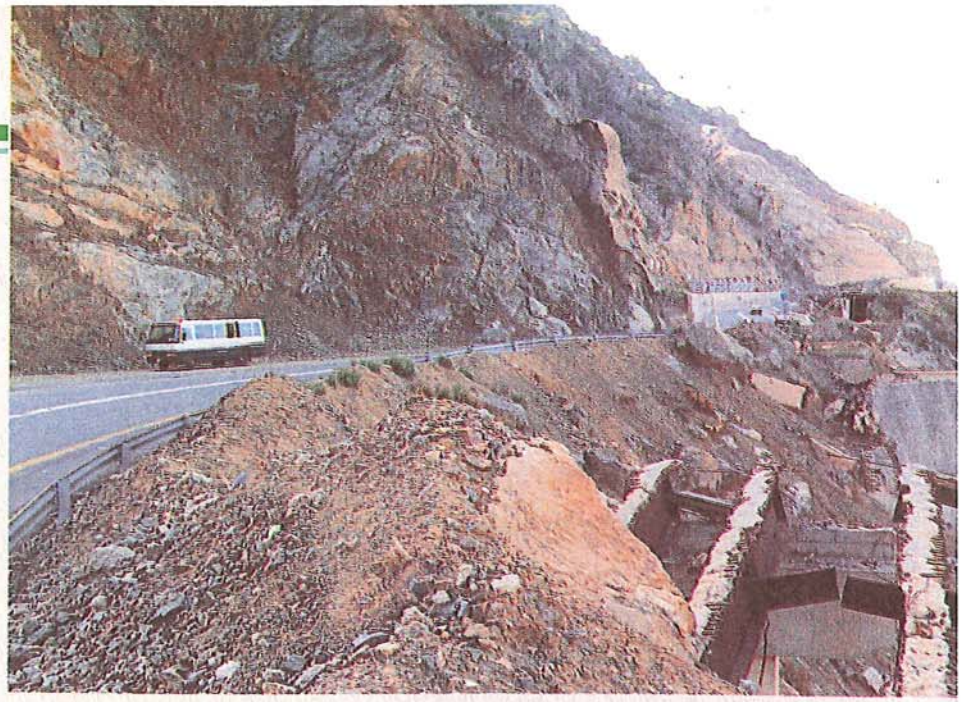


# الإنزلاقات الأرضية

د. حسين عبد الله العواجي

**تعرف الانزلاقات الأرضية بأنها انهيارات مفاجئة تتمثل في حركة وانزلاق جزء من الأتربة والصخور المفككة المكونة للسطوح المائلة في المناطق الجبلية أو الميول الترابية الصناعية التي هي من فعل الإنسان لاغراض عديدة مثل ميول الحفر التي تستخدم للوصول إلى مناسيب تأسيس المنشآت بمختلف أنواعها ، أو ميول الردم للوصول إلى مناسيب تأسيس الطرق وغيرها من الأغراض الأخرى .**

وفي أغلب الأحيان تكون التربة متزنة ومستقرة مالم تستجد عوامل خارجية تؤثر فيها مثل هطول الأمطار ، أو تغيير منسوب وسريان المياه الجوفية حرة الحركة ، أو الزلازل ، أو عمليات القطع والحفر للأغراض الهندسية ، الأمر الذي يؤدي إلى انهيار تلك المواد وعدم ثبات واستقرار الميول .

تعد الانزلاقات الأرضية من الظواهر التي تهم العاملين في هندسة التصميم والتنفيذ والصيانة والأمن والسلامة في كل المشاريع الهندسية خاصة في المناطق ذات الطبيعة الجبلية مثل جنوب غرب المملكة العربية السعودية وسويسرا واليابان وشيلي وإيطاليا وتشيكوسلفاكيا السابقة، وغيرها من الدول التي تتوفر فيها نفس مظاهر السطح .

