

تحديد آليات الانهيار المتوقعة لبعض المنحدرات الصخرية في مناجم خنيفيس السورية باستخدام الإسقاط الستيريو جرافي

معن هلال
استاذ مساعد
كنان زين العابدين
قسم الهندسة الجيوتكنيكية/
كلية الهندسة المدنية/جامعة البعث/حمص/سورية

الخلاصة:-

يستخدم الإسقاط الستيريو جرافي في مجال ميكانيك الصخور كوسيلة لتمثيل البيانات الجيولوجية المتعلقة بالانقطاعات في الصخور وتحليل توازن المنحدرات الصخرية، وعلى المهندسين الجيوتكنيكيين والجيولوجيين أن يكونوا متمكنين من استخدام هذا الأسلوب، حيث يبسط الإسقاط الستيريو جرافي الحلول البيانية للمسائل المتعلقة بالاتجاهات النسبية للخطوط والمستويات في الفراغ. يوضح هذا البحث مبادئ الإسقاط الستيريو جرافي ويعرض كيفية الاستفادة منها في تحليل توازن المنحدرات الصخرية، ويوظف ذلك في دراسة توازن بعض المنحدرات في أحد المناجم من نوع الحفر المفتوحة في سورية وهو منجم خنيفيس للفوسفات. وقد استخدم في هذا البحث برنامج (2015) OpenStereo 0.1.2 للإسقاط الستيريو جرافي، ووظفت تقنية Markland لتقدير إمكانية حدوث الانزلاق الموشوري والمستوي في المنحدرات الصخرية، مع اقتراح تطويرها لتشمل مناقشة إمكانية حصول الانهيار بالانقلاب لبعض الكتل الجزئية من الكتلة الصخرية المكونة للمنحدر. وقد تبين أن المنحدرات المدروسة آمنة ضد الانهيار الانزلاقي المستوي أو الموشوري من أجل زاوية الميل الحالية لوجه كل منحدر؛ وهي 70^0 للمنحدر الصخري من نوع أبوكا و 75^0 للمنحدر من نوع تريبوليت، مع بقاء احتمال حصول انزلاقات موضعية دائرية، أو سقوط بعض الكتل الصخرية الجزئية الصغيرة بالانقلاب.

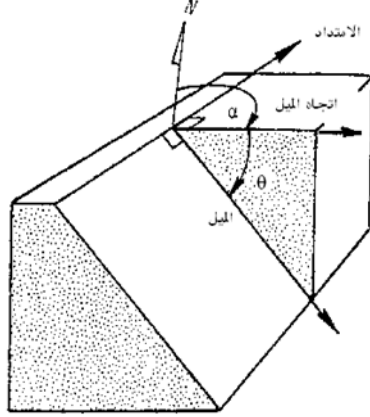
الكلمات المفتاحية: توازن المنحدرات الصخرية، الإسقاط الستيريو جرافي، تقنية ماركلاند، آليات الانهيار، الانزلاق والانقلاب، منجم خنيفيس

1- المقدمة :

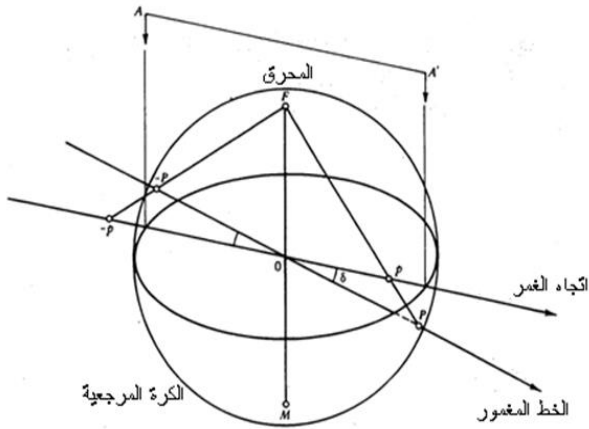
وتحتاج إلى تحليل أكثر تفصيلاً؛ أما المرحلة الثانية فتتضمن فحصاً دقيقاً للصور والخرائط الجيولوجية التفصيلية، وربما يتطلب الأمر إجراء حفر أو سبور خاصة واختبار الانقطاعات. إن من الجوانب المهمة في الاستقصاءات الجيولوجية التي تتضمنها المرحلتان المذكورتان أن يتم عرض البيانات بصيغة يمكن أن تفهم وتفسر من قبل الآخرين الذين قد يشاركون في تحليل التوازن أو في تدقيق نتائج التحليل؛ فكل شخص مشارك في العمل والتحليل يجب أن يفهم نظام عرض البيانات وكذلك أن يكون على معرفة بالمصطلحات المستخدمة.

إن الاهتمام بمعرفة الكمية اللازمة والكافية من البيانات والمعلومات الجيولوجية والتفاصيل الواجب جمعها هو من الأمور الأساسية في تحليل توازن المنحدرات الصخرية، وتجمع هذه المعلومات على مرحلتين [3]؛ حيث تتضمن المرحلة الأولى فحص الخرائط الجيولوجية والصور الجوية والمعلومات المأخوذة من التجارب أو المشاهدات عند حفر السبور، وإن التحليل التمهيدي لهذه المعلومات والبيانات يؤدي إلى تحديد المنحدرات التي يمكن إثبات أنها خطيرة

يوضح الشكل (2) كيفية الإسقاط الستيريوغرافي لخط مستقيم، يمر من مركز كرة مرجعية عند النقطة (O) ويخترق سطحها عند (P) في نصف الكرة السفلي، وبوصل P مع المحرق F - أعلى نقطة في الكرة - وتعيين تقاطع PF مع الدائرة الأفقية تكون النقطة p هي المسقط الستيريوغرافي للمستقيم OP.



الشكل (1): مصطلحات البيانات الجيولوجية لوصف المستويات



الشكل (2): مبدأ الإسقاط الستيريوغرافي لخط مغمر [2]

5- الإسقاط الستيريوغرافي لمستوي:

2- منهج البحث:

تم في هذا البحث تحديد خواص الصخور المكونة للمنحدرات المدروسة من خلال التجارب المخبرية، واعتمد المنهج التحليلي في تحليل توازن هذه المنحدرات.

وقد تم اعتماد مبادئ الإسقاط الستيريوغرافي في تحليل توازن المنحدرات الصخرية، وتوظيف ذلك في دراسة توازن بعض المنحدرات في أحد المناجم من نوع الحفر المفتوحة في سورية وهو منجم خنيفيس للفوسفات في بادية حمص.

3- مصطلحات وتعريف [3]:

الميل Dip: هو الميل الأعظم لمستوي الانقطاع البنيوي - أو لأي مستوي مدروس - عن الأفق، ويساوي الزاوية θ في الشكل (1).

اتجاه الميل أو سمت الميل Dip Direction or Dip Azimuth: هو اتجاه المسقط الأفقي لخط الميل، مقاساً بالدوران مع عقارب الساعة اعتباراً من الشمال، وهو مشار إليه بالزاوية α في الشكل (1).

الاتحاد Strike: هو المستقيم الناتج عن تقاطع مستوي مائل مع المستوي الأفقي المرجعي، وهو يصنع زاوية قائمة مع كل من خط الميل واتجاه الميل للمستوي المائل. وميزة هذا المستقيم أنه الأثر المرئي للانقطاع - أو المستوي المائل المدروس - على سطح أفقي لكتلة صخرية.

