



التقييم المكاني لقابلية غمر شبكة الطرق بمياه الأمطار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل الهرمي (AHP): دراسة تطبيقية على منخفض البيفي ببلدية تاجوراء - ليبيا

د. عمر رمضان عبدالسلام طريش

قسم نظم المعلومات الجغرافية، كلية تقنية المعلومات، جامعة الزنتان

Spatial Assessment of Road Network Susceptibility to Rainwater Flooding Using GIS and AHP:

An Applied Study on the El-Baifi Depression in the Municipality of Tajoura – Libya

Dr. Omar Ramadan Abdulsalam Treish

Department of Geographic Information Systems, Faculty of Information Technology, University of Zintan

omartreish@gmail.com

Orcid.org/0009-0008-1389-4097

تاريخ الاستلام: 2026/09/02 - تاريخ المراجعة: 2026/09/03 - تاريخ القبول: 2026/10/02 - تاريخ النشر: 2026/10/12
الملخص

هدفت الدراسة إلى تقييم مخاطر غمر مياه الأمطار لشبكة الطرق في منخفض البيفي ببلدية تاجوراء - ليبيا، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (AHP). اعتمدت الدراسة على أربعة معايير مكانية رئيسية هي: الارتفاع، والانحدار، وتراكم الجريان، واستخدامات الأرض. جرى إعداد هذه المعايير وإعادة تصنيفها مكانياً، ثم تحديد أوزانها النسبية باستخدام أسلوب AHP ودمجها ضمن بيئة GIS لإنتاج خريطة مكانية لمستويات مخاطر الغمر. أظهرت المنهجية إمكانية تحديد المناطق الأكثر قابلية لتجمع مياه الأمطار والغمر، خاصة في الأجزاء المنخفضة وذات التصريف المحدود، بما يساعد في تحديد المواقع الأكثر تعرضاً للخطر. وتوفر الدراسة قاعدة مكانية يمكن الاستفادة منها في دعم التخطيط الحضري وإدارة مياه الأمطار وتحسين كفاءة شبكة الطرق والحد من مخاطر الغمر.

الكلمات المفتاحية: غمر مياه الأمطار، نظم المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي، تراكم الجريان، الانحدار، الارتفاع، منخفض البيفي، تاجوراء.

Abstract

This study aims to assess the risk of rainwater flooding on the road network in the El-Baifi depression, located within the Municipality of Tajoura, Libya, utilizing Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP). The study relies on four primary spatial criteria: elevation, slope, flow accumulation, and land use. These criteria were processed and spatially reclassified, and their relative weights were determined using the AHP method. They were then integrated within a GIS environment to produce a spatial map illustrating flooding risk levels. The methodology demonstrated its capability to identify areas most susceptible to rainwater accumulation and flooding, particularly in low-lying sections with limited drainage, thereby helping locate the most vulnerable sites. This study provides a spatial baseline that can support urban planning, stormwater management, the enhancement of road network efficiency, and the mitigation of flooding risks.

Keywords: Rainwater flooding, Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Flow accumulation, Slope, Elevation, El-Baifi depression, Tajoura.

تُعد مخاطر غمر مياه الأمطار في المناطق الحضرية من أبرز المشكلات التي تواجه المدن، خاصة مع تزايد التوسع العمراني وارتفاع مساحة الأسطح الخرسانية والاسفلتية، مما سيؤدي هذا التحول في استخدامات الأرض إلى تقليل معدلات تسرب مياه الأمطار إلى التربة وزيادة حجم وسرعة الجريان السطحي، الأمر الذي سيعمل على تجمع المياه في المناطق المنخفضة، ولا سيما عند تزامن الهطولات الغزيرة مع محدودية كفاءة شبكات تصريف مياه الأمطار. كما تشير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن التفاعل بين تغير المناخ والتوسع الحضري يمكن أن يزيد من مخاطر الفيضانات الحضرية، خاصة مع زيادة شدة بعض أحداث الهطول وتزايد الأسطح الخرسانية والاسفلتية داخل المدن. (IPCC, 2022)

وتكتسب هذه المشكلة أهمية خاصة في المدن الليبية، ولا سيما المناطق الساحلية، حيث تتداخل الخصائص الطبوغرافية والمناخية مع عوامل النمو العمراني والبنية التحتية لتصريف مياه الأمطار. وقد أشارت تقارير حديثة إلى تعرض عدد من المناطق الليبية لمخاطر مرتبطة بالأمطار الغزيرة والفيضانات، فضلاً عن وجود تحديات تتعلق بكفاءة البنية التحتية لتصريف مياه الأمطار. وفي هذا السياق، أظهر تقرير المنظمة الدولية للهجرة وجود مشكلات مرتبطة بدخول مياه الأمطار إلى المنازل في بلدية تاجوراء أثناء فترات الهطول الغزير، وهو ما يؤكد أهمية دراسة هذه الظاهرة على المستوى المحلي وتحديد المناطق الأكثر تعرضاً للغمر. (IOM, 2024)

وتبرز منطقة منخفض البيفي ببلدية تاجوراء بوصفها منطقة تستحق الدراسة، نظراً لخصائصها الطبوغرافية وانخفاض مناسيبها عما حولها، وما قد يترتب على ذلك من تجمع مياه الأمطار وتأثيرها في الطريق الرئيسي الذي يمثل عنصراً مهماً في حركة السكان والاتصال بين أجزاء المنطقة. ومن ثم، فإن تحديد درجة تعرض الطريق لمخاطر الغمر لا يمثل قضية بيئية فحسب، بل يرتبط أيضاً بسلامة مستخدمي الطريق وكفاءة الحركة المرورية واستمرارية الخدمات والأنشطة الحضرية، وفي ظل تعدد العوامل المؤثرة في تجمع مياه الأمطار، توفر نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بيئة مناسبة لتحليل العلاقات المكانية بين هذه العوامل ودمجها في نموذج واحد. إذ يمكن من خلالها تحليل البيانات الطبوغرافية والهيدرولوجية والعمرانية، واستخراج طبقات مثل الارتفاع والانحدار وتراكم الجريان، إلى جانب تحليل استخدامات الأرض. كما يتيح دمج هذه البيانات تحديد المناطق التي تتباين فيها درجة قابلية الغمر مكانياً، وإنتاج خرائط تساعد في دعم التخطيط واتخاذ القرار.

ويُعد أسلوب التحليل الهرمي (AHP) من الأساليب المناسبة لدعم هذا النوع من الدراسات، نظراً لقدرته على تحديد الأهمية النسبية لمجموعة من المعايير من خلال المقارنات الثنائية واستخراج أوزانها، ثم دمجها مكانياً باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وقد بينت دراسات حديثة شيوع استخدام AHP مع GIS في تقييم قابلية الغمر، مع اعتماد مجموعة من المعايير الطبيعية والبشرية، من أبرزها الانحدار والارتفاع واستخدامات الأرض وتراكم الجريان. (Saaty, 1980)

وعليه، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مخاطر غمر مياه الأمطار للطريق الرئيسي لمنخفض البيفي ببلدية تاجوراء باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (AHP)، من خلال تحليل مجموعة من العوامل المكانية المؤثرة في تجمع مياه الأمطار، وتحديد درجات الخطورة المكانية على منطقة الدراسة، وإنتاج خريطة نهائية توضح مستويات مخاطر الغمر. ومن المتوقع أن تسهم نتائج الدراسة في توفير قاعدة مكانية تساعد على تحديد المناطق الأكثر تعرضاً للغمر، ودعم الجهات المختصة في وضع أولويات التدخل وتحسين إدارة مياه الأمطار والحد من آثارها على شبكة الطرق والبنية التحتية

اشكالية البحث

تتمثل مشكلة الدراسة في التفاعل بين الخصائص الطبيعية لمنطقة منخفض البيفي، وبين وتيرة التوسع العمراني والخصائص الحالية للبنية التحتية لتصريف مياه الأمطار وما يترتب على ذلك من زيادة احتمالية تجمع مياه الأمطار وغمر بعض أجزاء من شبكة الطرق، وتنطلق المشكلة أساساً من الطبيعة الطبوغرافية لمنطقة البيفي بوصفها منخفضاً جغرافياً، تتجه إليه المياه المتدفقة من المناطق التي بجواره، وهو ما يجعله أكثر استعداداً للغمر المائي. وقد تفاقمَت هذه المشكلة نتيجة تسارع الزحف العمراني العشوائي وغير المخطط في محيط المنخفض والطريق الرئيسي، واستبدال التربة الرملية

القادرة على ترشيح المياه بمسطحات إسفلتية وخرسانية صماء ضاعفت من حجم الجريان السطحي وسارعت للوصول إلى الطريق الرئيسي، يتزامن هذا الوضع مع غياب شبه تام لشبكات تصريف مياه الأمطار الفعالة والمصممة هندسياً لاستيعاب كميات التدفق المرتفعة، أو انسداد القنوات وغرف التفتيش القائمة، مما يؤدي إلى ركود المياه فوق شبكة الطرق لفترات طويلة. ويتسبب هذا الغمر المستمر إلى إعاقه حركة المرور وانخفاض كفاءة شبكة الطرق في هذا الشريان الحيوي الذي يربط شرق العاصمة بطرابلس المركز، مسبباً تآكل طبقات الإسفلت، وتضرر المركبات، وتكتمل أبعاد المشكلة في الجانب العلمي والتخطيطي، حيث تفتقر الجهات التنفيذية والمحلية ببلدية تاجوراء إلى المعرفة الاستباقية والدراسات الهيدرولوجية الدقيقة، وتعتمد بدلاً من ذلك على حلول طارئة ومؤقتة كسحب المياه بالمضخات أو الصهايج. ومن هنا تبرز الفجوة البحثية في غياب نموذج مكاني رقمي يعتمد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لدمج عدة معايير، واستخدام أسلوب التحليل الهرمي لترتيب أوزان هذه المعايير، بهدف تحديد وتقييم المناطق الأكثر قابلية للتعرض لغمر مياه الأمطار، وتحديد المقاطع الأكثر تعرضاً من شبكة الطرق". وتقديم حلول مستدامة تضمن كفاءة شبكة النقل بالمنطقة.

