Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences Volume (9), Issue (1) January (2026)

ISSN: 2957-3874 (Print)
Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (JFHS)
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/95
مجلة الفارابي للعلوم الإنسانية تصدرها جامعة الفارابي

تحليل جيومورفولوجي بنيوي للانحدارات الارضية في طية بناباوي : دراسة في العلاقات بين البنية الجيولوجية والمخاطر السطحية

م.د بسمة علي عبد الحسين
الجامعة العراقية/ كلية الآداب

Structural Geomorphological Analysis of Land Slopes in the Banabawi Fold: A Study on the Relationships between Geological Structure and Surface Hazards

basmaaliabduihussein@aliraqia.edu.iq

المستخلص

يهدف هذا البحث إلى إجراء تحليل جيومورفولوجي بنيوي متكامل لطية بناباوي الواقعة ضمن نطاق الطيات العالية لسلسلة زاغروس، بوصفها نموذجًا جيولوجيًا يتّسم بتعقيد بنيوي واضح ناتج عن التفاعل بين الحركات التكتونية وعوامل التعرية السطحية. اعتمدت الدراسة على الحقائق الميدانية و توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) في بناء قاعدة بيانات مكانية دقيقة لتفسير العلاقة بين البنية الجيولوجية وأنماط الانحدارات الأرضية وشدّتها. كما كشفت النتائج عن سيطرة الاتجاه البنيوي جنوب شرق – شمال غرب على الهيكل العام للطية وتوجيه مظاهرها الطبوغرافية، إذ أسهم تداخل الفوالق والتراكيب الخطية الثانوية في خلق مناطق ضعف بنيوية تمثل بؤرًا رئيسة لحدوث الانزلاقات والانهيارات الصخرية. كما أظهرت التحليلات المورفومترية أن أكثر من 40 %من مساحة المنطقة تقع ضمن فئات الانحدار الشديد والشديد جدًا، في حين بيّنت معاملات الخشونة (TRI) والتعرية (Bergsma) أن نحو 46 %من المساحة تتعرض لمستويات خطورة عالية جدًا نتيجة هشاشة التكوينات الصخرية واختلاف مقاومتها للتجوية والتعرية. هذا وأوضحت المطابقة الجيومورفولوجية أن العلاقة بين التكوين الصخري ، درجة الأنحدار ، معامل خشونة السطح ومعامل التعرية تمثل العامل الحاسم في توزيع المخاطر السطحية ضمن الطية، إذ تتركز الانزلاقات على الأجنحة المواجهة للمجاري المائية والانحدارات الحادة. وتوصّلت الدراسة إلى أن استخدام النماذج الرقمية للارتفاعات (DEM) وتحليل الطبقات البنيوية يُعدّ مدخلًا علميًا فاعلًا لتقييم المخاطر الجيومورفولوجية وتحديد أولويات الإدارة المكانية.**الكلمات المفتاحية** :- التحليل الجيومورفولوجي البنيوي ، الانحدارات الأرضية ، طية بناباوي ، المخاطر الجيومورفولوجية

Abstract

This study aims to conduct an integrated structural geomorphological analysis of the Bana Bawi Fold, located within the high-fold zone of the Zagros Mountain Range. The area represents a geologic model characterized by marked structural complexity resulting from the interaction between tectonic movements and surface erosion processes. The research relied on field investigation and the application of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques to construct an accurate spatial database for interpreting the relationship between geological structure, slope patterns, and their intensity. The results revealed that the general structural trend of the fold extends in a southeast–northwest direction, which governs its topographic features. The interference of faults and secondary linear structures has contributed to the formation of structurally weak zones that serve as primary loci for landslides and rockfalls. Morphometric analyses indicated that more than 40% of the study area falls within the categories of steep and very steep slopes. Meanwhile, surface roughness (TRI) and erosion (Bergsma) indices showed that approximately 46% of the area is exposed to very high levels of geomorphological risk due to the fragility of the lithological formations and the variability in their resistance to weathering and erosion.The geomorphological correlation analysis demonstrated that the relationship among lithology, slope degree, surface roughness, and erosion indices constitutes the decisive factor governing the spatial distribution of surface hazards within the fold, as landslides are concentrated along

the fold limbs facing drainage channels and steep slopes. The study concludes that the use of Digital Elevation Models (DEM) and structural layer analysis provides an effective scientific approach for evaluating geomorphological hazards and identifying spatial management priorities.**Keywords:** Structural Geomorphological Analysis, Land Slopes and Landslides, Banabawi Fold, Surface Hazards

المقدمة :-

تُمثّل طية بناباوي، الواقعة ضمن نطاق الطيات العالية لسلسلة زاغروس، نموذجاً جيولوجياً فريداً يتّسم بتعقيد بنيوي ناتج عن التراكب بين عمليات الطي والتآكل ، مما يجعلها منطقة عرضة للعمليات الجيومورفولوجية النشطة ، وفي ظل تنامي الاعتماد على تقنيات التحليل المكاني (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS) في الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة، أصبح من الممكن بناء نماذج مكانية دقيقة لتمثيل العلاقة بين البنية الجيولوجية والمخاطر السطحية. وعليه، يهدف هذا البحث إلى تحليل جيومورفولوجي بنيوي مفصّل لطية بناباوي، من خلال ربط خصائصها البنيوية بتوزيع وشدة الانحدارات الأرضية، وتحديد أنماطها وأسبابها البنيوية، مع اقتراح حلول وقائية وتخطيطية تسهم في التخفيف من آثارها المستقبلية.تنطلق هذه الدراسة من فرضية علمية أساسها أن البنية الجيولوجية لطية بناباوي تتحكم إلى حد كبير في توزيع الانحدارات الأرضية، وأن التفاعل بين هذه العوامل المختلفة يؤدي إلى خلق بيئة غير مستقرة على المستوى السطحي. ومن هنا، فإن هذه الدراسة لا تسعى فقط إلى التشخيص الجيومورفولوجي، بل تهدف أيضاً إلى تقديم خارطة علمية للمخاطر تُسهم في تعزيز إدارة الموارد الأرضية والتخطيط العمراني الآمن في للمنطقة في المستقبل في حال أستخدامها .

مشكلة البحث :-

تتسم طية بناباوي بخصائص بنيوية وجيولوجية معقدة تتمثل في نمط الطي، وتكرار التراكيب الخطية ، وتباين الاتجاهات الطبقية والانحدارات التضاريسية، ما يجعلها منطقة معرضة لتطور الانحدارات الأرضية بأنماطها المختلفة.

لذلك تتمثل مشكلة البحث في الأسئلة الآتية:

1-إلى أي مدى تسهم الخصائص البنيوية للطية والعوامل الطبيعية ، في التحكم بحدوث الانحدارات الأرضية وتكرارها وشدتها؟

2-ما طبيعة العلاقة المكانية بين نمط الطي والانكسارات وتوزيع مواقع الانحدارات الأرضية النشطة ومخاطرها السطحية ضمن نطاق طية بناباوي؟

3-كيف يمكن توظيف نمذجة المعلومات البنيوية والجيومورفولوجية للكشف عن مناطق الخطورة بأستخدام التقنيات الحديثة ؟

فرضيات البحث :-

1-تسهم الخصائص البنيوية الجيولوجية لطية بناباوي، والخصائص الطبيعية ، بدور حاسم في تكرار الانحدارات الأرضية وتحديد مواقعها.

2-توجد علاقة مكانية إحصائية بين نمط الطي والانكسارات وتوزيع الانحدارات النشطة في المنطقة. **هذا و** تزداد شدة الانحدارات الأرضية في المواقع التي تتقاطع فيها التراكيب البنيوية النشطة مع الانحدارات التضاريسية الحادة، مقارنة بالمواقع الأخرى.

3-يُسهم توظيف تقنيات التحليل البنيوي والجيومورفولوجي (GIS و RS) في الكشف عن أنماط التوزيع المكاني لدرجة الانحدار وتحديد مناطق الخطورة السطحية بدقة عالية.

أهداف البحث :-

1-**إجراء دراسة تفصيلية للبنية التركيبية والجيولوجية لطية بناباوي** بهدف توثيق خصائصها التركيبية الأساسية والتعرف على التراكيب الثانوية المصاحبة لها.

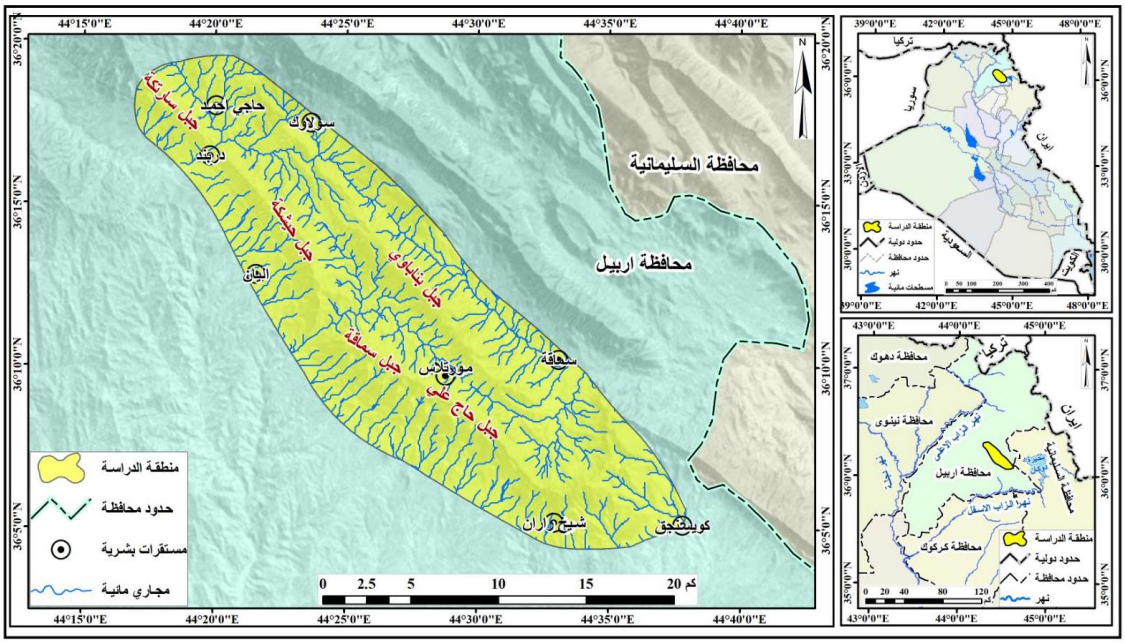
2-**تحليل الخصائص المورفومترية والانحدارية للسطح** من خلال بناء نماذج رقمية دقيقة للارتفاعات وتفسير أشكال التضاريس المرتبطة بالطية ورسم مقاطع طولية وعرضية .

3-**كشف وتوثيق الانحدارات الأرضية النشطة وغير النشطة** وتحديد خصائصها من حيث الدرجة والاتجاه، والمخاطر.

4-**تقييم مستويات الخطورة الجيومورفولوجية المرتبطة بالانحدارات الأرضية** ، وإعداد خرائط تصنيف المخاطر السطحية لمختلف أجزاء طية بناباوي.

موقع منطقة الدراسة :تقع منطقة الدراسة فلكياً بين قوسي طول (44^0 16′ 55″ - 44^0 37′ 56″) ودائرتي عرض (36^0 4′ 24″ - 36^0 19′ 33″) إلى الشرق من مدينة أربيل بمسافة 33 كم تقريباً ، أي في محافظة اربيل – قضاء كويسنجق. و تبلغ مساحة المنطقة (349.123 كم2) . يمر طريق اربيل كويسنجق بالحدود الغربية لمنطقة الدراسة ، تلاحظ الخريطة (1) .

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



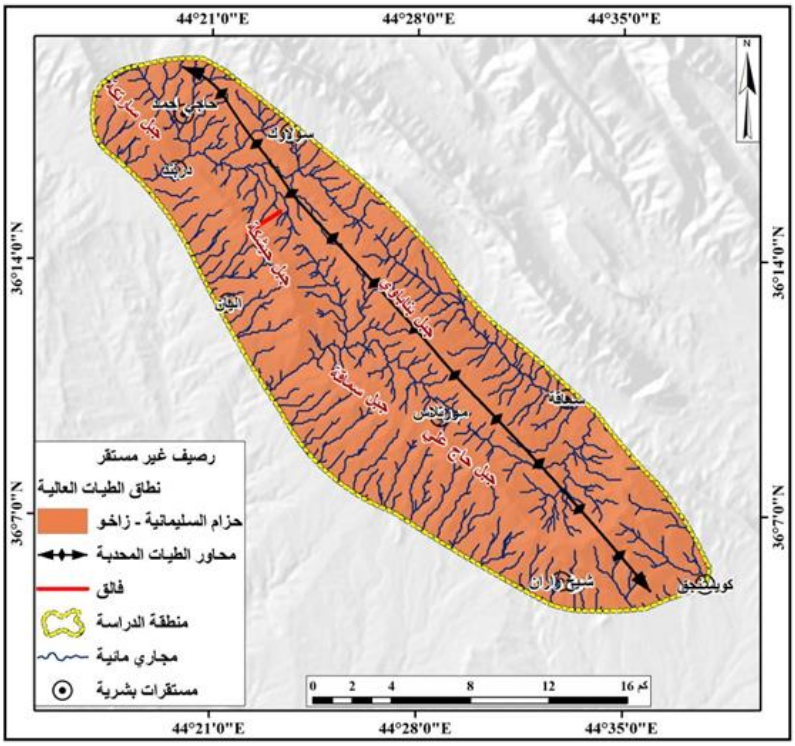
المصدر :-خريطة العراق الأدارية مقياس 1:1000000 ، قسم أنتاج الخرائط ، المديرية العامة للمساحة ، وزارة الموارد المائية ، بغداد ، العراق ، 2015 .

الخصائص الطبيعية للمنطقة وتجلّياتها الطبوغرافية في تشكيل المنحدرات

تُعدّ الخصائص الطبيعية لأي منطقة – بما في ذلك البنية التركيبية الجيولوجية، والطوبوغرافيا، والمناخ – من العوامل الرئيسة التي تتحكم في طبيعة السطح وشدة انحداراته. فالمنحدرات لا تُعد فقط مظهرًا طبوغرافيًا عابرًا، بل هي نتاج لتفاعل معقد بين البنية الجيولوجية من حيث التراكيب البنيوية والصفات الصخرية ، والعوامل المناخية . وهنا نستعرض الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة بوصفها الإطار البيئي والجغرافي الذي نشأت فيه المنحدرات ، مع التركيز على الكيفية التي تسهم بها هذه الخصائص في تكوين الأشكال الأنحدارية وتوزيعها ، وكذلك في تحديد درجة استقرارها و مخاطرها أو قابليتها للانهيار. كما يُسلط الضوء على العلاقة الجدلية بين المكونات الطبيعية والتجلّيات الطبوغرافية، باعتبارها مفتاحًا لفهم المخاطر السطحية وتخطيط استخدام الأرض .فمنطقة البحث **بنيوياً** وحسب تصنيف جاجم الكاظمي وآخرون تعود إلى الرصيف غير المستقر من نطاق الطيات العالية **لحزام السليمانية – زاخو** وإن محاور الطية ذا أتجاه شمال غرب جنوب شرق تتجزأ الطية الرئيسة (جبل بناباوي) سطحياً إلى عدة جبال يتراوح أرتفاع قممها بين (1100م – 1300 م) فوق مستوى سطح البحر ويتمثل بكل (جبل بناباوي – جبل حاج علي – جبل سماقة – جبل حيشكة – جبل سارتكة) مع وجود فالق عميق تحت سطحي في شمال غرب المنطقة ، تلاحظ الخريطة (2) .أظهرت نتائج تحليل **التراكيب الخطية** في منطقة طية بناباوي وجود أربعة مجموعات اتجاهية رئيسة، تتباين في أطوالها وأعدادها التي بلغت (320) تركيباً خطياً ، مما يعكس تنوع التأثيرات البنيوية على التضاريس والانحدارات الأرضية في المنطقة. يمكن تلخيص هذه الاتجاهات بزاوية (360 ^{0})كما يلي:-

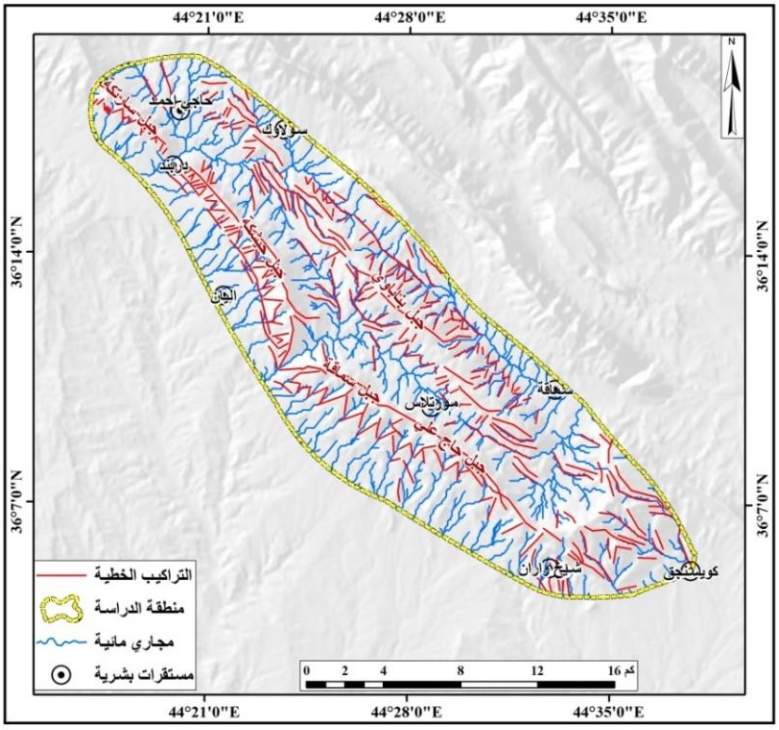
1- **الاتجاه جنوب شرق – شمال غرب** :- سجّل هذا الاتجاه أطول مجموع للأطوال الكلية بين جميع الاتجاهات (149.298 كم) بعدد(79) تركيباً خطياً. يشير ذلك إلى وجود عناصر بنيوية رئيسة مثل الفوالق أو محاور الطيات، وهي تلعب دوراً محورياً في التحكم بشكل التضاريس وتوجيه المجاري المائية الرئيسة. وجود هذه التراكيب الطويلة والمتصلة يزيد من احتمالية تشكّل انحدارات حادة على جانبيها، خصوصاً عندما تتقاطع مع مجاري مائية أو تنحدر الطبقات نحو مناطق الانخفاض، مما يجعلها أكثر عرضة للانزلاقات الأرضية والانهيارات الصخرية ، تلاحظ الخريطة (3) .