غمر المستقيم Plunge: هو زاوية الميل الشاقولية لمستقيم عن الأفق، أي الزاوية بين المستقيم ومسقطه الأفقي، ويقصد بالغمر: الميل نحو الأسفل.

اتجاه غمر المستقيم Trend: هو اتجاه المسقط الأفقي لمستقيم مقاساً مع عقارب الساعة من الشمال، وهو يماثل اتجاه ميل المستوي.

4- المسقط الستيريوغرافي لخط مستقيم:

العظمى تشابه خطوط الطول على خريطة الأرض [2]، والشكل (b-4) يبين شبكة مماثلة ولكن بتزايد بمقدار خمس درجات بين كل خطين، قمنا بتوليدها باستخدام برنامج OpenStereo للإسقاط الستيريوغرافي، ويدعى هذا النوع من الشبكات في هذا البرنامج باسم شبكة Wulff، ويمكن في هذا البرنامج اختيار التباعد المطلوب بين خطوط الشبكة.

أيضاً يوجد في شبكة الستيريو مجموعة من الدوائر الصغرى، كل واحدة تمثل المحل الهندسي لمساقط الخطوط التي تصنع زاوية ثابتة مع خط تقاطع الدوائر العظمى؛ وهذه الدوائر الصغرى - التي تشابه خطوط العرض على خريطة الكرة الأرضية- تدرّج الدوائر العظمى، أي أن الزاوية في أية دائرة عظمى تقاس عن طريق عد الدوائر الصغرى.

تعتمد طريقة استخدام شبكة الستيريو لتمثيل البيانات على وضع ورقة رسم شفافة على الشبكة وتدويرها حول مسمار موضوع في مركز شبكة الستيريو.

6- طريقة إيجاد مسقط خط مستقيم باستخدام شبكة الستيريو:

ليكن الخط (L1) مائلاً بزاوية شاقولية (40°) تحت الأفق باتجاه ($N30^\circ E$)، ولرسم المسقط الستيريوغرافي لهذا الخط بالنسبة لنصف الكرة السفلي

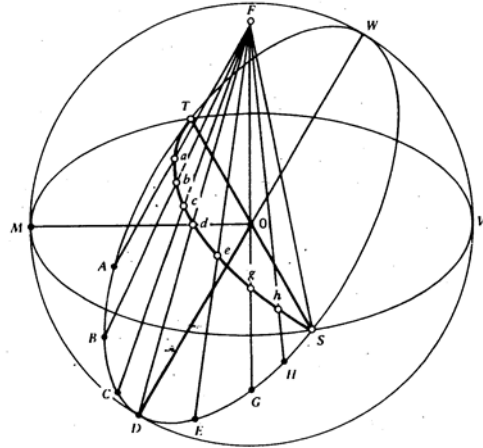
تم وضع ورقة رسم شفافة على شبكة ستيريو في الشكل (a-5)، وتحديد الشمال، بعد ذلك تم إسقاط الخط الأفقي ذي الاتجاه ($N30^\circ E$) بتعليم نقطة (30°) شرق الشمال على الدائرة الأفقية.

وفي الشكل (b-5) تم تدوير ورقة الرسم لكي تنطبق النقطة المرسومة سابقاً على القطر الأفقي لشبكة الستيريو؛ الخط المستقيم الذي يشير إلى القطر المختار هو العضو الأول من عائلة الدوائر الصغرى والذي يمكن أن يكون أيضاً دائرة

يعتمد الإسقاط الستيريوغرافي لمستوى على إيجاد المحل الهندسي الذي يجمع المساقط الستيريوغرافية لجميع الخطوط التي تمر من مركز الكرة المرجعية ويحتويها هذا المستوي. إن مسقط أي دائرة على الكرة المرجعية هو دائرة أيضاً في مستوي الإسقاط.

بما أن أي مستوى نريد إسقاطه يجب أن يحتوي على مركز الكرة المرجعية فإنه يجب أن يقطع سطح الكرة على طول دائرة عظمى.

وبالاعتماد على ما سبق فإن المسقط الستيريوغرافي لمستوى هو دائرة حقيقية، وهذه الدائرة هي الدائرة المارة بالمساقط الستيريوغرافية لكل من خط الميل وخط الامتداد للمستوي المدروس -المتعامد مع خط الميل- كما في الشكل (3).



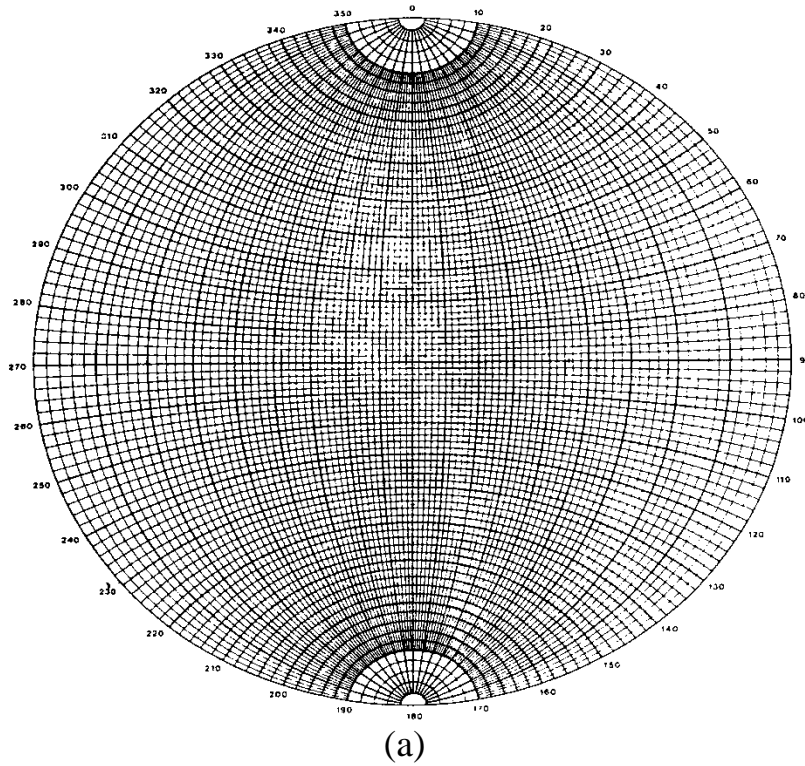
الشكل (3): مبدأ الإسقاط الستيريوغرافي لمستوى [2]

