



المجلة الجغرافية العربية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

إدارة جودة المياه الجوفية وتقييم صلاحيتها للري والشرب في حوض وادي النعمان (المملكة العربية السعودية)

د. هناء رفعت يوسف

مدرس الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب - جامعة أسيوط

د. سحر نور الدين توفيق

مدرس الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب - جامعة الأسكندرية



كافة حقوق النشر محفوظة للجمعية الجغرافية المصرية
وجميع الآراء الواردة في بحوث هذه السلسلة تعبر عن آراء
أصحابها ولا تعبر بالضرورة عن وجهات نظر الجمعية الجغرافية المصرية

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ١١١٠ - ١٩١١

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٦٨٢ - ٤٧٩٥

الموقع على شبكة الانترنت: www.egyptiangs.com

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of it may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from The Egyptian Geographical Society.

قواعد النشر

تهدف هذه السلسلة إلى نشر البحوث الجغرافية الأصلية التي يقوم بها الجغرافيون المصريون المتخصصون، بهدف تعريف المؤسسات العلمية العالمية والعربية بالنشاط العلمي الذي تتبناه وتتوفر عليه الجمعية الجغرافية المصرية.

وتقوم بحوث هذه السلسلة "على الدراسات الجغرافية الميدانية، وعلى البحوث التي تهتم بطرح رؤى جديدة في مناهج البحث الجغرافي وأساليبه، كما تعنى بالبحوث النفعية في مختلف مجالات الجغرافيا التطبيقية، وهو ما يتيح للجغرافيين العرب والأجانب الإطلاع على ما تقوم به الجمعية الجغرافية المصرية التي تعد أقدم الجمعيات الجغرافية في العالم العربي، كما تعد رائدة في إجراء البحوث والدراسات الجغرافية الجادة والأصلية.

وقد تتضمن بحوث هذه "السلسلة" ملخصات مكثفة لرسائل الماجستير والدكتوراة المجازة في الجامعات المصرية والعربية وغيرها.

ويشترط في البحوث التي تنشر ضمن هذه السلسلة مراعاة القواعد التالية:

- تقبل للنشر في هذه السلسلة البحوث التي تتسم بالأصالة وتسهم في تقدم المعرفة الجغرافية.
- يقدم مع البحوث المكتوبة باللغة العربية ملخص (Abstract) باللغة الإنجليزية. كما يقدم مع البحوث المكتوبة بلغة أجنبية ملخص باللغة العربية.
- لا يزيد البحث عن ١٥٠ صفحة، ويجوز لمجلس الإدارة استثناء البحوث الممتازة من هذا الشرط.
- يشترط ألا يكون العمل المقدم قد سبق نشره أو قدم للنشر في أية جهة أخرى.
- يقدم البحث في صورته الأخيرة المقبولة للنشر من ثلاث نسخ مرفقاً به اسطوانة ليزر (CD) مستخدماً إحدى برمجيات معالجة النصوص مع نظام ويندوز المتوافق مع IBM، على أن تكون الكتابة بينط ١٤ ومسافة ١ بين الأسطر، وتقدم الخرائط والصور والأشكال مستقلة محفوظة في صورة JPEG أو Tiff و Resolution ٢٠٠ فأكثر.
- يفضل أن تقدم الخرائط والأشكال البيانية بالألوان بحيث لا تتجاوز مساحتها (١٢ سم عرض × ١٨ سم طول)، وإن تعذر ذلك تقدم بالأبيض والأسود وفق القواعد الكارتوجرافية.
- يكتب الباحث اسمه واسم البحث في ورقة منفصلة ويكتفى بكتابة عنوان البحث فقط على رأس البحث مراعاة لسرية التحكيم.
- يعرض البحث على اثنين من المحكمين من كبار الأساتذة في مجال التخصص، وفي حالة اختلاف رأى المحكمين، يرسل البحث إلى محكم ثالث، مرجح، وبناء على تقاريرهم يمكن قبول البحث للنشر أو إعادته للباحث لإجراء التعديلات أو التصويبات الضرورية قبل نشره.
- البحوث التي تقدم للنشر لا ترد إلى مقدميها سواء نشرت أو لم تنشر.
- تحتفظ الجمعية بحقوق النشر كاملة.
- يسلم للباحث ١٠ نسخ من بحثه بعد نشره، وإذا أراد نسخاً إضافية يسدد ثمنها طبقاً

هيئة تحرير المجلة

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة المجلة
أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل	نائب رئيس مجلس إدارة المجلة ورئيس التحرير
أ.د. مصطفى محمد البغدادى	مدير التحرير
أ.م. د. محمد إبراهيم خطاب	محرر تنفيذي
أ.م. د. كامل مصطفى كامل	محرر تنفيذي
د. محمد ربيع عبد الظاهر	محرر تنفيذي
د. رشا حسين رمضان	محرر تنفيذي
د. بشير الشوربجي	مدقق لغوي

مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد الله علام عبده علام	نائب رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل	أمين عام الجمعية
أ.د. مسعد السيد أحمد بحيري	أمين صندوق الجمعية
أ.د. فتحي محمد أبو عيانة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد حسن إبراهيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد السيد الزامل	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. شحاتة سيد أحمد طلبة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. مصطفى محمد البغدادى	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد العظيم أحمد عبد العظيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عمر محمد علي محمد	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. سامح إبراهيم عبد الوهاب	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عادل عبد المنعم السعدني	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عطية محمود الطنطاوي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عيبر إبراهيم عبد الله	عضو مجلس إدارة الجمعية

الهيئة الاستشارية

- أ.د. عبد الله يوسف الغنيم
أ.د. نبيل سيد امباي
أ.د. فتحي عبد العزيز أبو راضي
أ.د. فاروق كامل عز الدين
أ.د. سعيد محمد عبده
أ.د. محمد عبد الرحمن الشرنوبي
أ.د. السعيد إبراهيم البدوي
أ.د. جودة فتحي التركماني
أ.د. كريم مصلح صالح
أ.د. محمد نور الدين السبعوي
أ.د. عزة أحمد عبد الله
أ.د. مسعد سلامة مندور
أ.د. إبراهيم محمد علي بدوي
أ.د. إبراهيم علي عبد الهادي غانم
أ.د. محمد فوزي عطا
أ.د. ايمني محمد حلمي حمادة
أ.م. د. علي الدوسري
- أ.د. عبد الله يوسف الغنيم
أ.د. نبيل سيد امباي
أ.د. فتحي عبد العزيز أبو راضي
أ.د. فاروق كامل عز الدين
أ.د. سعيد محمد عبده
أ.د. محمد عبد الرحمن الشرنوبي
أ.د. السعيد إبراهيم البدوي
أ.د. جودة فتحي التركماني
أ.د. كريم مصلح صالح
أ.د. محمد نور الدين السبعوي
أ.د. عزة أحمد عبد الله
أ.د. مسعد سلامة مندور
أ.د. إبراهيم محمد علي بدوي
أ.د. إبراهيم علي عبد الهادي غانم
أ.د. محمد فوزي عطا
أ.د. ايمني محمد حلمي حمادة
أ.م. د. علي الدوسري
- أستاذ الجغرافيا الطبيعية بمركز البحوث والدراسات الكويتية
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة عين شمس
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الاسكندرية
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الزقازيق
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية البنات جامعة عين شمس
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الفيوم
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الدراسات الأفريقية العليا جامعة القاهرة
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة القاهرة
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة سوهاج
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنيا
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بنها
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنصورة
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة دمياط
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة طنطا
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بني سويف
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنوفية
أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا - جامعة الملك سعود - السعودية
National & Kapodistrian University of Athens Faculty
of Geology and Geoenvironment, Greece
- Dr. Niki Evelpidou

فهرس المحتويات

م		
١	المستخلص العربي	
٢	مقدمة	
٢	الموقع الفلكي والجغرافي لمنطقة الدراسة	
٣	أهمية الدراسة	
٣	مشكلة الدراسة	
٣	أهداف الدراسة	
٣	الدراسات السابقة	
٥	المناهج والأساليب العلمية	
١٠	المعطيات المكانية للدراسة	
١٠	أولاً: الخصائص الطبيعية لحوض وادى النعمان	
١٠	١. الارتفاعات الرقمية	
١٠	٢. انحدارات منطقة الدراسة	
١٢	٣. الخصائص الجيولوجية والهيدروولوجية لحوض الدراسة	
١٤	٤. استخدامات الأرض بحوض الدراسة	
١٧	ثانياً: الخصائص الهيدروليكية للآبار الجوفية بمنطقة الدراسة	
١٧	١. أعماق الآبار Ground water levels	
٢٠	٢. معدلات السحب اليومي	
٢١	ثالثاً: المناقشة والنتائج	
٢١	١. صلاحية استخدام المياه الجوفية للري	
٢٨	٢. تقييم صلاحية المياه الجوفية للشرب بمنطقة الدراسة	
٣١	الخاتمة	
٣١	النتائج	
٣٢	التوصيات	
٣٣	قائمة المصادر والمراجع	
٣٦	الملخص باللغة الإنجليزية	

فهرس الأشكال

م	العنوان	ص
١	موقع منطقة الدراسة	٢
٢	بناء نموذج مكانى لتحديد ملائمة المياه الجوفية للري بمنطقة الدراسة	٧
٣	نموذج الارتفاع الرقمي لحوض الدراسة	١١
٤	الانحدارات لحوض الدراسة	١١
٥	التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة	١٢
٦	رتب المجاري لشبكة التصريف السطحي بمنطقة الدراسة	١٣
٧	متوسط كمية الأمطار بمنطقة الدراسة في الفترة بين (١٩٩٧-٢٠٢٢م)	١٤
٨	استخدامات الأرض بمنطقة الدراسة	١٥
٩	أعماق المياه الجوفية بالأحواض الفرعية لحوض الدراسة	١٩
١٠	معدلات السحب اليومي للمياه الجوفية م٣/يوم بالأحواض الفرعية لحوض الدراسة	٢٠
١١	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لدرجة التوصيل الكهربائي بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٢٢
١٢	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى عنصر الكلور بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٢٣
١٣	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لنسبة امتصاص الصوديوم SAR بالمياه الجوفية	٢٤
١٤	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى البيكربونات بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٢٦
١٥	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى الصوديوم بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٢٦
١٦	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى نترات الصوديوم بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٢٧
١٧	صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لنموذج IWQI بمنطقة الدراسة	٢٧
١٨	محتوى المواد الصلبة بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٣٠

١٩	درجة Ph للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٣٠
٢٠	محتوى عنصر الكالسيوم بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٣٠
٢١	محتوى الكلور بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة	٣٠
٢٢	صلاحية المياه الجوفية للشرب البشرى تبعاً لمنظمة الصحة العالمية WHO	٣١

فهرس الصور

م	العنوان	ص
١	مقطع طولى لطريق الهدا- الطائف	١٣
٢	المنابع العليا لوادي يعرج	١٣
٣	زراعة الخضروات بوادي النعمان	١٥
٤	زراعة الزيتون بوادي النعمان	١٥
٥	أحد المزارع بالمصاطب الرسوبية لوادي النعمان	١٦
٦	زراعات الشعير بوادي المجريش	١٦
٧	مسقط مائي أثناء حدوث الأمطار بوادي النعمان	١٦
٨	أحد المزارع بحوض المجريش	١٦
٩	التجمع العمراني بقرية عرعر وردة النعمان	١٦
١٠	أحد الآبار بقرية شعب سمار أم الراكة	١٨
١١	أحد المزارع بوادي المجريش	٢٤
١٢	أحد المزارع بالمصاطب الرسوبية لوادي المجريش	٢٥

فهرس الجداول

م	العنوان	ص
١	المعادلات المستخدمة في حساب الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية	٦
٢	الأوزان النسبية لمعايير جودة المياه للرى IWQI	٩٨
٣	معايير جودة المياه للشرب تبعاً لمنظمة الصحة العالمية	٩
٤	حدود جودة المياه للشرب حسب منظمة الصحة العالمية	٩
٥	توزيع مساحة القرى بحوض وادي النعمان	١٧

١٩	الخصائص الإحصائية لأعماق المياه الجوفية بالأحواض الفرعية لحوض الدراسة (متر)	٦
٢٠	الخصائص الإحصائية للسحب اليومي للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة متر مكعب/يوم	٧
٢١	حدود صلاحية المياه لأغراض الري	٨
٢٥	الخصائص الإحصائية للعناصر الكيميائية لمياه الآبار الجوفية لغرض الري	٩
٢٩	الخصائص الإحصائية لقيم معايير جودة مياه الشرب بمنطقة الدراسة	١٠

المستخلص العربي:

تناولت الدراسة فحص نوعية المياه الجوفية في منطقة حوض وادي النعمان بجنوب شرق مكة المكرمة، ومدى صلاحيتها للشرب والري وتأثيرها على الزراعة، وكذلك فحص كميات المياه المستهلكة يوميًا ومتابعة المخزون الجوفي للمياه للحفاظ عليه كمورد متجدد، استخدمت الدراسة المؤشرات العالمية لجودة المياه (I/D/WQI) والنمذجة المكانية والتحليلات الجيوإحصائية، وتم اختبار ٨١ بئرًا في المنطقة، تشمل مجموعة متنوعة من العناصر الكيميائية، وبناءً على نتائج مؤشر جودة مياه الشرب (DWQI)، تبين أن ٤٧٪ من الآبار صالحة للشرب؛ بينما ٤٢٪ منها ضمن فئة التقييد المتوسط، و ١٠٪ غير صالحة للاستهلاك. وفيما يتعلق بتقييم جودة المياه للري (IWQI)، فإن ٢٤٪ من الآبار تقع ضمن الحدود المسموح بها للري، و ٢٨٪ معتدلة إلى دون قيود، بينما ١١٪ لديها قيود مرتفعة، وتبين أيضاً أن الآبار الجيدة تتركز في أحواض (المجاريش، علق، رهجان)، في حين أن الآبار ذات القيود الكبيرة توجد في أحواض (تيفتقان وعُرعُر)، مع ذلك، تتحسن نوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة بزيادة الأمطار، مما يُساهم في تجديد وإعادة تغذية الخزان الجوفي. كما أظهرت النتائج أن أقصى عمق للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة يبلغ ٦٩,٨٠ متر في وادي تنعامة، وكذلك سُجلت أعلى معدلات لسحب المياه من الآبار في المناطق العمرانية، حيث تراوحت بين ٣١٩,١٤ م/يوم في قرى قرن النعمان و ٥٩٤,١٥ م/يوم في قرى الرهبانية، وأوضحت الدراسة أن دمج الخصائص الطبيعية والكيميائية ومؤشرات جودة المياه مع التحليل الجيوإحصائي ونظم المعلومات الجغرافية يعتبر أسلوبًا ناجحًا لتقييم جودة المياه الجوفية في منطقة الدراسة والمناطق المماثلة.

الكلمات المفتاحية:

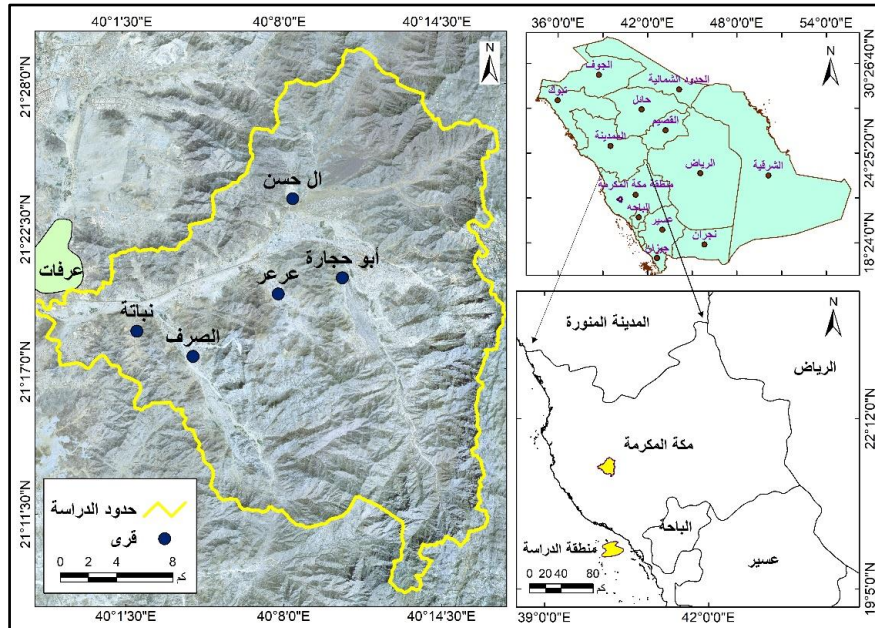
حوض وادي النعمان- مؤشر جودة المياه للشرب - مؤشر جودة المياه للري- النمذجة المكانية.

