ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Assis. Lect. Istabraq Haitham Munir

Wasit Education Directorate, Iraq

Email: astprkalamere56@gmail.com

Keywords:

Hydrological indices, Drainage basins, Geographic Information Systems (GIS), Remote sensing.

CC BY

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 2. Jul.2026

Accepted 19. Jul.2026

Published 10. Nov.2026

Hydrological and Morphotectonic Indices of the Al-Bint, Al-Zaafaran, and Rud Dakhana Basins in Northeastern Maysan Governorate Using Geographic Information Systems and Remote Sensing

A B S T R A C T

This study aims to resolve the hydrological and morphotectonic indications of the Al-Bint, Al-Zaafaran, and Rud Dakhana basins, situated in northeastern Maysan Governorate, using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing methods, on account of their leading capacities mistakenly and efficiently resolving the unrefined traits of seepage basins. The study relied on Digital Elevation Models (DEM) and subsidiary metaphors to extract the seepage network and resolve morphometric traits, in addition to canny various hydrological and morphotectonic indications, in the way that seepage density, consequence percentage, and pan shape limits. This was done to label in consideration of terrestrial and fundamental controls on watershed development and surface drainage patterns. The results disclosed clear relating to space difference in the principles of the studied indications between the three basins, indicating dissimilarities in tectonic influence and topographic traits, and their affect the hydrological nature of the basins. The verdicts further confirmed the influence of GIS and detached feeling methods in providing correct spatial databases that maybe relied upon in water money administration studies and flood hazard alleviation.The study concludes that merging GIS and detached discerning shows an main scientific form for judging seepage basins and resolving their hydrological and morphotectonic project, contributing to incidental preparation and tenable growth in the study area.

© 2026 EDUJ, College of Education for Human Science, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol65.Iss1.5437

المؤشرات الهيدرولوجية والمورفوتكتونية لأحواض (البنت – الزعفران – رود دخانة) شمال شرق محافظة ميسان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

م.م استبرق هيثم منير محسن العامري
مديرية تربية محافظة واسط

الملخص

يعد هذا البحث تحليلاً ودراسة لمؤشرات الهيدرولوجيا والمورفوتكتونية لأحواض البنت والزعفران ورود دخانة، التي تقع في شمال شرق محافظة ميسان. اعتمد البحث على استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وأدوات الاستشعار عن بعد، لأنها توفر إمكانيات متطورة لتحليل الصفات الطبيعية للأحواض المائية بشكل دقيق وفعّال. شملت المنهجية استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية والمرئيات الفضائية لاستخراج الشبكات المائية وتقييم الخصائص المورفومترية، بالإضافة إلى حساب مجموعة من المؤشرات الهيدرولوجية والمورفوتكتونية، مثل كثافة التصريف ونسبة التشعب ومعاملات الشكل، بهدف فهم تأثير العوامل الجيولوجية والبنائية على تطور الأحواض وتحديد توجهات الجريان السطحي.

أظهرت النتائج تباين واضحاً في قيم المؤشرات المدروسة بين الأحواض الثلاثة. هذا يعكس اختلافات في تأثير العوامل التكتونية وخصائص التضاريس في المنطقة، وأثرها المباشر على السلوك الهيدرولوجي لتلك الأحواض. كما أكدت النتائج على أهمية ودقة استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في إنشاء قاعدة بيانات موثوقة لدعم دراسات إدارة الموارد المائية وتقليل مخاطر الفيضانات. اختتم البحث بأن دمج التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد يعد وسيلة علمية فعالة لتقييم الأحواض المائية وتحليل ديناميكيتها الهيدرولوجية والمورفوتكتونية، مما يسهم في تعزيز جهود التخطيط البيئي وتحقيق التنمية المستدامة في المناطق المعنية.

الكلمات المفتاحية: المؤشرات الهيدرولوجية، الأحواض المائية، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، الاستشعار عن بُعد.

المقدمة Introduction:

تعتبر الأحواض المائية مناطق أساسية في الدراسات الطبيعية، لأنها تعمل كمخزن طبيعي يجمع الأمطار ويوجهها نحو النهر الرئيسي. وتتميز نظم الأحواض شمال شرق ميسان بأهمية خاصة بسبب تنوع تشكيلاتها الجيولوجية والمائية، التي تعكس التفاعل الدائم بين الحركة التكتونية والمناخ والجبال والعمليات الجيومورفولوجية. كما أن هذه المنطقة تتمتع بحساسية بيئية عالية لأنها تتواجد في المنطقة الانتقالية بين السهل الرسوبي العراقي وحدود الهضبة الإيرانية، مما يجعلها مكاناً مناسباً لتشكل الظواهر الجيومورفولوجية المائية (إبراهيم, ١٩٨٩, ص٥) .

إن دراسة مؤشرات المورفولوجيا مثل شكل الحوض، انحنائه، نسب طوله وعرضه، وكثافة تصريفه بالإضافة إلى مؤشرات هيدرولوجية مثل الجريان السطحي، وشبكات التصريف، وحجم تدفق المياه، تمثل وسيلة علمية لفهم كيفية تصرف الأحواض المائية، وتساعد في تحديد إمكانية حدوث الفيضانات أو خطر التآكل. كما تساهم هذه الدراسة في تقييم المياه المتاحة، وتنظيم كيفية استخدامها لدعم التنمية الزراعية والبشرية، وتطوير خطط لإدارة مستدامة.

لذلك، يركز هذا البحث على مجموعة معينة من الأحواض في شمال شرق محافظة ميسان، بهدف دراسة خصائصها الشكلية والهيدرولوجية، واستنتاج العلاقات المكانية والزمنية التي تؤثر على سلوك المياه فيها، باستخدام تقنيات الاستشعار

عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لما توفره من دقة في إجراء التحليلات ورسم النماذج المورفومترية (العرود, ١٩٩٧, ص١٥٤) .

تعتبر الأحواض النهرية عناصر أساسية في مجالات الجغرافيا الطبيعية والجيولوجيا وهندسة موارد المياه، بسبب صفاتها القابلة للقياس مثل التربة والانحدار والمناخ والنباتات. مع ظهور تقنيات البحث الحديثة التي تختلف عن الطرق القديمة التي اعتمدت على الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية – والتي كانت تحتاج إلى وقت وجهد كبيرين وتفتقر إلى الدقة – أصبحت برامج نظم المعلومات الجغرافية والتقنيات الحديثة مثل الاستشعار عن بعد أدوات ضرورية تسمح لنا بمراقبة وتحليل سطح الأرض والتغيرات الزمنية والمكانية دون الحاجة للتواجد الفعلي، مما يقدم مجموعة كبيرة من البيانات الدقيقة عن المواقع) (Rai et al, 2017, P16) .

تعتبر التقنيات الجديدة التي تتمثل في الاستشعار عن بعد R. S ونظم المعلومات الجغرافية GIS من الوسائل الأساسية التي تسهم في تسهيل دراسة سطح الأرض. أصبحت هذه التقنيات الجغرافية ضرورة لفهم سطح الأرض وتصنيفه والتغيرات الزمنية التي تحدث عليه. بالنسبة لتقنيات الاستشعار عن بعد، فهي إحدى الطرق المستخدمة لدراسة ومراقبة سطح الأرض دون الحاجة للتلامس المباشر باستخدام الأقمار الصناعية بهدف جمع بيانات عن معالم سطح الأرض والنشاطات البشرية المختلفة. كما يعد الاستشعار عن بعد من المجالات العلمية التي تستخدمها التكنولوجيا الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية، كمصدر مهم للمعلومات الحديثة والدقيقة (علي, ٢٠٠١, ص١١٠) .