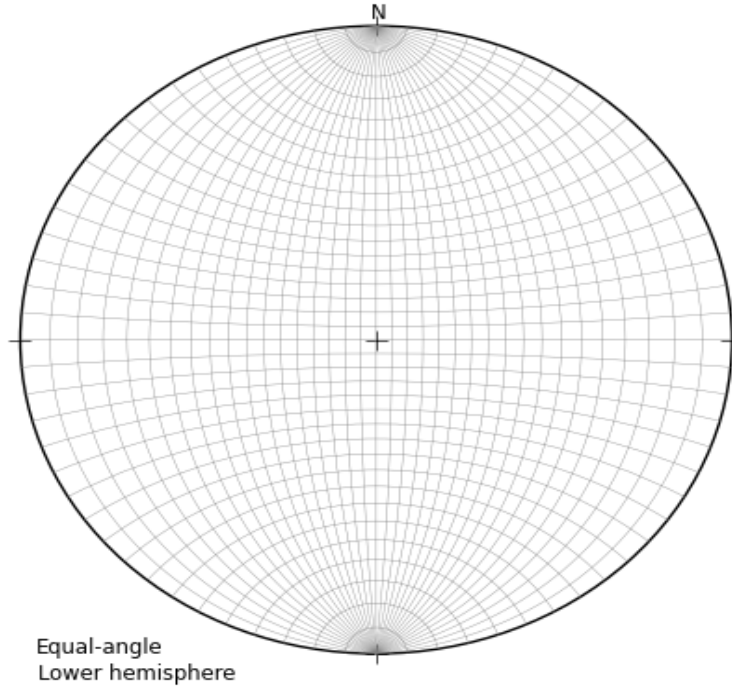
لكن الطريقة الأكثر ملاءمة لإسقاط المستوي هي أن يتم رسمه بالاستعانة بعائلة الدوائر العظمى المعطاة في شبكة الستيريو (Stereo Net) والتي هي المسقط الستيريوغرافي لمجموعة من المستويات المرجعية والخطوط ضمن نصف كرة واحد.

يوضح الشكل (a-4) شبكة ستيريو استوائية تمثل سلسلة من دوائر عظمى لمستويات لها تقاطع مشترك وميل متزايد بمقدار درجتين؛ هذه الدوائر

ورقة الرسم لوضع علامة الشمال على الطرف العلوي للقطر الشاقولي [2].
وقد قمنا بإيجاد مسقط الخط المطلوب باستخدام البرنامج: OpenStereo، ويبين الشكل (6) مراحل الحل مع النتيجة في نهاية هذه العملية - الشكل (6-c)-، مع الإشارة إلى أن التباعدات بين الخطوط في هذا الشكل هي 10^0 .

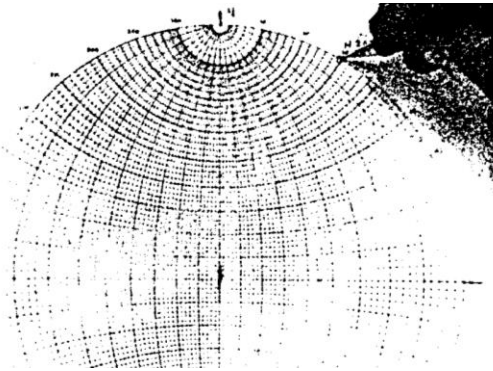
عظمى، وبما أنه خط مستقيم فهو يجب أن يكون مسقط مستوي شاقولي؛ والعائلة (2°) للدوائر العظمى تدرج المستوي الشاقولي الممثل بواسطة هذا القطر؛ وهكذا فيمكن أن نحصل على الزاوية الشاقولية 40° عن طريق عد (20) تقاطع دائرة عظمى اعتباراً من محيط الدائرة الأفقية، وبالتالي فإن النقطة التي نحصل عليها هي المسقط الستيريوغرافي المطلوب؛ وبعد ذلك يعاد تدوير



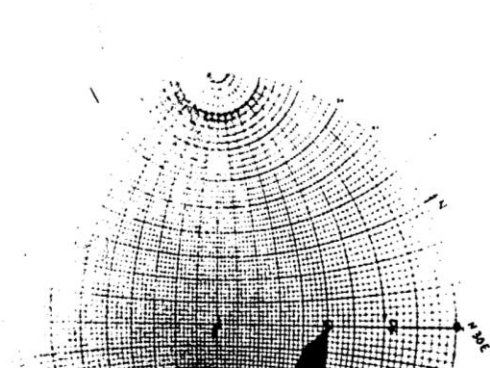


(b)

الشكل (4) : شبكة ستيريو استوائية متساوية الزوايا

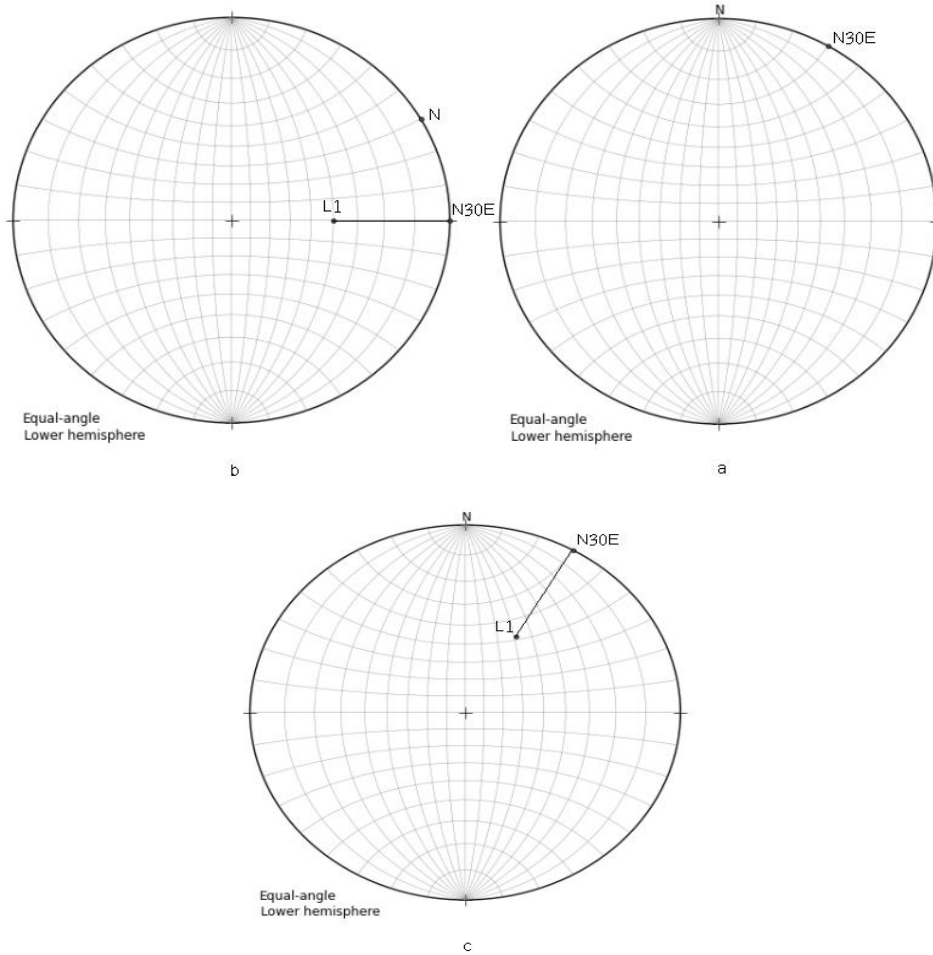


(a)



(b)

الشكل (5-a,b) : مراحل رسم مسقط ستيريو جرافي لخط مستقيم باستخدام شبكة الستيريو [2]



