



التباين الطبوغرافي وأثره في أعماق المياه الجوفية بمنطقة الدافنية في بلدية مصراتة دراسة باستخدام التقنيات الجيومكانية

أ. فاطمة أحمد أبو جلالة

طالبة دكتوراه، الجغرافيا البشرية

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا فرع مصراتة

fatmaahmed66a@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-5597-896X>

د. مصباح محمد عاشور

أستاذ مشارك، الجغرافيا البشرية

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا فرع مصراتة

mosbahashoor1964@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-5428-4671>

أ. زينب علي الأمين

طالبة دكتوراه، الجغرافيا البشرية

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا فرع مصراتة

zainebelamen@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-5019-53>

تاريخ الاستلام 2026/07/01 تاريخ القبول 2026/07/13 تاريخ النشر 2026/10/01

الوصول مفتوح

مقالة بحثية

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل العلاقة المكانية بين التباين الطبوغرافي وأعماق الآبار الجوفية في منطقة الدافنية ببلدية مصراتة، باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والأساليب الإحصائية المكانية، وتمثل مشكلة الدراسة في الكشف عن طبيعة العلاقة بين ارتفاع السطح وعمق المياه الجوفية، أظهرت النتائج وجود علاقة طردية واضحة؛ حيث كانت الآبار الساحلية أقل عمقاً (8-32م)، وازدادت الأعماق تدريجياً باتجاه المناطق الأعلى جنوباً لتصل إلى 100 متر، وبيّن مؤشر موران (0.1008) وقيمة Z البالغة (2.35) وجود ميل ضعيف إلى التجمع المكاني لتوزيع الآبار في منطقة الدراسة متأثراً ببعض العوامل البرية والزراعية، كما أثبتت نماذج الاستيفاء المكاني Kriging و IDW كفاءة جيدة في تتبع مناسيب المياه، بينما قدم مؤشر التجمع المائي المائي TWI نمذجة استكشافية للرطوبة السطحية، وتوصي الدراسة بإعادة بناء نموذج GWR بدمج متغيرات هيدروجيولوجية إضافية كالنفذية ونوع الصخور، مع تنظيم حفر الآبار، وتفعيل المراقبة الدورية للحد من استنزاف وتملح الخزان الجوفي الساحلي، وتفعيل نظم المعلومات الجغرافية لمراقبة الخزان الجوفي، والاعتماد على مصادر بديلة كتحلية المياه لمنع تداخل مياه البحر وتملح الآبار الساحلية. الكلمات المفتاحية: الطبوغرافيا، التباين المكاني، المياه الجوفية، نظم المعلومات الجغرافية، الاستيفاء المكاني.



حقوق النشر محفوظة للمؤلف (المؤلفين) 2026. يُوزع هذا المقال بموجب بنود ترخيص المشاع الإبداعي نسبة المصنف 4.0 الدولي (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), والذي يسمح بالاستخدام والتوزيع وإعادة الإنتاج غير المقيد في أي وسيط، شريطة الإشارة إلى المؤلف (المؤلفين) الأصلي (الأصليين) والمصدر، وتوفير رابط لترخيص المشاع الإبداعي، وتوضيح ما إذا تم إجراء أي تغييرات.

Topographic variation and its impact on groundwater depths in the Dafniya area of Misrata Municipality *"A study using geospatial techniques"*

Mosbah Mohamed Ashoor
Associate Professor, Human Geography
Libyan Academy for Graduate Studie, Misrata
Branch - Libya

Mosbahashoor1964@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-5428-4671>

Fatma Ahmed Abu jlala
PhD Candidate in Human Geography
Libyan Academy for Graduate Studie, Misrata
Branch – Libya

fatmaahmed66a@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-5597-896X>

zaineb ali elamen
PhD Candidate in Human Geography
Libyan Academy for Graduate Studie,
Misrata Branch – Libya

zainebelamen@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-5019-53>

Received: 01/07/2026

Accepted: 13/07/2026

Published 01/10/2026

Research Article

open Access

Abstract:

This study aims to analyze the spatial relationship between topographic variation and groundwater well depths in the Dafniya area of Misrata Municipality, using Geographic Information Systems (GIS) techniques and spatial statistical methods. The problem of the study is to reveal the nature of the relationship between surface height and groundwater depth. The results showed a clear positive relationship; The coastal wells were shallower (8-32m), and the depths gradually increased towards the higher areas to the south, reaching 100m. Moran's index (0.1008) and Z-value (2.35) showed a weak tendency towards spatial clustering of well distribution in the study area, influenced by some terrestrial and agricultural factors. The Kriging and IDW spatial interpolation models proved to be very efficient in tracking water levels, while the TWI aquifer index provided an exploratory model of surface moisture. The study recommends reconstructing the GWR model by incorporating additional hydrogeological variables such as permeability and rock type, regulating well drilling, activating periodic monitoring to reduce depletion and salinization of the coastal aquifer, activating geographic information systems to monitor the aquifer, and relying on alternative sources such as desalination to prevent seawater intrusion and salinization of coastal wells.

Keywords: topography, spatial variation, groundwater, geographic information systems, spatial interpolation, geographic distribution



The Author(s) 2026. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) , which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, pro-vided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and Indi-cate if changes were made.



أولاً: المقدمة:

تكتسب المياه الجوفية أهمية استراتيجية كركيزة أساسية للتنمية المستدامة وإمدادات المياه العذبة في المناطق الجافة وشبه الجافة، وتُعد الأمطار مصدر تغذيتها الرئيسي عبر تسربها خلال مسامية التربة والشقوق الصخرية، ويؤدي العامل التضاريسي دوراً مورفومترياً حاسماً في توجيه الهيدرولوجيا تحت السطحية، وتحديد مناطق التغذية، والتحكم في أعماق المنسوب المائي للآبار وتكلفة استغلالها، وتأتي هذه الدراسة لتبحث في العلاقة الارتباطية بين الخصائص الطبوغرافية وأعماق الآبار في الفرع البلدي "الدافنية" ببلدية مصراتة، حيث تهدف إلى تحليل التباين المكاني لمستويات المياه الجوفية وعلاقته بالتدرج الطبوغرافي للمنطقة بالاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والأساليب الإحصائية الرياضية.

المشكلة :

تكمن مشكلة الدراسة في وجود تباين مكاني واضح في توزيع آبار المياه الجوفية وأعماقها ناتج عن تأثير الخصائص الطبوغرافية والتضاريسية لمنطقة الدراسة، مما يتطلب تحليلاً كمياً ومكانياً للعلاقة الارتباطية بين الارتفاعات الرقمية للسطح ومستويات تلك الآبار، وذلك عبر توظيف تقنيات جغرافية الحديثة لفهم هذا الارتباط وتفسيره، وبناءً على ذلك، يمكن صياغة مشكلة الدراسة في التساؤلات الرئيسية التالية:

- 1- ما نمط التوزيع المكاني الحالي لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة؟
- 2- هل توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية ومكانية بين الارتفاع الطبوغرافي للسطح وعمق المياه الجوفية في الآبار؟
- 3- كيف يمكن توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في نمذجة وتحديد النمط التوزيعي للآبار تبعاً للمحددات الطبوغرافية؟

الفرضيات:

- 1- يأخذ التوزيع المكاني لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة نمطاً متجمعاً ذو دلالة إحصائية.
- 2- توجد علاقة ارتباطية مكانية ذات دلالة إحصائية بين الارتفاع الطبوغرافي للسطح ومستويات أعماق المياه الجوفية في الآبار.
- 3- تتيح تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) نمذجة ورسم النطاقات التوزيعية للآبار بدقة وفقاً للمحددات الطبوغرافية.