وتتسبب الانزلاقات الأرضية عند حدوثها في كثير من الكوارث تتمثل في الخسائر البشرية والأضرار والدمار لكثير من المنشآت والمرافق مثل الطرق والجسور والمباني وخطوط السكك الحديدية والأنابيب وغيرها . فعلى سبيل المثال تم في تشيكوسلفاكيا السابقة خلال عام ١٩٦١/١٩٦٢ تسجيل أكثر من ٩٠٠ حالة انزلاق أرضي ، كما يحدث في اليابان وحدها أكثر من ٢٠٠٠ حالة انهيار لردميات السكة الحديد كل عام .

وعلى الرغم من حدوث العديد من الانزلاقات الأرضية بمختلف أنواعها بالمملكة وذلك على الطرق وسفوح الجبال ، إلا أن عدد الحالات التي يتم حصرها ودراستها للتعرف على مسبباتها وتأثيراتها الهندسية والاقتصادية تعد قليلة نسبياً .

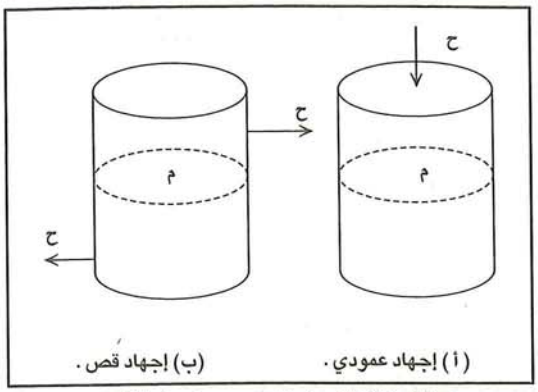
## أسباب الانزلاقات الأرضية

يتواجد سطح التربة والصخور المعرضة للانزلاقات الأرضية على عدة أشكال من أهمها السطح الأفقي والسطح المائل . وقد يأتي السطح المائل على شكل ميل مستو أو ميل منحنى . وفي أغلب الأحوال تكون التربة مستقرة مالم تتغير الظروف الطبيعية أو تؤثر عوامل خارجية في مواقع ذات خواص ومكونات ترابية معينة تفقد التربة استقرارها واتزانها محدثة الانزلاق . ومن أهم هذه الظروف والعوامل ، الميول الترابية الطبيعية أو الصناعية الناتجة عن عمليات الحفر والردم في مواقع تحتوي على طبقات رملية أو صخور ضعيفة مفككة . ويلعب ارتفاع المنحدر وزاوية الميل دوراً هاماً في عملية عدم الاستقرار ( الثبات ) ، فإذا تجاوز ارتفاع المنحدر أو زاوية الميل حداً معيناً استوجب ذلك إجراء عمليات الدعم لهذا الميل .

وتعد الأمطار من العوامل المسببة للانزلاقات الأرضية لما تحدثه من زيادة في نسبة الرطوبة ومستوى الماء في التربة والصخور مما ينجم عنها نقص في مقدار تحمل التربة لإجهاد القص ( Shear Stress ) إلى حد قد يسبب حدوث تلك الإنزلاقات . ويعني إجهاد القص **الحمل المسلط على سطح معين موازٍ له ، وهو في ذلك يختلف عن الإجهاد العمودي** ، شكل (١) . الذي يسقط فيه الحمل عمودياً على المساحة .

كذلك تتسبب العوامل الخارجية مثل الزلازل وعمليات الحفر والردم في أحداث تغيير في الاجهادات الداخلية التي تؤثر على المواد المكونة للميول محدثة إزاحة وعدم استقرار في تلك المواد بالقدر الذي يسبب إحداث انزلاقات .

تحدث الانزلاقات الأرضية أساساً نتيجة تأثير إجهاد القص على الكتلة الترابية




(أ) إجهاد عمودي. (ب) إجهاد قص.

● شكل (١) الإجهاد العمودي وإجهاد القص .

