



أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة
في الجغرافيا الطبيعية

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة -
دراسة في الجغرافيا الطبيعية

وفاء إسماعيل سعد

مدرس دكتور

الجامعة المستنصرية / كلية التربية

البريد الإلكتروني Email : wfa_sad@uomustansiriyah.edu.iq

الكلمات المفتاحية: الموروث المعماري، الخصائص الجيولوجية، الخصائص الهيدرولوجية، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، المدينة القديمة في الموصل .

كيفية اقتباس البحث

سعد، وفاء إسماعيل ، أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية، مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية، تشرين الأول ٢٠٢٦، المجلد: ١٦، العدد: ١٠ .

هذا البحث من نوع الوصول المفتوح مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي لحقوق التأليف والنشر (Creative Commons Attribution) تتيح فقط للآخرين تحميل البحث ومشاركته مع الآخرين بشرط نسب العمل الأصلي للمؤلف، ودون القيام بأي تعديل أو استخدامه لأغراض تجارية.

مسجلة في
ROAD

مفهرسة في
IASJ

The Impact of Geological and Hydrological Characteristics on the Architectural Heritage of Old Mosul – A Study in Physical Geography

Wafa Ismail Saad

Lecturer, PhD

Al-Mustansiriya University / College of Education

Keywords : Architectural heritage, geological characteristics, hydrological characteristics, Geographic Information Systems (GIS), Old City of Mosul.

How To Cite This Article

Saad, Wafa Ismail , The Impact of Geological and Hydrological Characteristics on the Architectural Heritage of Old Mosul – A Study in Physical Geography, Journal Of Babylon Center For Humanities Studies, October 2026, Volume:16, Issue 10.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

[This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

I. Abstract

Historic cities represent complex urban systems whose architectural heritage is shaped by the continuous interaction between geological, hydrological, and topographical characteristics. Despite the growing interest in preserving architectural heritage, studies integrating natural factors into spatial assessments of historic cities remain limited, particularly in Old Mosul. This research aims to study the impact of geological and hydrological characteristics on the architectural heritage of Old Mosul and to analyze the spatial relationships between natural factors and urban development. The study adopted an integrated methodology based on Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, geological and hydrological analysis, digital elevation models, and spatial





and statistical analysis to assess the impact of rock formations, topographical characteristics, groundwater, the Tigris River, and flood vulnerability on the distribution and level of vulnerability of heritage buildings. The results showed that groundwater, proximity to the Tigris River, and flood vulnerability are the most influential factors on the spatial distribution and vulnerability of heritage buildings, while geological formations affect foundation stability and the choice of traditional building materials. The research provides an integrated spatial framework that supports conservation prioritization, guides post-conflict reconstruction programs, and contributes to integrating environmental considerations into sustainable urban heritage management and planning strategies.

أولاً: الملخص

تمثل المدن التاريخية أنظمة عمرانية معقدة تشكل موارثها المعماري نتيجة التفاعل المستمر بين الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية. وعلى الرغم من تزايد الاهتمام بالحفاظ على التراث العمراني، ما تزال الدراسات التي تدمج العوامل الطبيعية ضمن التقييمات المكانية للمدن التاريخية محدودة، ولا سيما في المدينة القديمة بالموصل. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري للمدينة القديمة بالموصل، وتحليل العلاقات المكانية بين العوامل الطبيعية والتطور العمراني. واعتمدت الدراسة منهجية متكاملة استندت إلى نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد، والتحليل الجيولوجي والهيدرولوجي، ونماذج الارتفاعات الرقمية، والتحليل المكاني والإحصائي، لتقييم تأثير التكوينات الصخرية، والخصائص الطبوغرافية، والمياه الجوفية، ونهر دجلة، وقابلية التعرض للفيضانات في توزيع المباني التراثية ومستوى حساسيتها. وأظهرت النتائج أن المياه الجوفية، والقرب من نهر دجلة، وقابلية التعرض للفيضانات تمثل العوامل الأكثر تأثيراً في التوزيع المكاني وحساسية المباني التراثية، في حين تؤثر التكوينات الجيولوجية في استقرار الأساسات واختيار مواد البناء التقليدية. ويقدم البحث إطاراً مكانياً متكاملاً يدعم ترتيب أولويات الحفاظ، ويوجه برامج إعادة الإعمار بعد النزاعات، ويسهم في دمج الاعتبارات البيئية ضمن استراتيجيات الإدارة المستدامة



للتراث العمراني والتخطيط الحضري. ويستند البحث إلى فرضية رئيسة مفادها أن الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة يمثل انعكاساً مباشراً للتفاعل بين الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية للموقع، وتتفرع عنها عدة فرضيات، أبرزها وجود علاقة مباشرة بين نوع التكوينات الصخرية ومواد البناء التقليدية المستخدمة في المدينة، وأن الخصائص الهيدرولوجية، ولا سيما نهر دجلة وشبكات التصريف والمياه الجوفية، لعبت دوراً محورياً في توزيع الأحياء التاريخية واستقرارها، كما أن الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية فرضت قيوداً مكانية على الامتداد العمراني وأسهمت في تكوين نمط عمراني متميز يعكس قدرة المجتمع المحلي على التكيف مع البيئة الطبيعية، وهو ما أدى إلى نشوء منظومة معمارية ذات هوية مكانية فريدة.

ثانياً: المقدمة:

تُعد البيئة الطبيعية أحد المرتكزات الأساسية التي أسهمت في نشأة المدن التاريخية وتطورها، إذ لم يكن اختيار مواقع الاستيطان الحضري عبر التاريخ عملية عشوائية، بل جاء نتيجة تفاعل معقد بين الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية والهيدرولوجية والاحتياجات الاجتماعية والاقتصادية للسكان. وقد أكدت الدراسات الحديثة أن الموروث المعماري لا يمثل نتاجاً ثقافياً أو حضارياً فحسب، وإنما يعكس بصورة مباشرة تأثيرات البيئة الطبيعية التي تشكلت ضمنها المدن التاريخية، حيث أسهمت طبيعة الصخور والتكوينات الجيولوجية وشبكات المياه والخصائص التضاريسية في تحديد مواقع العمران وأنماط البناء ومواد الإنشاء وتوزيع الفضاءات الحضرية. وفي هذا السياق، أوضح (Pijet-Migoń and Migoń (2022 أن العلاقة بين التراث الجيولوجي والتراث الثقافي أصبحت أحد الاتجاهات البحثية الرئيسة في علوم الجيولوجيا والجغرافيا، وأن فهم الترابط بين الجيولوجيا والعمران التاريخي يمثل مدخلاً أساسياً لتفسير تطور المدن التاريخية والمحافظة عليها في إطار التنمية المستدامة، ولا سيما في المدن التي ارتبطت هويتها العمرانية ارتباطاً وثيقاً بخصائصها الطبيعية .

وتُعد مدينة الموصل القديمة من أبرز المدن التاريخية في المشرق العربي التي تجسد هذا التفاعل بين البيئة الطبيعية والعمران، إذ نشأت على الضفة اليمنى لنهر دجلة فوق تكوينات جيولوجية متنوعة، واستفادت من الموقع الاستراتيجي الذي وفرته شبكة المياه والخصائص الطبوغرافية في بناء نسيج عمراني متماسك تميز بالأزقة الضيقة والمساكن المتقاربة واستخدام الحجر الجيري والرخام الجيري (الألباستر) والجبس المحلي في البناء. كما أسهم نهر دجلة في تعزيز الوظائف الاقتصادية والتجارية للمدينة وربطها بمحيطها الإقليمي، في حين فرضت الانحدارات الطبيعية



وشبكات التصريف قيوداً على الامتداد العمراني وأسهمت في تشكيل أنماط الشوارع والأحياء التاريخية. وقد بينت دراسات إعادة إعمار الموصل أن الخصائص البيئية والمادية التقليدية للمدينة تمثل جزءاً أساسياً من هويتها العمرانية، وأن الحفاظ على هذا التراث يتطلب فهماً دقيقاً للعلاقة بين البيئة الطبيعية والنسيج الحضري التاريخي .

وتكتسب هذه العلاقة أهمية متزايدة في ظل الاتجاهات الحديثة التي تدعو إلى دمج مفاهيم الجغرافيا الطبيعية مع دراسات التراث العمراني، حيث لم تعد استدامة المدن التاريخية تقتصر على صيانة المباني الأثرية، بل أصبحت تعتمد على فهم العمليات الطبيعية التي أسهمت في نشأتها واستمرارها عبر الزمن. فقد أشارت الدراسات الحديثة إلى أن استدامة المدن التاريخية ترتبط بقدرتها على التكيف مع خصائص الموقع الطبيعي وإدارة الموارد المائية والمواد المحلية بصورة متوازنة، وهو ما يجعل البيئة الطبيعية عنصراً فاعلاً في الحفاظ على الهوية العمرانية وليس مجرد إطار مكاني للعمران. وفي هذا السياق، أوضح (Yawer et al. (2023 أن استدامة مدينة الموصل التاريخية لا يمكن تحقيقها دون مراعاة العلاقة بين خصائصها البيئية والعمرانية عند وضع استراتيجيات الحماية وإعادة الإعمار، لأن النسيج العمراني التاريخي يمثل نظاماً متكاملًا تشكل عبر قرون من التفاعل مع البيئة المحلية .

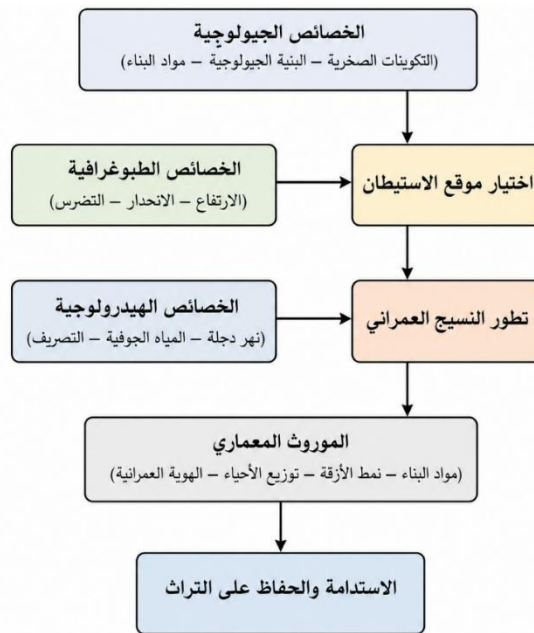
وعلى الرغم من تزايد الدراسات المتعلقة بمدينة الموصل القديمة خلال السنوات الأخيرة، فإن معظمها ركز على الجوانب التاريخية أو الأثرية أو المعمارية أو قضايا إعادة الإعمار بعد عام ٢٠١٧، في حين اقتصرت الدراسات الجيولوجية على معالجة المشكلات الهندسية أو تقييم المخاطر الجيو تكنولوجية دون الربط بينها وبين تطور الموروث المعماري. كما ركزت بعض الدراسات على الهوية المعمارية أو استراتيجيات إعادة التأهيل العمراني دون تحليل الدور الذي أدته التكوينات الجيولوجية والخصائص الهيدرولوجية في تشكيل النسيج الحضري التاريخي . ولذلك، ما تزال هناك فجوة معرفية تتمثل في غياب دراسة تكاملية تفسر بصورة كمية ومكانية كيفية إسهام العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية في نشأة مدينة الموصل القديمة وتطورها واستمرارها، وهو ما يحد من فهم العلاقة السببية بين البيئة الطبيعية والموروث المعماري ويؤثر في فعالية برامج الحفاظ وإعادة التأهيل.

وانطلاقاً من هذه الفجوة، يسعى هذا البحث إلى الإجابة عن مجموعة من التساؤلات الرئيسة تتمثل في: كيف أثرت التكوينات الجيولوجية في اختيار موقع مدينة الموصل القديمة؟ وما مدى إسهام نهر دجلة وشبكة التصريف السطحي في توجيه النمو العمراني وتوزيع الأحياء التاريخية؟

وكيف انعكس مستوى المياه الجوفية والخصائص الهيدرولوجية في استقرار الأبنية التقليدية؟ وما دور الانحدار الطبوغرافي في تشكيل شبكة الأزقة والفراغات الحضرية؟ وكيف أثرت طبيعة الصخور المحلية في اختيار مواد البناء وتقنيات الإنشاء التقليدية؟ وإلى أي مدى أسهمت مخاطر الفيضانات والعمليات الجيومورفولوجية في رسم حدود الامتداد العمراني التاريخي؟ إن الإجابة عن هذه الأسئلة تمثل مدخلاً علمياً لفهم التفاعل الديناميكي بين عناصر البيئة الطبيعية والنظام العمراني التاريخي، وتساعد في بناء رؤية أكثر تكاملاً للحفاظ على التراث العمراني.

ويستند البحث إلى فرضية رئيسة مفادها أن الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة يمثل انعكاساً مباشراً للتفاعل بين الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية للموقع، وتتفرع عنها عدة فرضيات، أبرزها وجود علاقة مباشرة بين نوع التكوينات الصخرية ومواد البناء التقليدية المستخدمة في المدينة، وأن الخصائص الهيدرولوجية، ولا سيما نهر دجلة وشبكات التصريف والمياه الجوفية، لعبت دوراً محورياً في توزيع الأحياء التاريخية واستقرارها، كما أن الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية فرضت قيوداً مكانية على الامتداد العمراني وأسهمت في تكوين نمط عمراني متمايز يعكس قدرة المجتمع المحلي على التكيف مع البيئة الطبيعية، وهو ما أدى إلى نشوء منظومة معمارية ذات هوية مكانية فريدة.

وبناءً على ذلك، يهدف هذا البحث إلى تحليل الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية لمنطقة مدينة الموصل القديمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد والتحليل المكاني، وتفسير تأثير هذه الخصائص في تشكيل الموروث المعماري والنسيج العمراني التاريخي، فضلاً عن بناء نموذج مكاني يوضح آلية تأثير البيئة الطبيعية في تطور العمران التاريخي، بما يسهم في تطوير إطار علمي يمكن الاستفادة منه في دراسات المدن التاريخية الأخرى، ويقدم توصيات عملية لدعم سياسات الحفاظ على التراث العمراني وإعادة تأهيله وفق منظور الجغرافيا الطبيعية والتنمية المستدامة.



الشكل (١). الإطار المفاهيمي للعلاقة بين البيئة الطبيعية والموروث المعماري في مدينة الموصل القديمة

ثالثاً: المراجعة الأدبية:

تؤكد الأدبيات المعاصرة أن نشأة المدن التاريخية وتطورها لم يكونا نتاجاً للعوامل الاجتماعية والاقتصادية وحدها، بل ارتبطا بتفاعل معقد بين الموقع الجغرافي والتضاريس والتكوينات الصخرية والموارد المائية. وقد بينَ Pijet-Migoń and Migoń (2022) أن العلاقة بين التراث الجيولوجي والتراث الثقافي تتخذ صوراً مكانية وسببية ووظيفية، إذ تؤثر طبيعة الصخور والتضاريس في اختيار مواقع الاستيطان، وفي المواد المستخدمة في البناء، وفي الهوية البصرية للمشهد الحضري. وتدعم هذه الرؤية مفهوم المدينة التاريخية بوصفها مشهداً ثقافياً تشترك في تشكيله العمليات الطبيعية والممارسات البشرية، بما يعني أن تحليل الموروث المعماري يتطلب دراسة الأساس الجيولوجي والهيدرولوجي الذي تطور فوقه، وليس الاقتصار على وصف المباني وطرزها المعمارية.

وفي مدينة الموصل، تمثل التكوينات الجيولوجية أساساً مهماً لفهم موقع المدينة القديمة ومواد بنائها ومشكلاتها الإنشائية. فقد استخدم Al-Jawadi, Ali, and Adeeb (2022) تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للكشف عن المشكلات الجيولوجية والهندسية في الموصل القديمة، وأظهروا أن خصائص الصخور والتربة والتراكيب الجيولوجية تؤثر في استقرار الأرض والمنشآت، ولا سيما في المناطق القريبة من نهر دجلة والمنحدرات النهرية. ورغم أهمية الدراسة في إدخال تقنيات GIS إلى التحليل الجيولوجي، فإنها ركزت على المشكلات الهندسية

ولم تتوسع في تفسير أثر تلك الخصائص في تكوين النسيج المعماري التاريخي. كما تناول Al-Jawadi, Saleh, and Younis (2022) من منظور جيولوجي، وأبرزوا أهمية توافق مواد الترميم مع الحجر والجبس والمواد المحلية التي قامت عليها المباني الأصلية، إلا أن دراستهم ركزت أساساً على إدارة التراث المتضرر، ولم تبين نموذجاً مكانياً يربط توزيع الأبنية التراثية بالتكوينات الجيولوجية السائدة.

