الباحث

أ.م. د. علي سليمان إرزيك الكربولي
أ.م. د. أحمد عيادة خضير الحديثي

التحليل الهيدرولوجي لتقييم مياه الآبار وخصائص التربة لانتخاب المواقع المثلى للزراعة في ناحية ملة قرة باستخدام خوارزمية(Gradient Tree Boosting (GTB

Researcher

Assist .prof Dr. Ali Suleiman Erzik AL-Karbouli
Assist.prof. Dr. AhmadEyada Kuder. Al-Hadithi

Hydrological Analysis for the Assessment of Groundwater Wells and Soil Characteristics to Select Optimal Agricultural Sites in Malla Qara Sub-district Using the Gradient Tree Boosting (GTB) Algorithm

معلومات الباحث

اسم الباحث الأول:

أ.م. د. علي سليمان إرزيك الكربولي

البريد الالكتروني: alisu8720@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8838-4883

اسم الباحث الثاني:

أ.م. د. أحمد عياده خضير الحديثي

البريد الالكتروني

ahmed.al-hadeethi@aliraqia.edu.iq

https://orcid.org/0009-0007-3259-4391

الاختصاص العام: الجغرافية الطبيعية

الاختصاص الدقيق: الهيدرولوجي

الاختصاص العام: الجغرافية الطبيعية

الاختصاص الدقيق: الهيدرولوجي

مكان العمل (الحالي)1: المديرية العامة لتربية الانبار

البلد: العراق

مكان العمل (الحالي)

الجامعة العراقية

القسم: الجغرافية

الكلية: الاداب

الجامعة العراقية

البلد: العراق

الكلمات المفتاحية:

ملة قرة، تقييم الأراضي، تكامل التربة والمياه، التعلم الآلي، التحليل الجغرافي المكاني، التخطيط الزراعي

معلومات البحث

تاريخ استلام البحث: ٢٠٢٥/١٠/١

تاريخ القبول: ٢٠٢٥/١٠/٢٠

عنوان البحث

التحليل الهيدرولوجي لتقييم مياه الآبار وخصائص التربة لانتخاب المواقع المثلى للزراعة في ناحية ملة قرة باستخدام خوارزمية Gradient Tree Boosting (GTB)

ملخص البحث

يروم البحث تحليل وتقييم مدى صلاحية الأراضي الزراعية في ناحية ملة قرة شمال العراق عن طريق توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مدعومة بخوارزميات الذكاء الاصطناعي وقد استند البحث إلى دمج بيانات التربة مثل (درجة الحموضة، والملوحة والكهربائية، والمادة العضوية، وكربونات الكالسيوم، والعناصر المغذية مع بيانات نوعية المياه الجوفية، مما أتاح بناء قاعدة بيانات مكانية متكاملة تعكس الواقع البيئي والزراعي للمنطقة.

ادخلت هذه المعطيات في بيئة الذكاء الاصطناعي وباستخدام خوارزمية Gradient Tree Boosting بدقة مكانية عالية (١٠م)، وذلك لإنتاج خرائط تصنيفية واحتمالية تعكس مستويات الصلاحية الزراعية، الخريطة التصنيفية قسمت الأراضي إلى ثلاث فئات رئيسة:

أراضٍ ممتازة : تتسم بخصائص مثالية مثل تربة متوازنة pH بين (٦,٥–٧,٥)، ملوحة منخفضة اقل من ٢dS/m)) وعمق مياه مناسب أقل (٨٠م) مما يجعلها صالحة للاستثمار الزراعي المكثف وزراعة المحاصيل ذات القيمة الاقتصادية العالية.

أراضٍ متوسطة: ذات ملوحة معتدلة (٢–٤ dS/m) وعمق أكبر للمياه الجوفية (٨٠–١٢٠م)، وهي صالحة للزراعة بشرط تطبيق إدارة دقيقة للمياه والتربة وزراعة محاصيل متحملة للملوحة.

مجلة آداب كركوك / كلية الآداب / جامعة كركوك / المجلد الأول / العدد الرابع / كانون الأول ٢٠٢٥

Kirkuk Arts Journal, Volume 1, Issue 4, December 2025

Researcher information

Researcher:
Assist.prof Dr. Ali Suleiman Erzik AL-Karbouli
Assist.prof. Dr. Ahmad Eyada Kuder. Al-Hadithi
E-mail: alisu8720@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8838-4883

General Specialization: Geography

Specialization: Hydrologist

Place of Work (Current): General Administration of Anbar Education

Department:Geography

College: Arts

Iraqi University

Country: Iraq

Key words:
Mulla Qara, Land Evaluation, Soil and Water Integration, Machine Learning, Geospatial Analysis, Agricultural Planning

Research information

Receipt in: 1/10/2025

Acceptance in : 20/10/2025

Republic of Iraq/Ministry of Higher Education and Scientific Research/University of Kirkuk/College of Arts/Kirkuk Journal of Arts

The Title

Hydrological Analysis for the Assessment of Groundwater Wells and Soil Characteristics to Select Optimal Agricultural Sites in Malla Qara Subdistrict Using the Gradient Tree Boosting (GTB) Algorithm

Abstract

The present study aims to analyze and evaluate the agricultural land suitability in Mulla Qara District, northern Iraq, through the integration of remote sensing and geographic information system (GIS) techniques, supported by artificial intelligence algorithms. The research relied on combining soil data (such as pH, electrical conductivity, organic matter, calcium carbonate, and nutrient elements) with groundwater quality parameters, which enabled the construction of a comprehensive spatial database reflecting the environmental and agricultural reality of the area.

These datasets were processed within an artificial intelligence environment using the Gradient Tree Boosting algorithm at a high spatial resolution (10 m) to generate both classification and probability maps representing levels of agricultural suitability. The classification map categorized the lands into three main classes:

•Highly suitable lands: characterized by optimal properties, including balanced soil pH (6.5–7.5), low salinity (< 2 dS/m), and favorable groundwater depth (< 80 m), making them suitable for intensive agricultural investment and the cultivation of high-value crops.

•Moderately suitable lands: defined by moderate salinity (2–4 dS/m) and deeper groundwater levels (80–120 m). These lands are viable for agriculture provided that precise soil and water management practices are applied, along with the cultivation of salt-tolerant crops.

•Marginally suitable lands: affected by high salinity (> 4 dS/m) or excessive alkalinity (> 8), in addition to deep groundwater levels (> 120 m), which restrict their agricultural potential and make them more appropriate for rangeland use or saline-resistant crops.

اولاً: المقدمة: يعد الماء والتربة الركيزة الأساس التي قامت عليها الحضارات البشرية والأنظمة الزراعية منذ أقدم العصور وقد عرفت المناطق التي تمتلك تربة خصبة ومياه وفيرة بأنها مراكز نشوء الحضارات الكبرى مثل بلاد الرافدين ووادي النيل، إلا أن التغيرات المناخية وتزايد الضغوط السكانية وتوسع النشاط الاقتصادي، أفضى إلى تراجع نوعية هذه الموارد لاسيما في البيئات الجافة وشبه الجافة، لذا فإن فهم طبيعة التفاعلات بين خصائص التربة والمياه الجوفية اضحى ضرورة ملحة لضمان استدامة النشاط الزراعي ونظرا لما شهدته الجغرافيا الطبيعية من تطور كبير وتكنولوجيا، فلم تعد تقتصر على الملاحظة الميدانية فحسب، بل باتت تعتمد على دمج البيانات الحقلية مع نظم التحليل المكاني والخوارزميات الحاسوبية بغية الوصول الى نتائج اكثر مصداقية وفي هذا السياق، أصبح الذكاء الاصطناعي أداة فعالة لمعالجة البيانات الضخمة والمعقدة مثل بيانات المياه واثرها على التربة، لذا يروم الباحثان إلى دمج الذكاء الاصطناعي (AI) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل المكاني، باستخدام خوارزميات التعلم الآلي لتحقيق خرائط مكانية دقيقة تدعم متخذي القرار في مجال التخطيط الزراعي وإدارة الموارد المائية.

١. **مشكلة البحث:** تواجه منطقة البحث تحديات معقدة تقف كحجر عثرة امام استدامة النشاط الزراعي فيها وذلك بسبب التباين المكاني والزماني في الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية والتربة، هذا التباين اثر سلباً في القرارات المتعلقة بتوسيع النشاط الزراعي أو حفر آبار جديدة، لذا فإن مشكلة البحث تنبثق من غياب أدوات علمية دقيقة تدمج هذه المعطيات المتعددة ضمن نموذج تحليلي متكامل قادر على تقديم خرائط توجيهية واضحة لمتخذي القرار **ومن هنا يبرز التساؤل التالي:**

ما مدى موائمة المياه الجوفية والتربة في ناحية ملة قرة للأغراض الزراعية؟ وكيف يمكن لنظم المعلومات الجغرافية وأدوات الذكاء الاصطناعي المساهمة في تحديد المواقع المثلى للزراعة وحفر الآبار المستقبلية؟

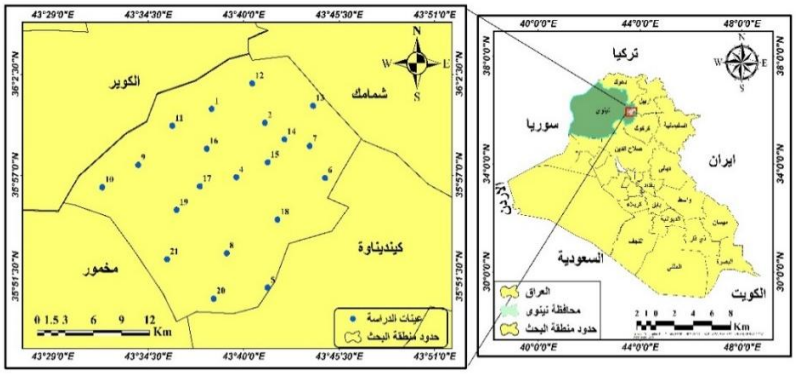
٢. **فرضية البحث:** تتباين صلاحية المياه والأراضي الزراعية في منطقة البحث نتيجة لاختلاف الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية والترب، هذا التباين انعكس بشكل واضح على طبيعة الاستثمار فيها، ويمكن توظيف خوارزميات الذكاء الاصطناعي لدمج بيانات المياه والتربة وإنتاج خرائط دقيقة لملاءمة الأراضي الزراعية عبر بناء نموذج برمجي قادر على تحديد مستويات الصلاحية الزراعية.

٣. **هدف البحث:** يروم بحثنا إلى تحليل الخصائص الكيميائية للتربة والمياه في منطقة البحث وتقييم صلاحيتها بالمقارنة مع المؤشرات الهيدروكيميائية، فضلاً عن دمج بيانات التربة والمياه باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وخوارزميات الذكاء الاصطناعي لتصنيف الأراضي حسب صلاحيتها للزراعة.

الموقع الجغرافي والحدود الإدارية: تقع ناحية ملة قرة ضمن قضاء مخمور الحدود الإدارية لمحافظة نينوى، بين دائرتي عرض (٣٥,٨٢°–٣٦,٠٥°) شمالاًوقوسي طول (٤٣,٤٩°–٤٣,٧٨°) شرقاً، وتتسم بتنوعها

الطوبوغرافي الذي يجمع بين السفوح الجبلية والأراضي السهلية الزراعية، وتمثل إحدى النواحي التي تشتهر بنشاطها الزراعي التقليدي وبتوفر موارد طبيعية يمكن أن تسهم في تحقيق التنمية الزراعية المستدامة، يحدها من الشمال مناطق مرتفعة تابعة لأقدام جبال كردستان، بينما تحدها من الجنوب سهول رسوبية غنية بالأنشطة الزراعية. وقد أسهم هذا الموقع في جعلها حلقة وصل بين مناطق مرتفعة شبه رطبة وأخرى سهلية شبه جافة، الأمر الذي أوجد تنوعًا في خصائصها الطبيعية.

الخريطة (١) موقع منطقة البحث بالنسبة للعراق ومحافظة نينوى ومواقع العينات



المصدر بالاعتماد على: الهيأة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية مديرية بلدية ملة قرة، شعبة ترقيم المدن، ٢٠٢٠.

