

## تحليل استقرارية المنحدرات الصخرية المحيطة بمنطقة شقلاوة، شمال شرق العراق

لوي داود يوسف\* و سعد نعمان السعدي\*\*

الاستلام: 13 / 1 / 2009، القبول: 30 / 9 / 2009

الكلمات الدالة: استقرارية، المنحدرات، حركات الانهيار، الانزلاق، العراق

### المستخلص

تم إجراء تحليل استقرارية المنحدرات الصخرية المحيطة بمنطقة شقلاوة، والمعرضة لحركات الانهيار المتكررة بفعل العوامل الجيولوجية المختلفة، الطبيعية والصناعية والتي قد تهدد الدور السكنية والمنشآت السياحية والطرق الرئيسية وتعرضها لمخاطر حركات الانهيار. درست المنحدرات الصخرية بشكل محطات (23 محطة) توزعت على التكوينات الصخرية المتكشفة في منطقة شقلاوة وهي شيرانيش وتانجيرو وكولوش وجركس وبيلاسي، حسب تكرارية (شدة) حركات الانهيار وحسب قربها من الطرق والمنشآت والدور السكنية التي قد تتأثر بها. استخدمت تقنية الإسقاط الفراغي المجسم في تحليل استقرارية تلك المنحدرات الصخرية، وبينت النتائج ان الانزلاق المستوي (على مستويات التطبيق) هو السائد في منحدرات صخور تكوين شيرانيش، لكون مستويات التطبيق تميل بنفس اتجاه انحدار المنحدر وبزاوية أقل منه. أما منحدرات الصخور الفتاتية لتكوينات تانجيرو وكولوش والطبقات الطينية والغرينية لتكوين الجركس، فلم تلاحظ عليها أية انزلاقات ولا حتى الدورانية، لكونها لا تحتوي على أسطح انقطاعات مفضلة لعدم الاستقرارية والتي يمكن ان تحدث عليها الانزلاقات، وان كل ما تعانیه هو الانسلاخ (Raveling) أو التحطم الحبيبي نتيجة تفتتها الى كتل صغيرة الحجم بفعل عوامل التجوية المختلفة. في حين ان المنحدرات الصخرية لتكوين بيلاسي والطبقات الرملية والدولوميتية لتكوين الجركس، فالانزلاق الإسفيني والذي يحدث على خط تقاطع المستويات والإنقطاعات والمائل بنفس اتجاه المنحدر ولكن بزاوية أقل هو الأكثر شيوعاً، يليه الانزلاق المستوي، ثم الانقلاب ثم السقوط الصخري بدرجة أقل.

## STABILITY ANALYSIS OF ROCK SLOPES AROUND SHAQLAWA VICINITY, NORTH IRAQ

Luay D. Yousif and Sa'ad N. Al-Saadi

### ABSTRACT

Engineering geological study of rock slopes stability analyses, around Shaqlawa vicinity, which suffer from consequent failures, due to weathering factors; natural and artificial, that threatened roads, houses and tourism structures by those failure hazards. Twenty three stations were studied along rock slopes of Shiranish, Tanjero, Kolosh, Gercus and Pila Spi formations in Shaqlawa vicinity, according to failure frequency and existence of slopes nearby to roads, houses and tourism structures that could be affected.

The slopes were classified and analyzed by using stereographic projection technique, the results showed that: On rock slopes of Shiranish Formation, plain sliding along bedding planes is the predominant, due to the concordance of the bedding planes with the slope direction, but with less inclination angle. The clastic rock slopes of Tanjero and Kolosh formations and siltstone and marl beds of Gercus Formation are close to be stable, because they have no favorable discontinuities to slide along with, and they are suffering only with granular disintegration by weathering into small (less than 0.05 m) fragments. While on rock slopes of Pila Spi and Gercus (dolomite and sandstone beds, respectively) formations, the wedge sliding, along discontinuity intersections, that dip with the slope by the same direction but with less inclination angle, are the most prominent, followed by plane sliding, toppling and rock fall; by decreasing frequency.

\* رئيس جيولوجيين أقدم، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين: e-mail: luaygeo955@yahoo.co.uk  
\*\* أستاذ، قسم علم الأرض/ كلية العلوم/ جامعة بغداد

## المقدمة

نظراً لكون مصيف شقلاوة يقع في منخفض يتوسط سلسلتين جبليتين هما سلسلة جبل سفين في الجنوب الغربي وسلسلة جبل كيرد سور في الشمال الشرقي، فالمنطقة تكون محاطة بمنحدرات صخرية معرضة لحركات الانهيار، بتأثير العوامل الجيولوجية المختلفة، الطبيعية والصناعية، مما يهدد المنشآت والدور السكنية والطرق الرئيسية ويعرضها لمخاطر حركات الانهيار من تلك المنحدرات.

تشمل منطقة الدراسة المنحدرات الصخرية المحيطة بمنطقة شقلاوة الواقعة في وسط الشمال من العراق والتي تبعد حوالي 375 كم شمال بغداد وبحودود 45 كم شمال شرق مدينة أربيل. هذه المنطقة محددة بخطي طول  $44^{\circ} 18' 00''$  و  $44^{\circ} 21' 00''$  شرقاً، ودائرتي عرض  $36^{\circ} 23' 22''$  و  $36^{\circ} 25' 00''$  شمالاً.

تهدف هذه الدراسة إلى تقويم استقرارية المنحدرات الصخرية لتكوينات شيرانش، تانجيرو، كولوش، جركس، وبيلا سبي المحيطة بمنطقة شقلاوة وتحديد أنواع حركات الإنهيار الحاصلة والمحتملة بوصفها من الظواهر الطبيعية الشائعة ومتكررة الحدوث في الأقاليم الجبلية. كما وتفيد هذه الدراسة في تصميم مشاريع فتح المقالع والمناجم المفتوحة بمصاطب ومنحدرات آمنة.

## طرائق البحث

تضمن البحث ثلاثة محاور عمل رئيسة هي:

## ■ العمل الحقلّي

التحليل المتكامل لاستقرارية المنحدرات الصخرية يعتمد على المسح التفصيلي لهيئة المنحدر وشكله الهندسي والطبقات الصخرية المكونة له، وكذلك لخصائص اتجاهات الانقطاعات ضمن الكتلة الصخرية. وعليه تم اختيار 23 محطة للدراسة، على أساس تكرارية حدوث حركات الانهيار ونوعيتها، وكذلك كمية وأحجام الكتل المتحركة، فضلاً عن شدة تأثيرها على الطرق والمنشآت القريبة منها.

## ■ العمل المختبري

من أجل تحديد المناطق المحتملة لحدوث حركات الانهيار، ممثلة بدائرة زاوية الاحتكاك ( $\theta$ ) وتمثيلها في مخطط الإسقاط الفراغي الجسم ولغرض تحديد المقاومة الأنضغاطية للكتلة الصخرية المكونة للمنحدرات المدروسة، من الضروري اختيار نماذج صخرية ممثلة حاوية على أسطح الانقطاعات التي من المحتمل حدوث الانزلاقات عليها، وإجراء فحوصات القص المباشر للنماذج، وعليه تم اختيار نماذج كتل صخرية، بحسب تكرارية حركات الانهيار في المنحدر، واستخراج ثلاث قطع لياوية على الأقل بقطر 5 سم من كل نموذج، وإجراء فحص القص المباشر عليها لحساب زاوية الاحتكاك لأسطح الانقطاعات المحتمل حدوث الانزلاق عليها. كما تم إجراء فحص حمل النقطة لقطع لياوية أخرى لحساب المقاومة الأنضغاطية اللامحصورة بطريقة غير مباشرة.

## ■ العمل المكتبي

تم تمثيل البيانات باستخدام تقنية الإسقاط الفراغي الجسم لكل من مستويات التطبيق وسطح (وجه) المنحدر، والإنقطاعات الموجودة في كل منحدر، لغرض تحديد نوع وطبيعة حركة الانهيار الحاصلة أو محتملة الحدوث في المحطة المدروسة بوصفها جزء من تقويم استقرارية تلك المنحدرات الصخرية. وكذلك تحليل المعطيات المستحصلة من تقنية الإسقاط الفراغي الجسم.

