

الانزلاقات والانهيارات والفيضانات



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م





ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

الانزلاقات والانهيارات والفيضانات. / عبدالله بن محمد سعيد

العمري - ط١ - الرياض، ١٤٤٣هـ

٢٠٢ ص ، ٢١،٥ X ٢٨

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٤-١٨٠٦-٠

١ - الكوارث الطبيعية ٢ - الفيضانات أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٣ / ١٢٦٢٠

ديوي ٩٠٤،٥

رقم الإيداع ١٤٤٣ / ١٢٦٢٠

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٤-١٨٠٦-٠

حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ فِي الْأَرْضِ آيَاتٌ لِلْمُوقِنِينَ ﴾

[سورة الذاريات : آية 20]

﴿ And on the Earth are Signs for
Those Whose Faith is Certain ﴾



موسوعة العمري في علوم الأرض





مهمتك

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي خمسة أجزاء رئيسية:

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| تقدير عمر الأرض | التركيب الداخلي للأرض |
| شكل الأرض وحركاتها | المعادن والتعدين |
| الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها | المد والجزر |

الجزء الثاني من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- | | |
|---------------------|------------------------|
| موجات التسونامي | البراكين وسبل مجابقتها |
| الزلازل والتفجيرات | جيولوجية القمر |
| تقييم مخاطر الزلازل | الأغلفة المحيطة بالأرض |





الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| الانزلاقات والانهيارات والفيضانات | المشاكل البيئية وحلولها |
| الأمطار والسيول والسدود | التغيرات المناخية والاحتباس الحراري |
| التصحّر والجفاف | التشجير: التحديات والحلول |

الجزء الرابع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبيياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- | | |
|---|-------------------------|
| الجيوفيزياء النووية | مستقبل الطاقة في عالمنا |
| الجيولوجيا الطبية | الطاقة الحرارية الأرضية |
| دليل كتابة الرسائل الجامعية والنشر العلمي | هل إنتهى عصر النفط؟ |

أما **الجزء الخامس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

321 سؤال وجواب في تطور الأرض	
358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد وال GIS	
358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية	
380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية	
303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازل الهندسية	
300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية	

المؤلف





مقدمة

لقد أدى نمو السكان والاتصالات والاعتماد المتبادل بين البلدان إلى زيادة حدة تأثير الكوارث الطبيعية. لم تنتشر المصائب والبؤس على نطاق واسع فحسب، بل زاد الإدراك أنه من خلال الدراسة العقلانية والتبصر يمكن فعل الكثير للتخفيف من هذه المخاطر على الحياة والرفاهية الاجتماعية.

إنّ الذين يرغبون في التخفيف من المشكلات البيئية يجب أن يواجهوا بشكل مباشر تعقيد البيئة الطبيعية والقوى الاقتصادية والافتقار لنماذج نظرية شاملة وقابلة للتتبع (حتى مع أجهزة الحاسوب الحديثة). ففي كثير من الأحيان، إذا أحكمنا قبضتنا في مكان ما، فإننا نفقد سيطرتنا على مكان آخر، كما هو الحال مع حاجز التحكم في الفيضانات الذي يسمح بالتطوير السكني في سهل فيضي في اتجاه مجرى النهر، ولكنه قد يزيد من الخطر إذا فشل الحاجز من خلال اهتزاز الزلزال أو حدوث تصدع.

تجرى حالياً دراسة مستفيضة للمخاطر الجيولوجية في أجزاء كثيرة من العالم. في السنوات القليلة الماضية، كانت هناك سلسلة من المؤتمرات الخاصة، الوطنية والدولية، حول جوانب هذا الموضوع. قامت اليونسكو -على سبيل المثال- برعاية مؤتمرات حول كل موضوع يتعلق بالمخاطر والكوارث الطبيعية تقريباً،





من **تحفيز الزلازل** عن طريق المياه المحتجزة خلف السدود الكبيرة، إلى أنظمة الإنذار المبكر لأمواج **تسونامي**.

لقد صار واضحاً أن العرض التقليدي **لمفهوم المخاطر** وعملية اتخاذ القرار بشأن الحد منها للجمهور غير مناسب تماماً للمتطلبات الأكثر حدة للظروف الحالية. فصار وضع بيانات غير كمية حول **(أقصى قدر ممكن)**، و **(موثوق)**، و **(مسموح به)**، وما إلى ذلك، **هزيمة ذاتية**. إن التهرب من الأساس **الإحصائي** الحقيقي **للمخاطر**، تحت غطاء إما ازدياد الإحصائيات أو الاعتقاد بأن الجمهور لن يقبل الاحتمالات العقلانية، هو بالتأكيد ليس له ما يبرره. ولكن عندما تُعالج أسئلة تتعلق **بتوازن المخاطر** بشكلٍ مقبول، فإننا سنعثر على طرائق أكثر واقعية لتقييم المخاطر واتخاذ القرار؛ لذلك يجب أن يكون الباحث الجاد عن **المخاطر الجيولوجية** على درايةٍ بالطرائق الإحصائية.

ترتبط الأخطار الطبيعية بعمليات اليابسة والمحيطات والغلاف الجوي، وتأثيراتها في **المجتمعات البشرية**. على مرّ **السنين**، زادت التفاعلات بين الأرض والمحيطات والغلاف **الحيوي** والغلاف **الجوي**، ويرجع ذلك أساساً إلى النمو السكاني والأنشطة البشرية، التي أثرت في المناخ وظروف الطقس على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

بسبب النمو السكاني، أدت التغيرات في استخدام الأراضي والغطاء الأرضي والموارد الطبيعية تحت الأرض، والإجهاد في الموقع، و**ضغط المسام**، والعاكسية السطحية إلى أنواع مختلفة من المخاطر الطبيعية المرتبطة بالأرض **(كالزلازل، والبراكين، والانهارات الأرضية، والهبوط، والتصحر، والجفاف)**، والمحيطات





(كالأعاصير، وتكاثر الطحالب الضارة، وأمواج التسونامي) والغلاف الجوي (كالبرق، والعواصف الترابية).

تؤثر الأخطار الطبيعية بشكل كبير في حياة الإنسان وصحته في نطاقات زمانية مكانية مختلفة ولها أيضاً تأثيرات اجتماعية واقتصادية. في السنوات الأخيرة، جرى استخدام بيانات الأقمار الصناعية على نطاق واسع من قبل العديد من البلدان المتقدمة والنامية، في محاولة منها لتحسين فهم وتوصيف العمليات الأساسية المختلفة التي تؤثر في الأخطار الطبيعية، وإجراء تقييمات الأثر ذات الصلة.

كما بُذلت جهود لإطلاق بعثات أقمار صناعية مخصصة لرصد الأخطار ودراسة التغيرات في بارامترات الأرض والمحيطات والغلاف الجوي. يستخدم الاستشعار عن بُعد بالأقمار الصناعية، بشكل عام، بشكل روتيني لجمع وتحليل البيانات العالمية والإقليمية لفهم عمليات نظام الأرض، التي تتراوح من السمات تحت السطحية إلى تكوين الغلاف الجوي العلوي.

سنقدم في هذا العمل وصفاً موجزاً للأخطار التي يتم تصنيفها في الزمن الحاضر على أنها جيولوجية مثل: الانزلاقات، والانهيارات الأرضية، والفيضانات، وسنتكلم عن الحلول الممكنة لمواجهتها.





الانزلاقات والانهيارات الأرضية

الانهيارات الأرضية Landslides هي واحدة من أكثر الأخطار الطبيعية الكارثية التي تحدث في جميع أنحاء العالم، وتتسبب في أضرار هائلة على كل من الأرواح والممتلكات كل عام. يوجد أنواع عديدة الانهيارات الأرضية، مثل (الانقلاب أو الانزلاق أو التدفق أو الانتشار) حسب أنواع الآليات المعنية التي تحدث بها، وقد تكون على مستويات مختلفة (محلية أو متوسطة أو كبيرة) وأوقات انتشار مختلفة (تتراوح بين بضع دقائق و بضعة أيام).

بشكل عام، تعتمد آليات الانهيارات الأرضية على معايير بيئية مستقلة (عوامل التكيف)، مثل مادة الانحدار والظروف الجيومورفولوجية (مثل الصخور أو التربة أو الحشو الاصطناعي) والعوامل المسببة.

هذه العملية تخلق حركة لأسفل وخارج مادة المنحدر. في السنوات الأخيرة، تم إجراء عدد من الدراسات المتعلقة بتطوير نهج النمذجة المتقدمة في مخاطر الانهيارات الأرضية ونمذجة المخاطر. وقد صارت مقاربات النمذجة التنبؤية Predictive Modelling هذه موضع اهتمام كبير للمهندسين المهنيين، وكذلك للمجتمع والإدارات المحلية.

تتداخل الانزلاقات الأرضية والاستيطان الأرضي والانهيارات على نطاق واسع ومستمر في أنشطة الإنسان. يتراوح المقياس بين المنحدرات التي يبلغ حجمها بضعة أمتار، مما يسبب إزعاجاً طفيفاً، إلى الانزلاقات أو الانهيارات الجليدية العملاقة النادرة، التي يبلغ حجمها كيلومترات، مما يؤثر في عدد كبير من السكان.





نظراً لأن خصائص التربة أو الصخور أو الجليد المتشابهة تؤدي دوراً في كل عملية على جميع المستويات، فسيجري وصفها معاً هنا، مع الإشارة الرئيسية إلى الانزلاقات.



تحدث الانزلاقات الأرضية على منحدرات في مجموعة متنوعة من المواد الجيولوجية وتتطور من خلال مجموعة متنوعة من الآليات والأسباب. قد تسبب اضطرابات كبيرة في البلدات والمدن وأنظمة الاتصالات والهياكل الكبيرة بما في ذلك السدود والجسور.

نظراً لتنوع المواد والآليات والمعدلات المعنية، فإن ترتيب جوانب حركة الأرض يمثل تحدياً للمصنف بشكل طبيعي؛ ونتيجة لذلك، تم اعتماد العديد من مخططات التصنيف، وسنناقش عدد قليل من جوانبها الأكثر أهمية فيما يأتي.





• تصنيف الانهيارات الأرضية

1. حسب المادة

ربما يكون الاختلاف الأكثر وضوحاً بين أنواع الانهيارات الأرضية المختلفة هو طبيعة المادة المشاركة. تتكون بعض الانزلاقات بالكامل من مادة صخرية، والبعض الآخر من التربة فقط، والقليل منها عبارة عن خليط من الجليد والصخور والتربة.

من ناحية أخرى، إذا تشكل الانزلاق من بقايا صخرية ومعدنية، أي التربة، فيمكن وصف نوع التربة. قد تتكون من مواد دقيقة الحبيبات مثل الطين، أو قد يتكون الانزلاق من مواد خشنة، ورمال، وحصى، وما إلى ذلك؛ وقد تكون كتلة التربة نفسها جافة أو مشبعة أو متجانسة أو ذات طبقات.

طريقة التصنيف هذه ليست كافية في حد ذاتها؛ لأن ميكانيكا الانزلاق الصخري أو حركة التربة ليست متضمنة في وصف مادة الانزلاق وحدها. لفهم ما حدث، من الضروري معرفة شيء أكثر عن نوع المادة. السرعة هي المعيار الأساسي الإضافي الواضح.

2. حسب السرعة

لاعتبر التآثيرات في الأشخاص والأعمال الهندسية، فإن السرعة التي يتطور بها الانهيار الأرضي ويتحرك هي الميزة الوحيدة الأكثر أهمية. تتوفر دفاعات قليلة ضد الحركات السريعة، وبالتالي، غير المتوقعة بشكل عام، التي تؤدي في كثير من الأحيان إلى الأضرار والإصابات.





نادراً ما تتسبب الانهيارات الأرضية - التي تتحرك ببطء شديد على مدى فترات تتراوح بين شهور وسنوات - في وقوع إصابات وقد تكون عرضةً للتدابير الاحترازية. يمكن أن تحوّل ترتيبات تقسيم المناطق دون إقامة الهياكل غير المناسبة؛ لإعادة توجيه الطرق السريعة والمرافق.

بالإضافة إلى ذلك، عادة ما ترتبط سرعة الحدث بإمكانية التنبؤ به؛ على سبيل المثال، عادةً ما تتشكل الشقوق الأولية وتتسع على مدى فترة زمنية مشيرةً إلى حدوث انهيار أرضي في المستقبل.

ولكن في المناطق الأقل استقراراً، قد تحدث حتى الشقوق الأولية بسرعة كبيرة، أو في مثل هذه المواقع التي يتعذر الوصول إليها، بحيث لا يلاحظها أحد قبل حدوث حركة عنيفة. في حالة حركات الأرض التي تتطور ببطء، قد يكون تشوه الهياكل الهندسية وخصائص سطح الأرض واضحاً بشكل متزايد قبل حدوث الحركة الرئيسية. في الحالة الأخيرة، يمكن إخلاء الهياكل أو يمكن ترتيب الالتفافات لأنظمة الاتصالات قبل أن تتمزق.

ومع ذلك، حتى عندما تكون الحركة الأرضية النهائية بطيئة نسبياً، فقد تشكل، إذا حدثت على نطاق واسع بما يكفي، مشكلة هندسية رئيسية، وربما لا يمكن حلها. في الزمن الحاضر، ترتبط قابلية حل معظم المشكلات الهندسية فقط بالتكلفة والاعتبارات السياسية، كما أن تكلفة التحقيق الميداني والمعالجة العلاجية لحركة جماعية تتطوي على أحجام تصل إلى آلاف الأمتار المكعبة من التربة كبيرة.



في حالة الانهيار الأرضي البرتغالي بيند في مقاطعة لوس أنجلوس، كاليفورنيا، على سبيل المثال، فإن الحركة الأولية التي بلغت نحو 10 أمتار والتي حدثت في عام 1956، تبعها زحف مستمر لمساحة 2 أو 3 كيلومترات مربعة من سطح الأرض بمعدل عدة أمتار في السنة منذ ذلك الزمن. جرى التحقيق في آليات الحركة ببعض التفاصيل، وكانت تكلف الإجراءات حتى توقفت الانزلاق نحو 10000000 دولار، وقد وجدت الحكومة المحلية حينها غير مقبولة لتحقيق الاستقرار في منطقة سكنية إلى حد كبير. وبالتالي، استمر الانهيار الأرضي البرتغالي في التحرك.

ترتبط سرعة الانهيار الأرضي بالسلوك المادي وآلية تكوينه. على سبيل المثال، عادة ما تكون الزلازل مصحوبة بانهيارات أرضية وانهيارات صخرية في التضاريس الجبلية. في التضاريس شديدة الانحدار أو غير المستقرة (التي، من خلال العلاقات التكتونية المترابطة، عادة ما تكون مناطق زلزالية عالية)، قد تكون هذه الانزلاقات الأرضية الناتجة عن الزلازل هي العامل الرئيسي لتعديل سطح الأرض.