الأهداف:

- 1- التعرف على النمط السائد لتوزيع الآبار وعلاقته بالتباين الطبوغرافي بمنطقة الدراسة .
- 2- الكشف عن تأثير طبوغرافية منطقة الدراسة على أعماق آبار المياه الجوفية.
- 3- إنتاج عدة خرائط ونماذج رقمية توضح التأثير الطبوغرافي على توزيع الآبار وأعماقها .

الأهمية:

تكمن أهمية الدراسة في تقديم رؤية جغرافية تطبيقية لفهم تأثير التباين الطبوغرافي على توزيع الآبار الجوفية وأعماق مياهها في منطقة الدافنية؛ مما يثري المكتبة الجغرافية بدراسة متخصصة في الموارد المائية للمنطقة، وتنبؤ قيمتها العلمية في توظيف أدوات تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج مخرجات خرائطية وبيانية لتضع بين أيدي متخذي القرار ومخططي الموارد المائية أداة للكشف عن المواقع التي تعاني من هبوط منسوب المياه الجوفية؛ مما يساهم في تنظيم حفر الآبار مستقبلاً وحماية الخزان الجوفي من الاستنزاف العشوائي غير المدروس.

المنهجية:

اعتمد البحث في جمع البيانات والمعلومات المتعلقة بموضوع الدراسة على الجانب المكثبي المتمثل في الكتب والمجلات العلمية، والجانب التطبيقي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لاستخلاص ونمذجة خرائط التوليد المكاني عبر أدوات التحليل المكاني في برنامج ARC MAP 10.8.1، وقد تم التعامل مع بيانات نموذج الارتفاع الرقمي لاشتقاق الخصائص التضاريسية للمنطقة وبدقة مكانية تصل إلى 30 متراً.

وقد اتبعت الدراسة منهجاً وصفيّاً في تقديم صورة واقعية عن مواقع الآبار، كما اعتمدت على المنهج التحليلي لتحليل تأثير طبوغرافية المنطقة على أعماق مياه الآبار، كما استخدمت الدراسة المنهج الكمي الإحصائي لمعرفة طبيعة العلاقة بين متغيرات السطح وأعماق الآبار، كما استعانت الدراسة بالأساليب الإحصائية المناسبة للتعرف على توزيع الآبار وعلاقتها بطبوغرافية المنطقة لتحليل صلة الجوار، ومعامل موران، والمسافة المعيارية والاتجاه التوزيعي وأداة وزن المسافة المعكوسة IDW، وأداة الاشتقاق المكاني Kriging، والانحدار المكاني الموزون GWR.

تجدر الإشارة منهجياً إلى أن اعتماد الدراسة على عينة قوامها (40 بئراً جوفياً) موزعة على مساحة تبلغ 214 كم² يمثل أقصى حجم عينة ميدانية أتيح الحصول على بياناتها



الهيدروليكية والإحداثية بدقة وموثوقية عالية في منطقة الدراسة، وبالرغم من محدودية العينة نسبياً لتطبيق نماذج الاستيفاء المكاني المتقدمة كـ Kriging والانحدار الموزون مكانياً GWR، إلا أن توزيع الآبار جغرافياً في النطاقات الثلاثة (أوروبية، زريق، الدافنية) وتغطيتها لتدرج الارتفاعات يحقق تمثيلاً إحصائياً مقبولاً لدراسة التوجه العام للعلاقة الطبوغرافية-الهيدرولوجية، وهو ما يتوافق مع العديد من الدراسات المنهجية المقارنة في النطاقات الساحلية الضيقة.

الدراسات السابقة:

- 1-دراسة الزبيدي(2009): بعنوان استخدامات المياه الجوفية في العراق وتوزيعها المكاني وتقييم كفاءة استغلالها، ركزت على استخدامات المياه الجوفية في العراق وتوزيعها المكاني بهدف تقييم كفاءة استغلالها في الأنشطة البشرية والزراعية باستخدام المنهج التحليلي، وتتقاطع مع دراسة الدافنية في إبراز الأهمية الاستراتيجية للمياه الجوفية وضرورة حمايتها من الحفر العشوائي .
- 2-دراسة المرعاوي (2012): بعنوان إمكانيات استثمار المياه الجوفية بمحافظة الأنبار وعلاقتها بالعوامل الطبوغرافية، بحثت في إمكانية استثمار المياه الجوفية بمحافظة الأنبار، واعتمدت المنهج الوصفي والتحليلي الكمي يربط البيانات الميدانية للآبار بالعوامل الطبوغرافية والمناخية، وتلتقي مع الدراسة الحالية في استخدام البيانات الميدانية لتقدير أعماق الحفر .
- 3-دراسة أبو الخير (2024): بعنوان الفارق التضاريسي وتجمع المياه الجوفية ببلدية الجبل الغربي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، تناولت الفارق التضاريسي وتجمع المياه الجوفية ببلدية الجبل الغربي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية واعتمدت المنهج التحليلي لنمذجة العلاقة بين تعرجات السطح وحركة المياه، وتلتقي مع الدراسة الحالية في الاعتماد على المتغيرات الطبوغرافية لتفسير التباين المكاني لأعماق الآبار .
- 4-دراسة المحمدي (2024): درست خصائص المياه الجوفية لقضاء العامرية بالأنبار، واعتمدت المنهج الوصفي التحليلي والأسلوب الكمي والعمل الميداني عبر برامج نظم المعلومات الجغرافية لتحليل مناسيب المياه، وتلتقي مع دراسة الدافنية في معالجة بيانات الآبار ميدانياً وتحويلها لنماذج رقمية تساعد في توجيه عمليات الحفر .
- 5-دراسة الصول (2025): قيمت جدوى الاعتماد على مياه الآبار الجوفية ببلدية مصراتة كبديل لمياه النهر الصناعي باستخدام المنهج التحليلي ونظم المعلومات الجغرافية، وكشفت

النتائج عن أن الاستنزاف الجائر أدى لتوقف بعض الآبار، وأشارت إلى أن أعماق الآبار في حقل (الفلاجة) بالدافية تتراوح بين 115 و 135 متراً.

6-دراسة عبدالسلام وآخرون (2026): بعنوان التحليل المكاني للتفاوت في مظاهر السطح والامطار وانعكاسه على بعض خصائص آبار المياه الجوفية في مدينة البيضاء، تناولت تحليل التباين المكاني لأعماق وإنتاجية آبار المياه الجوفية بمدينة البيضاء وعلاقتها بالارتفاعات باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وأساليب إحصائية مكانية متقدمة كالانحدار الجغرافي الموزون (GWR) ، وتشترك هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ، وتوظيف نفس الأدوات والأساليب الإحصائية والمكانية المتقدمة مثل مؤشر تجمع المياه (TWI) والانحدار المكاني الموزون (GWR).

7-دراسة Altunel (2023): بعنوان تأثير دقة نموذج الارتفاع الرقمي على حساب وتصوير مؤشر الرطوبة الطبوغرافية: نظرة على الخطر الخفي الذي كشف في بوزكورت في أغسطس 2021، تناولت أثر دقة نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) في حساب وتصوير مؤشر الرطوبة الطبوغرافي (TWI) للتنبؤ بمواضع تجمع السيول، وتشترك مع الدراسة الحالية في الاعتماد على خرائط DEM وتطبيق خطوات المعالجة الهيدرولوجية الرقمية ذاتها كأدوات التعبئة والتدفق (Fill & Flow Direction) ، لربط تباين السطح هيدرولوجياً بمناخ المياه الجوفية.