مقدمة:

دورة المياه ضرورية لبقاء الحياة على كوكبنا، لكن مشاكل المياه وجودتها تشكل عوائق كبيرة في عدة دول (Taloor, et al. 2020)، خصوصًا في المناطق الجافة وشبه الجافة التي يعاني سكانها من قلة المياه؛ وبالرغم من ذلك، لم يُعطِ اهتمام كافٍ لانتزاف المفرط للمياه الجوفية، مما يتسبب في انخفاض منسوب المياه الجوفية وتدهورها؛ ولهذا، تم اختيار حوض وادي النعمان لدراسة تأثير الاستهلاك البشري واستخدامات الأراضي على نوعية المياه الجوفية، وتعاني هذه المياه من الخطر بسبب الاستخدام الزائد، الأمر الذي يتطلب تقييم جودة المياه باستخدام معايير متنوعة متعددة، وتُعد منطقة شرق مكة المكرمة، وتحديدًا حوض وادي النعمان، من المناطق الحيوية والأساسية، فهي قريبة من مشعر عرفات الذي يضم الملايين من الحجاج كل عام، إضافةً إلى الطرق الرئيسية والمؤسسات التعليمية مثل جامعة أم القرى وحي العوالي والحسينية.

الموقع الفلكي والجغرافي لمنطقة الدراسة:

يقع حوض وادي النعمان في المنطقة الغربية للمملكة العربية السعودية، بين مرتفعات الهدا شرقًا، وشاطئ البحر الأحمر غربًا، ويحده شمالًا وادي البجدي، والقمم الجبلية لمنايع وادي ملكان من جهة الجنوب والجنوب الشرقي، ويبعد حوض النعمان حوالي ٢٣ كم جنوب شرق مدينة مكة المكرمة، وتبلغ مساحته نحو ٧٤٠,١ كم^٢، ويمتد فلكيًا بين درجتي عرض ١٦,٤٧° و ٢١°٢٩' و ٢٨,٧° و ٢١°٨' شمالًا، وخطي طول ٣٥,٤° و ٣٩°٥٧' و ٤٠°١٦' شرقًا - شكل (١).



المصدر: صور جوجل إيرث وأداة التحليل الهيدرولوجي باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

أهمية الدراسة:

تُعد منطقة حوض وادي النعمان ذات قيمة هيدرولوجية كبيرة، فهي تلعب دوراً رئيسياً كمورد للزراعة والمياه في منطقة مكة المكرمة، وهي أيضاً توسع حضري لمدينة مكة المكرمة، حيث تحولت مؤخراً إلى مناطق سكنية جديدة، كما تكمن أهمية الدراسة في ضرورة الاهتمام بنوعية المياه الجوفية، التي تُعتبر ضرورية للشرب والزراعة والاستخدام السكني، مع ضرورة مراقبة المياه الجوفية لتلبية الاحتياجات المتزايدة من حيث الكمية والنوعية، بالإضافة إلى ذلك، تُبرز الدراسة أهمية الاستفادة من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والإحصاء المكاني لتقييم جودة المياه الجوفية، وفهم العوامل المؤثرة فيها.

مشكلة الدراسة:

يعتمد سكان النعمان والمناطق المجاورة على المياه الجوفية كمصدر رئيسي للشرب والزراعة، لكن البيانات تشير إلى أن تجدد المياه الجوفية أقل بكثير من الاستهلاك، مما أثر على جودة المياه وانخفاض منسوبها، وهذا الأمر يؤثر سلباً على الاستخدامات المنزلية والزراعية؛ لذلك، تحتاج المنطقة إلى نظام لإدارة ومراقبة نوعية المياه، مع ضرورة تطبيق إجراءات مثل تحديد أنواع المحاصيل الزراعية وأساليب الري والمساحات المزروعة للحفاظ على الموارد المائية واستدامتها.

أهداف الدراسة:

تتعدد أهداف الدراسة الحالية، ويأتي في مقدمتها:

١. تحويل بيانات خصائص المياه الجوفية إلى خرائط رقمية لتوضيح جودة المياه وتنوعها.
٢. تقييم درجة الاعتماد على معايير جودة مياه الشرب والري (I/D/WQI) في منطقة الدراسة.
٣. مراقبة جودة المياه الجوفية وتحديد صلاحيتها للاستخدامات المختلفة وفقاً للمعايير الدولية.
٤. متابعة مستوى الماء في الآبار وعمليات الاستخراج اليومي للمياه من الاحتياطي الجوفي.
٥. تحديد المواقع الحرجة في المناطق العمرانية المتعلقة بعمليات استهلاك المياه الجوفية.

الدراسات السابقة:

تعتبر المياه مورداً حيوياً ذو أهمية اقتصادية واستراتيجية وصحية، مما دفع الباحثين إلى تقييم جودتها على المستويين الإقليمي والعالمي، وفيما يلي عرضاً لبعض الدراسات المتعلقة بهذا الموضوع:

- دراسة (حميد، رقية مرشد ، ٢٠١٢م) واهتمت بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية لتحديد جودة مياه الآبار في محافظة المقدادية بالعراق للاستخدام البشري، مع دراسة خصائصها والمركبات الثقيلة مثل

الكادميوم والرصاص، وأظهرت النتائج أن معدل الأس الهيدروجيني في مياه الآبار بالمقدادية ضمن المعايير الدولية.

- دراسة (Ketata et al., 2012) وتناولت تقييم جودة المياه الجوفية في طبقة المياه العميقة بمنطقة الخيرات في تونس ومدى ملاءمتها للشرب، واعتمدت الدراسة على نظم المعلومات الجغرافية ومؤشر جودة المياه (WQI)، مع الأخذ في الاعتبار معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) للصحة العامة، بهدف معرفة خصائص المياه الجوفية الحالية بناءً على التقييم العام للحوض، وتبين أن أغلب الخصائص التي تم فحصها تعدت الحدود المسموح بها لمنظمة الصحة العالمية.
- دراسة (Sharaf, M. A. M, 2013): وتناولت خصائص العناصر الضئيلة والنادرة في المياه الجوفية بوادي النعمان، جنوب مكة المكرمة، في المملكة العربية السعودية، شملت الدراسة الزرنخ، الموليبدنوم، الزنك، الفوسفور، الرصاص، الكوبالت، الكادميوم، النيكل، الباريوم، والمغنسيوم، وأظهرت النتائج الفروقات بين هذه العناصر، كما أوضحت أن المياه الجوفية تتواجد أساساً في تكوينات الزمن الرباعي.
- دراسة (Gitau et al., 2016) تقدم هذه الدراسة نظرة عامة تعتمد على الدراسات السابقة حول قدرة مؤشرات جودة المياه على المساعدة في اتخاذ القرارات والإدارة، وتُظهر الرسوم التوضيحية بالدراسة، معلومات ومقارنات إضافية توضح أهمية مؤشرات جودة المياه ومدى الاعتماد عليها.
- دراسة (Sutadian et al., 2016) ناقشت هذه الدراسة تقييم المعايير المستخدمة لجودة مياه الأنهار، وذلك عبر أربع خطوات أساسية، تشمل: تحديد المقاييس، ثم إعداد مقاييس فرعية، وتحديد الأهمية النسبية للمقاييس، تلي ذلك تجميع البيانات للوصول إلى قيمة المؤشر النهائية، ومن بين ثلاثين مؤشراً تمت دراستها، تم تحديد ٧ مؤشرات كأكثرها أهمية، بناءً على تعدد استخدامها، وتمت مناقشتها بالتفصيل، واتضح أن أحد العوامل المؤثرة هو الدعم الحكومي لهذه المقاييس لتصبح أداة أساسية لتقييم مياه الأنهار.
- دراسة (محمد، صفاء جاسم وآخرون، عام ٢٠١٩م) تهدف هذه الدراسة إلى محاكاة خصائص لمياه الآبار في محافظة المثنى "العراق"، لتحديد مدى ملاءمتها للاستخدامات البشرية المتنوعة، مع الأخذ في الاعتبار المعايير والمواصفات العراقية، تم تبويب البيانات وتصميمها خرائطياً باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، بما في ذلك برنامج (ArcGIS 10.3)، وذلك عن طريق استعمال أدوات الاستكمال المكاني (spatial interpolation) بأسلوب (IDW).
- دراسة (Pak et al., 2021) تناولت استخدام مقاييس جودة المياه لتقييم مياه حوض نهر جوهور للشرب بمقاطعة جوهور وهي من ولاية ماليزية مكتظة بالسكان، وتوصلت الدراسة إلى نتائج يُمكن من خلالها رفع مستوى جودة مياه الشرب.

- دراسة (Wator and Zdechlik, 2021) تم فيها تحديد تأثير تصريف مياه المصانع على نوعية مياه الأنهار، بالأخص على الحياة السمكية، اعتمدت الدراسة على منطقة بودهال Podhale في جنوب بولندا كمثال. إضافة إلى ذلك، جرى تقييم التغيرات في الخصائص الكيميائية لمياه الأنهار، بالاعتماد على المعطيات الإحصائية وعلاقتها بجريان الأنهار، نتيجة لتصريف المياه الحرارية المستعملة.
- دراسة (Dimri et al., 2021) هدفت إلى تصميم نظام رصد فعال ومنظم للحفاظ على جودة مياه الأنهار الهامة، مثل نهر الجانج، ركز الدراسة تحديداً على حوض نهر الجانج العلوي في جبال الهيمالايا، والذي يمتد لمسافة تقارب ٢٩٤ كيلومتراً من جانجوتري إلى هاريديوار في الهند، واستخدمت الدراسة تقنيات إحصائية متنوعة ومؤشرات جودة المياه (WQI) للشرب.
- دراسة (حميدة، ياسمين محمود، ٢٠٢٣م) وتناولت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية لتقييم نوعية المياه الجوفية بمحافظة بنى سويف، وتوصلت الدراسة إلى أن تلوث المياه الجوفية في المنطقة ناجم عن الأنشطة البشرية، مثل الزراعة واستخدام المبيدات بشكل مفرط، وتسرب المياه الملوثة.

المناهج والأساليب العلمية:

اعتمدت الدراسة على بعض المناهج والأساليب العلمية الحديثة، ويأتي في مقدمتها: المنهج التحليلي الاستقرائي ويهدف إلى جمع البيانات والعلاقات المترابطة بطريقة دقيقة، ويتميز بانتقال الباحث فيه من الجزء نحو الكل، أو من الخاص إلى العام، والمنهج الوصفي التحليلي بهدف وصف الظاهرة وحالتها الراهنة من خلال جمع البيانات والمعلومات عنها، كما اعتمدت الدراسة على الأسلوب الإحصائي في حساب المعادلات المستخدمة لتجهيز المعطيات المكانية المدخلة في مؤشرات جودة المياه، والأسلوب التحليلي للمرئيات الفضائية بهدف حصر وتحديد الأراضي الزراعية والتجمعات العمرانية ومواقع الآبار الجوفية، كما استخدم هذا الأسلوب في تقييم جودة المياه من خلال نمذجة مؤشرات جودة المياه سواء للري أو الشرب، وهي كما يلي:

١. مؤشر جودة المياه للري:

يعد مؤشر جودة مياه الري Irrigation of Water Quality Index (IWQI) من المؤشرات المستخدمة في مجال الإنتاج الزراعي (Wilcox et al. 1955)، حيث تؤثر جودة مياه الري والمخاطر المرتبطة بها على خصائص التربة وإنتاجية المحاصيل الزراعية، وتم الاعتماد في تقييم جودة مياه الآبار للاستخدامات الزراعية على مؤشر جودة المياه للري المعتمد من منظمة (FAO)، ويتطلب هذا المؤشر مجموعة كبيرة من البيانات وتضم العديد من معايير جودة المياه، ويهدف هذا المؤشر لتحويل بيانات

جودة المياه المتعددة والمركبة إلى معلومات رقمية تُعبر عن فهم أفضل لنوعية المياه، ولحساب المؤشرات الخاصة بالري في منطقة الدراسة، فإنه تم الأخذ في الاعتبار الحدود الموصى بها للمياه (EPA, 1994a,b)، وقيود الري من حيث الملوحة، والنفذية، كما تم مراعاة الجوانب الزراعية المتعلقة بجودة التربة والذي تشمل (معاملات الرقم الهيدروجيني Ph، التوصيل الكهربائي Ec ونسبة امتصاص الصوديوم SAR) ومؤشرات مراقبة المياه والتي تشمل (إجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS)، البيكربونات (HCO₃)، الكبريتيدات، المنجنيز (Mn) والحديد)، وتبعا لمؤشر جودة المياه للري IWQI المعتمد من منظمة (FAO)، فإنه تم استخدام متغيرات معينة، وهي: التوصيل الكهربائي (EC)، نسبة امتصاص الصوديوم (SAR)، وتركيز أيونات، الصوديوم (Na)، والكلوريد (Cl⁻) والبيكربونات (HCO₃) (Abbasnia et al., 2018)، تبعا لما يلي:

(١-أ) تحديد نسبة امتصاص الصوديوم (SAR):

وهو يستخدم لتقييم مدى ملاءمة المياه لأغراض الري وتحديد المشكلات المرتبطة بنسبة الصوديوم في التربة، مثل التدهور في بنيتها التربة وانخفاض النفذية (Spandana et al., 2016)، وتم حساب معدل SAR من خلال المعادلة (١) بجدول (١).

(١-ب) تحديد نسبة الصوديوم (Na%):

تعتبر نسبة الصوديوم (Na%) من العوامل المهمة التي يمكن استخدامها لتقييم جودة المياه الجوفية ومدى ملاءمتها لأغراض الري (Wilcox, 1955)، وتم حساب نسبة الصوديوم كما في معادلة (٢) بجدول (١).

جدول (١) المعادلات المستخدمة في حساب الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية

رقم المعادلة	المعادلة	اسم المعادلة
1	$SAR = \frac{Na^2}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$	SAR
2	$Na\% = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+)} \times 100$	Na%
3	$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100$	PI
4	$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$	RSC
5	$SSP = [Na^+ / (Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times 100$	SSP

FAO, Water Quality for irrigation and Drainage 1988.

(١-ج) قدرة حركة الماء في التربة (مؤشر النفاذية (The permeability index (PI):

مؤشر PI هو أداة لتقييم ملائمة المياه للري بناءً على تأثيرها على نفاذية التربة. يقيس هذا المؤشر الاستخدام طويل المدى لمياه الري ذات الملوحة العالية من خلال تأثير أيونات مثل Na و Ca_2 و Mg_2 و HCO_3 وغيرها (Singh et al, 2020) - معادلة (٣) جدول (١).

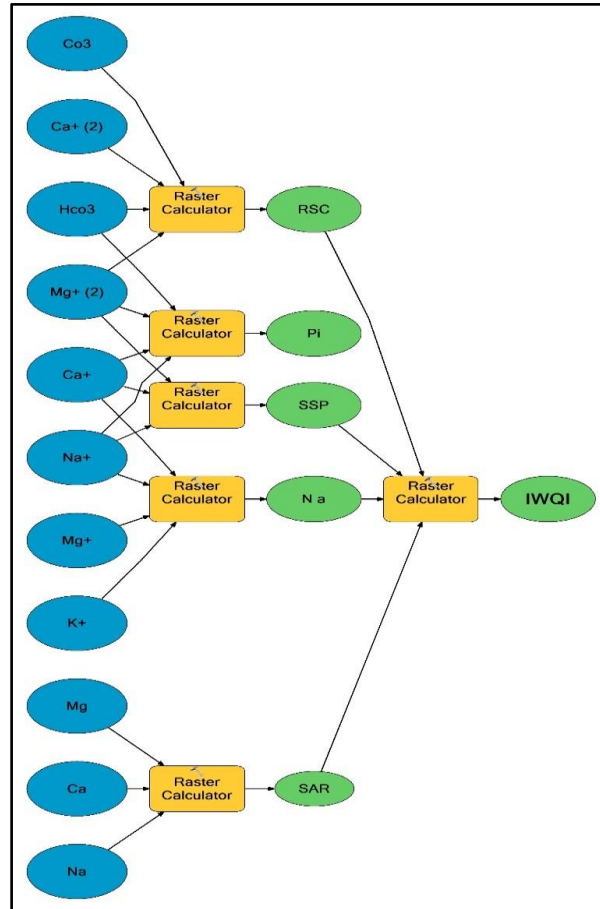
(١-د) كربونات الصوديوم المتبقية (RSC):

وهي خاصية أساسية لتقييم جودة مياه الري، وهي محتوى كربونات وبيكربونات الصوديوم، وتُعتبر المياه غير مناسبة للري إذا كانت قيمة RSC تزيد عن ٢.٥٠ ملي مولك/لتر، وفقاً لتجارب (Wilcox et al., 1955)، وتُستخدم هذه الخاصية، إلى جانب معدل الامتصاص النوعي (SAR)، لتقييم خطر صودية مياه الري، ولتقدير كربونات الصوديوم المتبقية، فإنه تم استخدام المعادلة (٤) بجدول (١).