اولاً: مشكلة البحث

هل توجد علاقة بين المؤشرات المورفوتكتونية والمؤشرات الهيدرولوجية لأحواض البنت والزعفران ورود دخانة شمال شرق محافظة ميسان، وما مدى إمكانية تحليلها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد؟

ثانيا: فرضية البحث:

يفترض البحث وجود علاقة ذات دلالة بين المؤشرات المورفوتكتونية والمؤشرات الهيدرولوجية لأحواض الدراسة، ويمكن الكشف عنها وتحليلها بكفاءة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

ثالثاً: مبررات البحث Study Justifications **:**

تنشأ أهمية هذا البحث من عدم وجود دراسات علمية دقيقة للأحواض المائية الموجودة في شمال شرق محافظة ميسان، على الرغم من موقعها الجغرافي المهم وتأثيرها الواضح على الموارد المائية والبيئية في المنطقة. تعتبر هذه الأحواض مصدرًا حيويًا للجريان السطحي والمياه الموسمية التي يعتمد عليها الناس في الزراعة وسبل المعيشة، ومع ذلك لم يتم توثيق ميزاتها المورفولوجية والهيدرولوجية بشكل كافٍ. كما أن تزايد مخاطر الفيضانات والانهيارات المفاجئة للتربة بسبب التغيرات المناخية وزيادة الظواهر الجوية المتطرفة يجعل من الضروري دراسة سلوك هذه الأحواض وفهم العوامل الطبيعية التي تؤثر عليها.

وتكمن أهمية البحث أيضاً في قدرته على توفير بيانات مكانية يمكن استخدامها في التخطيط المائي، وتحديد المواقع المناسبة لمشاريع جمع المياه، وتقليل مخاطر التآكل والسيول من خلال إنشاء أسس للإدارة الشاملة للموارد الطبيعية. وتزداد أهمية هذا البحث لأنه يعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد وأنظمة المعلومات الجغرافية، التي تقدم تحليلًا دقيقًا لشكل الأحواض، وانحداراتها، وكثافة شبكة التصريف، مما يساعد في بناء فهم علمي يحتوي صانعي القرار والباحثين على رؤى حول الوضع الهيدرولوجي واستخدامها في التنمية المستدامة.

رابعاً: هدف البحث The aims of Study:

هدف هذا البحث هو دراسة وتقييم المؤشرات الخاصة بالتركيب الجيولوجي والمائية لعدد من المناطق المائية المختارة في شمال شرق محافظة ميسان. الغرض من ذلك هو فهم كيفية تصرف المياه وتحديد تأثير العوامل الجيولوجية والارتفاعات والطقس في تشكيل الشبكات التي تصرف المياه وجريانها بداخلها. يسعى البحث للكشف عن العلاقة بين صفات منطقة الحوض من حيث الشكل والحجم والانحدار وكثافة تصريف المياه، وبين قدرتها على التآكل أو التعرض للفيضانات. سيتم ذلك من خلال استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كأدوات دقيقة لتحليل البيانات المكانية ورسم النماذج الخاصة بالشكل الجيولوجي. كما يهدف إلى إنشاء قاعدة بيانات علمية يمكن أن يعتمد عليها في التخطيط البيئي وإدارة مصادر المياه، وتوفير مؤشرات تساعد الجهات المختصة في تقليل مخاطر الفيضانات وتعزيز استفادة فعالة ومستدامة من المياه السطحية.

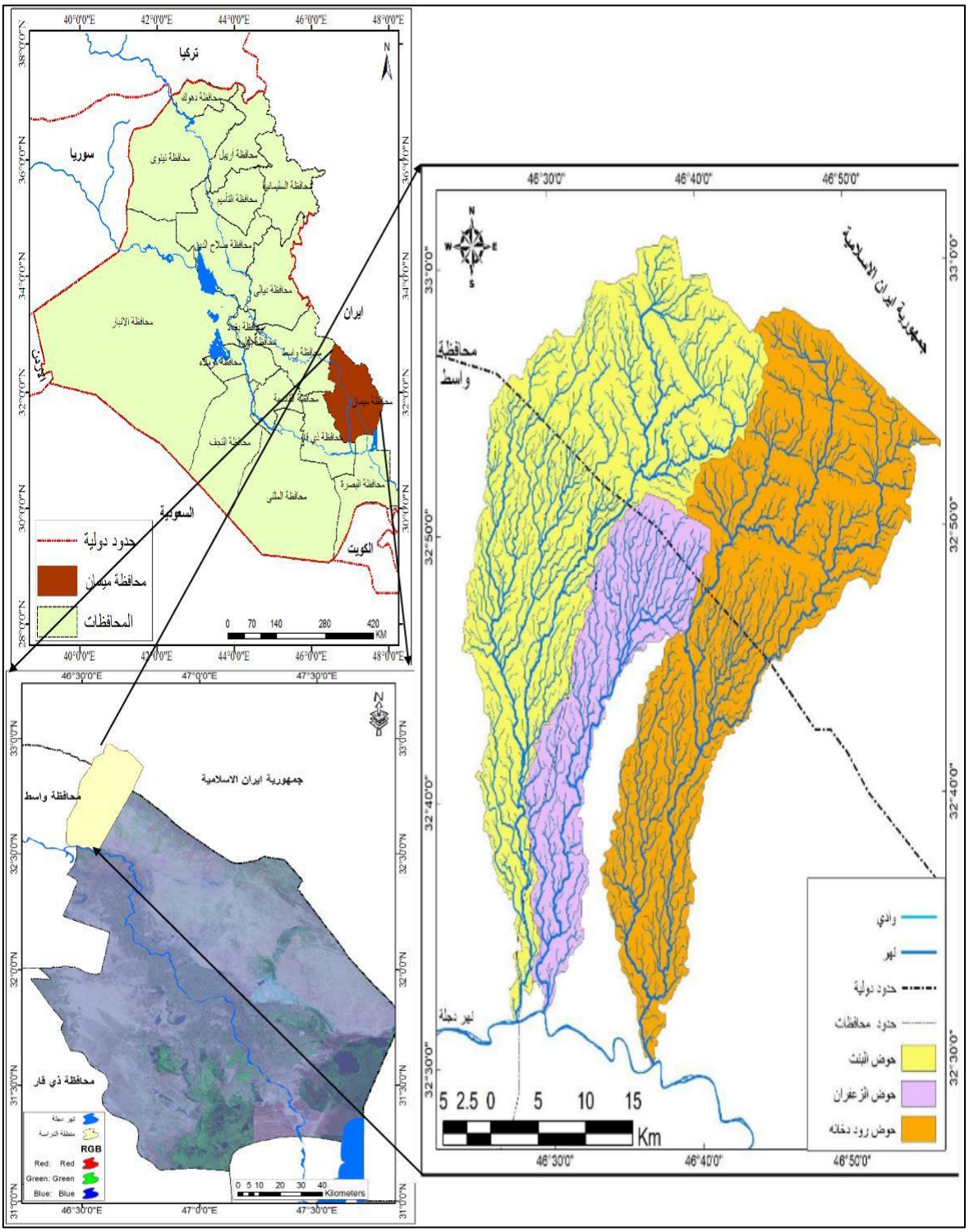
خامساً: اهمية البحث Importance Study:

تظهر أهمية هذه الدراسة في أنها تساعد في فهم الخصائص الجيولوجية والمائية للأحواض المائية في شمال شرق محافظة ميسان، وهي منطقة تظهر فيها حساسية بيئية ومائية بسبب تداخل العوامل الطبيعية مع الأنشطة البشرية. وتكمن أهميتها في كشف تفاصيل الأنظمة المائية وسلوك تدفق المياه فوق السطح، مما يعين على تفسير احتمالات الفيضانات أو التآكل، ويساعد في اتخاذ خطوات احترازية مبنية على أسس علمية. كما أن البحث يشكل إضافة معلوماتية تشغل فراغًا واضحًا في المراجع الجغرافية المتعلقة بهذه الأحواض، وتوفر قاعدة بيانات مكانية يمكن استخدامها في التخطيط العمراني، وتطوير الزراعة، وإدارة الموارد المائية بشكل مستدام. ويفصح أيضًا عن أهميته من خلال استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، التي تعطي دقة كبيرة في التحليل الكمي والمكاني، مما يساعد صناع القرار والجهات المختصة في وضع خطط فعالة لإدارة الفيضانات، وجمع مياه الأمطار، وتقليل المخاطر البيئية في المستقبل.

