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

Spatial Modeling of Slope Stability in the Lower Zab River Basin

Mohammed Ibrahim Ghthwan

Department of Geography - College of Education for Humanities - University of Mosul

* *Corresponding author: E-mail* : Mohammedibrahim@uomosul.edu.com

***Keywords*:**
Slope Stability
Spatial Modeling
Lower Zab River Basin
Multi-Criteria Evaluation
Geomorphological Hazards

A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 15 Aug 2024
Received in revised form 8 Sept 2024
Accepted 9 Sept 2024
Final Proofreading 1 Nov 2024
Available online 2 Nov 2024
E-mail t-jtuh@tu.edu.iq

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

A B S T R A C T

This study addresses the stability of land slopes in the Lower Zab River Basin, given the importance of surface material movement in geomorphology and the region's geographical and environmental significance. The research aims to analyze slope stability in the basin using spatial modeling techniques, identifying and ranking the factors influencing stability according to their importance. The most impactful factors were identified, reclassified, standardized, and weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to derive a slope stability map. The results showed that 24.62% and 30.68% of the area have very strong and strong stability, respectively, while 15.86% and 7.08% of the area have weak and very weak stability. The stable areas are concentrated in the south and center of the study area, while the unstable areas are in the north and east of the basin, influenced by elevation, slope, and geological formations. The current research identifies various factors affecting slope stability and highlights the most landslide-prone areas in the Lower Zab Basin. The study is concluded with a recommendation to monitor high-risk areas and implement preventive measures, such as building retaining walls, and suggests further field studies to verify the accuracy of the spatial models used.

© 2024 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit University

DOI: http://doi.org/10.25130/jtuh.31.11.2024.10

النمذجة المكانية لاستقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل

محمد ابراهيم غثوان/ قسم الجغرافيا – كلية التربية للعلوم الإنسانية – جامعة الموصل

الخلاصة:

تناولت هذه الدراسة استقرارية المنحدرات الأرضية في حوض نهر الزاب الأسفل نظراً لأهمية حركة مواد سطح الأرض جيومورفولوجيا وأهمية المنطقة جغرافياً وبيئياً.

يهدف البحث الى تحليل استقرارية المنحدرات في الحوض باستخدام تقنيات النمذجة المكانية، وتحديد

العوامل المؤثرة على الاستقرار وتصنيفها وفقاً لأهميتها. تم تحديد العوامل الأكثر تأثيراً، واعادة تصنيفها وتقييسها ومنحها أوزاناً نسبية باستخدام طريقة التحليل الهرمية (AHP) لاستخلاص خريطة استقرارية المنحدرات.

أظهرت النتائج أن ٢٤.٦٢% و٣٠.٦٨% من المنطقة تتمتع باستقرارية قوية جداً وقوية على التوالي، بينما كانت ١٥.٨٦% و٧.٠٨% منها ذات استقرارية ضعيفة وضعيفة جداً. تركزت المناطق المستقرة في جنوب ووسط منطقة الدراسة، بينما كانت المناطق غير المستقرة في شمال وشرق الحوض، متأثرة بعوامل الارتفاع والانحدار ونوعية التكاوين الجيولوجية.

حدد البحث الحالي العوامل المختلفة التي تؤثر على استقرارية المنحدرات وكشف المناطق الاكثر عرضة للانهيارات الأرضية في حوض نهر الزاب الاسفل. كما خلصت الدراسة الى ضرورة مراقبة المناطق ذات الخطورة العالية واتخاذ إجراءات وقائية مثل بناء الجدران الاستنادية، وأوصت بمزيد من الدراسات الميدانية للتحقق من دقة النماذج المكانية المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: استقرارية المنحدرات، النمذجة المكانية، حوض نهر الزاب الأسفل، التقييم متعدد المعايير، المخاطر الجيومورفولوجية.

المقدمة:

تعتبر استقرارية المنحدرات الأرضية أحد الموضوعات الحيوية في الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية، نظراً للتأثيرات الكبيرة التي يمكن أن تحدثها على البيئة والمجتمعات البشرية. إنّ العوامل الطبيعية يمكن أن تؤدي إلى تدهور استقرارية المنحدرات، مما يزيد من مخاطر الانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية التي قد تتسبب في خسائر بشرية ومادية جسيمة، فضلا عن تغييرات واضحة في الاشكال الجيومورفولوجية مما يساعد على وجود مظاهر واشكال ارضية متنوعة. في هذا السياق، يكتسب البحث في استقرارية المنحدرات الأرضية أهمية خاصة لضمان التخطيط السليم والإدارة الفعالة للمناطق المعرضة لهذه الظواهر.

مشكلة البحث:

تكمن المشكلة الرئيسية للبحث في تنوع العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات حيث تتأثر بعدة عوامل مثل الطوبوغرافيا، الجيولوجيا، المناخ، والانحدارات الارضية. يتطلب تحليل هذه العوامل وتحديد تأثير كل منها على حدة وعلى التفاعل المشترك بينها جهداً كبيراً ومعقداً.

بينما تتلخص مشكلة الدراسة في مجموعة من التساؤلات الثانوية وكما يلي:

١. هل تتباين الاهمية النسبية للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية؟

٢. ما ملامح مشهد استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل؟
٣. هل تتباين مستويات استقرارية المنحدرات الارضية في ذات الحوض؟

فرضية البحث:

جاءت الفرضية كإجابة عن تساؤلات البحث وكما يلي:

١. تتباين الاهمية النسبية للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية.
٢. يمكن الوصول الى مشهد استقرارية المنحدرات الارضية عن طريق استخدام طرائق تحليل القرار متعدد المعايير (AHP).
٣. ان تباين جيومورفولوجية سطح حوض الزاب الاسفل تؤدي بالنتيجة الى تباين مستويات استقرارية المنحدرات الارضية في الحوض.

هدف البحث:

١. تحليل استقرارية المنحدرات الأرضية في حوض نهر الزاب الاسفل باستخدام تقنيات النمذجة المكانية. فضلا عن الوقوف على الاهمية النسبية للعوامل المؤثرة فيها باستخدام احدث الطرق العلمية.
٢. الكشف عن مشهد استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل وتبايناتها المحلية.
٣. ابراز اهم العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل والتمييز فيما بينها من ناحية الاهمية ومستوى التأثير.

اهمية البحث:

١. تقييم العوامل المختلفة التي تؤثر على استقرارية المنحدرات وتحديد المناطق الأكثر عرضة للانهيارات الأرضية في حوض نهر الزاب الاسفل.
٢. الفهم الشامل والدقيق لكيفية تفاعل هذه العوامل مع بعضها البعض والتأثير على استقرارية المنحدرات، مما يستدعي استخدام تقنيات متقدمة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبيانات مثل النماذج الرقمية للارتفاعات (DEM) لتحقيق ذلك.
٣. تحسين استراتيجيات التخطيط والإدارة، وتقليل المخاطر الناجمة عن الانهيارات الأرضية، وبالتالي حماية السكان والممتلكات. من خلال توفير فهم أعمق لاستقرارية المنحدرات في حوض نهر الزاب الاسفل، وتقديم انموذج يمكن الاعتماد عليه لتحديد المناطق المعرضة للخطر.

منهج البحث:

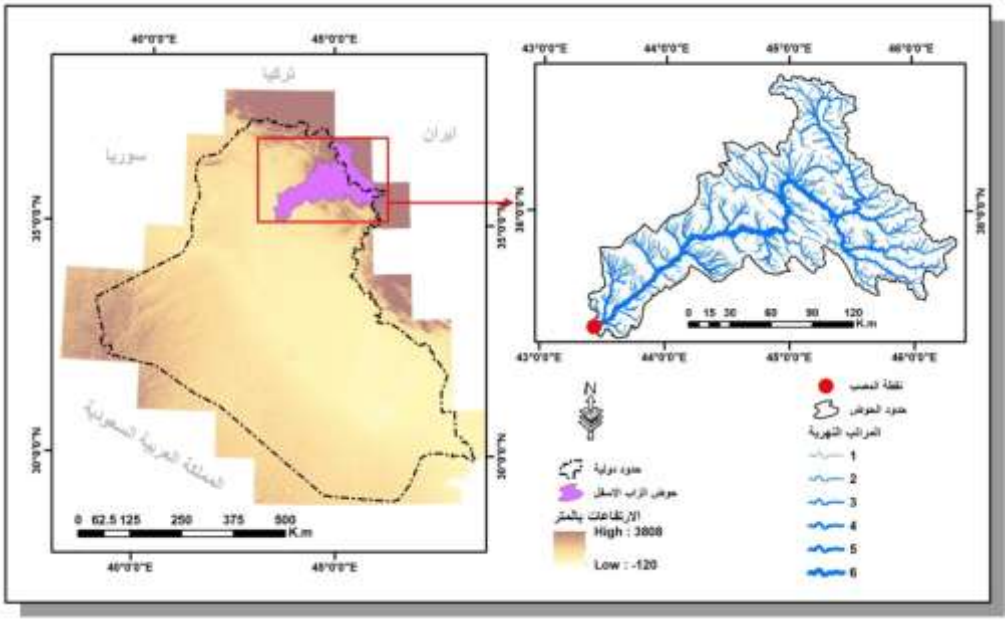
تم الاعتماد على المنهج التجريبي لغرض تحقيق الهدف من البحث.