(١-هـ) نسبة الصوديوم القابلة للذوبان (SSP):

يمكن استخدام هذا المؤشر لتحديد مخاطر الصوديوم في مياه الري، ويتم حسابه وفقاً للمعادلة (٥) بجدول (١)، كما تم تطوير نموذج مكاني يجمع جميع العوامل المؤثرة في حساب مؤشر جودة مياه الري -

شكل (٢).



المصدر/ المعطيات المكانية وأدوات Model Builder باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (٢) يوضح تصميم نموذج مكاني لتقييم صلاحية المياه الجوفية للري في منطقة الدراسة

يعد مؤشر IWQI أداة فعالة لتقييم جودة مياه الري (Adimalla et al., 2020; Falowo, 2017)، حيث يصنف المياه بناءً على تأثيرها على التربة والنباتات. يتضمن التصنيف خمس فئات: الفئة الأولى (٨٥-١٠٠) لا توجد بها قيود، الفئة الثانية (٧٠-٨٥) بها قيود منخفضة، الفئة الثالثة (٥٥-٧٠) قيود معتدلة، الفئة الرابعة (٤٠-٥٥) قيود مرتفعة، والفئة الخامسة (٠-٤٠) قيود شديدة (Abbasnia et al., 2018; Meireles et al., 2010). ولتقييم جودة المياه للري في منطقة الدراسة، تم الأخذ في الاعتبار التباين بين المعايير، مثل التوصيل الكهربائي (qEC)، ونسبة امتصاص الصوديوم (qSAR)، وأيون الصوديوم (qNa)، وعنصر الكلور (qCl)، والبيكربونات (qHCO₃⁻)، حيث يتم تحديد القيم الحدية المقترحة لهذه المتغيرات بناءً على المتطلبات المحددة ومستويات التحمل للري، وتم الحصول على مؤشر جودة المياه للري (qi) من خلال النموذج الرياضي التالي:

$$q_i = q_{max} - \left(\frac{(x_{ij} - x_{inf}) \times q_{imap}}{x_{imap}} \right)$$

المصدر / (Meireles et al., 2010)

حيث:

q_i = معامل الجودة لكل معيار

q_{max} = القيمة العليا للفئة المقابلة

x_{ij} = نقاط العينة اعتماداً على المعايير

x_{inf} = الحدود الدنيا للمعايير

q_{imap} = الحدود العليا للقيم المرصودة

x_{imap} = الحدود الدنيا للقيم المرصودة

تلي ذلك تطبيق النموذج التالي لكل معيار من معايير تقييم جودة المياه للري - جدول (٢) لإنتاج طبقة موزونة تعبر عن جودة المياه للري في منطقة الدراسة.

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i$$

المصدر / (Meireles et al., 2010)

حيث:

q_i = معامل الجودة لكل معيار

W_i = الوزن النسبي لكل معيار حسب جدول (٢)

جدول (٢) الأوزان النسبية لمعايير جودة المياه للري IWQI

المعيار	الوزن (Wi)
التوصيل الكهربائي EC (μS/cm)	0.211
ايون الصوديوم +Na	0.204
حمض الكربونيك HCO ₃ ⁻	0.202
عنصر الكلور ايد -Cl	0.194
نسبة امتصاص الصوديوم SAR	0.189
المجموع	1

المصدر / (Meireles et al., 2010).

جدول (٣) معايير جودة المياه للشرب تبعاً لمنظمة الصحة العالمية

المعيار	أيون الهيدروجين Ph	التوصيل الكهربائي Ec	المغنسيوم Mg	الكالسيوم Ca	الكلورايد Cl	الكبريتات So4	الأملاح الذائبة TDS الكلية	العكورة Turbidity	الحديد Fe	الكاديوموم CD
القيم	8	1.5	50	75	250	250	1000	5	0	0
المعيار	مستويات الرصاص PB في الدم	عنصر النيكل Ni	عنصر النحاس Cu	عنصر المنجنيز Mn	عنصر الزنك Zn	عنصر الزرنيخ As	فلورة المياه fluoride	الأكسجين الذائب Do	القلوية Alk	العسرة Th الكلية
القيم	0.1	0	1.5	0	15	0.05	1.5	5	200	300

FAO, Water Quality for irrigation and Drainage 1988.

وتم تقييم جودة المياه للشرب وفقاً لمعادلات منظمة الصحة العالمية (WHO: 1999, p.36) التالية:

٢. مؤشر جودة المياه للشرب:

لتقييم جودة المياه للري في منطقة الدراسة؛ فإنه تم الاعتماد على المعايير التي وضعتها منظمة الصحة العالمية (FAO.,1988) - جدول (٣)، حيث يعتمد هذا المؤشر على عدد من العناصر الكيميائية للمياه، وتشمل: الرقم الهيدروجيني، والأملاح القابلة للذوبان (EC) وتركيزات المعادن الثقيلة (Fe، Mn، Pb، Cr، Cd، Al، Cu، Zn)، والعكورة وتركيز الكلور والتقدير الميكروبيولوجية - جدول (٣).

$$q_n = 100 \left(\frac{(Vn - V_0)}{(Sn - V_0)} \right)$$

حيث:

$$q_n = \text{دليل جودة المياه للشرب}$$

$$Vn = \text{متوسط قيمة الرصد لكل معيار بعينات المياه المخصصة للشرب}$$

$$V_0 = \text{القيم المثلى لكل معيار}$$

$$Sn = \text{المقياس العالمي لكل معيار}$$

تلي ذلك تقدير جودة المياه للشرب حسب المعادلة التالية:

$$WQI = (q_n \times W_n) / Wn$$

حيث:

$$WQI = \text{جودة المياه للشرب}$$

$$q_n = \text{دليل جودة المياه للشرب}$$

$$Wn = \text{الوزن النسبي لكل معيار}$$

ويوضح جدول (٤) نوع المياه ومدى صلاحيتها للشرب وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية.

جدول (٤) حدود جودة المياه للشرب حسب منظمة الصحة العالمية

م	نوع المياه	الترتبة	WQI
١	مياه عذبة	I	٥٠
٢	مياه جيدة	II	١٠٠-٥٠,١
٣	مياه سيئة	III	٢٠٠-١٠٠,١
٤	مياه سيئة جداً	IV	٣٠٠-٢٠٠,١
٥	مياه غير صالحة للشرب	V	٣٠٠ فأكثر

Source: WHO: 1999, p.36.

المعطيات المكانية للدراسة:

اعتمدت الدراسة على بيانات متنوعة تشمل ملفات الارتفاع الرقمي بدقة مكانية ٣٠ مترًا وصور الأقمار الاصطناعية من نوع Land SAT 8 OLI، والتي تم الحصول عليها من موقع Earth Explorer التابع لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، كما استخدمت بيانات مناخية من وكالة الفضاء الأوروبية NASA POWER للفترة بين ١٩٩١ و ٢٠٢٢م، بالإضافة إلى ذلك، أجريت دراسة ميدانية في المنطقة بين مارس ويوليو ٢٠٢٣، حيث تم التعرف على الظواهر الطبيعية والتكوينات الجيولوجية، والتحقق من أنماط الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض، وتم استخدام جهاز GPS Garmin 64s لرصد إحداثيات الآبار وبعض أنماط استخدامات وغطاءات الأرض، مما ساعد في تحسين دقة التصنيف للمرتبات الفضائية وكذلك المساعدة في تحديد خصائص المزارع، كما تم استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد لمعالجة البيانات، وتجهيزها ضمن قاعدة بيانات جغرافية لبناء النماذج المكانية الخاصة بالدراسة.

محاور الدراسة:

تناولت الدراسة المحاور التالية:

أولاً: الخصائص الطبيعية لحوض وادي النعمان:

يتسم حوض النعمان بخصائص طبيعية مميزة، بسبب طبيعته الجبلية واتساعه الكبير، تشمل هذه الخصائص: الارتفاعات والمنحدرات وشبكات المياه والأحواض الصغيرة، ومن خلال فهم هذه الخصائص، يمكن تقييم إمكانات التنمية واستغلال الموارد بحوض الدراسة، بالإضافة إلى إمكانية التوسع العمراني لمدينة مكة المكرمة، حيث يُعد الحوض امتداداً للتوسع السكني والزراعي الحالي، وكذلك للمشاريع السكنية المستقبلية والطرق، وفيما يلي وصف لهذه الخصائص:

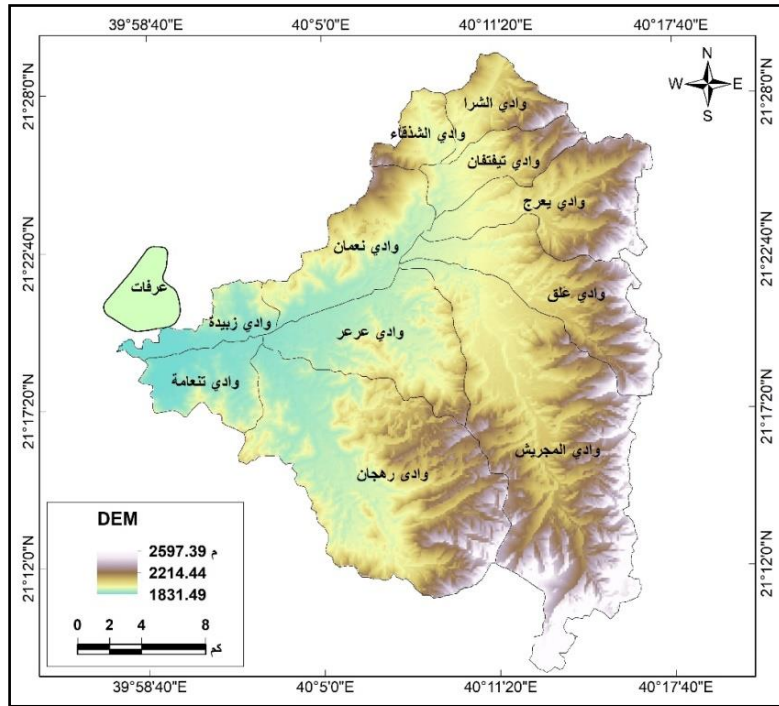
١. الارتفاعات الرقمية:

تصل نسبة التضرس لحوض الدراسة نحو ٠.٦١، والارتفاع يتراوح بين ٣٥٠ متر و ٢٥٠٠ متر في أجزاء مرتفعات شفا سُفيان، ويبلغ متوسط الارتفاع ١٠٢١ متر فوق مستوى سطح البحر، وتبلغ المساحات التي يقل ارتفاعها عن ٨٧٠ متر نحو ٥٤٪ من المنطقة، بينما لا تتجاوز مساحة التضاريس التي تعلو ١٨٠٠ متر ٢٪ من المنطقة - شكل (٣).

٢. انحدارات منطقة الدراسة:

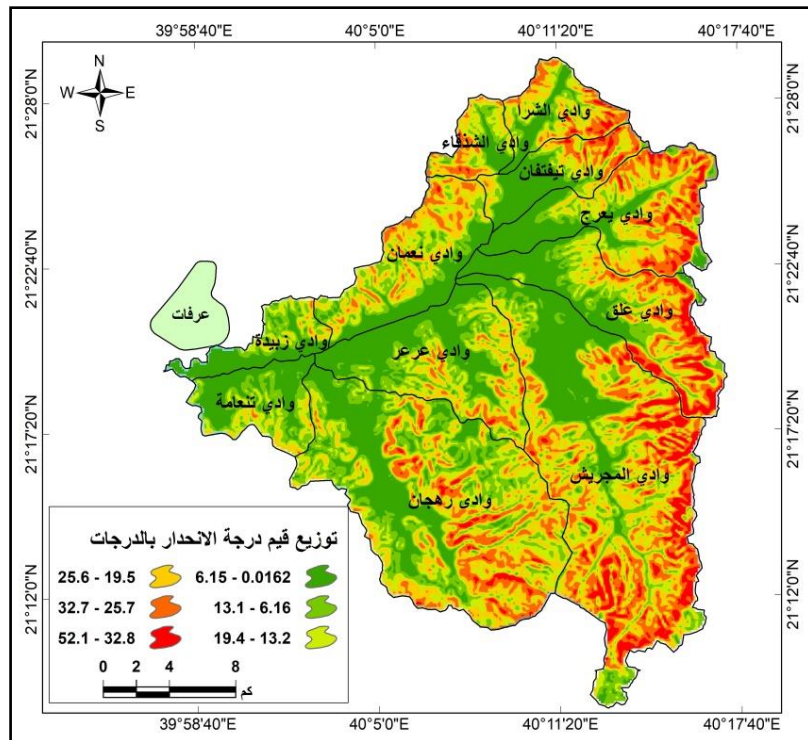
يبلغ متوسط انحدار حوض الدراسة نحو (١٦) درجة، وتمثل المنحدرات الشديدة التي تتجاوز (٢٧) درجة نحو ٧,٢٪ من مساحته، وتوجد أيضاً جروف صخرية شبه قائمة في أعالي الحوض بزاوية ميل تصل

إدارة جودة المياه الجوفية وتقييم صلاحيتها للري والشرب في حوض وادي النعمان (المملكة العربية السعودية) ... د. سحر نور الدين، د. هناء رفعت إلى (٥٦,١٢) درجة- شكل (٤)، وساهم عامل الانحدار لحوض الدراسة في زيادة حركة الرواسب من الأودية العليا نحو الأودية الدنيا، مما أدى إلى تكوين مراوح فيضية ومخاريط ركامية خشنة، خصوصاً عند مواقع التقاء أودية يعرج وعلق والمجريش.



المصدر/موقع Earth Explorer التابع لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS.

شكل (٣) نموذج الارتفاع الرقمي لحوض الدراسة

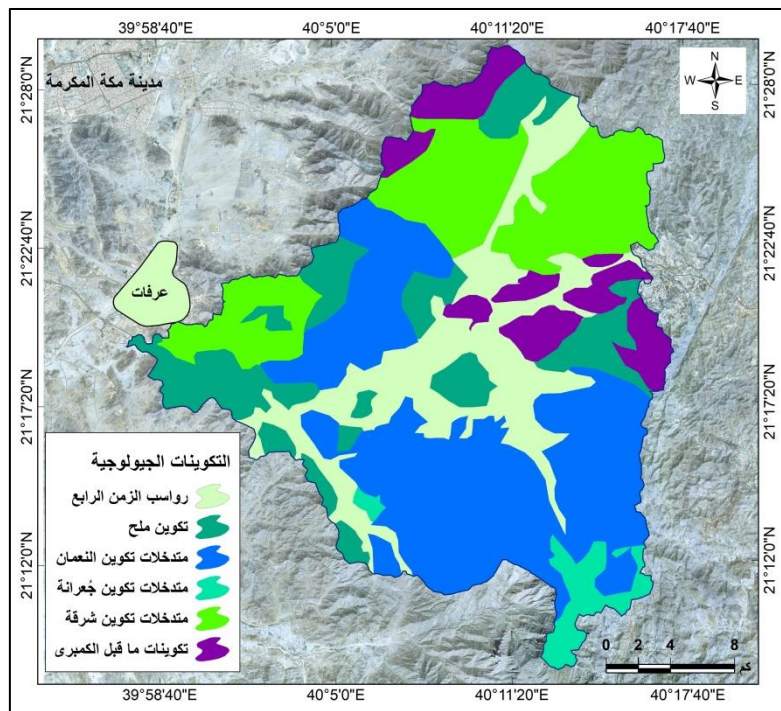


المصدر/ بيانات نموذج المناسيب الرقمي DEM.

شكل (٤) الانحدارات لحوض الدراسة

٣. الخصائص الجيولوجية والهيدروولوجية لحوض الدراسة:

تحدث التكوينات الصخرية تغييرات على خصائص المياه الجوفية، حيث تتفاعل المياه مع الطبقات الرسوبية، بجانب الصخور المتشققة والمتعرضة للتآكل، مما يسبب إضافة الكربونات، والصوديوم، والكالسيوم، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم إلى المياه تدريجياً، لينتج عن ذلك مياه مالحة أو قليلة الملوحة (Sharaf, M. A. M, 2013.p1875)، يتميز حوض وادي النعمان بخصائص جيولوجية وهيدروولوجية مميزة، وترجع التكوينات الجيولوجية في حوض وادي النعمان إلى ما قبل الكامبري، وهي تتكون بشكل رئيسي من الصخور النارية- شكل (٥)، ويمكن تتبع هذه التكوينات من الأقدم إلى الأحدث على النحو التالي: **مجموعات ما قبل الكامبري**، التي تنتشر جغرافياً في مناطق محدودة بسبب تغطيتها برواسب الزمن الرابع وصخور متدخلة مثل نعمان وشرقة، وتضم هذه المجموعة صخور الشيست والنيس البيوتيني والصخور البركانية، كما يغطي الأحواض العليا لوادي النعمان **تكوين ملح**، الذي يمتد في المنابع العليا للحوض، وكذلك **تكوين جعرانة** ويمتد في المناطق الجبلية بحوض رهجان، بينما يغطي **تكوين نعمان** معظم حوض الدراسة، علاوة على ذلك، توجد **رواسب الزمن الرباعي** التي تشكلت بفعل المياه الجارية، وهي تتكون من رمال وحصى وصلصال، ويتراوح سمكها بين بضعة أمتار ٤٦ مترًا.



