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

Modeling Morphotectonic Processes in the Warti Area Northeastern Erbil Governorate

Hiwa Khalil Mohammed

Mohammed Khalil Al-Maamouri

College of Education for Human Sciences

* *Corresponding author: E-mail* : Hiwakhalil72@gmail.com

Keywords:
Morphotectonic processes,
Warti area,
geomorphometric indices,
tectonic activity,
Geographic Information Systems

A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 3 Feb 2026
Received in revised form 25 Mar 2026
Accepted 27 Mar 2026
Final Proofreading 30 Sept 2026
Available online 30 Sept 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

This research aims to model the morphotectonic processes in the Warti area, northeast of Erbil Governorate, through analyzing geomorphometric indices extracted from the Digital Elevation Model (DEM) using Geographic Information Systems (GIS). The study area lies within the mountainous belt of the Zagros Range, known for its tectonic activity and influence on landforms and drainage networks. The research analyzed the Asymmetry Factor (AF), Transverse Topographic Symmetry Index (T-index), Basin Shape Index (Bs), and other indicators used in building the morphotectonic hazard model. Results revealed clear spatial variation in index values, with high structural response in the southern and southeastern parts, where drainage deviations and basin asymmetry indicate differential uplift and structural control. Four spatial factors were integrated using the Weighted Overlay method: tectonic activity, lineament intersection density, lineament length density, and relief. Moderate hazard occupied the largest area, confirming the structurally active nature of the region.

DOI: http://doi.org/10.25130/jtuh.33.9.1.2026.13

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

نمذجة العمليات المورفوتكتونية لمنطقة ورتي شمال شرق محافظة أربيل

هيوا خليل محمد/ جامعة تكريت/ كلية التربية للعلوم الإنسانية

محمد خليل محمد المعموري/ جامعة تكريت/ كلية التربية للعلوم الإنسانية

الخلاصة:

يهدف البحث إلى نمذجة العمليات المورفوتكتونية في منطقة ورتي شمال شرق أربيل، من خلال تحليل مؤشرات جيومورفومترية مستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. تنبع أهمية الدراسة من وقوع المنطقة ضمن الحزام الجبلي لزاكروس ذي النشاط التكتوني الواضح وتأثيره في تشكيل السطح وتوجيه التصريف النهري لهذه المنطقة. اعتمدت الدراسة على مؤشرات مثل معامل عدم

التماثل(AF) ، وعامل التشوه العرضي(T-index) ، ومؤشر شكل الحوض(Bs) ، إلى جانب مؤشرات بنيوية أخرى لبناء نموذج المخاطرالتي تبين اثر العمليات المورفوتكتونية في منطقة الدراسة. أظهرت النتائج تباينًا مكانيًا واضحاً في القيم التي اثرت في منطقة الدراسة، وقد يعكس اختلاف تأثير النشاط التكتوني، مع بروز مناطق ذات استجابة عالية خاصة في الجنوب والجنوب الشرقي من منطقة الدراسة، نتيجة الرفع التفاضلي. كما بين نموذج المخاطر أن الفئة المتوسطة هي الأوسع، تليها الضعيفة ثم العالية، مع وقوع أكثر من نصف المنطقة ضمن الخطورة المتوسطة والعالية، مما يؤكد النشاط البنيوي لمنطقة الدراسة وأهمية المؤشرات في دعم التحليل والتخطيط البيئي.

العمليات المورفوتكتونية، منطقة ورتي، المؤشرات الجيومورفومترية، النشاط التكتوني، نظم المعلومات الجغرافية.

المقدمة

تعد العمليات المورفوتكتونية من العوامل الرئيسة في تشكيل المظهر العام لسطح الأرض، إذ ترتبط نشأة العديد من الأشكال الأرضية بالحركات التكتونية الناتجة عن القوى الباطنية للأرض، والتي تؤدي إلى عمليات الرفع والانخفاض والتصدع والتطوي، وتنعكس في تكوين السلاسل الجبلية والأودية والهضاب وتوجيه تطور شبكات التصريف النهري.

وتبرز أهمية دراسة هذه العمليات في المناطق الجبلية النشطة تكتونياً، مثل نطاق جبال زاكروس الذي تقع ضمنه منطقة ورتي شمال شرق العراق، حيث تؤثر البنية التكتونية في طبيعة الانحدارات واتجاهات الجريان السطحي وتطور المجاري المائية. ويهدف البحث إلى نمذجة العمليات المورفوتكتونية في منطقة ورتي من خلال تحليل المؤشرات الجيومورفومترية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية للكشف عن درجة النشاط التكتوني في المنطقة.

مشكلة البحث.

على الرغم من وقوع منطقة ورتي ضمن نطاق الحزام الجبلي لسلسلة جبال زاكروس المعروف بنشاطه التكتوني، إلا أن تأثير هذا النشاط في تشكيل الأشكال الأرضية وتطور شبكة التصريف في المنطقة ما زال غير واضح بشكل دقيق، ولا سيما من خلال التحليل الكمي للمؤشرات الجيومورفومترية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية. ومن ذلك تنبثق مشكلة البحث في التساؤلات الآتية :

١. ما طبيعة تأثير النشاط التكتوني في تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية وتطور شبكة التصريف النهري في منطقة ورتي؟

٢. إلى أي مدى يمكن اعتماد المؤشرات الجيومورفومترية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي في نمذجة العمليات المورفوتكتونية وتحديد درجة النشاط التكتوني في المنطقة؟

فرضية البحث.

١. يفترض البحث أن البنية التكتونية في منطقة ورتي تؤثر بشكل واضح في تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية وتوجيه شبكة التصريف النهري.
٢. كما يمكن اعتماد المؤشرات الجيومورفومترية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في نمذجة العمليات المورفوتكتونية وتحديد درجة النشاط التكتوني في المنطقة

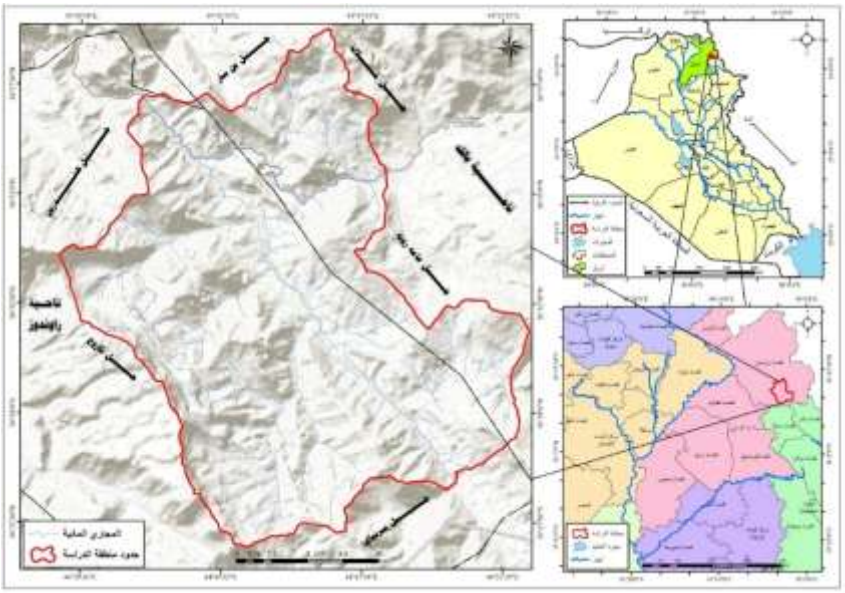
اهداف البحث.

١. التعرف على طبيعة العمليات المورفوتكتونية المؤثرة في تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية في منطقة ورتي.
٢. تحليل دور البنية التكتونية في توجيه شبكة التصريف النهري وتطور الأشكال الأرضية في منطقة الدراسة.
٣. نمذجة العمليات المورفوتكتونية في منطقة ورتي من خلال تحليل المؤشرات الجيومورفومترية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة اداريًا في اقصى شمال شرق العراق، على بعد نحو ١٨٢كم شمال شرق محافظة أربيل، وتندرج ضمن قضاء روندوز، ما فلكياً فتقع بين دائرتي عرض (٢ْ_٣٦َ- ١٦ْ_٣٦َ) شمالاً، وبين خطي طول (٣٩ْ_٤٤َ- ٥٣ْ_٤٤َ) شرقاً، كما مبين في الخريطة (١).
تحد منطقة الدراسة من جهة الشمال والشمال الشرقي نواحي سميلان وكلالة وقسري التابعة لقضاء جومان، بينما يحدها من الجنوب ناحية ناودشت، ومن الجنوب الشرقي ناحية سه ركبران التابعان لقضائي قلعة دزه ورانية على التوالي، في حين يحدها من الشمال والشمال الغربي قضاء روندوز.
وتغطي منطقة الدراسة تضاريس معقدة تتسم بانتشار الجبال العالية،ويتخذ اتجاها العام امتداداً من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي، كما تتصف الجبال فيها بشدة الانحدار، ومن ابرز السلاسل والقمم الجبلية في المنطقة جبال كاروخ، ودربي، ومامروت ،ودجيلة، اذ تتراوح ارتفاعها ما بين ١٥٠٠م- ٢٦٥٠م فوق مستوى سطح البحر،وتبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي ٢٢٩.٣كم^{٢}.

خريطة(١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: اعتمادا على: خريطة محافظة أربيل الإدارية، بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠، ونموذج الارتفاع الرقمي DEMبدقة تميزية ١٢.٥م، ومخرجات برنامج Arc GIS.