لقد تم تمثيل قيمة زاوية الميل وزاوية اتجاه الميل لأسطح الانقطاعات والمنحدر كالاتي:  $256/45^{\circ}$ ، حيث ان القيمة  $45^{\circ}$  تمثل مقدار زاوية الميل والرقم 256 يمثل اتجاه زاوية الميل لكل من أسطح الانقطاعات والمنحدر. كما تم استخدام بعض الرموز للتمثيل والتي تعني الآتي:

$$\emptyset = \text{زاوية الاحتكاك لأسطح الانقطاع المحتمل حدوث الانزلاق عليه}$$

$$\theta = \text{زاوية ميل سطح الانقطاع المحتمل حدوث الانزلاق عليه}$$

$$G_s = \text{رمز المنحدر العام}$$

$$S_o = \text{سطح التطبيق}$$

$$S_1 = \text{مجموعة الانقطاعات الأولى}$$

$$S_2 = \text{مجموعة الانقطاعات الثانية}$$

$$O.H = \text{منحدر معلق}$$

$$L.R.S = \text{سطح انطلاق جانبي (Lateral Release Surface)}$$

$$B.R.S = \text{سطح انطلاق خلفي (Back Release Surface)}$$

$$\leftarrow = \text{رمز الانزلاق المستوي (Plane sliding)}$$

← = رمز الانزلاق الإسفيني (Wedge sliding)  
 ■ ← = رمز السقوط الصخري (Rock fall)

### جيولوجية منطقة الدراسة

تعد منطقة الدراسة ذات تركيب متجانس الميول لكونها تقع على الجناح الشمالي الشرقي لطية سفين المحدبة، الواقعة في نطاق الطيات العالية ضمن الرصيف غير المستقر من الصفيحة العربية (Jassim and Goff, 2006). ان طية سفين المحدبة مزدوجة الغطس، ومحورها يمتد باتجاه  $45^{\circ} W$  N، وهي غير متناظرة جناحها الجنوبي الغربي الأشد ميلاً (25 - 90)° وأحياناً مقلوب، في حين أن جناحها الشمالي الشرقي أقل ميلاً (20 - 60)° (Sissakian and Youkhana, 1979). تشمل منطقة الدراسة المنحدرات الصخرية ضمن التكوينات الصخرية المكتشفة بمنطقة شقلاوة والتي هي من الأقدم الى الأحدث:

#### ■ تكوين شيرانش (Early Maastrichtian)

يقسم تكوين شيرانش صخارياً الى جزئين (Bellen et al., 1959)، السفلي منه يتكون من حجر كلس والذي يكون أحياناً طفلياً أو طينياً، ابيض الى رمادي فاتح، جيد التطبيق وذو أسطح ملساء. الطبقات الكلسية قوية أو صلدة، وتزداد قوتها بنقصان نسبة المواد الطينية وهي متأثرة بفواصل كثيفة وبعروق الكالسايت الثانوي. أما الجزء العلوي من التكوين فيتكون من طفل وسجيل ازرق ورمادي مزرق، والسجيل يعطي التكوين المظهر الورقي والتكسر الى رقائق في بعض المواقع، وهي رخوة - معتدلة القوة. سمك التكوين بحدود 150م ويتكشف بشكل شريط عند أقدم منحدرات جبل سفين، ويكوّن تلالاً قليلة الارتفاعات خفيفة الانحدارات. الحد الفاصل العلوي لتكوين شيرانش مع تكوين تانجيرو والذي يعلوه تدريجياً ويؤخذ عند أعلى طبقة كلسية رقيقة أسفل الفتاتيات الخضراء.

#### ■ تكوين تانجيرو (Early Maastrichtian)

يتألف تكوين تانجيرو من فتاتيات خضراء مصفرة (خاكية) وخضراء - زيتونية اللون، صخارياً يتكون من حجر رملي وحجر طيني وطفل ومدملكات. الحجر الرملي هو المكون الرئيسي، والحجر الطيني والطفل رخو ومتكسر الى رقائق صغيرة، أما المدملكات فتوجد بشكل عدسات يصل سمكها الى 8 م ذات حصويات ناعمة. الحد العلوي مع تكوين كولوش والذي يعلوه غير توافقي ويؤخذ أحياناً عند وجود المدملكات بينهما بسمك (3 - 8) م، أو عند تغير اللون من الأخضر المصفر الى الأخضر الداكن المسود.

#### ■ تكوين كولوش (Early Paleocene - Early Eocene)

يتكشف تكوين كولوش في وسط وغرب مدينة شقلاوة، حيث يحتل الجزء المنخفض الذي يتوسط جبل سفين وجبل كيرد سور، وفي هذه المنطقة يسوده السجيل فضلاً عن الحجر الرملي والطفل والمدملكات. السجيل هو الأكثر شيوعاً في التكوين، ويكون الأرضية السوداء لكل التتابع، حيث يوجد بشكل طبقات رقيقة غامقة اللون ومجاوة الى فتاتيات ورقائق خضراء - زيتونية اللون. في حين يعد الحجر الرملي المكون الثاني ويوجد بشكل طبقات رقيقة - متوسطة السمك (10 - 50) سم وذو حبيبات متدرجة من الخشن إلى الناعمة. ان هذه الطبقات الرملية غالباً ما تكون صلدة بسبب احتوائها على المواد الكلسية بكثرة مما يجعلها بارزة بشكل حواف قوية مقاومة للتجوية تتداخل مع السجيل سهل التجوية. أما صخور الطفل فهي الأقل شيوعاً وأقل سمكاً وتوجد بشكل طبقات رقيقة فاتحة اللون معتدلة الصلادة، والمحتوى الكربوناتي فيها متباين. الحد الفاصل مع تكوين جركس والذي يعلوه هو حاد ويتمثل بتغير اللون من الأسود الى الأحمر.

#### ■ تكوين الجركس (Middle Eocene)

تتكشف صخور تكوين الجركس الحمراء في منطقة شقلاوة بشكل شريط يحتل معظم السفوح الجنوبية الغربية لجبل كيرد سور وتتكون من تتابع من الدورات الترسيبية التي تتناغم نحو الأعلى، حيث تكوّن الصخور الرملية أو المدملكات الجزء السفلي من هذه الدورات الترسيبية، في حين تكوّن الصخور الغرينية والطفل الجزء العلوي من الدورات الترسيبية. كما يحتوي التتابع على القليل من الصخور الدولومايتية عديمة المتحجرات، والحد الفاصل مع تكوين بيلاسبي والذي يعلوه غير توافقي أحياناً ويتمثل بطبقة سميكة من المدملكات.

#### ■ تكوين بيلاسبي (Middle - Late Eocene)

تتكشف صخور تكوين بيلاسبي بشكل شريط يمتد من الجنوب الشرقي وحتى الشمال الغربي، وتحتل أعالي وقمم سلسلة جبل كيرد سور وهي تعلو صخور تكوين الجركس. تتكون صخور تكوين بيلاسبي بشكل أساسي من حجر كلس متبلور، دولومايتي وطيني ودولومايت طباشيري ابيض، ورمادي فاتح، وابيض مصفر على التوالي، وهي جيدة التطبيق، سمك كل طبقة يتراوح بين (0.5 - 2.0) م. توجد في قاعدة التكوين طبقة سميكة من المدملكات (الحد الفاصل مع التكوين الذي تحته) وهي ذات أهمية بالغة بالنسبة لهذه الدراسة، إذ انها سميكة وقوية جداً ومقاومة للتجوية مما جعلها تشكل جروفاً

أو نتوءات بارزة ومنحدرات معلقة (Overhanging) على السفوح الجنوبية الغربية لجبل كيرد سور التي تكثر فيها حركات الانهيار المتنوعة نتيجة التعرية التفاضلية وإزالة الإسناد التحتي لها، وهذا جعلها تشتمل اغلب المحطات المدروسة في هذا البحث.

