ISSN: 1817-6798 (Print)
Journal of Tikrit University for Humanities
available online at: www.jtuh.org/

The Geomorphological Evolution of the Northern Al-Alam Meander for the Period 1950–2023

Mohammed Najm Khalaf

University of Tikrit / College of Arts

* *Corresponding author: E-mail* :اميل الباحث

***Keywords*:**
Tigris River
Northern Al-Alam meander
geomorphological change
river islands

A R T I C L E I N F O

Article history:

Received	3 Nov 2025
Received in revised form	14 Dec 2025
Accepted	14 Dec 2025
Final Proofreading	28 Feb 2026
Available online	28 Feb 2026

E-mail t-jtuh@tu.edu.iq

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER THE CC BY LICENSE
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

A B S T R A C T

reach of the Tigris River during the period 1950–2023 by examining changes in channel form, channel length and width, meander wavelength, river islands, and the natural and human factors influencing these changes. The study relied on 1950 CORONA aerial photographs and recent high-resolution satellite imagery (QuickBird/Google Earth), in addition to elevation data and a suite of GIS tools to apply several morphometric models, most notably Lane's balance model for evaluating the relationship between stream power and sediment load. The results indicate that the meander is governed by a distinctly depositional regime, as evidenced by the increase in sinuosity reflected in the rise of channel length from 5.64 km to 6.51 km and the increase in meander wavelength from 1.07 km to 1.9 km, accompanied by a major reduction in channel width from 445.7 m to 223.8 m. River islands exhibited clear spatial and temporal reorganization, transitioning from a single dominant island in 1950 to multiple smaller islands in 2023, which significantly influenced flow distribution. The study further revealed that seasonal tributaries (Wadi Mlih and Wadi Al-Khank) and human activities—particularly in-channel quarrying—played a central role in reshaping the meander and directing its migration. These geomorphic changes directly affected surrounding agricultural lots through both gains and losses in cultivated areas, underscoring the necessity of incorporating geomorphological considerations into agricultural planning and river management to ensure the long-term sustainability of the fluvial environment in the study area.© 2026 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit University

DOI: http://doi.org/10.25130/jtuh.33.2.2.2026.9

Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities

التطور الجيومورفولوجي لمنعطف العلم الشمالي للفترة ١٩٥٠ – ٢٠٢٣

محمد نجم خلف/ جامعة تكريت/ كلية الآداب

الخلاصة:

يهدف هذا البحث إلى تحليل التطور المورفولوجي لمنعطف العَلم الشمالي في المقطع الأوسط من نهر دجلة خلال المدة (١٩٥٠–٢٠٢٣)، من خلال تتبع التغيرات التي طرأت على شكل القناة، وطول المجرى،

وعرضه، وطول موجة الانعطاف، والجزر النهرية، مع تقييم العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في هذا التطور. اعتمدت الدراسة على الصور الجوية لعام ١٩٥٠ (CORONA) والمرئيات الفضائية الحديثة (QuickBird/Google Earth)، فضلاً عن بيانات الارتفاعات ومجموعة من أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتطبيق نماذج مورفومترية عدة، أهمها نموذج Lane لتحديد مدى توازن النهر بين طاقته المائية وحمل الرواسب. وأظهرت النتائج أن المنعطف يخضع لسيطرة واضحة للنظام الإرسابي، حيث ازدادت درجة التعرج عبر ارتفاع طول المجرى من (٥.٦٤ كم) إلى (٦.٥١ كم)، وطول موجة الانعطاف من (١.٠٧ كم) إلى (١.٩ كم)، في مقابل تضيق ملحوظ في عرض القناة من (٤٤٥.٧ م) إلى (٢٢٣.٨ م). كما شهدت الجزر النهرية إعادة تنظيم مكانية وزمانية واضحة، وانتقلت المنطقة من وجود جزيرة كبيرة مهيمنة في ١٩٥٠ إلى عدة جزر صغيرة ذات تأثير مباشر على توزيع التيار. وبينت الدراسة أن الأودية الموسمية (وادي مليح والخنك) والأنشطة البشرية، خصوصاً المقالع النهرية، لعبت دوراً بارزاً في إعادة تشكيل مسار المنعطف وتحديد اتجاه توسعه. وانعكست هذه التغيرات على المقاطعات الزراعية المجاورة عبر تغيّر المساحات المزروعة بالزيادة والنقصان، ما يؤكد أهمية دمج البعد الجيومورفولوجي في التخطيط الزراعي وإدارة موارد النهر لضمان استدامة البيئة النهرية في منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية :نهر دجلة، منعطف العَلم الشمالي، التغير المورفولوجي، الجزر النهرية، تحليل التغير.

المقدمة:

يُعدّ منعطف العلم الشمالي من أبرز المظاهر الجيومورفولوجية لنهر دجلة في مقطعه الأوسط، إذ يمثل تحولاً واضحاً في مسار النهر من الاتجاه الشمالي–الجنوبي إلى الاتجاه الغربي–الشرقي، ويقع ضمن بيئة طبيعية معقدة تتداخل فيها العوامل البنيوية والمناخية والهيدرولوجية. لقد أسهمت هذه الخصائص في جعله نظاماً نهرياً ديناميكياً نشطاً، يُظهر تغيرات مكانية وزمانية مستمرة في شكل المجرى وضفافه وجزره النهرية.

منذ منتصف القرن العشرين وحتى عام (٢٠٢٣)، شهد المجرى النهري في منطقة منعطف العلم تطوراً ملحوظاً في خصائصه المورفومترية، تمثل في زيادة طول المجرى وتبدل امتداد الضفاف واتساع المنعطفات وتكوّن جزر نهرية جديدة أو اندثار أخرى. ويُعزى هذا التطور إلى مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية؛ منها اختلاف البنية الجيولوجية لمكونات الضفاف، وتغير معدلات التصريف النهري، وتفاوت كثافة الغطاء النباتي، فضلاً عن تأثير النشاط البشري المتمثل بإنشاء السدود والتوسع الزراعي واستغلال مجرى النهر لأغراض الري.

إنّ دراسة التطور الجيومورفولوجي لمنعطف العلم الشمالي خلال المدة (١٩٥٠–٢٠٢٣) تمثل مدخلاً لفهم ديناميكية النظام النهري في هذه المنطقة، إذ تسعى إلى تتبع التغيرات المورفولوجية والفيزيائية التي طرأت على المجرى خلال فترة زمنية طويلة نسبياً، وتحليل العوامل المسببة لها وفق نهج مكاني وزماني دقيق يعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتحليل الصور الفضائية.

وتبرز أهمية الدراسة في أنها توفر قاعدة بيانات مكانية تُفيد في التخطيط لإدارة الموارد المائية وحماية الأراضي الزراعية والمناطق السكنية القريبة من الضفاف، فضلاً عن كونها تسهم في تفسير تطور المنعطفات النهرية في المقطع الأوسط من نهر دجلة، مما يُعدّ ذا قيمة علمية في الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية.

اولاً. مشكلة البحث:

شهد منعطف العلم الشمالي في المقطع الأوسط من نهر دجلة خلال المدة (١٩٥٠–٢٠٢٣) تطوراً واضحاً في شكله المورفولوجي نتيجة لتأثير العوامل الطبيعية والبشرية، إلا أن طبيعة هذا التطور ومدى تأثيره في البيئة المجاورة ما زالت غير محددة بدقة. ومن هذه المقولة تنطلق التساؤلات الاتية:

١. ما أبرز العوامل الطبيعية والبشرية التي أثرت في تطور مورفولوجية المنعطف؟
٢. ما مقدار التغيرات المورفومترية التي طرأت على شكل المنعطف خلال المدة المدروسة؟
٣. ما انعكاسات هذا التطور على المقاطعات الزراعية والمناطق المجاورة؟

ثانياً. فرضية البحث:

ينطلق البحث من الفرضيات الآتية:

١. إنَّ العوامل الطبيعية (الجيولوجية، التصريف المائي، الغطاء النباتي) والعوامل البشرية (التوسع الزراعي، إنشاء المقالع) كان لها دورٌ رئيس في تطور مورفولوجية منعطف العلم الشمالي خلال المدة (1950–2023).
٢. إنَّ شكل المنعطف قد شهد تغيرات مورفومترية ملحوظة تمثلت في تغير طول المجرى، واتساع عرض المنعطف، وتبدل طول الضفاف وموجة الانعطاف، فضلاً عن نشوء جزر نهرية وزوال أخرى.
٣. إنَّ التطور الجيومورفولوجي للمنعطف انعكس سلباً على المقاطعات الزراعية والمناطق المجاورة من خلال زيادة معدلات النحت في بعض الضفاف، والترسيب في أخرى، مما أثر على استقرار الأراضي الزراعية واستدامة استعمالها.

ثالثاً. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى:

١. **تحليل العوامل الطبيعية والبشرية** المؤثرة في التطور الجيومورفولوجي لمنعطف العلم الشمالي خلال المدة.(1950–2023)

٢. **قياس التغيرات المورفومترية** في شكل المنعطف باستخدام الصور الجوية والمرئيات الفضائية وتقنيات التحليل المكاني ضمن بيئة.(GIS)