١. المؤشرات التكتونية للعمليات الجيوموفولوجية:

تعد المؤشرات التكتونية من الأساليب الحديثة في تحليل الأشكال الأرضية والكشف عن التاريخ التكتوني للمناطق المختلفة، إذ تسهم في تفسير تطور الأحواض النهرية وبيان تأثير الحركات التكتونية في توجيه شبكات التصريف وتغير مسارات المجاري المائية. وتعتمد هذه المؤشرات على بيانات كمية مستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) ، وتشمل مجموعة من المؤشرات المرتبطة بشكل الحوض، التي تساعد في فهم العلاقة بين الخصائص المورفومترية للحوض وسلوكه الهيدرولوجي، فضلاً عن دورها في تقييم النشاط التكتوني واحتمالية حدوث السيول [١].

ومؤشرات خاصة بشبكة التصريف(Drainage Network) لفهم طبيعة سطح وكيفية إدارة المياه ، ومؤشرات تناولت مقاطع الاودية للكشف عن خصائص الشكل الطولي والعرضي للمجاري المائية، مما يساعد على فهم مراحل تطور الأودية، وشدة عمليات التعرية، ومدى استقرار المنحدرات الجانبية، وهو ما يُعد أساسًا في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية[٢]،ومؤشرات خطية بنيوية (Structural Linear Indicators) مع التركيز على اتجاهات الخطيات ومدة تطابق المجاري المائية مع الفوالق لبيان تأثير البنية الجيولوجية على تشكيل شبكة التصريف، مما يساعد في فهم النشاط التكتوني وتطور الأشكال الأرضية[٣]، بالإضافة الى مؤشر النشاط التكتوني النسبي.

لذا تعد المؤشرات الجيومورفولوجية بأنواعها المختلفة أدوات تحليلية تساعد في فهم الخصائص البنيوية والمورفومترية للأحواض، وتُسهم في فهم تأثير العوامل التكتونية والمناخية على تطور الأشكال الأرضية وسلوك المجاري المائية،وفيما يلي اهم المؤشرات التي تم تطبيقه على منطقة الدراسة:

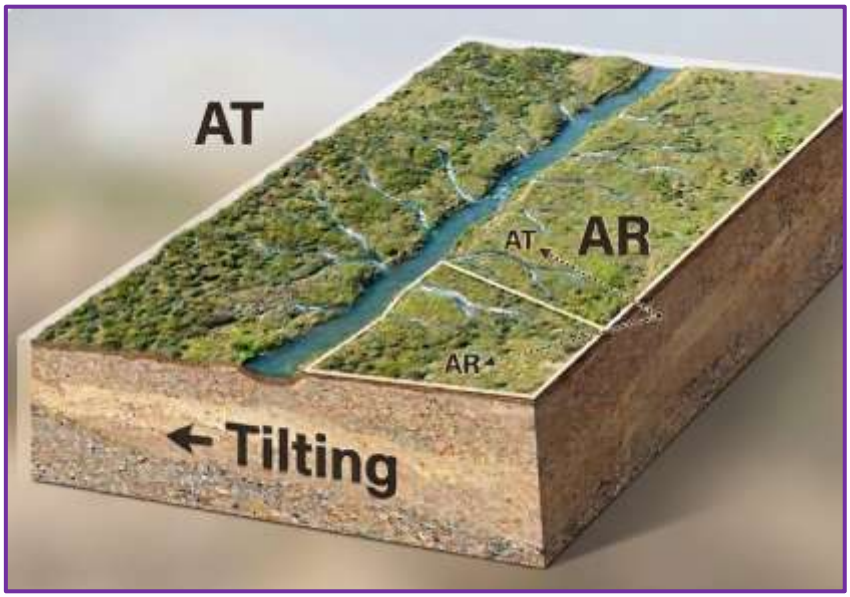
١-١.مؤشرات شكل الحوض:

تمثل مؤشرات شكل الحوض مدخلًا كميًا لتحليل البنية الهندسية للحوض النهري، وتستخدم في الكشف عن الأنماط المورفومترية المرتبطة بتوزيع الانحدارات واتجاهات التصريف، وتعد مؤشرات مثل معامل عدم التماثل، ومعامل التشوه العرضي، وشكل الحوض من الأدوات التي تساهم في تفسير تطور الحوض تحت تأثير العوامل التكتونية والمورفولوجية، وتساعد في تقييم الاستجابة الهيدرولوجية للنظام التصريفي.

١. **يعد معامل عدم التماثل(AF)** من المؤشرات الجيومورفومترية المستخدمة لقياس درجة انزياح محور التصريف الرئيس داخل الحوض النهري، إذ يعبر عن مستوى التوازن بين جانبي الحوض. ويُحسب من خلال مقارنة مساحة أحد جانبي الحوض بالمساحة الكلية له، حيث تشير القيمة (٥٠) إلى تماثل نسبي، بينما تعكس القيم البعيدة عن هذا الرقم وجود عدم توازن في توزيع شبكة التصريف[٤].

لا يمكن تفسير انحراف محور التصريف اعتماداً على شدة التضرس وحدها، إذ يرتبط بدرجة كبيرة بطبيعة البنية الجيولوجية والتطور الديناميكي للحوض. ففي المناطق منخفضة التضرس قد تظهر قيم مرتفعة أو منخفضة لمعامل عدم التماثل نتيجة ميلان إقليمي بسيط أو تأثير حركات تكتونية غير واضحة على السطح، حيث يكفي انحدار طفيف في القاعدة الصخرية لإعادة توجيه المجاري المائية واتساع أحد جانبي الحوض على حساب الآخر. وفي المقابل قد تقترب قيم المؤشر من (٥٠) في البيئات الجبلية المتضرسة عندما يكون التأثير البنيوي متماثلاً على جانبي المجرفي بعض البيئات الجبلية يتركز النحت في الاتجاه الرأسي أكثر من الجانبي، مما يحافظ على توازن نسبي بين جانبي الحوض. كما قد تصل بعض الأحواض إلى حالة من التوازن الديناميكي بين معدلات الرفع والتعرية، الأمر الذي يؤدي إلى استقرار شبكة التصريف وتقليل درجة الانحراف. كذلك تحد الأودية العميقة ذات الانحدارات الشديدة من قدرة المجاري المائية على الهجرة الجانبية، مما يبقي مساحات جانبي الحوض متقاربة. لذلك فإن تفسير قيم معامل عدم التماثل يتطلب تحليلاً متكاملاً يأخذ في الحسبان البنية الجيولوجية وطبيعة الصخور والتطور التضاريسي، ولا يمكن ربطه بشدة الانحدار أو الارتفاع فقط.

شكل(1) تمثيل ثلاثي الأبعاد لانحراف محور التصريف في الحوض



من اعداد الباحث استنادا الى Keller & Pinter, 2002.

وتصاغ قانون هذا المؤشر بهذا الطريقة:

AF =100 (AR/AT) حيث ان :

AF=مؤشر عدم التماثل

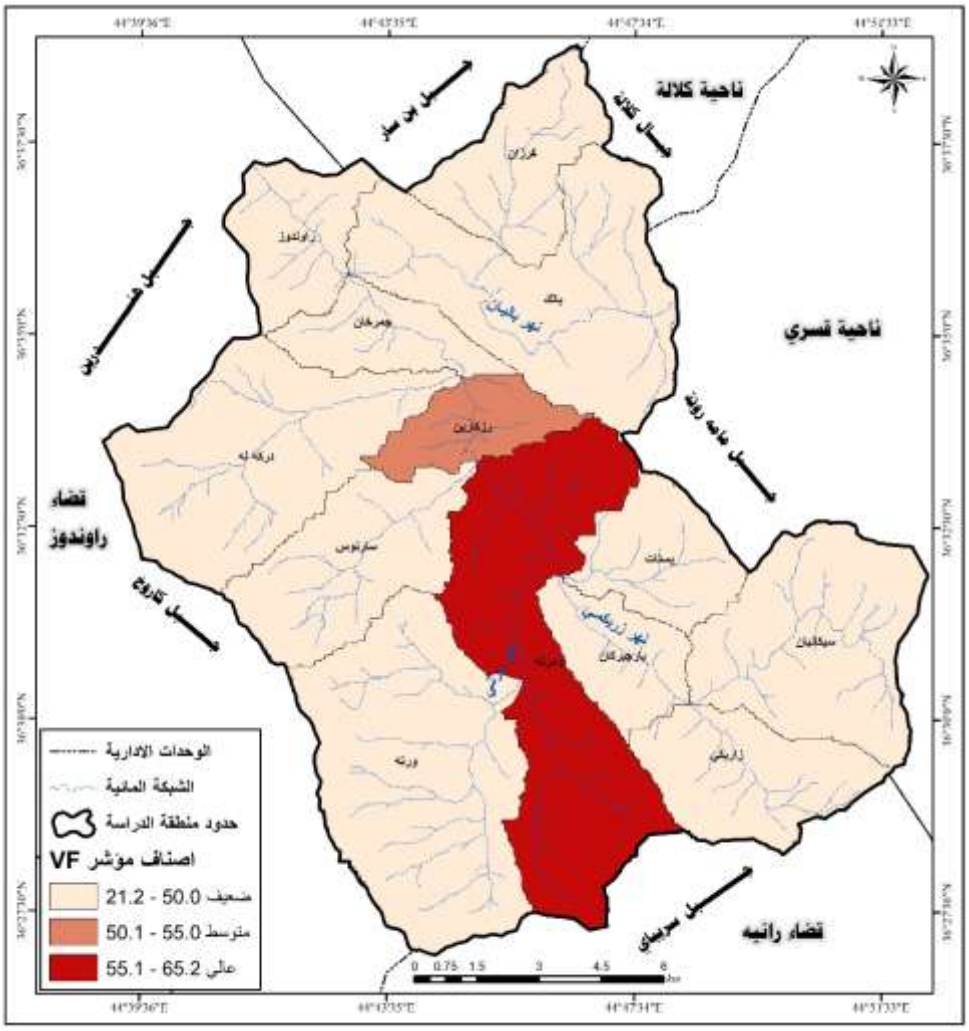
Ar= مساحة الجانب الأيمن من الحوض.

