



تقييم استقرارية المنحدرات الصخرية على الجناح الشمالي الشرقي لطية مكحول

المحدبة، شمالي العراق

رفل أمجد خضير^{1*}، محمد راشد عبود¹، عبد السلام مهدي ترف¹

abdulsalam_mehdi@tu.edu.iq

mrabood@tu.edu.iq

rafal.199593@gmail.com

¹ قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

* الباحث المراسل.

تاريخ الاستلام: 28 تشرين الثاني 2024 تاريخ المراجعة: 02 شباط 2025 تاريخ القبول: 03 أيار 2025

تاريخ النشر الإلكتروني: 01 تشرين الأول 2026

الملخص

تقع طية مكحول المحدبة على بعد حوالي 58 كم شمال شرقي مدينة تكريت، تم اختيار ست محطات فيها لهذا البحث وجميعها ضمن تكوين فتحة. واستخدم التحليل الحركي ونظام تصنيف كتلة المنحدر للبحث وتحليل المستوى المحتمل للاستقرار لكل منها، باستخدام برنامجي DIPS v6.008 و SMRTTool v205. بناءً على التحليل الحركي. باستخدام برنامج DIPS v6.008 وجد ان الانزلاق المستوي يحدث في المحطات (1، 2، 5 و 6)، والانزلاق الأسفيني يحدث في جميع المحطات، أما الانقلاب المباشر فيحدث في المحطات (4 و 6)، والانقلاب المائل يحدث في المحطة (6) ويعتبر اقل انواع الانهيارات حدوثاً في منطقة الدراسة. أما تقدير كتلة المنحدر وفقاً لنتائج برنامج (SMR- Tool) المنفصل والمستمر ظهر ان أسوأ حالة للانزلاق المستوي تكون في المحطة (3) والتي تكون غير مستقرة بشكل كلي وتقع ضمن الفئة الخامسة (V) ونسبة انهيار 0.9، والمحطات التي تكون غير مستقرة هي للانزلاق المستوي في المحطة (6) وللانزلاق الاسفيني في المحطة (1)، وتكون ضمن الفئة الرابعة (IV) ونسبة انهيار (0.6)، والمحطات التي تكون مستقرة بشكل جزئي هي للانزلاق المستوي في المحطة (1)، والانزلاق الاسفيني في المحطات (2، 3، 4 و 5 و 6) والانقلاب المباشر في المحطات (4 و 6) والانقلاب المائل في المحطة (6)، وتقع ضمن الفئة الثالثة (III) ونسبة انهيار (0.4).

الكلمات المفتاحية:

تكوين فتحة، الحجر الجيري، التحليل الحركي، الانهيار، جبسوم.

DOI: [10.33899/injes.v26i4.56126](https://doi.org/10.33899/injes.v26i4.56126), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) .

=====

1. المقدمة

إن القوى التي تسبب الانهيارات او تعمل على زيادة احتمالية الانهيارات هي الرطوبة، التجمد، وذوبان الثلج، وكذلك التراكيب الصخرية التي تساعد على الانهيارات مثل الفواصل والشقوق. أهم العوامل المسببة لها هي قوة الجاذبية (Al-Jawadi et al., 2021). وبشكل عام، هناك ثلاثة أسباب رئيسة لعدم استقرار المنحدرات في المناطق الجبلية، وهي: (1) الأسباب الجيولوجية والبيئية (Al-Talib et al., 2021)، (2) الأسباب الجيومورفولوجية والديناميكية (Al-Talib et al., 2021)، (3) الأنشطة البشرية (Jawadi et al., 2021)، مثل حفر المنحدرات والتعجير واستخدام الأراضي (Bayram et al., 2021). وقد قام العديد من العلماء مثل (Umrao et al., 2021).

إن أحد المجالات المهمة لدراسة الجيولوجيا الهندسية هو استقرارية المنحدرات الصخرية. ويعد استقرار المنحدرات أمراً بالغ الأهمية لتقييم استقرار التضاريس الجبلية، حيث يتم تشييد العديد من المرافق الهندسية مثل المباني، الأنفاق، الطرق، قطع الصخور في المناجم والبناء بجميع أشكاله (Qader and Syan, 2021). وإن استقرارية المنحدرات الصخرية على طول المنحدرات المقطوعة بالطرق يشكل مصدر قلق كبير جداً (Al-Jawadi, 2021). وتعتبر الانهيارات الأرضية من أخطر الكوارث البيئية على سكان المناطق الجبلية، وعادة ما تحدث عندما تتوفر العوامل المسببة لها (Bayram et al., 2021).

على شكل مكاشف صخرية مكونة من صخور الحجر الجيري وصخور الجبس والمارل يصل سمكها الى حوالي (268) م في منطقة فتحة الجبس (Hussain, 2009)، ويتميز سمك تكوين انجانة بالتغاير من مكان الى آخر ويعود ذلك إما لحدوث تعرية في المناطق المرتفعة (Al-Naqib, 1959) و (Bellen et al., 1959). من الناحية التكتونية تقع منطقة الدراسة في نطاق الطيات الواطئة ضمن حزام حميرين - مكحول الذي يعتبر الحد الفاصل بين نطاق الرصيف المنقر والرصيف غير المنقر حسب تقسيمات (Buday and Jassim, 1987). حيث انه في عصر البلايوسين اصطدمت الصفحة العربية بالصفحتين التركية والارانية ونج الاصطدام مع الصفحة الارانية تكون جبال زاكروس ذات اتجاه (شمال غرب - جنوب شرق) والذي هو نفس اتجاه محور طية مكحول (Buday and Jassim, 1987). ومن الناحية التركيبية يوصف تركيب مكحول بأنه طية محدبة غير متناظرة وذات غاطس مزدوج (Asymmetrical Anticline Double Plunging) وزاوية ميل طرفها الشمالي الشرقي اعلى من زاوية ميل طرفها الجنوبي الغربي، واتجاه محور الطية (شمال غرب - جنوب شرق) بموازاة سلسلة جبال زاكروس (Al-Ansari, 1973).

تهدف الدراسة الحالية إلى تقييم استقرارية المنحدر الصخري في طية مكحول المحدبة الواقعة على بعد (58) كم شمال شرقي مدينة تكريت، والتي تعتبر بالغة الأهمية بسبب التأثير المحتمل لعدم استقرار المنحدرات الصخرية على الطرق في المناطق الوعرة.

3. منهجية البحث

تم إجراء مسح جيولوجي هندسي على فترات متقطعة من (23) شباط إلى (28) نيسان 2024 ، لست محطات على الطرف الشمالي الشرقي لطية مكحول المحدبة ممثلة منطقة الدراسة على الطريق الواصل بين بغداد والموصل وموقع سد مكحول وضمن تكوين فتحة. وشملت القياسات التي أجريت في الحقل قياس وضعية الطبقات والانقطاعات متمثلة بقيم الميل واتجاه الميل واتجاه المنحدر وزاوية ميل المنحدر بواسطة البوصلة الجيولوجية، وإجراء مسح مفصل للانقطاعات من حيث طبيعة سطوحها، أنواعها، وضعيتها، ترددتها، المسافات بين الانقطاعات، مدى انفتاحها وامتداداتها على اسطح التطبيق، لما لها من دور كبير في استقرارية الكتل الصخرية وعملية القلع.