المصدر/هيئة المساحة الجيولوجية السعودية باستخدام برنامج Arc GIS

شكل (٥) التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة

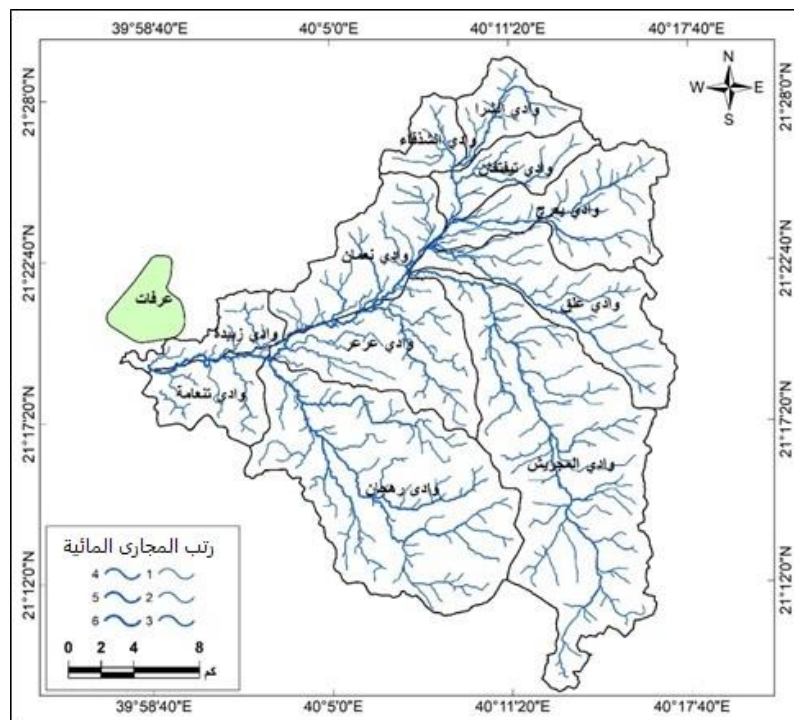


صورة (٢) المنابع العليا ل وادي يوج



صورة (١) قطاع طولى لطريق الهدا - الطائف

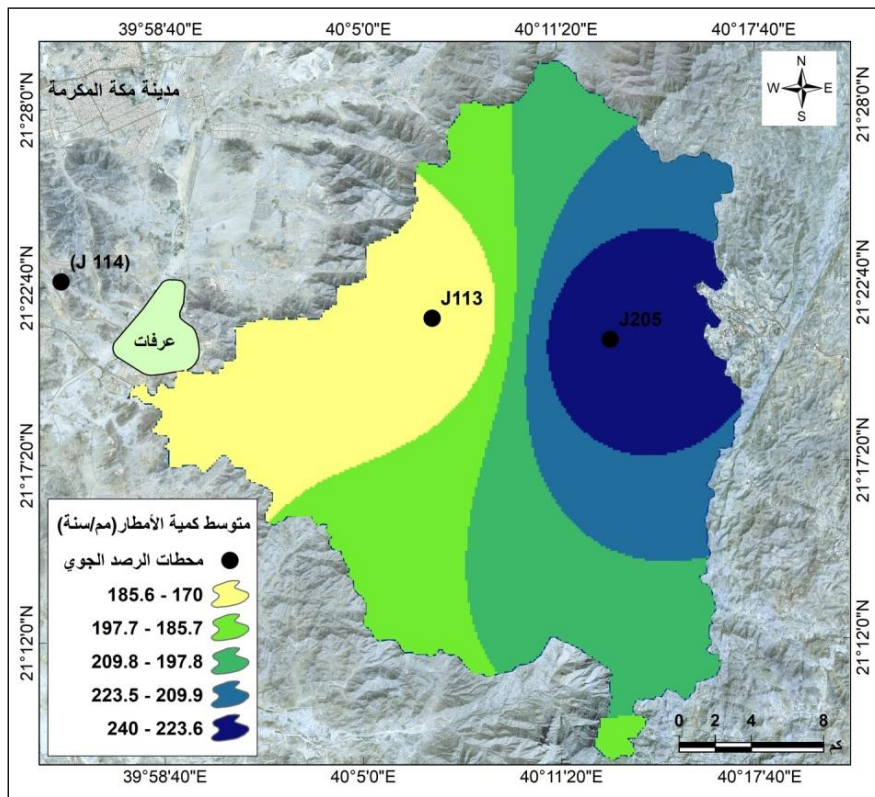
بالنسبة للخصائص الهيدرولوجية لحوض الدراسة، فإنه يتميز بمقومات هيدرولوجية جعلت منه الظهير المائي الواقع شرق مدينة مكة المكرمة (الزهراني ، أفراح أحمد ، ٢٠٢١م، ص٤٨)، وهو من الرتبة السادسة- شكل (٦)، ويتكون من عدة روافد رئيسية، منها وادي الضيقة الذي ينحدر من الجنوب، وتتبع روافده الشرقية من جبال عفار والغربية من جبال بلم، إلا أنه يتميز بمحتوى مائي جوفي قليل، مما يدفع السكان إلى الاعتماد على مياه وادي غلق، ويعتبر وادي غلق وادي كرا من الأودية الهامة في المنطقة، حيث يجمع وادي غلق مياهه من جبال عفار وجبل كرا، بينما يجمع وادي كرا مياهه من جبال كرا ويعبر الطريق السريع بين مكة والطائف - صورة (١)، ويلتقي الواديان في بلدة كرا، بينما ينحدر وادي يعرج من جبال نعمان، في حين ينبع وادي الشرا من الشمال بين جبلي كبكب وتفتان.



المصدر/ بيانات القمر الاصطناعي SRTM واستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (٦) رتب المجاري لشبكة التصريف السطحي بمنطقة الدراسة

تُعد الأمطار مصدراً أساسياً لتغذية المياه الجوفية في حوض وادي النعمان، حيث تتسرب مياه الأمطار عبر التشققات والصدوع في الصخور لتصل إلى الخزان الجوفي، وهو ما يعوض كميات السحب المستهلكة يومياً، تتميز الأمطار في الحوض باختلاف كبير في كمياتها وأوقاتها، وغالباً ما تكون مفاجئة، مما يتسبب في سيول، خاصةً في المناطق ذات التضاريس الوعرة مثل جرف الشفا، وبالاعتماد على سجلات محطات وزارة المياه والكهرباء والهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة لمدة ٢٥ سنة، من عام (١٩٩٧-٢٠٢٢م) عبر محطات الرصد الجوي: النعمان (ي ١١٣)، الشفا (ط ١٠٩)، مكة المكرمة (ج ١١٤)، والهدا (ج ٢٠٥)، يتضح أن كمية الأمطار تزداد نسبياً كلما اتجهنا شرقاً، ويتراوح متوسط كمية الأمطار ما بين ١٧٠ و ٢٣٩ مم سنوياً، بمعدل ٢٠١.٣٢ مم سنوياً وانحراف معياري ١٧.٨٤ مم/سنة - شكل (٧).



المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية للمياه الجوفية باستخدام برنامج Arc GIS. 10.8.4.

شكل (٧) متوسط كمية الأمطار بمنطقة الدراسة في الفترة بين (١٩٩٧-٢٠٢٢م)

٤. استخدامات الأرض بحوض الدراسة:

تشكلت هذه الاستخدامات اعتماداً على الموارد الطبيعية المتوفرة، مثل المياه الجوفية والتربة الصالحة للزراعة، إضافة إلى موقع المنطقة قرب مدينة مكة المكرمة، يعتبر النشاط الزراعي من أهم الأنشطة الاقتصادية في حوض وادي النعمان، حيث تُظهر صور الأقمار الاصطناعية وجود أراضٍ زراعية وتُسقى بشكل أساسي بالمياه الجوفية، وتتنوع هذه الزراعات ما بين الخضروات ومحاصيل العلف - صورة (٣، ٤)

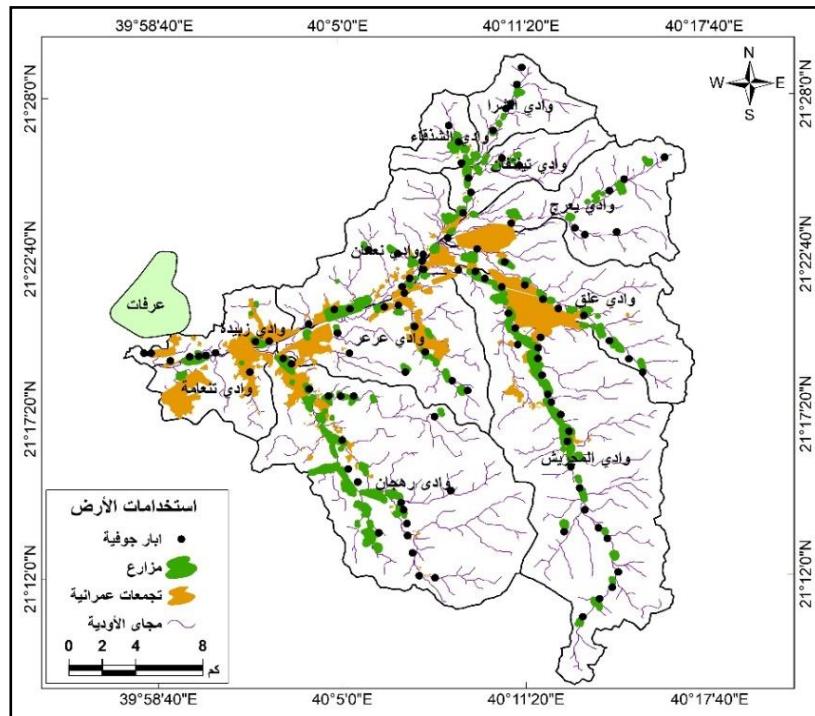
إدارة جودة المياه الجوفية وتقييم صلاحيتها للري والشرب في حوض وادي النعمان (المملكة العربية السعودية) ... د. سحر نور الدين، د. هناء رفعت ويستعمل في الري أسلوبان: "الري بالغمر" كطريقة رئيسية، و"الري الموضعي" في المناطق التي بها انخفاض في منسوب المياه الجوفية. وتم تحديد مساحات المزارع في المنطقة من خلال تحليل صور Land SAT 8 والدراسة الميدانية - شكل (٨)، حيث بلغت مساحتها نحو ١٤,٧ كم^٢، وتتنوع المحاصيل الزراعية بها، حيث وجد حوالي ١٧ نوعاً من المحاصيل الزراعية تزرع بالحوض، ويمكن تقسيمها بناءً على مواسم زراعتها إلى محاصيل صيفية، ومحاصيل شتوية، ومحاصيل مستديمة أو وفق تركيبها إلى محاصيل الحبوب الغذائية والخضروات والأعلاف والنخيل والفاكهة (البلوشى، شاهينة محمد عناية الله، ٢٠٠٦م، ص: ١٢٩) وتتركز الزراعات في مواقع المصاطب الرسوبية وبطون الأودية في حوض الدراسة- صور (٥، ٦، ٧، ٨).



صورة (٤) زراعة الزيتون بوادي النعمان



صورة (٣) زراعة الخضروات بوادي النعمان



المصدر/ تحليل المرئيات الفضائية من نوع Land SAT 8 واستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (٨) استخدامات الأرض بمنطقة الدراسة



صورة (٦) زراعات الخضروات بوادي المجريش



صورة (٥) أحد المزارع بالمصاطب الرسوبية لوادي النعمان



صورة (٨) أحد الغُلاع بحوض المجريش



صورة (٧) مسقط مائي أثناء حدوث الأمطار بوادي النعمان

وفيما يخص الاستخدامات العمرانية فإن منطقة حوض النعمان شهدت تطوراً متسارعاً لقربها من مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة، وأيضاً مدينة الطائف التي تتميز بالسياحة البيئية والترفيهية، وتحليل صور الأقمار الاصطناعية Sentinel-2 لعام ٢٠٢٤م، حددت مساحة العمران في (١٨) قرية داخل الحوض، حيث بلغت مساحة التوسعات العمرانية نحو ٣١.٣٠ كيلومتر مربع - جدول (٥)، ويتبع التوسع العمراني مسارات واتجاهات الأودية الرئيسية وروافدها؛ ونتيجة لذلك، وصل عدد القرى إلى ١٩ قرية، وتوزعت جغرافياً حول الأودية - صورة (٩).



صورة (٩) التجمعات العمرانية بقرية عرعر وردة النعمان

ويقطن هذه القرى عدد سكان يبلغ ٢١٩٥٠ نسمة (وزارة الشؤون البلدية والقروية، ٢٠٢٣م)، وتتباين هذه القرى في مساحتها إلا أن قرى العلوين تعد الأكثر مساحة حيث تبلغ مساحتها نحو ٤.٤٥٤ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

جدول (٥) مساحات القرى بحوض وادي النعمان

م	اسم القرية	المساحة (كم ^٢)	م	اسم القرية	المساحة (كم ^٢)
١	ال حسن	٠,٤٢	١٠	الهاوية الكبرى	٢,٣٢٢
٢	البطنة	١,١٤٩	١١	أم حبيتر	٠,٤٤٥
٣	الحجيلة والحميمة	٠,٤٩٤	١٢	برم	٠,٤٢
٤	الحساسنة	٣,١٧٤	١٣	ريع أنف البجيد	٠,١٧٣
٥	الرهجانية	٢,٥٦٩	١٤	ريع وصيق	٣,٤٨٣
٦	الشق	٠,٠٩٩	١٥	شعب سمار أم الراكة	٣,٤٧١
٧	العلوين	٤,٥٤٥	١٦	عرعر وردة النعمان	٤,١٣٨
٨	المرأوة	٠,١٤٨	١٧	قرن نعمان	١,٥١٩
٨	قرية الكر السياحية	٠,٠٤٩	١٨	وادي أسلع	١,٧٥٧
٩	المجاريش	٠,٩٢٦			
	إجمالي المساحة				٣١,٣

المصدر/ تحليل المرئيات الفضائية من نوع Land SAT 8 واستخدام برنامج Arc GIS.

يتضح من شكل (٦) وجدول (٥) أن حوض وادي المجريش تصدر الأحواض من حيث اتساع منطقة العمران، حيث بلغت حوالي (٦,٣٥٨ كم^٢)، يليه وادي عرعر (٥,٨٧٩ كم^٢) ثم وادي علق (٣,٢٨٥ كم^٢) ووادي رهجان (٣,١٦٢ كم^٢)، وفي المقابل، تقل مساحة العمران في حوض وادي الشذقاء ووادي الشرا (٠,٠٢٥ كم^٢) ووادي تيفتقان (٠,١٩٨ كم^٢)؛ ويرجع هذا التباين في مساحات العمران بين الأودية إلى طبيعة التضاريس، إذ أن أودية المجريش وعرعر وعلق تتميز بمصاطب فيضية متسعة نسبياً، بالإضافة إلى أنها تقع على مسار أهم الطرق التي تربط بين مدينتي مكة المكرمة والطائف، والمعروف محلياً بطريق "الهدا"، والذي يصل بين الطائف والهدا ومكة المكرمة.