#### تقويم استقرارية المنحدرات الصخرية المدروسة

درست المنحدرات الصخرية لغرض تقويم استقراريته بشكل محطات توزعت على التكوينات الصخرية المكتشفة في منطقة الدراسة (الشكل 1)، والتي تم اختيارها بحسب تكرارية (شدة) حركات الانهيار وأحجام الكتل الصخرية المتأثرة بحركات الانهيار، وبحسب قربها من الطرق والمنشآت الخدمية الأخرى والدور السكنية التي قد تتأثر بتلك الحركات. والمنحدرات المدروسة هي:

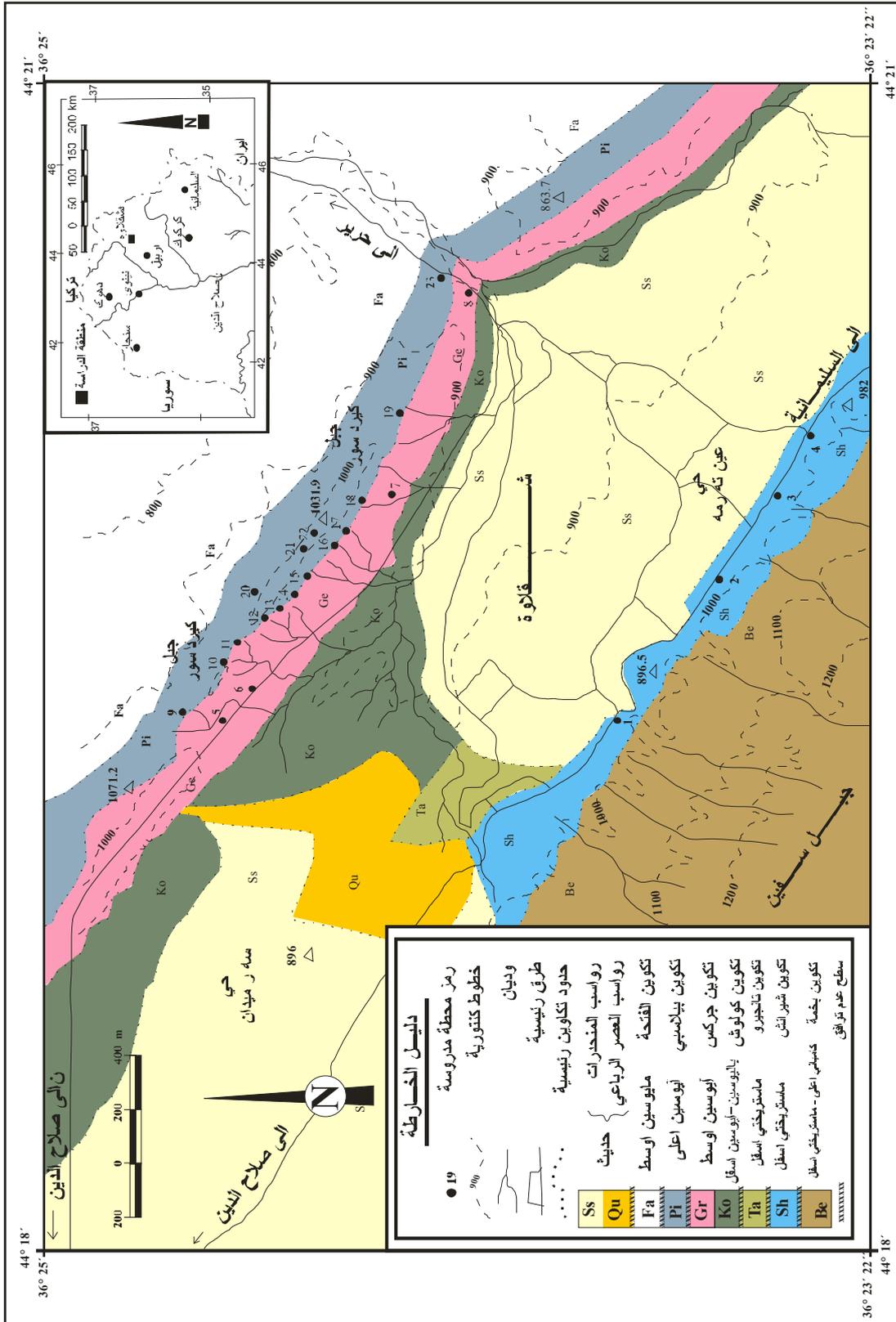
#### ■ منحدرات صخور تكوين شيرانش

تحتل المنحدرات الصخرية لتكوين شيرانش الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة وتشكل جزء من المنحدرات المطلة على الجانب الجنوبي الغربي (الأيمن) لطريق صلاح الدين - شقلاوة - كويسنجق. تم دراسة أربعة محطات فقط على منحدرات تكوين شيرانش (1 و 2 و 3 و 4) امتازت اغلبها بالانزلاق المستوي على طول أسطح التطبيق التي تميل بزوايا أقل من زاوية الانحدار، مما يجعلها تبرز في وجه المنحدر ولكون زاوية الاحتكاك المقاسة (من فحص القص المباشر) لأسطح الانزلاق أقل من الانحدار، باستثناء المحطة رقم 4 التي تعد مستقرة لكون مستويات التطبيق تميل بزوايا مساوية للانحدار.

#### ■ المنحدرات الصخرية لتكوين تانجيرو وكولوش

يتميز تكويني تانجيرو وكولوش بتمائل وتشابه كبيرين من حيث الصخرية والخصائص الهندسية، مما يجعلهما يبديان نفس السلوك تجاه العوامل الجيولوجية - الهندسية المؤثرة، وعلى هذا الأساس تم التعامل معهما كوحدة جيولوجية - هندسية واحدة. ان صخور تكوين تانجيرو في منطقة الدراسة مغطاة برواسب العصر الرباعي وتتكشف فقط في وسط جنوب مدينة شقلاوة، في حين ان صخور تكوين كولوش تتكشف بشكل شريط ضيق نسبياً يمتد على طول أقدم المنحدرات الجنوبية الغربية لجبل كيرد سور، إلا أنه يتوسع في الجزء الأوسط من شقلاوة (لكونه مغطى أيضاً في بقية الأجزاء)، فيكون المنحدرات التي تفصل الأحياء القديمة إلى الجنوب الشرقي عن الأحياء الجديدة (حي سه رميدان) إلى الغرب.

لم تلاحظ على منحدرات الصخور الفتاتية لتكويني تانجيرو وكولوش في منطقة شقلاوة أي من حركات الانهيار المرتبطة بالعوامل التركيبية، ولكونها ذات طبقات رقيقة جداً ومقطعة بفواصل متقاربة للغاية ولعدم وجود مستويات انقطاع محددة غير مفضلة يمكن ان تحدث عليها الانزلاقات، مما يجعلها منحدرات صخرية لا تخضع لحسابات الاستقرارية وإنها تتأثر بما يسمى الانسلال (Raveling) (Maerz, 2000)، بسبب التحطم الصخري (Granular disintegration) والذي تتعرض له الصخور الضعيفة عند دخول المياه الى داخل الحجر (المسامي والمنفذ) فنقل من قوة تماسكه وتعمل على تفتيته وتحطيمه، وكذلك عمليات الإنجماد والتجفيف والترطيب المستمرة تؤدي الى ظهور قوى شد داخل الصخور فتفتتها (Carson and Kirkby, 1972) وهذا ما نراه واضحاً على منحدرات تكويني تانجيرو وكولوش (الشكل 2)، حيث تتحطم الى قطع صخرية صغيرة لا يتجاوز قطرها 5 سم، تندرج الى أسفل المنحدر بفعل الجاذبية. وعلى العموم فان سقوط هذه القطع الصغيرة المنفردة لا يولد مخاطر فعلية، لاسيما وإنها بعيدة نسبياً عن الدور السكنية والمجمعات السياحية والطرق الرئيسية. إذ انه بغض النظر عن الحجم والشكل، فان السقوط الصخري غالباً ما يسبب خطورة على الأشخاص المتواجدين في مواقع أعمال الحفريات (Sing, 2004).