تساؤلات الدراسة:

تسعى هذه الدراسة للإجابة عن التساؤل الرئيسي التالي : كيف يمكن توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (AHP) في نمذجة وتحديد مناطق غمر مياه الأمطار لشبكة الطرق بمنخفض البيئي ببلدية تاجوراء؟

وينتفع من هذا التساؤل المحوري مجموعة من التساؤلات الفرعية التي يهدف البحث إلى حلها وهي:

- ما هي الخصائص الطبوغرافية والجيومورفولوجية لمنطقة منخفض البيئي، وكيف تسهم في توجيه مسارات تدفق مياه الأمطار؟
- ما أثر أنماط استخدامات الأرض والغطاء الأرضي ولاسيما الأسطح العمرانية وغير المنفذة في قابلية المنطقة لتجميع مياه الأمطار.
- ما المقترحات المكانية والتخطيطية المناسبة للحد من مخاطر غمر مياه الأمطار في المناطق التي حددها النموذج؟

الاهداف

إن الهدف الرئيسي للبحث هو الوصول إلى :

بناء نموذج مكاني باستخدام GIS و AHP لتقييم القابلية المكانية لغمر مياه الأمطار، وتحديد المقاطع الأكثر تعرضاً للغمر من شبكة الطرق في منخفض البيئي ببلدية تاجوراء.

وينبثق من هذا الهدف المحوري مجموعة من الأهداف الفرعية، والتي تتمثل في دراسة:

- وتحليل الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة لمعرفة وتحديد مسارات الجريان السطحي وحركة المياه الطبيعية نحو قاع المنخفض.
- تقييم التغيرات الحاصلة في استخدامات الأرض والغطاء الأرضي ورصد المسطحات الخرسانية والإسفلتية الصماء التي تمنع ترشيح المياه وتزيد من حجم التدفق السطحي.
- تسعى الدراسة إلى تطبيق أسلوب التحليل الهرمي لتحديد الأوزان والأهمية النسبية لجميع المعايير المكانية المؤثرة في ظاهرة الفيضان الحضري، وضمان دقة دمج هذه المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. ومن خلال هذا الدمج، يهدف البحث إلى إنتاج خرائط رقمية دقيقة تصنف شبكة الطرق والشوارع الحيوية بالمنطقة إلى مستويات خطورة متفاوتة بناءً على درجة تعرضها للغمر المائي.
- تقديم مقترحات مكانية وتخطيطية للحد من مخاطر غمر مياه الأمطار، بالاستناد إلى مناطق الخطورة التي حددها النموذج المكاني.

اهمية البحث

تنبع أهمية هذا البحث من تزايد مخاطر غمر مياه الأمطار التي تواجه منطقة الدراسة، وما يترتب عليها من تأثيرات سلبية على شبكة الطرق وحركة النقل بين شرق طرابلس وغربها، وسلامة الأفراد وحماية مركباتهم.

وتكمن أهمية البحث في توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (AHP) في بناء نموذج مكاني لتقييم درجة تعرض شبكة الطرق لمخاطر الغمر، من خلال دمج مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة، مثل الارتفاع والانحدار، تراكم الجريان السطحي، استخدامات الأراضي، بما يساهم في تحديد المناطق والطرق الأكثر عرضة للخطر.

كما يوفر البحث قاعدة معلومات مكانية يمكن أن تساعد الجهات المختصة والمخططين في بلدية تاجوراء على اتخاذ قرارات أكثر فاعلية في إدارة مخاطر مياه الأمطار، وتحديد أولويات صيانة وتطوير شبكات الطرق، ووضع حلول مناسبة للحد من آثار الغمر وتحسين كفاءة البنية التحتية.

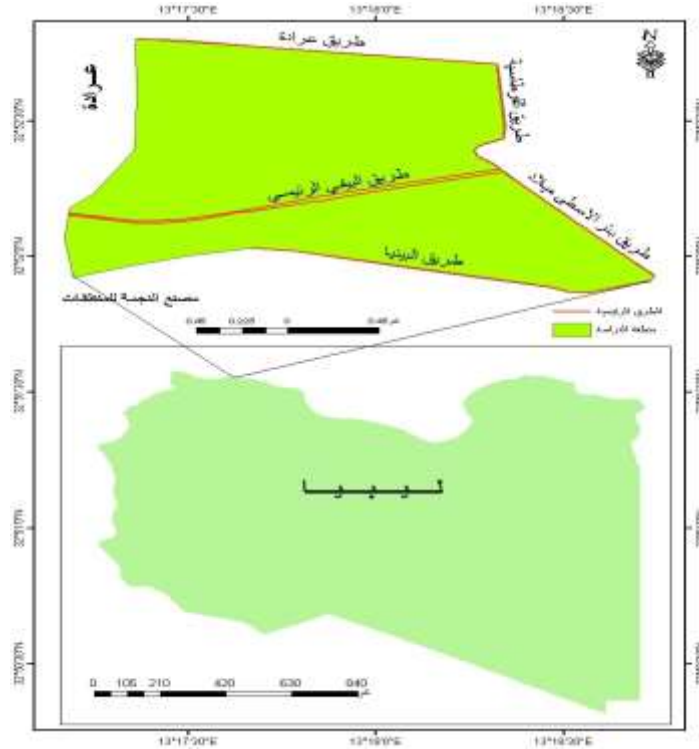
وتبرز أهمية الدراسة كذلك في تقديم منهجية علمية قابلة للتطبيق في المناطق الحضرية الأخرى التي تعاني من مشكلات مشابهة، من خلال الاستفادة من التكامل بين التحليل المكاني وتقنيات النمذجة متعددة المعايير لدعم التخطيط الحضري المستدام والحد من مخاطر الكوارث الطبيعية.

مجالات الدراسة

الحدود المكانية: تقتصر الحدود المكانية للدراسة على النطاق الجغرافي لمنخفض البيفي الواقع ضمن الحدود الإدارية لبلدية تاجوراء (شرق العاصمة طرابلس)، حيث يحده من الشمال طريق عرادة ومن الشرق طريق شركات القرطاسية والألعاب وطريق بئر للاسطى ميلاد ومن الجنوب طريق البينيا بجوار مصنع النجمة للمنظفات اما غرباً تحده منطقة عرادة ببلدية سوق الجمعة والشكل (1) يبين ذلك.

الحدود الزمنية: تمثلت الحدود الزمنية للدراسة في البيانات المكانية المتاحة في 2025-2026، ولا سيما بيانات استخدامات الأرض والغطاء الأرضي، بينما استخدم نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لاشتقاق الارتفاع والانحدار وتراكم الجريان.

الشكل (1) يبين منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على google earth pro و arc gis 10.8

الدراسات السابقة:

أشار **البصول (2025)** في دراسة بعنوان، تقييم مخاطر الفيضانات ورسم خرائطها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة لمخيم الزعتري، المرق، بالأردن، هدفت الى دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل الهرمي (AHP). وتمثلت مشكلة الدراسة في تنامي التهديدات الناتجة عن التوسع العمراني السريع والتقلبات المناخية. واعتمدت المنهجية على معايير هيدرولوجية وطوبوغرافية مثل الانحدار والارتفاع والمطول المطري؛ باستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية (DEMs) وصور الأقمار الصناعية (Landsat). وتوصلت النتائج لإنتاج خريطة مخاطر خماسية التصنيف، أظهرت تركز الخطورة بالمناطق المنخفضة والمكتظة القريبة من المجاري الموسمية. وأوصت الدراسة بتحسين بنية الصرف الصحي وتطبيق سياسات مدروسة لاستخدامات الأراضي بالبيئات الإنسانية.

وأشار **الدرويش وقماضر (2026)** بعنوان، رسم خرائط مخاطر الفيضان في حوض نهر الغمقة باستخدام تقنيات AHP و GIS ، والتي ركزت على تقييم وتصنيف مخاطر الفيضانات في حوض نهر الغمقة بمحافظة طرطوس في سوريا، اعتمد الباحثان على دمج منهجية عملية التحليل الهرمي (AHP) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتقييم القابلية للغمر في 14 حوضاً فرعياً. واستخدمت بيانات النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) لاستنتاج 13 معياراً مورفومترياً وهيدرولوجياً. وخُصّصت الدراسة إلى أن مؤشري كثافة التصريف وتكرار المجاري المائية هما المعياران الأكثر تأثيراً في استجابة الحوض الهيدرولوجية. كما أظهر التحليل المكاني تركز الخطورة العالية جداً في الأحواض الفرعية بالقطاع الساحلي الأدنى (المصب) القريب من مدينة طرطوس نتيجة لاستواء السطح وسرعة تجميع المياه كما أكدت الدراسة على ضرورة اعتماد هذه الخرائط في خطط التوسع العمراني لحماية المدينة، وإنشاء سدود اعتراضية لتخفيف حدة الجريان السطحي.

تناولت دراسة **(أحمد والملا، 2022)**، رسم خرائط مخاطر الفيضانات باستخدام تقنية التحليل متعدد المعايير لاتخاذ القرار القائم على نظم المعلومات الجغرافية (GIS-MCDA)، لحماية التجمعات العمرانية الحضرية الجديدة تماشياً مع رؤية مصر 2030. اعتمدت الدراسة على منهجية دجت بين تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ونموذج المحاكاة الهيدرولوجية (HEC-1) لتقدير حجم التدفقات والجريان السطحي للأودية. كما وظفت نمذجة تحليل القرار متعدد المعايير القائم على نظم المعلومات الجغرافية (GIS-MCDA) باستخدام أسلوب عملية التحليل الهرمي (AHP) لوزن المعايير الجغرافية والمورفومترية المؤثرة. وخلصت الدراسة إلى إنتاج خرائط دقيقة لنطاقات مخاطر الفيضانات (F.H.M)، مما يساهم بشكل مباشر في دعم متخذي القرار لحماية البنية التحتية وشبكات الخدمات والتخطيط العمراني المستدام في المناطق المعرضة للأخطار الطبيعية .

"هدفت دراسة **ابوخريص وأبو راس (2025)** التي حملت عنوان الفيضانات المفاجئة في ليبيا نمذجة أماكن الخطر وتقييم نظم الحماية (وادي درنة) " إلى نمذجة مناطق خطر الفيضانات المفاجئة وتقييم كفاءة نظم الحماية وشبكات التصريف الحالية في حوض وادي درنة بليبيا. اعتمدت الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لتحليل الخصائص المورفومترية وطبيعة الانحدارات الحادة. وأظهرت نتائج الدراسة أن حوض الوادي يتميز بقابلية شديدة للفيضان نتيجة لشدة الانحدار وكثافة التصريف المائي، إلى جانب وجود قصور تصميمي وضعف صيانة في السدود وشبكات التصريف لمواجهة التدفقات العالية. وأوصت الدراسة بإعادة تصميم شبكات التصريف وتحديث البنية التحتية لحماية المنطقة من الكوارث المستقبلية.

تناولت دراسة **ناصر (2023)** التي كانت بعنوان إدارة أخطار السيول في منطقة غات (جنوب غرب ليبيا) باستخدام التقنيات المكانية، حيث ركزت بشكل أساسي على إدارة مخاطر السيول وتقييم الجريان السطحي في المنطقة. اعتمدت الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بُعد، ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لاستخراج أحواض الأودية وتحديد مساراتها بدقة، إلى جانب تصنيف وترتيب شبكات التصريف المائي. كما قامت الدراسة بحساب التقديرات الكمية لحجم المياه المنصرفة ومعدلات التدفق الذروي للأودية المغذية للمنطقة، واقتراح منشآت هندسية (كالسدود) لتجنب أخطار السيول مستقبلاً.

مقارنة الدراسة الحالية بالدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية.

في ضوء الدراسات السابقة، يتضح أن معظمها اتفقت على توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع أسلوب التحليل الهرمي (AHP) أو دمجها مع نماذج هيدرولوجية ومورفومترية لتقييم مخاطر الفيضانات والسيول وإنتاج خرائط للمناطق الأكثر عرضة للخطر. كما اعتمدت هذه الدراسات على معايير مكانية وهيدرولوجية متشابهة، مثل الارتفاع والانحدار وشبكات التصريف والمطول المطري، مع الاستفادة من نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) وصور الاستشعار عن بعد، بهدف دعم التخطيط المكاني واتخاذ القرار في الحد من أخطار الفيضانات.

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عن هذه الدراسات في عدة جوانب مهمة؛ فبينما ركزت معظم الدراسات السابقة على تقييم مخاطر الفيضانات على مستوى الأحواض المائية أو التجمعات العمرانية أو الأودية، فإن هذه الدراسة تتناول تقييم مخاطر غمر مياه الأمطار لشبكة الطرق باعتبارها أحد أهم عناصر البنية التحتية الحيوية، وهو جانب يبدو أقل تناولاً في الدراسات التي تم الاطلاع عليها، ولا سيما في البيئة الليبية، كما أن الدراسة تطبق المنهجية على منخفض البيفي ببلدية تاجوراء، وهو منخفض ساحلي يتميز بطبوغرافية شبه مستوية وخصائص هيدرولوجية تختلف عن الأحواض الجبلية التي تناولتها معظم الدراسات السابقة، الأمر الذي يتطلب اختيار معايير وأوزان تتناسب مع طبيعة المنطقة.

وتتميز الدراسة الحالية كذلك بأنها تركز على تحليل قابلية تعرض شبكة الطرق للغمر وربط نتائج التحليل المكاني بمتطلبات إدارة النقل والسلامة المرورية والتخطيط الحضري، بما يوفر أداة عملية لتحديد الطرق الأكثر تعرضاً للخطر وترتيب أولويات التدخل وتحسين البنية التحتية لتصريف مياه الأمطار. ومن ثم، فإنها تسد فجوة بحثية تتمثل في محدودية الدراسات التي تناولت تقييم مخاطر غمر الطرق في المناطق الحضرية الساحلية الليبية باستخدام التكامل بين GIS وAHP، مما يمنحها قيمة تطبيقية يمكن الاستفادة منها في دعم متخذي القرار وتعزيز مرونة شبكة الطرق أمام أخطار الأمطار المستقبلية.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التطبيقي المكاني، من خلال توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process – AHP) بهدف بناء نموذج مكاني لتقييم قابلية مناطق منخفض البيفي لغمر مياه الأمطار، وتحديد مدى تعرض شبكة الطرق للمناطق ذات القابلية المرتفعة للغمر.

استندت المنهجية إلى دمج أربعة معايير مكانية رئيسية تم اختيارها بما يتناسب مع الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية والعمرانية لمنطقة الدراسة، وهي: الارتفاع، والانحدار، وتراكم الجريان، واستخدامات الأرض. وتم إعداد هذه المعايير ومعالجتها مكانياً وإعادة تصنيفها إلى درجات معيارية تعكس مستوى مساهمتها النسبية في قابلية الغمر، ثم تحديد الأوزان النسبية للمعايير باستخدام أسلوب AHP، واختبار درجة الاتساق في المقارنات الثنائية، وأخيراً دمج المعايير باستخدام أسلوب التراكب المكاني الموزون (Weighted Overlay) لإنتاج خريطة مكانية نهائية لمستويات قابلية الغمر.

مراحل تنفيذ الدراسة

تم تنفيذ الدراسة وفق مجموعة من المراحل المتتابعة، كما يأتي:

أولاً: جمع البيانات وإعدادها

اعتمدت الدراسة على مجموعة من البيانات المكانية اللازمة لبناء نموذج قابلية الغمر، وتمثلت في:

1- نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM)

تم استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (Digital Elevation Model – DEM) بدقة مكانية قدرها 30 متراً، والمتحصل عليه من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) ونظراً لصغر مساحة منطقة الدراسة، تم توحيد جميع الطبقات المكانية على نفس نظام الإحداثيات، وحجم الخلية (Cell Size)، ونطاق المعالجة (Extent)، بما يضمن اتساق عمليات التحليل والتراكب المكاني. ونظراً لصغر مساحة منطقة

الدراسة، تم توحيد جميع الطبقات المكانية على نفس نظام الإحداثيات، وحجم الخلية (Cell Size)، ونطاق المعالجة (Extent)، بما يضمن اتساق عمليات التحليل والتراكب المكاني. وقد تم استخدام النموذج في استخراج البيانات الطبوغرافية والهيدرولوجية اللازمة لبناء النموذج المكاني، والمتمثلة في:

- الارتفاع (Elevation).
- الانحدار (Slope).
- اتجاه الجريان (Flow Direction).
- تراكم الجريان (Flow Accumulation).

وقد خضع نموذج الارتفاعات إلى المعالجة الهيدرولوجية باستخدام أداة (Fill) لمعالجة الانخفاضات الرقمية غير الحقيقية، ثم اشتقاق اتجاه الجريان باستخدام أداة (Flow Direction)، ومنه حساب تراكم الجريان باستخدام أداة (Flow Accumulation).

2- المراتب الفضائية

تم استخدام المرئية الفضائية من القمر الصناعي Landsat 8، ولجنة الدراسة 2025 شهر أغسطس يوم 28 المتاحة من خلال منصة USGS Earth Explorer، بهدف دعم إعداد خريطة استخدامات الأرض والغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة.

ثانيًا: اختيار معايير تقييم قابلية الغمر

تم اختيار المعايير المكانية المستخدمة في النموذج بالاستناد إلى طبيعة منطقة الدراسة، والدراسات السابقة المتعلقة بتقييم مخاطر غمر مياه الأمطار والفيضانات، إضافة إلى الرأي المتخصص في مجال التخطيط والتحليل المكاني.

وقد تم اعتماد أربعة معايير رئيسية هي:

1. الارتفاع (Elevation).

يُعد الارتفاع من العوامل المؤثرة في توزيع مياه الأمطار والجريان السطحي، إذ ترتبط المناطق منخفضة المنسوب عادةً بزيادة احتمالية تجمع المياه مقارنة بالمناطق الأعلى، ولذلك أعطيت المناطق منخفضة الارتفاع درجات ملاءمة أعلى للغمر.

2. الانحدار (Slope).

يؤثر الانحدار في سرعة حركة مياه الجريان السطحي؛ فالمناطق ذات الانحدار المنخفض تكون أكثر قابلية لركود المياه وتجمعها، في حين تساعد الانحدارات الأعلى نسبيًا على انتقال المياه نحو المناطق المنخفضة. ولذلك أعطيت قيم الانحدار المنخفضة درجات أعلى من القابلية للغمر.

3. تراكم الجريان (Flow Accumulation).

يستخدم تراكم الجريان لتحديد الخلايا التي تستقبل الجريان السطحي القادم من الخلايا المحيطة. واعتمد النموذج على افتراض وجود علاقة طردية بين قيم تراكم الجريان وقابلية الغمر، بحيث تمثل القيم المرتفعة مناطق أكثر احتمالاً لاستقبال وتجميع الجريان السطحي، باعتبارها مؤشرًا مكانيًا على مناطق تجمع الجريان ومسارات انتقال المياه السطحية.

4. استخدامات الأرض والغطاء الأرضي (Land Use/Land Cover).

يعكس هذا المعيار طبيعة السطح ومدى تأثير الاستخدامات العمرانية في الجريان السطحي . فزيادة الأسطح غير المنفذة، مثل المباني والطرق والمناطق المرصوفة، تحد من تسرب مياه الأمطار إلى التربة وتزيد من حجم الجريان السطحي، ومن ثم ترفع قابلية الغمر مقارنة بالمناطق المفتوحة التي تسمح بدرجة أكبر من التسرب.

ثالثاً: إعادة تصنيف المعايير

بعد إعداد المعايير المكانية المختارة ومعالجتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، تم إعادة تصنيف قيم كل معيار إلى درجات معيارية موحدة من 1 إلى 5 تعكس مستوى مساهمته في قابلية الغمر. وقد روعي في عملية التصنيف طبيعة العلاقة بين كل معيار وقابلية الغمر؛ إذ أعطيت القيم الأكثر ارتباطاً بتجمع مياه الأمطار درجات أعلى 5، في حين أعطيت القيم الأقل تأثيراً درجات أدنى 1، وذلك تمهيداً لدمج المعايير مكانياً وفق الأوزان المستخرجة باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP).

رابعاً: تحديد الأوزان باستخدام التحليل الهرمي (AHP)

تطبيق أسلوب التحليل الهرمي (AHP)

تم استخدام أسلوب التحليل الهرمي لتحديد الأهمية النسبية للمعايير المستخدمة في نموذج المخاطر، وذلك من خلال:

- بناء مصفوفة المقارنات الثنائية بين المعايير .
- تطبيق مقياس Saaty للمقارنة النسبية .
- حساب الأوزان النسبية لكل معيار .
- اختبار درجة الاتساق للمصفوفة من خلال حساب :

○ مؤشر الاتساق (Consistency Index - CI).

○ نسبة الاتساق (Consistency Ratio - CR).

وتم اعتماد الأوزان عندما تكون قيمة $(CR \leq 0.10)$ وفقاً لمنهجية Saaty.

تعيين الأوزان باستخدام مصفوفة المقارنة وحساب المعايير Pairwise Comparison Matrix

إن إعداد المصفوفة للمقارنة بين جميع العوامل حسب أهمية كلا منها بالنسبة للعامل الثاني جزء مهم في دراسة الملائمة المكانية بأسلوب التسلسل الهرمي لتحويل التصورات الشخصية إلى أرقام كمية تساعد في الخروج بنتائج علمية للحد من أثر التقدير الشخصي وتعزيز قابلية النتائج للقياس والمقارنة ، في هذا الجزء سيتم العمل على انشاء مصفوفة مقارنة ثنائية بين المعايير المختارة بناء على الدراسات السابقة ، إستناداً الى المقياس الكمي للأهمية الذي وضعه Saaty كما هو موضح بالجدول (1).

الجدول (1) يبين المقياس الكمي لتحديد الأوزان حسب الاهمية ل saaty

القيمة	درجة الاهمية
1	المعياران متساويان
3	المعيار الاول اهم من الثاني بدرجة متوسطة
5	المعيار الاول اهم من الثاني بدرجة قوية
7	المعيار الاول اهم من الثاني بدرجة قوية جدا
9	المعيار الاول اهم من الثاني بدرجة مثالية
2-4-6-8	قيم وسطية عند الحاجة للتسوية

المصدر: من اعداد الباحث استنادا الى صادق تاهمي ص10

بناء على الجدول السابق يمكن إنشاء مصفوفة المقارنة لتحديد أوزان المعايير بمقارنة كل معيار بغيره باستخدام مقياس ثابت من 1 الى 9 لتحديد الأهمية بالنسبة لكل معيار.

كما تم الإشارة الى اعتماد على اربعة معايير هي: الارتفاع، الانحدار، تراكم الجريان، استخدامات الارض.

وفيما يلي جدول (2) يبين مصفوفة المقارنة ثنائية المعايير:

الجدول (2) يبين مصفوفة المقارنة ثنائية المعايير

المعيار	الارتفاع	الانحدار	تراكم الجريان	استخدامات الارض
الارتفاع	1	3/1	3/1	2
الانحدار	2	1	3/1	3
تراكم الجريان	3	3	1	4
استخدامات الارض	2/1	3/1	4/1	1
المجموع	6.5	4.66	1.91	10

من الجدول السابق نقارن المعيار الموجود في الصف (العمودي) بالمعيار الموجود في العمود (الأفقي) لاستخراج أهمية كل معيار للثاني وتحويله من قيمة معنوية إلى قيمة كمية يمكن الاعتماد عليها في إجراء التحاليل المطلوبة، الخطوة التالية هي حساب مجموع كل عمود، ثم قسمة قيمة للمعيار على قيمة مجموع العمود، بغية الوصول الى اوزان المعايير او متجه الاولوية كما هو موضح بالجدول(3)

الجدول (3) أوزان المعايير ومتجه الاولوية

المعيار	الارتفاع	الانحدار	تراكم الجريان	استخدامات الارض	الوزن/متجه الاولوية	النسبة %
الارتفاع	0.153846	0.071429	0.173913	0.200000	0.149797	14.9797
الانحدار	0.307692	0.214286	0.173913	0.300000	0.248973	24.8973
تراكم الجريان	0.461538	0.642857	0.521739	0.400000	0.506534	50.6534
استخدام الارض	0.076923	0.071429	0.130435	0.100000	0.094697	9.4697
المجموع	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	100

إذا متجه الأولوية أو الوزن هو: الارتفاع. 0.149797 والانحدار 0.248973 وتراكم الجريان 0.6534 استخدام الأرض 0.094697

أي تراكم الجريان = 50.65% والانحدار 24.89% والارتفاع 14.976% واستخدامات الأرض 9.468%

بعد إستخراج الأوزان أو متجه الأولوية الذي مثل الأوزان النسبية لكل معيار نذهب إلى الخطوة التالية :

حساب نسبة الاتساق (CR) Consistency Ratio

حساب نسبة الاتساق (CR) Consistency Ratio

الهدف من هذه الخطوة هو التأكد من أن تقييم مدى اتساق الاحكام والمقارنات الزوجية بين المعايير كانت منطقية بعيدة عن العشوائية، وبناء على المصفوفة السابقة ونسب الأوزان المستخرجة نقوم بحساب نسبة الاتساق عن طريق المعادلة التالية:

$$CR = CI / RI$$

CI: هو حساب مؤشر الاتساق

RI: تحديد دليل العشوائية وهو قيمة ثابتة وضعها العالم توماس على حسب المعايير في هذا البحث المعايير الاربع تم وضع القيمة 0.90.

اولا: حساب المتجه المرجح: يتم ذلك بضرب مصفوف المقارنات الاصلية في متجه الاوزان المستخرج سابقا ويتم ذلك بالطريقة التالية: وذلك بضرب كل خلية في اتجاه افقي في مصفوفة المقارنات الزوجية في كل خلية في متجه الاوزان في اتجاه عمودي، والجدول التالي (4) يبين ذلك، هدف ذلك هو قياس مدى دقة واتساق منطق صانع القرار، وتحديدًا لاستخدامه كخطوة وسيطة إجبارية لحساب القيمة الذاتية القصوى

الجدول (4) يوضح حساب المتجه المرجح

المعيار	الارتفاع $A \times W$	الانحدار $A \times W$	تراكم الجريان $A \times W$	استخدامات الأرض $A \times W$
الارتفاع	1×0.149797	$1/3 \times 0.248973$	$1/3 \times 0.6534$	2×0.094697
الانحدار	2×0.149797	1×0.248973	$1/3 \times 0.506534$	3×0.094697
تراكم الجريان	3×0.149797	3×0.248973	1×0.506534	4×0.094697
استخدامات الأرض	$1/2 \times 0.149797$	$1/3 \times 0.248973$	$1/4 \times 0.506534$	1×0.094697

وبناء على الجدول السابق يمكن اعتماد متجه الاوزان المرجح كالتالي:

المعيار	نتيجة $A \times W$
الارتفاع	0.591026
الانحدار	1.001501
تراكم الجريان	2.081629
استخدامات الأرض	0.379219

حساب القيمة الذاتية العظمى λ_{max}

وحساب القيمة الذاتية العظمى يقسم المنتج المراجع لكل معيار على وزنه، وبعد ذلك نستخرج الوسط الحسابي للناتج كما هو مبين بالجدول (5)

الجدول (5) يبين القيمة الذاتية العظمى

النتيجة	المنتج المرجح / وزن المعيار	المعيار
3.945512	0.145961/0.591026	الارتفاع
4.022532	0.246434/1.001501	الانحدار
4.109557	0.513767/2.081629	تراكم المياه
4.020544	0.093838/0.379219	استخدام الأرض

حساب القيمة العظمى للمنتج المرجح λ_{max}

$$16.082173 = 4.004572 + 4.109557 + 4.022532 + 3.945512$$

$$4.02054325 = 4 / 16.082173$$

حساب مؤشر الاتساق CI

يحسب مؤشر الاتساق بالمعادلة التالية: $CI = \lambda_{max} - n / n - 1$

$$CI = 4.02054329 - 4 = 0.02054325$$

$$0.02054325 / 3 = 0.006847$$

بعد ما تحصلنا على مؤشر الاتساق CI و RI دليل العشوائية الذي يمثل 0.90 يتم الان استخراج نسبة الاتساق $CR = CI / RI$

$$RC = 0.006847 / 0.90 = 0.007608$$

بلغت نسبة الاتساق (CR) في مصفوفة المقارنات الثنائية 0.007608 اي 0.76% وهي أقل من الحد المقبول (10%) 0.10 وفق منهجية التحليل الهرمي (AHP) وتشير هذه النتيجة إلى وجود درجة عالية من الاتساق في المقارنات الزوجية بين المعايير، وأن الأحكام المستخدمة في تحديد أهمية المعايير تنسم بدرجة مقبولة من الثبات والموثوقية، وبالتالي يمكن اعتماد الأوزان الناتجة عن المصفوفة في بناء نموذج تقييم مخاطر غمر مياه الأمطار.

خامساً: اعداد الطبقات المكانية وتصنيفها

تمثل هذه المرحلة الجانب التطبيقي الرئيسي للدراسة، إذ يتم خلالها الانتقال من تحديد المعايير والأوزان النسبية المستخرجة باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP) إلى إعداد الطبقات المكانية وتحليلها ودمجها داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) واعتمدت الدراسة في هذه المرحلة على منهجية التقييم متعدد المعايير (Multi-Criteria Evaluation – MCE) من خلال توحيد وتصنيف مجموعة من الطبقات المكانية ذات الخصائص المختلفة، ثم إعادة تصنيفها إلى درجات معيارية قابلة للمقارنة، تمهيداً لدمجها باستخدام أسلوب التراكب الموزون (Weighted Overlay).

وشملت المعايير المكانية المستخدمة في بناء نموذج قابلية غمر مياه الأمطار كلاً من: الارتفاع، والانحدار، وتراكم الجريان، واستخدامات الأرض . وقد تم إعداد هذه الطبقات وفق نظام إسقاط مكاني موحد، وبحجم خلية مكاني متجانس، بما يضمن توافقها أثناء عمليات التحليل والتراكب المكاني.

واعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الصادر عن هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) بدقة مكانية تبلغ 30 متراً، والذي استخدم لاشتقاق طبقات الارتفاع والانحدار وتراكم الجريان. ولإعداد التحليل الهيدرولوجي، تم أولاً استخدام أداة Fill لمعالجة الانخفاضات غير الحقيقية في نموذج الارتفاع الرقمي، ثم استخدام أداة Flow Direction لتحديد اتجاه الجريان السطحي من كل خلية، تلتها أداة Flow Accumulation لحساب عدد الخلايا التي تسهم في الجريان باتجاه كل خلية، بما يساعد على تحديد مسارات تراكم الجريان السطحي والمناطق المحتملة لتجمع مياه الأمطار.

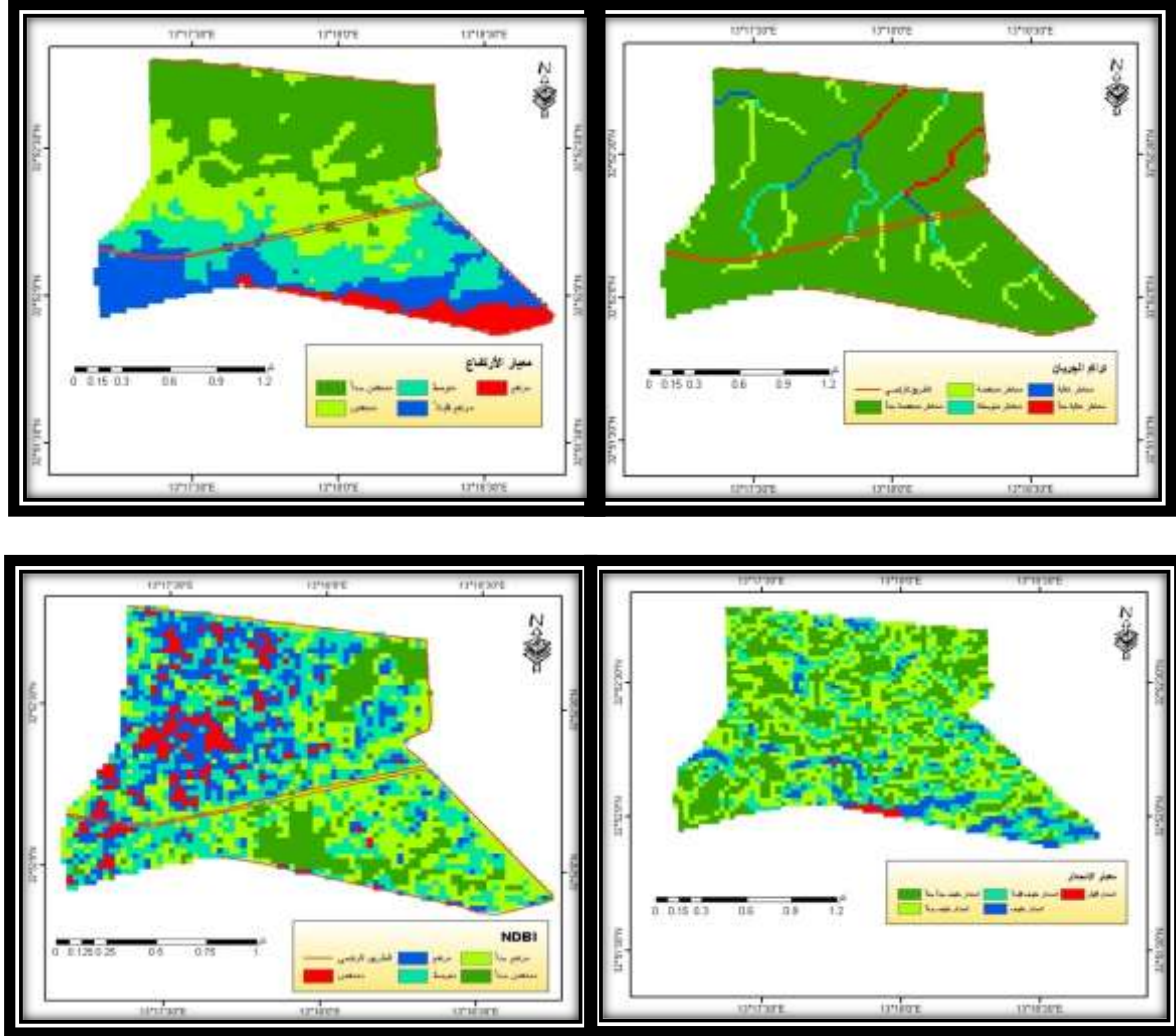
وبعد إعداد الطبقات المكانية كما هو مشاهد بالاشكال التالية(2)، تم تصنيف قيم كل معيار إلى خمس فئات متدرجة وفق درجة مساهمتها النسبية في قابلية الغمر، ثم تحويلها إلى درجات معيارية تمهيداً لدمجها باستخدام الأوزان النسبية الناتجة عن أسلوب AHP وإنتاج خريطة القابلية المكانية لغمر مياه الأمطار في منطقة الدراسة..

استخراج نماذج الملائمة الفردية للمعايير

معيار تراكم الجريان (Flow Accumulation).

يعد تراكم الجريان (Flow Accumulation) أحد المعايير الهيدرولوجية المهمة في تقييم مخاطر غمر مياه الأمطار، حيث يوضح التوزيع المكاني للمناطق التي يتجمع فيها الجريان السطحي نتيجة انتقال مياه الأمطار من المناطق المحيطة باتجاه الخلايا

شكل (2) يوضح الطبقات المكانية للمعايير



الواقعة في مسارات التصريف. وتزداد أهمية هذا المعيار في دراسة مخاطر الغمر نتيجة ارتباط ارتفاع قيم تراكم الجريان بزيادة كمية المياه التي تصل إلى الخلايا، وبالتالي ارتفاع قابليتها لاستقبال وتجميع مياه الجريان السطحي. تم اشتقاق طبقة تراكم الجريان اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، وذلك من خلال تحديد اتجاه الجريان السطحي (Flow Direction)،

ومن ثم حساب تراكم الجريان (Flow Accumulation) باستخدام أدوات التحليل الهيدرولوجي في برنامج ArcGIS. وبعد إنتاج الطبقة، تم تصنيف قيم تراكم الجريان إلى خمس فئات تعكس درجات تجمع مياه الجريان، بدءًا من التجمع المنخفض جدًا وصولًا إلى التجمع المرتفع جدًا، يتضح من الشكل (3)، أن معظم مساحة منطقة الدراسة تظهر باللون الأخضر الداكن، وتمثل مناطق ذات تجمع مياه منخفض جدًا، وهي تنتشر بصورة واسعة داخل منطقة منخفض البيئي. وتظهر باللون الأخضر الفاتح مناطق ذات تجمع مياه منخفض، بينما تمثل المناطق الصفراء فئة التجمع المتوسط.

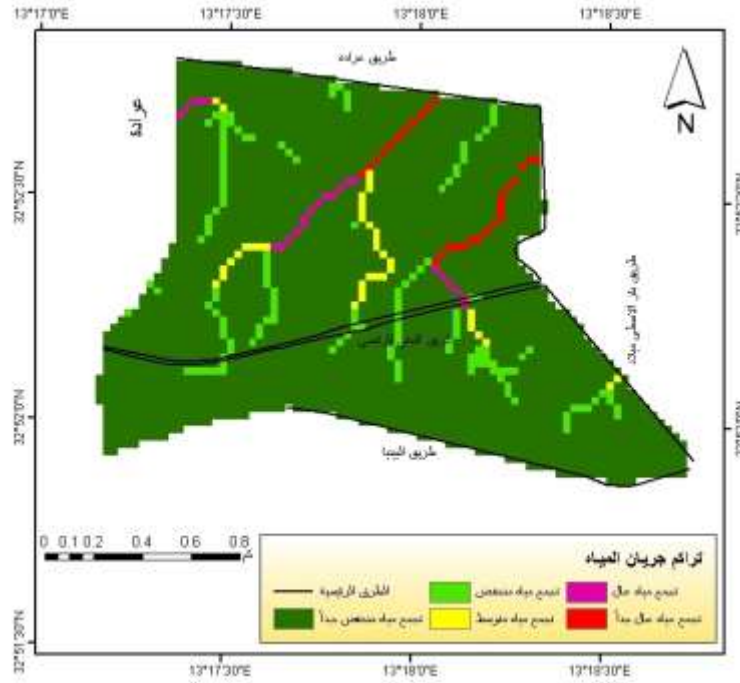
أما المناطق ذات اللون الأرجواني فتمثل تجمعًا مرتفعًا للمياه، في حين تمثل المناطق ذات اللون الأحمر تجمعًا مرتفعًا جدًا، وهي المناطق الأكثر قابلية لتجميع مياه الجريان السطحي داخل منطقة الدراسة. وتظهر هذه المناطق الحمراء في صورة مسارات محددة ومتفرعة، تمثل مسارات تتجمع فيها المياه القادمة من المناطق المحيطة، كما يتضح من الخريطة أن بعض مسارات تراكم الجريان المرتفع والمرتفع جدًا تتقاطع مع الطريق الرئيسي للبيئي أو

تقترب منه، وهو ما يعطي مؤشراً على وجود بعض المقاطع التي قد تكون أكثر عرضة لاستقبال مياه الجريان السطحي أثناء فترات هطول الأمطار الغزيرة. وترداد أهمية هذه المواقع عندما تتوافق مع المناطق المنخفضة طبوغرافياً، حيث قد يؤدي انخفاض مناسيب سطح الأرض إلى الحد من سرعة تصريف المياه وزيادة احتمالية تجمعها، وعليه، تم اعتبار المناطق ذات التجمع المرتفع والمرتفع جداً أكثر قابلية للتعرض لمخاطر الغمر، في حين اعتبرت المناطق ذات التجمع المنخفض والمنخفض جداً أقل قابلية، وتم تحويل هذه الفئات إلى درجات معيارية لاستخدامها ضمن نموذج التحليل الهرمي (AHP)، ودمجها لاحقاً مع معايير الانحدار والارتفاع واستخدامات الأرض لإنتاج الخريطة النهائية لمخاطر غمر مياه الأمطار.

معييار استخدامات الارض:

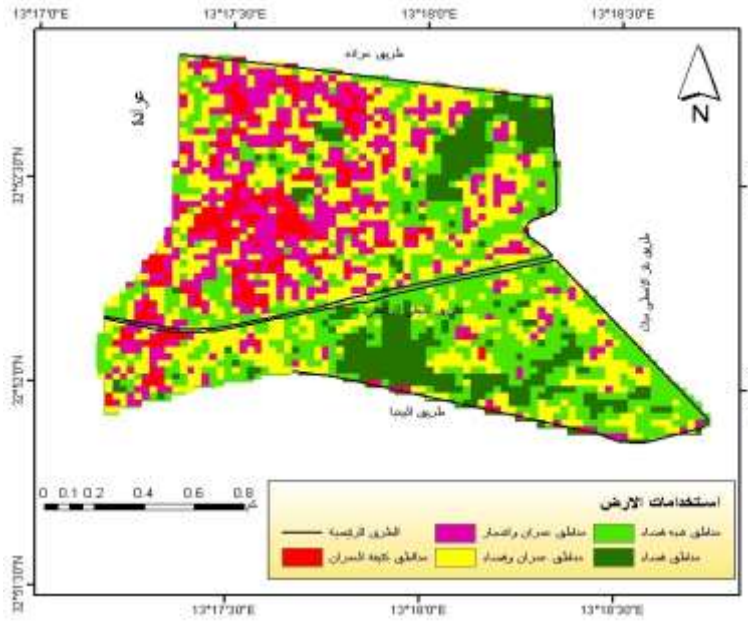
توضح خريطة استخدامات الأرض في منطقة الدراسة التباين المكاني في أنماط استخدام وتغطية سطح الأرض، حيث تم تصنيف المنطقة إلى خمس فئات رئيسية هي: مناطق كثيفة العمران، مناطق عمران وأراضٍ، مناطق شبه فضاء، مناطق فضاء، ومناطق عمران ويظهر من الخريطة (3) أن الاستخدامات العمرانية تتوزع بصورة غير منتظمة داخل منطقة الدراسة، مع تركيز واضح لبعض المناطق كثيفة العمران في الجزء الشمالي والغربي من المنطقة، بينما تنتشر المناطق المفتوحة وشبه الفضاء في أجزاء أخرى، ولا سيما في القطاع الجنوبي والشرقي، وتكتسب هذه التوزيعات أهمية كبيرة في دراسة مخاطر غمر مياه الأمطار، إذ إن المناطق العمرانية، وخاصة المناطق ذات الكثافة العمرانية المرتفعة، تتميز بزيادة الأسطح غير المنفذة للمياه مثل المباني والطرق والأسطح المرصوفة، مما يقلل من قدرة مياه الأمطار على التسرب إلى التربة ويؤدي إلى زيادة الجريان السطحي. وبالتالي، فإن المناطق ذات الكثافة العمرانية المرتفعة يمكن أن تكون أكثر عرضة لتراكم مياه الأمطار، خصوصاً عند تزامنهما مع انخفاض الانحدار وارتفاع قيم تراكم الجريان، وفي المقابل تساعد المناطق المفتوحة وشبه الفضاء على زيادة فرص تسرب جزء من مياه

الشكل (3): التوزيع المكاني لفئات تراكم الجريان في منخفض البيفي ببلدية تاجوراء.



الأمطار إلى التربة مقارنة بالمناطق العمرانية الكثيفة، ولذلك تكون درجة مساهمتها في زيادة مخاطر الغمر أقل نسبياً، مع ضرورة مراعاة طبيعة التربة والانحدار واتجاهات الجريان عند التفسير النهائي.

الشكل (4) التوزيع المكاني لفئات استخدام الارض



معييار الارتفاع:

يُعد الارتفاع عن مستوى سطح البحر أحد أهم المعايير الفيزيائية المؤثرة في توجيه الجريان السطحي وتحديد بؤر تجمع مياه الأمطار. أظهرت نتائج معالجة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة منخفض البيفي بلدية تاجوراء تبايناً طوبوغرافياً واضحاً في مناسيب الأرض، حيث تتراوح الارتفاعات ما بين 3 أمتار كحد أدنى و 31 متراً كحد أقصى فوق مستوى سطح البحر) شكل رقم (5)، ومن خلال التوزيع المكاني لنطاقات الارتفاع الخمسة الموضحة في الخريطة، يمكن استقراء الخصائص المرفولوجية التالية:

نطاق المرتفعات وحواف التصريف (17 – 31 متراً): يتركز هذا النطاق (الممثل باللونين الأخضر الفاتح والداكن) في القطاعين الجنوبي والجنوبي الشرقي للمنطقة، وتحديدًا على امتداد محوري طريق البيبا وطريق بئر الأسطى ميلاد تمثل هذه الأجزاء طوبوغرافياً خطوط تقسيم المياه، حيث تكتسب مياه الأمطار طاقة حركية تدفعها للجريان صوب الأماكن المنخفضة بفعل عامل الجاذبية.

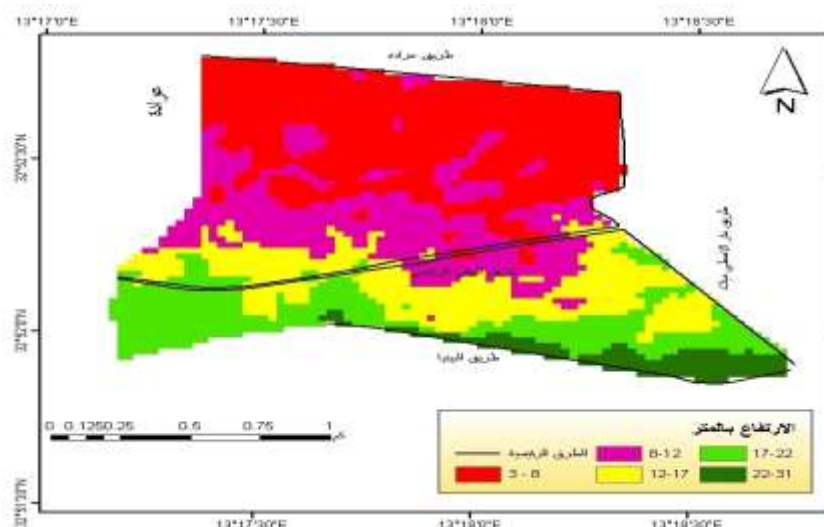
النطاق الانتقالي الأوسط (8 – 17 متراً): يظهر باللونين الأصفر والأرجواني ليشكل منطقة التدرج الطوبوغرافي، وهو النطاق الذي يقطعه طريق البيفي الرئيس حيث يعمل هذا القطاع كممر ومسار ناقل للتدفقات المائية السطحية المتجهة من الجنوب إلى الشمال.

حوض التجميع النهائي (3 – 8 أمتار): يمتد هذا النطاق (الممثل باللون الأحمر) حيث تشير هذه المناطق، من منظور معيار الارتفاع وحده، إلى قابلية أعلى نسبيًا لتجمع مياه الأمطار، إلا أن تحديد مستوى الخطورة النهائي يعتمد على دمج هذا المعيار مع بقية المعايير المستخدمة في النموذج، تشير هذه المناطق، وفق معيار الارتفاع، إلى قابلية نسبية أعلى لتجمع مياه الأمطار مقارنة بالمناطق الأعلى منسوبًا. إلا أن تحديد درجة القابلية النهائية للغمر لا يتم اعتمادًا على الارتفاع منفردًا، وإنما من خلال دمج مع الانحدار وتراكم الجريان واستخدامات الأرض ضمن نموذج التقييم متعدد المعايير الذي سنشهده لاحقاً.

معييار الانحدار

يُشكل الانحدار (Slope) متغيراً طوبوغرافياً أساسياً في نمذجة مخاطر السيول وفيضانات الأمطار، حيث يتحكم مباشرة في سرعة الجريان السطحي، وزمن التركيز الهيدرولوجي، وقدرة التربة على امتصاص المياه. أظهرت نتائج تحليل الانحدار مقاساً بالنسبة المئوية (%) لمنطقة منخفض البيفي تدرجاً يتراوح ما بين 0% كحد أدنى و 20% كحد أقصى، تم توزيعها على خمسة أصناف رئيسية (شكل رقم 6).

الشكل (5) يبين ارتفاعات منطقة الدراسة

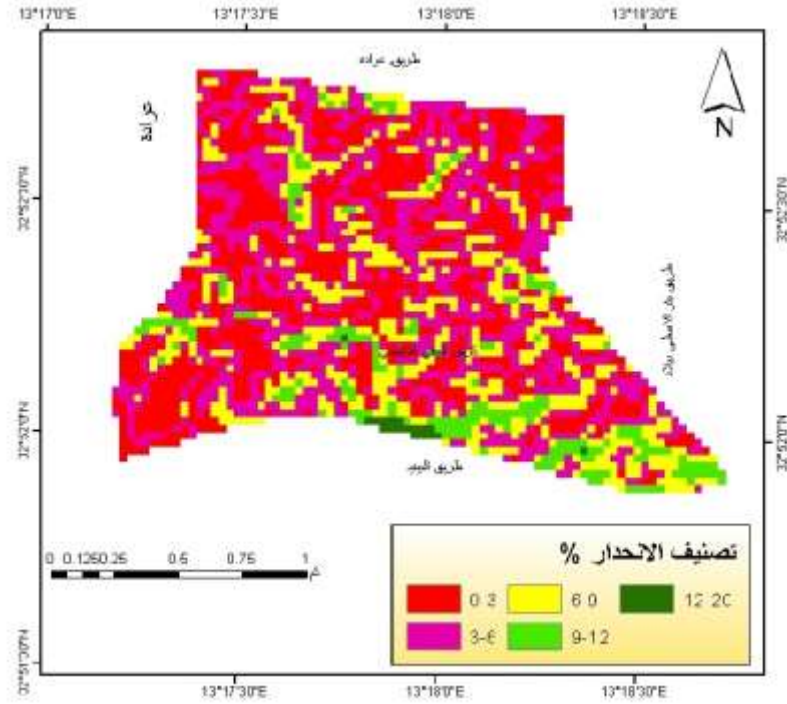


ومن خلال تتبع المكاني والإحصائي لبيانات الخريطة، يمكن استخلاص المؤشرات الجغرافية التالية:

- صنف الأراضي المستوية تماماً: (0% - 3%)** يُمثلها اللون الأحمر وينتشر على مساحات واسعة جداً ومتشابهة تغطي معظم أجزاء قعر المنخفض والمناطق الشمالية المخاضية لـ "طريق عرادة". تُصنف هذه الأراضي هيدرولوجياً بأنها مناطق ركود واستقرار حيث تخفض سرعة الجريان السطحي نسبياً في المناطق منخفضة الانحدار، مما قد يزيد من زمن بقاء المياه واحتمالية تجمعها، خاصة عند محدودية التصريف.
- صنف الأراضي متموجة الميل: (3% - 6%)** يُمثلها اللون الأرجواني ويظهر متداخلاً بشكل وثيق مع الصنف الأول، لا سيما في النطاق المحيط بطريق البيفي الرئيس يسهم هذا التدرج الطفيف في توجيه المياه ببطء شديد نحو القاع دون امتلاك سرعة تصريف ذاتية كافية لمنع ركودها.
- صنف الانحدار المتوسط: (6% - 9%)** يُمثلها اللون الأصفر ويشكل أحزمة انتقالية مبعثرة تفصل بين السهول المنخفضة والأجزاء المرتفعة، ويعمل كخطوط توجيه أولية للمياه.

أصناف الانحدار الشديد والشديد جداً: (9% - 20%) تُمثلها الألوان الأخضر الفاتح والداكن، وتتركز بشكل ملحوظ في الهوامش الجنوبية القريبة من "طريق البيفي" وبعض الأجزاء الجنوبية الشرقية عند "طريق بئر الأسطى ميلاد، حيث تمثل هذه المناطق نطاقات ذات انحدار أعلى نسبياً، ومن المتوقع أن تسهم في تسريع انتقال الجريان السطحي نحو المناطق الأقل ارتفاعاً، يكشف التحليل المكاني عن تداخل حرج بين شبكة الطرق الحيوية والاستخدامات السكنية وبين صنف الانحدار الأدنى (الأحمر والأرجواني). إن سيادة الأراضي شبه المستوية (أقل من 6%) على معظم المساحة الحضرية لمنخفض البيفي تعني جغرافياً ضعف القدرة على التصريف الطبيعي بفعل الجاذبية، مما يؤدي إلى احتمالية تجمع مياه الأمطار للمياه بمجرد تجاوز معدلات الأمطار القدرة الاستيعابية للتربة وشبكات التصريف المحلية، متسبباً في حدوث اختناقات ممرورية حادة وغمر للمباني.

الشكل (6) يبين انحدار منطقة الدراسة



سادساً: نمذجة وتحديد نطاقات قابلية الغمر النهائية

تمثل هذه المرحلة الثمرة النهائية للمطابقة المكانية والأوزان النسبية الموزعة على المعايير الطبيعية والبشرية المؤثرة في هيدرولوجية منطقة الدراسة. وقد أسفرت عملية التراكب الموزع (Weighted Overlay) عن تصنيف منخفض البيفي إلى خمسة مستويات من الخطورة المكانية تجاه غمر مياه الأمطار) شكل (7)، حيث يتضح التوزيع المكاني للأصناف وفق التحليل التالي:

نطاق الخطورة العالية جداً (العالية الحرجة): يُمثلّه اللون الأحمر، حيث تظهر المناطق ذات الخطورة العالية جداً في صورة مسارات خطية ومتفرعة تتوافق مكانياً مع المناطق ذات القيم المرتفعة لتراكم الجريان. التي تنتهي إلى قلب المنخفض. على الرغم من صغر مساحته الإجمالية مقارنة بباقي الأصناف، إلا أنه يُمثل البؤر الحرجة الأشد خطورة، حيث تتقاطع هذه المسارات مباشرة مع الكتلة العمرانية، وتحديدًا في الأجزاء الوسطى والشمالية، مما يجعلها أكثر قابلية للغمر احداث الهطول المطري الغزير.

نطاق الخطورة العالية: يُمثلّه اللون الأرجواني، ويظهر مترافقاً كأحزمة حماية للمسارات الحرجة الحمراء ومتداخلاً مع "طريق البيفي الرئيسي" ومقاطع من "طريق عرادة، حيث يرتبط بزيادة نسبة الاسطح العمرانية غير المنفذة للمياه، مما قد يسهم في زيادة الجريان السطحي، ويزيد من وتيرة تجمع المياه وغمر المركبات والمباني.

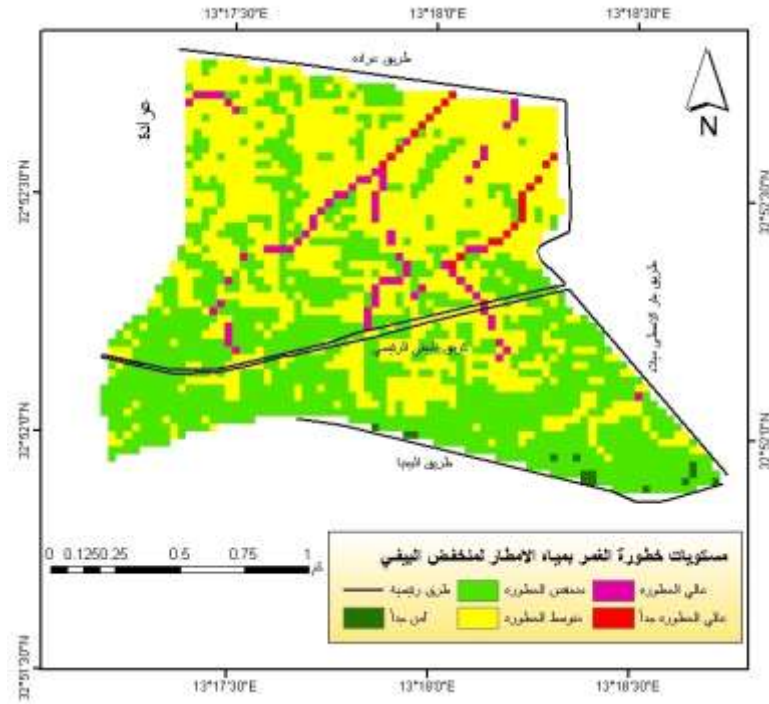
نطاق الخطورة المتوسطة: يُمثلّه اللون الأصفر، ويحتل مساحة شاسعة وممتدة عبر القطاع الشمالي والشمالي الغربي للمنطقة وصولاً إلى محيط طريق عرادة. ويرتبط انتشار هذا النطاق بتداخل القيم المتوسطة للمعايير المستخدمة، ولا سيما الارتفاع والانحدار وتراكم الجريان واستخدامات الأرض، مما يجعله بمثابة حوض استقبال عريض للمياه الفائضة من القنوات الرئيسية.

نطاقات الخطورة المنخفضة والمنخفضة جداً (الآمنة): يُمثّلها اللونان الأخضر الفاتح والداكن، وتنتشر بشكل مكثف ومستمر في القطاع الجنوبي للمنطقة بمحاذاة طريق الببيا ولأجزاء الجنوبية الشرقية عند طريق بئر الأسطى ميلاد تُعزى هذه الأمانة الجغرافية إلى المنسوب الطبوغرافي المرتفع لهذه الأطراف والذي يسمح بالتصريف الطبيعي السريع للمياه نحو الشمال، مستفيدة من عامل الجاذبية، مما يقلل من فرص ركود المياه فيها.

الاستنتاج الجغرافي والتوصيات التطبيقية:

تكشف الخريطة النهائية عن تلازم مكاني خطير بين مستويات الخطورة المرتفعة الأحمر والأرجواني والأصفر وبين النسيج العمراني وشریان النقل الرئيسي بالبلدية طريق الببفي وعراة إن هبوط المنسوب الطبوغرافي واستواء الأرض شمالاً، مع وجود مسارات تدفق تخترق وسط المنطقة، يحوّل الخصائص الطبيعية لمنخفض الببفي إلى مصيدة هيدرولوجية تتطلب تدخلاً هندسياً عاجلاً عبر إنشاء قنوات تصريف اصطناعية موازية للمحاور الحمراء، لضمان تحويل المياه بعيداً عن التجمعات السكنية والطرق الحيوية

الشكل (7) الخريطة النهائية لتحديد نطاقات خطورة الغمر النهائية



النتائج

بناءً على المعالجة المكانية وتحليل المعايير المعتمدة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي (AHP) ونموذج التراكب الموزون (Weighted Overlay)، توصلت الدراسة إلى النتائج الرئيسية الآتية:

- **إنخفاض مناسب سطح الأرض:** أظهر التحليل الطبوغرافي أن القطاع الشمالي والشمالي الغربي من منطقة الدراسة يتميز بانخفاض مناسب سطح الأرض، حيث تتراوح الارتفاعات بين 3 و 8 أمتار فوق مستوى سطح البحر، وهو ما يزيد من قابلية هذه المناطق لتجمع مياه الأمطار واستقبال الجريان السطحي من المناطق الأعلى منسوباً.
- **سيادة الانحدارات المنخفضة:** أظهر تحليل الانحدار سيادة الأراضي شبه المستوية، التي تتراوح درجات انحدارها بين 0 و 3%، وهو ما يرتبط بانخفاض سرعة الجريان السطحي وضعف كفاءة التصريف الطبيعي، وبالتالي زيادة احتمالية تجمع مياه الأمطار وارتفاع قابلية الغمر.

- تحديد مسارات وبؤر تراكم الجريان: أظهر تحليل تراكم الجريان وجود مسارات خطية ومناطق ذات قيم مرتفعة لتراكم الجريان، وقد تركزت بعض هذه المسارات داخل الكتلة العمرانية، بما يشير إلى وجود محاور محتملة لتجمع وتصريف مياه الأمطار، وأسهمت هذه المناطق في رفع درجات القابلية للغمر ضمن خريطة التقييم النهائي.
 - تداخل مناطق القابلية المرتفعة مع شبكة الطرق: أظهر تحليل التراكب المكاني وجود تداخل بين أجزاء من شبكة الطرق، ولا سيما الطريق الرئيسي بمنخفض البيفي ومقاطع من طريق عرادة، وبين المناطق المصنفة ضمن درجات القابلية المرتفعة والمنخفضة جداً للغمر، مما يشير إلى تعرض هذه المقاطع لمخاطر محتملة أثناء حالات الأمطار الغزيرة.
- وبناءً على النتائج المكانية المستخلصة وبؤر الخطورة التي حددتها الخريطة النهائية، تقدم الدراسة الحلول التطبيقية التالية الموجهة لبلدية تاجوراء وصناع القرار في الدولة:

- 1- تطوير شبكة هيدروليكية اصطناعية عاجلة: وذلك بإنشاء قنوات تصريف مياه أمطار اصطناعية مغلقة ومفتوحة يتم تصميم مساراتها وهندستها بحيث توازي "محاور التدفق العالية جداً" (المحددة باللون الأحمر في الخريطة)، لتوجيه المياه بكفاءة نحو قنوات الصرف الرئيسية أو البحر لمنع تجمعها داخل الأحياء السكنية.
- 2- مراعاة خريطة مخاطر الغمر عند إعداد أو تحديث المخططات العمرانية، ودراسة فرض ضوابط خاصة للبناء في المناطق ذات الخطورة المرتفعة، وفق التشريعات والاشتراطات التخطيطية المعتمدة
- 3- إجراء دراسة هندسية لمناسيب وتصريف مياه الأمطار على الطريق الرئيسي، وتحديد مواقع فتحات التصريف والمنشآت المائية المناسبة بالاستناد إلى نتائج النمذج المكاني والدراسات الهيدروليكية التفصيلية.
- 4- إنشاء نظام إنذار مبكر محلي: الاستفادة من قاعدة البيانات الجغرافية (GIS) المنتجة في هذا البحث وربطها بالتنبؤات الجوية الصادرة عن مركز الأرصاد الجوية، لإنشاء نظام إنذار مبكر يساعد البلدية على اتخاذ إجراءات استباقية (مثل نشر مضخات سحب المياه المتنقلة في البور الحمراء والأرجوانية قبل بدء العاصفة المطرية بوقت كافٍ).

المراجع:

- أحمد، محمد عبد السلام، والملا، أحمد محمد. (2022). رسم خرائط مخاطر الفيضانات باستخدام تقنية التحليل متعدد المعايير لاتخاذ القرار القائم على نظم المعلومات الجغرافية (GIS-MCDA)، لحماية التجمعات العمرانية الحضرية الجديدة تماشيًا مع رؤية مصر 2030. *المجلة العلمية لكلية الآداب - جامعة أسيوط*، 26 (82) 115-148.
- أبو خريص، رضاء عبد السلام محمد، وأبو راس، حسين المختار محمد. (2025). الفيضانات المفاجئة في ليبيا: نمذجة أماكن الخطر وتقييم نظم الحماية (وادي درنة). *المجلة الشاملة للعلوم*، 10(38)، 240-261.
- الدرويش، عامر قصي، وإبراهيم، تناصر جابر. (2026). رسم خرائط مخاطر الفيضان في حوض نهر الغمقة باستخدام خوارزمية التحليل الهرمي (AHP) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) بناءً على الخصائص المورفومترية. *مجلة DYSONA - Applied Science*، 7(2)، [189-199].
- تاهي، صادق، وبو النمر، نبيلة. (2023). الملاءمة المكانية للتوسع العمراني المستقبلي في مدينة المسيلة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والتسلسل الهرمي التحليلي [AHP] ورقة علمية مقدمة [الملتقى الدولي حول تسيير المدن]. جامعة محمد بوضياف - المسيلة، الجزائر.
- ناصر، شوقي شحدة أحمد. (2023). إدارة أخطار السيول في منطقة غات (جنوب غرب ليبيا) باستخدام التقنيات المكانية. *مجلة جامعة سبها للعلوم الإنسانية* 22(2) 13-20

- **Al-Basool, K. (2025).** *Flood risk assessment and mapping using GIS: A case study of Zaatari camp, Mafraq* [Master's thesis, Al al-Bayt University]. Al al-Bayt University Institutional Repository.
- **International Organization for Migration (IOM). (2024).** *Migration, environment & climate change in Libya.*
- **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022).** *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability.* Cambridge University Press.
- **Saaty, T. L. (1980).** *The analytic hierarchy process.* McGraw-Hill.