اولاً: الخصائص الجيولوجية: تتألف منطقة البحث من تكوينات رسوبية من الزمن الثالث، تتسم بانتشار الرواسب الطينية والغرين مع طبقات متقطعة من الرمل والحصى الغنية بالمواد العضوية مما يؤكد أهميتها الزراعية، فضلا عن قابليتها العالية لتخزين المياه الجوفية، واهم هذه التكوينات هي:

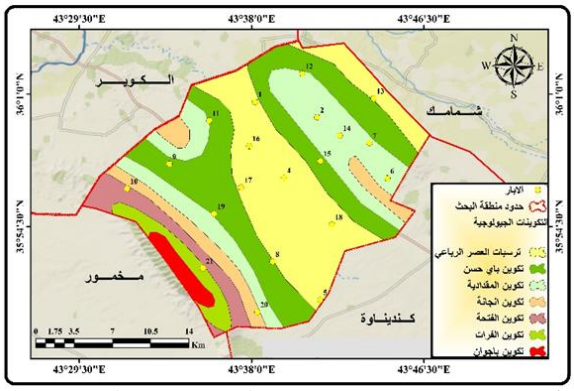
١. **ترسبات العصر الرباعي:** تتكشف وسط وشرق منطقة البحث، هيدرولوجيا تتسم بنفاذيتها العالية مما يجعلها مكامن جيدة لكونها تسمح بنفاذ كميات كبيرة من مياه الأمطار نحو المكامن الجوفية بسبب طبيعة مكوناتها ذات الحبيبات الخشنة، زراعيا مساحتها الواسعة وطبيعتها السهلية جعلها غنية بالمواد العضوية فهي نتاج المياه المنحدرة موسميا نتيجة التساقط المطري ومن ابرز مظاهرها في منطقة البحث ترسبات ملئ الوديان والترب المتبقية (كريم وطه،٢٠٠٩: ٤٩).

٢. **تكوين بأي حسن:** تكوين ارسابي حديث يتسم بحبيبات خشنة ومتماسكة بنية وحمراء مصفرة بفعل اكاسيد الحديد، هيدرولوجيا تمنحه طبقاته الرملية ذات المسامية والنفاذية العالية فرصاً لخزن كميات كبيرة من المياه الجوفية، أما زراعيا، فتربه المتطورة الطمية–رملية الجيدة الخصوبة والصرف يجعلها من أفضل الأراضي الزراعية. (حسين،٢٠١٩، ص٧٥)

٣. **تكوين المقدادية:** يتكشف على نطاق واسع شرق منطقة البحث، ويتميز بتعاقب واسع بين الكونغلوميرات والحجر الرملي مع سيادة الرواسب الخشنة البنية–الحمراء والصفراء، مما يعكس غناه باكاسيد الحديد، هيدرولوجيا، يتسم بمسامية ونفاذية جيدة تسمح بخزن ونقل المياه، زراعيًا، فتسهم رواسبه

في تكوين ترب طمية– رملية جيدة العمق وذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة، مما يجعلها ملاءمة لزراعة المحاصيل الحقلية والبساتين، (الجاف، وعبد الله، ٢٠٢٣: ١٥٩).

الخريطة (٢) التكوينات الجيولوجية



المصدر: الجمهورية العراقية، هيأة المسح الجيولوجي العراقي، خريطة العراق البنيوية، ومخرجات برنامج Arc GIS.

٤. **تكوين انجانة:** يتكشف غرب وشرق منطقة البحث، ويظهر بألوان حمراء وبنية وصفراء مائلة إلى الخضرة، هيدرولوجيًا، يعد خزان جوفي متوسط العمق تعمل طبقات الطين كحواجز تحد من تسرب المياه وتؤدي إلى تكوين خزانات مائية محصورة، زراعياً، يمتلك تربة تسمح بتخزين رطوبة كافية لدعم ونمو جذور النباتات.(مصطفى، ٢٠٢١: ص٥٨).

٥. **تكوين الفتحة:** يعود إلى عصر المايوسين الأوسط، ويتميز بتعاقب طبقات الحجر الجيري والمارل والطين الملون مع وجود الجبس والأنهيدرايت، هيدرولوجيا، تسمح طبقاته ذات المسامية والنفاذية المحدودة إلى تكوين خزانات مائية مالحة بسبب ذوبان الجبس والإنهيدرايت، وهذا ما يفرض تحديا على استخدامها في الري ويستلزم معالجات خاصة مثل الخلط أو تحسين طرق الري. أما الترب المتكونة فوقه فتتسم بالملوحة وقلة العمق مما يقيد صلاحيتها الزراعية ويجعلها ملاءمة لزراعة محاصيل محبة للملوحة مثل الشعير والقطن (اللهيبي، ١٩٩٤، ص٧).

٦. **تكوين الفرات:** يتألف بصورة رئيسة من الحجر الجيري الفاتح اللون والدولومايت مع طبقات من المارل، يتراوح سمكه بين(١٠–١٥٠ م)، هيدرولوجياً يتسم بكونه خزانا جوفيا مهما تتفاوت فيه نوعية المياه بين عذبة إلى متوسطة الملوحة تبعا لظروف التغذية، زراعياً طبيعة تربه الكلسية المتوسطة الخصوبة، تجعله صالح لزراعة الحبوب والبساتين. (خلف، وعبد الجبار، ٢٠١٥ : ص١٧).

٧. **تكوين باجوان:**يعود للعصر الجوراسي ويتألف من الحجر الجيري الدولوميتي المتداخل مع الحجر الجيري والإنهيدرايت، هيدرولوجيا يتمتع بمسامية ونفاذية جيدة مما يجعله خزانا محتملا للمياه الجوفية ويمكن استثماره لأغراض الزراعة بسبب خصوبة الترب التي تتطور فوقه.(عبد الله، ٢٠١٨: ص٤٩).

ثالثاً: الخصائص المناخية: إن فهم كيف تؤثر العناصر المناخية في خصائص ونوعية المياه الجوفية والتربة يُسهم في وضع استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد الطبيعية والتكيف مع التحديات المناخية فكلاهما تُشكلان معاً قاعدة رئيسة لاستدامة النظم الزراعية والاقتصادية، وقد تزايدت أهمية دراسة هذه العلاقة في العقود الأخيرة مع تسارع مظاهر التغير المناخي وازدياد حدة الظواهر المتطرفة كالحرارة الشديدة، الجفاف، وتذبذب الهطول المطري. ويمكن تلخيص أبرز أوجه هذا التأثير كما يأتي:

١. **درجة الحرارة:** عامل مناخي رئيس ينعكس تأثيره على خصائص المياه الجوفية إذ أن ارتفاعه يُسرع من عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية مما يسرع من تفكك التربة ويعرضها للتعرية والانجراف، وبعد تحليل البيانات المناخية لمحطة مخمور نجد ان المعدل السنوي لدرجات الحرارة بلغ (٢٠,٦م) ينظر الجدول (١) وهذه الزيادة في درجات الحرارة سيزيد من معدلات التبخر، وبالتالي يؤدي إلى تراكم الأملاح على سطح التربة، وهذا سينعكس بشكل مباشر على نوعية المياه الجوفية لانتقال الأملاح الذائبة إلى الخزانات الجوفية عبر المياه المترشحة. (حجازي، ٢٠١٩، ص٥٨)

الجدول (١) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لدرجات الحرارة والامطار والرطوبة والتبخر (م) للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٤)

	ك٢	شباط	اذار	نيسان	مايس	حزيران	تموز	اب	ايلول	ت١	ت٢	ك١	المعدل
	حرارة												
محطة مخمور	٨	٩,٤	١٣,٤	١٩	٢٥,٨	٣١,٧	٣٢,٤	٣١	٢٩,٨	٢٣,٤	١٥	٩,٥	٢٠,٦
	الرياح												
	٢,١	٢,٧	٢,٤	٢,٧	٢,٦	٢,٤	٢,٣	٢,٢	٢	٢	١,٩	١,٨	٢,٢
	الامطار												
	٦١,٢	٧٤,٨	٦١,٥	٤٤,٩	١١,٣	٥,٣	-	-	١٤,٨	٢٥,٧	٣٦,٢	٦٥,٦	٤٠١,٣
	الرطوبة												
	٧٠,١	٦٤,٤	٥٥,٢	٤٩,٩	٣٤,٨	٢٥,٧	٢٤,٥	٢٧	٣٢,٤	٤٢,٥	٥٣,٤	٦٥,٦	٤٥,٤
	التبخر												
	٢٩,٤	٤٢,١	٧١,٩	٩٦,٥	١٥٩,١	٢٢١	٢٤٢,٤	٢٢٨,٦	١٧٨	١١٣,٣	٥٣,٦	٣٠,٦	١٢٢,٢

المصدر: جمهورية العراق، حكومة اقليم كوردستان، الهيئة العامة للأنواء الجوية، أربيل، بيانات غير منشورة،٢٠٢٤.

٢. **الرياح:** تؤدي الرياح دوراً غير مباشر كونه مؤثرا في النظامين السطحي والجوفي، فهي تزيد من معدلات التبخر السطحي، اذا كانت مصحوبة بدرجات حرارة عالية ورطوبة منخفضة، مما يضاعف فقدان المياه من التربة، كما وتسهم عبر عمليات التعرية الهوائية الى ازالة الطبقات السطحية الغنية بالمواد العضوية والمعادن، سجلت محطة مخمور معدل سرعة رياح بلغ (٢,٢م/ثا) ينظر الجدول (١) ويرجع هذا الانخفاض الى عملية الاحتكاك التي تقوم بها الجبال فضلاً عن وجود النبات الطبيعي الكثيف التي تعمل كعوائق تقلل من سرعة وشدة الرياح الهابة نحوها . (العيسى، ٢٠٢١، ص٢٠٦).

٣. **الرطوبة النسبية:** للرطوبة النسبية تأثير على طبيعة المياه فانخفاض معدلاتها في المناطق الجافة يزيد من معدلات فقدان المياه السطحية، مما يؤدي إلى جفاف التربة بسرعة ويسرع من تراكم الأملاح، أما ارتفاعها فيقلل من شدة التبخر ويساعد في بقاء التربة رطبة لفترات أطول، معززا فرص الترشيح إلى الطبقات الجوفية. (الجنابي، ٢٠٢٠، ص١٧٣)،ومن تحليل معطيات الجدول (١) يتضح لنا وجود تباين

واضح بين اشهر الصيف والشتاء، فادنى معدل للرطوبة سجل خلال شهري (تموز، آب)، وسبب هذا الانخفاض يعود الى ارتفاع درجات الحرارة وقلة الامطار الساقطة.

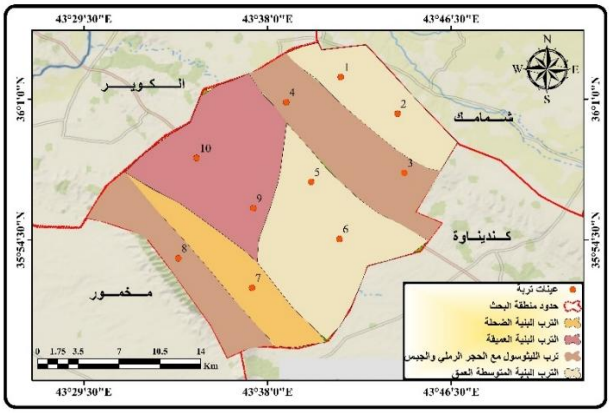
٤. **الأمطار**: يمثل الهطول المطري العامل الأكثر تأثيراً في تغذية المياه الجوفية، فالأمطار المعتدلة والموزعة مكانياً وزمانياً تسهم بفاعلية في تعزيز الترشيح نحو الأعماق، بينما الأمطار الغزيرة قصيرة الأمد غالباً ما تؤدي إلى جريان سطحي وفقدان كبير للعناصر الغذائية الموجودة بالتربة مما يقلل من خصوبتها،(عبد الله، ٢٠١٩،ص٨١) ومن تحليل معطيات (الجدول١) يتضح لنا أن التساقط المطري يبدا من الخريف ويرتفع تدريجياً في فصل الشتاء فقد بلغت مجاميع الامطار في محطة مخمور (٤٠١,٣ملم) وهي كمية كافية للأغراض الزراعية والتغذية الجوفية.

رابعا: التربة: تعد التربة حلقة وصل أساسية بين سطح الأرض والخزان الجوفي، فهي تمثل الوسط الانتقالي الذي تمر من خلاله مياه الأمطار والسيول والمصادر السطحية الأخرى باتجاه الأعماق. وتكمن أهميتها في دورها المزدوج؛ فمن جهة تعمل كمرشح طبيعي يحدد كمية ونوعية ما يصل إلى الطبقات الجوفية، ومن جهة أخرى تسهم في إغناء أو تدهور نوعية المياه عبر التفاعلات الكيميائية والفيزيائية التي تحدث في مقطعها، إن الخصائص الكيميائية، بما تتضمنه من أملاح ذائبة وكربونات ومعادن مرافقة، فإنها تؤثر بصورة مباشرة في الصفات النوعية للمياه الجوفية من حيث الملوحة، التوصيل الكهربائي، وتراكيز العناصر المختلفة (الجميلي، ٢٠٢٠، ص٩٥). وتقسم الترب إلى:

١. **الترب البنية العميقة:** يتراوح سمكها بين(٢٥–٣٠م)، مما يجعلها من أعمق ترب المنطقة وتتألف من فتاتات الحجر الكلسي ونسبة عالية من الرمل تصل إلى نحو(٨٠%) ما يمنحها نسجة رملية – مزيجية ذات نفاذية فائقة هذه الخصائص تجعلها غير قادرة على الاحتفاظ بالمياه لفترات طويلة، مما يسرع من تسربها نحو الطبقات السفلى، من الناحية الزراعية، ورغم أن عمقها يوفر أساسًا جيدًا للتجذير، إلا أن قلة احتفاظها بالرطوبة يجعلها أقل ملاءمة للمحاصيل التي تتطلب وفرة مائية، بينما يمكن استثمارها في زراعة المحاصيل الجافة التي تتحمل نقص المياه.