موقع منطقة الدراسة:

يقع حوض نهر الزاب الأسفل في شرق وشمال شرق العراق وشمال غرب ايران. ينبع نهر الزاب الأسفل من جبال زاغروس في ايران ويمر عبر مناطق جبلية مختلفة قبل أن يدخل العراق، حيث يتدفق عبر محافظات سليمانية وكركوك، ويصب في نهر دجلة بالقرب من مدينة الزاب في محافظة كركوك، خريطة (١). تبلغ اجمالي مساحة الحوض (19803.75) كم^{٢} يقع الجزء الاكبر من حوض النهر داخل الحدود العراقية وبمساحة (15345.93) كم^{٢}، وما يعادل نسبة (٧٧.٤٩%) من اجمالي مساحة الحوض، بينما الجزء الأصغر يقع في إيران وبمساحة (4457.82)كم^{٢} وما يعادل نسبة (٢٢.٥١%) من اجمالي مساحة حوض نهر الزاب الاسفل.

فلكيا تنحصر منطقة الدراسة بين خطي طول "58 ′22 °43 و "45 ′20 °46 شرقاً، ودائرتي عرض °35 "00 ′10و "9 ′54 °36 شمالاً.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث باستخدام

١- برنامج (Arc Map GIS. V 10.8) وبالاعتماد على (DEM).

٢- خريطة العراق الادارية، بغداد، ٢٠١٧.

المحور الاول:

تحديد ابرز العوامل الطبيعية المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية:

بعد الاطلاع على الكثير من البحوث والدراسات التي تتعلق بموضوع البحث[*]. تم انتخاب مجموعة من العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات على اعتبار انها تمثل اهم واكثر العوامل الطبيعية تأثير في حركة مواد سطح الارض واستقراريه المنحدرات الارضية، وكما يلي:

١. العامل الجيولوجي:

تختلف خصائص التكاوين الجيولوجية والصخور من حيث الصلابة والمسامية والانحدار، مما يؤثر على استقرارية المنحدرات الارضية. فالصخور النارية الصلبة مثل الجرانيت تميل إلى أن تكون أكثر استقرارًا مقارنة بالصخور الرسوبية الاقل صلابة مثل الصخور الزيتية التي تعد من الصخور الهشة[i] . والتكاوين الجيولوجية القديمة بحكم قدمها تكون اكثر صلابة من التكاوين الجيولوجية الاحدث عمراً.

تنوعت المكاشف الصخرية في حوض الزاب الاسفل بسبب قدم العمر الجيولوجي للمنطقة, حيث امتد عمرها الجيولوجي من حقبة ما قبل الكامبري (Precambrian) الى حقبة الحياة الحديثة (Cenozoic Era) واخرها الزمن الرباعي الذي لا يزال مستمر لحد وقتنا الحاضر. تم الاعتماد على الخرائط الجيولوجية للعراق وايران جدول (١). وبسبب كبر مساحة منطقة الدراسة وقدم عمرها الجيولوجي تم استخراج اهم الحقب الجيولوجية وما تتضمنه من عصور. خريطة (٢).

٢. عامل التربة:

تؤثر التربة على استقرارية المنحدرات الارضية من خلال اختلاف سمكها ومساميتها ونفاذيتها وانواعها, حيث توجد انواع من التربة تكون ذات صلابة اكثر من غيرها كذلك تكون التربة السميكة اقل استقراراً مقارنة بالتربة قليلة السمك ذات الاستقرارية العالية.

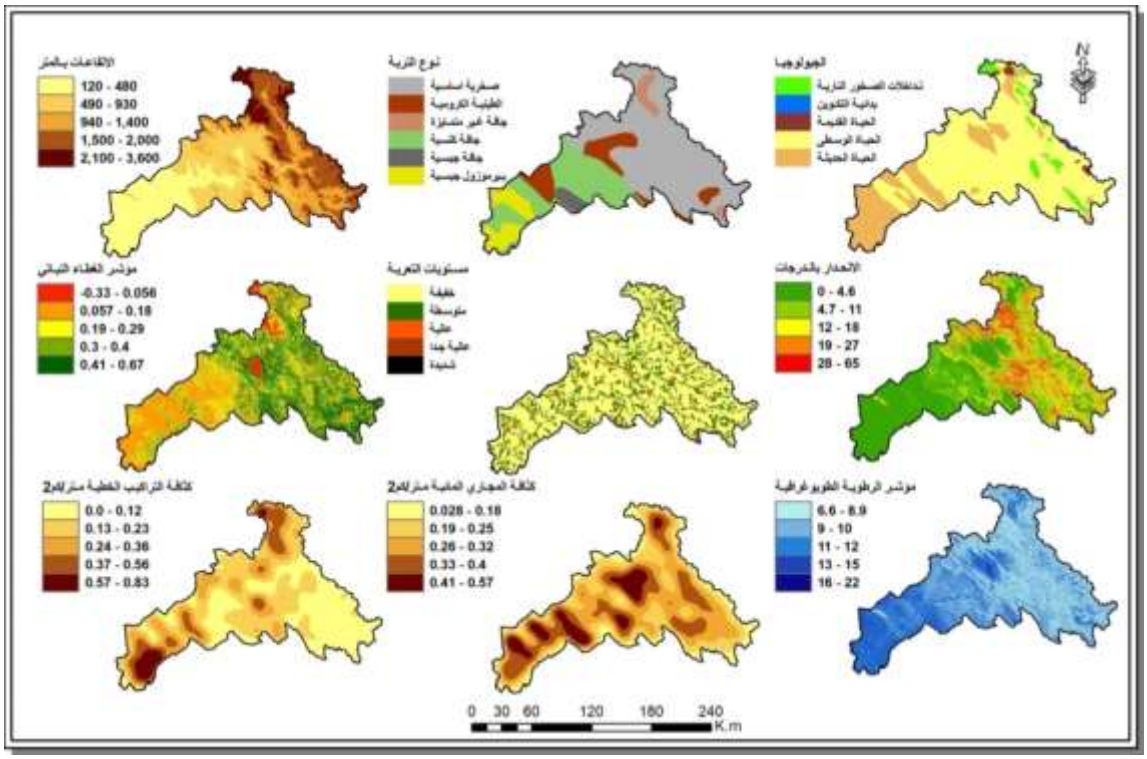
تنوعت التربة داخل منطقة الدراسة واعتمد الباحث على خريطة التربة التابعة لمنظمة الفاو العالمية جدول (١) لإنتاج خريطة التربة لحوض نهر الزاب الاسفل.

جدول (١) مصادر بيانات الخرائط الخاصة بالعوامل الرئيسية في البحث

ت	خرائط العوامل	مصدر البيانات
١-	الجيولوجية	MAP SHOWING GEOLOGY,OIL AND GAS FIELD, AND GEOLOGIC OF IRAN, SCALE 1:2500000 (2018), INC (ESRI), DIGITALLY COMPILED BY R.M.POLLASTRO. F.M.PERSITS. AND D.W.STEINSHOUER. خارطة العراق الجيولوجية, مقياس (١:١٠٠٠٠٠٠), وزارة الصناعة والمعادن, المؤسسة العامة للمعادن, المديرة العامة للمسح الجيولوجي والتحري المعدني بغداد (١٩٨٦), الطبعة الاولى, اعداد سعد زاير جاسم, ديكران هاكوب هاكوبيان, هشام عبدالجبار الهاشمي.
٢-	التربة	FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Version 3.6, completed January 2003
٣-	كثافة التراكيب الخطية	(Landsat8) (OLI) https://earthexplorer.usgs.gov/
٤-	كثافة شبكة المجاري المائية	انموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبدقة تمييزية ٣٠م
٥-	الارتفاعات (التضرس)	
٦-	الانحدارات	
٧-	مؤشر الرطوبة الطبوغرافي	
٨-	الغطاء النباتي (NDVI)	(Landsat8)(OLI) https://earthexplorer.usgs.gov/
٩-	التعرية الاخدودية	انموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبدقة تمييزية ٣٠م. باستخدام الاداة المطورة للباحث عمر اسماعيل القصاب واخرون. Omar Abdullah Ismaeel, et al. (2021), Developing an active tool in GIS to determine gully erosion levels depending on the Bergsma method, ORAC Journal for the Human Sciences, Issue Three, Part 2, Volume Fourteen.

المصدر: عمل الباحث

خريطة (٢) اهم العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضي



المصدر: عمل الباحث اعتمادا على جدول (١).

عامل كثافة التراكيب الخطية:

التراكيب الخطية مثل الصدوع والفواصل والمفاصل تلعب دورًا كبيراً في استقرارية المنحدرات الأرضية. اذ يعد تحليل كثافة التراكيب الخطية جزءاً مهماً من تقييم استقرارية المنحدرات كونها تعد نقاط ضعف بنيوية حيث توفر الصدوع والفواصل مسارات للانزلاقات والتحركات الأرضية[ii]. وان وجود تراكيب خطية كثيفة يعني وجود نقاط ضعف متعددة في المنحدر يمكن أن تساهم في زعزعة استقراره. كما يمكن أن تعمل المفاصل كمسارات لنفاذ المياه، مما يؤدي إلى زيادة ضغط المياه المسامية وتقليل مقاومة القص للتربة أو الصخور. فضلا عن دورها الكبير في زيادة فعاليات العمليات الجيومورفولوجية مثل التجوية والتعرية.