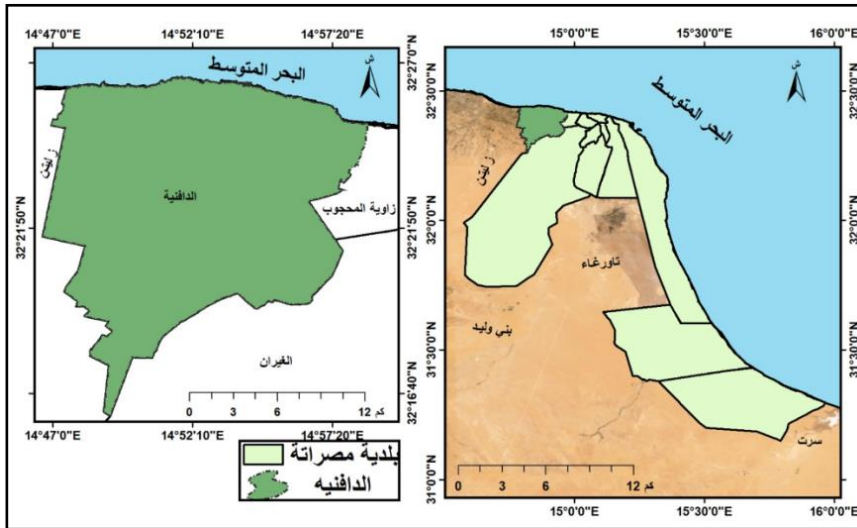
8-دراسة Widyasamratri وآخرون (2024): بعنوان دراسة المياه العذبة السطحية المحتملة في كارس ريمبانغ باستخدام مؤشر الرطوبة الطبوغرافي (TWI)، ركزت على استخدام مؤشر الرطوبة الطبوغرافي (TWI) المشتق من بيانات DEM لاستكشاف موارد المياه العذبة السطحية وتحديد تجمعات تدفق أودية الأنهار لمواجهة الجفاف في منطقة كارسية بإندونيسيا، وتشترك مع الدراسة الحالية في الاستناد إلى نمذجة الارتفاعات الرقمية وطوبوغرافية المنحدرات لحساب محتوى الرطوبة وتراكم التدفق عبر برمجية ArcGIS لربط خصائص السطح الطبوغرافية بتباين مناسيب المياه الجوفية.

الإطار الجغرافي لمنطقة الدراسة :

تقع منطقة الدراسة كما موضح بالخريطة (1) والمتمثلة في الفرع البلدي الدافنية في الجزء الشمالي الغربي لبلدية مصراتة الواقعة في شمال غرب ليبيا البالغة مساحتها حوالي 214 كم من إجمالي مساحة البلدية والتي تقدر بحوالي 5612 كم، يحدها شمالاً البحر المتوسط، ومن الشرق الفرع البلدي زاوية المحجوب، ومن الجنوب الفرع البلدي الغيران، بينما تظهر بلدية زليتن كحد جغرافي من الناحية الغربية، وفلكياً تقع بين خطي طول $20^{\circ} 45' 14''$ و $20^{\circ} 59' 14''$ شرقاً، وبين دائرتي عرض $32^{\circ} 16' 00''$ و $32^{\circ} 27' 40''$ شمالاً.

تكتسب منطقة الدافنية أهمية استراتيجية ومكانية بوقوعها ضمن النطاق الساحلي الممتد بين مدينتي مصراتة وزليتن؛ حيث تمثل حلقة وصل ومركزاً حيوياً للخدمات في ظهيرها الزراعي الخصب، وتحدد الشخصية الوظيفية للمنطقة بكونها مركزاً خدمياً صُم أساساً لتلبية احتياجات التجمعات الريفية والأنشطة الزراعية المحيطة بها، (القبي، 2000، ص 56).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى تقرير وزارة الحكم المحلي، بلدية مصراتة، "حدود بلدية مصراتة وفروعها والمحلات التابعة لها"، 2015، ص 3.

التوزيع الجغرافي للآبار الجوفية:

يتوزع وجود الآبار في عدة أماكن بمنطقة الدراسة إذ يبلغ عددها حوالي 40 بئرًا ففي أبوروية وزريق يوجد حوالي 10 آبار في كلا منهما، وفي الدافنية حوالي 20 بئرًا، كما هو موضح بالجدول (1) والشكل (2)، وتختلف أعماق هذه الآبار بتباين ارتفاع سطح الأرض، ففي منطقة أبوروية نجد أن سطح الأرض يتراوح ارتفاعه ما بين 8 و 22 مترًا، ولذلك كانت أعماق الآبار فيها ضحلة وقريبة من السطح حيث تراوحت بين 8 و 32 مترًا فقط، أما في منطقة زريق فبدأت الأرض ترتفع تدريجياً لتصل إلى 34 مترًا، وصاحب ذلك زيادة في أعماق الآبار لتصل إلى 62 مترًا، وتظهر المقارنة بوضوح في منطقة الدافنية وهي المنطقة الأكثر ارتفاعاً بين الثلاث (وصلت لارتفاع 61 مترًا عند البئر D16 مما أدى إلى حفر آبار أعمق في لتصل إلى 100 متر مثل البئرين D16 و D18، ومن هنا نجد أن هناك علاقة بين ارتفاع الأرض عن سطح البحر وعمق الآبار أي كلما زاد ارتفاع سطح الأرض زاد الحفر لمسافات أعمق للوصول إلى المياه الجوفية.

جدول (1) البيانات الأولية لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة

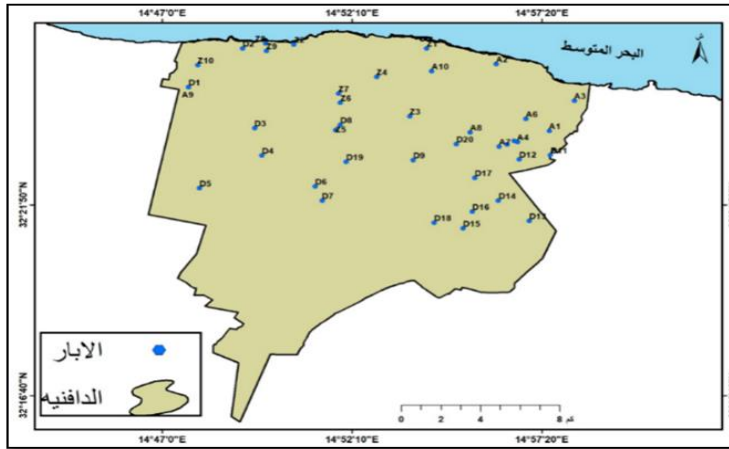
الارتفاع مستوى سطح البحر MSL	y	x	عمق البئر	المنطقة	رقم البئر
22 م	32.39722	14.95888	18 م	أبوروية	A1
8 م	32.54888	14.96138	8 م	أبوروية	A2
19 م	32.41083	14.97027	10 م	أبوروية	A3
13 م	32.39222	14.94444	14 م	أبوروية	A4
17 م	32.39111	14.93972	18 م	أبوروية	A5
9 م	32.40277	14.94833	10 م	أبوروية	A6
17 م	32.39027	14.93611	16 م	أبوروية	A7
16 م	32.39666	14.92305	25 م	أبوروية	A8
18 م	32.4025	14.39111	18 م	أبوروية	A9
22 م	32.42416	14.90555	32 م	أبوروية	A10
0 م	32.44055	14.90611	5.5 م	زريق	Z1
10 م	32.45638	14.84833	16 م	زريق	Z2