أو الصخرية ، ويحدث الانهيار عادة عندما يكون متوسط القص المؤثر على سطح الانهيار مساو لقوة القص في وحدة المساحة من السطح التي يمكن تعيينها بوساطة الاختبارات الحقلية والمعملية ، غير أن هناك حالات عديدة لحدوث انهيار ( انزلاق ) حتى لو كان إجهاد القص أقل بكثير من القوة المقاومة للقص وذلك نتيجة للانهيار التدريجي الذي يحدث بسبب عدم التوزيع المتجانس للاجهادات على سطح الانهيار ، وكذلك عدم تجانس طبقات وخواص التربة أو الصخور .

وفي هذه الحالة يحدث ما يسمى **بالانهيار الموضعي** الذي يحدث في نقطة معينة يكون فيها إجهاد القص أكبر في القوى المقاومة له في تلك النقطة . ويحدث ذلك في المناطق الواقعة أسفل المنحدر المرشح للانهيار ، ويلي ذلك توالي الانهيارات الموضعية كلما اتجهنا إلى أعلى المنحدر لإحداث ما يسمى **بانزلاق تدريجي أو متوال** ، ويؤدي أي تغير نسبي - ولو كان بسيطاً - في اتزان الميول وظهور مؤشرات على قرب حدوث الانزلاقات الأرضية خاصة في المناطق التي شهدت انهيارات سابقة .

ومن العلامات التي تدل على قرب حدوث الانزلاقات الأرضية ظهور شقوق سطحية في أعلى المنحدر متعامدة على اتجاه الحركة . ويصحب ذلك - في الغالب - ظهور شقوق مائلة نتيجة إجهاد القص، كما قد يحدث انبعاج في أسفل المنحدر . ومما يؤدي إلى الإسراع في حدوث الانهيار إضعاف التربة بالماء محدثة ازدياد في الشقوق .

## مخاطر الانزلاقات

على الرغم من خطورة الإنزلاقات ومالها من تأثير هام في جميع المشاريع الهندسية إلا أن أثرها يجب أن لايصل إلى حد الفزع والخوف وذلك لوجود العديد من الحلول الهندسية المتعارف عليها لكل مشكلة انزلاق . وبالطبع تعد هذه الحلول مكلفة نوعاً ما ( ٥ إلى ١٠ ٪ من التكلفة الإجمالية ) وتحتاج إلى دراسة مستفيضة لكل حالة مرشحة للانزلاق الأرضي .

وتشمل تلك الدراسة النواحي الطبوغرافية ( التضاريس ) والهيدرولوجية (المياه) وخصائص التربة والصخور مثل خصائص ونوعية المواد الموجودة وطبقات التربة والصخور وامتداداتها وسماكتها وتماسكها ومدى سعتها لتحمل الاحمال والضغوط الجانبية والرأسية إضافة إلى تفاعل تلك الخصائص مع خطوات تنفيذ المنشأة والتغييرات في الظروف الطبيعية المحيطة .

## تصنيف الانزلاقات الأرضية

يعد تصنيف الانزلاقات الأرضية عامل مساعد في تحديد سبب حدوثها من أجل وضع الإجراءات اللازمة لمنعها أو إصلاح آثارها . وهناك العديد من طرق التصنيف والتي تعتمد على شكل سطح الانهيار أو عمقه أو طوله أو سرعة حدوثه . ومن أشهر نظم تصنيف الانزلاقات الأرضية التصنيفان الأوربي والأمريكي.

ومن هذين التصنيفين يعد نظام لجنة الانزلاقات الأرضية التابع لهيئة أبحاث الطرق الأمريكية والمستنبط عام ١٩٧٨م بوساطة العالم **فارنس** (Varnes) الأكثر قبولاً بين المهندسين وعلماء الأرض .