الشكل (6) : إيجاد مسقط خط مستقيم باستخدام برنامج OpenStereo

الشكل (7-b)، وخط الميل هو مستقيم ميله (20°) لاتجاه $(N40^\circ W)$ ، لذلك نعد (20°) اعتباراً من طرف القطر الأفقي، ثم نرسم الدائرة العظمى المشتركة لخطي الامتداد والميل [2]. وفي الشكل (7-c) أضفنا المسقط الستيريوغرافي للمستوي (P2) الذي اتجاه امتداده $(N60^\circ W)$ وميله (45°) للاتجاه $(S30^\circ W)$ ، ولإيجاد مستقيم تقاطع المستويين (P1) و (P2) نعين نقطة تقاطع الدائرتين العظميين ثم ندورها حتى تقع على القطر الأفقي ونحدد زاوية غمر هذا المستقيم (I12) واتجاه غمره، حيث نجد أن خط

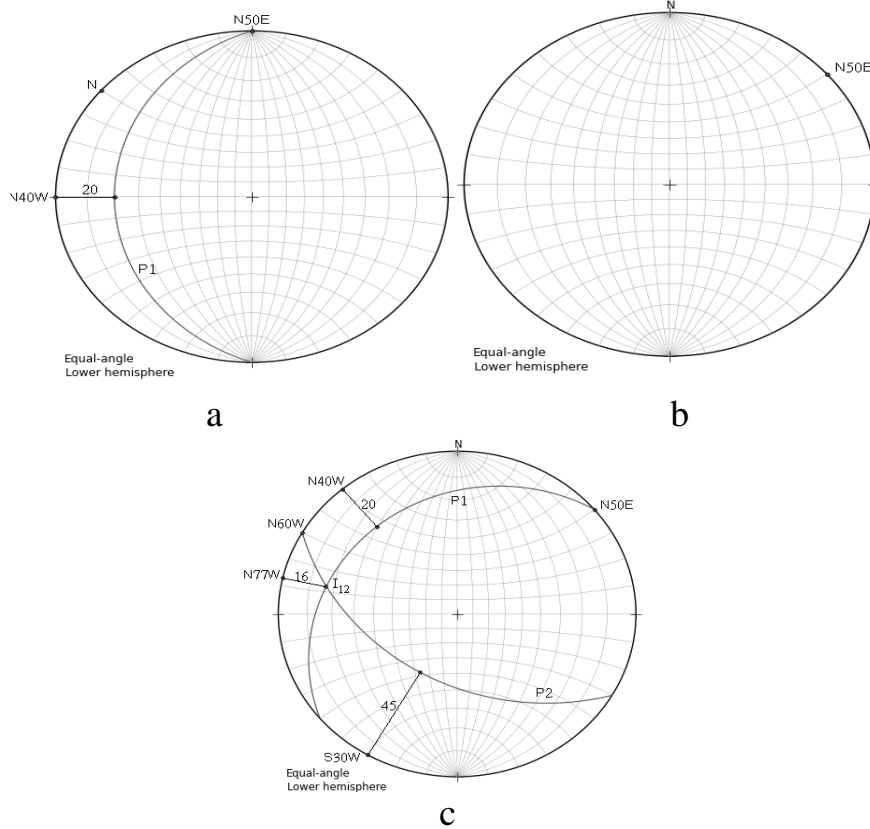
7- إسقاط مستوي معلوم امتداده وميله باستخدام شبكة الستيريويو، وإيجاد تقاطع مستويين:
لرسم المسقط الستيريوغرافي للمستوي (P1) الذي اتجاه امتداده $(N50^\circ E)$ وميله (20°) نحو $(N40^\circ W)$ ؛ نعين النقطة الممثلة لخط الامتداد $(N50^\circ E)$ على الدائرة الأفقية كما في الشكل (7-a)، ثم ندور ورقة الرسم حتى نضع النقطة المذكورة على محور الدوائر العظمى-القطر الشاقولي- ونرسم مسقط خط الميل على القطر الأفقي-العمودي على خط الامتداد- كما في

وهو يعرف المستوي [3]، وبالتالي يمكن أن يتم تمثيل هذا المستوي بواسطة نقطة واحدة بدلاً من رسم الدائرة العظمى، وهذه النقطة تسمى القطب Pole وهي نقطة اختراق الناظم للنصف السفلي للكرة المرجعية، كما في الشكل (8).

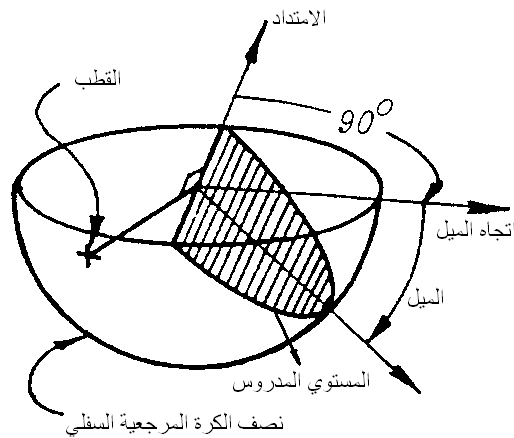
التقاطع يميل بمقدار (16°) للاتجاه $(N77^\circ W)$

8- ناظم و قطب المستوي:

ناظم المستوي هو المستقيم الذي يمر من مركز الكرة المرجعية عمودياً على المستوي المدروس،



الشكل (7) : إسقاط مستوي معلوم امتداده وميله، وإيجاد تقاطع مستويين



الشكل (8) : قطب المستوي [3]

الفحمية التي يمكن أن تكون ذات فواصل طبقات أفقية وصدوع شاقولية؛ وكذلك في كتل الصخور الصلبة التي تظهر فيها اتجاهات الصدوع بشكل عشوائي يمكن أن يحصل الانهيار بشكل دائري شبيه بالانهيار الذي يحصل في التربة [3].

من هذه المناقشة المختصرة يبدو واضحاً أن عملية جمع وتمثيل بيانات البنية الجيولوجية من أجل تحليل توازن المنحدرات لا يمكن أن تتم معالجتها كتمرين إحصائي تقليدي، وهناك الكثير من العوامل - بالإضافة إلى كثافات تركيزات الأقطاب - يجب أن تؤخذ بالحسبان في توقع آلية الانهيار Failure mechanism الأكثر احتمالاً في أي منحدر مدروس.

إن إدراك قوانين هذه العوامل الأخرى - التي تتضمن مقاومة كتلة الصخر وحالة المياه الجوفية في المنحدر - يساعد في تقرير كمية البيانات الجيولوجية البنيوية المطلوبة لاتخاذ قرار واقعي بنوع آلية الانهيار للمنحدر.

11- تقدير مشاكل المنحدرات المحتملة:

إن الأنواع المختلفة من انهيارات المنحدرات مرتبطة بالتراكيب الجيولوجية المختلفة، ومن المهم أن يكون مصمم المنحدر قادراً على إدراك وتمييز مشاكل التوازن المحتملة أثناء المراحل المبكرة للمشروع، وفيما يلي بعض النماذج البنيوية التي يجب أن تلاحظ عند فحص مخطط توزيع الأقطاب، حيث يبين الشكل (9) أربعة أنواع أساسية للانهيار (a) الانزلاق الدائري، b- الانزلاق المستوي، c- الانزلاق الموشوري، d- الانهيار بالانقلاب)، ويوضح كيفية ظهور مخططات الأقطاب النموذجية الممثلة للظروف الجيولوجية التي يمكن أن تؤدي إلى هذه الانهيارات.