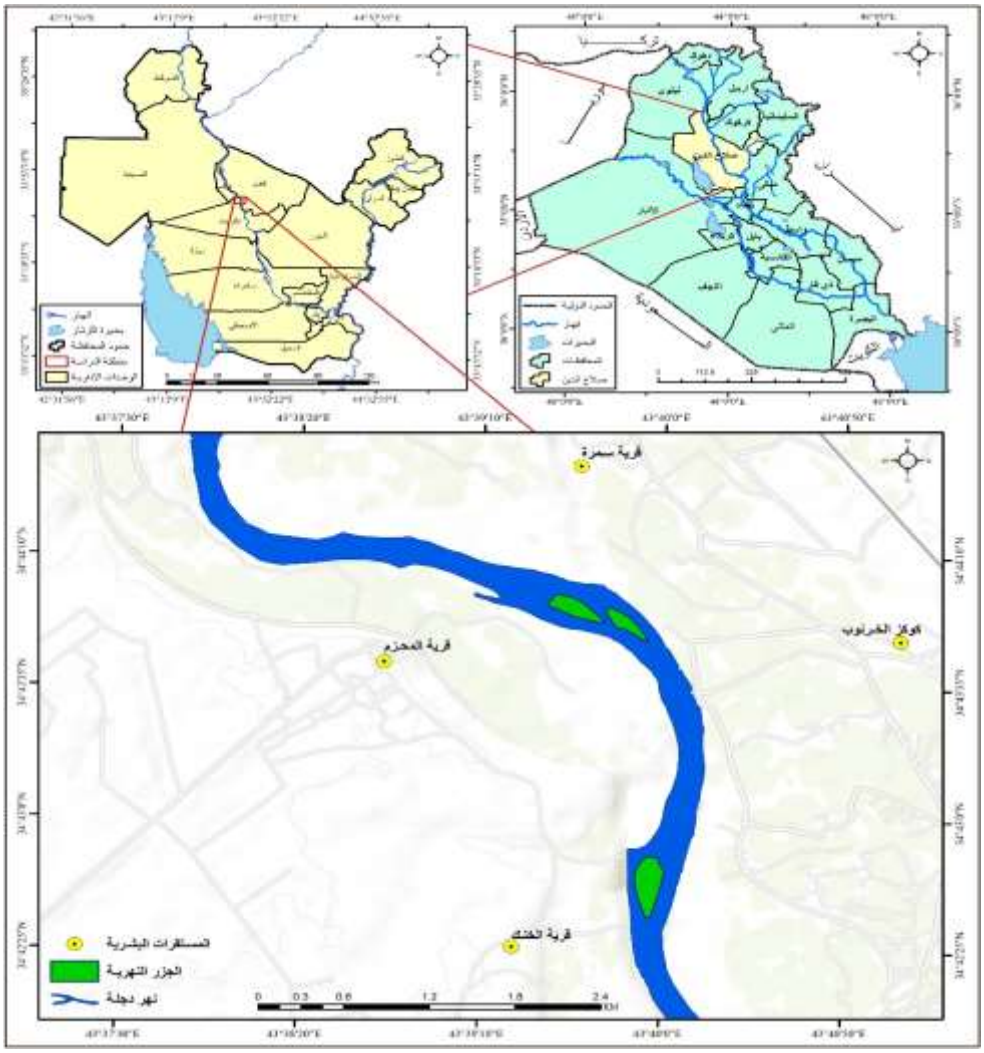
٣. **تحديد آثار هذا التطور** على المقاطعات الزراعية والمناطق المجاورة، وتقييم مدى استقرار الضفاف والمناطق القريبة من مجرى النهر.

٤. **توضيح ديناميكية المجرى النهري** وفهم الاتجاه الزمني لتطوره، بما يسهم في دعم الدراسات التطبيقية الخاصة بإدارة الموارد المائية وحماية الأراضي الزراعية.

رابعاً. موقع منطقة الدراسة:

تحددت منطقة الدراسة بمنعطف نهري ضمن نهر دجلة الواقع بين قريتي سمرة في الضفة اليسر وقرية المحزم في الضفة اليمنى للنهر بطول بلغ (٦.٥١)كم، والواقع فلكياً بين خطي طول (٤٠ ٣٧ ٤٣ _ ٠١ ٤١ ٤٣) شرقاً وبين دائرتي عرض (٥٠ ٤٤ ٣٤ _ ٠٠ ٤١ ٣٤) شمالاً، بمساحة بلغت (٢٦.٦)كم^{٢} وكما في الخريطة (١).

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على خريطة العراق الإدارية بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، وخريطة صلاح الدين الإدارية بمقياس ١:٢٥٠٠٠٠، والخريطة الطبوغرافية لمنطقة صلاح الدين لعام ٢٠٢٣.

خامساً. العوامل المؤثرة على تطور المنعطف النهري في منطقة الدراسة:

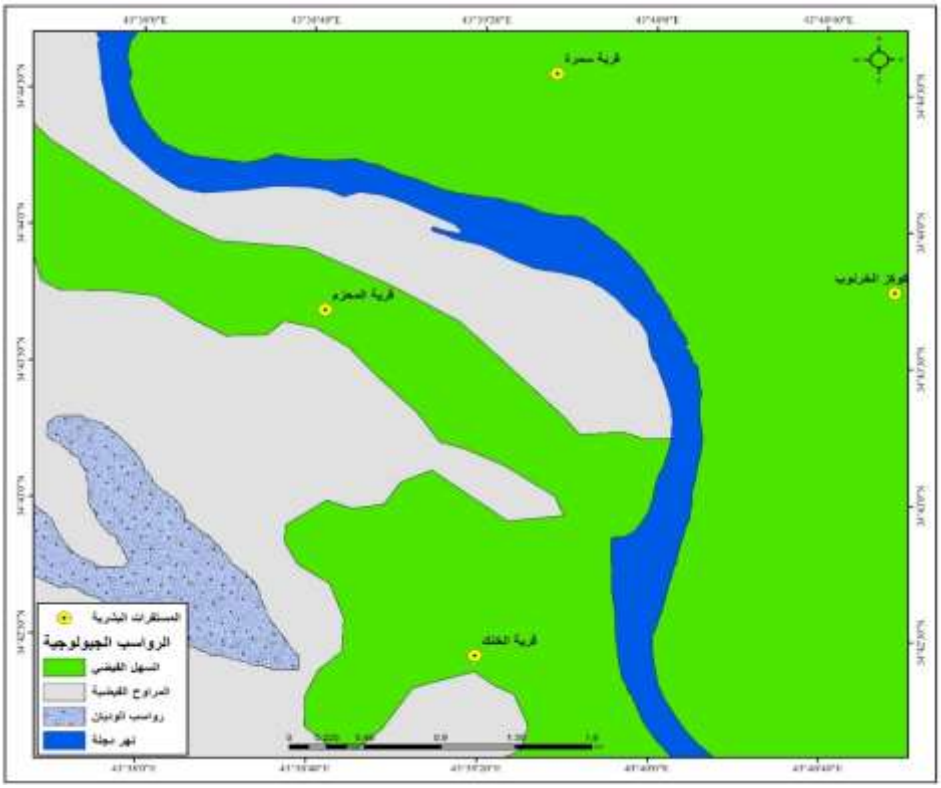
١. الجانب الجيولوجي لمنطقة الدراسة:

يُعد العامل الجيولوجي من أهم العوامل الطبيعية التي تتحكم في تطور المنعطفات النهرية، إذ تحدد التكوينات والرسوبيات الجيولوجية طبيعة السطح وقابليته للتعرية أو الترسيب، مما ينعكس بشكل مباشر على شكل المجرى النهري، وانحناءاته، وثباته أو حركته عبر الزمن.(١)

تُظهر التكوينات الجيولوجية في المنطقة تبايناً واضحاً في أنواع الرواسب وتركيبها وكما في الخريطة (٢) والجدول (١)، الأمر الذي انعكس على شكل المجرى النهري واتجاه انحرافه. حيث تسود في الجزء الأوسط والشرقي من المنطقة رواسب السهل الفيضي (ذات مساحة ١٦.٣ كم^2 بنسبة ٦١.٣%)، وهي تكوينات

غرينية طينية ناعمة تغطي مساحات واسعة على ضفتي النهر، خصوصاً في الجهة الشرقية المقابلة لقرية الخزنب. هذه التكوينات تُعد من أكثر البيئات تعرضاً للفيضانات، نظراً لانخفاضها النسبي وقابليتها العالية للتشبع بالمياه، وقد أدى ذلك إلى نشوء منعطفات واسعة ومنبسطة يسهل فيها تغير مسار المجرى مع مرور الزمن. أما في الجهة الغربية من المنطقة، ولا سيما في الامتداد الواقع قرب قرية المحزم وقرية الخنك، فتسود المراوح الفيضية (٧.٥ كم^2 بنسبة ٢٨.٢%)، وهي مناطق ترسيبية خشنة تتكون من مواد رملية وحصوية متدرجة الحبيبات، وهي بقايا لمروحة الفتحة الضخمة. تمتاز هذه الرواسب بصلابتها النسبية مقارنة بالسهل الفيضي، مما جعلها أكثر مقاومة لعمليات النحت الجانبي للنهر، وبالتالي شكلت حواجز طبيعية تحدّ من اتساع المنعطف نحو الغرب، وأسهمت في توجيه مجرى دجلة باتجاه الشرق مع مرور الوقت. في حين تتركز رواسب الوديان (١.١ كم^2 بنسبة ٤.١%) في الأجزاء الجنوبية الغربية من المنطقة، وهي رواسب خشنة تراكمت نتيجة الجريان السطحي الموسمي القادم من المرتفعات المجاورة. وتُعد هذه الرواسب من أكثر المناطق استقراراً جيومورفولوجياً، إذ لم تشهد تغيرات كبيرة في موقعها أو تركيبها، وتُعد بمثابة حزام انتقالي بين المراوح الفيضية والسهل الفيضي. أما المجرى النهري لنهر دجلة ذاته فيغطي مساحة ١.٧ كم^2 (٦.٤%) من إجمالي مساحة المنطقة، ويظهر بوضوح أنه يتعرج داخل نطاق رسوبي مرن يتناوب فيه النحت على الضفة المقعّرة (الشرقية) والترسيب على الضفة المحدّبة (الغربية)، ما ينتج عنه تغيرات مستمرة في شكل المنعطف وحركته الجانبية.