رقم البئر	المنطقة	عمق البئر	x	y	الارتفاع مستوى سطح البحر MSL
Z3	زريق	35 م	14.89555	32.40388	29 م
Z4	زريق	40 م	14.88055	32.42166	32 م
Z5	زريق	62 م	14.86194	32.3975	34 م
Z6	زريق	25 م	14.86416	32.41	24 م
Z7	زريق	22 م	14.86333	32.41416	21 م
Z8	زريق	43 م	14.83	32.43861	32 م
Z9	زريق	30 م	14.83055	32.43333	28 م
Z10	زريق	48 م	14.79944	32.42694	28 م
D1	الدافنية	60 م	14.79527	32.41694	30 م
D2	الدافنية	47 م	14.7	32.6	31 م
D3	الدافنية	53 م	14.82527	32.39861	31 م
D4	الدافنية	60 م	14.82861	32.38611	30 م
D5	الدافنية	85 م	14.80027	32.37138	52 م
D6	الدافنية	52 م	14.85277	32.37222	36 م
D7	الدافنية	85 م	14.85583	32.36583	46 م
D8	الدافنية	48 م	14.86416	32.4	35 م
D9	الدافنية	50 م	14.89722	32.38416	32 م
D10	الدافنية	20 م	14.94305	32.39277	38 م
D11	الدافنية	23 م	14.96638	32.38361	22 م
D12	الدافنية	40 م	14.94527	32.38444	20 م
D13	الدافنية	62 م	14.94972	32.35666	41 م
D14	الدافنية	60 م	14.93583	32.36583	31 م
D15	الدافنية	83 م	14.91972	32.35333	54 م
D16	الدافنية	100 م	14.92388	32.36083	61 م
D17	الدافنية	63 م	14.925	32.37611	31 م
D18	الدافنية	100 م	14.90666	32.35583	51 م
D19	الدافنية	86 م	14.86666	32.38333	31 م
D20	الدافنية	43 م	14.91666	32.39138	25 م

المصدر: عمل الباحثين استنادًا من أحمد البشير معيوف، استخدام تقنيات تعلم الآلة للتنبؤ بمؤشر جودت المياه الجوفية في منطقة الدافنية بمدينة مصراتة -ليبيا، رسالة ماجستير شعبة هندسة بيئية، قسم الهندسة وعلوم البيئة، الأكاديمية الليبية مصراتة.

شكل (2) التوزيع الجغرافي للآبار في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1
استناداً إلى الجدول (1).

تحليل الخصائص المكانية للآبار الجوفية بالفرع البلدي الدافنية:

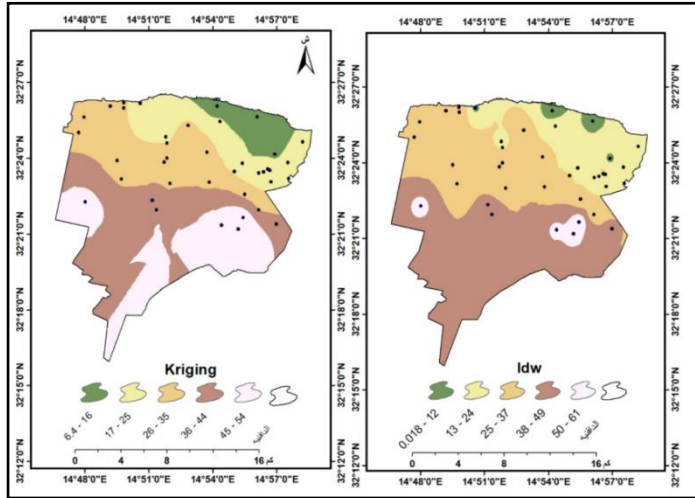
لإجراء التحليل المكاني للعلاقة بين تباين طبوغرافية السطح وأعماق الآبار الجوفية بمنطقة الدراسة حيث تم تحديد مواقع الآبار والتي بلغ عددها 40 بئراً منتشرة في مختلف نواحي المنطقة، كما تم الاستعانة بالأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل التوزيعات المكانية وهي كالآتي:

1- الاشتقاق المكاني وزن المسافات المعكوسة:

يوضح الشكل (3) مقارنة كارتوغرافية تطبيقية بين مخرجات أداة وزن المسافات المعكوسة (IDW) وأداة (Kriging) في تحليل التوزيع المكاني لأعماق آبار المياه الجوفية بمنطقة الدافنية؛ حيث يظهر بوضوح توافق الأداتين في تحديد الاتجاه العام لتدرج الأعماق تماشياً مع طبوغرافية المنطقة؛ وذلك بانتقال النطاقات المائبة من أعماق ضحلة تتراوح بين (0.018 و16 متراً) باللون الأخضر في الشريط الساحلي الشمالي نظراً للقرب من مستوى البحر نحو أعماق متوسطة باللون الأصفر والبرتقالي في الوسط، لتصل إلى ذروتها بأعماق تتجاوز (54 و61 متراً) باللونين البني والوردي في الأطراف الجنوبية والجنوبية الشرقية المرتفعة تضاريسياً، ورغم هذا التشابه العام يكشف التدقيق الجغرافي عن تفوق مخرجات أداة الكريجينج (Kriging) في إعطاء تمثيل مساحي أكثر مرونة وواقعية، فبينما تميل أداة (IDW) إلى

إنشاء بؤر دائرية مغلقة حول مواضع الآبار، نجح نموذج الكريجينج الإحصائي في تعميم الحدود الفاصلة بين النطاقات ورسم امتداد مساحي متصل وواسع للأعماق السحيقة (اللون الوردي الفاتح المائل للبياض) في الجنوب والشرق .

الشكل (3) تحليل أعماق الآبار باستخدام طريقي (IDW) و (Kriging)



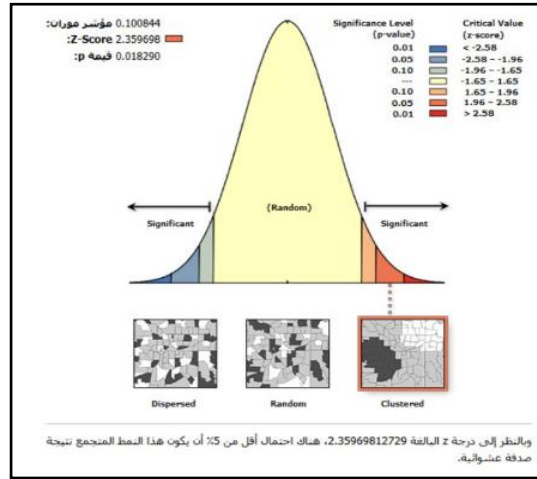
المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى الجدول (1).

2- مؤشر موران:

يعد مؤشر موران من أبرز مقاييس الارتباط الذاتي المكاني المستخدمة لتحديد نمط انتشار الظواهر جغرافياً؛ وذلك من خلال قياس درجة التماثل والترابط في التوزيع المكاني لمفردات الظاهرة وتتحصر القيمة الرقمية لهذا المعامل إحصائياً بين -1 و +1 حيث تُشير القيمة الاقترابية من -1 إلى النمط المتشتت أو المتباعد، في حين تعكس القيمة القريبة من +1 إلى النمط المتجمع أو المتقارب، بينما دلالة اقتراب القيمة من الصفر تؤكد عشوائية التوزيع المكاني وعدم وجود ارتباط ذاتي موجه (القصاب، 2020، ص108). من خلال الشكل (4) الذي يمثل التقرير الإحصائي لمعامل الارتباط الذاتي (معامل موران) يلاحظ أن قيمة Moran Index بلغت 0.100844 وعلى الرغم من أن قيمة Z الدالة إحصائياً 2.35 (بمستوى ثقة أعلى من 95%)، فإن القيمة الرقمية للمؤشر تعد منخفضة جداً ومقتربة من الصفر؛ لذا فإن الوصف العلمي الدقيق والواقعي للتوزيع هو وجود ميل ضعيف إلى التجمع المكاني وليس تجمعاً تكتلياً حاداً ويشير هذا الميل الضعيف إلى تداخل عوامل أخرى إلى جانب الطبوغرافيا التي تُسهل فيها عمليات الحفر واستغلال المياه الجوفية، بالتكامل مع عوامل بشرية واقتصادية

كالتجمعات السكانية والمساحات الزراعية، وهو ما يتطلب التحقق من أبعاده وقياس درجة تأثير كل عامل من هذه العوامل المكانية على هذا التجمع استخدام نموذج الانحدار المكاني الموزون (GWR).

