

استقرارية المنحدرات الصخرية

على الجناح الشمالي الشرقي لطية دهوك المحدبة / شمال العراق

سرى خالد جاسم¹ ، أ.م.د محمد راشد عبود²

1. موظفة في وزارة النفط العراقية.

2. قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت.

مستخلص:

يهدف البحث الى تقييم استقرارية المنحدرات الصخرية على الجناح الشمالي الشرقي لطية دهوك المحدبة، إذ اشتمل البحث على (4) محطات، جميعها تقع ضمن تكوين بيلاسبي (Pilaspi). وتضمن البحث مسحاً ميدانياً للمنطقة وشملت وضعية المنحدرات والانهيئات التي من المحتمل حصولها مستقبلاً مثل: السقوط الصخري والانقلاب المباشر والانقلاب الإثنائي والانزلاق الأسفيني والانزلاق المستوي، وتمت إيجاد حالات الانقطاعات وحالاتها (الامتداد المائل المفتوح بين الانقطاعات، التموج ودرجة التجوية). وتضمن العمل المكتبي برنامج التحليل الحركي باستخدام برنامج (Dips-v6.008)؛ وتصنيف كتلة المنحدر (SMR) باستخدام برنامج SMRTTool-v205 لتحليل درجة الاستقرار المحتملة باستخدام البيانات المخبرية والحقلية لمحطات التي تمت دراستها.

بيّن برنامج التحليل الحركي Dips-v6.008 أنّ الانزلاق المستوي والانزلاق الأسفيني يمكن أن يحدث في المحطات (2، 3)؛ والانقلاب الإثنائي يمكن أن يحدث في المحطة (1)، أمّا الانقلاب المباشر فيمكن أن يحدث في المحطة رقم (4).

الكلمات المفتاحية: استقرارية المنحدرات، طية دهوك، تكوين بيلاسبي، السقوط الصخري.

Stability study of rock slopes on the northeastern flank of the Duhok anticline/northern Iraq

Sura Khalid Jassim¹ and Assistant Professor Dr. Mohammed Rashid Abboud²

1. Employee at the Iraqi Ministry of Oil.

2. Department of Applied Earth Sciences, College of Science, Tikrit University.

Abstract :

The study aims to evaluate the stability of rock slopes on the northeastern limb of the Duhok anticline. The study included (4) stations, all of which are located within the Pilaspi Formation. The study included a field survey of the area and included the attitude of slopes and potential future failure such as: rockfall, direct toppling, flexural toppling, wedge sliding, and plane sliding. The attitude of discontinuities and their conditions (persistence, infilling materials, aperture, weathering, and degree of roughness) were studied. The office work included the kinetic analysis program using the (Dips-v6.008) program; and slope mass classification (SMR) using the SMRTTool-v205 program to analyze the potential degree of stability using laboratory and field data for the stations that were studied. The kinematic analysis program Dips-v6.008 showed that plane sliding and wedge sliding can occur at stations (2, 3); flexural toppling can occur at station (1), and direct toppling can occur at station (4).

Keywords: slope stability, Duhok fold, Pelaspi formation, rockfall.

المنطقة على الحجر الجيري (Limestone) الذي يُعدُّ المكون الأساسي لصناعة الأسمت وكذلك اهمية استخدام هذه الصخور في رصف الطرق وغيرها من الاستخدامات بالاضافة الى ناحية الامان حيث ان المنطقة يحدث فيها العديد من الحوادث بسبب عمليات انهيار الكتل الصخرية على جانبي الطريق والأحياء السكنية لذلك كان من الواجب دراسة هذه المنطقة الحيوية.

2.1 موقع منطقة البحث

Location of the research Area

تقع طيبة دهوك ضمن محافظة دهوك شمال العراق بالقرب من مركز المدينة. من الناحية الجغرافية تقع منطقة البحث بين خطي طول $(0^{\circ}43'56'')$ - $(1^{\circ}43'20'')$ شرقاً ودائرتي عرض $(50^{\circ}36'08'')$ - $(50^{\circ}36'30'')$ شمالاً، ضمن الجناح الشمالي الشرقي لطيبة دهوك. ويبلغ طول الطيبة (15)، وعرضها حوالي (3-5 Km) وهي عبارة عن منطقة معقدة وشديدة الطي وتُعدُّ جزءاً من نطاق الطيات العالية.

3.1 الدراسات السابقة Previous Studies

1- حمه سور (1991): (استقراريه المنحدرات الصخرية على الطريق الرئيس الرابط بين مدينتي أربيل والسليمانية)، تضمنت دراسة تفصيلية لاستقراريه المنحدرات الصخرية على جانبي جبل هيت سلطان، حيث من خلال رسم خارطة جيولوجية هندسية بالاعتماد على قيم المقاومة الانضغاطية غير المحصورة والمشتقة من فحص حمل النقطة توصلت الدراسة الى ان صخور منطقة الدراسة تنقسم الى مجموعتين هندسيتين: الاولى ذات مقاومة انضغاطية قليلة - عالية بأعتدال والثانية

1.1 المقدمة

تُعدُّ دراسة استقرارية المنحدرات الصخرية وتقسيمها من المواضيع المهمة في الجيولوجيا الهندسية، إذ يمكن من خلال هذه الدراسات معرفة كيفية حدوث الإنزلاقات، حيث إنَّ الإنزلاقات الأرضية تُعدُّ من المشاكل الخطرة في حال حدوثها، وتحدث هذه المشاكل بكثرة عند شق الطرق العامة مثل فتح طرق سكك الحديد؛ أو طرق المرور؛ أو الممرات اللازمة لفتح الأنفاق؛ والسدود؛ والمناجم؛ والمنشآت الهندسية المهمة، وتُعدُّ من أخطر المشكلات التي تواجه المهندس الجيولوجي في عمله مع المهندس المدني عند إقامة المنشآت الهندسية المختلفة وأنَّ العامل الرئيس في عملية الإنهيار للكتل الصخرية هو عملية قوة الجذب الأرضية فطالما كانت قوة الكتلة مساوية أو أكبر لقوة الجذب الأرضي فهذا يعني أنَّ القوة في حالة توازن (Balance) أي لا يمكن حدوث حركة للكتلة الصخرية أمَّا عند حدوث أختلال لحالة التوازن فإن ذلك سوف يؤدي إلى حركة وانهيار المنحدر بشكل سقوط Fall؛ أو زحف Creep؛ أو انزلاق Sliding؛ أو انهيار Avalanches؛ أو على شكل تدفق أو جريان Flow. إنَّ تأثير انهيار المنحدر يتراوح بين إزعاج مؤقت وذلك من خلال غلقه لجزء من طريق الى تدمير أو تحطيم للمنشآت والأبنية ويمكن أن يصل تأثيره إلى دمار شامل ودفن للمدن الصغيرة وإنَّ اختيار موقع البحث جاء بناء على اهمية المنطقة من العديد من النواحي منها الناحية الموقعية حيث إنَّ المنطقة قريبة جداً من مركز المدينة ومن الممكن أن تتوسع المدينة بإتجاه هذه المنطقة فضلاً عن الأهمية الاقتصادية حيث تحتوي