وتشير الخرائط والدراسات الجيولوجية الإقليمية إلى تأثر منطقة الموصل بتكوينات الفتحة وإنجانة والمقدادية، فضلاً عن الرواسب الرباعية المرتبطة بوادي دجلة ومدرجاته النهرية. ويتميز تكوين الفتحة بتعاقب الصخور الجيرية والجبسية والمارلية، بينما تسود في تكوين إنجانة طبقات الحجر الرملي والطيني والغرين، وتضم تكوينات المقدادية رواسب فتاتية أكثر خشونة، في حين تتكون الرواسب الرباعية من الحصى والرمل والغرين والطين النهرية. وتكمن أهمية هذه التكوينات في اختلاف مقاومتها للتعرية والذوبان والهبوط الأرضي، فضلاً عن كونها مصدراً تاريخياً لبعض مواد البناء، وهو ما يستدعي تحليل أثرها المكاني في اختيار مواقع الأبنية واتجاه التوسع العمراني بدل التعامل معها بوصفها خلفية جيولوجية ثابتة فقط.

وفي الجانب الهيدرولوجي، ارتبطت الموصل القديمة ارتباطاً مباشراً بنهر دجلة، الذي وفر المياه ووسائل النقل ودعم الأنشطة الزراعية والتجارية، لكنه مثل في الوقت نفسه مصدراً لمخاطر الفيضانات والنحت الجانبي وارتفاع المياه الجوفية. وقد تناول Yawer et al. (2023) التنمية الحضرية المستدامة لمدينة الموصل التاريخية، وأكدوا ضرورة تحقيق التوازن بين المحافظة على النسيج العمراني وتحسين البنية التحتية والخدمات البيئية. وأظهرت دراستهم أن استدامة المدينة القديمة لا تتحقق بإعادة بناء المعالم منفردة، بل بالحفاظ على تكامل النسيج الحضري ووظائفه، إلا أنها لم تقدم تحليلاً تفصيلياً لتأثير نهر دجلة والمياه الجوفية وشبكة الصرف الطبيعي في توزيع الأحياء والمباني. ومن هنا تظهر الحاجة إلى تحليل المسافة من النهر، واتجاه الجريان السطحي، ومناطق تراكم المياه، ومستوى التعرض للفيضانات بوصفها متغيرات تفسر تطور المدينة التاريخية.

أما الدراسات المعمارية، فقد ركزت غالباً على الهوية الحضرية وإعادة الإعمار بعد الحرب. فقد حلل Hussein et al. (2019) مورفولوجية الموصل القديمة وعلاقتها بالهوية وعمليات إعادة البناء، وأوضح أن الأزقة المتعرجة والكتل المتراسة والأفنية الداخلية والمباني الدينية والأسواق تمثل منظومة مكانية مترابطة، وأن إعادة بناء المعالم بمعزل عن محيطها تؤدي إلى فقدان أصالة المدينة. ومع ذلك، لم تناقش الدراسة بصورة كمية أثر الانحدار أو نوع الصخور أو القرب



من شبكة المياه في تشكيل هذه المورفولوجية. وتوصل (Saeed et al. (2022) في دراستهم لإعادة بناء المساكن بعد الحرب، إلى ضرورة استعادة الأنماط السكنية التي تراعي الخصوصية الاجتماعية والهوية المحلية، ولا سيما البيوت ذات الأفنية، لكن اهتمامهم انصب على الإسكان وإعادة الإعمار أكثر من الأسس الطبيعية التي أفرزت نمطه التاريخي.

وفي الاتجاه نفسه، درس (Hammoody et al. (2023) القيمة المكانية والاستراتيجية للمراكز الدينية في إعادة إعمار الموصل القديمة، وأظهروا أن المساجد والمراقد لم تكن عناصر معمارية منفردة، وإنما عقدًا نظمت حولها حركة السكان والأسواق والطرق. وتفيد هذه النتيجة في فهم الترتيب الوظيفي داخل المدينة، لكنها لا تفسر مدى ارتباط مواقع تلك المراكز بخصائص التضاريس أو مواضع الأمان من الفيضانات أو استقرار الأساس الصخري. كما استخدم (Younus et al. (2023) نموذج معلومات المباني التاريخية في توثيق التراث ودعم عمليات إعادة الإعمار، وأكدوا قيمة التوثيق الرقمي في حفظ الخصائص الهندسية والإنشائية للمباني، إلا أن منهجهم ركز على مستوى المبنى ولم يدمج قواعد بياناته مع نموذج جيولوجي وهيدرولوجي شامل للمدينة.

وتتضح قيمة المقارنة العالمية عند دراسة مدن تاريخية واجهت قيودًا طبيعية مشابهة. ففي مدينة حلب القديمة، ناقش (Kousa and Pottgiesser (2021) استراتيجيات تطوير الأحياء التاريخية، وأكدوا أهمية الحفاظ على الترابط بين المساكن والأسواق والأزقة والمرافق العامة بدل التركيز على النصب المنفردة. كما أوضحت (Orabi (2023) من خلال إعادة البناء الرقمي للمورفولوجية الحضرية لحلب، أن تحليل الكتل والشوارع والقطع العمرانية يمكن أن يكشف التحولات التي أصابت النسيج التاريخي. وتوفر هاتان الدراستان منهجًا مناسبًا لتحليل المورفولوجية، لكنهما لم تجعل الجيولوجيا والهيدرولوجيا متغيرين تفسيريين رئيسيين في النموذج المكاني.

وفي صنعاء، استخدم (Ali, Al-Hashimi, and Al-Samman (2018) نظم المعلومات الجغرافية والمحاكاة البيئية وتحليل التركيب الفراغي لمقارنة الشكل الحضري التقليدي بالأنماط الحديثة، وتوصلوا إلى أن الكثافة العالية والتراص وقابلية المشي وتوجيه المباني أسهمت في رفع كفاءة المدينة التقليدية. كما أوضح (Attia (2022) أن العمارة اليمنية التقليدية استجابت للمناخ والمواد المحلية من خلال الجدران السمكية والبناء الرأسي والفتحات المدروسة ومواد الحجر والطين والجبس، بما يعكس قدرة العمارة المحلية على تحويل القيود البيئية إلى حلول إنشائية ومناخية مستدامة. وتكشف هاتان الدراستان أن مواد البناء والشكل الحضري لا ينفصلان عن

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة

في الجغرافيا الطبيعية

البيئة الطبيعية، وهي فكرة يمكن اختبارها في الموصل من خلال الربط بين الصخور المحلية وأنماط البيوت والأزقة.

وفي مدينة البتراء، حلل (Plekhov (2020 الأبعاد الاجتماعية لنظم إدارة المياه، مبيّن أن القنوات والخزانات والسدود لم تكن مجرد منشآت تقنية، بل كانت جزءاً من نظام اجتماعي ومؤسسي مكن المدينة من الاستمرار في بيئة شبه جافة. وتوضح حالة البتراء أن الماء قد يكون عاملاً منشئاً للشكل الحضري ومحددًا لتوزيع المنشآت، وليس مجرد مورد طبيعي محيط بالمدينة. كما أن وقوع البتراء ضمن أودية ومنحدرات صخرية فرض حلولاً خاصة للتحكم في السيول وحماية المباني، وهو ما يقدم أساساً مقارناً لفحص أثر دجلة والتصريف السطحي والفيضانات في عمران الموصل القديمة.

وفي مدينة فاس، بيّن (Boussaa and Madandola (2024 أن حماية المدينة التاريخية وتنشيطها اقتصادياً يتطلبان تحقيق توازن بين السياحة والحياة المحلية والمحافظة على النسيج الحضري التقليدي، مع معالجة تدهور المساكن والبنية التحتية داخل الأزقة التاريخية. وناقش (Radoine (2019 الحفظ الحضري المستدام في مدينة فاس، مؤكداً ضرورة دمج التأهيل المادي بالمشاركة الاجتماعية وإدارة المساكن المعرضة للانهيار. ورغم أهمية الدراستين في تطوير سياسات إدارة التراث، فإنهما ركزتا على الإدارة والتجديد أكثر من تحليل أثر المياه والتضاريس والمواد الجيولوجية في تكوين المدينة التاريخية.

يتضح من تحليل هذه الدراسات أن الأدبيات السابقة قدمت إسهامات مهمة في أربع مسارات شبه منفصلة؛ إذ تناول المسار الأول العلاقة العامة بين الجيولوجيا والتراث، وركز المسار الثاني على المشكلات الجيولوجية والهندسية في الموصل، واهتم المسار الثالث بمورفولوجية المدينة وهويتها وإعادة إعمارها، في حين تناول المسار الرابع خبرات المدن التاريخية في إدارة المياه أو التكيف المناخي أو الحفظ الحضري. ومع ذلك، لم تقدم الدراسات المتاحة إطاراً تحليلياً موحداً يجمع بين التكوينات الجيولوجية والتضاريس ونهر دجلة والمياه الجوفية والصرف الطبيعي ومخاطر الفيضانات، ثم يربطها مكانياً بمواد البناء وتوزيع الأحياء والأزقة والبيوت والمساجد والأسواق في الموصل القديمة. ومن ثم يتميز البحث الحالي بتوظيف نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتحليل المكاني لبناء نموذج يفسر آلية انتقال تأثير البيئة الطبيعية من خصائص الموقع إلى اختيار مواضع الاستيطان، ثم إلى شكل النسيج الحضري وخصائص الموروث المعماري، بما يسد فجوة واضحة بين دراسات الجغرافيا الطبيعية ودراسات العمارة والتراث.

جدول (١). مقارنة الدراسات السابقة بالبحث الحالي

الدراسة	منطقة الدراسة	المجال والمنهج	أبرز ما تناولته	القصور بالنسبة لموضوع البحث	إضافة البحث الحالي
Pijet-Migoń and Migoń (2022)	مراجعة عالمية	مراجعة للتراث الجيولوجي والثقافي	الروابط بين الجيولوجيا والثقافة والعمارة	لم تختبر حالة حضرية محددة مكانياً	تطبيق العلاقة على الموصل باستخدام GIS
Al-Jawadi, Ali, and Adeeb (2022)	الموصل القديمة	استشعار عن بعد و GIS	المشكلات الجيولوجية والهندسية	لم تربط النتائج بالنسج المعماري	ربط الجيولوجيا بتوزيع المباني ومواد البناء
Al-Jawadi, Saleh, and Younis (2022)	الموصل القديمة	جيولوجيا وحفظ تراث	حماية التراث المدمر ومواد الترميم	غياب التحليل الهيدرولوجي والمورفولوجي	دمج الجيولوجيا والهيدرولوجيا والتراث
Yawer et al. (2023)	الموصل التاريخية	تخطيط واستدامة حضرية	استدامة المدينة والحفاظ على نسيجها	لم تحلل أثر النهر والمياه الجوفية	قياس أثر العناصر الهيدرولوجية مكانياً
Hussein et al. (2019)	الموصل القديمة	تحليل مورفولوجي ومعماري	الهوية والنسج وإعادة الإعمار	لم تتناول المحددات الطبيعية كمياً	تقسيم المورفولوجية بالعوامل الطبيعية
Saeed et al. (2022)	الموصل	إعادة بناء الإسكان	الأنماط السكنية والهوية المحلية	التركيز على مرحلة ما بعد الحرب	تفسير أصل النمط السكني بيئياً
Hammoodi	الموصل	تحليل	المراكز	لم تربط مواقعها	اختبار علاقة

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

et al. (2023)	القديمة	القيمة المكانية	الدينية وإعادة الإعمار	بالتضاريس والمياه	مواقعها بالمحددات الطبيعية
Younus et al. (2023)	الموصل القديمة	HBIM والتوثيق الرقمي	توثيق المباني التاريخية	التحليل على مستوى المبنى فقط	دمج بيانات المباني ضمن نموذج مكاني شامل
Kousa and Pottgiesser (2021)	حلب القديمة	تخطيط وحفظ حضري	الأحياء والنسيج العمراني	محدودية التحليل الطبيعي	الإفادة من منهج النسيج مع إضافة البعد الطبيعي
Orabi (2023)	حلب القديمة	إعادة بناء رقمية ومورفولوجية	تطور الشوارع والكتل العمرانية	عدم دمج الجيولوجيا والهيدرولوجيا	دمج المورفولوجيا مع الخرائط الطبيعية
Ali, Al-Hashimi, and Al-Samman (2018)	صنعاء القديمة	GIS و Space Syntax ومحاكاة بيئية	التراص والكثافة والاستدامة	التركيز على المناخ والشكل الحضري	إضافة الصخور والمياه والمخاطر الطبيعية
Attia (2022)	صنعاء واليمن	تحليل العمارة التقليدية	المواد المحلية والتكيف المناخي	دراسة وصفية معمارية بالدرجة الأولى	تحليل مكاني لمصادر المواد وتوزيعها
Plekhov (2020)	البتراء	تحليل نظم إدارة المياه	المياه والبنية التحتية والتتظيم الاجتماعي	لا يتناول مدينة نهريّة مثل الموصل	مقارنة نظم التكيف المائي وتوجيه العمران

Boussaa and Madandola (2024)	فاس	التراث والسياحة والتجديد	حماية المدينة وتنشيطها	التركيز على الإدارة والسياحة	إدماج الأساس الطبيعي في قرارات الحفظ
Radoine (2019)	فاس	الحفظ الحضري المستدام	التأهيل والمشاركة والمباني المهذبة	غياب التحليل الجيولوجي والهيدرولوجي	إنتاج خريطة أولوية للحفاظ مبنية على المخاطر
البحث الحالي	الموصل القديمة	GIS، استشعار عن بعد، تحليل جيولوجي وهيدرولوجي ومكاني	تفسير أثر الموقع الطبيعي في مواد البناء والنسيج والمباني التراثية	—	نموذج تكاملي قابل للتطبيق في مدن تاريخية أخرى

رابعاً: المنهجية:

١.٤ منطقة الدراسة:

تقع مدينة الموصل القديمة في الجزء الغربي من مدينة الموصل بمحافظة نينوى شمال العراق، وتمثل النواة التاريخية التي تطورت منها المدينة عبر مراحل حضارية متعاقبة، الأمر الذي أكسبها قيمة تاريخية وثقافية ومعمارية استثنائية على مستوى العراق والشرق الأوسط. وتعد المدينة القديمة أحد أهم مراكز التراث الحضري في المنطقة، إذ تضم عدداً كبيراً من المباني التاريخية التي تشمل المساجد والكنائس والأسواق التقليدية والخانات والبيوت التراثية والأسوار القديمة، والتي تعكس تطور العمارة الإسلامية والمحلية عبر قرون عديدة. وتشير Hussein et al. (2019) إلى أن مدينة الموصل القديمة تمثل نموذجاً متميزاً للمدن التاريخية التي تتداخل فيها الخصائص العمرانية مع العوامل الطبيعية، الأمر الذي يجعل فهم البيئة الجغرافية المحيطة بها ضرورياً عند وضع خطط إعادة الإعمار والمحافظة على التراث العمراني.

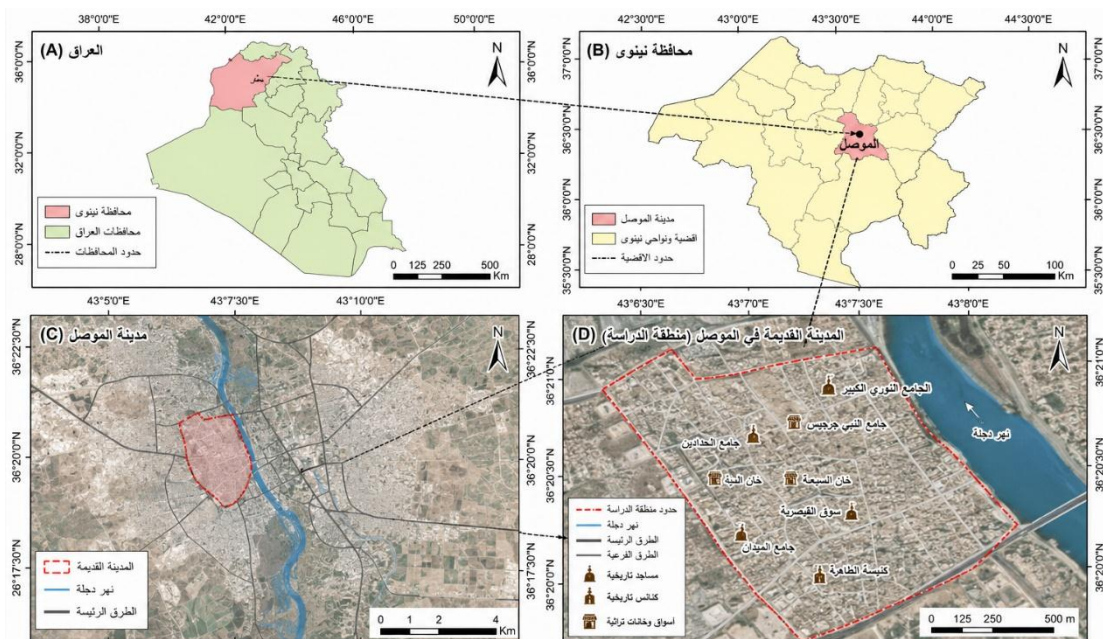
تقع منطقة الدراسة تقريباً بين دائرتي عرض $36^{\circ}22'$ - $36^{\circ}19'$ شمالاً وخطي طول $43^{\circ}06'$ - $43^{\circ}09'$ شرقاً، وتغطي مساحة تقدر بحوالي 3.5 كم²، وتمتد بمحاذاة الضفة الغربية لنهر دجلة الذي يمثل الحد الشرقي الطبيعي للمدينة القديمة، بينما تحدها من الجهات الشمالية والغربية والجنوبية الامتدادات العمرانية الحديثة لمدينة الموصل. وقد أدى هذا الموقع الجغرافي إلى نشوء علاقة وثيقة بين النسيج العمراني والخصائص الطبيعية، إذ لعب نهر دجلة دوراً رئيساً في توفير المياه وازدهار النشاط الاقتصادي والتجاري، وفي الوقت نفسه أثر بصورة مباشرة في العمليات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية التي تعرضت لها المدينة عبر الزمن. (UNESCO, 2023)

وتتميز منطقة الدراسة بوجود بيئة جيولوجية رسوبية معقدة تتكون من الحجر الجيري والجبس والمارل والرواسب النهرية الحديثة، وهي مواد تختلف في خصائصها الفيزيائية والميكانيكية وقابليتها للتجوية والتأثر بالرطوبة. وتوضح (Pijet-Migoń and Migoń (2022 أن الخصائص الجيولوجية تمثل أحد العوامل الأساسية التي تتحكم في استقرار المواقع التراثية واستدامتها، إذ تؤثر طبيعة الصخور والتكوينات الجيولوجية بصورة مباشرة في مقاومة الأساسات للتشقق والهبوط، كما تتحكم في حركة المياه الجوفية وعمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية التي تتعرض لها المباني التاريخية.

