبين اعلى قيمة (٥٧٠) في بئر (W7)، إذ يفسر لنا أنَّ هنالك تبايناً في مقدارنسب (Ca2+) في منطقة الدراسة ويرجع ذلك لتركز وجود الصخور المصدرية التي تتواجد بشكل كبير في منطقة الدراسة وتشمل الصخور الرسوبية وأن الحجر الجيري يذوب بسهولة في الماء عند وجود تجهيز من أيون الهيدروجين (H+) وكذلك تفكيك حامض الكاربونيك وهو أحد أكبر المصادر المكونة لهذا الأيون إذ يتفاعل مع الحجر الجيري ليعطي أيونات الكالسيوم (Jayanthi and Geetha, 2023).

Mg+2 (Magnesium) 5:2:6 تركيز أيون المغنسيوم (

يعتبر أيون المغنسيوم من الأيونات الأساسية التي تأتي بعد الكالسيوم في المياه الجوفية، ويعد من الفلزات القلوية الأرضية ، إذ لأيون المغنسيوم قابلية ذوبان أكثر من أيون الكالسيوم (السعدي ، ٢٠٠٤,ص٧٣) ومن الملحق(٢) وخريطة (١٢) يتضح لنا أن قيم أيون المغنيسيوم في الآبار المشمولة بالدراسة بلغت (٥٦١) ملغم/لتر كقيمة أعلى في بئر W6) و(٣٢) ملغم/لتر كأدنى قيمة في بئر .(W15) يرجع الاختلاف في نسب المغنسيوم الى وقوع بعض الابار ضمن تكوينات جيولوجية غنية بخام الدولوميت في تركيبه

6:2:6 : تركيز أيون الصوديوم Na (Sodium)

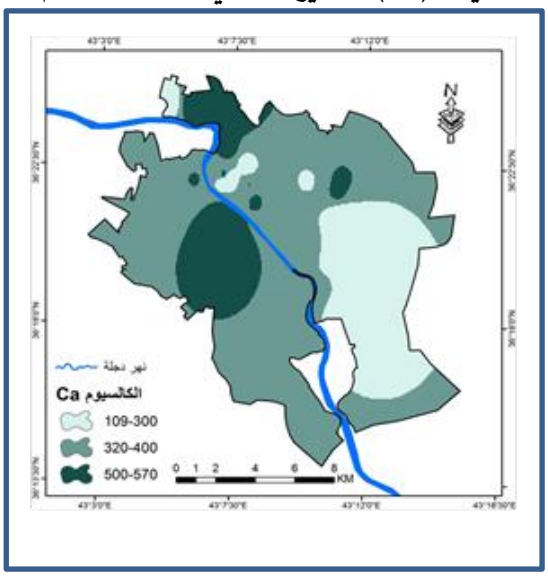
يتضح من بيانات الملحق(٢) وخريطة (١٣) ان قيم أيون الصوديوم (Na+١) تراوحت بين (٦١) ملغم/لتر، كأقل قيمة في بئر (W٢٥)، وبين (٩٧٠) ملغم/لتر، كأعلى قيمة في بئر(W٦).

إذ يزداد تركيزها بوجود الصخور الرسوبية مثل المتبخرات , وتعتبر إذابة الصخور الملحية مثل (ملح الطعام والمربليت) من مصادر عنصر الصوديوم في المياه ,فضلا عن عمليات تحلل مختلف أنواع السليكات وكذلك في عمليات التبادل الأيوني بين الصخور (اسماعيل, ٢٠١٠، ص٢١) .

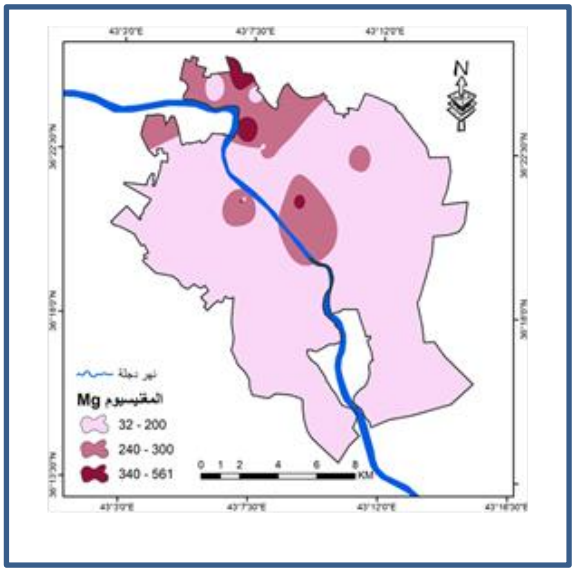
٧:٢:٦ : تركيز أيون البوتاسيوم K^{+1} (Potassium)

