

First Libyan International Conference on Engineering Sciences & Applications (FLICESA_LA)
13-15 March 2023, Tripoli – Libya

دراسة تأثير الشقوق والفواصل على انهيار صخور عضو يفرن الموازي لمسار الطريق

الجبلي نالوت (NW Libya)

أبو القاسم عبد الفتاح الأخضر

قسم الهندسة الجيولوجية – كلية الهندسة جادو - جامعة نالوت- ليبيا

a.alakhdar@ nu.edu.ly

الملخص: تشكل عمليات السقوط الصخري خطراً على مستخدمي مسار الطريق الجبلي نالوت وأشارت دراسة أجريت سنة 2021 على أن المنحدر الموازي للمسار ثابت ولا يتوقع حدوث أي انهيار به، وفي مارس 2022 حدث انهيار لصخور المارل وبالزيارات الميدانية لموقع الإنهيار برزت مشكلة البحث والتي تمثلت في ضعف صخور المارل الموازية لمسار الطريق وكثرة الفواصل والشقوق مما استدعى دراسته، وكان هدف البحث تقييم ثبات صخور المارل والتعرف على أسباب الإنهيار السابق، ولتحقيق الهدف أجريت عملية تخريط ودراسة للخواص الهندسية لأسطح الشقوق والفواصل وأهم النتائج بينت أن المنحدر يعتره ضعف ناتج عن تقاطع أنظمة الفواصل وتبين وجود خمس أنظمة تقاطع بزواوية 45°، وتبين وجود بؤر انهيار تتركز في الجزء السفلي للمنحدر ناتجة عن تقاطع أنظمة الفواصل بينما خلا الجزء العلوي منها، ومن النتائج أن قيم المتانة (RQD) للمارل بلغت (54.6%) بوصف عام (ضعيف)، وبلغت قيم المسافات بين الواصل في الجزء السفلي (35cm) بتصنيف (متباعدة للغاية) ونقل القيم عند بؤر الإنهيار لتصل القيم (1cm) بتصنيف (مغلق جداً)، عليه فالمنحدر تعترى صخوره حالة ضعف ناتجة عن كثرة الشقوق والفواصل وسوء اختيار زاوية القطع والتي بلغت 90°، عليه توصي الدراسة بضرورة العمل على تخفيف زاوية القطع من 90° إلى 55° مع إزالة الكتل المفصولة والأيلة للإنهيار التي تتواجد أعلى المنحدر مع تجنب الحركة على مسار الطريق أثناء الهطول المطري.

الكلمات المفتاحية: الفواصل، عضو يفرن، الإنهيار الصخري، بؤر الإنهيار، المنحدرات.

1. المقدمة.

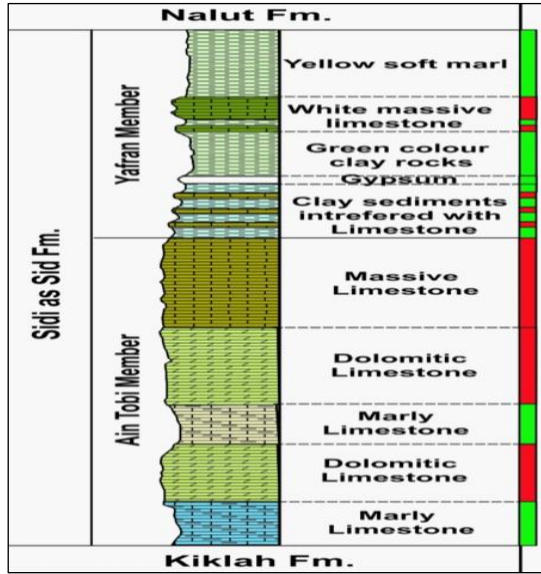
وأشارت الدراسة بين ثناياها إلى أن الصخور الموازية للطريق ثابتة ميكانيكياً أي أن المنحدرات الموازية مقطوعة بشكل جيد وبشكل منتظم ولا يوجد بها مواضع ضعف يتوقع أن يحدث بها انهيار^[1]، ونتيجة لحدوث انهيار في جزء من المنحدر الصخري الموازي للطريق أستوجب دراسة صخور الموقع، وتتمثل أهمية الدراسة في إبراز أهمية الدراسات الحقلية في كشف مواضع الضعف والتعرف على الظروف الطبيعية المؤثرة في الصخور المكونة للمنحدرات من واقع الزيارات المتكررة لموقع الدراسة برزت مشكلة البحث والتي تمثلت في ضعف المنحدرات الموازية للطريق الجبلي نالوت وكثرة الفواصل والشقوق وإن إهمال دراسة وتقييم ثبات المنحدر ومعرفة أسباب الإنهيار بنفس المنحدر المنهار والمنحدر المستقر سيؤدي إلى حدوث انهيار جديد قد تكون نتائجه كارثية ولدراسة المشكلة برز تساءل مهم ما مدى تأثير الشقوق والفواصل على انهيار صخور عضو يفرن الموازي للطريق؟ وتساءل آخر لا يقل أهمية عن الأول هل يمكن استنتاج سبب

