التقييم المكاني المركب لمخاطر تعرية الضفاف النهرية في بيئة رسوبية منخفضة الانحدار: دراسة تطبيقية على شط الحلة والمقاطع الفراتية ذات الصلة في محافظة بابل باستعمال نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي

وزارة التعليم العالي – جامعة بابل

pre937.diaa.mahmood@uobabylon.edu.iq

م.م ضياء محمود سياب

الملخص

يهدف البحث إلى بناء تقييم مكاني مركب لمخاطر تعرية الضفاف النهرية على شط الحلة والمقاطع الفراتية المتصلة به في محافظة بابل، ضمن بيئة رسوبية منخفضة الانحدار يتداخل فيها النشاط الجانبي للمجرى مع هشاشة الضفاف والتعرض البشري. اعتمدت الدراسة إطاراً قطاعياً في بيئة GIS، استند إلى أدلة منشورة عن ثبات الضفاف وخصائص التربة والسرعات الهيدروديناميكية والغطاء الأرضي ونقاط الضغط، ثم وُحدت المؤشرات على سلم خماسي ورُجحت بأداة AHP. وتضمن النموذج خمسة معايير: الحساسية الجيومورفولوجية، القابلية الجيوتكنيكية، القسر الهيدروديناميكي، الغطاء الأرضي، والتعرض البشري. أظهرت النتائج تقدم الحساسية الجيومورفولوجية وزناً (0.403)، تليها القابلية الجيوتكنيكية (0.244)، وأن قطاع الوزير–الإبراهيمية–الهاشمية–الكفل سجل أعلى خطر مركب (100/94.1)، يليه قطاع بابل القديمة–جسر بتة–الخسروية (100/82.7). كما برزت المقاطع 08–RB و09–RB و02–LB كأعلى أولويات التدخل، بما يؤكد ضرورة إدارة الضفاف قطاعياً وفق تلاقي الخطورة والتعرض قبل التصميم التنفيذي.

الكلمات المفتاحية: تعرية الضفاف؛ شط الحلة؛ نهر الفرات؛ محافظة بابل؛ الجيومورفولوجيا التطبيقية؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ التحليل الهرمي AHP؛ إدارة الضفاف.

Abstract

This study develops a composite spatial assessment of riverbank erosion risk along Shatt Al-Hilla and related Euphrates reaches in Babil Governorate, a low-gradient sedimentary setting marked by lateral channel activity and dense human exposure. A sector-based GIS framework was built from published evidence on bank stability, soil properties, hydrodynamic forcing, land-cover change, and exposure hotspots. The criteria were standardized on a five-class scale and weighted through AHP. The model comprises geomorphological sensitivity, geotechnical susceptibility, hydrodynamic forcing, land-cover condition, and human exposure. Results indicate that geomorphological sensitivity has the highest weight (0.403), followed by geotechnical susceptibility (0.244). The southern Al-Wazeer-Al-Ibraheemia-Al-Hashemia-Al-Kifl sector records the highest composite score (94.1/100), followed by Ancient Babylon-Bata Bridge-Al-Khusrweya (82.7/100). At executive scale, RB-08, RB-09, and LB-02 represent the highest-priority segments. The study concludes that bank management in Babil should be sector- and bank-side based, linking process intensity with exposure and requiring detailed field verification before final engineering design.

Keywords: riverbank erosion; Shatt Al-Hilla; Euphrates River; Babil Governorate; applied geomorphology; GIS; AHP; bank management.

1. المقدمة

تمثل تعرية الضفاف النهرية خطراً مركباً في السهول الفيضية، لأنها تنشأ من تفاعل النحت الهيدروليكي للقدم مع

فشل الكتلة الترابية وتذبذب المنسوب وخصائص مادة الضفة، لا من سرعة الجريان وحدها1.

وتزداد أهمية الخطر في البيئات الرسوبية منخفضة الانحدار، حيث تضعف الطاقة الطولية للمجرى ويقوى أثر المنعطفات وتباين السرعات الجانبية وتوجيه الجريان نحو الضفاف المقعرة مقارنة بالحت الرأسي العميق2. لذلك يتطلب تقييم الضفاف نموذجاً مركباً يدمج التحكم الجيومورفولوجي والجيوتكنيكي والهيدروديناميكي والتعرض البشري.

وتؤكد الأدبيات أن GIS والاستشعار عن بعد يوفران إطاراً مكانياً لدمج العمليات النهرية مع الأصول المعرضة، في حين يتيح MCDA وAHP ترجيح المعايير المتعددة بشرط توحيدها وإظهار منطق الأوزان واتساقها.3

وتبرز المشكلة في محافظة بابل، إذ يمر شط الحلة داخل مجال فيضي مأهول تتجاور فيه الاستعمالات الزراعية والحضرية والخدمية، بينما تكشف الدراسات المحلية تبايناً واضحاً في عامل الأمان والسرعات وزوايا اصطدام التيار وخصائص التربة4. كما توثق المحطات المنشورة نقاط ضغط بشرية حساسة تشمل الجسور والواجهات الحضرية ومخارج الصرف والردم5.

لذلك يتناول البحث تعرية الضفاف بوصفها قضية في الجيومورفولوجيا التطبيقية وجغرافية الأخطار، لا وصفاً شكلياً ولا مسألة هندسية منفصلة، ويعيد تركيب الأدلة المحلية في مؤشر قطاعي يصلح للتخطيط وتحديد الأولويات والتطوير

---

1 هوك، ج. م.، «تحليل عمليات تعرية الضفاف النهرية»، مجلة الهيدرولوجيا، مج 42، ع 1–2، 1979، ص 39–62، المعرّف الرقمي: 10.1016/0022-1694(79)90005-2؛ رينالدي، م.، وداربي، س. إ.، «نمذجة عمليات تعرية الضفاف وآليات الفشل الكتلي»، ضمن الأنهار ذات القيعان الحصوية، المجلد السادس، إلزفير، 2008، ص 213–239.

2 سيساكيان، ف. ك. وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني: مراجعة نقدية»، مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية، مج 10، ع 4، 2020، ص 1–25؛ سيساكيان، ف. ك.، والأنصاري، ن.، «جغرافية وجيومورفولوجية وطباقية وتكتونية حوض نهر الفرات»، المجلة نفسها، مج 9، ع 4، 2019، ص 315–337.

3 ساتي، ت. ل.، «عملية التحليل الهرمي: التخطيط وتحديد الأولويات وتخصيص الموارد»، ماكغرو–هيل، 1980؛ مالتشفسكي، ج.، «نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار»، وايلي، 1999؛ مالتشفسكي، ج.، «التحليل متعدد المعايير المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية: مسح للأدبيات»، المجلة الدولية لعلوم المعلومات الجغرافية، مج 20، ع 7، 2006، ص 703–726، المعرّف الرقمي: 10.1080/13658810600661508.

4 مرزاح، وائل نوري؛ محمود، رائد عزيز؛ لفتة، عامر عطية، «دراسة الخصائص الجيوتكنيكية لمنحدرات تربة ضفاف شط الحلة، وسط العراق»، المجلة الجيولوجية العراقية، مج 54، ع 2F، 2021أ، ص 97–109، المعرّف الرقمي: 10.46717/igj.54.2F.9ms-2021-12–26؛ مرزاح وآخرون، «الخصائص الجيوتكنيكية وثبات منحدرات تربة الضفاف في الجزء الشمالي من شط الحلة»، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، مج 29، ع 3، 2021ب، ص 257–276، المعرّف الرقمي: 10.29196/jubpas.v29i3.3986؛ نوري، وائل، «الخصائص الجيوتكنيكية وثبات منحدرات تربة الضفاف في الجزء الجنوبي من نهر الحلة»، مجلة سومر للعلوم الصرفة، مج 3، ع 1، 2024، ص 56–73.

5 معروف، بشار ف. وآخرون، «التقييم البيئي لتلوث نهر الحلة في محافظة بابل (العراق)»، مجلة المعهد الجغرافي «يوفان تسفييتش» التابعة للأكاديمية الصربية للعلوم والفنون، مج 73، ع 1، 2023، ص 1–16، المعرّف الرقمي: 10.2298/IJGI2301001M.

اللاحق بمسوحات حقلية.

2. مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في غياب نموذج مكاني موحد يدمج الأدلة المحلية المتفرقة حول ثبات الضفاف وخصائص التربة وشكل المجرى والغطاء الأرضي والتعرض البشري في تقييم مركب يحدد درجات الخطر وأولويات التدخل على مستوى القطاع الضفتي. فالدراسات المتاحة وفرت قياسات مهمة، لكنها بقيت منفصلة مكانياً أو موضوعياً ولم تتحول إلى خريطة قرار قابلة للاستخدام التخطيطي6.

3. أهمية البحث

وتتحدد أهمية البحث في تحويل المعرفة المنشورة من وصف موضعي إلى نمذجة مكانية مركبة تربط الجيومورفولوجيا التطبيقية بجغرافية الأخطار والتحليل متعدد المعايير. وتطبيقياً، يوفر البحث أساس قرار أولي لإدارة ضفاف بابل وتوجيه الحماية وتنظيم حرم النهر وتحديد مواقع الفحوص التفصيلية.

4. أهداف البحث

ويهدف البحث إلى:

- بناء قاعدة بيانات قطاعية موحدة لمحددات تعرية الضفاف في منطقة الدراسة
- تقويم الأهمية النسبية للمحددات الجيومورفولوجية والجيوتكنيكية والهيدروديناميكية والبيئية والتعرضية
- إنتاج مؤشر مركب لمخاطر تعرية الضفاف داخل بيئة GIS باستعمال AHP؛
- تصنيف القطاعات الاستراتيجية والمقاطع التنفيذية بحسب درجات الخطر والأولوية؛
- صياغة إطار تدخل تخطيطي وهندسي أولي قابل للتحديث.

5. فرضيات البحث

وتقوم الدراسة على أربع فرضيات: أن المنعطفات الفعالة والضفاف الخارجية أعلى حساسية؛ وأن انخفاض عامل الأمان، خاصة مع تغير المنسوب، يرفع خطر الفشل حتى عند سرعات متوسطة؛ وأن الخطر يتضخم حين تتقاطع الشدة الطبيعية مع التعرض البشري؛ وأن المؤشر المركب يقدم للإدارة صورة مكانية أدق من أي مؤشر منفرد.

6. حدود البحث

1.6 الحدود المكانية

تغطي الدراسة محور شط الحلة والمقاطع الفراتية ذات الصلة داخل محافظة بابل، مع تركيز تحليلي أعلى على شط الحلة بسبب كثافة الشواهد المنشورة المتعلقة بثبات الضفاف والتعرض الحضري عليه[7].

---

6 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 97–101؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263؛ نوري، المصدر السابق، ص 56–72؛ الزبيدي، حسين أ. م. وآخرون، «التقييم البيئي لتغيرات الغطاء الأرضي في حوض نهر الحلة، العراق»، مجلة البيئة والإيكولوجيا والمحافظة، مج 27، ع 2، 2021، ص 937–946.

7 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 97–101؛ نوري، المصدر السابق، ص 56–72.

2.6 الحدود الزمانية

تعتمد الدراسة على بيانات منشورة ومتعددة التواريخ؛ إذ تتركز البيانات الجيوتكنيكية بين 2018–2025، في حين تمثل بيانات الغطاء الأرضي سلسلة زمنية للمدة 2014–2019، أما المرجعيات النظرية والمنهجية فتعود إلى الأدبيات الكلاسيكية والمعاصرة الأوسع[8].