يوجد أيون البوتاسيوم بتركيز أقل بكثير في المياه الطبيعية من أيون الصوديوم ، وتكون له أهمية أقل من الصوديوم إذ تحتوي,معظم المياه الصالحة للشرب على اقل من ١٠ جزء بالمليون ,فضلا عن أيون البوتاسيوم أكثر استقرارية من أيون الصوديوم, يرجع ذلك الى مقاومته العالية لعوامل التجوية الكيميائية وسهولة امتصاصه من المعادن الطينية (قدوري,٢٠٢٢,ص٨٣), وكما هو مبين في خريطة (١٤), بلغت قيم البوتاسيوم بين (٢٩) كأعلى قيمة في بئر (W١٦) وبين (١.٦) في أبار(٨ W–24W) كأقل قيمة , ويعود ذلك الى استخدام الأسمدة ، فضلا عن تحلل المخلفات الحيوانية أو النفايات، وتحلل,معادن الطين(Khattab, Mohammed, et al.2023, pp. 58) .

خريطة (١١) التوزيع المكاني لأيون الكالسيوم

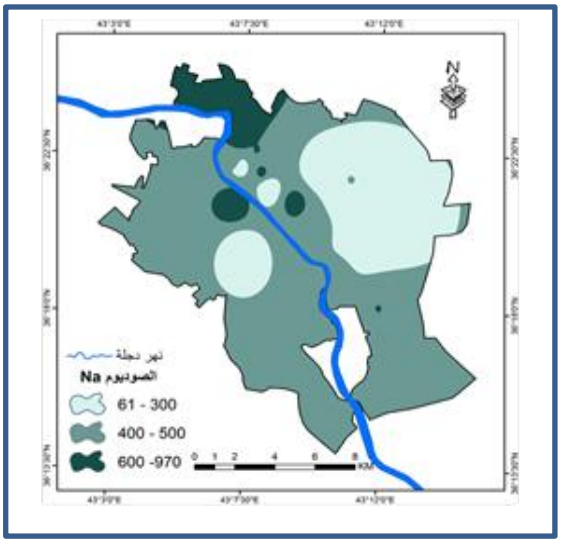


خريطة (١٢) التوزيع المكاني لأيون المغنسيوم

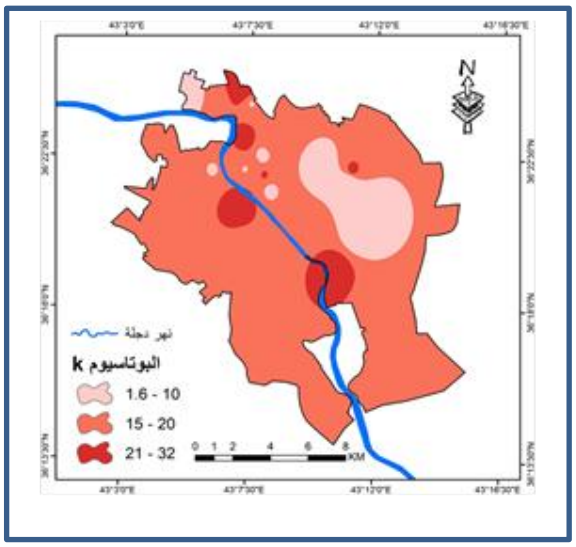


المصدر: اعتماداً على الملحق (٢) و برمجية Arc GIS 10.8

خريطة (١٣) التوزيع المكاني لأيون الصوديوم



خريطة (١٤) التوزيع المكاني لأيون البوتاسيوم



المصدر: اعتماداً على الملحق (٢) و برمجية Arc GIS 10.8

٨:٢:٦ : تركيز أيون الكلوريد Cl^{-1} (Chloride)

يعتبر من الأيونات المنتشرة والمتركزة في المياه الجوفية وسبب ذلك لكون معظم أملاحه سريعة الذوبان بالمياه وتوفرها بكثرة في الصخور الرسوبية كالمتبخرات. بلغ أقل تركيز (٥٣) ملغم/لتر، كأدنى قيمة في آبار (W٢٥)، وأعلى قيمة (٦٩٩) ملغم/لتر، في بئر (W١٧)، إذ تزداد تراكيزها في تلك المناطق لوجود ترسبات الجبس الثانوي في الطبقات العليا. وكما هو مبين في الخارطة (١٥) .