At= المساحة الكلية للحوض.

تُظهر الخريطة (2) أن قيم معامل عدم التماثل (AF) تراوحت بين ٢١.٢ و٦٥.٢، مع تركز القيم المرتفعة (٥٥.١–٦٥.٢) في نطاق طولي يمتد من الجزء الجنوبي نحو الوسط. ويعكس هذا التوزيع نمطاً بنيوياً موجهاً، إذ يظهر انزياح محور التصريف باتجاه الغرب في هذه الأحواض، مما يشير إلى تأثير رفع نسبي في الجهة الشرقية من منطقة الدراسة

.

خريطة (٢)معامل عدم التماثل(Asymmetry Factor – AF)



المصدر: اعتمادا على نموذج الارتفاع الرقمي(DEM)، بدقة تميزية ١٢.٥ م، باستخدام برنامج Arc GIS.

يتوافق نطاق القيم المرتفعة لمعامل عدم التماثل مع الاتجاه العام للبنيات الخطية الموازية لمحور الطيات، مما يشير إلى تأثير تكتوني أسهم في إعادة تنظيم شبكة التصريف على طول هذا النطاق البنيوي. في المقابل سجلت الأجزاء الشمالية والغربية قيماً منخفضة (٢١.٢–٥٠) تعكس درجة تماثل أعلى نسبياً، وقد يرتبط ذلك بضعف التأثير البنيوي أو بسيطرة عوامل ليثولوجية تحد من الانزياح الجانبي للمجاري. كما ظهرت في الأجزاء الوسطى قيم متوسطة (٥٠.١–٥٥) تمثل نطاقاً انتقالياً بين الاستقرار النسبي والنشاط البنيوي، مما يدل على تباين مكاني في شدة التأثير التكتوني على طول الوادي الرئيس.

وعليه فان التباين المكاني لقيم AF في منطقة الدراسة لا يعكس اختلافا تضاريسيا فحسب، بل يمثل استجابة واضحة للبنية التكتونية المسيطرة، حيث تتجمع القيم المرتفعة على طول نطاق بنيوي محدد، مما يدل على ارتباط مباشر بين الانزياح الجانبي لشبكة التصريف والنشاط التكتوني النسبي في المنطقة.

٢: عامل التشوه العرضي(Transverse Topographic Symmetry – T–index)

يعد عامل التشوه العرضي (T–index) من المؤشرات الجيومورفومترية المستخدمة لقياس درجة التماثل العرضي للحوض النهري، وذلك من خلال تحديد موقع القناة النهرية الرئيسة بالنسبة لمحور التماثل العرضي للحوض[٥]، تشير القيم المرتفعة لعامل التشوه العرضي إلى احتمال وجود انزياح في القناة النهرية نتيجة تأثيرات تكتونية جانبية أو عدم توازن في تضاريس الحوض. فالقيم القريبة من (٠) تعكس تماثلاً عرضياً للحوض، في حين تدل القيم القريبة من (١) على انحراف واضح في القناة النهرية يرتبط غالباً بنشاط تكتوني، كما مبين في الشكل (٢).

شكل (٢)تمثيل ثلاثي الأبعاد توضيحي لحساب معامل التشوه العرضي(T–index)



من إعداد الباحث بالاعتماد على الصيغة المستخدمة في:

Sajadian et al., The Analysis of Transverse Topographic Symmetry Factor (T Index), Open Journal of Geology 5, no. 12 (2015): 809

ويعبر عن هذا المؤشر بالصيغة التالية: $T = \frac{Da}{Dd}$ [٦]

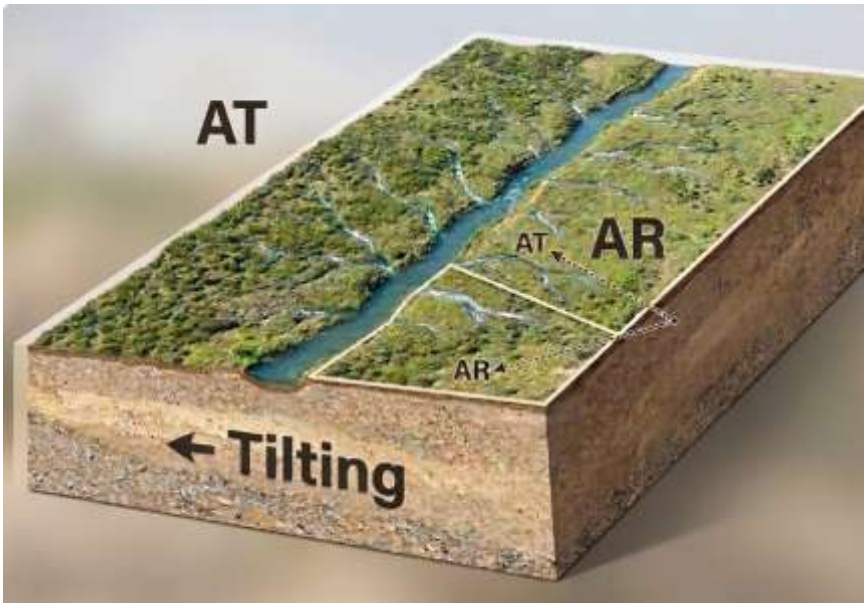
T= قانون معامل التشوه العرضي(T–index)

Da= المسافة بين القناة النهرية الرئيسية ومحور التماثل العرضي للحوض.

Dd= المسافة من حافة الحوض إلى محور التماثل العرضي في نفس المقطع.

بعد توضيح الأساس المفاهيمي للمؤشر، تم تحليل توزيعه المكاني في منطقة الدراسة كما يظهر في الخريطة (٣)، حيث تراوحت القيم بين ٠.٠٠٣ و٠.٠٣٨. وقد تركزت القيم المرتفعة (٠.٠٣١–٠.٠٣٨) في الأجزاء الجنوبية والجنوب الشرقي، ولاسيما في حوض ورتي والأحواض المجاورة، ويأخذ هذا التركز امتداداً شبه متصل يعكس نمطاً بنيوياً موجهاً وليس توزيعاً عشوائياً.

خريطة(٣)عامل التشوه العرضي(T-index –)



المصدر: اعتمادا على نموذج الارتفاع الرقمي(DEM)، بدقة تميزية ١٢.٥ م، باستخدام برنامج Arc GIS.

أظهر تحليل القيم ومقارنتها مع شبكة التصريف أن المجاري الرئيسة في بعض الأحواض تميل نحو جانب واحد من الحوض، في حين يبقى الجانب المقابل أقل تغذية بالروافد، مما يعكس هجرة جانبية للقناة يمكن تفسيرها بوجود ميلان بنيوي نسبي أو رفع تفاضلي. في المقابل سجلت الأجزاء الشمالية والغربية قيماً منخفضة (٠.٠٠٣–٠.١٠)، حيث يظهر المجرى الرئيس قريباً من منتصف الحوض مع تماثل نسبي في توزيع الروافد، مما يشير إلى استقرار بنيوي نسبي أو سيطرة النحت الرأسي الذي يحد من الهجرة الجانبية.

ويبين التحليل المكاني لعامل التشوه العرضي وجود تدرج في شدة التأثير البنيوي يزداد باتجاه الجنوب والجنوب الشرقي، وهو اتجاه يتوافق مع نطاقات الرفع والانضغاط المرتبطة بالحافة الشمالية والشرقية لسلسلة زاكروس. كما يظهر توافق واضح بين نتائج هذا المؤشر ومعامل عدم التماثل(AF) ، حيث تتجمع القيم المرتفعة لكلا المؤشرين في القطاع الجنوبي مع انحراف المجرى الرئيس نحو الغرب، مما يشير إلى تأثير رفع تفاضلي في الجهة الشرقية. ويعد هذا التوافق دليلاً مورفومترياً على وجود تأثير بنيوي غير متماثل أسهم في إعادة تنظيم شبكة التصريف في هذا الجزء من منطقة الدراسة.

٣: مؤشر شكل الحوض(Basin Shape – Bs) .

يعد مؤشر شكل الحوض Basin Shape Bs من المؤشرات المورفومترية التي تعبر عن البنية الشكلية العامة للحوض النهري، يساعد هذا المؤشر في تصنيف الحوض إلى اشكال هندسية حسب نتائج القيمة الناتجة من تطبيقه[٧]،كما مبين في الجدول(١)، ما يعطي دلالة مباشرة على طبيعة الاستجابة

الهيدرولوجية لمياه الأمطار، واحتمالية حدوث الفيضانات أو تدفق المياه بشكل سريع ،كما مبين في الشكل (٣)، ويعبر عنها بصيغة رياضة التالية:$Ba=\frac{Lb}{Wb}$

Ba = شكل الحوض

Lb = طول الحوض ((Basin Length

Wb = أقصى عرض للحوض (Basin Width)

جدول(١)تصنيف شكل الحوض حسب قيمة Bs ودلالته الجيومورفولوجية.