في زلزال سان فرناندو بولاية كاليفورنيا عام 1971، تشير التقديرات إلى حدوث عدة آلاف من الانهيارات الأرضية والصخرية في جبال سان غابرييل المجاورة. كانت الانهيارات الصخرية والانزلاقات أيضاً سمة مهمة لزلزال إينانغاهوا في نيوزيلندا في عام 1968.

عملية التوليد الأخرى هي التآكل السريع لإصبع منحدر بواسطة نهر أو أمواج البحر، مما قد يؤدي أيضاً إلى حدوث حركة أرضية سريعة. بصرف النظر عن السبب المباشر أو المحفز، تحدث حركات أسرع على المنحدرات





شديدة الميول وترتبط عموماً بالصخور بدلاً من التربة بسبب الخصائص الأكثر **هشاشة** للصخور. في ظل ظروف معينة، يمكن للتربة أيضاً أن تظهر هذا السلوك وتطور سرعات عالية جداً.

من الملائم تصنيف **سرعات الانهيارات الأرضية** المختلفة من حيث الزمن المتاح للأشخاص **لإيوائهم**، أو اتخاذ إجراءات علاجية ضد الانزلاق. من الواضح أن هذا الأمر **مرتبط بحجم الحدث**. بشكل عام، تحدث **الانهيارات الأرضية** السريعة أو **الانهيارات الصخرية** خلال ثوانٍ إلى دقائق؛ يمكن **تحجيم** معدلات الحركة المتوسطة في غضون دقائق إلى ساعات، وتتطور **الانهيارات الأرضية** البطيئة، وتتحرك في **فترات** تتراوح بين **أيام وسنوات**.

ومع ذلك، إذا حدث انزلاق أرضي صغير جداً بطول بضعة أمتار في زمن يمتد لبضع دقائق، فإن معدل الحركة من وجهة نظر **الإنسان** يمكن اعتباره من بطيء إلى متوسط. يصعب **الهروب من الانهيار الأرضي** الذي تبلغ أبعاده **مئات الأمتار إلى الكيلومترات** حتى لو حدث خلال فترة من **دقائق إلى ساعات**، وبالتالي فإن **مثل هذا الحدث** الكبير يتطلب تصنيفاً سريعاً مع أن سرعة المواد كانت **بطيئة نسبياً**.

أحد المكونات المهمة للانهيارات الأرضية والمتعلق بسرعتها هو المسافة التي يتقدم بها **الانزلاق** قبل أن يستقر. هذا يؤدي إلى طريقة أخرى لتصنيف **الانزلاقات**.

3. حسب الانزياح

لقد ظهرت في الطبيعة مجموعة واسعة من **أبعاد الانزلاقات**. وهي ترتبط بشكل **طبيعي** بحجم الحدث، ولكنها **تعتمد** أيضاً على كتلة المادة والسرعة التي





تصل إليها. حتى **الانزلاقات** الصغيرة نسبياً قد تقطع مسافة عشرات إلى مئات الأمتار إذا كان هناك ماء كافٍ لتحويل الكتلة المنزلقة إلى سائل.

في المناطق القاحلة، تحدث هذه **الانزلاقات** الأرضية في كثير من الأحيان بسبب **العواصف** المطيرة شديدة الكثافة **المفاجئة** التي تشبع الطبقات الرقيقة من التربة على المنحدرات **الشديدة** وتولد تدفقات من الطين. يمكن أن يؤدي تراكم المواد على رؤوس الأخاديد **المغمورة** في النهاية إلى **ظروف** غير مستقرة تتطور فيها **الانهارات الأرضية** تحت **سطح البحر**.

في بعض الحالات، تصير حركة الكتلة **المنزلقة** عنيفة لدرجة كافية لحبس المياه المحيطة بحيث تقل **كثافة** الكتلة. يتغير شكل **الانزلاق** في النهاية إلى تدفق **سائل** أكثر كثافة إلى حدٍ ما من الماء المحيط.

هذه **الانزلاقات**، التي تسمى **تيارات العكر Turbidity Currents**، تشكل آلية **مهمّة لتحريك** الكتلة تحت الماء، ويُعتقد أنها تطورت أثناء الزلازل في العديد من المناطق البحرية ذات المواد غير المستقرة. تتسبب **الانزلاقات** عادة في كسر الكابلات **الموجودة** تحت سطح البحر بعد **الزلازل**.

غالباً ما تؤدي السرعة العالية **للتربة** تحت الأرضية **والانزلاقات** الصخرية التي طورتها **الزلازل** في **تضاريس** مناسبة إلى عمليات **الانزياح** كبيرة جداً لمواد **الانزلاق**.

مرة أخرى، يمكن أن يتسبب اضطراب الحركة الأولية في انحباس الهواء أو الماء كسوائل **مسامية** في المادة الساقطة، مما يعطي الحركة طابع التدفق، بدلاً من **انزلاق** مادة صلبة. وإذا حدث **مثل** هذا **التدفق** على **سفح** جبل شديد





الانحدار عند رأس وادي أو بالقرب منه **لا يقدم** عائقاً ضئيلاً أو لا يوجد أي عائق أمام الكتلة المتساقطة، فقد يسافر **كيلومترات** حتى عندما يحوي على نسبة عالية من المواد الصلبة، كما حدث في **ألاسكا** خلال **زلزال عام 1964** وفي **بيرو عام 1970**.

حتى الكميات الصغيرة جداً من الحركة في كتلة منزلقة من التربة أو الصخور يمكن أن تسبب صعوبات كبيرة في **الهندسة** أو **البناء**. عند إعداد جوانب الوادي لتشكيل **دعامات للسد**، قد تكون الكسور أو المفاصل أو طبقات القاع في الصخر بحيث تحدث **حركات لبضعة سنتيمترات** عندما تتكيف الصخور أو التربة مع ظروف **الإجهاد الجديدة**.

يوفر فتح المفاصل مساراً لتدفق المياه المحتمل عند اكتمال **الهيكل**. عند ممارسة التحكم الدقيق في **البناء الهندسي**، عادة ما تلاحظ هذه الحركات ويجب على **المهندس المسؤول** أن يقرر ما يجب فعله: ما إذا كان يجب إزالة الكتلة المنزلقة واستبدالها بمادة مائة **محضرة** من التربة أو **الخرسانة**، أو ملء الشقوق بالخرسانة ومادة غير **منفذة** من **الطين** أو **الجبص الخرسانى**.

حدثت حركة صغيرة جداً خلال الاستعدادات لبناء **خزان بالدوين هيلز** في **كاليفورنيا** في عام **1950**؛ لم تُحفر الكتلة **المتحركة** ولكن جرت محاولة لسد الفواصل المفتوحة. تعتبر **الشقوق** المفتوحة التي بقيت بلا شك سبباً مساهماً في فشل **السد** في عام **1963**.





4. حسب آلية الحركة

بشكل عامّ، في **الانهيار الأرضي**، يمكن تمييز الكتلة المنزلقة للمادة بوضوح عن الصخرة الأساسية الثابتة أو طبقة التربة الثابتة التي لا تشارك في الحركة.

يوجد سطح انزلاق أو قص تحدث عبره عمليات الانزياح، ولكن في بعض الأحيان، عندما يكون للتدفق طبيعة **سائلة** شديدة اللزوجة، قد يكون من الصعب اكتشاف طبقة **انتقالية** مميزة. بدلاً من ذلك، قد **تضمحل** الحركة تدريجياً مع العمق. أول هذه الأنواع من الحركات هو **الانزلاق**، والثاني هو **التدفق**.

اعتماداً على طبيعة المادة التي تشارك في **الانزلاق** أو التدفق ووجود المفاصل أو الشقوق فيها، قد تتخذ **الكتلة المتحركة** أحد الأشكال الهندسية المتعددة؛ أبسطها هو المكان الذي تحوي فيه مادة **الانزلاق** على أبعاد **جانبية** وطولية كبيرة إلى حد ما مقارنةً **بسمكها**.

الخصائص الطبوغرافية والمواد لسطح الانقطاع الذي يحدث فيه الانزلاق أو التدفق هو مستوٍ أساساً، وفي هذه الحالة، تكون **الحركة** نقلاً لكتلة أو كتل من مادة **المنحدر**.

في **بعض الأحيان**، يجري تضمين كتلة متحركة واحدة فقط إذا كان السطح **المنزلق** الأساسي مسطحاً بالفعل. في ظروف **طبيعية** أكثر، يكون السطح المنزلق غير مستوٍ، وتتسبب **التموجات** الموجودة فيه في تفكك الكتلة **المنزقة** إلى عدد من الكتل **المفصولة** عن بعضها بعضاً عن طريق **الشقوق** أو مستويات **القص**.



قد يبدأ **الفشل** عند مقدمة المنحدر، ربما عن طريق التآكل، بحيث تنزلق الكتلة أولاً عند **إصبع المنحدر**، وبالتالي فإن إزالة تأثير **التثبيت** في الكتل الصاعدة، والتي قد تتحرك بعد ذلك في المنحدر، تكون متعاقبة. يسمى هذا النوع من **فشل المنحدر**، والذي يحدث في أشكال **متنوعة**، بالفشل التدريجي **Progressive Failure**، وقد يحدث إما **ببطء** أو **بسرعة**.

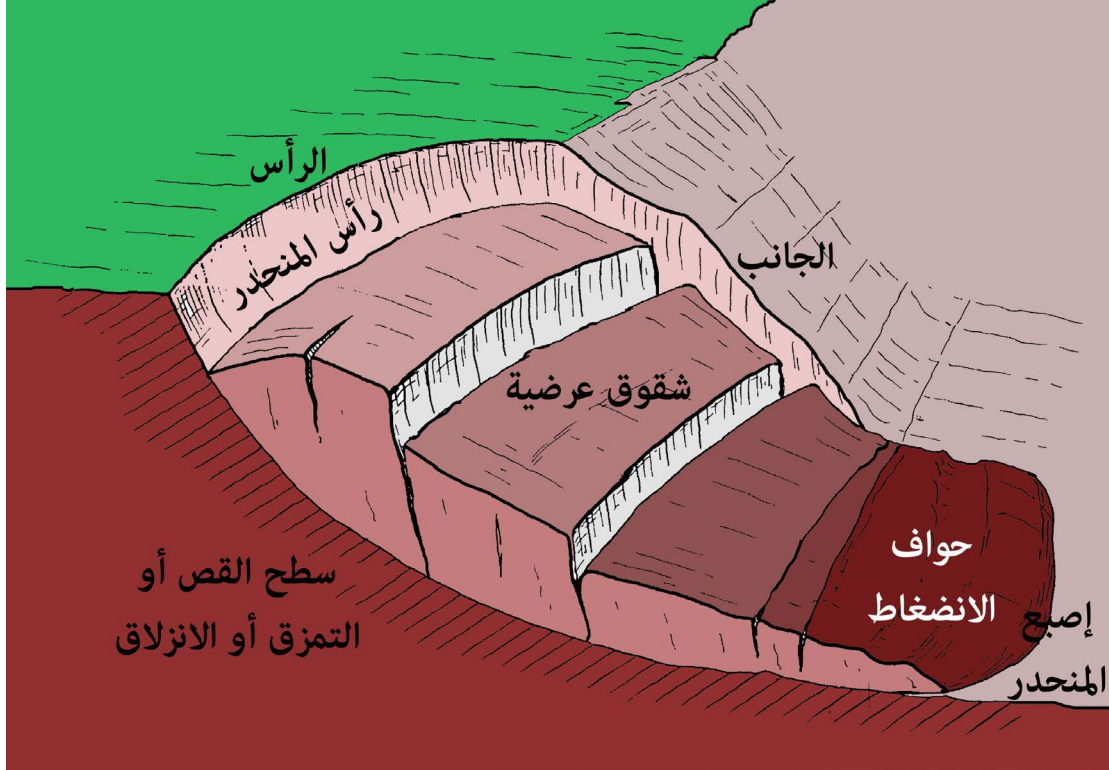
في الكتل **المتجانسة** نسبياً من التربة ذات الحبيبات الدقيقة في المنحدرات ذات المدى المحدود، يكون شكل مختلف من الآلية أمراً شائعاً. هنا، يكون السطح المنزلق أسطوانياً أو كروياً تقريباً وتدور الكتلة المنزلقة للمادة أثناء الانهيار.

بشكل عام، يمكن العثور على مركز تدور حوله الكتلة. في التربة والصخور التي تحوي على أنظمة معقدة من الأسطح المشتركة والشقوق، قد تتشكل مجموعات من الأسطح **المنزقة**، بما في ذلك أجزاء من المكونات **المختلفة** لنظام المفصل.

وهكذا، فإن **سلسلة** من المفاصل التي تقع أساساً في مستو أفقي، **تتقاطع** مع المفاصل **بزاوية** شديدة الانحدار على المستوي الأفقي، وقد تؤدي إلى ظهور كتلة **منزقة** يتحرك فيها جزء ما أفقياً، في حين **يتحرك** الحجم الأعلى من المادة لأسفل على طول أكثر المفاصل **العمودية**.

في ظل هذه الظروف، يجب أن يتطور مستوى قص آخر بين **جزء** الكتلة **المنزقة**. في المواد التي قد توجد فيها أنماط اتصال أقل **وضوحاً**، أو في المواد متباينة الخواص (**أي أن خصائصها الفيزيائية مختلفة في اتجاهات مختلفة**) يمكن أن تتطور أسطح منزقة معقدة جداً.





مقطع عرضي لانهييار أرضي نموذجي مع معالنه.

عندما يكون الانتقال بين الكتلة المنزلة والمادة الأساسية المستقرة أقل وضوحاً، فإن هذه الحالة هي حالة تدفق المواد **Material Flow** التي لها خصائص تدفق السوائل، وفي هذه الحالة تتضاءل السرعة والانزياح تدريجياً من السطح مع العمق. إذا كان التدفق يحدث ببطء شديد، فإن تلك الحالة يشار إليها باسم الزحف **Crawling**، وهي ظاهرة شائعة جداً، ربما تحدث في كل منحدر في العالم. تكون الحركة غير محسوسة في غالبية هذه الحالات ما لم تُجر قياسات دقيقة جداً.





عندما تشكل الصخور الهشة المفصلية منحدرًا شديد الانحدار، فإن نتيجة انهيار الصخور ستكون السقوط بدلاً من الانزلاق؛ أي أن الكتلة الساقطة للمادة تفقد الاتصال المتماسك مع القاعدة الثابتة غير المتحركة، وقد يقع كل أو جزء من الانزلاق بحرية تحت تأثير الجاذبية.

يحدث هذا مع الصخور بدلاً من التربة، (مع أن الاصطدامات بين الكتل الصخرية تقلل المادة إلى كتلة حبيبية) وبالتالي يُشار إليها باسم السقوط الصخري **Rock Fall**. حدثت عدد من الكوارث مثل كارثة إلم Elm في سويسرا عام 1881، وجبل السلاحف **Turtle Mountain** في ألبرتا، كندا في عام 1903 بسبب مثل هذه الانهيارات الصخرية.