ثانياً: الخصائص الهيدروليكية للآبار الجوفية بمنطقة الدراسة:

تشكّل مياه الأمطار المصدر الأساسي لتزويد المياه الجوفية، إذ تتسرّب إلى الخزانات الأرضية والجوفية عن طريق مسامات التربة خلال حدوث السيول، وتمت دراسة الخصائص الهيدروليكية للآبار اعتماداً على عدة عوامل، كما يلي:-

١. أعماق الآبار Ground water levels:

يتطلب استكشاف المياه الجوفية في منطقة معينة فحص أعماق الآبار، والتي تدل على ضغط المياه، ويعتبر منسوب المياه هو السطح العلوي، ويتأثر بعوامل مختلفة مثل نوع الصخور، شكل الأرض،

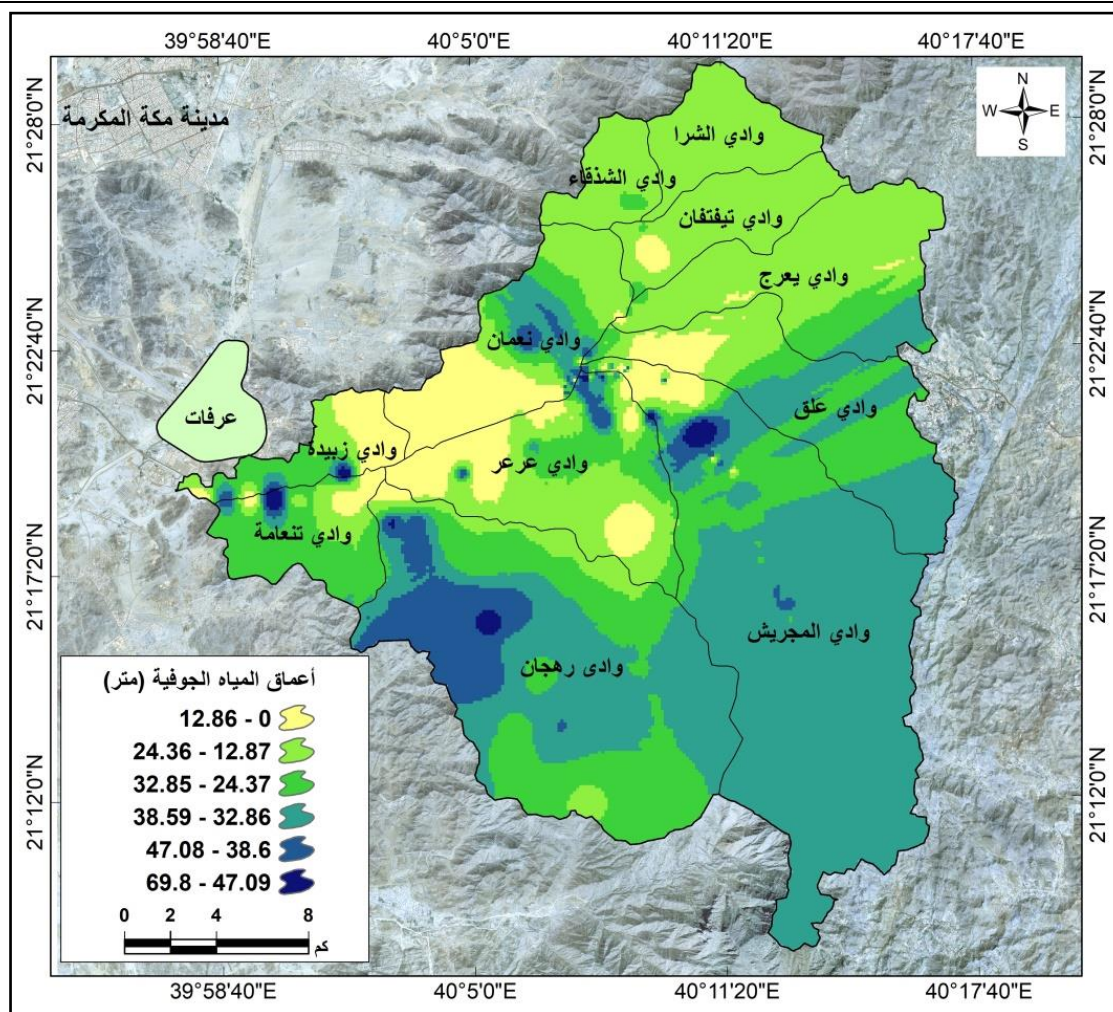
والطقس، ويزداد منسوب المياه أثناء موسم الأمطار (فصلي الشتاء والربيع) حين يقل الاستهلاك، بينما ينخفض في فصل الصيف بسبب قلة الأمطار وارتفاع الحرارة، مما يزيد من التبخر والنتح.

بتحليل شكل (٩)، يتبين اختلاف عمق المياه الجوفية، حيث يمتد بين ١٥.٠٥ و ٧٣ مترًا - صورة (١٠)؛ وهذا الاختلاف يعود إلى تباين ارتفاعات الأرض وميولها في المناطق الجبلية ذات المنحدرات الحادة، لذا نلاحظ آبارًا ذات منسوب منخفض، في حين يرتفع منسوب المياه الجوفية في الأراضي المنخفضة، وتعتبر تجمعات قرى العلويين، ووادي أسلع، شعب سمار، أم الراكة، عرعر، وردة النعمان، وأم حبيتر، من بين المناطق التي تتسم بارتفاع منسوب المياه الجوفية، بينما تتميز قرى الحساسنة وريع وثيق بانخفاض منسوب المياه الجوفية.



صورة (١٠) أحد الآبار بقرية شعب سمار أم الراكة

وباستخدام أداة Kriging في برنامج Arc GIS,10.8، أحد من نماذج الاستيفاء المكاني، تم تحديد مناسيب المياه المتوقعة في حوض الدراسة بناءً على التحليل الإحصائي المكاني باستخدام أداة Zonal Statistics في برنامج Arc GIS,10.8 - جدول (٦)، وتبين أن أعظم مستوى للمياه الجوفية يقع في وادي تنعامة بعمق ٦٩,٨٠ متر ومتوسط ٢٦,٣٧ متر، يليه وادي المجريش بعمق ٦٥,٧٢ متر ومتوسط ٣٥,١٢ متر، ثم وادي زبيدة بعمق ٥٤,٤٢ متر ومتوسط ٣٣,٦٤ متر، وأخيرًا وادي رهجان بعمق ٥٢,٦٠ متر ومتوسط ٣٣,٦٤ متر.



المصدر/ بيانات أعماق الآبار باستخدام أداة Kriging داخل برنامج Arc GIS,10.8

شكل (٩) أعماق المياه الجوفية بحوض وادي النعمان

جدول (٦) الخصائص الإحصائية لأعماق المياه الجوفية بالأحواض الفرعية لحوض الدراسة (متر)

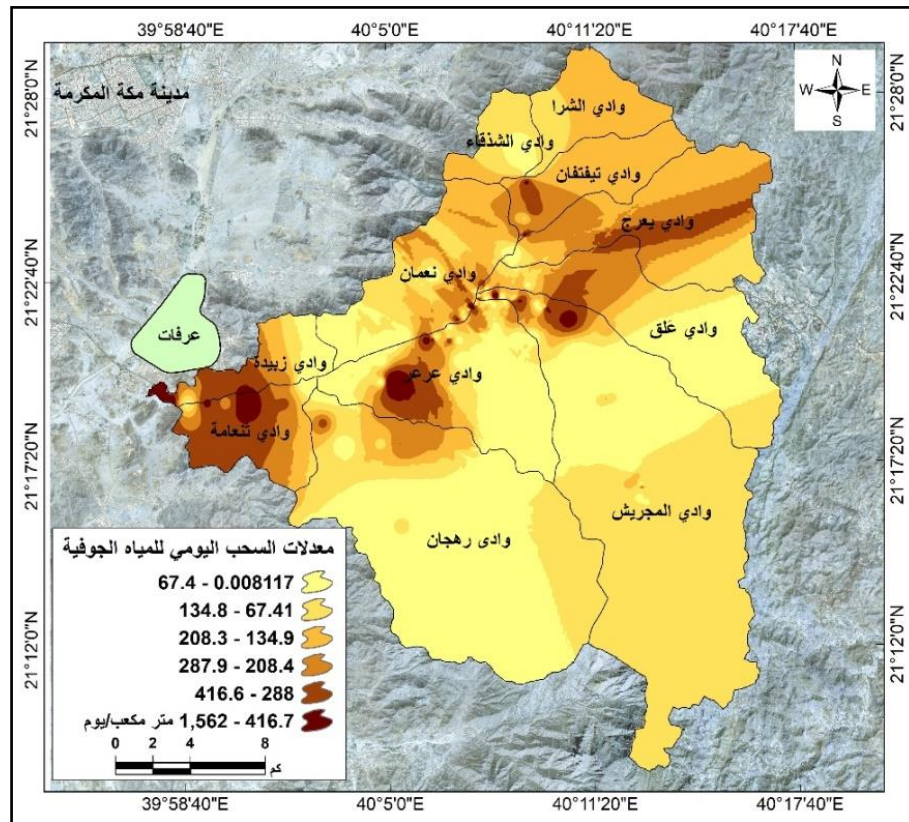
الحوض	المتوسط/م	الوسيط/م	الانحراف المعياري/م	أقل قيمة/م	أعلى قيمة/م	المدى/م	معامل الاختلاف/م
وادي المجريش	٣٥,١٢	٣٧,١٧	٥,٨٦	٠,٠٤	٦٥,٧٢	٦٥,٦٨	٣٤,٣٧
وادي يعرج	٢٢,٠٤	١٩,٦٧	٦,٣٦	٠,٥٥	٣٦,٧٣	٣٦,١٨	٤٠,٤٩
وادي علق	٢٨,٥٦	٣٢,٥٤	٩,٠٦	٠,٣٤	٤٢,٢٨	٤١,٩٤	٨٢,٠٧
وادي عرعر	١٨,٦	١٩,٢٦	٩,٧٦	٠,٠٢	٥٠,٧١	٥٠,٦٨	٩٥,٣٦
وادي نعمان	١٨,٧٩	١٩,٨٣	١٢,٥	٠	٤٥,٥٦	٤٥,٥٦	١٥٦,٣١
وادي رهجان	٣٣,٦٤	٣٤,٢	٦,٠٣	١,٠٨	٥٣,٦٨	٥٢,٦	٣٦,٣٤
وادي تنعامة	٢٦,٣٧	٢٨,٠٣	٨,٧٧	٠,١٣	٦٩,٨	٦٩,٦٧	٧٦,٩٧
وادي زبيدة	١٨,٦٨	١٨,٠٧	١١,٧١	٠	٥٤,٤٢	٥٤,٤٢	١٣٧,١٢
وادي تيفتقان	١٨,٢٣	١٩,٣٥	٣,٣٧	٠,٠٤	٢٨,٧	٢٨,٦٦	١١,٣٧
وادي الشذقاء	٢٢,٠٨	٢١,٨٧	١,٢	١٧,١٨	٢٧,٩٧	١٠,٧٩	١,٤٣
وادي الشرا	٢٠,٤٤	٢٠,٣٧	٠,٥٢	١٥,٨٢	٢٢,١١	٦,٢٩	٠,٢٧

المصدر/ وزارة المياه والكهرباء والدراسة الميدانية واستخدام برنامج Arc GIS,10.8.2

جدول (٧) الخصائص الإحصائية للسحب اليومي للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة (متر مكعب/يوم)

الحوض	المجموع	المتوسط	الوسيط	الانحراف المعياري	أقل قيمة	أعلى قيمة	المدى	معامل الاختلاف
وادي المجريش	٩١٤٢٤٤,٠٦	٩٧,٠٤	١٠٤,٦١	٥٥,٨٥	٠,٢٩	٧٨٦,٦٩	٧٨٦,٤	٣١١٨,٦٧
وادي يعرج	٦٧٠٧٤٨,٦٩	٢٠٧,٣٤	٢٠٥,٢٩	٦٦,١٤	١,١٩	٣٥٧,٩٦	٣٥٦,٧٧	٤٣٧٤,١٥
وادي علق	٤١١٩١٩,٨٦	١٢١,٨٣	٨٨,٢١	٨٤,٨٧	٢,٤٨	٣٥٢,٠٩	٣٤٩,٦١	٧٢٠٢,٥
وادي عرعر	٤١٨٨٥٥,٥١	١٢٣,٣٧	٦٠,٧٤	١٣١,١٤	٠,٠٧	٧٧٥,٢١	٧٧٥,١٤	١٧١٩٧,٦٢
وادي نعمان	٣٧٤١٠,١٧٧	١٣٨,٢٥	١٤٢,٤٩	٧٨,٢٩	٠,٠١	١٥٦٢,١٧	١٥٦٢,١٦	٦١٢٩
وادي رهجان	٥٥٤٦٢٣,٩	٦٦,١٨	٤٥,٤٧	٥٣,٧١	٠,١٤	٣٢٣,٦٨	٣٢٣,٥٤	٢٨٨٤,٣٧
وادي تنعامة	٤٥٨٤١٥,٥٨	٢٨٦,٥١	٣٠٢,٦٩	٩٦,٢٤	٠,٩٦	٥٥٠,٢٣	٥٤٩,٢٧	٩٢٦١,٢٤
وادي زبيدة	٢١٩٠٣٨,٢٤	٢٠٢,٤٤	١٨٦,٢٢	١٣٩,٩٧	٨,٠٤	٧٢٢,٤٩	٧١٤,٤٤	١٩٥٩٢,٧٨
وادي تيفتقان	٢٩٦٥٨٠,٤٦	٢٠٠,١٢	١٨٣,٦٥	٤٥,٥٩	١٢٣,٦٧	٤٧٠,٩	٣٤٧,٢٣	٢٠٧٨,٢١
وادي الشذقاء	٨٨٥٨٠,٧٨	١٠٢,٧٦	١٠٧,٠٤	٣٧,٩	١,٥٨	١٧٢,٠٣	١٧٠,٤٦	١٤٣٦,٤
وادي الشرا	١٩٩٨٨٩,٦٩	١٤٥,٢٧	١٥٠,٢٤	٢١,٥٥	٨,٧	١٧٥,٣٨	١٦٦,٦٨	٤٦٤,٤٤
المجموع	٤٦٠٦٩٩٨,٥٦	-	-	-	-	-	-	-

المصدر/ وزارة المياه والكهرباء والدراسة الميدانية واستخدام برنامج Arc GIS,10.8.2



المصدر/ بيانات معدلات السحب للآبار واستخدام أداة Kriging في برنامج Arc GIS,10.8.

شكل (١٠) معدلات السحب اليومي للمياه الجوفية م³/يوم بحوض الدراسة

٢. معدلات السحب اليومي:

تتفاوت معدلات السحب اليومي للآبار الجوفية حسب طبيعة الموقع والعوامل المؤثرة، خاصة استخدامات الأرض، وفقًا لجدول (٧)، يتراوح إجمالي السحب اليومي ما بين ٨٨٥٨٠.٧٨ م³/يوم في حوض الشذقاء و ٩١٤٢٤٤.٠٦ م³/يوم في حوض المجريش، بمتوسط ٩٧,٠٤ م³/يوم - شكل (١٠)،

إدارة جودة المياه الجوفية وتقييم صلاحيتها للري والشرب في حوض وادي النعمان (المملكة العربية السعودية)... د. سحر نور الدين، د. هناء رفعت
كما أظهرت النتائج أن أعلى معدلات السحب تتركز في التجمعات العمرانية بقرى عَرعر، وردة النعمان،
شعب سمار، أم الراكدة، والرهجانية- شكل (١٠).

ثالثاً: المناقشة والنتائج:

١. صلاحية استخدام المياه الجوفية للري:

تُعد الزراعة النشاط الأكثر استنزافاً للمياه الجوفية في المنطقة، فهي تعتمد على احتياجات النباتات من الأملاح وطبيعة التربة، وتُقيم صلاحية المياه الجوفية للري عبر ضوابط مُحددة، مثل نسبة الصوديوم (%Na) في المياه، والتي يمكن أن تتسبب زيادتها في تقليل نفاذية التربة والإضرار بالمحاصيل (Batarseh, 2017)، وتم تصنيف المياه الجوفية بحوض الدراسة بناءً على نسبة الصوديوم حسب تصنيف منظمة الأغذية العالمية-جدول (٨)، وأظهرت النتائج أن ٢٦ بئراً ضمن نطاق المياه الصالحة للري ذات القيود القليلة، و٣٧ بئراً ضمن الفئة الجيدة (متوسطة القيود)، وتتركز غالبية المزارع في وادي المجاريش ووادي رهجان ضمن الفئة الأولى. كما تم تصنيف المياه الجوفية بحوض الدراسة تبعاً لخاصية التوصيلية الكهربائية EC التي تؤثر بشكل كبير على نمو المحاصيل الزراعية، ويمكن أن تتسبب في تلفها وتراجع إنتاجيتها، ويصل الحد المسموح به للتوصيلية الكهربائية ٣٠٠٠ مايكروموز/سم -جدول(٨)، وفي حوض الدراسة، يوجد ٢٠ بئراً ضمن الحد المسموح به، و٣٥ بئراً ضمن الحدود المتوسطة، و٨ آبار ضمن الحدود غير المسموح بها، مما يشير إلى إمكانية استعمالها في ري المحاصيل الزراعية - شكل (١١).

