

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمّر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمّر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

Geomorphological Suitability of Azmer Fold within Sulaymaniyah Governorate for Tourism Purposes Using the Slope Factor of Safety and Stability Assessment

مدرس مساعد مروة علي طاهر*، الجامعة العراقية، كلية الآداب، العراق

marwah.joori@aliraqia.edu.iq

تاريخ قبول البحث: 2026 / 3 / 12

تاريخ استلام البحث: 2026 / 1 / 18

*المؤلف المرسل: م.م مروة علي طاهر

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

الملخص:

يقدم هذا البحث نموذجاً كمياً متكاملًا لتقييم الملاءمة السياحية في البيئات الجبلية الالتوائية عبر دمج التحليل الجيومورفولوجي البنيوي مع نموذج المنحدر اللانهائي ومعيار موهر-كولومب ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.8) اعتمدت الدراسة على نموذج ارتفاع رقمي بدقة 30م (SRTM) وبيانات مناخية للفترة (1990-2025) بمتوسط مطري سنوي بلغ 712 ملم يتركز أكثر من 78% منه شتاءً، مما يعزز تأثير التشبع الموسمي على استقرار السفوح.

أظهرت النتائج أن السفوح غير المستقرة ($FS < 1$) تمثل 16.2% من مساحة الطية، تتركز عند الانحدارات الشديدة ($> 30^\circ$)، في حين تشكل السفوح المستقرة نسبياً ($FS > 1.3$) نحو 56.7% ضمن الانحدارات اللطيفة ($< 15^\circ$) وبين تحليل (AHP) أن الانحدار (0.30) والليثولوجيا (0.25) يشكلان معاً 55% من الوزن النسبي لقرار الاستقرار، مع نسبة التوافق مقبولة ($CR = 0.028 < 0.10$) وفق معيار Saaty، وتؤكد الدراسة أن دمج FS مع التحليل متعدد المعايير يوفر أداة تخطيطية دقيقة لتحديد مناطق الاستثمار السياحي الآمن وتحقيق تنمية جبلية مستدامة وفق معايير النشر الدولي القائمة على القياس الكمي، التحقق الإحصائي، وقابلية إعادة التطبيق المكاني.

الكلمات المفتاحية: الملاءمة الجيومورفولوجية، معامل الأمان، استقرار السفوح، السليمانية، السياحة الجبلية.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

Abstract:

This study evaluates the geomorphological suitability of Azmer Fold, Sulaymaniyah Governorate, for sustainable tourism using a quantitative slope stability framework. An Infinite Slope Model based on the Mohr–Coulomb failure criterion was implemented within a GIS environment (ArcGIS 10.8) using a 30 m SRTM DEM and climatic records (1990–2025). The mean annual rainfall is 712 mm, with over 78% concentrated in winter, intensifying seasonal pore-water pressures. Results indicate that unstable slopes ($FS < 1$) comprise 16.2% of the area, predominantly where gradients exceed 30° . Moderately stable slopes ($16\text{--}29.9^\circ$) account for 27%, whilst relatively stable zones ($FS > 1.3$; $<15^\circ$) represent 56.7%, mainly along piedmont sectors. Analytical Hierarchy Process weighting assigns greatest influence to slope (0.30) and lithology (0.25), with acceptable consistency ($CR = 0.028 < 0.10$). The integrated FS–MCDA approach provides a replicable, evidence-based framework for risk-informed mountain tourism planning.

Key words : *Geomorphological suitability, Factor of Safety, Slope stability, AL-sulimania, Mountain tourism*

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمُر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

أولاً: المقدمة.

تُعد الجيومورفولوجيا أحد الفروع الأساسية في الجغرافية الطبيعية، إذ تعنى بدراسة أشكال سطح الأرض، وأصولها البنيوية، والعمليات الداخلية والخارجية التي أسهمت في تشكيلها، فضلاً عن تحليل ديناميكيتها وتطورها الزمني. ولم يعد الاهتمام بالجيومورفولوجيا مقتصرًا على التفسير الوصفي للأشكال الأرضية، بل اتجهت الدراسات الحديثة نحو توظيفها في مجالات التخطيط الإقليمي وإدارة الموارد والسياحة البيئية، ضمن إطار ما يُعرف بـ الجيومورفولوجيا التطبيقية والجيومورفولوجيا السياحية، وتتمثل الجيومورفولوجيا السياحية في دراسة العلاقة بين الأشكال الأرضية والأنشطة السياحية، من حيث الجاذبية الجمالية، والقابلية الوظيفية، ومستوى المخاطر الجيوديناميكية المرتبطة بها، بما يحقق الاستخدام الأمثل والمستدام للبيئة الطبيعية.

وتُعد المناطق الجبلية والطيّات الالتوائية من أكثر البيئات جذباً للنشاط السياحي لما تتسم به من تنوع تضاريسي وتباين في الانحدارات وإطلالات بانورامية وتنوع نباتي ومناخي غير أن هذه المقومات ذاتها قد تتحول إلى مصادر خطر إذا لم تُقيّم وفق معايير هندسية وجيوميكانيكية دقيقة ولا سيما في السفوح الشديدة الانحدار المعرضة للانزلاقات أو تساقط الصخور أو الانهيارات الطينية. ومن هنا برزت أهمية إدخال مفهوم "معامل الأمان للسفوح (Factor of Safety)" في الدراسات الجيومورفولوجيا السياحية بوصفه مؤشراً كمياً يعكس درجة استقرار المنحدرات تحت تأثير العوامل الطبيعية والبشرية.

تمثل طية أزمُر إحدى أبرز التراكيب البنيوية في شمال شرق مدينة السليمانية وتقع ضمن نطاق الطيات العالية في منطقة الرصيف غير المستقر المتأثرة بالحركات الألبية وتتميز بانتشار التكوينات الكلسية المتشققة والفوالق والانكسارات البنيوية التي أسهمت في تشكيل منظومة معقدة من السفوح والقمم والوديان الجبلية إن هذا الإطار البنيوي بما يحمله من طيات محدبة ومقعرة وانحدارات متفاوتة وتباين في الصلابة الصخرية ينعكس مباشرة على خصائص الاستقرار الجيوميكانيكي للسفوح ومن ثم على مدى ملاءمتها للاستخدام السياحي.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

وتتفاعل هذه الخصائص البنوية مع العناصر المناخية السائدة في محافظة السليمانية ولاسيما درجة الحرارة والتساقط المطري التي تؤثر في عمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية وتتحكم في رطوبة التربة ونفاذيتها وتزيد من احتمالية حدوث الانزلاقات في المواسم الرطبة كما أن التذبذب المطري السنوي والتوازن المائي للتربة يساهمان في إعادة توزيع الرطوبة داخل الطبقات السطحية وهو ما يؤثر في تماسك المواد الفتاتية على السفوح وعليه فإن تقييم الملاءمة السياحية لطية أزمير لا يمكن أن يقتصر على البعد الجمالي أو الطبوغرافي بل يجب أن يستند إلى تحليل تكاملي يجمع بين البنية الجيولوجية والانحدار واتجاه السفوح والغطاء النباتي والعوامل المناخية ومعامل الأمان.