تشكل عمليات السقوط للكتل الصخرية من المنحدرات الموازية والمناخمة لمسارات الطرق الجبلية خطراً حقيقياً على مستخدميها، وتسبب في عرقلة حركة المرور وتلحق أضراراً مادية بالطرق وملحقاتها، ولا تخلوا مناطق الجبل الغربي من تلك الحوادث؛ وأستشهد هنا بالطريق الجبلي نالوت والذي أجريت دراسة لبعض منحدراته سنة 2021^[1] وبعد نشر نتائج البحث حدث انهيار لصخور المارل، مما أدى لعرقلة حركة السير وإعطاب الطريق شكل (1).



شكل رقم (1): انهيار صخري بمسار الطريق
2021/11م

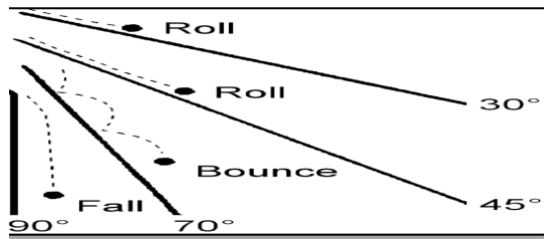
يقطع مسار الطريق الجبلي نالوت تكوينات وهي من الأسفل الى الأعلى تكوين ككله سيدي الصيد بعضويه السفلي عين طبي وعضو يفرن مار بالأعلى المكون من المارل والحجر الجيري المارلي وتداخلات الطين مع وجود طبقات رقيقة من الجبس في الأجزاء السفلى [6]، يعلوه تكوين نالوت المكون من صخر الدولومايت.



شكل رقم (3): الصفة الصخرية لعضو يفرن مارل [6]

1.4 السقوط الصخري.

يعد السقوط أحد أبرز الحركات التي تحدث للمواد المكونة للمنحدرات تحت تأثير الجاذبية عندما تنفصل الصخور على اختلاف أنواعها عن مواضعها وتتحرك بفعل محفزات الحركة كالألزال والهطول المطري [7] وقسمت الحركة استناداً لسلوك الحركة الى السقوط حراً إذا كانت زاوية المنحدر جرفيه بزاوية 90°، وسلوك القفز إذا كانت الزاوية بين 45° وأقل من 70° وسلوك الدرجة إذا كانت الزاوية بين 30° أقل من 45°، [8].



حدوث الإنهيار السابق من دراسة المكاشف الثابتة؟ وللوصول لفهم المشكلة والإجابة عن تساؤلاتها كان هدف بحث تقييم ثبات صخور المنحدر والتعرف على أسباب الإنهيار السابق، وبذلك يعتبر هذا البحث مكملاً للدراسة المشار إليها آنفاً، ولأن الإنهيارات تتسم بسرعة وفجأة الحدوث، فإن الهدف الأساسي عند قطع المنحدرات هو الحفاظ على استقرارها وتوفير معامل أمان محدد لها [2]، ومن أهم الخواص الطبيعية للكتل الصخرية التي يلزم دراستها اتجاهات الفواصل ومقدار تهشم ومتانة الكتل الصخرية المكونة للمنحدرات [3] ومن العوامل الشائعة التي تقلل من قوة القص لكتلة الصخور الأحمال الإضافية في الجزء العلوي من المنحدر وزيادة ضغط الماء في الشقوق الموجودة أعلى المنحدر [4]، ومن الأمور بالغة الأهمية هندسة المنحدر كارتفاعه وعرضه وزاوية واتجاه ميله [4]، فإذا كان ميل الطبقات واتجاهها في اتجاه الطريق الجبلي فإن ذلك يعد مؤشراً على أن الإنهيار سيصل الطريق بمجرد وجود تأثير لمحفزات الحركة فتتهدم تلك الصخور لتصل الطريق الجبلي وبخاصة إذا لم يكن لتلك الطرق حواجز إسمنتية تحمي الطريق ومستخدميه [5].

2.1 موقع منطقة الدراسة.

يقع الطريق الجبلي نالوت على الحافة الشمالية لجبل نالوت شكل (1) و فلكياً تقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض " 31° 52' 62" N و " 31° 52' 78" N وخطي طول " 10° 59' 22" E و " 10° 59' 14" E

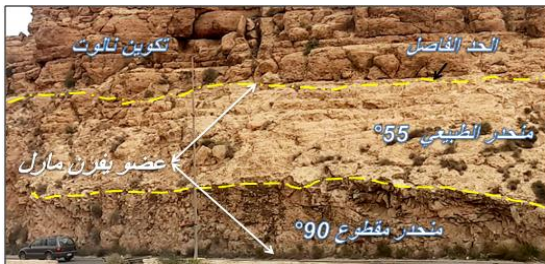


شكل رقم (2): موقع منطقة الدراسة (نالوت) [5]

3.1 التكوينات الصخرية بمنطقة الدراسة.