بدون تضمين الكثير من التفاصيل، غالبًا ما يكون نظام التصنيف المبسط مفيدًا في تحديد أسباب حدوث انهيار أرضي معين، أو في تقييم احتمال انزلاق منحدر تل أو صخري.

في بداية الثمانينيات، قدم الباحث فارنز تقريراً تقنياً عن تقييم الانهيارات الأرضية التي تتناول مصادر تصنيف **الانهيارات الأرضية**. من الناحية الفنية، تكون **الانهيارات الأرضية** نتيجة للأنشطة البيئية أو البشرية أو مزيج من كليهما، وتتوسع مواد **الانهيارات الأرضية** من الصخور والتربة إلى المواد المختلطة التي تتحرك إلى أسفل على المنحدرات بسبب الجاذبية.

في البلدان الاستوائية مثل ماليزيا، تحدث معظم حالات فشل المنحدرات بسبب الفترات الطويلة من هطول الأمطار الغزيرة. تتسبب هذه الحالة في ارتفاع ضغط الماء في المسام على سطح المنحدر، مما يؤدي إلى زيادة الضغط.





ذكر الباحثون أن البيريت المعدن الشائع الموجود في الصخور يتأكسد بالأكسجين، ويتولد حمض الكبريتيك من هذه المنطقة المؤكسدة. حمض الكبريتيك المنتج، الذي يمكنه إذابة المواد الأساسية (مثل الكالسيت، والزيوليت، والزجاج البركاني)، يجعل بنية الصخور ضعيفة جداً ويؤدي إلى عدم استقرار المنحدر.

من خلال تحليل المتغيرات البيئية الموضوعية (عوامل التكيف **Conditioning Factors**) للانهيارات الأرضية التي حدثت سابقاً، أمكن التنبؤ بالانهيارات الأرضية المستقبلية للمناطق التي لها ظروف **جغرافية** وجيولوجية وبيئية متشابهة. ومع ذلك، فإن التنبؤ بالانهيارات الأرضية ليس بالمهمة السهلة.

تقسم منطقة مخاطر الانهيارات الأرضية (LHZ) Landslide Hazard Zonation سطح الأرض إلى مناطق حساسة وتصنفها وفقاً لدرجة تأثير الخطر الفعلي. يجري رسم خرائط القابلية للانهيارات الأرضية عموماً بواسطة نماذج إحصائية أو تقليدية أو إرشادية أو حتمية.

يعتمد تحليل هذه الأساليب على بعض العوامل الرئيسية، أي توافر البيانات والدقة المكانية وحجم البيانات والتعقيد. قام الباحثون بتحديد بعض هذه الأساليب التحليلية وتوضيحها وتصنيفها بناءً على:

1. تحليل الأخطار النسبية، الذي يقارن الأخطار الحالية بالمخاطر المماثلة السابقة.
2. المخاطر المطلقة، أي عوامل السلامة.
3. المخاطر التجريبية، أي تحليل المنحنى بناءً على عدة عوامل، مثل ارتفاع المنحدر وزاويته، اعتماداً بشكل أساسي على التحليل الجيوتقني واستنتاجات العمل المعملية.



4. **مراقبة المخاطر**، والتي تقارن بين عوامل التحفيز والتعرية باستخدام بيانات موقع الانهيار الأرضي التاريخي. بالإضافة إلى ذلك، يجب التحقق من النموذج أو البيانات المستخدمة من حيث الدقة والموثوقية.

بدء تحليل فعال لحساسية الانهيارات الأرضية، يوجد حاجة إلى بيانات مختلفة:

1. **جرد كامل** للانهيارات الأرضية الذي يحوي على تفاصيل حول الموقع المكاني وتاريخ وزمن حدوثه وأنواعه.

2. **المتغيرات البيئية الموضوعية** (مثل الجيولوجيا، والجيولوجيا المائية، والعوامل الجيومورفولوجية).

3. **متانة المواد الجيولوجية**.

4. **تقارير ومسوحات ميدانية**.

5. **العوامل المسببة**، مثل: سجلات هطول الأمطار والزلازل التاريخية؛ على سبيل المثال، أوضح الباحثون وجود العديد من سيناريوهات الحركة الجماعية الناتجة عن الأمطار الغزيرة والزلازل على منحدر جيومورفولوجي طبيعي أو حشوة اصطناعية.

التنبؤات هي نتيجة أساسية لجميع النماذج ويجب تقييمها علمياً. بشكل عام، يوجد طريقتان معتمدتان للتحقق من صحة نتائج التنبؤات: الصمود الزمني والصدوم الفراغي. يمكن رسم النتائج بيانياً باستخدام منحني خاصية تشغيل المستقبل **Receiver Operating Characteristic (ROC)**، الذي يتكون من منحنيات معدل النجاح ومعدل التنبؤ.





في **ماليزيا** الاستوائية مثلاً، يتسبب التطوير المستمر والتحضر وإزالة الغابات وتآكل كتل التربة بسبب العوامل الجوية في تهديدات خطيرة لاستقرار المنحدرات وفقدان الأرواح والممتلكات. حيث يؤدي **هطول** الأمطار الغزيرة إلى إضعاف استقرار الصخور المتحولة، والتي تعدّ حجر الأساس الرئيسي في هذه المناطق. علاوة على ذلك، في السنوات الأخيرة، زادت درجة إزالة الغابات بشدة بسبب الأنشطة الإنشائية التي تسببت في تآكل شديد للتربة في اتجاه مجرى النهر. للتغلب على مشكلة **الانهيار الأرضي**، يجري تجنب التحضر وتخطيط الإنشاءات في **التضاريس** الطرية. في هذا السياق، تعد الخريطة الوطنية لتقسيم مخاطر **الانهيارات الأرضية** شرطاً أساسياً للمساعدة في **صنع القرار**. لزيادة تعزيز هذه المبادرات، يجري أيضاً تطوير أنظمة الكشف عن **الانهيارات الأرضية** ومراقبتها لاتخاذ **تدابير التخفيف** في الزمن المناسب.

• أنواع الانهيارات الأرضية

تصنف الانهيارات الأرضية على أساس الحركة وحجم الكتلة التقديري، الذي يُحسب بناءً على شكل وهندسة **منطقة** الانفصال ومنطقة الترسيب.

أشار الباحثون إلى أهمية صور الأقمار الصناعية التي توفر ثروة من المعلومات حول الخصائص **المورفولوجية** والمظهر المرتبط بالعمر والنشاط والعمق والسرعة. تُصنّف أنواع **الانهيارات الأرضية** وفقاً للأنواع المختلفة للحركات الجماعية أو حالات **فشل المنحدرات** إلى:

❖ **الانزلاقات الأرضية السريعة الضحلة (الانزلاقات الحطامية والانهيارات الجليدية والتدفق):** وهي ناجمة عن هطول أمطار غزيرة من عاصفة ضخمة واحدة بالإضافة إلى فترات ذوبان الثلوج الطويلة والسريعة.





- ❖ **الانهيارات والتدفقات العميقة السريعة:** وهي فشل سريع ناتج عن حالة فردية من الأمطار الشديدة أو حدث مطر ممتد مع عاصفة كبيرة، **مثل** انفجار سحابة مفاجئ يصل إلى 100 ملم / ساعة أو أكثر، في بضع دقائق، وهو ما يكفي لإحداث فيضان.
- ❖ **عملية الترسيب البطيئة العميقة للانهيارات الأرضية (الانهيارات الأرضية وتدفقات الأرض والانتشار الجانبي):** وتسمى أيضاً عملية الزحف؛ حيث تبدأ العملية بسبب هطول الأمطار الممتدة وتستمر لعدة أيام أو أسابيع، حتى حركة نشاط حركة المنحدرات.
- ❖ **التدفقات والتشوهات البطيئة (زحف التربة وتدفق التربة):** هي الحركة الهبوطية للتربة المشبعة بالمياه، والناجمة عن التربة المشبعة بالمياه حيث إنها تتحرك ببطء إلى أسفل التل فوق طبقة غير منفذة.

1. بدء تقييم العامل

الانهيار الأرضي هو نتيجة التفاعل بين عاملين مهمين: العوامل المؤهبة والعوامل المحفزة، وهي العوامل التي يمكن أن تحدد احتمالية حدوث **الانهيار الأرضي**. إذ يمكن أن تتسبب العوامل المؤهبة في فشل المنحدر بسبب السرعة المنخفضة جداً والمدة الطويلة، حيث إنها تأخذ بعين الاعتبار معالم التضاريس، وتستخدم في تقييم القابلية للانهيارات الأرضية. قد تؤدي هذه العوامل، من خلال عمليات، **مثل**: إطلاق الإجهاد أو التجوية أو التآكل، إلى حالة **فشل المنحدر**.





أما العوامل المحفّزة، مثل: (أحداث هطول الأمطار، والذوبان الثلجي، والزلازل، والعواصف البحرية، والانفجارات السحابية) فهي المسؤولة عن الانهيار السريع للمنحدرات، بمستويات شدة مختلفة خلال **فترة زمنية قصيرة جداً**. اقترح **الباحث كاين** حدّاً معروفاً لهطول الأمطار جرى اشتقاقه من خلال تحليل مجموعة من **مجموعات البيانات** العالمية لشدة هطول الأمطار وفتراته. يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$I = 14.82D^{-0.39}$$

حيث I هي كثافة هطول الأمطار الحرجة **بالمليمترات** في الساعة و**D** هي مدة العاصفة (بالساعة).

وقد **خلص الباحثون** إلى أنه كلما طالت مدة المطر، قل متوسط كثافة هطول الأمطار. لسوء الحظ، يتعارض هذا التعبير مع نتائج الآخرين؛ لأنه لم يتم التحقق من صحته على نطاق عالمي.

في دراسة حالة **عتبة هطول الأمطار** المقدره **لمدينة كوالالمبور** والمناطق المحيطة بها، أكد الباحثون أنه ليس كل هطول الأمطار عالي **الكثافة** ينتج عنه انهيارات أرضية، ولكنه يعتمد على **نفاذية** مواد التربة التي تتراكم وتبدد ضغوط **المسام الإيجابية** في زمن قصير.

تمثل آلية **الانهيار الأرضي** درجة من الاستجابة لهطول الأمطار، حيث تؤدي الأمطار الشديدة وقصيرة الأمد في كثير من الأحيان إلى **انهيارات أرضية** ضحلة وتدفقات للحطام. عادة ما يبلغ عن العواصف المطيرة وذوبان الثلوج





على أنها عوامل تؤدي إلى **تساقط الصخور**، وبعد دراسة **ثمانية** زلازل في جميع أنحاء العالم، وجدت علاقة قوية بين **كثافة الكسر الصخري** والزلازل.

2. المراقبة

أنظمة المراقبة هي أدوات مُهمّة لفهم الجوانب الحركية لحركة المنحدرات. تختلف ظروف مراقبة المواقع (**المناطق الجبلية أو المكتظة بالسكان**) بتقنيات مختلفة للرصد. حيث تُستخدم **تقنيات الاستشعار** عن بُعد (RS) وأنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) حالياً بشكل شائع لتقييم **الانهيارات الأرضية** والتنبؤ بها والتخفيف من **حدتها** بدقة عالية.

أ- المراقبة القائمة على الاستشعار عن بُعد

تجمع نهج القائمة على (RS) معلومات أساسية حول **الانهيارات الأرضية**، والتي يمكن استخدامها في **التحليل** المكاني داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية. يوجد نوعان من **نهج** مراقبة **الانهيارات الأرضية القائمة على (RS)**: الطرق المباشرة وغير المباشرة. لكن الطرق **المباشرة** لها بعض **العيوب**:

1. **من الصعب معرفة** زمن الحركة الدقيق للانزلاقات كبيرة الحجم وعالية السرعة.
2. **تحتاج حركة الكتلة الصغيرة** إلى صورٍ عالية الدقة.
3. **توجد تكاليف عالية** وانقطاعات في البيانات بسبب الدقة الزمنية المنخفضة.





يصف نهج مراقبة (RS) غير المباشر التغييرات البيئية المتعلقة بأنشطة فشل المنحدرات، **على سبيل المثال**، تحديد المخاطر الإقليمية وعيوب البنية التحتية الناتجة عن الانحدار الشديد في المنحدر.

تقنية (RS) الفعّالة، التي تُنتج مصدر الطاقة الخاص بها، قادرة على اكتشاف وجمع التشتت الخلفي المنعكس من الهدف من خلال العديد من **التقنيات**، مثل رادار الفتحة **التركيبية التفاضلية (DInSAR)**، وطريقة المربعات الصغرى (LS)، وكشف الضوء والمدى (LIDAR)، وطريقة الانتثار الدائم (PS)، وطريقة المجموعة **الفرعية** لخط الأساس الصغير (SBAS). كل هذه **التقنيات** مناسبة للمناطق واسعة المدى، ويعد المسح بالليزر من أكثر **التقنيات** قبولاً وقوةً من بين الطُرق الأخرى.

يتكون المسح بالليزر من تقنيتين رئيسيتين: المسح بالليزر المحمول جواً (ALS) والمسح الأرضي بالليزر (TLS). تؤدي (ALS) دوراً مهماً في رسم خرائط **الانهيارات الأرضية** عن طريق زيادة دقة معالم **الانهيار الأرضي** للتعرف على الشقوق والمواد المزاحة. يمكن استخدام (ALS) جنباً إلى جنب مع **نموذج** الارتفاع الرقمي عالي الدقة (HRDEM) بهدف التحقق من صحة رسم الخرائط.

جرى تطوير تقنية (TLS) في التسعينيات، من خلال تطوير عداد المسافة الإلكتروني (EDM) وأدوات المحطة الإجمالية. **تقنية (TLS)** قادرة على توفير دقة تصل إلى سنتيمترات، ويمكن استخدامه للكشف عن فتح الشقوق، والاضطرابات الصوتية، والزلازل الصغيرة **Microseismicity** و / أو تشوه ما قبل **الفشل**.



اقترح الباحثون إجراء تكامل بين تقنيتي (ALS) و (TLS) للتغلب على بعض عيوب (ALS) المتعلقة بالمناطق المغطاة بالظل. المؤشرات الرئيسية لرصد الانهيارات الأرضية هي المعالم الجيولوجية الكبيرة، والانزياح الأرضي، والانزياح في الآبار والمياه الجوفية (ضغط المسام، منسوب المياه الجوفية وكيمياء المياه الجوفية).

ب - المراقبة الميدانية

لقد استخدمت العديد من طرائق المراقبة في الزمن الحقيقي لاكتشاف تحركات الانهيارات الأرضية الأولية وتقييم الانزياح. تعتمد هذه الطرائق بشكل عام على المبادئ الميكانيكية لحركة الكتلة قبل حدوث الفشل، مثل زيادة إجهاد القص الذي يتسبب في انخفاض قوة القص في مواد كتلة الحطام بسبب مستوى الماء المحاصر.

بعد ذلك، فحص الباحثون أربع طرق مختلفة من تقنية (RS) للتنبؤ بالانهيارات الأرضية، ووجدت أن الانهيارات الأرضية تحدث عندما تكون قوة الانزلاق أكبر من القوة المانعة للانزلاق.

هناك العديد من التقنيات المفيدة لمراقبة سطح الأرض واكتشاف حركات الانحدار الأولية والانزياح. تتنوع هذه التقنيات بين أنظمة المسح والمراقبة المستمرة، مثل: الشريط الدقيق، ومقاييس تمدد الأسلاك الثابتة، والانزياح من خطوط الأساس، وتثليث المسح، وعبور المسح، والتسوية الهندسية، و EDM، والمسح التصويري الأرضي، وقضيب فتحات الشقوق، وأجهزة قياس الدقة، والمسح التصويري الجوي، وتحديد المواقع العالمية نظام (GPS). كل تقنية لها درجة دقتها حسب المنطقة التي يمكن تغطيتها.





يعمل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) كنظام فعال لمراقبة الحركات الجماعية، التي يمكن استخدامها في إطار أداة فردية لأنها توفر نتائج دقيقة جداً. ناقش الباحثون العديد من تقنيات مراقبة (GPS) المتوفرة، مثل:

1. نظام (GPS) التفاضلي.
2. نظام (DGPS) الثابت أو ثابت السرعة (FS) وحركات الزمن الحقيقي Real Time Kinematics (RTK) بمستوى سنتيمتر من الدقة.
3. تقنيتا (EDM) و (GPS).
4. تقنيتا (GPS) و (InSAR).
5. محطات (GPS) ومقاييس الميل.
6. قياس انعكاس المجال الزمني (TDR).

توفر أدوات نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) دقة وإنتاجية أعلى من قياس التداخل ذي الخط الأساسي الطويل جداً (VLBI) أو نطاق الليزر عبر الأقمار الصناعية (SLR) أو التسوية الدقيقة أو المسح الجيوديسي.

تؤدي الهندسة تحت السطحية، وبخاصة سطح التمزق، دوراً مهماً في تحليل الانهيارات الأرضية. الملاحظات السطحية قادرة على إنتاج تقديرات نوعية فقط، لكن الآبار والتحليل الجيوفيزيائي قادران على توفير المزيد من النماذج الكمية للهندسة.





تعتبر طرائق حفر الآبار أكثر تكلفة وتتطلب استيفاء غير مؤكد بين الثقوب مقارنة بالتحليل **الجيوفيزيائي**. أيضاً، في بعض الحالات، تجعل وعورة التضاريس الطبيعية إجراء التحليل **الجيوفيزيائي** غير ممكن عملياً. نتيجة لذلك، يمكن رؤية المزيد من الأبحاث عن طريق المراقبة السطحية أكثر من التحليل **الجيوفيزيائي**.

هـ - رسم خرائط جرد الانهيارات الأرضية

إنّ الماضي هو مفتاح حدوث **الانهيارات الأرضية** في المستقبل. البيانات الحالية والتاريخية مطلوبة لتحليل **الانهيارات الأرضية**؛ لذلك يجري إعداد قائمة جرد **الانهيارات الأرضية** بشكل عامّ عن طريق تفسير خرائط الصور العظمية والصور الجوية، واستخدام الأساليب الجيومورفولوجية الميدانية القياسية.

ناقش الباحثون مجالات مختلفة في رسم خرائط جرد الانهيارات الأرضية، مثل:

1. يختلف تشكيل مدى ظاهرة **الانهيارات الأرضية** في المناطق التي بها مستجمعات المياه، من النطاق المحلي والإقليمي والوطني أو العالمي.
2. الخطوة الأولى نحو تقييم مخاطر **الانهيارات الأرضية**.
3. التوزيع بين أنواع **الانهيارات الأرضية** ذات الخصائص **المورفولوجية** و**الجيولوجية**.
4. مراقبة تطور المناظر الطبيعية التي تهيمن عليها عمليات الهدر الجماعي من المقاييس الكبيرة (1: 5000) إلى المقاييس الصغيرة (1: 500000).





بشكل عام، يجري إعداد خريطة جرد **الانهيارات الأرضية** إما بطريقة واحدة إما مجموعة من بعض التقنيات. يعتمد اختيار الطريقة على الأهداف والبيئة **الجيولوجية** لمنطقة الدراسة والخبرة وتوافر بيانات (RS)، **مثل**: الصور الجوية، والقمر الصناعي عالي الدقة، وبيانات الارتفاع (LIDAR).

استخدام صور الأقمار الصناعية لإعداد جرد **الانهيارات الأرضية**، الذي يحوي على معلومات حول الخصائص **المورفولوجية** للحركة ونوعها ومظهرها، **مثل** العمر والنشاط والعمق والسرعة.

أيضاً يعتبر الغطاء النباتي مؤشراً وأحد المعايير المهمة للكشف عن **الانهيارات الأرضية**، ولكنه ليس صحيحاً دائماً بسبب المنطقة وخصائص التربة وظروف الغطاء النباتي؛ في بعض الأحيان قد يخفي النمو السريع للنباتات ندبات **الانهيارات الأرضية** (بخاصة في المناطق الاستوائية). في الآونة الأخيرة، جرى تطوير العديد من التقنيات الجديدة التي يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات رئيسية:

1. التفسير المرئي (الكشف عن مجريات الأمور) للصور البصرية، بما في ذلك الصور الشاملة والمركبة والألوان الزائفة والصور شديدة الوضوح 'الدمجة' كتفسير مرئي لصور الأقمار الصناعية أحادية المجهر.
2. تحليل الصور متعددة الأطياف، بما في ذلك تصنيف الصور والكشف شبه التلقائي للانهيارات الأرضية وتغيير طرائق الكشف وطرائق عتبة الدليل وطرق التجميع.
3. تحليل صور (SAR) لقياس تشوهات السطح، والتصوير ثلاثي الأبعاد لصور الأقمار الصناعية المجسمة، والكشف شبه التلقائي لميزات **الانهيار الأرضي**





من تحليل (HRDEMs)، وتصنيف الصور الموجهة وتقنيات الكشف عن التغيير المتعدد للكشف شبه التلقائي عن الانزلاقات الأرضية.

أظهر الباحثون قدرة الكاميرات الرقمية عالية الجودة على تبسيط توثيق **الانهيارات الأرضية** بتكلفة منخفضة. ومع ذلك، نظراً لحدوث **الانهيارات الأرضية** في بيئات **جيولوجية** مختلفة (الجيولوجيا، والظروف الجوية، والمنحدرات)، فلا توجد منهجية أو بروتوكولات قياسية لرسم خرائط **الانهيارات الأرضية** لإعداد وتحديث خرائط **الانهيارات الأرضية**، مما يقلل من مصداقية خريطة الجرد.

• المتغيرات البيئية الموضعية للانزلاق الأرضي (عوامل التكيف)

للتنبؤ بخريطة المخاطر المستقبلية للمناطق المعرضة للانهيال الأرضي، يلزم تقديم تمثيلات مكانية مناسبة لعوامل التكيف. يجب على المرء أن يفهم نوع الفشل وخصائص منطقة الدراسة من أجل الحصول على اختيار دقيق ومحسّن لعوامل التكيف.

جرى استخدام عدد كبير من عوامل التكيف لرسم خرائط المخاطر، بينما بذل البعض الآخر جهوداً لاستخدام القليل من عوامل التكيف. ونوقشت بعض عوامل التكيف الرئيسية التي جرى استخدامها على نطاق واسع في دراسات **الانهيارات الأرضية**:

1. تُستخدم خرائط (DEM) عموماً لاستخراج عوامل جيومورفولوجية مختلفة، **مثل** زاوية الانحدار وجانب المنحدر وانحناء السطح وخشونة السطح واتجاه التدفق وتراكم التدفق. حيث إنّ زاوية الانحدار لها تأثير مباشر في استقرار المنحدر. ويؤثر جانب المنحدر بشدة في العملية الهيدرولوجية من





خلال التبخر. في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، يمرّ المنحدر المواجه للشمال بفترات أكثر تواتراً من الرطوبة والجفاف؛ لذلك، من المتوقع حدوث معدل أعلى من **الانهيار الأرضي** مقارنة بالمنحدر المواجه للجنوب. ويعد الارتفاع أحد أهم عوامل التكييف في توليد الحركات الجماعية، ولكن لا يمكن استخدامه بشكل فردي للكشف عن **الانهيارات الأرضية**.

2. تستخدم الخرائط **الجيولوجية** لاستخراج أنواع الصخور، وعمق خصائص التجوية، والانقطاعات، والبنية **الجيولوجية**، وعلاقة زاوية الانحدار، والمسافة من الأعطال النشطة، وبارامترات الصدع (طول الصدع). يمكن أيضاً اشتقاق عوامل أخرى، **مثل**: احتكاك الصقيع، وتجوية الملح، والضغط الحراري باستخدام عوامل التكييف هذه.

3. تُستخدم خرائط التربة لاستخراج أنواع التربة وعمق التربة وتوزيع حجم الحبوب والخصائص الهيدرولوجية، **مثل** حجم المسام.

4. البارامترات **الهيدرولوجية**، **مثل**: التوزيع المكاني لمنسوب المياه الجوفية، ورطوبة التربة، والتبخر، والتسرب، والتساقط (التوزيع المكاني والزمني للأمطار)، وشبكة المجاري المائية، والبعد من الصرف. السمات الرئيسية لهطول الأمطار التي يمكن أن تؤثر في **الانهيار الأرضي** هي إجمالي هطول الأمطار، والشدة على المدى القصير، وهطول الأمطار السابق (التوزيع المكاني والزمني للمطر) ومدة العاصفة. تعتمد غالبية نُظم التحذير في الزمن الفعلي على شبكة قياس عن بُعد لتسجيل مقاييس المطر.





5. تُستخدم خرائط **الجيومورفولوجيا** لاستخراج الوحدات **الجيومورفولوجية** والتصنيف التاريخي لعمليات البناء الرئيسية للأرض وجوانب المنحدرات.
6. تُستخدم خرائط استخدام الأراضي لرسم خرائط لأنواع الغطاء النباتي أو دليل الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI)، والمسافة من الطرق. حيث يزيد الغطاء النباتي الكثيف من استقرار التلال بطريقتين؛ أولاً، يساعد على إزالة رطوبة التربة من خلال عملية التبخر، وثانياً، يوفر شبكة تجذير تضيف رابطة تماسك لجزيئات التربة.
7. مزج **خريطين** أو أكثر: يمكن إنشاء مؤشر طاقة التدفق (SPI) باستخدام مجموعة من معلومات منطقة مستجمعات المياه وتدرج الميل. جرى استخدام مؤشر الرطوبة **الطبوغرافية** (TWI) على نطاق واسع لوصف تأثير التضاريس في موقع وحجم مناطق المصدر المشبعة لتوليد الجريان السطحي.
- لكن أظهرت الدراسات الحديثة أن استخدام عدد كبير من عوامل التكيف قد لا يؤدي إلى نتائج دقيقة وموثوقة.**

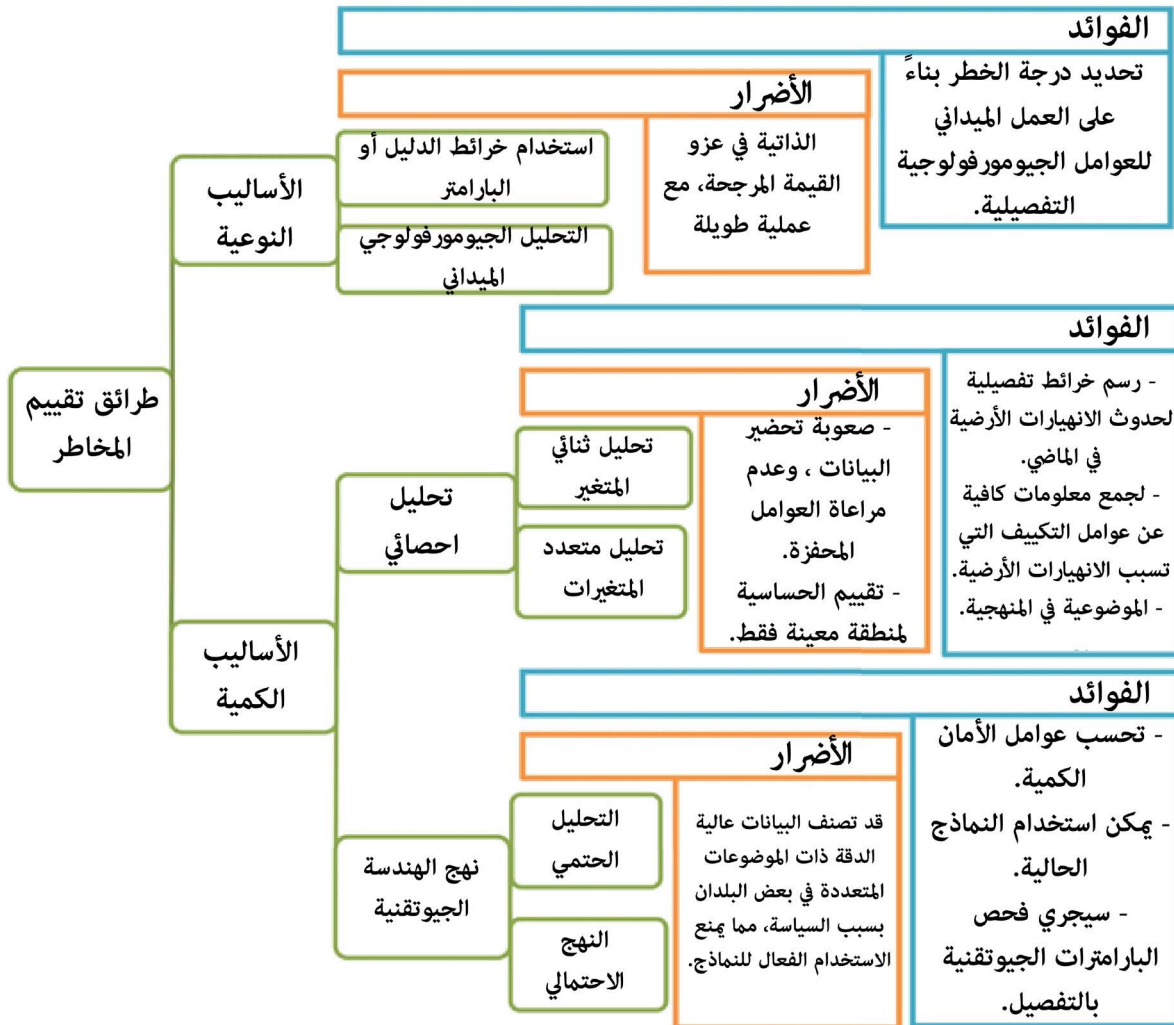
• التصنيف العام

من بين جميع الأساليب المتاحة، يعد التحليل النوعي والكمي أكثر الأساليب شيوعاً في رسم خرائط القابلية للانهيارات الأرضية. تستخدم الأساليب النوعية، **مثل** عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) والتركييب الخطي الموزون، على نطاق واسع من قبل **الجيولوجيين** وعلماء **الجيومورفولوجيا** والمهندسين للدراسات الإقليمية.





في العقود الأخيرة، نظراً لتطوير أدوات الحوسبة، صارت الأساليب الكمية شائعة جداً؛ وهي مبنية على أساس التعبيرات العددية للعلاقة بين عوامل التكييف والانهيارات الأرضية كما في المخطط الآتي.



مقارنة تصنيفات طريقة تقييم مخاطر الانهيارات الأرضية.



• الأساليب النوعية

بالنسبة للتحليل النوعي (تستند الاحتمالية والخسائر المعبر عنها من الناحية النوعية كلياً إلى حكم الشخص أو الأشخاص الذين يقومون بإجراء تقييم القابلية أو المخاطر)، وتعدّ الصور الجوية والعمل الميداني مهمين، الأمر الذي يتطلب تحليلاً **جيومورفولوجياً** وتراكب خرائط الدليل مع أو بدون ترجيح كما يأتي:

- ❖ يتم إجراء التحليل **الجيومورفولوجي** الميداني من قبل الجيولوجيين دون مراعاة قواعد التقييم القياسية. تحوي هذه الطريقة على بعض العيوب في اختيار البيانات لأنها تستخدم نتائج **ضمنية** بدلاً من القواعد التحليلية الصريحة. أيضاً، هناك عيب آخر لهذه الطريقة يتعلق بالمسح الميداني، الذي غالباً ما يستغرق زمناً طويلاً ومكلفاً.
- ❖ على العكس من ذلك، فإن تراكب **خرائط** الدليل يستخدم التجربة الشخصية للخبير من خلال **تعيين** أوزان لكل عامل.

• النهج الكمية

يتم تمثيل **النهج الكمية** من خلال طرائق التحليل الحتمية والإحصائية. تستخدم الطريقة الكمية القطعية المبادئ الهندسية لعدم استقرار المنحدر من ناحية عامل الأمان. غالباً ما تُستخدم هذه الطرائق لرسم خريطة للمنطقة الصغيرة نظراً لمتطلبات البيانات الشاملة. يتحكم التحليل الإحصائي في استقرار **المنحدر** من خلال تعيين وزن مساهمة كل عامل تكييف. يمكن أن يكون التحليل الإحصائي ثنائي المتغير أو متعدد المتغيرات. في التحليل الإحصائي ثنائي المتغير،





يجري تقييم كل عامل تكييف بشكل منفصل بالاقتران مع كثافة **الانهيار الأرضي** أو الحجم، ويُستخدم التحليل ثنائي المتغير لتحديد العوامل ذات الصلة المهمة بحدوث **الانهيارات الأرضية**، من الوزن النسبي المحدد.

تُعد النهج متعددة المتغيرات ذات طبيعة تجريبية وتأخذ في الاعتبار العلاقات بين عوامل التكييف و**الانهيارات الأرضية**. بعد إعداد جميع عوامل التكييف، يمكن تحديد وجود أو عدم وجود انهيار أرضي من خلال التحليل متعدد المتغيرات.

يمكن استخدام اختبار العلاقة **الخطية** المتعددة لاكتشاف ما إذا كان هناك أي عوامل مكانية مترابطة. يجب تنفيذ الطريقة قبل التحليل متعدد المتغيرات باستخدام تحليل التباين (ANOVA) لعامل التضخم والتسامح وطريقة المؤشر الخطي المشترك.

يأخذ **التحليل الإحصائي** ثنائي المتغير في الاعتبار كثافة **الانهيار الأرضي** في كل عامل تكييف فردي على حدة. يمكن أن تؤدي هذه العملية إلى بعض أوجه عدم اليقين، حيث من الممكن أن يكون لعامل التهيئة نفسه عواقب مختلفة اعتماداً على أنواع العمليات.

ترتبط بعض القيود الأخرى بالميل إلى تبسيط عوامل التكييف وتعميم جميع قوائم جرد **الانهيارات الأرضية**. لسوء الحظ، تعتمد هذه الطريقة بشكل كبير على معرفة خبير نظم المعلومات الجغرافية بدلاً من رأي خبير عالم الأرض. أخيراً، يجب أن يكون لكل نوع حركة جماعية مجموعتها الخاصة من عوامل التكييف ويجب تحليلها بشكل منفصل.





يعد التحليل الإحصائي متعدد المتغيرات، مثل التراجع اللوجستي (LR) Logistic Regression وشجرة القرار (DT) Decision Tree، قوياً جداً في رسم خرائط الحساسية للانهيارات الأرضية. يمكن تعديل بعض عيوب طرائق الإحصاء ثنائية المتغير في التحليل متعدد المتغيرات.

• نهج نمذجة قابلية الانهيار الأرضي

يمكن تحليل الانهيارات الأرضية من خلال الأساليب الإحصائية النوعية أو الكمية. يوصى بشدة بالتعلم الآلي والتحليل الإحصائي ثنائي المتغير والتحليل متعدد المتغيرات لدراسات الانهيارات الأرضية، والتي نوقشت بإيجاز سابقاً.

نسبة التردد

نسبة التردد أو التكرار (FR) Frequency Ratio هي نموذج احتمالي بسيط يستخدم في العديد من تحليلات الانهيارات الأرضية. من الناحية النظرية، يمكن تحديد الاحتمالات من خلال العلاقة بين حدوث الانهيار الأرضي لكل عامل تكييف.

يجيب نموذج (FR) على سؤال الاحتمال الشرطي لعامل معين، مثل المنحدر، حول كيفية العثور على احتمال أن تكون منطقة البكسل المختارة عشوائياً منطقة معرضة للانهييار الأرضي وأيضاً بين نطاق زاوية ميل معين.





يجب حمل جميع عوامل التكييف بعدد حجم البكسل نفسه قبل تطبيق المعادلة:

$$FR = PLO / PIF$$

حيث إن (PLO) هي النسبة المئوية لحدوث الانهيارات الأرضية في كل فئة فرعية و (PIF) هي النسبة المئوية لكل فئة من العوامل التي تؤثر في الانهيار الأرضي.

تعكس القيم الأكبر من 1 ارتباطاً كبيراً بحدوث الانهيارات الأرضية، وتمثل القيم الأصغر من 1 ارتباطاً أقل. باستخدام نموذج (FR)، يمكن إنتاج خرائط لمختلف المناطق المعرضة للانهيارات الأرضية والتحقق من صحتها من خلال تقييم المسح الميداني.

دالة التصديق الظاهر

تعتبر طريقة دالة التصديق الظاهر (EBF) نموذجاً رياضياتياً يمثل التكامل المكاني بناءً على قاعدة الجمع، وهي قادرة على توفير إطار لتقدير أوزان عوامل التكييف.

طريقة (EBF) قادرة على التعامل مع التحليل حتى مع مجموعة بيانات غير كاملة. تُستخدم **خريطة الحساسية التنبؤية** للانهيارات الأرضية من أجل المعرفة الكمية للعلاقة المكانية بين الانزلاقات الأرضية وعوامل تكييف الانهيارات الأرضية. وهكذا يبدأ التحليل باستخلاص وبناء عوامل التكييف وتصنيف كل منها وإعادة تصنيفها.





ميزة أخرى مُهمّة لنموذج (EBF)، بالإضافة إلى الخريطة التنبؤية، هي قدرته على إظهار درجة عدم اليقين في المنطقة نفسها. حيث يمكن استنتاج قدرة النموذج على النحو الآتي:

- درجات التصديق التي تظهر مناطق حسّاسة.
- درجات عدم التصديق التي تظهر مناطق غير حسّاسة.
- درجات عدم اليقين، التي تقيم جودة عوامل تكييف المدخلات، من خلال الإشارة إلى الأدلة والبراهين الحالية للمعلومات المسببة للانهييار الأرضي.
- درجات المعقولة، التي توضح الحالات التي تتطلب المزيد من الأدلة المكانية. ثم فيه كل الأدلة المتكاملة ما عدا عدم التصديق.
- تكشف درجة المعقولة أيضاً عن مدى كفاية الأدلة المكانية وكفاءتها أو عدم فعاليتها لإثبات أن عامل التسبب في **الانهيار الأرضي** سيؤثر في العوامل التابعة.

يمكن أن تنتج نماذج (EBF) المستندة إلى البيانات نتائج مقبولة حتى مع مجموعة بيانات الإدخال الإجمالية.

مؤشر الإنتروبيا

مؤشر الإنتروبيا Entropy Index هو تحليل إحصائي ثنائي المتغير اقترحه أحد الباحثين استناداً إلى العلاقة بين خريطة جرد **الانهيارات الأرضية** كمتغير تابع والعديد من عوامل التكييف.





يجري التعبير عن وزن مساهمة المخاطر لكل عامل تكييف كمستوى لمؤشر الإنترنت. يأخذ مؤشر الإنترنت اعتبارين رئيسيين في عملية:

أولاً: إيجاد أكثر عوامل التكييف السائدة التي تبدأ الحركات الجماعية.

وثانياً: توضيح مدى الاضطراب في البيئة.

الشبكة العصبية الصناعية

تعد **الشبكة العصبية الصناعية (ANN)** أكثر طرائق التعلم الآلي شيوعاً، حيث يطبقها الكثيرون بشكل خاص خلال السنوات الأخيرة.

تُعرّف **(ANN)** على أنها نموذج للتفكير يعتمد على العقل الذي يمكن اعتباره استتساحاً مبسطاً أو مرآة للنظام شديد التعقيد. كما تُعرّف **(ANN)** كآلية حسابية لاكتساب وتمثيل وحساب تعيين من مساحة معلومات متعددة المتغيرات إلى أخرى، بالنظر إلى مجموعة من البيانات التي تمثل ذلك التعيين.

يتكون نموذج **(ANN)** من الخلايا **العصبية** أو العقد المترابطة، التي يجري تنظيمها في طبقات ذات ترابط عشوائي أو كامل بين الطبقات المتتالية.

يشتمل **نموذج (ANN)** على طبقات الإدخال والمخفية والمخرجات المسؤولة عن تلقي النتائج ومعالجتها وتقديمها، على التوالي. تحوي كل طبقة على عقد متصلة بأوزان رقمية وإشارات خرج. والأوزان هي وظائف مجموع المدخلات إلى العقدة المعدلة بواسطة وظيفة تنشيط بسيطة. تعد إمكانية التعلم أهم ميزة تجذب الباحثين لاستخدام الشبكات العصبية الصناعية.





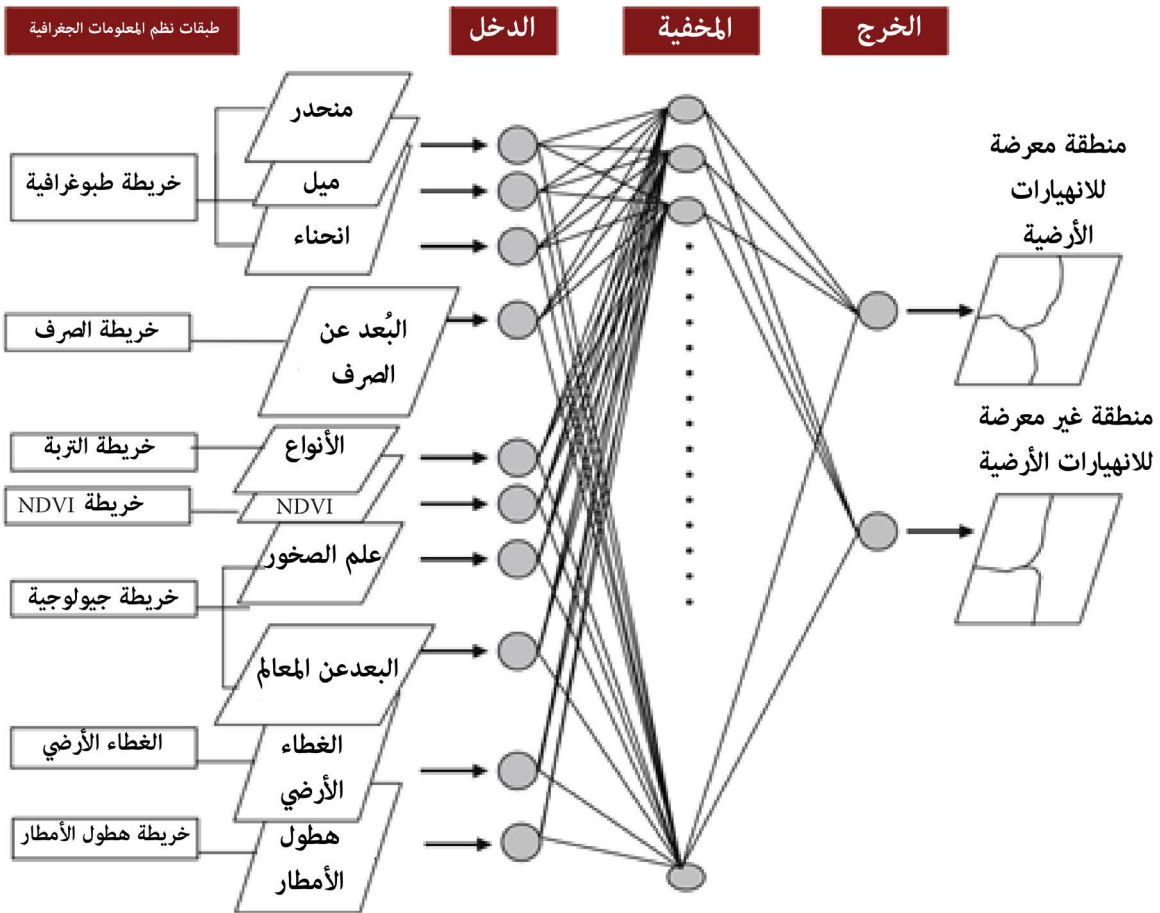
النوع الأكثر شيوعاً من الشبكات العصبية الصناعية هو خوارزمية الانتشار العكسي متعددة الطبقات. تحوي هذه الشبكة بصيغتها النموذجية على طبقة إدخال وطبقة إخراج وطبقة مخفية واحدة على الأقل.

تقوم عُقد **الطبقة المخفية** والمخرجة بمعالجة مدخلاتها بضربها بالوزن المقابل، وجمع المنتج، ومعالجة المجموع باستخدام دالة نقل غير خطية. يجري الاحتفاظ بوظيفة النقل وشبكة الاتصال بشكل ثابت. في البداية، تزود الشبكة بأوزان اتصال عشوائية تمثل المدخلات إلى الشبكة والمخرجات المتوقعة. ثم تحسب إشارات الخطأ عن طريق قياس المسافة بين نتائج خرج الشبكة ونتائج الإخراج المرغوبة (بيانات التدريب).

من خلال إجراء **تكراري** للانتشار العكسي للأخطاء، يجري تعديل الأوزان تلقائياً لتقليل خطأ الإخراج وتُدرَّب الشبكة على تصنيف بيانات التدريب بشكل صحيح. في مرحلة متتالية، يمكن لـ (ANN) المدربة تصنيف عينات البيانات وفق تصنيف غير معروف. بعض مزايا (ANN) هي:

1. **تسمح** لنا الشبكات العصبية الصناعية بالحصول على رؤية مختلفة للمشكلات التي لا يمكن حلها بالطرائق الإحصائية بسبب قيودها النظرية.
2. **طريقة** (ANN) مستقلة عن التوزيع الإحصائي للبيانات، ولا توجد حاجة لمتغيرات إحصائية محددة.
3. **تسمح** (ANN) بتحديد الفئات المستهدفة مع مراعاة توزيعها في المجال المقابل لكل مصدر بيانات.
4. **تستخدم** (ANN) بيانات تدريب أقل لإجراء تحليل دقيق من الأساليب الإحصائية.





الهيكل البنائي للشبكة العصبية الصناعية (ANN).



الانحدار اللوجستي

الانحدار اللوجستي (LR Logistic Regression) هو أحد الأساليب الإحصائية متعددة المتغيرات، الذي غالباً ما يُشار إليه على أنه أحد أكثر التقنيات كفاءة التي تعتمد على البيانات. تتمتع طريقة (LR) بالعديد من المزايا، مثل أن يكون عامل التكييف إما مستمراً أو منفصلاً، أو أي مزيج من كلا النوعين، وليس بالضرورة أن يكون له توزيع طبيعي.

يمكن حساب احتمال (P) الذي يمثل حدوث انهيار أرضي في كل بكسل باستخدام المعادلة:

$$P = \frac{1}{1 + s^{-z}}$$

حيث تمثل Z مزيجاً خطياً من عوامل التكييف في حال وجود أو عدم وجود انهيار أرضي، وتختلف قيمته من $-\infty$ إلى $+\infty$. لتطبيق نموذج (LR)، تعتبر كل فئة من العوامل المساهمة متغيراً مستقلاً للانحدار الإحصائي. ويوصى بتسوية مجموعة بيانات عامل التكييف عن طريق إنشاء طبقات من القيم الثنائية لكل فئة.

لإعداد بيانات التدريب والاختبار، أوصى الباحثون باستخدام عدد متساوٍ من البكسل الذي يُظهر إمكانية حدوث الانهيارات الأرضية أو عدم حدوثه. بعد إنتاج البيانات، يمكن تقسيمها إلى بيانات تدريب واختبار. الخطوة الآتية هي تغيير عوامل التكييف إلى تنسيق مستمر. بعد إعداد عوامل التكييف، يجري تقييم علاقة كل منها بحدوث الانهيارات الأرضية.





تستخدم طريقة (LR) فئات كل عامل تكييف كمؤشر وتعين الأوزان للفئات الأخرى بناءً على هذا المؤشر.

• عملية التحقق

بشكل عام، تعد طريقتا الصمود الزمني والصمود الفراغي الرئيسيتين للتحقق من قابلية التأثير بالانهيارات الأرضية ورسم خرائط المخاطر. في حالة التحقق من صحة الزمن، ينقسم مخزون الانهيارات الأرضية إلى فترتين زمنيتين: الحدوث السابق (بيانات التدريب النموذجية) والوقوع المستقبلي (بيانات اختبار النموذج).

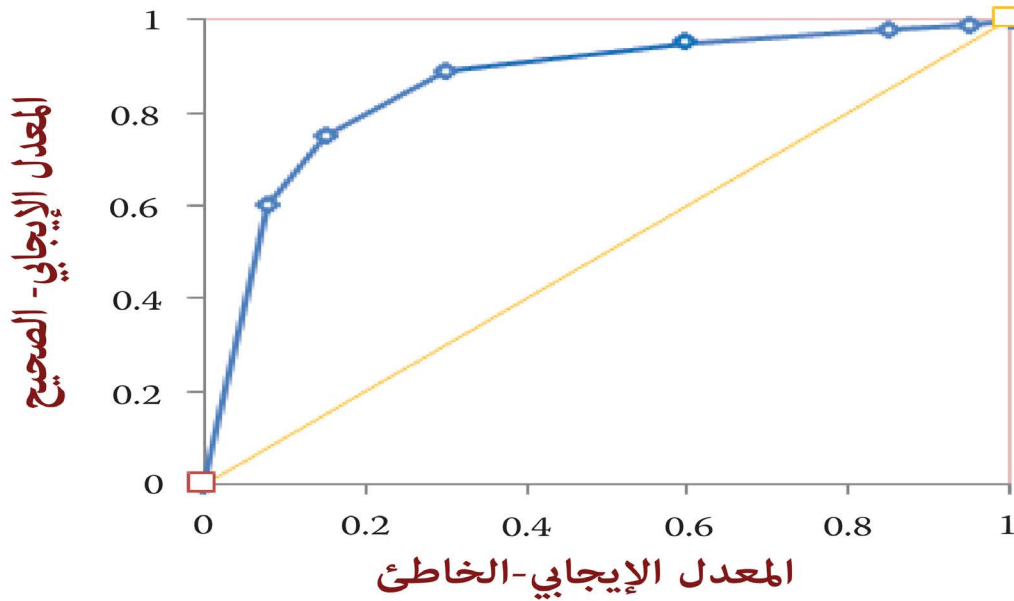
تُستخدم بيانات الاختبار لفحص مدى جودة التنبؤ ببقية المخزون باستخدام النموذج. من أجل الصمود الفراغي، ينقسم جرد الانهيارات الأرضية إلى مجموعتين بشكل عشوائي: المجموعة 1 من بيانات التدريب والمجموعة 2 من بيانات التنبؤ.

الطريقة الثالثة هي مزيج من الصمود الفراغي والصمود الزمني، التي يمكن استخدامها عندما يتوفر جرد كامل للانهيارات الأرضية لإنتاج نهج شامل.

هناك طريقة أخرى يمكن استخدامها لتقييم أداء النموذج وهي منحنى (ROC)، التي يمكنها قياس معدل النجاح والتنبؤ. لقد اعتمد منحنى (ROC) في مجالات علمية مختلفة، **مثل**: الاختبار التشخيصي الطبي، ونمذجة التعلم الآلي. ويمكن استخدام المنطقة الواقعة تحت المنحنى (AUC) **Area Under the Curve** كمقياس أساسي لتقييم الجودة الإجمالية للنموذج.



كلما زادت المساحة الموجودة أسفل منحنى التركيب (القيمة $< 50\%$)، كانت صحة الأداء أفضل. تمثل المحاور الرئيسية على منحنى (ROC) معدلات الإيجابية الخاطئة (FP) والإيجابية الصحيحة (TP)، وهما أزواج مشتقة من جداول طوارئ مختلفة (انظر الشكل الآتي).



منحنى (ROC).

في حالة وحدات خلايا الشبكة حيث تتوافق **الانهيارات الأرضية** مع خلايا الشبكة المفردة وجميع وحدات التضاريس لها المنطقة نفسها، يتوافق المحور Y مع **TP**، وهو مماثل لمساحة (ROC)، ويتوافق المحور X مع عدد الوحدات المصنفة إيجابياً.

ترتبط الميزة الرئيسية لهذه الطريقة ببنيتها البسيطة، وهو أمر مفهوم للعديد من الباحثين عن **الانهيارات الأرضية**.

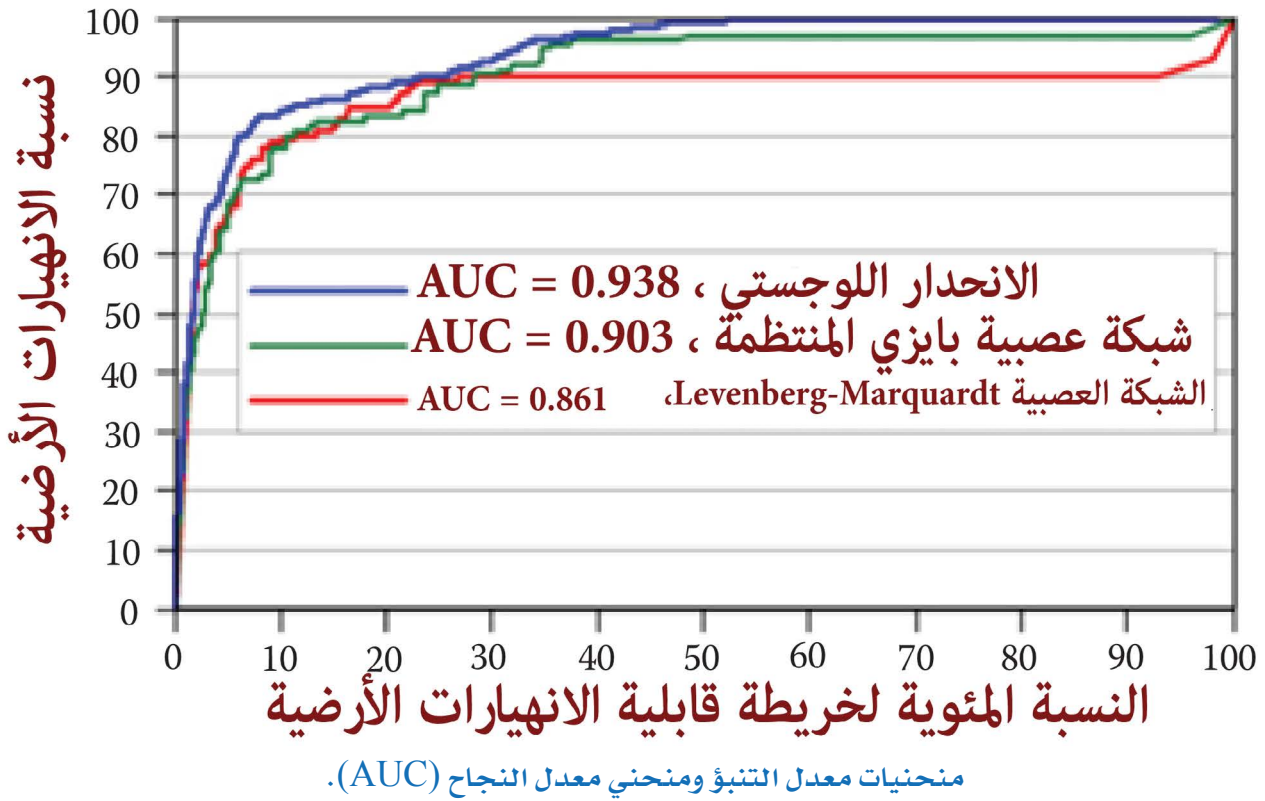


تُستخدم **منحنيات** معدل النجاح والتنبؤ بشكل متكرر للتحقق من أداء النموذج وتقييمه. في الشكل السابق يمثل المحور **y** النسبة المئوية للكائنات المصنفة بشكل صحيح ويمثل المحور **x** النسبة المئوية للمنطقة المصنفة على أنها موجبة.

يمكن **الحصول** على منحنى معدل النجاح عن طريق رسم الحساسيات ذات الصلة مقابل النسب الإجمالية لمجموعة البيانات المصنفة على أنها انهيار أرضي.

نظراً لاستخدام بيانات **الانهيار الأرضي** في التدريب لإنشاء النموذج، فإن عملية التحقق من الصحة باستخدام بيانات التدريب لا تمثل الكفاءة الحقيقية للنموذج المطور؛ لذلك لا يمكن تحقيق قدرة النموذج على التنبؤ باستخدام معدل النجاح. وإنما يوضح معدل التنبؤ مدى قدرة النموذج على التنبؤ **بالانهيار الأرضي** في منطقة ما.







ميكانيكا الانهيارات الأرضية

تكمّن مجموعة متنوعة من الأسباب الميكانيكية وراء **الانهيارات الأرضية**، ويجب فهمها عند تقييم حدث أو خطر معين. السمة الوحيدة الشائعة في الظروف الثابتة هي، بالطبع، وجود منحدر؛ لأن عنصر قوة الجاذبية المماسي للسطح مطلوب لتوليد ضغوط القص، والسماح بالعمل الذي يجب القيام به أثناء تحرك الانزلاق. يمكن أيضاً أن توفر التسارع الجانبي للزلازل هذه القوة وتتسبب في حدوث عمليات الانزياح على أسطح الأرض الأفقية في بعض الأحيان.

يحدث **الانهيار الأرضي** عندما يتجاوز مكون المنحدر للقوى المؤثرة في الأرض أو الكتلة الصخرية قوة أو مقاومة القص للمادة. ويعني الانتقال من منحدر تل ثابت إلى انزلاق نشط أن القوة المؤثرة أو مقاومة التربة أو الصخور قد تغيرت لسبب ما. من خلال فحص المكونات التي تشكل قوة التمثيل ومقاومة القص للمادة، يمكن إنشاء مجموعة متنوعة من الأسباب والآليات للانزلاقات.

كتعريف تقني، القوة هي حاصل ضرب كتلة المادة بالتسارع الذي تخضع له. في حالة حدوث انهيار أرضي وفي ظل ظروف ثابتة في البداية، يكون التسارع ناتجاً عن الجاذبية، التي تعمل في اتجاه رأسي، وبالتالي تحوي على مكونات موازية وعمودية على المنحدر. وبالتالي، قد تكون الزيادة في القوة التي تعمل على إحداث الفشل ناتجة عن زيادة إما في كتلة المادة وإما في التسارع.

في حالة **الانهيارات الأرضية** غير الناجمة عن الزلازل، لا توجد بالطبع زيادة في التسارع بسبب الجاذبية، ولكن قد تكون هناك زيادة في مكون المنحدر من تسارع الجاذبية؛ لأن المنحدر-على سبيل المثال- صار أكثر حدة.





يمكن أن يتطور الانحدار من خلال تآكل المواد الموجودة في أسفل المنحدر بواسطة إحدى القوى العديدة، أو إضافة المواد في الجزء العلوي من المنحدر إما عن طريق التطورات الطبيعية وإما من صنع الإنسان، وإما عن طريق إمالة سطح الأرض محلياً أو إقليمياً.

يمكن أن تحدث زيادة في كتلة المادة التي تشتمل على المنحدر عن طريق ترسب التربة أو الصخور على سطح المنحدر. يمكن زيادة كثافة كتلة المادة نتيجة لهطول الأمطار أو تسرب المياه من مصادر أخرى.

من ناحية أخرى، قد يحدث فشل في المنحدر دون أي تغيير في القوى التي تؤدي إلى حدوث فشل، إذا انخفضت قوة المادة التي تدعم المنحدر لأي سبب من الأسباب. وهذا يعني أن المادة التي تشكل المنحدر يجري تثبيتها في مكانها من خلال مقاومة قص التربة أو طبقات الصخور الأساسية. قد تتغير هذه المقاومة من خلال العمليات الكيميائية نتيجة للعوامل الجوية، أو تقل لأسباب فيزيائية مثل زيادة ضغط الماء في الشقوق أو في فراغات مادة التربة.

في أنواع معينة من المواد الهشة، من الممكن أن تنخفض قوة القص في التربة أو الصخور، لكن هذا سلوك غير مستقر. في هذه الحالة، تؤدي التشوهات الأولية إلى انخفاض في القوة، مما يؤدي إلى مزيد من التشوهات وقوة أقل. يحدث فشل تدريجي، ويسبق **الانهيار الأرضي** النهائي بشكل عام عمليات الانزياح يمكن ملاحظتها باستخدام أجهزة حساسة.





• تغيرات الحمل

يمكن أن ينشأ تغيير مكون الانحدار لوزن كتلة **الانهيار الأرضي** إما من أسباب طبيعية وإما من صنع الإنسان. في الطبيعة، تعتبر عمليات انحدار المنحدرات شائعة، وتتطور غالباً نتيجة لتحركات المياه.

الشكل الأكثر شيوعاً هو إزالة المواد من قاعدة المنحدر بفعل الموجة أو من خلال التعرية بواسطة الأنهار. نظراً لأن المادة الموجودة في قاعدة المنحدر، كما هو مذكور أدناه، تساعد في تثبيت التربة أو كتلة الصخور، فإن إزالتها تؤدي إلى عدم الاستقرار.

تكون الحركات التي تتطور تدريجية بشكل عام ولكن يمكن، في بعض الأحيان، أن تحدث بسرعة خلال فترات ارتفاع مستويات الفيضانات أو العواصف. عندما تتشكل الانزلاقات بهذه الطريقة، فمن المعتاد أن نجد أن العديد من الإخفاقات المتتالية تحدث في المنطقة نفسها. تعمل مادة الانزلاق من فشل أحد المنحدرات على استقرار المنطقة مؤقتاً، ولكن تجري إزالتها عن طريق التآكل بحيث يتطور المزيد من عدم الاستقرار، ويزال هذا الحطام، بشكل كامل.

وبالتالي يمكن التعرف بسهولة على المناطق التي كان يجري فيها هذا النوع من الآليات. النتوءات حيث يُكشف عن المواد الجوفية عن طريق إزالة حطام الانزلاق لها مظهر جديد ومتقطع مع المسار العام من جانب التل.

الأنشطة البشرية، مسؤولة عن العديد من **الانهيارات الأرضية**. عادة ما ينطوي إنشاء الطرق السريعة، والتطورات السكنية على سفوح التلال، والسدود، والخزانات، والصرف الصحي، وهياكل المرافق على حركة كميات كبيرة من





التربة أو الصخور على المنحدرات. فإذا كانت العملية تتكون من إضافة مادة إلى قمة المنحدر أو إزالة التربة أو الصخور من قاعدتها، فعندئذ يجري دفع المنحدر نحو الانهيار. في الحالات القصوى، تحدث **الانهيارات الأرضية** أثناء عملية البناء أو بعدها مباشرة، ولكن آثار البناء يمكن أن تكون دقيقة جداً في العديد من الظروف.

قد لا يتسبب وضع مادة الردم للطريق عبر منحدر التل، من خلال وزنه، في فشل جانب التل، ولكنه قد يتداخل مع النظام الطبيعي لتدفق المياه والصرف عبر التربة أو الصخور. وبهذه الطريقة ربما يزداد وزن المادة أو يتغير ضغط الماء في مسام التربة أو في فجوات الصخور. يمكن أن تؤدي أي من النتيجتين إلى ظهور انزلاق يحدث خلال أشهر أو سنوات بعد الانتهاء من البناء.

عندما يجري بناء سد عبر الوادي ويحتجز المياه خلف السد لتشكل خزان، يمكن أن تتطور حالات فشل المنحدرات على طول جوانب الوادي، بسبب التشبع والضعف الناتج عن المواد الموجودة في قاعدة المنحدرات، أو بسبب تأثير التآكل من الأمواج عند إصبع المنحدرات إذا لم تكن محمية.

يمكن إزالة المواد بهذه الطريقة بكميات صغيرة حتى يصير جزء كبير من منحدر الوادي غير مستقر. سوف يتداخل وجود البحيرة أيضاً مع النظام الهيدرولوجي لسقوط الأمطار والامتصاص والجريان السطحي؛ إن تأثير **مثل** هذه التغييرات في أرض مستقرة سابقاً غير مواتٍ بشكل عام.





• التأثيرات الزلزالية

أثناء الزلزال تهتز الأرض في جميع الاتجاهات مما ينتج عنه تسارع يصل إلى 0.5 أو أكثر من تسارع الجاذبية (g) في كلا الاتجاهين الأفقي والرأسي في المنطقة التي تشهد أقوى اهتزاز للأرض.

عندما يُؤخذ في الاعتبار ناتج هذه التسارع وكتلة المادة في الانهيار الأرضي المحتمل، سيُتبين أن هناك قوى أفقية عابرة من نفس الحجم **مثل** وزن الكتلة المنزلة. مع أن هذه التسارعات الديناميكية تدوم لفترة قصيرة، إلا أنها يمكن أن يكون لها تأثير هائل في التسبب في الانزلاق على منحدرات مستقرة عند حافتها، مما يؤدي إلى انزلاق المعلم المرتبط عادةً بالزلازل على مقياس يعتمد على التضاريس في المنطقة المركزية.

أثناء وبعد زلزال سان فرناندو بولاية كاليفورنيا عام 1971، حدثت آلاف **الانهيارات الأرضية** والصخرية في جبال سان غابرييل وتسببت في سحابة غبار هائلة فوق المنطقة شديدة الاهتزاز لأيام.

إلى جانب التأثير المباشر لتسارع الزلزال في القوى التي تعمل على التسبب في الفشل، قد تؤدي الاهتزازات أيضاً دوراً في تقليل قوة التربة أو كتلة الصخور على طول السطح حيث تتطور مقاومة للانهيار.

أثناء الاهتزاز القوي للأرض، تتأرجح كل من الضغوط الطبيعية وضغوط القص على طول سطح الانزلاق المحتمل في السعة، وقد تحدث انعكاسات إجهاد القص.





لقد لوحظ في الاختبارات المعملية لقوة قص التربة أنه في ظل التحميل المتكرر لضغط القص، يمكن لبعض التربة أن تطور مقاومة قص أقل إلى حدٍ ما مما كانت عليه عندما يجري تحميلها مرة واحدة فقط إلى أقصى قيمتها؛ وبالتالي، فإن قوة القص الديناميكية أقل من القيمة الثابتة.

وبالتالي، قد تفشل كتلة **الانهيار الأرضي** المحتملة التي تكون مستقرة في ظل ظروف ثابتة بعد عددٍ من دورات الاهتزاز التي يسببها الزلزال. في الحالات القصوى، التي تشمل عادةً رمال مشبعة بالماء، يمكن أن يؤدي تفاعل إجهادات القص الدوري مع الخصائص الحجمية للتربة في وجود الماء إلى تسييل التربة أثناء الزلزال. هذه حالة من المادة التي تتصرف فيها لفترة قصيرة كسائل كثيف وليس ككتلة صلبة.

بطبيعة الحال، من سمات الزلزال أن يكون حدوثه مفاجئاً و**الانهيارات الأرضية** التي يسببها تحدث بسرعة. مع أن كتلاً معينة من التربة أو الصخور تكون، أثناء الزلزال، في حالة من عدم الاستقرار عند حافتها عند حدوث **مثل** هذا الفشل الذي قد ينجم عن حدث آخر يمتد من أسابيع إلى شهور بعد ذلك، فإن الآثار الرئيسية للزلزال من ناحية **الانهيارات الأرضية** تكون فورية.

تدرج **الانهيارات الأرضية** التي تحدث في التصنيف من سريعة إلى متوسطة. عادة، تحدث جميع الأحداث الكبرى في غضون دقائق قليلة بعد انتهاء الزلزال. يتزايد تأثير هذه **الانهيارات الأرضية** من خلال أعدادها والاضطراب العام الناجم عن الزلزال في الزمن نفسه، مما يؤدي إلى أن تميل **الانهيارات الأرضية** الناتجة عن الزلازل إلى أن تكون أكثر إزعاجاً للأنشطة البشرية من الأحداث المعزولة التي تحدث في ظل ظروف ثابتة.





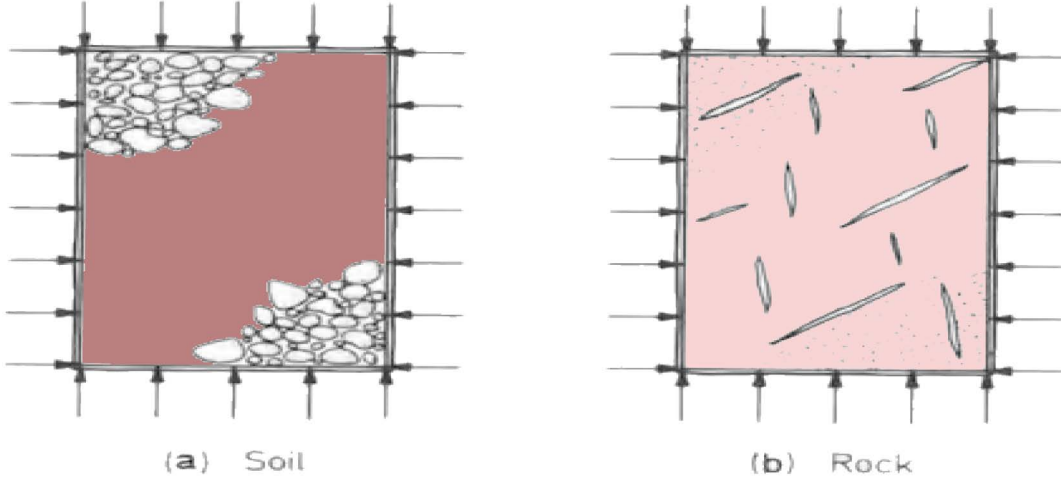
يشكل الزلزال اختباراً شاملاً واسع النطاق لجميع هياكل التربة والصخور التي يحتمل أن تكون غير مستقرة على مساحة من مئات إلى آلاف الكيلومترات المربعة. نظراً لأنه من المستحيل في أي منطقة نشطة زلزالياً إجراء فحص شامل لجميع المناطق التي يحتمل أن تكون غير مستقرة، فإن العديد من تأثيرات الزلزال ستكون دائماً غير متوقعة.

• قوة القص وضغط المسام

من السهل نسبياً فهم التغييرات في القوى التي تؤدي إلى حدوث **الانهيارات الأرضية** مع الحد الأدنى من المعرفة بالميكانيكا التطبيقية، لكن فهم قوة القص للتربة والصخور يتطلب ملخصاً موجزاً للسلوك الميكانيكي لهذه المواد.

- ❖ أولاً، من الضروري وصف تأثير الضغط في سائل المسام على سلوك المادة الحبيبية. يوضح الشكل (a) فيما يأتي عرضاً مقطوعياً لتجميع حبيبات التربة؛ توجد مسافات بين الحبيبات، ويشار إليها بالمسام أو الفراغات.
- ❖ عند النظر إلى كتلة صخرية، قد يمثل الشكل (b) مقطعاً عرضياً لعينة صخرية تتكون فيها مساحات المسام من شقوق أو فراغات. تُملأ الفراغات بالغاز (الهواء)، السائل (الماء عادة)، أو كليهما، تحت ضغط هيدروستاتيكي.





التمثيل المادي: (a) التربة، (b) الصخور.

إذا وضعت عينات التربة أو الصخور في الشكل أعلاه في وعاء مرن مثل غشاء مطاطي، حيث يمكن تطبيق ضغط من الخارج، كما هو موضح، فيمكن فحص تأثيرات تغيير هذا الضغط. على وجه الخصوص، يمكن قياس ضغط سائل المسام والحجم الكلي للعيينة.

إذا كانت المسام الموجودة في التربة أو الشقوق الموجودة في الصخر مملوءة بغاز (هواء) شديد الانضغاط، فإن الضغط الخارجي على التربة أو كتلة الصخور سيؤدي إلى تغيير حجم الهيكل الصلب. ويحدث هذا بسبب التباين الكبير بين انضغاط التربة أو الهيكل الصخري وانضغاط الهواء، مما يعني أن حبيبات التربة أو شظايا الصخور سيجري ضغطها معاً بشكل وثيق، وستكون أقوى تحت الضغط المطبق. ومع ذلك، إذا كانت مساحة المسام مشبعة بالكامل بالماء، فإن التغيير في الضغط الخارجي المطبق على الغشاء سيؤدي إلى تغيير في ضغط الماء في المسام. ستعتمد كمية الزيادة في ضغط الماء على الانضغاط النسبي للمكونات الصلبة والسائلة.



إذا كانت بنية التربة، كما في الشكل (a)، مشبعةً بالماء، فعادة ما تكون الحالة أن الماء غير قابل للضغط نسبياً مقارنةً بالتربة، بحيث يتسبب تطبيق الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي في حدوث ضغط ماء المسام يرتفع بالمقدار نفسه.

نظراً لأنه يمكن أن يحدث تغيير طفيف في حجم عينة التربة بسبب عدم انضغاط الماء، فإن قوتها في هذه الحالة لا تتأثر بزيادة الضغط الخارجي. من ناحية أخرى، في صخرة الشكل (b)، يتسبب المقدار الصغير نسبياً من مساحة المسام الحالية في أن تكون انضغاطات المكونات الصلبة والسائلة متشابهة إلى حد ما.

لذلك يجري تقاسم الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي المتزايد ويسبب بعض الزيادة في الضغط الهيدروستاتيكي في الصخر، وبعض الزيادة في ضغط المسام في الشقوق. تزداد قوة الصخر بما يتناسب مع زيادة الضغط التي يشعر بها المكون الصلب. وفي كلتا الحالتين، تعتمد القوة وخصائص المواد الأخرى للمواد السائلة فقط على مقدار الضغط المطبق على المكون الصلب أو الذي يشعر به. يشار إلى هذا الضغط على أنه الضغط الفعّال.

إذا كان هناك ثقب في الغشاء، مما يتيح الوصول إلى منطقة ذات ضغط مياه منخفض، فسوف يتدفق الماء إلى الخارج، مما يقلل من ضغط المسام الناتج عن تطبيق الضغط الخارجي ويسمح للهيكل الصلب بالضغط. في الطبيعة، يجري توفير وظيفة الحفرة من خلال نفاذية التربة المحيطة أو كتلة الصخور. وبالتالي، فإن التطبيق السريع إلى حد ما للضغط الهيدروستاتيكي على التربة أو الصخور المشبعة سيؤدي عادةً إلى تغيير في كل من ضغط المسام والضغط الطبيعي في المكون الصلب؛ سيقبل التغيير في ضغط المسام، بمرور الزمن، إلى





الصفحة حيث يجري تصريف مياه المسام الزائدة بعيداً عن المنطقة المجهدّة من خلال المادة المجاورة.

يحدث تأثير مثير للاهتمام وحاسم إذا جرى الضغط على التربة أو الصخور المشبعة عن طريق إجهادات القص بدلاً من الضغوط العادية. في هذه الحالة، من أجل القيم المنخفضة لضغط القص، تتشوه المادة دون تغيير في ضغط المسام.