٦ : ٢ : ٨ تركيز أيون النترات $NO3^{-1}$ (Nitrate)

تعد من الأيونات السريعة الذوبان بالمياه والتربة الرطبة وبالتالي فإنها تذوب في مياه سيول الأمطار ومياه السقي ثم تنتقل مذابة في المياه السطحية ,وتختلط بالمياه الجوفية عند ترشيحها ونتيجة ذلك يظهر التلوث بالمياه الجوفية شتاءً أكثر من الصيف. وتصل الى تراكيز مرتفعة في بعض المياه الجوفية (عبد عباوي , حسن ،١٩٩٠,ص١٤٧). نلاحظ من خلال الخارطة (١٦) أن تركيز أيون النترات يتراوح بين (٤- ٠.٠٥) لعدد كبير من آبار والتي تتوزع في الأقسام الغربية والجنوبية وجزء من المنطقة الشمالية والشرقية من منطقة الدراسة بينما تزداد تركيز أيون النترات في الأجزاء الوسطى في منطقة الدراسة,إذ بلغت اعلى نسبة (١٨.٧) في بئر(w26).

١٠:٢:٦ : تركيز أيون الكبريتات $SO\ 4^{-2}$: (Sulfates)

بلغ تركيز أيون الكبريتات في منطقة الدراسة الحالية مابين (٩٧.٧) ملغم/لتر، كأدنى قيمة في بئر (W15), ويكون تركيز الكبريتات مرتفعة (١٦٢٠) ملغم/لتر، في بئر (W20) (W17)، في وسط منطقة الدراسة حيث تغطيها ترسبات العصر الرباعي ,وكما هو موضح في الخارطة (١٧).

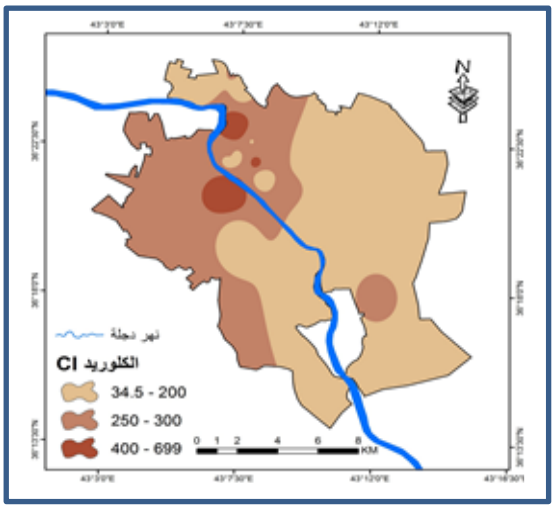
١١:٢:٦ : بيكاربونات HCO3 (Bicarbonates):-

تعتبر الكاربونات والبيكاربونات المصدر الأساسي لقلوية المياه وأحد أهم أشكالها,إذ تتحول الكاربونات الى البيكاربونات عندما يكون الأُس الهيدروجيني8.2 > pH كما في المعادلة الآتية (الهسنياني ,٢٠٠٣، ص٩٠).

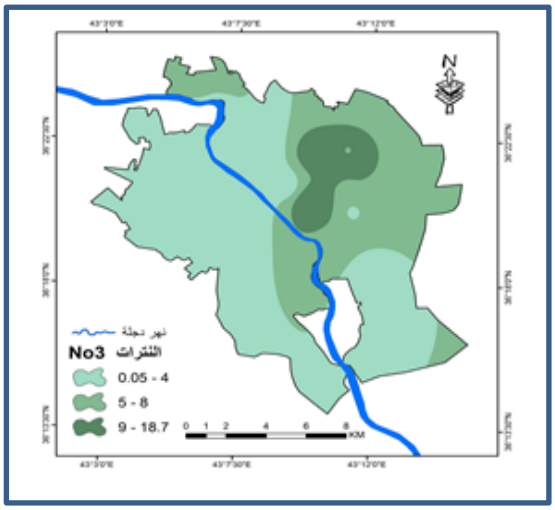
$$H^{+}+Co^{-2}{}_{3} \longleftrightarrow HCO^{-1}{}_{3} \qquad .....(2)$$

أن تراكيز البيكاربونات في منطقة الدراسة بلغت قيمها بين (٤٠٤) ملغم/لتر، كأدنى قيمة في بئر (W14) ، وأعلى قيمة (٣٩٢٢) ملغم/لتر، في بئر (W12) حي النور شرق منطقة الدراسة إذ تكون قيمها مرتفعة في معظم آبارها ,ضمن التكوينات الجيرية التي تعد صخورها مصدراً لهذا الأيون، وتكون مياهها في الغالب بيكاربوناتية. ضمن ترسبات العصر الرباعي، يلاحظ الخارطة (١٨).