وقد شهدت العقود الأخيرة تطوراً ملحوظاً في استخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج التحليل متعدد المعايير في تقييم الملاءمة المكانية للأنشطة السياحية، كما في دراسة الملاءمة المكانية للسياحة الشتوية في محافظة السليمانية باستخدام نموذج التحليل الهرمي (AHP) التي أظهرت إمكانية تصنيف المناطق وفق أوزان العوامل المؤثرة إلا أن معظم هذه الدراسات ركزت على الجوانب المناخية والخدمية والجمالية ولم تتعمق بما يكفي في تقييم الاستقرار الجيوميكانيكي للسفوح كشرط أساسي للتنمية السياحية الآمنة خاصة في البيئات الجبلية ذات التراكيب الالتوائية المعقدة.

وعلى الصعيد العراقي تناولت دراسات عدة العلاقة بين العناصر المناخية والتنوع النباتي وأثر العوامل الطبيعية في توزيع الغطاء الأرضي، كما ركزت أبحاث أخرى على المقومات الجيولوجية والمظاهر الجيومورفولوجية وأثرها في توزيع المياه الجوفية غير أن الدراسات التي دمجت بين التحليل الجيومورفولوجي البنوي ومعامل الأمان في إطار تقييم سيحي ما تزال محدودة ولا سيما على مستوى التراكيب الالتوائية المفردة مثل طية أزمير.

عربياً تناولت دراسات في جبال الأطلس بالمغرب (El Wartiti et al., 2018) والجبال الشمالية في الأردن (Al-Halbouni et al., 2017) تقييم مخاطر الانزلاقات الأرضية وربطها بالتخطيط العمراني والسياحي، فيما ركزت أبحاث في سلطنة عُمان (Youssef et al., 2016) على نمذجة استقرار المنحدرات باستخدام GIS عالمياً وأسهمت دراسات Carrara et al. (1999) و Aleotti & Chowdhury (1999) في تطوير

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمُر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

منهجيات التحليل المكاني لمخاطر الانهيارات الأرضية بينما تناولت دراسات حديثة (Guzzetti et al., 2005; Figueiredo et al., 2020) دمج المؤشرات الجيومورفولوجيا مع معايير التخطيط المستدام للمناطق الجبلية السياحية وتؤكد هذه الدراسات أن إدماج معامل الأمان ضمن إطار التحليل المكاني يوفر أداة موضوعية لتحديد المناطق الملائمة وغير الملائمة للتطوير السياحي. وانطلاقاً من ذلك تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الملاءمة الجيومورفولوجيا لطية أزمُر لأغراض السياحة بالاعتماد على معامل الأمان للسفوح كمؤشر كمي لاستقرار المنحدرات ودمجه ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خريطة تصنيفية تُميز بين مناطق آمنة ومتوسطة الخطورة وعالية الخطورة وتمثل هذه المقاربة خطوة نحو الانتقال من التقييم الوصفي للأشكال الأرضية إلى نموذج تطبيقي يستند إلى معايير فيزيائية قابلة للقياس بما يسهم في دعم صناع القرار في التخطيط السياحي المستدام وتقليل المخاطر الجيومورفولوجيا المحتملة وتحقيق التوازن بين استثمار الموارد الطبيعية والحفاظ عليها.

1- مشكلة البحث (Research Problem)

تتمحور مشكلة البحث حول تحديد الملاءمة الجيومورفولوجيا لطية أزمُر لأغراض السياحة من خلال تحليل خصائصها الطبوغرافية والبنوية وتقدير معامل أمان السفوح باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية للكشف عن العلاقة بين الانحدار والبنية والمناخ والغطاء النباتي من جهة ومستويات الأمان الجيومورفولوجي من جهة أخرى.

2- فرضية البحث (Research Hypothesis)

تتمحور فرضية البحث في أن السفوح المعتدلة الانحدار والمكوّنة من صخور صلبة ذات رطوبة منخفضة تُظهر أعلى قيم للأمان وتُعد أكثر ملاءمة للأنشطة السياحية في حين تنخفض قيم الأمان في السفوح الحادة أو المشبعة بالمياه كما يُفترض أن تطبيق النمذجة المكانية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمُر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

يتيح وسيلة علمية دقيقة لتحديد مناطق الأمان السياحي وأولويات الاستثمار الجبلي المستدام في طية أزمُر.

3- أهداف البحث (Research Objectives)

يهدف البحث إلى تقييم الملاءمة الجيومورفولوجيا لطية أزمُر لأغراض السياحة عبر تحليل خصائصها الجيولوجية والطوبوغرافية واشتقاق خرائط الانحدار والاتجاه من نموذج التضرس الرقمي ثم حساب معامل الأمان للسفوح وتحديد مستويات الاستقرار ودمجها مع العوامل المناخية والنباتية لإنتاج خريطة رقمية للملاءمة السياحية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وصولاً إلى توصيات تخطيطية تضمن الاستثمار السياحي الآمن والمستدام في المنطقة.

4- أهمية البحث (Research Significance)

1. أهمية علمية يقدم إطاراً تطبيقياً لدمج التحليل الجيومورفولوجي الكمي مع التخطيط السياحي ويسهم في تطوير دراسات السياحة الجبلية في العراق.
2. أهمية تطبيقية يوفر أساساً مكانياً لاتخاذ القرار حول المواقع المناسبة للتنمية السياحية في السليمانية مع مراعاة السلامة والاستدامة البيئية.
3. أهمية تنموية يدعم رؤية إقليم كردستان في تعزيز السياحة البيئية عبر استثمار المناطق الجبلية الآمنة دون تعريضها للانهايارات أو التعرية المفرطة.