٢. **ترب الليثوسول مع الحجر الرملي والجبس**: ترب حديثة التكوين، ضحلة يتراوح سمكها بين بضع سنتيمترات الى٣ أمتار، ما يقلل من قدرتها على دعم الغطاء النباتي الدائم، تتكون من فتاتات الحجر الجيري والجبسي، كما إن ارتباطها بالظواهر الكارستية كالتخسفات والهوات يسهم في رفع نفاذيتها، مما يجعلها وسطًا ناقلًا للمياه أكثر من كونها وسطًا خازنًا لها، زراعيًا، تعد من أضعف الأنواع في المنطقة لضحالتها وصعوبات إدارتها المائية، إلا أنها قد تستثمر في المراعي الموسمية أو زراعة النباتات المقاومة للجفاف. (الحيالي، ٢٠٢١: ص٧٥) .

الخريطة (٣) أصناف الترب في منطقة البحث



P.Buringh soils and soil conditions in Iraq , ministry agriculture Iraq – Baghdad 1960 .Arc Map10، و مخرجات برنامج

٣. الترب البنية المتوسطة العمق: يتراوح سمكها بين (٢–٥م)، واهم مكوناتها الطين الرملي والغرين مع نسب متفاوتة من الحجر الجيري والجبس، تتسم هذه التربة بنفاذيتها العالية مما يساعد على تسرب المياه السطحية إلى الأعماق، مع قدرتها العالية على الاحتفاظ بجزء معتدل من الرطوبة بسبب وجود المكونات الغرينية والطينية، مما يجعلها ملاءمة لزراعة المحاصيل الحقلية والبساتين كونها تجمع بين العمق الكافي الذي يدعم الجذور والقدرة على التصريف الجيد. (محمد،٢٠٢٣:ص ٨١).

٤. الترب البنية الضحلة: يتراوح سمك مقطعها بين (٧٠–١٢٠سم)، وتُعد من الترب العميقة نسبيًا ذات قوام غريني–طيني رملي يمنحها نسجة متوازنة وقدرة معتدلة على الاحتفاظ بالماء. تمتاز بلون بني متوسط يميل إلى الغامق في الأفق السفلي، وباحتوائها على نسبة من كربونات الكالسيوم تتراوح بين(١٥–٢٥%) وتُعد جيدة للزراعة لقابليتها للتجذير الجيد وخصوبتها المتوسطة، كما أن نفاذيتها الجيدة تجعلها أكثر ملاءمة للمحاصيل البعلية والجافة كالشعير والعدس، بينما تتطلب المحاصيل المروية تحسينات عضوية للحفاظ على رطوبتها ودعم إنتاجها الزراعي المستدام.

خامساً:الخصائص النوعية للترب في ناحية ملة قرة وتقييمها: تحظى دراسة التربة بأهمية بالغة لكونها من الموارد الطبيعية المؤثرة في جريان المياه السطحية وتغذية المياه الجوفية فالعامل الحاسم في هذا السياق يتمثل في نسيج التربة وبنيتها، كما وان السمات الكيميائية للتربة من العناصر الجوهرية في تقييم صلاحيتها الزراعية، فعن طريقها يمكن تحديد مدى مطابقة التربة لاحتياجات نمو مختلف المحاصيل وفي هذا الإطار، جرى جمع وتحليل عشرة (١٠) نماذج تربة من مواقع مختلفة ضمن منطقة البحث. ينظر الخريطة (٣) والجدول (٢) بهدف تحديد خصائصها الكيميائية بدقة وربط نتائجها بالمياه الجوفية ومن ثم بيان مدى انعكاسها على الجوانب الزراعية. واهم هذه الخصائص ما يلي:

١.المادة العضوية(OM) : أظهرت نتائج التحاليل انخفاضًا في نسبتها في ترب منطقة البحث، حيث سجلت العينات نسبة أقل من(١%) ينظر الجدول(١) والخريطة(٤) في معظم النماذج، وهذا الانخفاض من التحديات التي تواجه استثمار التربة زراعيًا، ويعزى انخفاضها إلى تراجع النشاط الميكروبي، وضعف

تفكك المواد العضوية المعقدة إلى مركبات ميسرة الامتصاص، مما يقلل من كفاءة التسميد ويجعل التربة أقل استجابة للإضافات الزراعية بسبب درجات الحرارة المرتفعة والظروف المناخية الجافة التي تسهم تسريع عملية تحلل المادة العضوية وفقدانها، مما يجعلها بحاجة الى التسميد العضوي بشكل ينعكس إيجابًا على خصوبة التربة وإنتاجيتها الزراعية (محمود،٢٠١٩، ص ١٥١).

٢.**الأس الهيدروجيني(pH) :** تراوحت قيمه بين(٧,٢٥–٧,٧) ينظر الخريطة (٥)مما يعني ان الترب من النوع شبه المتعادل إلى القلوي، أن الميل نحو القلوية يؤدي إلى انخفاض تيسر العناصر الصغرى مثل الحديد، الزنك، والمنغنيز مما يشكل نقص غذائي على بعض المحاصيل الحساسة مما يستدعي إدارة زراعية محسنة كإضافة المواد العضوية أو الكبريت الزراعي أو استخدام أسمدة ورقية لتعويض هذا النقص.(Havlin et al., 2014) .

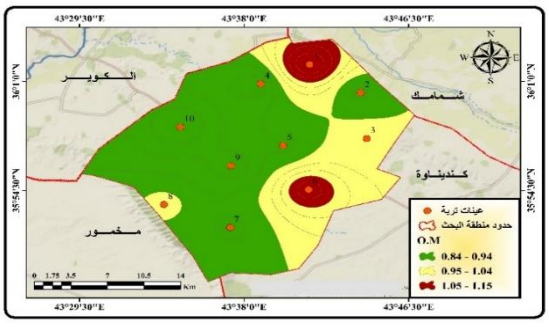
٣.

الجدول (٢) نتائج التحاليل لعينات الترب المأخوذة من منطقة البحث (ملغرام/لتر)

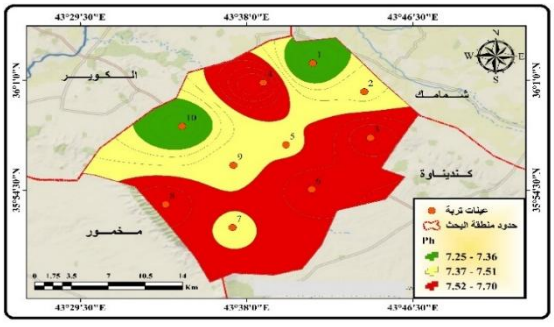
العينة	رمل	غرين	طين	ph	Ec	O.M	caco3	Ca	mg_	na	k	HCO3	CO3	Cl_
1.	٥٩٤	٢٢٨	١٧٨	٧,٢٥	٠,٨٥	١,١٥	٣٩,٤	٤,٢	٣,٧٥	٠,٧٥	٠,١٥	٠,٢٢	٠,١٥	٠,٤٥
2.	٧٢٠	١٢٤	١٦٢	٧,٤٥	٠,٩٥	٠,٩	٤٤,٢	٣,٨٥	٣,٢٥	٠,٨٥	٠,٦	٠,١٨	٠,١٢	٠,٥٥
3.	٧٥٦	١٢٠	١٢٤	٧,٦٥	٠,٩	٠,٩٥	٤١,٥	٣,٧٥	٣,٢٥	٠,٦٥	٠,٤	٠,٤	٠,١٨	٠,٦
4.	٧٠٠	٢١٤	٨٦	٧,٧	١,٣	٠,٨٥	٣٧,٥	٤,١	٣,٤٥	٠,٦	٠,٢	٠,٢٥	٠,١٣	٠,٧
5.	٧٦٥	١٢٢	١١٣	٧,٥	١,٠	٠,٩	٣٥,٢	٤,٣	٢,٨	٠,٩٥	٠,١٥	٠,٥	٠,١٨	٠,٥٥
6.	٥٣٣	٢٦١	٢٠٦	٧,٦	٠,٨	١,١	٣٦,٢	٣,٧	٢,٩	٠,٩	٠,١٥	٠,٣٢	٠,١٢	٠,٥
7.	٥٤٢	٢٥٠	٢٠٨	٧,٥	١,٤	٠,٩	٤٠,٣	٤,٣	٣,٧	١,١	٠,٠٥	٠,٣	٠,١٢	٠,٦٥
8.	٢٨٦	٤٥٦	٢٥٨	٧,٦	٠,٨	٠,٩٥	٤٢,٥	٣,٦٥	٤,٢	٠,٨٥	٠,١٦	٠,٢٥	٠,١٦	٠,٣٥
9.	٢٩٧	٤٢١	٢٨٢	٧,٥	٠,٨٥	٠,٨٥	٤٣,٢	٤,٥	٣,٢	٠,٧٥	٠,١	٠,١٨	٠,١٤	٠,٤
10.	٢٨٤	٤٥٤	٥٦٢	٧,٢٥	١,٢	٠,٨	٣٨,٥	٣,٩	٣,٦٥	٠,٩	٠,٢	٠,٢٥	٠,٢	٠,٥٥

المصدر: تحليل عينات العمل الحقلي في مختبر التربة المديرية العامة للزراعة في محافظة الانبار ٢٠٢٥.

الخريطة (٤) المادة العضوية(O.M)



الخريطة (٥) *الأس الهيدروجيني(pH)*



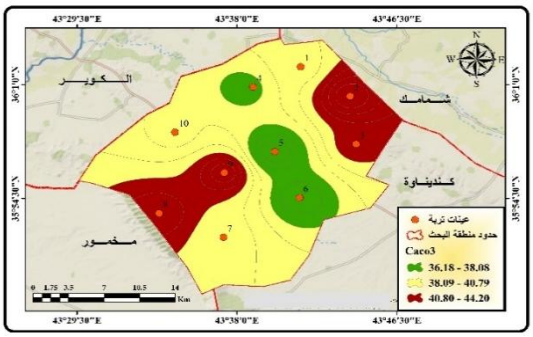
المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

٣. **الكربونات الكلسية(CaCO) :** تباينت نسبها بين (٣٥-٤٥%) ينظر الخريطة (٦) وهي قيم مرتفعة نسبيًا مقارنةً بالحدود المثالية اقل من (٢٥%) لجعل التربة ملاءمة للإنتاج الزراعي، ويعزى سبب

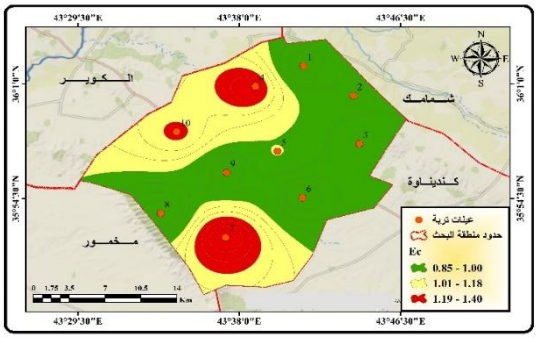
ارتفاعها إلى وجود الصخور الرسوبية الكلسية لتي تعد مصدراً رئيساً لها ولحل هذا الاشكال، يجب استخدام الأسمدة الفوسفاتية والمادة العضوية لزيادة ذوبانية بعض العناصر.(الخشاب، ٢٠١٨:ص٤١).

٤. **التوصيل الكهربائي(EC):** تراوحت قيمه بين (٠,٨-١,٤ ديسي/م) ينظر الخريطة (٧) مما يجعله ضمن الحدود المقبولة زراعيًا اقل من(٢ ديسي/م) (Richards, 1994:88) مستويات الملوحة الان لا تمثل عائقًا لنمو المحاصيل إلا ان استمرار الممارسات الزراعية التقليدية مثل الري بالغمر، مع محدودية كفاءة أنظمة الصرف سيؤدي إلى تراكم الأملاح في المستقبل ويفضي الى تدمير التربة.