الخريطة (2) البنية التركيبية لطية بناباوي



المصدر :- من عمل الباحثة بالاعتماد على : خريطة العراق البنيوية مقياس 1000000:1 ، المنشاة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين ، وزارة الصناعة والمعادن ، بغداد ، العراق ، الطبعة الأولى ،1997.

خريطة (3) التراكيب الخطية لمنطقة الدراسة



المصدر : من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر وبأستخدام ROCK were.

2- الاتجاه شرق – غرب :- سجّل أكبر عدد من التراكيب الخطية (101 خطاً) بإجمالي أطوال يبلغ(77.535 كم) ، ما يشير إلى شبكة مفصلية أو شقوق ثانوية كثيفة الانتشار. هذه التراكيب تساهم في زيادة هشاشة الكتل الصخرية عن طريق تقسيمها إلى كتل أصغر قابلة

للانهيار، كما تتيح للمياه التغلغل بسهولة داخل المنحدرات، وهو ما يرفع من خطر الانهيارات الصخرية الموضعية خاصة في السفوح شديدة الانحدار.

3- الاتجاه جنوب – شمال :- سُجّل لهذا الاتجاه (70) خطاً بطول إجمالي (55.285 كم) ، ويُحتمل أن يرتبط بصدوع أو فواصل تمتد موازية تقريباً للميل العام للطبقات في بعض أجزاء الطية. في هذه الحالات، إذا كان ميل الطبقات متجهاً نحو السفوح، فإن احتمال الانزلاق الانتقالي يزداد بشكل ملحوظ نتيجة لتوفر أسطح ضعف طبيعية.أو قد يكون مرتبطاً بعناصر الشد أو انفتاحات ثانوية تعمل على تفكيك الكتل الصخرية بشكل محلي ، خاصة عند تقاطعها مع الاتجاهات المهيمنة الاخرى مايزيد من أحتمالية تفتت الصخور وانهيارها على شكل سقوط صخري .

4-الاتجاه شمال شرق – جنوب غرب :-تمثل هذه المجموعة (70) خطاً بطول إجمالي(38.735 كم) ، وتلعب دوراً في تشكيل مسارات صرف مائلة على الجوانب الجانبية للطية . تؤثر هذه التراكيب على استقرار المنحدرات التي تتعامد معها، حيث تؤدي إلى خلق نقاط ضعف بنيوية يمكن أن تتطور إلى انزلاقات تراجعية أو انهيارات كتلية عند توفر ظروف مشبعة بالمياه ، يلاحظ الجدول (1) .

الجدول (1) اتجاه وأعداد وأطوال التراكيب الخطية في منطقة الدراسة

اتجاه الخطيات	العدد	الاطوال كم
جنوب – شمال	70	55.285
جنوب شرق – شمال غرب	79	149.299
شرق – غرب	101	77.535
شمال شرق – جنوب غرب	70	38.736
المجموع	320	

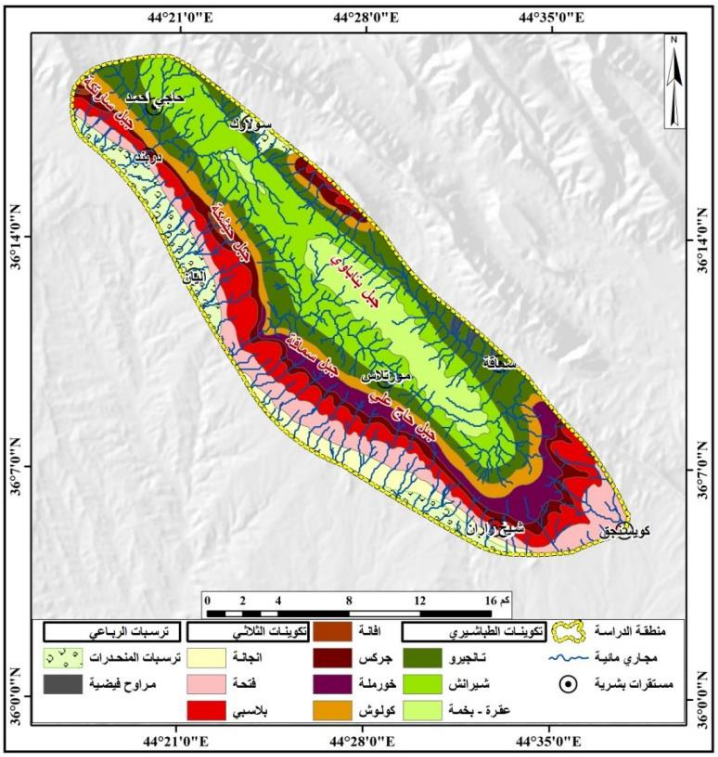
المصدر : من عمل الباحثة .

يتضح من التوزيع الاتجاهي للتراكيب الخطية أن البنية الجيولوجية لطية بنباوي تتحكم بشكل مباشر في أنماط الانحدار ومجاري الصرف، حيث: تشكل الاتجاهات المهيمنة جنوب شرق – شمال غرب وشرق – غرب الإطار البنيوي الأساسي الذي يحدد شكل التضاريس، ويوجه انحدار السفوح ومخاطرها .مما تقدم نستنتج ما يأتي :أ/ الاتجاه جنوب شرق – شمال غرب يمثل البنية المسيطرة التي تتحكم في الطابع العام للطية وتوجّه المخاطر السطحية الكبرى.ب/الاتجاه شرق – غرب ذو كثافة عالية من التراكيب القصيرة يرفع من هشاشة المنحدرات ويزيد من احتمالية الانهيارات الصخرية الموضعية.ج/ التداخل البنيوي بين الاتجاهات المختلفة يخلق مناطق ضعف مركبة تمثل نقاطاً حرجة لحدوث الانهيارات الأرضية حيث تتجمع قوى الاجهاد وتكون الصخور فيها أكثر تفككاً وضعفاً .د/ ارتباط المجاري المائية باتجاهات التراكيب يعزز دور البنية الجيولوجية في تشكيل المخاطر السطحية.أما بالنسبة **للبنية الجيولوجية** وطبيعة التكوين الصخري فالتكوينات تعود إلى الزمن الثاني والثالث وترسبات الزمن الرباعي وهي كالآتي :-

أ/تكوينات الزمن الثاني (العصر الكريتاسي / الطباشيري) :- فيتضمن عدة تكاوين منها :تكوين تانجيرو و يتألف هذا التكوين من صخور المارل الغريني والغرين والرمل والمجمعات والحجر الرملي، يبلغ سمكه (2018م) [1] (Varoujan k.sissakian .saffa.f.fouad، 2014) . ويكون امتداده شمال غرب جنوب شرق بشكل يحيط الطية بمساحة تقدر ب (59.412كم^2) أي ما تمثل نسبته (17.02 %) من مساحة المنطقة الكلية ، ثم يعلوه **تكوين شيرانش** ويتواجد هذا التكوين على نطاق واسع اذ يحتوي على تكوينات الحجر الجيري المارل والتراب الكلسي، وأحجار السلت رصاصية ذات لون مائل للأزرق ينكشف في وسط منطقة الدراسة بمساحة (74.227 كم^2) أي ما يمثل (21.26 %) من المساحة الكلية . أما **تكوين عقرة- بخمة** فيغطي هذا التكوين نطاق واسع من منطقة الدراسة يبلغ سمكه (315م) في بخمة ، و(739م) في عقرة ، يتألف من طبقات الصخور الجيرية وصخور جيرية دولومايتية تتميز بلون قهوائي مصفر ورمادي فاتح وعلى شكل بلورات صلبة جداً تبلغ مساحته (30.963 كم^2) أي (8.86%) من المساحة الكلية ، أما **تكوين افانة** فينكشف ضمن مساحة صغيرة جدا في الزاوية الشمالية شرقية ، يبلغ سمكه (212م)، وتسود فيه صخور جيرية ودولومايتية [2] (Varoujan K. Sissakian ، 2013) ، تبلغ مساحته (1.414 كم^2) أي ما يقارب (0.41%) من المساحة الكلية للمنطقة ، يعلو هذا التكوين **تكوين جركس** فيتكون من صخور فتاتية ناعمة والتي تمتاز بلونها الأحمر وهو يتكون من المدملكات وحجر الكلس يصل سمك هذا التكوين (250 م) أما مساحته فتبلغ (21.681 كم^2) أي (6.21 %) من مساحة منطقة الدراسة ، تلاحظ الخريطة (4) . يعلو تكوين جركس تكوين آخر هو **تكوين خورملة** إذ يتألف هذا التكوين من طبقات سميكة صلبة من الحجر الجيري

والحجر الجيري المارلي وصخور الدولومايت (3) (Varoujan K. Sissakian ، 2013) يتراوح سمكه (400م) تتكشف طبقاته كنطاق ممتد بأتجاه شمال شرق جنوب غرب تبلغ مساحته (21.147 كم2) أي ما يقارب (6.06 %) من المساحة الكلية . يعلوه **تكوين كولوش** إذ يتكون من الصخور الزيتي الرمادي الداكن وعدسات رقيقة من الحجر الرملي . و ينكشف في الجناح الايسر من الطية واجزاء قليلة من الجناح الايمن ، تبلغ مساحته (25.042 كم^2) أي بنسبة تقدر (7.17 %) من المساحة الكلية .

الخريطة (4) التكوينات الجيولوجية في منطقة البحث



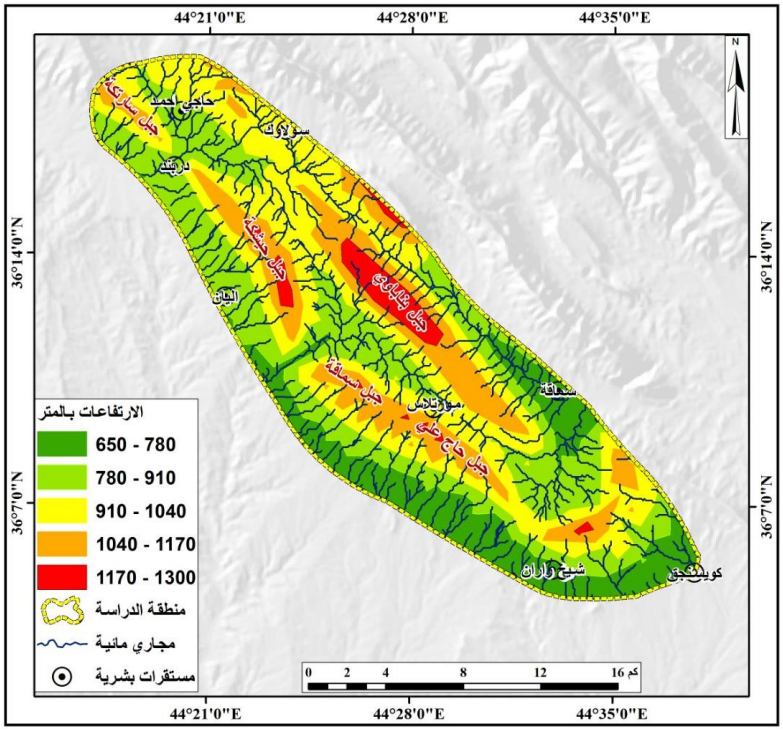
المصدر :- من عمل الباحثة بالاعتماد على لوحة أربيل ومهاباد ، مقياس 1:250000 ، المنشأة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين ، وزارة الصناعة والمعادن ، بغداد ، العراق ، الطبعة الأولى ، 1997 .

ب/ تكوينات الزمن الثلاثي :- فتمثلت بتكوينات أنجانة و الفتحة وبيلاسبي وكالآتي:إذ يتألف تكوين أنجانة من حجر رملي بني محمر وحجر غريني وحجر طيني، سمكه يختلف من منطقة إلى أخرى (200م)، بيئة الترسبية للتكوين هي بيئة نهرية ، أما مساحته فتبلغ (13.821 كم^2) أي (3.96%) من مُجمل المساحة ، ثم يعلوه تكوين الفتحة ينكشف في ضمن بعض الطيات المحدبة في الجزء الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة الجناح الايسر لطية بناباوي ، إذ يتألف من حجر الطيني جيري ذي لون بني محمر بالتتابع مع طبقات سميكة من الحجر الكلسي وحجر غريني بني محمر ويوجد حجر رملي في الجزء العلوي والجبس في الجزء السفلي سمكه يختلف من منطقة إلى أخرى فيبلغ (200م) ، أما مساحته (34.623 كم^2) أي (9.92%) من المساحة الكلية . أما آخر تكوين من تكوينات الزمن الثلاثي فهو تكوين بيلاسبي تتكشف صخوره بشكل شريط يمتد من الجنوب الشرقي وحتى الشمال الغربي وتشغل سلسلة جبل حاج علي وجبل سماقة وجبل حيشكة وجبل سارتكة ، ويتألف من حجر كلسي ودولومايت وقليل من الطين الجيري والحجر الكلسي الطيني، يتميز بصلابة عالية، وهو ذو لونين رصاصي فاتح وأبيض، وهي سميكة وقوية جداً ومقاومة للتجوية مما جعلها تشكل جروفاً أو نتوءات بارزة ومنحدرات معلقة تبلغ مساحته (39.088كم^2) أي من المساحة الاجمالية (11.2%).