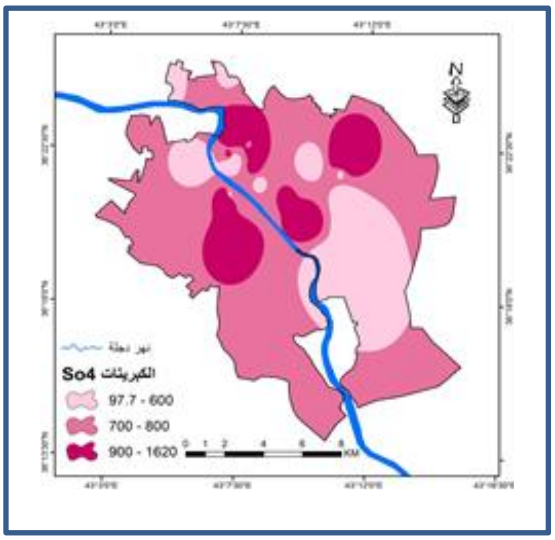
خريطة (١٥) التوزيع المكاني لأيون الكلوريد



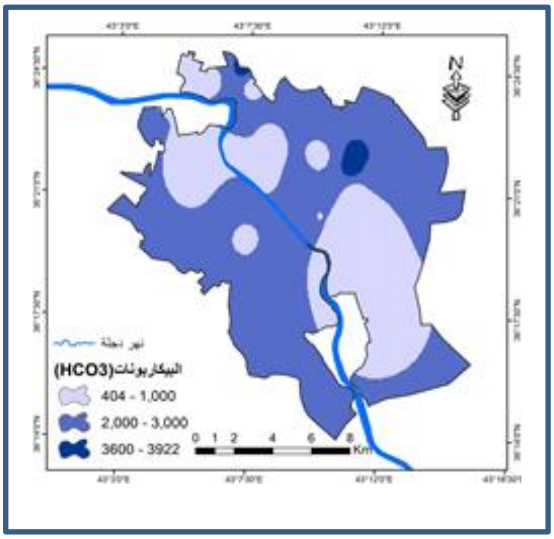
خريطة (١٦) التوزيع المكاني لأيون النترات



خريطة (١٧) التوزيع المكاني لأيون الكبريتات



خريطة (١٨) التوزيع المكاني لأيون البيكاربونات



المصدر اعتماداً على بيانات الملحق (٢) وبرمجية Arc GIS 10.8

١٢:٢:٦ : نسبة امتزاز الصوديوم (Sodium Adsorption Ratio) SAR

وهي نسبة امتزاز الصوديوم (SAR) من قبل التربة , إذ تعطي فكرة واضحة عن تأثير أيون الصوديوم في المياه نسبة الى أيونات الكالسيوم والمغنسيوم. عن طريق المعادلة التالية (شريف, ٢٠٢٣,ص٣٣):

$$SAR = rNa / \sqrt{r(Ca + Mg)/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

SAR = قيم امتزاز الصوديوم

rNa =ملي مكافئ/لتر الصوديوم

rCa = ملي مكافئ/لتر الكالسيوم

rMg = ملي مكافئ/لتر المغنيسيوم

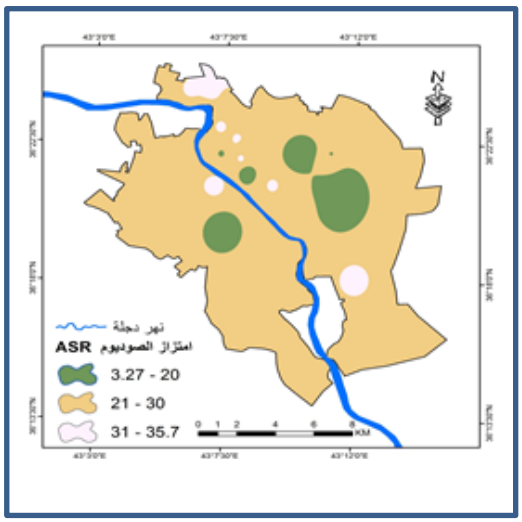
ويتضح من جدول (٤) وخريطة (١٩) إن قيم امتزاز الصوديوم في الآبار المشمولة بالدراسة بلغت بين (٣.٢٧ ملغم/لتر) كأقل قيمة في بئر (W25) وبين (٣٥.٧ ملغم/لتر) كأعلى قيمة في بئر (W21).