5- منهج البحث (Research Methodology)

اعتمد البحث المنهج التحليلي التطبيقي الكمي الذي يجمع بين المنهج الجيومورفولوجي البنيوي لتحليل أشكال الطية وتكويناتها الصخرية والاساليب الإحصائية لحساب معامل الأمان للسفوح (Factor of Safety) وتحديد مستويات الاستقرار والأدوات والوسائل في GIS لدمج العوامل الجيومورفولوجيا والمناخية والنباتية في نموذج مكاني واحد يحدد درجات الملاءمة السياحية.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

- الأدوات والوسائل :

يوضح الجدول (1) الأدوات والبيانات التي اعتمد عليها البحث ومصادرها العلمية والغاية من استخدامها ضمن إطار التحليل الجيومورفولوجي لطية أزمير

جدول (1) الأدوات والبيانات المستخدمة في البحث ومصادرها والغاية من استخدامها

نوع الأداة / تفاصيل الأداة أو المصدر العلمي أو الغاية من الاستخدام	البيانات	البيانات	الجهة المعتمدة
نموذج التضرس الرقمي (DEM) 2015	بدقة 30 متر، سنة	هيئة المساحة الأمريكية (USGS - SRTM)	اشتقاق خرائط الارتفاع، الانحدار، الاتجاه، وشبكة ومعالجته ببرنامج ArcMap 10.8
الخرائط الجيولوجية	خريطة جيولوجية	الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتحري	تحديد أنواع الصخور والتكوينات الجيولوجية للعراق بمقياس 1:250,000
المعدني - وزارة الصناعة والمعادن (2000)			مقاومتها للتعرية والانزلاقات.
الخرائط الطبوغرافية والإدارية	خريطة العراق الإدارية بمقياس 1:1,000,000	الهيئة العامة للمساحة (2022)	تحديد حدود منطقة الدراسة والموقع الجغرافي الدقيق للطية وربطها بشبكة الطرق والمستوطنات.
البيانات المناخية	درجات الحرارة والأمطار والإشعاع الشمسي (1980-2022)	محطة الحرارة والرطوبة المناخية، الجبوري (2022)	تحليل العلاقة بين المناخ ودراسة واستقرار السفوح والنبات الطبيعي لتقدير الملاءمة البيئية عنصري درجة الحرارة للسياحة.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

والتساقط المطري في

التنوع النباتي

مرئيات فضائية مرئية Landsat-8 لسنة منصة USGS Earth حساب مؤشر الغطاء النباتي (Satellite Imagery) 2024 بدقة 30م Explorer معالجة (NDVI) وتحديد المناطق

الباحث باستخدام الكثيفة والخالية من النبات ArcMap 10.8 كعامل مؤثر في الأمان

الجيومورفولوجي.

خرائط الغطاء تصنيف كثافة الغطاء من معالجة الباحث تقييم تأثير الغطاء النباتي في النباتي (قديم - قليل - بالاعتماد على مرئيات حماية التربة وتقليل احتمالية Landsat 8 (متوسط - كثيف) الانزلاقات الأرضية.

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على البيانات المكانية والمناخية والجيولوجية الواردة في الدراسات والخرائط الرسمية.

6- موقع منطقة البحث:

تقع منطقة الدراسة ضمن النطاق الشمالي الشرقي من جمهورية العراق في محافظة السليمانية وتحديداً في الجزء الشمالي الشرقي من مدينة السليمانية ضمن الامتداد الغربي لسلسلة جبال زاكروس. فلكياً تمتد بين دائرتي عرض (10' 35" - 10' 40" شمالاً) وخطي طول (10' 45" - 10' 45" شرقاً) كما موضح في الشكل (1).

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

الشكل (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية، مقياس 1:1000000، لسنة 2022.

ما يجعلها ضمن نطاق العروض الوسطى من النصف الشمالي للكرة الأرضية وهو نطاق يتسم بخصائص مناخية انتقالية بين المناخ المتوسطي والمناخ شبه الجاف الجبلي أما جغرافياً فتقع شرق إقليم كردستان العراق يحدها من الشرق الجمهورية الإسلامية الإيرانية ومن الشمال الغربي محافظة أربيل ومن الجنوب الغربي محافظة كركوك ومن الجنوب محافظة ديالى مما يمنحها موقعاً حدودياً استراتيجياً.

ثانياً: بناء قاعدة البيانات الطبيعية لمنطقة البحث.

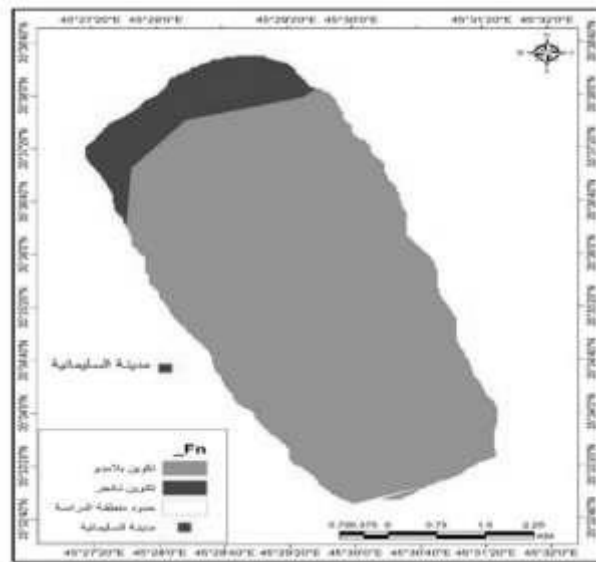
1- الجيولوجية:

تقع طية أزمر ضمن نطاق الطيات العالية للحزام غير المستقر من الصفيحة العربية ضمن الامتداد الغربي لسلسلة زاكروس وتعود نشأتها إلى الحركات التكتونية الألبية خلال الزمن الثالث إذ أدت القوى الانضغاطية إلى تكوين طيات محدبة ومقعرة واضحة المعالم (Jassim & Goff, 2006) وتُظهر خريطة التركيب الجيولوجي لطية أزمر أن تكوين بلامبو يهيمن على معظم مساحة الطية متألفاً من الحجر الجيري

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

والدولومايت (أيوسين-أوليغوسين) ويتميز بصلابته النسبية وقابليته للتشقق والكارستية مما يجعله خزاناً جيداً للمياه الجوفية لكنه أكثر عرضة لعدم الاستقرار عند التشبع المائي في المقابل تظهر تكوينات تانجيرو ذات الطبيعة المارلية والكلسية (الطباشيري الأعلى) بمقاومة أقل للتعرية كما موضح في خريطة (1). ويُظهر التحليل البنيوي أن التباين الليثولوجي مع نظام الفواصل والصدوع الانزلاقية يؤثر مباشرة في استقرار السفوح وديناميكيته الجيومورفولوجيا وهو ما ينعكس لاحقاً على حساب معامل الأمان وتقييم الملاءمة السياحية.

خريطة (1) جيولوجية منطقة الدراسة



المصدر: وزارة الصناعة والمعادن، الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتعديني، خريطة العراق الجيولوجية، مقياس 1:250000 لسنة 2000.

2- التحليل الطبوغرافي:

يُظهر التحليل الطبوغرافي لجبل أزمير بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM 30m) والمعالجة المكانية في بيئة ArcGIS 10.8 تبايناً مورفومترياً واضحاً يرتبط بالبنية الالتوائية للطينية واتجاهها العام شمال

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

غرب-جنوب شرق يتراوح الارتفاع بين (1070-1700 م) فوق مستوى سطح البحر اذ تسجل الفئة (1220-1310 م) أعلى نسبة انتشار تبلغ (24.3%) من مساحة المنطقة في حين تنخفض المساحات فوق (1530 م) إلى نحو (13.5%) ما يعكس تركز القمم على خط المحور البنيوي وانحدار السفوح تدريجياً نحو الأقدام ينظر الشكل (2) خريطة الارتفاعات المتساوية وتُظهر خرائط الكنتور تقارباً شديداً للخطوط فوق القمم والسفوح العليا وهذا دلالةً على الانحدارات المرتفعة مقابل تباعدها عند الأقدام والهوامش الانتقالية.

أما من حيث الانحدار فتبين طبقة الـ Slope أن السفوح الشديدة ($>30^\circ$) تمثل نحو (16.2%) من المساحة تتركز على الجوانب المواجهة لمحور الطية بينما تشكل السفوح المتوسطة (16-29.9°) النسبة الأكبر بواقع (27%) في حين تسود الانحدارات اللطيفة ($<15^\circ$) عند الأقدام بنسبة تقارب (37%) مجتمعة وهو تدرج يعكس تأثير البنية الالتوائية والتباين الليثولوجي ينظر الشكل (2) خريطة الانحدار، ويُظهر تحليل اتجاه الانحدار (Aspect) سيادة الاتجاه الشمالي بنسبة (24.3%) يليه الجنوب الغربي بنسبة (16.2%) ما يؤثر في تباين الإشعاع الشمسي والرطوبة والغطاء النباتي ومن ثم في استقرار السفوح وقابليتها للاستثمار السياحي كما في خريطة اتجاه الانحدار في الشكل (2).

بوجه عام تؤكد المؤشرات المورفومترية أن جبل أزمير يتمتع بتباين تضاريسي واضح تحكمه البنية البنيوية والليثولوجيا الجيرية المتشققة وهو ما ينعكس مباشرةً على ديناميكية التعرية واستقرار السفوح وتحديد الملاءمة المكانية للأنشطة السياحية.

الشكل (2) الخرائط الطبوغرافية في منطقة الدراسة

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها



المصدر: نموذج التضرس الرقمي (DEM) بدقة 30 متر مربع لسنة 2015 ومعالجتها باستخدام Arc Map 10.8 (GIS)

3- المناخ:

تشير البيانات المناخية للفترة (1990-2025) إلى أن منطقة الدراسة تخضع لنظام مناخي متوسطي جبلي يتسم بتباين حراري واضح بين الفصول وتذبذب مطري سنوي ملحوظ إذ بلغ المعدل العام لدرجة الحرارة السنوية (19.3°م) وسجل شهر تموز أعلى متوسط حراري بلغ (35.8°م) في حين انخفض المتوسط في كانون الثاني إلى (5.4°م) مما يعكس مدى حراري سنوي يقارب (30°م).

جدول (2) معدل المحطات المناخية (1990-2025)

العنصر المناخي	المعدل السنوي العام (معدل المحطات)
درجة الحرارة (°م)	19.3
أعلى متوسط شهري (تموز)	35.8
أدنى متوسط شهري (كانون الثاني)	5.4
التساقط المطري (ملم/سنة)	712
أعلى معدل مطري شهري	142ملم
الرطوبة النسبية (%)	54
التبخر (ملم/سنة)	1960

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

2.6	سرعة الرياح (م/ثا)
893	الضغط الجوي (مليبار)

أما التساقط المطري فقد بلغ معدله السنوي (712 ملم) يتركز أكثر من (78%) منه خلال المدة من تشرين الثاني حتى نيسان بينما تكاد الأمطار تنعدم خلال أشهر الصيف (حزيران-أيلول) بمعدل يقل عن (5 ملم/شهر) وسجل شهر كانون الثاني أعلى معدل مطري شهري بحدود (142 ملم). وبلغ متوسط الرطوبة النسبية السنوي (54%) إذ ترتفع شتاءً إلى (68%) وتنخفض صيفاً إلى (32%) وهو ما يرتبط بارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات التبخر. والتبخر السنوي سجل معدل (1960 ملم) أعلى قيمه في تموز بمتوسط (365 ملم) مقابل أدنى قيمة في كانون الثاني بحدود (42 ملم) مما يعكس سيادة العجز المائي خلال أشهر الصيف. أما سرعة الرياح فقد بلغ معدلها السنوي (2.6 م/ثا) مع ذروة نسبية في الربيع (3.1 م/ثا) في حين ينخفض المعدل شتاءً إلى (2.1 م/ثا). وبلغ متوسط الضغط الفعلي (893 مليبار) وهو متسق مع متوسط ارتفاع المنطقة الذي يتراوح بين (1000-1200 م) فوق مستوى سطح البحر.

جدول (3) تصنيف مناخ منطقة جبل أزمير وفق الأنظمة المناخية المختلفة

نظام التصنيف	النتيجة	التوصيف المناخي
كوبن	Csa	متوسطي حار صيفاً
ديمارتون	23.7	شبه رطب متوسطي
القارية	45°م	قاري واضح
بليتير	شبه رطب دافئ	شبه رطب دافئ جيومورفولوجياً
بالمر	موسمي (رطب شتاءً - جاف صيفاً)	تذبذب رطوبي موسمي

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمُر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

يعكس تصنيف كوبن (Csa) سيادة المناخ المتوسطي الحار صيفاً حيث يتميز بصيف جاف مرتفع الحرارة وشتاء معتدل ممطر وهو نمط يتحكم بوضوح في الدورة المائية السنوية للمنطقة ويؤكد مؤشر ديمارتون (23.7) أن الإقليم يقع ضمن نطاق شبه رطب متوسطي ما يعني توازناً نسبياً بين التساقط والتبخّر مع ميلٍ إلى العجز المائي الصيفي، أما قيمة القارية (45°م) فتشير إلى تباين حراري سنوي مرتفع يعكس تأثير الموقع الداخلي والارتفاع الجبلي وهو عامل يعزز عمليات التجوية الحرارية وفي المقابل يُظهر تصنيف بلتير وبالمر أن المنطقة ذات طابع شبه رطب دافئ جيومورفولوجيا مع تذبذب رطوبي موسمي واضح (رطب شتاء-جاف صيفاً) الأمر الذي يفسر دور التشعب الشتوي في زيادة عدم استقرار السفوح مقابل استقرار نسبي خلال الموسم الجاف.

ثالثاً: بناء نموذج حساب معامل الأمان (Factor of Safety Model)

اعتمدت الدراسة في تقييم استقرار سفوح طية أزمُر على نموذج المنحدر اللانهائي المبني على معيار مقاومة القص وفق نظرية موهر-كولومب (Mohr-Coulomb Failure Criterion) لما يتميز به من ملاءمة للتحليل الإقليمي للانزلاقات الضحلة في البيئات الجبلية وإمكانية تطبيقه على مستوى الخلية الشبكية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (Selby, 1993; Das & Sobhan, 2014) ويُعد هذا النموذج مناسباً للسفوح التي يفترض فيها وجود سطح انزلاق موازٍ لسطح الأرض وهو الافتراض الأكثر شيوعاً في الانزلاقات السطحية المرتبطة بالتشعب المائي.

تم احتساب معامل الأمان (FS) وفق الصيغة الشائعة للمنحدر الضحل مع تأثير ضغط الماء المسامي:

$$FS = \frac{c'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} + \frac{\left(1 - \frac{m\gamma_w}{\gamma}\right) \tan \phi'}{\tan \beta}$$

ولتحديد لحساب معامل الأمان للسفوح (Factor of Safety, FS) رياضياً ضمن منهج الاتزان الحدي تُحدّد أولاً سطح/مستوى الانزلاق المحتمل مثل نموذج المنحدر اللانهائي عندما تكون طبقات التربة متوازية تقريباً مع سطح المنحدر ثم تُحسب القوى المُسببة للانزلاق (إجهاد القص على سطح الانزلاق والقوى المُقاومة (مقاومة القص وفق معيار موهر-كولومب) عملياً:

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

- (1) تُستخرج زاوية الميل β وعمق الانزلاق h ووزن/وحدة وزن المادة γ لتقدير وزن الشريحة W ومنه مركبة القص الدافعة T ومركبة الضغط العمودي N .
- (2) تُقدَّر ضغوط المياه المسامية على سطح الانزلاق U (لأنها تُنقص الإجهاد العمودي الفعّال).
- (3) تُحسب مقاومة القص المتاحة على السطح ϕ' : $S = c' + (N - U)\tan \phi'$ (حيث c' التماسك الفعّال و ϕ' زاوية الاحتكاك الداخلي الفعّال).
- (4) وأخيراً يُحسب معامل الأمان كنسبة $FS = \frac{S}{T}$ وفي صيغة المنحدر اللانهائي تُعطى علاقات N, T بدلالة γ, h, β لتصبح المعادلة قابلة للتطبيق مكانياً داخل GIS تُفسَّر النتائج عادةً بأن $FS < 1$ عدم استقرار و $FS \approx 1.0-1.3$ استقرار حرج و $FS > 1.3$ أمان نسبي.

-تجهيز طبقات الإدخال داخل ArcGIS-

تم تنفيذ النموذج داخل برنامج (Spatial Analyst) ArcGIS من خلال تجهيز الطبقات الآتية:

أولاً - طبقة الانحدار (β): استُخرجت زاوية الانحدار من DEM بدقة 30 م باستخدام المسار:

Spatial Analyst → Surface → Slope

وبالوحدات الزاوية وقد أظهرت نتائج تحليل الانحدار أن السفوح الشديدة ($>30^\circ$) تشكل نحو 16.2% من المساحة بينما تمثل السفوح المتوسطة نسبة ملحوظة الأمر الذي يستدعي إدخالها في تقييم الاستقرار.

ثانياً - طبقة التكوينات الجيولوجية: شملت التكوينات الرئيسية في منطقة الدراسة:

- تكوين بلامبو (Pila Spi) صخور جيرية/دولومايتية أكثر صلابة نسبياً لكنها قابلة للتشقق والتأثر بالتشبع.
- تكوين تانجيرو (Tanjero) صخور مارلية/كلسية أقل مقاومة ميكانيكياً.

حوّلت طبقة التكوينات من صيغة مضلعات (Polygon) إلى Raster بنفس دقة خلية الـ DEM عبر $Polygon \rightarrow Raster$: مع اعتماد حقل ترميز (FormationCode) بحيث $Pila Spi = 1$ ، $Tanjero = 2$.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

ثالثاً - طبقة الرطوبة/التشبع (m) : نظراً لكون المناخ متوسطي جبلي بمعدل أمطار سنوي يقارب 712 ملم ورطوبة نسبية 54% فإن تأثير الماء المسامي يعد عاملاً حاسماً في استقرار السفوح لذلك تم تمثيل معامل التشبع (m) بطريقتين:

1. اشتقاقه مكانياً باستخدام مؤشر الرطوبة الطبوغرافي (TWI) من خلال:

Flow Accumulation + Slope و تم تطبيق (Normalize) إلى مدى 0-1 ليعبر عن نسبة التشبع.

2. أو اعتماد سيناريوهات موسمية ثابتة لتقييم الحساسية:

صيف/جاف (0.2)، ربيع/متوسط (0.5)، شتاء/مشبع (0.8-1)، وتم اعتماد قيم معيارية للخصائص الميكانيكية

استناداً إلى نطاقات المواد الجيرية والمارلية الواردة في المعايير الجيوتكنيكية (Das & Sobhan, 2014)، وذلك

كما في الجدول الآتي:

الجدول (4) المعايير الجيوتكنيكية ضمن تكوينات منطقة البحث

التكوين	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	z (m)
بيلاسيبي	22	30	20	2
تانجيرو	19	18	10	2

وقد اعتُمد عمق انزلاق موحد ($z = 2$ m) بوصفه نطاقاً تمثيلاً للانزلاقات السطحية الضحلة.

جرى إدخال جميع الطبقات (التكوينات الجيولوجية والانحدار والارتفاع واتجاه الانحدار وعوامل المناخ والغطاء النباتي) في أداة Raster Calculator داخل ArcGIS مع تحويل الزوايا إلى راديان قبل تطبيق الدوال المثلثية ثم احتُسبت قيمة FS لكل خلية شبكية بدقة 30 م مما أتاح إنتاج خريطة كمية مستمرة لاستقرار السفوح.

رابعاً: نموذج خريطة استقرار السفوح .

تُظهر مؤشرات الانحدار أن السفوح الشديدة ($>30^\circ$) تمثل نحو 16.2% من المساحة وتتركز على الجوانب المواجهة لمحور الطية بينما تسود السفوح المتوسطة (16-29.9°) بنسبة 27% في حين تنتشر الانحدارات

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

اللطيفة ($15^\circ <$) عند الأقدام بنسبة تقارب 37% وهو تدرج يعكس أثر البنية الالتوائية والتباين الليثولوجي كما في الجدول (5)

جدول (5) قيم العامل الليثولوجي نوع الصخور/التكوين

التكوين/الصخر	الوصف الجيوميكانيكي	دلالة الاستقرار	5-1
تكوين بلامبو Limestone/Dolomite	صلابة نسبية + تشقق/كارستية؛ قد يكون خزاناً للمياه ويصبح أكثر عرضة لعدم الاستقرار عند التشبع	مستقر نسبياً جافاً، وقد يضعف مع التشبع/الفواصل	3-4
تكوين تانجيرو (Marly + Calcareous)	مقاومة أقل للتعرية (مارل/طفل غالباً)	قابلية أعلى للانزلاق خصوصاً مع المطر	2

ويُظهر اتجاه السفوح سيادة الاتجاه الشمالي بنسبة 24.3% يليه الجنوب الغربي بنسبة 16.2% بما يؤثر على الإشعاع الشمسي والرطوبة والغطاء النباتي ومن ثم على الاستقرار كما في الجدول (6).

جدول (6) قيم عامل اتجاه السفوح Aspect

اتجاه السفوح	الأثر المتوقع على الاستقرار (ضمن مناخ متوسطي جبلي)	النسبة	5-1
شمالي (N)	عادةً رطوبة أعلى/تبخر أقل → قد يزيد التشبع شتاءً، لكن قد يدعم غطاء نباتي أعلى يرفع التماسك	24.3%	3-4
جنوب غربي (SW)	إشعاع أعلى/تجوية حرارية أكبر، ومع بنية الطية قد ترتفع مخاطر عدم الاستقرار	16.2%	2-3

جدول (7) قيم عامل الانحدار Slope

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

فئة الانحدار (درجة)	دلالة الاستقرار	ما ورد بالملف (نسبة من المساحة)
5-1		
< 15°	أكثر استقراراً عادةً (أقدام وسهول انتقالية)	~37%
16 – 29.9°	استقرار متوسط	27%
> 30°	قابلية أعلى للانزلاق/تساقط الصخور	16.2%

ومن الناحية المناخية يبلغ المطر السنوي 712 ملم/سنة مع تركّز يزيد عن 78% خلال (تشرين الثاني - نيسان) وهو ما يعزز التشبع الموسمي ويُفسّر انخفاض قيم معامل الأمان خلال الموسم الرطب

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

جدول (8) قيم عامل المناخ/الرطوبة

عنصر مناخي	قيمة/وصف للفترة 1990-2025	ماذا يعني للاستقرار	5-1
المطر السنوي	712 ملم/سنة	يزيد التغذية المائية ورفع ضغط المسام والتشبع الشتوي \Rightarrow يُخفف FS	2
تركز المطر	78% > بين تشرين الثاني-نيسان	تركز مطري موسمي = "تنبضات" تشبع قوية متزامنة مع الانحدارات \Rightarrow موسم انزلاقات	1
الرطوبة النسبية	(54% شتاء 68% ، صيفاً 32%)	شتاءً RH مرتفعة \Rightarrow تبخر أقل + بقاء رطوبة أطول \Rightarrow زيادة احتمال عدم الاستقرار	2

جدول (9) قيم الغطاء النباتي (Vegetation (NDVI classes)

فئة الغطاء النباتي	NDVI	الأثر الجيومورفولوجي على الاستقرار	(1-5)
عديم / ماء / صخور / عارية	≤ 0.10	تماسك جذري شبه معدوم، تعرية سطحية مرتفعة، جريان سطحي أعلى، قابلية أكبر للانزلاق	1
قليل الكثافة	0.10 – 0.30	حماية محدودة للتربة، تقليل جزئي للجريان السطحي، استقرار متوسط إلى ضعيف	2
متوسط الكثافة	0.30 – 0.60	تحسين واضح في التماسك الجذري، تقليل الانجراف، دعم استقرار السفوح المتوسطة الانحدار	4

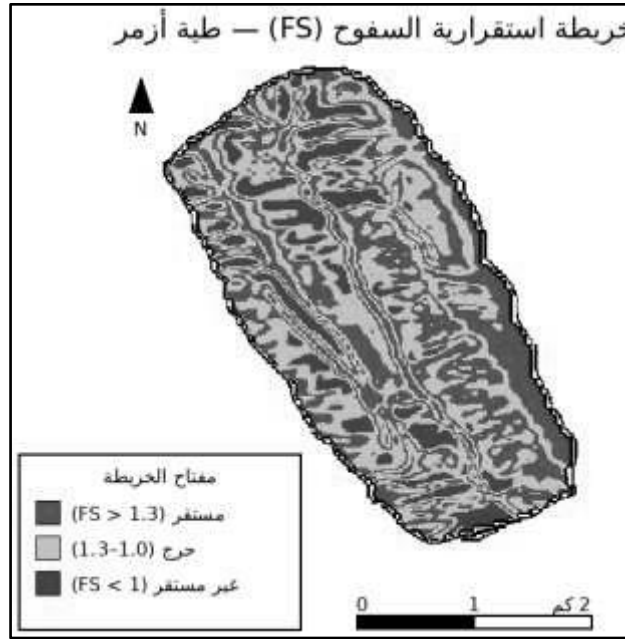
الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

5	أعلى مستوى حماية للتربة، زيادة التماسك، تقليل كبير لاحتمالية الانزلاقات السطحية (خاصة في المواد الفتاتية)	≥ 0.60	كثيف
---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	------

تُظهر خريطة استقرارية السفوح في طية أزمير تبايناً مكانياً واضحاً يعكس العلاقة المباشرة بين درجة الانحدار ومعامل الأمان (FS) إذ تمثل السفوح غير المستقرة والمتطابقة مكانياً مع فئة الانحدارات الشديدة التي تتجاوز (30°) ما نسبته 16.2% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة وهي تتركز على طول المحور البنيوي للطية وفي القطاعات الجنوبية والغربية حيث تزداد مركبة قوى الانزلاق مقارنة بقوى المقاومة مما يجعل قيمة معامل الأمان أقل من (1) وفق التصنيف القياسي المعتمد في أدبيات استقرار المنحدرات (Selby, 1993, Crozier, 2010) أما فئة الاستقرار الحرج والمتوافقة مع الانحدارات المتوسطة (16-29.9°) فتشكل نحو 27% من المساحة وتظهر كأحزمة انتقالية تحيط بالمناطق الأشد انحداراً وهي سفوح قابلة للتأثر بعوامل التشبع المائي أو إزالة الغطاء النباتي في المقابل تمثل السفوح المستقرة نسبياً التي تقل انحداراتها عن (15°) وتشمل الفئات (0-1.9°، 2-7.9°، 8-15.9°) أما مجموعه 56.7% من مساحة الطية تتوزع بصورة أوضح في الأقدام الجبلية والهوامش الطرفية حيث تقل الإجهادات القصية وتحسن ظروف التماسك السطحي ويعكس هذا التدرج البنيوي والمورفومتري الطبيعة الالتوائية للطية إذ تتجمع أعلى درجات عدم الاستقرار على خط القمة والانحدارات الحادة بينما يزداد معامل الأمان تدريجياً باتجاه السفوح اللطيفة وأراضي الأقدام الأمر الذي يكتسب أهمية تخطيطية مباشرة عند تحديد المناطق الآمنة للاستثمار السياحي مقابل المناطق التي تتطلب إجراءات تثبيت هندسي أو حماية بيئية.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمّر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