سادساً: موقع وحدود منطقة البحث ومساحتها Location, and Area of the Study:

فلكياً تمتد المنطقة بين دائرتي عرض تقريبية من ٣٥' ٣٢° إلى ٠٥' ٣٣° شمالاً، وبين خطي طول ٢٠' ٤٦° إلى ٦٠' ٤٦° شرقاً، وبالتالي هي تقع في الجزء الجنوبي من المنطقة الوسطى للعراق. هذا الموقع يمنح المنطقة مناخاً انتقالياً بين مناخ السهول الداخلية والمناخ شبه الجاف، كما يعرضها لتأثيرات التضاريس الشرقية القادمة من مرتفعات زاغروس، خاصة في الأحواض التي تنصرف مياهها باتجاه نهر دجلة. أمَّا من الناحية الجغرافية فإن أحواض شمال شرق محافظة ميسان وشرق واسط تقع في الجزء الجنوب الشرقي من جنوب العراق ضمن النطاق الغربي للسهل الفيضي، وأجزاء من المنطقة الغربية لوسط إيران، وهي تتوسط منطقة السهل الرسوبي الغربي، إذ تحيط بها ثلاث محافظات، تحدها من الشمال محافظة واسط، ومن الغرب محافظة ذي قار، ومن جهة الجنوب محافظة البصرة. وتبلغ مساحة أحواض شمال شرق ميسان الكلية (٩٣٤٥) كيلومتراً مربعاً . الخريطة (١) .

الخريطـة (١) موقـع منطقة البحث من العراق



المصدر: الباحثة، اعتماداً على وزارة الموارد المائية، الهيأة العامة للمساحة، قسم المساحة، مقياس ١:١٠٠٠٠٠، ٢٠٢٤ ، باستخدام برنامج Arc GIS 10.8 .

سابعاً: منهجية و مراحل البحث Phases of Study

اعتمد البحث على الطرق الكمية والإحصائية والوصفية والتحليلية بشكل أساسي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، والبيانات الرقمية المتاحة على مواقع الانترنت المتخصصة، وشملت مراحل إعداد البحث :

١. العمل المكتبي

بدأت هذه المرحلة بتجميع المصادر والدراسات الحديثة والمعلومات ذات الصلة لبناء الأسس النظرية وجمع المعادلات الرياضية التي تحتاجها مرحلة التحليل المورفومتري والهيدرولوجي لأحواض الوديان في شرق محافظة ميسان، بالإضافة إلى جمع المعلومات الخاصة بكيفية تفسير النتائج التي سيجري الحصول عليها لاحقاً، كما شملت تجميع البيانات الرقمية والخرائط من المواقع المتخصصة على الإنترنت وفقاً لمتطلبات البحث.

٢. جمع البيانات وتبويبها

شملت البيانات المستخدمة في تحليل الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض الوديان في شرق محافظة ميسان، استخدام نموذج الارتفاع الرقمي لاستخراج شبكات التصريف النهرية لأحواض منطقة البحث، ولإجراء التحليلات المورفومترية وإعداد خرائط الأساس المتمثلة باستخراج حدود الأحواض، أطوال الأحواض والقنوات الرئيسية، وشدة الجريان واتجاهه، وتحديد وتصنيف شبكة التصريف للأودية حسب تصنيف ستريلر. ومن ثم، استخدام هذه البيانات والخرائط لإجراء التحليلات المورفومترية، استخدام خريطة ترب العالم الرقمية، وخريطة استعمالات الأرض والغطاء الأرضي، وزخات مطرية. هذه البيانات استخدمت لإجراء التحليل الهيدرولوجي وحساب خصائص الجريان السطحي لأحواض الوديان الرئيسية في منطقة البحث) (Rai et al, 2017, P20) .

٣. تحليل وتفسير البيانات المستخدمة

بعد الانتهاء من مرحلة جمع المعلومات والبيانات وأنواع الخرائط ذات الصلة واستخدام نظم المعلومات الجغرافية من خلال برنامج معالجة الخرائط لإنشاء قاعدة المعلومات الجغرافية لحوض نهر دجلة، والتي تشمل تحديد حدود الحوض، وتحديد شبكة الأودية مصنفة حسب الرتب النهرية لتصنيف ستريلر باستخدام أدوات الهيدرولوجيا الجغرافية، وحساب أطوال أحواض الأودية وأطوال القنوات النهرية الرئيسية للأحواض الفرعية باستخدام أداة القياس والتحليل الشبكي للأودية. أما الحسابات المورفومترية، فقد تم حسابها باستخدام أدوات التحليل المورفومتري الإصدار الثاني. ولحساب الخصائص الهيدرولوجية والجريان السطحي لأحواض وديان شرق ميسان، تم استخدام بيانات تربة منطقة البحث وتصنيفها حسب التصنيف الهيدرولوجي للتربة، أي حسب قابلية التربة على إحداث الجريان السطحي، مصنفة إلى أربعة أصناف هي D، C، B، A، فضلاً عن تصنيف خريطة استعمالات الأرض وفق الرموز المستخدمة في تصنيف (أندرسون ، ١٩٧٦)، التي صنفت إلى ثمانية أصناف رئيسة حسب رموزها وهي ١٦، ٢١، ٢٢، ٣٢، ٣٣، ٤٣، ٥٢، و٧٧. وتم حساب خصائص الجريان السطحي باستخدام برمجيات نمذجة مستجمعات المياه. ومن خلال دمج هذه المعلومات وإجراء التفسير والتحليل للبيانات، تم الوصول إلى الخصائص الهيدرومورفومترية لمنطقة البحث، وإنشاء قاعدة معلومات خاصة بأحواض الوديان.

ج. مرحلة الكتابة

بعد الانتهاء من التحليل والتفسير، بدأت المرحلة الأخيرة من مراحل البحث والتي تضمنت تنظيم وتصنيف المعلومات من أجل البدء بكتابة الرسالة وحسب الفصول التي تم تقسيمها وفق منهجية البحث.

ثامناً : الخرائط والمرئيات الفضائية المستخدمة

١ –الخرائط :

اعتمدت الباحثة على مجموعة من الخرائط المتنوعة ذات المقاييس المختلفة الخاصة بمنطقة الدراسة، إذ أُجريت لها عمليات التصحيح الهندسي من خلال إدخال الإحداثيات باستخدام برنامج ArcGIS 10.8 لضمان دقة التمثيل المكاني. وبعد ذلك تم تحليل هذه الخرائط وتطبيق أساليب الإحصاء المكاني عليها وفق طبيعة كل خريطة وموضوعها باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما أسهم في دراسة الظواهر الجغرافية المرتبطة بموضوع البحث وتحليل خصائصها المكانية بصورة دقيقة.

٢ – المرئيات الفضائية :

اعتمدت الباحثة على عدد من المرئيات الفضائية الحديثة التي أسهمت في تحقيق أهداف الدراسة، ويمكن إجمالها بالآتي:

أ– مرئيات القمر الاصطناعي Landsat-8:

استخدم الباحث مجموعة من الصور الفضائية الملتقطة بواسطة القمر الاصطناعي الأمريكي Landsat-8 والمدعومة بمستشعرات OLI-TIRS، والتي تعود إلى عام ٢٠١٩ وتمثل أوقات زمنية مختلفة. وقد تم الحصول على هذه الصور من الموقع الرسمي لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS)، إذ تتميز بكونها صور مصححة هندسياً مسبقاً، مما جعلها لا تحتاج إلى عمليات تصحيح هندسي إضافية، باستثناء بعض إجراءات التصحيح الإشعاعي (Radiometric Correction) التي تهدف إلى تقليل تأثير التشوهات الناتجة عن الغلاف الجوي والغيوم وبعض الميزات المرتبطة بالأهداف الأرضية، مما يضمن تحسين جودة البيانات ودقتها التحليلية.

ب– نموذج الارتفاع الرقمي (DEM):

اعتمد الباحث على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model - DEM) المستخرجة من مرئيات القمر الاصطناعي Landsat-8، والتي غطت كامل منطقة الدراسة بدقة مكانية بلغت (٣٠ × ٣٠) متر. وقد استُخدمت هذه البيانات في استخلاص الخصائص التضاريسية وتحليل المظاهر الطبوغرافية لمنطقة البحث، فضلاً عن توظيفها في العديد من التطبيقات المكانية المرتبطة بأهداف الدراسة.

المبحث الثاني

قياس المؤشرات الجيومورفولوجية .