4.1 جيومورفولوجية منطقة البحث

Geomorphology of the research Area

تطغى على منطقة دهوك صفة التنوع في المظاهر الطبوغرافية؛ والجيومورفولوجية مثل: التضاريس المتباينة في الارتفاعات، حيث إن دراسة جيومورفولوجية المنطقة تُعد من الدراسات ذات الأهمية الكبيرة في التعرف على الظواهر السطحية والأشكال الأرضية لهذه المنطقة، وكما هو معروف فإن التضاريس المنخفضة تكون ذات مقاومة قليلة لعوامل التعرية سيما والتضاريس ذات الارتفاعات العالية فتمتاز بمقاومتها لعوامل التجوية والتعرية وإن الطبقات الصخرية المتمثلة بالحجر الجيري؛ والحجر الرملي؛ والطبقات الرملية، إذ تكون طبقات الحجر الجيري والحجر الرملي على هيئة حوافٍ ومتواجدة على جانب الوديان؛ ويعود ذلك إلى مقاومتها لعوامل التعرية بينما على العكس من الطبقات الطينية إذ تكون متواجدة في قاع الوديان بسبب قلة مقاومتها للتعرية و تعرية الوديان فإنها تُعد من ضمن الأشكال الجيومورفولوجية التي تمت مشاهدتها في الحقل ومن المعروف فإن الصخور الصلبة تكون ذات مسامية وترشيح قليل جدا إذ إن الساقط المطري في المنطقة يعمل على نحت هذه الصخور الصلبة بشكل متتالٍ مما يؤدي الى تكوين ما يدعى بالأخدود (rills) التي هي عبارة عن ممرات أو جداول مائية حاوية بداخلها ترسبات وحببيات ناعمة بهيئة معلقة. أمّا الأشكال الأخرى التي تمت ملاحظتها في الحقل فهي الحواجز من نوع (Hogback ridges)، درجة الميل لهذه الحواجز تصل الى 35 درجة وتكون ذات مقاومة عالية للتعرية، حيث إن تعرية الطبقات الضعيفة تؤدي الى تكوين هذه الحواجز، كما إن سمك الصخور؛ وزاوية الميل

عالية - عالية للغاية.

2- توكمجي (1994): (مسح جيو هندسي لاستقرارية المنحدرات الصخرية في جبل حميرين الجنوبي في منطقة الصدور)، قام الباحث بأجراء مسح جيو هندسي برسم خارطة مخاطر الانهيارات ويوصف حالات جديدة مثل (سطوح الانطلاق الخلفي المركب، العلوي المركب).

3- السامرائي (2001): (استقرارية المنحدرات الصخرية على ضفاف نهر دجلة في مدينة سامراء)، إذ قام برسم خارطة الانهيارات الصخرية للمنطقة ووجد أن المنطقة تتألف من أربع مناطق متفاوتة الخطور وهي (عديمة الخطورة، خطرة و متوسطة الخطورة، عالية الخطورة).

4- الجنابي (2010): (استقرارية المنحدرات الصخرية في طية حميرين شمال شرق / تكريت)، ذكر الباحث أن أغلب الانهيارات السابقة والتي من الممكن حدوثها في المنطقة تقع ضمن أجزاء الحجر الرملي لتكوين انجانة وقام بتصنيفها على انها الاعلى خطورة وتليها الصخور الجبسية والكلسية ضمن تكوين فتحة؛ وإن الأقل تقع في الحجر الرملي العائد لتكوين المقدادية وأشار إلى أن الترسبات الحديثة هي الأكثر استقرار في المنطقة.

5- الجبوري (2021): (استقرارية المنحدرات الصخرية على الطريق الرئيس (بازيان - بسارة) على الجناح الجنوبي الغربي لطيبة بازيان المحدبة في مدينة السليمانية شمال شرق العراق)، وقد بينت هذه الدراسة أن المنحدرات العمودية؛ والمنحدرات المتكونة بسبب شق الطريق أثرت بشكل كبير على أستقرارية المنحدرات العمودية ومن المحتمل حدوث انهيارات أخرى في الأجزاء غير المستقرة مستقبلاً.

استخدام التحليل الحركي v6.008 Dips لتحديد نوع انهيار المحتمل للمحطة من خلال وضعية مجاميع الفواصل، مستوى التطبيق، زاوية الاحتكاك الداخلي ووضعية المنحدر. حيث تقاس وضعية المنحدر بقياس اتجاه انحدار المنحدر، وقياس قيمة الانحدار بواسطة البوصلة الجيولوجية، وبصورة عامة يقاس الاتجاه العام للمنحدر وكذلك قيمة الانحدار العام.

6.1 نظام تصنيف الكتل الصخرية

Rock Mass Rating System (RMR)

تم اقتراح تصنيف الكتلة الصخرية، المعروف أيضاً باسم نظام تصنيف الجيوميكانيكا، في الأصل من قبل Bieniawski في عام 1973 لاستخدامه في الأنفاق والمنحدرات والأساسات. ومع ذلك، فقد مرت بالعديد من التطورات حيث اعتمد على (6) معاملات مختلفة أهمها؛ مؤشر جودة الصخور (RQD)، المقاومة الانضغاطية غير المحصورة (UCS)، وضعية الانقطاعات، حالة الانقطاعات، المسافة بين الانقطاعات وحالة المياه الجوفية.