الخريطة (٦) الكربونات الكلسية(CaCO3)



الخريطة (٧) التوصيل الكهربائي(EC)

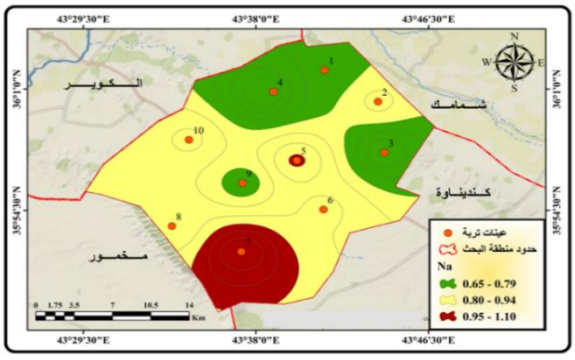


المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

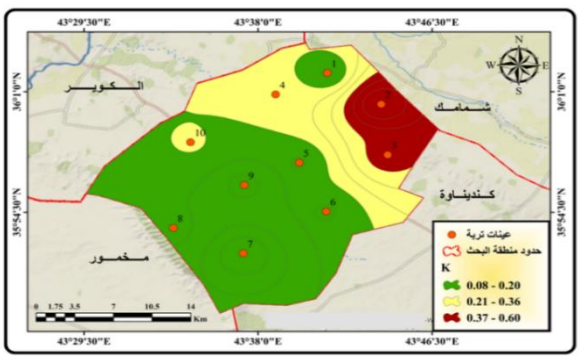
٥. **الصوديوم(Na^+):** تراوحت تراكيزه بين (**0.60–1.10 meq/L**) ينظر الخريطة (٨) وهي قيم منخفضة نسبيًا ولا تمثل خطورة على خصوبة التربة، إذ تقع ضمن الحدود المقبولة (٢ ملغرام/ لتر) إلا أن تراكمه مستقبلًا قد يؤدي إلى ارتفاع نسبة امتزاز الصوديوم، مما ينعكس سلبًا على بنية التربة ويؤدي إلى تدهورها مما يجعلها بحاجة الى الغسيل الدوري .(Ayers & Westcot, 1985p72).

٦. **البوتاسيوم(K^+)** تكمن أهميته في تنظيم الضغط الأسموزي وتعزيز مقاومة النبات للجفاف والملوحة، وقد سجلت تراكيزه قيما بين (٠,٠٥-٠,٦٠ ملغرام/لتر) ينظر(الخريطة ٨) لتقع ضمن المجال الطبيعي(٠,٢-٠,٦ ملغرام/لتر) وهذا يعني ان تربة منطقة البحث تحتاج إلى إدارة تكميلية للبوتاسيوم عند زراعة المحاصيل.

الخريطة (٨) الصوديوم (*Na*)



الخريطة (٩) للبوتاسيوم (*K*)

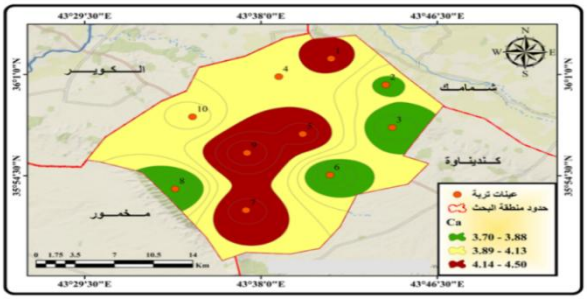


المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

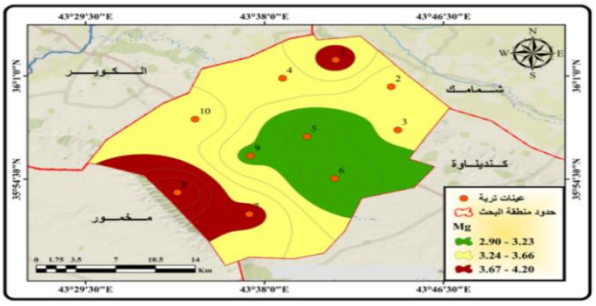
٧. **الكالسيوم(Ca^{2+})** تراوحت قيمه (٣,٦٥-٤,٥٠ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (١٠) وهي قيم مرتفعة نسبيًا تعكس الطبيعة الجيولوجية الكلسية الغالبة في المنطقة. وجود الكالسيوم بهذا المستوى يعد إيجابيًا من الناحية الزراعية، إذ يسهم في تحسين البنية الفيزيائية للتربة وتثبيت تجمعاتها، ويقلل من الأثر الضار للصوديوم عبر إزاحته من مواقع التبادل الكاتيوني.

٨. **المغنيسيوم(Mg^{2+})** تراوحت تراكيزه بين (٢,٨٠-٤,٢٠ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (١١) وهي مستويات معتدلة نسبيًا، علما ان وجوده ضروري للنبات لكونه يدخل في تركيب الكلوروفيل، ان التوازن بين الكالسيوم والمغنيسيوم المسجل في التربة يعد جيدًا نسبيًا، مما يشير إلى بيئة زراعية مقبولة مع ضرورة متابعة التغيرات طويلة الأمد(Hillel, 2004,84) .

الخريطة (١٠) الكالسيوم (*Ca*)



الخريطة (١١) المغنيسيوم (*Mg*)

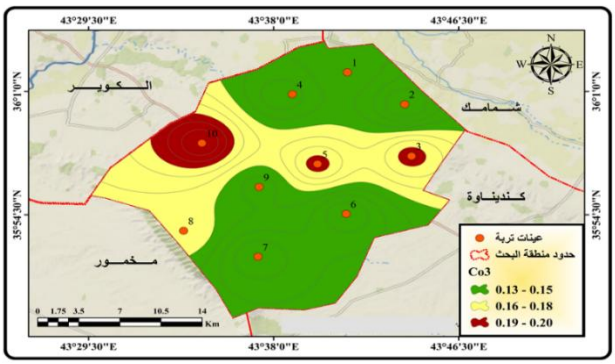


المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

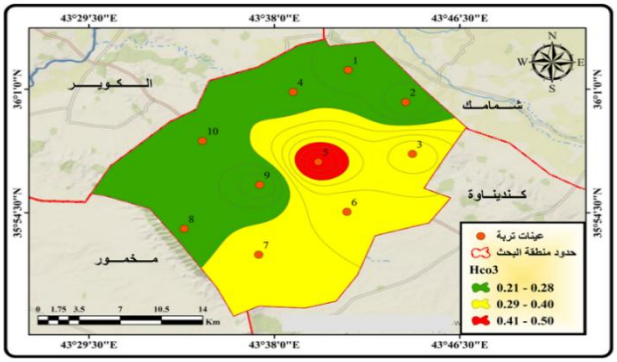
٩. **الكربونات(CO_3^{2-}):** تراوحت قيمه بين (٠,١٢-٠,٢٠ ملغرام/لتر)ينظر الخريطة (١٢) وهي قيم منخفضة نسبيًا، ويعني انها لا تشكل عائقًا كبيرًا في منطقة البحث. ومع ذلك، فإن وجودها حتى بهذا المستوى يسهم في رفع تفاعل التربة نحو القلوية ويؤثر بصورة غير مباشرة على تيسر العناصر الصغرى مثل الحديد والزنك.

١٠. **البيكاربونات(HCO_3^-)**: سجلت نتائجه قيما ضعيفة، وهو أمر شائع في الترب ذات الطبيعة الكلسية حيث يتركز الكالسيوم والمغنيسيوم أساسًا على شكل كربونات. وعليه، يمكن القول إن تأثير البيكاربونات في تربة منطقة البحث محدود حاليًا، لكن زيادته مستقبلًا نتيجة الري بمياه غنية بالبيكاربونات يرفع من قلوية التربة ويؤثر سلبًا على تيسر العناصر الغذائية ينظر الخريطة (١٣). (Custodio & Llamas, 1996) .

الخريطة (١٢) الكاربونات (*Co3*)



الخريطة (١٣) البيكاربونات (*Hco3*)



المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

باختصار، إن تربة منطقة البحث متوسطة الصلاحية مع قيود رئيسة تتمثل في انخفاض المادة العضوية وارتفاع الكربونات، لكن هذه القيود يمكن معالجتها عبر الإدارة الزراعية الحديثة، مثل إضافة الأسمدة العضوية والمعدنية، وتحسين أنظمة الري والصرف، واختيار محاصيل متكيفة مع هذه الظروف، وهنا يبرز دور الذكاء الاصطناعي في رسم خرائط مكانية دقيقة لصلاحية التربة عندما تدمج خصائصها مع بيانات المياه، بما يسمح بتوجيه الاستثمار الزراعي نحو المواقع الأكثر استدامة.

سادساً: الخصائص النوعية للمياه الجوفية في ناحية ملة قرة: تعد المياه الجوفية من أهم الموارد الطبيعية التي يعتمد عليها الإنسان في تلبية احتياجاته المختلفة، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعاني من محدودية الموارد السطحية، وتمثل هذه المياه مخزونًا استراتيجياً طويل الأمد يتكون عبر عمليات جيولوجية وهيدرولوجية معقدة، تكتسب المياه الجوفية خصائص نوعية ترتبط ارتباطاً مباشراً بخصائص الوسط الجيولوجي الذي تمر من خلاله، مثل نوع الصخور، درجة المسامية والنفاذية، فضلاً عن التفاعلات الكيميائية والفيزيائية التي تحدث أثناء حركتها، وتتحدد جودة هذه المياه وفق مقارنتها بعدد من المؤشرات التي تعكس قابليتها للأغراض المختلفة، مما يساهم في وضع استراتيجيات مستدامة للاستغلال الأمثل لها، ومن اهم هذه الخصائص ينظر (الملحق ١):

أ: الخصائص العامة:

١. **الأس الهيدروجيني:(pH)**: تراوحت قيمه بين (٧,٣–٨,٠)، ينظر الجدول (٣) والخريطة (١٤) مما يشير إلى طبيعة قاعدية طفيفة للمياه الجوفية. ويعزى ذلك الى إذابة الصخور الجيرية والجبسية، فضلاً عن مساهمة الأنشطة الزراعية عبر طرح أيونات البيكاربونات إلى الوسط المائي، ورغم أن المجال الأمثل لنمو معظم المحاصيل يتراوح بين (٦,٥–٧,٥)، إلا أن الميل نحو القلوية في بعض العينات قد يؤدي إلى تقييد ذوبان العناصر الصغرى مثل الحديد والزنك والمنغنيز، وهو ما ينعكس في صورة أعراض نقص غذائي على النباتات الحساسة مما يجعلها بحاجة الى اعتماد ممارسات إدارية مثل إضافة محسنات التربة (كالكبريت الزراعي أو المواد العضوية) لتعزيز ذوبان العناصر الصغرى والحفاظ على التوازن الغذائي في التربة

٢. **الأملاح الذائبة الكلية:(TDS)** : سجلت تراكيز تراوحت بين (١٧٦٧-٥٦٨٤ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (١٥) ما يضعها ضمن فئة المياه المالحة وفق تصنيفات منظمة الأغذية والزراعة، ويعزى هذا الارتفاع إلى عدة عوامل، أبرزها إذابة معادن الجبس والملح الصخري في الطبقات الجيولوجية، فضلاً عن تراكم الأملاح نتيجة تكرار الري وضعف الصرف الزراعي، وتمثل هذه المستويات المرتفعة من الملوحة عائقاً أمام زراعة المحاصيل الحساسة، إذ تؤدي إلى انخفاض الإنتاجية نتيجة الإجهاد الملحي ومع ذلك، يمكن استغلال هذه المياه في ري المحاصيل التي تتمتع بقدرة تحمل للملوحة (كالشعير، النخيل، وبعض

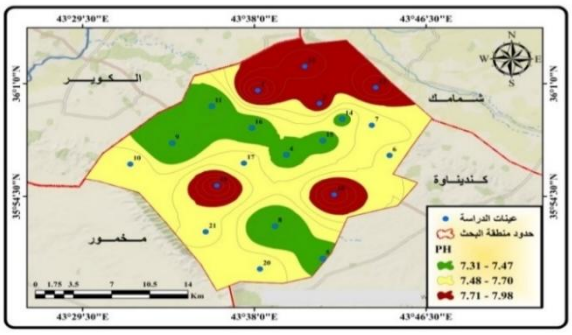
الأشجار المثمرة)، مع ضرورة تطبيق استراتيجيات الإدارة الملحية مثل الغسل الدوري للتربة وتحسين الصرف للحد من تراكم الأملاح وضمان استدامة النشاط الزراعي.