شكل 1: خريطة جيولوجية تبين مواقع المحطات المدروسة (1979, Sissakian and Youkhana)



شكل 2: منظر عام لمنحدرات صخور تكوين كولوش

### ■ المنحدرات الصخرية لتكوين الجركس

تتكشف صخور تكوين الجركس في منطقة الدراسة بشكل شريط يحتل معظم سفوح المنحدرات الجنوبية الغربية لسلسلة جبل كيرد سور. يتكون تكوين الجركس من طبقات طفلية وغرينية بنسبة 80% مع طبقات رملية بنسبة 17% ودولومايت بنسبة 3% (Al Rawi, 1980). ان منحدرات الصخور الغرينية والطفل هي الأخرى مماثلة في سلوكها لمنحدرات تكويني تانجيرو وكولوش، فهي متأثرة بالانسلال (Raveling) بسبب التفتت الحبيبي الى قطع صخرية صغيرة نتيجة لعمليات التجوية المختلفة، ومن ثم دحرجة هذه الحبيبات إلى أسفل المنحدر بفعل الجاذبية، وعليه فقد تم دراسة محطة واحدة فقط على هذا النوع من الصخور (محطة رقم 5). إما طبقات الحجر الرملي والدولومايت فقد تم تحليل الاستقرارية في محطتين ضمن الصخور الرملية وفي محطة واحدة على الصخور الدولومايتية. ولقد تم اختيار محطتين: الأولى هي المحطة رقم 6 لكونها تتضمن الصخور الغرينية والدولومايتية والطفل، أما المحطة الثانية فهي المحطة رقم 7 وتقع ضمن الصخور الرملية.

### — محطة رقم 6

تقع هذه المحطة في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة، وبالتحديد ضمن صخور الدولومايت في أعلى الجزء السفلي من تكوين جركس وعلى الجانب الشمالي الشرقي (الأيسر) لطريق صلاح الدين - شقلاوة - حرير (الشكل 1). طول المنحدر أكثر من 20 م وارتفاعه بحدود 10 م وإنحداره  $40^\circ / 208$ ، بعكس ميل الطبقات البالغة  $36^\circ / 020$  والمكونة للمنحدر (الشكل 3). يتكون المنحدر من الصخور الغرينية والطفل رقيق التطبيق، مع وجود طبقات من الدولومايت بسمك إجمالي 0.7 م في أسفل الجزء العلوي من المنحدر. تتكون صخور الدولومايت من طبقات سفلية يتراوح سمكها بين (5 - 10) سم، أما الطبقة العليا فسمكها 20 سم، وهي ذات لون أبيض الى بني ذو صبغة وردية، ناعمة التبلور، رقيقة التطبيق، تقطعها فواصل ذات فسحات متقاربة - واسعة باعتدال، متجوية قليلاً، وهي ذات مقاومة إنضغاطية عالية جداً ( $\sigma_c = 127.2 \text{ Mpa}$ ).

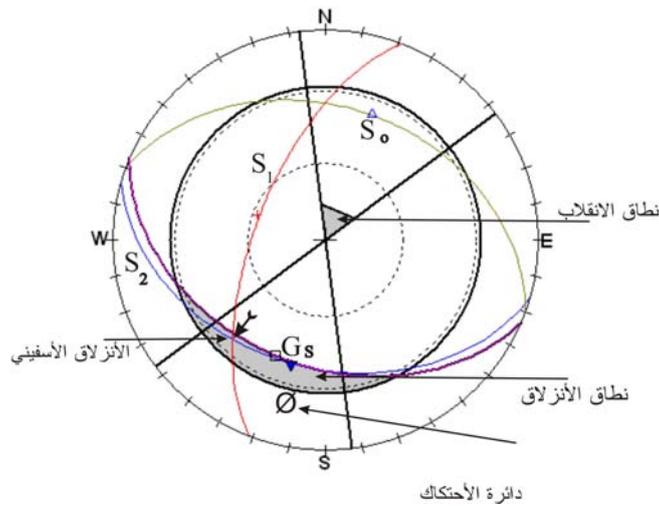
ان الانقطاعات المؤثرة في طبقات الدولومايت تتكون من مجموعتين، الأولى S.1 وتميل  $38^\circ / 195$  وبفسحات بين (7 - 34) سم، والثانية S.2 تميل بمعدل  $62^\circ / 290$  وبفسحات بينية تتراوح بين (10 - 15) سم، أغلب هذه الفواصل مغلقة وقليل منها مفتوح ولغاية 0.5 سم وذات أسطح مستوية.



شكل 3: منظر جانبي للمحطة رقم 6 يوضح أحجام كتل صخور الدولومايت المنزلقة على وجه المنحدر

ان المنحدر بشكل عام (عدا طبقات الدولومايت) يتأثر بالانسلال بسبب التحطم الحبيبي، لكونه مكون من صخور غرينية وطفل ذات تطبيق رقيق جداً وكذلك لعدم وجود مستويات انقطاع غير مفضلة يمكن ان يحدث عليها الانزلاق، باستثناء طبقة الدولومايت الصلدة، والأكثر سمكاً نسبياً والموجودة في الجزء العلوي من المنحدر، فهي تعاني من حركات الانهيار بشكل كتل أكبر حجماً (60X30X20) سم وذلك نتيجة لزوال الإسناد في الجزء السفلي بفعل التعرية التفاضلية. وان الحركة تكون الى أسفل المنحدر القريب من الشارع (طريق صلاح الدين - شقلاوة - حرير) وبحدود (2.0 - 2.5) متر تقريباً.

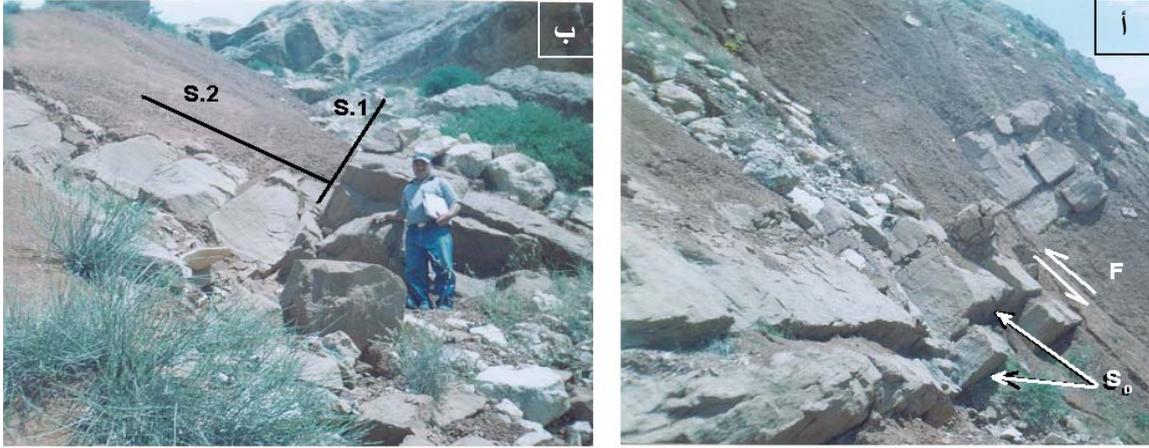
بعد تحليل الاستقرار، لطبقة الدولومايت (بسمك 20 سم)، بواسطة الإسقاط الفراغي المجسم (الشكل 4) ومن فحص Markland، تبين أن حركة الانهيار الحاصلة لكتل الدولومايت هي من نوع الانزلاق الإسفيني نتيجة تقاطع مجموعتي الفواصل (S.1 و S.2) في خط يميل  $I_{1,2} = 225/39^\circ$ . أي باتجاه المنحدر نفسه تقريباً ولكن بزوايا أقل، مما يجعله يبرز في وجه المنحدر، لاسيما وأن زاوية الاحتكاك لأسطح الانقطاع هي  $\theta = 28^\circ$ ، أي أن  $\theta_i > \theta$ ، وبوجود أسطح التطبيق التي تشكل انطلاقات خلفية (B.R.S) ومستويات الفواصل بشكل أسطح انزلاق تكون شروط الانزلاق الإسفيني جميعها متحققة في المحطة.