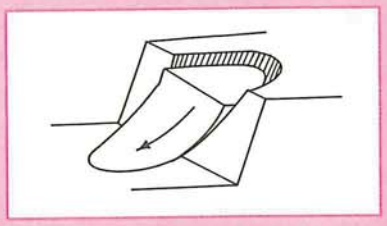
وتقسم المواد المنهارة بموجب هذا التصنيف إلى مجموعتين هما :-

### ● تصنيف حركة الصخور

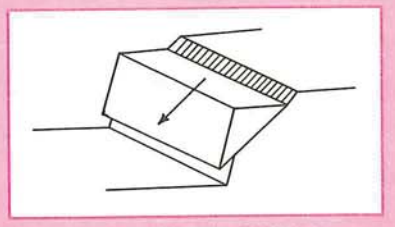
يمكن تصنيف حركة الصخور ، شكل (٢) ، إلى أربعة أنواع هى :-

**( أ ) انزلاق على سطح منحنى :** حيث يأخذ المنحنى شكل ( ٢-أ ) وتكون المواد المنهارة عبارة عن صخور مكسرة وضعيفة بدون بناء داخلي محدد .

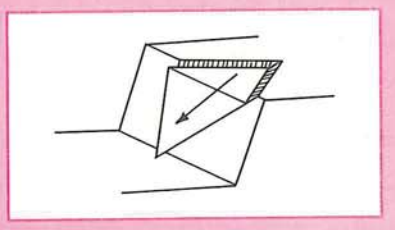
**(ب) انزلاق على سطح مستوي :** حيث يأخذ السطح الشكل ( ٢ - ب ) وتكون المواد المنهارة ذات بناء ضعيف وفي مستوى مواز لسطح الانهيار .



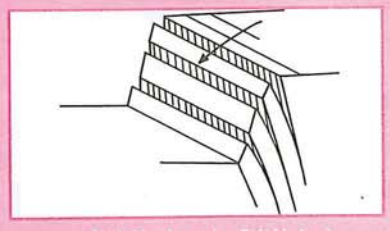
( أ ) انزلاق على سطح منحني .



(ب) انزلاق على سطح مستوي .



(جـ) انزلاق على سطح بزاوية .



( د ) انزلاق على سطح انطوائي .

● شكل (٢) نماذج لحركة انهيار الصخور .

**(جـ) انزلاق على سطح بزاوية :** حيث يأخذ السطح شكل ( ٢ ــ ج ) وتكون المواد المنهارة ذات بناء ضعيف في مستوين يتقاطعان في نفس زاوية سطح الانهيار.

**(د) انزلاق على سطح منطوي :** حيث تأخذ إلا سطح شكل ( ٢ ـ د ) وتكون المواد المنهارة ذات مستويات ضعيفة في اتجاه قريب من المستوى الرأسي .

## ● تصنيف حركة التربة

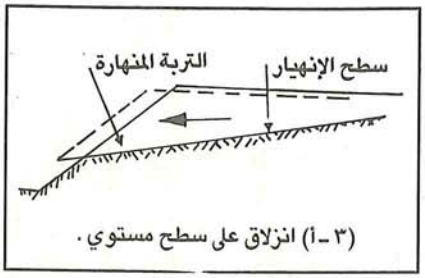
يمكن تصنيف حركة التربة شكل (٣) إلى نوعين هما :ـ

**( أ ) انزلاق على سطح مستوي :** ويكون الانزلاق ، شكل (٣ـأ) على سطح محدد مسبقاً مثل السطح المشترك بين طبقتين من التربة تكون السفلى منها ذات مقاومة قص أكبر من مقاومة قص الطبقة العليا .

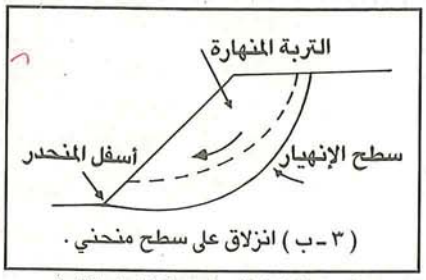
**(ب) انزلاق على سطح منحني :** وفيها يأخذ المنحني شكل جزء من دائرة في حالة التربة الطينية أو منحنى حلزوني في حالة التربة الرملية أو أشكال أخرى ، شكل (٣ ـ ب) .