90°	زاوية استقرار الكتل (تكوين نالوت)
4 متر	متوسط ارتفاع المنحدر المدروس.
شمال، شمال-25- شرق	اتجاه ميل المنحدر الطبيعي
2° - 10°	زاوية ميل الطبقات الصخرية
شمال - شمال شرق	اتجاه ميل الطبقات الصخرية

وتبلغ مساحة منطقة الدراسة 15000م² تقريباً وقطعت منحدرات جبل نالوت لمد مسار الطريق بطول 2.80 كم وأهم الصخور التي يقطعها مسار الطريق صخور الحجر الرملي و الحجر الجيري و الدولومايت. قطعت منحدرات الطريق بزوايا تراوحت بين (80°-90°)، ولم يتبين في الموقع وجود أي تدخلات لصخور نارية أو صدوع، ومن عيوب مسار الطريق أن عرضه يصل الى 6 أمتار ولا توجد به خندق أو أكتاف تستقبل المواد المنهارة أو مجال لوقوف السيارات بمعنى في حال حدوث انهيار لاجال للإبتعاد أو اتخاذ مسلك آخر للإبتعاد عن الخطر، و بالقياسات الحقلية تبين أن زاوية ميل منحدرات عضو يفرن بلغت (55°) وهي تمثل زاوية الاستقرار الطبيعية الناتجة عن عمليات التعرية التجوية شكل (5) ونتيجة لمد مسار الطريق تغيرت زاوية ميل المنحدر لتصل الى 90° شكل (5)



شكل رقم (5): زوايا ميل المنحدرات بموقع الدراسة.

وما يثار هنا أنه عند قطع المنحدرات لمد مسار الطريق الجبلي نالوت لم يتم مراعاة ومحاكاة واقع وطبيعة الصخور فالعوامل الطبيعية هي التي جعلت منحدرات منطقة الدراسة مستقرة بزوايا 55°، بينما التدخل البشري أدى لقطع الصخور بزوايا بلغت 90° فأدى ذلك لإضعاف أسفل المنحدرات، وساهمت زاوية القطع

شكل رقم (4): سلوك حركة الصخور أثناء السقوط [8]

يزداد خطر السقوط على المنحدرات المتعرضة لعمليات القطع لغرض مد مسارات الطرق الجبلية فتؤدي إلى إغلاق الطرق لاحظ الشكل (1) وقد تكون الخسائر مادية وبشرية، وتعد أضرارها أشد من أضرار الأشكال الأخرى لحركة المواد على المنحدرات، وبخاصة إذا كانت حجم المواد المنفصلة كبيراً [9]، ونتيجة للعواقب الخطيرة لتساقط الكتل الصخرية المنفصلة عن المنحدرات الصخرية يدفع المصممين والمهندسين إلى دراسة سلوك الكتل المتساقطة ودراسة الظروف الفعالة التي قد تؤدي إلى إطلاق الكتل الصخرية.

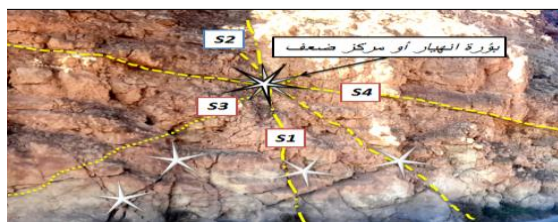
2. طريقة الدراسة.

للتقصي عن مشكلة الدراسة وتساؤلاتها ولتحقيق أهدافها اعتمد على الدراسة الحقلية ؛ وهي من أهم مراحل البحث فقد أجريت عملية تخريط ساهمت في تجميع بيانات ومعلومات عن مشكلة الدراسة، وأهم الأدوات التي استخدمت أثناء الدراسة الحقلية بوصلة لقياس اتجاه وقيمة ميل الطبقات والمنحدرات- مطرقة جيولوجية قدمه ذات الورنية لقياس اتساع الفواصل، حامض هيدروكلوريك للتمييز بين صخور ومقاييس حساب الأطوال، مع الاستعانة خريطة جيولوجية بمقياس رسم 1:250000 والغرض منها معرفة توزيع الصخور والتكوينات الصخرية والتتابع الطبقي لمنطقة الدراسة، ويوضح الجدول رقم (1) بعض بيانات الدراسة الحقلية،