شكل 4: مخطط الإسقاط الفراغي للمحطة رقم 6 يوضح العلاقة بين وجه المنحدر والإنقطاعات المختلفة والانزلاق الإسفيني الحاصل لطبقات الدولومايت

## — محطة رقم 7

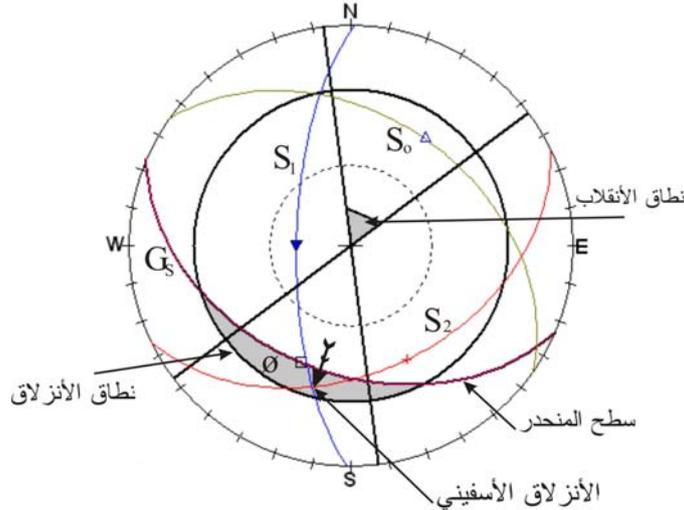
تقع هذه المحطة ضمن طبقة الصخور الرملية وبسمك 1.78 متر في أسفل الجزء العلوي من تكوين الجركس، وعلى المنحدرات الجنوبية الغربية لجبل كيرد سور المظلة على شمال مدينة شقلاوة. طول المنحدر أكثر من 10 م، وارتفاعه 1.78 م، وبمعدل زاوية إنحدار  $42^\circ / 203$ . المنحدر بشكل عام يميل بعكس اتجاه ميل الطبقات التي تميل بمعدل  $40^\circ / 030$  (الشكل 5).



شكل 5: يمثل منظرين لوجه المنحدر في المحطة رقم 7 في الحجر الرملي لتكوين الجركس  
أ- منظر من الجانب الأيسر يظهر تأثير التعرية التفاضلية في استقرارية المنحدر  
ب- منظر أمامي للمنحدر، يظهر الانقطاعات المختلفة المؤثرة فيه وأثر الانزلاق الحاصل

ان الطبقات الصخرية المكونة للمنحدر هي ذات لون بني محمر، متوسطة الحبيبات، سميكة التطبيق، فواصلها ذات فسحات واسعة باعتدال - واسعة، متجوية قليلاً، وهي صخور رملية، ذات مقاومة إنضغاطية عالية باعتدال، وفق التقدير الحقلية لصلابة الصخور (المحور عن Peteau and Jennings, 1970 و Anon, 1972). ان الطبقات متأثرة بمجموعتين من الفواصل، الأولى من نوع S.1 وتميل  $70^\circ / 270$  وبفسحات تتراوح (50 – 85) سم وبامتداد يتراوح بين (250 – 300) سم، والثانية S.2 وتميل بمعدل  $42^\circ / 154$  وبفسحات تتراوح بين (20 – 30) سم، وممتدة على طول سمك الطبقات وذات أسطح مستوية. أغلب هذه الفواصل مفتوحة ولمسافة تتراوح بين (0.3 – 0.5) سم، فارغة في أغلب الأحيان وممتلئة بمواد غرينية في أحيان أخرى.

من تحليل الاستقرارية تبين ان الكتل الصخرية في هذا المنحدر تعاني من الانزلاق الإسفيني على طول خط تقاطع مجموعتي الفواصل ( $I_{1,2} = 195 / 35^\circ$ ) (الشكل 6). وان الانزلاق لا يتم إلا بعد تأثير التعرية التفاضلية في الطبقات السفلية من المنحدر (الصخور الغرينية الضعيفة) وإزالة الإسناد التحتي وبرزو خط تقاطع مجموعتي الفواصل في وجه المنحدر، وهنا تلعب أسطح التطبيق دور أسطح إنطلاق خلفية. والكتل المنزلقة إسفينية الشكل، مختلفة الأحجام، ولكن الكتل متوسطة الحجم (50X50X50 سم) هي الأكثر شيوعاً.



شكل 6: مخطط الإسقاط الفراغي للجسم للمحطة رقم 7 يوضح العلاقة بين المنحدر والإنقطاعات المختلفة والانزلاق الإسفيني الحاصل

### ■ المنحدرات الصخرية لتكوين بيلاسيبي

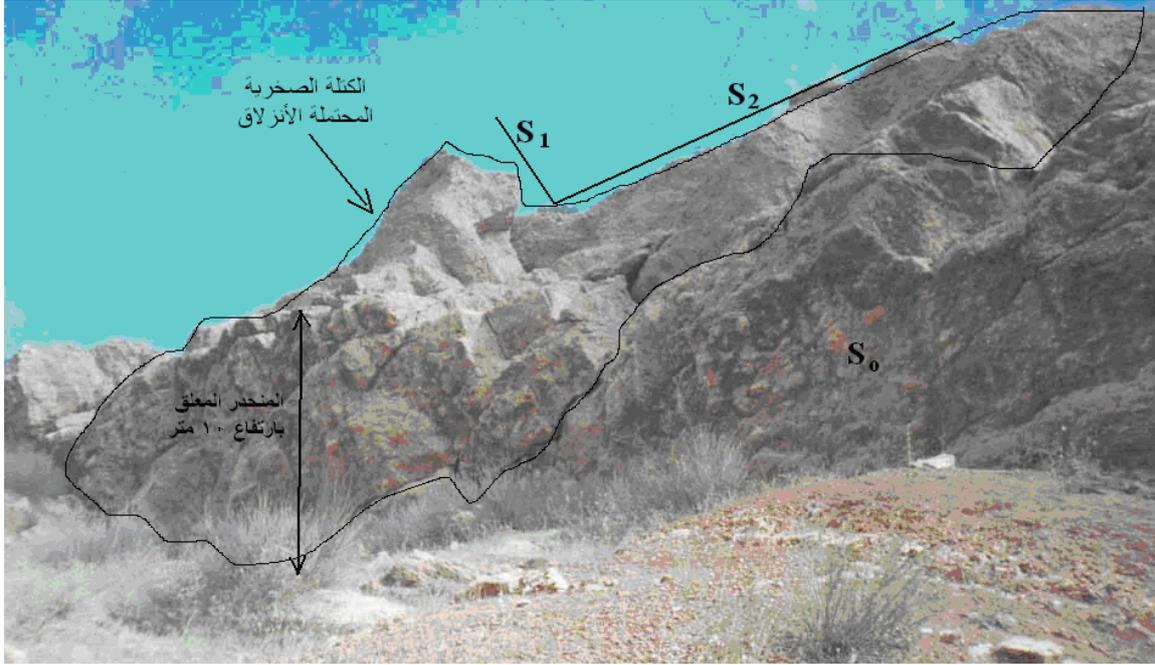
تتكشف صخور تكوين بيلاسيبي في منطقة الدراسة بشكل شريط يمتد على طول أعالي وقمم سلسلة جبل كيرد سور، وقد أمكن تقسيمها إلى جزئين بحسب الصخرية والصلادة وأحجام الكتل الصخرية المتكونة فيها، وهي:

#### — المنحدرات الصخرية ضمن صخور المدملكات القاعدية

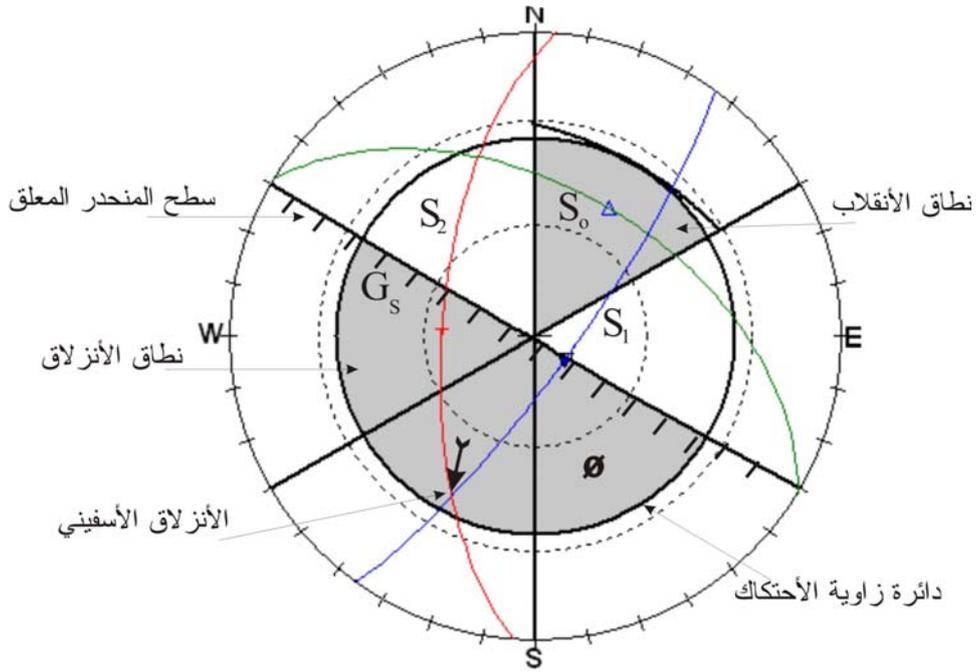
يتكون الحد السفلي لتكوين بيلاسيبي مع تكوين الجركس من مجموعة طبقات من صخور المدملكات سمكها الكلي يتراوح بين (5 - 12) م، وهي ذات مقاومة إنضغاطية عالية جداً (حسب التقدير الحقلية للصلابة، المحور عن الكلي يتراوح بين (100x100x100) سم. تمتاز المنحدرات المدروسة ضمن هذه المدملكات القاعدية بكون أغلبيتها معلقة نتيجة التعرية التفاضلية المؤثرة في الصخور التي فوقها (الكلسية الطفلية لتكوين بيلاسيبي وتحتها الغرينية لتكوين جركس) والأقل صلادة مما يجعلها تشكل حافات بارزة على أوجه السفوح الجنوبية الغربية لسلسلة جبل كيرد سور، وأن أغلب حركات الانهيار الحاصلة وكذلك المحتملة فيها هي من نوع الانزلاق الإسفيني، وقليل منها هي إما بشكل انزلاق مستوي أو بشكل انقلاب. اختيرت المحطة رقم 18 ضمن صخور المدملكات لغرض الإيضاح.

#### \* محطة رقم 18

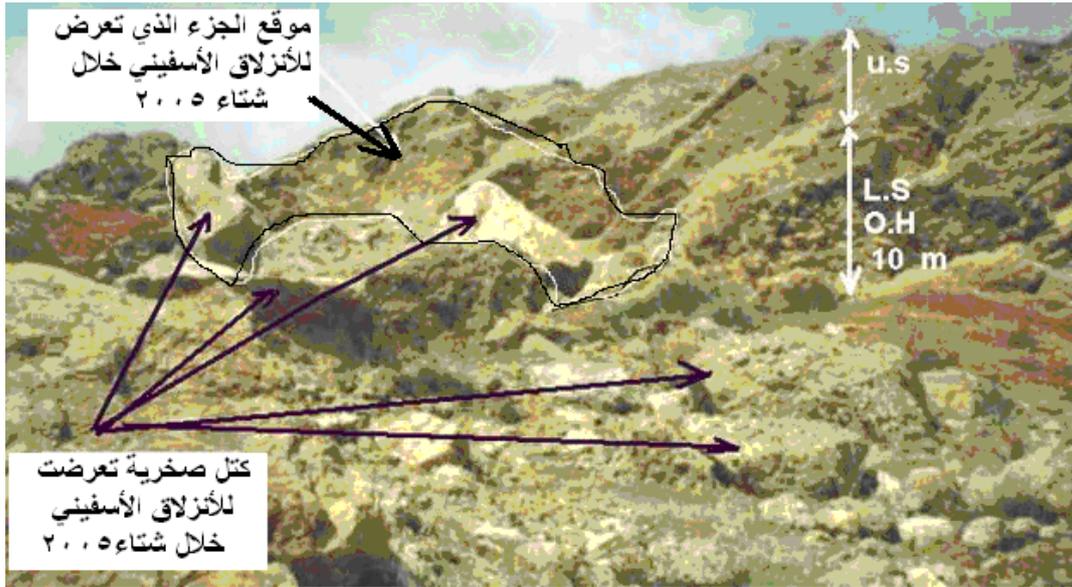
تقع هذه المحطة ضمن مدملكات تكوين بيلاسيبي، في أعالي سفوح جبل كيرد سور، شمال منطقة الدراسة (الشكل 1)، طول المنحدر أكثر من 10 م وارتفاع الجزء المعلق منه حوالي 10 م، وانحداره بمعدل  $90^\circ / 210$  (الشكل 7). إن الطبقات الصخرية المكونة للمنحدر تميل بمعدل  $50^\circ / 030$ ، وهي ذات لون بني فاتح محمر، تتدرج حبيباتها من الناعمة إلى الخشنة جداً، سميكة التطبق، فواصلها ذات فسحات واسعة باعتدال إلى واسعة، متوسطة التجوية، وهي من المدملكات ذات المقاومة الأنضغاطية العالية جداً (حسب التقدير الحقلية لصلابة الصخور). تقطع هذه الطبقات مجموعتان من الفواصل (فضلاً عن مستويات التطبق): الأولى S.1 وتميل بمقدار  $80^\circ / 130$ ، وهي ذات فسحات تتراوح بين (50 - 166) سم وبامتداد يتراوح (0.5 - 6.0) م. المجموعة الثانية S.2 تميل بمقدار  $65^\circ / 274$  وبفسحات تتراوح بين (14 - 120) سم وممتدة لأكثر من 13 م. أغلب فواصل مجموعة S.2 مفتوحة بفتحات تتراوح بين (5 - 10) سم ويعمق قد يصل إلى 30 سم وهي ذات أسطح خشنة جداً. أما مجموعة S.1 فأغلبها مغلقة، والمفتوحة منها فتترواح المسافة البينية بين (0.5 - 2.0) سم. إن أسطح التطبق تعمل بشكل أسطح انطلاق خلفية للكتل المتأثرة بالانزلاق الإسفيني وعلى خط تقاطع مجموعتي S.1 و S.2، الذي يميل بمقدار  $44^\circ / 210$  (الشكل 8). لاسيما وأن الجزء الأكبر من المنحدر (بحدود 10 م) يبرز بشكل معلق وبدون أي إسناد تحتي نتيجة التعرية التفاضلية الشديدة المؤثرة في الطبقات السفلى لصخور الجركس الفتاتية الضعيفة. ومن الجدير بالذكر أن الانزلاق الإسفيني قد حدث فعلاً خلال شتاء 2005 في الجزء المؤشر في الشكل (7) بعد إن تم ملاحظته وتصويره في شباط 2005 (الشكل 9).