قيمةBs	شكل الحوض	الدلاله الجيوموفولوجية
Bs < 3	دائري /بيضوي	استجابة سريعة للهطول، احتمال فيضانات أعلى
٣ ≤ Bs < 4	بيضوي/شبه مستطيل	استجابة معتدلة، تدفق مائي متوازن
Bs ≥ 4	مستطيل /شبه كبسولي	استجابة تصريفية بطيئة، توزيع تدريجي للتصريف

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على المصدر:

Sahu, S. S., & Mohanty, S. (2019). Assessment of the Tectonic Activity in Northwestern Part of the Eastern Ghats Mobile Belt, India, Geotechnical and Geological Engineering, 37(6), 5197–5212.

شكل(٣) يبين أشكال توضيحية لخصائص شكل الحوض(Basin Shape – Bs)



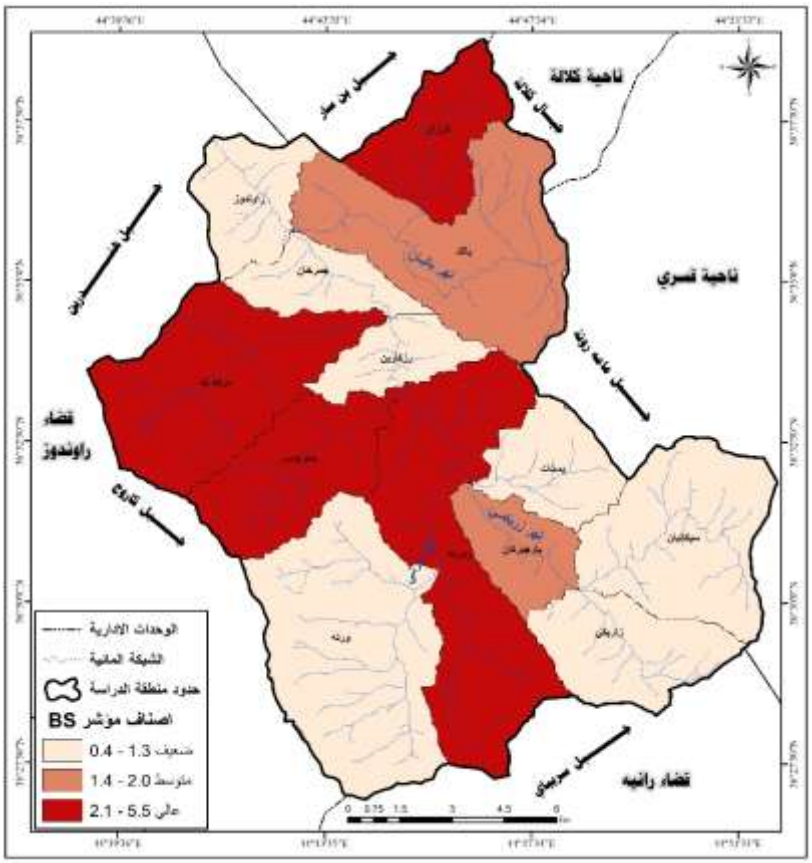
من إعداد الباحث بالاعتماد على:

Sahu, S. S., & Mohanty, S. (2019). Assessment of the Tectonic Activity in Northwestern Part of the Eastern Ghats Mobile Belt, India, Geotechnical and Geological Engineering, 37(6), 5197–5212.

تُظهر خريطة مؤشر شكل الحوض (Bs) في الخريطة (٤) تبايناً مكانياً واضحاً في منطقة الدراسة، حيث تراوحت القيم بين ٠.٤ و٣.٥. وقد تركزت القيم المرتفعة (٢.١–٣.٥) في الأجزاء الغربية والوسطى وجزء من القطاع الشمالي الشرقي، حيث تتخذ الأحواض شكلاً مستطيلاً أو شبه مستطيل مع امتداد

طولي واضح يتوافق مع الاتجاه العام للبنيات التركيبية، مما يدل على وجود تحكم بنيوي في توجيه النمو الطولي للأحواض.

خريطة(٤) مؤشر شكل الحوض(Basin Shape – Bs)



المصدر: اعتمادا على نموذج الارتفاع الرقمي(DEM)، بدقة تميزية ١٢.٥ م، باستخدام برنامج Arc GIS.

وعند مطابقة هذه الاحواض مع خريطة الشبكة المائية يتبين ان المجرى الرئيس طويل نسبيا مقارنة بالروافد الجانبية، مع نمط تصريف اقرب الى الشكل الخطي او الريشي، وهو ما يعكس قيودا بنيوية تحد من التوسع العرضي، وقد يرتبط ذلك بوقوع هذه الاحواض ضمن نطاقات متاثرة ببنيات موازية او متقاربة اسهمت في توجيه التصريف طوليا، في المقابل تسجل الاجزاء الجنوبية والجنوب غربية قيما منخفضة ضمن الفئة ٠.٤ الى ١.٣، حيث تظهر الاحواض اكثر اتساعا عرضيا، مع شبكة تصريف كثيفة ومتشعبة تغطي مساحة واسعة، مما يعكس سيطرة التعرية الجانبية وتقدم المرحلة التطورية للحوض، ويشير ذلك الى درجة نضج جيومورفولوجي اعلى نسبيا مقارنة بالاحواض المستطيلة

وعند ربط هذه النتائج بمؤشري AF و T index يتضح ان بعض الاحواض الجنوبية رغم انخفاض قيمة Bsفيها قد سجلت قيما مرتفعة في AF وT index ، مما يدل على ان الرفع التفاضلي اثر بصورة اكبر

في موقع القناة وانزياحها الجانبي دون ان يؤدي بالضرورة الى اطالة شكل الحوض، بينما تتجمع القيم المرتفعة لمؤشر Bs في قطاعات يظهر فيها ايضا انحراف في محور التصريف، مما يعزز القراءة التكاملية للتاثير البنيوي، وعليه فان التباين في قيم Bs يعكس استجابة شكلية متدرجة بين التحكم البنيوي والنضج الجيومورفولوجي، ويؤكد ان تفسير المؤشرات البنيوية في منطقة الدراسة يتطلب الجمع بين الشكل العام للحوض، وانزياح القناة الطولي، والانحراف العرضي معا ضمن اطار تحليلي واحد.

٢ .تحليل المخاطر المورفوتكتونية:

تعد المخاطر المورفوتكتونية من أبرز المخاطر الجيومورفولوجية في البيئات الجبلية، لارتباطها المباشر بالنشاط البنيوي والتكتوني. إذ تسهم الحركات التكتونية في إعادة تشكيل السطح الأرضي من خلال تكوين الطيات والصدوع والتشققات، مما يؤدي إلى زيادة التضرس وتسارع عمليات النحت وارتفاع احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية وعدم استقرار المنحدرات [٨].

تكتسب دراسة المخاطر المورفوتكتونية أهمية كبيرة في المناطق الجبلية النشطة تكتونياً، إذ تمثل التراكيب الخطية والصدوع مؤشرات واضحة على مناطق الضعف البنيوي التي تتحكم في مسارات الأودية وتوزيع الانحدارات ومواقع النشاط الجيومورفولوجي. كما أن ارتفاع كثافة هذه التراكيب، خاصة في مناطق تقاطعها، يدل على زيادة التشقق البنيوي وارتفاع قابلية المنطقة للتعرض للمخاطر الطبيعية[٩] .

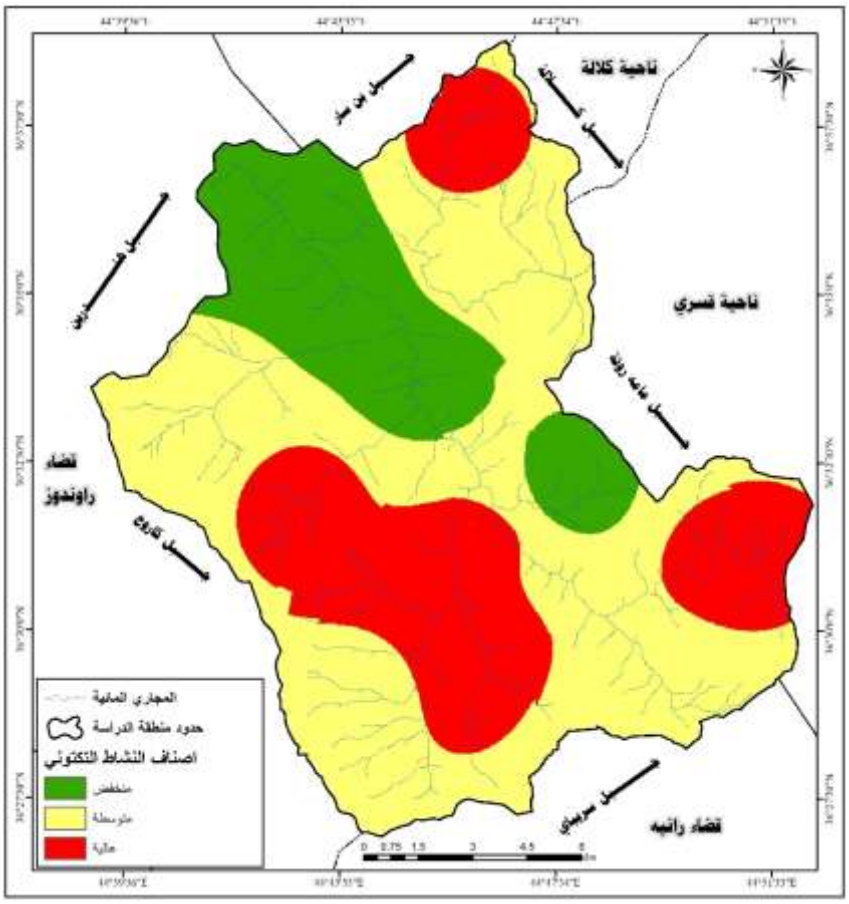
يعد النشاط التكتوني من العوامل الرئيسة في نشوء المخاطر المورفوتكتونية، إذ يؤدي إلى رفع أو خفض الكتل الصخرية وتغيير مستويات القاعدة، مما يزيد من الطاقة التضاريسية للأحواض ويُسرّع عمليات التعرية والنحت. وغالباً ما يُكشف عن هذا النشاط من خلال مؤشرات مورفومترية توفر أدوات كمية لتحليل تأثير التكتونيات في تطور المنظر الطبيعي[١٠] .