أما من الناحية الطبوغرافية، فتقع المدينة القديمة ضمن السهل الفيضي لنهر دجلة، وتتميز بانحدارات منخفضة نسبياً مع وجود اختلافات موضعية في الارتفاع تؤثر في اتجاهات الجريان السطحي وتجميع مياه الأمطار داخل النسيج العمراني التاريخي. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن هذه التباينات الطبوغرافية، على الرغم من محدوديتها، تؤثر في توزيع الرطوبة ومستويات المياه الجوفية، وهو ما ينعكس بصورة مباشرة على معدلات تدهور مواد البناء التقليدية، ولاسيما الحجر الجيري والجص والطابوق المستخدم في المباني التاريخية (UNESCO, 2023) ؛ Hussein et al., 2019).

ومن الجانب الهيدرولوجي، يمثل نهر دجلة العامل الطبيعي الأكثر تأثيراً في البيئة العمرانية للمدينة القديمة، إذ أسهم عبر آلاف السنين في تشكيل السهل الفيضي وإرساب الرواسب النهرية، كما أدى إلى تغيرات مستمرة في مستوى المياه الجوفية وفي خصائص التربة المحيطة بالمباني التاريخية. وقد أوضحت تقارير (UNESCO (2023 الخاصة ببرنامج *Revive the Spirit of Mosul* أن ارتفاع منسوب المياه الجوفية والرطوبة الناتجة عن قرب المدينة من النهر يعدان من أبرز التحديات التي تواجه جهود الحفاظ على التراث العمراني، خصوصاً في المباني التي تعرضت لأضرار إنشائية خلال السنوات الأخيرة.

ويُعد اختيار مدينة الموصل القديمة منطقة للدراسة مناسباً من الناحية العلمية لعدة أسباب؛ فهي لا تمثل فقط أحد أهم مواقع التراث الحضري في العراق، بل تُعد أيضاً مختبراً طبيعياً لدراسة العلاقة بين البيئة الجيولوجية والخصائص الهيدرولوجية والنسيج العمراني التاريخي. وعلى الرغم من أن العديد من الدراسات ركزت على إعادة إعمار المدينة وتوثيق معالمها التراثية، مثل دراسة (Hussein et al. 2019)، فإن الدراسات التي دمجت التحليل الجيولوجي والهيدرولوجي والطبوغرافي ضمن إطار مكاني موحد ما تزال محدودة. لذلك تعتمد الدراسة الحالية على إنشاء قاعدة بيانات مكانية متكاملة وربطها ببيانات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بهدف تحليل تأثير العوامل الطبيعية في توزيع المباني التراثية وتحديد المناطق الأكثر حساسية للمخاطر الطبيعية، بما يدعم وضع استراتيجيات علمية للحفاظ على التراث العمراني وتحقيق التنمية الحضرية المستدامة.



الشكل (٢). الموقع الجغرافي لمدينة الموصل القديمة ضمن محافظة نينوى والعراق.

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات منطقة الدراسة وخرائط مدينة الموصل القديمة.

يوضح الشكل (٢) التدرج المكاني لمنطقة الدراسة ابتداءً من الموقع العام للعراق، مروراً بمحافظة نينوى، ثم مدينة الموصل، وصولاً إلى حدود المدينة القديمة التي تمثل نطاق التحليل في هذه الدراسة. ويساعد هذا التسلسل المكاني في إبراز العلاقة بين الموقع الجغرافي للمدينة والخصائص

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة

في الجغرافيا الطبيعية

الطبيعية المحيطة بها، ولاسيما ارتباطها المباشر بنهر دجلة، وهو ما يبرر اختيارها لدراسة تأثير العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري.

جدول (٢). الخصائص الجغرافية لمنطقة الدراسة

المتغير	الوصف
منطقة الدراسة	المدينة القديمة في الموصل
الموقع	غرب مدينة الموصل، محافظة نينوى، العراق
الإحداثيات	$36^{\circ}22' - 36^{\circ}19'$ شمالاً، $43^{\circ}06' - 43^{\circ}09'$ شرقاً
المساحة	نحو 3.5 كم^2
الحد الشرقي	نهر دجلة
الحدود الأخرى	الامتدادات الحضرية الحديثة
البيئة الجيولوجية	الحجر الجيري، الجبس، المارل، والرواسب النهرية
البيئة الطبوغرافية	سهل فيضي منخفض الانحدار
أبرز عناصر التراث	المساجد، الكنائس، الأسواق، البيوت التراثية، الخانات، أجزاء من السور

يبين جدول (٢) الخصائص الجغرافية الأساسية لمنطقة الدراسة، والتي تمثل الإطار المرجعي الذي استندت إليه جميع مراحل التحليل المكاني في هذا البحث. ويساعد تحديد الموقع الجغرافي والحدود والإحداثيات والخصائص الطبيعية في بناء قاعدة بيانات مكانية دقيقة يمكن من خلالها ربط الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية بالعناصر المعمارية التراثية. كما يوفر هذا الوصف أساساً علمياً لتفسير الأنماط المكانية للمباني التاريخية وتحليل تأثير العوامل الطبيعية في استقرارها، وهو ما أوصت به دراسات (Pijet-Migoń and Migoń (2022) Hussein et al. (2019) عند دراسة مواقع التراث الثقافي ذات الحساسية البيئية.

٢.٤ البيانات المستخدمة:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة متكاملة من البيانات المكانية والوصفية والمرئية بهدف بناء قاعدة بيانات جغرافية (Geodatabase) شاملة تُمكن من تحليل العلاقة بين الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والخصائص العمرانية للمدينة القديمة في الموصل. وقد تم اختيار البيانات بحيث تغطي جميع المتغيرات المؤثرة في استقرار المباني التراثية، ابتداءً من الخصائص الطبيعية، مروراً بالخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية، وانتهاءً بالخصائص المعمارية



والعمرانية. وتم توحيد جميع البيانات ضمن نظام إحداثيات (WGS 84 (EPSG:4326)، ثم تحويلها إلى قاعدة بيانات مكانية داخل برنامج ArcGIS Pro 3.x لتسهيل عمليات التحليل المكاني والإحصائي.

اعتمدت الدراسة على مصادر بيانات متعددة لضمان شمولية التحليل ودقته، حيث تم استخدام الخرائط الجيولوجية الصادرة عن الهيئة العامة للمسح الجيولوجي العراقية (Iraqi Geological Survey) لتحديد الوحدات الصخرية والتكوينات الجيولوجية السائدة في منطقة الدراسة، بالإضافة إلى خرائط التراكيب الجيولوجية التي توضح الفوالق والفواصل والخصائص البنيوية المؤثرة في استقرار التربة والأساسات. وتُعد هذه البيانات الأساس في تفسير التباين المكاني في خصائص الصخور وقابليتها للتجوية والتشقق وتأثيرها في المباني التاريخية، كما أشارت إليه الدراسات المتعلقة بالتراث الجيولوجي والاستدامة العمرانية (Pijet-Migoń & Migoń, 2022).

ولتحليل الخصائص الطبوغرافية، تم استخدام نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model - DEM) بدقة مكانية تبلغ 30م، والمستخرج من بيانات SRTM، بهدف اشتقاق مجموعة من المتغيرات المورفومترية، مثل الارتفاع، والانحدار، واتجاه الانحدار، والانحناء، إضافة إلى مؤشرات التضرس الطبوغرافي. وتعد هذه المتغيرات من أهم العوامل المؤثرة في حركة الجريان السطحي وتوزيع الرطوبة، كما تُستخدم بصورة واسعة في دراسات تقييم المخاطر الطبيعية والتحليل الجيومورفولوجي (USGS, 2024).

أما البيانات الهيدرولوجية، فقد تضمنت شبكة التصريف المائي، ومجرى نهر دجلة، وأحواض التصريف، واتجاه الجريان، وتراكم الجريان، وكثافة التصريف، إضافة إلى بيانات تقريبية عن أعماق المياه الجوفية وسجل الفيضانات التاريخية. وقد استُخدمت هذه البيانات لتقييم تأثير العمليات الهيدرولوجية في توزيع المباني التراثية، ولاسيما تلك الواقعة بالقرب من ضفاف نهر دجلة، إذ تؤكد تقارير UNESCO (2022) أن ارتفاع الرطوبة والمياه الجوفية يمثل أحد أهم أسباب تدهور المباني التاريخية في المدينة القديمة.

كما اعتمدت الدراسة على بيانات الاستشعار عن بعد، والتي تضمنت صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 MSI بدقة مكانية 10م، وصور Landsat 8/9 OLI بدقة 30م، إضافة إلى المرئيات عالية الوضوح المتوفرة عبر Google Earth Pro. وقد استخدمت هذه البيانات في تحديث استخدامات الأرض، واستخراج الغطاء الأرضي، وتحديد حدود المدينة القديمة، ومراجعة مواقع المباني التراثية، فضلاً عن دعم عمليات التحقق البصري للنتائج. وتتميز صور

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

Sentinel-2 بقدرتها العالية على التمييز المكاني والطيفي، مما يجعلها مناسبة لدراسة البيئات الحضرية التاريخية. (European Space Agency, 2024) واعتمد البحث أيضاً على البيانات التاريخية والمعمارية التي شملت الخرائط العثمانية، والمخططات الحضرية القديمة، والصور الجوية التاريخية، والوثائق الخاصة بإعادة إعمار الموصل، بالإضافة إلى قواعد بيانات المباني التراثية المنشورة من قبل UNESCO والجهات المحلية. وقد أتاحت هذه البيانات دراسة التطور العمراني للمدينة القديمة وربط الخصائص الطبيعية بالتغيرات العمرانية التي شهدتها المنطقة خلال العقود الماضية (Hussein et al., 2019).

ولغرض التحليل المعماري، جُمعت بيانات المباني التراثية التي تضمنت مواقع المباني، ونوعها، ومواد البناء، وعدد الطوابق، والحالة الإنشائية، والاستخدام الحالي، وسنة الإنشاء التقريبية عند توفرها. وتم ربط هذه البيانات مكانياً داخل قاعدة البيانات الجغرافية بهدف تحليل العلاقة بين الخصائص الطبيعية وحالة المباني باستخدام أدوات التحليل المكاني والإحصائي. وأخيراً، جرى إنشاء قاعدة بيانات مكانية موحدة (Geodatabase) تضم جميع الطبقات السابقة، مع توحيد نظام الإحداثيات وإجراء عمليات الفحص الطبولوجي، وإزالة التكرار، وتصحيح الأخطاء الهندسية، لضمان جودة البيانات قبل البدء بعمليات التحليل المكاني والإحصائي. ويعد هذا التكامل بين البيانات الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية والعمرانية أحد أهم عناصر قوة الدراسة، إذ يوفر إطاراً علمياً يسمح بفهم التفاعل بين البيئة الطبيعية والتراث العمراني بصورة شاملة.

جدول (٣). البيانات المستخدمة في الدراسة

نوع البيانات	البيانات المستخدمة	المصدر	الدقة المكانية/المقياس	الاستخدام في الدراسة
الحدود الإدارية	العراق، محافظة نينوى، مدينة الموصل، المدينة القديمة	OpenStreetMap، الجهاز المركزي للإحصاء العراقي	1:50,000	تحديد منطقة الدراسة
الخرائط الجيولوجية	التكوينات الصخرية، الليثولوجيا، الفوالق، الفواصل	Iraqi Geological Survey	1:100,000	التحليل الجيولوجي
نموذج الارتفاع	الارتفاع، الانحدار	SRTM (USGS)	30م	التحليل الطبوغرافي

الرقمي (DEM)	اتجاه الانحدار، الانحناء			
شبكة التصريف	المجاري المائية، أحواض التصريف، اتجاه الجريان	مشتقة من DEM	30م	التحليل الهيدرولوجي
نهر دجلة	مجرى النهر وضفافه	OpenStreetMap	متجه (Vector)	تحليل القرب المكاني
المياه الجوفية	أعماق المياه الجوفية (إن توفرت)	وزارة الموارد المائية العراقية	نقاط قياس	تقييم تأثير الرطوبة
الفيضانات التاريخية	مناطق الفيضانات السابقة	UNESCO، وزارة الموارد المائية	خرائط موضوعية	تحليل المخاطر
Sentinel-2 MSI	صور متعددة الأطياف	ESA	10م	استخدامات الأرض والغطاء الأرضي
Landsat 8/9 OLI	صور فضائية	USGS	30م	تحليل التغيرات المكانية
Google Earth Pro	مرئيات عالية الدقة	Google	1م (بحسب الموقع)	التحقق البصري ورقمنة المعالم
الخرائط التاريخية	خرائط عثمانية وصور جوية قديمة	المكتبات الوطنية و UNESCO	متغير	دراسة التطور العمراني
المباني التراثية	مواقع، نوع المبنى، مواد البناء، الحالة الإنشائية	UNESCO، مديرية آثار نينوى	قاعدة بيانات نقطية	التحليل المعماري
شبكة الطرق	الطرق الرئيسية والفرعية	OpenStreetMap	متجه	تحليل إمكانية الوصول
قاعدة البيانات النهائية	جميع الطبقات السابقة	إعداد الباحث	Geodatabase	التحليل المكاني والإحصائي

يوضح جدول (٤) جميع البيانات التي اعتمدت عليها الدراسة، مع بيان مصادرها ودقتها المكانية والاستخدام العلمي لكل منها. ويظهر الجدول أن البحث اعتمد على دمج بيانات متنوعة تشمل الخرائط الجيولوجية، ونماذج الارتفاع الرقمية، وبيانات الاستشعار عن بعد، والبيانات الهيدرولوجية، والخرائط التاريخية، والبيانات المعمارية، ضمن قاعدة بيانات جغرافية موحدة. ويُعد هذا التكامل ضرورياً لإجراء التحليلات المكانية والإحصائية المتقدمة وتقييم تأثير العوامل الطبيعية في استدامة التراث العمراني، وهو منهج أوصت به العديد من الدراسات الحديثة في

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

مجال نظم المعلومات الجغرافية وحماية التراث الثقافي (Hussein et al., 2019 ؛ Pijet-Migoń & Migoń, 2022).

٣.٤ البرامج المستخدمة:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة من البرامج المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد، والتحليل الإحصائي، وإدارة البيانات المكانية، وذلك بهدف تنفيذ مراحل جمع البيانات ومعالجتها وتحليلها وإنتاج الخرائط والنتائج النهائية. وقد تم اختيار هذه البرامج لكونها تُعد من أكثر البرمجيات استخداماً في الدراسات الجغرافية والهندسية المنشورة في المجالات العلمية المصنفة ضمن قواعد بيانات Scopus، فضلاً عن قدرتها على التعامل مع البيانات المكانية متعددة المصادر ودمجها ضمن بيئة تحليلية واحدة.

كان برنامج ArcGIS Pro 3.x البرنامج الرئيس في الدراسة، حيث استخدم في إنشاء قاعدة البيانات الجغرافية (Geodatabase)، وإدارة الطبقات المكانية، وإجراء عمليات المعالجة المكانية (Geoprocessing)، وتحليل العلاقات المكانية بين المتغيرات الجيولوجية والهيدرولوجية والعمرانية. كما استُخدم في اشتقاق المتغيرات الطبوغرافية من نموذج الارتفاع الرقمي، مثل الارتفاع والانحدار واتجاه الانحدار والانحناء، إضافة إلى حساب المسافات، وتحليل الكثافة، وإجراء تحليلات القرب المكانية (Proximity Analysis)، وإنشاء الخرائط النهائية المستخدمة في عرض نتائج الدراسة. وتؤكد شركة Esri (2024) أن ArcGIS Pro يوفر بيئة متكاملة للتحليل المكاني المتقدم وإدارة البيانات الجغرافية عالية الدقة.