جدول(٤) قيم امتزاز الصوديوم

SAR	اسم البئر	SAR	اسم البئر
6.72	W14	31.37	W1
7.74	W15	26.95	W2
31.31	W16	30.76	W3
31.35	W17	33.16	W4
28.53	W18	25.61	W5
32.38	W19	42.97	W6
32.14	W20	27.82	W7
35.73	W21	8.79	W8
27.69	W22	4.75	W9
16.42	W23	24.83	W10
17.17	W24	5.63	W11
3.27	W25	20.02	W12
22.60	W26	26.78	W13

المصدر : اعتمادا على المعادلة (3)

خريطة رقم (١٩) قيم امتزاز الصوديوم



المصدر : اعتمادا على بيانات الملحق (2) وبرمجية Arc GIS

الاستنتاجات :

١- اثبتت الدراسة ملائمة برامج نظم المعلومات الجغرافية وفعاليتها العالية في تطبيقها على بيانات المياه الجوفية .

٢- اظهرت الدراسة من خلال نتائج الاختبارملائمة طريقتي كريكنج (Kriging) و((IDW) في في اجراء عمليات الاستكمال المكاني لخصائص المياه الجوفية ، ويعود ذلك الى كون طريقة كريكنج تستخدم اكثر من صيغة رياضية واحصائية للوصول الى النتيجة المنشودة .

٣- بينت الدراسة عبر انتاج الخرائط الغرضية الممثلة لكل خاصية من خصائص المياه الجوفية المدروسة وجود تفاوت بين اجزاء منطقة الدراسة ، وهي مطابقة للمعطيات الطبيعية السائدة في منطقة الدراسة المتمثلة بتنوع الطبقات الجيولوجية والتركيب البنيوي بالاضافة عن اهمية المناخ والطوبوغرافيا .

٤- الانتاجية في آبار منطقة الدراسة تعتمد على التكوينات الجيولوجية وعلى طوبوغرافية المنطقة ففي تكوين الفتحة يعتمد على وجود الشقوق والتكسرات فيها ودرجة ميل الطبقات، حيث تكون الانتاجية جيدة في شمال غرب منطقة الدراسة ثم تقل وتنعدم بالاتجاه الى الشرق لضعف التغذية فيها.

٥- بالنسبة لقيم (E.C، T.D.S، Ca+2، Mg+2، Na+1، Cl 1-، SO 4-2، SAR) تكون تراكيزها قليلة في الآبار لقربها من مصادر التغذية ، في حين تزداد لابتعادها عن مناطق التغذية وبطء حركة المياه الجوفية مما يزيد من عملية التلامس بين المياه والصخور فتحصل الإذابة لمكونات الصخور.
٦-تركيز أيون K+1 يكون قليلاً في معظم أجزاء منطقة الدراسة لكنه يرتفع قليلاً في تكوين الفتحة لكونه مقاوم للتجوية الكيميائية والإذابة .
٧- قيم الأُس الهيدروجيني PH تكون قاعدية ويرجع سبب ذلك الى وجود ايونات البيكربونات في التتابعات الصخرية للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة.

التوصيات :

١-توصي الدراسة بزيادة الاهتمام بتطبيقات التقنية الحديثة وادخالها في مختلف المجالات والدراسات البيئية كونها تغير قاعدة البيانات ويمكن الاستفادة منها من صناع القرار .
٢-ضرورة ضبط عمليات حفر الآبار العشوائية وتنظيم استغلالها بشكل مستدام، عبر تطبيق استراتيجية فعالة لإدارة الموارد المائية الجوفية, تخدم تنمية بيئة المياه الجوفية, دون الإضرار بالمنظومة الهيدروجيولوجية، وضمان استدامتها للأجيال القادمة.
٣-ضرورة إجراء تحليلات مختبرية دورية لمياه الآبار لكل شهر من اجل تحديد خصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وقياس كميتها وتقييم صلاحيتها للشرب والسقي والري وتفاديا لعدم حدوث أي تدهور في صلاحية المياه الجوفية ونوعيتها.