جدول (1) بيانات الدراسة الميدانية

اسم الموقع	طريق نالوت (تالة)
الارتفاع	570 متر
المساحة الإجمالية لموقع الدراسة.	15000م ² تقريباً.
مساحة المنحدر الطبيعي.	(11780 م ²) تقريباً.
مساحة المنحدر الصناعي.	(3220م ²) تقريباً.
طول مسار الطريق	(2.80 كم) تقريباً
اسم التكوين الجيولوجي.	عضو يفرن
أنواع الصخور بالموقع	مارل
زاوية ميل المنحدر الصناعي	85°-90°
متوسط زاوية ميل المنحدر الطبيعي	55°

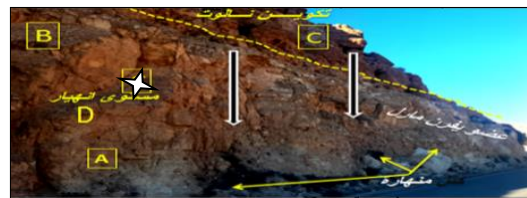
نسبي ويبقى انهيارها مرهون بوجود محفز حركة وبخاصة الهطول المطري، وساهمت عمليات قطع الطريق في فهم ميكانيكية وأسباب حدوث الإنهيار ونتيجة لكثرة الشقوق والفواصل التي تنتشر في صخور منطقة الدراسة يمكن قياسها من خلال دراسة الخواص الهندسية لأسطح الشقوق والفواصل وأهم تلك الخواص الميكانيكية والفيزيائية ومن المثير للاهتمام وجود أربع أنظمة للفواصل بمنحدرات صخور المارل تتقاطع هذه الأنظمة في نقطة واحدة لتكون منطقة ضعف أطلق عليها الباحث اسم مركز الضعف (بؤرة الإنهيار) شكل (7) وتنتشر هذه البؤرة في مناطق معينة وليس في كامل المكشوف ساعدت هذه البؤرة في إضعاف الصخور وجعلت المنحدر عرضة للإنهيار في أي لحظة، ويعد وزن الصخور أعلاها البؤرة محفز للحركة، وعن سبب ضعف هذه البؤرة أن عملية قطع الصخور لمد مسار الطريق خففت الحمل بجانب الطريق فالزاوية الطبيعية 55° تغيرت الى 90° شكل 5 فأدى ذلك لزيادة الحمل وبهذا يكون ارتفاع العمود الصخري ووجود البؤرة ومستويات الضعف (الفواصل) سبباً مهماً لحدوث الإنهيار بالإضافة لعمليات التجوية الكيميائية التي ساهمت في إذابة وتوسعة بعض المستويات لتكون من أسباب حدوث ضعف للصخور وأن ما يؤكد تأثير هذه البؤرة وتقاطع فواصلها أن عملية الإنهيار حدثت في مارس 2022م والمنطقة لم تتعرض لهطول مطري يذكر ليكون سبباً للإنهيار، والمثير للانتباه أن أنظمة الفواصل (S1-S2-S3-S4-S5) تقاطعت بزاوية بلغت 45° تقريباً شكل 8 وتركزت في الجزء السفلي للمنحدر بينما خلا الجزء العلوي من وجودها وسيتم التطرق لأسباب ذلك لاحقاً.



شكل رقم (7): بؤرة انهيار بصخور المارل.

في تحديد نوع الإنهيار والمؤكد حدوثه السقوط الصخري وقسمت الدراسة الميدانية لجزئين وفق التالي.

1.2: إجراء عملية مسح ميداني لموقع الدراسة: يتكون المكشوف المدروس من صخور عضو يفرن مارل شكل (3) ويمثل الجزء العلوي لتكوين سيدي الصيد فموضع الدراسة يمثل الحد الفاصل بين تكوين سيدي الصيد وتكوين نالوت، لاحظ شكل (5) وإن وجود خليط من الصفات الصخرية للمارل تجعل منه قابلاً للذوبان والتفتت، فمن أهم مكوناته الكالسيت والطين ويحتوي المارل عادةً ما بين 20% - 80% طين (mud) أو تكون النسب ما بين 20% - 80% كالسيت (CaCO₃) [10]، وعن تأثير التجوية تبين وجود تأثير واضح لتأثير التجوية الكيميائية وبرز شواهدا الحقلية حالات الإذابة ووجود والتكهفات والتي تعتبر من حالات الضعف التي تعتري صخور المارل، ويمثل اللون الغامق في الموضع B بالشكل 6 شاهداً لتأثير التجوية الكيميائية فاللون الأصلي للمارل ابيض مضاف شكل 6 موضع A



شكل رقم (6): صورة للجزء المنهار من المنحدر.