ج/ ترسبات الزمن الرباعي :فقد ضمت كل من ترسبات المنحدرات وهي مؤلفة من قطع صخرية كبيرة وحادة الزوايا أو الترسبات الموجودة بمنحدرات الجبال العالية التي تتراكم على سفوحه، وناتجة من عمليات الانزلاقات الأرضية بأنواعها وهي تتألف من الحجر الجيري سمكها يتجاوز (3م) والامتداد الجانبي لها يصل إلى عدة امتار تبلغ مساحتها (26.027 كم^2) فتبلغ (7.45 %) من المساحة الكلية . أما المراوح الفيضية تتكون من الفتات الناعم من الطين وقطع صخرية مغطاة بالرمل ، تظهر في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية بمساحة صغيرة جداً إذ تبلغ (1.678كم^2) ما يقارب (0.48 %) من مساحة منطقة الدراسة .مما تقدم نلاحظ تحكم البنية الجيولوجية و التكتونية ذات الاتجاه شمال غرب–جنوب شرق ساعد في تقسيم الطية إلى عدة جبال ، يولد انحدارات شديدة على الأجنحة البنيوية. ساهم التباين في صلابة التكوينات ،

مثل صخور بيلاسبي الصلبة وتكوينات تانجيرو وكولوش الهشة، في نشوء جروف بارزة ومناطق انزلاقية. أما الفالق والتراكيب الخطية أدت إلى إضعاف استقرار المنحدرات وتوجيه التصريف السطحي نحو مناطق قابلة للانهيار. أما ترسبات الزمن الرباعي المفككة على السفوح تزيد من احتمالية الانزلاقات الأرضية بعد الأمطار. بذلك، ترتبط المخاطر السطحية في الطية بعلاقة وثيقة بين التكوين الصخري والخصائص البنيوية .أما طبوغرافياً تُظهر خريطة الارتفاعات الرقمية ، الخريطة (5) ، إن طية بناباوي ككيان بنيوي واضح يمتد باتجاه شمال غرب– جنوب شرق، وهو الاتجاه البنيوي السائد في نطاق الطيات العالية . يتراوح الارتفاع في المنطقة بين (650–1300 م) فوق مستوى سطح البحر ، حيث تتركز القمم العليا (1170–1300 م) في وسط الطية وتمثّل نواة الطية البنيوية ، وتتمثل بجبل بناباوي، أما (حاج علي، سماقة ، حيشكة وسارتكة)، هي جبال تتبع التقسيم البنيوي السطحي للطية الرئيسة فتبلغ مساحتها (12.2844 كم^2) . تنحدر هذه القمم تدريجيًا نحو الأجنحة البنيوية الشرقية والغربية ، مما يولّد انحدارات شديدة نتيجة ميلان الطبقات البنيوي ، وتفاوت المقاومة الصخرية .فعند ربط خريطة الارتفاعات بالبنية الجيولوجية (الخريطة 3)، يتبيّن أن القمم المرتفعة تتطابق مع تكوينات صخرية صلبة كصخور تكوين بيلاسبي وخورملة وشيرانش (حجر كلسي ودولومايت مقاوم والمارل الصلب)، والتي تشكل جروفًا حادة ومنحدرات معلقة تميّز النواة الطبوغرافية للطية. أما المناطق التي تلي القمم في الارتفاع بين (1040 – 1170م)، فتنتشر فيها تكوينات أقل صلابة كتانجيرو وكولوش (صخور مارلية وزيتية) ممّا يسهّل نحتها وتعرضها للانزلاقات. تعكس هذه الفروقات في الارتفاع والبنية الصخرية تمايزًا جيومورفولوجيًا واضحًا بين القمم النشطة تكتونيًا والمناطق المعرّضة للتعرية والانزلاق على السفوح .

الخريطة (5) أنطقة الارتفاعات في منطقة الدراسة



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

فتبلغ مساحتها (57.8258كم^2) يليه النطاق الثالث (910–1040 م) وهي مناطق متوسطة الانحدار إذ تبلغ مساحتها الكلية (110.4026كم2) من مساحة المنطقة الكلية فتُظهر المجاري المائية المنتشرة على جوانب الطية (وفق الخريطة) نمطًا شعاعيًّا متقطعًا، ما يعكس تأثير الفوالق والفواصل البنيوية في توجيه التصريف السطحي نحو السفوح الاقل صلابة ، يليه نطاق الارتفاع (780–910 م) فيمثل تكوين الفتحة والذي يعد اقل صلابة من باقي التكاوين وتبلغ مساحته (109.7094 كم^2) ، تتكدس ترسبات الزمن الرباعي (المنحدرات والمراوح الفيضية) على السفوح المنخفضة عند أرتفاع (650–780م) ، مما يزيد من احتمال الانهيارات والانزلاقات الأرضية، خصوصًا عند زيادة شدة الأمطار على طبقات مفككة أو متشققة تبلغ مساحة هذا النطاق (58.9006 كم^2)، وبذلك، فإن خريطة الارتفاعات لا تكتفي بعرض التدرج الطبوغرافي بل تمثل مرآة مباشرة للبنية التكتونية والتكوينات الصخرية المتباينة ، وتشكّل الأساس لفهم توزيع الانحدارات وخطورتها. حيث ترتبط المخاطر السطحية في منطقة الدراسة بعلاقة مباشرة بين الميل البنيوي، والتباين الصخري، والارتفاع الطبوغرافي، مما يبرر دراسة الانحدارات كعامل جيومورفولوجي بنيوي متكامل ضمن طية بناباوي. أما **الخصائص المناخية** للمنطقة فأنها تسجل في شهر **كانون الثاني** درجات حرارة متدنية (عظمى 14.8 °C /صغرى – 6.4°C) مع أمطار معتبرة (35.61 ملم) ورطوبة نسبية مرتفعة (68%)، ما يُسهم في زيادة التجمّد داخل الشقوق البنيوية،

خاصة في الصخور الفتاتية الهشة كـ"تانجيرو" و"كولوش". التمدد والانكماش الناجم عن تجمد المياه يؤدي إلى تفكك أولي في السفوح الشمالية، مما يرفع احتمالية الانزلاقات على الطبقات المفككة. أما شهر **شباط** تستمر الأجواء الباردة (عظمى C17.8°/صغرى C5.4-°)، مع أمطار (33.35 ملم) ورطوبة (66%). تؤدي هذه الظروف إلى ظهور تشققات في الجروف الكلسية الحادة (تكوينات بيلاسبي، عقرة)، خصوصًا عند وجود فوالق وشقوق بنيوية، ما يُضعف الجبهات الصخرية، ممهّدًا لاحتمالات انهيارات لاحقة. يلاحظ الجدول (2) ، هذا ومع حلول شهر **آذار** يلاحظ ارتفاع نسبي في درجات الحرارة (C22.3°/ 2.3°C-) وازدياد الأمطار (42.62 ملم) ، تُصاب الطبقات الفتاتية كتكوين "جركس" و"أنجانة" بتشبع مائي مرتفع، فتحدث انزلاقات طينية سطحية على الأجنحة البنيوية الضعيفة للطية، في ظل رطوبة عالية (61%) وتبخر منخفض نسبيًا (96.4 ملم) . **وفي شهر نيسان** تُسجل درجة الحرارة نسب معتدلة (C28.4°)، مع رطوبة عالية (55%) وأمطار مرتفعة (37.71 ملم). يؤدي تفاعل التكوينات المختلطة (خورملة، شيرانش) مع التغيرات الحرارية- الرطوبة إلى تقشر سطحي وانهيارات طبقية، خاصة على السفوح المواجهة للرياح (سرعة رياح 0.70 م/ثا، اتجاه 147.5°) ، ومع تصاعد الحرارة في شهر **مايس** (35 C°) وتبخر مرتفع (95.6 ملم) وانخفاض الأمطار (19.22 ملم)، فتبدأ الصخور الكلسية لتكوين (بيلاسبي) بفقدان رطوبتها السطحية، مما يؤدي إلى الانكماش وتكوّن فجوات تُعد مواقع أولية لانهيارات متوقعة في الموسم المطري التالي. هذا وإن الحرارة المرتفعة في شهر **حزيران** (C40.9°) ، والتبخر الشديد (203.4 ملم) ، الرطوبة المنخفضة (25%) تتسبب بتشقق السطوح الهشة في التكوينات الفتاتية، خصوصًا في مناطق ترسبات الرباعي على الأجنحة البنيوية، ما يرفع من قابلية المنطقة للانزلاقات مستقبلاً.

الجدول (2) البيانات المناخية الخاصة بمنطقة الدراسة

الشهر		كانون 2	شباط	آذار	نيسان	مايس	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1
درجة الحرارة الاعتيادية C		2.9	4.7	9.1	14.7	20.7	27.5	31.3	30.8	25.9	19	10.2	5.2
درجة الحرارة العظمىC		14.8	17.8	22.3	28.4	35	40.9	43.7	42.9	39.1	32.7	23.1	17.5
درجة الحرارة الصغرى C		-6.4	-5.4	-2.3	1.5	8.1	14.2	18.8	19	13.7	6.8	-0.64	-4.03
الرياح	سرعة/ م/ثا	0.95	0.92	0.83	0.70	0.68	0.81	1.03	1.19	1.16	1.04	0.94	0.92
	أتجاه	109.6	116.9	144.4	147.5	174.2	182.2	158.8	148.8	188.7	137.6	98.6	99.65
الأمطار / ملم		35.61	33.35	42.62	37.71	19.22	3.66	1.36	1.42	1.83	18.17	33.6	30.04
الرطوبة النسبية %		68	66	61	55	44	25	21	20	24	37	56	65
التبخر / ملم		39.6	55.2	96.4	79.6	95.6	203.4	268.3	116.8	91.3	82.5	72.8	40.6

المصدر : من عمل الباحثة بالاعتماد على NASA/POWER Source Native Resolution Monthly and Annual
Location: Latitude 36.4313 Longitude 44.4913

ويستمر الارتفاع بالحرارة لتصل إلى أقصاها لشهر **تموز** (43.7 C°) مع أعلى تبخر سنوي (268.3 ملم)، وجفاف شديد. هذه الظروف تُحدث تقشرًا في الصخور الجيرية الصلبة (خورملة، بيلاسبي)، التي تحتوي مسبقًا على شقوق بنيوية، مما يزيد من احتمالات الانهيارات الحادة على السفوح. وعلى الرغم من استمرار الحرارة العالية في **آب** (C42.9°) والتبخر المرتفع (116.8 ملم) ، تتصلب التربة السطحية بشكل مؤقت. ومع ذلك، فإنها تفقد التماسك الداخلي، ما يجعلها بيئة خطرة للانزلاقات المفاجئة في أولى الأمطار القادمة. هذا وتبدأ في **أيلول** درجات الحرارة بالانخفاض (39.1 C°) مع أمطار خفيفة (1.83 ملم) ورطوبة تبدأ بالارتفاع (24%) . تبدأ التكوينات الهشة، لاسيما الواقعة على الحافات الطبوغرافية الحادة، بامتصاص الرطوبة، ما يرفع من احتمالية حدوث انهيارات ثانوية في مناطق الفالق. تشهد السفوح الناعمة في شهر **تشرين الأول** (مثل تكوينات تانجيرو، أنجانة) تشققات سطحية وتآكلًا بفعل بداية تسرب الأمطار (18.17 ملم) مع حرارة تنخفض تدريجيًا (C32.7°) ورطوبة معتدلة (37%) . تزداد الخطورة الجيومورفولوجية مع استمرار الهطول المطري. ومع ارتفاع كمية الأمطار (33.6 ملم) وزيادة الرطوبة (56%) وانخفاض الحرارة (C0.64-°)، في شهر **تشرين الثاني** يزداد التشبع المائي للطبقات السطحية، مما يؤدي إلى حدوث انزلاقات طبقية أو سقوط كتل صخرية، خاصة عند تقاطع الفواصل والشقوق البنيوية مع ميلان الطية . وفي بداية موسم التجمد من جديد **لكانون الأول** ، مع

حرارة دنيا تصل إلى –C4.03°، وأمطار (30.04 ملم). التكوينات التي تعرضت لتشققات صيفية تبدأ بالتفكك مجددًا بفعل التجمّد، خصوصًا "كولوش" و"تانجيرو"، مما يرفع من خطر الانهيارات على السفوح المعرضة.

التحليل الجيومورفولوجي لمنحدرات منطقة الدراسة

تُعد الانحدارات الأرضية من أبرز المظاهر الطوبوغرافية التي تُميز سطح الأرض، وهي تعكس التفاعل الديناميكي المستمر بين العمليات التكتونية والعمليات السطحية. والانحدار يعني الميل الزاوي لسطح الأرض بالنسبة للمستوى الأفقي أي تعبّر عن الزاوية التي يشكلها سطح الأرض مع المستوى الأفقي، وتُقاس إما بالدرجات الزاوية (Degree°)أو بالنسبة المئوية (Slope %) . وتُعد من العناصر الأساسية في تشكيل النطاقات الجغرافية المختلفة، إذ تُملي اتجاهات الجريان السطحي، وتتحكم في توزيع التعرية ، وتُحدد مواضع الاستقرار والانهيار في البيئات الجبلية والمنحدرات الحاد (4)(محمد حمد حسن هيكل ، عبد الجليل عبد الحميد هويدي ، 2008) ترتبط هذه الانحدارات ارتباطًا وثيقًا بما يُعرف بـ المفاهيم البنيوية، والتي تُشير إلى المكونات التكتونية والجيولوجية الناتجة عن الحركات الأرضية ، وتشمل الطيات، الفوالق، المفاصل، اتجاهات التطبق. وتُعد هذه المكونات البنيوية عناصر حاكمة في تشكيل تضاريس الأرض، كما تُمثّل الإطار الذي تتحرك ضمنه قوى الانحدار والانجراف.في السياق ذاته، تبرز أهمية العلاقة بين البنية الجيولوجية والمخاطر السطحية بوصفها علاقة سببية مباشرة، حيث إن البنية الجيولوجية لا تُحدد فقط شكل الانحدار وإنما تتحكم كذلك في استقراره الميكانيكي. فوجود فوالق نشطة أو مفاصل متقاطعة أو طبقات رسوبية مائلة باتجاه الانحدار يُعد عاملاً محفّزًا للانزلاقات الأرضية، كما أن الطيات الحادة أو المقلوبة قد تولّد بيئات شديدة القابلية للانهيار بفعل الجاذبية أو النشاط الهيدرولوجي. وتزداد الخطورة البنيوية في المناطق التي تتقاطع فيها هذه العناصر مع عوامل طبيعية مساعدة، مثل الأمطار الغزيرة، التعرية النهرية، و العمليات الجيومورفولوجية الاخرى (5)(Doug Stead Andrea Wolter ، 2015) من هنا، فإن دراسة الانحدارات الأرضية والمفاهيم البنيوية تُمثّل حجر الأساس في التحليل الجيومورفولوجي ، لا سيما عند التعامل مع البيئات المركبة والمعقدة تكتونيًا مثل طية بناباوي .كما أن توظيف التقنيات الحديثة كالتحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية في تحليل هذه العلاقة يوفّر أدوات قوية لتفسير الواقع الجيولوجي، وبناء نماذج مكانية دقيقة لتحديد مستويات الخطورة والانحدار في المنطقة المدروسة وسيتم دراسة الأنحدارات على الشكل الاتي :–

1- تحليل درجة الانحدار (Slope Degree) وفق تصنيف زنك :–يُعد تحليل درجة الانحدار من المؤشرات المورفومترية المهمة لفهم الطابع التضاريسي لمنطقة الدراسة، حيث يُعطي تصورًا دقيقًا لشدة انحدار السطح وتوزيع المنحدرات واتجاه استخدامها للأغراض المختلفة . تشير الدلالة المكانية لتوزيع الانحدار والتي تلاحظ من الخريطة محورًا طوليًا وسط منطقة الدراسة وهو ذا انحدارات شديدة وشديدة جدًا، يوازي الاتجاه البنيوي للجبال، ويعكس تأثير التراكيب التكتونية (الطيات والتراكيب الخطية) ، وتزداد شدة الانحدارات باتجاه المناطق الوسطى من الحوض، مما يعكس الدور البنيوي في التحكم بالشكل العام للتضاريس اما المجاري المائية تتبع عمومًا خطوط الانحدار الأعلى، ويُلاحظ أنها تسلك ممرات متعرجة، مما يدل على تأثرها بالبنية الصخرية. وقد تم حساب الانحدارات باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) اعتمادًا على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) ، وصُنفت وفق تصنيف Zinck (1988) إلى خمس فئات رئيسة (6)(Stan norain Ed ، 1999) يلاحظ الجدول (3) وكالأتي

الجدول (3) أشكال التضرس وزوايا الانحدار ومساحتها وفق تصنيف (Zink)

ت	شكل التضرس	زاوية الانحدار بالدرجات	تصنيف السطح	المساحة /كم2	النسبة المئوية %
1	مسطح – مستوي	1.9 – 0	سهول – وديان	17.0353	4.87
2	تموج خفيف	7.9 – 2	سهول نهرية – سفوح – اقدام جبال	142.9529	40.95
3	متموج	15.9 –8	تلال منخفضة	124.6616	35.71
4	مقطعة – مجزأة	29.9 –16	تلال مرتفعة	62.9654	18.04
5	مقطعة بدرجة عالية	+ 30	جبال	1.5077	0.43
المجموع	-	-	-	349.123	%100

المصدر :– من عمل الباحثة .

ومن خلال الخريطة المرفقة (6) ، يتضح ما يلي:

الفئة الأولى: الأراضي المستوية :- (0 – 1.9 درجة) :- تمثل هذه الفئة الأراضي شبه الأفقية أو المسطحة ، وتتميز بـ:

1- انتشارها المحدود في الأطراف على جناحي الطية تمثل مناطقاً سهلية ووديان تبلغ مساحتها (17.0353كم^2) ما نسبته (4.87 %) من مساحة المنطقة الكلية .