تعد المؤشرات الجيومورفولوجية من الأدوات المهمة جداً التي تُستخدم في الأبحاث حول أشكال الأرض والتنظيم التكتوني. فهي وسيلة علمية فعّالة تساعد في قياس وتحليل مستويات النشاط التكتوني وتأثيره على تشكل المعالم الطبيعية. تساعد هذه المؤشرات في معرفة كيف تستجيب الأحواض النهرية للتغيرات في البنية التحتية والتكتونية من خلال دراسة الخصائص الشكلية لها. كما أنها تعمل على تحديد مدى تأثير العمليات الجيولوجية والجوانب الجيومورفولوجية في تكوينها. توفر هذه المؤشرات بيانات دقيقة تدعم تفسير العلاقة بين البنية التكتونية والمعالم السطحية، مما يجعلها أداة مهمة لفهم كيفية تطور الأحواض النهرية وتقدير مستوى النشاط التكتوني الموجود في المنطقة المعنية (الحسناوي, ٢٠١٧, ص٨٠) .

من خلال دراسة المؤشرات الجيومورفولوجية، يمكن فهم نوع الحركة التكتونية التي أثرت على المنطقة التي تم دراستها، وذلك بالاعتماد على فحص الخصائص التركيبية والشكلية للأودية والأنهار، حيث تعكس هذه الخصائص بشكل مباشر تأثير الظروف المناخية والعمليات التكتونية التي حدثت في المنطقة خلال العصور الجيولوجية الحديثة. وتعتبر هذه المؤشرات أدوات كمية فعالة تكشف عن مستوى النشاط التكتوني وتحدد تأثيره على تطور الأشكال الأرضية وتنوع خصائصها المورفولوجية. وعليه، تم استخدام مجموعة من المؤشرات الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة بهدف تحليل الأشكال الأرضية السائدة، وكشف مظاهر النشاط التكتوني الحديث وتحديد مستوياته، بالإضافة إلى تتبع المراحل التطورية التي شهدتها المنطقة جيومورفولوجياً على مر الزمن.

استندت الدراسة إلى نموذج الارتفاع الرقمي كأحد المصادر الأساسية للبيانات الرقمية التي تُستخدم في تحليل الجيومورفولوجيا، نظراً لما يقدمه من معلومات دقيقة عن الارتفاعات والانحدارات والاتجاهات الطبوغرافية. كما تم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية لاستخراج وتحليل الشبكة المائية، وتحديد أحواض التصريف الرئيسية داخل منطقة البحث، والتي تشمل أربعة أحواض هي: حوض الحاوي، وحوض الجفتة، وحوض التليل، وحوض الزعفران. وقد سمح ذلك بدراسة الخصائص المورفومترية والمورفولوجية لكل حوض بشكل منفرد، وإجراء مقارنات مكانية بينها، بهدف تفسير الاختلافات في درجة تأثيرها بالعوامل الجيومورفولوجية والتكتونية.

ولغرض الحصول على القيم المتعلقة بالمؤشرات الجيومورفولوجية التي تم دراستها، تم استخدام أداة تسمى الاستيفاء المكاني (Inverse Distance Weighting – IDW) في برنامج (ArcGIS)، وهي أداة تحليلية هامة تستخدم في الدراسات القائمة على الموقع. تستند هذه الأداة إلى فكرة أن المواقع القريبة من بعضها البعض تشترك في خصائص مشابهة أكثر من المواقع البعيدة. يتم تقدير القيم غير المعروفة بناءً على القيم المعروفة للنقاط القريبة وأوزانها النسبية. ساعد استخدام هذه الأداة في الحصول على نتائج مكانية دقيقة وموثوقة، بالإضافة إلى تقليل الوقت والجهد المطلوب لإجراء التحليلات واستخراج البيانات. كما ساهمت في تعزيز دقة النتائج النهائية ودعم الفهم العلمي للمؤشرات الجيومورفولوجية، مما ساعد في تحقيق أهداف الدراسة المتعلقة بتحديد وتفسير مظاهر النشاط التكتوني الحديث في منطقة البحث واكتشاف اختلافاتها المكانية. المؤشرات التي تم تحليلها ودراستها هي (الموزاني, ٢٠٠٧, ص٧) :

١ – مؤشر عامل عدم التماثل AsymmetryFactor (AF) :

يعد مؤشر عامل عدم التماثل من المؤشرات المهمة في دراسة شكل الأرض للأحواض المائية، حيث يُستخدم في معرفة تأثير الحركات الأرضية الحديثة وكيف تؤثر على تشكيل الأحواض النهرية. يعتمد هذا المؤشر على قياس الفرق في توزيع المساحات على جانبي المجرى الرئيسي للحوض، مما يجعله وسيلة فعالة لتحديد وجود توازن أو عدم توازن هيكلي داخل الحوض .

يفترض هذا المؤشر أن الأحواض التي تكون مستقرة من الناحية التكتونية تحتوي على توزيع شبه متساوٍ للمساحات على الجانبين، حيث تقترب قيمة المقياس من ٥٠، وهي القيمة التي تدل على حالة التماثل المثالية. بينما إذا كانت القيمة بعيدة عن هذا الرقم، فهذا يشير إلى وجود تأثيرات تكتونية قد جعلت الحوض يميل إلى أحد الجانبين، مما يُظهر كيفية انحراف المجرى الرئيسي واختلاف المساحة في الجانب الأكثر انخفاضًا مقارنة بالجانب الآخر.

تظهر أهمية هذا المؤشر في قدرته على الكشف عن التغيرات الجانبية في المجاري المائية وتحديد مساراتها، سواء كانت نحو اليمين أو اليسار، والتي تعتبر من أبرز الأدلة على النشاط التكتوني الحديث. كما أن استمرار الحركات التكتونية يؤدي إلى تعديل شبكة التصريف النهري وتغيير اتجاهات الجريان ومسارات الأودية، مما يسبب اختلالاً في التوازن

المكاني للأحواض التصريفية على مر الزمن. ولذلك، يعد مؤشر عامل عدم التماثل من المؤشرات الأساسية في تقييم مستوى النشاط التكتوني وتحديد توجهاته، بالإضافة إلى دوره في تفسير المراحل التي مرت بها منطقة الدراسة من حيث التطور الجيومورفولوجي. ويتم حساب مؤشر عامل عدم التماثل باستخدام المعادلة التالية (Bull, 2007, P90)

$$AF = 100 \left(\frac{Ar}{At}\right)$$

حيث ان :

Af= عدم تماثل الحوض

Ar = مساحة الحوض في الجهة اليمنى للمجرى الرئيسي باتجاه أسفل الحوض.

At= المساحة الكلية لحوض التصريف.كم^{2}

تُفسر نتائج مؤشر عدم التماثل (AF) بناءً على مدى انحراف قيمته عن الرقم المثالي (٥٠). عندما تزداد هذه الفجوة سواء باتجاه القيم الأعلى أو الأدنى، فإن ذلك يُظهر زيادة في عدم التماثل داخل الحوض المائي. وعادة ما يتم تفسير ذلك بوجود تأثيرات تكتونية أو بنيوية أدت إلى تغيير التوازن الطبيعي في الحوض. في المقابل، القيم التي تقترب من (٥٠) تدل على مستوى من التماثل النسبي والاستقرار الجيومورفولوجي. كما توضح هيمنة العمليات الطبيعية العادية، مثل التآكل والترسيب، على تطور الحوض بعيدا عن التأثيرات التكتونية الواضحة (الجبوري, الخالدي, ٢٠١٨, ص٤٤٥) .

الجدول (١) اصناف مؤشر عدم التماثل AF

الصنف	الدرجة Degree	المدى Ranges
١	مرتفع	٦٥<
٢	متوسط	٦٥_٥٧
٣	منخفض	٥٧>

المصدر: انتظار مهدي عمران وضياء بهيج رؤوف ، المؤشرات المورفوتكتونية لحوض درا دوين في محافظة السليمانية ، مجلة العلوم الانسانية، كلية التربية للعلوم الانسانية، المجلد ١٥، العدد ٤، ٢٠٢٤، ص٧.