خريطة (٢) الرواسب والتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على لوحة كركوك الجيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠ لعام ١٩٩٥، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

جدول (١) أصناف ومساحة الرواسب والتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

ت	الرواسب والتكوينات الجيولوجية	المساحة/كم^{٢}	النسبة %
1	السهل الفيضي	16.3	61.3
2	المراوح الفيضية	7.5	28.2
3	رواسب الوديان	1.1	4.1
4	نهر دجلة	1.7	6.4
7	المجموع	٢٦.٦	١٠٠

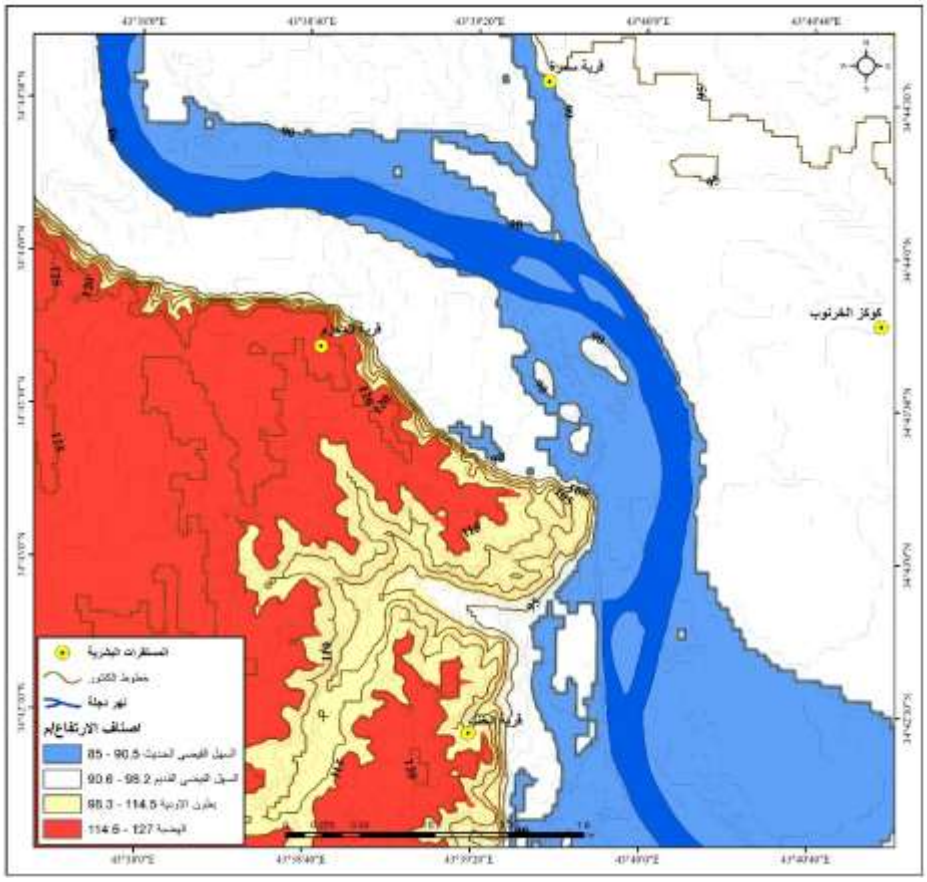
المصدر: اعتماداً على خريطة (٢).

٢. الجانب الطبوغرافي:

تُعد الخصائص الطبوغرافية من العوامل الأساسية في تشكيل المنعطفات النهرية، إذ تحدد درجة الانحدار والارتفاع طبيعة الجريان المائي ومدى قدرته على النحت أو الترسيب. فكلما كان السطح منخفضاً ومستوياً، زادت فرصة توسع المنعطفات، بينما تعمل المناطق المرتفعة والمنحدرات الحادة على الحد من امتدادها

وتغيير اتجاهها[٢]. وقد أسهم تدرج الارتفاع في منطقة منعطف العَلم الشمالي في رسم المجرى النهري وتحديد شكل المنعطف الحالي. ويلاحظ من الخريطة (٣) والجدول (٢) الحقائق الاتية:

خريطة (٣) اصناف الوحدات الأرضية في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي DEM ذي الدقة التمييزية (١٢.٥م)، والمرئية الفضائية كوك بيرد ذي الدقة التمييزية (٠.٦م)، باستخدام مخرجات برنامج ARC MAP10.8.

جدول (٢) أصناف ومساحة الوحدات الأرضية في منطقة الدراسة

ت	الوحدات الأرضية	المساحة/كم^{٢}	النسبة %
1	السهل الفيضي الحديث ٨٥ ـ ٩٠.٥	6.3	23.7
2	السهل الفيضي القديم ٩٠.٦ ـ ٩٨.٢	10.9	41.0
3	بطون الاودية ٩٨.٣ ـ ١١٤.٥	2.7	10.2
4	الهضبة ١١٤.٦ ـ ١٢٧	6.7	25.2
المجموع		26.6	100.0

المصدر: اعتماداً على خريطة (٣).

- السهل الفيضي الحديث (٨٥–٩٠.٥ م) يشغل مساحة (6.3)كم² بنسبة (23.7%)، ويقع بمحاذاة نهر دجلة مباشرة، كما يظهر باللون الأزرق على الخريطة، وهو أكثر الوحدات تعرضاً للفيضانات الموسمية نتيجة انخفاضه وقربه من المجرى الرئيس.
- السهل الفيضي القديم (٩٠.٦–٩٨.٢ م) يمثل أوسع الوحدات مساحةً إذ تبلغ (10.9)كم² بنسبة (41.0%)، ويغطي معظم المنطقة الوسطى، وهو منطقة انتقالية بين السهل الفيضي الحديث والهضبة، وتُعد الأكثر استقراراً عمرانيًا وزراعيًا.
- بطون الأودية (٩٨.٣–١١٤.٥ م) تمتد على مساحة (2.7)كم² بنسبة (10.2%)، وتظهر على شكل مجاري منحدرة نحو دجلة، تسهم في تصريف مياه الأمطار نحو السهل الفيضي، وهي مناطق ذات قابلية متوسطة للتعرية.
- الهضبة (١١٤.٦–١٢٧ م) تحتل الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من الخريطة بمساحة (6.7)كم² ونسبة (25.2%)، وتُعد منطقة مرتفعة قليلة التأثر بعمليات الفيض، لكنها تساهم في تغذية المجاري المنحدرة نحو السهل الفيضي عند سقوط الأمطار.

من خلال هذا التدرج في الارتفاع، يتضح أن حوالي ٦٥% من مساحة المنطقة تقع ضمن السهلين الفيضي الحديث والقديم، ما جعل منعطف العَلم الشمالي يتطور في بيئة منخفضة مائلة قليلاً نحو الشرق، الأمر الذي ساعد على انحراف المجرى وتوسّعه باتجاه الضفة الشرقية، بينما مثّلت الهضبة الغربية حاجزاً طبيعياً يمنع زحف المنعطف غرباً.

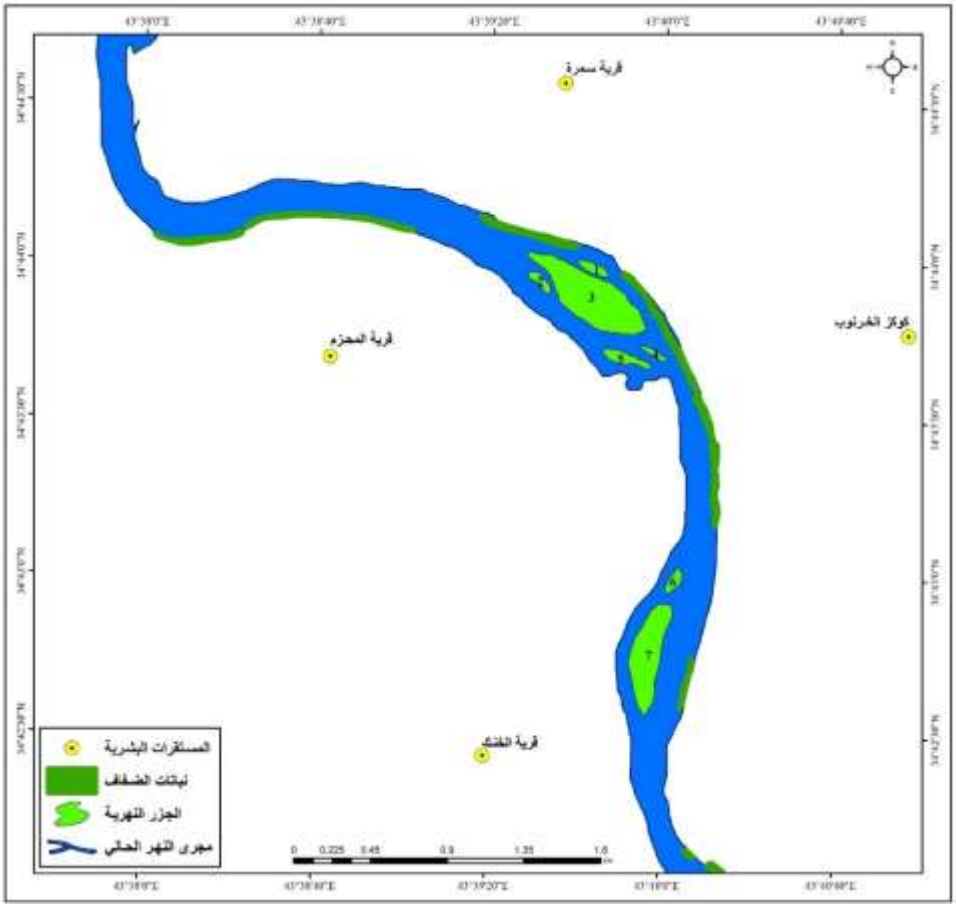
٣. نباتات ضفاف الأنهار:

تمثل ظاهرة تواجد النباتات على ضفاف القنوات أحد المحددات الطبيعية التي تؤثر على شكل القناة وذلك من خلال طرق مختلفة. إذ غالباً ما تعمل النباتات كعامل حماية وتثبيت للضفاف، ونتيجة لذلك فإن القنوات ذات الضفاف النباتية تكون أضيق من الضفاف غير المغطاة نباتيا تحت جريان تكويني مماثل[٣].

لقد ساهمت المرئية كوك بيرد باستنباط هذا المؤشر بشكل واضح بسبب قدرتها التمييزية العالية. ولذا فقد تم تحديد كثافة انتشارها على مستوى ضفاف القنوات الرئيسية.

يتضح من الخريطة (٤)، إن هناك تباين واضح في توزيع كثافة الغطاء النباتي للضفاف النهرية تبعاً لنوعية الرواسب ولشكل المجرى، فالضفاف ذات الرواسب الرملية والطينية ويكون شكلها غير محصور فتُعد من أكثر القنوات كثافة للنباتات النهرية. فبلغت مساحة النباتات المتوزعة على الضفاف النهرية (٣١.٥) دونم وبطول بلغ (٣.٥) كم لكلا الضفتين.