قائمة المراجع :

- ألشمري، أمجد حميد كداش. (٢٠٢٢). نمذجة خصائص المياه الجوفية في ناحية ربيعة [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الموصل، كلية العلوم الإنسانية.
- ألدليمي، صديق طه عبود فرحان، و الجبوري، ثائر حبيب عبد الله. (٢٠١٨). تحديد مصادر المياه الجوفية ومناسيبها واتجاه حركتها في ناحية العظيم. مجلة ديالى للبحوث الإنسانية، ٧٧(٣٩)،
- الجبوري، منهل عبد السلام. (١٩٨٨). جيولوجية مدينة الموصل، شرق نهر دجلة [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الموصل، كلية العلوم.
- الجنابي، صلاح حميد. (١٩٩٦). الخصائص الموضعية لمدينة الموصل. مجلة الجمعية الجغرافية العراقية.
- الهسنياني، زاهد عمر مصطفى إبراهيم. (٢٠٠٣). هيدروجيولوجية منطقة المشراق المحصورة بين نهري دجلة والزاب الأعلى [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الموصل، كلية العلوم.
- السعدي، محمود عبد الأمير سلمان. (٢٠٠٤). التقييم البيئي للمياه الجوفية في منطقة الرحالية – محافظة الأنبار [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة بغداد، كلية العلوم، قسم علوم الأرض.
- الشهاب، زكريا نافع محمود. (٢٠١٧). التأثيرات البيئية للمطروحات على مياه نهر دجلة بين منطقتي الرشيدية والقيارة [رسالة ماجستير]. جامعة الموصل، كلية البيئة.
- العزاوي، علي عبد عباس. (٢٠٠٩). نظم المعلومات الجغرافية: أسس وتطبيقات. دار ابن الأثير للطباعة والنشر، جامعة الموصل.
- القصاب، عمر عبد الله. (٢٠٢٠). تطبيقات عملية في التحليل الجغرافي باستخدام ArcGIS Desktop (الطبعة الأولى). دار نون للطباعة والنشر والتوزيع.
- كيف توود، ديفيد. (١٩٥٩). هيدرولوجية المياه الجوفية (ترجمة رياض حامد الدباغ و حميد رشيد رفيق). مطبعة دار الكتب، جامعة الموصل. (نُشر العمل الأصلي سنة ١٩٥٩).

- إسماعيل، سالم خليل. (٢٠١٠). دليل عن المياه الجوفية. الهيئة العامة للمياه الجوفية.
- عبد عباوي، سعاد، و حسن، محمد سليمان. (١٩٩٠). الهندسة العملية للبيئة – فحوصات الماء. دار الحكمة للطباعة والنشر، جامعة الموصل.
- عزيز قدوري، محمد عبد الغني. (٢٠٢٢). إعداد خرائط المياه الجوفية لمحافظة نينوى [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الموصل، كلية التربية للعلوم الإنسانية.
- شريف، إيمان فائق إبراهيم. (٢٠٢٣). دراسة جيوكيميائية لمياه الأودية الرئيسية في الجانب الأيسر من مدينة الموصل [رسالة ماجستير]. جامعة الموصل، كلية العلوم، قسم علوم الأرض – جيوكيمياء.
- Adnan, A. M., Andrew, D., Jeremy, C., & Fadgil, N. (2010). The petroleum geology of Iraq ,pp. 35–52.
- Bellen, R. C. Van. (1956). The stratigraphy of the main limestone of the Kirkuk, Bai Hassan, and Qara Chauq Dagh structures in Northern Iraq. Institute of Petroleum Journal, London,.
- Jayanthi, M., & Geetha, G. (2023). Characteristics of ground water quality and drinking water quality index: A case study of Cuddalore District. International Journal of Advanced Research, 11(06), https://doi.org/10.21474/ijar01/17129
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2003). Using ArcGIS geostatistical analyst. ArcGIS 9, ESRI.
- Khattab, M., Mohammed, K., Alshammari, M. A., Abdulrazzaq, M. T., & Ahmad, M. N. (2023). Spatial modeling of groundwater quality parameters on Mosul's left bank. Iraqi Geological Journal, 56(1D), 58–66. https://doi.org/10.46717/igj.56.1d.5ms-2023-4-14