خريطة (2) استقرارية السفوح في طية أزمّر



المصدر: وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية، مقياس 1:1000000، لسنة 2022.

خامسا: مصفوفة المقارنة الزوجية لعوامل استقرار السفوح

اعتمدت مصفوفة المقارنة الزوجية لعوامل استقرار السفوح على مبدأ أن زاوية الانحدار هي المتغير الأكثر حسماً في التحكم بالقوة الدافعة للانزلاق ضمن نماذج الاستقرار لذلك أُعطيت أولوية أعلى مقارنةً ببقية العوامل بينما يأتي التركيب الصخري (الليثولوجيا) بالمرتبة الثانية لأنه يحدد مقاومة المواد (تماسك/ احتكاك/ قابلية التشقق) وقد أشار ملف البحث إلى سيادة تكوينات بلامبو وتانجيرو واختلاف سلوكهما تحت التشبع والتشققات ثم جرى رفع أهمية الرطوبة/التشبع (المطر) بوصفه محفزاً مباشراً للفشل عبر زيادة ضغوط المسام وتراجع المقاومة الفعّالة وهو ما تدعمه الأدبيات الهيدرولوجية للانزلاقات التي تبيّن دور تسرب المطر في توليد ضغوط مسامية عابرة تؤدي إلى الانهيار (Iverson, 2000)، كما أُدرج الغطاء النباتي (NDVI) كعامل داعم للاستقرار عبر التماسك الجذري وتقليل الانجراف السطحي واستخدمت حدود

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمُر ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

NDVI الشائعة في تفسير كثافة الغطاء (قيم $0.1 \geq$ للسطوح العارية، و $0.6-0.9$ للغطاء الكثيف) وفق NASA و USGS وأخيراً أدخل اتجاه السفوح (Aspect) كعامل مُعدّل للاستقرار لأنه يؤثر على الإشعاع/الرطوبة/الغطاء لكنه غالباً أقل حسماً من الانحدار والليثولوجيا والتشبع عند بناء خريطة استقرار عامة مع الإبقاء على تفسيرك المكاني بأن بعض الاتجاهات (جنوب/غرب) قد ترتبط بمخاطر أعلى مقارنةً بالشمال الشرقية ضمن بيئة طية أزمُر.

جدول (10) مصفوفة المقارنة الزوجية الكاملة لعوامل AHP لاستقرار السفوح (Saaty 1-9)

العامل 1 العامل	الانحدار	الليثولوجيا	الرطوبة/التشبع	الغطاء النباتي	اتجاه السفوح
الانحدار	1	3	4	5	7
الليثولوجيا	1/3	1	2	3	5
الرطوبة/التشبع	1/4	1/2	1	2	4
الغطاء النباتي	1/5	1/3	1/2	1	3
اتجاه السفوح	1/7	1/5	1/4	1/3	1

التحليل الكمي للنمذجة

يعتمد التحليل الكمي للنمذجة في هذه الدراسة على توظيف نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة 30 م كمصدر أساس لاشتقاق المتغيرات الطبوغرافية (الانحدار، الاتجاه، الارتفاع) ومعالجتها ضمن بيئة ArcMap 10.8 باستخدام أدوات التحليل الراستر (Spatial Analyst) تم تطبيق أداة Raster Calculator لإجراء العمليات الرياضية وبناء المعادلات المكانية بينما استخدمت أداة Reclassification لتحويل القيم المستمرة (مثل درجات الانحدار، كثافة التعرية، الغطاء النباتي) إلى فئات معيارية (1-5) تمهيداً لدمجها بعد ذلك جرى تطبيق معادلة Weighted Overlay وفق منهجية التحليل الهرمي (AHP) لتحديد الأوزان النسبية لكل طبقة (Slope + Lithology + Vegetation + Erosion + FS) حيث تم توحيد جميع الطبقات إلى مقياس معياري موحد قبل دمجها خطياً وفق المعادلة:

$$SI = (W_s \times S) + (W_l \times L) + (W_v \times V) + (W_e \times E) + (W_{fs} \times FS)$$

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

حيث:

• SI = مؤشر الملاءمة/الاستقرار

• W = الوزن النسبي

• S, L, V, E, FS = طبقات الانحدار، الليثولوجيا، الغطاء النباتي، التعرية، ومعامل الأمان للسفوح

تتسجم هذه المنهجية مع تطبيقات التحليل المكاني متعددة المعايير (MCDA) كما ورد في (Saaty, 1980, Malczewski, 1999, Eastman, 2012)، وتعد من أكثر الأساليب اعتماداً في نمذجة الملاءمة الجيومورفولوجية والسياحية.

جدول (11) الأوزان بطريقة AHP

العامل	الوزن النسبي	الأهمية النسبية
الانحدار (Slope)	0.30	تأثير مباشر على الاستقرار
الليثولوجيا (Lithology)	0.25	مقاومة الصخور للتعرية
التعرية (Erosion)	0.20	شدة التفكك والانجراف
معامل الأمان (FS)	0.15	مؤشر الاستقرار الجيوميكانيكي
الغطاء النباتي (Vegetation)	0.10	تعزيز التماسك وتقليل الجريان

$\lambda_{max} = 5.13$ ، $CI = 0.032$ ، $CR = 0.028 < 0.10$ → ، متوافقة علمياً وفق معيار Saaty هذا جدول أوزان AHP يعطي أولوية واضحة للمتغيرات الصلبة والانحدار (0.30) ثم الليثولوجيا (0.25) ثم التعرية (0.20) أي أن 75% من قرار الملاءمة/الاستقرار تحكمه هندسة المنحدر ومقاومة الصخور وديناميكية التفكك وشكل معامل الأمان FS بوزن 0.15 وهو محسوباً أصلاً من الانحدار الخصائص الميكانيكية الرطوبة والغطاء النباتي (0.10) جاء كعامل مُحسّن وليس مُسيطر وهو ترتيب واقعي في البيئات الجبلية لأن النبات يقلل الجريان ويزيد التماسك لكنه لا يعالج جذور المشكلة إذا كان المنحدر حاداً والصخر ضعيفاً ويمكن الإشارة هنا الى ان الجدول متوازن للتخطيط السياحي الآمن لأنه يضع الخطر الجيوميكانيكي أولاً.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