شكل 7: منظر عام للمحطة رقم 18 يوضح العلاقة بين وجه المنحدر المعلق والإنقطاعات المؤثرة فيه، كما تلاحظ الكتلة المحتملة الانزلاق (الشكل أعلاه صور في مايس 2004) والتي انزلقت فعلاً خلال شتاء 2005



شكل 8: مخطط الإسقاط الفراغي الجسم للمحطة رقم 18 يوضح العلاقة بين المنحدر والإنقطاعات المؤثرة فيه وكذلك الانزلاق الإسفيني



الشكل 9: منظر من أسفل المحطة رقم 18 ويلاحظ فيها موقع الجزء الذي انزلق خلال شتاء 2005 بالانزلاق الإسفيني، والكتل التي تملأ السفوح السفلية

#### — منحدرات الصخور الكربوناتيّة

تلي طبقة المدملكات الموجودة في أسفل تكوين بيلاسبي (نحو الأعلى) تتابع من الطبقات الكربوناتيّة والتي تعدّ المكون الرئيس لتكوين بيلاسبي. والطبقات التي تعلو المدملكات مباشرة بيضاء مصفرة رقيقة النطبق (5 – 15 سم) ومتجوية بدرجة متوسطة، وهي صخور جيرية طفلية (Youkhana and Sissakian, 1986)، ضعيفة الصلادة مما يجعلها تشكل منحدرات غير وعرة وقليلة الانحدارات، وأحياناً مغطاة بالتربة تنمو عليها الحشائش. ان السمك الكلي لهذه الطبقات الرقيقة يتراوح بين (15 – 25) م، تليها للأعلى مجموعة من الطبقات السمكية والصلبة والأكثر مقاومة للتجوية والتي تم تصنيفها على انها صخور ذات مقاومة إنضغاطية عالية – عالية جداً، حيث كانت قيم  $\sigma_c$  المحسوبة من فحص حمل النقطة (Point load test) تتراوح بين (80.4 – 114) MPa، وهي تشكل منحدرات بارزة بشكل حواف حادة ومعلقة على طول السفوح الجنوبية الغربية لجبل كيرد سور. لقد تم دراسة أربع محطات ضمن منحدرات هذه الصخور وتم اختيار المحطة رقم 23 للإيضاح:

#### \* محطة رقم 23

تقع هذه المحطة في مضيق شقلاوة وعلى الجانب الأيسر من طريق (شقلاوة – حرير) وضمن صخور الدولومايت لتكوين بيلاسبي. طول المنحدر أكثر من 20 م وارتفاعه 20 م ويميل بمقدار  $90^\circ - 80^\circ / 120$ ، والطبقات الصخرية المكونة للمنحدر تميل بمقدار  $60^\circ / 044$  (الشكل 10). ان الصخور المكونة للمنحدر هي دولومايت، ذات لون أبيض الى أبيض مصفر، وبلورات ناعمة جداً، متوسطة النطبق، وفواصلها ذات فسحات متقاربة – واسعة باعتدال، متوسطة التجوية وذات المقاومة الإنضغاطية العالية ( $\sigma_c = 80.4$  MPa). تقطع هذه الصخور (فضلاً عن مستويات النطبق) مجموعتان من الانقطاعات: الأولى S.1 وتميل بمعدل  $32^\circ / 145$  وبفسحات تتراوح بين (15 – 42) سم، والثانية S.2 وتميل بمقدار  $52^\circ / 268$  وبفسحات تتراوح بين (15 – 28) سم. أغلب هذه الفواصل ذات استمرارية أكثر من 5 م ومعلقة وذات أسطح مستوية متوسطة الخشونة.



شكل 10: منظر أمامي للمحطة رقم 23 يوضح علاقة الانقطاعات المؤثرة في المنحدر والكتل المنزلقة منه

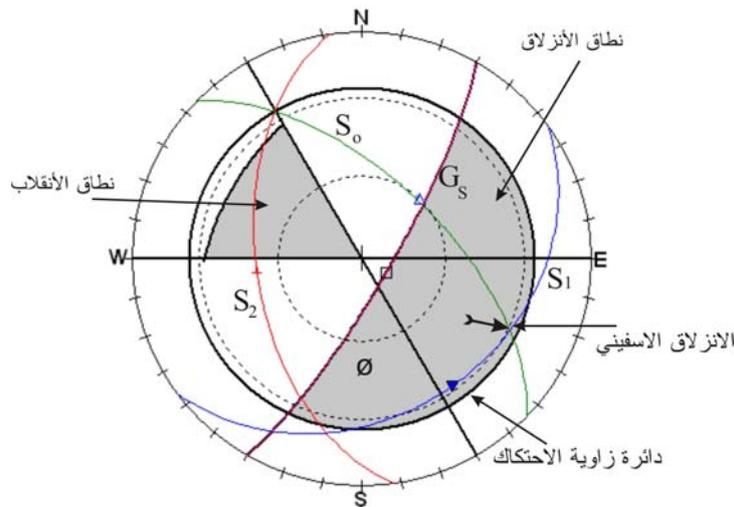
ان المنحدر (الشكل 10) يعاني من حركة الانهيار الحاصلة بسبب أعمال حفريات شق الطريق، وبعد تمثيل المعلومات على مخطط الإسقاط الفراغي المجسم (الشكل 11)، تبين حصول الانزلاق الإسفيني على طول خط تقاطع مجموعة S.1 مع أسطح الطبقات So (من اختبار فحص Markland). ان سطح الانقطاع يميل بزاوية أكبر من زاوية الاحتكاك الداخلي لأسطح تلك المجموعة ( $\theta_i = 29^\circ < \theta = 26^\circ$ )، وهنا تلعب مجموعة فواصل S.2 دور أسطح انطلاق خلفية (B.R.S). وكذلك بسبب كل من الميل والارتفاع الشديدين للمنحدر، فان إمكانية حدوث السقوط الصخري واردة أيضاً. وبعد حساب نسبة b/h لإحدى الكتل المنزلقة والتي كانت:

$$0.71 = 34/48 = b/h$$

$$0.63 = \tan 32^\circ = \tan \theta$$

$$b/h > \tan \theta$$

وهذا يعني أن الكتلة لم تتعرض للانقلاب.



شكل 11: مخطط الإسقاط الفراغي المجسم يوضح العلاقة بين المنحدر والإنقطاعات المؤثرة فيه وكذلك الانزلاق الإسفيني والسقوط الصخري الحاصلة في المحطة رقم 23

## المناقشة

## ■ الوضع التركيبي

التأكيد على ان الانقطاعات (بأنواعها وخصائصها) تلعب دوراً رئيساً يتحكم بنوعية حركات الانهيار الصخرية وكمية وأحجام الكتل المتأثرة بالحركات. بسبب التباين الكبير في اتجاهات المنحدرات الصخرية في منطقة الدراسة، فضلاً عن التركيب المتجانس (الطبقات الصخرية جميعها تميل بالاتجاه نفسه)، أدى الى ظهور أنواع متعددة من المنحدرات، منها المتوافقة (انحدارها يكون بنفس اتجاه ميل الطبقات) وكما في منحدرات تكوين شيرانش وتانجيرو وكولوش، وغير متوافقة في أغلب منحدرات تكويني جركس وبيلاسي. هذا فضلاً على أن أسطح التطبيق، وبفعل التوافقية في منحدرات تكوين شيرانش جعلتها (أسطح التطبيق) تساهم في عدم الاستقرار، وبذلك لعبت دور أسطح للانزلاق، وكان الانزلاق المستوي هو السائد، في حين أن أسطح التطبيق لبقية التكوينات، وبفعل عدم التوافق، تساهم في الاستقرار وخصوصاً تجاه الانزلاق (الإسفيني والمستوي) الشائع في منحدرات تكويني جركس وبيلاسي، باستثناء بعض حالات الانقلاب والسقوط الصخري الأقل شيوعاً في تلك المنحدرات.