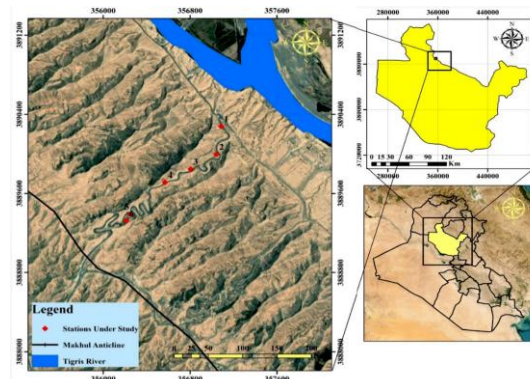
تم إجراء الفحص المختبري وفقاً للطريقة المقترحة من قبل (ISRM, 1985) لقياس مؤشر القوة من اختبار حمل النقطة. وتم تصنيف المقاومة الانضغاطية حسب (Anon, 1977). في هذه الدراسة، يتم استخدام التحليل الحركي جنباً إلى جنب مع أنظمة (SMR) و (CSMR) لتحليل استقرار المنحدرات الصخرية. التحليل الحركي هو تحليل احتمالية حدوث الانهيار فيما يتعلق بمجموعات الفواصل، ومستوى التطبيق، وزاوية الاحتكاك الداخلي، يمكن استخدام التحليل الحركي بسهولة لتحديد الانهيارات المحتملة. ان الانواع الرئيسية

Siddique et al., 2015؛ Sarkar et al., 2012؛ 2011 Saranaathan and Kannan, ؛Basahel and Mitri, 2017؛ 2017 Al- ؛Fattah et al., 2023؛ Sharma et al., 2019؛ Jumili, 2024 بفحص استقرارية المنحدرات الصخرية بالقرب من قطع الطرق التي تربط المناطق النائية في الوديان أو على سفوح التلال والجبال.

تم اختيار ست محطات (مواقع المنحدرات) بناءً على المكاشف الصخرية والمحتمل حدوث انهيار فيها. تم استخدام التحليل الحركي ونظام تصنيف كتلة المنحدر (Slope Mass Rating, SMR) لبحث وتحليل المستوى المحتمل لاستقرارية كل منها من خلال برنامج (SMRTool v205) (Rocscience, 2015) (DIPS v6.008) (Riquelme et al., 2014). يستخدم التحليل الحركي بشكل شائع للتنبؤ بالانهيارات المحتملة (الانزلاق المستوي، الانزلاق الاسفيني، الانقلاب) والاتجاه المحتمل لحدوث الانهيار على طول الفواصل باستخدام تقنية الإسقاط الشبكي الجسم. بالإضافة إلى ذلك، تم تسجيل قيم معامل تصنيف كتلة الصخور (Rock Mass Rating, RMR) لطريقة استقرارية المنحدر التي اقترحها (Bieniawski, 1989)، في حين تم تسجيل قيم معامل (SMR) باستخدام طريقة التصنيف التي اقترحها (Romana et al., 2003) و (Tomas et al., 2007).

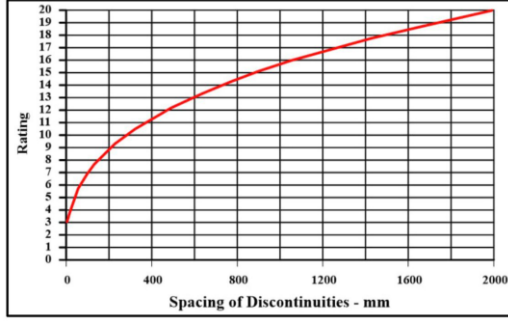
2. موقع وجيولوجية منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة ضمن الحدود الإدارية لمحافظة صلاح الدين في قضاء بيجي شمالي العراق في الجناح الشمال الشرقي لطية مكحول المحدبة وعلى بعد حوالي (58) كم شمال شرقي مدينة تكريت ضمن الاحداثيات (357085 - 356212) شرقاً و (3890278 - 3889325) شمالاً حسب نظام الاحداثيات التربيعية (UTM) كما في الشكل (1).



شكل 1: خارطة موقعية لمنطقة الدراسة موضح عليها المحطات المختارة.

ينكشف في منطقة الدراسة تكوين فتحة الذي يعود إلى عصر المايوسين الاوسط (Middle Miocene) وتكوين انجانة العائد إلى عصر المايوسين الاعلى (Upper Miocene) بالإضافة إلى ترسبات حديثة تعود إلى العصر الرباعي (Quaternary). يظهر تكوين فتحة



شكل 4: تصنيف المسافة بين الانقطاعات.

أن (SMR) يتم حسابه عن طريق جمع (RMR) مع ثلاثة عوامل تصحيح، أحدها هو عامل طريقة الحفر. تم تعديل SMR إلى حد ما يشمل الانهيار الإسفيني والانزلاق المستوي والانقلاب (Anbalagan et al., 1992). قام (Tomás et al., 2007) بتعديل نهج روماننا المنفصل (SMR) وإنشاء SMR المستمر (Continuous Slope Mass Rating, CSMR)، على عكس المنفصل (SMR)، الذي يقدم نطاقاً لكل عامل تعديل. ويقدم (CSMR) قيمة فريدة لكل منها. توضح المعادلة (1) كيف يتم حساب (SMR) باستخدام (RMRb) بالإضافة إلى عوامل التعديل التي اقترحها (Romana, 1985) والتي تمثل مدى ثبات المنحدر، كما في المعادلة الآتية:

$$SMR = RMRb + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4 \dots (1)$$

تم إجراء تعديل لقيمة (SMR) المنفصل إلى قيمة (CSMR) المستمر والتي تكون قيم الناتجة أكثر دقة، حيث يتم حساب عوامل التصحيح (F1, F2, F3) عن طريق المعادلات التالية (Tomás et al., 2007):

$$F1 = (16/25) - (3/500) \cdot \text{Arctan} [(1/10) (|A| - 17)] \dots (2)$$

إذ إن: $|A| = \alpha_j - \alpha_s$ للانزلاق المستوي.

$|A| = \alpha_i - \alpha_s$ للانزلاق الأسفيني.

$|A| = \alpha_j - \alpha_s - 180$ للانقلاب.

أن (α_j) هي اتجاه ميل للفواصل، وأن (α_s و α_i) تمثل اتجاه المنحدر واتجاه الغاطس لخط تقاطع مستويين فاصلين

(يستخدم للانزلاق المستوي والأسفيني)

$$F2 = (9/16) + (1/195) \cdot \text{Arctan} [(17/100)B - 5] \dots (3)$$

(يستخدم للانقلاب) $F2 = 1 \dots (4)$

أن قيمة (B) تمثل ميل الفاصل (β_j) في الانزلاق المستوي والانقلاب وتمثل خطوط التقاطع في الانزلاق الأسفيني.