تم انتاج خارطة التراكيب الخطية الخاصة بمنطقة الدراسة اعتمادا على المرئية الفضائية (Landsat8) جدول (١).

٣. عامل كثافة شبكة المجاري المائية:

تلعب كثافة المجاري المائية دورًا مهمًا في استقرارية او عدم استقرارية المنحدرات الأرضية من خلال التأثير على عدة عوامل مرتبطة بالمياه والحركة الأرضية. حيث يمكن أن تتسبب المجاري المائية في تشكل أودية وقطع عميقة تؤدي إلى زعزعة استقرار المنحدرات المحيطة. وتزيد كثافة المجاري المائية من كمية المياه التي تتسرب إلى داخل المنحدر، مما يرفع من ضغط المياه المسامية ويقلل من مقاومة القص للتربة والصخور. ويمكن للمجاري المائية السريعة أن تسبب تدفقات موحلة وسريعة تؤدي إلى تآكل قواعد المنحدرات بشكل كبير. وتسبب الفيضانات الناتجة عن المجاري المائية تغييرات سريعة في استقرار المنحدرات. كما يؤدي وجود مجاري مائية كثيفة إلى تركز النباتات على طولها، مما يمكن أن يؤثر على استقرار المنحدر من خلال تغيير التربة وتوزيع الجذور. ومما سبق يمكن ملاحظة التأثير الكبير لشبكة المجاري المائية على استقرارية المنحدرات الارضية.

تم انتاج خارطة المجاري المائية وعلى ضوئها تم اعادة حساب كثافة المجاري المائية اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

عامل الارتفاع (التضرس):

يلعب الارتفاع دورًا حاسمًا في استقرارية المنحدرات الأرضية، بزيادة الارتفاع، يزداد الضغط العمودي على المواد أسفل المنحدر. هذا يمكن أن يزيد من إجهاد القص ويؤدي إلى انهيارات إذا كانت المواد غير مستقرة. تحتوي المواد الموجودة على ارتفاع عالٍ طاقة كامنة أكبر. إذا تحركت يمكن أن تنتج انزلاقات أو انهيارات أرضية ذات طاقة عالية. ترتبط الارتفاعات المتباينة ببيئات مختلفة من حيث درجات الحرارة والامطار والثلوج والنبات الطبيعي[iii]. حيث يمكن أن تكون هناك دورات تجميد وذوبان متكررة على ارتفاعات عالية، هذه الدورات تؤدي إلى تكسير المواد الصخرية وزيادة احتمالية الانهيار. تكون كمية الأمطار والثلوج أكبر على الارتفاعات العالية، مما يزيد من احتمالية تسرب المياه إلى داخل المنحدر وزيادة الضغط الهيدروليكي. وتعد الارتفاعات العالية عرضة للتعرية والنقل الجيومورفولوجي، مما يؤثر على استقرار المنحدرات. اذ غالبًا ما تكون زاوية الميل أكبر كلما زاد الارتفاع، مما يزيد من احتمالية الانزلاق بسبب الجاذبية. وتكون التربة على أقل تطورًا و أكثر عرضة للتعرية والانزلاق.

تم انتاج خارطة للارتفاعات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل اعتماداً على انموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

٤. الانحدارات:

تكمن أهمية الانحدار في استقرارية المنحدرات الأرضية من خلال تأثيره المباشر على توازن القوى المؤثرة على المنحدر. اذ يشير الانحدار إلى زاوية ميل المنحدر نسبة إلى الامتداد الأفقي.

بذلك تعد زاوية الانحدار أحد العوامل الأساسية التي تؤثر على استقرار المنحدرات الأرضية. من خلال فهم تأثير هذه الزاوية على القوى المؤثرة على المنحدر حيث تؤثر بشكل كبير على استقرار التربة والصخور في المنحدر اذ كلما زادت تزداد قوى الجاذبية التي تحاول سحب المواد إلى أسفل. هذه القوى القصية يمكن أن تتغلب على قوى الشد التي تربط المواد معًا، مما يزيد من احتمالية حدوث الانهيارات[iv]. كما ان المنحدرات الحادة والكبيرة يقل فيها سمك التربة مما يقلل بدوره من وجود النبات الطبيعي الذي يساعد وجوده على استقرارية المنحدرات الارضية. وتزداد سرعة تدفق المياه فيها مما يزيد من عمليات التعرية والنقل المائي التي بدورها تؤدي الى ضعف استقرارية المنحدرات الارضية. وبذلك يكون تأثير الماء عليها أكثر وضوحًا وخطورة، اذ يمكن أن تؤدي المياه الجوفية أو الأمطار الغزيرة إلى زيادة ضغط الماء في الفراغات بين حبيبات التربة، مما يقلل من الاحتكاك ويزيد من احتمالية ضعف استقرارية المنحدرات.

تم انتاج خريطة الانحدار الخاصة بحوض نهر الزاب الاسفل اعتمادا على انموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

٥. مؤشر الرطوبة الطوبوغرافي:

مؤشر الرطوبة الطوبوغرافي (Topographic Wetness Index, TWI) هو أداة جغرافية تستخدم لتقييم تأثير الطبوغرافيا على توزيع الرطوبة في التربة. يعتمد هذا المؤشر على العلاقة بين تجمع المياه على سطح الأرض والانحدار، ويعد أحد المعايير المهمة في تحليل استقرار المنحدرات الأرضية كونه يساعد في تحديد المناطق التي تميل إلى الاحتفاظ بالرطوبة بشكل أكبر، مما قد يؤدي إلى زيادة ضغط الماء في مسام الصخور او التربة. وهذا ما يقلل من قوة تماسك سطح الارض وقدرته على مقاومة قوة القص والجاذبية الارضية وبالتالي يؤدي الى ضعف استقرارية المنحدرات الارضية في المنطقة.

تم انتاج خريطة مؤشر الرطوبة الطبوغرافية الخاصة بحوض نهر الزاب الاسفل اعتمادا على انموذج الارتفاع الرقمي (DEM) جدول (١).

٦. الغطاء النباتي (NDVI):

الغطاء النباتي له دور حاسم في استقرارية المنحدرات الأرضية، يمكن تقييم هذا الغطاء النباتي باستخدام مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI .. وهو

مقياس يستخدم لرصد وتقييم الكثافة والصحة العامة للغطاء النباتي على سطح الأرض بالاعتماد على البيانات الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية أو الطائرات. يبرز دور الغطاء النباتي في استقرارية المنحدرات الارضية من خلال عمل الجذور في تثبيت التربة عن طريق تشكيل شبكة قوية تحت سطح الأرض، وبذلك يعمل الغطاء النباتي على حماية سطح التربة من التعرية الناتجة عن الرياح والمياه, يمتص الغطاء النباتي المياه المطرية ويقلل من كمية المياه التي تتدفق على سطح التربة، تسهم النباتات في نقل المياه عبر جذورها، مما يساعد في الحفاظ على توازن المياه في التربة ومنع تشبعها بالمياه، يمكن استخدام NDVI لتحديد المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي أو التي تعاني من تدهور في الغطاء النباتي، مما يشير إلى مناطق قد تكون عرضة لمخاطر حركة مواد سطح الارض.

تم انتاج خريطة الغطاء النباتي NDVI الخاصة بحوض نهر الزاب الاسفل اعتمادا على المرئية الفضائية التابعة للقمر الصناعي (Landsat 8) جدول (١).

٧. التعرية الاخدودية:

تؤثر التعرية الاخدودية (Gully Erosion) بشكل كبير على استقرارية المنحدرات الأرضية حيث تساهم في زعزعة استقرار المنحدرات الأرضية من خلال إزالة المواد السطحية، زيادة انحدار المنحدر، تكوين قنوات مائية، التأثير على النباتات، وتغيير توزيع المياه الجوفية.

تم انتاج خريطة التعرية الاخدودية الخاصة بحوض نهر الزاب الاسفل اعتمادا على انموذج الارتفاع الرقمي (DEM) جدول (١).

مما سبق يمكن ملاحظة اهمية كل عامل في التأثير على استقرارية المنحدرات الارضية فضلا عن وجود علاقة تفاعلية بين العوامل اعلاه اذا يمكن ان يؤثر اي عامل من العوامل سابقة الذكر على العوامل الاخرى ليجعل تأثيرها اكبر او اقل على استقرارية المنحدرات الارضية حسب ظروف تفاعل العوامل فيما بينها وضمن حدود منطقة الدراسة. كما سيظهر لنا في سياق وفقرات البحث.

المحور الثاني:

التقييم متعدد المعايير للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية:

بعد حصر العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات، تبرز الحاجة إلى تقييم مساهمة كل عامل على حدة في هذا الاستقرار، وهنا يبرز تساؤلاً جوهرياً مفاده: هل ان هذه العوامل تتساوى في أثرها على استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل أم أن بعضها يمتلك تأثيراً أكبر؟

فمن المعروف أن العوامل الجغرافية لا تؤثر على أي ظاهرة جغرافية بنفس الدرجة. كما ان الظاهرة هي ليست حاصل جمع العوامل الجغرافية. بل هي حاصل تفاعل تلك العوامل مع بعضها البعض، ولتوضيح هذا التفاعل، لابد من اجراء عملية الجمع الموزون للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية ومن ثم يتطلب الامر تحليل القرار متعدد المعايير.