3.6 الحدود الموضوعية

ينحصر موضوع البحث في التقييم المكاني المركب لمخاطر تعرية الضفاف النهرية، ولا يمتد إلى التصميم الإنشائي التفصيلي أو المحاكاة الهيدروليكية الكاملة. لذلك يركز على الخطر القطاعي وأولوية التدخل أكثر من حساب معدلات التراجع السنوية المباشرة.

4.6 الحدود المنهجية

يمثل النموذج الحالي تقييماً لدعم القرار قائماً على الأدبيات وبيئة نظم المعلومات الجغرافية، يدمج أدلة منشورة بعد توحيدها مكانياً ورتبياً. وهو صالح لتحديد الأولويات الاستراتيجية والتنفيذية الأولية، لكنه لا يغني عن الجسات والمقاطع العرضية والرفع الطبوغرافي والهيدروليكي قبل التصميم النهائي.

7. الإطار النظري والمفاهيمي

تُعرَّف التعرية الضفافية بأنها تراجع الحافة النهرية بفعل النحت المباشر أو الفشل الكتلي الناتج عن إضعاف القدم والتشبع وفقدان التماسك؛ ولذلك فهي عملية مركبة لا استجابة ميكانيكية بسيطة للجريان9. أما استقرار الضفة فيرتبط بقدرة المنحدر على مقاومة الانزلاق تحت تأثير القوى الجيوتكنيكية والهيدروليكية وتغير المنسوب10.

ويميز البحث بين الخطورة Hazard، أي إمكان حدوث عملية فيزيائية ضارة، والمخاطر Risk، أي النتائج السلبية المتوقعة عند تفاعل الخطورة مع التعرض والهشاشة11. وبذلك لا تتحول تعرية الضفة إلى خطر مكاني ذي أولوية إلا بوجود عناصر بشرية أو اقتصادية قابلة للتأثر.

---

8 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق، ص 939–944؛ العمار، حيدر ع.، «دراسة جيوتكنيكية وجيوكيميائية لتربة ضفاف شط الحلة في محافظة بابل، وسط العراق»، المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، مج 25، ع 1، 2025، ص 222–231، المعرّف الرقمي: 10.33899/earth.2024.144800.1177.

9 هوك، المصدر السابق، ص 39–41؛ رينالدي ودارابي، المصدر السابق، ص 213–221.

10 رينالدي ودارابي، المصدر السابق، ص 216–221؛ دونغ ثي، ت.، ودو منه، د.، «تقييم ثبات الضفاف النهرية تحت تأثير تغير منسوب النهر والتعرية الهيدروليكية»، مجلة المياه، مج 11، ع 12، 2019، رقم المقالة 2598، المعرّف الرقمي: 10.3390/w11122598.

11 الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، «الملحق الثاني: المعجم»، ضمن «تغير المناخ 2022: الآثار والتكيف والهشاشة»، مطبعة جامعة كامبريدج، 2022، ص 2897–2930، المعرّف الرقمي: 10.1017/9781009325844.029، ولا سيما ص 2911 و2921.

ويقصد بالتعرض Exposure تموضع السكان أو البنى التحتية أو الأصول الاقتصادية والثقافية في مناطق يمكن أن تتأثر سلباً، بينما تعني الهشاشة Vulnerability قابلية النظام للتضرر وضعف قدرته على المواجهة12. ويستخدم البحث القابلية Susceptibility للدلالة على الميل الفيزيائي للضفة إلى التعرية قبل إدخال التعرض البشري.

أما المؤشر المركب Composite Index فهو تجميع لمؤشرات فرعية موحدة ومرجحة لتمثيل ظاهرة لا يكفيها متغير واحد13. وتتبع قيمته في دراسات الأخطار من تحويل مؤشرات متباينة الوحدات إلى لغة قرار واحدة قابلة للمقارنة بين القطاعات. ويُعد AHP أداة مناسبة لاشتقاق الأوزان من المقارنات الزوجية واختبار اتساقها قبل التراكب المكاني14.

ويشير MCDA المكاني إلى دمج التحليل الجغرافي في GIS مع أوزان القرار لإنتاج خرائط أولويات تعكس بنية المشكلة لا شدة العملية وحدها15. وتتبع أهميته هنا من أن القيم المورفوديناميكية والجيوتكنيكية، على أهميتها، قد تقود إلى ترتيب ناقص إذا عُزلت عن التعرض ووظيفة المكان النهري. لذلك يقدم هذا المنظور إطاراً يربط آلية الخطر بنتيجته التخطيطية.

8. الدراسات السابقة

1.8 الدراسات الجيومورفولوجية

قدمت الدراسات الجيومورفولوجية الإقليمية والمحلية تفسيراً أساسياً لبيئة بابل النهرية؛ فقد وصف سيساكيان وآخرون السهل الرسوبي العراقي بوصفه وحدة تراكمية منخفضة الانحدار تهيمن عليها العمليات الفيضية والمجاري الملتوية والأحواض المنخفضة16، وبيّن سيساكيان والأنصاري ضعف طاقة الفرات داخل السهل الرسوبي بما يعزز النشاط الجانبي مقارنة بالحت الرأسي17. ومحلياً، وثقت دراسة الأسدي وجاسم تغيرات شط الحلة بين سدة الهندية ومركز الحلة، وأظهرت أثر المنعطفات والتغيرات الشكلية في النشاط البشري على الحافة18.

إلا أن هذه الدراسات، على أهميتها، بقيت تفسيرية أو وصفية ولم تدمج شكل المجرى وثبات الضفة وقيمة العناصر المعرضة في خريطة خطر مركبة.

2.8 الدراسات الجيوتكنيكية

---

12 المصدر نفسه، ص 2912 و2927.

13 مالتشفسكي، «نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار»، المصدر السابق، ص 33–42؛ مالتشفسكي، «التحليل متعدد المعايير المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية»، المصدر السابق، ص 703–709.

14 ساتي، المصدر السابق.

15 فان ويستن، المصدر السابق، ص 259–268؛ مالتشفسكي، «نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار»، المصدر السابق، ص 18–22؛ مالتشفسكي، «التحليل متعدد المعايير المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية»، المصدر السابق، ص 703–726.

16 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق، ص 1–12.

17 سيساكيان والأنصاري، المصدر السابق، ص 315–320.

18 الأسدي، كفاح صالح، وجاسم، شذى عبد الكريم، «التغيرات الجيومورفولوجية لشط الحلة من سدة الهندية حتى مركز مدينة الحلة وأثرها في النشاط البشري»، مجلة آداب الكوفة، مج 1، ع 27، 2016، ص 101–126، المعرّف الرقمي:10.36317/kaj/2016/v1.i27.6395 .

مثلت الدراسات الجيوتكنيكية على شط الحلة قاعدة محلية دقيقة؛ إذ أظهرت دراسة القطاع الوسطي تباين عامل الأمان بين بابل القديمة وجسر بتة والخسروية مع أثر السرعة وزاوية الاصطدام19، وأثبتت دراسة الشمال أن المحاويل أضعف من السدة وسنجار من جهة ثبات الضفة وقدرة التحمل20، بينما بينت دراسة الجنوب أن تغير المنسوب ±2 م يخفض عامل الأمان إلى قيم حرجة في الوزير والإبراهيمية والهاشمية21. وتؤكد هذه النتائج أن الخطر لا يتوزع خطياً على طول المجرى، بل يتشكل موضعياً بحسب تلاقي المنعطف مع مادة الضفة وحالة الماء.

كما وفرت دراسات التربة والجيوكيمياء بيانات عن حدود السيولة واللدونة والكثافة والملوحة والجبس والكبريتات، وهي مؤشرات تفسر تفكك مادة الضفة عند التشبع أو التجفاف، لكنها لم تُترجم وحدها إلى خرائط حساسية قطاعية22.

3.8 دراسات GIS/AHP والتحليل المكاني متعدد المعايير

أرست أدبيات AHP وMCDA الأساس العلمي لوزن المعايير وتكاملها في GIS23. كما بينت تطبيقات أخطار الضفاف، مثل دراسة الغانج، قدرة الاستشعار عن بعد وGIS على تحديد البؤر الحرجة24، وأثبتت دراسة فرايهاردت وفراي جدوى سلاسل Sentinel-1 في رصد تراجع الضفاف.25

غير أن هذه التطبيقات لا تعكس خصوصية بابل الرسوبية والجيوتكنيكية ولا تداخل الاستعمالات الحضرية على الحافة النهرية.

4.8 دراسات مخاطر الضفاف وتكامل العمليات

وتؤكد نماذج مخاطر الضفاف أن الدمج بين النحت القاعدي والفشل الكتلي والقسر الهيدروليكي وخصائص المنحدر

---

19 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101.

20 مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263.

21 نوري، المصدر السابق، ص 70–72.

22 العمار، المصدر السابق، ص 224–229؛ العمار، حيدر ع. س.، والخالدي، عامر عطية لفتة، وهادي، أحمد حسن، «تقييم تربة ضفاف جزء من شط الحلة في مدينة الحلة/محافظة بابل»، المجلة الدولية للهندسة المدنية والتكنولوجيا، مج 9، ع 11، 2018، ص 2306–2315.

23 ساتي، المصدر السابق؛ مالتشفسكي، «نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار»، المصدر السابق؛ مالتشفسكي، «التحليل متعدد المعايير المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية»، المصدر السابق.

24 ثاكور، ب. ك.، ولاها، ش.، وأغاروال، س. ب.، «دراسة خطر تعرية ضفاف نهر الغانج أعلى قناطر فاراكا باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية»، مجلة الأخطار الطبيعية، مج 61، ع 3، 2012، ص 967–987، المعرّف الرقمي: 10.1007/s11069-011-9944-z.

25 فرايهاردت، ي.، وفراي، أ.، «تقييم تعرية الضفاف النهرية في بنغلادش باستخدام سلسلة زمنية من صور رادار سنتينل-1 في منصة محرك غوغل إيرث»، مجلة الأخطار الطبيعية وعلوم نظام الأرض، مج 23، 2023، ص 751–770، المعرّف الرقمي: 10.5194/nhess-23-751-2023.

شرط لفهم الظاهرة26. كما يوضح فان ويستن أن إدارة الخطر تتطلب دمج خرائط العمليات مع خرائط العناصر المعرضة27.

جدول (1): عرض نقدي للدراسات السابقة ذات الصلة وبنيتها المنهجية.

الفئة	الدراسة	المنهج/المادة	ما أضافته	أوجه القصور
جيومورفولوجية إقليمية	سيساكيان وآخرون[28] وسيساكيان والأنصاري[29]	مراجعة نقدية وإقليمية للسهل الرسوبي وحوض الفرات	تفسير إطار الانحدار الضعيف، الطابع الفيضي، وانتشار المجاري الملتوية	بقيت على مستوى إقليمي ولم تُنتج خرائط خطر أو أولويات قطاعية محلية
جيومورفولوجية محلية	الأسدي وجاسم[30]	تحليل التغيرات الجيومورفولوجية لشط الحلة بين سدة الهندية ومركز الحلة	إثبات دينامية المنعطفات وآثارها في النشاط البشري	لم يدمج الثبات الجيوتكنيكي أو التعرض البشري ضمن نموذج قرار مكاني
جيوتكنيكية – القطاع الوسطي	مرزاح وآخرون[31]	قياسات عامل الأمان والسرعة وزوايا الاصطدام والخصائص الميدانية	إبراز هشاشة جسر بتة والخسروية مقارنة ببابل القديمة	نطاقه موضعي، ولم يُربط بسياق استعمال الأرض أو القطاعات الأخرى
جيوتكنيكية – القطاع الشمالي	مرزاح وآخرون[32]	تحليل ثبات الضفاف وقدرة التحمل في السدة والمحاويل وسنجار	تحديد المحاويل بوصفه أضعف مواضع الشمال من حيث الثبات	توقف عند مواقع منفصلة ولم ينتج نموذجاً مركباً للخطر

26 هوك، المصدر السابق، ص 39–41؛ رينالدي ودارابي، المصدر السابق، ص 216–221؛ دونغ ثي ودو منه، المصدر السابق.

