



تقييم استقرارية الإنقطاعات الصخرية الموازية لطريق الميشار بمنطقة بئر الغنم شمالي غرب ليبيا

أبوالقاسم الأخضر

قسم الهندسة الجيولوجية، كلية الهندسة جادو، جامعة نالوت، ليبيا

الكلمات المفتاحية:

اتزان المنحدرات
الانقطاعات الصخرية
التماسك الداخلي
معامل الأمان
زاوية الاحتكاك

الملخص

قطعت المنحدرات الموازية لطريق الميشار لغرض توسعة الطريق، ونتيجة للتوسعة تكشف انقطاعات صخرية مكونة من حطام صخري، إذ رصدت الزيارات المتكررة لمنطقة بئر الغنم حدوث انهيارات في بعض أماكن تكشف الإنقطاعات الصخرية؛ وتكمن مشكلة البحث في حدوث انهيارات مصدرها الإنقطاعات الصخرية التي تتخلل صخور الجبس، وإن الاستمرار في عدم فهم الأسباب الكامنة وراء حدوث الانهيارات قد ينتج عنها انهيارات مستقبلية تكون نتائجها كارثية تلحق ضرراً محتملاً باستخدام الطريق، فكان الهدف العام تقييم ثبات الإنقطاعات الصخرية باستخدام الدراسة الميدانية والمعملية والتي تم من خلالها حساب قيم التماسك الداخلي وزوايا الاحتكاك وأيضاً محاكاة ثبات المنحدرات باستخدام برنامج روك بلان من خلال دراسة متغيرين بالغى الأهمية أولهما التغير في كمية المياه إذ قيم ثبات الإنقطاعات مع التغير في ثلاث حالات تشبع داخلي (محتوي العينات من المياه) الناتج عن ثلاث كميات للمياه (الطبيعية 30 mm، mm50) وثانيهما التغير في زاوية ميل المنحدر من الزاوية الطبيعية 35° إلى زاوية قطع 80° وأهم النتائج بينت أن قيمة التماسك الداخلي انخفضت من 8.3 t/m² بنسبة تشبع 9.9% إلى 5.2 t/m² بنسبة تشبع 16% لتكون مؤشراً على تأثير التشبع الداخلي بالمياه في التقليل من تماسك مكونات المنحدر، وتبين أن المنحدر حالة ثبات عند زاوية ميل 35° على عكس زاوية القطع 80°، والتي سيطرت فيها القوة الدافعة وانعدمت فيها القوة المقاومة، فحدث الانهيار بمعامل أمان 0 وتوصي الدراسة بضرورة محاكاة الظروف الطبيعية التي تؤثر على المنحدر قبل الشروع في عملية قطع المنحدرات.

Evaluating The Stability Of Parallel Rock Discontinuities Along Al-Mishar Road In The Bir Al-Ghanam Area (NW Libya).

Aboalqasem Alakhdar

Geological Engineering Department, Faculty of Engineering jadu, Nalut University, Libya

Keywords:

Slope Stability
Rock Discontinuities
Factor Of Safety
Internal Cohesion
Friction Angle

ABSTRACT

Parallel slopes along Al-Mishar road were excavated as part of a road expansion project. This excavation revealed rock discontinuities consisting of rock debris. Repeated visits to the area of Bir Al-Ghanam indicated collapses occurring at specific locations where these rock discontinuities were exposed. The main research problem lies in understanding the underlying causes of these collapses, which originate from the rock discontinuities within gypsum rocks. Failure to comprehend these causes may lead to future collapses with potentially disastrous consequences for road users. Therefore, the overall objective of this study was to assess the stability of the rock discontinuities using a combination of field investigations and laboratory analyses. This involved evaluating internal cohesion values, friction angles, and simulating slope stability using RocPlane software. Two significant variables were examined: the variation in water content and the slope inclination angle. Stability values of the rock discontinuities were calculated under three different internal saturation conditions (natural, with 30mm of water, and 50 mm of water). Additionally, the study investigated the impact of changing the slope inclination angle from the natural angle of 35 degrees to a cutting angle of 80 degrees. The key findings revealed that the internal cohesion decreased from 8.3 t/m² at 9.9% saturation to 5.2 t/m² at 16% saturation, indicating the influence

*Corresponding author:

E-mail addresses: a.alakhdar@nu.edu.ly

Article History : Received 29 June 2023 - Received in revised form 16 September 2023 - Accepted 02 October 2023

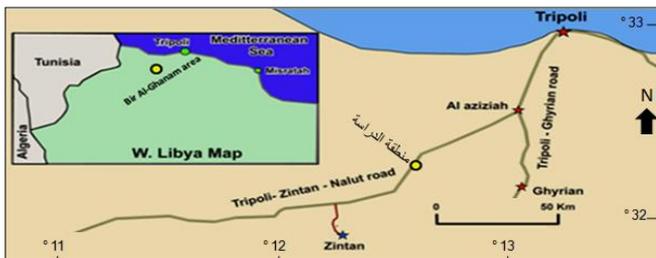
of internal water saturation on reducing the cohesion of slope components. Furthermore, the study showed that the slope remained stable at an inclination angle of 35 degrees, while collapse occurred at the cutting angle of 80 degrees, where the driving force prevailed and the resisting force was absent, resulting in a safety factor of 0. Based on the study's outcomes, it is recommended to simulate the natural conditions affecting the slope before initiating slope cutting operations.

المقدمة



شكل 1: انهيار في أحد الإنقطاعات الصخرية. المصدر: الدراسة الميدانية 2023

ومن أهداف البحث أيضاً دراسة تأثير التغير في كمية المياه على انهيار الصخور بمواضع الإنقطاعات الصخرية تحديداً، وعن أهمية الدراسة فتكمن في كونها تعطي تفصيلاً لأهم متغيرين يؤثران في ثبات المنحدر وهما زاوية القطع وميل المنحدر وتأثير التغير في كمية المياه على الصخور المكونة للإنقطاعات الصخرية؛ وتقع منطقة الدراسة جنوب غرب قرية بئر الغنم جنوب مدينة الزاوية (شكل 2).



شكل 2: موقع منطقة حال الدراسة من الجبل الغربي [12].

وجيولوجياً منطقة الدراسة جزء لا يتجزأ من التتابع الطبقي العام المتكشف ضمن مرتفع نفوسة وتتنوع الصخور بتنوع بيئات الترسيب حيث مرت بعدة دورات من تقدم للبحر وتراجع له لترسب جميع أنواع الصخور الرسوبية من صخور قارية إلى بحرية ضحلة و عميقة و صخور ترسبت في بيئة انتقالية ما بين القارية والبحرية، وبدأ العمر الجيولوجي للتتابع الطبقي مع بداية الترياسي السفلي بتكوين كرش واستمر إلى بداية حقبة الحياة الحديث (الثلاثي) بتكوين زمام [13]

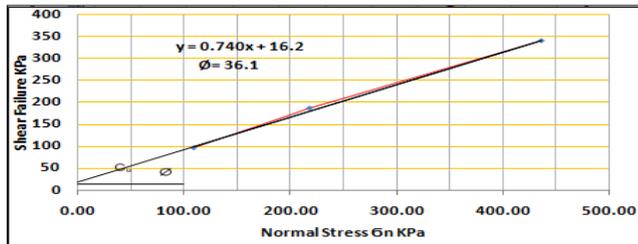
ويظهر المرجع [14] أن أهم الصخور المتكشفة بمنطقة الدراسة (صخور الجبس) والتي ترجع لتكوين بئر الغنم بعمر الجوراسي المتأخر مع وجود تداخلات من صخور الدولومايت والطين و صخور الأنهيدرايت وهذا ما تم التأكد من وجوده أثناء الدراسة الميدانية للموقع، وأهم أنواع الإنهيارات التي تحدث لمكونات المنحدرات السقوط والانزلاق والزحف مع الأخذ في الاعتبار أن المواد المنهارة تكون تريباً أو حطاماً أو صخوراً وكل تلك الأنواع المذكورة أنفاً تم رصد حدوثها في الحقل، إن الهدف الأساسي عند قطع المنحدرات هو الحفاظ على استقرارها وذلك بالحفاظ على معامل الأمان (FS) [15] والذي يتم حسابه بدراسة العلاقة بين القوة المقاومة (R) والقوة الدافعة (D) [16]

$$FS = \frac{\text{Resisting Force}}{\text{Driving Force}} \dots\dots\dots [16]$$

2. المواد وطرق العمل.

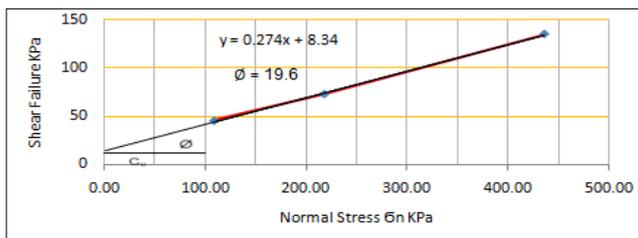
غالبًا ما يتم تنفيذ أعمال الحفر وقطع المنحدرات لإنشاء ومد الطرق والتوسيع باستخدام تقنيات الهندسة الجيولوجية، وبسبب عدم مراعاة بعض العوامل الجيولوجية والجيوتقنية وعدم فهم طبيعة الصخور وما تحويه من انقطاعات صخرية إلى عدم استقرار المنحدرات [1]، ويخضع استقرار المنحدرات لعوامل منها نوع الصخور المكونة للمنحدرات وطبيعة الفواصل والشقوق وشدتها ودرجة التجوية والهطول المطري ومداه والزلازل والأنشطة البشرية [2]، و يعتبر تفاعل الإنقطاعات المؤثرة في الصخور مع العوامل الجيولوجية والجيوتقنية من أسباب حدوث انهيارات [2] [3] [4] و يعد عدم استقرار المنحدرات الصخرية خطرًا كبيرًا على الأنشطة البشرية مما يتسبب في كثير من الأحيان في خسائر اقتصادية وأضرار في الممتلكات وتكاليف الصيانة فضلاً عن الإصابات أو الوفيات، ويختلف مستوى المخاطر ونوعها والأضرار الناتجة عنها مع اختلاف نوع الإنهيار ومسبباته وما ينجم عنه من أضرار [5] ويجب التنويه هنا بأن سرعة كتلة الانزلاق أو السقوط الصخري تجعل الأشخاص الموجودين في مسار الطريق لا يملكون الوقت لتغيير مسار الحركة أو اتخاذ القرار المناسب لرد الفعل [6]، ومن العوامل المهمة هندسة المنحدر والتي تسهم في انهيار المنحدرات أو اتزانه عند قطع المنحدرات لشق الطرق [7]، ويسهم الهطول المطري في التقليل من قوة الصخور بسبب حساسيتها العالية لتغيرات محتوى الماء وبخاصة إذا احتوت على معادن الطين التي تميل إلى الانتفاخ (على سبيل المثال معدن مونتوريلونيت) [8]، ولتقليل مخاطر الإنهيارات الأرضية هناك مجموعة متنوعة من الطرق العملية لتقييم استقرار المنحدرات، بما في ذلك الاختبارات المعملية على عينات الصخور وتصنيف الكتل الصخرية والقياسات الميدانية ومحاكاة الصخور باستخدام البرامج منها (RocPlane) [9]، وقد أسهمت أساليب المحاكاة عن طريق البرامج في تحقيق فهم أفضل لكثير من الممارسات الهندسة للمنحدرات الصخرية سواء المقطوعة أو التي تخضع لإمكانية قطعها [10] وتعتبر طريق الميشار موضع الدراسة من الطرق التي تشهد حركة مرورية بشكل مستمر وعلى مدار الساعة كونها من الطرق الحيوية التي تربط العاصمة طرابلس بمدن غرب الجبل الغربي ونتيجة لذلك تم توسعة الطريق فنتج عن التوسعة قطع الصخور المكونة للمنحدر [11] وساهمت الدراسة المشار إليها في التعرف على مواضع الضعف التي تعترى كامل المنحدر ومنها مواضع الإنقطاعات الصخرية والتي عرفت بأنها المواضع التي تعرضت لإذابة صخورها وامتلاّت بمواد صخرية وحطام تختلف عن الصخور الأصلية المكونة للمنحدرات، وتكمن مشكلة البحث في حدوث عمليات انهيار صخرية حديثة رصدت في مواقع معينة في صخور الجبس (شكل 1) والتي تعتبر المكون الرئيسي للمنحدر الموازي للطريق وإن عدم فهم العلاقة بين أسباب الإنهيار ونوع صخور المنحدر وهندسته ستؤدي إلى تفاقم المشكلة بحدوث انهيارات جديدة قد تسهم في إحداث ضرر بمرتادي الطريق فكان الهدف العام تقييم ثبات الإنقطاعات الصخرية باستخدام الدراسة الميدانية والمعملية وتقييم زاوية قطع المنحدر.

Direct shear test [17]، وكان الهدف من الاختبار إيجاد العلاقة بين الإجهاد الرأسي الضاغظ و الإجهاد الناجم عن إجهاد القص للعينات بمعدل تحميل ثابت قدره 0.25 نيوتن / ثانية باستخدام إطار تحميل مساحته 36 cm^2 ، (شكل 4)، وبواسطة نموذج معد مسبقاً على صفحة الإكسيل (Excel) استخرجت نسب التشبع الداخلي في للعينات في الحالة الطبيعية أي قبل إضافة أي كمية مياه وبلغت نسبة التشبع للعينات الطبيعية (0.91%) وقيمة زاوية الاحتكاك (ϕ) 36.1° وقيم التماسك (C) (16.2) ، (شكل 5).



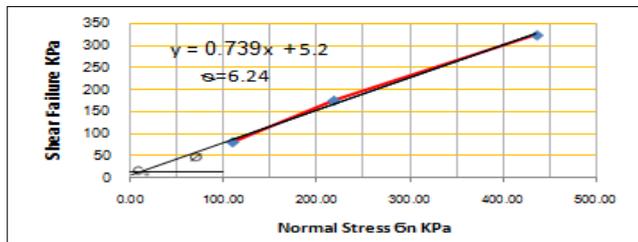
شكل 5: العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص في محتوى الماء الطبيعي.

وبعد تسجيل كل النتائج المتحصل عليها من الاختبار في العينة الطبيعية قبل التجفيف، أُعيد احتساب قيم التشبع عند إضافة كمية 30mm من المياه للعينة الطبيعية المجففة لاستخراج قيم (ϕ)، (C). (شكل 6)



شكل 6: العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص في كمية مياه 30mm.

وأعيد ذات الإجراء عند إضافة كمية مياه 20 mm للعينة التي أضيف لها كمية مياه 30 mm لتكون كمية المياه الكلية 50 mm، وأدرجت النتائج المتحصل عليها بالجدول 2، وسبب اختيار كمية مياه 50 mm لأنها تمثل أعلى كمية مياه مسجلة في المنطقة.



شكل 7: العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص في كمية مياه 50 mm

جدول 2: البيانات المتحصّل عليها من الدراسة المعملية.

Water Quantity	كمية المياه	الطبيعي	30mm	50mm
Water Content %	المحتوى المائي	0.91 %	9.9 %	16%
Cohesion	التماسك	16.2 t/m ²	8.3 t/m ²	5.2 t/m ²
Friction Angle	زاوية الاحتكاك	36.1 °	19.6°	6.24°
Unit Weight	الكثافة	1.2 g/cm ³	2.5 g/cm ³	2.8 g/cm ³

3-3.2 استخدام برنامج RocPlane

يساعد البرنامج في تحليل استقرار وعدم استقرار المنحدر ويعطي تحليلاً

تنوعت طرق العمل بين حقلية ومعملية ومكتبية والعرض التالي يوضح:
1.2- الدراسة الميدانية: انطلق العمل الميداني بتاريخ 2023-4-24 واستمر لمدة يومين، واستخدمت المعدات والأجهزة ذات الصلة بالعمل الحقلية و التي ساعدت في جمع البيانات ووصف الظاهرة المدروسة والتعرف على خصائص هندسة المنحدر، ورصد الشواهد الحقلية على حدوث عمليات انهيار للإنقطاعات الصخرية وتتبع تأثير التجوية والتعرية على صخور منطقة الدراسة، ومن تلك الأجهزة والمعدات قدمه ذات الورنية لقياس اتساع الفواصل والشقوق، بوصلة، مطرقة شمדת مطرقة جيولوجية، عدسة، مقاييس مختلفة الأطوال (شكل 3).



شكل 3 المعدات والأجهزة المستخدمة في العمل الحقلية.

أدرجت بالجدول 1 أهم البيانات والقياسات المسجلة ميدانياً

جدول 1: القياسات الحقلية لمنحدر طريق الميشار (منطقة بز الغنم) 2023

Name of the rock	Gypsum Dolomite	اسم الصخر
Formation	Bir Al-Ghanam	اسم التكوين
Slope Height	12 m	متوسط ارتفاع المنحدر
Failure Plane Angle	70 ° - 25°	زاوية مستوى الانهيار
Upper Face Angle	35°	متوسط ميل المنحدر الطبيعي
Slope face angle	80 °	زاوية ميل المنحدر المقطوع
Bench Width	7 m	عرض المنحدر
Tension Crack	joint	نوع الإنقطاعات الجيولوجية
Friction Angle	90°	زاوية توتر الفواصل والشقوق
Effect of Water	Rainfall	الماء المؤثر في المنحدر
Weathering Affective	Chemical And Mechanical	التجوية المؤثرة
Affective erosion	Water Erosion	التعرية المؤثرة
Rock strength	MPa100-200	قوة الصخور
Mass Movement	Rock fall	الانهيارات الأرضية المرصودة

2.2- الدراسة المعملية.

أجريت الدراسة المعملية على 6 عينات من الحطام المكون للإنقطاعات الصخرية على عمق 30 سم (عينات مقلقة)، إذ وضعت العينات بعد وزنها في فرن لمدة 24 ساعة تحت تأثير درجة حرارة 80°C لغرض تجفيفها وإعادة وزنها بعد التجفيف لحساب نسب التشبع (شكل 4)



شكل 4: صور من داخل معمل التربة والصخور كلية الهندسة جادو.

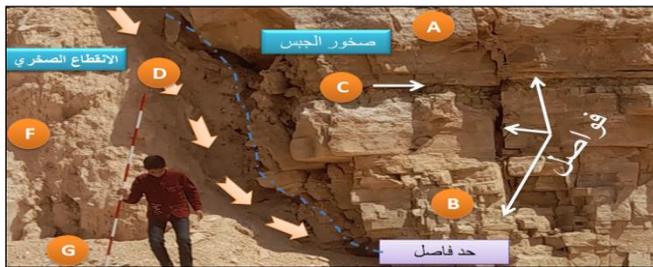
وأجريت على العينات أيضاً اختبارات الإجهاد الرأسي (Normal stress) وإجهاد القص (Shear Stress) بواسطة جهاز القص المباشر (DST)

وهي غير منتظمة الحواف أي أنها بزوايا حادة ليكون دليلاً على عدم وجود أي تأثير للتعرية المائية على تلك الكتل، فإذا افترضنا أن سبب النقل والامتلاء هو الماء أو الهطول المطري فستكون الأسطح والحواف ملساء ومن ناحية أخرى لا يوجد أي أدلة أو شواهد على وجود مجاري تصريف مياه شديدة يعتمد عليها في نقل كتل صخرية متوسطة وكبيرة الحجم من الصخور الدولوميتية مع أخذ العلم بأن صخور الدولوميت توجد أسفل المنحدر تعلوها صخور الجبس، وهذا دليل آخر يؤكد فرضية أن البالوعات امتلأت بفعل تدخل بشري، والمثير للاهتمام كبر حجم الكتل الصخرية المهارة والتي مصدرها وسط وأعلى الإنقطاعات (شكل 9).



شكل 9: العوامل الطبيعية المؤثرة في المنحدر. المصدر: الدراسة الميدانية 2023.

يتكون المنحدر المقطوع من صخور الجبس مع تداخلات لصخور الدولوميت و كلما اتجهنا غرباً تزداد نسبة صخور الدولوميت، وتتركز صخور الدولوميت أسفل المنحدر ولا وجود لها في الجزء العلوي، وهذا ما يؤكد صحة فرضية أن امتلاء الإنقطاعات الصخرية كان بسبب التدخل البشري، وتعتبر صخور الدولوميت الشقوق والفواصل وهي من مؤشرات ضعف المنحدر (شكل 10) الموضع B، وتعلو صخور الدولوميت صخور الجبس والتي تمثل النسبة الأكبر لمكونات المنحدر مع وجود تداخلات للطين ولوحظ أن وجود الطين بين الطبقات يسهم في ضعف صخور المنحدر بوجه عام، فبمجرد حدوث تشبع للطين ستكون الصخور للإنهيار لاحظ (شكل 10) الموضع C، إن وجود الطين يعتبر محفز للحركة وبخاصة في حال وجود الهطول المطري والذي يعتبر من أهم محفزات الإنهيار.



شكل 10: العلاقة بين الانقطاع وصخور الجبس. المصدر: الدراسة الميدانية 2023.

ومن (الشكل 10) يمكن ملاحظة تأثير التعرية المائية في الحد الفاصل بين صخور الجبس والإنقطاعات الصخرية، هذا التأثير يسهم في فصل الانقطاع الصخري عن باقي المنحدر فتكون المواد المكونة للانقطاع أكثر عرضة للإنهيار وتجذر الإشارة هنا أن انهيار مكونات الانقطاع ستعمل على إضعاف الصخور الملاصقة للانقطاع مما سيؤدي لحوث انهيارات أخرى لصخور الجبس في مناطق غير متوقعة وبخاصة بأن الصخور أسفل المنحدر ضعيفة نتيجة لكثرة الشقوق والفواصل، ورصد ميدانياً وجود حالات الإنهيار من نوع السقوط والانزلاق في مناطق الإنقطاعات الصخرية، أما الإنهيارات المحتملة الحدوث وفقاً للمشاهدات والقياسات الحقلية فهي حركة الانزلاق والانقلاب الصخري وبخاصة في مناطق تماس الإنقطاعات مع الصخور

ثنائي وثلاثي الأبعاد (شكل 8)، ويتيح البرنامج للمستخدمين تقدير سرعة الدعم المطلوبة لتحقيق عامل أمان محدد والذي يمثل العلاقة بين القوة الدافعة والقوة المقاومة [18]



شكل 8: واجهة برنامج روك بلان.

يعتمد البرنامج على المعامل الزلزالي وقيمته (0.04) [19] ومن المدخلات أيضاً بيانات هندسة المنحدر المتحصل عليها من الدراسة الميدانية، وقيم (ϕ) ، (C) من الدراسة العملية ويوضح الجدول 3 مدخلات البرنامج استخدم البرنامج لتقييم استقرار الإنقطاعات الصخرية بعد قطع المنحدر بزواوية 80° ، وتقييم استقراره بزواوية 35° والتي تمثل متوسط زاوية الميل الطبيعية قبل القطع مع كل تغيير في كميات المياه.

جدول 3: البيانات المدخلة لبرنامج RocPlane

water quantity	كمية المياه	الطبيعية	30mm	50mm
Water Content	% المحتوى المائي	0.91 %	9.9 %	16%
Slope Angle	زاوية ميل المنحدر	$80^\circ - 35^\circ$	$80^\circ - 35^\circ$	$80^\circ - 35^\circ$
Slope Height	ارتفاع المنحدر	12m	12m	12m
Unit Weight	كثافة الصخر	1.2 g/cm ³	2.5 g/cm ³	2.8 g/cm ³
Failure ngle 35°	زاوية الإنهيار	25°	25°	25°
Failure ngle 80°	زاوية الإنهيار	70°	70°	70°
Bench Width	عرض المنحدر	7m	7m	7m
Seismic Coefficient	المعامل الزلزالي	0.04	0.04	0.04
Friction Angle	زاوية الشقوق	90°	90°	90°
Distance From Crust	المسافة من وجه المنحدر	7m	7m	7m
Cohesion	التماسك	16.2 t/m ²	8.3 t/m ²	5.2 t/m ²
Friction Angle	زاوية الاحتكاك	36.1°	19.6°	6.24°
Rock Unit Weight	كثافة الصخر	1.2 g/cm ³	2.5 g/cm ³	2.8 g/cm ³

3. النتائج والمناقشة.

3.1- النتائج المتحصل عليها من الدراسة الميدانية.

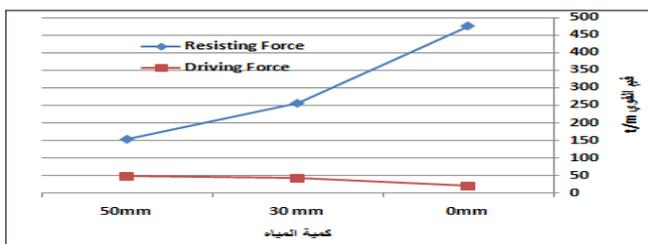
ساهمت عملية القطع في تكشف الصخور والتراكيب الصخرية المهمة وساعدت في فهم الخصائص الصخرية والتراكيب للمنحدر المقطوع إذ قطعت الصخور بشكل منتظم بزواوية بلغت قيمتها 80° ، وأبرز ما تم رصده عن الإنقطاعات أنها تنتشر على وجه المنحدر المقطوع موازي لاتجاه ميل المنحدر بنفس زاوية القطع، ومن القياسات الحقلية تبين أن متوسط عرض هذه الإنقطاعات يصل 6 أمتار وبلغ عدد تلك الإنقطاعات 5 تكاد تكون المسافة بينهم منتظمة، ويعد انتظامها مؤشراً على أن سبب تكونها وجود أنظمة الفواصل رأسية والتي أخذت في الاتساع مع مرور الزمن تحت تأثير عملية التعرية المائية لتكون بالوعات وهذا ما أشار إليه المرجع [11]، وترجع الدراسة الحالية أن سبب وجود حطام صخري مختلف الأحجام بالإنقطاعات يعود لتدخلات بشرية أسهمت في طمر هذه البالوعات المكونة من الجبس، وعن سبب الطمر فإن الشركة المنفذة عمدت لتهيئة المنحدر عند شق الطريق الجبلي القديم سنة 1984، ومن الأدلة الحقلية عن وجود تدخل بشري لامتلاء الإنقطاعات الصخرية ما يوضحه الشكل 9 ففي المواضع X نلاحظ وجود كتل صخرية مختلفة الأحجام والأشكال والأنواع

الداخلي وزاوية الاحتكاك والتي حدث لهما انخفاض مع كل زيادة في كمية المياه، ومع كل هذه التغيرات في قيم معامل الأمان لازالت الإنقطاعات الصخرية في حالة استقرار لأن معامل أمان المنحدر مرتبط بالعلاقة بين القوة المقاومة و القوة الدافعة فمن (الشكل 12) نلاحظ العلاقة العكسية بين القوة الدافعة والتي تزداد مع كل تغير في كمية المياه وبلغت القوة الدافعة 20.3 t/m في الحالة الطبيعية يقابلها انخفاض في القوة المقاومة مع كل زيادة كمية المياه، وتحذر الإشارة هنا أن العامل الرئيسي في التغير هو التشعب الداخلي وليست كميات المياه فبالرغم من ارتفاع كميات المياه الى 50mm فالتشعب بلغ 016 % جدول 3 ليكون أقصى ارتفاع للقوى الدافعة 48.6 t/m وأقصى انخفاض للقوى المقاومة 154.9 t/m.

جدول 4: مخرجات البرنامج RocPlane عند زاوية (35°)

Slope angle	زاوية المنحدر	35°	35°	35°
Water Quantity	كمية المياه	الطبيعية	30mm	50mm
Factor Of Safety	معامل الأمان	23.42	6.07	3.18
Normal Force	قوة الوزن	32.1 t/m	66.9 t/m	74.2 t/m
Resisting Force	القوة المقاومة	475.7 t/m	256.9 t/m	154.9 t/m
Driving Force	القوة الدافعة	20.3 t/m	42.3 t/m	48.6 t/m

وبالرغم من هذا التغير فإن المنحدر في حالة استقرار ، و خلاصة ما يكمن قوله تفسيراً عن سبب الاستقرار أن هناك توافق بين زاوية ميل المنحدر الطبيعي والتشعب الداخلي، فزاوية المنحدر ساعدت في تصريف المياه وعدم استقرارها ليتدخل الحطام الصخري المكون للإنقطاعات، فالفترة الزمنية ساهمت في إحداث تماسك لمكونات المنحدر لتسهل في ثباته وهذا ما رصد حقيقياً بعدم وجود مناطق ضعف بالإنقطاعات، بل يصعب تمييز مكان الإنقطاعات قبل عملية القطع.



شكل 12: العلاقة بين القوة المقاومة والقوة الدافعة عن زاوية ميل 35°.

ثانياً- النتائج المتحصل من زاوية قطع المنحدر (80°): ما يثير الانتباه في الجدول 5 الرقم 0 والذي يعتبر مؤشر يصف أن القوة الدافعة تغلبت على القوة المقاومة فأنخفض معامل الأمان لأقل من 1.

جدول 5: مخرجات البرنامج RocPlane عند زاوية قطع (80°)

water quantity	كمية المياه	الطبيعية	30mm	50mm
Factor of Safety	معامل الأمان	11.22	2.81	0
Resisting Force	القوة المقاومة	159.6 t/m	83.3 t/m	0 t/m
Driving Force	القوة الدافعة	14.21 t/m	29.6 t/m	37.8 t/m

وإذا بحثنا عن سبب الإنهيار وبخاصة أن كل المتغيرات المدخلة للبرنامج ثابتة ماعدا زاوية القطع والتي نشأت بسبب التدخل البشري لغرض توسعة الطريق فأدى لحدوث انهيار ، مع ملاحظة أن استقرار المنحدر وثبات المواد

المجاورة، وتعد التجوية الميكانيكية أكثر تأثيراً وأبرز ملامحها الشقوق والفواصل أما التجوية الكيميائية تظهر في أنطق ضيقة ومن العيوب المرصودة عدم وجود حواجز تفصل المنحدر المقطوع عن الطريق المستحدث ما يسهم في وصول المواد المنهارة للطريق.

2.3- النتائج المتحصل عليها من الدراسة المعملية:

بتتبع بيانات الجدول رقم 2 و (الشكل 11) نلاحظ التغير حدوث تغير واضح في قيم التماسك وزاوية الاحتكاك مع كل تغير في نسب التشعب الداخلي تحت تأثير الإجهاد الرأسي وإجهاد القص المسلط من جهاز (DST) ففي حالة نسبة تشعب 0.91 % والتي تمثل الحالة الطبيعية للحطام دون إضافة أي كمية مياه ففي هذه المرحلة بلغت قيم التماسك 16.2t/m² لتكون أعلى قيمة سجلت، وانخفضت القيمة لتصل الى 8.3t/m² عند نسبة تشعب 6.90 % وهذا الانخفاض يعتبر أعلى انخفاض في القيم لاحظ (شكل 11) وذلك مرده الى أن المحتوي المائي للحطام الصخري منخفض (جاف) لذلك فالعينات لها قابلية لامتناسك كمية مياه الى أن تصل للتشعب المسجل، ونلاحظ بأن قيمة التماسك عند كمية مياه 50mm بنسبة تشعب 16% بلغت 5.2t/m² وتمثل أقل قيمة مسجلة للتماسك وهذا مؤشر مهم على مقدار تأثير التغير في كمية المياه ونسب التشعب على التماسك من تماسك مكونات المنحدر معملياً؛ صاحب التغير في قيم التماسك انخفاض قيم زاويا الاحتكاك بشكل ملحوظ لتسجل إضافة كمية مياه 50mm للعينات أقل قيمة لزاويا الاحتكاك ومن الجدول 2 نلاحظ أن التغير كان بقيم متفاوتة مع كل تغير في كمية المياه فالماء قلل من فعل الاحتكاك الداخلي وبخاصة أن الغالب على الحطام وجود الطين، وتغيرت مع كل تغير في نسب التشعب قيم الكثافة ويعزى ذلك لأن قيم الكثافة تعتمد على كتلة المادة (وزن الطين* عجلة الجاذبية) ويرتبطان بعلاقة طردية، و خلاصة القول أن كلما زادت نسب التشعب الداخلي الناتج عن امتصاص المياه قل التماسك الداخلي والاحتكاك وفقاً للمعطيات المعملية.



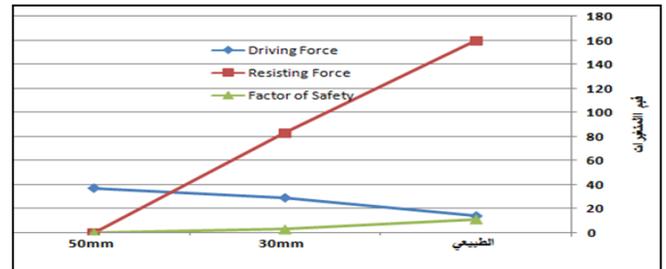
شكل 11: العلاقة بين التشعب الداخلي والتماسك وزاوية الاحتكاك والكثافة

3.3- النتائج المتحصل عليها من تطبيق برنامج RocPlane

أولاً- النتائج المتحصل من زاوية قطع المنحدر (35°)؛ تعد دراسة ثبات المنحدر بواسطة برنامج RocPlane محاكاة لواقع المنحدر إذ ساعد البرنامج في فهم استقرار المنحدر في زاوية 35° والتي تمثل الزاوية الطبيعية التي أوجدتها التعرية والتجوية لصخور المنحدر وأيضاً الإنقطاعات الصخرية، فبتتبع النتائج الواردة بالجدول 4 نجد أن المنحدر في حالة استقرار في كل حالات التغير في كمية المياه ففي الحالة الطبيعية بلغت قيمة معامل الأمان 23.42 بقيمة مرتفعة جداً تصف ثبات المنحدر على اعتبار أن معامل الأمان المعتمد من برنامج RocPlane يساوي 1، لينخفض معامل الأمان بشكل مفاجئ إلى 6.07 عند كمية مياه 30mm، واستمر الانخفاض في قيمة معامل الأمان إلى 3.18 وهذا الانخفاض مرتبط بالتغير في قيم التماسك

- [5]- Pantelidis, L. (2009). Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2), 315-325.
- [6]- Hunter, G., & Fell, R. (2003). Travel distance angle for "rapid" landslides in constructed and natural soil slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(6), 1123-1141.
- [7]- Amagu, C. A., Zhang, C., Kodama, J. I., Shioya, K., Yamaguchi, T., Sainoki, A., ... & Sharifzadeh, M. (2021). Displacement measurements and numerical analysis of Long-Term rock slope deformation at Higashi-Shikagoe limestone quarry, Japan. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-15.
- [8]- Siddique, T., & Pradhan, S. P. (2018). Stability and sensitivity analysis of Himalayan road cut debris slopes: an investigation along NH-58, India. *Natural Hazards*, 93, 577-600.
- [9]- Nugroho, N. F. (2019). Slope Stability Engineering Related To Work Safety In Limestone Mining Area At Klapanunggal Village, Klapanunggal Sub-District, Bogor Regency, West Java (Doctoral dissertation, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta).
- [10]- Kumar, S., Kumar, K., & Dogra, N. N. (2017). Rock mass classification and assessment of stability of critical slopes on national highway-22 in Himachal Pradesh. *Journal of the Geological Society of India*, 89, 407-412.
- [11]- Alakhdar, A. (2021). Study the stability of the parallel slopes of the Al-Mishar road in the bir al -ghanam area, (NW Libya) of Libya, The 4th Conference on Engineering Science and Technology, Faculty of Engineering, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya pp185-196. <https://asmarya.edu.ly/cest2021/>
- [12]- Abdunaser, K., Sweil, G., Bergeg K. and 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, paper within the activities The Fifth Conference for Engineering Science and Technologies .
- [13]- El-Bakai, M. T. (1997). Petrography and palaeoenvironment of the Sidi as Sid Formation in Northwest Libya. *Petroleum Research Journal*, 9, 9-26.
- [14]- Oun, K. Hlal, O. (2021) Short notes and field guidebook to the gharian-taghmah area, at the first scientific conference for the college of oil and gas engineering, University of Zawia , pp 1-65
- [15]- Pariseau, W. G. (2011). Design analysis in rock mechanics. CRC Press, pp. 21-24.
- [16]- Cundall, P. A., Damjanac, B., & Varun, __. (2016, June). Considerations on slope stability in a jointed rock mass. In *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium* (pp. ARMA-2016). ARMA.
- [17]- 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.
- [18]- User's Guide for Rocplane software. Rocscience Inc, 2001. <https://www.rocscience.com/downloads/rocplane/RocPlaneReference.pdf> pp. 1-70
- [19]- 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.

داخل الإنقطاعات استمرت في الانخفاض من الحالة الطبيعية فسجلت القوة الدافعة 14.21[t/m] وهي قيمة لا تقارن بالقوة المقاومة والتي بلغت 159.6 t/m وهي قيمة عالية جداً لتتخفف تقريباً إلى النصف عند كمية مياه 30mm المقاومة بقيمة 83.3t/m لتسيطر بعدها القوة الدافعة في كمية مياه 50mm وتنعدم القوة المقاومة فحدث الإنهيار (شكل 13)، أما السبب الحقيقي الذي ساهم في حدوث الإنهيار، أن التدخل البشري أسهم في تقليل تبات المنحدر وساعد في تغيير الخصائص التماسكية للحطام بالإنقطاعات الصخرية.



كمية المياه

شكل 13: العلاقة بين كمية المياه والقوتين المقاومة والدافعة ومعامل الأمان

4- الخاتمة

تكشفت الإنقطاعات الصخرية كنتيجة لعمليات توسعة طريق الميشار بمنطقة بئر الغنم شمالي غرب ليبيا وتغيرت زاوية استقرار المنحدر من 35° إلى 80° وساهم هذا الأمر في إضعاف الحطام الصخري المكون للإنقطاعات، فأصبح الحطام أكثر تأثراً بعاملين أولهما؛ التشعب الداخلي بالمياه، مع أخذ العلم بأنه ليس بالضرورة أن يحدث انهيار حتى يحدث تشعب 100% وثانيهما؛ تأثير زاوية القطع التي لم تراعى فيها الشركة المنفذة محاكاة عوامل تشكل المنحدر، وخلاصة القول أن الإنقطاعات الصخرية سيحدث لها انهيار عند زاوية قطع 80° إذا تشعبت بالمياه بنسبة 9.9 فأكثر على عكس الزاوية 35 والتي تتسم بالثبات وليس بالضرورة أن تصل لهذه النسبة عند كمية مياه 30 mm لأن التشعب يعتمد على كمية الهطول ومدة الهطول المطري فكميات الهطول القليلة و لساعات طويلة قد تسبب تشعباً لمكونات المنحدر وتوصي الدراسة بضرورة إزالة الحطام الصخري بالإنقطاعات، أو إجراء عملية تثبيت للحطام بمواد إسمنتية وبخاصة في مناطق تماس الحطام مع صخور الجبس لمنع حدوث انهيار ومن التوصيات ضرورة محاكاة الظروف الطبيعية التي تؤثر على المنحدرات قبل الشروع في قطعها.

4. قائمة المراجع

- [1]- Sati, S. P., Sundriyal, Y. P., Rana, N., & Dangwal, S. (2011). Recent landslides in uttarakh and: nature's fury or human folly. *Current Science(Bangalore)*, 100(11), 1617-1620.
- [2]- Siddique, T., & Khan, E. A. (2019). Stability appraisal of road cut slopes along a strategic transportation route in the Himalayas, Uttarakhand, India. *SN Applied Sciences*, 1, 1-11.
- [3]- Hindayar, J. N., Dasarwar, P., Srivastava, S. P., Thrideep Kumar, N., Mohan, M., & Som, S. K. (2016). Dynamicity of the himalayan landslide—A tectono-geotechnical appraisal of the 13th mile landslide, Sikkim. *Journal of the geological Society of India*, 88(2), 197-205.
- [4]- Ramesh V, Anbazhagan S (2015) Landslide susceptibility mapping along Kolli hills Ghat road section (India) using frequency ratio, relative effect and fuzzy logic models. *Environ Earth Sci* 73:8009–8021