تعد عملية تحليل القرار متعدد المعايير هي طريقة علمية تستخدم لحل المشكلات المتعلقة بصعوبة اتخاذ القرارات، وتتم بوجود عدة معايير غالبا ما تكون متشعبة أي تشمل متغيرات كمية وأخرى كيفية، وتكون للتعظيم أو التدنية أو كلاهما معا. والمشاكل التي تحتاج الى الحل بطريقة التحليل متعددة المعايير توجد في كل المجالات اقتصادية، اجتماعية، بيئية[٧].

عليه يمكن تعريف طريقة التقييم متعددة المعايير لاتخاذ القرار على أنها مختلف الإجراءات والطرق والأدوات التي تسمح في النهاية بحل المشاكل المطروحة، من خلال الأخذ بعين الاعتبار عدة معايير قد تكون متناقضة أحيانا.

وللحكم على هذه التصورات تقوم طريقة التحليل متعدد المعايير بالاستعانة بكل المعايير المطروحة لاختيار أفضل تصور، مع إعطاء أوزان حسب الأهمية النسبية لكل معيار ثم تقوم بتقييم كل تصور مقارنة بكل المعايير، وأخيرا تجميع النتائج[vi].

ومن اهم طرائق التقييم متعدد المعايير والتي سيتم استخدامها في هذا البحث هي عمليات التحليل الهرمية (Analytical Hierarchy process) (AHP). تستخدم هذه الطريقة لمساعدة متخذي القرار على اتخاذ افضل القرارات فهي وسيلة مساعدة على تحليل وصنع القرار من خلال اجراء المقارنة الموضوعية بين عدد من البدائل وفقا لمعايير (اهداف) معدة مسبقاً. طور هذه الطريقة الباحث (Thomas Saaty) حيث تستند على ترتيب بدائل القرار ومن ثم اختيار الافضل منها في ضوء عدد من العوامل المحددة. وعلى النحو التالي:

١- تقييس العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية:

لغرض الوصول الى اهداف البحث تم تقييس العوامل. فعلى الرغم من كون هذه العوامل تم تحديدها من الخصوصية المكانية لحوض نهر الزاب الاسفل لكن يلاحظ ان لكل عامل مقياس مختلف، فمثلاً العامل الجيولوجي يقاس من خلال الزمن، والتربة تقاس بالنوع، والارتفاع يقاس بالمتر، والانحدار يقاس بالدرجات، التعرية الاخدودية ومؤشر الغطاء النباتي ومؤشر الرطوبة الطبوغرافية يقاسون بالمستوى، بينما كثافة المجاري المائية وكثافة التراكيب الخطية يقاسون بالمتر/كم٢. جدول (٢). عليه لابد من توحيد مقاييس العوامل

المؤثرة في استقرارية المنحدرات الارضية، اذ تحتاج عملية اخضاع الطبقات الى المطابقة او دمج الطبقات في نظم المعلومات الجغرافية الى تقييس المعايير ليكون الناتج ذات معنى احصائي ومفاهيمي واضح وموحد.

لذلك تمت تهيئة العوامل الداخلة في عمليات التحليل الهرمية على شكل نماذج خرائطية وتم تقييسها جميعا بمقياس مرتبي حسب تأثير كل عامل في استقرارية المنحدرات الارضية. جدول (٢), خريطة (٣). ذلك لكي يتسنى لنا تفسير نتائج مطابقة العوامل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

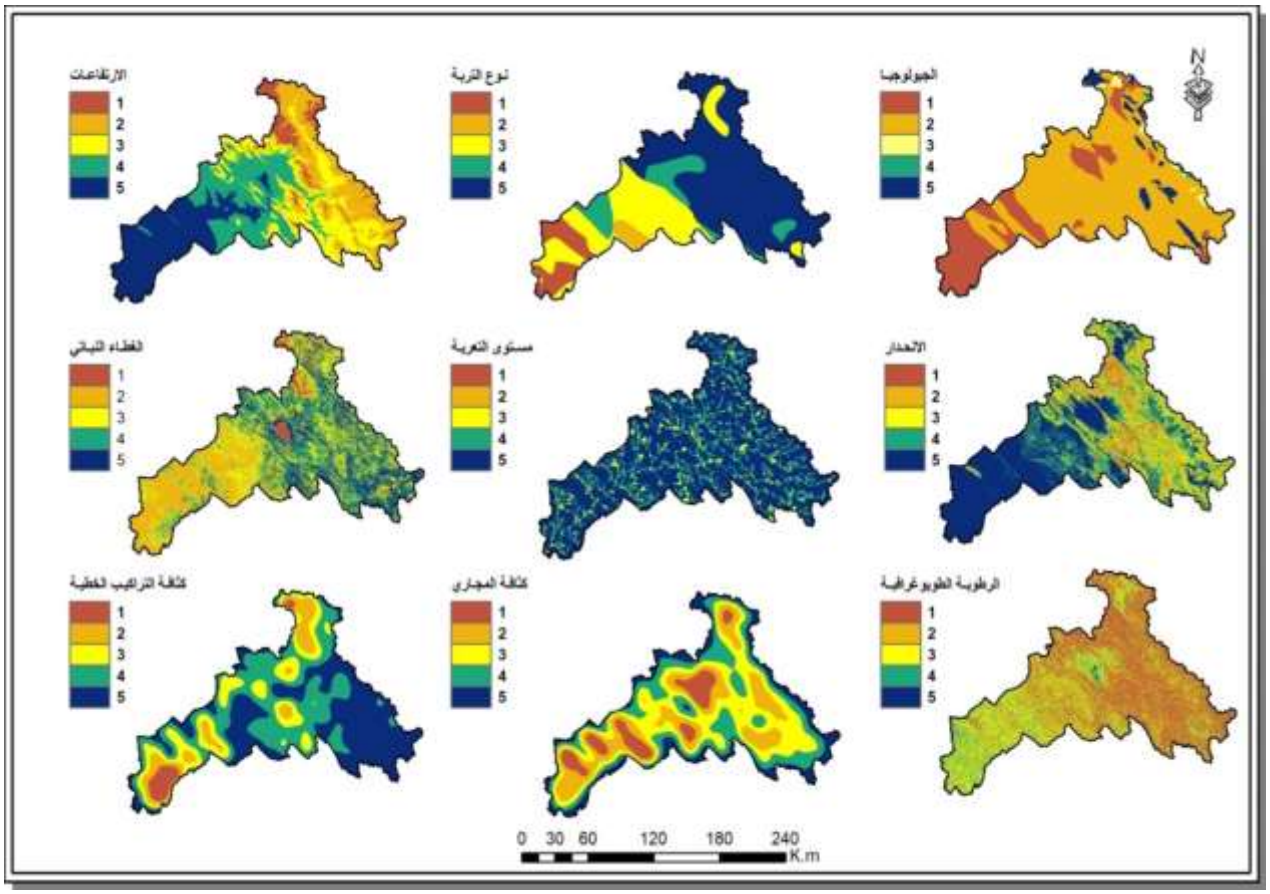
جدول(٢) تقييس العوامل المؤثرة في استقرارية المنحدرات الارضية

ت	العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية	وحدة القياس	التصنيف	مستوى التأثير على الاستقرارية	المقياس المرتبي
١-	الجيولوجية	حقب	تداخلات الصخور النارية	مرتفع جدا	٥
			بداية التكوين	مرتفع	٤
			الحياة القديمة	متوسط	٣
			الحياة الوسطى	منخفض	٢
			الحياة الحديثة	منخفض جدا	١
٢-	نوع التربة	انواع	صخرية اساسية	مرتفع جدا	٥
			طينية كرومية	مرتفع	٤
			جافة غير متمايزة	متوسط	٣
			جافة كلسية	متوسط	٣
			جافة جبسية	منخفض	٢
			بيرموزول جبسية	منخفض جدا	١
٣-	الارتفاعات	متر	١٢٠-٤٨٠	مرتفع جدا	٥
			٤٩٠-٩٣٠	مرتفع	٤
			٩٤٠-١٤٠٠	متوسط	٣
			١٥٠٠-٢٠٠٠	منخفض	٢
			٢١٠٠-٣٦٠٠	منخفض جدا	١
٤-	الانحدار	درجات	٠- ٤.٦	مرتفع جدا	٥
			٤.٧- ١١	مرتفع	٤
			١٢-١٨	متوسط	٣
			١٩- ٢٧	منخفض	٢
			٢٨- ٦٥	منخفض جدا	١
٥-	التعرية الاخدودية	مستوى	خفيفة	مرتفع جدا	٥
			متوسطة	مرتفع	٤
			عالية	متوسط	٣
			عالية جدا	منخفض	٢
			شديدة	منخفض جدا	١
٦-	مؤشر الغطاء النباتي	مستوى	- ٠.٣٣ - ٠.٠٥٦	منخفض جدا	١
			٠.٠٥٧- ٠.١٨	منخفض	٢
			٠.١٩- ٠.٢٩	متوسط	٣
			٠.٣- ٠.٤	مرتفع	٤
			٠.٤١- ٠.٦٧	مرتفع جدا	٥
٧-	مؤشر الرطوبة الطبوغرافية	مستوى	٦.٦- ٨.٩	مرتفع جدا	٥
			٩- ١٠	مرتفع	٤
			١١- ١٢	متوسط	٣
			١٣- ١٥	منخفض	٢
			١٦- ٢٢	منخفض جدا	١
٨-	كثافة المجاري المائية	متر/ كم٢	٠.٠٢٨- ٠.١٨	مرتفع جدا	٥
			٠.١٩- ٠.٢٥	مرتفع	٤
			٠.٢٦- ٠.٣٢	متوسط	٣
			٠.٣٣- ٠.٤	منخفض	٢

			٠.٤١ -٠.٥٧	منخفض جدا	١
٩-	كثافة التراكيب الخطية	متر/ كم٢	٠.٠ -٠.١٢	مرتفع جدا	٥
			٠.١٣ -٠.٢٣	مرتفع	٤
			٠.٢٤ -٠.٣٦	متوسط	٣
			٠.٣٧ -٠.٥٦	منخفض	٢
			٠.٥٧ -٠.٨٣	منخفض جدا	١

المصدر: عمل الباحث

خريطة (٣) تقييس العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية



المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج (GIS).