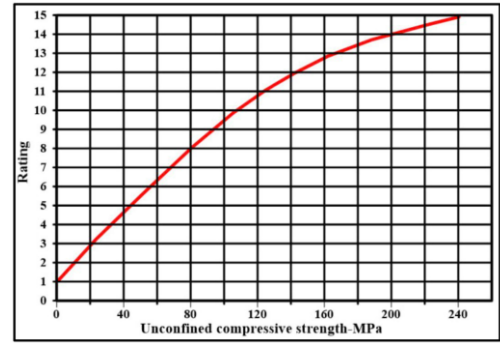
(يستخدم للانزلاق المستوي والأسفيني) $F3 = -30 + (1/3) \cdot \text{Arctan} (C) \dots (5)$

(يستخدم للانقلاب) $F3 = -13 - (1/7) \cdot \text{Arctan} (C - 120) \dots (6)$

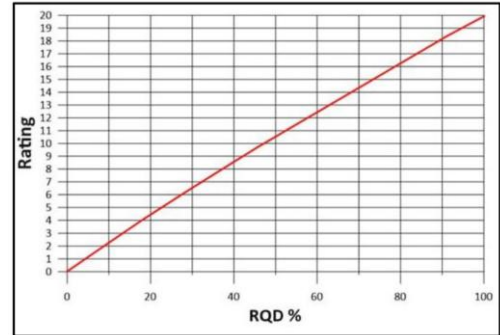
أن قيمة (C) تمثل الانزلاق المستوي في الاختلاف الزاوي لميل الفاصل والمنحدر (β_s, β_j)، وتمثل قيمة (C) في الانزلاق الأسفيني بأنه الفرق بين ميل خط التقاطع وميل للمنحدر ($C = \beta_j - \beta_s$)، وتمثل

للانهيارات الأرضية هي (الانزلاق المستوي، الانزلاق الأسفيني، الانقلاب، السقوط الصخري) (Hock and Bray, 1981).

يوضح برنامج (DIPS v6.008) البيانات التي تم الحصول عليها بشكل مجسم (Rocscience, 2015). ويجب أن يكون التماسك عبر الانقطاعات صفراً، ويجب أن تكون زاوية الاحتكاك الداخلي هي العامل الوحيد الذي يحدد قوة القص. حيث تم استخدام طريقة الإمالة لحساب زوايا الاحتكاك الداخلي (Bruce et al., 1989). اقترح (Romana, 1985) نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR) لتصنيف استقرار منحدر الصخور. كما اقترح (Bieniawski, 1989) نظام تصنيف كتلة الصخور (RMR). هناك ست معاملات ضرورية لإيجاد (RMR) هي: (1) المقاومة الانضغاطية غير المحصورة؛ (2) مؤشر جودة الصخور (RQD)؛ (3) المسافة بين الانقطاعات؛ (4) حالة المياه الجوفية؛ (5) حالة الانقطاعات؛ (6) اتجاهات أو وضعية الانقطاعات. يمكن الحصول على تصنيف هذه المعاملات من (Bieniawski, 1989) كما في الأشكال (2، 3 و 4)، حيث يتم جمع قيم هذه العوامل لإعطاء قيمة (RMR₁₉₈₉).



شكل 2: تصنيف المقاومة الانضغاطية غير المحصورة (UCS).



شكل 3: تصنيف جودة كتلة الصخور (RQD).

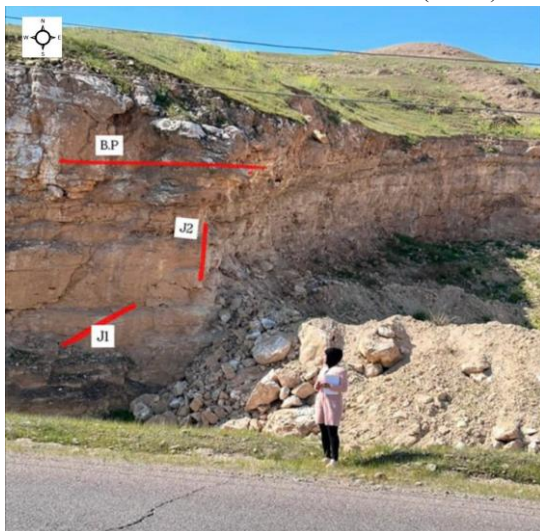
4. النتائج والمناقشة

في هذه الدراسة، تم مسح المنحدر في ست محطات والتي تختلف في خصائص الصخور الجيولوجية والجيومورفولوجية والتركيبية وأنماط اسطح الانقطاعات. تتكون المنحدرات في منطقة الدراسة من الناحية الصخرية في المحطة رقم (1) من الجبسوم ذي اللون الابيض مع طبقات من الحجر الجيري ذي اللون الاصفر الفاتح، وفي المحطة رقم (2) من طبقات من الجبسوم ذي اللون الابيض مع طبقات من الحجر الجيري المارلي، وفي المحطات (3)، (4)، (5 و 6) طبقات من الحجر الجيري ذي اللون الأصفر الفاتح مع طبقات من الحجر الجيري المارلي ذي اللون الرصاصي الى الاخضر الفاتح وطبقات من الجبسوم. ويتراوح ميل المنحدرات الصخرية من (30°-90°) كما هو مبين في الجدول (1).

جدول (1) معلومات المحطات في منطقة الدراسة (أسم التكوين ووضعية كل من المنحدرات ومستويات التطبيق والانقطاعات وكذلك زاوية الاحتكاك الداخلي).

رقم المحطة	التكوين	المنحدر Slope	الطبقات Bedding	اتجاه ميل / قيمة ميل			زاوية الاحتكاك الداخلي (Ø)
				مجموعة الفواصل (J1)	مجموعة الفواصل (J2)	مجموعة الفواصل (J3)	
1	فتحة	90°/030°	22°/030°	70°/160°	88°/140°	-----	38°
2		90°/030°	20°/030°	84°/030°	88°/150°	-----	40°
3		90°/150°	45°/064°	70°/220°	74°/020°	-----	35°
4		90°/150°	18°/020°	90°/290°	70°/250°	-----	32°
5		84°/120°	18°/030°	90°/210°	90°/108°	-----	30°
6		90°/120°	90°/040°	88°/20°	90°/120°	60°/200°	30°

4. امكانية حدوث الإنقلاب المائل في المحطة رقم (6) من تقاطع (J1&J2).



اللوحة 1: منحدر المحطة رقم (1)، موضحا فيها الانقطاعات، سطح التطبيق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).

قيمة (C) في الأنقلاب بأنه مجموع ميل الفاصل وميل المنحدر (C= βj + βs).

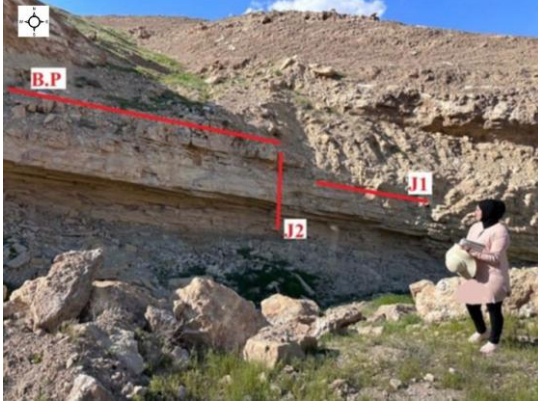
تم تثبيت عامل التعديل لطريقة حفر المنحدر الصخري F4 تجريبياً (Anbalagan et al., 1992). هذه القيم ذات صلة أيضاً بتصنيف (CSMR)، باستخدام (SMRTool-v205 (Riquelme et al., 2014، الذي يستخدم قيم (RMRb)، تم تنفيذ عدم الاستمرارية، وموقف المنحدر، (SMR) لـ (Romana, 1985)، وتقييم كتلة المنحدر المستمر (CSMR) لـ (Tomas et al. 2007) باستخدام هذا النوع من حفر المنحدر لجميع محطات المنحدر المقطوعة في الصخر.