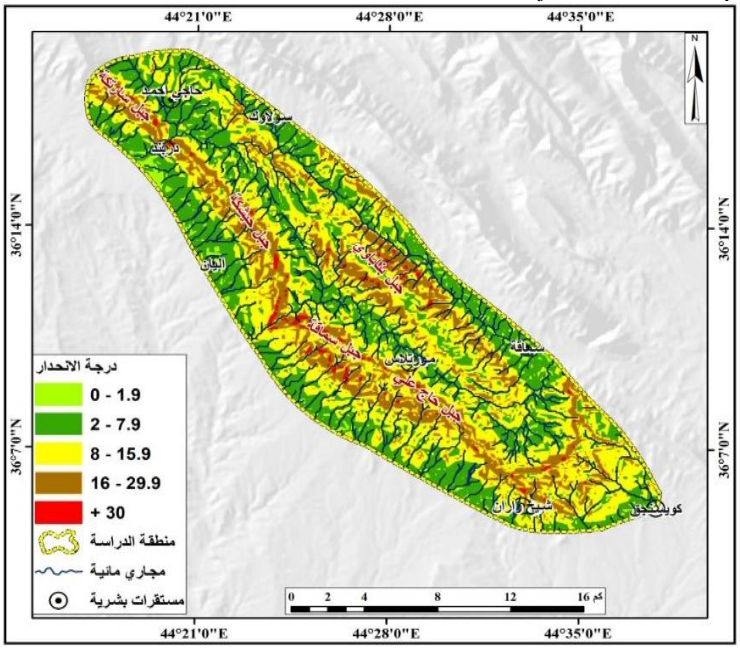
2- ملاءمتها العالية للأنشطة الزراعية والاستيطان الريفي.

3- ضعف التأثر بالانجراف أو التعرية، إلا في حال وجود تربة مفككة وسوء تصريف.

4- غالبًا ما تتجمع فيها المياه السطحية وتشكل سبخات موسمية أو مناطق تراكمية .

التفسير الجيومورفولوجي :تمثل هذه الفئة القيعان الفيضية أو السفوح الدنيا حيث تترسب المواد المنقولة من الأعلى .

الخريطة (6) درجات الأنحدار في منطقة الدراسة وزوايا الانحدار ومساحاتها زفق تصنف (zink)



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

الفئة الثانية: الانحدار الخفيف – (2 – 7.9 درجة) :- تمثل منحدرات خفيفة وتغطي مساحات كبيرة في الأطراف المحيطة بجناحي الطية ووسطها ، وهي:

1- مناطق زراعية جيدة خصوصًا للمحاصيل التي تحتاج تصريفًا متوسطًا لأنها تمثل اقدام الجبال وفقاً للتصنيف، تبلغ مساحتها (142.9529 كم^2) أي بنسبة (40%) من المساحة الكلية وهي أعلى فئة في منطقة الدراسة .

2- قابلة للاستيطان البشري كونها ذات تموج بسيط ، مع اتخاذ بعض الاحتياطات الهندسة المدنية.

3- معرضة لحدوث انجراف سطحي بإزالة الغطاء النباتي.

التفسير الجيومورفولوجي :تعود هذه المناطق إلى السفوح الانتقالية بين الجبال والمناطق السهلية، وهي ناتجة عن عمليات التعرية الطويلة وتراكم المواد الرسوبية.

الفئة الثالثة: الانحدار المتوسط (المتموج) (8 – 15.9 درجة) :- تمثل المنحدرات المتوسطة وتتركز حول الكتل الجبلية وهي اراضٍ متموجة ومنخفضة ، وتمثل الفئة بالمرتبة الثانية الأكثر تكرارًا في المنطقة:

1- بيئات معرضة للتعرية المائية والانجراف بشكل واضح ، تبلغ مساحتها (124.6616 كم^2) بنسبة (35.71 %) .

2- غير ملائمة للزراعة التقليدية، ولكنها قد تُستخدم كمناطق رعوية .

3- تتطلب إدارة بيئية دقيقة لحماية التربة.

التفسير الجيومورفولوجي: هذه المناطق تمثل تلالاً و سفوحًا نحتتها المجاري المائية على مدى زمني طويل، وتشكلت ضمن أنظمة تكتونية قديمة أو حديثة.

الفئة الرابعة: الانحدار الشديد (مقطعة ومجزأة) (16 – 29.9 درجة) :- تشير إلى منحدرات وعرة تنتشر في قلب المرتفعات لطية بناباوي الرئيسة واقسامها مثل جبل حاج عيسى، جبل سماقة ، جبل حيشكة وجبل سارتكة :

1- تُعد منحدرات خطرة من حيث الاستقرار البنيوي والهيدرولوجي تبلغ مساحتها (62.9654 كم^2) أي (18.04 %) .

2- غير ملائمة لأي استخدام زراعي ، وتتعرض لانجرافات وتعرية شديدة.

3- تحتوي على تربة قليلة العمق أو منعدمة.

التفسير الجيومورفولوجي :تمثل هذه المنحدرات النشطة تكتونيًا أو ناتجة عن تراجع حاد للمنحدرات بسبب نشاط الفواصل والتراكيب الجيولوجية.

الفئة الخامسة: الانحدار الشديد جدًا (30< درجة) :- تُعد الفئة الأعلى خطرًا، وتُرصد في مناطق الارتفاعات القصوى وفي محاور المرتفعات البنيوية (الجبال)

1- تعكس مناطق عدم استقرار جيومورفولوجي عالي جدًا تبلغ مساحتها (1.5077 كم^2). و تمثل (0.43 %) من المساحة الكلية لمنطقة البحث

2- مناطق معرضة للانهيارات الصخرية والانزلاقات الأرضية لأنها مقطعة بدرجة عالية.

3- لا تصلح لأي نوع من أنواع الاستعمالات دون تدخلات هندسية معقدة.

التفسير الجيومورفولوجي :تشكلت نتيجة تأثيرات تكتونية أو تعرية حادة في تكوينات صخرية صلبة ومقاومة.

إن التحليل الجيومورفولوجي لدرجة الانحدار في منطقة الدراسة ، استنادًا إلى تصنيفZinck ، أتاح تصوّرًا دقيقًا عن الواقع التضاريسي، وأبرز التباين للمنطقة ، مما ينعكس على كل من العمليات الجيومورفولوجية الجارية، واستعمالات الأرض المحتملة، والمخاطر البيئية المستقبلية. ويمثل هذا التحليل قاعدة بيانات أساسية لأي دراسة لاحقة تتناول التعرية أو استخدامات الأرض أو الهيدرولوجيا أو التخطيط البيئي.

2-**تحليل أتجاه الأنحدار (Aspect)** يُعد اتجاه الانحدار من المؤشرات الجيومورفولوجية الأساسية التي تُسهم في فهم ديناميكية السطح الأرضي وعلاقته بالعمليات الطبيعية المختلفة. إذ يعكس اتجاه الانحدار اتجاه ميل السطح بالنسبة للشمال الجغرافي، وهو عامل مهم في التحكم بعمليات التعرية المائية، الانزلاقات الأرضية، وجريان السيول. كما يؤثر بشكل مباشر في كمية الإشعاع الشمسي المستلمة، وبالتالي في رطوبة التربة وتماسكها، مما يجعله أحد المحددات الرئيسة للمخاطر السطحية (7)(Li, M., Shi, X., Shen, Z., et al.، 2019) . وبما إن طية بناباوي ضمن نطاق الطيات المحدبة في نطاق زاكروس الجنوبي الشرقي من العراق، وتمثل نموذجًا واضحًا لتأثير البنية الجيولوجية في تشكيل التضاريس. فيظهر توزيع اتجاهات الانحدار فيها متأثرًا بمحور الطية الممتد شمال غرب – جنوب شرق، حيث تسود الانحدارات الجنوبية الغربية والشمالية الشرقية ، وهو ما ينسجم مع اتجاه التصريف النهري والمجاري الرئيسة.إن فهم علاقة اتجاه الانحدار في طية بناباوي بالمخاطر السطحية يُعد ذا أهمية كبيرة ؛ إذ تتركز المخاطر الجيومورفولوجية كالانزلاقات الأرضية والسيول على الجوانب المواجهة للتدفقات المطرية والمجاري المائية، بينما تميل الانحدارات الشمالية والشرقية إلى استقرار نسبي مع تعرضها لانجرافات سطحية محدودة. فأظهرت نتائج التحليل المورفومتري لاتجاهات الانحدار في طية بناباوي أنّ الانحدارات الجنوبية الغربية تشغل المساحة الأكبر بواقع (111.40 كم²) وبنسبة (31.91 %) من المساحة الكلية ، تليها الانحدارات الشمالية الشرقية بمساحة (57.57 كم²) وبنسبة (16.49 %) ، ثم الانحدارات الجنوبية بمساحة (52.40 كم²) وبنسبة بلغت (15.01 %)، في حين شكّلت الانحدارات الشمالية الغربية أصغر مساحة بلغت (16.02 كم²) وبنسبة (4.59%)، يلاحظ الجدول (3) . هذا التباين يعكس سيطرة البنية الطبوغرافية للطية على نمط تصريف المياه وتوجيه العمليات السطحية. ومن الناحية الجيومورفولوجية ، فإنّ الانحدارات الجنوبية والغربية تُعد الأكثر تعرضًا للمخاطر السطحية، وذلك لكونها:

1-مواجهة مباشرة للتدفقات المطرية والسيول القادمة من المرتفعات المجاورة.

2-مرتبطة بمحاور الأودية الرئيسة التي تعمل على تسريع الجريان السطحي وتكثيف التعرية المائية والانجرافات.

3- ذات قابلية أعلى لحدوث الانزلاقات الأرضية نتيجة تشبع التربة بالمياه وقوة الجاذبية على المنحدرات الحادة.

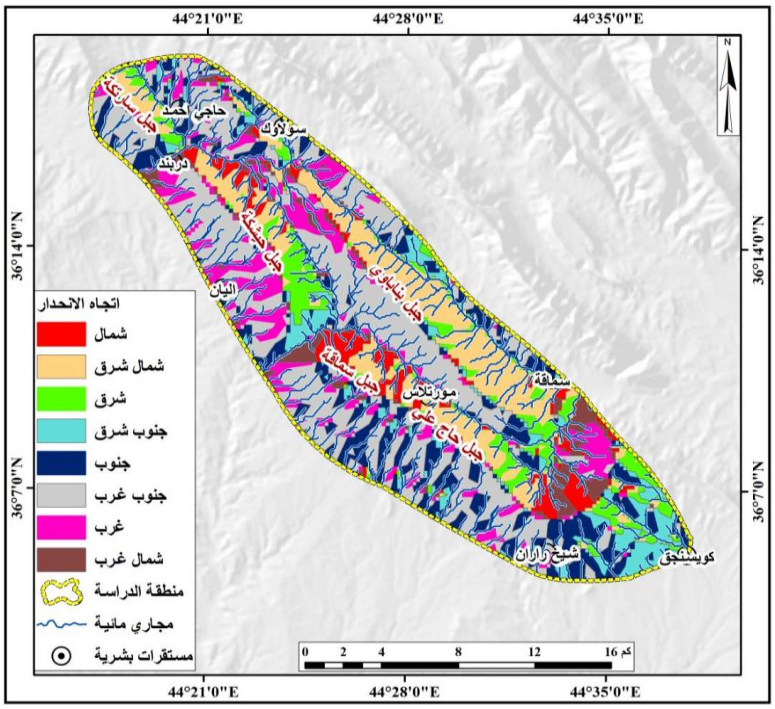
أما الانحدارات الشمالية والشرقية وشمال الغرب فتتميّز بتعرض أقل للتدفقات المطرية المباشرة، مما يجعلها أقل عرضة للخطر المباشر للانزلاقات والسيول، لكنها تبقى مناطق محتملة لانجراف التربة الجافة والتعرية الريحية، خاصة على المنحدرات المفتوحة والمجردة من الغطاء النباتي ، تلاحظ الخريطة (7).

الجدول (4) أتجاه الانحدارات ومساحاتها والنسبة المئوية لمنطقة الدراسة

ت	اتجاه الأنحدار	المساحة كم2	النسبة المئوية %
1	شمال	221.871	6.26
2	شمال شرق	357.567	16.49
3	شرق	826.317	7.54
4	جنوب شرق	25.9452	7.43
5	جنوب	52.4044	15.01
6	جنوب غرب	111.4020	31.91
7	غرب	37.5950	10.77
8	شمال غرب	16.0198	4.59
المجموع		349.123	100

المصدر :- من عمل الباحثة .

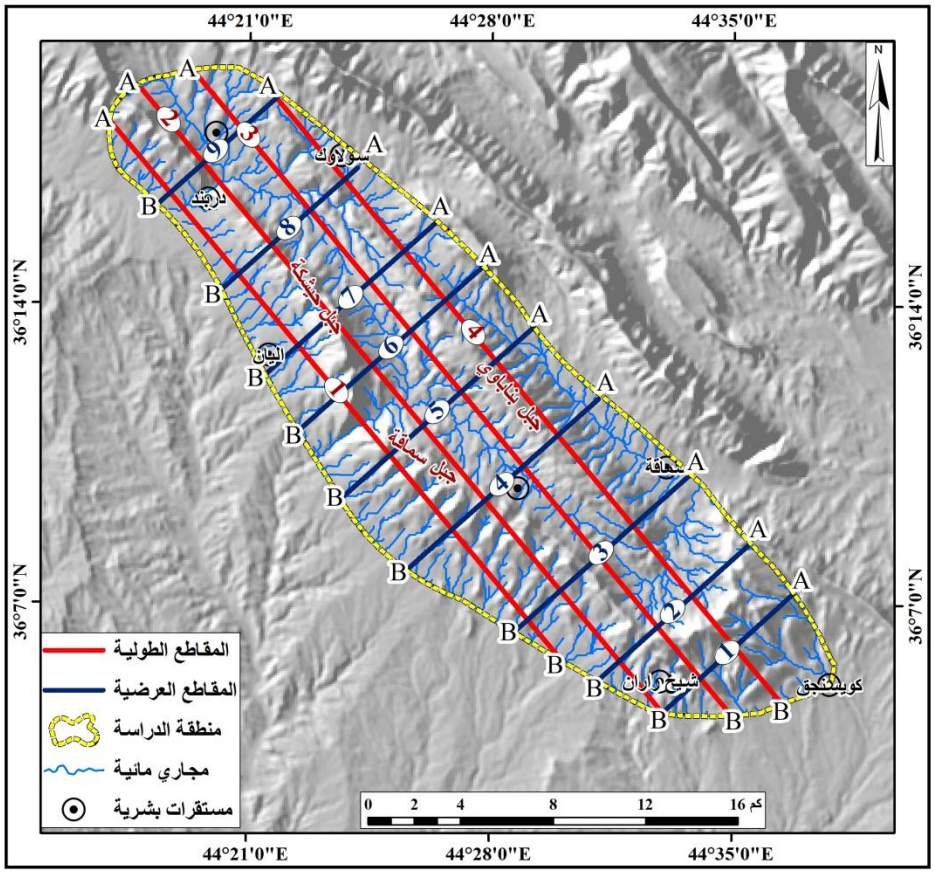
الخريطة (7) أتجاه الانحدارات في منطقة الدراسة



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

3-تحليل المقاطع التضاريسية لطية بناباوي : تُعد المقاطع الطولية والعرضية من الأدوات الجوهرية في التحليل الجيومورفولوجي البنيوي، إذ تُمكّن من تتبع التغيرات المورفومترية والميكانيكية للانحدارات الأرضية وربطها بالبنية الجيولوجية المسيطرة. ففي منطقة طية بناباوي، حيث تتقاطع عناصر البنية التركيبية مع الخصائص المورفولوجية، تكشف هذه المقاطع عن العلاقة المكانية بين اتجاهات الطيات، الفوالق، والمفاصل من جهة، وأنماط الانحدار وتوزيع المخاطر السطحية من جهة أخرى. ويُظهر التحليل الطولي تدرج الارتفاعات والانكسارات البنيوية على امتداد خط المقطع، مما يعكس تأثير القوى التكتونية في تشكيل سطح الأرض. أما المقاطع العرضية فتتيح فهماً أعمق لكيفية تغير زاوية الانحدار واتساع المجاري والمنحدرات عبر القطاع البنيوي للطية، مسلّطة الضوء على مناطق الضعف البنيوي المحتملة لانزلاقات أرضية أو انهيارات صخرية. قسمت منطقة الدراسة الى(4) مقاطع طولية و (9) مقاطع عرضية كما في الخريطة (8) وكما يأتي:-