٢- تحديد البدائل (Identifying Alternatives):

يتم تحديد البدائل اعتمادا على المقياس الذي وضعه (Thomas Saaty)[vii]، والذي يتضمن العلاقة بين مجموعة من العوامل مع مجموعة من البدائل في شكل هرمي، اذ ان لكل عامل مجموعة بدائل قابلة للمقارنة الزوجية مع عامل اخر. وتقاس هذه البدائل بمقياس خاص وضعه Saaty يتراوح من (١-٩). جدول (٣). لذا تعد طريقة (AHP) عملية تخصيص نقاط رقمية لترتيب كل بديل بالاعتماد على مقدار مساهمته في

تحقيق معايير متخذ القرار. وقد سميت بطريقة التحليل الهرمي كونها تتكون من عدة مستويات، فمثلاً الهدف من بحثا هو الكشف عن مستويات استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل وتباياناتها المحلية وسيكون هذا الهدف عند المستوى الأول من الهرم، وعند المستوى الثاني من الهرم اهم العوامل التي تساهم في تحقيق الهدف، وفي المستوى الثالث والأخير نحدد كيف أن كل بديل من هذه البدائل يسهم في كل عامل من هذه العوامل.

جدول (٣) المقياس الترتيبي للأهمية بطريقة AHP

البدائل	درجة الاهمية
اهمية قليلة	1
اهمية متوسطة	3
اهمية كبيرة	5
اهمية كبيرة جدا	7
اهمية مطلقة	9
درجات بينية بين الاحكام	2,4,6,8

المصدر: Thomas L. Saaty, (2008), Decision making with the Analytic Hierarchy process, International journal of services, Vol. 1, No, 1,p.86.

٣- وزن العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية:

تم الحكم على اهمية كل عامل من ناحية تأثيره على استقرارية المنحدرات الارضية من خلال استمارة استبيان وزعت على (30) خبير لإبراز الاهمية النسبية لكل عامل بشكل دقيق و ايجاد نتائج غير خاضع للأحكام الشخصية. وبعد افراغ استمارات الاستبيان كانت النتائج كما في جدول (٤). حيث ان الدور الاكبر اعطي لعامل الانحدار وجاء (بأهمية مطلقة) وبقيمة (٩) من مقياس (AHP)، ذلك لما له من تأثير كبير وواضح على استقرارية المنحدرات الارضية، يليه كل من عامل الارتفاع والعامل الجيولوجي وبدرجة اقل (اهمية كبيرة جدا) وبقيمة (٧) من المقياس ذاته. وجاء عاملي التربة والغطاء النباتي بدرجة (اهمية كبيرة) بقيمة (٥) من المقياس. واقل العوامل اهمية جاءت عوامل التعرية الاخدودية وكثافة المجاري المائية وكثافة التراكيب الخطية (اهمية متوسطة) بقيمة (٣) من مقياس (AHP). ولم يعطي الخبراء أي من العوامل المستخدمة في البحث (اهمية قليلة). مما يدل على الدقة والعناية في اختيار العوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية المستخدمة ضمن البحث.

جدول (٤) القيم التقديرية للأهمية النسبية لكل عامل

ت	العامل	القيمة التقديرية لأهمية العامل
1-	الانحدار	9
2-	الارتفاع	7
3-	الجيولوجيا	7
4-	التربة	5
5-	الغطاء النباتي	5
6-	الرطوبة الطبوغرافية	5
7-	التعرية الاخدودية	3
8-	كثافة المجاري	3
9-	كثافة التراكيب الخطية	3

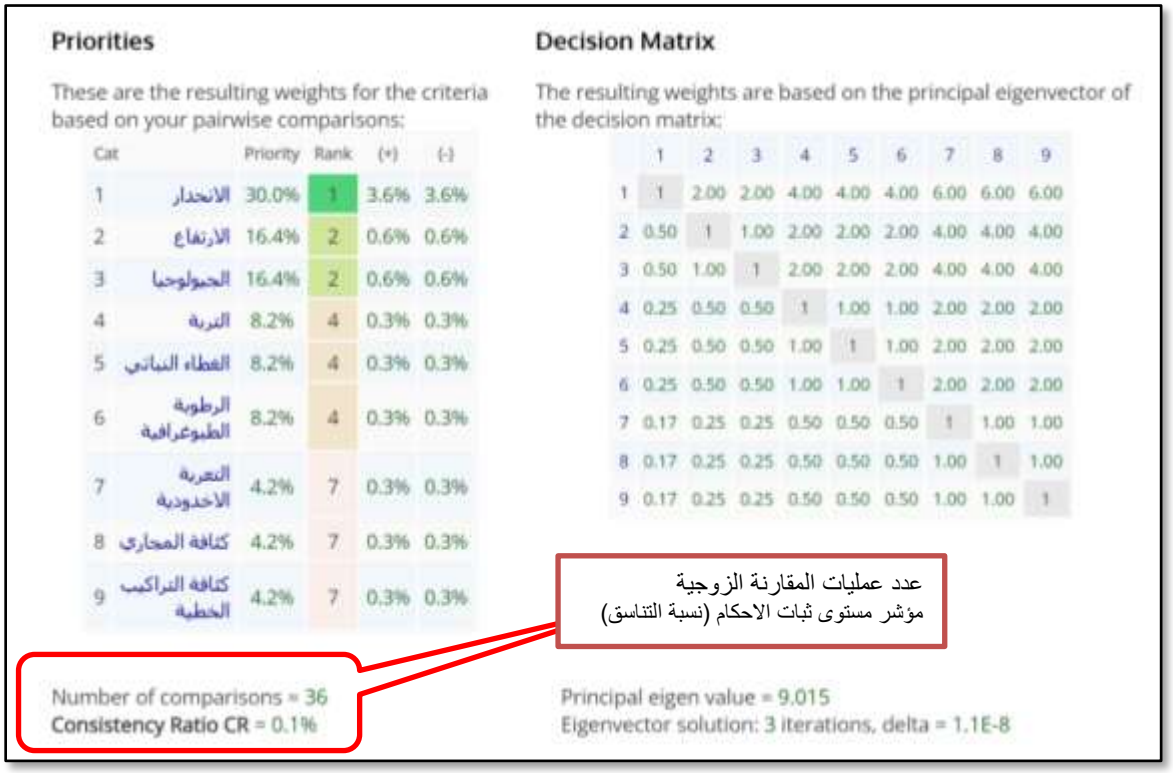
المصدر: استمارة الاستبيان الموزعة على الخبراء

٤- بناء مصفوفة المقارنة الزوجية:

هذه المرحلة تختص بتحويل الأحكام (البدائل) التي أقرها الخبراء المشاركين في الاستبانة إلى أوزان تدخل في عملية جبر الخرائط. يتم ذلك من خلال بناء مصفوفة المقارنة الزوجية لكل معيار باستخدام بديليهما. بمعنى آخر، كل معيار يحصل على درجة من الأهمية تم تحديدها من قبل الخبراء المشاركين في الاستبانة. وقد تم اجراء (٣٦) عملية مقارنة زوجية بين العوامل داخل المصفوفة. شكل (١).

تهدف المقارنة الزوجية إلى تسجيل الفرق بين قيمة الأهمية الكبرى لمعيار ما وقيمة الأهمية الصغرى لمعيار آخر. فعلى سبيل المثال: إذا كانت قيمة المعيار الأول نحو ٩ درجات بمقياس (AHP) وكانت قيمة المعيار الثاني نحو ٧ درجات بنفس المقياس، فإن المعيار الأول يُعتبر أهم من المعيار الثاني بفارق ٢ درجة بمقياس (AHP) عند مقارنة المعيار الأول بالثاني. وعلى الجانب الآخر، عند مقارنة المعيار الثاني بالأول، فإن الفرق بينهما يكون مقلوب قيمة الأهمية، مما يجعله مساوياً لـ ١/٢.

شكل (١) العمليات الحسابية ومستوى الثبات ضمن المصفوفة



المصدر: منصة (AHP Online system) الموجودة على الرابط: https://bpmsg.com/ahp/-

تم بناء مصفوفة المقارنة الزوجية للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية جدول (٥) باستخدام موقع الكتروني موجود على منصة (AHP Online system) [**] . حيث يمكن من خلال هذا الموقع اتمام عملية بناء المصفوفة بطريقة الية.

جدول(٥) مصفوفة المقارنة الزوجية للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية

	الانحدار	الارتفاع	الجيولوجيا	التربة	الغطاء النباتي	الرطوبة الطبوغرافية	التعرية الاخدودية	كثافة المجاري	كثافة التراكيب الخطية
الانحدار	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠	٦.٠٠	٦.٠٠	٦.٠٠
الارتفاع	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠
الجيولوجيا	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠	٤.٠٠
التربة	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠
الغطاء النباتي	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠
الرطوبة الطبوغرافية	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠	٢.٠٠
التعرية الاخدودية	٠.١٧	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠
كثافة المجاري	٠.١٧	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠
كثافة التراكيب الخطية	٠.١٧	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٥٠	٠.٥٠	٠.٥٠	١.٠٠	١.٠٠	١.٠٠

المصدر: منصة (AHP Online system) الموجودة على الرابط: https://bpmsg.com/ahp/-

٥- استخراج مؤشر مستوى ثبات الاحكام (نسبة التناسق):

الغاية من استخراج نسبة التناسق هي معرفة مدى ثبات الاحكام التي جمعت بالاستبانة من الخبراء، والتحقق من النتائج النهائية. تبعا لذلك وضع Saaty نسبة تناسق قيمتها ٠.١ كحد فاصل للحكم على مستوى ثبات الاحكام في المصفوفة، فكلما كانت قيمة التناسق اقل من ٠.١ تكون الاحكام في المصفوفة اقرب الى الثبات وعدم التناقض، بينما اذا تجاوزت نسبة التناسق قيمة ال ٠.١ سوف ترفض الاحكام وتعاد مرحلة الاستبيان مرة اخرى[viii]. وعند بناء مصفوفة المقارنة الزوجية في منصة (AHP Online system) تم الحصول على نسبة تناسق مقدارها (٠.١) شكل (١). حيث تدل هذه النسبة على درجة ثبات مقنعة (Satisfactory).

٦- استخلاص خريطة مستويات استقرارية المنحدرات الارضية:

نستخرج الاهمية المطلقة من خلال الاهمية النسبية حيث تقسم الاهمية النسبية على ١٠٠ لينتج لنا الاهمية المطلقة جدول (٦) لغرض ادخالها في عملية جبر الخرائط ضمن بيئة برمجية (Arc GIS Desktop).

جدول (٦) الاوزان النسبية والمطلقة للعوامل المؤثرة على استقرارية المنحدرات الارضية

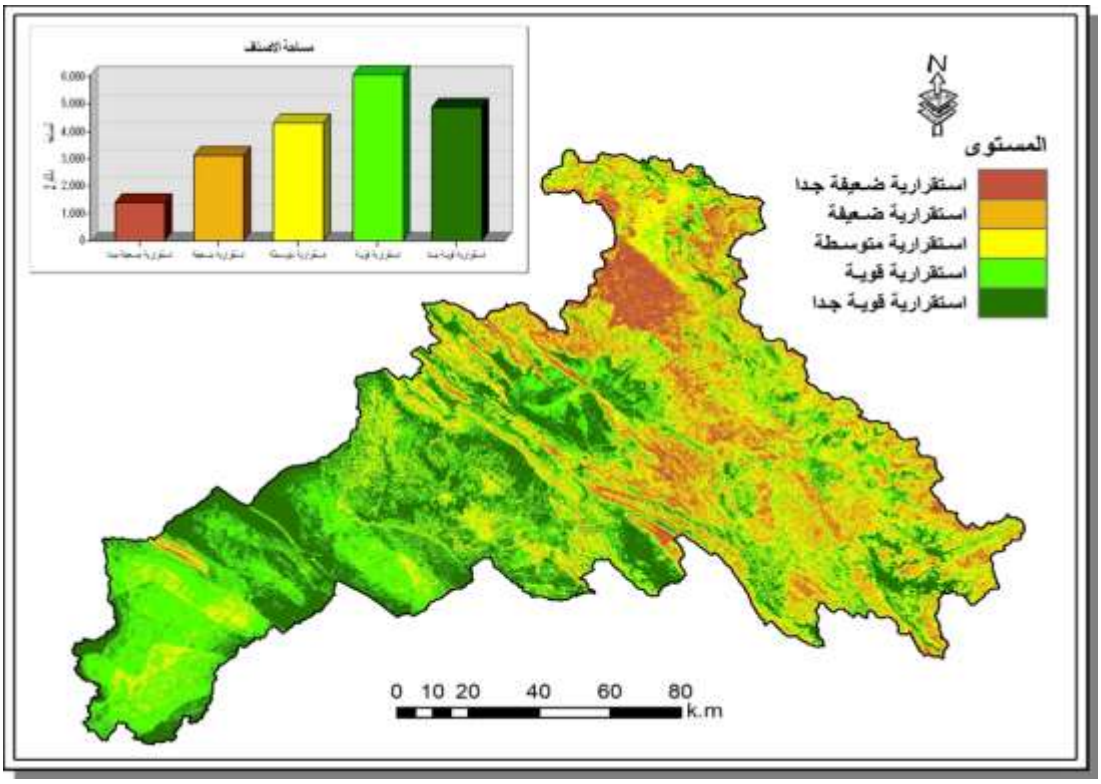
ت	العامل	الوزن النسبي %	الوزن المطلق
1	الانحدار	30.00%	0.3
2	الارتفاعات	16.40%	0.16
3	الجيولوجيا	16.40%	0.16
4	التربة	8.20%	0.083
5	الغطاء النباتي	8.20%	0.083

6	الرطوبة الطوبوغرافية	8.20%	0.083
7	التعرية الاخدودية	4.20%	0.044
8	كثافة المجاري	4.20%	0.044
9	كثافة التراكيب	4.20%	0.043
المجموع		100.00%	1

المصدر: عمل الباحث

وبالتالي الحصول على النتائج النهائية لتقيس العوامل والخروج بالخريطة النهائية التي توضح مستويات تأثير العوامل على استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل، خريطة (٤) جدول (٧).

خريطة (٤) مستويات استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل



المصدر: عمل الباحث اعتماداً

على عمليات التحليل الهرمية (Analytical Hierarchy process) (AHP).

جدول(٧) درجات استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل

ت	نوع الاستقرارية	المساحة / كم٢	النسبة المئوية %
1-	استقرارية ضعيفة جدا	1402.93	7.08
2-	استقرارية ضعيفة	3140.7	15.86
3-	استقرارية متوسطة	4307.95	21.75
4-	استقرارية قوية	6076.42	30.68
5-	استقرارية قوية جدا	4875.75	24.62
المجموع		19803.75	100

المصدر: عمل الباحث اعتماداً على خريطة (٤).

المحور الثالث: النتائج و المناقشة:

تبين من خلال الخريطة (٤) والجدول (٧) ما يلي:

١- مناطق ذات استقرارية ضعيفة جداً:

تنتشر المناطق ذات الاستقرارية الضعيفة جداً شمال وشرق حوض الزاب الأسفل، خاصة بالقرب من الحدود العراقية الايرانية، حيث وجود الارتفاعات العالية والانحدارات الكبيرة نظراً لتضرس المنطقة ووجود السلاسل الجبلية. عليه تعد هذه المناطق الأكثر عرضة لعدم الاستقرار وزيادة حركة مواد السطح بسبب مجموعة العوامل الطبيعية المؤثرة والمتفاعلة فيما بينها مثل الارتفاعات الشاهقة، والانحدارات الكبيرة، وكثافة الشبكة المائية وارتفاع كثافة التراكيب الخطية خريطة (١). ومن ملاحظة الخريطة نجد ايضاً ان هذه المناطق تكون كثيفة الغطاء النباتي فعلى الرغم من دور الغطاء النباتي في تثبيت التربة. الا أن هذه المناطق تعد الأكثر عرضة لحركة مواد السطح وتوصف بانها الاقل استقرارية في المنطقة. وهذا يمكن تفسيره بطريقتين:

الاولى: تأثير العوامل الطبيعية مثل الانحدار والارتفاع يفوق تأثير الغطاء النباتي، مما يدل على عدم تساوي فعل العوامل في حوض نهر الزاب الأسفل.

الثانية: يمكن أن يعمل الغطاء النباتي كعامل هدم أحياناً، حيث تساعد جذور الأشجار في تفكيك الصخور الصلبة والتربة الجافة، مما يساهم في عدم استقرار المنحدرات الارضية.

تغطي هذه المناطق مساحة (١٤٠٢.٩) كم٢، أي ما يعادل (٧.٠٨%) من اجمالي مساحة حوض نهر الزاب الأسفل، وتمثل أقل فئة من فئات استقرارية المنحدرات في المنطقة. لذلك فان المناطق ذات الاستقرارية الضعيفة جداً في حوض الزاب الأسفل تشكل تهديدا كبيرا بسبب تعرضها لحركة مستمرة في مواد السطح والانهيارات الأرضية، نتيجة العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة.