يمثل التضرس مؤشراً مهماً على تفاعل العوامل البنيوية مع العمليات السطحية، إذ تشير قيمه المرتفعة إلى مناطق ذات طاقة جيومورفولوجية عالية وقابلية أكبر لحدوث الانهيارات والانزلاقات الأرضية. لذلك فإن دمج مؤشرات التراكيب الخطية وكثافة تقاطعها مع مؤشرات النشاط التكتوني والتضرس ضمن نموذج مكاني واحد يسهم في فهم أدق لطبيعة المخاطر المورفوتكتونية وتوزيعها في منطقة الدراسة[١١]، وانطلاقاً من ذلك يهدف هذا الجانب إلى تحليل المخاطر المورفوتكتونية من خلال نمذجة مجموعة من الطبقات المكانية، تشمل كثافة أطوال التراكيب الخطية وكثافة تقاطعها والنشاط التكتوني والتضرس، بالاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، تمهيداً لدمجها ضمن نموذج شامل لتقييم المخاطر الجيومورفولوجية. وفيما يلي عرض لأهم الطبقات المؤثرة في النشاط التكتوني

١ .النشاط التكتوني:

يعد النشاط التكتوني من العوامل الرئيسة المؤثرة في تطور المظاهر الأرضية في منطقة الدراسة، إذ يسهم في تشكيل التراكيب البنيوية والتحكم بدرجة استجابة السطح للعمليات الجيومورفولوجية. وقد جرى اعتماد مجموعة من المؤشرات الجيومورفومترية ودمجها ضمن نموذج مكاني واحد لتحديد أصناف النشاط التكتوني داخل المنطقة، مما أسهم في تقليل تأثير الانحرافات الناتجة عن استخدام مؤشر منفرد. وقد أظهرت نتائج التحليل أن النشاط التكتوني المتوسط يشغل المساحة الأكبر من منطقة الدراسة، إذ بلغت مساحته نحو (١٢١.٩ كم²) وبنسبة (٥٣.٢٪) من المساحة الكلية.

خريطة (٥) أصناف النشاط التكتوني في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على دمج مؤشرات النشاط التكتوني في الفصل السابق، باستخدام برنامج ARC GIS 10.8.

جدول (٢) مساحة ونسب أصناف النشاط التكتوني في منطقة الدراسة

ت	أصناف النشاط التكتوني	المساحة/كم٢	النسبة%
1	ضعيف	46.0	20.1
2	متوسط	121.9	53.2
3	عالي	61.4	26.8
المجموع		229.3	100.0

المصدر: اعتماداً على خريطة (٥).

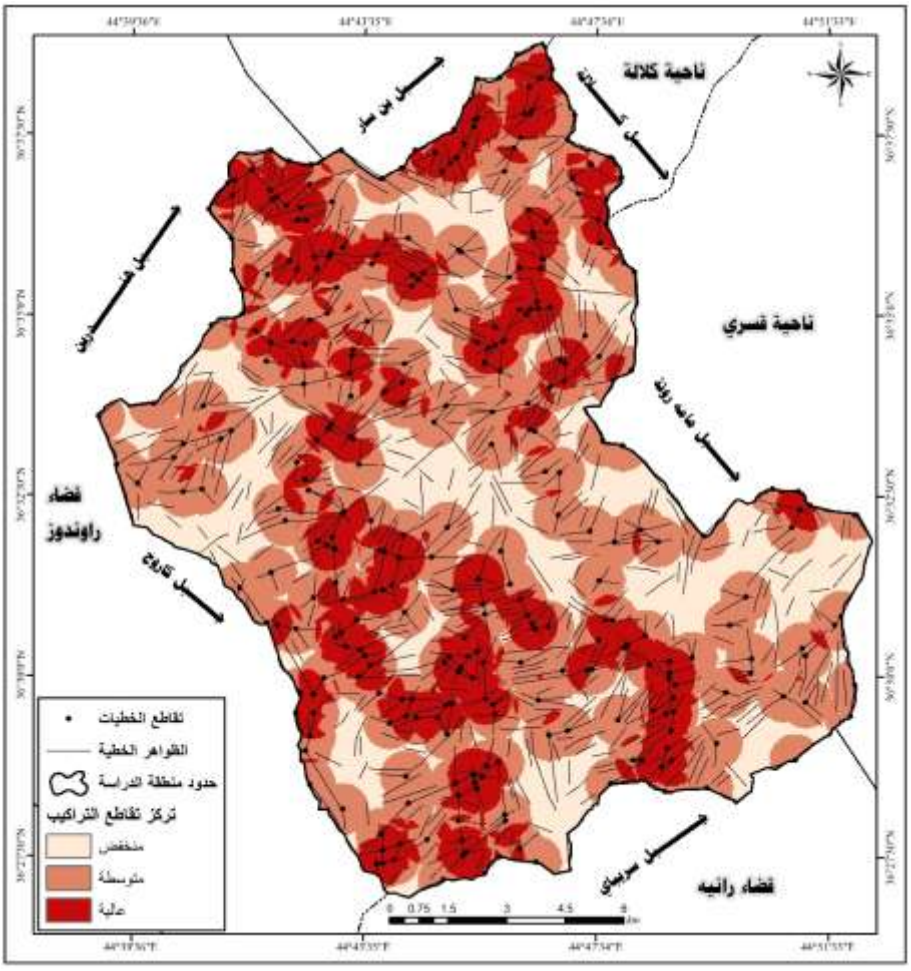
تشير سيادة النشاط التكتوني المتوسط إلى وجود ظروف تكتونية انتقالية تتسم بتوازن نسبي بين تأثير الحركات البنيوية وفاعلية العمليات السطحية. في المقابل يتركز النشاط التكتوني العالي في نطاقات محددة تتسم بزيادة التشقق البنيوي وارتفاع التضرس، وغالباً ما تتوافق مع مناطق تقاطع التراكيب الخطية وتكثف المجاري المائية، مما يجعلها أكثر عرضة للعمليات الجيومورفولوجية النشطة وعدم استقرار المنحدرات. أما النشاط التكتوني الضعيف فيقتصر على أجزاء محدودة تتسم باستقرار نسبي وسيادة عمليات التعرية التدريجية. ويُظهر التوزيع المكاني لهذه الفئات أن معظم مساحة المنطقة تقع ضمن نطاقي النشاط المتوسط والعالي، مما يؤكد الدور الرئيس للنشاط التكتوني في التحكم بدرجات الخطورة الجيومورفولوجية. كما جرى تحسين التمثيل المكاني لهذه الفئات باستخدام أسلوب الاستكمال المكاني (IDW)لضمان استمرارية القيم المورفومترية وإنتاج خريطة أكثر دقة للنشاط التكتوني النسبي.

٢ .تقاطع التراكيب الخطية:

يعد تقاطع التراكيب الخطية من المؤشرات البنيوية المهمة في تحليل المخاطر المورفوتكتونية، إذ تمثل مناطق التقاطع مواقع ضعف بنيوي يزداد فيها تأثير الحركات التكتونية. ويسهم تقاطع الفوالق والتراكيب الخطية في زيادة التشقق الصخري ورفع النفاذية البنيوية، مما يؤثر في توجيه المجاري المائية وتسريع عمليات النحت وزيادة احتمالية حدوث الانهيارات وعدم استقرار المنحدرات[١٢]

جرى استخراج نقاط تقاطع التراكيب الخطية وتحويلها إلى طبقة نقطية ثم تحليلها مكانياً لإنتاج خريطة تمثل كثافة هذه التقاطعات كما في الخريطة (٦) والجدول (٣)، بوصفها مؤشراً على شدة التحكم البنيوي. وقد أظهرت النتائج أن فئة التقاطع الضعيف استحوذت على المساحة الأكبر من منطقة الدراسة، إذ بلغت (٣٦.٧ كم²) وبنسبة (٥٢.٦٪)، مما يدل على انتشار مناطق ذات تشقق بنيوي منخفض واستقرار تكتوني نسبي مقارنة ببقية المنطقة.

خريطة (٦) أصناف تقاطع التراكيب الخطية في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على التراكيب الخطية، باستخدام أداة Intersection.