ساهمت الصفة الصخرية للمارل (Yellow Soft Rock) وعملية الإنهيار في فهم طبيعة المكشوف قبل الإنهيار إذ تبين كثرة الشقوق العشوائية وأنظمة الفواصل والتي تعتبر من أبرز ملامح التجوية الميكانيكية وشكلت بعض هذه الفواصل مستويات ضعف وانزلاق لاحظ شكل 6 الموضع D واتضح من الدراسة الميدانية ظهور خطر آخر ناتج عن عملية الإنهيار، فبعد حدوث الإنهيار أصبح منحدر المارل مساوي رأسياً لمنحدر الدولومايت وهذا يشكل خطراً جديداً يهدد الطريق فالكتل الصخرية أعلى المنحدر في الموضع C شكل 6 وستصل الطريق مجرد انهيارها لأنها كتل مفصولة تماماً وهي في حالة استقرار

وتقليل الإحتكاك وبخاصة إذا كان محفز الحركة الهطول المطري، مع عدم تجاهل وجود الطين وتخلله بين الفواصل ليكون عملاً آخر لتحفيز الإنهيار.

2.2.2: حجم الفواصل والاستمرارية Continuity :

تصنف الفواصل بناءً على امتدادها من كيلومترات الى بضعة سنتيمترات ، ومن خلال هذه الخاصية يمكن التمييز بين الشقوق والفواصل وتأثيرها على سلوك الكتل الصخرية ويمكن قياس طول الفواصل بشكل دقيق من خلال تتبع امتدادها على السطح ومقارنة النتائج المتحصل عليها من جدول (3)، أما حقلها يمكن تمييزها إلى نوعين : فواصل مستمرة وتنتهي بفواصل أخرى أو فواصل متقطعة تنتهي بصخور ضخمة، ويزداد تأثير استمرارية الفواصل وحجمها إذا صاحبها تعمق داخلي فكلما زاد التعمق ضعفت الكتل الصخرية [11].

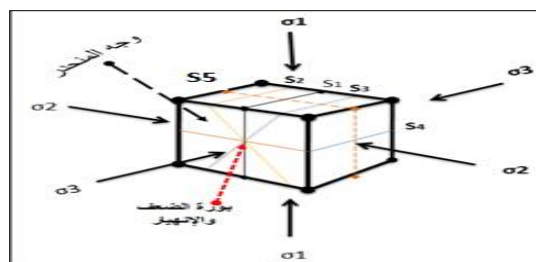
جدول:3 تصنيف حجم الفواصل بناءً على امتدادها [12]

الوصف	طول الفاصل
قصيرة جداً	أقل من 1 متر
قصيرة	من 1-3 متر
متوسطة الطول	من 3-10 متر

تباينت أطوال الفواصل في المكشوف الصخري فقد سجلت الدراسة الميدانية وجود ثلاثة أنواع من الفواصل فوجدت القصيرة والقصيرة جداً ومتوسطة الطول، وكما أشير في الدراسة الحقلية عن وجود خمسة أنظمة فقد لوحظ وجود عدم امتداد لبعض الفواصل كما حدث عند توقف الفاصل (S1) وعد امتداده في الأجزاء العليا من المنحدر وأثرت باقي الأنظمة في المكشوف فكان الناتج كبير حجم الكتل الصخرية، وهذا ما يسفر كبر حجم الكتلة المنهارة في الشكل رقم (1) إضافة الى أن الكتلة المنهارة بحجمها الكبير لم تكن بها بؤرة انهيار وإنما كانت أسفلها أي أن الفواصل لم تقاطع وبلغ طول الموضع المنهار الموازي لمسار الطريق 20 متر وهو يمثل حجم الفاصل (S5) واستمرارية مع وجود تعمق داخلي، وخير دليل على وجود تعمق داخلي للنظام تأثير التجوية الكيميائية بلونها الغامق في الموقع المنهار كما

2.2: الخواص الهندسية لأسطح الشقوق الفواصل.

الفواصل (JOINTS) وتسمى أيضاً الكسور الممتدة هي مستويات لا يوجد بها أي حركة أو إزاحة ظاهرة وتكون ناتجة عن حركات تكتونية أو نتيجة عمليات ضغط الصخور الأحمال العلوية أو نتيجة إجهاد الشد وقد يكون ناتجة عن تحرير الضغط الداخلي للصخور الناتج عن التسخين والبريد، ويمثل شكل رقم 8 أنظمة الفواصل التي أجريت عليها القياسات بصخور المارل



شكل رقم (8): أنظمة الفواصل المؤثرة في صخور المارل.