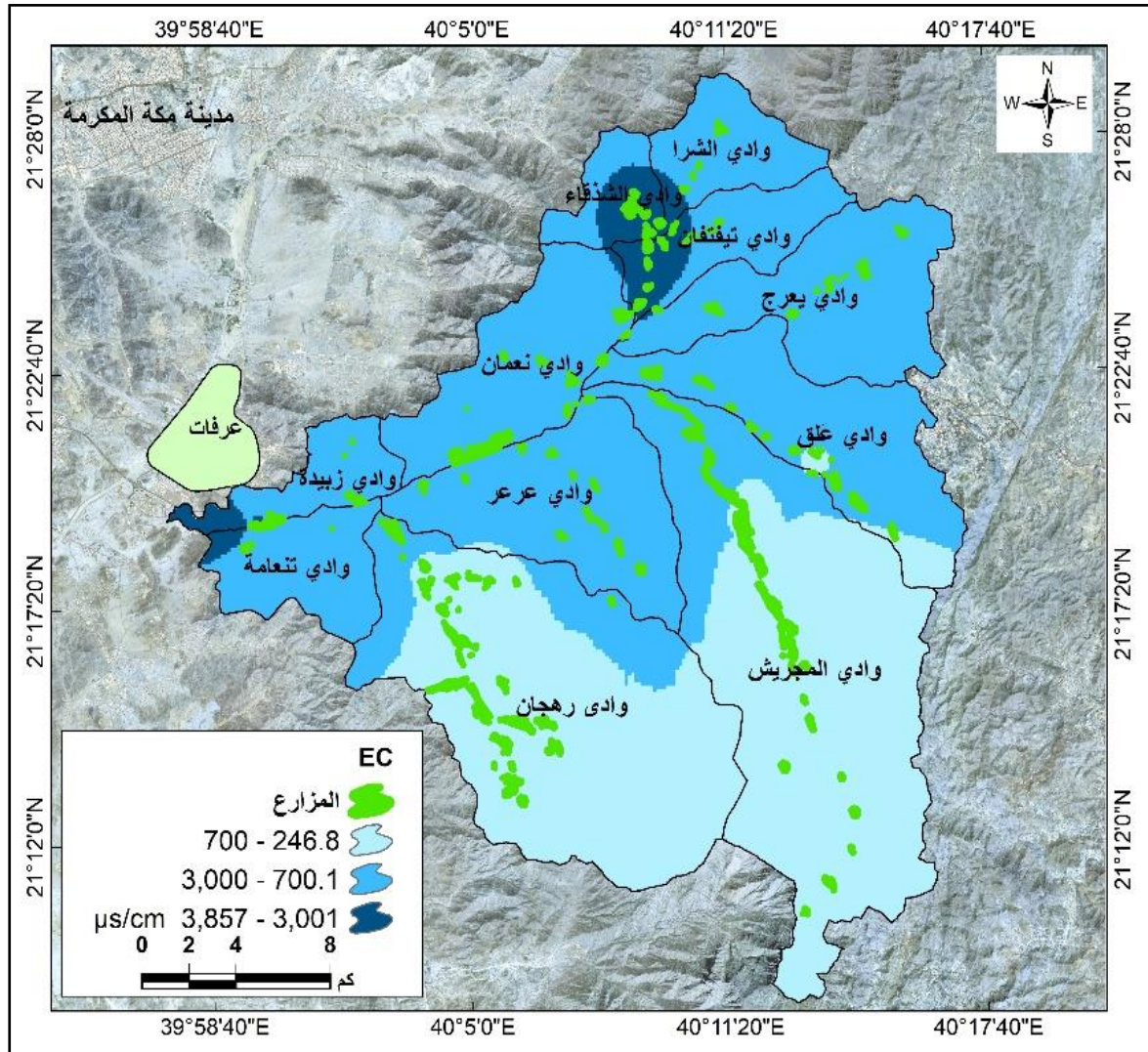
جدول (٨) حدود صلاحية المياه لأغراض الري

م	العناصر	المجموعة الاولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة
١	التوصيل الكهربائي (Ec)	$700 > \mu\text{s/cm}$	$\mu\text{s/cm}$ (3000-700)	$\mu\text{s/cm}$ (7500-3000)
٢	محتوى الصوديوم (Na)	$69 > \text{ppm}$	ppm (207-69)	$207\text{ppm} <$
٣	أيون الكلور (Cl)	$142 > \text{ppm}$	ppm (355-142)	$355\text{ppm} <$
٤	نسبة امتصاص الصوديوم (SAR)	$3 > \text{ppm}$	ppm (9-3)	$9 \text{ ppm} <$
٥	البكربونات (HCO_3)	$92 > \text{ppm}$	ppm (519-92)	$519 \text{ ppm} <$
٦	نترات النيتروجين ($\text{NO}_3\text{-N}$)	$310 > \text{ppm}$	ppm (1860-310)	$1860\text{ppm} <$

FAO,1994.

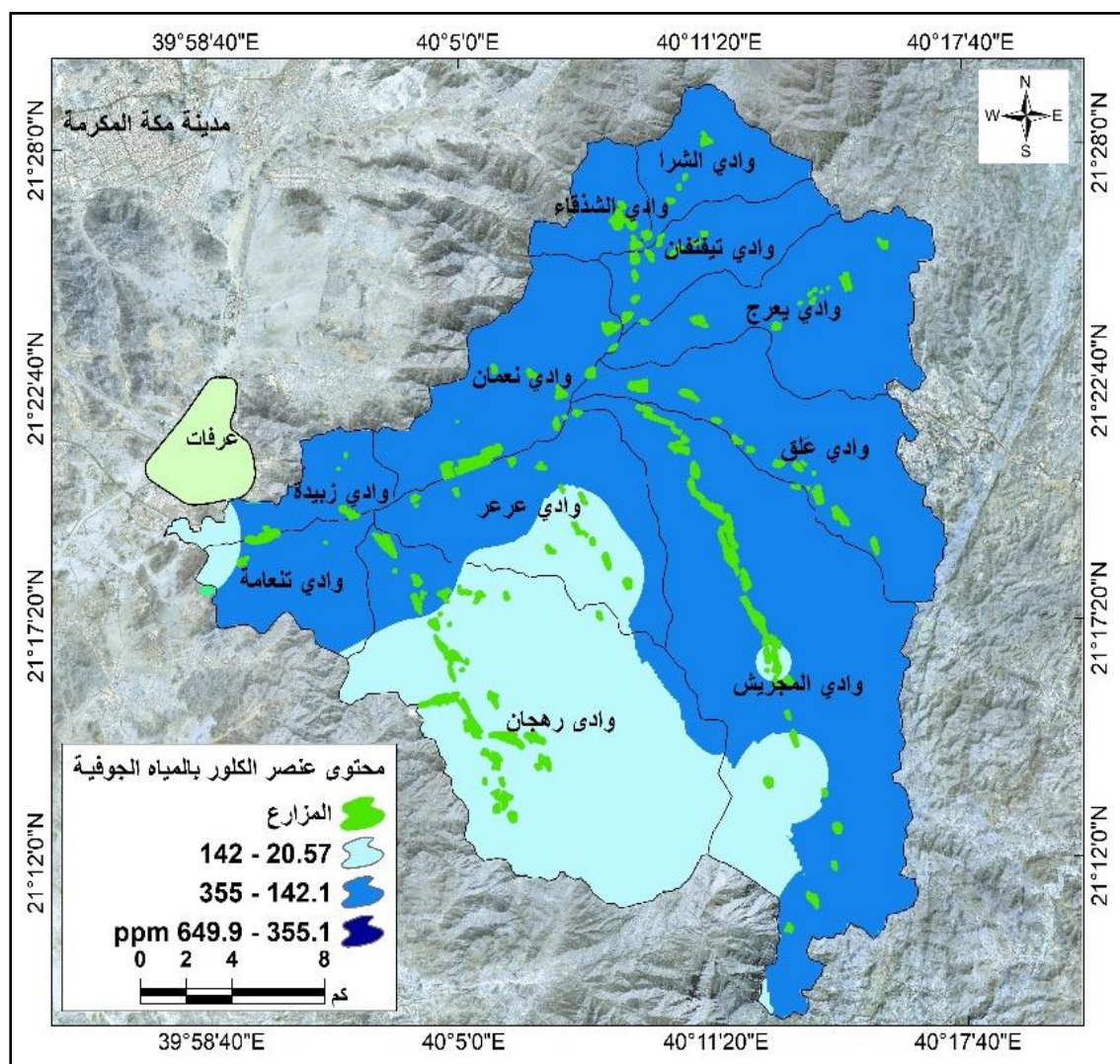
كما صُنفت جودة مياه الري اعتماداً على البكربونات (HCO_3)، وهي معادن طبيعية تؤثر على خصائص المياه، وفي الري ينتج عنها ترسيب أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم على شكل كربونات، مما يزيد تركيز أيون الصوديوم في التربة، وهذا يشكل خطراً لأنه يسهم في تدهور التربة وتقليل نفاذيتها وعرقلة حركة المياه. كذلك، جرى تصنيف المياه تبعاً لتأثير الكلور Cl على جودة مياه الري في منطقة

الدراسة، وهو من الأيونات السالبة الأساسية التي تعطي الماء طعمًا مالحًا عند اتحاده بأيونات موجبة كالمغنيسيوم والكالسيوم، وزيادة تركيزه تؤدي لآثار سلبية على النباتات، مثل ذبول الأوراق، إذ تحتاج النباتات لكميات قليلة منه، والتركيزات العالية قد تضرّها، ومن خلال شكل (١٢)، يظهر تفاوت في معدل تركيز أيون الكلور بين المواقع، حيث يوجد ٢٣ بئرًا ضمن الحدود الجيدة للري، و٢٧ بئرًا ضمن الحدود المتوسطة، و٣ آبار ضمن الحدود غير المسموح بها.



المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

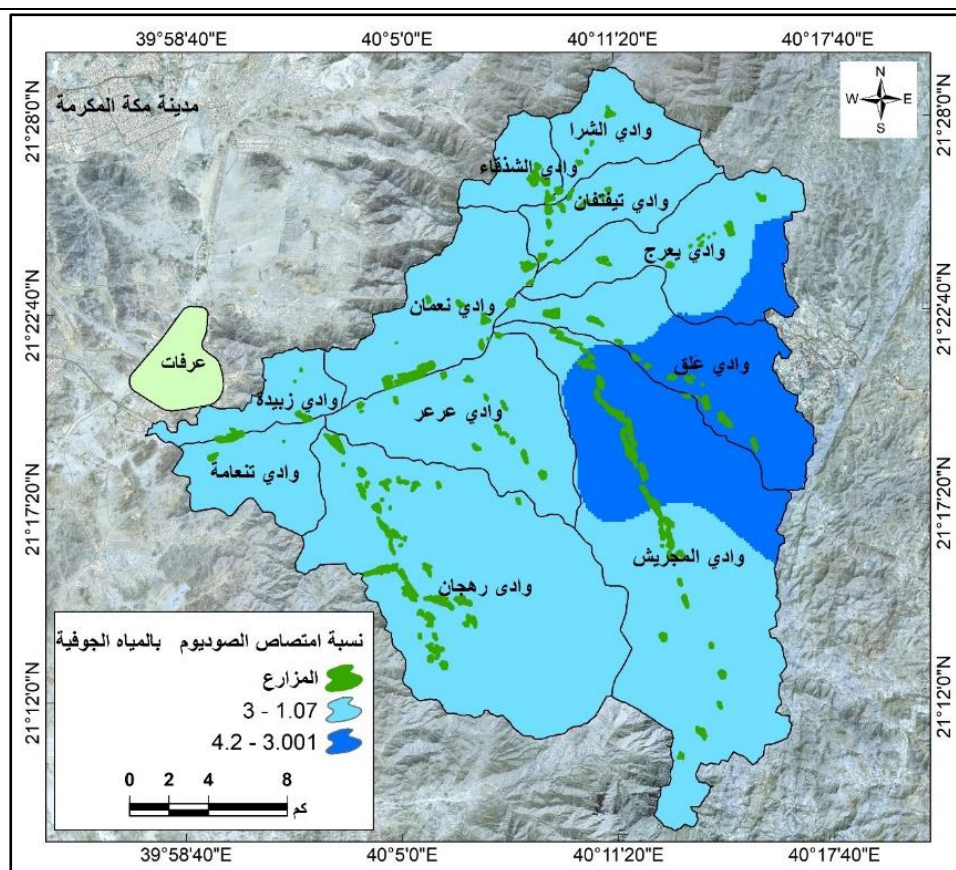
شكل (١١) صلاحية المياه الجوفية للري تبعاً لدرجة التوصيل الكهربائي بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة



المصدر / الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٢) صلاحية المياه الجوفية للري تبعاً لمحتوى عنصر الكلور بالمياه الجوفية بحوض الدراسة

كما صُنِّفت جودة مياه الري بالاعتماد على نسبة امتصاص الصوديوم (SAR)، وهو مقياس مهم جداً لتقييم المياه المستخدمة في الري بسبب تأثيره على المحاصيل والتربة، فزيادة تركيز الصوديوم تُسبب انتفاخ التربة وضيق المسامات، وبناءً على شكل (١١)، يوجد ١٤ بئراً ذات جودة جيدة للري، و ٤٩ بئراً ذات جودة متوسطة، ولا توجد آبار تتجاوز الحدود المسموح بها، علاوة على ذلك، تم تحديد مدى صلاحية المياه الجوفية للري باستخدام محتوى البيكربونات والصوديوم، بالإضافة إلى محتوى نترات الصوديوم، وفقاً لتصنيف منظمة الصحة العالمية - الأشكال (١٣، ١٤، ١٥، ١٦)، وبالإشارة إلى جدول المعايير رقم (٨)، يتبين أن المياه صالحة للري في مناطق وادي المجريش ووادي تنعامة ووادي يعرج - الصور أرقام (١١-١٢).



المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٣) صلاحية المياه الجوفية للرى تبعا لنسبة امتصاص الصوديوم SAR بحوض الدراسة



صورة (١١) أحد المزارع بوادى المجريش



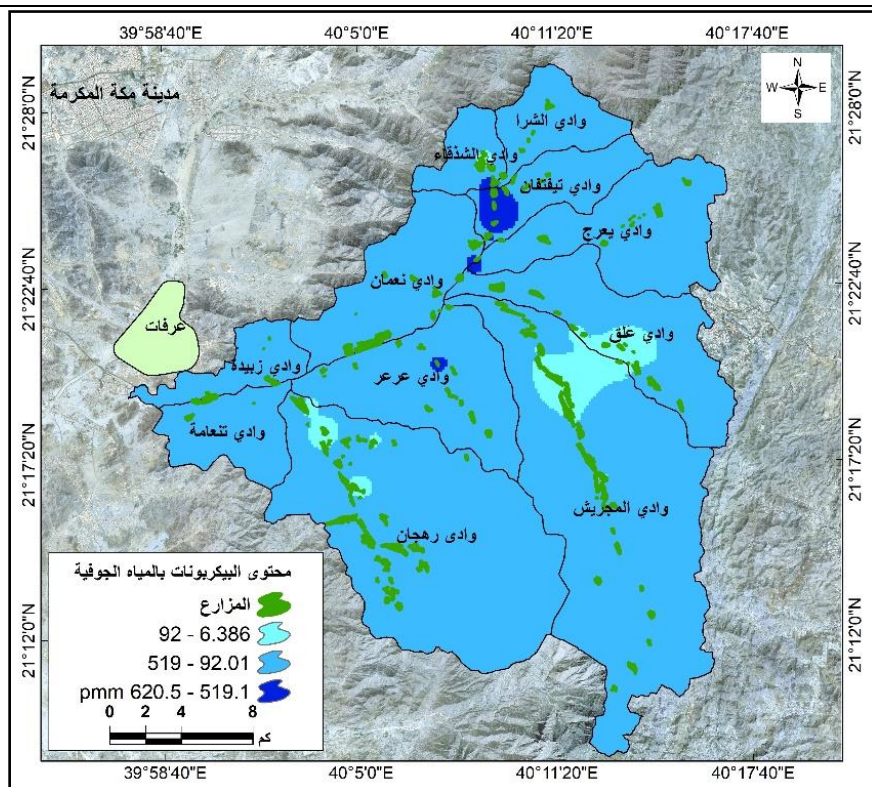
صورة (١٢) أحد المزارع بالمصاطب الرسوبية لوادي المجريش

جدول (٩) الخصائص الإحصائية للعناصر الكيميائية لمياه الآبار بحوض الدراسة

المتغير	درجة الحرارة (temp)	الحموضة والقلوية (Ph)	التوصيل الكهربائي Ec	النترات No3	المغنسيوم Mg	الكالسيوم Ca	البوتاسيوم k	الصوديوم Na
أقل قيمة	30	7.12	242	6	3.62	66	3.12	37.2
أقصى قيمة	39.6	8.53	3900	560	98	400	257	167.7
المتوسط	34.13	7.57	1443.63	93.32	33.69	148.58	14.47	89.01
المتغير	ثالث أكسيد الكبريت SO_4	Carbonic acid H_2CO_3	عنصر الكلورايد Cl	أيون الكبريتات So	القولون الكلية TC	التوصيل الكهربائي SAR	الأملاح الذائبة TDS	-
أقل قيمة	74.2	5	19.8	11.1	1	0	650	-
أقصى قيمة	433.3	621	653.6	680	63	3.5	3125	-
المتوسط	188.91	210.32	168	230.4	32	0.92	1856.6	-