27 فان ويستن، المصدر السابق، ص 259–268.

28 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق.

29 سيساكيان والأنصاري، المصدر السابق.

30 الأسدي وجاسم، المصدر السابق.

31 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق.

32 مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق.

الفئة	الدراسة	المنهج/المادة	ما أضافته	أوجه القصور
جيوتكنيكية – القطاع الجنوبي	نوري[33]	تحليل ثبات ضفاف المنعطفات مع محاكاة تغير المنسوب ±2 م	أظهر هبوطاً حرجاً لعامل الأمان في الوزير والإبراهيمية والهاشمية	لم يدمج الغطاء الأرضي أو التعرض أو الأوزان متعددة المعايير
تربة وجيوكيمياء الضفاف	العمار؛ العمار وآخرون[34][35]	حدود السيولة واللدونة والكثافة الجافة والأملاح والجبس والكبريتات	وفرت قاعدة تفسيرية لمادة الضفة وقابليتها للتدهور	لم تُترجم إلى خرائط حساسية قطاعية أو إلى أولويات تنفيذية
غطاء أرضي واستشعار عن بعد	الزبيدي وآخرون[36]	تصنيف Landsat-8 وNDVI على مستوى حوض نهر الحلة	إظهار هيمنة التربة العارية وتذبذب الماء والغطاء النباتي	النتائج على مستوى الحوض لا على مستوى المقاطع الضفتية الحرجة
نظم المعلومات الجغرافية/التحليل متعدد المعايير ومخاطر الضفاف	ثاكور وآخرون[37] وفرايهاردت وفراي[38]	استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لرصد التغيرات وبناء تقييمات مكانية	أثبتت جدوى الدمج المكاني متعدد الأزمنة في تحديد البؤر الحرجة	لا تعكس خصوصية السهول الرسوبية العراقية ولا تدمج الأدلة الجيوتكنيكية المحلية

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على الدراسات المشار إليها في المتن.

9. الفجوة البحثية

33 نوري، المصدر السابق.
34 العمار، المصدر السابق.
35 العمار والخالدي وهادي، المصدر السابق.
36 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق.
37 ثاكور وآخرون، المصدر السابق.
38 فرايهاردت وفراي، المصدر السابق.

تتحدد الفجوة البحثية في أن الدراسات السابقة، على اختلاف تخصصاتها، لم تقدم نموذجاً مكانياً مركباً يدمج:

- المؤشرات الجيومورفولوجية؛
- الأدلة الجيوتكنيكية المنشورة لقطاعات الشمال والوسط والجنوب؛
- المتغيرات الهيدروديناميكية الحساسة لتذبذب المنسوب؛
- نتائج الغطاء الأرضي؛
- طبقة التعرض البشري؛ ثم يحول الدمج إلى خريطة قطاعات استراتيجية ومقاطع ضفتية تنفيذية. وبذلك لا يضيف البحث قياساً موضعياً جديداً بقدر ما يعيد بناء المشكلة في صيغة قرار مكاني تربط الخطورة بالتعرض وتقبل التحديث.

10. البيانات والمواد ومصادرها

بُنيت قاعدة البيانات على مصادر منشورة ومحكمة تغطي خصائص المجرى والبيئة الرسوبية، وثبات الضفاف وخصائصها الجيوتكنيكية، والتعرض البشري والغطاء الأرضي. واختيرت هذه المصادر لأنها تمثل أفضل الشواهد المحلية المتاحة من حيث القياس أو التوثيق أو الإسناد المكاني، ولأنها تغطي قطاعات شمالية ووسطى وجنوبية من الممر النهري بما يسمح بالمقارنة القطاعية دون ادعاء اكتمال المسح الحقلي.

ولغرض الإخراج المكاني، حُولت إحداثيات محطات الضغط البشري على شط الحلة إلى صيغة عشرية، وبُني خط ممر تنفيذي S1–S10 اشتُقَّت منه قطاعات طولية وضفتية. وهذا تمثيل تخطيطي لترتيب الأولويات لا مسار هندسي رسمي للمجرى.

جدول (2): البيانات والمواد الرئيسة المعتمدة في بناء نموذج الخطر.

البيان	النطاق المكاني	المتغيرات الرئيسة	الدور التحليلي	المصدر
التحليل الجيومورفولوجي الإقليمي	السهل الرسوبي العراقي وحوض الفرات	الانحدار، البيئة الفيضية، البنية الرسوبية العامة	تحديد الإطار الجيومورفولوجي المرجعي	39
الثبات الجيوتكنيكي – الوسط	بابل القديمة–جسر بتة–الخسروية	عامل الأمان، السرعة، زاوية الاصطدام، التصريف	تمثيل الهشاشة الجيوتكنيكية والهيدروديناميكية للقطاع الوسطي	40

39 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق؛ سيساكيان والأنصاري، المصدر السابق؛ سيساكيان، ف. ك. وآخرون، «جيولوجية نهر الفرات مع التركيز على الجزء العراقي»، مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية، مج 8، ع 3، 2018، ص 167–185.

40 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق.

البيان	النطاق المكاني	المتغيرات الرئيسة	الدور التحليلي	المصدر
الثبات الجيوتكنيكي – الشمال	السدة–المحاويل–سنجار	عامل الأمان، قدرة التحمل، السرعة، زوايا الاصطدام	تمثيل خصائص القطاع الشمالي	41
الثبات الجيوتكنيكي – الجنوب	الوزير–الإبراهيمية–الهاشمية	عامل الأمان الطبيعي وتحت تغير المنسوب، السرعة، الزوايا	تمييز القطاع الأعلى هشاشة	42
خصائص التربة والجيوكيمياء	ضفاف شط الحلة في بابل	LL, PI، الكثافة الجافة، pH، EC، الجبس والكبريتات	تفسير قابلية مادة الضفة للتدهور	43
الغطاء الأرضي والاستشعار عن بعد	حوض نهر الحلة 2014–2019	تصنيف Landsat–8، NDVI، الماء، التربة، النبات	تمثيل السياق البيئي وحالة الغطاء	44
التعرض البشري ونقاط الضغط	الممر الحضري لشط الحلة	إحداثيات المحطات ووصف الأنشطة الضاغطة	بناء طبقة التعرض والأصول المعرضة	45
بيانات إخراج خرائطي	ممر المحطات S1- S10 وحدود المحافظة	خط المجرى المنشور ومحطات الرصد	إنتاج خرائط الموقع والمحطات والتقسيم التنفيذي	46

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المصادر المنشورة المشار إليها في الجدول.

11. منهجية البحث وخطوات بناء المؤشر المركب

41 مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق.
42 نوري، المصدر السابق.
43 العمار، المصدر السابق؛ العمار والخالدي وهادي، المصدر السابق.
44 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق.
45 معروف وآخرون، المصدر السابق.
46 المصدر نفسه.

اعتمدت الدراسة منهجاً تطبيقياً تركيبياً يجمع التحليل الوصفي–التفسيري للبيئة النهرية والتحليل المكاني الكمي متعدد المعايير. وتمثلت وحدات التحليل في خمسة قطاعات استراتيجية وتسعة مقاطع طولية و18 وحدة ضفتية على الممر المنشور.

حُولت المؤشرات إلى سلم رتبي خماسي (1=منخفض جداً، 5=عال جداً)، ثم حُولت القيمة المرجحة إلى درجة من 100 بضربها في 20. وعولجت المؤشرات المخفضة للخطر، مثل تحسن الغطاء النباتي، عكسياً بحيث تعني الدرجة الأعلى خطراً أعلى.

وطُبق AHP عبر مصفوفة مقارنة زوجية من خمسة معايير، ثم استُخرج متجه الأولوية واختبرت نسبة الاتساق وفق($CI=(\lambda max-n)/(n-1)$ و$CR=CI/RI$. ونُفذ بعد ذلك التراكب الوزني في GIS وفق مؤشر RBEI.

$$RBEI = [0.403(GM) + 0.244(GS) + 0.137(HY) + 0.079(LC) + 0.137(EX)] \times 20$$

ويمثل GM الحساسية الجيومورفولوجية، وGS القابلية الجيوتكنيكية، وHY القسر الهيدروديناميكي، وLC حالة الغطاء الأرضي، وEX التعرض البشري. وجرى التحقق النوعي بمقارنة ترتيب القطاعات مع الأدلة المستقلة الخاصة بعامل الأمان والسرعات وزوايا الاصطدام والضغط البشري. وقد استُخدم هذا التثليث لتجنب الاعتماد الآلي على الوزن العددي، وللتأكد من أن مخرجات النموذج لا تنفصل عن الشواهد المنشورة للميدان المحلي.

ويظل المؤشر قرارياً–قطاعياً لا خريطة بكسلية تفصيلية، لأن البيانات المنشورة غير متجانسة زمنياً ومكانياً. لذلك تكمن قيمته في ترتيب الأولويات وكشف بؤر الفحص التنفيذي، لا في استبدال المسح الحقلي أو التصميم النهائي. كما أن نتائجه قابلة للتحديث عند توفر خطوط ضفة متعددة التواريخ أو جسات جديدة أو قياسات هيدروليكية أدق.

جدول (3): المعايير والمؤشرات الفرعية ووحدات القياس ومنطق الترميز.

الرمز	المعيار	المؤشرات الفرعية	وحدة/مستوى القياس	منطق الترميز	المصدر
GM	الحساسية الجيومورفولوجية	معامل التعرج، شدة المنعطف، موضع الضفة الخارجية، شواهد النحت الجانبي	نسبة/فئة رتبية	ارتفاع قيمة GM يعني تعاظم الاستجابة المورفوديناميكية للنحت الجانبي	47

47 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق؛ سيساكيان والأنصاري، المصدر السابق؛ مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق؛ الأسدي وجاسم، المصدر السابق.

الرمز	المعيار	المؤشرات الفرعية	وحدة/مستوى القياس	منطق الترميز	المصدر
GS	القابلية الجيوتكنيكية	عامل الأمان FS، قدرة التحمل، خصائص اللدونة والتركيب الحبيبي، الأملاح/الجبس	بلا وحدة/طن م−2/فئة رتبية	ترتفع الدرجة مع انخفاض FS وزيادة حساسية مادة الضفة للتشبع والتفكك	48
HY	القسر الهيدروديناميكي	سرعة الجريان، زاوية اصطدام التيار، حساسية الثبات لتغير المنسوب	م/ث، درجة، فئة رتبية	ترتفع الدرجة مع السرعات الأعلى والاصطدام الأشد والتذبذب المائي الأخطر	49
LC	حالة الغطاء الأرضي/النباتي	نسبة الغطاء النباتي، سيادة التربة العارية، السياق البيئي للحوض	فئة رتبية	ترتفع الدرجة مع تراجع الغطاء النباتي وازدياد الانكشاف السطحي	50
EX	التعرض البشري	قرب الأصول والاستعمالات الحساسة، الجسور، مخارج الصرف، الردم، الأنشطة السياحية/الزراعية	فئة رتبية	ترتفع الدرجة مع تعاظم قيمة ما هو معرض للخطر وكثافة الضغط البشري	51

المصدر: إعداد الباحث استناداً إلى الإطار النظري والدراسات المحلية التطبيقية.

جدول (4): مصفوفة المقارنة الزوجية المعتمدة في AHP.

المعيار	GM	GS	HY	LC	EX
GM	1.0	2.0	3.0	4.0	3.0

48 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق؛ نوري، المصدر السابق؛ العمار، المصدر السابق؛ العمار والخالدي وهادي، المصدر السابق؛ دونغ ثي ودو منه، المصدر السابق.