واستخدم برنامج QGIS 3.x بوصفه منصة مفتوحة المصدر لدعم بعض عمليات المعالجة المكانية والتحقق من نتائج التحليل، فضلاً عن الاستفادة من الأدوات الإضافية (Plugins) المتخصصة في معالجة البيانات الجغرافية. كما أتاح البرنامج إمكانية تبادل البيانات بين مختلف الصيغ الجغرافية وإجراء بعض العمليات المكانية بكفاءة عالية، الأمر الذي جعله مكملاً لبيئة العمل الرئيسة. (QGIS Development Team, 2024)

ولمعالجة بيانات الاستشعار عن بعد، استُخدم برنامج ENVI 5.x لإجراء عمليات التصحيح الإشعاعي والهندسي، وتحسين جودة المرئيات الفضائية، واستخراج بعض المؤشرات الطيفية، إضافة إلى تصنيف استخدامات الأرض والغطاء الأرضي بالاعتماد على صور Sentinel-2 و Landsat 8/9. ويُعد ENVI من أكثر البرامج استخداماً في تحليل بيانات الأقمار الصناعية لما يوفره من أدوات متقدمة لمعالجة الصور الرقمية (NV5 Geospatial, 2024).

كما استُخدم برنامج Google Earth Pro في مراجعة المواقع الجغرافية، والتحقق البصري من حدود المدينة القديمة، ورقمنة بعض المعالم العمرانية، فضلاً عن مقارنة الصور الفضائية الحديثة مع الخرائط التاريخية لتحديد التغيرات المكانية في منطقة الدراسة. وقد ساعدت المرئيات عالية الدقة المتاحة عبر البرنامج في تحسين دقة تفسير المعالم الحضرية وربطها بقاعدة البيانات الجغرافية.

ولتنظيم البيانات الوصفية وإجراء عمليات التنسيق الأولية، استُخدم برنامج Microsoft Excel 2021 في إدخال البيانات، وتنظيم الجداول، وإجراء عمليات التدقيق الأولي، وتحويل البيانات إلى صيغ متوافقة مع برامج نظم المعلومات الجغرافية، قبل استيرادها إلى قاعدة البيانات الجغرافية.

أما التحليل الإحصائي فقد أُجري باستخدام برنامج IBM SPSS Statistics 29، والذي استُخدم لحساب الإحصاءات الوصفية، واختبارات الارتباط (Pearson Correlation)، وتحليل الانحدار (Regression)

(Analysis)، واختبار معنوية العلاقات بين المتغيرات الجيولوجية والهيدرولوجية والعمرانية. وقد ساعدت هذه التحليلات في تفسير نتائج الدراسة والتحقق من قوة العلاقات الإحصائية بين المتغيرات المدروسة (IBM، 2023).

واعتمدت الدراسة أيضاً على لغة البرمجة Python داخل بيئة ArcGIS Pro لتنفيذ بعض العمليات الآلية (Automation)، مثل معالجة البيانات المكانية، وتحويل الإحداثيات، وحساب المؤشرات المكانية، وإنتاج الخرائط بصورة متكررة، مما ساهم في تقليل الزمن اللازم لإنجاز العمليات وزيادة دقة النتائج. وقد تم دمج جميع البرامج السابقة ضمن منهجية عمل متكاملة تبدأ بجمع البيانات، ثم معالجتها، يليها بناء قاعدة البيانات الجغرافية، وإجراء التحليلات المكانية والإحصائية، وانتهاءً بإنتاج الخرائط والأشكال والجدول العلمية المستخدمة في عرض نتائج الدراسة. ويسهم هذا التكامل بين البرامج المختلفة في تعزيز موثوقية النتائج وتحسين جودة التحليل، وهو ما يتوافق مع المنهجيات الحديثة في أبحاث نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد الموجهة للنشر في المجالات العلمية العالمية.

جدول (٥). البرامج المستخدمة في الدراسة

البرنامج	الإصدار	الاستخدام الرئيس	المخرجات
ArcGIS Pro	3.x	إنشاء قاعدة البيانات الجغرافية، التحليل المكاني، التحليل الهيدرولوجي، إنتاج الخرائط	خرائط، طبقات GIS، مؤشرات مكانية
QGIS	3.x	معالجة البيانات المكانية، التحقق من النتائج، تشغيل الإضافات	طبقات GIS وخرائط
ENVI	5.x	معالجة صور الأقمار الصناعية، التصنيف، تحسين الصور	خرائط الغطاء الأرضي والمؤشرات الطيفية
Google Earth Pro	7.x	التحقق البصري، رقمنة المعالم، مراجعة المواقع	صور مرجعية وطبقات رقمية
Microsoft Excel	2021	تنظيم البيانات والجدول، التدقيق الأولي	جداول وقواعد بيانات
IBM SPSS Statistics	29	التحليل الإحصائي واختبارات الارتباط والانحدار	جداول ورسوم إحصائية
Python (ArcPy)	Python 3.x	أتمتة العمليات الجغرافية، معالجة البيانات، حساب المؤشرات	Scripts وطبقات GIS

يوضح جدول (٥) البرامج التي استُخدمت في مختلف مراحل الدراسة، بدءاً من جمع البيانات وتنظيمها، مروراً بمعالجة البيانات المكانية والاستشعار عن بعد، وانتهاءً بالتحليل الإحصائي وإنتاج الخرائط النهائية. وقد اعتمدت الدراسة على التكامل بين برامج نظم المعلومات الجغرافية وبرامج معالجة الصور الفضائية والتحليل الإحصائي، بما يضمن تنفيذ جميع مراحل البحث وفق منهجية علمية موحدة. ويعد هذا النهج من أكثر الأساليب شيوعاً في

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة

في الجغرافيا الطبيعية

الدراسات الحديثة المتعلقة بتحليل البيانات الحضرية والتراث الثقافي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، كما أوصت به الأدبيات العلمية الحديثة (Esri, 2024 ؛ QGIS Development Team, 2024).

٤.٤ خطوات التحليل المكاني والإحصائي

اعتمدت الدراسة منهجاً تكاملياً يجمع بين نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بُعد، والتحليل متعدد المعايير، والأساليب الإحصائية والمكانية، بهدف تقييم أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية في حالة المباني التراثية وتوزيعها داخل المدينة القديمة في الموصل. ويتوافق هذا التوجه مع الدراسات التي أكدت أهمية دمج بيانات الأخطار الطبيعية مع الخصائص المادية والقيمة الثقافية للمباني عند تقييم هشاشة التراث العمراني، بدلاً من الاعتماد على عامل منفرد في تحديد مستوى الخطر أو أولوية التدخل (Fatorić & Seekamp, 2017; Arrighi et al., 2023; Ginzarly et al., 2024).

وقد نُفذت مراحل التحليل بصورة متسلسلة، بدءاً من إعداد البيانات والتحقق من دقتها، ثم إجراء التحليلات الجيولوجية والطبوغرافية والهيدرولوجية والعمرانية، يليها توحيد قيم العوامل وتحديد أوزانها، وانتهاءً ببناء مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية للتراث، والتحقق من دقته، وتحديد أولويات الحفاظ والترميم.

١.٤.٤ إعداد البيانات والمعالجة المسبقة

بدأت عملية التحليل بجمع البيانات الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية والعمرانية وبيانات الاستشعار عن بُعد، ثم تنظيمها داخل قاعدة بيانات جغرافية موحدة. وقد أكدت دراسات تقييم المخاطر التراثية أن بناء قاعدة بيانات مكانية متكاملة يمثل خطوة أساسية لربط الخصائص البيئية بمواقع المباني وقيمتها التاريخية وحالتها الإنشائية (Arrighi et al., 2023; Ginzarly et al., 2024).

استُخدم نظام الإحداثيات الجغرافي (EPSG:4326) WGS 84 لعرض الخرائط العامة، في حين حُولت الطبقات المستخدمة في قياس المسافات والمساحات والكثافات إلى نظام WGS 84 / UTM Zone 38N (EPSG:32638)، لضمان إجراء العمليات المترية ضمن نظام إسقاط موحد.

شملت المعالجة المسبقة الإسناد الجغرافي للخرائط التاريخية والجيولوجية، وقص الطبقات وفق حدود منطقة الدراسة، وتصحيح الأخطاء الهندسية والطوبولوجية، وإزالة السجلات المكررة، ومعالجة الفراغات في نموذج الارتفاع الرقمي، وتوحيد الدقة المكانية وحجم الخلية.

وُقِّمت دقة الإسناد الجغرافي باستخدام الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ:

$$RMSE = \sqrt{[\sum((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2) / n]} \quad (1)$$

وتشير القيم المنخفضة للمؤشر إلى ارتفاع درجة التطابق بين نقاط الضبط في الخريطة والإحداثيات المرجعية، لذلك تم اعتماد الخرائط التي حققت أقل خطأ مكاني ممكن.

جدول (٦). عمليات المعالجة المسبقة للبيانات

العملية	البيانات المدخلة	الأداة المستخدمة	النتائج
توحيد نظام الإحداثيات	جميع الطبقات	Project	طبقات بنظام UTM 38N

الإسناد الجغرافي	الخرائط التاريخية والجيولوجية	Georeferencing	خرائط مسندة مكانياً
قص البيانات	جميع الطبقات المكانية	Clip / Extract by Mask	بيانات ضمن منطقة الدراسة
إصلاح الأخطاء	الطرق والمباني والحدود	Repair Geometry	طبقات هندسية سليمة
إزالة التكرار	المباني والمعالم	Delete Identical	بيانات منقحة
معالجة نموذج الارتفاع	DEM	Fill	نموذج ارتفاع مصحح
توحيد حجم الخلية	الطبقات النقطية	Resample	طبقات متوافقة مكانياً
الفحص الطبولوجي	المباني والطرق والحدود	Topology Rules	طبقات خالية من الأخطاء

4.4.2 التحليل الجيولوجي

استُخدمت الخرائط الجيولوجية في تحديد التكوينات الصخرية والرواسب السطحية والليثولوجيا والفوالق والتراكيب البنوية داخل منطقة الدراسة، ثم رُبطت هذه البيانات بمواقع المباني التراثية باستخدام التحليل بالتقاطع المكاني. استند هذا الإجراء إلى أن الخصائص الجيولوجية للتربة والصخور تؤثر في قدرة الأساسات على التحمل وفي احتمالية الهبوط والتشقق وتسرب المياه. كما أن التكوينات الجبسية والمارلية والرواسب النهرية غير المتماسكة تكون أكثر تأثراً بالمياه والتجوية من الوحدات الصخرية المتماسكة. وقد بينت دراسات تقييم هشاشة التراث أن طبيعة التكوينات الأرضية ومستوى التشعب المائي من المتغيرات المهمة في تفسير التدهور الإنشائي للمباني التاريخية. (Fatorić & Seekamp, 2017; Ginzarly et al., 2024)

حُسبت المسافة بين كل مبنى تراثي وأقرب فالق أو تركيب جيولوجي باستخدام المسافة الإقليدية:

$$D_i = \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]} \quad (2)$$

ثم أعيد تصنيف المسافات إلى خمس فئات، بحيث مُنحت المباني الأقرب إلى مناطق الضعف الجيولوجي درجات حساسية أعلى، مع مراعاة أن الحدود النهائية للفئات يجب أن تستند إلى المقياس الفعلي للخريطة الجيولوجية والخصائص المحلية لمنطقة الدراسة.

جدول (٧). تصنيف الحساسية الجيولوجية

العامل الجيولوجي	الفئة	درجة الحساسية
الرواسب النهرية الحديثة غير المتماسكة	مرتفعة جداً	5
التكوينات الجبسية أو المارلية	مرتفعة	4
الصخور الجيرية المتجوية	متوسطة	3
الصخور الجيرية المتماسكة	منخفضة	2
الوحدات الصخرية المستقرة	منخفضة جداً	1
أقل من ٢٥٠ م من الفوالق	مرتفعة جداً	5
250-500 م	مرتفعة	4
500-750 م	متوسطة	3

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

2	منخفضة	750-1000م
1	منخفضة جداً	أكثر من ١٠٠٠ م

٣.٤.٤ التحليل الطبوغرافي

استُخدم نموذج الارتفاع الرقمي لاشتقاق الارتفاع والانحدار واتجاه الانحدار والانحناء الطبوغرافي. وتُعد هذه المتغيرات ضرورية لفهم حركة المياه فوق السطح وتحديد المناطق المنخفضة أو المقعرة التي يمكن أن تتجمع فيها مياه الأمطار والرطوبة.

وقد بينت الدراسات الهيدرولوجية أن شكل السطح والانحدار ومساحة الجريان المساهمة تتحكم في التوزيع المكاني للرطوبة وفي حركة المياه من المناطق المرتفعة نحو المناطق المنخفضة، لذلك تُستخدم مشتقات نموذج الارتفاع الرقمي على نطاق واسع في تقييم قابلية تجمع المياه (Beven & Kirkby, 1979; Sørensen et al., 2006).

حُسب الانحدار الزاوي وفق المعادلة:

$$S = \tan^{-1} \sqrt{(\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \quad (3)$$

كما حُسب الانحدار النسبي:

$$\text{Slope (\%)} = (\Delta H / L) \times 100 \quad (4)$$

واستُخدمت خريطة اتجاه الانحدار لتحديد اتجاهات انتقال المياه، بينما ساعد الانحناء الطبوغرافي في التمييز بين الأسطح المقعرة التي تساعد على تجمع المياه والأسطح المحدبة التي تعزز تشتتها.

جدول (٨). تصنيف الانحدار والحساسية

الانحدار	الوصف	التأثير المحتمل	درجة الحساسية
أقل من ٢°	شبه مستو	تجمع المياه وضعف التصريف	4
2-5°	خفيف	جريان سطحي بطيء	3
5-10°	متوسط	تصريف متوسط	2
10-15°	مرتفع	زيادة سرعة الجريان	4
أكثر من ١٥°	شديد	تعرية وعدم استقرار موضعي	5

ويعكس هذا التصنيف أن العلاقة بين الانحدار والحساسية ليست خطية دائماً؛ فالمناطق شديدة الاستواء قد تكون عرضة لتجمع المياه، في حين قد تتعرض المناطق شديدة الانحدار لزيادة سرعة الجريان والتعرية.

٤.٤.٤ التحليل الهيدرولوجي

اعتمد التحليل الهيدرولوجي على نموذج الارتفاع الرقمي ومجرى نهر دجلة وبيانات شبكات التصريف والمياه الجوفية. وقد استُخدمت إجراءات مشابهة في دراسات تقييم مخاطر الفيضانات على المواقع التراثية، التي دمجت الارتفاع والانحدار والقرب من المجاري المائية وتراكم الجريان لتحديد تفاوت مستويات التعرض المكاني (Arrighi et al., 2023; Kim et al., 2024).



بدأ التحليل بمعالجة المنخفضات غير الحقيقية في نموذج الارتفاع، ثم اشتقت خرائط اتجاه الجريان وتراكم الجريان وشبكة التصريف وكثافتها ومؤشر الرطوبة الطبوغرافي.

أ. اتجاه الجريان وتراكمه

استُخدم نموذج الاتجاهات الثمانية $D8$ لتحديد اتجاه انتقال المياه من كل خلية نحو الخلية المجاورة ذات الانخفاض الأكبر. ثم حُسب تراكم الجريان:

$$FA_i = \sum C \quad (5)$$

وتشير القيم المرتفعة إلى الخلايا التي تستقبل جرياناً من مساحة مساهمة أكبر، ولذلك تمثل مواقع محتملة لتركز المياه أو تشكل المجاري السطحية.

ب. كثافة التصريف

حُسبت كثافة شبكة التصريف بالمعادلة:

$$D_d = \sum L / A \quad (6)$$

وتمثل القيم المرتفعة مناطق ذات شبكة تصريف أكثر كثافة، وهو ما قد يزيد من احتمالية تأثر المباني القريبة بحركة المياه، ولا سيما عند ضعف شبكات الصرف الحضري.

ج. المسافة من نهر دجلة

حُسبت المسافة بين كل مبنى تراثي ومجرى نهر دجلة باستخدام Euclidean Distance. وقد عُد القرب من النهر عاملاً مؤثراً بسبب ارتباطه باحتمال ارتفاع المياه الجوفية والرطوبة والفيضانات. ويتفق ذلك مع دراسة Kim et al. (2024) التي أثبتت أهمية الخصائص الموقعية والقرب من مصادر الفيضان عند تقييم مخاطر المواقع التراثية الحضرية.

د. مؤشر الرطوبة الطبوغرافي

حُسب مؤشر الرطوبة الطبوغرافي:

$$TWI = \ln(A / \tan \beta) \quad (7)$$

وقد طور Beven and Kirkby (1979) هذا المؤشر لتمثيل العلاقة بين مساحة الجريان المساهمة والانحدار المحلي. وأكدت دراسات لاحقة أن طريقة حساب مساحة الجريان ودقة نموذج الارتفاع تؤثران في قيم المؤشر وقدرته على تمثيل الرطوبة الفعلية. (Sørensen et al., 2006; Kopecký et al., 2021)

هـ. مؤشر قابلية الفيضان

دُمجت عوامل الارتفاع والانحدار والمسافة من نهر دجلة وتراكم الجريان وكثافة التصريف ومؤشر الرطوبة في مؤشر قابلية الفيضان:

$$FSI = \sum (w_i \times r_i) \quad (8)$$

وقد استخدمت الدراسات الحديثة المتعلقة بالتراث أساليب المؤشرات المركبة داخل نظم المعلومات الجغرافية لتحديد مناطق تركيز الضرر المحتمل وتصنيفها إلى مستويات خطر متدرجة (Arrighi et al., 2023; Ginzarly et al., 2024).