الجدول (٢) قياس مؤشرات عدم التماثل (AF) ونتائجه واصنافه في احواض منطقة الدراسة

	الحوض	AR	AT	AF	التصنيف	الدرجة
١	البنت	276.55	629.12	٤٣,٩٥	٣	منخفض
٢	الزعفران	٤١٧,٧٢	615.28	٦٧,٨٩	١	مرتفع
٣	رود دخانة	174.49	228.88	٧٦,٢٣	١	مرتفع

المصدر: الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS V10.8)

يتبين من بيانات الجدول (٢) المتعلق بمؤشر عامل عدم التماثل (AF) وجود اختلاف ملحوظ بين الأحواض في منطقة الدراسة من حيث مستوى التماثل وتأثير العوامل التكتونية. فقد سجل حوض البنت قيمة مقدارها (٤٣.٩٥)، وهي قيمة قريبة نسبياً من القيمة المثالية للمؤشر (٥٠)، مما يدل على انخفاض مستوى عدم التماثل فيه، ولذلك تم تصنيفه

ضمن فئة النشاط التكتوني المنخفض (الدرجة الثالثة). وهذا يشير إلى أن الحوض يتمتع بحالة من الاستقرار النسبي، مع تأثير محدود للحركات التكتونية الحديثة على تطوره الجيومورفولوجي .

أما بالنسبة لحوض الزعفران، فقد بلغ قيمته (٦٧.٨٩)، وهي تختلف بشكل ملحوظ عن القيمة المثالية، مما يدل على وجود مستوى عالٍ من عدم التماثل، مما أدى إلى تصنيفه في فئة النشاط التكتوني العالي (الدرجة الأولى). وينسب هذا إلى احتمال تأثر الحوض بعوامل هيكلية أو حركات تكتونية أدت إلى ميل ملحوظ نحو أحد جوانبه، مما أثر على خصائصه المورفومترية وشبكة التصريف الخاصة به.

أما حوض رود دخانة، فقد حقق أعلى قراءة لمؤشر النشاط بتسجيله قيمة (٧٦.٢٣)، والتي تشير إلى عدم تماثل كبير مقارنة بالأحواض الأخرى، مما يؤهله أيضاً لدخول فئة النشاط التكتوني العالي (الدرجة الأولى). وتعد هذه النتيجة مؤشراً على تأثر الحوض بتأثيرات تكتونية واضحة أدت إلى تغيير خصائصه المورفولوجية وخلخلت التوازن المكاني بين جانبيه.

بصفة عامة، توضح نتائج مؤشر عامل عدم التماثل وجود تباين مكاني في مستوى النشاط التكتوني عبر أحواض منطقة البحث. يتميز حوض البنت بمدى من الاستقرار النسبي وقلة التأثر بالعوامل البنيوية، بينما توضح أحواض الزعفران ورود دخانة مستويات أعلى من النشاط التكتوني. تشير هذه النتائج إلى أن العمليات التكتونية الحديثة قد لعبت دورًا متفاوتًا في تشكيل تطور الأحواض التصريفية وتعديل خصائصها الجيومورفولوجية، مما يجعل هذا المؤشر وسيلة مهمة لتفسير التطور المورفوتكتوني لمحيط الدراسة.

٢- مؤشر شكل الحوض Basin shape parameters (BS):

يعد مؤشر شكل الحوض (Basin Shape Index – BS) من أهم المؤشرات المورفومترية المطبقة في الأبحاث الجيومورفولوجية، حيث يساعد في تحديد الصفات الشكلية للأحواض المائية ويوضح مدى استطالتها أو قربها من الشكل الدائري. وتبرز أهميته في تسهيل فهم أنماط تصريف المياه السطحية واستيعاب الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض، بالإضافة إلى الكشف عن تأثير العوامل الهيكلية والتكتونية في تطورها. يُحسب هذا المؤشر عبر العلاقة بين الطول الأقصى للحوض (Bl) والعرض الأقصى له (Bw)، من خلال معادلة رياضية تعكس مستوى استطالة الحوض وشكله العام، مما يجعله مؤشرًا حيويًا لتقييم الخصائص المورفومترية للأحواض التصريفية ودراسة العوامل التي تؤثر في تطورها (Keller, 2002, P261) :

$$\mathbf{BS} = \left(\frac{\boldsymbol{BL}}{\boldsymbol{BW}}\right)$$

حيث ان :

BS = مؤشر شكل الحوض

***BL* = طول الحوض**

BW = عرض الحوض من اوسع منطقة

يعكس عادةً مرحلة متطورة من النضج الجيومورفولوجي واستقراراً نسبياً في الظروف الهيكلية، بالإضافة إلى زيادة في سرعة جمع مياه الأمطار وارتفاع احتمال حدوث التصريفات الحادة والفيضانات. يُساهم أيضاً مؤشر شكل الحوض في تقوية التحليل الجيومورفولوجي والمورفوتكتوني عند استخدامه مع مؤشرات مورفومترية أخرى، مثل مؤشر عامل عدم التماثل ومؤشر الاستطالة ونسبة التشعب، مما يمنح فهماً أكثر عمقاً للعوامل التي تؤثر في نمو الأحواض التصريفية

وشبكات الجريان السطحي، ويساعد في توضيح الخصائص الهيكلية والجيومورفولوجية السائدة في منطقة البحث (البلاني, ٢٠٢٥, ص٢٩٢) .

الجدول (٣) اصناف مؤشر شكل الحوض BS

الصنف	الدرجة Degree	المدى Ranges
١	مرتفع	٧<
٢	متوسط	٤-٧
٣	منخفض	٤>

Keller, E. A., & Pinter, N. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. 2nd ed., Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002, pp. 137.

الجدول (٤) قياس اصناف مؤشر شكل الحوض BS في احواض منطقة الدراسة

	الحوض	BL	BW	BS	التصنيف	الدرجة
١	البنت	79.57	26.7	٢,٩٨	٣	منخفض
٢	الزعفران	72.89	22.3	٣,٢٦	٣	منخفض
٣	رود دخانة	49.31	11.2	٤,٤٠	٢	متوسط

المصدر : الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS V10.8)

يُظهر الجدول (٤) تباينًا في قيم مؤشر شكل الحوض (BS) بين أحواض منطقة الدراسة، مما يعكس اختلاف خصائصها المورفومترية وتأثير ذلك على سلوكها الهيدرولوجي.

من ناحية أخرى، سجل حوض رود دخانة أعلى قيمة لمؤشر شكل الحوض تبلغ ٤.٤٠، ووقع في التصنيف المتوسط (الدرجة ٢)، مما يدل على أنه أكثر استطالة من الحوضين المذكورين. هذه الاستطالة تعكس زيادة في طول المسارات التي تتدفق خلالها المياه، مما يؤدي عادةً إلى اختلاف زمني أكبر في وصول المياه إلى النقطة النهائية، وبالتالي تقليل احتمالية حدوث تصريف مفاجئ.

بشكل عام، تشير القيم إلى أن جميع الأحواض تميل إلى أن تكون أكثر طولًا مما هي عليه عرضًا، مع اختلافات في درجة الاستطالة، وهذا يؤثر بشكل مباشر على خصائص الجريان السطحي واستجابة الهيدرولوجية في المنطقة المدروسة. كما تظهر هذه الاختلافات تأثير العوامل البيئية والتضاريس، التي تم تحليلها باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.8).

بشكل عام، تشير القيم إلى أن جميع الأحواض تميل إلى أن تكون أكثر طولًا مما هي عليه عرضًا، مع اختلافات في درجة الاستطالة، وهذا يؤثر بشكل مباشر على خصائص الجريان السطحي واستجابة الهيدرولوجية في المنطقة المدروسة. كما تظهر هذه الاختلافات تأثير العوامل البيئية والتضاريس، التي تم تحليلها باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.8).

٣- مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي (Topographic Symmetry Factor – T)

يعد مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي (T) من الأدوات الأساسية في علم المورفومترية، حيث يستخدم في أبحاث الجيومورفولوجيا والمورفوتكتونية. يعتمد هذا المؤشر على قياس كيفية تماثل الحوض الذي يجمع المياه، وذلك من خلال معرفة ما إذا كان هناك انحراف في المسار الرئيسي للنهر عن المنتصف للحوض. يشير هذا الانحراف إلى تأثيرات هامة من العوامل الهيكلية والتكتونية على تطور نظام المجاري المائية. إذا كان النهر بعيدًا عن موقعه المعتاد، فقد يدل ذلك على وجود نشاط تكتوني حديث أو مستمر أثر في تغيير مجاري المياه داخل الحوض.

تشير التحولات التي تحدث في مسار الأنهار إلى تفاعل النظام النهري مع الحركات التكتونية، حيث يصبح معنى المؤشر أكثر وضوحًا مع زيادة الانحراف عن محور الحوض. وقد يحدث هذا الانحراف نتيجة تأثير الشقوق والكسور تحت السطحية التي تؤثر على التركيبة الجيولوجية وتوجه المجاري المائية نحوها، أو أن يكون بسبب انحدار الطبقات الصخرية وتشوهها نتيجة الحركات التكتونية المتنوعة.

تتراوح قيم مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي ما بين (٠-١)، حيث تدل القيم القريبة من الصفر على وجود تماثل ملحوظ في حوض التصريف واستقرار نسبي في الظروف الهيكلية. بينما تشير القيم القريبة من الواحد الصحيح إلى زيادة عدم التماثل، مما يترتب عليه انحراف ملحوظ في المجرى النهري الرئيسي بسبب تأثير العوامل التكتونية أو البنيات الجيولوجية الواقعة تحت السطح. كما تعكس القيم العالية للمؤشر كيفية استجابة المجاري المائية للتشوهات التركيبية والشقوق والصدوع، مما يؤدي إلى انحرافها نحو مناطق الضعف الهيكلي ويجعلها مؤشراً مهماً في تقييم النشاط التكتوني الحديث وتحديد اتجاهاته في منطقة البحث. ويتم حساب مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي وفقاً للمعادلة التالية:

$$\mathbf{T} = \frac{\boldsymbol{DA}}{\boldsymbol{Dd}}$$

حيث ان:

T= مؤشر التماثل الطبوغرافي

Da = المسافة الأفقية بين المجرى النهري الرئيس ومحور الحوض.

Dd = المسافة الأفقية بين محور الحوض وحدّه الأقصى (أحد جانبي الحوض).

وتبرز أهمية هذا المؤشر عند استخدامه بالاقتران مع مؤشرات مورفومترية أخرى، مثل مؤشر شكل الحوض ومؤشر عدم التماثل ونسبة التشعب، لما يوفره من فهم أعمق للعلاقة بين التطور الجيومورفولوجي والنشاط التكتوني، ويساعد في تشخيص المناطق النشطة تكتونيًا داخل نطاق الأحواض المائية في منطقة الدراسة. (Takieh et al, 2015, P231)

.

الجدول (٥) أصناف المؤشر التماثل الطبوغرافي T

الصنف	الدرجة Degree	المدى Ranges
١	مرتفع	٠.٦<
٢	متوسط	٠.٣ – ٠.٦
٣	منخفض	٠.٣>

Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). Tectonic Geomorphology. 2nd ed., Wiley-Blackwell, Oxford, p. 274 ..

الجدول (٦) أصناف المؤشر التماثل الطبوغرافي T في احواض منطقة الدراسة

	الحوض	DA	Dd	T	التصنيف	الدرجة
١	البنت	٣,٥٥	٤,١٣	٠,٨٥	١	مرتفع
٢	الزعفران	٦,٥٦	٦,٩١	٠,٩٤	١	مرتفع
٣	رود دخانة	٢,٢٤	٣,٧٥	٠,٥٩	٢	متوسط

المصدر : الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS V10.8)

بعد تطبيق المعادلة على الأحواض في منطقة البحث، تظهر نتائج الجدول (٦) اختلافًا ملحوظًا في قيم مؤشر التماثل الطبوغرافي بين الأحواض المائية، مما يدل على تنوع تأثير العوامل الهيكلية والتكتونية على مسار الأنهار الرئيسية. حيث حصل حوض الحاوي على قيمة متوسطة ($T = 0.49$)، مما يشير إلى وجود تماثل جزئي بين مجرى النهر ومحور الحوض، ويعكس استقرارًا نسبيًا في الشبكة المائية مع تأثير بسيط من الصدوع أو الانكسارات. على الجهة الأخرى، سجلت أحواض البنت والزعفران قيمًا أعلى ($T = 0.85$ و٠.٩٤ على التوالي)، مما يدل على وجود انحراف واضح لمجرى النهر عن محور الحوض نتيجة النشاط التكتوني أو تأثير الصدوع الموجودة تحت السطح. هذا الانحراف يظهر إعادة توجيه الشبكة النهرية وفق نقاط ضعف صخرية معينة، مما يخلق نمط عدم تماثل واضح في الحوض. أما حوض رود دخانة، فسجل قيمة متوسطة ($T = 0.59$)، مما يعكس وضعًا انتقاليًا بين الاستقرار النسبي والنشاط التكتوني، حيث يبدو أن جزءًا من مجرى النهر مستقيماً ومتوازيًا مع محور الحوض، بينما جزء آخر يميل نحو المناطق المتأثرة بالعوامل الهيكلية. وبالتالي، يعكس مؤشر التماثل الطبوغرافي تنوع الاستجابة الهيدرومورفولوجية للأحواض المائية، مما يسمح بتقييم مدى تأثير النشاط الهيكلي على توجيه المجاري المائية، كما أنه يعد أداة فعالة عند دمجه مع مؤشرات أخرى مثل مؤشر شكل الحوض (BS) ومؤشر الاستطالة ونسبة التشعب، لبناء تصور شامل عن التطور الجيومورفولوجي للأحواض المائية واحتمالات حدوث الفيضانات في منطقة البحث.

٤- مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل(Mountain Front Sinuosity Index – SMF)

يعد مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل من المؤشرات الجيومورفولوجية المهمة التي تُستخدم لتقييم مستوى النشاط التكتوني والزلازل، لأنه يعكس التوازن الموجود بين عمليات الرفع التكتوني وعملية التعرية السطحية. تسهم هذه العمليات المتعارضة في تحديد شكل مقدّمة الجبل ومدى استقامتها أو تعرجها، مما يجعل هذا المؤشر أداة مهمة لفهم التطور الجيومورفولوجي في المناطق الجبلية.

تتكون مقدّمة الجبل عند الحدود بين المناطق الجبلية والمناطق المنخفضة المحيطة، وهي منطقة تتأثر بشكل مباشر بالحركات التكتونية، وبالأخص عمليات الرفع المستمر والنشاط الصدعي. عندما تكون مستويات الرفع التكتوني مرتفعة، تظل مقدّمة الجبل ذات شكل مستقيم نسبيًا، لأنه لا يوجد وقت كافٍ لعمليات التعرية لخلق تعرجات واضحة على الواجهة الجبلية، وعند هذا، تُسجل قيم مؤشر SMF مستويات منخفضة مما يدل على نشاط تكتوني فعّال ووجود عوامل داخلية مسيطرة.

وعلى العكس، عندما تنخفض معدلات الرفع التكتوني أو تتوقف النسبي، تزداد فعالية عمليات التعرية المائية والسطحية، مما يجعل الأودية والجداول تنحت الواجهة الجبلية وتعيد تشكيلها، فيحدث زيادة في تعرج مقدّمة الجبل وظهور تشققات

موضعية على امتدادها. وتظهر هذه الحالة بارتفاع قيم مؤشر SMF، مما يشير إلى تراجع النشاط التكتوني النسبي وتطور المنطقة نحو مراحل نضج جيومورفولوجي.

يمتاز مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل بحساسية عالية تجاه التغيرات البنيوية والزلزالية، حيث إن الواجهات الجبلية المرتبطة بالفوالق النشطة أو الحركات التكتونية الحديثة غالبًا ما تسجل قيم منخفضة للمؤشر بسبب تجدد عمليات الرفع وإعادة تشكيل الواجهة الجبلية بصورة مستمرة. بالمقابل، تميل الواجهات التي تتعرض لفترات طويلة من التعرية دون نشاط تكتوني فعال إلى زيادة التعرج والتعقيد في الشكل، مما يرفع قيم المؤشر ويعكس اس dominance of external processes على حساب العمليات التكتونية. يتم حساب مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل وفق المعادلة التالية (Verrios, 2004, P213).

$$\mathbf{SMF = \frac{Lmf}{Ls}}$$

حيث ان :

SMF= مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل

Lmf = الطول الحقيقي لمقدّمة الجبل المقاس على طول خط الواجهة المتعرّج،

Ls = الطول المستقيم لمقدّمة الجبل المقاس كخط مباشر بين نقطتي بداية ونهاية الواجهة.