## العوامل المسببة للإنزلاقات الأرضية

تؤدي العوامل الطبيعية وبقدرة الله مثل الظروف الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية والعوامل غير الطبيعية مثل عمليات القطع والحفر إلى إحداث الانزلاقات الأرضية . وفي العادة يعمل أكثر من عامل واحد بصورة يصعب معها تمييز أي منها في حدوث الانزلاق الأرضي ، ويمكن تصنيف العوامل حسب تأثيرها على مواد الميل إلى عوامل داخلية وعوامل خارجية ، وتعمل العوامل الداخلية مثل المياه على نقص قوة تحمل التربة أوالصخور لاجهادات القص بينما تعمل العوامل الخارجية مثل الحفر أو الردم على زيادة اجهادات القص في التربة أو الصخور . ومن أمثلة العمليات المسببة للانزلاقات الأرضية ما يلي :ـ



(٣ ـ أ) انزلاق على سطح مستوي .



( ٣ ـ ب ) انزلاق على سطح منحني .

● شكل (٣) نماذج لحركة انهيار التربة .

## ● عمليات التشييد

تشمل عمليات التشييد التي تساعد على حدوث الانزلاقات الأرضية مايلي :ـ

* **أعمال الحفر :** وتؤدي إلى حدوث كثير من الانزلاقات الارضية عن طريق اضعافها لقوة تماسك التربة والصخور وتسببها في زيادة ميل المنحدر الأمر الذي يؤدي إلى زيادة إجهاد القص ، ومن أمثلة الانزلاقات الأرضية التي حدثت بسبب أعمال الحفر ما حدث بالنرويج من انزلاق مواد تقدر بحوالي ٨ مليون متر مكعب وامتدت لمسافة ٢٣٠ ألف متر مربع نتيجة أعمال حفر بسيطة جداً لإنشاء منزل في مزرعة أسفل منحدر .

* **أعمال الردم :** حيث تحدث العديد من الانزلاقات أثناء أعمال ردم الطرق والسدود وغيرها وذلك نتيجة لزيادة الاجهادات المؤثرة في مواد الميول نتيجة لنقل مواد الردم نفسها .

* **أعمال البناء :** وتتسبب في زيادة الاجهادات المؤثرة في مواد الميل نتيجة للأحمال المنقولة عبر أساسات هذه المباني .

* **دق الأوتاد :** وتحدث الانزلاقات في هذه الحالة عند استخدام الأساسات العميقة للمباني والجسور وذلك لنقل وتوزيع الأحمال إلى طبقات عميقة صالحة للأساس حيث يسبب دق الأوتاد ( الخوازيق ) اهتزازات تعمل على تمييع التربة الرملية المشبعة بالماء وبالتالي تؤدي إلى نقص كبير في قوة تحملها لإجهادات القص.

## ● عمليات النحت والتآكل

يعمل النحت والتآكل بفعل مياه الأودية والجداول والأنهار أو الأمواج والرياح على إزالة الميول القديمة وتكوين ميول جديدة لاتقدر على تحمل اجهادات القص . وقد تسببت عمليات النحت والتآكل في حدوث الكثير من الانزلاقات بالدول الاسكندنافية في السويد والنرويج والدنمارك .

## ● الزلازل والاهتزازات

تحدث الانزلاقات الأرضية نتيجة الزلازل أو الاهتزازات الناتجة عن أعمال التفجير بسبب ما تحدثه من تمييع للرمل أو الطمي المشبع بالماء نتيجة ضغط الماء داخل فراغات التربة تؤدي إلى نقص قدرتها على تحمل إجهاد القص وانهيار بنائها الداخلي وتحولها إلى سائل كثيف القوام . ومن أمثلة ذلك ما فعله زلزال ١٩٤٩م بالاتحاد السوفيتي السابق من انزلاقات طمرت ٢١ قرية ، وما فعله زلزال ألاسكا في عام ١٩٦٤م ، وأخيراً زلزال لوس أنجلوس الأمريكية عام ١٩٩٣م من انزلاقات أرضية .