خريطة (٤) التوزيع المكاني لنباتات الضفاف في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على قياسات مرئية QUICK BIRD بدقة تمييزية ٠.٦ م، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

٤. كمية التصريف

يقصد به كمية المياه الجارية في سرير النهر، ومن الجدير بالذكر أن الايراد المائي في الأحواض هو دالة للتوزيع المكاني للأمطار، وتكمن الأهمية المورفولوجية في هذا المجال في امتلاء ضفة التصريف bank full discharge، وهو التصريف الذي يجري فيه ملء القناة بالكامل بالماء. ويصادف حالة امتلاء الضفة حالة انقطاع شكلي بين التدفقات داخل الضفة والتدفقات من الضفاف. نظرًا لأن التدفق في القنوات الطبيعية غير مستقر. إذ تعتمد على تأثيرات جيومورفولوجية لفيضان معين ليس فقط على حجمه، ولكن أيضًا على معدل حدوثه. ويمكن للفيضانات الكبيرة إجراء قدر كبير من التغيير في مجرى النهر كما يظهر ذلك جليا بعد الفيضانات وما تحدثه من تغييرات على المناطق المجاورة لسرير النهر(٤).

يُظهر الجدول (٣) الخاص بتطبيق نموذج Lane على منعطف العَلم الشمالي للسنتين الجافة والرطبة أن العلاقة بين التصريف المائي (Q) وحمولة الرواسب (Qs) لا تزال غير متوازنة، ما يجعل سلوك المجرى ذا

طابع إرسابي في الحالتين. ففي السنة الجافة بلغ التصريف (442)م³/ث (مع درجة انحدار ثابتة (0.49) م/م، بينما كانت حمولة الرواسب (7307)طن، أي أن قدرة الجريان على النقل (Q×S = 216.5)كانت أقل بكثير من الطاقة الرسوبية (Qs×D = 279127.4)، مما أدى إلى ترسيب واضح داخل المجرى. أما في السنة الرطبة، فارتفع التصريف إلى (1249)م³/ث أي ما يقارب ثلاثة أضعاف، ما زاد طاقة النقل إلى (612.0)، لكنها بقيت دون مستوى الحمل الرسوبي البالغ (379708)، فاستمر الاتجاه الإرسابي.

يدل ذلك على أن زيادة التصريف المائي خلال السنوات الرطبة تحسّن مؤقتًا قدرة النهر على نقل الرواسب لكنها لا تكفي لتحقيق توازن نهري كامل، بسبب كثافة المواد المنقولة ونعومة حبيباتها. وبهذا يبقى منعطف العَلم الشمالي في حالة ترسيب مستمر، تسهم فيه طبيعة المقطع المنخفض وضعف الانحدار، مما يؤدي إلى تراكم الطمي وتوسّع الضفة المحدّبة وتراجع المقعّرة ببطء مع الزمن.

جدول (٣) تطبيق نموذج (Lane) على المنعطف النهري لسنة جافة وسنة رطبة

الحالة المناخية	التصريف المائي للمقطع/م٣ (Q)	درجة الانحدار للمقطع/م (S)	حمولة الرواسب/طن (Qs)	حجم الرواسب/ملم (D)	Q * s	Qs * D	Q*S _ Qs*D	الوصف
جافة	٤٤٢	٠.٤٩	7307	٣٨.٢	216.5	279127.4	278910.9-	ارسابي
رطبة	١٢٤٩	٠.٤٩	٩٩٤٠	٣٨.٢	612.0	379708	379096-	ارسابي

المصدر: اعتماداً على تطبيق معادلة Lane.

٥. الاودية النهرية

تُعد الأودية الموسمية من العوامل الهيدرولوجية الثانوية ذات التأثير المباشر في تكوين وتطور المنعطفات النهرية، إذ تسهم في رفد المجرى الرئيسي بالمياه والرسوبيات خلال فترات الأمطار، وتعمل على تعديل التوازن الرسوبي والهيدروليكي للنهر .وتؤدي فترات الجريان المفاجئ في هذه الأودية إلى تغيّر موضعي في طاقة النهر عند نقاط التقائه بها، مما يزيد من عمليات النحت أو الترسيب في تلك المواضع تبعاً لاتجاه الجريان والانحدار والكمية الوافدة من الحمولة. كما أن تكرار تدفقات الأودية الموسمية عبر الزمن يؤدي إلى إعادة تشكيل ضفاف المنعطفات ويؤثر في امتدادها الجانبي أو استقامتها(٥).

يُعد وادي مليح أكبر الأودية الموسمية المؤثرة في منعطف العَلم الشمالي، إذ يقع على الضفة اليسرى (الغربية) من نهر دجلة ويمتد باتجاه الشرق ليلتقي بالمجرى عند منتصف المنعطف تقريباً. يتميز الوادي بانحدار ملحوظ من الهضبة الغربية، الأمر الذي يمنحه طاقة جريان عالية أثناء فترات الأمطار الشتوية، ما يؤدي إلى نقل كميات كبيرة من الرسوبيات الخشنة والمتوسطة الحجم إلى السهل الفيضي المجاور للنهر.

ويؤدي هذا التدفق الموسمي إلى زيادة مؤقتة في حمل الرواسب (Qs) عند نقطة الالتقاء، مما يسبب تباطؤاً في سرعة التيار النهري وانخفاض قدرته على النحت، وبالتالي تراكم المواد المنقولة في مقدمة المنعطف .هذا التراكم يشكل أحياناً حواجز رسوبية صغيرة أو "ألسنة" تُرغم النهر على تغيير اتجاهه جزئياً نحو الضفة المقابلة، وهو ما يُفسر اتساع المنعطف نحو الشرق في هذا الجزء من المجرى. أما وادي الخنك فيقع على الضفة اليمنى (الشرقية) من نهر دجلة، ويُعد وادياً أصغر حجماً وأقل تصريفاً مقارنة بوادي مليح، لكنه مع ذلك يلعب دوراً مهماً في توازن المنعطف. يتصف الوادي بانحدارٍ ضعيف نسبيًّا وبجريانٍ محدود يتركّز في فترات الأمطار الغزيرة فقط، ما يجعله رافداً ترسيبياً أكثر منه نحتيًّا. تؤدي الرواسب الدقيقة التي يحملها وادي الخنك إلى تراكم المواد الطينية والغرينية على الضفة اليمنى، خاصة في المناطق المنخفضة قرب قرية المثلك، ما يعزز من نمو الضفة المحدّبة ويقابلها زيادة في النحت على الضفة المقعّرة اليسرى. وكما في الخريطة (٥).

خريطة (٥) الاودية الموسمية التي تصب في منطقة الدراسة

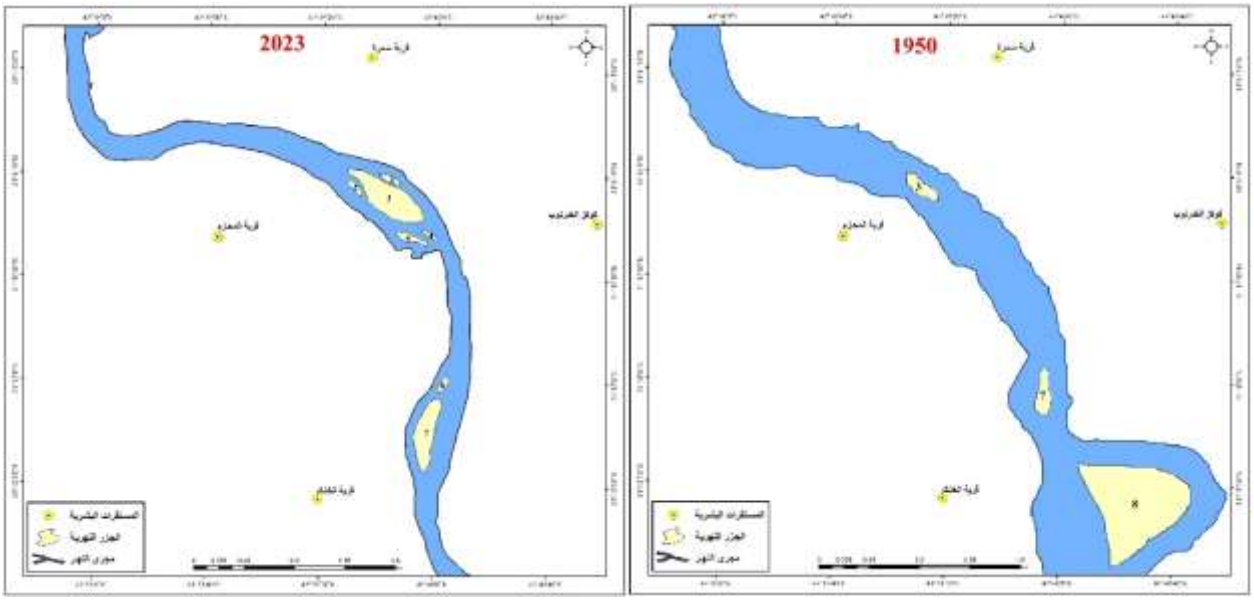
المصدر: اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي DEM، والخريطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

٦. التغير في الجزر النهرية:

تشكل الجزر النهرية مظاهر رسوبية متغيرة تتشكل بفعل تفاعل عمليات النحت والترسيب داخل القناة النهرية. وهي تمثل أحد المؤشرات الواضحة على ديناميكية المجرى النهري، إذ يؤدي تغيّر التصريف المائي أو الحمولة الرسوبية إلى ظهور جزر جديدة أو اندثار أخرى. وأن الجزر النهرية تُعدّ عناصر غير مستقرة تتكوّن في فترات انخفاض الطاقة، ثم قد تُمحى كلياً بفعل زيادة الجريان أو تغيّر محور المجرى. ومن ثم فإن تتبع تطورها زمانيًا يوفّر دلالة دقيقة على اتجاه تطور المنعطف واستقراره[٦].

تُظهر المقارنة المكانية بين عامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣ تغيرًا واضحًا في عدد الجزر النهرية ومساحاتها داخل منعطف العَلم الشمالي. كما في الخريطة (٦) والجدول (٤).

خريطة (٦) التغير في ابعاد الجزر النهرية لعامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣ في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على الصورة الجوية لعام ١٩٥٠ والمرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

جدول (٤) ارقام ومساحة الجزر النهرية (دونم) لعامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣

رقم الجزيرة	عام ١٩٥٠	عام ٢٠٢٣
	المساحة/دونم	المساحة/دونم
1	-	3.5
2	-	2.9
3	13.8	57.3
4	-	1.9
5	-	5.8
6	-	3.3
7	16.5	35.6

8	216.2	-
المجموع	**246.5**	**106.8**

المصدر: اعتماداً على خريطة (٦).