49 رينالدي ودواربي، المصدر السابق؛ مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق؛ نوري، المصدر السابق؛ دونغ ثي ودو منه، المصدر السابق.

50 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق.

51 فان ويستن، المصدر السابق؛ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، المصدر السابق؛ معروف وآخرون، المصدر السابق.

المعيار	GM	GS	HY	LC	EX
GS	0.5	1.0	2.0	3.0	2.0
HY	0.333	0.5	1.0	2.0	1.0
LC	0.25	0.333	0.5	1.0	0.5
EX	0.333	0.5	1.0	2.0	1.0

المصدر: إعداد الباحث. تعكس القيم تفضيل المعيار الأكثر تأثيراً في توليد الخطر المكاني وفق منطق الأدلة المحلية.

جدول (5): الأوزان النسبية لمعايير النموذج المركب.

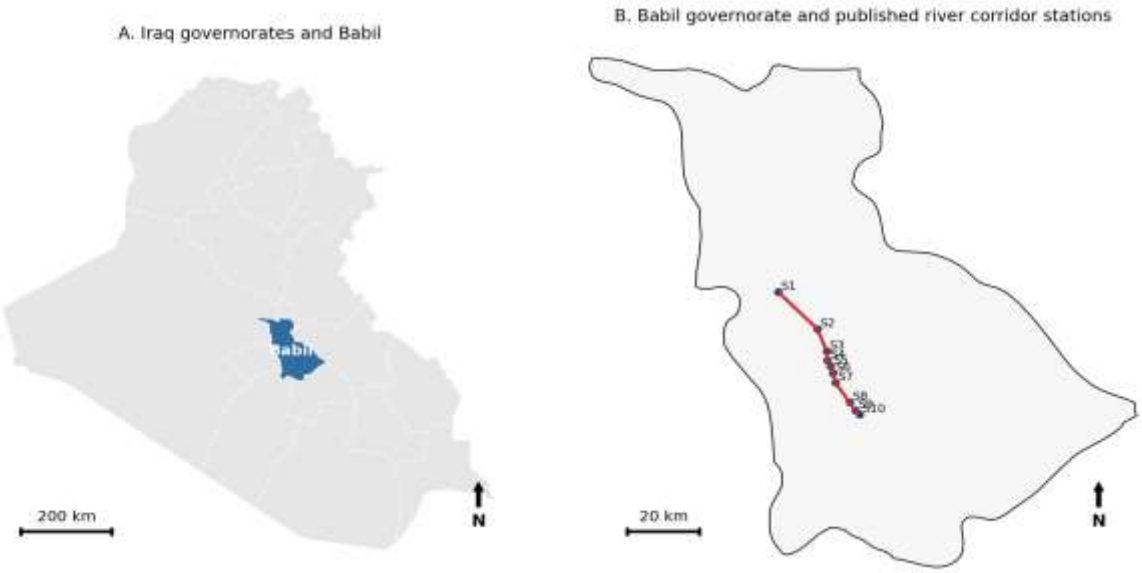
المعيار	الوصف	الوزن النسبي	الرتبة
GM	الحساسية الجيومورفولوجية	0.403	1
GS	القابلية الجيوتكنيكية	0.244	2
HY	القسر الهيدروديناميكي	0.137	3
LC	حالة الغطاء الأرضي	0.079	5
EX	التعرض البشري	0.137	3

المصدر: إعداد الباحث. يلاحظ تساوي وزنَي HY وEX، وتقدم GM وGS على بقية المعايير.

جدول (6): نتائج الاتساق لمصفوفة AHP.

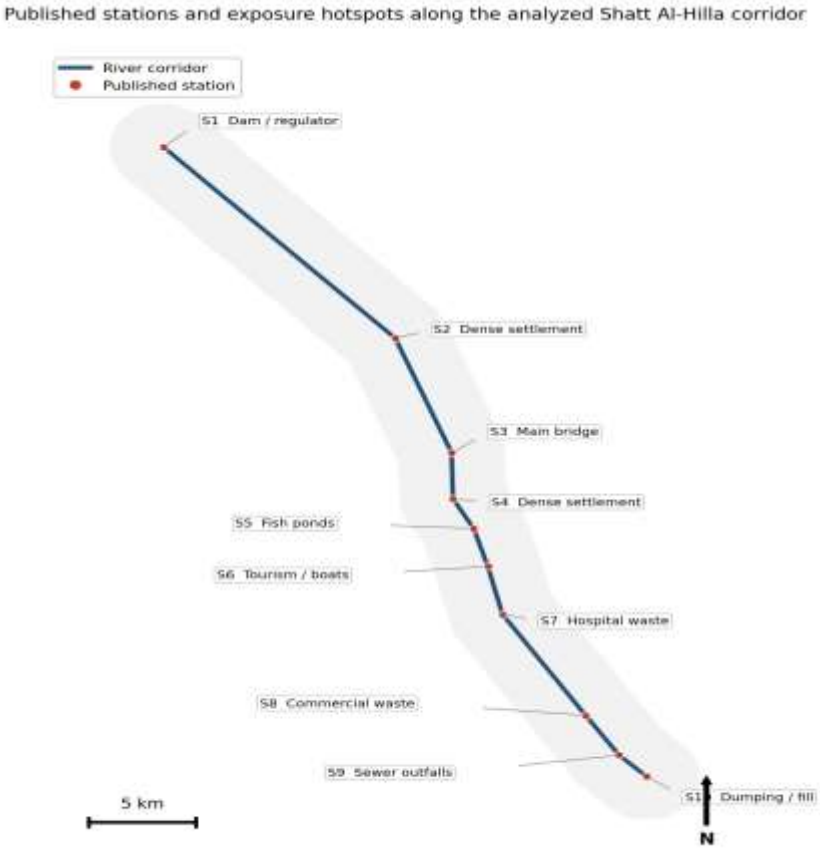
المؤشر	القيمة	التفسير
λmax	5.0331	الجذر الأعظمي للمصفوفة
CI	0.0083	مؤشر الاتساق
RI (n=5)	1.12	المؤشر العشوائي المرجعي
CR	0.0074	مقبول لأن $CR < 0.10$

المصدر: إعداد الباحث. تشير قيمة CR إلى اتساق ممتاز للأحكام الزوجية.



شكل (1): الموقع العام والإقليمي لمنطقة الدراسة.

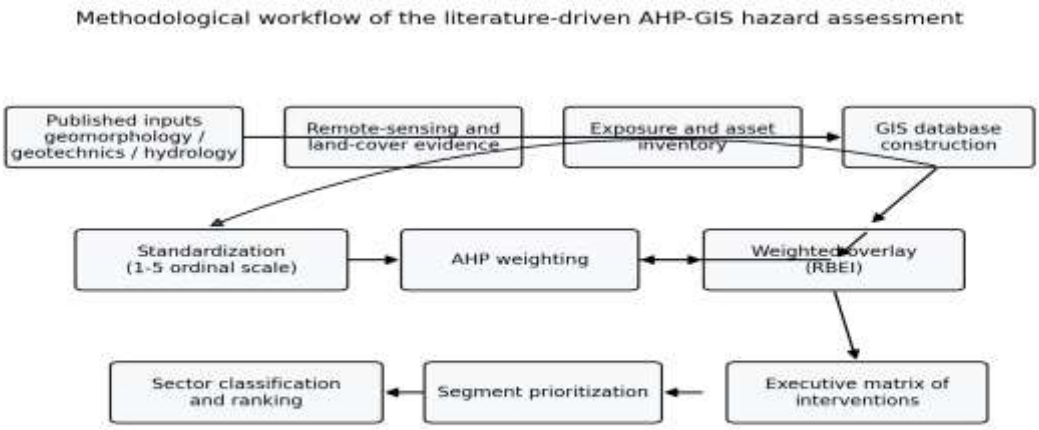
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على حدود محافظة بابل وإحداثيات المحطات المنشورة؛ سنة بيانات المحطات: 2021؛ نظام الإحداثيات لأغراض الإخراج: EPSG:3857.



شكل (2): محطات القياس المنشورة ومؤشرات التعرض البشري على امتداد الممر التنفيذي المدروس.

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على وصف المحطات وإحداثياتها المنشورة؛ سنة بيانات المحطات: 2021؛ نظام

الإحداثيات: EPSG:3857.52



شكل (3): مخطط العمل المنهجي لبناء التقييم القطاعي المركب في بيئة GIS.

المصدر: إعداد الباحث استناداً إلى منطق الدمج المكاني متعدد المعايير الوارد في[53].

12. الخصائص الطبيعية والمكانية لمنطقة الدراسة

1.12 الموقع والامتداد والخصائص الإقليمية

تقع محافظة بابل وسط العراق ضمن السهل الرسوبي، بين دائرتي عرض 32°05′–33°08′ شمالاً وخطي طول 44°02′–45°13′ شرقاً تقريباً، في مجال انتقالي بين الفرات المنظم شمالاً والسطوح الفيضية الأكثر انبساطاً جنوباً54. ويمنحها ارتباطها بتفرعات الفرات، ولا سيما شط الحلة، أهمية هيدرومورفولوجية وزراعية–حضرية واضحة، لأن المجرى يشكل في الوقت نفسه مورداً مائياً وحافة استعمال أرضي كثيفة55.

ويمثل شط الحلة محور الدراسة لأنه يتفرع من منظومة سدة الهندية ويخترق نطاقاً زراعياً–حضرياً كثيفاً قبل اتصاله بالقطاعات الجنوبية. وتؤكد الدراسات أن معامل تعرجه يبلغ 1.27، ما يدل على فاعلية الانحناء الجانبي للقناة56.

2.12 البنية الجيولوجية والرسوبية

تنتمي منطقة الدراسة إلى رواسب العصر الرباعي الحديثة ضمن بيئة ألوفية من الطين والغرين والرمال الدقيقة، مع

52 معروف وآخرون، المصدر السابق، ص 4، جدول 1.

53 فان ويستن، المصدر السابق، ص 259–268؛ ساتي، المصدر السابق؛ مالتشفسكي، «نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار»، المصدر السابق، ص 11–42.

54 معروف وآخرون، المصدر السابق، ص 1–4.

55 سيساكيان وآخرون، «جيولوجية نهر الفرات»، المصدر السابق، ص 167–172.

56 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–100.

سماكات رسوبية كبيرة موروثة من تراكمات السهل الرسوبي57. ولذلك فإن مادة الضفاف مفككة نسبياً وتتباين مقاومتها تبعاً للدقائق الناعمة والملوحة والجبس والكثافة الجافة.

وتفسر هذه البنية خطر الضفاف، لأن الفشل لا يرتبط بالانحدار أو السرعة فقط، بل باستجابة تعاقبات الطين–الغرين–الرمل للتشبع والتجفاف وتذبذب الضغوط المسامية58.

3.12 الخصائص الجيومورفولوجية للمجرى والضفاف

تسيطر على المجرى منعطفات وأكتاف طبيعية وسطوح فيضية حديثة ضمن إقليم شديد الانبساط59. وتُظهر الدراسات المحلية أن شط الحلة ينتقل بين الاستقامة النسبية والانحناء الفعال، ما يركز النحت على الضفاف الخارجية ويجعل بعض المقاطع قابلة للتحول السريع60.

لذلك لا يُقرأ الخطر على طول النهر كوحدة متجانسة، بل كبؤر مورفوديناميكية عند المنعطفات والقيود العمرانية والحافات التي تفقد حمايتها النباتية.