وأهم الخواص الهندسية لأسطح الشقوق والفواصل يوضحها العرض التالي:

1.2.2: التموج (Roughness): يقصد به شكل سطح الفاصل ومنها ثلاث أنواع رئيسية- أسطح ناعمة (Smooth) أسطح خشنة (Very Rough) وأسطح بين ناعمة وخشنة (Rough) [10] وعن تصنيف الفواصل يصفها الجدول رقم (2)

جدول: 2 تصنيف أشكال سطح الشق. [10]

الوصف	النوع
تشابك متداخل بين سطحي الفاصل برؤوس مدببة	خشنة جداً
وجود تشابك مع انقطاعات بدون تشابك	متوسط
السطح ناعم ويمكن تمثيله بورق السفرة (300).	ناعم

وحقلاً تبين أن الأنظمة الخمسة اتسم أغلبها بتشابك ناعم وهذا أمر متوقع نتيجة للتركيب الصخري للمارل والذي يوصف بأنه لين وفي بعض المواضع يكون هش وبخاصة إن ارتفعت نسبة الطين، وعليه فالتموج الناعم ناجم عن التماثل في التركيب الصخري للمارل بالموقع وصفة النوعية تعد مؤشر خطر للكل الصخرية المفصولة من المنحدر فهي تسهم في زيادة فعل الحركة

60 - 200	Widely spaced	متباعدة
20 - 60	Moderately wide spaced	معتدل
6 - 20	Closely spaced	مغلق قليلاً
2 - 6	Very closely spaced	مغلق
>2	Extremely closed spaced	مغلق جداً

وأجريت القياسات على المنحدرات الموازية للطريق على خط مسح طوله 100 متر وتطبيق المعادلة رقم 2 تبين أن المارل في الجزء السفلي اتسم بتقارب أنظمة الفواصل بمتوسط قيم بلغت (35cm) بتصنيف (Moderatelywidespaced) جدول 4، والجدير بالذكر والاهتمام أن قيم المسافة بين الفواصل بلغت أقل من (1cm) بتصنيف (Extremely closed spaced) في بور الضعف والانهييار، وسبب ذلك تقاطع الأنظمة الأربع (S4،S3،S2،S1)، ولم تختلف الأجزاء العليا في قيم المسافة بين الفواصل فبلغ متوسط قيمها (50cm) بتصنيف (Moderatelywidespaced) أما الأجزاء العليا تميزت بعدم استمرارية الفواصل وبخاصة النظام (s1) وفاعلية النظامين (s2,s3) وبلغت قيم المسافة بين الفواصل (180 cm) وتصنيف (widely spaced) وهذا مايفسر وجود كتل صخرية انهارت بحجم كبير شكل (1).

4.2.2: الانفصال Separation. ويقصد به مقدار انفصال الكتلة أو أجزاء منها عن الكتلة الأصلية [15]. وتم قياس اتساع الفواصل لصخور المارل وقيمت القياسات من التصنيف الوارد بالجدول 6.

جدول (6) تصنيف الانفصال بناء على قياسه [15].

الوصف	Descriptive	مقدار الانفصال
واسع	Wide	أكبر من 200 ملم
متوسط الاتساع	Moderately wide	60-200 ملم
متوسط الضيق	Moderately narrow	20-60 ملم
ضيق	Narrow	6-20 ملم
ضيق جداً	Very narrow	2-6 م
ضيق للغاية	Extremely narrow	0 - 2 mm
مغلق بالكامل	Tight	Zero

أشير لها في الشكل رقم 6 موضع (B)، وعليه وبالرغم من طول المكشوف الصخري والذي بلغ 100 متر وتجانس نوعه الصخري فإن جزء من المنحدر فقط تعرض للإنهييار وذلك عائد الى توقف استمرارية النظام (s5) بسبب قطع استمرارية الفاصل من النظامين (s3،s2) فالنظام (s5) هو المسؤول عن عملية فصل الكتل المكونة للمنحدر عن الصخر الأم ولا يزال هذا الفاصل مستمر في باقي المنحدر الثابت واحتمالية الإنهييار واردة في حال وجود محفز، وسبب آخر للثبات أن القوى الأفقية المؤثرة في وجه المنحدر (3σ) أقل القوى المؤثرة شكل (8).

3.2.2: المسافات بين الفواصل Joint Spacing

(js) يقصد بها المسافة بالسنتيمتر بين الفاصل والفاصل المجاور له، ويعد قياس التباعد مؤشر مهم يوضح حجم الكتل الصخرية فكما تباعدت الفواصل فإن ذلك يعد مؤشراً على كبر الكتل الصخرية المفصولة واقترب الفواصل يعطي دليلاً على صغر لكتل الصخرية، وهذا ما أثبتته الباحث في دراساته على تكوين نالوت وعضو عين طبي، وتم احتساب قيم المسافة بين الفواصل من المعادلة رقم (1) والتي وردت في المرجع [13]. و باستخدامها استخرجت قيم المسافة بين الفواصل لكل نظام (SET) على حده.

$$Sa = S1 + S2 + S3 + \dots 1/SN \dots (1)$$

Sa = متوسط المسافات بين الفواصل = (js)
 S1 المسافة بين الفاصل الأول والثاني لنفس النظام
 S2 المسافة بين الفاصل الثاني والثالث لنفس النظام
 S3 المسافة بين الفاصل الثالث والثالث لنفس النظام
 n عدد المسافات بين الفواصل