ففي عام ١٩٥٠ وُجدت ثلاث جزر رئيسة فقط هي (٣، ٧، ٨) بمساحة إجمالية بلغت (٢٤٦.٥ دونم). كانت الجزيرة رقم ٨ في أقصى الجنوب أكبرها بمساحة (٢١٦.٢ دونم)، في حين كانت الجزيرتان (٣) و(٧) صغيرتين نسبيًا بمساحات (١٣.٨ و١٦.٥ دونم). يشير هذا التوزيع إلى أن المنعطف كان في تلك الفترة ذا اتساع محدود وعدد قليل من المظاهر الرسوبية، مما يعكس طاقة جريان أعلى وقدرة أكبر على إزالة الرواسب.

أما في عام ٢٠٢٣، فقد تغيّر النمط تمامًا؛ إذ ظهرت ست جزر جديدة (١، ٢، ٤، ٥، ٦، بالإضافة إلى توسّع ٣ و٧) بمساحات تراوحت بين (١.٩–٥٧.٣ دونم)، بينما اختفت الجزيرة الكبيرة القديمة (رقم ٨) بالكامل. وبهذا ارتفع عدد الجزر من ٣ إلى ٧ جزر، في حين انخفض إجمالي المساحة إلى (١٠٦.٨ دونم)، أي بنسبة نقصان بلغت نحو (٥٧%). هذا التحول يعبّر عن انتقال المنعطف من نظام بسيط قليل الجزر إلى نظام متعدد الجزر الصغيرة، وهو ما يُعد دليلاً على ازدياد عملية الإرساب وانخفاض طاقة الجريان في المقطع خلال العقود الأخيرة. فالجزيرة الكبيرة القديمة تعرّضت للنحت والانجراف، بينما تشكّلت جزر صغيرة متفرقة نتيجة لترسيب الرواسب الدقيقة في مناطق انخفاض السرعة المائية.

٧. العامل البشري:

تُعد الأنشطة البشرية من أهم العوامل الحديثة التي غيّرت من ديناميكية نهر دجلة في مقطع منعطف العَلم الشمالي، ولاسيّما نشاط المقالع الرملية والحصوية المنتشرة على ضفتي النهر. إذ أن استغلال ضفاف المجرى كمقالع للمواد الإنشائية أدّى إلى إحداث تغيّرات مورفولوجية واضحة في شكل القناة النهريّة ومسارها خلال العقود الأخيرة. فقد أدى التحفير المفرط ضمن قاع النهر وضفتيه إلى تعمّق المجرى (Channel Deepening) في مواضع معينة، وتراجع الجرف النهري عند الضفة المقعّرة، مما تسبب في تبدّل محور الجريان واتجاه التيار الرئيسي نحو الضفة المقابلة. كما أن إزالة الطبقات الرسوبية السطحية قلّلت من مقاومة الضفة لجريان المياه، فزادت بذلك معدلات النحت الجانبي(Lateral Erosion) ، ونتج عنه زحف مستمر في موقع المنعطف نحو الشرق خلال السنوات الأخيرة.[٧]

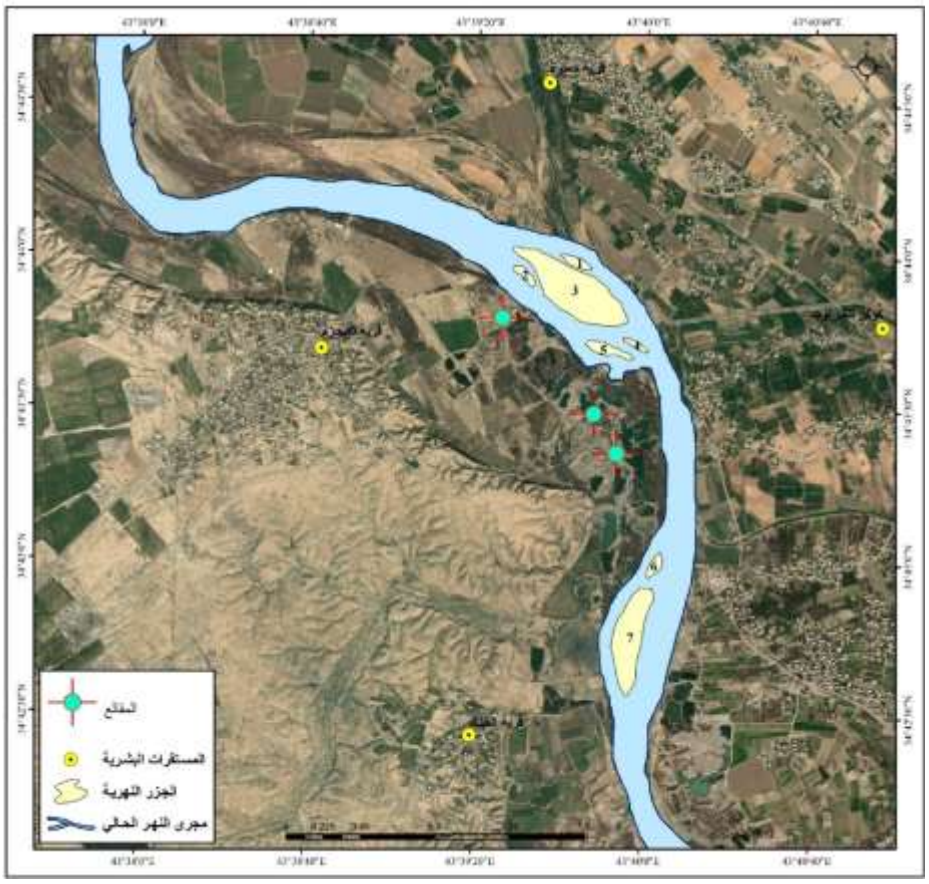
كذلك أسهمت المقالع الواقعة في الجهة الغربية من المنعطف، وخاصة بالقرب من قرية المحزم وقرية الخنك، في تكوين حفَرٍ منخفضة داخل القناة النهرية تعمل كمناطق تجمع للمياه أثناء الفيضانات، ما يؤدي إلى إعادة توجيه الجريان ضمن مسارات فرعية. ومع استمرار هذا النشاط، تراجعت قدرة النهر على الحفاظ على مجراه

الأصلي، فحدث انفصال موضعي لبعض الأذرع المائية وتغيّر محور المنعطف الأساسي. وكما في الخريطة (٧).

ومن الناحية الرسوبية، تسببت المقالع في اختلال التوازن بين النحت والإرساب؛ إذ تزداد سرعة التيار قرب مواقع الحفر بسبب الانحدار المحلي، بينما تتباطأ خلفها، مما يؤدي إلى تراكم الرواسب في أجزاء أخرى من المنعطف وتكوّن لسانات طموية جديدة. هذا التذبذب في الطاقة الهيدروليكية جعل مجرى دجلة في هذه المنطقة أكثر تعرجاً وعدم استقرار بالمقارنة مع المقاطع المجاورة الأقل تأثراً بالنشاط البشري.

وتشير التحليلات الميدانية وصور الأقمار الصناعية إلى أن التحول الملحوظ في مسار النهر بين عامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣ مرتبط بشكل مباشر بتمركز المقالع قرب الانحناءات الداخلية للمجرى، حيث عملت على تغيير اتجاه التيار نحو الخارج، مما وسّع المنعطف وأحدث فروقات واضحة في عرض القناة وعمقها.

خريطة (٧) توزيع المقالع في منطقة الدراسة

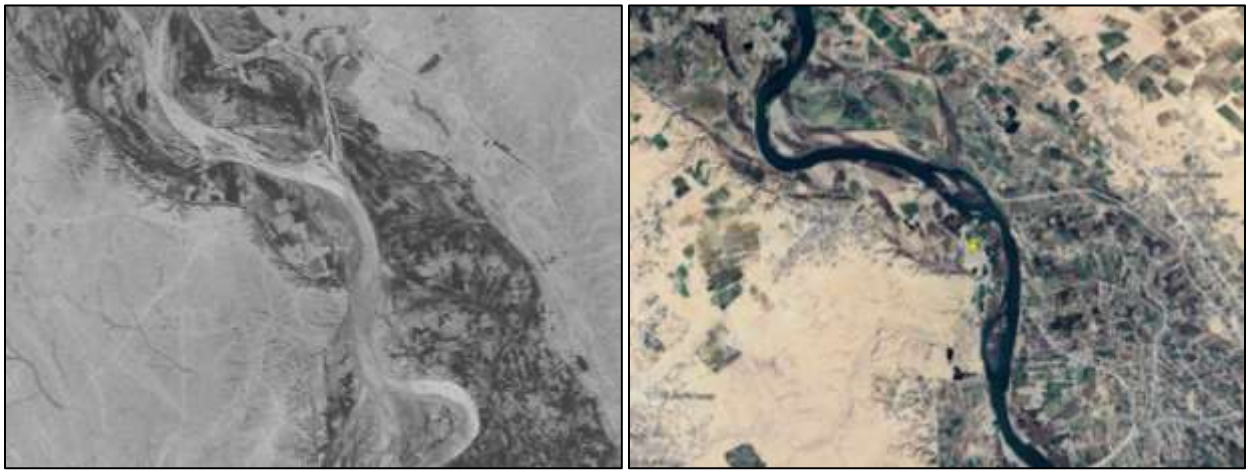


المصدر: اعتماداً على المرئية الفضائية كوك بيرد، بتاريخ ٢٠٢٣/٥/٢٢، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

سادساً. التحليل المورفومتري لتطور المنعطف للفترة ١٩٥٠-٢٠٢٣

تتخذ الأنهار انماطا مختلفة في امتدادها من المنبع الى المصب ويتمثل ذلك في النمط المستقيم والمتعرج والملتوي والمجدول. ويتحدد نمط النهر من خلال معدل التواء المجرى الذي يساوي نسبة طول النهر الفعلي الى طول الوادي، اذ لا يوجد في الطبيعة غالبا قنوات نهرية مستقيمة تماما وان وجدت فهي حالات نادرة، عندما يتحكم في امتدادها البناء الجيولوجي كالصدوع والانكسارات وسرعان ما تتعرض للتعرج الذي قد يصل الى درجة الالتواء، الا انها لا تخلو من تعرج يسير وتظهر كل الانهار ميلا واضحا لتكوين الالتواء بسبب ميلها الى تكوين تأرجح متعاقب في جريانها من جانب الى اخر [٨]. تم الاعتماد على الصور الجوية التاريخية لعام ١٩٥٠ والمتاحة عبر موقع *corona.cast.uark.edu*، والتي تُعد من أهم مصادر التوثيق المكانية الدقيقة لتتبّع التغيّرات المورفولوجية القديمة في مجرى نهر دجلة. كما تم استخدام مرئيات كوك بيرد (Cook Bird)المجانية المتوفرة على منصة Google Earthلدعم تحليل التغير الزمني الحديث. واعتمدت الدراسة كذلك على مجموعة من المرئيات الفضائية ذات الجودة العالية المتوفرة داخل برنامج ArcMap، ولاسيما تلك المموضعة جغرافيًا بدقة مناسبة لتحليل الانحرافات النهرية. وقد ساعد دمج هذه المصادر في بناء سلسلة زمنية متكاملة لرصد التغير في منعطف العَلم الشمالي. وكما في الصورتين (١) (٢).