4.12 الخصائص الهيدرولوجية والهيدروديناميكية

تشير الأدبيات إلى أن الفرات داخل السهل الرسوبي يعمل في نظام انحدار ضعيف، وأن تغيرات محدودة في التصريف أو التنظيم قد تعيد توزيع السرعة والنحت والترسيب61. وتُظهر البيانات المحلية سرعات بين 0.80 و1.50 م/ث، مع زوايا اصطدام تصل إلى 70° في بعض المواضع62. وبذلك تصبح السرعة ذات أثر مختلف بحسب موقعها من المنعطف وبحسب استجابة مادة الضفة.

ويظهر تغير المنسوب بوصفه العامل الأكثر حساسية في القطاعات الجنوبية، لأنه يعيد توزيع الضغط المسامي ويضعف ثبات المنحدر كما بينت المحاكاة الجيوتكنيكية المحلية63.

5.12 أنماط الاستعمال الأرضي والتعرض البشري

57 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق، ص 10–12؛ العمار، المصدر السابق، ص 224–225.

58 رينالدي ودار‌بي، المصدر السابق، ص 216–221؛ دونغ ثي ودو منه، المصدر السابق.

59 سيساكيان وآخرون، «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني»، المصدر السابق، ص 1–12.

60 الأسدي وجاسم، المصدر السابق، ص 101–126.

61 سيساكيان والأنصاري، المصدر السابق، ص 315–320؛ سيساكيان وآخرون، «جيولوجية نهر الفرات»، المصدر السابق، ص 167–172.

62 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263؛ نوري، المصدر السابق، ص 56–63.

63 نوري، المصدر السابق، ص 70–72؛ دونغ ثي ودو منه، المصدر السابق.

لا يعمل النهر في بابل كمجرى مائي فقط، بل كواجهة عمرانية وخدمية واستثمارية تتقاطع فيها الجسور والطرق والأنشطة الترفيهية وأحواض الأسماك ومخارج الصرف. وقد وثقت المحطات المنشورة كثافات سكانية وجسراً رئيساً ومنطقة سياحية ومستشفى وردماً مباشراً على الضفة64.

وتشير بيانات الغطاء الأرضي لحوض نهر الحلة إلى سيادة التربة العارية وتذبذب مساحة الماء والغطاء النباتي خلال 2014–2019، ما يزيد قابلية الحافات للانكشاف وفقدان الحماية الحيوية65. لذلك يصبح التعرض جزءاً من بنية الخطر لا إضافة خارجية لها، لأن استعمالات الحافة قد ترفع قيمة الضرر المتوقع وتزيد في الوقت نفسه الضغط المباشر على الضفة عبر الردم والصرف والتحميل.

13. النتائج والتحليل التطبيقي لمخاطر تعرية الضفاف

1.13 نتائج المؤشرات الجيومورفولوجية

تُظهر قراءة الأدلة أن شط الحلة مجرى ملتوي بمعامل تعرج 1.27، مع تركز الضغط المورفوديناميكي عند الضفاف الخارجية والقطاعات الانتقالية66. لذلك سجلت الحساسية الجيومورفولوجية أعلى رتبها في الشمال الأوسط والجنوب (GM=5)، مقابل GM=4 في القطاعين الحضريين والشمال الأعلى.

وتؤكد النتيجة أن المنعطفات متغيرات مولدة للخطر، خاصة حين تقترن بضفة خارجية ضعيفة أو قيد عمراني يركز الجريان على الحافة.

2.13 نتائج المؤشرات الجيوتكنيكية وثبات المنحدرات

أظهرت البيانات تبايناً حاداً في عامل الأمان؛ ففي القطاع الوسطي سجلت بابل القديمة FS=3.44 مقابل 1.70 في جسر بتة و1.60 في الخسروية . وفي الشمال سجلت المحاويل FS=1.40 مقابل 2.30 في السدة و2.50 في سنجار. أما جنوباً فانخفضت القيم تحت تغير المنسوب ±2 م إلى 0.48–46.0 في الوزير، و0.21–20.0 في الإبراهيمية، و0.43–0.42 في الهاشمية .

لذلك مُنح القطاع الجنوبي أعلى رتبة جيوتكنيكية (GS=5)، بينما سجلت المحاويل–سنجار وبابل القديمة–جسر بتة–الخسروية GS=4، وسجل مركز الحلة والشمال الأعلى GS=3 (جدول 8).

جدول (7): خصائص المواقع المنشورة ذات الأثر المباشر في بناء المؤشر الجيوتكنيكي–الهيدروديناميكي.

الموقع	القطاع	عامل الأمان FS	السرعة (م/ث)	زاوية الاصطدام (درجة)	الدلالة التطبيقية	المصدر

64 معروف وآخرون، المصدر السابق، ص 4، جدول 1.

65 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق، ص 942–944.

66 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–100.

الموقع	القطاع	عامل الأمان FS	السرعة (م/ث)	زاوية الاصطدام (درجة)	الدلالة التطبيقية	المصدر
بابل القديمة	القطاع الوسطي	3.44	1.25	65	استقرار نسبي أفضل داخل القطاع الوسطي	67
جسر بتة	القطاع الوسطي	1.7	1.38	45	هشاشة مرتفعة في محور حضري حساس	68
الخسروية	القطاع الوسطي	1.6	1.0	42	قابلية مرتفعة للتراجع الضفافي	69
السدة	القطاع الشمالي	2.3	1.5	53	سرعة مرتفعة مع خطر متوسط–عال	70
المحاويل	القطاع الشمالي	1.4	1.38	45	أضعف مواضع الشمال من حيث الثبات	71
سنجار	القطاع الشمالي	2.5	1.3	70	استقرار أفضل نسبياً رغم زاوية الاصطدام	72
الوزير	القطاع الجنوبي	<– 2.30 0.48–0.46	0.9	55	هبوط حرج مع تغير المنسوب ±2 م	73
الإبراهيمية	القطاع الجنوبي	<– 2.85 0.21–0.20	0.88	35	أعلى حساسية لتذبذب المنسوب	74

67 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101.
68 المصدر نفسه.
69 المصدر نفسه.
70 مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263.
71 المصدر نفسه.
72 المصدر نفسه.
73 نوري، المصدر السابق، ص 56–63، 70–72.
74 المصدر نفسه.

الموقع	القطاع	عامل الأمان FS	السرعة (م/ث)	زاوية الاصطدام (درجة)	الدلالة التطبيقية	المصدر
الهاشمية	القطاع الجنوبي	<- 1.84 0.43-0.42	0.8	40	خطر مرتفع إلى عال جداً	[75]

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على[76].

3.13 نتائج المؤشرات الهيدروديناميكية

تراوحت سرعات الجريان المنشورة بين 0.80 و1.50 م/ث، وتراوحت زوايا الاصطدام بين 35° و70° . وباقترانها بضعف الضفاف، مُنحت قطاعات المحاويل–سنجار، وبابل القديمة–جسر بتة–الخسروية، ومركز الحلة رتبة HY=4، بينما سجل الجنوب HY=5 بسبب حساسية الثبات لتغير المنسوب.

وبذلك لا تقاس الهيدروديناميكية هنا بالسرعة وحدها، بل بعلاقتها بزاوية الاصطدام واستجابة الضفة لتذبذب الماء، وهو ما يفسر ارتفاع خطر الجنوب رغم أن سرعاته المطلقة ليست الأعلى دائماً.

4.13 نتائج الغطاء الأرضي والتعرض

أظهرت نتائج الغطاء الأرضي في حوض نهر الحلة سيادة التربة العارية خلال 2014–2019 مع تذبذب الماء والنبات، ما يبرر إدراج LC عاملاً معدلاً للخطر77. ومنحت الرتب الأعلى للمقاطع الحضرية الأكثر انكشافاً وتقييداً، ولا سيما مركز الحلة–جسر سعد–الثورة (LC=5)، بينما سجلت القطاعات الأخرى بين 3 و4. ويعني ذلك أن الغطاء لا يفسر الخطر منفرداً، لكنه يغير قابلية السطح للتفكك ويؤثر في كفاءة الحماية الجذرية للحافة.

أما التعرض البشري فبلغ أقصاه في بابل القديمة–جسر بتة–الخسروية ومركز الحلة–جسر سعد–الثورة (EX=5) لتراكب الجسور والكثافة السكانية ومخارج الصرف، بينما سجل الجنوب EX=4 والشمالان EX=2.

جدول (8): تغيرات الغطاء الأرضي في حوض نهر الحلة خلال المدة 2014–2019.

السنة	المياه (كم2)	التربة العارية (كم2)	الغطاء النباتي (كم2)
2014	504.9	30471.12	5521.47
2015	290.21	32084.31	4121.85
2016	292.1	31045.55	5158.34
2017	425.69	31689.42	4378.02

75 المصدر نفسه.

76 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263؛ نوري، المصدر السابق، ص 56–63، 70–72.

77 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق، ص 942–944.

السنة	المياه (كم2)	التربة العارية (كم2)	الغطاء النباتي (كم2)
2018	295.07	31495.81	4710.11
2019	494.33	29242.37	6759.12

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على[78].

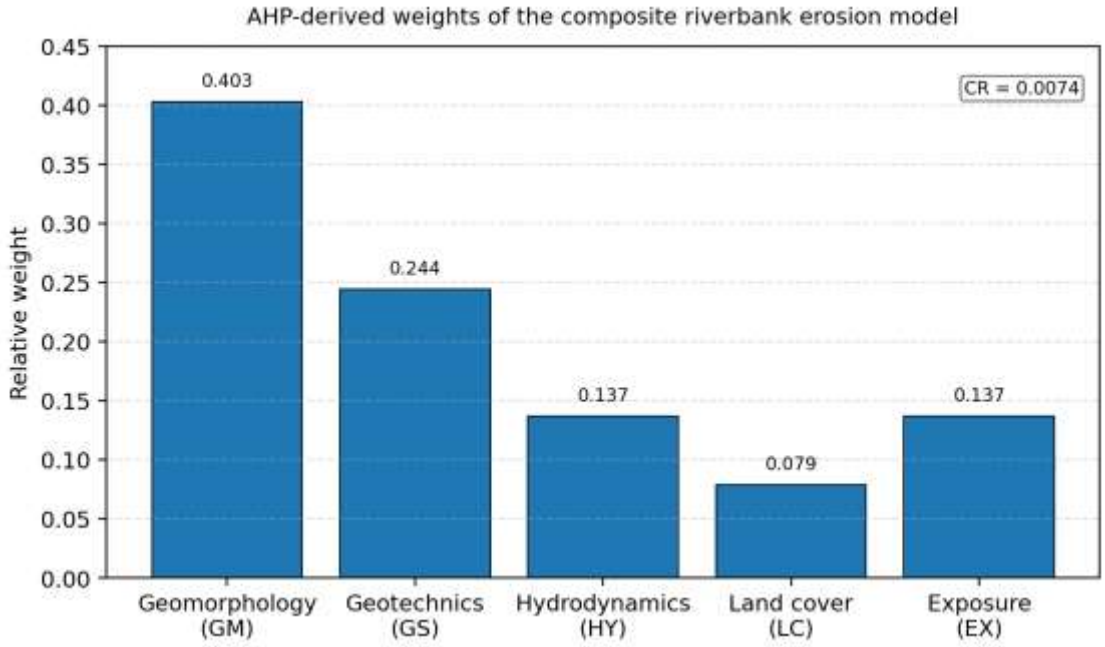
5.13 الأوزان النسبية وبناء نموذج AHP–GIS

أظهر AHP أن الحساسية الجيومورفولوجية هي الأثقل وزناً (0.403)، تليها القابلية الجيوتكنيكية (0.244)، ثم القسر الهيدروديناميكي والتعرض البشري (0.137 لكل منهما)، وأخيراً الغطاء الأرضي (0.079). وبلغت نسبة الاتساق CR=0.0074، وهي أقل كثيراً من الحد المقبول 0.10، مما يدل على أن مصفوفة المقارنة الزوجية لم تكن عشوائية أو متناقضة داخلياً.