جدول (٣) مساحة ونسب أصناف تقاطع التراكيب الخطية في منطقة الدراسة

ت	أصناف تقاطع التراكيب الخطية	المساحة/كم^2	النسبة%
1	ضعيف	52.6	36.7
2	متوسط	113.7	39.9
3	عالي	63.1	23.4
المجموع		229.3	100.0

المصدر: اعتماداً على خريطة (٦).

في المقابل سجلت فئة تقاطع التراكيب الخطية المتوسطة مساحة بلغت 39.9)كم^2 (وبنسبة 17.3)٪ (من مساحة منطقة الدراسة، وتمثل نطاقاً انتقالياً تتداخل فيه التراكيب البنيوية بدرجة معتدلة، مما يعكس بيئة بنيوية نشطة نسبياً قابلة للتأثر بالعمليات الجيومورفولوجية.

أما فئة التقاطع العالي فقد بلغت مساحتها 23.4)كم² (وبنسبة 10.1)٪(، وتتركز في نطاقات محددة تتسم بكثافة مرتفعة لنقاط التقاطع البنيوي، وتمثل مناطق ضعف تكتوني تزداد فيها احتمالات الانهيارات الأرضية وتسارع النحت النهري.

ويظهر التوزيع المكاني لهذه الفئات تداخلاً واضحاً مع المناطق الأكثر تضرساً ومواقع تكثف الشبكة المائية، مما يؤكد دور تقاطع التراكيب الخطية في التحكم بدرجات الخطورة المورفوتكتونية داخل منطقة الدراسة.

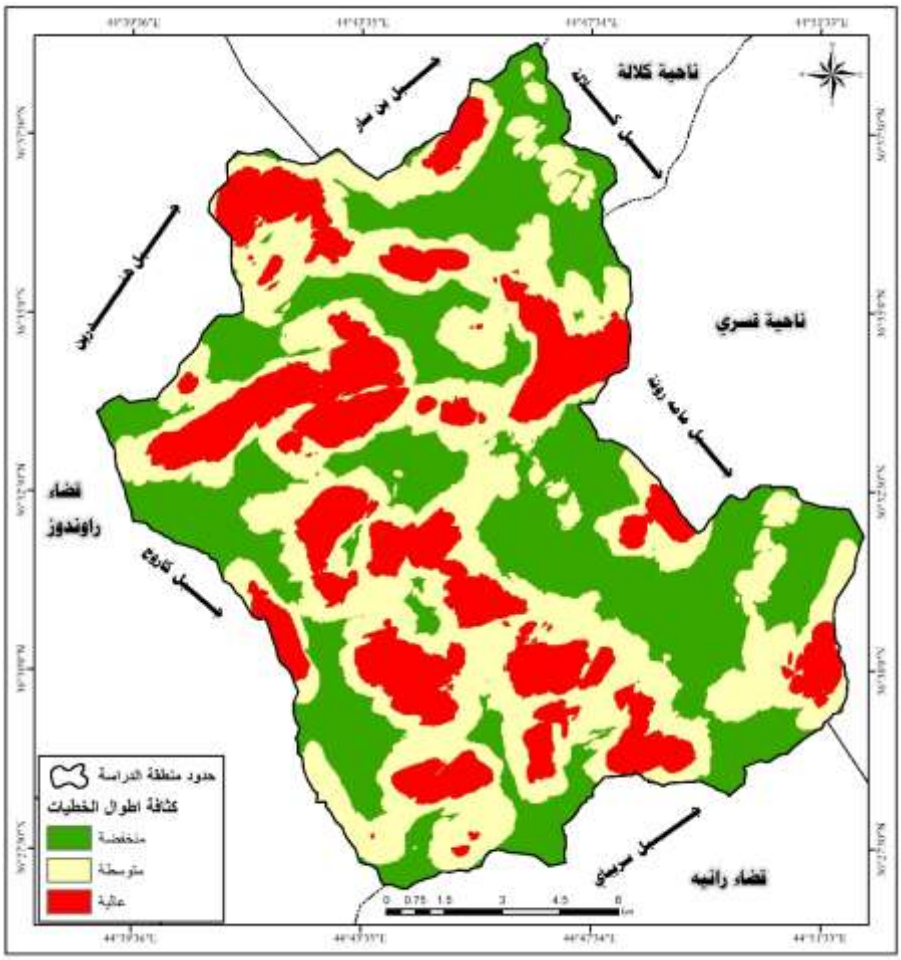
٣.كثافة اطوال التراكيب الخطية

تعد كثافة أطوال التراكيب الخطية من المؤشرات البنيوية المهمة في تحليل النشاط التكتوني والمخاطر المورفوتكتونية، إذ تعكس درجة انتشار الفوالق والتشققات البنيوية داخل وحدة المساحة. وغالباً ما ترتبط القيم المرتفعة لهذا المؤشر بزيادة التشقق الصخري وارتفاع تأثير العوامل التكتونية، مما يسهم في توجيه المجاري المائية وتسريع العمليات الجيومورفولوجية وعدم استقرار المنحدرات(١٣)

أظهرت نتائج التحليل في الخريطة (٧) والجدول (٤) أن فئة كثافة أطوال التراكيب الخطية المتوسطة استحوذت على أكبر مساحة في منطقة الدراسة، إذ بلغت 91.4)كم² (وبنسبة 39.9)٪ (من المساحة الكلية، مما يشير إلى سيادة نمط بنيوي انتقالي يعكس تفاعلاً متوازناً نسبياً بين النشاط التكتوني والعمليات السطحية. في المقابل سجلت فئة الكثافة الضعيفة مساحة 84.2)كم² (وبنسبة 36.7)٪(، وتمثل مناطق أكثر استقراراً نسبياً نتيجة انخفاض درجة التشقق البنيوي وتراجع تأثير النشاط التكتوني.

أما فئة كثافة أطوال التراكيب الخطية العالية فقد بلغت مساحتها 53.7)كم² (وبنسبة 23.4)٪(، وتتركز في نطاقات محددة غالباً ما تتوافق مع مناطق النشاط التكتوني المرتفع وتقاطع التراكيب الخطية. وتمثل هذه المناطق بؤراً للضعف البنيوي تزداد فيها احتمالية الانهيارات الأرضية وتسارع العمليات الجيومورفولوجية. ويعكس التوزيع المكاني لهذا المؤشر ارتباطاً واضحاً بالبنية الجيولوجية العامة للمنطقة، مما يؤكد أهميته كعامل مكمل للنشاط التكتوني وتقاطع التراكيب الخطية ضمن نموذج المخاطر المورفوتكتونية.

خريطة (٧) أصناف كثافة اطوال التراكيب الخطية في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على طبقة التراكيب الخطية باستخدام الأداة Line density.

جدول (٤) مساحة ونسب أصناف كثافة اطوال التراكيب الخطية في منطقة الدراسة

ت	أصناف كثافة اطوال التراكيب الخطية	المساحة/كم^2	النسبة%
1	ضعيف	84.2	36.7
2	متوسط	91.4	39.9
3	عالي	53.7	23.4
المجموع		229.3	100.0

المصدر: اعتماداً على خريطة (٧).