9- مخططات توزيع الأقطاب:

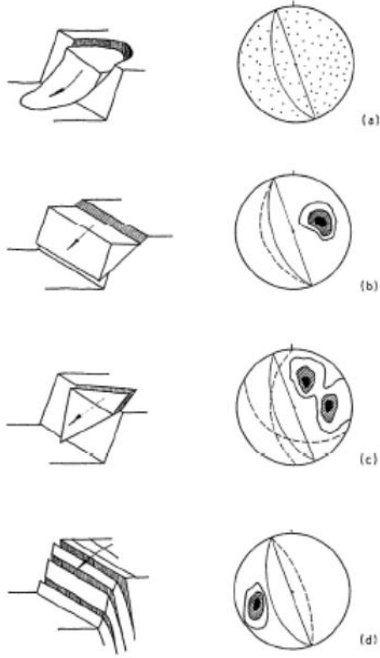
يتم تسجيل بيانات سطوح الانقطاع ضمن مساحة كبيرة من الصخر المكتشف، وهذه القياسات تشكل أساس تحليل التوازن لكل المنحدرات في الحفرية المطلوبة، وتمثل مستويات الانقطاع بأقطابها، ومن أجل معرفة ما إذا كان لهذه الأقطاب تركيزات هامة يتم إعداد خطوط تسوية (كونتور) لكثافات هذه الأقطاب، حيث يشير كل خط إلى المواضع التي يكون فيها عدد الأقطاب متساوياً، وإن عملية رسم مخطط توزيع الأقطاب وإنشاء خطوط التسوية يدوياً لمجموعات قليلة من البيانات الجيولوجية البنيوية قد تكون عملية ممتعة وتعليمية ومنصوح بها بقوة، ولكن المهمة تصبح صعبة ومملة ومستهلكة للكثير من الجهد والوقت عند الحاجة لمعالجة كميات كبيرة من البيانات، ولذلك فإن الكمبيوتر هو أداة مثالية لمعالجة تلك البيانات عندئذ، وهناك العديد من البرامج المتاحة لتنفيذ ذلك، ومنها البرنامج الذي استخدمناه في هذا البحث وهو [5] OpenStereo

10- استخدام مخططات توزيع الأقطاب في تحليل توازن المنحدرات الصخرية:

تجمع البيانات الجيولوجية البنيوية لتحديد الخواص الهندسية لكتلة صخرية، وإن الهدف من تعريف الخواص الهندسية لكتلة صخرية هو تأمين الأساس اللازم لاختيار شكل الانهيار الأنسب، وهذا الاختيار هو واحد من أهم القرارات في المعالجة الكاملة والسليمة لتحليل توازن منحدر، لأن الاختيار غير الصحيح لشكل الانهيار المتوقع غالباً ما يبطل صلاحية التحليل.

تنهار كتلة الصخر الصلبة عادة انهياراً انزلاقياً على مستوى واحد أو على مستويين أو بالانقلاب عندما يكون في هذه الكتلة مجموعتان أو ثلاث من الانقطاعات المتطورة بشكل كبير تظهر على شكل تركيزات كثيفة للأقطاب في مخطط توزيع الأقطاب، وفي كتل الصخر الطرية مثل الترسبات

أكبر من زاوية احتكاك سطوح الانقطاع في الصخر.



الشكل (9): الأنواع الأربعة لانهيار المنحدرات الصخرية [3]

12- موقع ومواصفات المنحدرات المدروسة:

تمت دراسة منحدرات صخرية تقع في منجم فوسفات خنيفس في وسط البادية السورية، وهو منجم من نوع الحفر المفتوحة فيه منحدرات صخرية يمكن أن تصل ارتفاعاتها إلى 50 m، ويظهر في الشكل (10) إحدى الحفر في هذا المنجم.

إن الموقع المدروس يحوي العديد من أنواع الصخور الرسوبية، قمنا بأخذ عينات منها وإجراء التجارب اللازمة عليها في مخبر ميكانيك التربة والصخور في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث عام 2014، وللاختصار سنكتفي هنا بذكر مثالين عن هذه الصخور وهما النوعان اللذان سيدخلان في تكوين المنحدرات المختارة للعرض في هذا

لا بد من أن يكون وجه المنحدر من جهة الحفرية ممثلاً في مخطط الستيريو Stereo Plot عند مناقشة التوازن، لأن الانزلاق يمكن أن يحدث فقط كنتيجة للحركة الانتقالية باتجاه الوجه الحر الذي سببته الحفرية.

في دراسة حقل نموذجي تم توضيح بياناته الجيولوجية البنيوية على شبكة ستيريو يمكن أن يكون هناك عدد كبير من تركيزات الأقطاب، ومن المفيد أن تكون لدينا القدرة على تحديد التركيزات التي تمثل مستويات انهيار محتملة، وتجاهل واستبعاد التركيزات التي تمثل تراكم جيولوجية من غير المحتمل أن تتطور إلى انهيار منحدرات. قدم العديد من العلماء طرقاً لتحديد تركيزات الأقطاب الهامة، لكن الباحثين يفضلون طريقة طورها [4 Markland].

تم تصميم اختبار Markland لفحص إمكانية حدوث الانهيار الموشوري الذي يحدث فيه الانزلاق على طول خط التقاطع بين انقطاعين مستويين، (الشكل 9-c).

ويشمل هذا الاختبار أيضاً تحليل الانهيار المستوي (الشكل 9-b) لأنه حالة خاصة من الانهيار الموشوري.

في حالة التلامس والاحتكاك بين الكتلة المنفصلة وكلا المستويين فإن الانزلاق يمكن أن يحدث فقط على طول خط التقاطع بينهما، ومن هنا فإن هذا الخط يجب أن يتكشف Daylight في وجه المنحدر من جهة الحفرية.

تحدث الحالة الحدية عندما يتحول الموشور إلى مستوي - هذا يعني أن ميلي مستويي الانقطاع متساويان وأن اتجاهي ميل هذين المستويين متساويان - وعندما تكون مقاومة القص لهذا المستوي تابعة للاحتكاك فقط.

وإن الانزلاق تحت هذه الظروف يحصل عندما يكون ميل المستوي أكبر من زاوية الاحتكاك، ومن هنا يمكن الحصول على تقدير تقريبي أولي بأن الموشور غير متوازن إذا كان غمر خط التقاطع

يتحقق بالضرورة ولكن أخذه بعين الاعتبار هو في صالح الأمان

الجدول (1) : الخواص الفيزيائية للصخر الأول المدروس (التريبوليت)

القيمة	الخاصة الفيزيائية
2.267	الوزن النوعي
0.405	المسامية
0.679	نسبة الفراغ
13.5	الوزن الحجمي الجاف (kN/m ³)
17.55	الوزن الحجمي المشبع (kN/m ³)

لتحديد الخواص الميكانيكية للصخر تم استخدام جهاز هوك لاختبار مقاومة قص العينات الصخرية، ويبين الشكل (11) صورة لجهاز هوك المذكور، وهو يتألف من فكين علوي وسفلي توضع العينة بينهما بعد صب ملاط إسمنتي حولها لتثبيتها في علبة القص، ويطبق عليها حمل ناظمي بواسطة مكبس هيدروليكي، ثم تطبق قوى القص على العينة بواسطة مكبس هيدروليكي آخر، وتسجل عدة قراءات لقوة القص والانتقال الأفقي للفك العلوي المقابل لكل قوة قص مطبقة، ويرسم منحني الإجهاد المماسي مقابل الانزياح ويحدد إجهاد القص الأعظمي، وبتكرار التجربة عدداً من المرات مع تغيير الإجهاد الناظمي في كل مرة نحصل على عدد من النقاط على مخطط الإجهاد الناظمي مقابل الإجهاد المماسي، ونحصل على مغلف مور-كولومب Mohr-Coulomb envelope

لقد تم إجراء هذه التجربة على ثلاث عينات من الصخر المدروس، مع تطبيق أربع إجهادات ناظرية مختلفة على كل عينة، ويعرض الشكل (12) نتائج إجراء التجربة على العينة الأولى، ومن مستقيم مور-كولومب تم الحصول على قيمتي التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي لهذه العينة الصخرية، ويبين الجدول (2) نتائج إجراء التجربة على العينات الثلاث.