صورة (١) اللقطة الجوية لعام ١٩٥٠ **صورة (٢) المرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣**



المصدر: اعتماداً على موقع corona و cook bird.

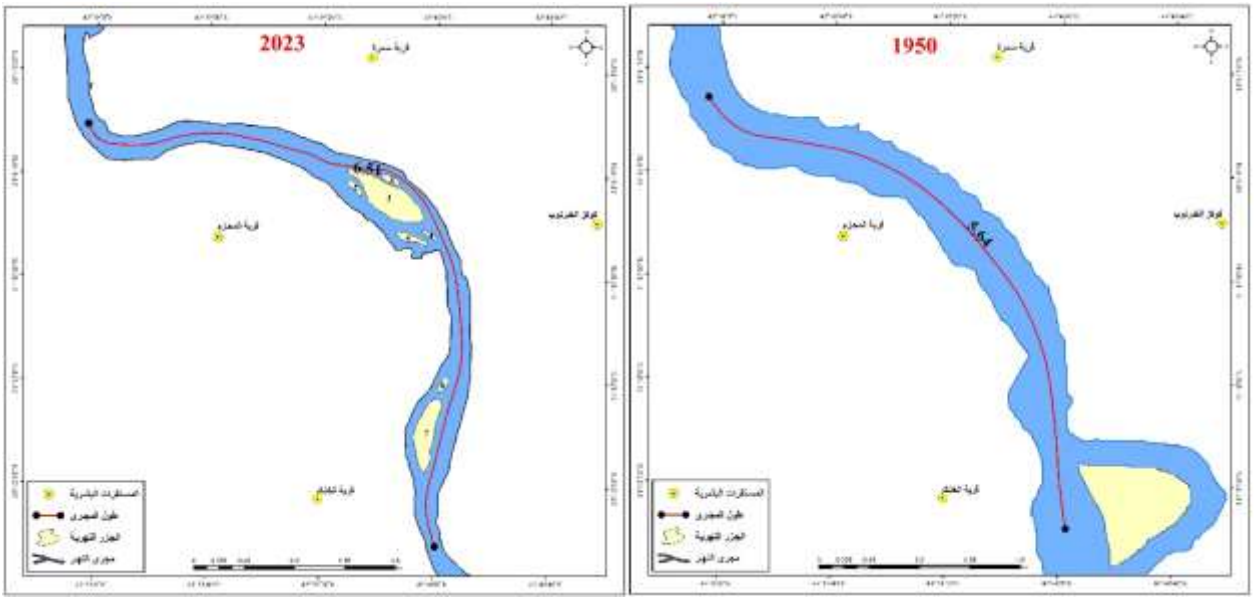
١. تغير طول المجرى في المنعطف:

يشير إلى أن تغيّر طول المجرى داخل المنعطفات يمثل أحد أهم مؤشرات التطور المورفولوجي للنهر، إذ إن الزيادة في طول القناة عادة ما ترتبط بارتفاع درجة التعرج نتيجة سيطرة الترسيب أو ضعف الانحدار. ويُعد

قياس طول المجرى عبر الفترات الزمنية أداة دقيقة لتتبّع التغيرات في ديناميكية النحت والترسيب داخل المنعطفات.

تُظهر الخريطة (٨) التغير الواضح في طول المجرى داخل منعطف العَلم الشمالي بين عامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣، إذ ازداد طول القناة من (5.64) كم في عام ١٩٥٠ إلى (6.51) كم في عام ٢٠٢٣، أي بزيادة قدرها (0.87) كم، وهو ما يعادل ارتفاعًا نسبته نحو ١٥ %خلال ٧٣ عامًا. تعكس هذه الزيادة في الطول تناميًا في درجة تعرج المجرى النهري؛ إذ لم يعد التيار يسلك مسارًا شبه مستقيم نسبياً كما كان في منتصف القرن الماضي، بل أصبح أكثر التفافًا نتيجة سيطرة عمليات الإرساب داخل القناة وظهور الجزر النهرية الصغيرة، إضافة إلى توسع الضفة المحدّبة بفعل تراكم الرواسب. كما أثّر النحت الجانبي عند الضفة المقعّرة في توسيع قوس المنعطف، مما أسهم في إطالة مسار الجريان. وهذا يشير إلى أن المنعطف مرّ بمرحلة تنشيط مورفولوجي سببه تغيّر التوازن بين التصريف والحمولة الرسوبية، إضافة إلى تأثير الأودية الموسمية والمقالع البشرية التي ساهمت في إعادة توجيه التيار داخل القناة.

خريطة (٨) تغير طول المجرى في منطقة الدراسة لعامي ١٩٥٠ و ٢٠٢٣



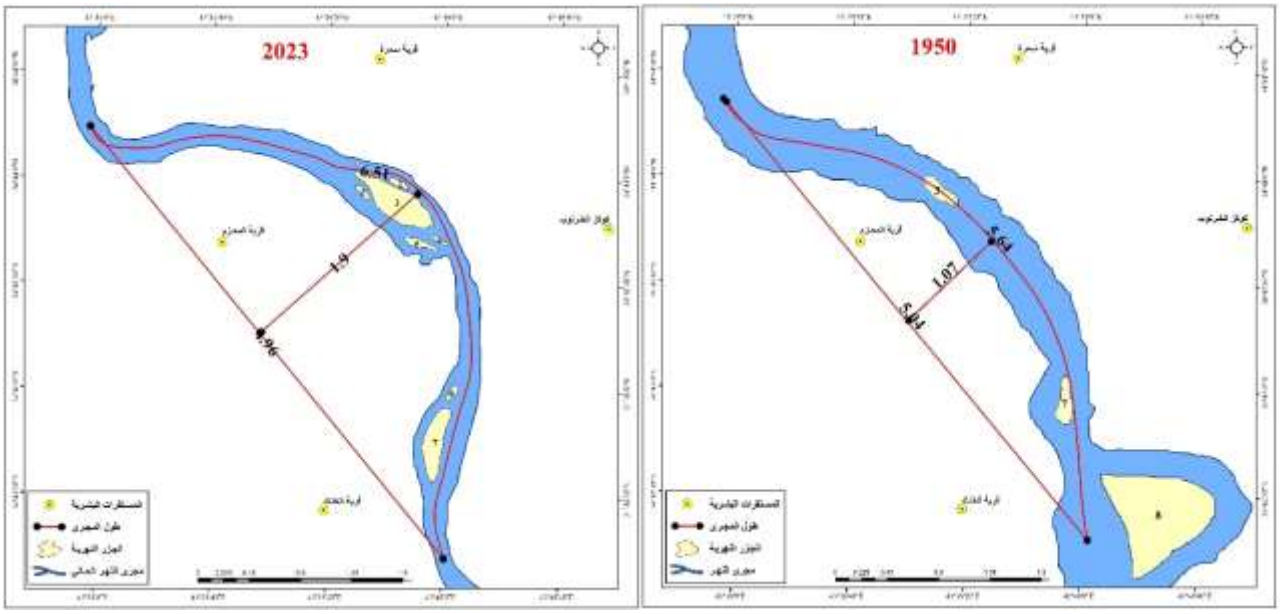
المصدر: اعتماداً على الصورة الجوية لعام ١٩٥٠ والمرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

٢. تغير طول موجة المنعطف:

يُقصد بطول موجة الانعطاف المسافة العمودية بين قمة المنعطف وخط الطول المثالي الذي يربط بين نقطتي بداية ونهاية الثنية، وهو مؤشر هندسي مهم يعكس درجة تطور المنعطف واتساعه عبر الزمن[٩]. وقد تبيّن من التحليل المكاني أن طول موجة الانعطاف قد اختلف من ثنية إلى أخرى، إذ بلغ في عام 1950نحو

(١.٠٧ كم)، بينما ارتفع في عام 2023إلى (١.٩ كم)، وهو ارتفاع ملحوظ يدل على أن المنعطف أصبح أكثر تطوراً واتساعاً. ومن الملاحظ أنه كلما ازداد الفرق بين الطول الحقيقي للثنية والطول المثالي المستقيم زاد معه طول موجة الانعطاف، ما يشير إلى ارتفاع درجة التعرج بفعل تنامي عمليات النحت على الضفة المقعّرة والترسيب على الضفة المحدّبة. ويُظهر هذا التغير أن المنعطف مرّ بمرحلة تطور ديناميكي نشط، انعكس في زيادة اتساع القوس وتحوّل محور الجريان مقارنة بعقود سابقة. وكما في الخريطة (٩).

خريطة (٩) تغير طول المجرى في منطقة الدراسة لعامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣



المصدر: اعتماداً على الصورة الجوية لعام ١٩٥٠ والمرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

٣. التغير في معدل التعرج:

تتبع معظم الأنهار والمجارى الأحادية القناة مسارًا منعطفا، وتكون القنوات المستقيمة نادرة، إذ تعطي نسبة التعرج (sinuosity) إشارة إلى كيفية الانثناء (bendy) للقناة ويمكن أن يتم اختبارها عن طريق قياس طول قناة الوصول وتقسيم ذلك بمسافة الخط المستقيم على طول الوادي وكما في الشكل (٢١). إذ توصف القنوات التي تحتوي على نسبة تعرج أقل من (١.١) بأنها مستقيمة، أما تلك التي تتراوح بين (١.١ _١.٥) فهي متعرجة، في حين تكون قنوات منعطفة إذا بلغت أكثر من (١.٥)[١٠].

ومن ملاحظة الجدول (٥) يتبين ان قيم الانعطاف بلغت في عام ١٩٥٠ (١.١٢) وفي عام ٢٠٢٣ (١.٣١)، أي في كلا الحالتين لم تصل للالتواء بل هي عبارة عن ثنيات ولكن بدرجة مختلفة.

