



تقييم ثبات المنحدر الموازي للطريق الجبلي البيب شمالي غرب ليبيا.

*أبو القاسم الأخضر¹ و عبد الباسط شلفوح²

¹قسم الهندسة الجيولوجية، كلية الهندسة جادو، جامعة نالوت، جادو، ليبيا
²قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الزاوية، ليبيا

الكلمات المفتاحية:

القوة الدافعة
ثبات المنحدر
زاوية الإحتكاك
قوة الوزن
معامل الأمان

الملخص

تعتبر عملية مراقبة ودراسة ثبات المنحدرات الموازية للطرق الجبلية من الأمور بالغة الأهمية كونها تسهم في تقييم ثبات المنحدرات والمواد المكونة لها، وفي الغالب تفتقر ليبيا الى مثل هذه الدراسات وبخاصة في الطرق الجبلية بالجبيل الغربي، واستشهد في هذا البحث بالطريق الجبلي البيب والذي تبين وجود منطقة ضعف تمثلت في وجود شواهد لحدوث إنهيار مستوي ويشير اتجاه مستوى الإنهيار الى أنه في حال حدوث إنهيار فإن المواد المنهارة ستتحرك باتجاه مسار الطريق الجبلي مما قد يتسبب في حدوث أضرار مادية وبشرية أو إغلاق لمسار الطريق فكان الهدف العام الهدف الرئيسي هو تقييم ودراسة ثبات المنحدر الموازي للطريق وتحليل استقراره باستخدام الدراسة العقلية والعملية واستخدام برنامج (RocPlane) وأهم النتائج المتحصل عليها تمثلت في إن التأثير الفعال لقيم التماسك و الاحتكاك والكثافة يتضح عند إدخال البيانات كمتغيرات للبرنامج فقد أصبحت قيم معامل الأمان تقل لتسجل أدنى انخفاض لها عندما بلغت نسبة المحتوى المائي 34 % بمعامل أمان 0.5 مع التناقص الواضح في قيم القوة المقاومة من 248.596 t/ft في المحتوى المائي 8.2 % إلى 38.328 t/ft عندما بلغت قيمة التماسك 3.1 مع ملاحظة حدوث تغير في كل من القوة الدافعة، وقوة الوزن بمعامل الأمان 0.59 عند 40 ملم.

Evaluation of the parallel slope stability of Albieb Mountain Road -NW Libya.

*Aboalgasem Alakhdar^a, Abd albasit Shalfouh^b

^aGeological Engineering Department, Faculty of Engineering jadu, Nalut University, Libya

^bGeography Department, Faculty of Arts, University of Zawiyah, Libya

Keywords:

Driving force
Friction angle
Factor of Safety
Slope stability
Weight force

ABSTRACT

Monitoring and studying the stability of parallel slopes along mountain roads is of paramount importance as it contributes to evaluating the stability of slopes and the materials comprising them. Unfortunately, Libya often lacks such studies, especially in the mountain roads of the Western Mountain area. This research cited the Albieb Mountain Road, which revealed a weak area characterized by signs of potential level collapse. The direction of collapse suggests that if a collapse were to occur, the dislodged materials would move towards the mountain road, potentially causing material and human damages or road closure. The general objective and main goal of this study were to evaluate and study the stability of the slope parallel to the road and analyze its stability using field and laboratory studies, along with utilizing the RocPlane software. The most significant results obtained indicated that the effective impact of cohesion, friction, and density values became apparent when inputting the data as variables into the software. The safety factor values decreased, registering the lowest decrease when the moisture content reached 34% with a safety factor of 0.5, along with a noticeable decrease in the values of resistance strength from 248.596 t/ft at 8.2% moisture content to 38.328 t/ft when the cohesion value reached 3.1. It is noteworthy that changes occurred in both the cohesive strength and weight force with a safety factor of 0.59 at 40 mm.

1. المقدمة

وتأثيرات عوامل التعرية وعمليات التجوية، وقد يتعرض المنحدر لإنهيار لمكوناته، فيتسبب في تعطيل حركة المرور أو تشكل خطراً على حياة

تشهد المنحدرات الموازية لمسارات الطرق الجبلية العديد من الإنهيارات تتنوع بين السقوط والزحف والانزلاق ويعود ذلك إلى عوامل عديدة، منها الجاذبية

*Corresponding author:

E-mail addresses: a.alakhdar@nu.edu.ly, (A. Shalfouh) basthlfwh5@gmail.com

Article History : Received 17 March 2024 - Received in revised form 21 August 2024 - Accepted 21 October 2024

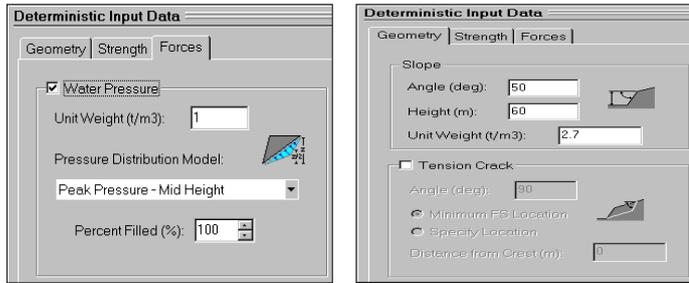
ثلاثة أوزان (4Kg, 8Kg, 16Kg)، و الجدول 2 يوضح أنموذجاً لصفحة Excel والناتج المتحصل عليها من إضافة كمية 10 ملم للعينة.

جدول 2: أنموذج لصفحة Excel ونتائج إضافة كمية 10 mm

Location of sample: Albieb 2024			water content: 8.2%			Date of test 27 / 2/ 2024			
Weight of sample			High of Sample			Side of Sample			Area cm ³
4Kg	8Kg	16Kg	4Kg	8Kg	16Kg	4Kg	8Kg	16Kg	
112.5	132	143.5	2.5	2.6	2.5	36 cm ²	36 cm ²	36 cm ²	36
Loading rate = 0.25 m/min					Load ring constant = 2.1008*10 ⁻³				
Load			Normal Stress (Kpa)			Shear Stress (Kpa)			
4kg	8Kg	16Kg	4kg	8Kg	16Kg	4kg	8Kg	16Kg	
0	0	0	109	218	436	0	0	0	
13	47	102	109	218	436	7.58	27.4	59.5	
22	66	131	109	218	436	12.8	38.5	76.4	
34	85	172	109	218	436	19.8	49.6	100.3	
49	110	234	109	218	436	28.5	64.1	136.5	
66	147	310	109	218	436	38.5	85.7	180.9	
76	167	349	109	218	436	44.3	97.4	203.6	
92	202	393	109	218	436	53.6	117.8	229.3	
113	231	438	109	218	436	65.9	134.8	255.5	
129	250	478	109	218	436	75.2	145.8	278.9	
135	290	520	109	218	436	78.7	169.2	303.4	
150	318	550	109	218	436	87.5	185.5	320.9	

بين القوة الدافعة والمقاومة ويتيح البرنامج إدخال المتغيرات حسب طبيعة الدراسة [10] والشكل 6 يوضح واجهة النظام لبيانات هندسة المنحدر وشكل 7 يوضح القوى الخارجية والمتمثلة في ضغط الماء

ويسجل نموذج الإكسل العلاقة الخطية بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص والشكل 5 يوضح العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص والتي ومن خلالها يتم الحصول على قيم زاوية الاحتكاك والتماسك والجدول 3 يبين قيم التماسك (Cohesion) وزاوية الاحتكاك (Friction Angle) عند إضافة 10 ملم من الماء للعينة.



شكل 6: بيانات هندسة المنحدر شكل 7: واجهة النظام - ضغط الماء

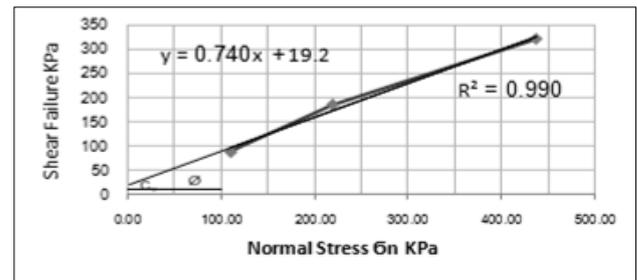
وأعتمد على نموذج قوة موهر كولومبو [10] والذي يمثل العلاقة بين قوة القص لمستوى الإنهيار والضغط الرأسي وفق المعادلة

$$\tau = c + \sigma N \tan \varphi \dots \dots \dots (q1)$$

حيث τ - القوة المقاومة للانزلاق c - التماسك
أن

σN - الضغط الرأسي φ - زاوية لاحتكاك

ونتيجةً للتغير في نسب المحتوى المائي تم إدراج قوة ضغط الماء كقوة مؤثرة على المنحدر فهي تؤثر في مستويين والشكل 8 يوضح التأثير توزيع ضغط الماء عند قاعدة الفاصل الرأسي، وعلى مستوى الإنهيار بين الطبقتين وعند الفاصل الرأسي والجدول 4 يبين نتائج استخدام برنامج (RocPlane).



شكل 5: العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص لعينة طبيعية 10 ملم

أعيد إجراء الاختبارات السابقة على العينة الأصلية عند إضافة كميات مياه (20 ملم، 30 ملم، 40 ملم)، وتتأثر اختبارات القص المباشر على نوع الصخور وخشونة سطح أو امتداده والظروف المؤثرة مثل وجود الماء وضغط المسام [8]، وتجدر الإشارة بأنه وقبل البدء في الدراسات الهندسة الجيولوجية أي عند البدء في تقييم ثبات المنحدرات ينصب التركيز الأساسي على احتمالية الإنهيار معملياً فيتم دراسة سلوك الصخور أو التربة ميكانيكياً بدقة وذلك بدراسة مقاومة الصخور للضغط والقص [9]؛ والهدف الرئيسي من إجراء اختبارات الضغط والقص إيجاد قيم وزاوية الاحتكاك وتماسك للعينة مع التغير في كمية المياه بواسطة جهاز القص والجدول 3 يبين البيانات المتحصل عليها معملياً.

جدول 3: البيانات والنتائج المتحصل عليها من الدراسة المعملية.

Water quantity	10 mm	20mm	30mm	40mm
Water Content %	8.2	14	24	34
Cohesion	19.2 t/m ²	10.5 t/m ²	8.4 t/m ²	3.1 t/m ²
Friction Angle	39.6°	21.4°	19.1°	7.3°
Unit Weight	1.2 g/cm ³	1.5 g/cm ³	1.7 g/cm ³	1.9 g/cm ³

4. تطبيق برنامج روك بلان (RocPlane):

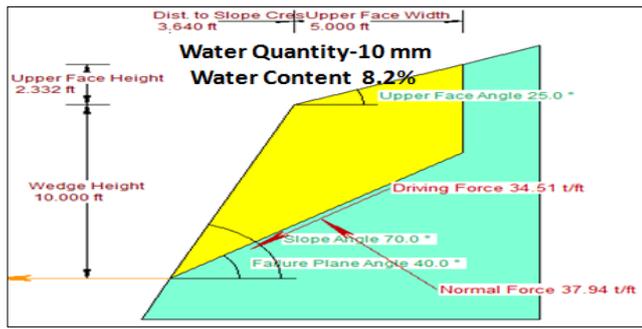
أستخدم البرنامج لتحليل ثبات المنحدر وإمكانية إنهياره، ويسمح البرنامج بتقدير سعة الدعم المطلوبة لتحقيق معامل أمان والذي يحسب بالعلاقة

شكل 8: توزيع ضغط الماء عند مستوى الانزلاق وقاعدة الفاصل [10]

جدول 4: مخرجات برنامج روك بلان (RocPlane)

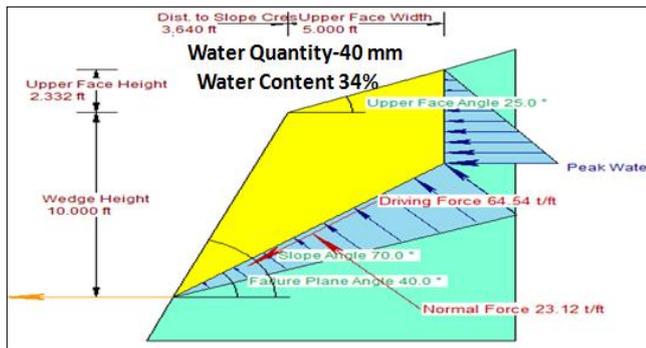
water quantity	10mm	20mm	30mm	40mm
Water Content %	8.2 %	14%	24%	34%
Friction Angle	39.6°	21.4°	19.1°	7.3°
Cohesion	19.2 t/m ²	10.5 t/m ²	8.4 t/m ²	3.1 t/m ²
Normal Force	37.94 t/ft	47.4 t/ft	53.7 t/ft	23.1t/ft

والفواصل والتكهفات الصغيرة مع تداخل للطين مما يساعد الكتلة الصخرية على الاحتفاظ بالماء نسبياً بذلك لا نجد أي تأثير لضغط الماء على المنحدر شكل 11.



شكل 11: محاكاة المنحدر عند محتوى مائي 10%

ما تلبث الكتلة الصخرية أن تصل لمرحلة أقصى تشبع فتخرج المياه المخزنة وبذلك ينقص وزن الكتلة الصخرية ويصبح تأثير قوة الوزن مؤثراً في ثبات المنحدر، وفي هذه الحالة تحديداً حتى لو بلغ التماسك صفر فإن المنحدر لم يحدث له إنهيار وذلك يعود لعدم قدرة صخور الحجر الجيري على الاحتفاظ بالماء، وبذلك نلاحظ أنه وبالرغم من وجود ضغط للماء شكل 12 فإن المنحدر لم ينهار؛ إذا فالمنحدر ثابت تحت تأثير قوة وزن صخور الحجر الجيري.



شكل 12: محاكاة المنحدر عند محتوى مائي 40%

6- الخاتمة

الطريق الجبلي البيب يعد أحد الطرق الجلية الهامة، ولكنه يتعرض لتحديات منها انهيارات المنحدرات الموازية لمساره. ونتيجة لوجود شواهد حدوث إنهيار في الموقع المكون من تداخل صخور الجبس والحجر الجيري، تم إجراء دراسة ميدانية ومحاكاة حاسوبية لتقييم استقرار المنحدر، وتوصلت الدراسة إلى أن محتوى الماء يلعب دوراً حاسماً في استقرار المنحدرات الصخرية، حيث يؤثر على خصائص المواد الصخرية وتفاعلها مع القوى الخارجية لذلك يجب أخذ تأثير التغير في نسب محتوى الماء في الاعتبار عند تقييم ثبات المنحدرات وتصميم إجراءات الحماية الملائمة، ويجب التحكم في مستوى الماء وتصريفه بطرق مناسبة، وتنفيذ إجراءات لتقوية المنحدر وتحسين استقراره وتوصي الدراسة بإجراء اختبارات ومحاكاة حاسوبية عند كميات مياه أعلى من 40 ملم، وتوصي الدراسة أيضاً بضرورة متابعة الموقع وتقييم ثباته وبخاصة بأن الطريق لا يحوي أي أكتاف أو حواجز خرسانية.

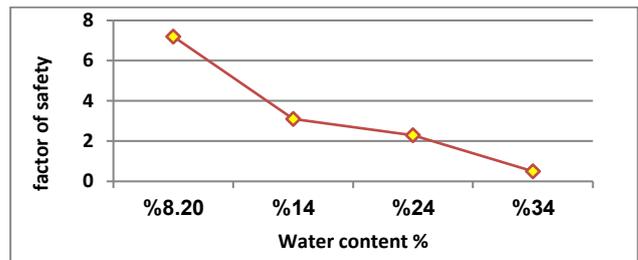
7- المراجع

[1]- Wang, L. Y., Chen, W. Z., Tan, X. Y., Tan, X. J., Yuan, J. Q., & Liu, Q. (2019). Evaluation of mountain slope stability considering the impact of geological interfaces using discrete fractures model. *Journal of Mountain Science*, 16(9), 2184-2202.

Resisting Force	248.5 t/ft	137.8 t/ft	114.2 t/ft	38.3t/ft
Driving Force	34.51 t/ft	43.1t/ft	48.8 t/ft	64.5t/ft
Factor of Safety	7.20	3.19	2.33741	0.59

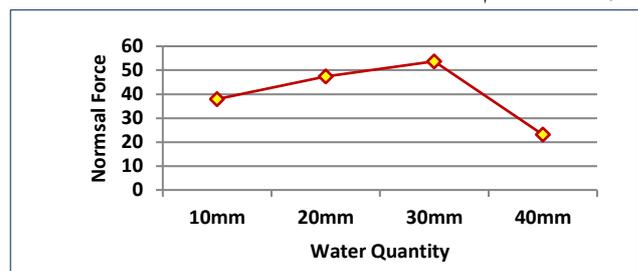
5. مناقشة النتائج

من المتغيرات المهمة التي تؤثر في ثبات المنحدر أو انهياره التغير في قيم التماسك الداخلي وزوايا الإحتكاك والجدول 3 يبين تلك المتغيرات، فالعلاقة المثبتة علمياً أنه كلما ارتفعت كمية المياه المضافة تزداد نسبة المحتوى المائي فقد سجلت كمية مياه 10 ملم محتوى مائي 8.2 % وسجلت فيها أعلى تماسك بقيمة 19.2 t/m² وأعلى قيمة لزوايا الإحتكاك، وبالتالي كانت العينة لها القدرة العالية على مقاومة الإنهيار تحت تأثير الإجهاد المسلط من جهاز القص المباشر لتأخذ العينة في تغيير خصائصها الميكانيكية عندما تغير المحتوى المائي 14%، فقل التماسك إلى 10.5 t/m² صاحبها انخفاض في قيمة زاوية الإحتكاك إلى 21.4°، وحدث التغير في الخصائص الميكانيكية عند إضافة كمية مياه 30 ملم، و40 ملم، فالماء يقوم بتشيت جزيئات داخل العينة ويقلل من القوى الترابطية بينها يصاحبها انخفاض قيم زوايا الإحتكاك بين جزيئات العينة، ويجب التنويه هنا بأن وجود بعض الطين يسهم في الاحتفاظ بالماء مما يتيح الفرصة لتقليل التماسك و الإحتكاك والمساعدة أكثر على الإنزلاق؛ ومن الشكل 9 يتضح أن التأثير الفعال لقيم التماسك وزوايا الإحتكاك والكثافة.



شكل 9: العلاقة بين معامل الأمان والمحتوى المائي %

إذ يتضح عند إدخال البيانات كمتغيرات للبرنامج فقد أصبحت قيم معامل الأمان تقل لتسجل أدنى انخفاض له عندما بلغت نسبة المحتوى المائي 34 % بمعامل أمان 0.5 مع التناقص في قيم واضح في القوة المقاومة من 248.596 t/ft في المحتوى المائي 8.2 % إلى 38.328 t/ft عندما بلغت قيمة التماسك 3.1 جدول 4. مع ملاحظة حدوث تغير في كل من القوة الدافعة، وقوة الوزن الناجم عن التغير وزيادة كمية المياه من 10، 20، 30 وأخيراً 40 ملم بمعامل الأمان 0.59؛ ومن الجدول 4 والشكل 10 نلاحظ تغير قوة وزن الكتلة الصخرية فقد ارتفعت من 37.9438 t/ft عند كمية مياه 10 ملم إلى 47.4298 t/ft عند كمية مياه 20 ملم لتسجل أعلى قيمة 53.7537 t/ft عند كمية مياه 30 ملم وحدث انخفاض مفاجئ وغير متوقع عند تشبع 34% عند إضافة 40 ملم.



شكل 9: العلاقة بين معامل الأمان والمحتوى المائي %

وتفسر ذلك أن صخور الحجر الجيري (ابوغيلان) تتميز بكثرة الشقوق

- [2]- Deline, P., Gruber, S., Delaloye, R., Fischer, L., Geertsema, M., Giardino, M., ... & Schoeneich, P. (2015). Ice loss and slope stability in high-mountain regions. In *Snow and ice-related hazards, risks, and disasters* (pp. 521-561). Academic Press
- [3]- Kamal, A. M., Hossain, F., Ahmed, B., Rahman, M. Z., & Sammonds, P. (2023). Assessing the effectiveness of landslide slope stability by analysing structural mitigation measures and community risk perception. *Natural Hazards*, 117(3), 2393-2418.
- [4]- Abdunaser, K., Swei, G., Bergege, K. & Saeed, M., (2022), The Geologic Contribution To The Mountain Slopes Instability And Its Effect On Rock fall Hazards. A Case Study To The Zintan Road, Jabal Nafusah, Libya, The Fifth Conference for Engineering Science and Technologies Jadu – Libya,20-22, 2022.
- [5]- Hammuda, O. S., Sbeta, A. M., & Worsley, D. (2000). Field Guide To The Mesozoic Succession Of Jabal Nefusah. In *NW Libya: Sedimentary Basins Of Libya-Second Symposium: Geology Of Northwest Libya*.
- [6]- Alakhdar, A., Abudiena, A. (2022). Stability Study Of Sandstone Slope Parallel To The Abu Rashada Mountain Road In Gharyan Area NW Libya. *Journal Of Pure & Applied Sciences*, 21(4), 104-110.
- [7]- Wyllie, D. C., Mah, C. (2004). *Rock slope engineering*. CRC Press, pp. 129-132.
- [8]- Toloukian, A. R., Sadeghi, J., & Zakeri, J. A. (2018). Large-scale direct shear tests on sand-contaminated ballast. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 171(5), 451-461
- [9]- Yokoyama, O.(2020). Evolution of uphill-facing scarps by flexural toppling of slate with high-angle faults. *Geomorphology*, 352, 106977.
- [10]- User's Guide for Rocplane software. Rocscience Inc,(2001). <https://www.rocsience.com/downloads/rocplane/RocPlaneReference.pdf> pp. 1-70.