الخريطة (8) توزيع المقاطع الطولية والعرضية لمنطقة الدراسة

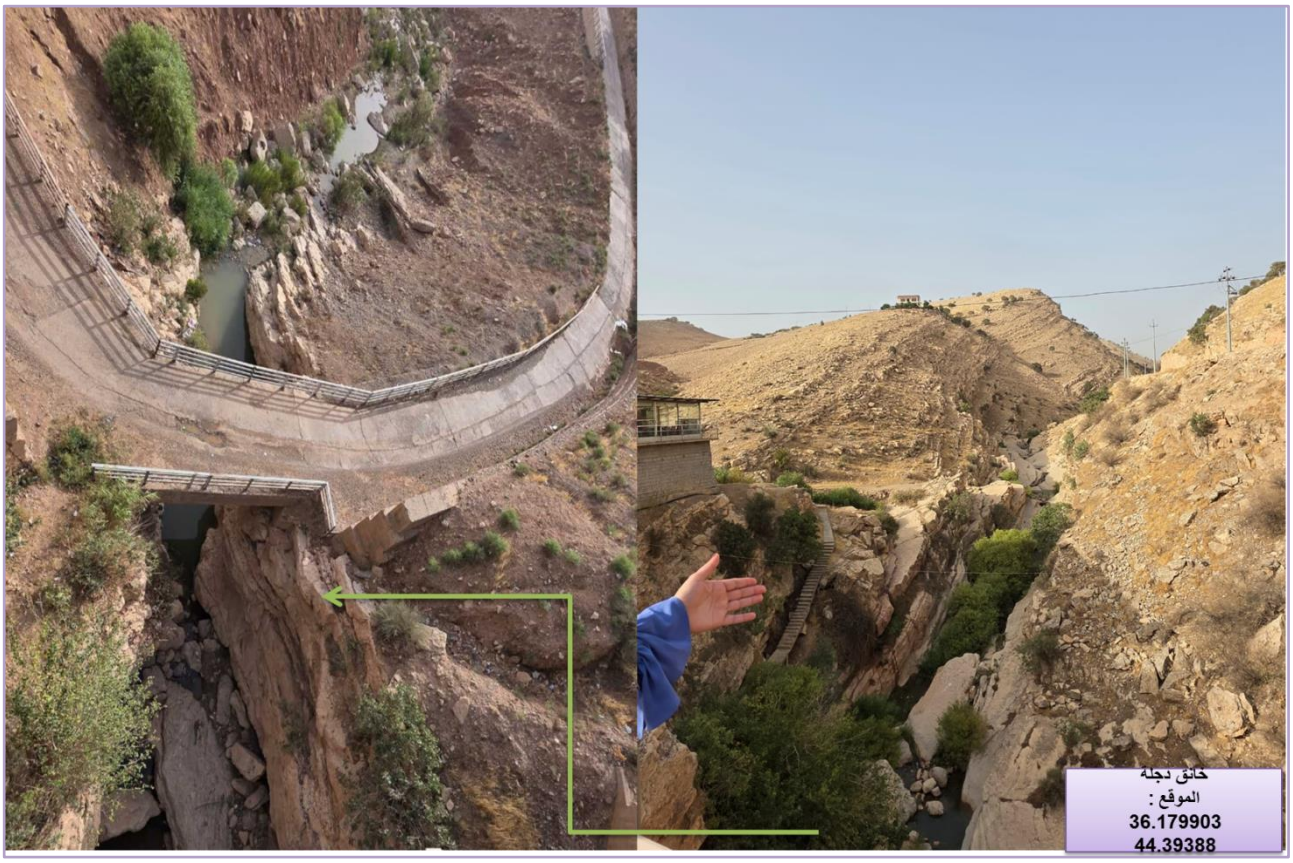


المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

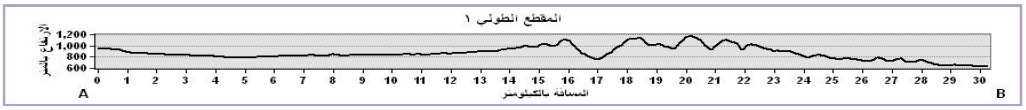
أ/ **تحليل المقاطع التضاريسية الطولية** :- يظهر المقطع الطولي التغير الرأسي في التضاريس على امتداد خط معين، مما يُساعد على فهم العلاقة بين البنية الجيولوجية والتضاريس السطحية. تُستخدم هذه المقاطع في تحليل الانحدارات، التعرية، الانزلاقات الأرضية، والانهيارات الصخرية، مما يجعلها أداة أساسية في تقييم المخاطر السطحية الناتجة عن التفاعل بين العوامل الجيولوجية والعمليات الجيومورفولوجية. تكتسب هذه المقاطع أهمية خاصة في المناطق ذات التركيبات الطبقية المعقدة مثل الطيات والصدوع، حيث تُظهر تباينًا في مقاومة الصخور، زوايا الانحدار، وتوزيع العمليات التعرية، مما يُساهم في تحديد المناطق الأكثر عُرضة للمخاطر الطبيعية.

1-المقطع الطولي (1: A-B) :-الارتفاع النسبي :- يتراوح بين 980-1200 متراً فوق مستوى سطح البحر (بناءً على مقياس الرسم الضمني)الامتداد الأفقي :- يبلغ طول المقطع الطولي حوالي 32 كم (بناءً على نسبة الأبعاد) يتجه المقطع باتجاه شمال غرب جنوب شرق ويمثل الجزء الجنوبي الغربي من المنطقة يشغل المنحدر التدريجي حوالي 50% من المساحة الافقية للمقطع ثم ينحدر انحداراً شديداً عند مساقة (16-18كم) وتتمثل هذه المنطقة بوجود خانق ينحسر بين جبل سماقة وحيشكة بدرجة انحدار اكبر من 30 ^{0} تلاحظ الصورة (1) .ثم تحتل المنطقة المتضرسة حوالي 20% من مساحة المقطع ليصل الى اعلى ارتفاع له في المقطع (1200م) عند مسافة (20 كم) فنلاحظ على جانبيه انحدار شديد ايضاً ثم يأخذ بالانخفاض التدريجي ولمسافة 30 % من المسافة الافقية للمقطع بين ارتفاع (800 – 600 م) فوق مستوى سطح البحر ، يلاحظ الشكل (1)

صورة (1) خانق دجلة الواقع ضمن طية بناباوي

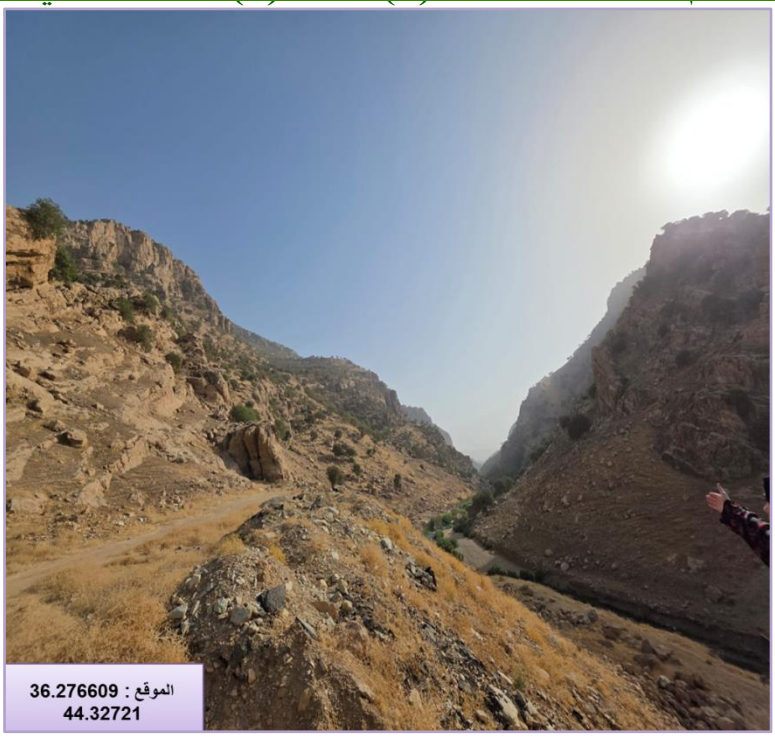


المصدر :- الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/8/5

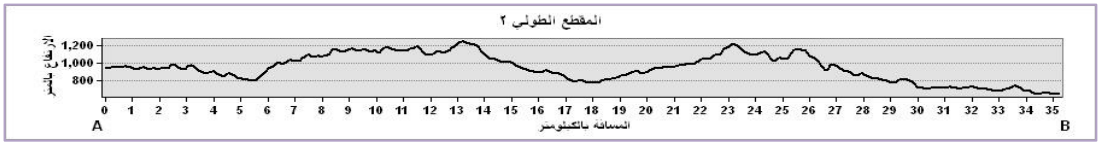


2-المقطع الطولي (2: A-B) :الارتفاع النسبي :- يتراوح بين 980-1250 متراً فوق مستوى سطح البحر (بناءً على مقياس الرسم الضمني) الامتداد الأفقي :- يبلغ طول المقطع العرضي حوالي 35 كم (بناءً على نسبة الأبعاد) يتجه المقطع باتجاه شمال غرب جنوب شرق ويمثل السفح الايسر من الطية يبدأ من أرتفاع 996م فوق مستوى سطح البحر ويظهر المقطع تضرساً واضحاً باتجاه (5 كم) يبدا تدريجاً بالانخفاض إلى (800م) ويرتفع بصورة حادة عند مسافة (5.5كم) وبدرجة انحدار تزيد عن 30 ^{0} عن المستوى الافقي ويعود ذلك لوجود خانق واضح ضمن شمال غرب الطية ، تلاحظ الصورة (2) ، ثم يبدا بالارتفاع التدريجي ليصل إلى (1220م) ونلاحظ شدة التعقيد التضاريسي وذلك بسبب تقطيع المجاري المائية لجناح الطية ، ومن مسافة (13كم) إلى (23كم) يحدث هبوط شديد يصل إلى (800 م) أرتفاعاً وهو نحت حاد للخانق الثاني الذي يتوسط جناح الطية الأيسر ويقطع جناحها لجبلين سماقة وحيشكة ، ومن مسافة (23 كم) ألى (30 كم) يتضرس المقطع بصورة واضحة ويشهد عند (26كم) انحداراً شديداً يصل إلى (29.5 ^{0}) . يبدأ بالانخفاض التدريجي حتى نهاية المقطع يلاحظ الشكل(2) .

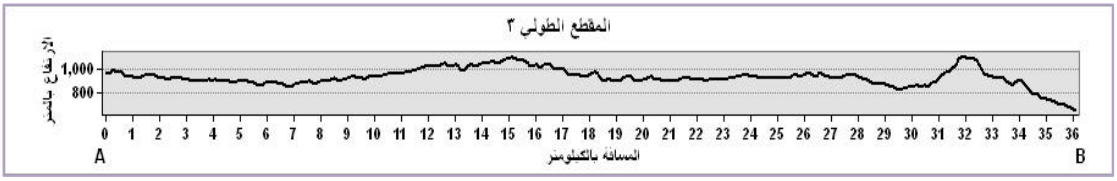
الصورة (2) الخانق الشمالي غربي الواقع ضمن طية بناباي



المصدر : الدراسة الميدانية بتاريخ 6/8/ 2025



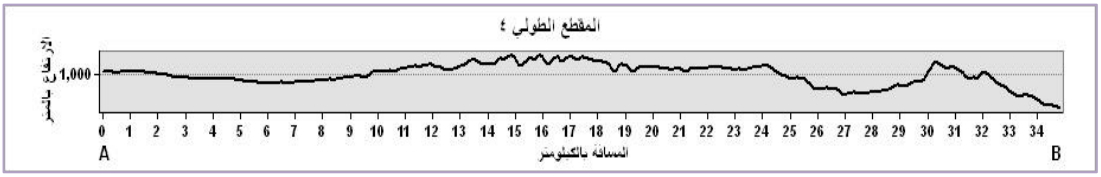
3-المقطع الطولي (3: A-B): الارتفاع النسبي :- يتراوح بين 600-1120 متراً فوق مستوى سطح البحر (بناءً على مقياس الرسم الضمني)الامتداد الأفقي :- يبلغ طول المقطع العرضي حوالي 36 كم (بناءً على نسبة الأبعاد) يمثل المقطع تقريبا وسط محور الطية ويتجة بأتجاه شمال غرب _ جنوب شرق يلاحظ من المقطع الطولي أن التضاريس تتدرج بشكل واضح إذ يبدأ من الارتفاع (1000م) فوق مستوى سطح البحر مع ميل طفيف نحو الانخفاض ثم ينخفض إلى 900 م تدريجياً فيتضرس السطح بشكل تدريجي ولمسافة (12 كم) ما يشير إلى وجود سطح شبه مستوي أو منحدرات ضعيفة الانحدار، إذ تمثل مناطق حواف الطية أو أراضٍ سهلية متصلة بها. ثم يبدأ بالارتفاع الى (1067 م) عند مسافة (15كم) يعود هذا التضرس الى شدة التقطيع للمجاري المائية ضمن الطية وهي تعكس وجود تلال منخفضة أو انكسارات صغيرة ناجمة عن البنية الجيولوجية (مفاصل، فوالق ثانوية) مع سيطرة سطح شبه مستوي نسبيًا ، أما القسم الجنوبي الشرقي من 26 كم إلى 36 كم ابتداءً من (28 كم) تقريبًا يبدأ الارتفاع بالازدياد الحاد ليصل إلى قمة رئيسة عند 31-32 كم بارتفاع يزيد عن 1200 م، وهو غالبًا يمثل محور الطية أو منطقة القمة الجبلية الناتجة عن انضغاط الطبقات. بعد القمة، ينحدر الخط الطولي بسرعة حتى النقطة B حوالي(750-800 م)، مما يعكس منحدرًا شديدًا ربما يكون جبهة الطية المواجهة للانحدار أو منطقة تآكل بفعل العمليات السطحية ، يلاحظ الشكل (3)



المقطع يُظهر أن طية بنباوي تتميز بمحور مرتفع واضح في الجهة القريبة من النهايةB ، مع أجنحة غير متناظرة: الجناح الشمالي الغربي (A) أكثر انبساطًا، والجناح الجنوبي الشرقي أكثر انحدارًا. هذا النمط يتوافق مع طية غير متناظرة ربما تأثرت بحركات تكتونية ضاغطة من اتجاه معين. الانحدار الشديد قرب B يشير إلى مناطق محتملة لعدم الاستقرار الأرضي (انزلاقات أو انهيارات) خاصة مع وجود فرق ارتفاع كبير في مسافة قصيرة.

4-المقطع الطولي (4: A-B): الارتفاع النسبي :- يتراوح بين 700-1000 متراً فوق مستوى سطح البحر (بناءً على مقياس الرسم الضمني)الامتداد الأفقي :- يبلغ طول المقطع العرضي حوالي 34.5 كم (بناءً على نسبة الأبعاد)البداية من كم 0 حتى كم 7 ، يبدأ الارتفاع فوق 1000 م فوق مستوى سطح البحر بقليل ثم يميل إلى الانخفاض التدريجي . هذه المنطقة تمثل غالبًا الجناح الشمالي الشرقي للطية ، وهي

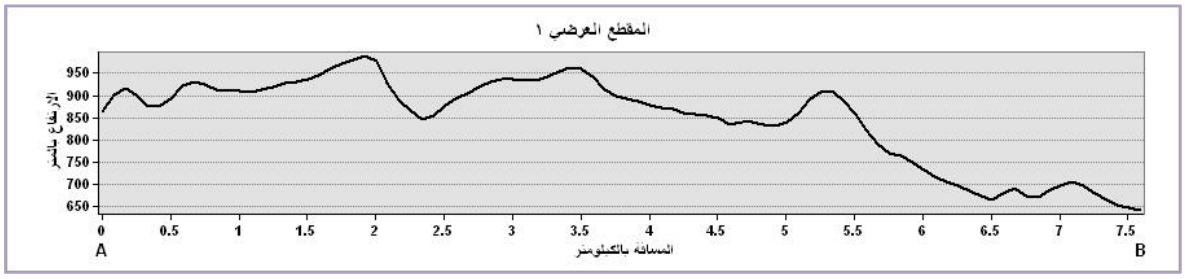
أكثر انبساطًا نسبيًا مع انحدار ضعيف ، ما يدل على أن عمليات التعرية قللت من التضرس. أما الجزء الأوسط من 7 كم حتى كم 18 نلاحظ زيادة تدريجية في الارتفاع ، تصل إلى ذروة طفيفة بين كم 13–16 بحوالي 1050–1100 م. هذه الزيادة قد تمثل نطاقًا داخليًا من الطية أو تلالًا ثانوية ناتجة عن اختلاف مقاومة الصخور للتعرية . من (18 كم) حتى (29كم) يبدأ الارتفاع بالانخفاض التدريجي مع تذبذبات بسيطة في الخط، ما يشير إلى وجود تضاريس متموجة، ربما بفعل تداخل التعرية النهرية والميل البنيوي للطبقات . ومن 29 كم حتى النهاية B 34 كم ظهور قمة واضحة عند 30–31 كم بارتفاع يقارب 1100 م، تليها انخفاضات سريعة نحو النهاية هذه القمة غالبًا تمثل محورًا بنيويًا للطية أو مرتفعًا بنيويًا متأثرًا بالتعرية. يلاحظ الشكل (4).