٢- مناطق ذات استقرارية ضعيفة:

تغطي هذه المناطق مساحة واسعة تبلغ (٣١٤٠.٧) كم٢، أي ما يقارب (١٥.٨٦%) من اجمالي المنطقة، غالبًا ما توجد هذه المناطق بالقرب من المناطق ذات الاستقرارية الضعيفة جدًا، وتخضع لنفس المعايير والعوامل التي تسهم في عدم الاستقرار. ومع ذلك، تتميز هذه المناطق بانتشار أوسع وأكبر ضمن مساحة الحوض. تعاني هذه المناطق من حركة أقل لمواد السطح مقارنة بالفئة الأولى، ولكنها لا تزال عرضة لهذه الظاهرة بسبب تأثير العوامل الجيومورفولوجية المشتركة.

٣- مناطق ذات استقرارية متوسطة:

تنتشر المناطق ذات الاستقرارية المتوسطة بشكل متفرق في أنحاء مختلفة من منطقة الدراسة، حيث تغطي مساحة تقدر بـ (٤٣٠٧.٩٥) كم٢، أي ما يعادل (٢١.٧٥%) من اجمالي مساحة حوض نهر الزاب الأسفل. تظهر هذه الفئة بشكل رئيسي في شمال ووسط وشرق المنطقة، حيث تتفاعل العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة على استقرارية المنحدرات. تتواجد ضمن اراضي هذه الفئة الانحدارات الكبيرة والارتفاعات العالية التي تساهم

في ضعف استقرار المنحدرات، لكن في الوقت نفسه، تتواجد في هذه المناطق ترب صخرية وتكاوين جيولوجية قديمة مع تدخلات لصخور نارية تعزز استقرار المنحدرات. عليه يمكن ملاحظة أن هذه الفئة تمثل نتيجة لتفاعل مجموعة من العوامل الطبيعية، حيث ان تأثير العوامل لا يكون حصرياً أو متفوقاً بشكل كبير، مما يؤدي إلى توليد مناطق ذات استقرارية متوسطة. كما يمكن القول انه إذا كانت بعض هذه العوامل موجودة بشكل منفرد أو بنسبة أكبر، لكانت المناطق تميل الى أن تكون ذات استقرارية ضعيفة جداً أو قوية جداً، حسب العوامل السائدة. لكن بتواجد هذه العوامل مجتمعة وبنفس المكان جعل ذلك المنطقة تمتاز بكونها ذات استقرارية متوسطة بسبب تفاعل العوامل فيما بينها.

٤- مناطق ذات استقرارية قوية:

المناطق ذات الاستقرارية القوية تشغل أكبر مساحة من بين مستويات استقرار المنحدرات الأرضية في حوض نهر الزاب الأسفل، حيث تبلغ مساحتها (٦٠٧٦.٤٢) كم٢، ما يعادل (٣٠.٦٨%) من اجمالي مساحة الحوض. تنتشر هذه المناطق في معظم أنحاء منطقة الدراسة، لكنها تتركز بشكل أساسي في أقصى الجنوب، حيث تسود الأراضي السهلية ذات الانحدارات الطفيفة. وعلى الرغم من وجود عوامل تساعد على عدم الاستقرار في نفس المناطق مثل قلة مؤشر الغطاء النباتي، ووجود كثافة في المجاري المائية والتراكيب الخطية، وارتفاع مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية، وانتشار التكاوين الجيولوجية الأقل صلابة التي تعود للزمن الرابع، خريطة (١) إلا أن هذه المناطق تتمتع باستقراريه قوية. وهذا ما يؤكد صحة البيانات المستخلصة من آراء الخبراء عبر استمارات الاستبيان السابقة، ويعزز دقة الأوزان المستخدمة في التحليل. حيث يتضح أن تأثير عوامل الانحدار والارتفاعات له دور أكبر في تعزيز استقرار المنحدرات، مقارنة بتأثير كثافة المجاري المائية والتراكيب الخطية ومؤشر الرطوبة الطوبوغرافية.

٥- مناطق ذات استقرارية قوية جداً:

المناطق ذات الاستقرارية القوية جدًا انتشرت على مساحات واسعة ضمن حوض نهر الزاب الأسفل، حيث احتلت ثاني أكبر مساحة في المنطقة بواقع (٤٨٧٥.٧٥) كم٢، أي ما يعادل (٢٤.٦٢%) من إجمالي مساحة الحوض. هذه المساحات الكبيرة تتوزع في معظم أجزاء الحوض، لكنها تتركز بشكل خاص في المناطق الوسطى، حيث تسود الأراضي السهلية التي تتميز بارتفاعات وانحدارات منخفضة وتربة طينية كرومية. كما أن هذه المناطق تشهد مؤشر غطاء نباتي منخفض وقلة في كثافة المجاري المائية والتراكيب الخطية، مما يشير إلى تواجد أغلب العوامل التي تساهم في استقرار المنحدرات الأرضية مجتمعة في هذه المناطق. هذا التوافق بين العوامل المختلفة يجعل هذه المناطق الأكثر استقراراً في الحوض وتظهر هذه المناطق بشكل واضح شمال قضاء الدبس في محافظة كركوك.

يضيف هذا البحث دليلاً اضافياً على أهمية العوامل الجيومورفولوجية في دراسة استقرارية المنحدرات الارضية، مما يساهم في تعزيز المعرفة العلمية في هذا المجال ويتوافق مع العديد من الدراسات السابقة التي سلطت الضوء على أهمية معظم هذه العوامل. عليه تتماشى العوامل الجيومورفولوجية المختارة التي تم التحقق من تأثيرها في هذا البحث مع الدراسات السابقة.

من خلال ملاحظة خريطة (٤) وجدول (٧) نجد ان اغلب اجزاء ومناطق حوض نهر الزاب الاسفل هي اراضي تميل الى الاستقرارية بالنسبة لحركة مواد سطح الارض حيث جاءت (٧٧.٠٥%) من منطقة الدراسة باستقراريه متوسطة الى قوية وقوية جداً. واقل من ربع منطقة الدراسة وبما يعادل (٢٢.٩٤%) جاءت باستقراريه ضعيفة الى ضعيفة جداً.

يعود ذلك الى الطبيعة الجيومورفولوجية لسطح الارض ضمن حوض نهر الزاب الاسفل التي تميل الى السهلية في الكثير من اجزاءها عدا الاجزاء الشمالية والشرقية منها، فضلا عن طبيعة التكاوين الجيولوجية القديمة والتربة الصلبة وضعف مستويات التعرية الاخدودية وكثافة التراكيب الخطية التي ساعدت على ذلك. عليه من الضروري استغلال المناطق ذات الاستقرارية القوية والقوية جداً في مختلف الانشطة البشرية مثل مد الطرق وبناء المدن والمشاريع السياحية والصناعية والخدمية نظراً لمستوى الامان العالي الموجود في هذا النوع من الاراضي. في المقابل، يجب مراقبة المناطق ذات الاستقرارية الضعيفة والضعيفة جدًا واخذ الاحتياطات اللازمة عند استغلالها بأنشاء الطرق والمشاريع الخدمية الاخرى ويمكن تعزيز سبل الامان في هذه المناطق، من خلال بناء الاسيجة و وضع الحواجز الكونكريتية او الحجرية او السلكية او مد الشبكات على السفوح او تسوية و تعديل المنحدرات لتقليل انحدارها من خلال قشط المناطق المرتفعة ودفن المناطق المنخفضة او عمل مصاطب صخرية تستقر عليها الكتل الصخرية المتساقطة من الاعلى[ix].تعتبر هذه الإجراءات ضرورية للحيلولة دون وقوع خسائر بشرية او مادية في مثل هذه المناطق التي تعد خطرة على الاستخدامات البشرية.

المحور الرابع: الاستنتاجات والمقترحات:

١- الاستنتاجات:

١. أظهرت نتائج الدراسة أن العوامل الجيومورفولوجية تلعب دوراً حاسماً في تحديد استقرارية المنحدرات، وهو ما يتوافق مع العديد من الدراسات السابقة في هذا المجال.

٢. تشير الدراسة إلى أن فهم العوامل الجيومورفولوجية وطبيعة عملها في التأثير على استقرارية المنحدرات الارضية في حوض نهر الزاب الاسفل ضروري لتقييم المخاطر الارضية وتخطيط الاستخدام الأمثل للمنطقة.

٣. كشفت الدراسة ان تأثير العوامل الجيومورفولوجية غير متساوي. حيث تتفاعل وتتنافس العوامل فيما بينها للتأثير على الظواهر. وبذلك تتفوق بعضها مثل الانحدار والارتفاع على غيرها من العوامل في مستوى تأثيرها على استقرارية المنحدرات الارضية.

٤. تبين من الدراسة أن العوامل الجيومورفولوجية تلعب دوراً حاسماً في تحديد استقرارية المنحدرات. فمثلاً، الارتفاعات الشاهقة والانحدارات الكبيرة وكثافة التراكيب الخطية تساهم في زيادة عدم الاستقرار، بينما تساعد التربة الصلبة والغطاء النباتي الكثيف على زيادة الاستقرار.