واستخدمت المعادلة رقم (2) لإيجاد قيم المتوسط العام للمسافة بين الفواصل لجميع الأنظمة بعد استخراج القيمة لكل نظام على حدة (S1,S2,S3,S4,S5) من المعادلة رقم (1) وتوصف النتائج المتحصل عليها من الجدول 4

جدول: 4 تصنيف المسافة بين الفواصل (js). [14]

الوصف	Description	cm
متباعدة للغاية	Extremely wide spaced	<200

جدول: 7 وصف متانة الكتلة الصخرية [18]

الوصف.	RQD %	نسبة المتانة %
ممتازة.	Very Good	90 – 100
جيدة.	Good	75 – 90
ضعيفة.	Fair	50 – 75
سيئة	Poor	25 – 50
سيئة للغاية.	Very Poor	25<

بلغت مساحة القطاع المدروس 300 متر² وبحساب قيم المتانة تبين أن المتوسط العام لقيم (RQD) في الأجزاء السفلى بلغت (65%) بوصف عام (Fair) جدول 7 وازداد المؤشر في إثبات الضعف عند أخذ القياسات في بؤر الضعف والانهيال ليصل الى (20%) بتصنيف (Very Poor) أما في أعلى القطاع المدروس بلغت قيم (RQD) (79%) بوصف عام (Good) جدول رقم 7 وهذا التصنيف ناتج عن تباعد الأنظمة مما يعطي مؤشراً قوياً على أن انفصال الكتل الصخرية سيكون بحجم كبير، ويمكن ملاحظة حجم بعض الكتل التي انهارت من الجزء العلوي شكل رقم (1) وبلغ المتوسط العام للمكشف ككل (54.6%) بوصف عام (Fair).

3. الخاتمة.

من خلال دراسة مكاشف صخور عضو يفرن مارل الموازية للطريق الجبلي نالوت والتي يبلغ امتدادها 100 متر تبين وجود تأثير واضح لأنظمة الفواصل والشقوق على صخور المارل، وهذا ما أثبتت بالدراسة الميدانية ودراسة الخواص الهندسية لأسطح الشقوق والفواصل، وفي العموم يمكن القول أن صخور المنحدر في حالة ضعف نتيجة كثرة وتأثير الفواصل الشقوق العشوائية، وبالإشارة للدراسة المعنونة (دراسة تأثير التغير في كمية المياه على ثبات منحدرات موقع عين تالة الموازية للطريق الجبلي نالوت)، فقد اهتمت بدراسة المنحدرات التي يستقر عليها الطريق ولم تتطرق للمنحدرات الموازية للطريق بالتحليل وإنما جاء فيها بأن المنحدرات الموازية للطريق تبدو ثابتة ولا يتوقع حدوث أي حركة عليها، وهذا نفتته الدراسة الحالية وبذلك يمكن اعتبار هذه الدراسة مكتملة للدراسة المذكورة آنفاً.

وتتجم الفواصل إما عن قوى قص أو شد شكل (8) ويعد كثرة أنظمة الفواصل (S4،S3،S2،S1) واتجاهاتها دليلاً على التأثير الواضح لتأثير إجهادات ناشئة عن عدة قوى أثرت على صخور المارل، مع أخذ العلم أن القوى المؤثرة في النظام (S5) هي أضعف قوى وهذا النظام هو المسؤول عن انفصال كتل المارل من المصدر ومسألة حدوث انهيار كالذي حصل مرهونة بوجود محفز الحركة أو انهيار بؤر الضعف أسفل في الأجزاء السفلى للمنحدر وبالرغم من اختلاف أنظمة الفواصل في الاتجاه والقوى المؤثرة فإن اتساع الفواصل بلغ متوسطه العام لجميع الأنظمة (55mm) بتصنيف عام متوسط الضيق (Moderately narrow).

5.2.2: جود الكتلة الصخرية.

(Rock Quality Designation) (RQD) جودة هو مؤشر يصف متانة الكتل الصخرية ويتم قياسها بطرق منها جهاز القطع لأخذ عينات (core) في الأماكن التي يمكن استخدام الجهاز فيها أما على منحدرات منطقة الدراسة ولصعوبة استخدام الجهاز ونقله فقد اتبع القياس المباشر باستخدام المعادلة رقم (2) [16]

$$RQD = 115 - 3.3(JV) \dots (2)$$

وجاء اعتمادها لعدة اعتبارات منها: أن القراءات والنتائج تمنح وصفاً وافياً كافيلاً لمتانة المكاشف الصخرية ولأن النتائج تأخذ في اعتبارها تعمق الفواصل بالكتلة الصخرية وتبرز تأثير الفواصل والشقوق غير المرئية معتمداً فيها على حجم الفواصل (Joints Volumetric) (Jv) وتوصف النتائج المتحصل عليها من الجدول رقم (7) وتعد (Jv) مؤشراً على الكيفية التي من المحتمل أن تتصرف بها المكاشف الصخرية، ونتيجة لوجود شقوق عشوائية (Nr) حسب قيم (Jv) ومساحة القطاع المدروس (A) وفق المعادلة رقم (3) [17]، وبالنسبة لقيم (S4،S3،S2،S1) هي ذات القيم المتخرجة من المعادلة (1).