Bibliography of Arabic References (Translated to English)

- Al-Shammari, Amjad Hamid Kadash. (2022). Modeling the Characteristics of Groundwater in Rabia Subdistrict [Unpublished Master's thesis]. University of Mosul, College of Humanities.
- Al-Dulaimi, Siddiq Taha Aboud Farhan, & Al-Jubouri, Thaer Habib Abdullah. (2018). Determining the Sources, Levels, and Flow Direction of Groundwater in Al-Azim Subdistrict. Diyala Journal of Human Research, 77(39).
- Al-Jubouri, Munhil Abdul-Salam. (1988). Geology of Mosul City, East of the Tigris River [Unpublished Master's thesis]. University of Mosul, College of Science.
- Al-Janabi, Salah Hamid. (1996). The Site Characteristics of Mosul City. Journal of the Iraqi Geographical Society.
- Al-Hasniani, Zahid Omar Mustafa Ibrahim. (2003). Hydrogeology of the Mishraq Area Located Between the Tigris and Greater Zab Rivers [Unpublished Master's thesis]. University of Mosul, College of Science.
- Al-Saadi, Mahmoud Abdul-Amir Salman. (2004). Environmental Assessment of Groundwater in Al-Rutba Area – Al-Anbar Governorate [Unpublished Master's thesis]. University of Baghdad, College of Science, Department of Geology.
- Al-Shihab, Zakaria Nafea Mahmoud. (2017). Environmental Impacts of Effluents on the Tigris River Water Between Rashidiya and Qayyarah [Master's thesis]. University of Mosul, College of Environmental Science.
- Al-Azzawi, Ali Abdul Abbas. (2009). Geographic Information Systems: Fundamentals and Applications. Ibn Al-Atheer Press, University of Mosul.
- Al-Qassab, Omar Abdullah. (2020). Practical Applications in Geographic Analysis Using ArcGIS Desktop (1st ed.). Noon Publishing and Distribution House.

- Todd, David Keith. (1959). Groundwater Hydrology (Translated by Riyadh Hamed Al-Dabbagh & Hameed Rasheed Rafiq). Dar Al-Kutub Press, University of Mosul. (Original work published in 1959).
- Ismail, Salem Khalil. (2010). A Guide to Groundwater. General Authority for Groundwater.
- Abdul-Abbawi, Suad & Hassan, Mohammed Suleiman. (1990). Environmental Engineering – Water Testing. Dar Al-Hikma for Printing and Publishing, University of Mosul.
- Aziz Qadduri, Mohammed Abdul-Ghani. (2022). Preparation of Groundwater Maps for Nineveh Governorate [Unpublished Master's thesis]. University of Mosul, College of Education for Humanities.
- Sharif, Iman Faeq Ibrahim. (2023). A Geochemical Study of the Main Wadis' Water on the Left Bank of Mosul City [Master's thesis]. University of Mosul, College of Science, Department of Earth Sciences – Geochemistry.
- Adnan, A. M., Andrew, D., Jeremy, C., & Fadgil, N. (2010). The petroleum geology of Iraq ,pp. 35–52.
- Bellen, R. C. Van. (1956). The stratigraphy of the main limestone of the Kirkuk, Bai Hassan, and Qara Chauq Dagh structures in Northern Iraq. Institute of Petroleum Journal, London,.
- Jayanthi, M., & Geetha, G. (2023). Characteristics of ground water quality and drinking water quality index: A case study of Cuddalore District. International Journal of Advanced Research, 11(06), https://doi.org/10.21474/ijar01/17129
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2003). Using ArcGIS geostatistical analyst. ArcGIS 9, ESRI.
- Khattab, M., Mohammed, K., Alshammari, M. A., Abdulrazzaq, M. T., & Ahmad, M. N. (2023). Spatial modeling of groundwater quality parameters on Mosul's left bank. Iraqi Geological Journal, 56(1D), 58–66. https://doi.org/10.46717/igj.56.1d.5ms-2023-4-14