وكذلك بسبب الانقطاعات المختلفة المؤثرة في الطبقات الصخرية التي برزت بشكل منحدرات بارزة في وجه المنحدرات مسببة أنواع مختلفة من الانزلاقات. ففي منحدرات تكوين شيرانش برزت أسطح التطبيق في وجه المنحدر وسببت انزلاق مستوي، بينما برزت خطوط تقاطع مستويات هذه الانقطاعات في أوجه منحدرات تكويني جركس وبيلاسي لتسبب الانزلاق الإسفيني الأكثر شيوعاً في تلك المنحدرات. كما يلاحظ أن الصخور الرخوة لتكوينات تانجيرو وكولوش وجركس وبسبب عدم احتوائها على أسطح إنقطاعات تساهم في عدم الاستقرار، فهي لا تتعرض للانزلاقات، وإن كل ما تعانيه هو الانسلاخ والتفتت الحبيبي بفعل عوامل التجوية المختلفة. فضلاً عن هذا فإن الوضع التركيبي للمنطقة جعل أغلب المنحدرات الصخرية المدروسة من النوع الموازي، حيث كانت مضارب الطبقات الصخرية موازية (في أغلب الحالات) لامتداد المنحدرات (Slope trends).

## ■ الصخرية

أدى الاختلاف في صخرية التكوينات المتكشفة في منطقة الدراسة، إلى تكون منحدرات متباينة الشدة (الانحدار) والارتفاع، فضلاً عن تباين أنواع حركات الانهيار السائدة على تلك المنحدرات. فالمنحدرات المتكونة على الصخور الصلدة، مثل الصخور الكلسية لتكوين شيرانش والحجر الرملي والدولومايت لتكوين جركس وكذلك المدملكات والدولومايت لتكوين بيلاسي يسود فيها الانزلاق الإسفيني والمستوي. في حين أن الصخور الضعيفة مثل صخور تكوين كولوش والصخور الغرينية والصلصالية لتكوين جركس يسود فيها الانسلاخ نتيجة التفتت الحبيبي. كذلك الصخور الرخوة والضعيفة لتكوين كولوش وجركس كونت منحدرات قليلة الميلان نسبياً، في حين أن المنحدرات الصلبة القوية لتكوين بيلاسي كونت منحدرات شديدة ومعلقة في أغلب الأحيان، مما يزيد من عدم إستقراريتها. إضافة إلى ذلك فإن أحجام الكتل الصخرية المتأثرة بحركات الانهيار من الصخور الرخوة صغيرة جداً وقلماً يزيد قطرها عن 5 سم، بينما في الصخور الصلدة فإن أحجام الكتل المنزلة منها تكون كبيرة وقد تصل أبعادها إلى (100x100x100) سم وكما هو الحال في صخور المدملكات والدولومايت لتكوين بيلاسي.

## ■ الوضع الجيومورفولوجي

ان الوضع الجيومورفولوجي وبمساهمة كل من الوضع التركيبي والتفاوت الصخري قد أدى إلى تكون وديان مخرية (وادي شقلاوة) وتلال وجبال مخرية متوازية (جبل كيرد سور وأقدام جبل سفين)، هذه التلال والجبال المخرية تكون منحدرات مطلة على تلك الوديان المخرية. ان قسم من هذه المنحدرات (وبسبب التفاوت الصخري) قد تكون منحدرات قليلة الميلان والارتفاع، مثل منحدرات تكويني شيرانش وكولوش، وقسم آخر تكون منحدرات شديدة ومعلقة في أغلب الأحيان، كما في منحدرات تكوين بيلاسي.

## ■ الاستنتاجات

- بعض المنحدرات حصل عليها انزلاق إسفيني ولكنها (من تحليل الاستقرار) تعد مستقرة تجاه الانزلاق، لأن زاوية الاحتكاك لأسطح الانقطاع أكبر من زاوية ميل هذه الأسطح ( $\Theta > \emptyset$ ). وهذا يعني أن هذه الكتل، أما إنها انزلقت بالانقلاب أو بالسقوط الصخري وهذا احتمال ضعيف جداً، أو أن هنالك عوامل أخرى أكثر أهمية من الانقطاعات (عوامل التجوية وخصوصاً مياه الأمطار والتلوج) هي التي تتحكم بحدوث حركات الانهيار وبمرور الزمن.
- ان المنحدرات الصخرية ضمن تكوين شيرانش هي من النوع الموازية (Dip slope)، مما يجعل مستويات التطبيق تلعب دوراً كبيراً في حركات الانهيار وبشكل انزلاق مستوي، لكونها تميل باتجاه المنحدر نفسه ولكن بزاوية ميل أقل منه فيجعلها (مستويات التطبيق) تبرز في وجه المنحدر وخصوصاً في الأجزاء العليا من المنحدرات (الأعلى من الجدار السائد).

- ان المنحدرات الصخرية لتكويني تانجيرو وكولوش وكذلك طبقات الطفل والصخور الغرينية لتكوين الجركس أغلبها متأثرة بالانسلال، بسبب تطبقها الرقيق جداً وتأثرها بفواصل متقاربة للغاية مع عدم وجود أسطح انقطاع مفضلة لحدوث حركات الانهيار، وبسبب مقاومتها الضعيفة للتجويف، فقد اصبحت منحدرات قليلة الميلان.
- ان الانزلاق الإسفيني هو الشائع في الصخور الرملية والدولوميتية لتكوين الجركس ويحدث نتيجة إزالة الإسناد السفلي للمنحدر، أما بفعل التعرية التفاضلية، كما في المحطتين رقم 6 و7 أو نتيجة حفريات فتح الطرق، كما في المحطة رقم 8.
- تمتاز المنحدرات الصخرية لتكوين بيلاسبي على الجانب الجنوبي الغربي لجبل كيرد سور بكونها معلقة بفعل التعرية التفاضلية المؤثرة بشدة في الصخور التي تحتها، واغلب حركات الانهيار فيها بشكل انزلاق إسفيني وقليل منها بشكل انزلاق مستوي وحالات أقل من السقوط الصخري والانقلاب.

## REFERENCES

- Al-Kadhimi, J.M.A., Sissakian, V.K., Sattar, A.F. and Deikran, D.B., 1996. Tectonic Map of Iraq, 2<sup>nd</sup> edit., scale 1: 1000 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Al-Rawi, Y., 1980. Petrology and sedimentology of Gercus Red Beds Fn., NE of Iraq. Iraqi Jour. Geo. Soc., Vol.21, p. 132 – 188.
- Anon, 1972. The Preparation of Maps and Plans in Terms of Engineering Geology. Q. Jour. Eng. Geo., Vol.5, No.4., p. 293 – 382.
- Bellen, R.C., van, Dunnington, H.V., Wetzel, R. and Morton, D., 1959. Lexique Stratigraphic International. Asia, Fasc.10a, Iraq, Paris, 333pp.
- Carson, M.A. and Kirkby, M.J., 1972. Hillside Form and Processes, Cambridge University Press, U.K.
- Jassim, S.Z. and Goff, J.C., 2006. Geology of Iraq. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, 341pp.
- Maerz, N.H., 2000. Highway Rock Cut Stability Assessment in Rock Masses Not Conducive to Stability Calculations. 51<sup>st</sup> Annual Highway Geology Symposium, Washington, p. 249 – 259.
- Markland, J.T., 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid Wedge Sliding type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research, Report no.19, 10pp.
- Piteau, D.R. and Jennings, J.E., 1970. The effect of Plain geometry on the stability of natural slopes in rock in the Kimberley area of South Africa. Proc. of Cong. of the International Society of Rock Mech. Belgrade, Vol.3.
- Singh, A., 2004. FRHI- a System to Evaluate and Mitigate Rockfall Hazard in Stable Rock Excavation. The Institute of Engineering (India) Jour. Division Civil Engineering, Vol.85.
- Sissakian, V.K. and Youkhana, R.Y., 1979. Report on regional geological mapping of Arbil – Shaqlawa – Quaisinjag – Raidar area. GEOSURV, int. rep. no. 975
- Youkhana, R.Y. and Sissakian, V.K., 1986. Stratigraphy of Shaqlawa – Quaisanjag Area. Jour. Geol. Soc. Iraq, Vol.19, No.3.