جدول (٥) تطبيق دالة التعرج على منعطف العلم الشمالي لعامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣

السنة	الطول بشكل متعرج/كم	الطول بشكل مستقيم/كم	دالة التعرج	الوصف
١٩٥٠	٥.٦٤	٥.٠٤	١.١٢	ثنية
٢٠٢٣	٦.٥١	٤.٩٦	١.٣١	ثنية

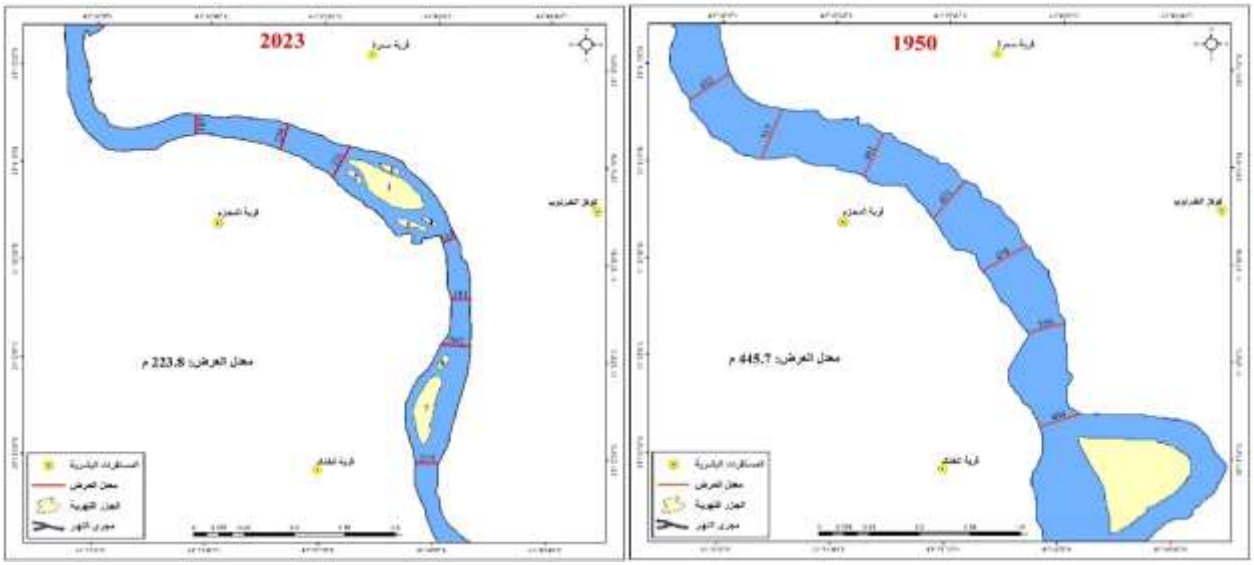
المصدر: اعتماداً على تطبيق دالة التعرج.

٤. تغير في عرض مجرى المنعطف

يُعد عرض القناة النهرية من الخصائص المورفولوجية الحساسة التي تعكس توازن النهر بين عمليتي النحت والترسيب، إذ يشير اتساع القناة إلى نشاط نحتي مرتفع، بينما يدلّ تضيقها على زيادة الترسيب أو انخفاض الطاقة الهيدروليكية. وتوضح التحليلات الكلاسيكية أن تغير عرض المجرى عبر الزمن يمثل دليلاً مباشراً على التحولات في قدرة النهر على النقل المائي والرسوبي.[١١]

تشير النتائج إلى حدوث تغير واضح في عرض مجرى منعطف العَلم الشمالي خلال الفترة الممتدة بين عامي ١٩٥٠ و٢٠٢٣. ففي عام 1950 بلغ معدل عرض المجرى حوالي (445.7) مترًا، وهو ما يعكس مرحلة كانت فيها طاقة الجريان أعلى وقدرة النهر على النحت الجانبي أكبر، خصوصاً عند الضفة المقعّرة حيث تتسارع المياه وتُعمّق القناة. هذا الاتساع يرتبط أيضًا بوجود جزيرة كبيرة آنذاك (جزيرة رقم ٨) كانت تُعيد توجيه الجريان وتوسّع المقطع المائي. وكما في الخريطة (١٠).

خريطة (١٠) تغير معدل عرض المجرى في منطقة الدراسة لعامي ١٩٥٠ و ٢٠٢٣.



المصدر: اعتماداً على الصورة الجوية لعام ١٩٥٠ والمرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣، باستخدام برنامج ARC MAP10.8.

أما في عام 2023 فقد انخفض معدل العرض إلى (223.8) مترًا فقط، أي بتراجع يقارب 50%مقارنة بعام ١٩٥٠. وهذا التضيق يُعد مؤشرًا على تحول المجرى نحو سلوك إرسابي بفعل انخفاض الطاقة الهيدروليكية،

وتزايد تراكم الرواسب في ضفاف المنعطف، إضافة إلى ظهور عدد من الجزر الصغيرة التي ساهمت في تقسيم الجريان وتضييق مجرى القناة الرئيسة. كما لعبت الأنشطة البشرية مثل المقالع النهرية دورًا في إعادة تشكيل المقطع العرضي للمجرى وتقليل عمقه واتساعه في بعض المواضع. ويُظهر هذا التغير أن القناة النهرية انتقلت من حالة اتساع نحتي في منتصف القرن الماضي إلى حالة تضيق رسوبي في الوقت الحالي، مما يؤكد أن المنعطف خاض مرحلة تطور مورفولوجي متدرج اتسم بانخفاض الطاقة وزيادة الترسيب عبر الزمن.

٥. تطبيق اداة التغير للمنعطفات النهرية change tools:

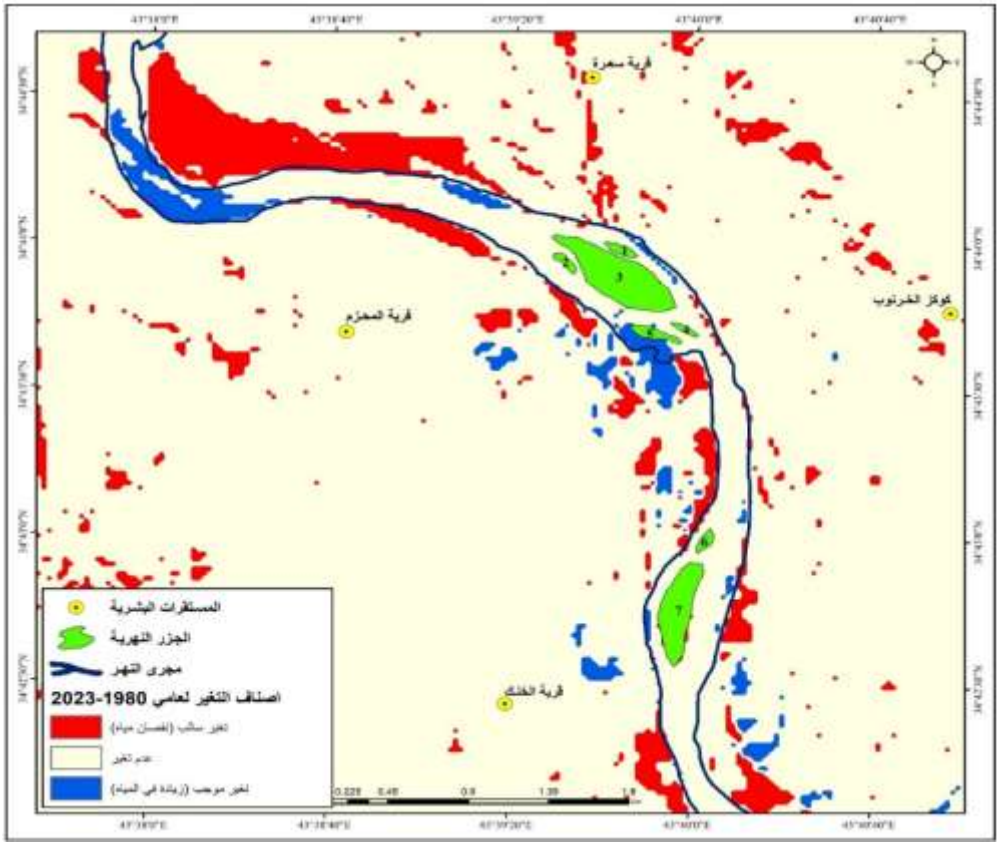
تم تطبيق أداة التغير للمنعطفات النهرية (Change Tools) لتحليل التحولات المكانية التي طرأت على مجرى نهر دجلة ومحيطه في منطقة منعطف العَلم الشمالي خلال المدة ١٩٨٠–٢٠٢٣، وقد اعتمد التحليل على مقارنة مساحة المجرى ومحيطه فقط، نظراً لاختلاف مساحة الغمر وامتداد القناة النهرية بين الفترتين، وهو ما أشار إليه *Jensen* في ضرورة دمج الحوض المائي مع المجرى للحصول على تمثيل أدق للتغيرات الهيدرومورفولوجية[١٢]. وقد أظهرت النتائج أن التغير السالب، المتمثل في نقصان المياه، بلغ مساحته (١.٤٦) كم² بنسبة (١٩.٧%) موزعاً على مناطق ترسيب واضحة على الضفة المحدّبة وأطراف الجزر النهرية التي توسعت بفعل انخفاض الطاقة المائية، بينما شكّل التغير المتعادل المساحة الأكبر بواقع ٥.٥٠ كم² وبنسبة ٧٣.٩%، ما يدل على استقرار نسبي في معظم أجزاء القناة خلال الفترة الزمنية المدروسة وبقاء شكل المنعطف ثابتاً دون تغيرات جذرية. أما التغير الموجب، الذي بلغت مساحته (٠.٤٨) كم² بنسبة (٦.٤%)، وكما في الجدول (٦) والخريطة (١١) فقد ظهر في المواقع التي شهدت زيادة في النحت الجانبي على الضفة المقعّرة، ما أدى إلى توسّع عرض المجرى في تلك الأجزاء. ويُظهر توزع ألوان التغير على الخريطة أن النحت والترسيب كانا موضعيين، وأن التبدلات الحاصلة اقتصرت على أجزاء محددة من المنعطف، بينما بقيت أجزاء واسعة من السهل الفيضي ثابتة، مما يشير إلى ديناميكية متوازنة نسبياً داخل المجرى خلال العقود الأربعة الماضية.