جدول (٩). عناصر التحليل الهيدرولوجي

العامل	طريقة الاستخراج	الغرض
اتجاه الجريان	Flow Direction	تحديد مسارات حركة المياه

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

تراكم الجريان	Flow Accumulation	تحديد مناطق التجمع المحتملة
كثافة التصريف	$\Sigma L / A$	قياس كثافة المجاري
المسافة من النهر	Euclidean Distance	تقدير تأثير نهر دجلة
الرطوبة الطبوغرافية	TWI	تحديد مناطق تراكم الرطوبة
المياه الجوفية	Kriging أو IDW	تمثيل العمق مكانياً
قابلية الفيضان	Weighted Overlay	إنتاج خريطة القابلية

٥.٤.٤ تحليل المياه الجوفية

عند توفر قياسات الآبار، تم تحويل القيم النقطية لأعماق المياه الجوفية إلى سطح مكاني مستمر باستخدام طريقة الوزن العكسي للمسافة DW. وتستند هذه الطريقة إلى افتراض أن القيم القريبة مكانياً تكون أكثر تشابهاً من القيم البعيدة، ولذلك تمنح النقاط القريبة وزناً أكبر في تقدير القيمة غير المعروفة. وترجع الصياغة الأساسية لهذه الطريقة إلى (Shepard 1968).

$$\hat{Z}(x_0) = [\Sigma(Z_i / d_i^p)] / [\Sigma(1 / d_i^p)] \quad (9)$$

ولم تُعتمد نتائج الاستيفاء بصورة مباشرة، بل جرى تقييمها باستخدام التحقق المتقاطع، ومتوسط الخطأ المطلق:

$$MAE = \Sigma |O_i - P_i| / n \quad (10)$$

والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ:

$$RMSE = \sqrt{[\Sigma(O_i - P_i)^2 / n]} \quad (11)$$

واختيرت طريقة الاستيفاء أو قيمة معامل القوة التي حققت أقل قيم ممكنة من MAE و RMSE.

٦.٤.٤ تحليل بيانات الاستشعار عن بُعد

استُخدمت صور Sentinel-2 و Landsat 8/9 في تحديث الغطاء الأرضي وتحديد المناطق النباتية والمائية والمبنية داخل منطقة الدراسة. وخضعت الصور للتصحيح الهندسي والإشعاعي وإزالة الغيوم وقصها وفق حدود المدينة القديمة.

استُخدم مؤشر الغطاء النباتي المعياري NDVI الذي قدمه Rouse et al. (1973) لتحديد كثافة الغطاء النباتي:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (12)$$

ويُعد هذا المؤشر من أكثر المؤشرات الطيفية استخداماً في قياس اخضرار الغطاء النباتي وكثافته.

كما حُسب مؤشر المياه المعياري NDWI المقترح من McFeeters (1996) لتعزيز استجابة المسطحات المائية والأسطح الرطبة:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (13)$$

واستُخدم مؤشر المناطق المبنية NDBI الذي قدمه Zha et al. (2003) في دعم استخراج الكتل العمرانية:

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR) \quad (14)$$

وقد استُخدمت هذه المؤشرات مجتمعة في دراسات تصنيف الغطاء الأرضي باستخدام صور Landsat و Sentinel-2 للتمييز بين المياه والنباتات والأسطح المبنية.

وُقِّمت دقة التصنيف باستخدام الدقة الكلية:

$$OA = (\Sigma n_{ii} / N) \times 100 \quad (15)$$

ومعامل كابتا:

$$\kappa = [N \Sigma n_{ii} - \Sigma (n_{i+} n_{+i})] / [N^2 - \Sigma (n_{i+} n_{+i})] \quad (16)$$

٧.٤.٤ التحليل العمراني والمعماري

شمل التحليل العمراني دراسة توزيع المباني التراثية، وكثافتها، وعلاقتها بشبكة الطرق والأزقة والأسواق والمعالم الدينية. كما رُبط كل مبنى بخصائصه الوصفية، ومنها مادة البناء، والعمر التقريبي، وعدد الطوابق، والاستخدام الحالي، والقيمة التراثية، والحالة الإنشائية.

ويتفق هذا الأسلوب مع منهجية المشهد الحضري التاريخي التي تنظر إلى التراث بوصفه نظاماً مكانياً متعدد الطبقات، يشمل المباني والفراغات والشوارع والوظائف والعلاقات الاجتماعية والبيئية، وليس مجموعة منشآت منفصلة فقط. (Ginzarly et al., 2024)

حُسبت كثافة المباني التراثية:

$$BD = N_b / A \quad (17)$$

وحُسبت كثافة الطرق:

$$RD = \Sigma L_r / A \quad (18)$$

كما استُخدم تحليل كثافة النواة لتحديد مناطق التركيز المكاني للمباني التراثية:

$$f(x, y) = [1 / (nh^2)] \Sigma K(d_i / h) \quad (19)$$

وساعدت النتائج في تحديد الأحياء التي تجمع بين كثافة تراثية مرتفعة وحساسية بيئية عالية، وهي مناطق يُحتمل أن تتطلب أولوية أكبر في الحماية.

جدول (١٠). متغيرات التحليل العمراني والمعماري

المتغير	وحدة القياس أو التصنيف	الغرض التحليلي
كثافة المباني التراثية	مبنى/كم ²	تحديد مناطق التركيز التراثي
المسافة إلى الطرق	متر	تقييم سهولة الوصول
عرض الأزقة	متر	تقييم الحركة والاستجابة الطارئة
مواد البناء	فئات	تقدير القابلية للتدهور
عدد الطوابق	عدد	تحليل الخصائص الرأسية
عمر المبنى	سنة أو فئة زمنية	تقدير الهشاشة
الحالة الإنشائية	فئات	تحديد أولوية التدخل
المسافة إلى الأسواق	متر	تحليل التنظيم الوظيفي
المسافة إلى المعالم الدينية	متر	تفسير البنية التاريخية

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

نمط الشوارع	فئات	تحليل الشكل الحضري
-------------	------	--------------------

٨.٤.٤ توحيد قيم العوامل

نظراً إلى اختلاف وحدات قياس المتغيرات، حُولت جميع العوامل إلى مقياس معياري يتراوح بين صفر وواحد قبل دمجها. ويُعد توحيد المعايير خطوة أساسية في التحليل متعدد المعايير؛ لأنه يمنع هيمنة المتغيرات ذات القيم العددية الكبيرة على النتيجة المركبة. (Malczewski, 2000, 2006)

بالنسبة إلى العوامل التي تزداد حساسيتها بزيادة قيمتها:

$$X'_i = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (20)$$

أما العوامل التي تتخفف حساسيتها بزيادة قيمتها، مثل المسافة عن النهر:

$$X'_i = (X_{max} - X_i) / (X_{max} - X_{min}) \quad (21)$$

ثم أُعيد تصنيف القيم إلى خمس فئات: منخفضة جداً، ومنخفضة، ومتوسطة، ومرتفعة، ومرتفعة جداً.

٩.٤.٤ تحديد أوزان العوامل

استُخدمت عملية التحليل الهرمي AHP التي طورها Saaty لتحديد الأهمية النسبية للعوامل من خلال المقارنات الزوجية. وتُعد هذه الطريقة من أكثر أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير استخداماً عندما تتداخل المتغيرات الكمية مع أحكام الخبراء. (Saaty, 1980, 1987)

حُسب الوزن النسبي لكل عامل:

$$w_i = (1/n) \Sigma[a_{ij} / \Sigma a_{ij}] \quad (22)$$

ثم اختُبر اتساق مصفوفة المقارنات:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (23)$$

$$CR = CI / RI \quad (24)$$

وُقِّلت المصفوفة عندما كانت:

$$CR < 0.10$$

وهو الحد الإرشادي الذي اقترحه Saaty للمقارنات ذات الاتساق المقبول، مع ضرورة إعادة مراجعة الأحكام في حال تجاوزه.

جدول (١١). الأوزان الأولية المقترحة للعوامل

الوزن	الرمز	العامل
0.18	G	التكوين الجيولوجي
0.17	GW	عمق المياه الجوفية
0.14	DR	المسافة من نهر دجلة
0.15	F	قابلية الفيضان
0.10	TWI	مؤشر الرطوبة
0.07	S	الانحدار
0.07	FA	تراكم الجريان
0.06	BM	مادة البناء

0.06	BC	الحالة الإنشائية
1.00	—	المجموع

تمثل هذه الأوزان نموذجاً أولياً، ولا تُعتمد نهائياً إلا بعد تنفيذ المقارنات الزوجية واستشارة الخبراء والتحقق من نسبة الاتساق.

١٠.٤.٤ بناء مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية

دُمجت الطبقات المعيارية باستخدام طريقة المجموع الخطي الموزون Weighted Linear Combination لإنتاج مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية للتراث GHHSI. وقد أوضح (2000) Malczewski أن المجموع الخطي الموزون من أكثر قواعد القرار استخداماً في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج الخرائط المركبة، إذ يجمع الدرجات المعيارية بعد ضرب كل معيار في وزنه النسبي.

$$GHHSI = \sum (w_i \times X'_i) \quad (25)$$

وبصورة تطبيقية:

$$GHHSI = w_{GG} + w_{GWGW} + w_{DRDR} + w_{FF} + w_{TWITWI} + w_{SS} + w_{FAFA} + w_{BMBM} + w_{BCBC} \quad (26)$$

ونتراوح قيمة المؤشر بين صفر وواحد، إذ تشير القيم المرتفعة إلى زيادة الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية للمباني التراثية.

ويتوافق بناء هذا المؤشر مع دراسات حديثة دمجت التعرض للخطر مع هشاشة العنصر التراثي وقيمته الثقافية لإنتاج مؤشرات مكانية تساعد في تحديد بؤر الضرر وألويات الحماية (Arrighi et al., 2023; Ginzarly et al., 2024).

جدول (١٢). تصنيف مؤشر الحساسية

قيمة المؤشر	مستوى الحساسية	الإجراء المقترح
0.00–0.20	منخفضة جداً	مراقبة دورية
0.21–0.40	منخفضة	صيانة اعتيادية
0.41–0.60	متوسطة	إجراءات وقائية
0.61–0.80	مرتفعة	تدخل ترميمي
0.81–1.00	مرتفعة جداً	تدخل عاجل

١١.٤.٤ التحليل الإحصائي

استُخدمت الإحصاءات الوصفية لتلخيص خصائص المباني والمتغيرات البيئية، وشملت المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والقيم الدنيا والعليا والتكرارات والنسب المئوية.

$$X = \sum X_i / n \quad (27)$$

$$SD = \sqrt{[\sum (X_i - X)^2 / (n - 1)]} \quad (28)$$

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

كما استخدم معامل ارتباط بيرسون لقياس قوة العلاقة الخطية بين المتغيرات الكمية، مثل عمق المياه الجوفية أو مؤشر الرطوبة ودرجة الضرر:

$$r = \frac{\sum[(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{[\sum(X_i - \bar{X})^2 \times \sum(Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (29)$$

أما المتغيرات الرتبوية، مثل فئات الحالة الإنشائية ومستويات الحساسية، فقد حُللت باستخدام معامل ارتباط سبيرمان.

واستخدم الانحدار الخطي المتعدد لتقدير التأثير النسبي للعوامل الطبيعية والعمرانية في حالة المباني:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (30)$$

واعتُبرت النتائج ذات دلالة إحصائية عندما:

$$p < 0.05$$

كما فُحص تعدد الارتباط الخطي باستخدام:

$$VIF_i = 1 / (1 - R_i^2) \quad (31)$$

جدول (١٣). الاختبارات الإحصائية المستخدمة

الاختبار	الاستخدام	مقياس التفسير
الإحصاءات الوصفية	تلخيص البيانات	المتوسط والانحراف والتكرار
ارتباط بيرسون	المتغيرات الكمية	p و r
ارتباط سبيرمان	المتغيرات الرتبوية	p و ρ
الانحدار المتعدد	تفسير حالة المباني	p و β و R^2
تحليل التباين	مقارنة المجموعات	p و F
كاي تربيع	المتغيرات الفئوية	p و χ^2
معامل تضخم التباين	فحص التداخل الخطي	VIF

١٢.٤.٤ التحليل الإحصائي المكاني

استخدم معامل Moran's I لتحديد ما إذا كانت قيم الضرر أو الحساسية تتوزع بصورة متجمعة أو عشوائية أو منتشرة. ويمثل هذا المعامل مقياساً عاماً للارتباط الذاتي المكاني، إذ تقترن القيم الموجبة المعنوية بتجمع القيم المتشابهة مكانياً.

$$I = [n / \sum \sum w_{ij}] \times [\sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / \sum (x_i - \bar{x})^2] \quad (32)$$

بعد ذلك استخدم إحصاء Getis-Ord G_i^* لتحديد البؤر الساخنة التي تتجمع فيها القيم المرتفعة بصورة ذات دلالة إحصائية، والبؤر الباردة التي تتجمع فيها القيم المنخفضة. ويعتمد تفسير النتائج على قيم Z ومستويات الدلالة الإحصائية، وليس على ارتفاع قيمة المبنى منفرداً فقط.

$$G_i^* = [\sum \sum w_{ij} x_j - X \sum w_{ij}] / [S \sqrt{\{[n \sum w_{ij}^2 - (\sum w_{ij})^2] / (n - 1)\}}] \quad (33)$$

واستخدم الانحدار الموزون جغرافياً GWR عندما أظهرت النتائج أن العلاقات بين المتغيرات تختلف مكانياً:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i \quad (34)$$

وقد طور (McMillen 2004) هذا النهج لتحليل العلاقات التي تتغير شدتها واتجاهها من موقع إلى آخر، بدلاً من افتراض ثباتها في كامل منطقة الدراسة.

١٣.٤.٤ التحقق من مؤشر الحساسية

جرى التحقق من المؤشر من خلال مقارنة فئات الحساسية المكانية مع مواقع المباني التي أظهرت بياناتها الميدانية مستويات مرتفعة من الرطوبة أو التشققات أو الضرر الإنشائي. حُسبت الدقة العامة:

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (35)$$

والحساسية:

$$Sensitivity = TP / (TP + FN) \quad (36)$$

والنوعية:

$$Specificity = TN / (TN + FP) \quad (37)$$

وتتوافق هذه الخطوة مع الاتجاهات الحديثة في تقييم أخطار التراث التي تشدد على ضرورة اختبار المؤشرات المركبة مقابل سجلات الضرر أو المشاهدات الميدانية، بدلاً من الاعتماد على الخريطة الناتجة دون تحقق مستقل (Arrighi et al., 2023; Ginzarly et al., 2024).

كما أُجري تحليل حساسية للأوزان، من خلال تعديل وزن كل عامل ضمن نطاق محدد ومراقبة تغير فئات الخريطة النهائية، وذلك للتأكد من أن النتيجة لا تعتمد بصورة مفرطة على معيار واحد.

١٤.٤.٤ تحديد أولويات الحفاظ والترميم

في المرحلة النهائية، دُمج مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية مع القيمة التراثية والحالة الإنشائية للمباني لإنتاج مؤشر أولوية الحفاظ. CPI.

ويتفق هذا الإجراء مع دراسة (Arrighi et al. (2023 التي طورت مؤشراً مكانياً لأضرار الفيضانات في التراث الثقافي، ودمجت مستوى التعرض مع قيمة الأصل التراثي لتحديد بؤر الضرر ذات الأولوية. كما أكدت دراسة (Ginzarly et al. (2024 أن تقييم هشاشة التراث يجب أن يكون متعدد الأبعاد، بحيث يشمل التعرض الطبيعي، والهشاشة المادية، والقيمة الثقافية والاجتماعية للموقع.

حُسب مؤشر أولوية الحفاظ بالمعادلة:

$$CPI = w_1GHHSI + w_2HV + w_3DC \quad (38)$$

حيث تمثل القيم المرتفعة المباني التي تجمع بين حساسية طبيعية مرتفعة، وقيمة تراثية كبيرة، وحالة إنشائية متدهورة.

جدول (١٤). مصفوفة أولويات الحفاظ

أولوية التدخل	القيمة التراثية	الحالة الإنشائية	الحساسية الطبيعية
عاجلة جداً	مرتفعة	متضررة بشدة	مرتفعة جداً
عاجلة	مرتفعة	متضررة	مرتفعة
عالية	مرتفعة	متوسطة	مرتفعة
عالية	مرتفعة	متضررة	متوسطة
متوسطة	متوسطة	متوسطة	متوسطة

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

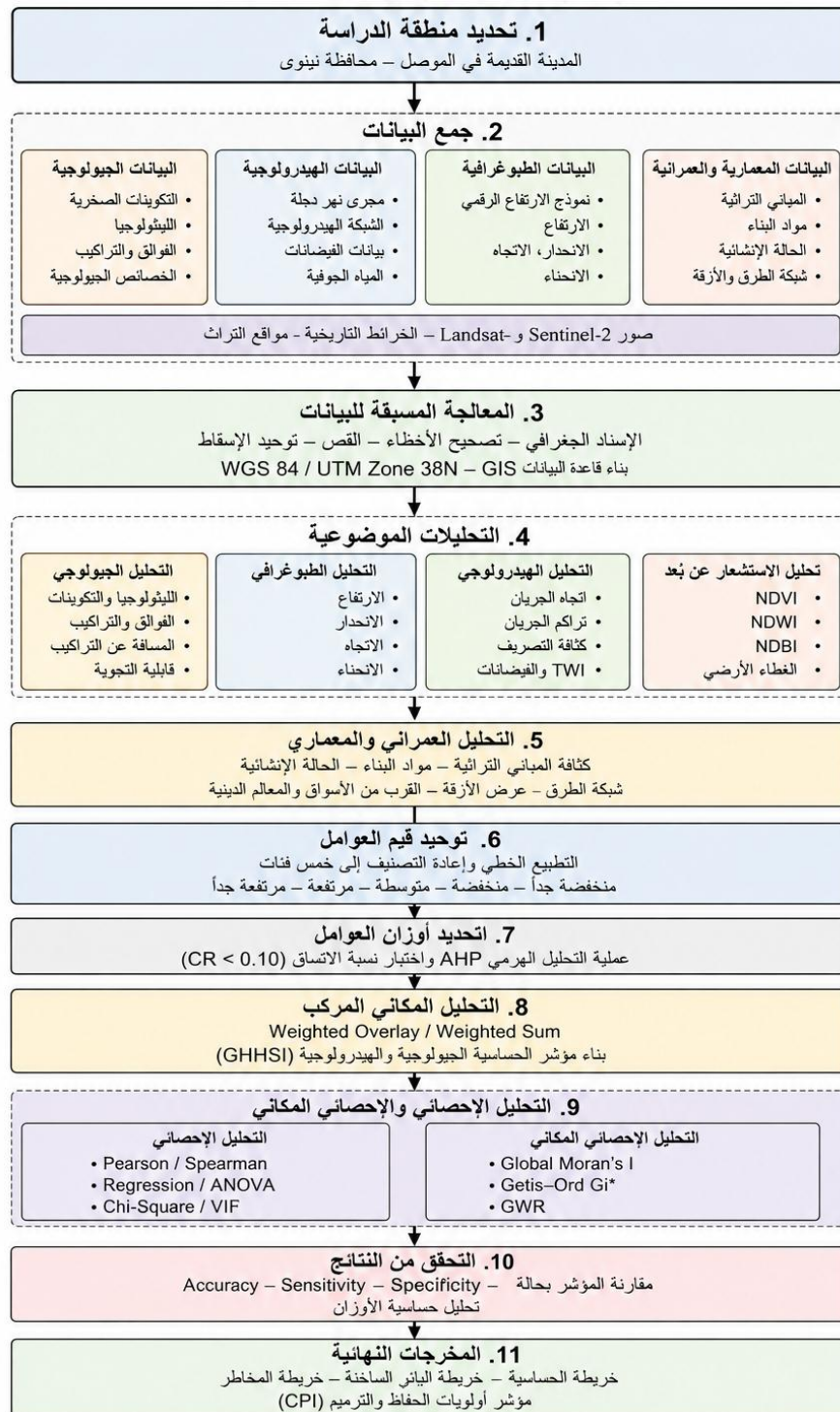
منخفضة	جيدة	مرتفعة	مراقبة دورية
منخفضة جداً	جيدة	متوسطة أو منخفضة	محدودة

وبذلك مثلت خريطة أولويات الحفاظ المخرج النهائي للمنهجية، إذ جمعت بين نتائج التحليل الطبيعي والحالة الإنشائية والقيمة التراثية ضمن إطار مكاني موحد. ويساعد هذا الناتج في توجيه الموارد الفنية والمالية نحو المباني والمناطق الأكثر عرضة للخطر، بدلاً من توزيع جهود الترميم بصورة غير قائمة على مستوى الحساسية الفعلي.

جدول (١٥). ملخص مراحل التحليل والدراسات المنهجية الداعمة

المرحلة	الأسلوب المستخدم	المخرج	الدراسة أو المرجع الداعم
إعداد البيانات	GIS Geodatabase	قاعدة بيانات موحدة	Ginzarly et al. (2024)
التحليل الجيولوجي	التقاطع والمسافة	الحساسية الجيولوجية	Fatorić & Seekamp (2017)
التحليل الطبوغرافي	DEM, Slope, Curvature	خرائط التضاريس	Beven & Kirkby (1979)
التحليل الهيدرولوجي	Flow, TWI, Proximity	خرائط الجريان والربطية	Sørensen et al. (2006)
استيفاء المياه الجوفية	IDW	سطح المياه الجوفية	Shepard (1968)
الاستشعار عن بُعد	NDVI, NDWI, NDBI	الغطاء الأرضي	Rouse et al. (1973); McFeeters (1996); Zha et al. (2003)
تحديد الأوزان	AHP	الأوزان النسبية	Saaty (1980, 1987)
دمج العوامل	Weighted Linear Combination	مؤشر GHHSI	Malczewski (2000, 2006)
الإحصاء المكاني	Moran's I, Gi*, GWR	البؤر والتباين المكاني	Moran (1950); Getis & Ord (1992); McMillen (2004)
التحقق	Accuracy Assessment	دقة المؤشر	Arrighi et al. (2023)
ترتيب الأولويات	GIS-MCDA	مؤشر CPI	Arrighi et al. (2023); Ginzarly et al. (2024)

اعتمدت الدراسة إطاراً منهجياً متكاملاً يجمع بين البيانات الجيولوجية والهيدرولوجية والطوبوغرافية وبيانات الاستشعار عن بُعد والخصائص العمرانية والمعمارية للمباني التراثية. وتُظمت مراحل العمل ضمن سلسلة مترابطة تبدأ بجمع البيانات وإعدادها، ثم إجراء التحليلات المكانية والإحصائية، وتنتهي ببناء مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدرولوجية وتحديد أولويات الحفاظ والترميم. ويوضح الشكل (٣) التسلسل العام للمنهجية والإجراءات التحليلية المستخدمة في الدراسة.



أثر الخصائص الجيولوجية والهيدروجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

شكل (٣). الإطار المنهجي المتكامل للدراسة

المصدر: من إعداد الباحث استناداً إلى مراحل التحليل المكاني والإحصائي المعتمدة في الدراسة. يبين الشكل (٣) الترابط بين مراحل المنهجية المستخدمة في الدراسة، إذ تبدأ العملية بتحديد منطقة الدراسة وجمع البيانات الطبيعية والعمرانية من مصادر متعددة، ثم إخضاعها لعمليات المعالجة المسبقة وتوحيد نظم الإحداثيات وبناء قاعدة بيانات جغرافية متكاملة. وتلي ذلك التحليلات الجيولوجية والطبوغرافية والهيدروجية وتحليلات الاستشعار عن بُعد والعناصر العمرانية والمعمارية.

بعد استخراج العوامل المؤثرة، جرى توحيد قيمها وتحديد أوزانها النسبية باستخدام عملية التحليل الهرمي، ثم دمجها مكانياً لإنتاج مؤشر الحساسية الجيولوجية والهيدروجية للتراث العمراني. واستُخدمت الاختبارات الإحصائية والإحصائية المكانية للتحقق من العلاقات بين العوامل الطبيعية وحالة المباني التراثية، في حين جرى تقييم دقة المؤشر بمقارنته مع مواقع المباني المتضررة. وانتهت المنهجية بإنتاج خرائط الحساسية والبؤر الساخنة وتحديد المباني والمناطق ذات الأولوية في إجراءات الحماية والصيانة والترميم.

خامساً: النتائج:

اعتمد تحليل النتائج على قاعدة بيانات تضم **220 موقعاً تراثياً** موزعة على ثمانية أحياء في المدينة القديمة بالموصل. وشملت المتغيرات التكوينية الجيولوجية، والارتفاع والانحدار، والقرب من نهر دجلة، وعمق المياه الجوفية، ومخاطر الفيضانات، ومواد البناء، والحالة الإنشائية، ومؤشر الخطر المركب.

١.٥ الخصائص الجيولوجية

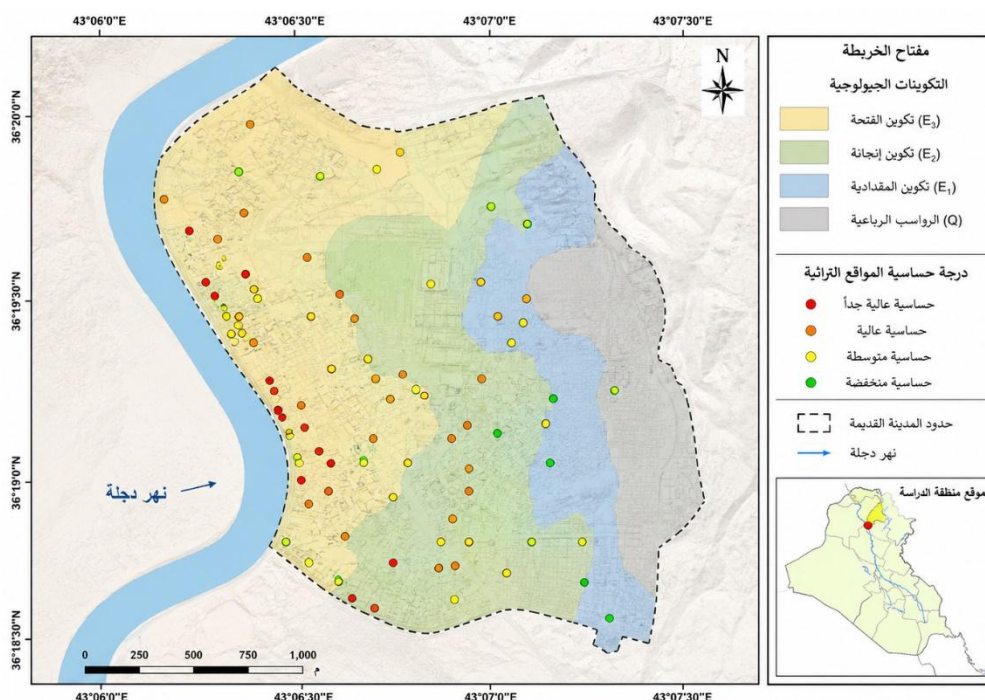
أظهرت النتائج أن تكوين الفتحة هو الأكثر انتشاراً، إذ ارتبط بنحو 41.36% من المواقع، يليه تكوين إنجانة بنسبة 25.45%، ثم الرواسب الرباعية بنسبة 22.27% وكان الجبس أكثر الأنواع الصخرية انتشاراً، يليه الحجر الجيري والمارل والحجر الرملي.

جدول (١٦). توزيع المواقع بحسب التكوين الجيولوجي

النسبة	العدد	التكوين الجيولوجي
41.36%	91	تكوين الفتحة
25.45%	56	تكوين إنجانة
22.27%	49	الرواسب الرباعية
10.91%	24	تكوين المقدادية
100%	220	المجموع

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للمسح الجيولوجي العراقية (GEOSURV). يوضح الجدول تركيز أغلب المباني فوق تكويني الفتحة وإنجانة، مما يجعل خصائصهما الصخرية والهيدروجية مؤثرة في استقرار الأبنية.

بلغ معامل الارتباط بين الحساسية الجيولوجية ومؤشر الخطر المركب **0.330**، مما يشير إلى تأثير متوسط للتكوينات الصخرية في استقرار المباني. كما ظهر ارتباط متوسط بين التكوينات الجيولوجية ومواد البناء، إذ استُخدم الحجر الجيري والجبس بصورة أكبر في المواقع المرتبطة بتكوين الفتحة.



شكل (٤). التوزيع المكاني للتكوينات الجيولوجية والمواقع التراثية

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للمسح الجيولوجي العراقية (GEOSURV)، وصور Sentinel-2 (Copernicus, 2023)، ونظم المعلومات الجغرافية ArcGIS Pro 3.1، يوضح الشكل مناطق تركيز المباني فوق التكوينات الأكثر عرضة للتجوية أو التأثر بالمياه.

٢.٥ الخصائص الطبوغرافية

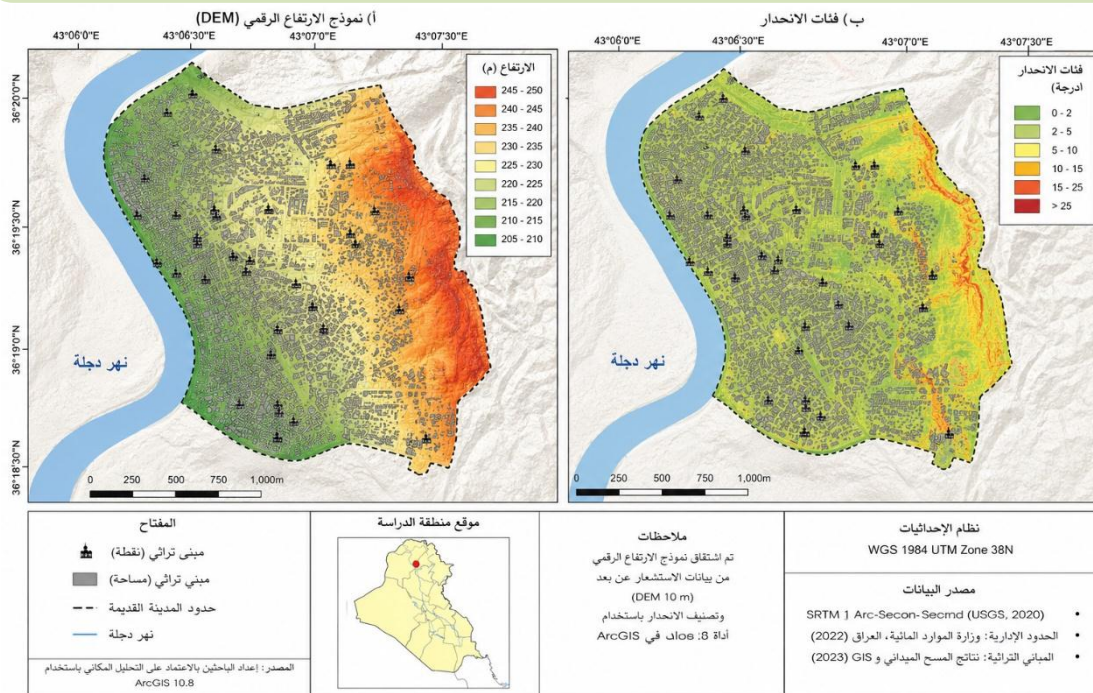
تراوحت ارتفاعات المواقع بين 210.1 و ٢٤٤.٦ م، بمتوسط بلغ 228.03 م. كما تراوح الانحدار بين 0.2 و ١٠.٤١°، بمتوسط قدره 4.73°. تركّز نحو 89.54% من المواقع ضمن الانحدارات الخفيفة والمتوسطة التي تتراوح بين أكثر من ٢ و ١٠ درجات، مما يشير إلى أن النسيج العمراني التاريخي تطور فوق أسطح ملائمة نسبياً للبناء والحركة.

جدول (١٧). توزيع المواقع بحسب الانحدار

النسبة	العدد	فئة الانحدار
9.55%	21	$\leq 2^\circ$
44.09%	97	أكثر من ٢-٥°
45.45%	100	أكثر من ٥-١٠°
0.91%	2	أكثر من ١٠°
100%	220	المجموع

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM (USGS) وتحليل GIS. يوضح الجدول سيادة الانحدارات الخفيفة والمتوسطة، مع محدودية المواقع الواقعة فوق انحدارات شديدة. بلغ الارتباط بين الانحدار ومؤشر الخطر 0.240، وهو ارتباط ضعيف إلى متوسط. ويعني ذلك أن الانحدار يؤثر في حركة الجريان، لكنه لا يفسر الخطر بصورة مستقلة عن المياه الجوفية والفيضانات.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية



شكل (٥). خريطة الارتفاع والانحدار وتوزيع المباني التراثية

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (USGS) 30 m SRTM ، وبيانات OpenStreetMap، وتحليل GIS باستخدام ArcGIS Pro 3.1. يبين الشكل تركيز الأبنية في المناطق ذات الانحدار الخفيف والمتوسط، ويحدد المواقع المنخفضة المحتمل تعرضها لتجمع المياه.

٣.٥ الخصائص الهيدرولوجية

أظهرت النتائج أن أكثر من نصف المواقع، بنسبة 51.82%، تقع على مسافة لا تتجاوز ٥٠٠ م من نهر دجلة. وبلغ متوسط المسافة عن النهر 549.41 م. كما تراوح عمق المياه الجوفية بين 2.20 و ١٣.٣٩ م، بمتوسط بلغ 5.94 م. ووجد أن 56.82% من المواقع تقع في مناطق يقل فيها عمق المياه الجوفية عن ٦ م.

جدول (١٨). أهم المؤشرات الهيدرولوجية

المؤشر	الأدنى	الأعلى	المتوسط
المسافة عن دجلة	35.0 م	2164.3 م	549.41 م
عمق المياه الجوفية	2.20 م	13.39 م	5.94 م
كثافة التصريف	0.71 كم ² /كم ²	3.60 كم ² /كم ²	2.05 كم ² /كم ²
تراكم الجريان	0.063	0.948	0.533

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات وزارة الموارد المائية العراقية ونظم المعلومات الجغرافية. يظهر الجدول التباين الواضح في القرب من النهر وعمق المياه الجوفية، وهما أكثر المتغيرات الهيدرولوجية ارتباطاً بمستوى الخطر.

بلغ الارتباط بين المسافة عن دجلة ومؤشر الخطر -0.669 ، بينما بلغ الارتباط بين عمق المياه الجوفية والخطر -0.690 . وتشير القيم السالبة إلى ارتفاع الخطر كلما اقترب المبنى من النهر أو اقتربت المياه الجوفية من سطح الأرض.

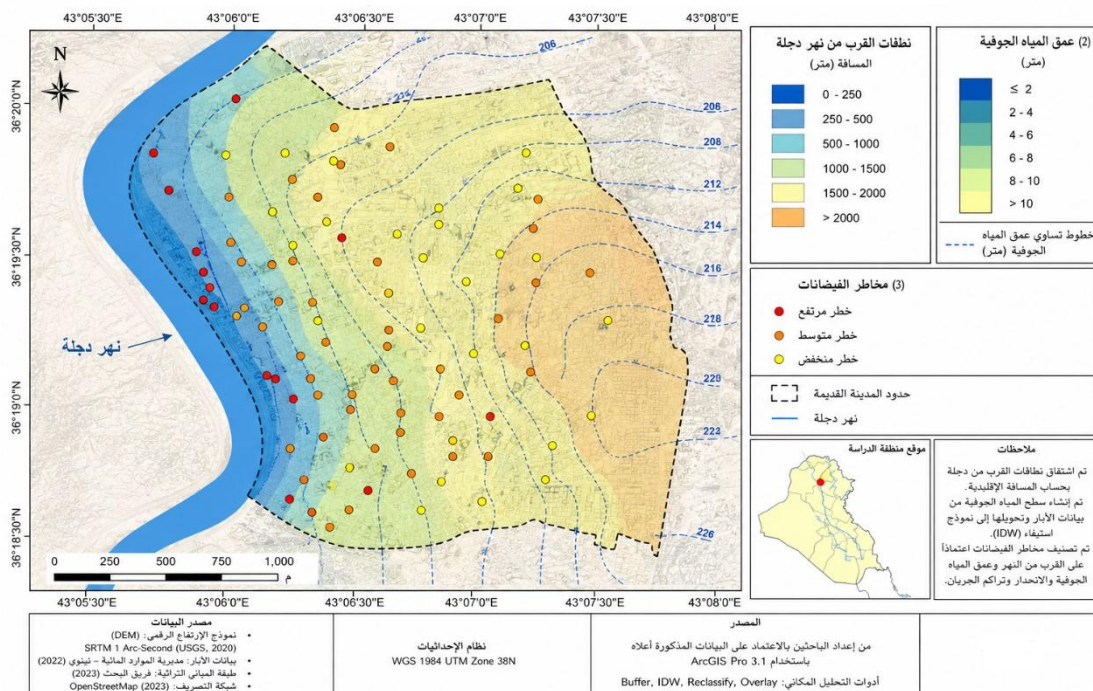
أما قابلية الفيضان، فقد سجلت أعلى ارتباط بمؤشر الخطر، بقيمة بلغت 0.721 . وتتفق هذه النتيجة مع (Arrighi et al. (2023 و Kim et al. (2024، اللذين أكدا أهمية القرب من المجاري المائية ومستوى التعرض الفيضي في تقييم مخاطر المواقع التراثية.

جدول (١٩). توزيع المواقع بحسب خطر الفيضان

مستوى الخطر	العدد	النسبة
منخفض	115	52.27%
متوسط	92	41.82%
مرتفع	13	5.91%
المجموع	220	100%

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على قاعدة البيانات المكانية للدراسة.

تقع نسبة تقارب 48% من المواقع ضمن مستويي الخطر المتوسط والمرتفع، مما يبرز ضرورة دمج إدارة الفيضانات ضمن خطط الحفاظ.



٤.٥ خصائص الموروث المعماري

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات وزارة الموارد المائية العراقية، ونموذج الارتفاع الرقمي SRTM، وتحليل القرب المكاني (Buffer) والاستيفاء المكاني (IDW) باستخدام ArcGIS Pro 3.1. يوضح الشكل تركيز المواقع الأكثر حساسية في المناطق القريبة من النهر وذات المياه الجوفية الضحلة.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة

في الجغرافيا الطبيعية

مثلت البيوت التراثية الفئة الأكثر انتشاراً بنسبة 52.73%، تلتها الجوامع بنسبة 15.91%، ثم الأسواق بنسبة 9.09%.

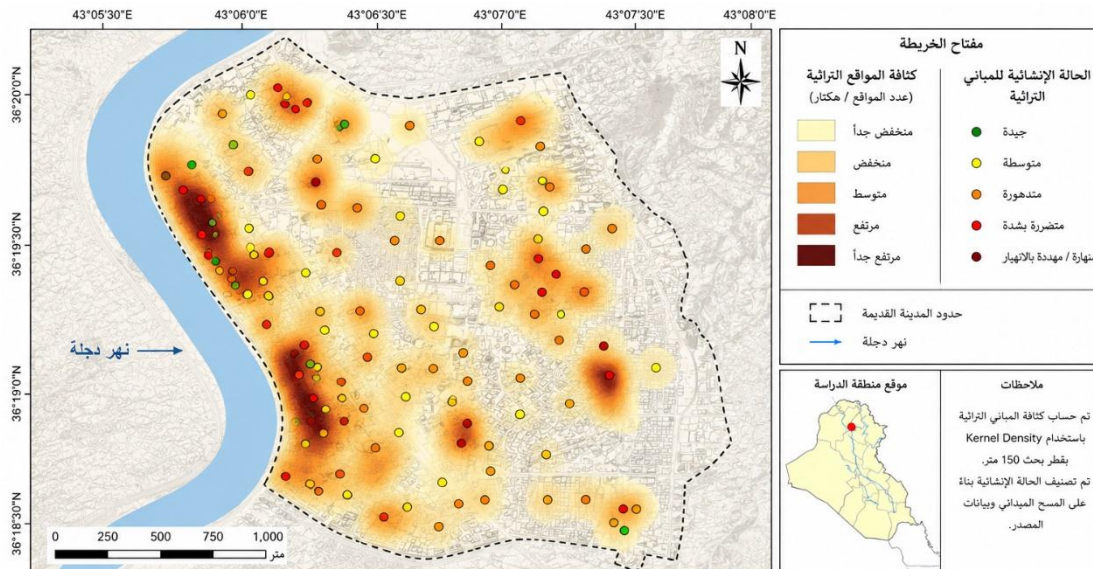
أما مواد البناء، فتوزعت بصورة متقاربة بين الجبس والطابوق، والحجر الجيري، والحجر الجيري والجبس، والطابوق والجبس، والمواد المختلطة.

جدول (٢٠). الخصائص الرئيسية للموروث المعماري

المتغير	الفئة الأكثر انتشاراً	النسبة
نوع المبنى	بيت تراثي	52.73%
مادة البناء	جبس وطابوق	17.73%
مادة البناء	حجر جيري	17.73%
نمط الشوارع	متفرع من عقدة دينية	29.09%
الحالة الإنشائية	متوسطة	29.55%
الحي الأعلى عدداً	باب الجديد	16.36%

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على نتائج مؤشر الخطر المركب (Composite Risk Index). يعكس انتشار البيوت الطبيعية السكنية للمدينة القديمة، بينما يوضح نمط الشوارع دور المساجد والأسواق في توجيه الحركة والنمو العمراني.

أظهرت الحالة الإنشائية أن 45.45% من المباني تقع ضمن حالتي متدهورة أو متضررة بشدة، مقابل 15.45% فقط في حالة جيدة. ويتوافق ذلك مع ما أشار إليه (Al-Jawadi, 2022) بشأن الحاجة إلى إدارة منهجية للمباني المتضررة وموادها ضمن عملية إعادة إعمار الموصل.



شكل (٧). كثافة المباني التراثية وحالتها الإنشائية

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات المباني التراثية، وصور Sentinel-2 (Copernicus, 2023)، وتحليل الكثافة المكانية (Kernel Density) باستخدام ArcGIS Pro 3.1.

يحدد الشكل الأحياء التي تجمع بين كثافة تراثية مرتفعة وارتفاع في عدد المباني المتدهورة.

٥.٥ العلاقات المكانية

أظهرت العلاقات المكانية أن العوامل الهيدرولوجية أكثر تأثيراً من العوامل الطبوغرافية في مؤشر الخطر النهائي.

جدول (٢١). أهم العلاقات مع مؤشر الخطر المركب

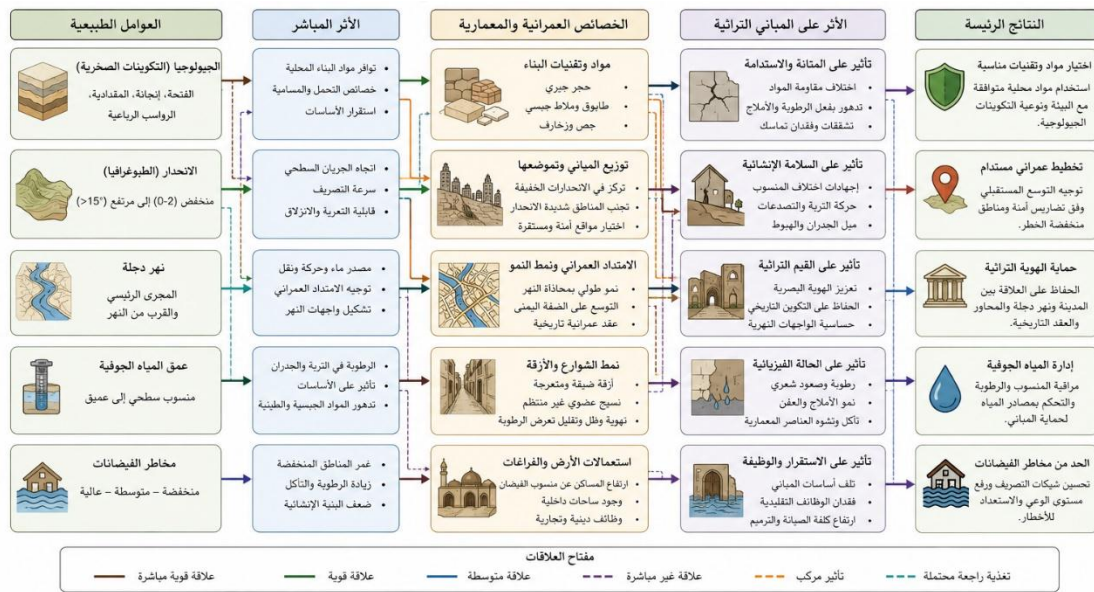
المتغير	معامل الارتباط	اتجاه العلاقة
قابلية الفيضان	0.721	طردية قوية
حساسية المياه الجوفية	0.695	طردية قوية
عمق المياه الجوفية	-0.690	عكسية قوية
المسافة عن دجلة	-0.669	عكسية قوية
الحساسية الجيولوجية	0.330	طردية متوسطة
الانحدار	0.240	طردية ضعيفة-متوسطة
تراكم الجريان	0.082	ضعيفة
كثافة التصريف	-0.034	ضعيفة جداً

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي والمكاني. يمثل القرب من دجلة والمياه الجوفية الضحلة وقابلية الفيضان أهم العوامل المرتبطة بارتفاع الخطر، بينما جاء تأثير الجيولوجيا والانحدار في مستوى أقل. كما أظهرت النتائج ما يأتي:

- وجود ارتباط متوسط بين التكوين الجيولوجي ومواد البناء.
- تركز الأبنية ضمن الانحدارات الخفيفة والمتوسطة.
- ارتباط الأسواق بمحاور الحركة أكثر من ارتباطها المباشر بالنهر.
- توجيه نهر دجلة للامتداد العمراني، مع زيادة الخطر في المواقع الأقرب إليه.
- ارتفاع نسبي لخطر الفيضان في الأنماط العضوية والمتفرعة من العقد الدينية.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة

في الجغرافيا الطبيعية



شكل (٨). مصفوفة العلاقات بين العوامل الطبيعية والعمرانية

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نتائج التحليل المكاني والإحصائي للدراسة.

يوضح الشكل أن الخصائص العمرانية والمعمارية نتجت عن تفاعل العوامل الطبيعية مع المتطلبات الدينية والتجارية والاجتماعية.

٦.٥ النموذج المكاني النهائي

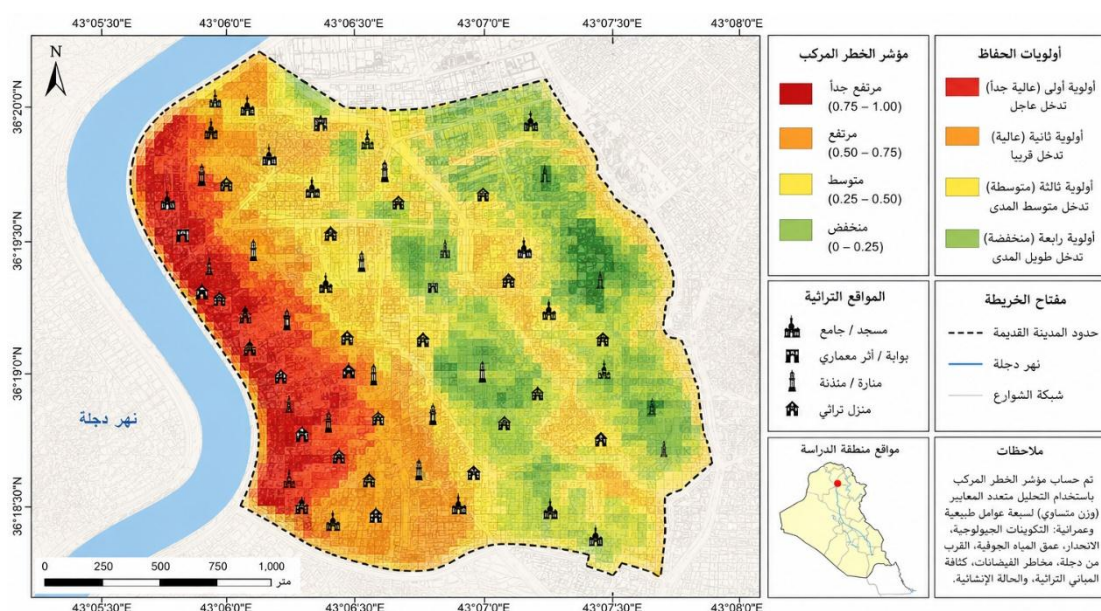
بلغ متوسط مؤشر الخطر المركب 50.47 من ١٠٠، وتراوح قيمه بين 25.8 و ٧٤.٠ . وصُنِّفت 46.82% من المواقع ضمن أولوية الحفاظ المرتفعة، و 44.55% ضمن الأولوية المتوسطة.

جدول (٢٢). توزيع أولويات الحفاظ

أولوية الحفاظ	العدد	النسبة
عاجلة	6	2.73%
مرتفعة	103	46.82%
متوسطة	98	44.55%
منخفضة	13	5.91%
المجموع	220	100%

يحتاج نحو نصف المواقع إلى تدخل مرتفع أو عاجل، بينما تتطلب معظم المواقع الأخرى صيانة وقائية ومراقبة دورية.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية

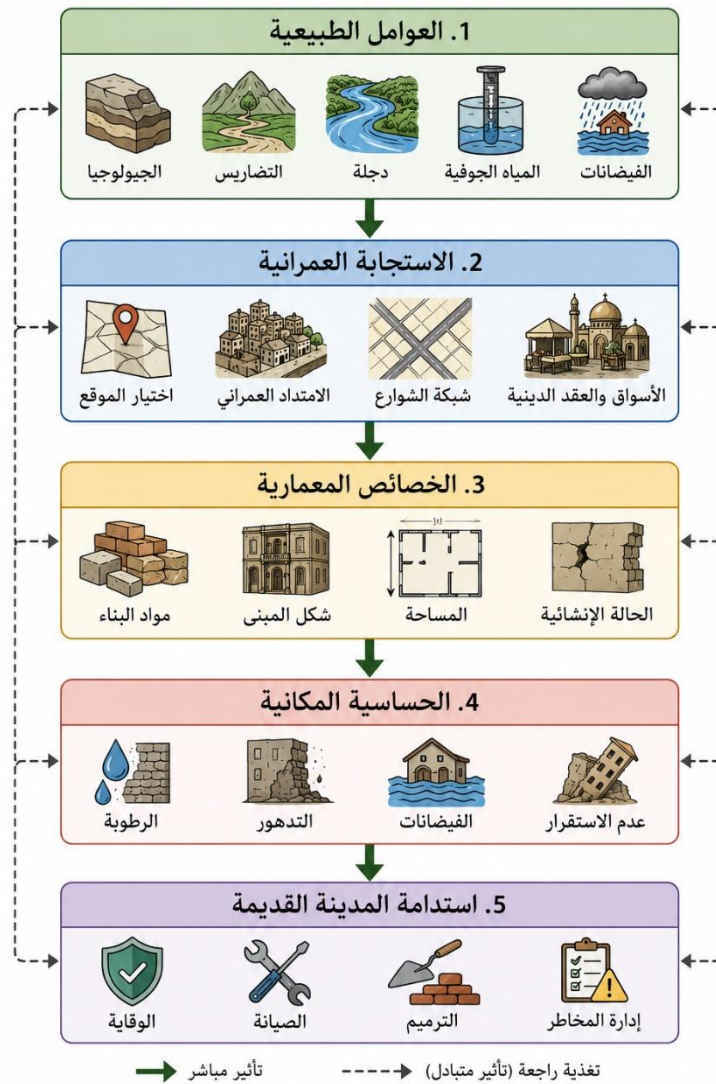


شكل (٩). خريطة مؤشر الخطر وأولويات الحفاظ

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على نتائج التحليل متعدد المعايير (Weighted Overlay Analysis) باستخدام ArcGIS Pro 3.1.

تمثل الخريطة المخرج التطبيقي الرئيس للدراسة، إذ تحدد المواقع التي ينبغي أن تحظى بالأولوية في معالجة الرطوبة وتحسين التصريف والتدعيم الإنشائي.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة في الجغرافيا الطبيعية



شكل (١٠). النموذج المفاهيمي النهائي

المصدر: إعداد الباحثين استناداً إلى نتائج الدراسة الحالية.

يوضح النموذج أن استدامة المدينة القديمة تعتمد على فهم العلاقة المتسلسلة بين البيئة الطبيعية والاستجابة العمرانية والخصائص المعمارية، وليس على معالجة المباني بصورة منفردة. وتؤكد النتائج أن المياه، ممثلة بالقرب من نهر دجلة وعمق المياه الجوفية وقابلية الفيضان، هي العامل الأكثر تأثيراً في حساسية الموروث المعماري. ويأتي العامل الجيولوجي في المرتبة التالية، بينما تتحكم الخصائص الطبوغرافية في توجيه الجريان وتوزيع الأبنية. وتتفق هذه النتيجة مع توجهات Arrighi et al. (2023) و Kim et al. (2024) في دمج الأخطار الطبيعية مع قيمة وحالة المباني التراثية، ومع طرح Hussein et al. (2019) الذي يؤكد ضرورة فهم النسيج الحضري التاريخي للموصل بوصفه منظومة مكانية مترابطة.



سادساً: المناقشة:

تشير النتائج إلى أن تباين مستوى حساسية الموروث المعماري في المدينة القديمة بالموصل لا يرتبط بعامل طبيعي منفرد، وإنما ينتج عن التفاعل بين التكوين الجيولوجي، والقرب من نهر دجلة، وعمق المياه الجوفية، وقابلية التعرض للفيضانات، والخصائص العمرانية والإنشائية للمباني. وقد أظهرت قوة ارتباط مؤشر الخطر بقابلية الفيضان وعمق المياه الجوفية أن المياه تمثل العامل الأكثر تأثيراً في استقرار الأبنية التراثية، في حين كان تأثير الانحدار والتكوين الجيولوجي أقل قوة، لكنه ظل مهماً عند اقترانه بنوعية مواد البناء وحالة الأساسات. ويتفق ذلك مع ما توصل إليه **Arrighi et al. (2023)** من أن تقييم مخاطر التراث يتطلب دمج التعرض للفيضانات مع هشاشة المباني وقيمتها التراثية، بدلاً من الاعتماد على موقع المبنى أو شدة الخطر بصورة منفصلة.

يمكن تفسير ارتفاع الخطر في المواقع القريبة من نهر دجلة بضخالة المياه الجوفية وازدياد احتمالية انتقال الرطوبة إلى الأساسات والجدران، فضلاً عن تعرض المناطق المنخفضة لمياه الفيضانات والجريان السطحي. ويؤكد الارتباط القوي بين المسافة عن النهر وعمق المياه الجوفية أن أثر دجلة لا يقتصر على توجيه الامتداد العمراني التاريخي، بل يمتد إلى تحديد الظروف المائية المحيطة بالمباني. وتتفق هذه النتيجة مع دراسة **Kim and Sung (2024)**، التي بينت أن الخصائص الموقعية والسياق الحضري والقرب من مصادر الفيضان تؤثر بصورة مباشرة في تفاوت مخاطر المواقع التراثية داخل المدن.

ويُفسر انتشار الحجر الجيري والجبس والطابوق في الأبنية التاريخية بتوافر هذه المواد محلياً، وسهولة استخراجها وتشكيلها، وملاءمتها للتقنيات الحرفية التقليدية. ويتميز الحجر الجيري بقدرته على تحمل الأحمال وإمكان استخدامه في الجدران والعقود، بينما استُخدم الجبس والجص في الملاط والتغطيات والعناصر الزخرفية. غير أن وجود الجبس والمالط والمواد الطينية في بيئة ذات رطوبة مرتفعة قد يؤدي إلى ضعف التماسك وذوبان بعض المكونات وتلف الملاط نتيجة دورات البلل والجفاف. ولذلك فإن العلاقة بين الصخور ومواد البناء تعكس من جهة تكيف العمارة مع الموارد المحلية، لكنها تمثل من جهة أخرى مصدراً للهشاشة عندما تتغير الظروف الهيدرولوجية المحيطة بالمبنى.

كما يفسر تركيز الأبنية في المناطق ذات الانحدار الخفيف إلى المتوسط سعي السكان تاريخياً إلى اختيار مواقع تسهل البناء والحركة وتوفر تصريفاً طبيعياً نسبياً لمياه الأمطار. أما المناطق شديدة الاستواء، فقد تكون أكثر قابلية لتجمع المياه، في حين تزيد سرعة الجريان والتعرية

الموضعية في الانحدارات الأعلى. ومع ذلك، فإن ضعف العلاقة بين الانحدار وحجم الأبنية يبين أن التوزيع العمراني لم تحدده التضاريس وحدها، بل شاركت فيه الوظيفة الاجتماعية والدينية والتجارية، والقرب من الأسواق ودور العبادة، وإمكان الوصول عبر شبكة الأزقة. وتعود ضيقة الأزقة والتواءاتها إلى النمو العضوي للمدينة، والاستجابة للظروف المناخية والاجتماعية والأمنية؛ إذ تساعد الأزقة الضيقة في زيادة الظل وتقليل التعرض المباشر للإشعاع الشمسي، كما تعزز الخصوصية وتحد من حركة الرياح المحملة بالغبار. وفي المقابل، قد يؤدي ضيقها وعدم انتظامها إلى إبطاء تصريف مياه الأمطار وصعوبة الوصول أثناء الطوارئ والترميم. وتتسجم هذه القراءة مع وصف UNESCO للنسيج الموصل القديم بوصفه شبكة متداخلة من الشوارع الصغيرة والأزقة والطرق المسدودة نشأت بصورة تلقائية، وشكلت مثلاً واضحاً للمدن التقليدية في الشرق الأوسط.

وأظهرت النتائج كذلك أن الأسواق والعقد الدينية كان لها تأثير واضح في اتجاهات الشوارع وتجمع الأبنية، في حين لم يظهر ارتباط مباشر قوي بين مواقع الأسواق والقرب من النهر. ويشير ذلك إلى أن دجلة أسهم في تشكيل الإطار العام للامتداد والنشاط الاقتصادي، بينما حددت محاور الحركة والعقد الدينية والاجتماعية المواقع الداخلية للأسواق والأحياء. ويتفق ذلك مع (Hussein et al. 2019)، اللذين أكدوا أن فهم إعادة إعمار الموصل يتطلب تحليل آثار النسيج الحضري والمحاور والعقد والذاكرة المكانية، وليس إعادة بناء المنشآت التاريخية باعتبارها عناصر منفصلة.

وتتمثل القيمة العلمية للبحث في تطوير قراءة مكانية متكاملة تربط البيئة الجيولوجية والهيدرولوجية بالأبنية العمرانية وخصائص الموروث المعماري في المدينة القديمة. فبينما ركزت دراسات إعادة إعمار الموصل على الشكل الحضري والهوية والذاكرة، وركزت دراسات المخاطر التراثية على الفيضانات أو هشاشة المباني، يجمع البحث الحالي هذه المتغيرات ضمن نموذج واحد يفسر انتقال أثر العوامل الطبيعية إلى الاستجابة العمرانية، ثم إلى مواد البناء والحالة الإنشائية وأولوية الحفاظ. وتمثل هذه المقاربة إضافة قابلة للتطبيق في مدن تاريخية أخرى نشأت بالقرب من الأنهار وتستخدم مواد بناء تقليدية حساسة للرطوبة.

أما تطبيقياً، فتتيح النتائج تحديد المباني والأحياء التي ينبغي أن تحظى بالأولوية في التدعيم الإنشائي، ومعالجة الرطوبة، وتحسين تصريف مياه الأمطار، ومراقبة المياه الجوفية. كما يمكن استخدام خريطة الحساسية في توجيه إعادة إعمار بعيداً عن الحلول الموحدة، بحيث تُختار مواد وتقنيات الترميم وفق التكوين الجيولوجي ومستوى الرطوبة ونوع البناء الأصلي. ويمكن دمج



النموذج في التخطيط الحضري لمنع زيادة الأحمال في المواقع الحساسة، والمحافظة على مسارات الأزقة والعقد التاريخية، وتطوير خدمات الصرف والوصول الطارئ دون الإخلال بهوية النسيج التقليدي. وينسجم ذلك مع توجه UNESCO في إعادة إعمار الموصل، الذي يقوم على حماية التراث وإحياء الحياة الثقافية ودعم التعافي الحضري والاجتماعي، وليس على إعادة البناء المادي وحده.

وعليه، تؤكد المناقشة أن استدامة المدينة القديمة تتطلب الانتقال من ترميم المباني بصورة منفردة إلى إدارة متكاملة للمشهد الحضري، تجمع بين مراقبة المياه، وفحص التربة والأساسات، والحفاظ على المواد الأصلية، وصيانة شبكات الأزقة، وترتيب التدخلات وفق مستويات الخطر والقيمة التراثية. ويساعد هذا التوجه في تقليل فقدان العناصر التاريخية، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتحقيق إعادة إعمار تحافظ على هوية الموصل وتزيد قدرتها على مواجهة الأخطار الطبيعية المستقبلية.

سابعاً: الخاتمة:

أظهرت نتائج الدراسة أن الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية أسهمت بصورة مباشرة في تشكيل النسيج العمراني والموروث المعماري للمدينة القديمة في الموصل، وأن مستوى حساسية المباني التراثية لا يرتبط بعامل طبيعي منفرد، بل ينتج عن التفاعل بين نوع التكوينات الجيولوجية، والقرب من نهر دجلة، وعمق المياه الجوفية، وقابلية التعرض للفيضانات، والخصائص العمرانية ومواد البناء التقليدية. وقد أوضحت التحليلات المكانية أن العوامل الهيدرولوجية، ولا سيما المياه الجوفية والفيضانات، تمثل المتغيرات الأكثر تأثيراً في مستوى الخطر، في حين تؤدي الجيولوجيا دوراً أساسياً في استقرار الأساسات واختيار مواد البناء، بينما تسهم الخصائص الطبوغرافية في توجيه حركة المياه وتوزيع الاستيطان التاريخي. وبذلك أجابت الدراسة عن أسئلة البحث من خلال إثبات وجود علاقة مكانية واضحة بين البيئة الطبيعية والخصائص المعمارية للمدينة القديمة، كما أثبتت صحة فرضية البحث التي تنص على أن العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية تمثل محدداً رئيساً في تشكيل الموروث العمراني واستدامته. وتتمثل القيمة العلمية للدراسة في تقديم إطار مكاني متكامل يجمع بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتحليل الجيولوجي والهيدرولوجي لتفسير العلاقة بين البيئة الطبيعية والعمارة التاريخية، وهو إطار يمكن تطبيقه في مدن تاريخية أخرى ذات ظروف بيئية متشابهة.



أما من الناحية التطبيقية، فتؤكد الدراسة أهمية اعتماد الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية أساساً في تخطيط أعمال الترميم والحفاظ، وإنشاء قاعدة بيانات مكانية (GIS) متكاملة للموروث المعماري، وتطوير برامج دورية لمراقبة المياه الجوفية والرطوبة، وإدماج الجغرافيا الطبيعية في خطط إعادة إعمار المدينة القديمة وإدارة مخاطرها، بما يسهم في تعزيز استدامة التراث العمراني والمحافظة على هويته التاريخية للأجيال القادمة.

المراجع:

- Yawer, A. S., Bakr, A. F., & Fathi, A. A. (2023). Sustainable urban development of historical cities: Historical Mosul City, Iraq. *Alexandria Engineering Journal*, 67, 257-270.
- Hussein, S. H., Abdulla, Z. R., & Salih, N. M. M. (2019). Urban regeneration through post-war reconstruction: Reclaiming the urban identity of the old city of Mosul. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 7(1).
- Pijet-Migoń, E., & Migoń, P. (2022). Geoheritage and cultural heritage—a review of recurrent and interlinked themes. *Geosciences*, 12(2), 98.
- Al-Jawadi, A. S., Ali, S. H., & Adeeb, H. G. M. (2022, September). Engineering Investigation of the Geological Problems for Old Mosul City by Remote Sensing and GIS. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1080, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Larkin, C., & Rudolf, I. (2024). Iraqi heritage restoration, grassroots interventions and post-conflict recovery: reflections from Mosul. *Journal of Social Archaeology*, 24(1), 33-57.
- Ali, H. H., Al-Hashimi, I. A., & Al-Samman, F. A. (2018). Investigating the applicability of sustainable urban form and design to traditional cities, case study: the old city of sana'a. *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 12(2), 57.



Al-Jawadi, A. S., Saleh, D. G., & Younis, A. A. (2022). Protection and management of the destroyed heritage in the Old City of Mosul, Northern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 224-233.

Attia, A. S. (2022). Learned lessons from traditional architecture in Yemen-towards sustainable architecture. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(4), 1197-1204.

Boussaa, D., & Madandola, M. (2024). Cultural heritage tourism and urban regeneration: The case of Fez Medina in Morocco. *Frontiers of Architectural Research*, 13(6), 1228-1248.

Radoine, H. (2019). Conservation-based cultural, environmental, and economic development: The case of the walled city of Fez. In *The human sustainable city* (pp. 457-477). Routledge.

Hammoodi, S. A., & Al-Hinkawi, W. S. (2023). The role of spatial value in the reconstruction of religious buildings Mosul city:-A case study. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(10), 102164.

Kousa, C., & Pottgiesser, U. (2021). Development plan strategies of old Aleppo City and sustainable development goals between theory and practice. In *LDE Heritage Conference on Heritage and the Sustainable Development Goals* (Vol. 10, pp. 437-447).

Orabi, R. (2023). *Digital Reconstruction of The Urban Morphology of The Old City of Aleppo: Between the Mamluk and the Post-War City, the case of'al-Jallūm and al-'Aqaba Districts: A Parametric Study* (Doctoral dissertation, Pázmány Péter Katolikus Egyetem).

Plekhov, D. (2020). The social dimensions of water management at Petra, Jordan. *Levant*, 52(3), 321-336.

Saeed, Z. O., Almukhtar, A., Abanda, H., & Tah, J. (2022). Mosul city: housing reconstruction after the ISIS war. *Cities*, 120, 103460.

- Younus, I., Al-Hinkawi, W., & Lafta, S. (2023). The role of historic building information modeling in the cultural resistance of liberated city. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(10), 102191.
- UNESCO. (2023). *Revive the Spirit of Mosul*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://www.unesco.org/en/revive-mosul>
- European Space Agency (ESA). (2024). *Sentinel-2 User Guide*.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2024). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) User Guide*.
- Esri. (2024). *ArcGIS Pro Documentation*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- IBM. (2023). *IBM SPSS Statistics 29 Documentation*. IBM Corporation.
- NV5 Geospatial. (2024). *ENVI User Guide*. Boulder, Colorado.
- QGIS Development Team. (2024). *QGIS Geographic Information System User Guide*. Open Source Geospatial Foundation.
- Google LLC. (2024). *Google Earth Pro User Guide*.
- Arrighi, C., Ballio, F., & Simonelli, T. (2023). A GIS-based flood damage index for cultural heritage. *International journal of disaster risk reduction*, 90, 103654.
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological sciences journal*, 24(1), 43-69.
- Fatorić, S., & Seekamp, E. (2017). Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. *Climatic change*, 142(1), 227-254.
- McMillen, D. P. (2004). Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.



- Ginzarly, M., Joshi, M. Y., & Teller, J. (2024). A multidimensional framework for assessing cultural heritage vulnerability to flood hazards. *International Journal of Heritage Studies*, 30(10), 1173-1192.
- Kim, J., & Sung, H. H. (2024). Assessing Flood Risk of Heritage Sites in an Urban Area: Impact of Locational Characteristics and Historical Context. *Sustainability*, 16(23), 10473.
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Malczewski, J. (2006). GIS- based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, 20(7), 703-726.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (No. NASA-CR-132982).
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Shepard, D. (1968, January). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference* (pp. 517-524).
- Sörensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101-112.

أثر الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية في الموروث المعماري لمدينة الموصل القديمة - دراسة
في الجغرافيا الطبيعية



Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24(3), 583-594.

UNESCO. (2011). *Recommendation on the Historic Urban Landscape*. UNESCO.



مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦ / العدد ١٠