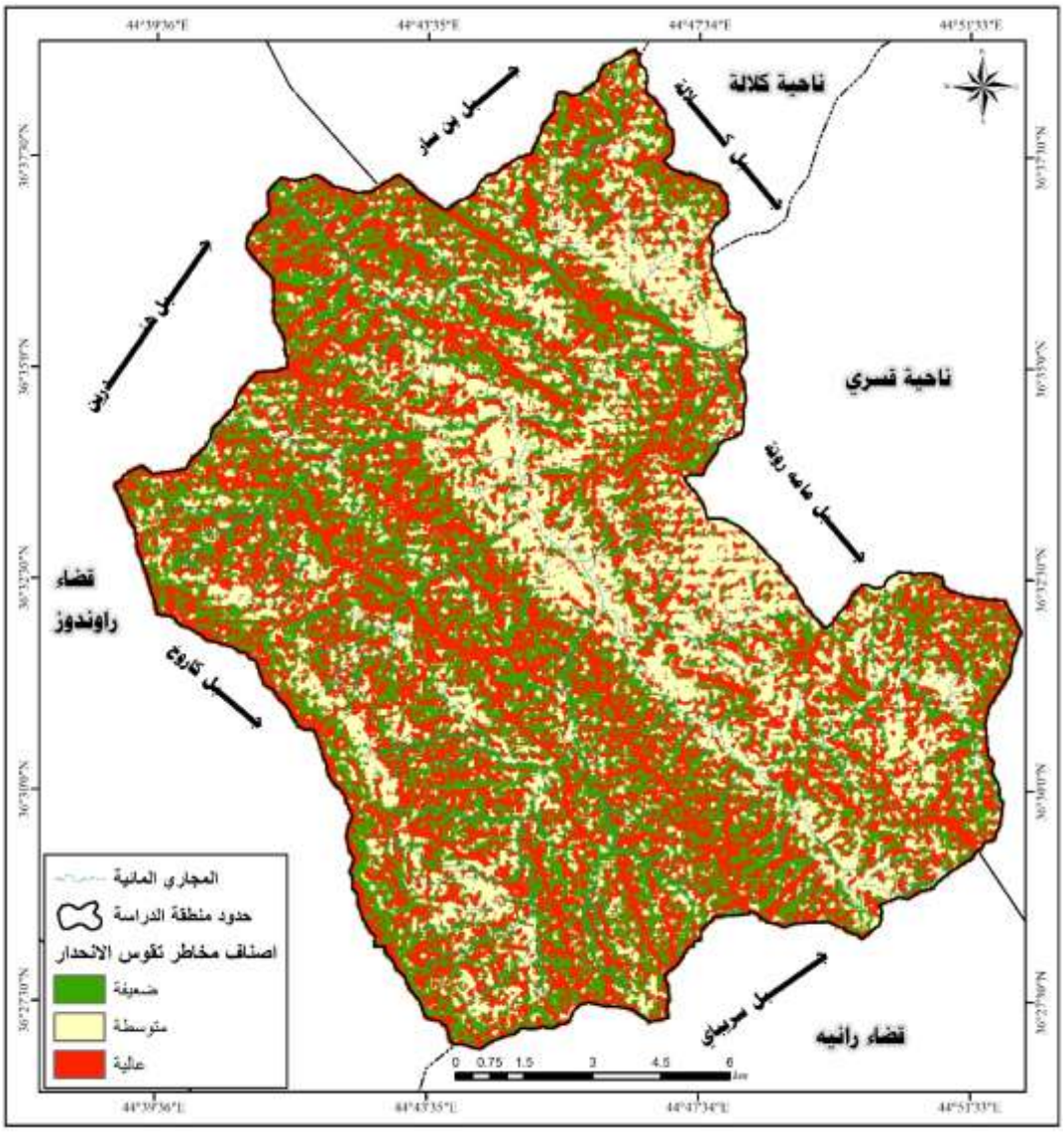
٤.عامل التضرس

يعد التضرس مؤشراً مهماً على الطاقة الجيومورفولوجية للسطح، إذ يعكس تفاعل النشاط التكتوني مع عمليات النحت والتعرية. وترتبط القيم المرتفعة له بزيادة شدة الانحدارات وارتفاع قابلية السطح لعدم الاستقرار [١٤]،وتُظهر نتائج تحليل التضرس في منطقة الدراسة تبايناً مكانياً ومساحياً واضحاً، يعكس اختلاف درجات الاستجابة الجيومورفولوجية داخل المنطقة.

تُظهر نتائج التحليل في الخريطة (٨) والجدول (٥) أن فئة التضرس المتوسط استحوذت على أكبر مساحة في منطقة الدراسة، إذ بلغت 85.9)كم² (وبنسبة 37.5)٪ (من المساحة الكلية، وتنتشر في الأجزاء الوسطى مكوِّنة نطاقاً انتقالياً بين مناطق التضرس العالي والمنخفض، مما يعكس سيادة تضاريس معتدلة تتأثر بالنشاط التكتوني دون الوصول إلى مستويات عدم الاستقرار القصوى. في المقابل بلغت مساحة فئة التضرس العالي 62.1)كم² (وبنسبة 27.1)٪(، وتتركز في المناطق ذات الفروق الارتفاعية الحادة، حيث تزداد احتمالية الانهيارات الأرضية وعدم استقرار المنحدرات نتيجة تداخل شدة الانحدار مع تأثير التراكيب البنيوية.

أما فئة التضرس الضعيف فقد بلغت مساحتها 81.3)كم² (وبنسبة 35.5)٪(، وتنتشر في مناطق ذات فروق ارتفاعية محدودة واستقرار نسبي أعلى، حيث تقل شدة تأثير العوامل البنيوية وتكون العمليات الجيومورفولوجية أبطأ مقارنة ببقية المنطقة.

خريطة (٨) أصناف التضرس في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي DEM، باستخدام برنامج ARC GIS 10.8.

جدول (٥) مساحة ونسب أصناف التضرس في منطقة الدراسة

ت	أصناف التضرس	المساحة/كم٢	النسبة%
1	ضعيف	81.3	35.5
2	متوسط	85.9	37.5
3	عالي	62.1	27.1
المجموع		229.3	100.0

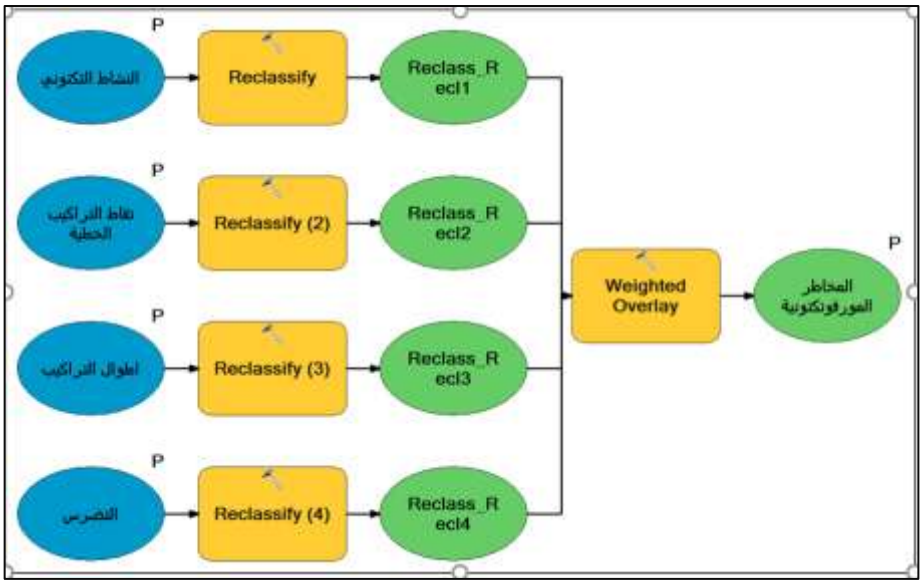
المصدر: اعتماداً على خريطة (٨).

ويُظهر الدمج بين التوزيع المكاني والمساحي لأصناف التضرس أن ما يقارب (٦٤.٦٪) من مساحة منطقة الدراسة يقع ضمن نطاقي التضرس المتوسط والعالي، وهو ما يؤكد الدور المحوري للتضرس في تعزيز تأثير النشاط التكتوني والتراكيب البنيوية، ويبرر اعتماده كعامل أساسي في بناء نموذج المخاطر المورفوتكتونية، بوصفه حلقة وصل مباشرة بين التحكم البنيوي والطاقة السطحية.

٣.نمذجة المخاطر المورفوتكتونية في منطقة الدراسة

تمثل نمذجة المخاطر المورفوتكتونية مرحلة تطبيقية في تحليل العلاقة بين العوامل البنيوية والطاقة الجيومورفولوجية للسطح، إذ تهدف إلى دمج العوامل المورفوتكتونية ضمن نموذج مكاني يوضح درجات الخطورة النسبية داخل منطقة الدراسة[١٥]،اعتمدت هذه النمذجة على دمج أربعة عوامل رئيسة هي : **النشاط التكتوني، وتقاطع التراكيب الخطية، وكثافة أطوال التراكيب الخطية، والتضرس**، بوصفها مؤشرات تعكس درجة التحكم البنيوي وعدم استقرار السطح، كما موضح في الشكل (4).

شكل (4) البناء الهيكلي لأصناف المخاطر المورفوتكتونية

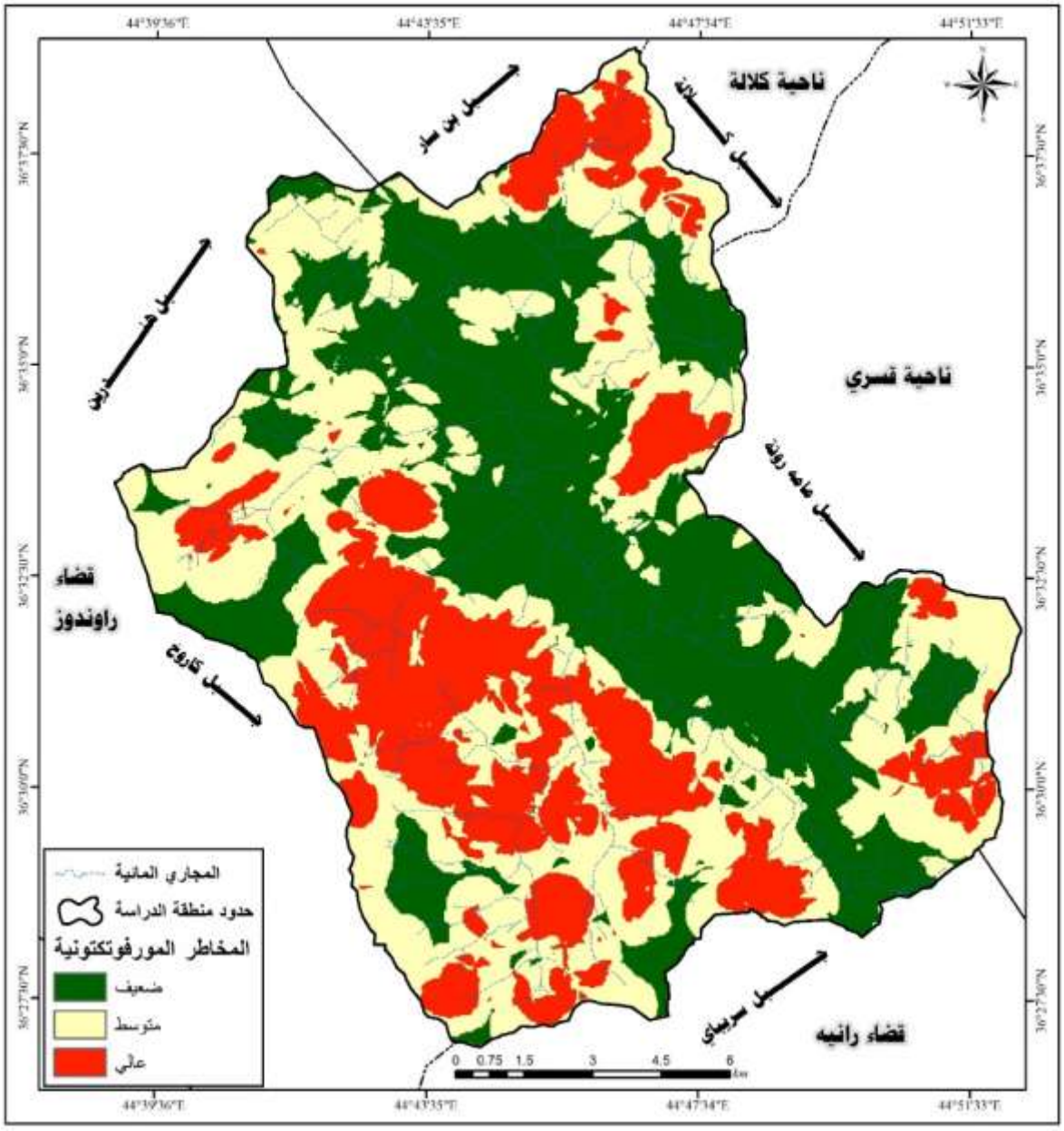


المصدر: اعتماداً على البناء الهيكلي MODEL BUILDER، باستخدام برنامج ARC GIS 10.8.