الجدول (2) : نتائج تجربة القص على العينات الثلاث للصخر الأول (التريبوليت)

البحث، الصخر الأول يسمى تريبوليت Opoka والثاني أبوكا Opoka



الشكل (10) : إحدى الحفر المفتوحة في مناجم خنيفيس للفوسفات (2014)

13- نتائج المعاينة الحقلية والتجارب

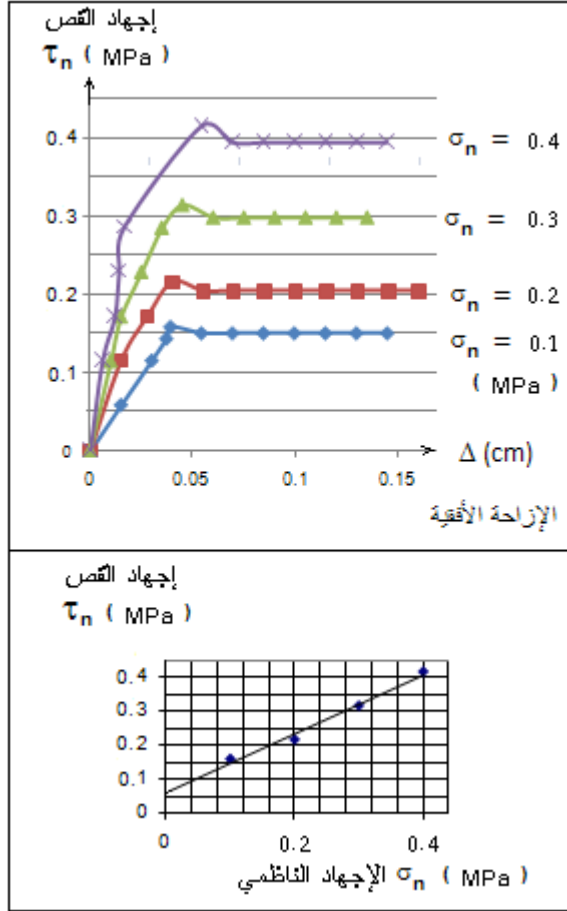
المخبرية:

1-13 مواصفات صخر التريبوليت:

التريبوليت هو صخر رسوبي سيليسي يتألف بمعظمه من السيليكات SiO_2 (حبات سيليسية كروية الشكل أبعادها 0.01-0.02 mm)، فلزاته هي الأوبال وأحياناً الكالسيدوان، كما يحوي أحياناً بعض فلزات الغضار والكوارتز والصفاح، وهو صخر مفكك ضعيف التماسك ذو ملاط خفيف، خفي إلى مجهري التبلور، دقيق المكونات خفيف الوزن، مساميته كبيرة، وفيه القليل من البقايا العضوية، ولونه أبيض أو رمادي حسب التركيب الكيميائي للملاط، فيكون لونه غامقاً كلما زادت نسبة أكاسيد المنغنيز فيه؛ وقد بينت التجارب المخبرية أن الصخر المدروس يمتلك الخواص الفيزيائية المبينة في الجدول (1)

مع أن الصخر يكون قريباً من الحالة الجافة في معظم أيام السنة إلا أنه يتعرض للإشباع أحياناً عند هطول الأمطار، ولذلك اعتمدت الحالة الأخطر في التحليل وهي حالة الإشباع، مع أن الإشباع قد لا

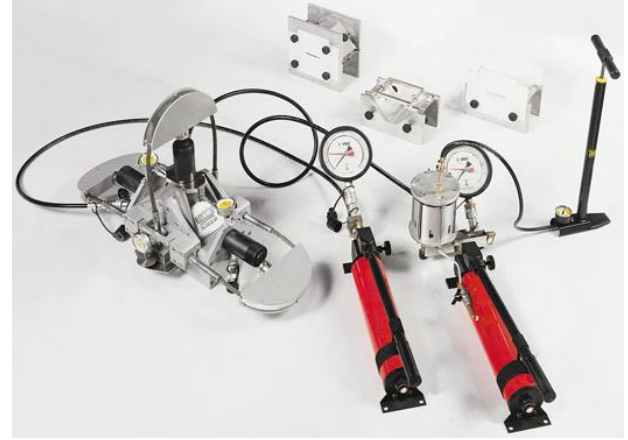
رقم العينة الصخرية	1	2	3	القيمة الوسطية
زاوية الاحتكاك الداخلي (Degrees)	41	38	40	39.7
التماسك (MPa)	0.059	0.042	0.036	0.046



الشكل (12) : نتائج تجربة القص على العينة الأولى

2-13 مواصفات صخر الأبوكا:

صخر رسوبي ذو بنية مسامية مجهرية مؤلف من سيليس غير مبلور (فلز الأوبال) مع شوائب عضارية وهياكل عضويات (مشطورات دياتوميت ورايولاريت وأشواك إسفنجيات سيليسية) مع حبات كوارتز وصفاح وغلوكونيت، وتصل نسبة SiO_2 فيه إلى 92-98%، وقد بينت التجارب المخبرية أن الصخر المدروس (الأبوكا) يمتلك الخواص المبينة في الجدول (3).



الشكل (11) : جهاز هوك لاختبار مقاومة قص العينات الصخرية

الجدول (3) : الخواص الفيزيائية للصخر الثاني
المدرّوس (الأبوكا)

القيمة	الخاصة الفيزيائية
2.375	الوزن النوعي
0.335	المسامية
0.503	نسبة الفراغ
5.8	الوزن الحجمي الجاف (kN/m ³)
19.15	الوزن الحجمي المشبع (kN/m ³)
27	زاوية الاحتكاك الداخلي (Degrees)
0.47	التماسك (MPa)

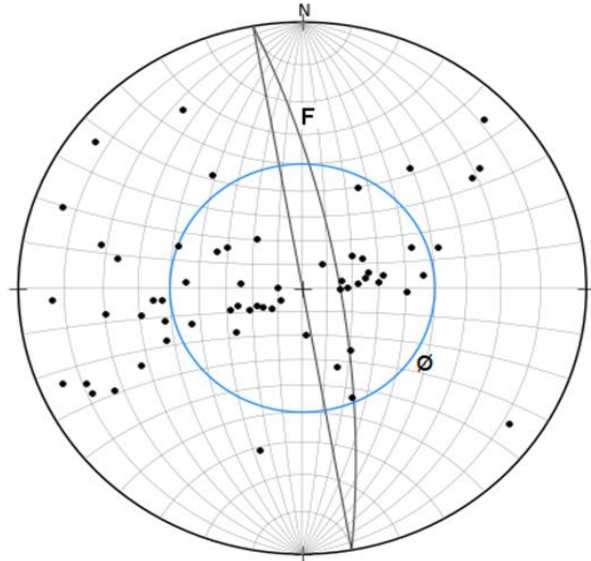
الشكل (13) : منحدر من صخر التريبوليت فيه صدوع كثيرة متقاربة ومتوازية باتجاهات متعددة (2014)