وتعني هذه الأوزان أن شكل المجرى يوجه توزيع الخطر، لكن الترتيب النهائي لا يستقر إلا بإدخال قابلية مادة الضفة والتعرض البشري في التراكب الوزني.

شكل (4): التمثيل القطاعي للمؤشرات المعيارية بعد التوحيد الرتبي (1–5).

المصدر: إعداد الباحث. تمثل القيم القطاعية حصيلة معايرة الأدلة المنشورة داخل قاعدة بيانات الدراسة.



شكل (5): الأوزان النسبية لمعايير النموذج المركب وفق AHP.

المصدر: إعداد الباحث. تظهر الصورة البصرية تقدم الحساسية الجيومورفولوجية والقابلية الجيوتكنيكية على بقية المعايير.

6.13 تصنيف القطاعات بحسب درجات الخطر

بعد تطبيق التراكب الوزني، سجل قطاع الوزير–الإبراهيمية–الهاشمية–الكفل أعلى خطر مركب (100/94.1) ضمن الفئة العالية جداً. وجاء بعده قطاع بابل القديمة–جسر بتة–الخسروية (100/82.7)، ثم المحاويل–سنجار/الشمال الأوسط (100/81.0)، ثم مركز الحلة–جسر سعد–الثورة (100/79.4)، في حين سجل الشمال الأعلى أدنى قيمة نسبية (100/65.3) (جدول 9؛ شكل 6).

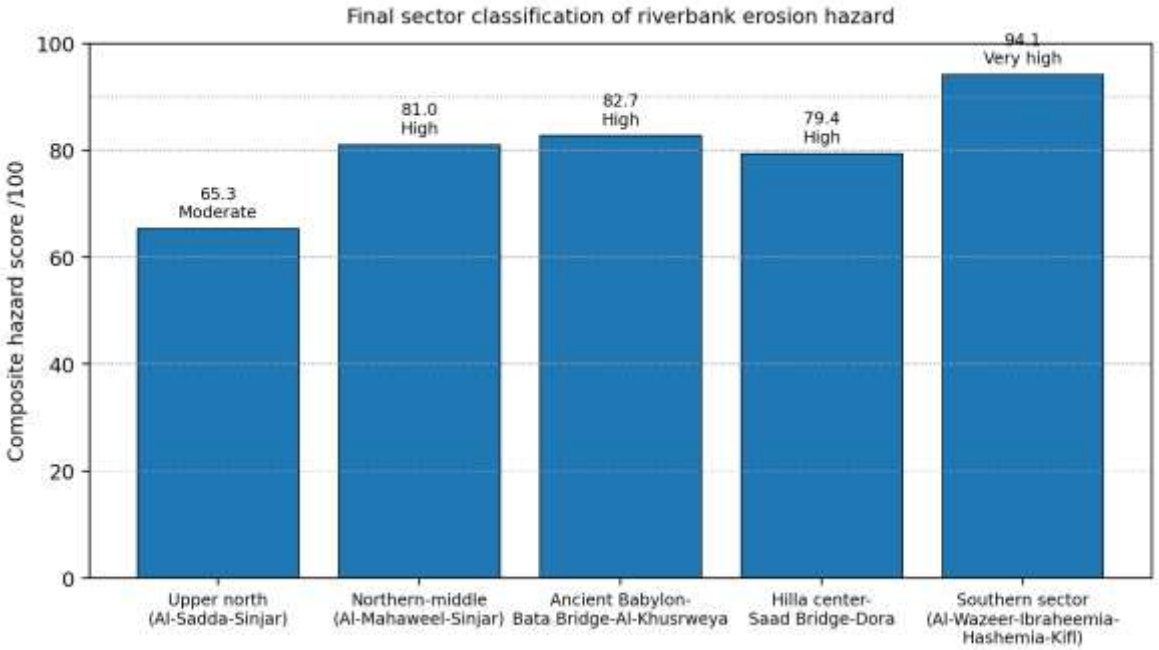
ويبين الترتيب أن أولوية التدخل لا تتحدد بالدرجة وحدها، بل بمزيجها مع التعرض؛ لذلك يبقى مركز الحلة حساساً تنفيذياً رغم أن درجته أقل من بعض القطاعات.

جدول (9): التصنيف القطاعي النهائي لمخاطر تعرية الضفاف ومكوناته المعيارية.

القطاع	GM	GS	HY	LC	EX	الدرجة النهائية /100	الفئة	أولوية التدخل
السدة–سنجار/الشمال الأعلى	4	3	3	3	2	65.3	متوسط	مراقبة ومعالجات موضعية
المحاويل–سنجار/الشمال الأوسط	5	4	4	3	2	81.0	عال	تدعيم وقائي وفحص موضعي

القطاع	GM	GS	HY	LC	EX	الدرجة النهائية /100	الفئة	أولوية التدخل
بابل القديمة–جسر بتة–الخسروية	4	4	4	4	5	82.7	عال	أولوية حضرية–هندسية عالية
مركز الحلة– جسر سعد–الثورة	4	3	4	5	5	79.4	متوسط–عال	تنظيم استعمالات + حماية موضعية
الوزير–الإبراهيمية–الهاشمية–الكفل	5	5	5	3	4	94.1	عال جداً	تدخل عاجل ومسوح تفصيلية

المصدر: إعداد الباحث. تمثل القيم GM–GS–HY–LC–EX الرتب المعيارية (1–5) التي أدخلت إلى نموذج التراكب الوزني.



شكل (6): التصنيف القطاعي النهائي لمؤشر مخاطر تعرية الضفاف.

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نتائج نموذج RBEI.

7.13 خريطة الأولويات التنفيذية على مستوى المقاطع الضفتية

في المستوى التنفيذي، حُوِّل الممر المنشور S1–S10 إلى تسعة مقاطع طولية و18 وحدة ضفتية. وأظهرت النتائج أن RB–08 وRB–09 وLB–02 وRB–07 تقع ضمن الفئة A1 ذات الأولوية الإنشائية العاجلة، وأن LB–05

وLB-01 ضمن الفئة A2، بينما توزعت بقية المقاطع بين B وC وفق شدة الخطر والتعرض (جدول 10 و11؛ شكل 7).

ويمثل هذا المخرج انتقالاً من التصنيف الاستراتيجي إلى وحدات ضفتية قابلة للبرمجة المرحلية والمعالجة المتمايزة.

جدول (10): ترتيب المقاطع الضفتية التنفيذية بحسب درجات الخطر والأولوية.

القطاع التنفيذي	الضفة	التسلسل الكيلومتري	الدرجة /100	فئة الأولوية	رمز المعالجة
LB-01	اليسرى	0.00− 13.00	89.7	A2	T3
RB-01	اليمنى	0.00− 13.00	65.5	C	T5
LB-02	اليسرى	13.00− 18.97	96.8	A1	T2
RB-02	اليمنى	13.00− 18.97	72.3	C	T4
LB-03	اليسرى	18.97− 21.21	82.1	B	T3
RB-03	اليمنى	18.97− 21.21	82.1	B	T3
LB-04	اليسرى	21.21− 22.86	81.4	B	T4
RB-04	اليمنى	21.21− 22.86	81.4	B	T4
LB-05	اليسرى	22.86− 24.78	93.1	A2	T2
RB-05	اليمنى	22.86− 24.78	74.0	C	T4
LB-06	اليسرى	24.78− 27.17	80.0	B	T4

القطاع التنفيذي	الضفة	التسلسل الكيلومتري	الدرجة /100	فئة الأولوية	رمز المعالجة
RB-06	اليمنى	24.78− 27.17	80.0	B	T4
LB-07	اليسرى	27.17− 33.07	75.9	C	T4
RB-07	اليمنى	27.17− 33.07	95.7	A1	T2
LB-08	اليسرى	33.07− 35.41	82.5	B	T3
RB-08	اليمنى	33.07− 35.41	100.0	A1	T1
LB-09	اليسرى	35.41− 36.90	84.9	B	T3
RB-09	اليمنى	35.41− 36.90	100.0	A1	T1

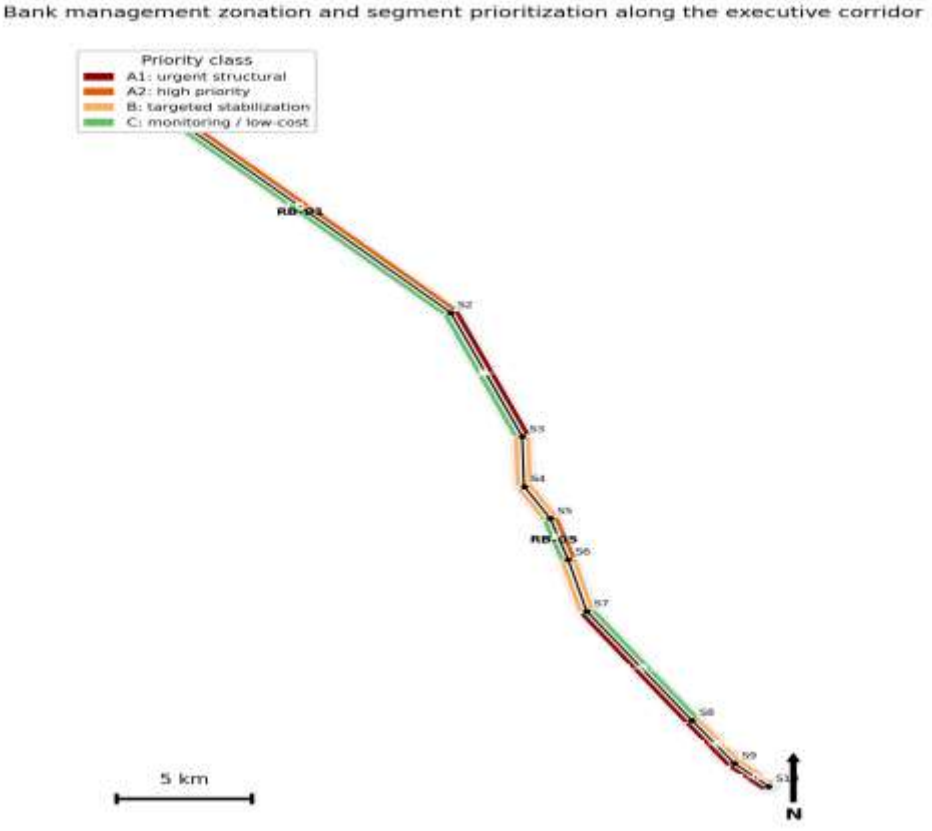
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على التقسيم التنفيذي للممر المنشور والدرجات القطاعية المعايرة مكانياً.

جدول (11): المصفوفة التنفيذية للمعالجات المقترحة بحسب رمز التدخل.