جرى توحيد العوامل المدخلة عبر إعادة تصنيف الطبقات المكانية إلى فئات معيارية ثم دمجها باستخدام أسلوب Weighted Overlayضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، مع منح الأوزان المتساوية لكل عامل لضمان تمثيل متوازن لتأثيرها في النموذج النهائي. ويعد هذا الأسلوب مناسباً في الدراسات المورفوتكتونية لكون العوامل المستخدمة تمثل أبعاداً متكاملة للتحكم البنيوي في تطور المخاطر الجيومورفولوجية.

وتُظهر نتائج النموذج في الخريطة (٩) والجدول (٦) أن فئة المخاطر المورفوتكتونية المتوسطة استحوذت على المساحة الأكبر من منطقة الدراسة، إذ بلغت 90.0)كم² (وبنسبة 39.4)٪(، وتنتشر في الأجزاء الوسطى من المنطقة، مشكلة نطاقاً انتقالياً تتداخل فيه تأثيرات النشاط التكتوني والتضرس والتراكيب الخطية، مما يجعلها مناطق قابلة لتطور المخاطر عند توافر العوامل المحفزة.

خريطة (٩) أصناف المخاطر المورفوتكتونية في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على انموذج في الشكل (١٨)، باستخدام برنامج ARC GIS 10.8.

جدول (٦) مساحة ونسب أصناف المخاطر المورفوتكتونية في منطقة الدراسة

ت	أصناف المخاطر المورفوتكتونية	المساحة/كم^2	النسبة%
1	ضعيف	84.1	36.9
2	متوسط	90.0	39.4
3	عالي	55.2	24.2
المجموع		229.3	100.5

المصدر: اعتماداً على خريطة (٩).

بلغت مساحة مناطق المخاطر المورفوتكتونية العالية نحو (55.2 كم^2) وبنسبة (24.2٪)، وتتركز في نطاقات تتسم بارتفاع النشاط التكتوني وكثافة التراكيب الخطية والتضرس، مما يزيد من احتمالية الانهيارات الأرضية وتسارع عمليات النحت. أما فئة المخاطر الضعيفة فقد بلغت مساحتها (84.1 كم^2) وبنسبة (36.9٪)، وتنتشر في مناطق أقل تأثراً بالعوامل البنيوية وأكثر استقراراً نسبياً.

ويُظهر التحليل أن نحو (63.6٪) من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن نطاقي المخاطر المتوسطة والعالية، مما يؤكد الطبيعة البنيوية النشطة للمنطقة ويبرز أهمية نموذج المخاطر المورفوتكتونية في تحديد مناطق الخطورة ودعم التخطيط المكاني والإدارة البيئية.

الاستنتاجات

١. أظهرت المؤشرات الجيومورفومترية (AF وT–index و Bs) تبايناً مكانياً واضحاً داخل منطقة الدراسة، مما يدل على تأثير بنيوي ملحوظ في توجيه شبكة التصريف وتطور الأشكال الأرضية.
٢. بين تحليل النشاط التكتوني أن الفئة المتوسطة تشغل النسبة الأكبر من مساحة المنطقة (٥٣.٢٪)، مما يشير إلى سيادة ظروف بنيوية انتقالية تتفاعل فيها الحركات التكتونية مع العمليات الجيومورفولوجية.
٣. كشفت مؤشرات التراكيب الخطية (كثافة الأطوال وتقاطعها) عن ارتباط واضح بين مناطق التشقق البنيوي المرتفع والمناطق الأكثر تضرساً وتكثفاً لشبكة التصريف.
٤. أظهر تحليل عامل التضرس وجود تضاريس ذات طاقة جيومورفولوجية متوسطة إلى مرتفعة في أجزاء واسعة من المنطقة، مما يزيد من قابلية السطح لتطور العمليات الجيومورفولوجية النشطة.

٥. بينت نمذجة المخاطر المورفوتكتونية أن نحو ٦٣.٦٪ من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن نطاقي المخاطر المتوسطة والعالية، مما يؤكد الطبيعة البنيوية النشطة للمنطقة وأهمية توظيف النمذجة المكانية في تحديد مناطق الخطورة.

التوصيات

١. ضرورة اعتماد نتائج نمذجة المخاطر المورفوتكتونية في توجيه خطط التخطيط المكاني والتنمية داخل منطقة الدراسة، ولاسيما في المناطق الواقعة ضمن نطاقي الخطورة المتوسطة والعالية.

٢. إجراء دراسات تفصيلية ميدانية في المناطق التي أظهرت قيماً مرتفعة للنشاط التكتوني والتراكيب الخطية، بهدف تقييم درجة عدم استقرار المنحدرات واحتمالية حدوث الانهيارات الأرضية.

٣. توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بشكل أوسع في متابعة التغيرات الجيومورفولوجية ورصد تأثير النشاط التكتوني في تطور الأشكال الأرضية.

٤. إدخال مؤشرات مورفومترية إضافية في الدراسات المستقبلية مثل مؤشرات الانحدار الطولي للأودية ومؤشر الطاقة التضاريسية لتعزيز دقة نماذج تقييم المخاطر الجيومورفولوجية.

٥. ضرورة أخذ العوامل البنيوية والتضاريسية بنظر الاعتبار عند تنفيذ المشاريع الإنشائية وشق الطرق في المناطق الجبلية، لتقليل تأثير المخاطر الجيومورفولوجية المحتملة.

References

1 . Omar Mohammed Ali Uneiba, A Statistical Morphometric Analysis of the Morphometric Variables of Fourth- and Fifth-Order Basins in the Wadi Tamit–Azkir Basin Using Geographic Information Systems, Libya Journal of Geographical Studies, No. (3), 2023, p. 31

2 .William L. Graf, The Geomorphology of the Glacial Valley Cross Section, Arctic and Alpine Research 2, no. 4 (1970): 305

.3 Fuad Abdul Wahab Mohammed Al-Omari, Structural Geomorphological Analysis and Its Tectonic Implications of Qadir Karam Dome / Southwest of Sulaymaniyah Governorate Using GIS and RS Techniques, Tikrit University Journal for Human Sciences, Vol. 23, No. 7, 2016, p. 315.

4 .D. Baioni, Analysis of Drainage Basin Asymmetry in the Ventena River, Northern Apennines (Central Italy), International Journal of Earth & Environmental Sciences 1, no. 121 (2016): 2.

5 .R. T. Cox, Analysis of Drainage Basin Symmetry as a Rapid Indicator of Possible Tectonic Activity, Bulletin of the Geological Society of America 106, no. 5 (1994): 572

6 .D. W. Burbank and R. S. Anderson, *Tectonic Geomorphology* (Malden, MA: Blackwell Science, 2001), 574, quoted in Husam A. M. (2008), 56.

7. Sahu, S. S., & Mohanty, S. (2019). Assessment of the Tectonic Activity in Northwestern Part of the Eastern Ghats Mobile Belt, India. Geotechnical and Geological Engineering, 37(6), 5197–5212.

8 .Keller, E. A., and Pinter, N., *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2002, **pp. 1–32**.

9 .Summerfield, M. A., *Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms*, Routledge, London, 1991, **pp. 213–245**.

10 .Keller, E. A., Gurrola, L., and Tierney, T. E., "Geomorphic Criteria to Determine Tectonic Activity of Mountain Fronts," Geomorphology, Vol. 23, No. 1, 1998, pp. 13–27.

Bull, W. B., Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology, Blackwell Publishing, Oxford, 2007, pp. 17–46.

11 .Bull, W. B., Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology, Blackwell Publishing, Oxford, 2007, pp. 17–46.

12 .Twiss, R. J., and Moores, E. M., Structural Geology, 2nd ed., W. H. Freeman and Company, New York, 2007, pp. (287–312).

13 .Twiss, R. J., and Moores, E. M., *Structural Geology*, 2nd ed., W. H. Freeman and Company, New York, 2007, pp. (287–312).

14 .Bull, W. B., Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology, Blackwell Publishing, Oxford, 2007, pp. (79–101).

15 .Burrough, P. A., and McDonnell, R. A., *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, Oxford, 1998, pp. (234–256).