5. التحليل الحركي

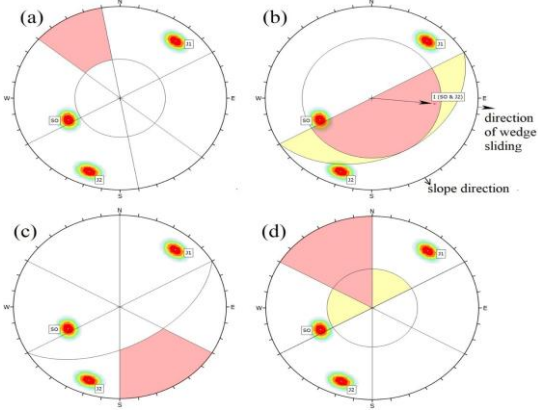
أجري التحليل الحركي لمنحدرات منطقة الدراسة اعتماداً على اختبار ماركلاند باستخدام برنامج (DIPS v6.008) (Rocscience, 2015) وباستخدام زاوية الاحتكاك الداخلي ووضعية الانقطاعات للصخور وكذلك قيمة اتجاه الميل وقيمة الميل للمنحدر للكشف عن أي انهيار محتمل، يتم عرض منطقة الانهيار المحتملة باللون الوردي لكل من المحطات الست (الاشكال 5,6,7,8,9,10)، وكما موضح في اللوحات (1,2,3,4,5,6). وكانت النتائج كما يلي:

1. امكانية حدوث الأنزلاق المستوي في المحطات (1، 2، 5 و 6) حيث يحدث الأنزلاق المستوي على الأنقطاع (J1) في المحطات (1، 2 و 5)، وعلى الأنقطاع (J2) في المحطتين (1 و 6).
2. امكانية حدوث الأنزلاق الأسفيني في جميع محطات منطقة الدراسة حيث يحدث من تقاطع (J1&J2) في المحطات (1، 2، 4 و 5) ومن تقاطع (SO&J2) في المحطة رقم (3)، ومن تقاطع (SO&J1) في المحطة رقم (6).
3. امكانية حدوث الأنقلاب المباشر في المحطتين (4 و 6)، حيث يحدث من تقاطع (SO&J2) في المحطة رقم (4)، ومن تقاطع (SO&J1) و (J1&J3) في المحطة رقم (6).

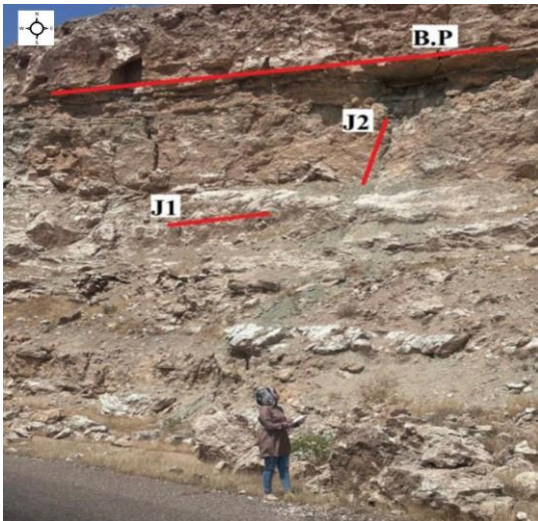
أحتمال حصول انقلاب مباشر، حيث أن (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبيق، (J2, J1) مجاميع الفواصل.



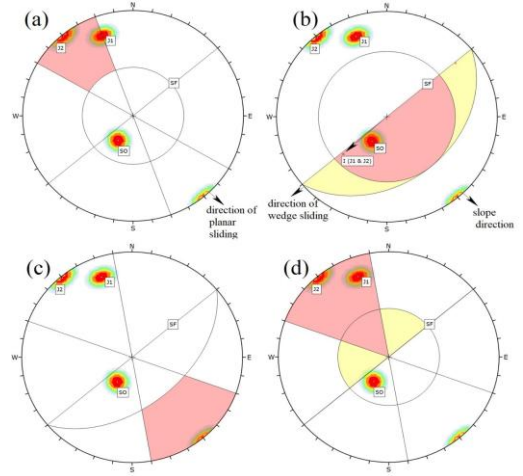
اللوحة (3) منحدر المحطة رقم (3)، موضحا فيها الانقطاعات، سطح التطبيق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).



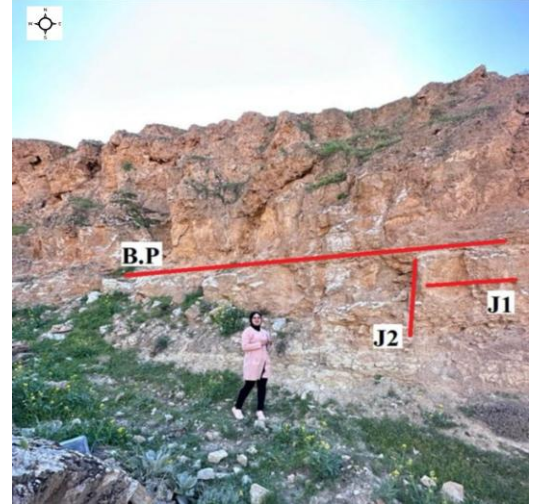
الشكل (7) نتائج التحليل الحركي للمحطة رقم (3)، الشكل (a) لا يوجد أحتمال أنزلاق مستوي (b) أحتمال حصول أنزلاق أسفيني من تقاطع (J2 & SO) (c) لا يوجد أحتمال حصول انقلاب أنثنائي (d) لا يوجد أحتمال حصول انقلاب مباشر، حيث أن (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبيق، (J2, J1) مجاميع الفواصل.



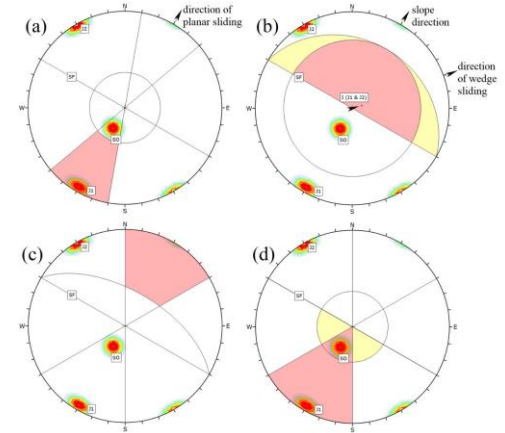
اللوحة (4) منحدر المحطة رقم (4)، موضحا فيها الانقطاعات، سطح التطبيق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).



شكل 5: نتائج التحليل الحركي للمحطة (1)، (a) احتمال انزلاق مستوي حول اقطاب الانقطاع (J1, J2). (b) احتمال حصول انزلاق أسفيني من تقاطع J1 مع J2. (c) لا يوجد احتمال حصول انقلاب ثنائي. (d) لا يوجد احتمال حصول انقلاب مباشر، حيث (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبيق، (J1, J2) مجاميع الفواصل.