مما سبق يتضح ان نتائج الدراسة تتفق مع ما أشار إليه Carrara et al (1999) حول العلاقة الخطية-اللاخطية بين زاوية الانحدار والبنية الصخرية واحتمالية الفشل إذ تركزت قيم ($FS < 1$) في طية أزمير ضمن نطاق الانحدارات الشديدة ($>30^\circ$) الممتدة على محور الطية حيث تتكاثف الفواصل البنيوية وتزداد مركبة القص الدافعة مقارنة بقوى المقاومة وهو ما يفسر تموضع 16.2% من المساحة ضمن فئة عدم الاستقرار كما ينسجم انخفاض معامل الأمان خلال الموسم الرطب مع ما أوضحه Iverson (2000) بأن تسرب الأمطار يرفع ضغط الماء المسامي ويخفض الإجهاد الفعال مما يؤدي إلى تراجع المقاومة القصية وفق معيار موهر-كولومب خاصة في التكوينات المارلية الأقل تماسكاً وتدعم هذه النتيجة ما أكده Guzzetti et al (2005) من أن البيئات الجبلية ذات التركيب البنيوي المعقد تشهد تزايداً في احتمالية الانزلاقات تحت تأثير التشبع الموسمي وعليه فإن تمركز عدم الاستقرار على محور الطية والسفوح الجنوبية-الغربية يعني ضرورة استبعاد هذه القطاعات من الاستثمار السياحي الكثيف أو إخضاعها لإجراءات تثبيت هندسي بينما تمثل السفوح اللطيفة ذات ($FS > 1.3$) مناطق أكثر أماناً للتنمية السياحية المستدامة.

-الاستنتاجات-

- أظهرت نتائج نموذج معامل الأمان أن السفوح غير المستقرة ($FS < 1$) تمثل 16.2% من مساحة الطية مقابل 56.7% سفوح مستقرة نسبياً (>1.3)
1. يتحكم عاملاً الانحدار والليثولوجيا بما يقارب 72% من وزن قرار الاستقرار المكاني وفق تحليل AHP
 2. يتركز عدم الاستقرار على محور الطية والسفوح الجنوبية-الغربية ذات الانحدارات $>30^\circ$
 3. يؤدي التركيز المطري الشتوي ($>78\%$) من الأمطار السنوية إلى خفض قيم FS في التكوينات المارلية.
 4. أثبت الدمج بين نموذج المنحدر اللانهائي و GIS و AHP كفاءة عالية في إنتاج خريطة استقرار كمية قابلة للتوظيف التخطيطي.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

- التوصيات

1. توجيه الاستثمار السياحي نحو السفوح ذات الانحدار 15° وقيم FS المرتفعة لضمان الأمان طويل الأمد.
2. اشتراط دراسات جيوتكنيكية تفصيلية للسفوح المتوسطة الانحدار ($16-29.9^\circ$) قبل أي تطوير عمراني.
3. تنفيذ أنظمة تصريف سطحية فعالة للحد من تأثير التشبع الشتوي على استقرار المنحدرات.
4. منع الأنشطة الإنشائية في السفوح الشديدة ($30^\circ >$) أو ذات FS منخفض لحماية السلامة العامة.
5. تحديث نموذج الاستقرار دورياً بإدخال بيانات مناخية ومكانية حديثة لدعم التخطيط السياحي المستدام.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمير ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

المراجع العلمية:

Reference:

- Abbas, A. M., Taher, M. A., Abbood, N. H., & Amin, R. M. (2024). Qualitative Assessment of Water Erosion in Zawita Town in Dohuk Governorate within Kurdistan Region in Iraq, Using the (PAP/CAR) Model. *Kurdish Studies*, 12(2), 5159-5171.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21–44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>
- Al-Ani, R. A. M. A. (2013). Analysis of the southern Hamrin Fold slopes and their impact on environmental development using remote sensing and geographic information systems. *Uruk for Humanities*, 6(1), 8.
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards*, 20(2–3), 117–135.
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3–4), 260–267.
- Das, Braja M., & Sobhan, Khaled. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Eastman, J. Ronald. (2012). *IDRISI Selva Manual*. Clark Labs, Clark University.
- Figueiredo, E., Figueiredo, J., & others. (2020). Integrating geomorphological indicators in sustainable mountain tourism planning. *Sustainability*, 12, Article 1234.
- Guzzetti, Fausto, Reichenbach, Paola, Cardinali, Mauro, Galli, Mirco, & Ardizzone, Francesca. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1–4), 272–299.
- Iverson, Richard M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910.
- Jassim, Saad Z., & Goff, Jeremy C. (2006). *Geology of Iraq*. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno.
- Malczewski, Jacek. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons.
- Saaty, Thomas Lorie. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Selby, Michael J. (1993). *Hillslope Materials and Processes* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Youssef, Ahmed M., Pradhan, Biswajeet, & others. (2016). Landslide susceptibility mapping using GIS-based models in mountainous regions of Oman. *Environmental Earth Sciences*, 75, Article 781.

الملاءمة الجيومورفولوجية لطية أزمز ضمن محافظة السليمانية لأغراض السياحة باستخدام معامل الأمان للسفوح ومدى استقرارها

ثانياً: المصادر العربية .

- حارث عباس علي، أ. د رقية احمد محمد امين، م. م احمد ماجد عباس (2024). تقييم وإدارة المخاطر على بحيرة دربندخان واثرها في الاستدامة البيئية باستخدام نموذج pap-car مداد الآداب 14 (العدد الخاص بمؤتمر قسم الجغرافية)، 2232-2244.
- م.م. بفرين جاسم محمد، م. د. ايمان شهاب حسون (2023)، التساقط المطري واثره في الغطاء النباتي ضمن محافظة السليمانية : (دراسة مقارنة للفترة بين (1992-1999)) *Journal of Educational and Human Sciences*, (24), 125-144. <https://doi.org/10.33193/JEAHS.24.2023.365>
- وزارة الصناعة والمعادن، الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتحري المعدني، (2000) خريطة العراق الجيولوجية بمقياس 1:250,000 بغداد، العراق.
- وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة. (2022). خريطة العراق الإدارية بمقياس 1:1,000,000 . بغداد، العراق.