وقد قمنا برسم مخطط الستيريو الاستوائي المتساوي الزوايا المبين في الشكل (14) باستخدام برنامج OpenStereo ، وتظهر فيه الدائرة العظمى F الممثلة لوجه المنحدر المدرّوس من جهة حفرة المنجم، والدائرة ϕ التي تسمى دائرة الاحتكاك ونصف قطرها بالدرجات يساوي: $90^\circ - \phi = 50^\circ$ ، كما تظهر النقاط الممثلة لأقطاب مستويات الانقطاع في الكتلة الصخرية المشكلة للمنحدر، وقد تم الاكتفاء بتمثيل 60 قطباً تعطي فكرة عن توزيع الانقطاعات في المنحدر المدرّوس.

ونلاحظ من هذا الشكل أن الأقطاب موزعة بشكل عشوائي ولا يوجد تركيز واضح للأقطاب في موضع محدد على المخطط، وهذا يشير إلى أن ميكانيزم الانهيار المحتمل لهذا المنحدر هو الانزلاق الدائري، أما الانزلاق المستوي أو الموشوري فهو غير ممكن لعدم توفر الشروط المناسبة لذلك، وستوضح هذه الشروط عند مناقشة المنحدر الثاني في هذا البحث، ولم تذكر هنا اختصاراً.

3-13 مناقشة توازن المنحدر الأول:
يميل وجه المنحدر بزاوية 75° (عن الأفق) باتجاه ميل 80° (عن الشمال مع عقارب الساعة). ويتكون هذا المنحدر من صخر التريبوليت، وهو صخر طري نسبياً وفيه الكثير من مستويات التطبق والصدوع المتقاربة والمتوازية بثلاثة اتجاهات كما يظهر في الشكل (13)، ولذلك يمكن أن يحصل الانهيار وفق سطح انزلاق دائري تقريباً شبيه بحالة المنحدرات الترابية، وبالإضافة لذلك يمكن أن تحصل أشكال الانهيار الأخرى، فنظراً لوجود ثلاثة مجموعات من الانقطاعات المتطورة بشكل كبير – تظهر على شكل تركيزات كثيفة للأقطاب في مخطط توزيع الأقطاب- فإن كتل هذا الصخر يمكن أن تنهار انزلاقياً على مستوى واحد أو على مستويين أو بالانقلاب، عند توفر الشروط اللازمة لحدوث أية حالة من الحالات المذكورة .

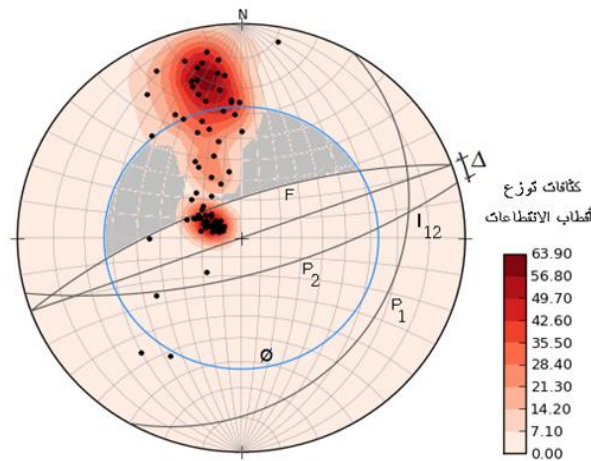
للمنحدر، وقد تم تمثيل 85 قطباً تعطي فكرة عن توزع الانقطاعات في المنحدر المدروس، حيث نلاحظ تركيز الأقطاب بوضوح في منطقتين، وباعتبار مركز كل منطقة هو قطب لمستوي يمثل مجموعة انقطاعات تم تمثيل الدائرتين العظيمتين للمستويين P_1 و P_2 الممثلين لمجموعتي الانقطاعات السائدتين في الكتلة الصخرية المدروسة، وتم تحديد خط التقاطع بينهما I_{12} .



الشكل (14) : مخطط الستيريو الاستوائي المتساوي الزوايا للمنحدر الأول



الشكل (15) : منحدر من صخر الأبوكا فيه صدوع قليلة نسبياً ومتباعدة وغير متوازية (2014)



4-13 مناقشة توازن المنحدر الثاني:
يميل وجه المنحدر بزاوية 70^0 (عن الأفق)، واتجاه ميله 340^0 (عن الشمال مع عقارب الساعة). ويتكون هذا المنحدر من صخر الأبوكا، وهو صخر قاسٍ نسبياً تظهر فيه صدوع باتجاهات متعددة بشكل عشوائي، وهذه الصدوع قليلة نسبياً ومتباعدة وغير متوازية كما يظهر في الشكل (15)، ولذلك يتوقع أن يحصل فيه انهيار شبه دائري شبيه بالانهيار الذي يحصل في التربة، وقد يحصل الانزلاق المستوي أو الموشوري عند توفر الشروط اللازمة، ويمكن أن يحصل الانهيار بالانقلاب إذا كانت هناك مشاهدات حقلية أو مؤشرات تدل على ذلك.

وقد تم في الشكل (16) رسم مخطط الستيريو الاستوائي المتساوي الزوايا الذي تظهر فيه الدائرة العظمى F الممثلة لوجه المنحدر المدروس من جهة حفرة المنجم، والدائرة \emptyset التي نصف قطرها بالدرجات يساوي: $\emptyset = 63^090$ ، بالإضافة إلى خطوط التسوية الموضحة لكثافات توزع أقطاب مستويات الانقطاع في الكتلة الصخرية المشكلة

معن هلال

كنان زين العابدين

2 مجلد 23 عام 2016

لإلغاء إمكانية انفصال الكتل الصخرية الجزئية وانهيارها بالانقلاب.

وقد تم اختيار الرقم $20^0 \pm$ لكي يكون متوافقاً مع شرط ذكره [1] Froldi وغيره لحدوث الانزلاق المستوي، وهو أن يكون اتجاه ميل مستوي الانقطاع مماثلاً لاتجاه ميل وجه المنحدر مع فارق بسيط لا يتجاوز $20^0 \pm$.

إن وقوع الدائرة P2 بجهة معاكسة لجهة ميل وجه المنحدر F مع كون اتجاه امتداد P2 يختلف عن اتجاه امتداد F بقيمة صغيرة $5^0 = 70 - 75 = \Delta$ يشير إلى إمكانية حصول انهيار بالانقلاب إذا دلت المؤشرات والمشاهدات الحقلية على ذلك، ولم يلاحظ تشكل أعمدة أو كتل صخرية قابلة للانقلاب في الموقع، لأن حدوث حالة سقوط الكتل الصخرية بالانقلاب يتطلب وجود انقطاعات أخرى تفصل هذه الكتل الصخرية عن الكتلة الأم، كما يتطلب إزالة بعض الكتل السفلية الساندة للكتل القابلة للانقلاب.