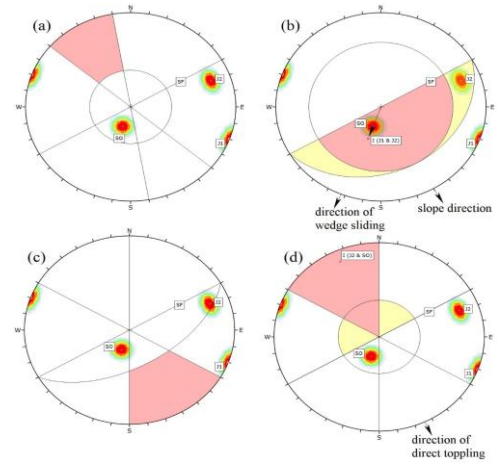
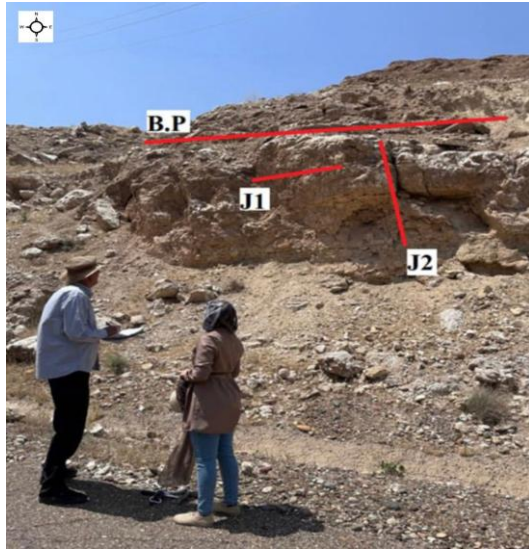


اللوحة (2) منحدر المحطة رقم (2)، موضحا فيها الانقطاعات، سطح التطبيق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).



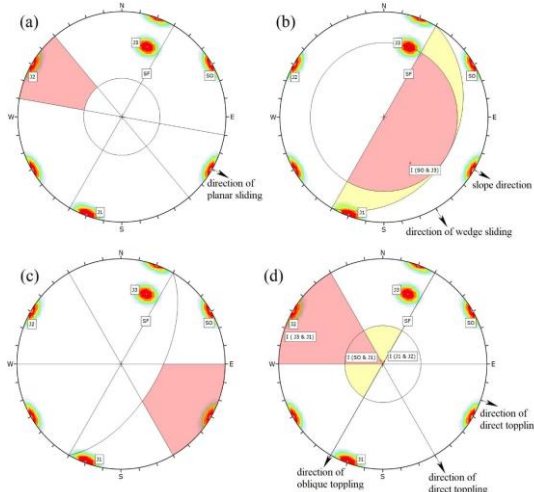
الشكل 6: نتائج التحليل الحركي للمحطة رقم (2)، الشكل (a) أحتمال أنزلاق مستوي حول قطب الانقطاع (J1) (b) أحتمال حصول أنزلاق أسفيني من تقاطع (J2 & J1) (c) لا يوجد أحتمال حصول انقلاب أنثنائي (d) لا يوجد

أحتمال حصول أنقلاب مباشر، حيث أن (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبق، (J2, J1) مجاميع الفواصل.



الشكل (8) نتائج التحليل الحركي للمحطة رقم (4)، الشكل (a) لا يوجد أحتمال أنزلاق مستوي (b) أحتمال حصول أنزلاق أسفيني من تقاطع (J2 & J1)، (c) لا يوجد أحتمال حصول أنقلاب أنثنائي (d) أحتمال حصول أنقلاب مباشر من تقاطع (J2 & SO)، حيث أن (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبق، (J2, J1) مجاميع الفواصل.

اللوحة (6) منحدر المحطة رقم (6)، موضحة فيها الانقطاعات، سطح التطبق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).

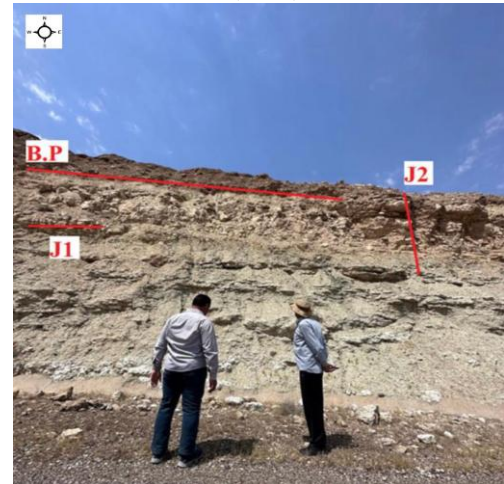


الشكل 10: نتائج التحليل الحركي للمحطة رقم (6)، الشكل (a) أحتمال أنزلاق مستوي حول قطب الانقطاع (J2) (b) أحتمال

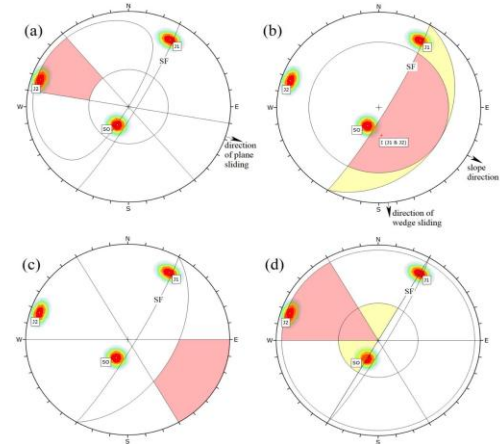
حصول أنزلاق أسفيني من تقاطع (J3 & SO) (c) لا يوجد أحتمال حصول أنقلاب أنثنائي (d) أحتمال حصول أنقلاب مباشر من تقاطع (J2, J1)، (J1 & SO)، (J2 & J1)، (J3 & J1) حيث أن (SF) وجه المنحدر، (SO) مستوى التطبق، (J2, J1) مجاميع الفواصل.

6. نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR)

تم استخدام التحليل الحركي لتحديد أربع أنماط فشل رئيسية للمنحدرات الصخرية هي (أنزلاق مستوي، أنزلاق أسفيني، انقلاب مباشر، انقلاب مائل) كما هو موضح في الجدول (2)، وتم تطبيق هذه النتائج على نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR). ومن ثم تحديد (RMRb) وفقاً لاقتراح (Bieniawski, 1989). تم حساب المقاومة الانضغاطية غير المحصورة (UCS) من اختبارات حمل النقطة من خلال معادلات



اللوحة (5) منحدر المحطة رقم (5)، موضحة فيها الانقطاعات، سطح التطبق، اتجاه التصوير (شمال-غرب).



الشكل (9) نتائج التحليل الحركي للمحطة رقم (5)، الشكل (a) أحتمال أنزلاق مستوي حول قطب الانقطاع (J1) (b) أحتمال حصول أنزلاق أسفيني من تقاطع (J2 & J1) (c) لا يوجد أحتمال حصول أنقلاب أنثنائي (d) لا يوجد

(236)، كما هو مبين في الجدول (5). ويبين الجدول (6) معاملات (RMR) المستخدمة لوصف الكتلة الصخرية للمحطات في منطقة الدراسة. وأن قيمة (RMRb) والتي يتم حسابها عن طريق حساب خواص الكتلة الصخرية بما تمثله من قيم من الاشكال (2) و (3) و (4) ثم تضاف التقديرات لتعطي قيمة (RMRb) ومن ثم الحصول على قيم (RMRb(1989) لكل محطة، كما هو موضح في الجدول (7).

والتي تم إجراؤها وفقاً (ISRM, 1985)، ويوضح الجدول (3) قيم (UCS) وتتراوح القيم من (7.61) إلى (27.9) ميكا باسكال. تم استخدام العلاقة بين عدد الفواصل الحجمية (Jv) و(RQD) كما في المعادلة (7) لحساب قيمة (RQD) (Palmstrom, 2005) :

$$RQD = 110 - 2.5 (Jv) \dots\dots\dots (7)$$

والتي تتراوح ما بين (93.68%) إلى (78.33%)، وتتراوح قيمة متوسط التباعد لجميع الانقطاعات من (459.55mm) إلى (mm)

جدول 2: نتائج التحليل الحركي للمنحدرات الصخرية باستخدام برنامج (DIPv-6.008).

التكوين Formation	المحطات Stations	الانزلاق المستوي Plane sliding, failure probability, and trend	الانزلاق الاسفيني Wedge Sliding, failure probability, and trend	انقلاب ثنائي Flexural Toppling, failure probability, and trend	انقلاب مباشر Direct Toppling, failure probability, and trend	انقلاب مائل
فتحة	1	140°, 160°	228°	-----	-----	-----
	2	30°	74°	-----	-----	-----
	3	-----	96°	-----	-----	-----
	4	-----	203°	-----	155°	-----
	5	108°	175°	-----	-----	-----
	6	120°	150°	-----	110°, 150°	210°

جدول 3: نتائج فحص حمل النقطة وقيمة المقاومة الانضغاطية غير المحصورة (UCS) لنماذج منطقة الدراسة.

التكوين Formation	المحطة Stations	D (mm)	W (mm)	F (Kn)	F (Mn)	A	f	De ² (m ²)	IS	IS ₍₅₀₎	UCS*
فتحة	1	110.7	50.8	2.05	0.0021	5623.6	1.267	0.007	0.286	0.363	7.616
	2	110.5	30.7	1.8	0.0018	3392.4	1.131	0.004	0.417	0.471	9.893
	3	110.6	60.4	7.73	0.0077	6680.2	1.317	0.0085	0.908	1.1966	25.128
	4	80.6	50.2	5.54	0.0055	4046.1	1.176	0.0051	1.0748	1.2649	26.562
	5	120.2	62	9.35	0.0094	7452.4	1.350	0.009	0.985	1.330	27.925
	6	110.2	55.2	7.9	0.0079	6083	1.290	0.008	1.019	1.315	27.615

* UCS: Unconfined compressive strength

جدول 4: عدد الفواصل الحجمي (JV)، (RQD) ومعدل التباعد للمحطة رقم (1).

Discontinuities (Joints and Bedding plane)	Set spacing and frequency		Average spacing (m)	Average frequency
	Spacing (m)			
	Min.	Max.		
Bedding plane (So)	0.05	0.70	0.375	2.6
(J1)	0.2	1.2	0.7	1.428
(J2)	0.20	0.60	0.4	2.5
Jv= Σ Frequencies (Joints/m³)				
6.528				
RQD = 93.68				
Average frequency of all discontinuities =Jv/3				
2.176				
Average frequency of all discontinuities (m) = (1 / Average frequency)				
459.55mm				

جدول 5: عدد الفواصل الحجمي (JV) عامل جودة الصخور (RQD) ومعدل التباعد للانقطاعات لجميع محطات منطقة الدراسة.

Formation	Stations	Jv (Joint/m ³)	RQD	Average spacing of all discontinuities (m)
فتحة	1	6.528	93.68	0.45
	2	9.260	86.838	0.324
	3	10.302	84.245	0.2912
	4	7.8023	90.495	0.384
	5	10.434	83.915	0.287
	6	12.666	78.335	0.236

جدول 6: وصف الكتلة الصخرية (RMR) في المحطات.

Formation	Stations	Uniaxial compressive strength (UCS)(MPa)	RQD	Average spacing of all discontinuities (m)	Condition of discontinuities	Groundwater condition
فتحة	1	7.616	93.68	0.45	Persistence <1m, separation > 5, Smooth, no infilling, slightly weathered.	Wet
	2	9.893	86.838	0.324	Persistence < 1 m, separation > 5, Smooth, no infilling, slightly weathered.	Wet
	3	25.1288	84.245	0.2912	Persistence < 1 m, separation > 5mm, Smooth, no infilling, Moderately weathered.	Wet
	4	26.56	90.495	0.384	Persistence < 3-10 m, separation < 0.1mm, Smooth, no infilling, slightly weathered.	Wet
	5	27.925	83.915	0.287	Persistence < 3-10 m, separation < 0.1mm, Smooth, no infilling, slightly weathered.	Wet
	6	27.615	78.335	0.236	Persistence <1m, separation > 5, Smooth, no infilling, slightly weathered.	Wet

جدول 7: توصيف معاملات كتلة الصخور (RMR) وقيم RMRb(1989) للكتل الصخرية في محطات منطقة الدراسة.

Formation	Stations	Rating of parameters					RMR _b (1989)
		Uniaxial compressive strength (UCS)	RQD	Average space in all Discontinuities	Condition of discontinuities	Ground water	
فتحة	1	1.7	19	11.9	18	7	57.6
	2	1.3	16.5	10.7	18	7	53.5
	3	3.2	17	10.3	16	7	53.5
	4	3.3	18.2	10.2	19	7	57.7
	5	3.5	16.9	10.2	19	7	56.6
	6	3.5	15.6	9.5	23	7	58.6

الجدول 8: نتائج تصنيف كتلة المنحدر (SMR) المنفصلة باستخدام برنامج (SMRTool).

Stations	Slope attitude	RMRb	Failure type	Failure Direction	F1	F2	F3	F4	F1, F2, F3	SMR value	SMR class/ Stability
1	030°/90°	57.6	PS	140°	0.15	1	-25	0	-3.75	53	III / Pasta
			PS	160°	0.15	1	-25	0	-3.75	53	III / Pasta
			WS	228°	0.7	1	-25	0	-17.5	40	IV / Unsta
2	030°/90°	53.5	PS	30°	1	1	-50	0	-50	3	V / CUnsta
			WS	74°	0.15	1	-50	0	-7.5	46	III / Pasta
3	150°/90°	53.5	WS	96°	0.15	0.85	-60	0	-7.65	45	III / Pasta
4	150°/90°	57.7	WS	203°	0.15	1	-6	0	-0.9	56	III / Pasta
			DT	155°	0.85	1	0	0	0	57	III / Pasta
5	120°/84°	56.6	PS	108°	0.7	1	-6	0	-4.2	52	III / Pasta
			WS	175°	0.15	1	-6	0	-0.9	55	III / Pasta
6	120°/90°	58.6	PS	120°	1	1	-25	0	-25	33	IV / Unsta
			WS	150°	0.15	1	-60	0	-9	49	III / Pasta
			DT	150°	0.15	1	-25	0	-3.75	54	III / Pasta
			DT	110°	0.7	0.15	-60	0	-6.3	52	III / Pasta
			OT	150°	0.15	1	-25	0	-3.75	54	III / Pasta

Where: PS=Planar sliding, WS=Wedge sliding, FT=Flexural toppling, DT=Direct toppling, F1, F2andF3 are adjustment factors of SMR, Sta=Stable, Pasta=Partially stable, Unsta=Unstable, Cunsta=Completely unstable.

الجدول 9: نتائج قيمة (CSMR) المستمرة باستخدام برنامج (SMRTool).

Stations	Slope attitude	RMRb	Failure type	Failure Direction	F1	F2	F3	F4	F1, F2, F3	SMR value	(CSMR) class/ Stability
1	030°/90°	57.6	PS	140°	0.20115	1	-25.6526	0	-5.16	52	III / Pasta
			PS	160°	0.16411	1	-25.716	0	-4.2202	53	III / Pasta
			WS	228°	0.60812	1	-25.3434	0	-15.4118	42	III / Pasta
2	030°/90°	53.5	PS	30°	0.99721	0.9925	-56.8459	0	-56.2618	0	V / CUnsta
			WS	74°	0.22252	0.99113	-57.7073	0	-12.7272	40	IV / Unsta
3	150°/90°	53.5	WS	96°	0.19053	0.87884	-59.6155	0	-9.9825	43	III / Pasta
4	150°/90°	57.7	WS	203°	0.31093	1	-4.0731	0	-1.2664	56	III / Pasta
			DT	155°	0.93846	1	-0.62322	0	-0.5848	57	III / Pasta
5	120°/84°	56.6	PS	108°	0.79939	0.9956	-3.1541	0	-2.5103	54	III / Pasta
			WS	175°	0.24666	0.9956	-3.1541	0	-0.77458	55	III / Pasta
			PS	120°	0.99721	0.9956	-30	0	-29.7646	28	IV / Unsta
6	120°/90°	58.6	WS	150°	0.32541	0.9343	-59.5446	0	-18.1035	40	IV / Unsta
			DT	150°	0.32541	1	-25.7133	0	-8.364	50	III / Pasta
			DT	110°	0.84995	0.15896	-59.7878	0	-8.0779	50	III / Pasta
			مائل	150°	0.1466	1	-25.716	6	-3.7751	54	III / Pasta

Where: PS=Planar sliding, WS=Wedge sliding, FT=Flexural toppling, DT=Direct toppling, F1, F2andF3 are adjustment factors of SMR, Sta=Stable, Pasta=Partially stable, Unsta=Unstable, Cunsta=Completely unstable.

تم حساب قيمة (RMRb) من تغيرات في صفات كتلة الصخور، وأن هذه القيمة تستخدم لأيجاد (SMR) في كل المحطات، وأن قيم (F2, F3, F1) يتم حسابها من خلال البرنامج (SMRTool v205) وذلك اعتماداً على الاتجاه النسبي للفواصل نسبة إلى المنحدر، وأن قيمة (F4) تعتمد على طبيعة ونوع المنحدر، وبما أن المنحدر ناتج من الحفر عن طريق وسائل ميكانيكية، فإن قيمته هي صفر (0).

لتقييم استقرارية المنحدرات الصخرية في جميع المحطات، تم حساب نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR) لـ (Romana, 1985) ونظام تصنيف كتلة المنحدر المستمر (CSMR) لـ (Tomas et al., 2007) عن طريق استخدام برنامج (SMRTool v205) (Riquelme et al., 2014)، حيث أن البرنامج يحتوي على نظامين هما نظام كتلة المنحدر المنفصل (SMR) ونظام كتلة المنحدر المستمرة (CSMR).

10. بيان التمويل

لم يتلق هذا البحث أي تمويل خارجي.

11. المصادر

Al-Jawadi, A.S., 2021. Theoretical Models of Slope Stability Analysis in The Maqlub Mountain Rock Cut Routes, North Iraq, 2021, The Iraqi Geological Journal, 54 (1A), pp. 55-68. <https://doi.org/10.46717/igj.54.1A.6Ms-2021-01-27>.

Al-Jawadi, A.S., Al-Dabbagh, Th.H., and Dawlat, M.S., 2021, Slope Assessment and Suggested Slope Design of the Bekhme Residential Complex in North Iraq, Indian Geotechnical Journal, pp. 1-11, Springer India. <https://doi.org/10.1007/s40098-020-00497-1>.

Al-Jumili, A.I., 2024. "Assessment of Rock Slope Stability along the Qaywan-Mokba Road in Sulaymaniyah Governorate / Northeastern Iraq." Iraqi Geological Journal. 44 P.

Al-Naqib, K.M., 1959. Geology of the Southern area of Kirkuk Liwa, Iraq. IPC. Technical pub. London, internal report.

Al-Talib, S.A., Al-Jawadi, A.S., and Al-Sanjari, A.A., 2021. Impact of Gercus Formation Erosion and Rock Sliding on Duhok Dam Reservoir – Northern Iraq, Iraqi Journal of Science, Vol. 62, No. 5, pp. 1562-1569. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2021>.

Anbalagan, R., Sharma, S. and Raghuvanshi, T.K., 1992, June. Rock mass stability evaluation using modified SMR approach. In Rock Mechanics Proceedings of the Sixth National Symposium on Rock Mechanics, 258–268.

Anon., 1977: The description of rock masses for engineering purposes, Report by the Geological Society Engineering Group Working Party, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.10, pp.355-388.

Bayram, A.F., Mohamed, A.I. and Othman, A.A., 2021. Stability and sustainability assessment for the surface failure of various rock slopes excavated along the Konya-Alanya Road segment, Turkey. Kuwait Journal of Science, 48(4), 1-15.

Bellen, Van R.C., Dunnington, H.W., Wetzels, R., Morton, D.M., 1959. Lexique stratigraphique international, V.3, Iraq, Asie, Paris, Internet Geol. Cong. Comm. Strat. Pt., 333 P.

Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley and Sons, 251.

Bruce, I.G., Cruden, D.M. and Eaton, T.M., 1989. Use of a tilting table to determine the basic friction angle of hard rock samples. Canadian Geotechnical Journal, 26(3), 274-279.

Buday, T. and Jassim, S.Z., 1987. The Regional Geology of Iraq. Vol.2, Tectonism, Magmatism and Metamorphism, Edited by Kassab, I.I and Abbas, M.J. Baghdad, Iraq, 352 p.

من خلال برنامج (SMR Tool) تمت ملاحظة أن أقل قيمة لتصنيف كتلة المنحدر لـ (SMR) المنفصل والمستمر للأنزلاق المستوي تكون في المحطة (3) والتي تتراوح قيمها (3-0) والتي تكون غير مستقرة بشكل كلي (Completely unstable) وتقع ضمن الفئة الخامسة (V) وبنسبة انهيار (0.9)، والمحطات التي تكون غير مستقرة (Unstable) وتكون ضمن الفئة الرابعة (IV) والتي تتراوح قيمها (28-42) وبنسبة انهيار (0.6) للأنزلاق المستوي هي محطة (6) وللأنزلاق الاسفيني هي المحطة (1)، والمحطات التي تكون مستقرة بشكل جزئي (Partially stable) وتقع ضمن الفئة الثالثة (III) وبنسبة انهيار 0.4 والتي تتراوح قيمها ما بين (43 - 57) للأنزلاق المستوي هي في المحطة (1)، والآنزلاق الاسفيني في المحطات (2، 3، 4، 5 و 6) والآنقلاب المباشر في المحطات (4 و 6) والآنقلاب المائل في المحطة (6).