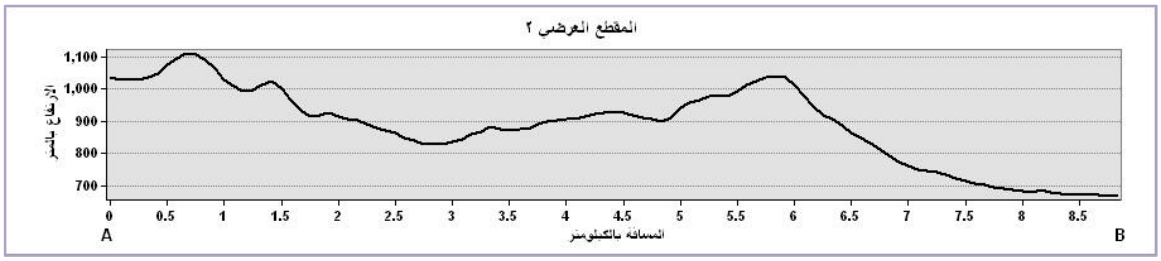
الانحدار اللاحق حاد نسبيًا، ما يجعل هذه المنطقة أكثر عرضة للمخاطر السطحية مثل الانزلاقات الأرضية أو الانهيارات الصخرية، خصوصًا إذا كانت الصخور متشققة أو مفككة. المقطع يكشف عن طية غير متناظرة ، بجناح شمالي غربي أطول وأقل انحدارًا، وجناح جنوبي شرقي أقصر وأكثر انحدارًا. الفوارق في التضرس على طول المقطع تعكس تباينًا في الصلابة الصخرية والتعرض لعمليات التعرية. التضاريس المتموجة في الوسط والقمة البارزة قرب النهاية دليل على تأثير البنية الجيولوجية في تشكيل سطح الأرض.

ب/ المقاطع التضاريسية العرضية :- تُمثل المقاطع العرضية التضاريسية التي تم إنشاؤها لهذه الدراسة أداة أساسية لفهم التغيرات في الارتفاع على طول الطية وتحديد مناطق الانحدار الشديد التي تُشكل نقاط ضعف بنيوية. يُمكن من خلال هذه المقاطع تحديد الجناحين شديدي الانحدار وربطها بمخاطر الانهيارات الأرضية والتدفقات الطينية، بينما يعكس الجناحان الألطف ميلاً مناطق أقل عرضة لهذه المخاطر. وفيما يلي تفسير كامل لكل مقطع :-

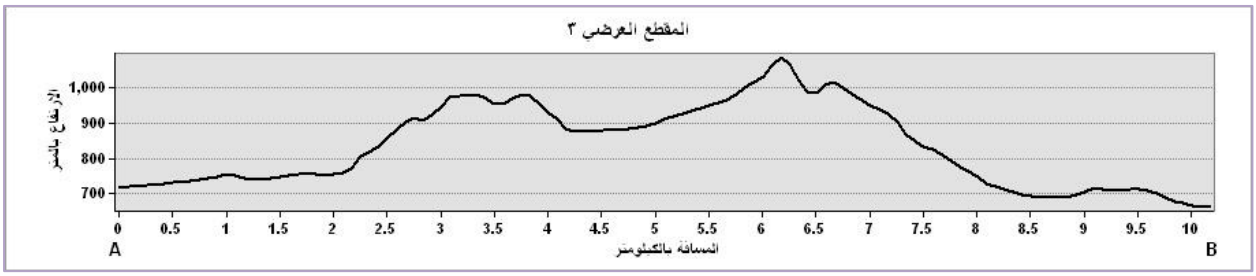
1-المقطع العرضي(1) :- يظهر هذا المقطع قمتين رئيسيتين واحدة عند حوالي 2 كم بارتفاع 975 مترًا، وأخرى عند حوالي 3.5 كم بارتفاع 950 مترًا. بينهما يوجد انخفاض ملحوظ في الارتفاع. يبدو الجناح الأيسر (من 0 إلى 2 كم) أكثر انحدارًا من الجناح الأيمن (من 2.0 إلى 7.5 كم) تعكس القمتان وجود طيتين ثانويتين (minor folds)أو ربما تصدعات صغيرة (minor faults)على طول الطية الرئيسة. أما الانحدار اللطيف على الجانب الأيمن يُشير إلى أنه يمثل الجناح الأطول والأكثر اعتدالًا للطية ، يلاحظ الشكل (5) .



2-المقطع العرضي(2) :- يتميز بقمة حادة ومرتفعة عند مسافة 0.75 كم يرتفع إلى (1100 متر)، تليها سلسلة من التعرجات والانحدارات وصولًا إلى ارتفاع 650 مترًا. القمة الحادة في بداية المقطع قد تكون ناتجة عن تجوية تفاضلية للصخور الصلبة في هذا الجزء من الطية.أما الانحدار التدريجي بعد القمة يشير إلى وجود جناح واسع وممتد ، مما يُقلل من مخاطر الانهيارات الكبيرة ولكنه يزيد من احتمالية تعرية التربة بالصفائح المائية (sheet erosion) تليها قمة اخرى حادة عند مسافة (6كم) وانحدار حاد مما يعزز من تعاقب اشكال التساقط الصخري ، يلاحظ الشكل (6) .

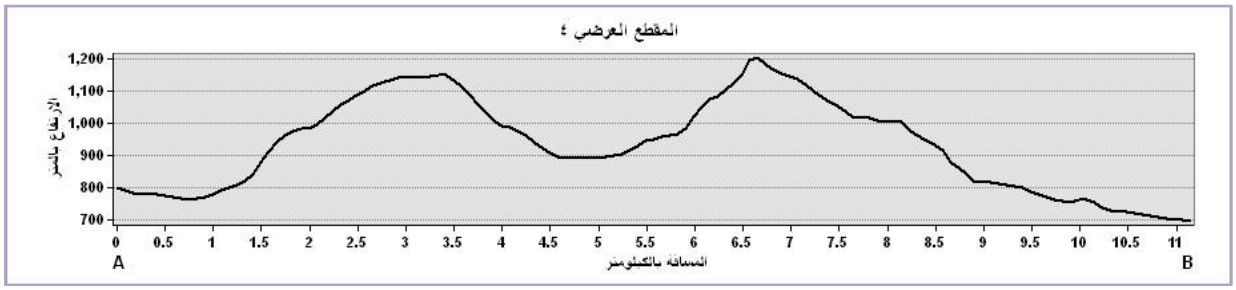


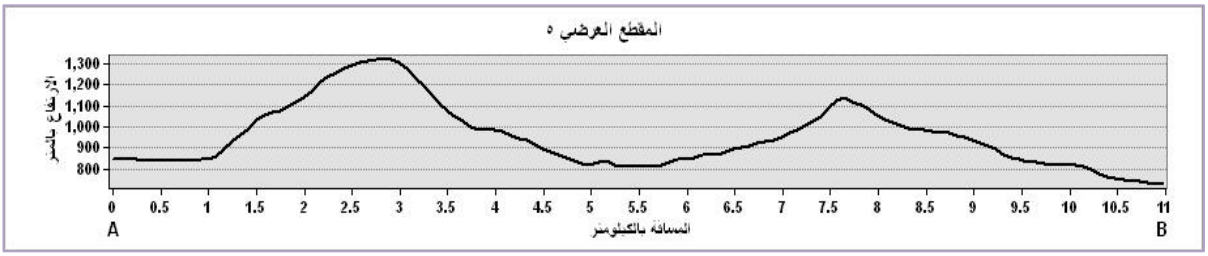
3-المقطع العرضي(3) : - يُظهر المقطع قمة رئيسة عند مسافة 6.25 كم بأرتفاع يصل (1075 مترًا) وقمة ثانوية عند حوالي 3.5 كم. الانحدار قبل وبعد القمة الرئيسة حاد نسبيًا. إن وجود قمتين بارزتين يُشير إلى أن هذا المقطع يمر عبر نقطة تضاريسية معقدة في الطية، ربما عند تقاطعها مع تصدعات أو عند تغير اتجاه المحور. هذه الانحدارات الحادة تزيد من مخاطر الانهيارات الصخرية (rockfalls)والانهيارات الأرضية لاسيما في الأجزاء التي تضعف فيها الصخور، يلاحظ الشكل (7) .



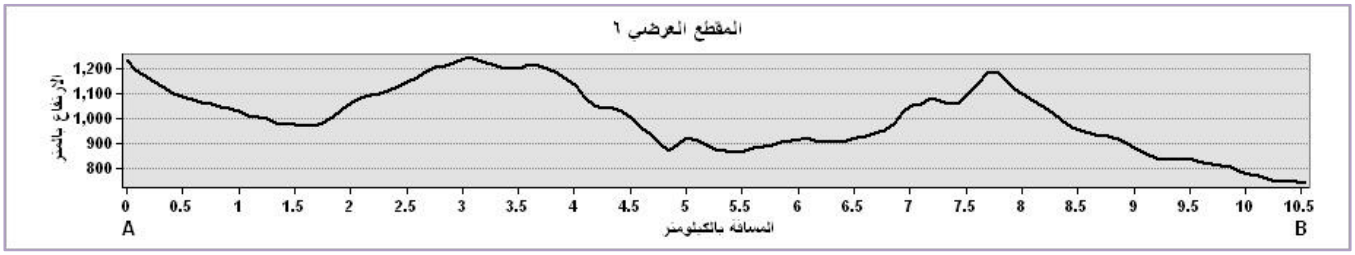
4-المقطع العرضي (4): - يُظهر المقطع قمتين قمة رئيسة عند مسافة 3.5 كم عند أرتفاع (1150 مترًا) وقمة ثانوية عند مسافة 6.5 كم بأرتفاع (1200 متر). القمة الثانية هي الأعلى ارتفاعًا في هذا المقطع. وهو يُقدم مثالًا واضحًا على الطية غير المتماثلة .القمة الأولى عند 3.5 كم تظهر انحدارًا حادًا على جانبها الأيمن، بينما القمة الثانية عند 6.5 كم تظهر انحدارًا حادًا على كلا الجانبين. هذا التباين يُشير إلى تغير في ميل الطبقات على طول مسار المقطع، مما يُمكن أن يرتبط بتغير في نوع الصخور أو وجود صدوع، يلاحظ الشكل (8) .

5-المقطع العرضي(5):- يلاحظ وجود قمة حادة ومرتفعة جدًا عند مسافة 3.0 كم بأرتفاع (1300 متر)، وهي أعلى قمة في كل المقاطع. يتبعها انحدار حاد جدًا ثم انخفاض مستمر هذا الارتفاع الاستثنائي لهذه القمة يُشير إلى أن هذا المقطع يمر عبر أكثر أجزاء الطية ارتفاعًا أو أشدها انحناءً (peak curvature)هذا الجزء هو الأكثر عرضة للمخاطر كالانهيارات الأرضية والتدفقات الطينية (mudflows) بسبب الانحدار الشديد وضعف التكوينات الصخرية ، يلاحظ الشكل (9) .

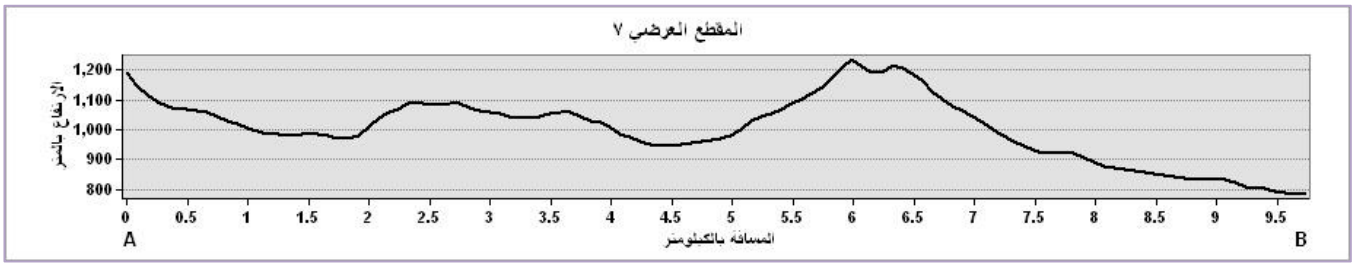




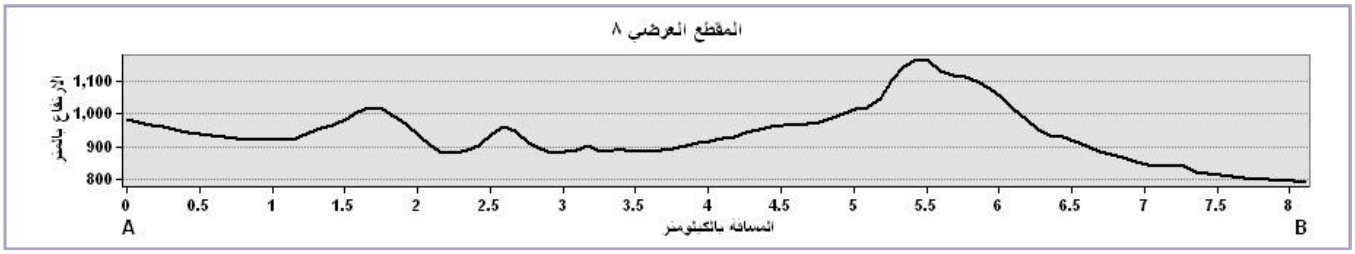
6-المقطع العرضي(6) :- يُظهر المقطع قمة رئيسة عند مسافة 3.0 كم بارتفاع (1225 م) وقمة ثانوية عند مسافة 7.75 كم بإرتفاع (1175 م). الانحدار من القمة الرئيسة لطيف نسبيًا مقارنةً بالمقاطع الأخرى ولهذا يعكس هذا المقطع تغيرًا في شكل الطية، حيث يصبح الجناح الجنوبي الشرقي أقل انحدارًا. هذا التغير يُشير إلى أن المقطع يمر عبر جزء من الطية أقل انثناءً أو أكثر استقامة ، يلاحظ الشكل (10)



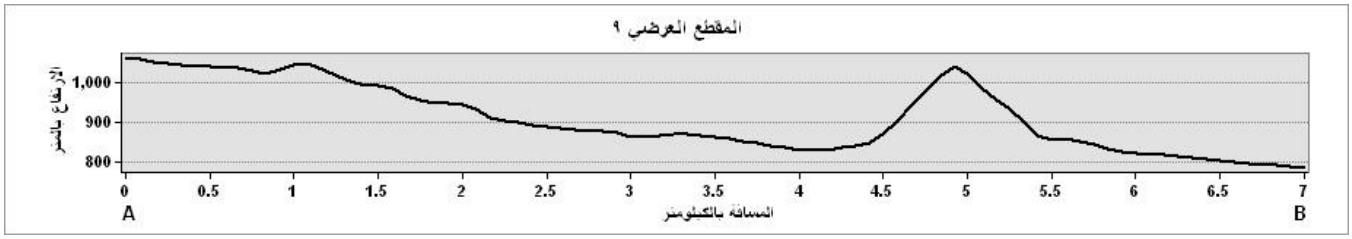
7-المقطع العرضي(7) : - هنالك قمة حادة عند مسافة 6.0 كم بأرتفاع (1225 م) مع انحدار حاد جدًا على الجانب الأيمن . يبدأ المقطع من ارتفاع عالٍ (1200 م) وينخفض تدريجيًا فيوضح انحدارًا رئيساً على جانب واحد، مما يُشير إلى أنه يمر عبر جزء من الطية يُسيطر عليه جناح واحد فالانحدار الحاد يُشكل خطرًا كبيرًا، خاصةً إذا كانت الصخور متآكلة أو ضعيفة ، يلاحظ الشكل (11) .



8-المقطع العرضي(8): - يُظهر المقطع قمتين: قمة عند مسافة 1.5 كم بأرتفاع (1025 م) وأخرى عند مسافة 5.5 كم بأرتفاع (1150 م). ويوجد انخفاض كبير بين القمتين. هذا المقطع يُشير إلى وجود نظام طيات معقد أو طيات ثانوية على نطاق واسع. القمة الأعلى عند (5.5) كم تُظهر انحدارًا حادًا، مما يجعلها منطقة محتملة لـ الانهيارات الأرضية (landslides) ، يلاحظ الشكل (12).



9-المقطع العرضي(9) :- يُظهر المقطع انحدارًا لطيفًا ومستمرًا من اليسار إلى اليمين ، مع وجود قمة حادة واحدة عند مسافة 5 كم بأرتفاع (1150 م) إن هذا المقطع يُمكن أن يمثل جزءًا من الطية يميل ببطء (gentle dipping limb) والقمة الوحيدة تُشير إلى وجود هيكل بنيوي مرتفع (structural high) أو مظاهر جيومورفولوجية كـ (hogback ridge) مقاومة للتعرية، بينما باقي المقطع يُعكس انحدارًا لطيفًا يُسيطر عليه جناح واحد ، لاحظ الشكل (13) .



4-تحليل مؤشر خشونة التضاريس TRI :- يُعَدُّ معامل خشونة السطح (Terrain Ruggedness Index – TRI) أحد المؤشرات المهمة في الدراسات الجيومورفولوجية، إذ يُستخدم لقياس درجة عدم انتظام السطح الطبوغرافي من خلال حساب التباين في الارتفاعات بين الخلية المركزية والخلايا المجاورة لها ضمن نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ويُعطي هذا المؤشر دلالة كمية دقيقة على طبيعة السطح، سواء كان مستويًا أو متموجًا أو شديد التضرس، الأمر الذي ينعكس مباشرة على خصائص العمليات الجيومورفولوجية الفاعلة فيه .كما تبرز مناطق الخشونة العالية في مواقع الصدوع، والطيات الشاذة، والانحدارات الحادة مما يساعد في الكشف عن البنية التحت سطحية غير المرئية مباشرة

وقد طوّر Riley et. al (1999) معيارًا تصنيفيًا لقيمTRI ، يتيح تصنيف الوحدات المورفولوجية إلى خمس درجات تبدأ من السطوح المستوية (0–80) وصولًا إلى البيئات الجبلية شديدة الخشونة (≤240) (8 Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R) يلاحظ الجدول (4) . وتمثل هذه الدرجات أساسًا علميًا لتحديد الأنماط التضاريسية، بما يساهم في تفسير العلاقة بين البنية الجيولوجية وشدة الانحدارات من جهة، وبين المخاطر السطحية كالتعرية والانزلاقات الأرضية من جهة أخرى.وإن اعتماد هذا المعيار في الدراسة الحالية يُمكّن من تحليل التضاريس في طية بناباوي بدقة كمية، ويساعد على الربط بين المظاهر المورفولوجية والبنيوية، فضلًا عن تقييم المخاطر الطبيعية في ضوء التباين المكاني لقيم خشونة السطح. فكلما كانت الخشونة أعلى، زاد احتمال وجود منحدرات غير مستقرة مما يعني قابلية أكبر لحدوث الانزلاقات والانهيارات الأرضية كما في المعادلة الاتية :-

$$TRI = \sqrt{\sum_{i=1}^{8}(Z_i - Z_0)^2}$$

- Z_0 : ارتفاع الخلية المركزية
- Z_i : ارتفاع الخلايا الثمانية المجاورة

الجدول (4) معيار خشونة السطح وفق Riley

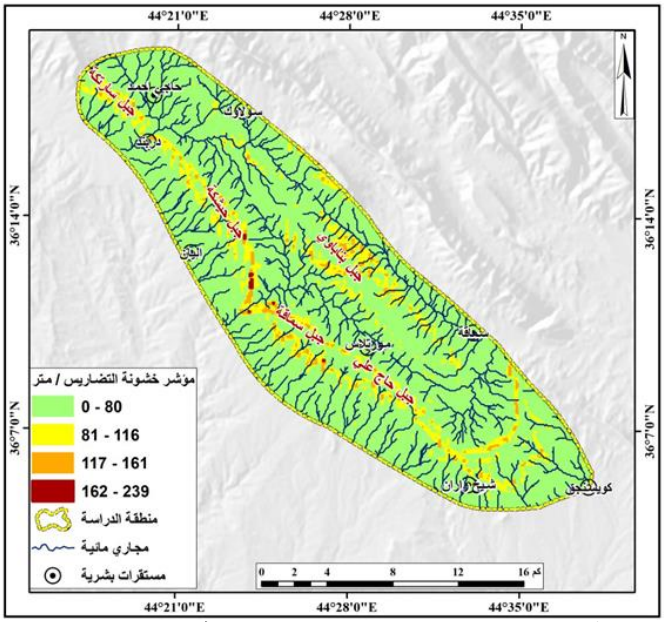
ت	قيمة TRI	الوصف الجيومورفولوجي
1	80-0	سطح ناعم / شبه مستو
2	115-81	تضاريس قليلة الخشونة
3	161 -116	تضاريس معتدلة الخشونة
4	239 -162	تضاريس خشنة
5	240 <	تضاريس شديدة الخشونة

المصدر :- Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4), 23–27.

وعند تطبيق المعادلة على منطقة الدراسة تبين أن المنطقة تحددت ضمن 4 انطقة ولم يتواجد النطاق الاخير فيها وكالآتي :-

1-نطاق (0-80) سطح ناعم / شبه مستو :- يقع هذه النطاق في الأجزاء المنخفضة من الطية (مثل الأودية والقيعان)، حيث تتراكم الرواسب الناعمة مثل الغرين والطين، التي تكونت بفعل التعرية والنقل. هذه المناطق أقل وعورة لأنها تتأثر بعمليات الترسيب أكثر من التعرية. أما المخاطر السطحية المرتبطة بهذه المناطق فقد تحدث بعد هطول الأمطار الغزيرة ، حيث تتجمع المياه المتدفقة من المنحدرات الأعلى. كما أنها عرضة للتآكل المائي للتربة إذا كانت مفتوحة أو ذات غطاء نباتي قليل ، بلغت مساحة هذا النطاق(311.65 كم2) ، تلاحظ الخريطة (9) .

الخريطة (9) مؤشر خشونة التضاريس لمنطقة الدراسة



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4 و برنامج Geomatica

2 – نطاق (81–115) تضاريس قليلة الخشونة :– يمثل المناطق التي تبدأ فيها خشونة التضاريس بالظهور بشكل واضح مقارنة بالمناطق السهلية إذ يظهر غالبًا في المنحدرات السفلية والمتوسطة لطية بنباوي ، حيث تبدأ التلال بالارتفاع عن الأودية. ويعكس هذا النطاق وجود انحدارات أكثر حدة وتضاريس متقاطعة بفعل مجاري الأودية الصغيرة، تبلغ مساحتها الكلية (31.17 كم ^{2}) . بنيوياً تكون هذه المناطق مكونة من طبقات صخرية أقل مقاومة للتعرية مقارنة بالقمم ، وأنها تمثل مناطق انتقالية بين الأودية والارتفاعات الرئيسة. تعد المخاطر في هذا النطاق معتدلة، وتتركز بشكل أساسي حول تأثير المياه على المنحدرات. أما أهم المخاطر المتوقعة هي:

-التعرية الأخدودية :(Gully Erosion) حيث تتسبب جريان المياه المركزة على المنحدرات في حفر أخاديد عميقة في التربة، مما يضعف استقرارها.

-الانزلاقات الأرضية البسيطة :قد تحدث انزلاقات محدودة للتربة السطحية الرطبة، خاصة بعد هطول أمطار غزيرة، مما يؤثر على المنحدرات غير المستقرة.

3–نطاق (116–161) تضاريس معتدلة الخشونة :– يمثل هذا النطاق مرحلة متقدمة من خشونة التضاريس، حيث تزداد الوعورة بشكل ملحوظ. فيظهر هذا النطاق في المنحدرات المتوسطة والعليا للطية، غالبًا ما يحيط بالنطاق الأحمر (الأكثر خشونة)و تعكس هذه المنطقة انحدارات شديدة للغاية وتلال حادة، وغالبًا ما تكون التضاريس فيها وعرة جدًا وغير منتظمة ، تبلغ مساحة النطاق (5.17كم^2) هذا النطاق يمثل مناطق تكونت فيها الصخور الأكثر مقاومة للتعرية أو حيث يكون تأثير الطي الجيولوجي أكبر، مما أدى إلى ارتفاعات أعلى ووعورة أكبر .وتعتبر ذات مخاطر سطحية أعلى تتمثل بالانهيارات الصخرية.

4–نطاق (161–239) تضاريس خشنة :–تتركز هذه النطاقات في قمم الطية ، حيث توجد التكوينات الصخرية الصلبة والمقاومة للتعرية ، كتكوين كولوش وخورملة. هذه القمم هي الأكثر صلابة ، تبلغ مساحتها (1.13 كم^2) ، وقد أدت حركتها البنيوية إلى تكون منحدرات شديدة الانحدار. أما المخاطر السطحية الرئيسة هنا هي سقوط الكتل الصخرية والانهيارات الصخرية بسبب التفتت الناتج عن عمليات التجوية الفيزيائية (مثل تجمد وذوبان المياه في الشقوق الصخرية) وشدة الانحدار. هذه المناطق غير مستقرة بشكل عام .

5–تحليل معامل التعرية وفق (BERGSMA) :–

تم تطبيق معادلة Bergsma إذ اعتمدت على دراسة شبكة الصرف المائي السطحي والتي من خلالها تم التعرف على خصائص التعرية المائية وشدة فاعليتها ، وذلك بتقسيم منطقة البحث المتضمنة شبكة الصرف بشبكة من الوحدات متساوية المساحة ، مساحة كل وحدة مربعة من الشبكة تساوي (500*500م) وتقل مساحة بعض المربعات في حافات الحد الخارجي من منطقة لدراسة لعدم انتظامها طبيعياً ، وبعد ذلك قياس مساحة الوحدة وأطوال الاخاديد التي تقع ضمنها داخل الشبكة ومن ثم حساب معدل التعرية وفق المعادلة الاتية (9)(Ismaeel, O. A., Thannoun, R. G., & Yahya, B. M. 2019) :–

$$AE = \frac{\sum L}{A}$$

حيث أن:
معدل التعرية م/كم^2 = AE
مجموع اطوال الاخاديد = L
مساحة الوحدة / كم^2 = A

أظهرت نتائج تطبيق معادلة Bergsma للتعرية في منطقة طية بنباوي تنوعاً واضحاً في شدة التعرية بين درجات منعدمة إلى شديدة جداً، الأمر الذي يعكس التباين الجيومورفولوجي والبنيوي في المنطقة وكالآتي ، يلاحظ الجدول (5) :–

1–الدرجات المنخفضة (0–2) :– تمثل نسبة محدودة (حوالي 7.35%) من المساحة وجودها في نطاقات صغيرة من طية بنباوي يدل على مناطق مستقرة نسبياً أو محمية جيومورفولوجياً (سطوح مستوية، غطاء نباتي، أو مواد صخرية أكثر مقاومة) . اما المخاطر السطحية فيها ضعيفة، لكنها لا تلغي احتمال تشكل جروف صغيرة أو انجرافات موسمية.

الجدول (5) درجات التعرية ومساحاتها وفق معادلة Bergsma لمنطقة الدراسة

درجة التعرية	طول الاخاديد بالنسبة للمساحة م/كم2 وفق تقسيم المعيار	شدة التعرية	عدد المواقع	مجموع أطوال الاخاديد للمنطقة م/	مجموع المساحة لنطاق التعرية كم2	النسبة المئوية
صفر	صفر	عديم التعرية	24	صفر	5.87	%1.68
1	1-400	تعرية خفيفة جداً	14	940	3.56	%1.02
2	401- 1000	تعرية خفيفة	66	11849	16.24	%4.65
3	1001-1500	تعرية متوسطة	78	24854	19.61	%5.62
4	1501- 2700	تعرية عالية	280	147415	69.29	%19.85
5	2701- 3700	تعرية عالية جداً	292	231939	72.19	%20.68
6	3701- 4700	تعرية شديدة	281	291409	69.65	%19.95
7	4700 فأكثر	تعرية شديدة جداً	378	549884	92.69	%26.55

المصدر: من عمل الباحثة .

2-الدرجة (3) (تعرية متوسطة) :-تغطي(5.62%) من المساحة تعكس مناطق انتقالية بين الاستقرار والهشاشة البنيوية ، خصوصاً على السفوح ذات الانحدار المتوسط. والمخاطر هنا تبدأ بالظهور على شكل انزلاقات سطحية صغيرة أو انجرافات للتربة ، تلاحظ الخريطة (10) .

3-الدرجات (4-5 – تعرية عالية وعالية جداً) :- تشكل أكثر من(40.5%) من المساحة الكلية. تتركز في مناطق ذات انحدار ملحوظ ، مع تحكم واضح للصدوع والتراكيب الخطية والطيات في مسار الأخاديد. هذه المناطق تمثل بؤر المخاطر السطحية، حيث يزداد خطر الانزلاقات الأرضية ، جرف التربة ، وتعرية الغطاء النباتي. وهي انعكاس مباشر لتأثير البنية الجيولوجية على قابلية السفوح للتعرية.

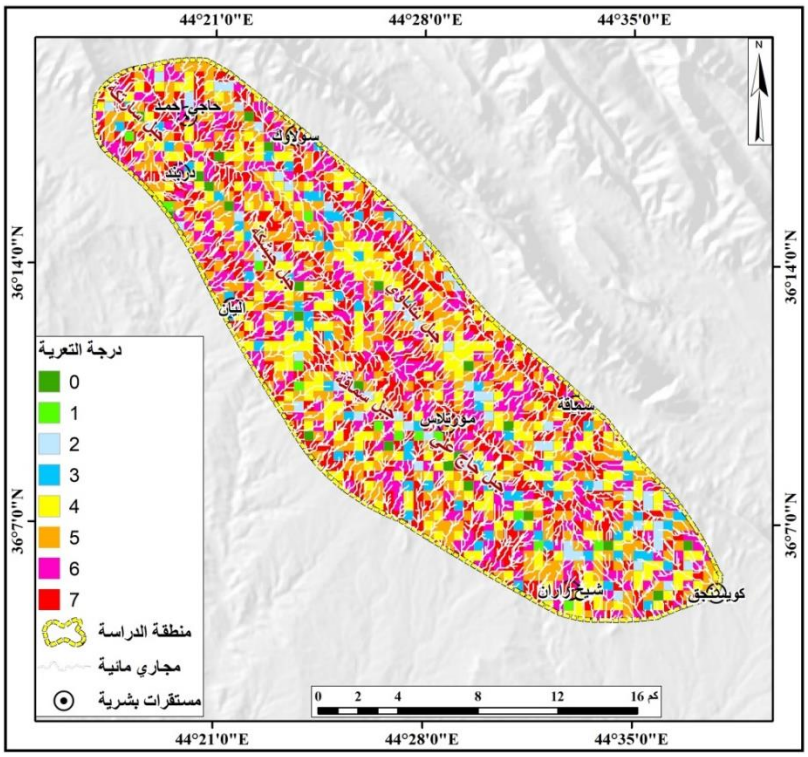
4-الدرجات (6-7 تعرية شديدة وشديدة جداً) :- تستحوذ على حوالي(46.5%) من مساحة الدراسة، أي أن نصف المنطقة تقريباً معرض لمخاطر جيومورفولوجية حادة . وتمثل النطاقات الأكثر خطورة في طية بنباوي، حيث ترتبط بانحدارات حادة وصخور ضعيفة ميكانيكياً، إضافة إلى دور التراكيب الخطية في توجيه الأخاديد. هذه النطاقات هي الأكثر تهديداً من حيث الانزلاقات الانتقالية ، الانهيارات الكتلية ، وانجراف التربة على نطاق واسع، مما يجعلها مناطق غير آمنة للتوسع العمراني أو الزراعي دون تدخلات هندسية وقائية.

تظهر النتائج أن البنية الجيولوجية تتحكم بشكل مباشر في شدة التعرية، حيث تتطابق أعلى قيم التعرية مع السفوح المواجهة لاتجاه التراكيب الخطية والانحدارات الحادة. وهذا يعزز فكرة أن المخاطر السطحية في طية بنباوي ليست عشوائية، بل هي نتاج تفاعل بين البنية الجيولوجية والانحدارات الأرضية.وبالتالي، فإن تحليل معادلة Bergsma لا يقتصر على إظهار شدة التعرية فقط، بل يكشف أيضاً الأنماط المكانية للمخاطر السطحية ويحدد النطاقات الحرجة التي يجب إدارتها أو مراقبتها.

المطابقة الجيومورفولوجية لتحديد المخاطر السطحية لمنحدرات طية بناباوي

تهدف المطابقة الجيومورفولوجية إلى دمج وتحليل مجموعة من المتغيرات لتحديد مناطق الخطورة السطحية بدقة مكانية عالية. وفي ضوء ذلك، تم في هذه الدراسة إجراء مطابقة متعددة الطبقات بين المعاملات الجيومورفولوجية الرئيسة المتمثلة في معامل الانحدار(Zink) ، ومعامل التعرية (Bergsma)، ومعامل خشونة التضاريس(Terrain Ruggedness Index) ، فضلاً عن التركيب الجيولوجي لطية بناباوي، ضمن بيئة التحليل المكاني باستخدام برنامجArcGIS والدراسة الميدانية ، وقد أُجري التحليل المكاني بطريقة تراتبية تعتمد على تحويل كل طبقة مكانية إلى خريطة معيارية مرجّحة وفقًا لدرجة تأثيرها في المخاطر السطحية، ثم دمجها إحصائيًا للحصول على خريطة نهائية لمناطق الخطر، أعتماداً على الوحدة المساحية (عدد المربعات) المستخدمة في تصنيف شدة التعرية الاخدودية (500*500متر) ، كما تم التحقق من هذه النتائج عبر الزيارة الميدانية مباشرة لمقاطع المنحدرات الرئيسة في أذرع الطية وأطرافها الشرقية والغربية ، حيث أمكن ملاحظة أنماط فعلية من التساقط الصخري والانزلاقات الأرضية والزحف والانجراف الأخدودي، متوافقة تمامًا مع خرائط التحليل المكاني.،فكانت النتائج كالأتي:-

الخريطة (10) معامل التعرية وفق (Bergsma) لمنطقة الدراسة



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

<u>أولاً: – المناطق شديدة الخطورة (6–7)</u>:تمثل هذه الفئة النطاقات الأكثر اضطرابًا جيومورفولوجيًا، وقد شغلت نحو (161.79 كم²) أي ما يعادل (46.34%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، يلاحظ الجدول (6) ، وتتركز هذه المناطق في الأجزاء الجنوبية الغربية والشرقية و الوسط من الطية، حيث تتكشف الصخور الكاربونية الصلبة (الدولومايت والحجر الجيري) بتراكيب متشققة وباتجاهات ميل متوازية مع المنحدرات ، مما أدى إلى نشوء تساقطات صخرية كتلية (Block Fall) على امتداد السفوح الحادة. كما لوحظت ميدانيًا انزلاقات متعددة على الطبقات الطينية والمارلية أسفل الصخور الكاربونية، خاصة في المقاطع التي يتجاوز فيها الانحدار (30 درجة)، وتُظهر الصور الميدانية المقابلة مظاهر الانزلاق الطبقي بوضوح في شكل سطوح خشنة وكتل متحركة نحو قاعدة المنحدر. إضافة إلى ذلك، فإن ارتفاع مؤشر خشونة التضاريس (TRI) الذي يظهر مستوى الخطورة التحت سطحية وتقطع السطح الأخدودي أسهما في تفعيل عمليات التعرية الأخدودية(Gully Erosion) ، محدثة مجاري سطحية نشطة قطّعت المنحدرات إلى كتل صغيرة منفصلة. تلاحظ الصورة (3أ / ب / ج / د/هـ) .وتُظهر الصور الميدانية المرافقة لهذه الفئة وجود تساقطات حديثة ذات أحجام متفاوتة بين (0.3–2 م^2)، ما يؤكد فعليًا تطابق مواقع الخطر الشديد مع مناطق النشاط التعرّوي والانزلاقي النشط .

الجدول (6) مساحات التطابق والنسب المئوية لتصانيف أنطقة الخطر لمنطقة البحث

درجة الخطورة	تصنيف نطاق الخطر	المساحة المتطابقة الكلية/ كم^2	النسبة المئوية للمساحة المتطابقة %
3-0	قليل الخطورة	45.78	13.12
5-4	متوسط الخطورة	141.55	40.54
7-6	شديد الخطورة	161.79	46.34

المصدر :- من عمل الباحثة .*تم وضع نموذج توضيحي عن كيفية عمل المطابقة كملحق بسيط لكل فئة تم مطابقتها وذلك لأن البحث لا يتسع لحجم الملاحق كونها تتكون من 20 صفحة وتم جمع المساحات المتطابقة النهائية بالجدول أعلاه .

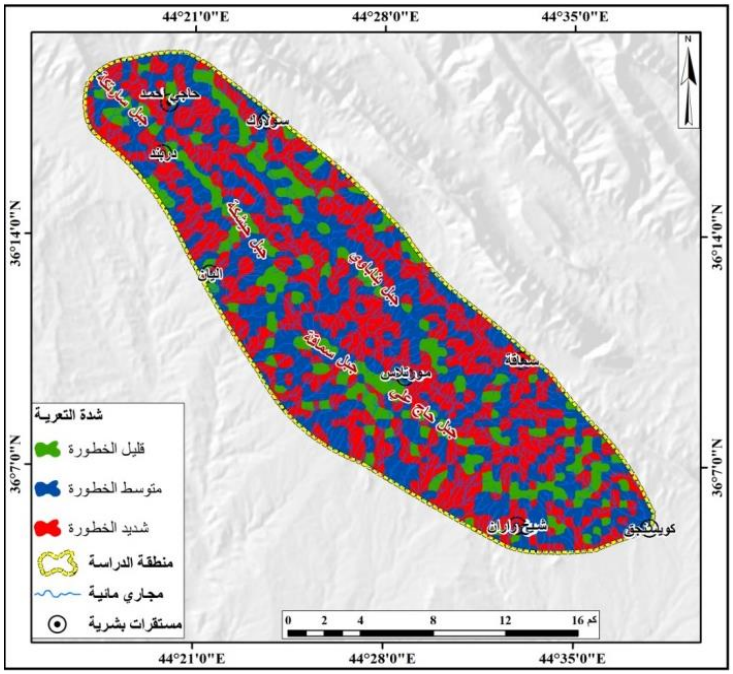
الصورة(3أ/ ب/ ج/د /هـ) التساقط الصخري والانزلاق الطبقي ضمن منطقة الدراسة

المصدر : الدراسة الميدانية بتاريخ 4/8/ 2025

ثانيًا: – المناطق متوسطة الخطورة (4–5) :– تشغل هذه الفئة نحو (141.55 كم²) وبنسبة (40.54%) من المساحة الكلية، وتتركز في الأجزاء الوسطى من أذرع الطية ، تلاحظ الخريطة (11) ، حيث تكون الانحدارات معتدلة (20–30 درجة) وتكوّن الصخور مزيجًا من المارل والغرين والكلس الطباشيري ذي الصلابة المتوسطة.

وقد أظهرت المشاهدات الميدانية أن هذه المناطق تتعرض إلى زحف صخري (Rock Creep) على المدى البعيد، يتمثل في تحرك بطيء للتربة والركام نحو أسفل المنحدر، مصحوب بتقوّس جذوع الأشجار وتشققات سطحية متقطعة تلاحظ (4أ/ ب / ج /د). كما لوحظت انزلاقات سطحية محدودة (Shallow Slides) تحدث غالبًا بعد فترات الأمطار الغزيرة، إذ تتشبع الطبقات الطينية بالماء وتفقد تماسكها، مسببة انزلاق طبقات التربة العليا لمسافات قصيرة لا تتجاوز (5–7م) وتُظهر الصور الميدانية المرتبطة بهذه الفئة وجود بقايا تراكمية عند قاعدة المنحدرات بسمك (0.5–1 م)، إضافة إلى شواهد على انجراف أخدودي متوسط العمق (0.3–1 م) في السفوح المتوسطة الانحدار، مما يدل على نشاط تعرية معتدل ومستمر يعكس الاستقرار النسبي مقارنة بالمناطق عالية الخطورة .

الخريطة (11) مساحة التطابق لأنطقه المخاطر السطحية في طية بنباوي



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرة تميزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

ثالثًا :– المناطق قليلة الخطورة (0–3) :– تمثل هذه الفئة نحو (45.78 كم²) بنسبة (13.12%) من المساحة الكلية، وتتركز غالبًا في قواعد المنحدرات ومناطق السطح المتموج الهادئ المحاطة بتراكمات فتاتية قديمة (Colluvial Deposits) وتربة سطحية مستقرة نسبيًا.وقد أظهرت المشاهدات الميدانية استقرارًا عامًا في هذه المناطق مع وجود مظاهر تعرية سطحية طفيفة (Sheet Erosion) وتكوّن قنوات تصريف ضحلة. لم تسجل حالات سقوط صخري أو انزلاق فعلي ضمن هذه الفئة، باستثناء بعض الشقوق الصغيرة الناتجة عن الانكماش الحراري أو الجريان السطحي المحدود. وتُظهر الصور الميدانية لهذا النطاق غطاءً نباتيا متنوعًا نسبيًا ساهم في تثبيت التربة وتقليل خطر التعرية، ما يؤكد أن هذه الفئة تمثل المناطق الآمنة جيومورفولوجيًا ضمن نطاق الدراسة ، تلاحظ الصورة (5).

الصورة (4 أ/ ب/ ج/د) الزحف الصخري وزحف التربة والتعرية الاخدودية ضمن طية بناباوي

المصدر :- الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/8/5

الصورة (5) توضح الاراضي قليلة الخطورة وبسيطة الانحدار ضمن طية بنباوي

المصدر : الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/8/5.

الاستنتاجات :-

1. تُعدّ البنية الجيولوجية لطية بناباوي العامل البنيوي الرئيس في التحكم بتوزيع الانحدارات الأرضية والمخاطر السطحية، إذ يتطابق الاتجاه البنيوي العام (شمال غرب – جنوب شرق) مع أنماط الانحدار وشدة التعرية.
2. إن تباين صلابة التكوينات الصخرية بين التكاوين الجيرية الصلبة (بيلاسبي، خورملة) والتكاوين الهشة (تانجيرو، كولوش) أسهم في تشكّل تضاريس متباينة من حيث درجة الانحدار والاستقرار.
3. أظهرت نتائج تحليل التراكيب الخطية وجود أربعة اتجاهات بنيوية رئيسة تتقاطع فيما بينها لتكوّن مناطق ضعف مركّبة، تمثل بؤرًا محتملة للانهيارات والانزلاقات الصخرية.
4. تُعدّ العوامل المناخية عاملاً مساعدًا في تنشيط الانزلاقات الأرضية عبر دورها في تشبع التربة بالرطوبة وتباين الحرارة وتفكك الصخور.
5. تتجلى العلاقة الطردية بين زيادة درجة الانحدار وارتفاع شدة التعرية، إذ تتركز أعلى معدلات التعرية والانجراف في السفوح الجنوبية الغربية المواجهة للمجاري المائية الرئيسة.
6. تشير تحاليل مؤشرات خشونة التضاريس (TRI) إلى أن أكثر من نصف مساحة المنطقة تقع ضمن نطاقي التضاريس الخشنة والمعتدلة الخشونة، ما يعكس بيئة غير مستقرة جيومورفولوجيًا.
7. أظهرت المقاطع التضاريسية الطولية والعرضية عدم تماثل الأجنحة البنيوية للطية، إذ يتسم الجناح الجنوبي الشرقي بانحدارات حادة، مما يزيد من قابلية الانزلاقات.
8. بينت مطابقة المعاملات الجيومورفولوجية (الانحدار، التعرية، الخشونة) أن مناطق الخطورة العالية تتطابق مع نطاقات الصدوع ومحاور الطيات النشطة.
9. أثبتت الدراسة فاعلية توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والتحسس النائي في تحديد الأنماط المكانية للمخاطر بدقة عالية، ما يؤكد أهميتها في الدراسات البنيوية التطبيقية.
10. يُظهر التحليل الجيومورفولوجي الشامل أن طية بناباوي بيئة ديناميكية مفتوحة تتأثر باستمرار بالتفاعلات البنيوية والمناخية، ما يجعلها منطقة ذات حساسية عالية تجاه التغيرات الطبيعية والبشرية.

التوصيات:-

1. ضرورة إنشاء قاعدة بيانات مكانية متكاملة (GIS Database)لتحديث خرائط المخاطر الجيومورفولوجية دورياً وفق المتغيرات المناخية والبيئية .
2. يُوصى بإجراء مراقبة ميدانية دورية لمواقع الانزلاقات النشطة والمحتملة، لاسيما في السفوح الجنوبية الغربية ذات الانحدارات الشديدة.
3. ينبغي إدخال نتائج التحليل البنيوي والجيومورفولوجي في خطط التنمية الإقليمية لتجنّب التوسع العمراني في المناطق الخطرة.

4. تعزيز مشروعات التحري الجيوتقني والهندسي قبل الشروع بأي إنشاءات طرقية أو سكنية ضمن نطاق الطية.
5. تطبيق برامج تثبيت المنحدرات عبر وسائل هندسية (جدران ساندة، شبكات معدنية، تصريف سطحي منظم) في المواقع الأكثر هشاشة.
6. توجيه الأنشطة الزراعية والرعوية نحو المناطق منخفضة الانحدار لتقليل معدلات التعرية والانجراف.
7. ضرورة إعادة تأهيل الغطاء النباتي في السفوح المتآكلة، لما له من دور في تثبيت التربة وتقليل مخاطر الانزلاقات.
8. اعتماد نتائج الدراسة كخريطة مرجعية أولية ضمن إدارة الكوارث الطبيعية في محافظة أربيل، ولا سيما في قضاء كويسنجق.
9. يُستحسن توسيع الدراسة مستقبلاً لتشمل تحليل الاستقرار الميكانيكي للمنحدرات باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد لتحديد معاملات الأمان.

المصادر:

1. هيكل، محمد حمد حسن، هويدي، عبد الجليل عبد الحميد. (2008) (أساسيات الجيولوجيا الفيزيائية) ، الطبعة الأولى، مكتبة الدار العربية للكتاب.

2. Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2014). The geology of Erbil and Mahabad quadrangles sheets (No. NJ-38-14 and NJ-38-15) (G.M.5 and 6). Iraq Geological Survey.
3. Sissakian, V. K. (2013). Geomorphology and morphometry of the Greater Zab River Basin, north of Iraq. Iraq Bulletin of Geology and Mining, 9(3), 1–23.
4. Sissakian, V. K. (2013). Geomorphology and morphometry of the Greater Zab River Basin, north of Iraq. Iraq Bulletin of Geology and Mining, 9(3), 22 , same sores.
5. Stead, D., & Wolter, A. (2015). A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology. Journal of Structural Geology, 74, 1–23. https://doi.org/10.1016/j.jsg. 2015.02.002
6. Norain, S. (Ed.). (1999). GIS solutions in natural resource management. Tenewable Natural Foundation and National Academy of Sciences – National Research Council.
7. Li, M., Shi, X., Shen, Z., et al. (2019). Effect of hillslope aspect on landform characteristics and erosion rates. Environmental Monitoring and Assessment, 191(598). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7744-2
8. Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences, 5(1–4), 23–27.
9. Ismaeel, O. A., Thannoun, R. G., & Yahya, B. M. (2019). Developing an active tool in GIS to determine gully erosion levels depending on the Bergsma method. Journal of Geography, College of Education for Humanities, 7, 45–60.

ملحق (1) نموذج عن المطابقة المساحية للأنطقة الخطر في طية بناباوي

جيولوجي	تصنيف درجة الانحدار	تصنيف خشونة التضاريس	درجة التعرية برجسمة	المساحة المتطابقة كم2	النسبة المئوية للمساحة المتطابقة	درجة الخطورة
ترسبات المنحدرات	0 - 1.9	0 - 80	0	0.12	0.03	قليل الخطورة
انجانة	2 - 7.9	0 - 80	0	0.03	0.01	قليل الخطورة
انجانة	8 - 15.9	0 - 80	0	0.08	0.02	قليل الخطورة
كولوش	2 - 7.9	80 - 116	0	0.09	0.03	قليل الخطورة
جركس	16 - 29.9	116 - 161	0	0.09	0.03	قليل الخطورة
خورملة	16 - 29.9	116 - 161	0	0.04	0.01	قليل الخطورة
كولوش	+ 30	116 - 161	0	0.03	0.01	قليل الخطورة
جركس	2 - 7.9	0 - 80	4	0.45	0.13	متوسط الخطورة
خورملة	2 - 7.9	0 - 80	4	0.31	0.09	متوسط الخطورة
شيرانش	2 - 7.9	0 - 80	4	4.54	1.30	متوسط الخطورة
عقرة - بخمة	2 - 7.9	0 - 80	4	2.44	0.70	متوسط الخطورة
فتحة	2 - 7.9	0 - 80	4	2.83	0.81	متوسط الخطورة
انجانة	8 - 15.9	0 - 80	4	0.87	0.25	متوسط الخطورة
بلاسبي	8 - 15.9	0 - 80	4	6.04	1.73	متوسط الخطورة
افانة	8 - 15.9	80 - 116	7	0.02	0.01	شديد الخطورة
بلاسبي	8 - 15.9	80 - 116	7	0.1	0.03	شديد الخطورة
تانجيرو	8 - 15.9	80 - 116	7	0.06	0.02	شديد الخطورة
جركس	8 - 15.9	80 - 116	7	0.1	0.03	شديد الخطورة
خورملة	8 - 15.9	80 - 116	7	0.12	0.03	شديد الخطورة
شيرانش	8 - 15.9	80 - 116	7	0.25	0.07	شديد الخطورة