## ● الأمطار وذوبان الثلوج

يعد الماء العامل الأساس في أغلب الانزلاقات التي تحدث باليابسة . وتحدث أغلب الانزلاقات بسبب انهيارات الميول عادة بعد هطول أمطار غزيرة أو خلال الربيع عند ذوبان الثلوج ، حيث يتسرب الماء خلال الشقوق والفجوات إلى أعماق طبقات التربة والصخور ، ويسبب الماء المتسرب في زيادة وزن المواد المعرضة للانزلاق نتيجة لوزن الماء نفسه الذي يوجد بين فراغات حبيبات التربة والصخور .

وبذلك تقل قدرة تحمل التربة للقص حتى تصل إلى مرحلة حدوث الانزلاقات .

## آثار الانزلاقات الأرضية

من الواضح أن الانزلاقات الأرضية تمثل العملية الرئيسة في تشكيل معالم سطح الأرض في المناطق الجبلية حول العالم ، ولكنها في نفس الوقت تستدعي الانتباه وتثير الاهتمام عندما تتسبب في وفيات أو إصابات بشرية أو إضرار في المنشآت والممتلكات ، ويعد فقد الأرواح من أعظمها على الإطلاق ، ولعل أكثر الانزلاقات خطورة في التاريخ تلك التي حدثت عام ١٩٢٠م بعد سلسلة من الزلازل التي ضربت مقاطعة كاتسو (Katsu) بالصين وقتلت أكثر من مائة ألف نسمة ، وكذلك الانزلاقات التي حدثت عام ١٩٦٣م وقتل فيها حوالي ألف شخص بمدينة لونقارون بايطاليا ، فقد أزيلت هذه المدينة من الوجود من جراء انزلاق حوالي ٢٤٠ مليون متر مكعب من الصخور وعلت سد مجاور مسببة موجة زاد ارتفاعها عن مائة متر نتج عنها انهيار السد .

وبجانب فقد الأرواح تعد الخسائر المادية بسبب الانزلاقات الأرضية كبيرة جداً ، فالخسائر المباشرة في المنازل والمباني والمنشآت والمحاصيل الزراعية ومرافق الخدمات كالطرق والجسور ، تعد باهظة التكاليف بشكل قد لاتستطيع الدول تعويضها أو التخفيف من آثارها مالم تستعين بوكالات الإغاثة الدولية .

كذلك قد تصل تكاليف الخسائر غير المباشرة مثل تكاليف إجراء الوقاية ضد الأضرار المستقبلية وخفض قيمة الأراضي المهجورة إلى مبالغ طائلة . ومن أمثلة الخسائر المباشرة ما سببته الانزلاقات الأرضية نتيجة زلزال ألاسكا بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٦٢م من خسائر تزيد عن المائة مليون دولار ، وقد قدرت تكاليف انهيارات الميول في انحاء الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة من ١٩٧٠م إلى ٢٠٠٠ م بحوالي ١٠ بليون دولار (بمتوسط سنوي أكثر من ٣٠٠ مليون دولار ) ، أما التكلفة غير المباشرة خلال تلك الفترة فقد قدرت بأكثر من بليون دولار سنوياً .