14- الملاحظات والاستنتاجات النهائية:

-إن المخطط الذي يوضح خطوط التسوية لكثافات توزع الأقطاب هو أداة ضرورية لكنها ليست كافية في دراسات توازن المنحدرات، بل لا بد من الملاحظات الحقلية الذكية المعتمدة على فهم الحقائق العلمية المختلفة.

-يدرس اختبار ماركلاند لتحديد الانقطاعات الخطرة ونوع الانهيار في الكتلة الصخرية حالة الانزلاق الموشوري فقط (والانزلاق المستوي كحالة خاصة من الانزلاق الموشوري)، وهو يعتبر أن انهيار الموشوري ممكن إذا وقعت النقطة الممثلة لخط التقاطع بين وجهي الموشور داخل المنطقة المحصورة بين الدائرة الممثلة لوجه المنحدر ودائرة الاحتكاك.

-لا بد من الإشارة إلى أن هذا الاختبار مصمم لتحديد الانقطاعات الخطرة، وبعد أن يتم تحديدها يجب إجراء تحليل تفصيلي لتحديد عامل أمان المنحدر.

الشكل (16) : مخطط الستيريو الاستوائي المتساوي الزوايا للمنحدر الثاني

حتى يحصل الانزلاق الموشوري (والانزلاق المستوي حالة خاصة منه) يجب أن تكون زاوية ميل خط التقاطع I_{12} .

بين المستويين المشكلين لموشور الانهيار أكبر من زاوية الاحتكاك ϕ ، وكذلك يجب أن يتكشف خط التقاطع داخل وجه المنحدر من جهة الحفرية، وأن يكون ميله أصغر من ميل وجه المنحدر؛ ويتحقق الشرطان المذكوران إذا وقعت النقطة الممثلة لخط التقاطع داخل دائرة الاحتكاك وخارج الدائرة العظمى F الممثلة لوجه المنحدر، أي ضمن المنطقة المظلمة في الشكل (16)

إن وقوع كل من الدائرتين P_1 و P_2 بجهة معاكسة لجهة وجه المنحدر F يشير إلى عدم إمكانية حدوث الانزلاق المستوي على هذين المستويين، وإن وقوع النقطة الممثلة لخط الانقطاع بينهما I_{12} خارج المنطقة المظلمة في المخطط يعني عدم إمكانية حصول انهيار موشوري.

مع أن اختبار ماركلاند يدرس الانزلاق الموشوري فقط (والانزلاق المستوي كحالة خاصة من الانزلاق الموشوري) إلا أننا نقترح تطوير اختبار ماركلاند ليشمل مناقشة حالة الانهيار بالانقلاب، حيث نقترح أن يعتبر انهيار بالانقلاب ممكناً إذا كان الفرق بين اتجاهي امتداد مستوي الانقطاع ووجه المنحدر لا يتجاوز $20^0 \pm$ ، مع كون اتجاه ميل مستوي الانقطاع معاكساً لاتجاه ميل وجه الحفرية.

ونشير إلى أن الانتباه لهذه المسألة من قبل مصمم الحفرية قبل البدء بتنفيذها أو حتى في المراحل الأولى من التنفيذ يمكن أن يسمح بتجنب خطر حدوث الانهيارات بالانقلاب، وذلك بتعديل مسار الحفر بحيث يكون اتجاه امتداد وجه المنحدر من جهة الحفرية مختلفاً عن اتجاه امتداد مستوي الانقطاع السائد في الكتلة الصخرية بقيمة تتجاوز $20^0 \pm$

Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v.54 pp. 91-95.

2- Goodman, R. E. , (1989), "Introduction to Rock Mechanics", University of California at Berkeley, pp.475-493.

3- Hoek, E. and Bray, J. W. , (1981), "Rock Slope Engineering", The Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 150-198.

4- 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 of Rock Mechanics Research Report No. 19, 10 pages.

5- Grohmann, C. H. and Campanha, G. A., (2009-2015) , " OpenStereo Program", software for structural geology analysis, Institute of Geosciences - University of São Paulo, Brazil, URL:
<http://www.igc.usp.br/openstereo>.

-تم في هذا البحث اقتراح تطوير لاختبار ماركلاند لتحديد الانقطاعات الخطرة ونوع الانهيار في الكتلة الصخرية ليشمل دراسة الانهيار بالانقلاب، بحيث يعتبر الانهيار بالانقلاب ممكناً إذا كان الفرق بين اتجاه امتداد مستوي الانقطاع واتجاه امتداد وجه المنحدر لا يتجاوز $\pm 20^0$ مع كون اتجاه ميل مستوي الانقطاع معاكساً لاتجاه ميل وجه الحفرية، وبأسلوب آخر يشمل الشرطين المذكورين : أن يكون اتجاه ميل وجه المنحدر مساوياً لاتجاه ميل مستوي الانقطاع مضافاً إليه: $\pm 180^0$ مع فارق بين القيمتين لا يتجاوز $\pm 20^0$.

-من المهم أن نلاحظ أن الأنواع المختلفة من الانهيارات للمنحدرات يمكن أن تحدث في المنطقة الجيولوجية نفسها، تبعاً لاتجاه وجه المنحدر وعلاقته مع توزع الأقطاب الممثلة للانقطاعات؛ وهذا يشير إلى أنه يمكن عند التصميم أن يتم تغيير اتجاه وجه المنحدر من أجل إلغاء أو إنقاص مشاكل انهيار المنحدرات، وهذه ميزة من ميزات استخدام الإسقاط الستيريوغرافي في تحليل توازن المنحدرات.
المصادر :

1- Froldi, P. , (1996) "Some Developments to Hoek & Bray's Formulae for the Assessment of the Stability in Case of Plane Failure",

Determination of the Expected Failure Mechanisms of Some Rock Slopes in Syrian Khneifees Mines Using Stereographic Projection

Maan Helal
Kinan Zain Alabideen
Department of Geotechnical Engineering \
Faculty of Civil Engineering \
Al-Baath University – Homs - Syria

Abstract:

Stereographic projection is used in rock mechanics to represent geologic data of rock discontinuities and to analyze rock slope stability, so that geologists and geotechnical engineers have to be able to use this way, that stereographic projection simplifies graphical results of problems that are associated with relative directions of lines and planes in space.

This research explains stereographic projection principles. It also shows how to use this principles in rock slope stability analysis and applies them in stability analysis of some slopes in an open pit mine in Syria, that is Khneifees phosphate mine.

OpenStereo 0.1.2 (2015) program of stereographic projection was used in this research, and Markland's technique was employed to estimate the possibility of wedge or plane sliding failure to occur in rock slopes, with a suggestion to improve Markland's technique to embed discussion of the possibility of toppling failure happening on some blocks of a slope rock mass.

It was concluded that the studied slopes are safe for plane and wedge sliding failure for the current dip of each slope face; which are 70^0 for opoka rock slope and 75^0 for trepolite rock slope, with the possibility of local circular sliding or some block toppling failure.

Key Word: Rock slope stability- Stereographic projection- Markland's technique- Failure mechanisms- Sliding and toppling- Khneifees phosphate mine.