الشكل (4) نتائج تحليل الارتباط الذاتي المكاني (مؤشر موران) لنمط توزيع الآبار في منطقة الدراسة

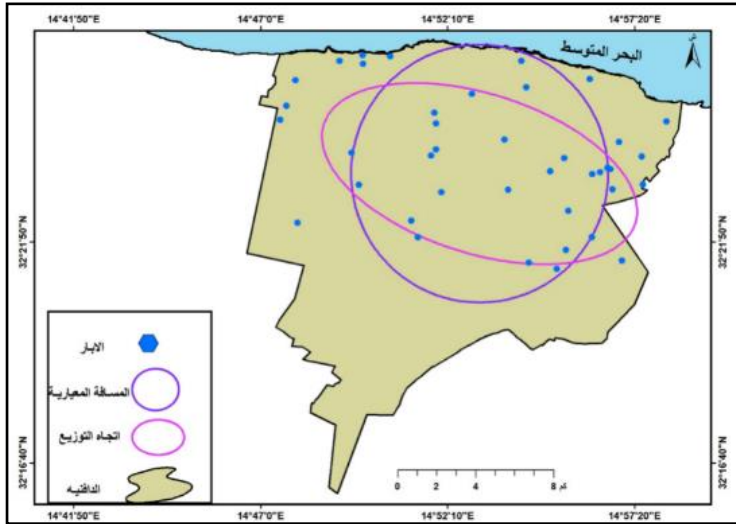


المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استنادًا إلى الجدول (1)

3- المسافة المعيارية:

تُعد المسافة المعيارية من مقاييس التشتت والتركز المكاني وتستخدم في تحليل البيانات المكانية، ويتم باستخدام قيمة المسافة المعيارية لرسم دائرة تسمى الدائرة المعيارية والتي من خلالها يمكن معرفة التركيز أو انتشار البعد المكاني للظاهرة، ومن خلال الشكل (5) يتبين من أن أكثر من نصف آبار المنطقة 25 بئر من جملة الآبار 40 بئرًا وقعت ضمن الدائرة المعيارية نصف قطر مسافتها البالغ قيمته (97330049.610 متر مربع) كما بالشكل (6) أي بنسبة 62.5%، في حين أن الآبار التي تقع خارج دائرة المسافة المعيارية 15 بئر بنسبة 37.5%، وأظهر التحليل أن الآبار متجمعة في تكتلات أو نطاقات معينة بسبب التجمعات السكانية أو المزارع، ولكن هذا التكتلات نفسها تنتشر على امتداد مساحة منطقة الدافنية (214 كم²) من الشمال الغربي للجنوب الشرقي.

الشكل (5) المسافة المعيارية واتجاه التوزيع (القطع الناقص) للآبار بمنطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى الجدول (1).

الشكل (6) المسافة المعيارية للآبار بمنطقة الدراسة

مسافة معيارية 2					
FID	Shape *	Id	CenterX	CenterY	StdDist
0	Polygon	0	489104.177489	3583728.3514	97330049.610

المصدر: عمل الباحثين استناداً من نتائج تحليل برنامج ARC MAP 10.8.1

4- اتجاه التوزيع (القطع الناقص المعياري):

يوضح الشكل (7) أن الحقلين Center X و Center Y هما إحداثيات المتوسط المكاني لآبار المياه الجوفية، بينما الحقل X StdDist يعبر عن قيمة المسافة المعيارية في اتجاه محور X أي نصف المحور الأكبر للشكل البيضاوي حيث تبلغ مسافة التشتت على المحور الطولي (X) حوالي 7078.83 متراً، أما الحقل Y StdDist يعبر عن قيمة المسافة المعيارية في اتجاه المحور العرضي (Y) أي نصف المحور الأصغر للشكل البيضاوي حيث تنخفض مسافة التشتت إلى 3443.19 متراً، أما الحقل Rotation فيعبر عن قيمة زاوية أو انحراف التوزيع أي زاوية ميل المحور الأكبر مقاسة من اتجاه الشمال، ومن خلال الشكل (5) يشير خصائص التوزيع الاتجاهي لانتشار الآبار في منطقة الدراسة إلى أن الاتجاه الفعلي للتوزيع يأخذ شكلاً أقرب للبيضاوي يمتد في محور من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي بزاوية ميل قدرها 107.58 ° درجة تقريباً، ونستنتج من ذلك أن توزيع الآبار داخل حيز القطع

المعياري الناقص بلغ 17 بئر بنسبة تصل إلى حوالي 42.5% من جملة عدد الآبار بمنطقة الدراسة، وأن عددها خارج الشكل البيضاوي بلغ 23 بئراً بنسبة 57.5 من جملة عدد الآبار بالمنطقة ونستنتج من ذلك أن توزيع الآبار داخل الشكل البيضاوي قد حقق التوزيع المتوازن ومابقع خارج هذا الشكل يعد توزيعاً مشتتاً بعيداً عن مركزية التوزيع المكاني .

الشكل (7) خصائص اتجاه التوزيع للآبار بمنطقة الدراسة

اتجاه التوزيع							
FID	Shape *	Id	CenterX	CenterY	XStdDist	YStdDist	Rotation
0	Polygon	0	489104.177489	3583728.3514	7078.830567	3443.187165	107.576212

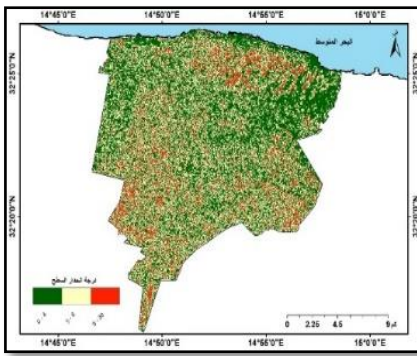
المصدر: عمل الباحثين استناداً من نتائج تحليل برنامج ARC MAP 10.8.1

الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة:

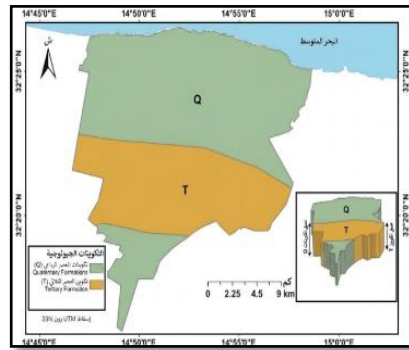
تُعد طبوغرافية أي منطقة هي انعكاس للبنية الجيولوجية كما هو موضح بالشكل (8) نجد سيطرة واضحة لتكوينات العصر الرباعي (Quaternary Formations) في الشطر الشمالي والوسط، وتكوينات العصر الثلاثي (Tertiary Formations) في الأطراف الجنوبية، وتتميز هذه الرواسب السطحية بمسامية ونفاذية عالية تسمح لفقد الجريان السطحي المتجمع في المنخفضات (المحددة عبر مؤشر TWI) بالترشح المباشر لتغذية الخزان الجوفي الساحلي الضحل، وبناءً عليه يفسر تداخل العوامل الطبوغرافية مع الخصائص الجيولوجية المذكورة وسلوك السحب البشري الجائر من الآبار لأغراض الري (والذي يؤدي لخلل هيدروليكي وتداخل مياه البحر وتملح الآبار الساحلية) النسبة المتبقية من التباين الإحصائي البالغة (22.3%) في نموذج الانحدار، وبالتالي فإن الطبوغرافية تعد عاملاً مساهماً وموجهاً هيدرولوجياً يتكامل مع البنية الهيدروجيولوجية المعقدة للمنطقة وليس محركاً معزولاً لحركة المياه تحت السطحية، ومن النتائج المتحصل عليها عن طريق معالجة وتحليل نموذج الارتفاعات الرقمية DEM لمنطقة الدراسة كما هو موضح بالشكل (9) تبين أن منطقة الدراسة منطقة غير متباينة التضاريس بشكل كبير، حيث تظهر كأراضي منبسطة لا تتعدى ارتفاعها أكثر من 107 أمتار عن مستوى سطح البحر خاصة في الجنوب والجنوب الغربي وينحدر السطح نحو الشمال والشمال الشرقي والذي يتراوح ارتفاعه بين 0 و19.8 متر والمتمثل في (النطاق الأزرق الباهت)، بينما يشغل النطاق المتوسط الذي يتراوح بين 19.8 و50.8 متر (اللون الأخضر

والبرتقالي) المساحة الأكبر في وسط المنطقة هذا التدرج التضاريسي يؤثر بشكل مباشر على حركة المياه الجوفية، ويفسر زيادة أو نقصان أعماق الآبار الجوفية بالمنطقة، ويكشف التحليل الجيومرفولوجي في الشكل (10) درجة الانحدار عن سيادة نمط السطح المستوي والتجانس التضاريسي العام في المنطقة؛ حيث تشغل الفئة المنبسطة والخفيفة (0.4 - 5.8 درجة) والممثلة باللون الأخضر المساحة الأكبر من إجمالي منطقة الدراسة، وهو ما يعكس غياب المعالم التضاريسية الوعرة بمنطقة الدراسة.