الجدول (3) الخصائص النوعية للمياه الجوفية في ناحية ملة قرة (ملغرام/لتر)

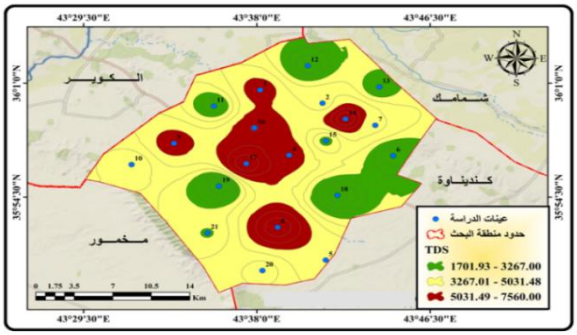
ت	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4--	HCO3	NO3-	pH	TDS	EC/dc	TH	SAR
1.	٤٤٠,٠	٤٦٢,٠٤	٧٣٩,٥	٧,٤	٨٥٠,٥١	٢٧١٦,٠	١٧٨,١٢	٦٣,٠	٧,٩٨	٥٥٤٧,٠	٦٧١٧,٠	٣٠٠٠,٠	٥,٨٧
2.	٢٦١,٨	٣٥٢,٥٢	٤٤٥,٠	١٢,٨	٦٧٣,٦٨	١٩٨٣,٠	١٧٩,٣٤	٩٤,٠	٧,٧٧	٤٠٧٠,٠	٥٠٧٠,٠	٢٠٠٠,٠	٤,٣٣
3.	٣٠٠,٠	٦٣٢,٠	٦٧٧,٢	١٠,٩	٩٠٠,٠٨	٢٨٥٦,٠	٢٢٣,٢٦	٤٦,٥	٧,٣٩	٥٦٨٤,٠	٨٠٥٩,٠	٣٢٠٠,٠	٥,٢١
4.	١٦٠,٠	٤٥٦,٣١	٧٠٣,٥	١٦,٨	٩٥٠,١٩	٢٢٣٦,٠	١٦٨,٣٦	٥٢,٤	٧,٤١	٥٠٠٢,٠	٦٦٢٩,٠	٢٦٢٧,٠	٥,٩٧
5.	٢٤٠,٠	٢٤,٤٩	٢٥٣,٠	٨,١	١٧٧,٢٨	٦٨٧,٠	٢٤٤,٠	٣٨,٦	٧,٦٤	١٧٦٧,٠	٢١٩٨,٠	٧٥٠,٠	٤,٠٢
6.	٢٨٠,٠	٣٢٢,٠	٦٠٠,٠	٢١,٠	٨٠٨,٠	٢١٥٠,٠	١٣١,٧٦	١٧,٠	٧,٦	٤٤٥١,٠	٥٤٠٠,٠	٢٠٢٤,٠	٥,٨
7.	٢٥٢,٦٣	٤٦٢,١٤	١٠٥٢,٥	١٤,٣	٩٢١,٨	٣٩٠٦,٠	١٩٥,٢	٥٨,٠	٧,٢٣	٧٣١٤,٠	٩٣٦٧,٠	٣٣٥٠,٠	٧,٩١
8.	٥٠٠,٠	٣٠٤,١٣	٧١٢,٥	٨,٩	٤٩٦,٣٩	٣١٥٦,٠	٢٢٢,٠٤	٦١,٤	٧,٢٣	٥٥٧٨,٠	٦٥٨٩,٠	٢٥٠٠,٠	٦,٢
9.	٣٠٠,٠	١٨٢,٤٧	٤٦٩,٠	١٨,٢	٧٠٠,٩٦	١٣٠٩,٠	١٣٩,٠٨	١٣,٨	٧,٦٢	٣٢٨٢,٠	٣٩٨٢,٠	١٥٠٠,٠	٥,٢٦
10.	٣٢٠,٠	١٢,٣٨	٣٨٥,٠	١٦,٠	٣٥٤,٥٧	٩٨٦,٠	١٧٠,٨	٢٨,٣	٧,٢٦	٢٣٨٨,٠	٣١٨٨,٠	٨٥٠,٠	٥,٧٤
11.	٢٦٠,٠	٧٣,٠٢	٣٣١,٠	٧,٤	٣٥٥,٩٤	٦٢٠,٠	٢١٢,٢٨	٢٢,٠	٧,٨٢	١٨١٠,٠	٢٧١٠,٠	٧٠٠,٠	٥,٤٤
12.	٣٦٠,٠	٤١,٥٧	٤١٥,٠	٢٣,٨	٤١٠,٢	١٠٠٦,٠	١٩٨,١٢	٥٢,٦	٧,٩١	٢٦٢٧,٠	٣١٢٧,٠	١٠٧٠,٠	٥,٥١
13.	٧٦٠,٠	٣٤٠,٧٧	٩١٧,٥	٢١,٤	٩٩٢,٧٩	٣٥٣١,٠	٥٤٩,٠	٨٢,٤	٧,٤٢	٧٥٦٠,٠	٨٣١٠,٠	٣٣٠٠,٠	٦,٩٤
14.	٣٨٠,٠	٥٢٢,٥٧	٦٤٩,٥	٢٣,٨	٥٦٧,٣١	٣٢٢٠,٠	١٨٥,٤٤	٤٢,٠	٧,٤	٣٠١٩,٠	٣٦٩٨,٠	١٥٠٠,٠	٣,٩٨
15.	٧٨٨,٤١	٣٥٣,٥١	٩٥١,٨	٢٢,٢	١٠٠٢,٤	٣٥٦٥,٣	٥٥٤,٣٣	٨٣,٢	٧,٣٦	٥٨١٧,٠	٧٣٦٣,٠	٣١٠٠,٠	٥,٠٧
16.	٥٨٠,٠	٩٦,٤٨	١٢٣,٨٢	١,٧	٩٠,٣٨	٤٦٣,٢٥	٣٤٥,٣٨	١١١,٦٣	٧,٦	٧٤٢٦,٠	١٠١١١,٠	٩٣٧,٠	٧,٠٧
17.	٦١,٤٩	٨٢,٠٣	٩٤,٦١	٢,٣	٦٥,٣٢	٢٩٤,٤	٣٠٨,٥١	٨٥,٥٦	٧,٩١	١٤٠٠,٠	٢١٥٨,٠	٦٥٩,٠	٢,١
18.	١٠٤,٨٣	١٥٦,٣٢	٥٧٧,٩	٣,٠	١٩١,٠٥	١٦١٣,٧	٥٨٥,٧٩	٦١,٥٨	٧,٩٥	١٠٤٢,٠	١٤٤١,٠	٤٩١,٠	١,٨٥
19.	٢٢٠,٠	٢٤٩,٩	٣٤٢,٣٨	٣,٤	٤٣٥,٢	٩٣٦,٧	٨٥٨,٥	٤١,٤٨	٧,٦٢	٣٥٠٧,٠	٤٣٥١,٠	١٢٧٤,٠	٧,٠٤
20.	٦٦,٤٣	٧٧,٠٣	٩٦,٦١	٢,٨	٦٨,٧٧	٢٧٤,٦	٣٥٨,٣٣	٨١,٥	٧,٦٥	٣٢٢٠,٠	٤٣٢٠,٠	١٦٨٢,٠	٣,٦٣

المصدر: تحليل عينات العمل الحقلي في مختبر التربة المديرية العامة للزراعة في محافظة الانبار ٢٠٢٥.

الخريطة (١٤) الكاربونات (*pH*)



الخريطة (١٥) البيكاربونات (*TDS*)



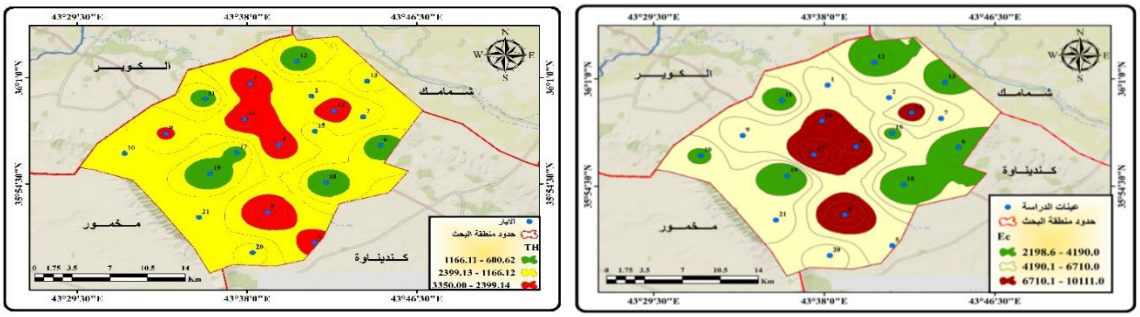
المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٢) ومخرجات برنامج Arc GIS.

١. **الإيصالية الكهربائية:(EC)** تراوحت قيمه بين (٢١٩٨-٨٠٥٩ ديسي/سيمينز)، ينظر الخريطة(١٦) ويعزى ارتفاع القيم في الآبار الجنوبية والوسطى إلى إذابة الطبقات الملحية والدولوميتية من جهة، وإلى التأثيرات البشرية المتمثلة في التلوث الزراعي الناتج عن الأسمدة والري المكثف من جهة أخرى. ووفق تصنيف منظمة الأغذية والزراعة، تقع هذه المياه ضمن فئة الملوحة المتوسطة إلى العالية، ما يشير إلى وجود قيود واضحة على استعمالها في الزراعة دون اتخاذ إجراءات إدارية مناسبة. ويعني ذلك أن الاستخدام المباشر لهذه المياه قد يؤدي إلى تراكم الأملاح في التربة، وبالتالي التأثير سلباً في

إنتاجية المحاصيل الحساسة للملوحة. ومن ثم، فإن الاعتماد على تقنيات الإدارة الملحية مثل الغسل الدوري للتربة، تحسين الصرف الزراعي، وزراعة محاصيل متحملة للملوحة، يعد ضرورياً لضمان استدامة الاستثمار الزراعي في المنطقة.

٢. **العسرة الكلية:(TH)** تراوحت قيمها بين (٢٣٤-٥٥٥ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (١٧) ما يجعل المياه الجوفية ضمن تصنيف المياه العسرة جداً وفق المعايير الهيدروكيميائية، وترتبط هذه العسرة بارتفاع تراكيز الكالسيوم والمغنيسيوم الذائبين، ومن الناحية الزراعية، لا تعد العسرة العالية مشكلة مباشرة على نمو النباتات أو إنتاجيتها، بل قد تسهم بشكل غير مباشر في تحسين توازن التربة عبر مقاومة أثر الصوديوم غير أن انعكاساتها العملية تظهر بوضوح في أنظمة الري بالتنقيط، حيث تؤدي إلى انسداد الأنابيب والفوهات، ما يقلل من كفاءة توزيع المياه والأسمدة مما يستلزم صيانة دورية لشبكات الري لضمان استدامة كفاءة النظام الزراعي.

الخريطة (١٦) التوصيل الكهربائي (*Ec*) **الخريطة (١٧) العسرة *(TH)***



المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٣) ومخرجات برنامج Arc GIS.

ب: الكاتيونات:

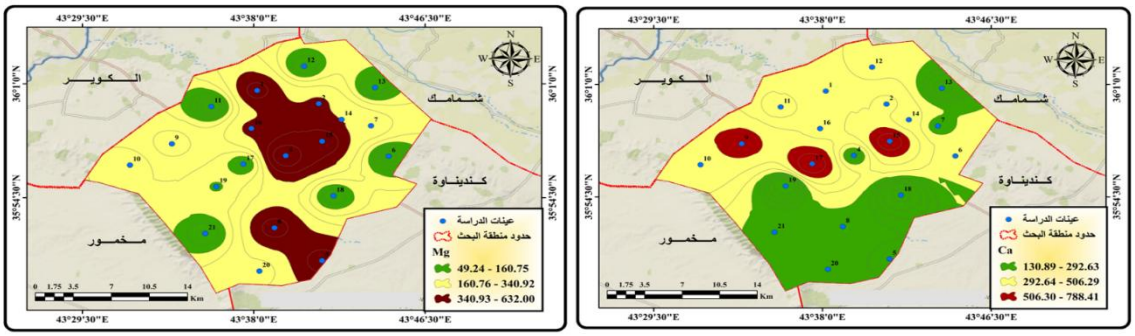
١. **الكالسيوم :(Ca^{2+})** تراوحت تراكيزه في المياه الجوفية بين (52–390 mg/L) ينظر الخريطة (١٨) ويعزى مصدره الرئيس إلى إذابة معادن الكالسيت والدولوميت ضمن التكوينات الرسوبية الحاملة للمياه. ويؤدي الكالسيوم دوراً مهماً في تحسين خواص التربة الزراعية، إذ يعزز تماسك بنيتها ويزيد من مقاومتها لآثار الصوديوم، مما يحافظ على نفاذيتها وتهويتها ويحسن من إنتاجية الأراضي الزراعية، ووفقاً لتقارير منظمة الأغذية والزراعة، فإن تراكيز الكالسيوم المقبولة للري يمكن أن تصل حتى (400 mg/L) دون أن تحدث آثاراً سلبية مباشرة، ما يجعل القيم المسجلة ضمن الحدود الملائمة للاستثمار الزراعي، مع مراعاة التدابير الوقائية لتقليل آثار العسر المائي على البنى التحتية للري.