في أحدث مراجعة لتصنيف Rock Mass، والتي اقترحها (Bieniawski, 2011)، قدم المؤلف شرحاً لكيفية استخدام الأوزان التي تقترحها الطريقة بالضبط. تقليدياً ويتم تحديدها كما هو موضح في الجدول رقم (1) (Bieniawski, 1989) تصنيف كتلة الصخور. يتم فصل الكتلة الصخرية إلى عدة وحدات جيوتقنية لنظام التصنيف هذا، ويتم تصنيف كل وحدة على حدى (Bieniawski, 1989). الجدول رقم (1) يغطي كل مؤشر نطاقاً من القيم المناسبة لذلك المؤشر مع مؤشرات التصنيف الخمسة الأولى وتقييماتها ويتم تحديد قيمة تصنيف كل مؤشر عند تقييم كتلة صخرية معينة، ثم يتم

للصخور وعامل التعرية من العوامل المهمة في تحديد شكل هذه الحواجز وأرتفاعها (Small, 1970)، كما أن حواجز من نوع (Hogback ridges) تكون متواجدة على جناحي الطية. ومن الجدير بالذكر فإن السقوط الصخري (Rock fall) كان الشكل الجيومورفولوجي السائد في منطقة البحث. وبصورة خاصة في الطبقات التي تكون ذات إنحدارٍ شديدٍ (Cliffs) وإن سبب حصول السقوط الصخري هو ضعف تركيبية؛ وقلة صلابة الطبقة الصخرية التحتية (In Al-Sam-marrai, 1990) وتتجمع القطع الصخرية في أسفل المنحدر بواسطة عامل الجاذبية الأرضية؛ وأغلب القطع الصخرية تكون ذات زوايا حادة وكبيرة بالحجم، كما أن وجود الشقوق والفواصل في الطبقات الصخرية تساهم وبشكل كبير في عملية حدوث السقوط الصخري أتمها تشكّل اسطحاً ضعيفة في الطبقة الصخرية. وإن تضاريس منطقة البحث تختلف في الارتفاعات من مكان إلى آخر.

5.1 تقييم استقرارية المنحدرات الصخرية

Assessment of the Rock Slope Stability

يُعد التحقيق في ثبات المنحدرات الصخرية وتقييمها أمراً مهماً يرتبط ارتباطاً مباشراً بحياة الناس وأنشطتهم، وسنناقش التحليل والتحقيق في الانهيارات الأرضية في منطقة البحث. وقد تم اختيار المحطات نظراً لإختيار المناطق التي حدثت فيها الانهيارات الأرضية أو يحتمل حدوثها، وتحديد العوامل التي أدت إلى الانهيار وتقييمها أو التي من المحتمل حدوثها.

تم تقييم منطقة البحث بتقسيمها إلى (4) محطات في تكوين البيلاسيبي، وتم تقييم استقرارها باستخدام نظام تصنيف المنحدر (SMR). تم

إضافة التصنيفات الرقمية للمؤشرات الخمسة وعند استخدام هذا التصنيف فإن الكتل الصخرية يتم تقسيمها على وحدات بحسب (Bieniawski, 1989) (2) وحسب معاملات تصنيف الكتل الصخرية. كما هو الحال في الجدول (1)، وخواص الكتل الصخرية في منطقة البحث موضحة في الجدول رقم

جدول رقم (1) نظام تصنيف الكتل الصخرية (RMRb) بحسب (Bieniawski, 1989)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS										
Parameter		Range of values								
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred			
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa	
	Rating	15	12	7	4	2	1	0		
2	Drill core Quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%				
	Rating	20	17	13	8	3				
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Rating	20	15	10	8	5				
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slickensided surfaces	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm				
		Not continuous	Separation < 1 mm	Separation < 1 mm	or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm	Continuous				
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
		(Joint water press/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
6	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing				
		Rating	15	10	7	4	0			
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)										
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable				
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12				
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25				
	Slopes	0	-5	-25	-50					
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS										
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21					
Class number	I	II	III	IV	V					
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock					
D. MEANING OF ROCK CLASSES										
Class number	I	II	III	IV	V					
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span					
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100					
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15					
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions										
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m					
Rating	6	4	2	1	0					
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm					
Rating	6	5	4	1	0					
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided					
Rating	6	5	3	1	0					
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm					
Rating	6	4	2	2	0					
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed					
Rating	6	5	3	1	0					
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**										
Strike perpendicular to tunnel axis					Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°			Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°			
Very favourable		Favourable			Very unfavourable		Fair			
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°			Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable			Fair					

جدول رقم (2) خواص الصخور في محطات منطقة البحث لغرض تقييم تصنيف كتلة الصخور (RMRb)

المحطات	المقاومة الانضغاطية اللامحصورة (Mpa)	مؤشر جودة الصخور (%)	المسافة بين الانقطاعات (m)	حالة الانقطاعات	حالة المياه الجوفية
1	37.01	87.525	0.45	متموجة ذات تجوية قليلة	Completely dry
2	39.93	84.825	0.23	ملساء	Completely dry
3	31.45	89.025	0.79	متجوية ذات تجوية قليلة	Completely dry
4	31.40	89.575	0.33	ملساء	Completely dry

المصدر: اعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل، 2024.

7.1 وصف المحطات

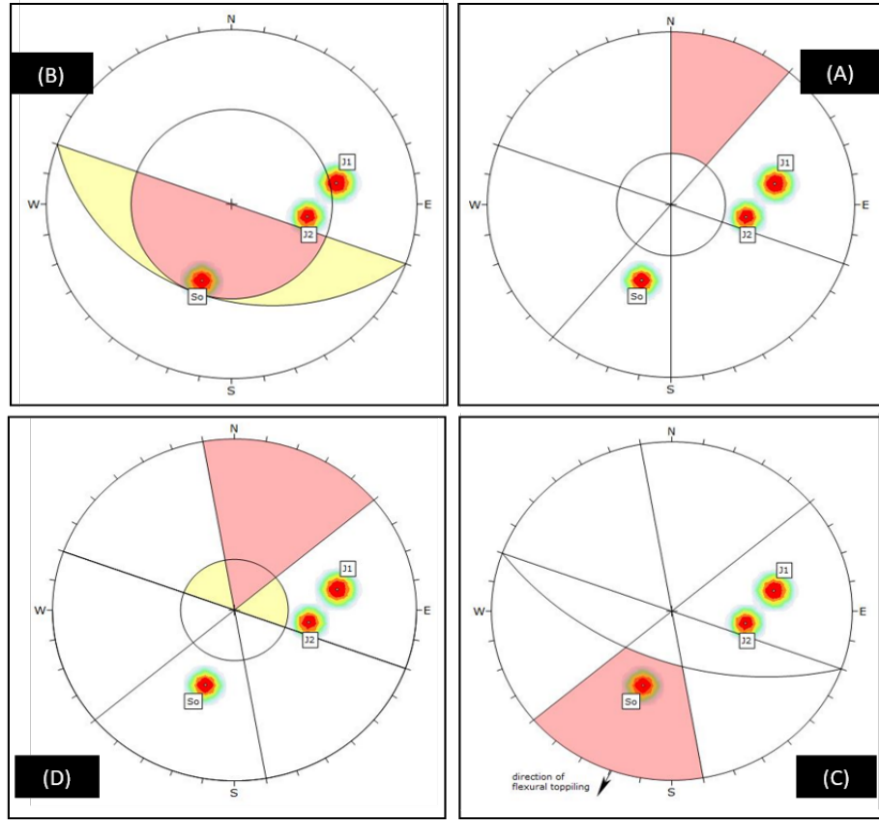
المحطة الاولى

ويبين التحليل الحركي باستخدام برنامج (Dips-v6.008) بأنه لا يوجد احتمال حصول إنزلاق مستوي لأنه لا يوجد قطب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث الإنزلاق كما في الشكل (1A)، ولا يوجد احتمال حصول إنزلاق أسفيني؛ لأنه لا تقع أي نقطة من نقاط تقاطع مستويات الانقطاع داخل مساحة تأثير حصول الإنزلاق الأسفيني كما في الشكل (B1)، ويوجد احتمال حصول إنقلاب إنثنائي وذلك لأنه يقع احدي اقطاب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث إنقلاب إنثنائي كما في الشكل (C1)، وأيضاً لا يتحمل حدوث إنقلاب مباشر؛ وذلك لأنه لا تقع اي نقطة من نقاط تقاطع مستويات الانقطاعات داخل مساحة تأثير حصول إنقلاب مباشر كما في الشكل (D1).

تقع هذه المحطة في الجناح الشمال الشرقي لطية دهوك المحدبة من ضمن تكوين بيلاسبي محددة بالإحداثيات شمالاً (40078'57") وشرقاً (32031'44") والارتفاع عن مستوى سطح البحر (673) متراً، وتتألف من منحدر وضعيته (-90° / OH) من نوع (Over Hanging)، وارتفاعه حوالي (2) متر، وعرضه حوالي (15) متراً، ووضعية الطبقات في هذه المحطة (020° / 50°) وزاوية الإحتكاك الداخلي (33°).

تتكشف طبقات الحجر الجيري بلون فاتح وتكون ذات حبيبات ناعمة وذات مقاومة انضغاطية قوية باعتدال (37.01) ميكا باسكال وتجوية قليلة (SW).

تقطع طبقة الحجر الجيري مجموعتين من الفواصل (J1&J2)، حيث إن المجموعة الأولى (J1) ذات وضعية (60° / 258°) درجة وذات تردد = (2 لكل 1.5 متر)، والمجموعة الثانية من الفواصل (J2) ذات وضعية (45° / 280°) وذات تردد (2 لكل 1.30 سم)، الإنهيار الحاصل والمتوقع من نوع السقوط الصخري حسب الملاحظات الحقلية.



شكل (1): يمثل نتائج التحليل الحركي للمحطة الاولى يمثل الشكل (A) لا يوجد احتمال إنزلاق مستو، الشكل (B) لا يوجد احتمال انزلاق أسفيني، الشكل (C) يوجد احتمال حصول انقلاب انثنائي، ذات إتجاه (200)، الشكل (D) لا يوجد احتمال انقلاب مباشر، حيث أن (SO) مستوى التطبق، (J1&J2) مجاميع الفواصل.

و ذات تجوية قليلة (SW).

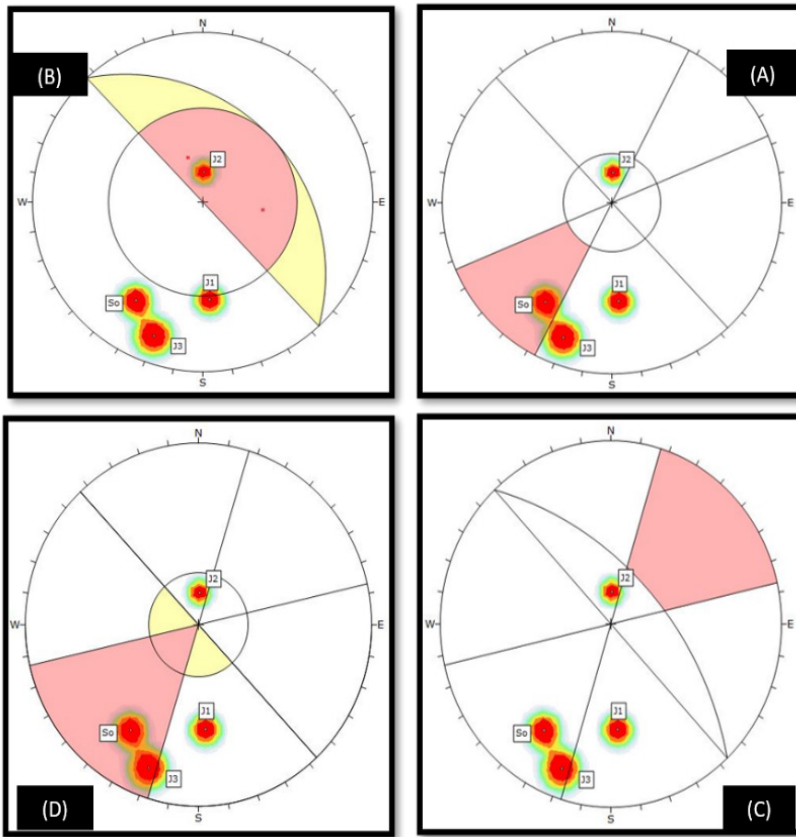
تقطع طبقة الحجر الجيري (3) مجاميع من الفواصل (J1&J2&J3)، حيث إن المجموعة الأولى (J1) ذات وضعية (60°/356°) درجة وذات تردد = (3 لكل 1 متر)، والمجموعة الثانية من الفواصل (J2) ذات وضعية (20°/182°) وذات تردد (2 لكل 1 متر)، والمجموعة الثالثة (J3) ذات وضعية (80°/020°)، وعرض الطريق يكون حوالي (3) أمتار. ويكون الانهيار المتوقع حصوله هو السقوط الصخري (Rock Fall) لوجود بعض أجزاء المنحدر معلقة أذ إن الكتل الصخرية تكون معلقة ويحدث الانهيار عندما يكون التماسك صفراً.

المحطة الثانية

تقع هذه المحطة في الجناح الشمالي لطية دهوك المحدبة من ضمن تكوين بيلاسبي ومحددة بالإحداثيات شمالاً (68°40'78") وشرقاً (54°32'32") وارتفاع عن مستوى سطح البحر (676) متراً، وتتألف من منحدر وضعيته (90°/047°)، وارتفاعه حوالي (7) أمتار، وعرضه حوالي (10) أمتار، ووضعية الطبقات في هذه المحطة (70°/030°) وزاوية الإحتكاك الداخلي (32°). وتنكشف طبقات من الحجر الجيري بلون فاتح وتكون ذات أحجام كبيرة نسبياً، وذات مقاومة انضغاطية قوية باعتدال (39.93) ميكا باسكال

الشكل (2B)، ولا يوجد احتمال حصول إنقلاب
إثنائي وذلك؛ لأنّه لا يقع اي قطب من أقطاب
الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث إنقلاب
إثنائي كما في الشكل (2C)، وأيضاً لا يحتمل حدوث
إنقلاب مباشرٍ وذلك؛ لأنّه لا تقع أي نقطةٍ من
نقاط تقاطع مستويات الانقطاعات داخل مساحة
تأثير حصول أنقلابٍ مباشرٍ كما في الشكل (2D).

يبين التحليل الحركي باستخدام برنامج
(Dips-v6.008) بأنه يوجد احتمال حصول إنزلاق
مستوي؛ لأنّه يوجد قطب الانقطاعات داخل مساحة
تأثير حدوث الإنزلاق كما في الشكل (2A)، ويوجد
احتمال حصول إنزلاق أسفيني؛ لأنّه تقع احدى
النقاط من نقطة تقاطع مستويات الانقطاع داخل
مساحة تأثير حصول الإنزلاق الأسفيني كما في



الشكل (2):
يمثل نتائج التحليل الحركي
للمحطة الثانية، يمثل
الشكل (A) يوجد احتمال
انزلاق مستوي، (B) يوجد
احتمال حصول إنزلاق
أسفيني ذات إتجاه (119)،
(C) لا يوجد احتمال
حصول إنقلاب إثنائي،
(D) لا يوجد احتمال
حصول إنقلاب مباشر،
حيث إن (SO) مستوى
التطبيق، (J1&J2) مجاميع
الفواصل.

(70° / 108°)، وارتفاعه حوالي (5) أمتار، وعرضه
حوالي (7) أمتار، ووضعية الطبقات في هذه المحطة
(48° / 073°) وزاوية الإحتكاك الداخلي (37°).
تنكشف طبقات من الحجر الجيري بلون فاتح
وذات مقاومة انضغاطية قوية باعتدال (31.45)
ميكا باسكال وذات تجوية قليلة (SW).

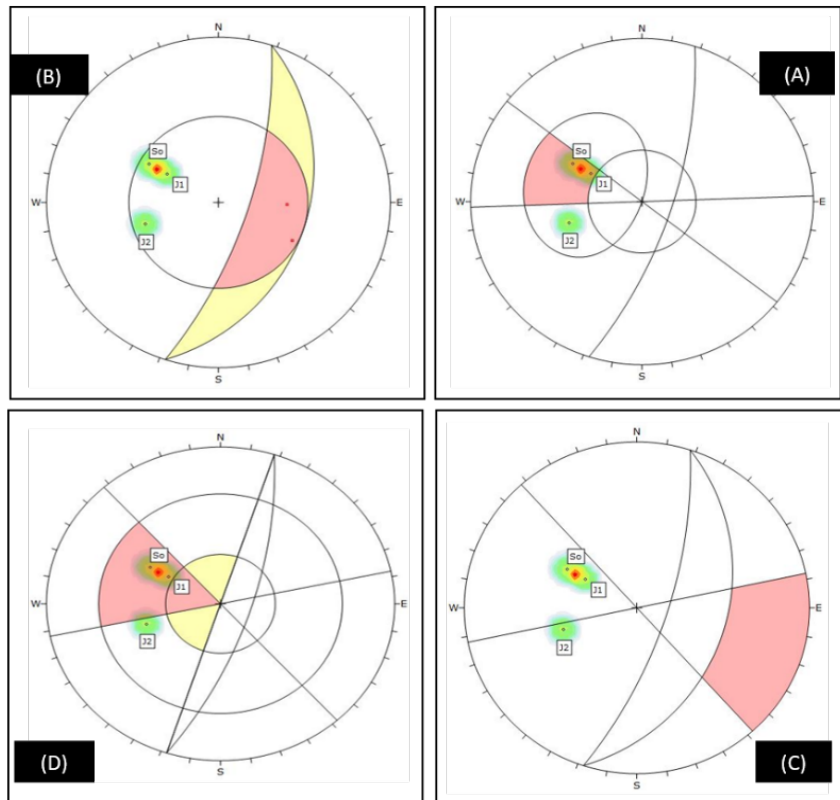
المحطة الثالثة

تقع هذه المحطة في الطرف الشمالي لطيبة
دهوك المحدبة من ضمن تكوين بيلاسبي
ومحددة بالإحداثيات شمالاً (66°40'78") وشرقاً
(47°32'31") وارتفاع عن مستوى سطح البحر
(680) متراً، وتتألف من منحدر وضعيته

(Dips-v6.008) بأنه يوجد احتمال حصول إنزلاق مستوي؛ لأنه يوجد قطب من أقطاب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث الإنزلاق كما في الشكل (3A)، ويوجد احتمال حصول إنزلاق أسفيني؛ لأنه تقع إحدى النقاط من نقطة تقاطع مستويات الانقطاع داخل مساحة تأثير حصول الإنزلاق الأسفيني الإنزلاق كما في الشكل (3B)، ولا يوجد احتمال حصول إنقلابٍ انثنائي وذلك؛ لأنه لا يقع أي قطبٍ من أقطاب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث إنقلابٍ انثنائي الإنزلاق كما في الشكل (3C)، وأيضاً لا يتحمل حدوث إنقلابٍ مباشرٍ وذلك؛ لأنه لا تقع أي نقطةٍ من نقاط تقاطع مستويات الانقطاعات داخل مساحة تأثير حصول إنقلابٍ مباشر الإنزلاق كما في الشكل (D3).

تقطع طبقة الحجر الجيري من مجموعتين من الفواصل (J1&J2)، حيث إن المجموعة الأولى (J1) ذات وضعية ($38^{\circ}/120^{\circ}$) درجة وذات تردد = (2 لكل 1.5 متر)، والمجموعة الثانية من الفواصل (J2) ذات وضعية ($50^{\circ}/120^{\circ}$) وذات تردد (2 لكل 30 سم)، وتكون زاوية الاحتكاك الداخلي ($\theta=37^{\circ}$)، وعرض الطريق حوالي (3)، وحجم الكتل المتساقطة (0.01) متر مكعب .
الإهيار الحاصل والمحتمل ممكن أن يحدث سقوط صخري (Rock fall) لوجود تعرية تفاضلية أدت إلى تكوين منحدرٍ معلقٍ وتسقط الكتل الصخرية عندما يصبح التماسك بين الانقطاعات صفراً .
يبين التحليل الحركي باستخدام برنامج

شكل (3):
يمثل نتائج التحليل الحركي للمحطة الثالثة أذ يمثل الشكل (A) يوجد احتمال حصول إنزلاق مستوي ذات إتجاه (128)، (B) يوجد احتمال حصول إنزلاق أسفيني ذات إتجاه (142)، (C) لا يوجد احتمال حصول إنقلابٍ انثنائي، (D) لا يوجد احتمال حصول إنقلابٍ مباشر، حيث أن مستوى التطبيق، (J1&J2) مجاميع الفواصل.



المحطة الرابعة

الانقطاع داخل مساحة تأثير حصول الإنزلاق الأسفيني كما في الشكل (4B)، ولا يوجد احتمال حصول إنقلاب انثنائي وذلك؛ لأنه لا يقع أي قطبٍ من أقطاب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث انقلاب انثنائي الإنزلاق كما في الشكل (4C)، وأيضاً يحتفل حدوث انقلاب مباشر وذلك، لأنه تقع إحدى النقاط من نقاط تقاطع مستويات الانقطاعات في داخل مساحة تأثير حصول إنقلابٍ مباشر الإنزلاق كما في الشكل (4D).

تقع هذه المحطة في الجناح الشمالي الشرقي لطيبة دهوك المحدبة من ضمن تكوين بيلاسبي ومحددة بالإحداثيات شمالاً (63°40'66") وشرقاً (36°32'37") وارتفاع عن مستوى سطح البحر (684) متراً، وتتألف من منحدر وضعيته (74° / 118°)، وارتفاعه حوالي (40) متراً، وعرضه حوالي (50) متراً، ووضعيتها الطبقات في هذه المحطة (60° / 030°) وزاوية الاحتكاك الداخلي (36°).

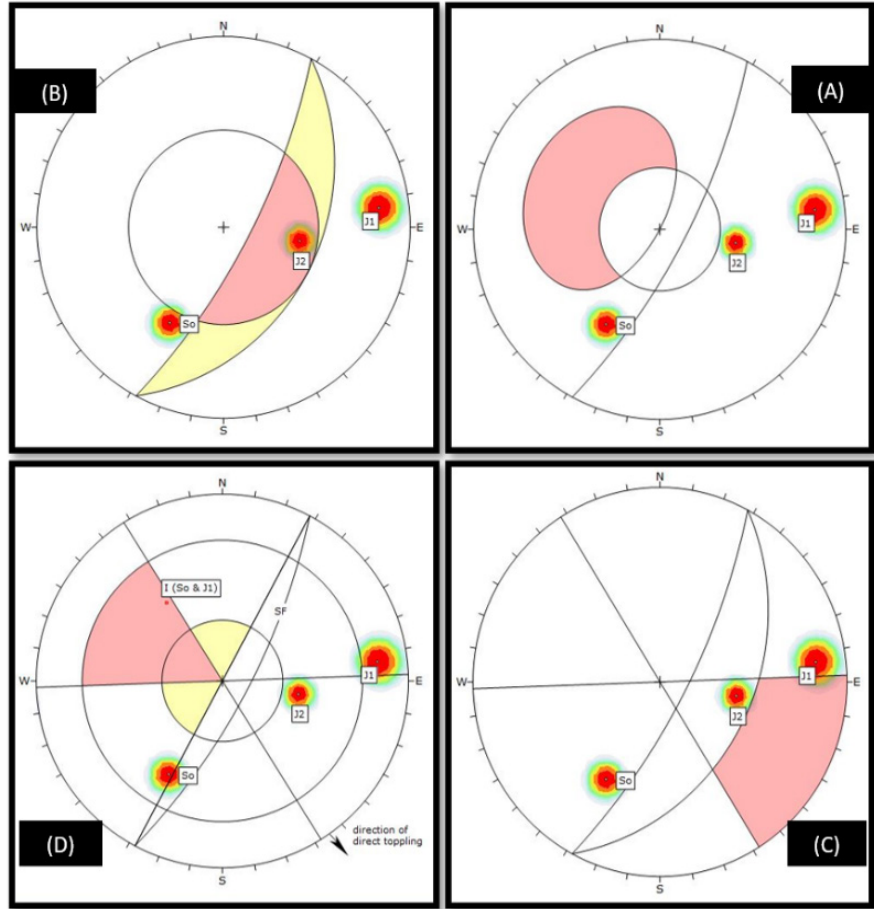
تنكشف طبقات من الحجر الجيري بلون فاتح وتكون ذات حبيبات ناعمة وذات مقاومة انضغاطية قوية باعتدال (31.40) ميكا باسكال وذات تجوية قليلة (SW).

تقطع طبقة الحجر الجيري من مجموعتين من الفواصل (J1&J2)، حيث إن المجموعة الأولى (J1) ذات وضعيتها (80° / 263°) درجة وذات تردد = 3 لكل 1.5 متر)، والمجموعة الثانية من الفواصل (J2) ذات وضعيتها (45° / 280°) وذات تردد 2 لكل 1.30 سم)، وإن زاوية الاحتكاك الداخلي (36°=Ø) أعرض الطريق حوالي (3) متر، وحجم الكتل المتساقطة (0.01) متر مكعب .

وإن الانهيار الحاصل والمتوقع وسقوطاً صخرياً وذلك بسبب وجود منحدر عمودي وعندما يصبح التماسك عبر الانقطاعات صفرًا يسمح للكتلة الصخرية بالسقوط نحو أسفل المنحدر بفعل وزنها.

يبين التحليل الحركي باستخدام برنامج (Dips-v6.008) بأنه لا يوجد احتمال حصول إنزلاق مستوي لأنه لا يوجد قطب الانقطاعات داخل مساحة تأثير حدوث الإنزلاق كما في الشكل (4A)، ولا يوجد احتمال حصول إنزلاق أسفيني، لأنه تقع إحدى النقاط من نقطة تقاطع مستويات

شكل (4):
يمثل نتائج التحليل
الحركي للمحطة الرابعة
يمثل الشكل (A) لا
يوجد احتمال انزلاق
مستوي،
(B) لا يوجد احتمال
حصول إنزلاق أسفيني،
(C) لا يوجد احتمال
حصول انقلاب انثنائي،
(D) يوجد احتمال
حصول انقلاب مباشر
ذات إتجاه (146°)،
حيث إن (SO) مستوى
التطبق، (J1&J2)
مجاميع الفواصل.



جدول رقم (3) يوضح القياسات الحقلية لصخور منطقة البحث
والتي تشمل (وضعية المنحدر، ومستوي التطبق والانقطاعات وزاوية الاحتكاك الداخلي لكل من المحطات السبعة)

المحطة رقم	اتجاه ميل المنحدر / قيمة الانحدار	اتجاه ميل الطبقات / قيمة الميل	اتجاه ميل J1 / قيمة الميل	اتجاه ميل J2 / قيمة الميل	زاوية الاحتكاك الداخلي
1	200 / 90	020 / 50	258 / 60	280 / 45	33
2	047 / 90	034 / 70	356 / 60	182 / 20	32
3	108 / 70	073 / 48	120 / 38	120 / 50	35
4	118 / 74	030 / 60	263 / 80	280 / 45	36

المصدر: اعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل، 2024.

جدول رقم (4) نتائج التحليل الحركي للمنحدرات الصخرية باستخدام برنامج (DIPsv-6.008)

المحطات	اتجاه الانزلاق المستوي	اتجاه الانزلاق الاسفيني	اتجاه الانقلاب الانثنائي	اتجاه الانقلاب المباشر
1	-----	-----	200°	-----
2	-----	119°	-----	-----
3	128°	142°	-----	-----
4	-----	-----	-----	146°

تكون غير مستقرة بشكل كلي وبضمن الفئة (V) وكذلك محطة رقم (2) للانزلاق الإسفيني والتي تكون غير مستقرة والتي تكون في قيمته تتراوح بين (0-16) تكون بضمن فئة (V)، وأن بقية المحطات تكون الانزلاق الاسفيني والانقلاب مستقرة إلى مستقرة جزئياً وبقية تتراوح بين (51-76) وتكون من ضمن فئتين (II) والفئة (III). من خلال هذه النتائج نجد بأن المحطة (2) تكون غير مستقرة (Unstable) وتحتاج إلى معالجات ضرورية وسريعة للحفاظ على الطريق، أما المحطات الأخرى تحتاج إلى مراقبة دورية ومنتظمة لوجود احتمالية حصول إنزلاق أسفيني أو انقلاب في المحطات (2، 4).

8.1 تصنيف الإستقرارية باستخدام نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR)
تم حساب نظام تصنيف كتلة المنحدر (SMR) لـ (Romana,1985) ونظام تصنيف كتلة المنحدر المستمر (CSMR) لـ (Tomas et al.,2007) وذلك لغرض تقييم استقرارية المنحدرات الصخرية في جميع المحطات، عن طريق استخدام برنامج (SM-16) (Riquelme et al.,2016) (RTool-v205)، حيث إن البرنامج يحتوي على نظامين وهما: (SMR) و (CSMR). من خلال برنامج (SMRTool) تم ملاحظة أن أقل قيمة لتصنيف (SMR) المنفصلة والمستمرة تكون في المحطة (2) للانزلاق المستوي والتي تكون القيمة تتراوح بين (13-16) والتي

جدول (5) نتائج تصنيف كتلة المنحدر (SMR) المنفصلة باستخدام برنامج (SMR Tool) اعتماداً على (Romana,1989)

تصنيف SMR للالنهيار	قيمة SMR	F1,F2,F3	F4	F3	F2	F1	اتجاه الانهيار	نوع الانهيار	RMRb	ST
II/Sta	76	-3.75	15	-25	1	0.15	200°	FT	65	1
a)V/Cunsta b)III/PaSta	a)16 b)57	a)-42 b)-0.9	a)0 b)0	a)-60 b)-60	a)1 b)1	a)0.7 b)0.15	a)047 b)047	a)Pa b)ws	58	2
a)III/PaSta b)III/PaSta	a)51 b)51	a)-9 b)-9	a)0 b)0	a)-60 b)-60	a)1 b)1	a)0.15 b)0.15	a)108 b)108	a)Pa b)ws	60	3
III/PaSta	54	-3.75	0	-25	1	0.15	118°	DT	58	4

جدول (6) نتائج قيمة (CSMR) المستمرة باستخدام برنامج (SMR Tool) اعتماداً على (Tomas et al., 2007)

تصنيف SMR للالنهيار	قيمة SMR	F1,F2,F3,	F4	F3	F2	F1	اتجاه الانهيار	نوع الانهيار	RMRb	ST
II/Sta	75	-4.5086	15	-23.966	1	0.01883	200	FT	65	1
a)V/CUS- ta b)III/ PaSta	a)13 b)57	a)-44.6824 b)-0.20891	a)0 b)0	a)-59.0459 b)-0.95866	a)0.98175 b)1	a)0.77081 b)0.21792	a)047 b)047	a)Pa b)ws	58	2
a)III/PaS- ta b)III/ PaSta	a)44 b)13	a)-15.1508 b)-15.1508	a)0 b)0	a)-59.1325 b)-59.1325	a)0.93399 b)0.93399	a)0.27433 b)0.27433	a)108 b)108	a)Pa b)ws	60	3
III/PaSta	52	-5.1883	0	-23.095	1	0.22465	118	DT	58	4

4) مستقرة جزئياً في تصنيف الـ (SMR) التصنيف المنفصل وكذلك الحال في (CSMR) التصنيف المستمر وهكذا يسري الحال على بقية المحطات .
6. بينت النتائج من خلال استخدام كلا الطريقتين (SMR) المنفصلة و (CSMR) المستمرة فأن المنحدر يكون غير مستقر كلياً في المحطة رقم (2)، والتي تقع ضمن الفئة الخامسة (V)، وكذلك بينت النتائج أن المحطة رقم (1) هي الأكثر استقراراً بين جميع المحطات والتي تقع ضمن الفئة الثانية (II).
7. أظهرت نتائج التطبيق لنظام تصنيف تقييم الكتل الصخرية (RMR) بأن المحطة (1) واقعة في المستوى الثاني (II) وهي صخور جيدة (Good rock) والمحطات (2، 3، 4) واقعة في المستوى الثالث (III) صخور متوسطة (Fair rock).

التوصيات

1- مراقبة المنحدرات في منطقة الدراسة حيث ان بعضها غير مستقرة وتحتاج الى معالجات مثل التحشية او الربط بالمسامير الصخرية.
2- دراسة أجزاء أخرى من الطية القريبة من المجمعات السطنية لمعرفة تأثير مخاطرها على حياة الناس والبنى التحتية.

الاستنتاجات Conclusions

1. اظهرت النتائج أن السبب الرئيس لحدوث الانهيارات الصخرية في منطقة البحث يعزى إلى العديد من العوامل والتي هي: الانقطاعات، التجوية، التعرية التفاضلية.
2. أظهرت نتائج البحث الحقلية أن الانهيارات الحاصلة، والأكثر شيوعاً في المنطقة هو السقوط الصخري ويليه الإنزلاق الأسفيني وبعدها الإنزلاق المستوي وبعدها الانقلاب.
3. من خلال برنامج (Dips) تم تحديد الانهيارات المحتملة من نوع الانزلاق المستوي، الانزلاق الأسفيني والانقلاب المباشر.
4. من خلال برنامج (SMRTool-v205) تبين بأنه أقل قيمة لـ (SMR) المتقطعة و (CSMR) المستمرة تكون في المحطات (2، 3) والتي تتراوح بين (13-16) للانزلاق المستوي والانزلاق الأسفيني حيث الكتلة الصخرية تقع من ضمن الفئة الخامسة (V) والمنحدر يكون غير مستقر كلياً، ثم بعد ذلك المحطات (4) للانزلاق الأسفيني، والانقلاب المباشر التي قيم الـ (SMR) فيها تتراوح بين (50-54) والتي تقع ضمن الفئة الثالثة (III) والتي تكون مستقرة جزئياً، وبعد ذلك الانقلاب الانثنائي في المحطة (1) والتي تتراوح (75-76) والتي تقع من ضمن الفئة الثانية (II) اي أن المنحدر يكون في حالة مستقرة .
5. من خلال المقارنة ما بين قيم نتائج (SMR) المنفصلة و (CSMR) المستمرة تبين أن النتائج تكون متطابقة ضمن التصنيف نفسه في كلا النوعين على الرغم من وجود اختلافات قليلة في القيم الناتجة، على سبيل المثال كانت المحطات رقم (3،

ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد، 126 ص.

المصادر:

- المصادر الانكليزية:
1. **Bieniawski, Z.T. (1973):** Engineering classification of jointed rock masses, Trans. S.Afr. Civ. ENGRS, Vol. 15, pp. 335-344.
 2. **Riquelme, A., Tomás R., Antonio, Abellán, F.** "SMRTool (MATLAB)". rua. ua.es. Retrieved 2016-04-08.
 3. **Romana, M., 1985:** New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, in Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works. International Society of Rock Mechanics, Zacatecas, pp.49-53.
 4. **Small, R.J., & Clarck, M.j., 1982:** Slope and Weathering, Cambridge University, Great Britain, 112 P.
 5. **Tomas, R. Delgadob, J. and Seron, J.B., 2007:** Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 44, No. 7, pp.1062-1069. U.S.A, John Wiley & Sons, Ltd.
 6. **Wyllie, D. C. and Mah, C. W., 2004:** Rock Slope Engineering – Civil and Mining (4th edition). Taylor & Francis e-Library, 520p.
 7. **Zhang, L., 2005:** Engineering Properties of Rocks, Elsevier Geo- Engineering Book Series, Lexington, MA, vol. 4, pp. 36-223.

1. الجنابي، جمال محمد علي بطاح، 2010 : دراسة استقرارية المنحدرات الصخرية وبعض الخواص الجيوتكنيكية للتكوينات المنكشفة في طيبة حميرين / شمال شرق العراق، رسالة ماجستير، كلية العلوم جامعة تكريت، - 147 ص.
2. همه سور، غفور امين، 1991 : دراسة جيولوجية هندسية لاستقرارية المنحدرات الصخرية في منطقة هيبث سلطان شمال شرق العراق، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة - صلاح الدين، 152 ص.
3. الجبوري، منى خالد فرج، 2021 : دراسة جيولوجية هندسية لاستقرارية المنحدرات الصخرية للطرف الجنوبي الغربي لطيبة بازيان المحدبة محافظة السليمانية/ شمال شرق العراق، رسالة ماجستير، كلية العلوم - جامعة تكريت، قسم علوم الأرض التطبيقية، 118 ص
4. العبيدي، لؤي داوود يوسف، 2005 : دراسة جيولوجية هندسية لاستقرارية المنحدرات الصخرية لتكوينات شيرانش كولوش جركس و بلاسيبي المحيطة بمنظمة شقلاوة شمال شرق العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم جامعة بغداد، لقسم علوم الارض، 127 ص.
5. السامرائي، نائر ثامر، 2001 : دراسة جيولوجية هندسية لاستقرارية المنحدرات الصخرية على ضفاف مجرى نهر دجلة في منظمة سامراء (وسط العراق)، رسالة ماجستير، كلية العلوم جامعة بغداد، - بغداد العراق - 162 ص.
6. توكمجي، اوميد احمد، 1994 : دراسة جيولوجية هندسية لاستقرارية المنحدرات الصخرية لجبل حميرين الجنوب (منظمة الصدور)، رسالة