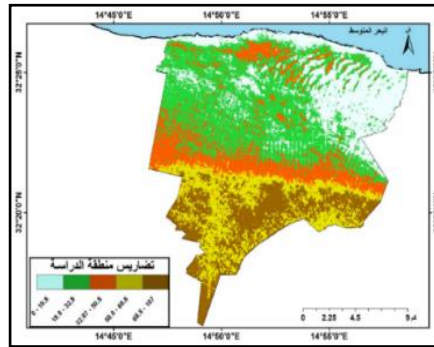
شكل (9) طبوغرافية منطقة الدراسة



شكل (8) جيولوجية منطقة الدراسة

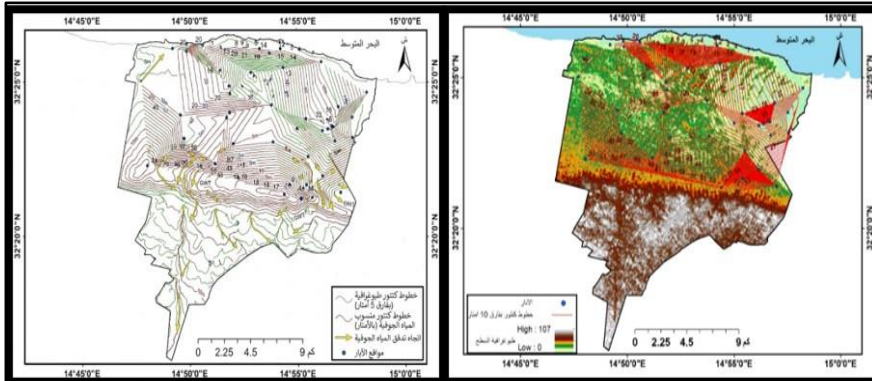


شكل (10) انحدار السطح



المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى الطبقة الرقمية ونموذج الارتفاع الرقمي DEM ومن الشكل (11) تم استخراج قيم خطوط الكنتور لنقاط مواقع الآبار ليصبح كل بئر يحتوي على قيمة ارتفاع الأرض بدقة باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM.

الشكل (11) خطوط الارتفاع المتساوية (الكنطور)



المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM
النمذجة المكانية:

1- الارتباط الجيومكاني بين أعماق الآبار وطبوغرافية السطح:

لضمان الدقة والتحقق المنهجي قبل تطبيق نموذج الانحدار المكاني الموزون (GWR)، أخضعت المتغيرات لاختبار الانحدار الخطي العادي (OLS) كخطوة تمهيدية للتحقق من غياب التعددية الخطية ومعنوية النموذج الإجمالي. أظهرت النتائج خلو النموذج من التشبث والارتباط المتعدد؛ حيث بلغت قيمة عامل تضخم التباين ($VIF = 1.00$)، وأثبت اختبار F صلاحية النموذج إحصائياً وموثوقيته جغرافياً بمستوى معنوية مرتفع ($P\text{-value} < 0.01$) وبناءً على ذلك، تم تشغيل نموذج (GWR) باعتماد النطاق التكيفي (Adaptive Kernel) والمشتق عبر معيار أكايكي المطور ($AICc$) لتحديد الحجم الأمثل للجوار الجغرافي لكل بئر، يوضح الجدول (2) المخرجات الإحصائية والتشغيلية لنموذج GWR، حيث تظهر علاقة ارتباط مكانية قوية بين الارتفاع الطبوغرافي وعمق الآبار؛ إذ بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.777$) وتشير هذه القيمة إلى أن الارتفاع الرقمي للسطح (DEM) يفسر وحده 77.7% من التباين المكاني لأعماق الآبار، بينما تعود النسبة المتبقية (22.3%) لعوامل طبيعية وبشرية أخرى (كالخصائص الجيولوجية ومعدلات السحب اليومي)، كما تؤكد قيمة معامل التحديد المعدل



(Adjusted $R^2 = 0.772$) الكفاءة التنبؤية العالية للنموذج في تقدير أعماق

المياه جوفياً بناءً على العامل الطبوغرافي.

جدول (2) نتائج نموذج الانحدار المكاني الموزون GWR للعلاقة بين الارتفاع وعمق الآبار

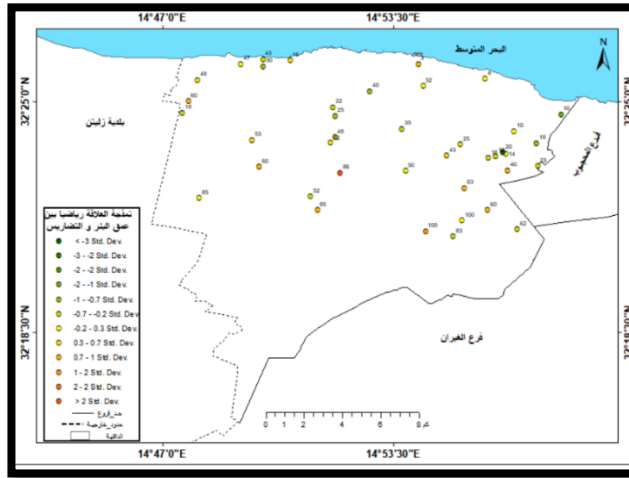
المؤشر الإحصائي	القيمة الرقمية	الدلالة العلمية
المتغير التابع	العمق	الظاهرة المراد تفسيرها والدراسة
المتغير المستقل	الارتفاع عن سطح البحر	العامل المؤثر (العامل الطبوغرافي)
معامل التحديد R^2	0.777	القوة التفسيرية للنموذج
معامل التحديد المعدل Adjusted R^2	0.772	دقة النموذج بعد الضبط الإحصائي ومراعاة درجة الحرية
مقياس أكاكي المطور (AICc)	321.07	مقياس مقارنة جودة النموذج والمفاضلة الإحصائية
الانحراف المعياري للبواقي (Sigma)	12.63	متوسط مقدار الخطأ في التنبؤ بوحدات القياس الفعلية
قيمة اختبار معنوية النموذج (F-Statistic)	132.40	يثبت القبول الإحصائي لمعنوية الانحدار بالكامل (عند دلالة $P < 0.001$)
نوع النطاق الجغرافي (Bandwidth Type)	تفاعلي (Adaptive Kernel)	تحديد حجم الجوار الجغرافي المرن لكل بئر بناءً على كثافة التوزيع
مقياس تحديد النطاق (Bandwidth Method)	AICc	الأداة الرياضية المستخدمة للوصول إلى النطاق الجغرافي الأمثل

المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً لبيانات الجدول (1)

كما يوضح الشكل (12) التوزيع المكاني للقيم التقديرية للبواقي القياسية (StdResid)

الناجمة عن النموذج؛ حيث يُلاحظ سيطرة الألوان الخضراء والصفراء الفاتحة على معظم الآبار،