٢. **المغنيسيوم:(Mg^{2})** تراوحت تراكيزه في بين(٦٨–١٠٢ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (١٩) ويعزى ذلك إلى إذابة الصخور الدولوميتية والجبسية المنتشرة في التكوينات الجيولوجية، يعد المغنيسيوم عنصراً غذائياً ضرورياً للنبات، لكونه المكون الرئيس لجزيء الكلوروفيل المسؤول عن عملية التمثيل الضوئي، فضلاً

عن دوره في تنشيط العديد من الإنزيمات الحيوية، وتشير تقارير منظمة الأغذية والزراعة إلى أن تراكيز المغنيسيوم المقبولة للري يمكن أن تصل حتى(١٠٠ ملغرام/لتر) دون أن تحدث آثاراً سلبية كبيرة، مما يجعل القيم المسجلة في المياه الجوفية لمنطقة البحث ملائمة للاستثمار الزراعي من ناحية محتوى المغنيسيوم، مع ضرورة مراقبة نسبة Ca/Mg لضمان عدم حدوث تداخلات غذائية تؤثر على خصوبة التربة وصحة المحصول .(Al-Karbouli, I. D. A. S. ,2022p81)

٣. **الصوديوم:(Na^+)** : تراوحت تراكيزه بين(٥١–٧٥٩ ملغرام/لتر)، وهو تباين واسع يعزى في الغالب إلى ضعف الصرف الزراعي وتراكم الأملاح السطحية نتيجة عمليات التبخر وتركز الأملاح في الطبقات العليا من التربة لأن ارتفاع نسبته تؤدي إلى تفكك بنية التربة وفقدان النفاذية والتهوية، ما ينعكس مباشرة على إنتاجية الأراضي الزراعية،وتظهر النتائج أن المياه ما زالت تقع ضمن الحدود المسموح بها وفقاً لمعايير منظمة الأغذية والزراعة وتصنيف مختبر الملوحة الأمريكي وعليه، فإن المياه المدروسة ملائمة للري من حيث محتوى الصوديوم، شريطة استمرار تحسين الصرف الزراعي والاعتماد على ممارسات إدارة الري الرشيدة للحد من تراكم الأملاح وتجنب تدهور التربة .

الخريطة (١٨) الكالسيوم (*Ec*) **الخريطة (١٩) المغنيسيوم (*TH*)**



المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٣) ومخرجات برنامج Arc GIS.

الجدول (٤) المعايير المستخدمة (FAO, WHO, USSL, Wilcox) لتقييم نوعية مياه الري استنادًا إلى المؤشرات الفيزيائية والكيميائية الرئيسة

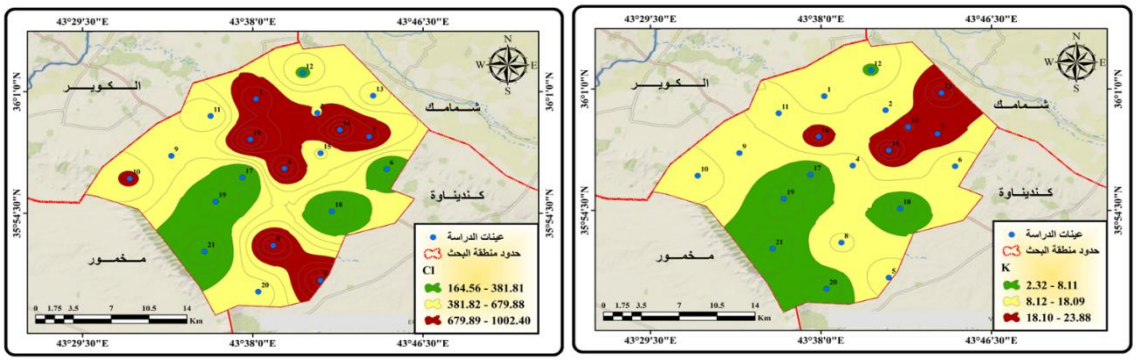
المؤشر	الآمن / المقبول المدى	المسموح المدى بشروط	عالي / ملائم غير الخطورة	المرجعي المصدر
pH	6.5 – 7.5	7.5 – 8.4	< 6.0 أو > 8.4	FAO (1985)
TDS (mg/L)	< 450	450 – 2000	> 2000	FAO (1985)
EC (dS/m)	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	FAO (1985)
Ca^{2+} (mg/L)	< 75	75 – 200	> 200	USSL / WHO
Mg^{2+} (mg/L)	< 50	50 – 100	> 100	USSL / WHO
Na^{+} (mg/L)	< 70	70 – 200	> 200	FAO / USSL
K^{+} (mg/L)	< 2	2 – 10	> 10	FAO
Cl^{-} (mg/L)	< 140	140 – 350	> 350	FAO
HCO_3^{-} (mg/L)	< 90	90 – 200	> 200	FAO
CO_3^{2-} (mg/L)	≈ 0	< 1	> 1	FAO
NO_3^{-} (mg/L)	< 50 (للشرب WHO)	50 – 100	> 100	WHO (2017)
SAR	0 – 3	3 – 6	> 6	USSL
%Na	< 60%	60 – 80%	> 80%	Wilcox (1955)
TH (mg/L	< 150	150 – 300	> 300	USGS / WHO

$CaCO_3$)				

- FAO. 1985. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1. Ayers, R.S. & Westcot, D.W.
- WHO. 2017. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th Edition.
- USSL (U.S. Salinity Laboratory). 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and Use of Irrigation Waters.

٤. **البوتاسيوم:(K^+)** تراوحت تراكيزه بين (١,٧–٢٣,٨ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (٢١) وهو مستوى منخفض نسبياً مقارنة بالعناصر القلوية الأخرى، ويعد البوتاسيوم من العناصر الغذائية الرئيسة للنبات، إذ يلعب دوراً محورياً في تنظيم العمليات الأسموزية وتكوين السكريات والنشويات، غير أن محدودية مستوياته في المياه الجوفية المدروسة تجعل تأثيره تحسين القيمة الغذائية للمياه مقارنة بالكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم. (Al-Karbouli, I. D. A. S. (2022).

الخريطة (٢٠) البوتاسيوم (*K*) **الخريطة (٢١) الكلورايد (*Cl-*)**



المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٣) ومخرجات برنامج Arc GIS.

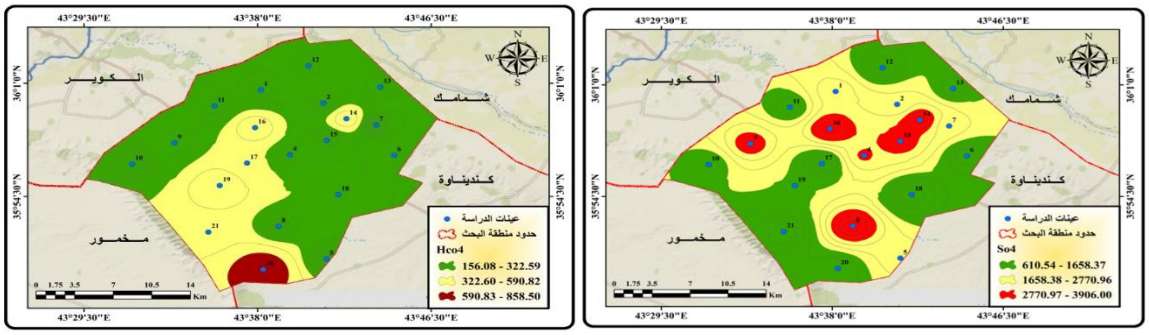
ج: الأنيونات.

١. **الكلوريد:(Cl^-)** تراوحت تراكيزه في المياه الجوفية بين (٩٠–١٠٠٢ ملغرام/لتر) ينظر الخريطة (٢١) ويعزى وجوده بشكل رئيس إلى إذابة الأملاح السطحية المتراكمة، ووفقاً لمعايير منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، فإن المياه التي تحتوي على تراكيز أقل من (١٤٠ ملغرام/لتر) تعد آمنة لمعظم المحاصيل، في حين أن التراكيز التي تتجاوز(٧٠٠ ملغرام/لتر) تضع المياه في نطاق الخطورة العالية، وبناءً على ذلك، فإن المياه المدروسة تظهر تبايناً في مستوى الخطورة، حيث تقع بعض العينات ضمن الحدود المقبولة للري، بينما قد تمثل العينات ذات التركيز الأعلى تهديداً مباشراً لصلاحية المياه وتتطلب توخي الحذر في اختيار نوعية المحاصيل وإدارة الري.

٢. **الكبريتات:(SO_4^{2-})** تراوحت تراكيزها بين(٩٠–٩٥٠ ملغ/لتر)، ينظر الخريطة (٢٢) ويعزى وجوده بشكل رئيس إلى إذابة الأملاح السطحية المتراكمة فضلاً عن مساهمة المخلفات الزراعية والأنشطة البشرية في زيادة نسبته ويعد الكلوريد من الأيونات الرئيسة المؤثرة في نوعية مياه الري، حيث إن ارتفاع تركيزه يؤدي إلى تراكمه في أنسجة النبات، ما يسبب مظاهر سمية خاصة في بعض المحاصيل

الحساسة كالحمضيات والعنب. وبناءً على ذلك، فإن المياه المدروسة ووفقاً لمعايير منظمة الأغذية والزراعة (FAO) تظهر تبايناً في مستوى الخطورة، حيث تقع بعض العينات ضمن الحدود المقبولة للري، بينما قد تمثل العينات ذات التركيز الأعلى تهديداً مباشراً لصلاحية المياه مع ضرورة توخي الحذر في اختيار نوعية المحاصيل وإدارة الري.

الخريطة (٢٢) .الكبريتات(SO_4^{2-}) **الخريطة (٢٣) البيكاربونات(HCO_3^-)**

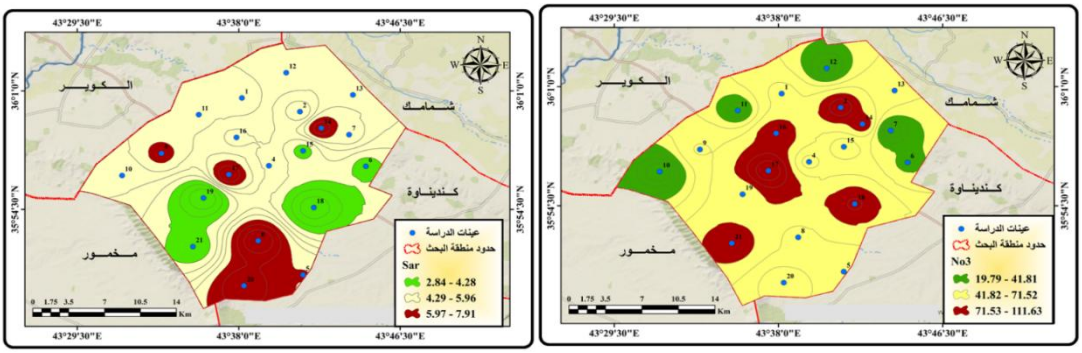


المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٣) ومخرجات برنامج Arc GIS.

١. **البيكاربونات:(HCO_3^-)** شكلت تراكيزه مستويات متوسطة ينظر (الجدول٢) والخريطة (٢٣)، ويعزى سبب وجودها أساساً إلى ذوبان الصخور الجيرية وتفاعل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) مع المياه الجوفية في الطبقات الكربوناتية. وتعد البيكاربونات من الأيونات المؤثرة في التفاعلات الكيميائية للتربة، إذ إن ارتفاعها يعزز من قلوية الوسط، الأمر الذي يحد من ذوبان بعض العناصر الغذائية الرئيسة، وعلى رأسها الفوسفور، مما يقلل من كفاءته الحيوية ويؤثر في خصوبة التربة على المدى الطويل وبالتالي تراجع كفاءتها الزراعية، إن المستويات المسجلة في منطقة البحث لا تمثل خطورة عالية، لكنها تتطلب مراقبة مستمرة لتجنب آثارها التراكمية على التربة وامتصاص العناصر الغذائية.