جدول (٦) أصناف التغير لمجرى النهر ومحيطه في منطقة الدراسة

ت	صفة التغير	أنواع التغير الديناميكي	١٩٨٠-٢٠٢٣	
			المساحة/كم٢	النسبة%
1	تغير سالب	نقصان مياه	1.46	19.7
2	متعادل	عدم تغيير	5.50	73.9
3	تغير موجب	زيادة مياه	0.48	6.4
	المجموع		7.44	100.0

المصدر: اعتماداً على خريطة (١١).

خريطة (١١) التغير الديناميكي لمجرى المنعطف في منطقة الدراسة



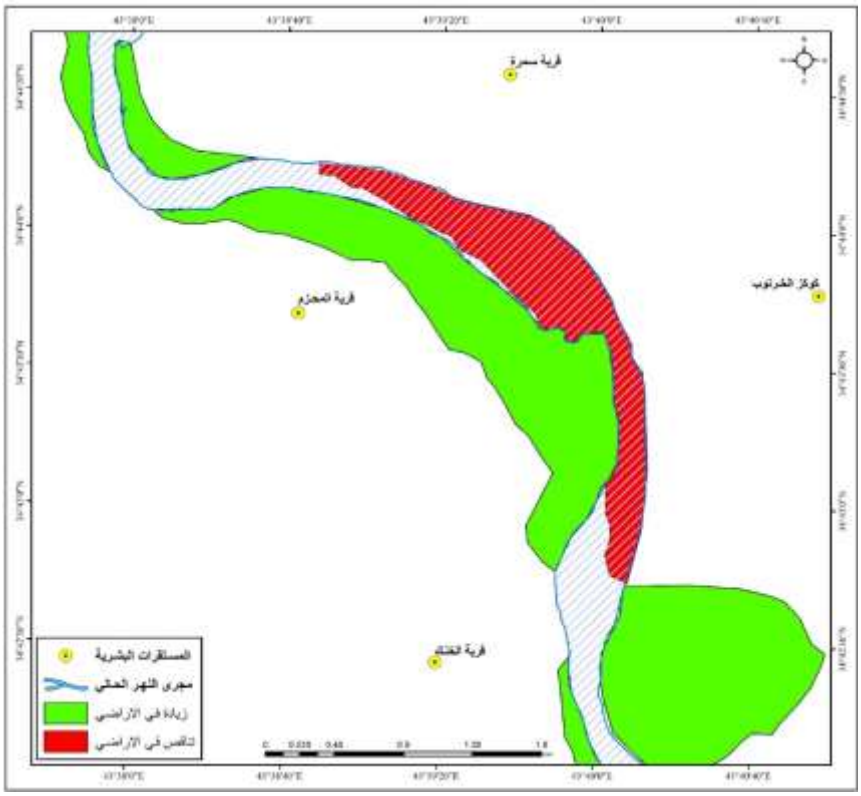
المصدر: اعتماداً على أداة التغير Change Detection، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

سابعاً. أثر تطور المنعطف على المقاطعات الزراعية:

يُظهر تحليل الخريطة (١٢) والجدول (٧) تطور منعطف العَلم الشمالي أثرًا واضحًا على المقاطعات الزراعية المحيطة به، إذ أدّت التحولات المورفولوجية للنهر المتمثلة بزيادة الانحراف، وتغيّر عرض المجرى، وتبدل مواضع الضفة المقعّرة والمحدّبة إلى تغيّر مباشر في المساحات الزراعية الواقعة على جانبي النهر. ووفقًا للجدول والخريطة، تبيّن أن الضفة اليسرى شهدت نوعين من التغير: الأول زيادة في الأراضي الزراعية بمساحة (٦٤٥) دونم ضمن مقاطعة (سمره والعيادي/٢٨) نتيجة تراكم الرواسب على الضفة المحدّبة واتساع السهل الفيضي، وهو ما أدى إلى بروز مساحات جديدة قابلة للزراعة. أما النوع الثاني فهو نقصان في الأراضي بمساحة (٤٨٢) دونم في المقاطعة ذاتها، ويعود ذلك إلى نشاط النحت على أجزاء من الضفة بسبب تركز التيار واندفاعه نحو الشرق في بعض الفترات، ما أدى إلى تآكل مستمر وتراجع حدود الأرض الزراعية.

وفي المقابل، تُظهر الضفة اليمنى للنهر تزايدًا واضحًا في الأراضي الزراعية بمساحة (833) دونم ضمن مقاطعتي (المحزم/٩ والخنك/٨) . ويعزى هذا التوسع إلى اتساع نطاق الترسيب على طول الضفة اليمنى، حيث عملت الجزر النهرية الحديثة وبعض التحولات في محور الجريان على إبطاء سرعة التيار وتقليل قدرة النحت، مما سمح بتراكم الرواسب وتثبيت التربة وظهور مساحات زراعية جديدة. كما ساعد الاستقرار النسبي لهذه الضفة مقارنة بالضفة اليسرى على تعزيز عملية الزيادة في الأراضي، إذ بقيت خارج نطاق اندفاع التيار الرئيسي.

خريطة (١٢) الزيادة والنقصان في الأراضي لنهر دجلة في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على الصورة الجوية لعام ١٩٥٠ والمرئية الفضائية لعام ٢٠٢٣.

جدول (٧) الزيادة والنقصان في الأراضي بحسب الضفة اليمنى واليسرى للنهر الحالي

ت	الموقع	المساحة/ دونم	المقاطعة	حالة التغير
١	الضفة اليسرى للنهر	٦٤٥	سمره والعيادي/٢٨	زيادة
		٤٨٢	سمره والعيادي/٢٨	نقصان
٢	الضفة اليمنى للنهر	٨٣٣	المحزم/٩، الخنك٨	زيادة

المصدر: اعتماداً على خريطة (١٢).

الاستنتاجات:

١. أثبت نموذج Lane أن المنعطف يعمل في نظام إرسابي واضح بسبب عجز طاقة الجريان عن نقل الحمولة الرسوبية، مما أدى إلى تضيق القناة وزيادة الترسيب داخل المنعطف.
٢. ساعدت التكوينات الرسوبية الفتية وانخفاض الانحدار في جعل المنعطف سريع الاستجابة للتغير الهيدرولوجي، مما دفعه للاتساع وزحف محوره نحو الشرق.
٣. أسهم وادي مليح ووادي الخنك في تغيير ديناميكية التيار؛ إذ زاد الأول الإرساب عند مدخل المنعطف بينما عزز الثاني الاستقرار على الضفة اليمنى، ما أدى إلى اختلاف واضح بين سلوك الضفتين.
٤. لعبت المقالع البشرية دوراً مركزياً في زيادة النحت الموضعي وتغيير محور الجريان، مما أحدث اختلالاً اصطناعياً في توازن القناة وسرّع من تحول المنعطف.
٥. تغيّر النظام الجزري من جزيرة كبيرة مسيطرة في ١٩٥٠ إلى عدة جزر صغيرة في ٢٠٢٣، وهو تحول يعكس ارتفاع الإرساب وتعدد مسارات الجريان داخل المنعطف.
٦. ارتفاع طول المجرى وطول موجة الانعطاف مقابل تضيق القناة يؤكد انتقال المنعطف نحو درجة تعرج أعلى وتطور مورفولوجي متقدم. فبلغت دالة التعرج لعام ١٩٥٠ هي (١.١٢) و (١.٣١) لعام ٢٠٢٣.
٧. أدّى تطور المنعطف إلى إعادة توزيع المساحات الزراعية؛ إذ ازدادت المساحات في الضفة اليمنى مقابل خسارات في أجزاء من الضفة اليسرى، ما يشير إلى تأثير مباشر على الأمن الزراعي المحلي.

المقترحات:

١. تنظيم عمل المقالع ومنع الحفر داخل القناة النهرية لضمان عدم إحداث تغيّر اصطناعي في شكل المنعطف ومسار التيار.
٢. إنشاء برنامج سنوي لرصد التغيرات باستخدام صور CORONA و Quick Bird وأدوات GIS لدعم إدارة المنعطف والسيطرة على التحولات المستقبلية.
٣. حماية الضفة المقعّرة الأكثر تعرضاً للنحت من خلال إجراءات هندسية وتشجير ضفاف النهر بما يعزز استقرار القناة.
٤. إعادة تقييم حدود المقاطعات الزراعية المعرّضة للتآكل ومنع التوسع الزراعي داخل المناطق التي تظهر فيها معدلات تغير عالية.
٥. إنشاء منشآت حصاد مياه صغيرة في أحواض وادي مليح ووادي الخنك لتقليل اندفاع الرواسب وتحسين توازن النحت والترسيب داخل المنعطف.

قائمة الهوامش والمصادر

(1) Wohl, Ellen. 2014. Rivers in the Landscape: Science and Management. Colorado: John Wiley & Sons, Ltd. pp. 330.
(2) Leopold, Luna B., Wolman, M. Gordon, & Miller, John P. (1964). Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco: W. H. Freeman and Company, pp. 131–138.
(3) David Mark Richardson, Riparian vegetation: Degradation, alien plant invasions, and restoration prospects, Diversity and Distributions, (Diversity Distrib) (2007) 13, 126–139, p126.
(4) B .L.whitesell , and others, changes in plan from the red river, mc curtain country, Oklahoma 1938 – 1984, Oklahoma, geological survey vol-48. N.5,1988, p199.
(5)David Knighton, River Forms and Processes: A New Perspective. London: Arnold Publishers, 1998, pp. 212–219.
(6) Ro Charlton, Fundamentals of Fluvial Geomorphology, First published By Rutledge ,٢Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN, 2008, p117.
(7) Hooke, J. M. (1995). Processes of Channel Planform Change on Meandering Rivers. Geomorphology, 14(4), 309–324.
(8)Abd al-Ilah Razouki Karbal, Geomorphology, The Model House for Printing, Publishing and Distribution, Sidon - Beirut, 2011, p. 162
(9) Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1960). River Meanders. Geological Society of America Bulletin, 71(6), 769–794.
(10) Ro Charlton, Fundamentals of Fluvial Geomorphology, otc, p138.
(11) Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). River Channel Patterns: Braided, Meandering, and Straight. U.S. Geological Survey Professional Paper 282-B.
(12) Jensen, J. R. (2005). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 3rd Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, pp. 467–528.