الرمز	فئة المعالجة	المعالجة الإرشادية	مجال التطبيق	الهدف التنفيذي	الاشتراطات غير الإنشائية
T1	تدعيم إنشائي عاجل	تكسية حجرية + قدم غابيون + ضبط الصرف	مقاطع A1 ذات الخطر الأعلى ووجود نحت قاعدي/تحميل مرتفع	حماية القدم، تبديد طاقة الجريان، تخفيض التشبع السطحي	منع التحميل على الحافة، فحص جسات وتصريفات قبل التنفيذ

الرمز	فئة المعالجة	المعالجة الإرشادية	مجال التطبيق	الهدف التنفيذي	الاشتراطات غير الإنشائية
T2	تثبيت شبه صلب	فرش غابيون + إعادة تنظيم الميل	A1-A2حيث يظهر فشل منحدر مع حاجة لإعادة تشكيل	إعادة تشكيل الميل وتحسين مقاومة القدم	مراقبة موسمية بعد الذروة المائية
T3	تثبيت حيوي–إنشائي خفيف	حماية قدم الضفة + تثبيت نباتي	B والمقاطع التي تسمح بدمج الحلول الحيوية	خفض النحت السطحي وتحسين التماسك الجذري	استبعاد الأنواع النباتية غير الملائمة ومراقبة البقاء
T4	إعادة تنظيم الميول والغطاء	إعادة تنظيم الميل + حزام نباتي	B–C حيث تكون المشكلة أساساً في ميل غير مناسب أو انكشاف السطح	خفض قابلية الانهيار الموضعي وتحسين الحافة	ضبط الصرف السطحي ومنع الردم العشوائي
T5	إدارة وقائية ومراقبة	مراقبة + ضبط حرم التراجع	C والمقاطع الأقل خطورة أو الأقل تعرضاً	منع تفاقم الخطر والمحافظة على حرم أمان	مراجعة سنوية لخط الضفة وتحديث قاعدة البيانات

المصدر: إعداد الباحث. تمثل المعالجات المقترحة أدوات إرشادية لدعم القرار، وليست تصاميم هندسية نهائية.



شكل (7): تقسيم إدارة الضفاف وترتيب المقاطع التنفيذية على امتداد الممر المنشور.

المصدر: إعداد الباحث. سنة بيانات المحطات الأساس: 2021؛ نظام الإحداثيات: EPSG:3857. الخريطة تنفيذية–إرشادية لدعم القرار وليست مخطط تصميم نهائي.

14. المناقشة والدلالات التطبيقية

1.14 تفسير التباين المكاني لدرجات الخطر

يفسر التباين المكاني للخطر بتفاعل أربعة أنظمة. أولها التحكم الشكلي، إذ تتركز الاستجابة عند المنعطفات والضفاف الخارجية حيث يتعاظم النحت القاعدي وتتحول الطاقة الجانبية إلى الحافة79. وثانيها التحكم الجيوتكنيكي؛ فشدة الانعطاف لا تكفي لرفع الخطر إذا كانت مادة الضفة أعلى تماسكاً أو عامل الأمان أعلى، كما يظهر في اختلاف بابل القديمة عن جسر بتة والخسروية80. ولذلك فإن القطاع لا يُقرأ من زاوية شكله فقط، بل من قدرة مادته على مقاومة القوى الموجهة إليها.

أما التحكم الثالث فهو الهيدروديناميكي المرتبط بتذبذب المنسوب والسرعة وزاوية الاصطدام، وظهر أثره الأشد في الجنوب حيث تسبب تغير المنسوب في هبوط حرج لعامل الأمان81. ويتمثل التحكم الرابع في التعرض البشري، إذ يفسر وجود الجسور والواجهات الحضرية ومخارج الصرف حساسية مركز الحلة التطبيقية82. ويجمع هذا التفسير بين آلية حدوث التعرية وقيمة ما يمكن أن يتضرر منها.

وعليه، فإن القطاعات الأعلى خطراً هي التي يتلاقى فيها الشد المورفوديناميكي وضعف مادة الضفة وقيمة الأصول المعرضة، لا التي تسجل أعلى قيمة لمعيار منفرد. وهذه النتيجة مهمة تخطيطياً لأنها تمنع توجيه المعالجة إلى المواقع ذات الشكل الخطر فقط، وتدفع إلى النظر في تكلفة الضرر واحتمال توسع الفشل.

2.14 مقارنة النتائج بالدراسات السابقة

تتفق النتائج مع الأدبيات التي تعد فشل الضفة نتاجاً لتفاعل النحت القاعدي والفشل الكتلي لا ظاهرة أحادية السبب83. كما تنسجم مع دراسات شط الحلة التي أبرزت أثر الضعف الجيوتكنيكي وتذبذب المنسوب في تحديد البؤر

79 هوك، المصدر السابق، ص 39–41؛ رينالدي وداربي، المصدر السابق، ص 213–221.
80 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101.
81 نوري، المصدر السابق، ص 70–72.
82 معروف وآخرون، المصدر السابق، ص 4، جدول 1.
83 هوك، المصدر السابق، ص 39–41؛ رينالدي وداربي، المصدر السابق، ص 216–221.

الحرجة84.

ومنهجياً، تتوافق الدراسة مع تطبيقات استخدمت GIS والاستشعار عن بعد لتقييم قابلية تعرية الضفاف85، لكنها تضيف دمج الأدلة الجيوتكنيكية المحلية الصريحة داخل مؤشر خطر مكاني، بدلاً من الاقتصار على التغير الشكلي أو الاستشعار عن بعد. وبذلك تصبح الخريطة الناتجة أقرب إلى أداة قرار أولي، لأنها تربط الدليل المورفولوجي بقياسات عامل الأمان وبنقاط الضغط البشري.

3.14 حدود النموذج ومصادر عدم اليقين

يتمثل الحد الأول للنموذج في أن قاعدة البيانات مأخوذة من دراسات مختلفة التواريخ والمقاييس والأهداف، ما يولد عدم يقين في المقارنة بين القطاعات. كما أن بيانات الغطاء الأرضي منشورة على مستوى الحوض لا على مستوى كل مقطع ضفتي86. ويضاف إلى ذلك أن بعض المؤشرات رُتبت رتبياً لا قياسياً بسبب عدم تجانس المصادر، وهو أمر ملائم للتخطيط الأولي لا للتصميم النهائي.

كذلك يعتمد التقسيم التنفيذي على خط المحطات المنشور، أي على تمثيل إرشادي للمجرى لا خط ضفة رسمي متعدد التواريخ. لذلك يستخدم ترتيب المقاطع لتوجيه الفحص التفصيلي لا كبديل عنه، مع بقاء قوة النموذج في شفافية منطقه واتساقه مع الشواهد المستقلة.

4.14 الدلالات التخطيطية والهندسية والإدارية

تُظهر النتائج أن إدارة ضفاف بابل لا يصح أن تعتمد حماية موحدة؛ فالقطاع الجنوبي يتطلب تثبيت القدم وفحص الاستقرار تحت تغيرات المنسوب، بينما تحتاج القطاعات الحضرية إلى ضبط استعمالات الحافة ومخارج الصرف والأحمال السطحية بالتوازي مع الحماية الفيزيائية. أما القطاعات الأقل تعرضاً فتحتاج إلى مراقبة وتدخلات وقائية تمنع انتقالها إلى فئات أعلى.

وتوفر الدراسة لغة مشتركة بين الجغرافية التطبيقية والهندسة والموارد المائية والبلديات، لأنها تحول تعدد المؤشرات إلى خرائط وجداول أولويات قابلة للتنفيذ.

5.14 أولويات التدخل التنفيذي

تنفيذياً، تتصدر المقاطع RB-08 وRB-09 وLB-02 وRB-07 الفئة A1، وهي تتطلب حماية القدم ومعالجة الميل وضبط الصرف ومنع التحميل على الحافة. أما A2 فتحتاج إلى تثبيت وقائي مبكر، بينما تسمح B وC بتدخلات أقل كلفة تعتمد التثبيت الحيوي وإعادة التشكيل المحدود والمراقبة. ولا ينبغي الشروع في أي معالجة إنشائية قبل التحقق من الجسات ومناسيب الماء وحالة التصريف المحلي.

---

84 مرزاح وآخرون (2021أ)، المصدر السابق، ص 99–101؛ مرزاح وآخرون (2021ب)، المصدر السابق، ص 257–263؛ نوري، المصدر السابق، ص 70–72.

85 ثاكور وآخرون، المصدر السابق، ص 967–987؛ فرايهاردت وفراي، المصدر السابق، ص 751–770.

86 الزبيدي وآخرون، المصدر السابق، ص 939–944.

وبذلك تحدد الدراسة ليس فقط أين يوجد الخطر، بل أين تبدأ دورة القرار التنفيذي ونوع المعالجة ومستوى الاستعجال.

15. الاستنتاجات

1. أثبت البحث أن مخاطر تعرية الضفاف في بابل بنية مكانية مركبة تنتج من تفاعل الحساسية الجيومورفولوجية والقابلية الجيوتكنيكية والقسر الهيدروديناميكي والغطاء الأرضي والتعرض البشري.

2. أظهر النموذج أن الحساسية الجيومورفولوجية هي المحرك الأول لتباين الخطر، غير أن تحويل الخطورة إلى أولوية تنفيذية يتطلب إدخال ثبات الضفة والتعرض البشري معاً.

3. سجل القطاع الجنوبي بين الوزير والإبراهيمية والهاشمية والكفل أعلى خطر مركب، بينما ظل الخطر الحضري في بابل القديمة ومركز الحلة عالياً تطبيقياً بسبب كثافة التعرض وقيمة الأصول.

4. أثبتت الدراسة أن إعادة توظيف البيانات المنشورة داخل GIS موحدة قادرة على إنتاج مخرج علمي وتخطيطي مفيد، بشرط الإفصاح عن حدود النموذج ومنطق التوحيد والترجيح.

5. تكمن إضافة البحث في نقل المعرفة المتفرقة عن ضفاف شط الحلة إلى مؤشر مكاني مركب وخريطة إدارة ضفاف وأولويات تنفيذية قابلة للتحديث.

16. التوصيات

1.16 توصيات تنفيذية

1. إعطاء أولوية عاجلة للمقاطع RB-08 وRB-09 وLB-02 وRB-07 بوصفها وحدات A1، مع تنفيذ كشف موقعي تفصيلي سريع يسبق أي معالجة إنشائية.

2. البدء في معالجة أقدام الضفاف في المقاطع الحرجة التي يتكرر فيها النحت القاعدي، مع ربط ذلك بتحسين تصريف المياه السطحية ومنع التسرب غير المنضبط إلى جسم الضفة.

3. اعتماد جدول تدخل مرحلي يبدأ بالفئة A1 ثم A2، على أن يُعاد تقييم المقاطع B وC بعد موسمي فيضان/شح متتاليين.

2.16 توصيات تخطيطية

1. اعتماد الخريطة القطاعية للمخاطر وخريطة الأولويات التنفيذية مرجعاً أولياً في تحديد حرم الأمان النهري داخل بابل، وعدم السماح بتوسيع استعمالات الحافة في المقاطع الحرجة قبل استكمال الفحوصات الجيوتكنيكية.

2. إدخال نتائج هذا البحث ضمن دراسات الأثر البيئي والهندسي للمشروعات الجسرية والسياحية والسكنية والزراعية الواقعة على حافة شط الحلة والمقاطع الفراتية ذات الصلة.

3. تنظيم مخارج الصرف والردم العشوائي والأنشطة الترفيهية عالية الضغط على الواجهة النهرية، لأنها تزيد الخطر سبباً ونتيجة في آن واحد.

3.16 توصيات هندسية

1. تفضيل حلول مركبة في المقاطع الأعلى خطراً تجمع بين حماية القدم، وإعادة تشكيل الميل، والتحكم بالصرف، بدلاً من الاكتفاء بحلول سطحية منفردة.

2. توجيه المعالجات الحيوية إلى المقاطع التي تسمح خصائصها المورفولوجية بذلك (الفئة B أساساً)، مع تجنب استخدامها بديلاً عن التثبيت الإنشائي في المقاطع A1.

3. إلزام أي تصميم تفصيلي لاحق بالجسات، والمقاطع العرضية، ورفع مناسيب المياه الفعلية، وتحليل ظروف التذبذب المائي قبل اعتماد نوع الحماية النهائي.