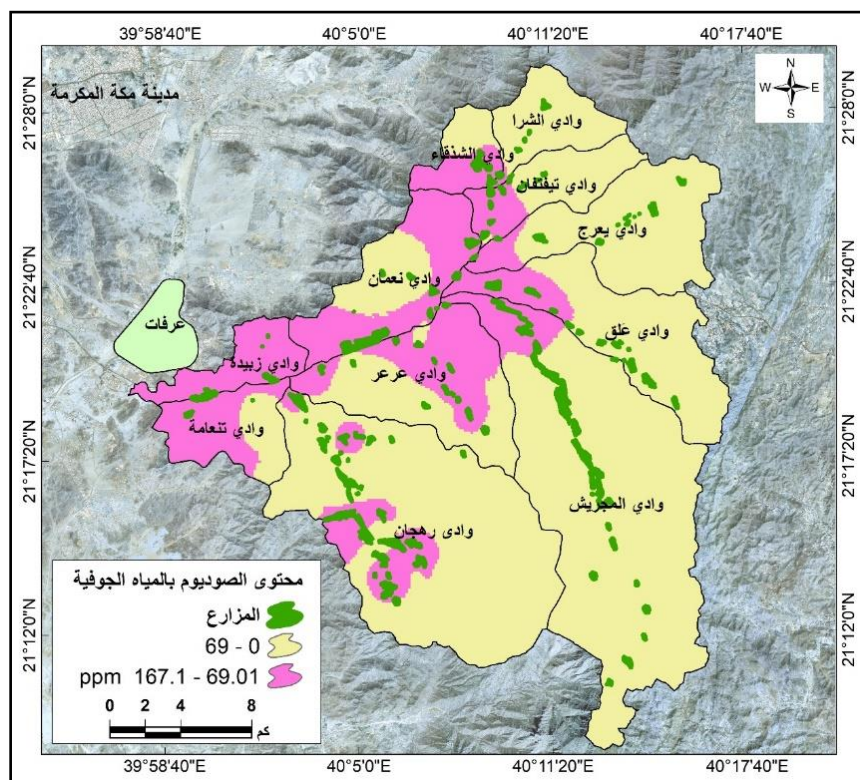
المصدر: وزارة المياه والكهرباء، تقارير غير منشورة، عام ٢٠٢٣م، والدراسة الميدانية.

وبناءً على نموذج IWQI، تم تقدير جودة مياه الآبار للري، مع حساب الأوزان لكل معيار ومدى توافقه مع معطيات الجدول (٨)، وأظهرت النتائج أن ٢٤٪ من الآبار مطابقة للحدود المسموح بها لري كل المزروعات - شكل (١٧)، وهي مركزة في مناطق المجاريش وعلق ورهجان، في حين أن ٢٨٪ من الآبار فقد صُنّفت ضمن درجة تقييد متوسطة، مما يسمح باستعمال الماء للنباتات متوسطة إلى عالية التحمل للملوحة، وتوزعت جغرافياً في مواقع متفرقة، أما ١١٪ من الآبار فجاءت ضمن فئة التقييد الشديد، مما يقلل من استخدامها للنباتات متوسطة إلى عالية التحمل للملوحة، وتوجد في مناطق تيفتقان وعَرعر.



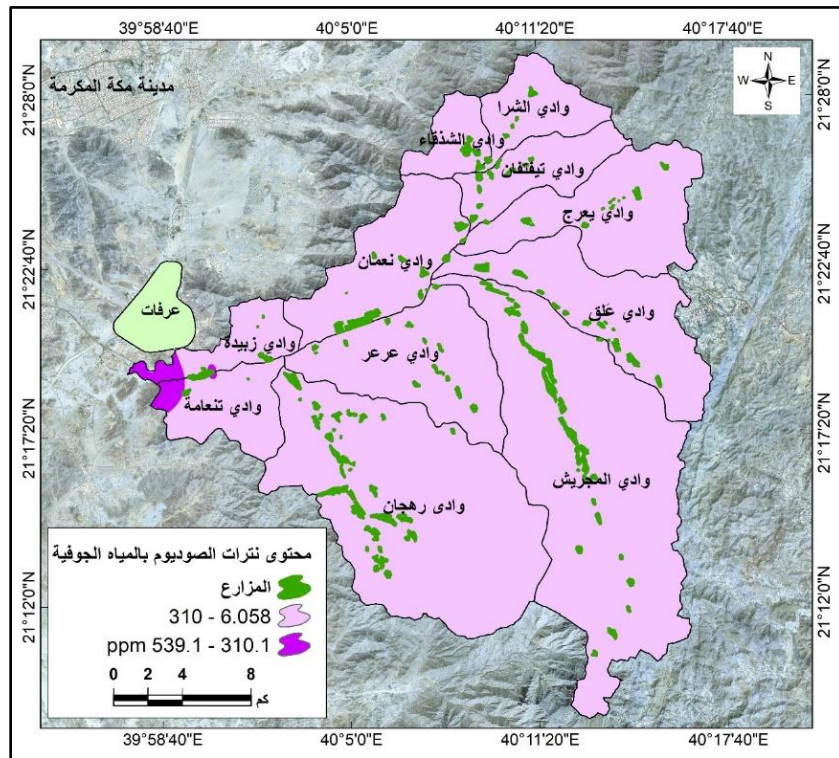
المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO,1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٤) صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى البيكربونات بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة



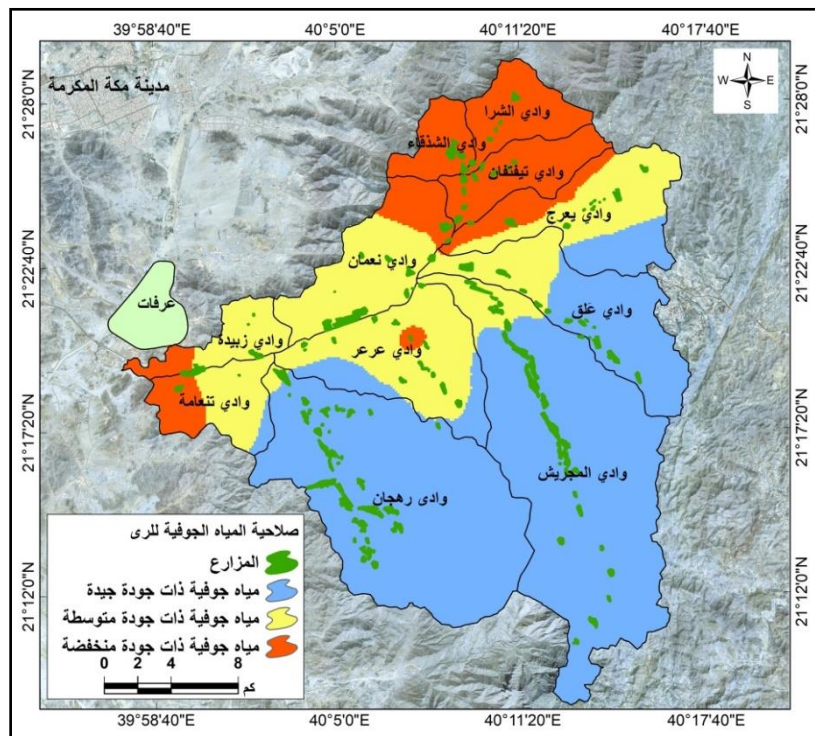
المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO,1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٥) صلاحية المياه الجوفية للرى تبعاً لمحتوى الصوديوم بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة



المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٦) صلاحية المياه الجوفية للرى تبعا لمحتوى نترات الصوديوم بالمياه الجوفية بمنطقة الدراسة



المصدر/ اعتماداً على معايير تقييم صلاحية المياه وتصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (١٧) صلاحية المياه الجوفية للرى تبعا لنموذج IWQI بمنطقة الدراسة

٢. تقييم صلاحية المياه الجوفية للشرب بمنطقة الدراسة:

تُحدد استخدامات المياه الجوفية حسب ما تحويه من مركبات صلبة وتركيز الأيونات بها، ولتحديد مدى صلاحيتها للاستعمالات المتنوعة، وبالأخص في الأماكن التي تعتمد عليها، كذلك يعتمد استخدامها للشرب والأغراض المنزلية على نسبة الأملاح والمواد الكيميائية، ويتم مطابقة هذه الخصائص مع المقاييس الدولية، كتلك التي تحددها منظمة الصحة العالمية.

تم تحديد الأملاح المتأينة المذابة في المياه الجوفية لحوض الدراسة، حيث تُقسم إلى شحنتات موجبة مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، وسالبة مثل الكلور والكبريتات، ويُعتبر إجمالي المواد الصلبة الذائبة (T.D.S) مقياساً لمستوى الملوحة، ويتوقف على طبيعة الصخور، بالإضافة إلى ذلك، تؤثر هذه المواد على توفر العناصر الغذائية للمحاصيل؛ إذ أن ارتفاع تركيزها يؤدي إلى تقليل الإنتاجية، تم تقسيم المياه الجوفية إلى خمسة أنواع حسب مستوى تركيز الأملاح (Altoviski, M.E., 1962, p.416)، وهي: مياه عذبة (أقل من ١٠٠٠ ملجم/لتر)، مياه شبه مالحة (١٠٠٠-٣٠٠٠ ملجم/لتر)، مياه متوسطة الملوحة (٣٠٠٠-٥٠٠٠ ملجم/لتر)، مياه مالحة (٥٠٠٠-١٠٠٠٠ ملجم/لتر)، ومياه شديدة الملوحة (أكثر من ١٠٠٠٠ ملجم/لتر)، وقامت الدراسة بتصنيف جودة المياه للشرب بناءً على تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) في المياه الجوفية بمنطقة، فقد تراوحت بين ٦٥٠ ملجم/لتر و ٣١١٨ ملجم/لتر، مما يصنفها ضمن فئة المياه العذبة والمياه شبه المالحة، وتشكل الآبار ذات المياه العذبة نسبة ٤١.٧٧٪ من إجمالي الآبار بالمنطقة، وتتوافق مع المعايير القياسية لمنظمة الأغذية والزراعة العالمية التي تحدد الحد المسموح به، وهو ٢٠٠٠ ملجم/لتر (FAO, 1988, PP 315)؛ بينما تمثل الآبار متوسطة الملوحة نسبة ٣٦,٦٪، والآبار عالية الملوحة نسبة ٢٢,٢٢٪. كما صُنّفت جودة مياه الشرب بالاعتماد على رقم الحموضة (pH) فمن خلال جدول (١٠)، يتضح أن مياه الآبار في منطقة الدراسة متعادلة أو قلوية، إذ تتراوح قيم pH بين ٧,٢٥ و ٧,٦٠، وهذا يعود إلى التفاعلات الكيميائية التي تحدث فوق الصخور الجيرية والدولوميتية، مما يخفف من حموضة المياه، كذلك، تتراوح نسبة أيونات الكالسيوم في المنطقة بين ٩٧ ملغم/لتر و ٢٤٥ ملغم/لتر، في حين يكون تركيز أيونات المغنيسيوم أقل، ويتراوح بين ٢٣,٥ ملجم/لتر و ٧٩,٨ ملجم/لتر؛ ويُعزى وجود المغنيسيوم في المياه الجوفية إلى الصخور القابلة للذوبان كالدولوميت والجير والمعادن الطينية.

كما يُعتبر أيون الكبريتات (SO₄) من العناصر ذات التأثير على نوعية المياه الجوفية للشرب، حيث يؤدي ارتفاع تركيزه إلى ارتفاع الملوحة، ويتراوح تركيزه في منطقة الدراسة بين ٢٥٢.٨٦ ملجم/لتر

و ٥٢٠ ملجم/لتر. أما أيون الكلوريد (Cl)، فهو من الأيونات السالبة ذات الأهمية، حيث يضيف طعمًا مالحًا للماء، وزيادة تركيزه تؤثر سلبيًا على مياه الشرب، ومن خلال شكل (١٠)، يتراوح تركيز أيون الكلور (Cl) بين ٨١,٧٠ ملجم/لتر و ٣١٩,١٠ ملجم/لتر بمنطقة الدراسة، بينما يتراوح تركيز أيون الصوديوم (Na) بين ٣٧.٢ ملجم/لتر و ١٦٧,٧ ملجم/لتر، في حين أن أيون البوتاسيوم (K) هو الأقل من حيث التركيز، حيث يتراوح بين ٢,٥٧ ملجم/لتر و ١٤,٥ ملجم/لتر.

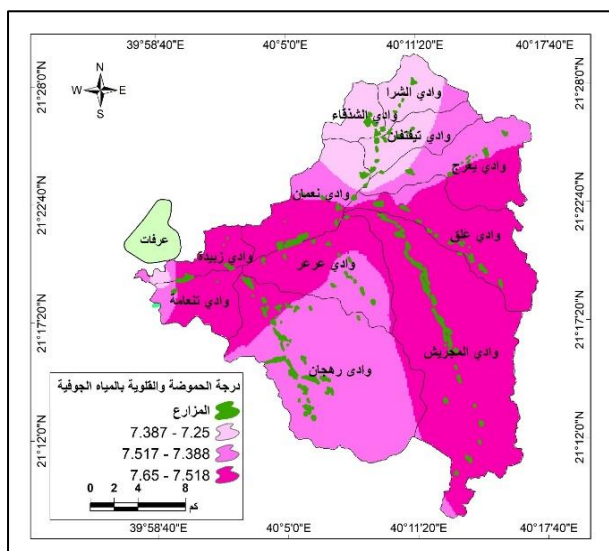
جدول (١٠) الخصائص الإحصائية لقيم معايير جودة مياه الشرب بمنطقة الدراسة

عنصر الكاديوم Cd	عنصر الحديد Fe	العكورة Turbidity	الأملاح الذائبة الكلية TDS	أيون الكبريتات So4	عنصر الكلور Cl	عنصر الكالسيوم عنصر Ca	عنصر المغنسيوم Mg	التوصيل الكهربائي Ec	الحموضة والقلوية Ph	المتغير
0.03	0.25	6.00	3122.00	520.00	319.10	245.00	79.80	5.80	7.60	أقصى قيمة
0.00	0.02	3.20	650.10	102.50	81.70	97.00	23.50	1.20	7.25	أقل قيمة
0.01	0.17	5.16	1642.61	252.86	189.26	155.02	38.05	2.25	7.46	المتوسط
العسرة الكلية Th	القلوية Alk	الأكسجين الذائب Do	فلورة المياه fluoride	عنصر الزرنيخ As	عنصر الزنك Zn	عنصر المنجنيز Mn	عنصر النحاس Cu	عنصر النيكل Ni	مستويات الرصاص في الدم PB	المتغير
800.00	527.00	5.70	1.50	0.07	7.00	0.09	2.00	0.10	0.33	أقصى قيمة
570.00	170.00	4.10	0.67	0.00	0.20	0.05	0.04	0.00	0.03	أقل قيمة
721.14	378.43	4.82	1.18	0.02	2.10	0.07	0.56	0.03	0.13	المتوسط

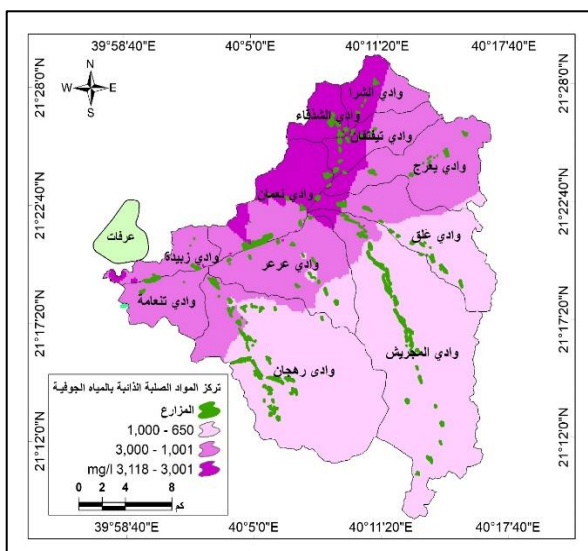
المصدر: وزارة المياه والكهرباء، تقارير غير منشورة، عام ٢٠٢٣م، والدراسة الميدانية.