$$JV = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3 + \dots + 1/SN + NR/5\sqrt{A} \dots (3)$$

- system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2004, 41.1: 3-19
- [11] ALAKHDAR, Aboalgasem; and Mansur, Ali., Evaluation of the stability of the rock masses on the slopes adjacent to the mountain road Zintan (NW Libya) JOPAS Vol17 No.,1, 2018. pp.485-556
- [12]http://www.rockmass.net/files/observation_joints.pdf Reference: A. Palmstrom, RockMass.net
- [13] HASHEMI, Mahmoud; MOGHADDAS, Sh; AJALLOEIAN, R. Application of rock mass characterization for determining the mechanical properties of rock mass: a comparative study. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2010, 43: 305-320.
- [14]DAFALLA, Dafalla Siddig; MALIK, Ibrahim Abdel Gadir. Evaluation of Structural Geology of Jabal Omar. *Evaluation*, 2015, 11.01: 67-72.
- [15]PALMSTROM, Arild. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2005, 20.4: 362-377.
- [16]LUCIAN, C.; WANGWE, E. M. The usefulness of rock quality designation (RQD) in determining strength of the rock. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 2013, 2.9: 36-40
- [17]BELL, Frederic Gladstone. *Engineering geology*. Elsevier, 2007.
- [18]SONMEZ, Harun; ERCANOGLU, Murat; DAGDELENLER, Gulseren. A novel approach to structural anisotropy classification for jointed rock masses using theoretical rock quality designation formulation adjusted to joint spacing. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2022, 14.2: 329-345.

4. التوصيات

- 1- ضرورة العمل على تخفيف زاوية القطع من 90° إلى 55° مع إزالة الكتل المفصولة والآلية للإنهيار التي تتوضع أعلى المنحدر مع تجنب الحركة على مسار الطريق أثناء الهطول المطري.
- 2- يجب العمل على إحداث توسعة بالموقع بإزالة صخور عضو يفرن مارل وتكوين نالوت.
- 3- ضرورة مراقبة حالة الفواصل والشقوق وحالة المكشوف الصخري بشكل مستمر ولقترات متقاربة وتسجيل أي حالة انهيار متوقعة أو تسجيل أي تغير في حالة صخور المكشوف.

5. المراجع

- [1] أبو القاسم الأخضر، وآخرون، دراسة تأثير التغير في كمية المياه على ثبات منحدرات موقع عين تالة الموازية للطريق الجبلي نالوت شمالي غرب ليبيا، المؤتمر الثالث للعلوم التطبيقية - المعهد العالي للعلوم والتقنية الأصابع - ليبيا، 2021/11/6.
- [2] HUNT, Roy E. *Geotechnical engineering investigation handbook*. Crc Press, 2005. CRC Press, pp. 329-330.
- [3] CUNDALL, P. A., et al. onsiderations on slope stability in a jointed rock mass. In: 50th US Rock Mechanics Geomechanics symposium. OnePetro, 2016.
- [4] ALAKHDAR, Aboalgasem; Amhemed ALL., Stability Study Of Sandstone Slope Parallel To The Abu Rashada Mountain Road In Gharyan Area - NW Libya. *Journal of Pure & Applied Sciences*, 21(4),2022. 104-110
- [5] GUAN, Zhecun; WANG, Ling; BAE, Jinhye. Advances in 4D printing of liquid crystalline elastomers: materials, techniques, and applications. *Materials Horizons*, 2022.
- [6] Khalifa Abdunaser., et al. The Geologic Contribution To The Mountain Slopes Instability And Its Effect On Rockfall Hazards. A Case Study To The Zintan Road, Jabal Nafusah, Libya, paper within the activities The Fifth Conference for Engineering Science and Technologies (CEST 2022) Jadu - Libya, 20-22, 2022
- [7] CELLEK, Seda. Effect of the slope angle and its classification on landslide. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2020, pp 1-23
- [8] DORREN, Luuk KA. A review of rock fall mechanics and modeling preaches. *Progress in Physical Geography*, 2003, 27.1: 69-87.
- [9] KAFLE, Jeevan, et al. Dynamics of landslide-generated tsunamis and their dependence on the particle concentration of initial release mass. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 2023, 97: 146-161
- [10] CAI, M., et al. Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI