معايير قياس المخاطر

يعتمد حجم أو مستوى المخاطر الناتجة عن كارثة ما على عدد من العوامل والمعايير، أهمها:

- مصدر وطبيعة الكارثة، وفي حالة الزلازل يكون الخطر أو مصدر الخطر (Hazard) هو الزلزال نفسه.
- قابلية الإصابة (Vulnerability).
- التعرض (Exposure).
- الموقع (Location).

فحجم ومستوى الأخطار، التي قد يتعرض لها المجتمع ومؤسساته يتأثر، بشكل كبير، بالعوامل المذكورة أعلاه ، وليس بالضرورة إذا كان الخطر (مصدر الخطر) كبيراً أن يُحدث خسائر ومخاطر كبيرة، فمثلاً: تتعرض اليابان، وولاية كاليفورنيا، لزلازل قوية، ومع ذلك يكون تأثيرها (أي المخاطر الناتجة) في معظم الحالات محدوداً وقليلاً أحياناً، في حين تعرضت الكثير من دول العالم الثالث، مثل: إيران والهند والجزائر وتركيا والمغرب.....الخ، الى زلازل متوسطة القوة (6 درجات حسب مقياس ريختر) أو قوية نسبياً (6.5 درجة حسب مقياس ريختر تقريباً)، وكانت الخسائر كبيرة، وهذا يعود، في الغالب، الى ارتفاع مستوى قابلية الإصابة الزلزالية (Seismic Vulnerability) لكل من المباني ومنشآت البنى التحتية، بالإضافة لضعف جاهزية (استعدادية) وقدرة (capacity) المؤسسات والإنسان في هذه الدول. ولتوضيح العلاقة بين المخاطر (Risks) من جهة، وكل من الاخطار (Hazards) وقابلية الإصابة والقدرة من جهة أخرى، يمكن تبسيط العلاقات الرياضية التي تستخدمها المراجع العلمية في عملية تحليل المخاطر (Risk Analysis)

$$\text{المخاطر (Risk)} = \frac{\text{الخطر (Hazard)} \times \text{قابلية الإصابة (Vulnerability)}}{\text{الجاهزية/ أو القدرة (Capacity)}}$$

حيث:

الاخطار ***Hazards***:

وهي احتمالات ظهور حدث يعمل أضراراً كامنة أو محتملة في منطقة ما ضمن زمن محدد.

المخاطر ***Risk*** :

وهي درجة التوقع لفقدان الأرواح، وكمية الأضرار للممتلكات أو مستوى الإضرار للاقتصاد اثر وقوع الكارثة.

- قابلية الاصابة ***Vulnerability*** :

وهي درجة الفقدان أو قابلية الإصابة للعناصر المعرضة للمخاطر نتيجة وقوع الكارثة ، ومن أهم العناصر التي تكون عرضة للمخاطر: السكان، والخدمات، والمرافق العامة، والأبنية، والأعمال الهندسية، والتجارة والاقتصاد ، إضافة إلى البنية التحتية.

أسباب الهزات الأرضية Earthquake Causes

يمكن تصنيف المصادر المسببة للهزات الأرضية الى ما يلي:

أ – أسباب طبيعية لا دخل للإنسان بها. Natural causes

ويمكن أن تحدث الزلازل نتيجة لعدد من الظواهر الطبيعية منها:

- الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes.
- الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes.
- الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes.

ب – أسباب غير طبيعية. Unnatural causes

وهي الزلازل التي تنتج من نشاطات الإنسان (Man-Made Earthquakes) التي تخل باتزان القشرة الأرضية مثل:

- التفجيرات الكيماوية والنووية Chemical and Nuclear Earthquakes.
- الضجيج الحضري Cultural Noise.
- الردميات والحفريات مثل البحيرات الصناعية الكبيرة والمحاجر العملاقة.
- استخراج كميات كبيرة جداً من المياه الجوفية والسوائل، وحقن السوائل في بعض أماكن التنقيب او استخراج النفط.

1 الزلازل التكتونية Tectonic Earthquake

يصنف المختصون الهزات الأرضية التكتونية (السنوي 1997) بشكل عام الى صنفين:

- الزلازل الواقعة على حدود الصفائح التكتونية، ويشكل هذا النوع من الزلازل 90% من مجموع الزلازل التي حصلت، وعموماً يتوافر لهذا الصنف من الزلازل عدد كبير من الدراسات الزلزالية.
- الزلازل القارية، وهي التي تقع بعيداً عن حدود الصفائح (في داخلها)، وبسبب قلة الدراسات المتعلقة بهذا النوع، فإن أسبابها وأوضاعها التكتونية غير مفهومة تماماً.

وعموما تنشأ الزلازل التكتونية نتيجة للحركة النسبية للصفائح المشكلة للقشرة الأرضية، حيث يبدأ تراكم الاجهادات الداخلية في الصخور الواقعة على حدود الصفائح المتحركة، وعندما تصبح قيم الاجهادات المتراكمة اكبر من قيمة الاجهادات القصوى التي يمكن ان تتحملها الصخور فإنّ ذلك يؤدي إلى تشكل صدوع (فوالق) عبر السطح الضعيف، وبسبب وجود اجهادات عالية حول التشققات تنتشر وتتكاثر التشققات، الأمر الذي يؤدي إلى حصول تحرك فجائي للصخور في منطقة التشققات، مما يؤدي إلى إطلاق كمية هائلة من الطاقة المتراكمة وبشكل فجائي محدثة زلزالاً في المنطقة. وتعتبر الهزات التكتونية أهم أنواع الهزات الأرضية الطبيعية، فإضافة لكون 90 % من العدد الكلي للهزات المسجلة ذات طبيعة تكتونية، فان هذا النوع من الهزات يوصف:

- بشدته الكبيرة،
- و بتاثيره على مساحات واسعة،
- و بتسببه بحدوث دمار وخراب كبيرين.

2. الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes

في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، تندفع الصخور المنصهرة والمنطلقة من الأعماق الصهارية باتجاه الطبقات الخارجية، مما قد يؤدي الى تراكم وتركيز الاجهادات على هذه الطبقات، وبالتالي احتمال حدوث صدوع فجائية وحركات اهتزازية للقشرة، وقد يرافق، أو يتبع ذلك، انطلاق الصهارة بسرعة إلى الخارج. واستناداً إلى عمق المركز الجوفي في الزلازل البركانية يمكن تصنيف هذه الزلازل إلى ثلاث مجموعات:

- عمق المركز الجوفي D = 1-10 Km
- عمق المركز الجوفي D < 1 Km
- المركز الجوفي على سطح الأرض تقريباً، وفي العادة يكون تأثير هذا النوع من الزلازل شبيهاً بالانفجارات.

وعموماً تعتبر الزلازل البركانية أقل شدة من الزلازل التكتونية، ومنطقة تأثيرها محدودة بمساحة صغيرة من سطح الأرض. كما أن الزلازل البركانية يمكن أن تحدث بشكل متواصل لفترات طويلة نسبياً وتسبب في هذه الحالة رجفات بركانية متواصلة.

3. الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes

يحدث هذا النوع من الزلازل نتيجة حصول انهيارات في عمق الأرض، مثل انهيارات الكهوف والمغر الكبيرة، وبشكل عام، يكون تأثير الزلازل الانهيارية محلياً ومحدوداً بمناطق صغيرة، وذلك بسبب ضآلة الطاقة الزلزالية المتولدة.

Geohazards
المخاطر الجيولوجية

Geohazards المخاطر الجيولوجية :

هي ظروف جيولوجية وبيئية ناتجة عن عوامل جيولوجية قصيرة او طويلة الامد بابعاد محلية او اقليمية واسعة او ناتجة عوامل بشرية قد تسبب مخاطر واثار تدميرية بشرية واقتصادية متفاوتة.تعتبر المشاكل الجيولوجية المتمثلة بالحركات الارضية وانهيار الصخور والتراكيب الجيولوجية كالصدوع والفواصل والطيات وعوامل التعرية والترسيب اضافة الى الزلازل والبراكين من اهم المخاطر والمشاكل ا لجيولوجية ذات العلاقة الوثيقة بالهندسة المدنية. ان المهندس المدني يقوم بأقامة المنشآت الهندسية في باطن او على سطح الارض ولهذا تبقى الارض والتراكيب الجيولوجية ومواد البناء المستخرجة منها هي المسببات الرئيسة للمشاكل الهندسية وان معظم المشاكل الهندسية كالانهيارات او التشوهات الحاصلة فيها او الكثير من المشاكل الهندسية اثناء وبعد التنفيذ هي بالاساس ذات طبيعة جيولوجية ولهذا يتعين على المهندس المدني الاخذ بنظر الاعتبار الطبيعة الجيولوجية للمنطقة، خصائص الصخور والتربة، التراكيب الجيولوجية، ..الخ
خلال مراحل التصميم والتنفيذ ومابعده تجنبا لاية مشاكل او عيوب قد تتسبب في خسائر بشرية ومادية كبيرة في حالة حدوثها او عدم معالجتها في الوقت المناسب، وهنا تظهر اهمية الجيولوجيا الهندسية كأحدى الوسائل الضرورية في تطبيقات الهندسة المدنية.

الحركات الارضية Ground movements:

يمكن تمييز انواع مختلفة من الحركات الارضية اعتمادا على:
1 معدل الحركة النسبية التي قد تكون تكون **مفاجئة** اوسريعة Rapid movement تسبب كوارث مدمرة او **بطيئة** تمتد لفترات طويلة جدا Slow movements
2 نوع الحركات السائدة **كالانهيار** Avalancheو **الانزلاق** Slide **والجريان** Flow **والزحف** Creep.
3 نوع المواد المتحركة التي قد تكون طبقات صخرية Rock layers او بقايا او كتل صخرية Rock masses . او تربة Soil.

الحركات السريعة Rapid Movement

تحدث الحركات السريعة اما على شكل كتل صخرية منفردة او اجسام هائلة من الطبقات الصخرية التي تتفكك فيما بعد او تربة حالما تفقد تماسكها او عندما تزحف كميات من الطين على شكل السنة فوق المنحدرات كما قد تحصل هذه الحركات المفاجئة عند حصول الهزات الارضية او الانفجارات البركانية او نتيجة لوجود الصدوع والتشققات او بفعل انجماد وذوبان الجليد بالاضافة الى اثر جذور النباتات عند تواجدها على منحدرات شديدة.

الانهيارات الارضية Ground failures

هي حركات مفاجئة تتمثل في حركة وانزلاق جزء من التربة او الصخور المفككة المكونة للاسطح المائلة في المناطق الجبلية او الميول الصناعية التي هي من فعل الانسان مثل ميول الحفر التي تستخدم للوصول الى اعماق الاسس اوالمنحدرات لاقامة الطرق او حفر المناجم ويساعد وجود ظواهر تركيبة كالتصدعات والفواصل خاصة عندما تكون ذات ميل باتجاه انحدار الطبقات او تشبع التربة بالمياه.. الخ على حصول هذه الانهيارات، ويمكن تتمييز الانواع التالية من الانهيارات:

1. الانهيارات الصخرية

وتحصل عند وجود كتل صخرية على منحدرات شديدة الميل تتسب في حركتها الى حين استقرارها وقد تصل سرعة حركة الى مئات الكيلومترات في الساعة مسببة خسائر بشرية ومادية.

2. الانهيارات الطينية

وتحصل في الترسبات الغنية بالطين على سطوح شديدة الانحدار حيث تفقد تماسكها فتنهار بشكل موائع منسابة تتحرك مع الانحدار وتعتبر من اهم مشاكل التي تواجه مشاريع الطرق وسكك الحديد.

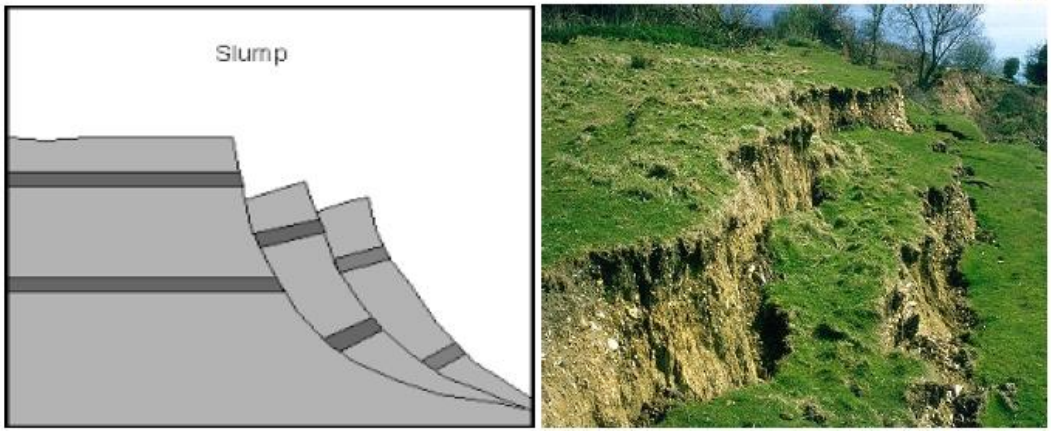
3. الانهيارات الرمليه

وتحصل في الاجسام الرملية التي نتجرف خاصة بفعل عوامل التعرية على سطوح شديدة الانحدار مثل ضفاف الانهار او الشواطئ حيث تسبب المياة الجارية تعرية هذه الاجسام وتكسرها بشكل كتل وحطام صخري منزلق خاصة في مواسم الفيضانات او حركة الامواج البحرية الشديدة.

الانزلاقات Slides

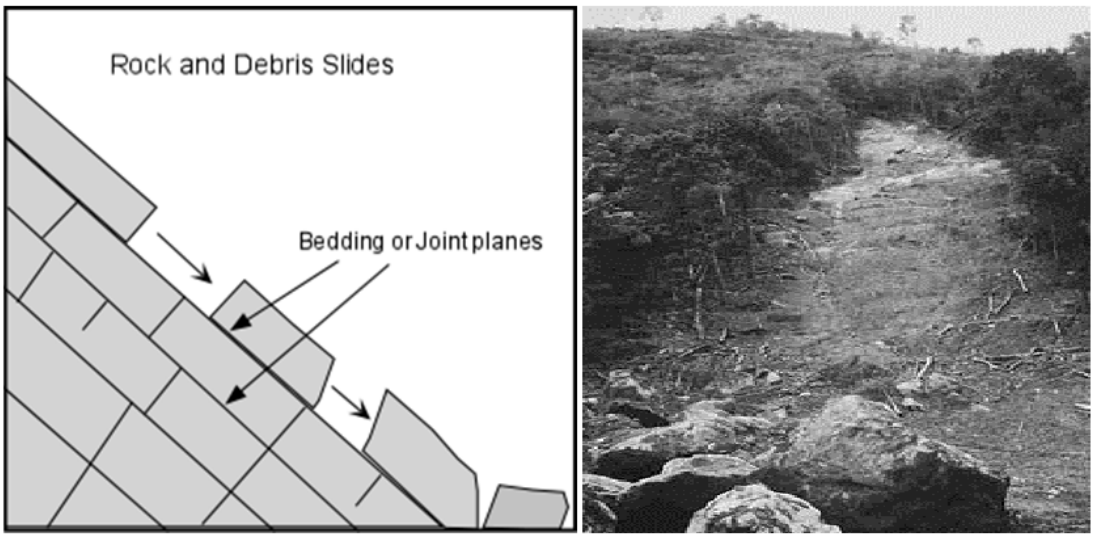
هي حركات سريعة للصخورعلى امتداد مستويات انزلاق ذات انحدار شديد ويمكن تصنيفها حسب نوع الحركة وخواص المواد المتحركة، ومن انواعها مايلي:

1. **الهبوط الارضي Slump**: ويشمل حركة الكتل الصخرية او المواد غير المتماسكة التي تتحرك كوحدات صغيرة على امتداد مستوى قص Shear Zone وقد يحصل نتيجة للاعمال الهندسية كشق الطرق ايضا.

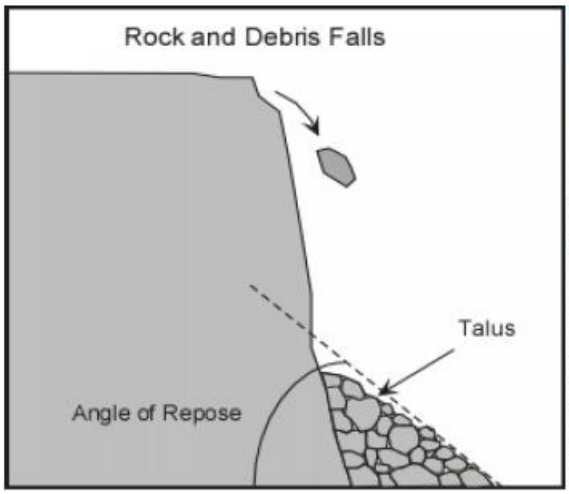


2. انزلاق الركام (الحطام) والصخور Rock and Debris slide

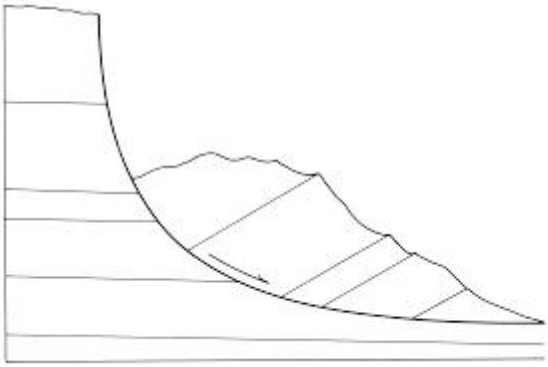
وهي الحركة السريعة للركام الصخري غير المتماسك والذي يحوي على كميات قليلة من المياه يحصل على امتداد مستويات الطبقات والفواصل وقد يحصل هذا النوع بعد حدوث الهزات الارضية او هطول الامطار الغزيرة.



اما تساقط ركام الصخور غير المتماسكة بصورة سريعة من على جرف جبل شديد الانحدار يعرف بسقوط الركام الصخري **Debris Fall** ، ويشمل ايضا تساقط المواد الصخرية نتيجة لتآكل جروف الانهار والبحار نتيجة للتعرية السفلية.



3. الانزلاق الارضي Landslide وهي حركة او انزلاق كتل الطبقات الصخرية السريعة على امتداد مستويات التطابق او الفواصل او الصدوع ككتلة صخرية واحدة ثم تتكسر نتيجة الاصطدام.



و العوامل الاساسية في حدوث الانزلاقات هي:

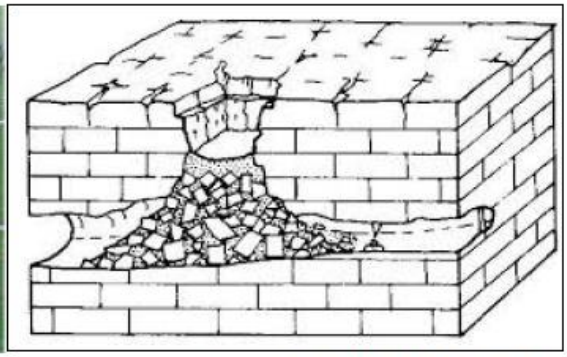
1. وجود طبقات صخرية ضعيفة او مواد غير مترابطة كالرمل والحصى.
2. وجود طبقات سميكة وصلبة فوق طبقات ضعيفة.
3. وجود مستويات التطابق والفواصل والصدوع ذات الميل الشديد.
4. وجود جروف صخرية ذات انحدار شديد.
5. قلة الغطاء النباتي.

اما العوامل المسببة في بدء الحركة:

1. ازاحة الركائز بالعوامل الطبيعية كالمياه والثلاجات والرياح والاعمال الهندسية كعمليات الحفر والتعدين.
2. ازدياد وزن الصخور بسبب التشبع بالمياه الذي يؤدي الى قلة الاحتكاك بين الكتل الصخرية.
3. الهزات الارضية الناتجة عن عمليات التصدع والبراكين.
4. الضغوط الناتجة عن تمدد المياه وتقلصها بفعل تغير درجات الحرارة او الانجماد والذوبان.

الانخفاضات Subsidences

تنتج عن حركة شاقولية للكتل الارضية الناتجة عن ضعف او اذابة المواد السفلية تحت السطح.



وقد تحدث نتيجة لاسباب منها:

1. استخراج المياه الجوفية من باطن الارض.
2. انهيار سقوف المناجم.
3. ذوبان الصخور كالصخور الكلسية.
4. استخراج النفط.
5. عملية الرص Compaction نتيجة لازدياد ثقل الترسبات السطحية.
6. الهزات الارضية والبراكين.

Slow Movements الحركات الارضية البطيئة

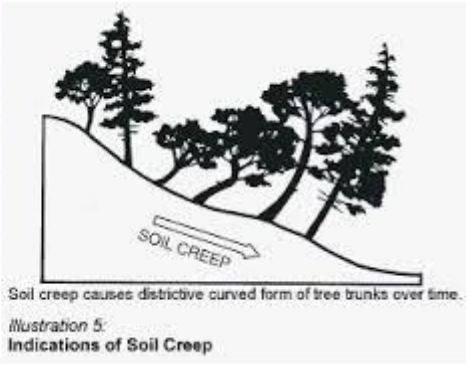
وتشمل حركة التربة البطيئة التي يمكن ان تستغرق وقتا طويلا ومن الامثلة عليها

زحف Soil creep انسياب الارض Earth flow و الانسياب الطيني Mud flow التربة

1زحف التربة:

وتعتبر من اهم انواع الحركات الارضية البطيئة غير المحسوسة وعادة ما يبدأ زحف التربة عند قمم الجبال والتلال او قرب المنحدرات عندما تتكون التربة مواد مفككة ومن اهم الدلائل على زحف التربة هو:1- انحناء جذوع الاشجار

2انحناء وانجراف الاعمدة والأسيجة.



Soil creep causes districtive curved form of tree trunks over time.

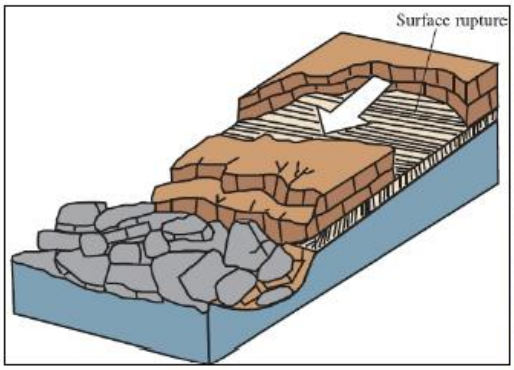
Illustration 5:
Indications of Soil Creep

اما اهم اسباب زحف التربة:

1. التقلص والتمدد بسب تغيرات درجة الحرارة.
2. التعاقب بين التشبع والجفاف في المياه الموجودة في مسامات التربة.
3. جذور النباتات التي تسبب في دفع التربة وحركتها.
4. الرياح كعامل مساعد في عملية زحف التربة.
5. حركة السيارات والحيوانات على جوانب الاودية.

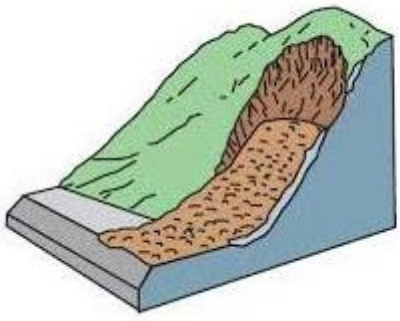
2. انسياب الارض Earth flow

وتحدث هذه الظاهرة عندما تتشبع التربة او المواد المفككة بالمياه مما يؤدي الى انسيابها لمسافة قصيرة على شكل تتابع من الشرفات الارضية غير المنتظمة وقد يصاحبها انهيارات ارضية كبيرة.



3. الانسياب الطيني Mud flow

يختلف الانسياب الطيني بكونه اسرع من الانسياب الارضي عندما تتوغل المياه بصورة مفاجئة في الترسبات الطينية وتساعد عوامل مثل غزارة المياه والانحدار الشديد على سرعة الحركة، اذا يحدث ان تتشبع هذه الترسبات الغنية بالمعادن الطينية فتبدأ بالانسياب وتنقل معها الفتات الصخري كما تساعد على تزحلق الطبقات ونتيجة الى لزوجتها الواطئة تزداد سرعتها.



<u>استقرارية المنحدرات Slop Stability</u>

تتحكم قوتين رئيسيتين في استقرار المنحدرات:

1. قوة الازاحة اوالتحريك Driving force وتمثل وزن الكتل الصخرية او الترسبات و هذه القوة هي السبب الرئيسي لتحركها الى اسفل المنحدر اذ يزداد احتمال حصول الانزلاق بازدياد وزن الكتل الصخرية والترسبات على المنحدرات.

2. القوة المثبتة او قوة المقاومة Resisting force وهي القوة المثبتة التي تعمل باتجاه عكسي لقوة التحريك وتنشأ من قوة تماسك الكتلة الصخرية المتحركة واحتكاكها مع باقي الكتل الصخرية على المنحدر.
ويمكن حساب معامل استقرارية المنحدرات الذي يعرف بمعامل امان المنحدر Slope Safety Factor من خلال المعادلة التالية:

معامل الامان= القوة المثبتة/ قوة التحريك

Safety Factor: Resisting Force/Driving Force

تصنيف معامل استقرارية المنحدرات:

معامل امان 1: القوة المثبتة= القوة المحركة (حالة حرجة Critical Condition)
معامل امان >1: القوة المثبتة> القوة المحركة (حالة مستقرةStable Condition)
معامل امان <1: القوة المثبتة< القوة المحركة (حالة غيرمستقرة Unstable Condition)

ألاضرار والتكاليف Damages and costs

تسبب الانهيارات الارضية باضرار ومشاكل هندسية ذات كلفة عالية لمختلف المشاريع. وتعتبر الطرق السريعة والسكك الحديدية وانابيب النقل من اكثرها تأثرا كما تتأثر الابنية والمنشآت وكذلك المجمعات السكنية والاراضي الزراعية الى اخطار جسيمة نتجة لحصول الانهيارات الارضية كما تتعرض البحيرات الطبيعية والمصطنعة وكذلك الانهار الى اضرار بالغة نتيجة لتراكم الفتات الصخري الناتج عن الانهيارات الارضية، اضافة الى ذلك تسبب الهزات الارضية والبراكين في تدمير المدن والمشاريع الهندسية كالسدود والطرق والجسور نتيجة لانجراف وانزلاق كميات كبيرة من الاطيان والصخور.

الحلول الهندسية Engineering solutions

لغرض تجنب الخسائر البشرية والاضرار المادية لابد من دراسة وتقييم اثر العوامل الجيولوجية على المنشآت الهندسية قبل واثناء ومابعد اقامة هذه المنشأت ولغرض زيادة استقرارية المنحدرات والاراضي غير المستقرة يلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى استخدام التقنيات المختلفة للتقليل من خطر الانهيارات الارضية ومن اهم هذه الوسائل:

1خفض درجة تشبع المنحدرات الصخرية التي تعتبر عامل اساس في ضعف مقاومتها وذلك من خلال تصريف المياه المتجمعة.
2 خفض منسوب المياه الجوفية عن طريق حفر الابار لسحب كميات كبيرة من المياه مما يساعد على تقوية مقاومة التربة لحصول الانهيارات الارضية.
3 يستعمل المهندسون وسائل مختلفة لزيادة استقرارية المنحدرات منها ازالة الحمل عند المنحدرات او اضافة المواد الكيميائية او الهياكل او الركائز المعدنية او الكونكريتية التي تعمل على زيادة ممانعة الصخور لحصول الانهيارات الارضية.
4اقامة الجدران الساندة عند المنحدرات لمنع انهيار الكتل الصخرية فوق طرق النقل او المباني والمنشآت الهندسية القريبة.
5استخدام الغطاء النباتي لمنع انجراف التربة وانهيارها خاصة في المناطق المجاورة للانهار والبحيرات.

امثلة عن طرق تثبيت المنحدرات الصخرية:

تستخدم طرق عديدة من طرق تثبيت المنحدرات الصخرية تعتمد على عوامل منها: حجم الكتل الصخرية، الانحدار، الكلفة والغرض من التثبيت (مؤقت او دائمي)... الخ:

1. المشبك الحديدي المضلع 2. الرش بالكونكريت 3. القضبان والمسامير الحديدية
4. المصاطب

طرق تثبيت المنحدرات الصخرية

امثلة عن طرق تثبيت الكتل الصخرية المنفصلة على سفوح المنحدرات

يمكن تثبيت الكتل الصخرية عن سفوح المنحدرات لدرء مخاطرها باستخدام طرق منها:

1. الجدران الساندة بالاحجار او الخرسانة
2. تنظيف المنحدرات ونقل الكتل الصخرية
3. فتح قنوات تصريف المياه

طرق تثبيت الكتل الصخرية المنفصلة على سفوح المنحدرات

التنبوء ودرء المخاطر Prediction and Prevention

ان معظم الانهيارات الارضية تحصل نتيجة لضغوطات تستمر معظمها لفترات طويلة ولذلك وبالاضافة الى الحلول الهندسية المختلفة السابقة التي يمكن اتباعها لدرء اخطار الانهيارات الارضية يلجأ المختصون الى طرق الاستكشاف الجيولوجي والجيوفيزيائي المسبق لعملية المباشرة في المشاريع الهندسية وذلك لتقييم المخاطر Risks evaluation التي قد تنجم عن اقامة مشروع كأقامة السدود والانفاق وطرق النقل والجسور. ان استخدام الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والاستكشاف الجيولوجي اثناء مرحلة استكشاف الموقع Site investigation يمكن ان يساعد المهندس المدني على المعرفة المسبقة بالتراكيب الجيولوجية في المنطقة والاثار الناجمة عن الاحمال الهندسية اثناء ومابعد اقامة المشاريع الهندسية ويلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى اخذ العينات الصخرية لدراسة الخصائص الفيزياوية والهندسية حقليا ومختبريا والتي تساعد في التنبوء بالاخطار المستقبلية ووضع الحلول لدرء المخاطر كما طور المختصون تقنيات حديثة تتمثل بنصب المجسات والاجهزة المختلفة في المناطق غير المستقرة كمجسات قياس المحتوى المائي واجهزة قياس الضغط وميل الطبقات ومحطات المراقبة المناخية بالاضافة الى اجهزة الاستشعار عن بعد واستخدام الاقمار الصناعية واجهزة الرصد الزلزالي وانظمة المقاومة النوعية الكهربائية وغير من الوسائل التي توفر مراقبة مستمرة للمواقع وتوفر للمعنيين تقارير مفصلة عن الاخطار الآنية والمستقبلية.