4.16 توصيات بحثية

1. استكمال تغطية المقاطع الأقل توثيقاً من الفرات الرئيس داخل المحافظة بحملات ميدانية جديدة تتضمن جسات ومقاطع عرضية وقياسات سرعة وزوايا اصطدام.

2. تحديث النموذج سنوياً باستخدام صور Sentinel-1 وSentinel-2 ولاندسات وخطوط ضفة متعددة التواريخ لبناء قاعدة بيانات دينامية لمخاطر الضفاف في بابل.

3. تطوير النموذج الحالي مستقبلاً إلى نموذج احتمالي أو سيناريوهات يختبر أثر تغيّر المنسوب، وتبدل استعمالات الأرض، وتدخلات الحماية المختلفة على استقرار الضفة.

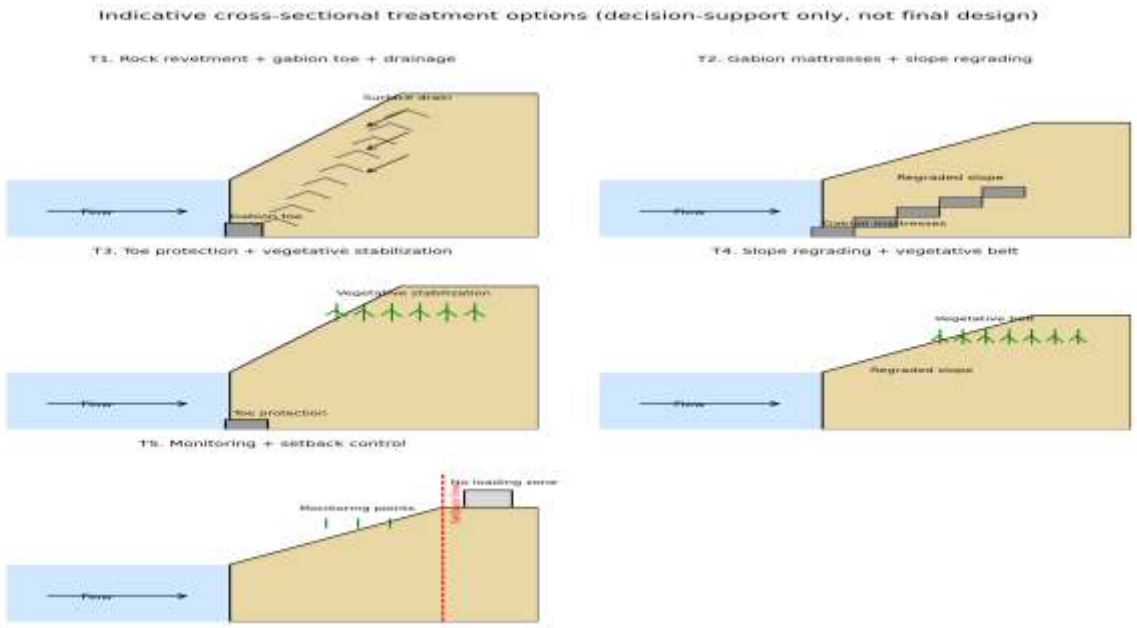
17. الملاحق الفنية والتنفيذية

1.17 ملحق مصفوفة AHP والتفسير الإجرائي

يبين هذا الملحق أن الأوزان ناتجة من مصفوفة مقارنة زوجية متسقة، تقدم الحساسية الجيومورفولوجية والقابلية الجيوتكنيكية لأنهما الأكثر تمثيلاً لبنية الخطر في السهل الرسوبي منخفض الانحدار، مع تثبيت وزن التعرض لضمان البعد التطبيقي.

2.17 ملحق تقسيم إدارة الضفاف

يقصد بهذا الملحق الانتقال من القطاع الاستراتيجي إلى الوحدة الضفتية التنفيذية. وتمثل الفئات A1 وA2 وB وC مستويات استعجال متدرجة تُقرأ دائماً مع رمز المعالجة وسياق الموضع الحقلي.



شكل (8): مخططات مقطعية إرشادية للمعالجات المقترحة على الضفاف.

المصدر: إعداد الباحث. المخططات قرارية–إرشادية لرفع القيمة التطبيقية للبحث، ولا تمثل رسومات تصميمية نهائية.

3.17 ملحق المصفوفة التنفيذية للمعالجات المقترحة

توضح المصفوفة التنفيذية أن رمز المعالجة لا يعني إجراءً منفرداً، بل حزمة تدخلات يحددها الفحص الموضعي. فالرموز T1–T5 توحد لغة القرار بين التخطيط والحماية والمراقبة ولا تستبدل التصميم التفصيلي.

18. المراجع

1. هوك، ج. م. (1979). «تحليل عمليات تعرية الضفاف النهرية». مجلة الهيدرولوجيا، 42(1–2)، 39–62. المعرّف الرقمي:10.1016/0022-1694(79)90005-2 .

2. رينالدي، م.، وداربي، س. إ. (2008). «نمذجة عمليات تعرية الضفاف وآليات الفشل الكتلي: تقدم نحو محاكاة مقترنة بالكامل». ضمن: الأنهار ذات القيعان الحصوية، المجلد السادس: من فهم العمليات إلى استعادة الأنهار، تحرير هـ. هابرسك، هـ. بيغاي، وم. رينالدي، إلزفير، 213–239.

3. لولر، د. م. (1993). «قياس تعرية الضفاف النهرية والتغير الجانبي للمجرى: مراجعة». مجلة عمليات سطح الأرض والأشكال الأرضية، 18(9)، 777–821. المعرّف الرقمي:10.1002/esp.3290180905 .

4. فان ويستن، ك. ج. (2013). «الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم الأخطار الطبيعية وإدارة مخاطر الكوارث». ضمن: موسوعة الجيومورفولوجيا، المجلد الثالث، تحرير ج. ف. شرودر وم. ب. بيشوب، إلزفير، 259–298. المعرّف الرقمي:10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8.

5. ساتي، ت. ل. (1980). عملية التحليل الهرمي: التخطيط وتحديد الأولويات وتخصيص الموارد. نيويورك: ماكغرو-هيل.

6. مالتشفسكي، ج. (1999). نظم المعلومات الجغرافية والتحليل متعدد المعايير في اتخاذ القرار. نيويورك: وايلي.

7. مالتشفسكي، ج. (2006). «التحليل متعدد المعايير المعتمد على نظم المعلومات الجغرافية: مسح للأدبيات». المجلة الدولية لعلوم المعلومات الجغرافية، 20(7)، 703-726. المعرّف الرقمي:10.1080/13658810600661508.

8. الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. (2022). «الملحق الثاني: المعجم». ضمن: تغير المناخ 2022: الآثار والتكيف والهشاشة، تحرير ف. مولر وآخرين، مطبعة جامعة كامبريدج، 2897-2930. المعرّف الرقمي : 10.1017/9781009325844.029.

9. ثاكور، ب. ك.، ولاها، ش.، وأغاروال، س. ب. (2012). «دراسة خطر تعرية ضفاف نهر الغانج أعلى قناطر فاراكا باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية». مجلة الأخطار الطبيعية، 61(3)، 967-987. المعرّف الرقمي10.1007/s11069-011-9944-z :.

10. فرايهاردت، ي.، وفراي، أ. (2023). «تقييم تعرية الضفاف النهرية في بنغلادش باستخدام سلسلة زمنية من صور رادار سنتينل-1 في منصة محرك غوغل إيرث». مجلة الأخطار الطبيعية وعلوم نظام الأرض، 23، 751-770. المعرّف الرقمي10.5194/nhess-23-751-2023 :.

11. سيساكيان، ف. ك.، الأنصاري، ن.، أدامو، ن.، العزاوي، م. خ.، عبد الله، م.، ولاوه، ي. (2020). «جيومورفولوجية السهل الرسوبي الرافديني: مراجعة نقدية». مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية، 10(4)، 1-25.

12.سيساكيان، ف. ك.، والأنصاري، ن. (2019). «جغرافية وجيومورفولوجية وطباقية وتكتونية حوض نهر الفرات». مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية، 9(4)، 315-337.

13. سيساكيان، ف. ك.، الأنصاري، ن.، أدامو، ن.، كنوتسن، س.، ولاوه، ي. (2018). «جيولوجية نهر الفرات مع التركيز على الجزء العراقي». مجلة علوم الأرض والهندسة الجيوتكنيكية، 8(3)، 167-185.

14. الأسدي، كفاح صالح، وجاسم، شذى عبد الكريم. (2016). «التغيرات الجيومورفولوجية لشط الحلة من سدة الهندية حتى مركز مدينة الحلة وأثرها في النشاط البشري». مجلة آداب الكوفة، 1(27)، 101-126. المعرّف الرقمي : 10.36317/kaj/2016/v1.i27.6395.

15. مرزاح، وائل نوري؛ محمود، رائد عزيز؛ لفتة، عامر عطية. (2021أ). «دراسة الخصائص الجيوتكنيكية لمنحدرات تربة ضفاف شط الحلة، وسط العراق». المجلة الجيولوجية العراقية، 54(f2) 109-97. المعرّف الرقمي: 10.46717/igj.54.2F.9ms-2021-12-26.

16. مرزاح، وائل نوري؛ محمود، رائد عزيز؛ لفتة، عامر عطية. (2021ب). «الخصائص الجيوتكنيكية وثبات منحدرات تربة الضفاف في الجزء الشمالي من شط الحلة عند مواقع المنعطفات، محافظة بابل/وسط العراق». مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، 29(3)، 257-276. المعرّف الرقمي:10.29196/jubpas.v29i3.3986 .

17. نوري، وائل. (2024). «الخصائص الجيوتكنيكية وثبات منحدرات تربة الضفاف في الجزء الجنوبي من نهر الحلة عند مناطق المنعطفات، محافظة بابل/وسط العراق». مجلة سومر للعلوم الصرفة، 3(1)، 56–73.

18. معروف، بشار ف.؛ عمران، مكي ح.؛ القيم، فؤاد ف.؛ سلمان، جاسم م.؛ حسين، بدر ن.؛ عبد اللطيف، مودة؛ كارناسينا، إياكوبو؛ الحسني، بان؛ جواد، محمد ر.؛ حسين، وئام أ. (2023). «التقييم البيئي لتلوث نهر الحلة في محافظة بابل (العراق)». مجلة المعهد الجغرافي «يوفان تسفييتش» التابعة للأكاديمية الصربية للعلوم والفنون، 73(1)، 1–16. المعرّف الرقمي10.2298/IJGI2301001M/ :.

19. الزبيدي، حسين أ. م.؛ سماكة، إسراء ص.؛ الرضا، زيد ع.؛ ناجي، علي س.؛ جابك، علي. (2021). «التقييم البيئي لتغيرات الغطاء الأرضي في حوض نهر الحلة، العراق». مجلة البيئة والإيكولوجيا والمحافظة، 27(2)، 937–946.

20. العمار، حيدر ع. (2025). «دراسة جيوتكنيكية وجيوكيميائية لتربة ضفاف شط الحلة في محافظة بابل، وسط العراق». المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، 25(1)، 222–231. المعرّف الرقمي:10.33899/earth.2024.144800.1177.

21. العمار، حيدر ع. س.؛ الخالدي، عامر عطية لفتة؛ هادي، أحمد حسن. (2018). «تقييم تربة ضفاف جزء من شط الحلة في مدينة الحلة/محافظة بابل». المجلة الدولية للهندسة المدنية والتكنولوجيا، 9(11)، 2306–2315.

22. دونغ ثي، ت.، ودو منه، د. (2019). «تقييم ثبات الضفاف النهرية تحت تأثير تغير منسوب النهر والتعرية الهيدروليكية». مجلة المياه، 11(12)، المقالة 2598. المعرّف الرقمي:10.3390/w11122598 .