وتقترب قيمة المؤشر من الواحد الصحيح عندما تكون مقدّمة الجبل مستقيمة نسبيًا، في حين تزداد القيم كلما ازداد تعرّج الواجهة الجبلية. وتكمن أهمية مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل في قدرته على الربط بين المظاهر الطبوغرافية السطحية والعمليات التكتونية العميقة، كما يُعد من المؤشرات الأساسية التي تُستخدم بالاقتران مع مؤشرات جيومورفولوجية أخرى، مثل مؤشر التماثل الطبوغرافي (T) ومؤشر شكل الحوض (BS) ومؤشر الاستطالة، لتقديم تفسير متكامل لطبيعة التطور الجيومورفولوجي ومستوى النشاط البنيوي في منطقة الدراسة. ويساعد هذا التكامل في تحديد المناطق الأكثر تأثرًا بالحركات التكتونية الحديثة، وتقييم احتمالية المخاطر الزلزالية والجيومورفولوجية المرتبطة بها (Keller, 2002, P362) :

الجدول (٧) مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل SMF

الصنف	الدرجة Degree	المدى Ranges
١	مرتفع	١- ١.٦
٢	متوسط	١.٦- ٣
٣	منخفض	٣ – ٥

Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). Tectonic Geomorphology. 2nd ed., Wiley-Blackwell, Oxford, p. 274..

الجدول (٨) مؤشر تعرّج مقدّمة الجبل SMF في احواض منطقة الدراسة

	الحوض	Lmf	Ls	SMF	التصنيف	الدرجة
١	البنت	٥٨,٨	٢٧,٨	٢,١	٢	متوسط
٢	الزعفران	٧٩,٣	٣٣,٧	٢,٣	٢	متوسط
٣	رود دخانة	١٨,٤	٩,٨	١,٨	٢	متوسط

المصدر : الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS V10.8)

بعد تطبيق المعادلة على أحواض المنطقة التي تم دراستها، يظهر الجدول (٨) قيم مؤشر تعرج مقدمة الجبل (SMF) في هذه الأحواد، والتي تم الحصول عليها باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي ونتائج نظم المعلومات الجغرافية. يعكس هذا

المؤشر العلاقة بين الطول الفعلي لمقدمة الجبل (Lmf) وطولها المستقيم (Ls)، ويستخدم لفهم مدى استقامة أو تعرج واجهة الجبل وما يرتبط بهذا من تأثيرات تكتونية وجيومورفولوجية. تشير النتائج في الجدول إلى أن قيم مؤشر SMF تتراوح بين ١.٧ و ٢.٣، وجميعها تقع في نطاق التصنيف المتوسط، مما يدل على أن مقدمات الجبال في أحواض الدراسة لا يظهر فيها استقامة مرتفعة جداً ولا تعرج كبير، بل تعكس حالة من التوازن النسبي بين العوامل الهيكلية والنشاط التكتوني من جهة، وعمليات التعرية والنحت النهري من جهة أخرى. فوجود قيم متوسطة للمؤشر يشير إلى أن الجبهة الجبلية لا تزال تحتفظ بشكلها العام، لكنها في نفس الوقت تعرضت لعمليات نحت وتقطيع أدت إلى زيادة طولها الفعلي مقارنة بالطول المستقيم.

يظهر أن أعلى قيمة لمؤشر التعرّج وُجدت في حوض الزعفران حيث بلغت ٢.٣، ويرجع ذلك لزيادة واضحة في طول مقدمة الجبل مقارنة بالطول المستقيم، مما يدل على مستوى أكبر من التعرّج وتقطيع الجبهة الجبلية. وهذا يمكن أن يكون سببه زيادة تأثير التعرية أو ضعف الاستقرار البنيوي في مقدمة الجبل في هذا الحوض. ومن ثم يأتي حوض البنت بمؤشر قيمته ٢.١، مما يشير إلى أن مقدمة الجبل فيه تتعرج بشكل ملحوظ أكثر مقارنة بالأحواض الأخرى، لكنها تُصنّف أيضًا ضمن المستوى المتوسط.

على الجانب الآخر، حوض الحاوي سجل أدنى قيمة لمؤشر SMF مقدارها ١.٧، يليه حوض رود دخانة الذي بلغت قيمته ١.٨، وهذه الأرقام تدل على أن مقدّمات الجبال في هذين الحوضين تبدو أكثر انتظامًا واستقامة مقارنةً بالزعفران والبنت، مما قد يشير إلى وجود تأثير بنيوي أو تكتوني واضح، أو أن عمليات التعرية لم تقم بتقطيع الجبهة الجبلية بشكل كبير. بشكل عام، يظهر التفاوت في قيم مؤشر تعرّج مقدمة الجبل بين الأحواض في المنطقة اختلافات نسبية في شدة التعرية ودرجة السيطرة البنيوية، ومع ذلك، يبرز بقاء جميع القيم ضمن التصنيف المتوسط أن المنطقة تشهد توازنًا مشتركًا بين العوامل التكتونية والعمليات الجيومورفولوجية على السطح.

٥. مؤشر طول المجرى المائي Stream Length–Gradient Index (SL)

يُعدّ مؤشر طول المجرى–الانحدار (Stream Length–Gradient Index – SL) من المؤشرات الجيومورفولوجية المهمة المستخدمة في دراسة خصائص المجاري المائية وتقييم درجة استجابة الأودية والأنهار للتأثيرات البنيوية والتكتونية. ويُستخدم هذا المؤشر في الكشف عن التغيرات التي تطرأ على انحدار المجرى النهري وعلاقتها بمقاومة الصخور لعمليات التعرية المائية، فضلاً عن دوره في تحديد المناطق المتأثرة بالنشاط التكتوني.

وتشير القيم المرتفعة لمؤشر (SL) غالباً إلى وجود تغيرات مفاجئة في الانحدار أو إلى مرور المجرى فوق صخور شديدة المقاومة للتعرية، كما قد تعكس تأثيرات تكتونية أدت إلى حدوث رفع أو تشوهات بنيوية في المنطقة. أما القيم المنخفضة للمؤشر فتدل على انحدارات أكثر انتظاماً أو على وجود صخور أقل مقاومة لعمليات التعرية، فضلاً عن انخفاض تأثير النشاط التكتوني.

كما يتأثر هذا المؤشر بدرجة انحدار المجرى المائي وطبيعة تعرجاته وخصائص الوادي الذي يجري خلاله، مما يجعله أداة فعالة في تحليل الخصائص الجيومورفولوجية للمجاري المائية والكشف عن تأثير العوامل البنيوية والتكتونية في تطورها . ويتم حسابه وفق المعادلة التالية(عبد الامير, ٢٠٢٥, ص٢٦٢) :

$$SL = Lt\ (\frac{\Delta H}{\Delta L})$$

SL = طول القناة الكلية للوادي الى النقطة الوسطية في منتصف المصب

ΔH = فرق الارتفاع في منطقة المصب المحددة

ΔL= طول المسافة المستقيمة في منطقة المصب المحددة .

وقد صنّف كلٌّ من كيلر وبينتر (*Keller & Pinter*) قيم مؤشر *SL* إلى ثلاث فئات كما هو موضح في الجدول (٢-٩)، حيث تشير القيم المتقاربة إلى تقارب في معدلات التصريف المائي ومستوى النشاط التكتوني.

الجدول (٩) مؤشر طول المجرى المائي SL

الصنف	الدرجة Degree	المدى Ranges
١	مرتفع	٥٠٠<
٢	متوسط	٣٠٠ - ٥٠٠
٣	منخفض	٣٠٠>

Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). Tectonic Geomorphology. 2nd ed., Wiley-Blackwell, Oxford, p. 274.