من خلال مقارنة النتائج ما بين الـ (SMR) و الـ (CSMR) وجد هنالك اختلاف في بعض المحطات، حيث ان الأنزلاق الأسفيني في المحطات (2، 6) لـ (SMR) كانت مستقرة بشكل جزئي (Partially stable) وتقع ضمن الفئة الثالثة (III)، اما الأنزلاق الاسفيني لنفس المحطات لـ (CSMR) فتكون غير مستقرة (Unstable) وضمن الفئة الرابعة (IV).

7. الاستنتاجات

تبين من خلال نتائج التحليل الحركي باستخدام برنامج (DIPS v6.008) ان اكثر انواع الانهيار حدوثاً هي من نوع الأنزلاق الأسفيني حيث يحدث في جميع محطات منطقة الدراسة، اما الانهيار الأخر فهو انهيار الأنزلاق المستوي والذي يحدث في المحطات (1، 2، 5 و 6)، والآنقلاب المباشر يحدث في المحطات (4 و 6)، اما اقل انواع الانهيارات حدوثاً فهو الآنقلاب المائل والذي يحدث في المحطة (6). وفقاً لنتائج برنامج (SMR Tool) المنفصلة والمستمرة، فإن أسوأ حالة للأنزلاق المستوي تكون في المحطة (3) والتي تكون غير مستقرة بشكل كلي وتقع ضمن الفئة الخامسة (V) وبنسبة انهيار 0.9، والمحطات التي تكون غير مستقرة هي للأنزلاق المستوي في المحطة (6) وللأنزلاق الاسفيني في المحطة (1)، وتكون ضمن الفئة الرابعة (IV) وبنسبة انهيار (0.6)، والمحطات التي تكون مستقرة بشكل جزئي هي للأنزلاق المستوي في المحطة (1)، والآنزلاق الاسفيني في المحطات (2، 3، 4، 5 و 6) والآنقلاب المباشر في المحطات (4 و 6) والآنقلاب المائل في المحطة (6)، وتقع ضمن الفئة الثالثة (III) وبنسبة انهيار 0.4.

8. الشكر والتقدير

شكري وتقديري إلى الاساتذة المشرفين على مساعدتهم السخية ومعلوماتهم القيمة.

9. تضارب المصالح

يُعلن المؤلفون أنه لا يوجد لديهم أي تضارب في المصالح.

Fattah, M.B., AL-Zubaydi, J.H., and Zainy, M.T., 2023. Structural Analysis for Slope Stability Assessment of Selected Sites at Shurshirin Valley, Zurbatiyah Region, Eastern Iraq. *Iraq Geological Journal*, 56(2F),290-300. <https://doi.org/10.46717/igj.56.2F.19ms-2023-12-25>.

Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*, 3rd ed., Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 P.

Hussain, A. I., 2009. Morphotectonic Study of Jabil Makhul Area by Using Satellite Images, Remote Sensing Unit, College of Science, University of Tikrit. Tikrit-Iraq. P.15. In Arabic.

ISRM, J.A., 1985, April. Suggested method for determining point load strength. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 22(2), 51-70.

Palmstrom, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), 362–377. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.005>.

Qader, R.M., Syan, S.H.A., 2021. Rock slope stability assessment along main road, Kurdistan Region, The Iraqi Geological Journal,79-93.

<https://doi.org/10.46717/igj.54.1B.7Ms-2021-02-25>.

Riquelme, A., Abellán, A. and Tomás, R., 2014. SMRTool beta. A calculator for determining slope mass rating (SMR). Universidad de Alicante. Website:<http://personal.ua.es/en/ariquelme/smrtool.html> (07/05/2014). License: Creative Commons BY-NC-SA.

Romana, M., 1985, September. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In *Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics*, Zacatecas, Mexico, 49-53.

Saranaathan, S.E. and Kannan, M., 2017. SMR and Kinematic analysis for slope instability along Bodi-Bodimettu ghat section, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 89(5), 589-599.

Sarkar, S., Kanungo, D.P. and Kumar, S., 2012. Rock mass classification and slope stability assessment of road cut slopes in Garhwal Himalaya, India. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(4), 827-840.

Sharma, M., Sharma, S., Kumar, M. and Singh, S.K., 2019. Analysis of slope stability of road cut slopes of Srinagar, Uttarakhand, India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(3), 609-615.

Siddique, T., Alam, M.M., Mondal, M.E.A. and Vishal, V., 2015. Slope mass rating and kinematic analysis of slopes along the National Highway 58 near Jonk, Rishikesh, India. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(5), 600-606.

Tomás, R., Delgado, J., Gáñez, S. and Bernardo, J., 2007. Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44(7), 1062-1069.

Umrao, R. K., Singh, R., Ahmad, M. and TN, S., 2011. Stability analysis of cut slopes using continuous slope mass rating and kinematic analysis in Rudraprayag district, Uttarakhand. *Geomaterials*, 1(3), 79-87. DIO.



Evaluation of Rock Slope Stability on the Northeastern Limb of Makhul Anticline, Northern Iraq

Rafal A. Khudier ^{1*}, Mohameed R. Abood ¹ , Abdalsalam M. Tarif ¹ 

rafal.199593@gmail.com

mrabood@tu.edu.iq

abdulsalam_mehdi@tu.edu.iq

¹ Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.

* Correspondence author.

Received: 28 November 2024

Received in revised form: 02 February 2025

Accepted: 03 May 2025

Available online: 01 October 2026

Abstract

Makhul anticline is about 58 km long in the northeast of Tikrit City, where six slope site stations within the Fatha Formation are selected for this investigation. Kinematic analysis and the slope mass classification system are used to search and analyze the potential level of stability by applying two packages (DIPS v6.008 and SMRTTool v205). Based on the kinematic analysis using the DIPS v6.008 system, it is found that plane sliding occurs at stations (1, 2, 5, and 6), wedge sliding occurs at all stations, direct toppling occurs at stations (4 and 6), and oblique toppling occurs at station (6) that is considered the least frequent type of failure in the study area. As for estimating the mass of the slope according to the results of the separate SMR-Tool program and the continuous CSMR program, it is shown that the worst case of flat slide is at station (3), which is completely unstable and falls within the fifth category (V) with a failure rate of 0.9. The unstable stations are the plane sliding at station (6) and the wedge sliding at station (1), and both are within the fourth category (IV) with a failure rate of 0.6, whereas the partially stable stations are the plane sliding at station (1) and the wedge sliding at stations (2, 3, 4, 5, and 6), the direct toppling at stations (4 and 6), and the oblique toppling at station (6), which fall within the third category (III) with a failure rate of 0.4.

Keywords:

Fatha Formation, Limestone, kinematic analysis, failure, Gypsum.

DOI: [10.33899/injes.v26i4.56126](https://doi.org/10.33899/injes.v26i4.56126), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

=====