كما تم تصنيف جودة المياه الجوفية للشرب بمنطقة الدراسة بناءً على قيم العسرة الكلية (T.H) التي تنشأ من تواجد أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في الماء، وتُعبّر عن نسبة الماء المحتوي على تركيز كلي لأيونات الكالسيوم والمغنيسيوم الثنائية الشحنة الموجبة مع جزيئات سالبة مثل الكبريتات والنترات والبيكربونات، وتُشير النتائج إلى أن نسبة العسرة الكلية (T.H) في حوض الدراسة تتراوح بين ٥٧٠ ملجم/لتر و ٨٠٠ ملجم/لتر - جدول (١٠)، وأن ٣٨٪ من آبار المياه في المنطقة تقع ضمن الحدود المسموح بها وتعتبر جيدة جداً، بينما ٥١٪ منها تعتبر جيدة لمياه الشرب، و ١١٪ منها غير صالحة للاستخدام كمياه شرب.

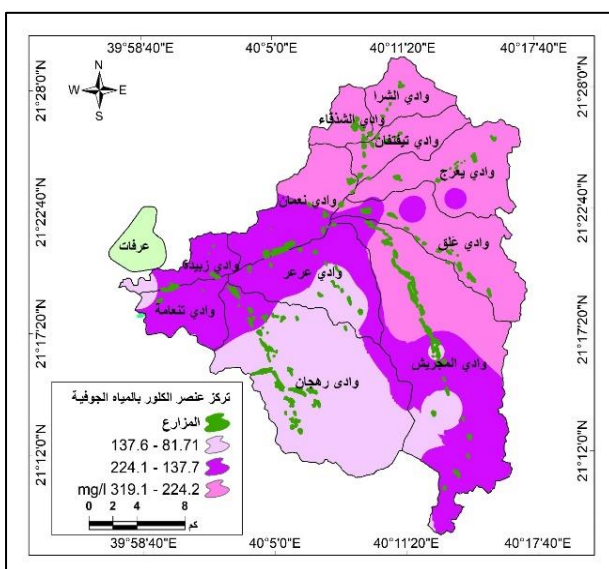
وبناءً على نموذج DWQI المدمج لجميع معايير تقييم صلاحية المياه للشرب والأوزان حسب معايير منظمة الصحة العالمية ومدى مطابقتها مع بيانات جدول (٤)، فإنه تم الحصول على طبقة من نوع Raster توضح الملاءمة المكانية لجودة مياه الآبار للشرب والاستخدامات المنزلية، وأظهرت النتائج أن ٤٧٪ من الآبار تقع ضمن الحدود المسموح بها للشرب، وتركزت في أحواض المجاريش، علق، ورهجان؛ بينما ٤٢٪ من الآبار تقع ضمن فئة التقييد المتوسط، و ١٠٪ ضمن فئة التقييد العالي، مما يحد من استخدامها للشرب - أشكال (١٨، ١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢).



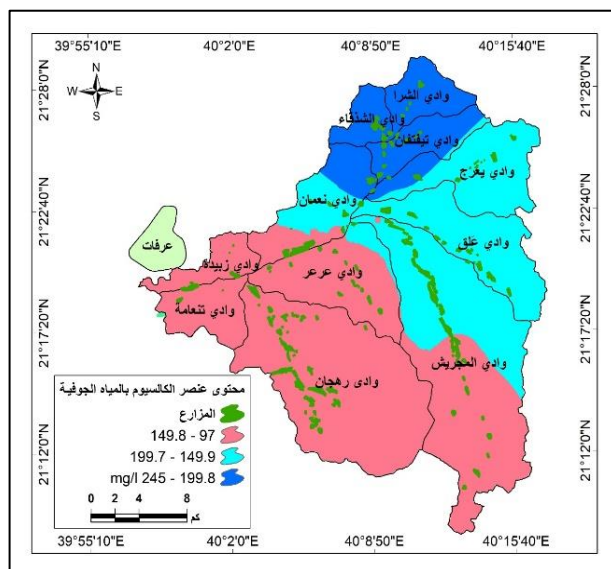
شكل (١٩) درجة Ph للمياه الجوفية بمنطقة الواحة



شكل (١٨) محتوى المواد الصلبة بالمياه الجوفية بمنطقة الواحة

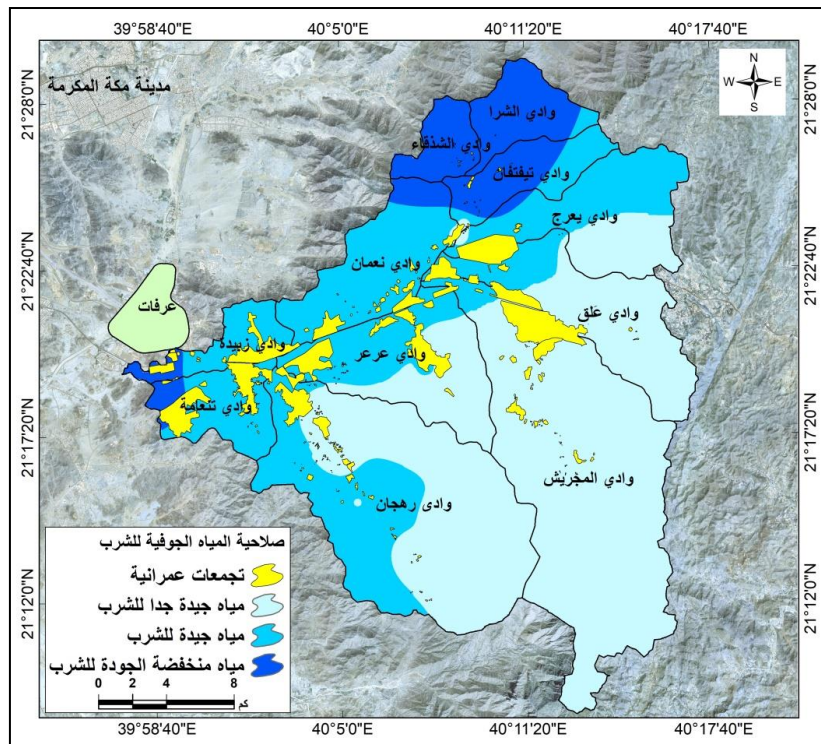


شكل (٢١) محتوى الكلور بالمياه الجوفية بمنطقة الواحة



شكل (٢٠) محتوى عنصر الكالسيوم بالمياه الجوفية بمنطقة الواحة

المصدر/ الاستيفاء المكاني للعناصر الكيميائية اعتماداً على تصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.



المصدر / اعتماداً على معايير تقييم صلاحية المياه وتصنيف FAO, 1994 باستخدام برنامج Arc GIS.

شكل (٢٢) صلاحية المياه الجوفية للشرب البشري تبعاً لمنظمة الصحة العالمية WHO

الخاتمة:

تعتبر المياه الجوفية ذات أهمية كبيرة للاستخدامات المختلفة مثل الشرب والزراعة، يتميز وادي النعمان بنوعية مياه يغلب عليها نوع كلوريد الكالسيوم. وتم اختبار صلاحية المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي والزراعي بالاعتماد على المقاييس العالمية والمؤشرات المستخدمة في الشرب والزراعة (DWQI ، IWQI)، وتوصلت الدراسة لعدد من النتائج والتوصيات، وهي كما يلي:

النتائج:

١. تُعد ملوحة المياه في وادي النعمان منخفضة نسبياً، حيث تتراوح الموصلية الكهربائية بين ٢٤٢ و ٣٩٠٠ ميكروسيمنس/سم، بمتوسط ١٤٢٣,٧١ ميكروسيمنس/سم.
٢. أظهرت نتائج مؤشر جودة مياه الشرب أن ٤٧٪ من الآبار المدروسة تتوافق مع معايير جودة مياه الشرب، خصوصاً في أحواض المجاريش، علق، ورهجان، بينما ٤٢٪ من الآبار تقع ضمن فئة التقييد المتوسط، و ١٠٪ منها تعتبر سيئة أو غير صالحة للشرب وتحتاج إلى معالجة.

٣. أظهر مؤشر جودة مياه الري (IWQI) أن ٢٤٪ من الآبار صالحة لري جميع النباتات، و ٢٨٪ منها معتدلة إلى غير مقيدة، مما يعني عدم وجود قلق بشأن السمية لمعظم النباتات، بينما ١١٪

- من الآبار تقع ضمن فئة التقييد العالي، مما يحد من استخدامها للنباتات المتوسطة إلى العالية التحمل للملوحة، وتوجد هذه الآبار في أحواض تيفتقان وعَرعر.
٤. تشير مؤشرات الزراعة إلى قيم متوسطة لكل من إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) الذي بلغ ١٨٥٦,٥٩، ونسبة امتصاص الصوديوم (SAR) التي كانت ٠,٩١، ودرجة التوصيل الكهربائي (Ec) التي وصلت إلى ١٤٢٣,٧١، وبكربونات الكالسيوم (HC03) التي بلغت ٢١٠,٣.
٥. توصلت الدراسة إلى أن زيادة تساقط الأمطار تؤدي إلى تحسين خصائص المياه الجوفية وإعادة تغذيتها بشكل ملحوظ.
٦. كشفت النتائج أن دمج لخصائص الطبيعية والكيميائية ومؤشرات جودة المياه مع النمذجة متعددة المتغيرات والتحليل الجيوإحصائي ونظم المعلومات الجغرافية يعد منهجية ناجحة توفر رؤية شاملة لجودة المياه الجوفية وآليات التحكم فيها.

التوصيات:

- توصي الدراسة بعدد من التوصيات من شأنها المحافظة على المياه الجوفية وتنميتها بمنطقة الدراسة، وأهم التوصيات المقترحة:
١. أهمية إنشاء نظام مراقبة للموارد المائية بحوض الدراسة لضمان التنمية المستدامة.
 ٢. تطوير وحدة لإدارة المخاطر التي يمكنها تقييم مخاطر المياه ليس فقط بالنسبة للزراعة ولكن أيضاً لمخاوف الصحة العامة المتعلقة بالمخاطر الميكروبية والكيميائية في المياه.
 ٣. تفعيل الدراسات المتعلقة بإدارة الموارد المائية في حوض النعمان من قبل المتخصصين في هذا المجال.
 ٤. التنسيق بين وزارتي الزراعة والمياه والكهرباء بهدف دراسة المناطق الهيدرولوجية واستثمار الموارد المائية بشكل مناسب.
 ٥. نشر الوعي المائي بين سكان منطقة الدراسة وكيفية الإدارة المائية للآبار الجوفية.
 ٦. تطوير نظام جيوبئي للاستفادة من مياه الأمطار والسيول في تغذية الخزان الجوفي.
 ٧. توصي الدراسة بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد لإدارة المياه الجوفية، لإنشاء تقارير ذات دقة وسرعة لصانعي القرار، مما يسهم في تخطيط إستدامة المياه الجوفية بحوض الدراسة والمناطق المماثلة.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المصادر:

- الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة، المملكة العربية السعودية (٢٠٢٣م).
- وزارة الشؤون البلدية والقروية وكالة الوزارة لتخطيط المدن، بيانات غير منشورة عن السكان، المملكة العربية السعودية (٢٠٢٣م).
- وزارة المياه والكهرباء السعودية، المملكة العربية السعودية (٢٠٢٣م).

ثانياً: المراجع العربية:

- البلوشي، شاهينة محمد عناية الله: الزراعة بحوض وادي النعمان بمنطقة مكة المكرمة، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم الاجتماعية - جامعة أم القرى، المملكة العربية السعودية (٢٠٢٣م).
- الزهراني، أفراح أحمد: الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي النعمان بمنطقة مكة المكرمة، المجلة المصرية للتغير البيئي، المجلد الثالث عشر (٢٠٢١م).
- حميد، رقية مرشد: دراسة وتحليل مياه الآبار في مركز قضاء المقدادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، بحث منشور في وحدة الأبحاث المكانية، جامعة ديالى، العراق (٢٠١٢م).
- حميدة، ياسمين محمود أحمد: تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية لتقييم نوعية المياه الجوفية بمحافظة بنى سويف، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب - جامعة بنى سويف، مصر (٢٠٢٣م).
- محمد، صفاء جاسم وآخرون: النمذجة المكانية للخصائص النوعية للمياه الجوفية في (GIS) في بادية محافظة المثنى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة كلية الآداب، جامعة المثنى، المجلد ٢٨ العراق (٢٠١٩م).

ثالثاً: المراجع الأجنبية:

- Abbasnia, A., Alimohammadi, M., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Mohammadi, A. A., ... & Mirzabeigi, M. (2018). Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahr city, Sistan and Baluchistan province in Iran. Data in brief, 16, 182-192.
- Altoviski, M.E., Handbook of hydrogeology, Gosgeolizdat Moscow, USSR (in Russian) 1962, p.416.

- Batareseh, M. (2017). *Sustainable management of calcareous saline-sodic soil in arid environments: The leaching process in the Jordan Valley*. *Applied and Environmental Soil Science*, 2017(1), 1092838.
- Dimri, D., Daverey, A., Kumar, A., & Sharma, A. (2021). *Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India*. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100375.
- EPA, 1994a. *Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in: Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 4.4*. U.S. Environmental Protection Agency.
- FAO, *Water Quality for irrigation and Drainage* 1988.
- FAO, *Water Quality for irrigation and Drainage* 1994.
- Gitau, M. W., Chen, J., & Ma, Z. (2016). *Water quality indices as tools for decision making and management*. *Water resources management*, 30, 2591-2610.
- Ketata, M., Gueddari, M., & Bouhlila, R. (2012). *Use of geographical information system and water quality index to assess groundwater quality in El Khairat deep aquifer (Enfidha, Central East Tunisia)*. *Arabian journal of geosciences*, 5, 1379-1390.
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. D., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. A. (2010). *A new proposal of the classification of irrigation water*. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 349-357.
- Pak, H. Y., Chuah, C. J., Tan, M. L., Yong, E. L., & Snyder, S. A. (2021). *A framework for assessing the adequacy of Water Quality Index—Quantifying parameter sensitivity and uncertainties in missing values distribution*. *Science of the Total Environment*, 751, 141982.
- Sharaf, M. A. M. (2013). *Trace elements hydrochemistry and suitability of the groundwater in Wadi an Numan area, Makkaah District, Western Arabian Shield, Saudi Arabia*. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 1871-1887.
- Singh, K. K., Tewari, G., & Kumar, S. (2020). *Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand*. *Journal of Chemistry*, 2020(1), 6924026.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016). *Development of river water quality indices—a review*. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-29.
- Taloor, A. K., Pir, R. A., Adimalla, N., Ali, S., Manhas, D. S., Roy, S., & Singh, A. K. (2020). *Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index (WQI)*. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100364.

- Wqtor, K., & Zdechlik, R. (2021). *Application of water quality indices to the assessment of the effect of geothermal water discharge on river water quality—case study from the Podhale region (Southern Poland)*. *Ecological Indicators*, 121, 107098.
- WHO: 1999, p.36.
- Wilcox, L. (1955). *Classification and use of irrigation waters* (No. 969). US Department of Agriculture.

Managing groundwater quality and evaluating its suitability for irrigation and drinking in the Wadi Al-Naman Basin (Kingdom of Saudi Arabia)

Using geographic information systems

ABSTRACT

This study examined the groundwater quality in the Wadi Al-Na'man Basin, located southeast of Makkah, assessing its suitability for drinking and irrigation, as well as its impact on agriculture. It also investigated the daily consumption rates and monitored the groundwater reserves to help preserve this renewable resource. The study utilized international water quality indices (I/D/WQI), spatial modeling, and Geostatistical Analyses. A total of 81 wells in the area were tested, covering a variety of chemical elements. Based on the Drinking Water Quality Index (DWQI), 47% of the wells were found to be suitable for drinking, 42% fell into the moderately restricted category, and 10% were unsuitable for consumption. Regarding the Irrigation Water Quality Index (IWQI), 24% of the wells were within acceptable limits for irrigation, 28% were moderate to unrestricted, while 11% showed high restrictions. The study revealed that wells with good water quality are concentrated in the Majareesh, Alaq, and Rahjan sub-basins, whereas those with significant limitations are found in the Tiftfan and Arar sub-basins. Nonetheless, groundwater quality in the study area improves with increased rainfall, which contributes to the recharge and renewal of the aquifer. The results also showed that the maximum groundwater depth in the study area reaches 69.80 m in Wadi Tanaamah. The highest water extraction rates were recorded in urbanized areas, ranging from 319 m³/day in Qarn Al-Na'man villages to 594 m³/day in the Rahjaniyah villages. The study demonstrated that integrating physical and chemical characteristics with water quality indices, geostatistical analysis, and GIS is an effective approach for assessing groundwater quality in the study area and similar regions.

Keywords:

Wadi Al-Na'man Basin - Drinking Water Quality Index – Irrigation Water Quality Index – Spatial Modeling.