٣.**النترات:(NO_3^-)** سجلت تراكيزها مستويات مرتفعة وصلت إلى(94 mg/L) ، ينظر (الجدول ٢) و الخريطة (٢٤) متجاوزةً الحد الأقصى المسموح به لمياه الشرب وفق معايير منظمة الصحة العالمية(FAO ٢٠١٧) (٥٠ ملغرام/لتر) ويعزى مصدر النترات أساساً إلى الأسمدة النيتروجينية المستخدمة في الأنشطة الزراعية، ورغم أن مستوياتها قد تكون ضمن الحدود المقبولة للري في بعض الحالات، إلا أن تجاوزها للمعايير يعكس خطورة التلوث الزراعي، ما يتطلب اعتماد استراتيجيات إدارة متكاملة للأسمدة، ومراقبة نوعية المياه الجوفية بشكل دوري للحد من مخاطرها البيئية والصحية.

الخريطة (٢٤) النترات (*No3*) **الخريطة (٢٥) امتزاز الصوديوم (*SAR*)**



المصدر: بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (٣) ومخرجات برنامج Arc GIS.

د. المؤشرات النوعية

١. نسبة امتزاز الصوديوم:(SAR) تراوحت قيمها بين (٤-٦ ملغرام/لتر) وهي مستويات منخفضة كما هو موضح في الخريطة (٢٥) وهي تصنف ضمن الفئة الآمنة نسبياً وفق تصنيف مختبر الملوحة الأمريكي (USSL) ومعايير منظمة الأغذية والزراعة (FAO) وتشير هذه القيم إلى أن خطر الصوديومية ضعيف حالياً، في تقليل نفاذية التربة أو إحداث تدهور في بنيتها، وتعد هذه النتيجة إيجابية من منظور الاستثمار الزراعي، إذ تسمح باستخدام المياه المدروسة في ري معظم المحاصيل دون الحاجة إلى إجراءات تصحيحية كبيرة، ومع ذلك، فإن استمرار التراكم الملحي أو ضعف الصرف الزراعي قد يرفع قيمها مستقبلاً، ما يستوجب المراقبة الدورية لضمان الاستدامة.

بناء على ما تقدم أظهرت نتائج التحاليل أن مياه ملة قرة تتسم بطبيعة مالحة–كبريتية–كلسية، وهو انعكاس مباشر للتكوينات الجيولوجية المهيمنة في المنطقة، ولا سيما الصخور الجبسية والكلسية التي تمثل المصدر الرئيس للأيونات الذائبة، وقد كشفت الدراسة عن تباين مكاني ملحوظ في الخصائص النوعية للمياه، بما يعكس العلاقة الوثيقة بين البنية الجيولوجية والتغيرات في نوعية المياه الجوفية، إلى جانب التأثير الطبيعي للتكوينات الصخرية، لعبت الأنشطة الزراعية دورًا محوريًا في تعزيز تراكم بعض الملوثات، ولا سيما النترات والصوديوم، وذلك نتيجة الإفراط في استخدام الأسمدة النيتروجينية وضعف كفاءة المبازل الزراعية غير المصانة. وتشير هذه المعطيات إلى أن التحديات الرئيسة التي تواجه استدامة استغلال المياه الجوفية في المنطقة تتمثل في: ارتفاع الملوحة الكلية، وزيادة العسرة، وتلوث النترات، وكلها عوامل قد تحد من الاستخدامات المثلى للمياه سواء للشرب أو الزراعة.

سابعاً: دمج طبقات التربة والمياه في نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي:

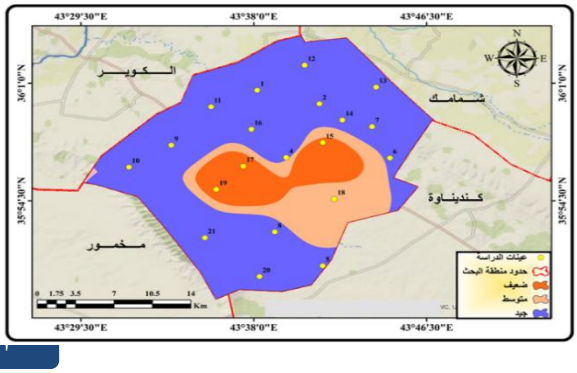
شهدت العقود الأخيرة تراكما ملحوظا في الدراسات التي عنيت بالموارد الطبيعية ودورها في دعم الأنشطة الزراعية، إلا أن معظم تلك الدراسات أحادية البعد يركز على مورد واحد دون غيره، سواء على التربة وخصائصها وصفاتها او المياه وسماتها والجدوى الاقتصادية لحفر الآبار، فغالبًا ما عالجت هذه القضايا بشكل منفصل بعضها البعض، مما جعل نتائجها جزئية وغير كافية لتقديم رؤية متكاملة عن ملاءمة الأراضي من حيث نوعية المياه واستخدامها ، ومن هنا تبرز أهمية هذا البحث في سد هذه الفجوة عن طريق تقديم مقاربة جديدة تدمج بين تحليل مياه الابار والتربة باستخدام بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الذكاء الاصطناعي، ليوفر رؤية متكاملة لصلاحية الأراضي في ناحية ملة قرة، استنادا إلى بيانات مكانية دقيقة ونماذج تنبؤية متقدمة، بما يعزز دقة القرارات الاستثمارية الزراعية ويدعم تحقيق الاستدامة في استغلال الموارد الطبيعية، في هذا السياق، جاء توظيف الذكاء الاصطناعي (AI)وتحديدًا خوارزميات التعلم الآلي كحل ابتكاري قادر على رفع مستوى الدقة وتقليص مشكلات عدم

التجانس المكاني والزماني. إذ تسمح هذه الخوارزميات بمعالجة بيانات معقدة ومتعددة الأبعاد، والتعرف على الأنماط الخفية التي لا يمكن إدراكها بالطرق التقليدية، فهي قادرة على اكتشاف العلاقات غير الخطية والتفاعلات المركبة بين العوامل، مثل العلاقة بين الاس الهيدروجيني في التربة وملوحة المياه وعمق الآبار وتأثيرها المشترك على إنتاجية الأراضي، هذا الأمر يجعلها مثالية للتعامل مع البيانات المكانية التي تتسم بالتعقيد واللاخطية، ويعزز قدرتها على التنبؤ المكاني بدقة تتجاوز حدود التفسير البسيط إلى بناء خرائط ذكية يمكن أن يعتمد عليها صانع القرار في توجيه الموارد الطبيعية (Zhang, Li, & Chen, 2022). وبما ان البحث، الذي يركز على دمج **التحليل الهيدرولوجي** مع تقنيات **الذكاء الاصطناعي** ضمن بيئة **نظم المعلومات الجغرافية(GIS)** ، تم اعتماد منهجية تكاملية ذات طبيعة متعددة المستويات. إذ جرى المزج بين:

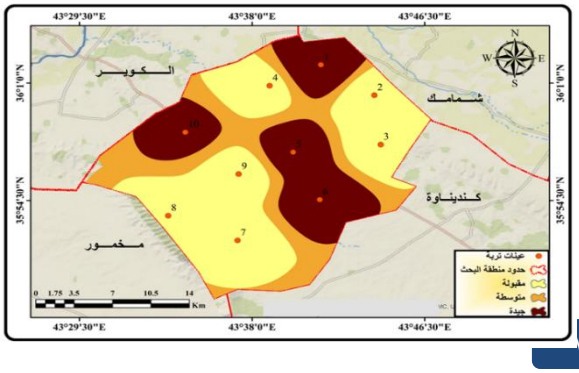
١. **العمل الميداني** :المتمثل في جمع عينات التربة والمياه من مواقع مختارة بدقة، وقياس الخصائص الأساسية هذه البيانات تمثل الواقع الميداني وتوفر قاعدة صلبة للتحليل.
٢. **التحليل المختبري** :اجريت تحاليل مختبرية دقيقة لعينات التربة والمياه، بما يضمن دقة القيم المدخلة إلى النماذج المكانية.
٣. **المعالجة المكانية** :عن طريق بناء قاعدة بيانات مكانية موحدة (GIS Database) تضمنت الطبقات الميدانية (المياه والتربة)، إلى جانب بيانات داعمة مثل الطبوغرافيا وصور الأقمار الصناعية (Sentinel-2)، ما أتاح تمثيل التباينات المكانية بدقة عالية.
٤. **النمذجة الحاسوبية** :التي اعتمدت على خوارزميات الذكاء الاصطناعي دمج متغيرات التربة والمياه والتنبؤ بمستويات الصلاحية الزراعية ومواقع الآبار المستقبلية.

إن هذا **التكامل المنهجي** بين العمل الميداني والمختبري والمكاني والحاسوبي أتاح رؤية شاملة ودقيقة لموارد التربة والمياه في ناحية **ملة قرة**، وساعد على إنتاج **خرائط مكانية عالية الدقة** لملاءمة الأراضي الزراعية وتحديد أفضل المواقع لحفر آبار جديدة ينظر الخريطتين (٢٦،٢٥) كما أنه وفر مقاربة بحثية حديثة قادرة على سد الفجوة بين الدراسات الجزئية التقليدية والنهج التكاملي الذي يتطلبه التخطيط الزراعي المستدام.

الخريطة (٢٦) تصنيف المياه وفقاً للذكاء الاصطناعي



الخريطة (٢٧) تصنيف الترب وفقاً للذكاء



الاصطناعي

المصدر: بالاعتماد على بيانات التربة والمياه باستخدام خوارزمية(Gradient Tree Boosting (GTB ومخرجات برنامج .Arc GIS

ثامناً: النمذجة بالذكاء الاصطناعي:

لغرض بناء نموذج قادر على التنبؤ بمستويات الصلاحية الزراعية بدقة عالية، تم اعتماد خوارزمية *Gradient Tree Boosting (GTB)* وهي من الخوارزميات الحديثة في مجال التعلم الآلي التي أثبتت كفاءتها في التعامل مع البيانات البيئية المعقدة، تتميز هذه الخوارزمية بقدرتها على التعامل مع البيانات المعقدة وغير الخطية بكفاءة عالية، وتستخدم على نطاق واسع في مجالات مختلفة مثل التنبؤ بسلوك الظواهر البيئية، تقدير جودة المياه، إدارة الموارد الطبيعية: تم تدريب النموذج باستخدام بيانات التربة والمياه كمدخلات رئيسة، في حين اعتمدت فئات الصلاحية الزراعية (ضعيف او مقبول، متوسط، جيد) كمخرجات، ولضمان موثوقية النتائج، جرى تقسيم البيانات إلى مجموعة تدريبية وأخرى للتحقق، مع تطبيق أسلوب التحقق المتقاطع الذي يقلل من مخاطر الإفراط في التخصيص لجانب معين دون الآخر (التربة والمياه) ويعطي تقديرًا أكثر دقة لمستوى الأداء العام للنموذج. (Zhang et al. 2022;66)

بعد الانتهاء من تدريب النموذج والتحقق من كفاءته، تم توظيف منصة *Google Earth Engine (GEE)*لإنتاج خرائط مكانية عالية الدقة. وقد حددت الدقة المكانية للنمذجة عند (١٠م)، بما يتيح تمثيلًا تفصيليًا للتباين المكاني داخل ناحية ملة قرة.

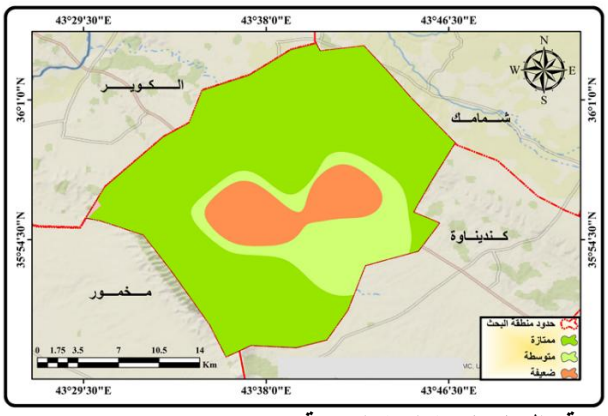
ليظهر النموذج لنا خريطة تصنيفية ثلاثية المستويات :تعكس مستويات الصلاحية الزراعية وقدمت هذه الخريطة أداة بصرية واضحة تساعد متخذي القرار على التمييز بين المناطق المواتية وغير المواتية للاستثمار الزراعي. وهو ما يعد إنجازًا مهمًا مقارنة بالدراسات السابقة التي اقتصرت على التحليل الوصفي ان خوارزمية **(***GTB***)** صنفت أراضي ناحية ملة قرة إلى: ينظر الخريطة (٢٨). وان هذه الخريطة تكاد تكون متطابقة مع الخريطة (٢٦) وعند سؤال الذكاء الاصطناعي عن هذا الجانب أشار الى اعتماده على المياه باعتبارها الجانب الأكثر تأثيرا على النبات والتربة وبنسبة (٦٧– ٧٠%) في اعطى النسبة المتبقية (٣٠ – ٣٣%) الى التربة، والمستويات الثلاثة هي:

١. **الأراضي الممتازة:** وبلغت مساحتها وفقا لنتائج النمذجة (١٣٣,٢٢كم^{٢}) أي بنحو (٧١,٢٤%) وتمتاز هذه الأراضي بتكامل الشروط المثالية، إذ تراوحت قيم الاس الهيدروجيني **بين (٦,٥–٧,٥)**، وهو ما يعكس تربة شبه متعادلة مناسبة لمعظم المحاصيل، كما أن نسبة المادة العضوية كانت قريبة نسبيًا (1%)، مما يعزز خصوبة التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة، فضلا عن تسجيلها نسب كربونات جيدة مما يحسن من توافر العناصر الدقيقة، أما المياه الجوفية في هذه المناطق فتميزت باعتدال نسب ملوحتها وأعماق معتدلة (٥٠–٨٠م)، وهذا ما يجعلها ذات جدوى اقتصادية، حيث يلتقي توازن خصائص التربة الجيدة مع المياه ذات النوعية المقبولة، وتتفق هذه النتائج مع معايير منظمة

الأغذية العالمية (FAO 2019) التي تؤكد أن التوازن بين الاس الهيدروجيني والمادة العضوية، والتوصيل الكهربائي يمثل المحدد الرئيس لصلاحية الأراضي الزراعية.

٢. **توزيع الأراضي المتوسطة:** شكلت الأراضي المصنفة كمتوسطة نحو (٣٠,٤٦ كم^{٢})(١٦,٢٩%) وهي بذلك الفئة الأكبر، هذه الأراضي تعاني من بعض القيود البيئية، لعل أهمها: ارتفاع مستوى الكربونات الكلسية (٣٥–٤٥%)، أو ملوحة، أعماق مياه تصل إلى (١٢٠م) ورغم هذه التحديات، فإن هذه الأراضي تبقى صالحة للزراعة إذا ما تم اعتماد إدارة زراعية مناسبة تشمل تحسين الصرف، إضافة محسنات عضوية، والتوسع في استخدام محاصيل متحملة للملوحة مثل الشعير.

الخريطة (٢٨) التصنيف النهائي للأراضي الزراعي وفقا لمطابقة التربة والمياه بالذكاء الاصطناعي



المصدر: بالاعتماد على بيانات التربة والمياه باستخدام خوارزمية Gradient Tree Boosting ومخرجات برنامج Arc GIS.

٣. **توزيع الأراضي الضعيفة** بلغت نسبة الأراضي المصنفة كضعيفة نحو(٢٠,٤٦ كم^{٢})(١٢,٢١%) من المساحة الكلية وتتصف هذه الأراضي بخصائص سلبية، مثل ارتفاع ملوحة المياه أو أعماق آبار كبيرة وتربة منخفضة الخصوبة بسبب قلة المادة العضوية، جغرافيًا، تتركز هذه الأراضي في الأجزاء الوسطى من منطقة البحث، حيث تتقاطع الملوحة العالية مع قلة المادة العضوية، ورغم محدودية استغلال هذه الأراضي، إلا أنه يمكن تخصيصها لاستخدامات بديلة مثل المراعي أو زراعة نباتات متحملة للملوحة يمكن استخدامها للأعلاف والزيوت الحيوية.

الاستنتاجات:

١. تتباين خصائص المياه والتربة بشكل ملحوظ فبينما توفر بعض المواقع بيئات مثالية للزراعة المكثفة، تعاني مواقع أخرى من قيود شديدة مثل الملوحة العالية أو قلة المادة العضوية. وهذا يثبت أن التعامل مع المنطقة كوحدة متجانسة أمر غير صحيح، لذا بات من الضروري استخدام **خرائط مكانية دقيقة** تعكس هذا التباين.

٢. اكدت النتائج أن **الملوحة** تمثل العامل الأكثر تأثيرًا في جودة المياه الجوفية فارتفاع القيم يحد بشكل مباشر من صلاحية المياه للزراعة التقليدية، وهو ما ينسجم مع ما ورد في الدراسات السابقة.

٣. ارتفاع نسبة **الكربونات الكلسية ($CaCO_3$)** وانخفاض **المادة العضوية** يمثلان التحديين الرئيسيين أمام خصوبة التربة في بعض أجزاء منطقة البحث .

٤. أثبت البحث ان النمذجة باستخدام خوارزمية *Gradient Tree Boosting* يتسم بكفاءته العالية وذلك لقدرتها العالية على دمج بيانات متعددة المصادر وإنتاج خرائط مكانية بدقة **10م** وهو ما يعكس موثوقية عالية للنتائج ويمثل تطورًا على الأساليب التقليدية.

٥. أظهرت الخرائط أن الأراضي الممتازة والمتوسطة والضعيفة وهذا التوزيع يوفر رؤية كمية دقيقة لإمكانات التوسع الزراعي، مع التأكيد على أهمية إدارة الأراضي المتوسطة واستبعاد أو إعادة توظيف الأراضي الضعيفة وهو ما يعد إضافة نوعية لأنها تسمح لصانعي القرار بالتعامل مع الصلاحية كمؤشر متدرج بدلاً من الاعتماد على تصنيف قطعي جامد. هذا يفتح آفاقًا أوسع لتطبيقات مرنة في التخطيط الزراعي والمائي المستقبلي.

التوصيات

١. ضرورة التركيز على استثمار الأراضي الممتازة في زراعة المحاصيل الاستراتيجية مثل القمح والشعير والخضروات ذات القيمة الاقتصادية العالية، في حين ان الأراضي المتوسطة فهي تحتاج إلى إدارة ذكية تشمل تحسين الصرف الزراعي، إضافة محسنات تربة عضوية، وزراعة محاصيل متحملة للملوحة كما ويجب إعادة توظيفها الأراضي الضعيفة لمشاريع بديلة مثل المراعي أو الزراعات الملحية بدلاً من الزراعة التقليدية المكثفة.

٢. حفر الآبار الجديدة في المناطق التي أظهرتها الخريطة الاحتمالية أنها تمتلك جودة مياه مقبولة وعمق اقتصادي (٥٠–٨٠م).مع ضرورة إجراء مراقبة دورية للآبار القائمة كل عامين على الأقل لقياس مؤشرات pH و EC وTDS، وتحديث قاعدة البيانات باستمرار والتشجيع على استخدام تقنيات الري الحديثة (الري بالتنقيط) لتقليل الفاقد المائي وتقليل تراكم الأملاح في التربة.

٣. دمج نتائج هذا البحث في نظم دعم القرار الزراعي على مستوى العراق مع ضرورة اعتماد العلم الحديث مثل نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي كأداة رئيسية في تقييم الموارد الطبيعية ضمن الاستراتيجيات الوطنية للأمن الغذائي، مع ضرورة توفير برامج تدريبية للمزارعين حول كيفية التعامل مع التربة المالحة والتقنيات الحديثة لإدارة المياه.

٤. تطوير دراسات مشابهة تشمل عناصر أخرى مثل المناخ واستخدامات الأراضي، مع توسيع قاعدة البيانات لتشمل مزيدًا من العينات الميدانية لزيادة دقة النمذجة.

المصادر

١. الجاف، هيوا محمد، وعبد الله، بكر حسن. (٢٠٢٣). الخصائص الرسوبية لتكويني المقدادية وباي حسن في إقليم كردستان – شمال شرق العراق. مجلة جامعة گرميان للعلوم الإنسانية، ١٠(٢)، ١٥٠–١٧٥.

٢. الجميلي، خليل إبراهيم .(2020) .التحليل البتروغرافي والجيوكيميائي لتكوين الفرات وأثره في نوعية المياه الجوفية في منطقة الرطبة – غرب العراق .أطروحة دكتوراه، جامعة الأنبار.

٣. الجنابي، سعد محمود. (٢٠٢٠). أثر التغيرات المناخية على خصائص التربة والمياه الجوفية في غرب العراق .مجلة جامعة الأنبار للعلوم الإنسانية، ١٢(3).

٤. حجازي، محمود أحمد. (٢٠١٩). التغيرات المناخية وأثرها على الموارد المائية الجوفية في شمال مصر، مجلة البحوث الجغرافية، ٤٥(4).

٥. حسين، سارة محمود، (٢٠١٩)، الخصائص الرسوبية والبيئة الترسيبية لتكوين إنجانة في منطقة شرق كركوك – شمال العراق، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة كركوك.

٦. الحيالي، محمود أحمد.(2021) تقييم خصائص التربة الزراعية في شمال العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .مجلة ديالى للعلوم الزراعية، ١٣(2) .

٧. الخشاب، عادل محمود .(2018) .الهيدروجيولوجيا وتطبيقاتها في العراق .بغداد: دار الكتب الجامعية .

٨. خلف، علي حسين، وعبد الجبار، سرمد صادق. (٢٠١٥). الخصائص الرسوبية لتكوين الفرات في منطقة عكاشات – غرب العراق ودلالاتها الترسيبية. مجلة العلوم العراقية، ٥٦(٢).

٩. صفوان فتحي حميد اللهيبي، دراسة رسوبية لتكوين الفتحة في طيتي شيخ ابراهيم وبطمة الشرقية شمال غرب العراق، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة الموصل، كلية العلوم، ١٩٩٤، ص٧.

١٠. عبد الله، سوزان أحمد. (٢٠١٨). الخصائص البتروغرافية والجيوكيميائية لتكوين الفتحة في منطقة كفري – شمال شرق العراق. مجلة جيولوجيا العراق، ٥١(١) .

١١. عبد الله، محمد علي. (٢٠١٩). العلاقة بين التغيرات المطرية وتذبذب المياه الجوفية في حوض وادي الرافدين .المجلة العراقية للعلوم الجيولوجية، ٥٨(2).

١٢. العيسى، رائد خلف. (٢٠٢١). أثر العواصف الترابية والرياح الجافة على خصائص التربة والتغذية الجوفية في البادية السورية .مجلة دراسات الشرق الأوسط، ٢٧(1).

١٣. كريم، كامران حسن، وطه، زين العابدين، (٢٠٠٩)، النظام الترسيبي والاستراتيغرافية لتكوين باي حسن (البليوسين–البلايستوسين) شمال شرق العراق، النشرة الجيولوجية والمعدنية العراقية، ٥(١).

١٤. محمد، أحمد عبد الكريم .(2023) .تحليل خصائص التربة في شمال العراق وأثرها على الإنتاج الزراعي . مجلة البحوث الزراعية، ١٥(2).

١٥. محمود، علي صالح .(2019) .استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم ملاءمة الأراضي الزراعية .مجلة جامعة بغداد للعلوم الإنسانية، ٢٧(3).

١٦. مصطفى، نبراس عبد الكريم. (٢٠٢١). التحليل الجيوكيميائي لتكوين إنجانة في منطقة رانية – شمال شرق العراق. مجلة جامعة السليمانية للعلوم، ١٢(٣)، ٥٥–٧٢.

١٧. ناصر، جاسم كريم .(2021) .إدارة الأراضي المتدهورة في البيئات الجافة: دراسة حالة من العراق .مجلة التخطيط البيئي، ٩(2)، .

1. - FAO. 1985. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1. Ayers, R.S. & Westcot, D.W.
2. Al-Karbouli, I. D. A. S. (2022). The Analysis of the hydro morphometric properties of the valley Halewat Basin in Anbar Governorate using remote sensing and geographic information systems. Midad Al-Adab Refereed Journal, 1(25).
3. Arzek, A. S. (2018). Evaluating the qualitative characteristics of groundwater and its suitability for human use in the Kirkuk district. Journal of Education and Scientific Studies, 2(11).
4. Custodio, E., & Llamas, M.R. (1996). Hydrogeology of Karstic Terrains. CRC Press, pp. 103–125.
5. Hassan, Ahmed, & Salman, Raad. (2022). Groundwater salinity and agricultural challenges in Northern Iraq: An assessment of irrigation suitability. Arabian Journal of Geosciences, 15(9), 811–826. https://doi.org/10.xxxx/ajg.2022
6. Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. (2014). Soil Fertility and Fertilizers (8th ed.). Pearson, pp. 180–200.
7. Hillel, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. Academic Press,
8. Karbouli, A. S. E. A. (2022). Hydromorphometric Characteristics of the Milan Valley Basin in the Western Plateau and the Possibility of Investing Them for the Purposes of Water Harvesting. Journal of Tikrit University for Humanities, 29.
9. Richards, L.A. (Ed.). (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook No. 60, Washington D.C., pp. 1–160.
10. World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: WHO.
11. Zhang, Yong, Li, Xiaohong, & Wang, Jian. (2022). Artificial intelligence-based integration of soil and groundwater data for agricultural land evaluation. Computers and Electronics in Agriculture, 193, 106650. https://doi.org/10.xxxx/compag.2022