## إصلاح مواقع الانزلاقات

هناك عدة طرق لاصلاح مواقع الانزلاقات الأرضية ، منها تقليل ميل المنحدر والحماية ضد عمليات النحت وجرف التربة والصخور ، وكذلك تقليل مستوى سطح المياه وخلافها من طرق تحسين وتثبيت التربة والصخور . ويلعب التعاون بين المهندس وعالم الأرض (الجيولوجي) دوراً هاماً في الوصول إلى علاج ناجح يأخذ الجوانب الآمنة والاقتصادية في الحسبان . ومن الطرق الواسعة الاستخدام لمعالجة مناطق الانزلاقات الأرضية مايلي : ـ

### ● طرق تغيير الشكل

يؤدي تغيير شكل وأبعاد المنحدر إلى زيادة استقرار الميل، وتشمل تلك الطرق تقليل درجة الميل أو إزالة أجزاء التربة والأحمال من المنحدر أو تشييد دعائم لسند الميل ، ويفضل إزالة المواد غير المستقرة في حالة الانزلاقات السطحية الصغيرة أو عمل مدرجات مائلة لايزيد ارتفاع كل منها عن خمسة أمتار مع عمل قنوات سطحية لتجميع وتصريف المياه السطحية عند الرغبة في تقليل درجة ميل المنحدرات شديدة الارتفاع .

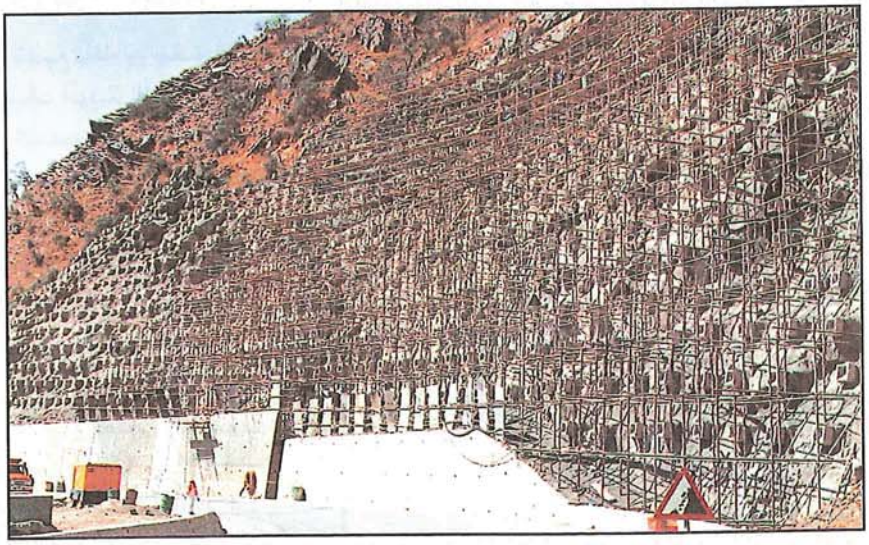
### ● الطرق الميكانيكية

تشمل الطرق الميكانيكية المستخدمة لإصلاح مواقع الانزلاقات الأرضية مايلي:ـ

(أ) زيادة كثافة مواد التربة والصخور عن طريق دق الخوازيق أو الهزات أو بتفجير العديد من الشحنات المتفجرة الصغيرة مع التحكم في توزيعها ومواقعها . وتساعد زيادة كثافة التربة في التقليل من مخاطر التمييع الناجمة عن انسياب المياه وكذلك تزيد من استقرارها في الميول .

(ب) استخدام الألياف الصناعية ( Geofabric ) للمساعدة في تثبيت المواد وتصريف المياه في الطبقات السطحية من الميل .

(ج) استخدام قضبان الشد (Anchors) لتثبيت التربة والصخور . وتعمل القضبان المشدودة على زيادة الاجهادات العمودية على سطح الانهيار المتوقع مما يزيد من قدرة المواد على تحمل اجهادات القص وثبات الميل . ومن الأمثلة على استخدام القضبان في تثبيت التربة والصخور المفككة الضعيفة ما تم عمله عام ١٩٩٤م بمنطقة الباحة من قضبان شد بطول ١٠ إلى ١٢ متر ، شكل (٤) .



● شكل (٤) تثبيت الميول بواسطة قضبان الشد في عقبة الباحة .