٥. نسبة (٧٧.٠٥%) من اجمالي حوض نهر الزاب الاسفل هي مناطق ذات استقرارية متوسطة الى قوية جداً. بينما تتميز اقل من ربع منطقة الدراسة وبما يعادل (٢٢.٩٤%) باستقرار ضعيف إلى ضعيف جداً.

٦. أظهرت الخرائط والتحليلات والجداول النهائية أن توزيع استقرار الأراضي في حوض نهر الزاب الأسفل غير متساوي. حيث تنتشر المناطق ذات الاستقرار المتوسط الى القوي جداً في الجنوب والوسط، وذلك بسبب العوامل الجيومورفولوجية التي تعزز استقرار السطح، مثل سهلية التضاريس، قلة الانحدارات، وصلابة التربة. في المقابل، تتركز المناطق ذات الاستقرار المنخفض والمنخفض جداً في الأجزاء الجبلية والمنحدرة من الحوض، نتيجة الانحدارات الكبيرة، الارتفاعات العالية.

٧. أثبتت الدراسة فعالية طرائق تحليل القرار متعدد المعايير (AHP) في اتخاذ قرارات مدروسة وتقليل احتمالية الاختيار غير الصحيح، فهي ببساطة تقوم بتحويل عملية اتخاذ القرار إلى خطوات منطقية، وتساعدك على تقييم كل خيار بشكل عادل ومنصف.

٢- المقترحات:

١. بالنظر إلى وجود مساحات شاسعة ضمن حوض نهر الزاب الأسفل تتمتع باستقراريه متوسطة إلى قوية جداً، يمكن استغلال هذه الأراضي في أنشطة اقتصادية متنوعة مثل الزراعة، والصناعة، والسياحة، نظراً لمستوى الأمان العالي الذي تتمتع به هذه الاراضي من ناحية استقرار المنحدرات.

٢. تجنب انشاء المباني والمنشات الحيوية في المناطق المصنفة ذات استقرارية ضعيفة جداً أو ضعيفة، حيث تزداد فيها احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية وحركات مواد السطح.

٣. ينبغي توجيه اهتمام خاص إلى المناطق ذات الاستقرارية المنخفضة جداً، حيث تستدعي الحاجة إلى اتخاذ تدابير وقائية للحد من المخاطر الجيومورفولوجية. يمكن تحقيق ذلك من خلال اجراء دراسات جيوتقنية مفصلة، وتطبيق تقنيات تثبيت التربة، وانشاء أنظمة انذار مبكر. فضلا عن مراقبة هذه المناطق بشكل مستمر باستخدام التقنيات الحديثة مثل الاستشعار عن بعد.

٤. اجراء دراسات أكثر تفصيلاً لتقييم استقرارية المنحدرات، مع التركيز على العوامل المؤثرة على المدى الطويل مثل العلاقة بين تغير المناخ واستقرارية المنحدرات، وكذلك دراسة تأثير الأنشطة البشرية مثل الحفر والتعدين على استقرارية المنحدرات.

٥. يجب تحديث الخرائط والبيانات بشكل دوري، وذلك لتتبع التغيرات التي قد تحدث في استقرارية المنحدرات.

الهوامش:

(*) 1- Jiancong, Xu. (2013). Analytic hierarchy process for assessing factors influencing the stability of soil slopes reinforced with piles. Environmental Earth Sciences, doi:10.1007/S12665-013-2236-Z

2- Ma, Jun. (2011). A Study of the Effect Factor on Slope Stablility. Research of Soil and Water Conservation,

3- Shu, Lian, Wen., Hai, Bin, La., Chang, Zhong, Wang. (2012). Analysis of Influence Factors of Slope Stability. Applied Mechanics and Materials, 34-38. doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.256-259.34

4- L.C., Li., Shao, Hua, Li. (2013). Numerical Investigation on Factors Influencing the Time-Dependent Stability of the Rock Slopes with Weak Structure Planes. Applied Mechanics and Materials, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.353-356.177

(i) Wu, Q., Yong, R., Fang, K., & Wen, T. (Eds.). (2024). Slope Stability Analysis and Landslide Disaster Prevention. *Sustainability*. Retrieved from: https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/slope_stability_analysis

(ii) Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (4th ed.). Spon Press, Taylor & Francis Group, Institution of Mining and Metallurgy. London and New York. Page 25.

(iii) Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S., & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *13*(11), 2815-2831. p2820.

(iv) Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S., & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *13*(11), 2815-2831. p2820.

(v) مو سليم حسين، التحليل المتعدد المعايير أداة فعالة في اتخاذ القرارات الإدارية، المجلة الجزائرية للاقتصاد والادارة، العدد ٠٥-، افريل، ٢٠١٤، ص: ٤٢.

(vi) فينيش كوثر، دور أسلوب النمذجة متعددة المعايير المساعدة على اتخاذ القرار في القطاع البنكي، اطروحة دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، قسم العلوم الاقتصادية، جامعة الجزائر ٣، ٢٠١٨-٢٠١٩، ص:٤٢.

(vii) Thomas L. Saaty, (2008), Decision making with the Analytic Hierarchy process, International journal of services, Vol. 1, No, 1,p.85.

(**) موقع موجود على شبكة الانترنيت العالمية على الرابط : https://bpmsg.com/ahp/-

(viii) عمر عبدالله اسماعيل القصاب، تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الارض قضاء سهل اربيل انموذجا، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، جامعة الموصل- كلية التربية للعلوم الانسانية، ٢٠٢١م، ص:١٩٣.

(ix) خلف حسين الدليمي، الجيومورفولوجيا التطبيقية علم شكل الارض التطبيقي، الطبعة الاولى، الاهلية للنشر والتوزيع، عمان- الاردن، ٢٠٠١م، ص: ١٢٧.

المصادر:

1. **Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S., & Tofani, V.** (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 13*(11), 2815-2831. https://doi.org/10.5194/nhess-13-2815-2013
2. **Finesh, K.** (2018-2019). The Role of Multi-Criteria Decision-Making Modeling in the Banking Sector (Doctoral dissertation). Faculty of Economic and Commercial Sciences and Management Sciences, Department of Economic Sciences, University of Algiers 3, p. 42.
3. **Hoek, E., & Bray, J. W.** (1981). *Rock slope engineering* (4th ed.). Spon Press, Taylor & Francis Group, Institution of Mining and Metallurgy. London and New York, p. 25.
4. **Hussein, M. S.** (2014). Multi-Criteria Analysis: An Effective Tool in Administrative Decision-Making. *Algerian Journal of Economics and Management*, Issue 05, April, p. 42.
5. **Jiancong, X.** (2013). Analytic hierarchy process for assessing factors influencing the stability of soil slopes reinforced with piles. *Environmental Earth Sciences*. https://doi.org/10.1007/S12665-013-2236-Z
6. **Li, L. C., Shao, H., & Li, H.** (2013). Numerical Investigation on Factors Influencing the Time-Dependent Stability of the Rock Slopes with Weak Structure Planes. *Applied Mechanics and Materials*. https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.353-356.177
7. **Ma, J.** (2011). A Study of the Effect Factor on Slope Stability. *Research of Soil and Water Conservation*.
8. **Omar Abdullah Ismail Al-Qassab.** (2021). Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Cartographic Modeling for Land Use: A Case Study of Erbil Plain (Doctoral Dissertation, unpublished). University of Mosul - College of Education for Humanities, p. 193.
9. **Saaty, T. L.** (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy process. *International Journal of Services*, Vol. 1, No, 1, p. 85.
10. **Shu, L., Wen, H. B., La, C. Z., & Wang, H. B.** (2012). Analysis of Influence Factors of Slope Stability. *Applied Mechanics and Materials*, 34-38. https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.256-259.34
11. **Wu, Q., Yong, R., Fang, K., & Wen, T. (Eds.).** (2024). *Slope Stability Analysis and Landslide Disaster Prevention. Sustainability*. Retrieved from https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/slope_stability_analysis
12. **Hussein Al-Dulaimi.** (2001). *Applied Geomorphology: The Science of Applied Landforms* (1st ed.). Al-Ahliya for Publishing and Distribution, Amman-Jordan, p. 127.
13. **Website**: BPMSG. (n.d.). Available at: https://bpmsg.com/ahp/

مصادر الخرائط:

1. **Digital Elevation Model (DEM)** with a resolution of 30 meters.

2. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.** (2003). Version 3.6, completed January 2003.
3. **Geological map of Iraq, scale (1:1,000,000).** (1986). Ministry of Industry and Minerals, General Corporation for Minerals, Directorate General of Geological Survey and Mining Investigation, Baghdad. First edition, prepared by Saad Zahir Jassim, Dikran Hakoub Hakoubian, Hisham Abdul-Jabbar Al-Hashimi.
4. **MAP SHOWING GEOLOGY, OIL AND GAS FIELD, AND GEOLOGIC OF IRAN, SCALE 1:2500000.** (2018). INC (ESRI), Digitally compiled by R. M. Pollastro, F. M. Persits, and D. W. Steinshouer.
5. **Omar Abdullah Ismaeel, et al.** (2021). Developing an active tool in GIS to determine gully erosion levels depending on the Bergsma method. *ORAC Journal for the Human Sciences*, Issue Three, Part 2, Volume Fourteen.
6. **(Landsat 8) (OLI).** Retrieved from https://earthexplorer.usgs.gov/