نما يعكس تشتتاً منخفضاً للبواقي يقع ضمن النطاق الآمن إحصائياً والتوزيع الطبيعي التام (بين -1.96 و $+1.96$ انحراف معياري)، يؤكد هذا التوزيع دقة النموذج في مطابقة الأعماق الحقيقية بالقيم المتوقعة في أغلب المواقع، واقتصار الانحرافات الطفيفة الموجبة (اللونين البرتقالي والأحمر) على نقاط محدودة جداً وسط وجنوب المنطقة. وللتأكيد العلمي على موثوقية هذا التوزيع، أخضعت البواقي القياسية لاختبار موران (Moran's I) للارتباط الذاتي المكاني، والذي أظهر غياباً تاماً للانحرافات المكانية الحادة أو النمطية الجغرافية في الخطأ (حيث توزعت البواقي عشوائياً بدون ارتباط ذاتي معنوي)، يعزز هذا الاختبار من كفاءة الاعتماد الكامل على عامل الارتفاع كمتغير تفسيري أساسي وموثوق في نمذجة وتوقع هيدرولوجية المياه الجوفية بالمنطقة. الشكل (12) التوزيع المكاني للقيم التقديرية للبواقي القياسية الناتجة عن نموذج الانحدار الموزون مكانيّاً



المصدر: عمل الباحثان باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM

2- مؤشر تجمع المياه بناءً على فروقات الارتفاع (TWI):

هو مؤشر هيدرولوجي يُستخدم لتقدير الرطوبة السطحية وتحديد نطاقات تجمع الجريان السطحي، وفي هذه الدراسة يُعد مؤشراً مساعداً للاستدلال على مناطق التغذية السطحية المحتملة) للخران الجوفي (وليس محددًا مباشراً لحركتها الجوفية التي تحكمها نفاذية التربة وشمك الطبقات)

يُحسب المؤشر هيدرولوجياً في بيئة GIS كالآتي:

$$\text{Slope} = \text{Slope} * 1.570796/90$$

حيث Slope تمثل الانحدار وباقي الأرقام ثوابت لحساب زاوية الانحدار

$$\text{Tan Slope} = \text{Con} (\text{Slope} > 0, \text{Tan} (\text{Slope}), 0.001$$

حيث Tan Slope تمثل ظل زاوية الانحدار، و Con جيب التمام أوجتا.

$$\text{Fa_Scaled} = (\text{Fa}+1) * \text{Cell Size}$$

حيث Fa تمثل المساحة التصريفية النسبية Flow Accumulation

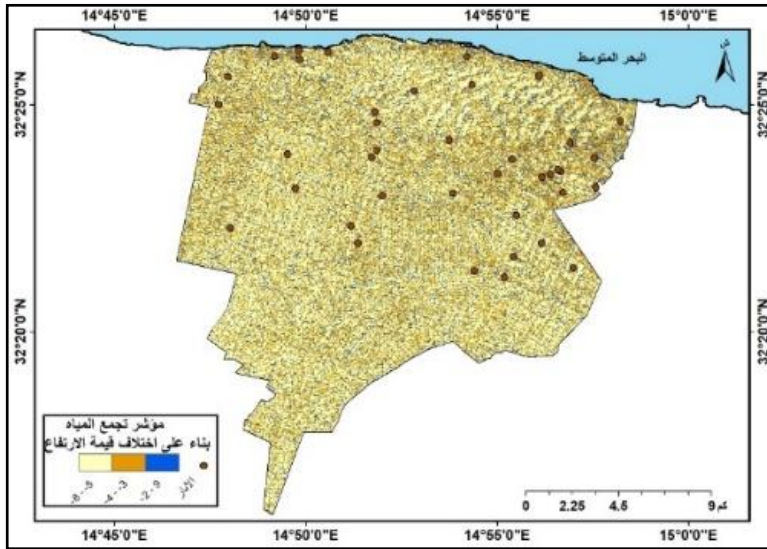
$$\text{TWI} = \ln (\text{Fa_Scaled} / \text{Tan} (\text{slope}))$$

المعادلة النهائية للمؤشر.

TWI حيث تمثل مؤشر تجمع المياه.

ومن خلال الشكل (13) تركز القيم المرتفعة للمؤشر (باللون الأزرق) في المنخفضات ومجاري الأودية ذات الانحدارات البسيطة ويُعزى ذلك إلى انخفاض زاوية الانحدار وتراكم التدفق المائي، مما يطيل زمن مكث المياه سطحياً، ويُعزز بالتالي من فرص ترشحها لتغذية المياه الجوفية في حال توفر نفاذية جيولوجية ملائمة تحت السطح.

الشكل (13) مؤشر تجمع المياه بناءً على فروقات الارتفاع (TWI)

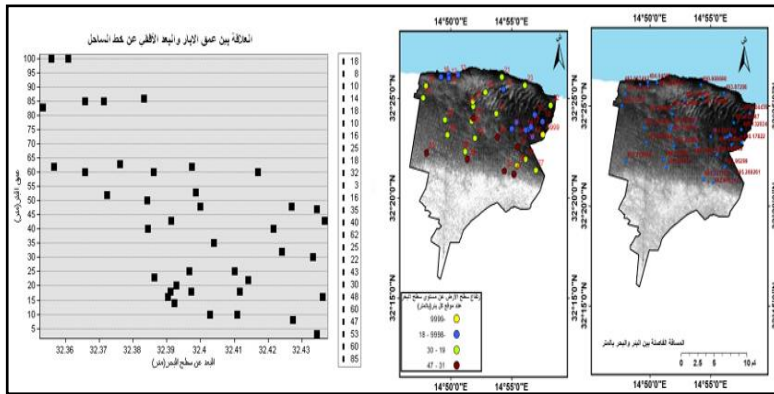


المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM

3- الاستيفاء المكاني والتحليل السطحي للآبار في منطقة الدراسة:

يوضح الشكل (14) أن الآبار القريبة من الساحل في نطاق ذي منسوب طبوغرافي منخفض وتتميز بأعماق مياه ضحلة، بينما يزداد عمق المياه الجوفية كلما اتجهنا جنوباً والتي تعتبر أكثر ارتفاعاً عن مستوى سطح البحر، ومع ذلك فإن قرب الآبار من البحر والسحب المفرط لمياهها؛ في ري المحاصيل يؤدي إلى خلل هيدروليكي يتسبب في تداخل مياه البحر المالحة نحو اليابسة وتملح الآبار الضحلة، وهو ما يدفع المزارعين مستقبلاً إلى الانتقال جنوباً وحفر آبار للحصول على مياه عذبة صالحة للزراعة.

الشكل (14) الاستيفاء المكاني والتحليل السطحي للآبار في منطقة الدراسة

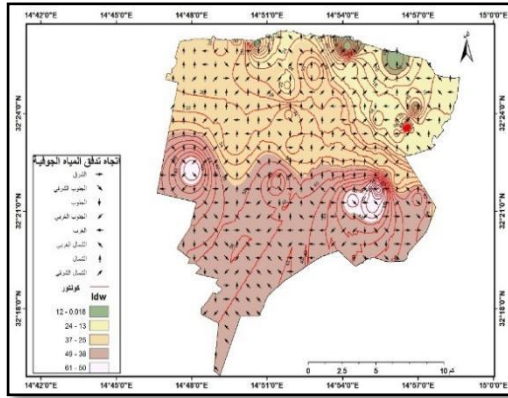


المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM

4- اتجاهات تدفق المياه:

يوضح الشكل (15) اتجاهات تدفق المياه الجوفية بمنطقة الدراسة ومناسبتها باستخدام تقنية (IDW)، حيث يبين التوزيع الجغرافي لخطوط الكنتور والألوان عن انحدار منسوب سطح الماء الجوفي من مناطق التغذية الرئيسية في الجنوب والجنوب الغربي التي تمثلها البؤر الدائرية المرتفعة باللونين البني والأبيض بقيم تتراوح بين (49 و 61) نحو مناطق الانخفاض والتصريف في الشمال والشمال الشرقي (التي تمثلها الألوان الفاتحة والخضراء بقيم تصل إلى (0.018) وهو ما تؤكد أنه أسهم الاتجاهات التي توضح حركة السريان السطحي للخران، مما يجعل هذا التباين التضاريسي للخران الجوفي مؤشر للتنبؤ بمخاطر التملح الساحلي وتداخل مياه البحر.