الملحق (١) الخصائص الموضوعية للمياه الجوفية للابار ضمن منطقة الدراسة

رمز البئر	العمق	المستوى الثابت	المستوى المتحرك	الانتاجية ل/ث	رمز البئر	العمق	المستوى الثابت	المستوى المتحرك	الانتاجية ل/ث
W1	36	4.5	6	7.5	W14	50	39	43	2
W2	42	3	5	5	W15	22	4	5	11
W3	36	3	5.5	8.25	W16	23	3.5	6	9
W4	32	3	6	7.5	W17	30	4	6	9
W5	30	3	7	7.5	W18	18	3	5	9
W6	20	4	7	4.5	W19	15	3	5	8
W7	40	6	10	7.5	W20	18	1.5	5	8
W8	40	4	8	7.5	W21	18	3	4	9
W9	38	2	7	7.5	W22	30	3	6	8
W10	38	1	6.5	5.25	W23	50	2	33	2
W11	38	7.5	11	7.5	W24	36	4	5	9
W12	54	11	18	6.75	W25	38	6	12	6
W13	30	5	5	10.5	W26	16	2.5	5	6

الملحق (٢) الخصائص النوعية للمياه الجوفية

Hco3	SO4	NO3	Cl	k	Na	Mg	Ca	P.H	T.D.S	E.C	دوائر العرض	خطوط الطول	رمز البئر
1170	988	0.05	400	18	530	170	401	7.4	3246	5063	36˚36'63"	43˚13'33"	**W1**
1235	659.6	0.57	289.9	15	440	107	425.7	7.5	2534	4293	36˚37'05"	43˚11'88"	**W2**
1129	707	5.2	84.9	11	580	165	546	8.2	3774	5381	36˚40'41"	43˚10'27"	**W3**
1179	583	0.36	225	11	480	170	249	7.6	2158	3485	36˚30'25"	43˚19'97"	**W4**
855	462	0.37	85	11	330	107	225	8.1	1574	2987	36˚36'72"	43˚11'86"	**W5**
3850	437	8.5	200	32	970	561	458	8.2	7554	13676	36˚41'11"	43˚11'88"	**W6**
905	816	4.8	129.9	10	530	156	570	8	3578	5779	36˚40'13"	43˚12'5"	**W7**
466	329	3.6	59.9	2	85	75.1	112	8.2	924	1994	36˚33'80"	43˚18'91"	**W8**
1281	498	2.8	75	8	78	122	418	7.6	2214	3541	36˚35'83"	43˚13'69"	**W9**
1309	284	5.4	110	29	400	190	329	7.5	2684	3192	36˚31'91"	43˚17'55"	**W10**
902	308	14.9	70	2	82	127	297	8	1790	3902	36˚36'86"	43˚16'58"	**W11**
3922	580	15.3	89.9	2	350	170	441	8.3	7970	5016	36˚36'36"	43˚18'33"	**W12**
1279	186	0.09	300	10	440	131	409	7.6	2594	4300	36˚36'83"	43˚10'27"	**W13**
404	358	6.93	100	5	71	63.4	160	8	930	2263	36˚35'08"	43˚18'58"	**W14**
385	97.7	0.8	34.9	9	65	32	109	7.9	642	1572	36˚36'91"	43˚12'13"	**W15**
1942	239	0.14	489	29	550	151	466	7.6	3168	6440	36˚35'25"	43˚11'94"	**W16**
2299	1620	1.49	699	26	720	541	514	8.4	5918	9984	36˚38'30"	43˚12'13"	**W17**

1325	1048	0.26	200	9	460	239	281	8.2	2850	5432	36˚37' 47"	43˚13'25"	**W 18**
2018	904	0.6	250	13	610	341	369	8.2	4088	7427	36˚35' 22"	43˚15'19"	**W 19**
1249	768	0.14	189.9	9	490	200	265	8.1	2506	4739	36˚37' 66"	43˚13'08"	**W 20**
1355	1559	0.1	650	20	740	360	498	7.7	4976	8735	36˚35' 19"	43˚11'86"	**W 21**
1382	1066	0.12	300	15	460	127	425	7.6	2680	4280	36˚37' 16"	43˚11'88"	**W 22**
3601	1551	7.64	36.98	20	300	243	425	8.3	7970	16555	36˚36' 97"	43˚18'55"	**W 23**
1200	501	7.17	90	2	490	268	136	8.2	4020	6207	36˚40' 55"	43˚08'52"	**W 24**
1358	1101	0.29	53	11	61	160	538	7.8	2984	3414	36˚32' 97"	43˚12'36"	**W 25**
1388	1212	18.7	134.9	16	420	297	394	8.1	3832	4058	36˚34' 02"	43˚16'55"	**W 26**