الجدول (١٠) نتائج وقياسات مؤشر طول المجرى المائي SL واصنافة

	الحوض	ΔH	ΔL	SL	التصنيف	الدرجة
١	البنت	٤٥	4.15	78.18	٣	منخفض
٢	الزعفران	٤٠	16.84	61.9	٣	منخفض
٣	رود دخانة	١٥	4.69	46.65	٣	منخفض

المصدر : الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS V10.8)

يتضح من نتائج الجدول (١٠) أن جميع الأحواض المدروسة، وهي الحاوي والبنت ورود دخانة والزعفران، قد سجلت قيماً منخفضة لمؤشر طول–انحدار المجرى المائي (SL)، مما يدل بصورة عامة على ضعف التأثيرات التكتونية في منطقة الدراسة ووجود حالة من الاستقرار البنيوي النسبي. فالقيم المنخفضة لهذا المؤشر غالباً ما تعكس غياب حركات رفع تكتونية حديثة أو مؤثرة، كما تشير إلى أن المجاري المائية قطعت شوطاً متقدماً في تطورها الجيومورفولوجي، حيث تسود عمليات النحت الجانبي على حساب النحت الرأسي.

وعند مقارنة القيم بين الأحواض، يظهر أن حوض البنت سجل أعلى قيمة لمؤشر (٧٨.١٨)، يليه حوض الزعفران (٦١.٩٠)، ثم رود دخانة (٤٦.٦٥)، في حين سجل حوض الحاوي أدنى قيمة بلغت (٢٧.٣٧). ويعكس هذا التباين اختلافاً نسبياً في درجات الانحدار وفرق الارتفاع بين الأحواض، إذ أسهم ارتفاع فرق الارتفاع (ΔH) في حوض البنت في رفع قيمة المؤشر مقارنة ببقية الأحواض، بينما أدى انخفاض فرق الارتفاع في حوضي الحاوي ورود دخانة إلى تسجيل قيم أقل. كما أن زيادة المسافة الأفقية (ΔL) في بعض الأحواض، مثل الزعفران، ساهمت في تخفيض شدة الانحدار النسبي، مما أبقى قيمة المؤشر ضمن الفئة المنخفضة، بصورة عامة، تشير هذه النتائج إلى أن منطقة الدراسة تتسم بانحدارات معتدلة وتكوينات صخرية لا تعكس مقاومة عالية جداً، مع غياب دلائل واضحة على نشاط تكتوني حديث، الأمر الذي يؤكد حالة الاستقرار النسبي للمنطقة من الناحية الجيومورفولوجية.

الاستنتاجات

١. أظهرت نتائج الدراسة وجود تباين مكاني واضح في الخصائص الهيدرولوجية والمؤشرات المورفوتكتونية بين أحواض البنت والزعفران ورود دخانة، مما يعكس اختلاف تأثير العوامل البنيوية والطبوغرافية في تطور كل حوض .
٢. بينت نتائج مؤشر عامل عدم التماثل (AF) أن حوضي الزعفران ورود دخانة يتمتعان بدرجة أعلى من النشاط التكتوني مقارنة بحوض البنت، الذي اتسم بحالة من الاستقرار النسبي وانخفاض التأثر بالعوامل البنيوية .
٣. أوضحت قيم مؤشر شكل الحوض (BS) أن الأحواض المدروسة تتجه نحو الشكل المستطيل أكثر من الشكل الدائري، الأمر الذي يسهم في إطالة زمن تركيز الجريان السطحي وتقليل احتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة .
٤. أظهرت نتائج مؤشر التماثل الطبوغرافي (T) وجود تأثير ملحوظ للعوامل البنيوية في توجيه المجاري المائية داخل منطقة الدراسة، ولاسيما في حوضي البنت والزعفران .
٥. كشفت نتائج مؤشر تعرج مقدمة الجبل (SMF) أن منطقة الدراسة تقع ضمن مستوى متوسط من النشاط التكتوني، مع وجود حالة من التوازن النسبي بين عمليات الرفع التكتوني وعمليات التعرية .
٦. سجلت الأحواض المدروسة قيماً منخفضة لمؤشر طول المجرى–الانحدار(SL) ، مما يشير إلى محدودية تأثير النشاط التكتوني الحديث واستقرار المنطقة من الناحية الجيومورفولوجية .
٧. أثبتت الدراسة فاعلية تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في تحليل الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للأحواض المائية، وإنتاج قاعدة بيانات مكانية دقيقة يمكن الاستفادة منها في الدراسات المستقبلية.

التوصيات

١. ضرورة اعتماد تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد في الدراسات المستقبلية الخاصة بالأحواض المائية لما توفره من دقة وسرعة في التحليل.
٢. تنفيذ مشاريع لحصاد المياه والسيطرة على الجريان السطحي في الأحواض ذات النشاط الهيدرولوجي المرتفع لتقليل أخطار الفيضانات والسيول.
٣. إجراء مراقبة دورية للمؤشرات المورفوتكتونية للكشف المبكر عن أي تغيرات بنيوية أو نشاط تكتوني محتمل في المنطقة.
٤. الاستفادة من نتائج الدراسة في إعداد خطط إدارة متكاملة للموارد المائية والتنمية البيئية المستدامة في شمال شرق محافظة ميسان.
٥. توجيه التوسع الزراعي والعمراني بعيداً عن المناطق الأكثر عرضة للتعرية والانجراف والفيضانات الموسمية.
٦. تشجيع الدراسات التفصيلية التي تربط بين الخصائص المناخية والجيومورفولوجية لتحسين فهم السلوك الهيدرولوجي للأحواض.
٧. تعزيز التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والجهات الحكومية للاستفادة من قواعد البيانات المكانية في التخطيط البيئي وإدارة المخاطر الطبيعية.

المصادر و المراجع

١. البلاني، عز الدين جمعة درويش. (٢٠٢٥). العلاقة المكانية للنشاط التكتوني و مؤشراتها الجيومورفولوجية في حوض زلم, مجلة اران, المجلد الاول, العدد الاول.

٢. الجبوري، ريم ثائر حبيب، والخالدي، منذر علي طه. (٢٠١٨). دراسة المؤشرات الجيمورفولوجية للنشاط التكتوني في طية بلكانة شمال شرقي الطوز. مجلة ديالى, ٧٧.

٣. الحسناوي، مرتضى كاظم. (٢٠١٧). المؤشرات الجيومورفولوجية للنشاط التكتوني في حوض نهر ديالى [رسالة ماجستير]. الجامعة المستنصرية.

٤. حسين، إبراهيم. (١٩٨٩). الاستشعار عن بعد، البعد الخامس في دراسة موارد الأرض ومحيطها الحيوي. الهيئة العامة للاستشعار عن بعد, (٥).

٥. عبد الأمير زينب صائب. (٢٠٢٥). الكشف عن التنشيط التكتوني لحوض الدبدبة في محافظة البصرة باستخدام المؤشرات الجيومورفولوجية. مجلة آداب البصرة, (١١١).

٦. العرود، إبراهيم. (١٩٩٧). مبادئ المناخ الطبيعي , ط١ , عمان , دار الشروق للنشر والتوزيع.

٧. حمد ، عبد الجواد محمد علي. (٢٠٠١). نظم المعلومات الجغرافية , ط١, عمان, دار الصفاء للنشر والتوزيع.

٨. الموزاني، انتصار قاسم. (٢٠٠٧). الظروف الهيدرولوجية والجيومورفولوجية العامة للأجزاء الشرقية في محافظة ميسان [رسالة ماجستير]. جامعة بغداد

9. Bull, W. B. (2007). Tectonic Geomorphology of Mountains (1st ed.). Blackwell Publishing

10. Keller, E. A. & P. N. (2002). Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd ed.). Prentice Hall.

11. Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., & Mishra, V. N. (2017). A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. Applied Water Science, 7(1), 217–232.

12. Takieh, E. A. D., Ghorashi, M., & Rezaie, F. (2015). The Transverse Topographic Symmetry Factor of Darakeh Stream in the North Tehran, Iran. Open Journal of Geology, 05(11), 770–779.

13. Verrios, S., Zygouri, V., & Kokkalas, S. (2004). MORPHOTECTONIC ANALYSIS IN THE ELIKI FAULT ZONE (GULF OF CORINTH, GREECE). Bulletin of the Geological Society of Greece, 36(4), 1706.