الشكل (15) اتجاهات تدفق المياه الجوفية



المصدر: عمل الباحثين باستخدام برنامج ARC MAP 10.8.1 استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM

النتائج والتوصيات:

أولاً: النتائج:

- 1- وجود علاقة طردية بين ارتفاع سطح الأرض عن مستوى سطح البحر وعمق الآبار الجوفية في منطقة الدراسة.
- 2- كشفت خرائط الاستيفاء المكاني عن تباين جغرافي في أعماق ومناسيب المياه الجوفية؛ حيث تراوحت الأعماق بين 8 إلى 32 متراً وتصل في الدافنية إلى 100 متر.
- 3- أثبتت نتائج نمذجة الارتفاع الرقمي (DEM) ومؤشر التجمع المائي (TWI) أن خطوط الكنتور والارتفاعات السطحية تلعب دوراً رئيسياً في توجيه حركة التدفق الطبيعي للمياه الجوفية، وتحديد مناطق التغذية الطبيعية ومناطق التصريف.
- 4 - أظهرت نتائج الانحدار وجود ارتباط ارتباطي بين الارتفاع والأعماق، غير أن النموذج يعاني من محدودية منهجية متمثلة في إغفال متغيرات هيدروجيولوجية حاسمة (كالجيولوجيا البنيوية، نوع الخزان، النفاذية، وحجم التغذية) والاعتماد شبه الكامل على الطبوغرافيا.
- 5- تتميز منطقة أبورية بمنسوب سطح منخفض (8-22م) مما جعل أعماق آبارها قريبة من السطح.
- 6- يرتفع السطح تدريجياً في منطقة زريق ليصل إلى (34م) مما أدى لزيادة أعماق الآبار بها حتى (62م).
- 7- تسجل منطقة الدافنية الارتفاع الأعلى (يصل إلى 61م)، وصاحب ذلك حفر الآبار الأكثر عمقا بالمنطقة لتصل إلى (100م).

8- أكدت مؤشرات موران وجود ميل ضعيف إلى التجمع المكاني للآبار وليس نمطاً تكتلياً قوياً.

9- بينت أداة المسافة المعيارية أن 62.5% من الآبار (25) تقع داخل الدائرة المعيارية، بينما يقع 37.5 خارجها، مما يشير التحليل إلى أن الآبار متجمعة في تكتلات أو نطاقات معينة بسبب التجمعات السكانية أو المزارع، ولكن هذا التكتلات نفسها تنتشر على امتداد مساحة منطقة الدافنية (214 كم²) من الشمال الغربي للجنوب الشرقي.

10- أثبت تحليل القطع الناقص المعياري أن الامتداد الفعلي لتوزيع الآبار يأخذ شكلاً بيضوياً يتجه من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي بزاوية ميل تبلغ حوالي (107.58°)
11- أوضح تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) أن منطقة الدافنية منبسطة بشكل عام ولا يتجاوز أقصى ارتفاع فيها (107) أمتار (في الجنوب والجنوب الغربي)، وينحدر السطح تدريجياً نحو الساحل الشمالي والشمال الشرقي (0-19م).

12- يعد حجم العينة (40 بئرًا) محدوداً نسبياً بالنسبة لمساحة منطقة الدراسة البالغة 214 كم²، مما يضفي صفة استكشافية على خرائط Kriging ونماذج GWR المنتجة.
13- ومن خلال مؤشر TWI تم معرفة المواقع التي تتجمع فيها المياه بمنطقة الدراسة حيث تتركز في المناطق المنخفضة ذات الانحدارات البسيطة.

ثانياً: التوصيات:

- 1- وضع ضوابط وقوانين لتنظيم عمليات حفر الآبار الجوفية والحد من الحفر العشوائي لحماية الخزان الجوفي من الاستنزاف.
- 2- إيجاد حلول تقنية للحد من ظاهرة تداخل مياه البحر في الآبار القريبة من الساحل وتقنين السحب المفرط المخصص للزراعة في تلك المناطق.
- 3- تفعيل دور نظم المعلومات الجغرافية في الاستشعار والمراقبة الدورية لمناسيب وهبوط المياه الجوفية.
- 4- تطوير مصادر المياه الأخرى مثل شبكات النهر الصناعي أو محطات تحلية مياه البحر لتلبية متطلبات المجتمع.



5- الاعتماد على نماذج الاستيفاء الإحصائي المتقدمة مثل الكريجينج (Kriging) عند بناء خرائط الخطوط الكنتورية لمناسيب المياه الجوفية في ظروف التجانس التضاريسي للمنطقة.

6- إعادة بناء نماذج المحاكاة المكانية للخران الجوي من خلال إدراج المتغيرات الهيد وجيولوجية والبيئية الأخرى مثل: نوع التربة، سمك ونوع الطبقات الصخرية الحاملة للمياه، ملوحة المياه، ومعدلات السحب الفعلي من الآبار لضمان دقة أعلى في التنبؤ.

قائمة المراجع:

الكتب :

1. القبي، شعبان علي، (2001)، مصراتة معالم وملاحم، دار النشر: مطابع مصراتة.
2. القصاب، عمر عبد الله إسماعيل (2020)، نظم المعلومات الجغرافية تطبيقات عملية في التحليل الجغرافي باستخدام ArcGIS Desktop ، دار نون للطباعة والنشر والتوزيع، موصل، العراق.

الدوريات العلمية والنشرات :

1. أبو الخير، أسماء المهدي، (2024)، الفارق التضاريسي وتجمع المياه الجوفية ببلدية الجبل الغربي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، المجلد 4، العدد 1.
2. الزيدي، فاروق محمد علي (2009)، استخدامات المياه الجوفية في العراق وتوزيعها المكاني وتقييم كفاءة استغلالها، مجلة الآداب، العدد 88، يناير، كلية الآداب، جامعة بغداد، العراق.
3. عبد السلام، مختار عشري، وآخرون، (2026)، التحليل المكاني للتفاوت في مظاهر السطح والامطار وانعكاسه على بعض خصائص آبار المياه الجوفية في مدينة البيضاء، مجلة أبحاث، المجلد 18، العدد الأول، مارس، كلية الآداب، جامعة سرت، ليبيا.

الرسائل العلمية :

1. المحمدي محمد عطا محمد فياض، (2024)، تقييم خصائص ومناسيب المياه الجوفية لقضاء العامرية بالأنبار، رسالة ماجستير (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة العراق.

2. المرعاوي، قاسم أحمد درج، (2012)، إمكانيات استثمار المياه الجوفية بمحافظة الأنبار وعلاقتها بالعوامل الطبوغرافية، رسالة دكتوراه (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية التربية والعلوم الإنسانية، جامعة الأنبار.

المصادر والوثائق الحكومية:

1. وزارة الحكم المحلي، (2015)، تقرير حدود بلدية مصراتة وفروعها والمحلات التابعة لها، بلدية مصراتة.

المراجع الأجنبية:

1. Altunel, A. O. (2023). The effect of DEM resolution on topographic Wetness Index calculating and visualizing: AN insight to the hidden danger unraveled in Bozkurt in August 2021. International Journal of Engineering and Earth Sciences, 8.(2)
2. Widyasamratri, H., BudhiaStuti, H., & Noor, N. H. M. (2024). Study of potential surface freshwater in Rembang Karst using the Topographic Wetness Index (TWI). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1321, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.