مع زيادة ضغوط القص والوصول إلى القيم بالقرب من إجهاد قص فشل المادة، تميل الحبيبات الصلبة إلى التحرك أو الانزلاق فوق بعضها بعضاً بحيث يحاول حجم الهيكل التغيير، وهي ظاهرة تعرف باسم التمدد. إذا كانت المادة عبارة عن تربة في حالة فضفاضة، يحدث تقلص الحجم (تمدد سلبي)؛ ومع ذلك، إذا كانت حبيبات التربة معبأة بإحكام في الأصل، فإن تطبيق ضغوط القص العالية يميل إلى زيادة حجم التربة (تمدد إيجابي).

في حالة الصخور المكسورة، فإن تطبيق مستوى عالٍ من إجهاد القص يميل إلى فتح الكسور بحيث تميل كتلة الصخور إلى الزيادة في الحجم **مثل** التربة الكثيفة. إذا كان الفراغ يحوي على الهواء فقط، فإن التغيير في حجم الصخور أو كتلة التربة عند تطبيق ضغوط القص يمكن أن يحدث بدون تأثيرات ضغط المسام.

على العكس من ذلك، عندما تكون التربة أو الصخور مشبعة بالماء، يجري منع تغيير الحجم الناجم عن إجهاد القص، ونتيجة لذلك، يجري إنشاء بعض ضغط المسام في سائل المسام. ويؤدي قص التربة المشبعة السائلة إلى زيادة





ضغط المسام؛ في قص التربة الكثيفة يتسبب في انخفاض ضغط المسام، عند عدم حدوث تصريف. في حالة الصخور، سيؤدي نقص التصريف أيضاً إلى انخفاض ضغط المسام مع تطور القص.

يوضح الشكل الآتي قطعتين من المعدات التي تُستخدم عادة لإجراء الاختبارات على التربة أو المواد الصخرية. في الشكل أعلاه (a) يظهر اختبار (القص المباشر). في هذا الشكل، يجري احتواء عينة التربة أو الصخور داخل صندوق مقسم بالطول بحيث لا يتلامس نصفا الصندوق مع بعضهما بعضاً إلا من خلال العينة.

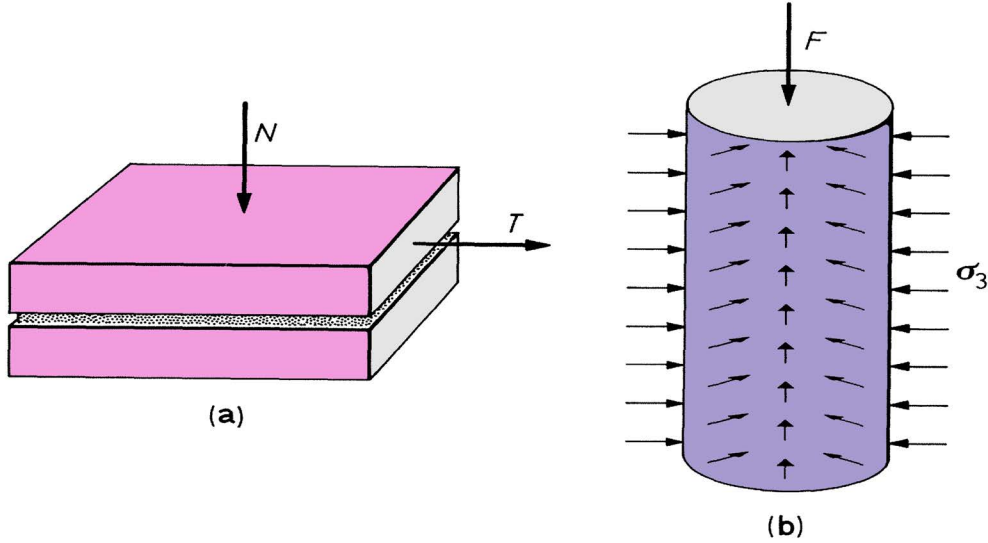
تطبّق حمولة عادية على هذا المربع **N**. ثم يجري تطبيق قوة القص **T** على نهايات الصندوق لإزاحة نصفي الصندوق ومواد الاختبار المتعلقة ببعضها بعضاً.

مع زيادة القوة **T** تدريجياً، تتشوه مادة الاختبار، عند القيمة الحرجة لـ **T**، سيحدث الفشل في التربة، ثم ينزلق نصفا الصندوق المتعلقان ببعضهما بعضاً، ودون وجود زيادة أخرى في **T** قد تكون المادة الموجودة في الصندوق حرة في التصريف أو لا تتناسب مع معدل التحميل ونضاده.

إذا سُمح بحدوث التصريف وفقاً لطبيعة ظروف الاختبار، فإن كل تطبيق للحمل العادي **N** سوف يتسبب في انخفاض حجم العينة قليلاً إلى حالة أكثر كثافة. لكن بعض هذه الأحمال العادية سوف تتوافق مع قيمة قوة القص المطلوبة لفشل العينة.

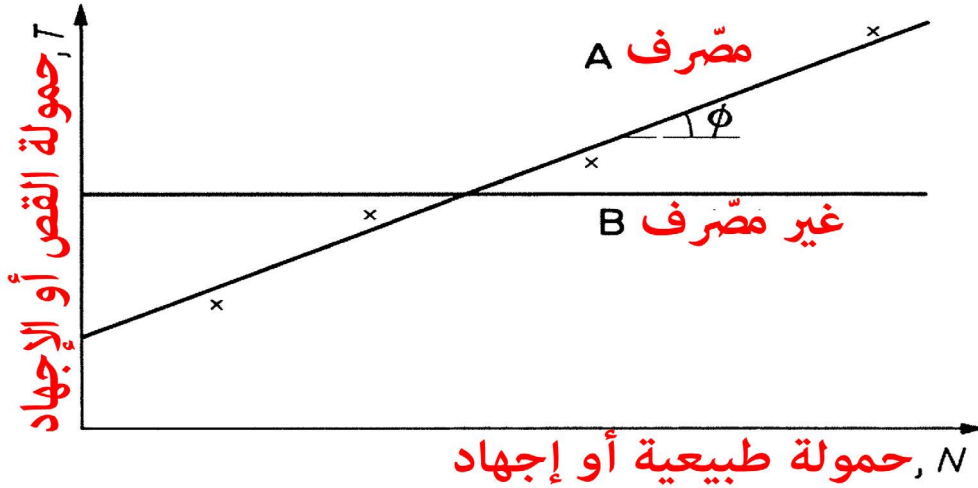


ما يحدث هو أن التصريف يسمح للحمل الكامل N ليكون فعّالاً في ضغط المكونات الصلبة للتربة أو الصخور معاً بحيث تكون قوة القص عند الفشل متناسبة مع الحمل N .



يوضح معدات الاختبار: (a) اختبار القص المباشر، (b) الاختبار ثلاثي المحاور.

عندما تُرسم نتائج الاختبارات الفعلية، كما هو موضح في الشكل أدناه، يتبين أنه يمكن رسم خط مستقيم (A في الشكل أدناه) تقريباً من خلالها. قد لا يكون هناك اعتراض على محور حمل القص. في حالة وجود مثل هذا الاعتراض، يشار إليه باسم تماسك المادة **Cohesion of the Material**؛ في حالة عدم وجود مثل هذا الاعتراض، يشار إلى المادة على أنها ذات تماسك أقل **Cohesion Less**. تُعرف الزاوية ϕ التي يصنعها الخط المستقيم فيما يتعلق بالمحور الأفقي بزاوية الاحتكاك الداخلي للمادة **Angle of Internal Friction of the Material**؛ ظل الزاوية ϕ هو معامل الاحتكاك **Coefficient of Friction**.



قوة القص المطبقة على التربة والصخور.

في حالة التصريف، تكون القوة الكاملة N فعّالة في تطوير قوة التربة أو الصخور، وهذا الحمل هو الذي يؤدي إلى الإجهاد الفعّال الموصوف سابقاً. إذا لم يُسمح للمواد بالتصريف تحت تأثير الحمل الطبيعي أو إذا كان التصريف جزئياً فقط، فلن يُنظر إلى مجمل الحمل الطبيعي N بواسطة المكون الصلب على أنه ضغط فعّال، ولكن بدلاً من ذلك، سيكون بعض ضغط المسام قد تشكل. في هذه الحالة، ستكون قوة القص T المطلوبة للتسبب في فشل العينة متناسبة مع القوة الفعّالة المؤثرة وليس مع إجمالي القوة المطبقة.

على سبيل المثال، إذا سُمح لعينة من الرمل في الجهاز الموضح في الشكل (ص ٦١) (a)، المشبعة بالماء، بالتصريف تحت حمولة طبيعية N_0 ، فإن هذا الحمل الطبيعي يكون حمولة فعّالة. سيكون الحمل المماسي مطلوباً لفشل العينة تحت هذا الحمل N_0 ، حيث $N_0 \tan \phi = T_0$ ، إذا كانت ϕ هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.



إذا بدلاً من قص التربة عند تحميل N_0 ، تُفرض حمولة إضافية ΔN دون السماح بالتصريف وبعد ذلك يجري تطبيق قوة القص، وسنجد أن الفشل سيحدث بالقيمة نفسها لقوة القص T_0 كما كانت من قبل.

يحدث هذا لأن زيادة الحمل ΔN لم ينتج عنها زيادة في الضغط الفعّال في التربة، وبالتالي لم يجر تطوير أي زيادة في القوة. سيكون هذا صحيحاً مهما كانت قيمة زيادة الحمل ΔN ، مما يوفر عدم حدوث تصريف.

تظهر نتيجة هذا السلوك في الشكل أعلاه بالخط الأفقي B حيث يظهر الحمل الإجمالي $N_0 + \Delta N = N$ على المحور الأفقي. وتُظهر المادة على ما يبدو بعض التماسك الذي، كما يمكن رؤيته، يرجع في هذه الحالة إلى نقص التصريف.

يحدث تطوير تماسك حقيقي في الصخور السليمة بسبب الروابط بين جزيئات المعادن، وفي الطين الذي تعرض لضغوط فعّالة أو أحمال أعلى من تلك التي يجري الاختبار فيها. وفي الحالة الأخيرة، تتسبب الضغوط الفعّالة العالية في تكوين روابط بين جزيئات الطين التي لا تتكسر عند إزالة الضغط الفعّال. في الواقع، فإن الصلصال (يتذكّر) أعلى إجهاد فعّال تعرض له، ولذلك يجب كسر الروابط التي طورتها هذه الضغوط لقص الطين عند أي مستوى أدنى من الضغط المطبق مع أو بدون تصريف.

وبالتالي فإن قوة القص أو الحمل عند الفشل تعكس أعلى إجهاد فعّال يطبّق على الصلصال. على وجه الخصوص، إذا جرى قص الطين تحت أي إجهاد محصور، فإن قوة القص ترجع أساساً إلى التماسك الذي طورته الضغوط الأعلى سابقاً.





إن النتيجة التي يعتمد عليها تشوه التربة أو الصخور المسامية وقوتها على الإجهاد الفعّال فقط هي نتيجة مُهمّة جداً لها آثار واسعة في مجالات التربة وميكانيكا الصخور، ومؤخراً في دراسات آليات الزلازل.

الضغط الفعّال في مادة ما ليس كمية قابلة للقياس بمعنى أنه يمكن استخدام مقياس للإشارة إليه. ومع ذلك، يمكن استخدام الأجهزة لتحديد إجمالي الضغط الطبيعي الذي يعمل عند نقطة في اتجاه معين، ويمكن استخدام معدات أخرى لقياس ضغط المياه في المسام. ثم يعطي طرد ضغط المسام من الإجهاد الكلي الضغط الفعّال. وتجدر الإشارة إلى أن ضغط المسام يُطرح فقط من إجمالي الضغط الطبيعي للحصول على ضغط طبيعي فعّال. لا تتأثر ضغوط القص التي يجري تطويرها في كتلة التربة بضغط المسام، حيث لا يمكن لمياه المسام أن تتحمل إجهاد القص. وبالتالي، فإن ضغوط القص دائماً ما تكون ضغوطاً فعّالة. في ظل العديد من ظروف الحياة الواقعية في التربة أو كتلة الصخور، قد يبقى الإجهاد الكلي (بسبب الجاذبية بالنسبة للجزء الأكبر) دون تغيير، في حين يتغير ضغط المسام نتيجة للتصريف أو التأثيرات الأخرى. في هذه الحالة، ستتغير الضغوط الفعّالة في الكتلة أيضاً مع تغير ضغط ماء المسام، وبالتالي سيتغير التشوه والقوة وفقاً لذلك.

سوف ندرك أن تغيّرات ضغط المسام، على عكس الأحمال الإجمالية، غير مرئية، وبالتالي يمكن أن تخضع كتلة التربة أو الصخور لتغييرات داخلية طفيفة دون تأثيرات مرئية واضحة، ما لم تُجر قياسات دقيقة. إن التغييرات في ضغط المسام، وبالتالي الضغط الفعّال هي، نتيجة لذلك، سبب العديد من حوادث **الانهيارات الأرضية المفاجئة وغير المتوقعة.**





يوجد جانب آخر مهمٌ للاستجابة الفيزيائية هو إجهاد الإجهاد أو سلوك الانزياح القسري قبل وأثناء وبعد الفشل. يمكن توضيح ذلك بشكل أفضل فيما يتعلق باختبار التربة والصخور الشائع الآخر في الشكل (ص ٦١) (b). هنا، تُغلف عينة أسطوانية من التربة أو الصخور بغلاف مطاطي أو بلاستيكي. ثم تُطبَّق ألواح التحميل على الأسطح الدائرية العلوية والسفلية وتوضع العينة في غرفة تحوي على ماء أو زيت يمكن من خلالها تطبيق إجهاد محيطي أو هيدروستاتيكي حول العينة. يمنع الغلاف المطاطي أو البلاستيكي السائل الموجود في الغرفة من دخول العينة. يمكن عمل الأحمال المحورية للعمل على لوحة التحميل العلوية.

يُستخدم هذا الجهاز لأنه يمكن ممارسة تحكم أكثر فعالية في ظروف الصرف مقارنة باختبار القص المباشر بالشكل (ص ٦١) (a) ويجري توزيع الأحمال بشكل أكثر اتساقاً في جميع أنحاء العينة. يبدأ الاختبار عادةً عن طريق تطبيق إجهاد هيدروستاتيكي خارجي والسماح بالصرف أو منعه وفقاً للظروف المراد محاكاتها.

فإذا سُمح بالصرف، يجب السماح بفاصل زمني مناسب للسماح بتبدد ضغط الماء في المسام؛ أما الزمن فهو يعتمد على نفاذية وانضغاطية العينة.

عندما تكون الظروف مناسبة، يجري تحميل العينة محورياً ويتم قياس الانزياح أو عمليات الانزياح المحورية الناتجة. عادة إما يتغير الحجم، إذا تم تفريغ الاختبار، إما يجري أيضاً تسجيل ضغط المسام، إذا كان غير مجوف.



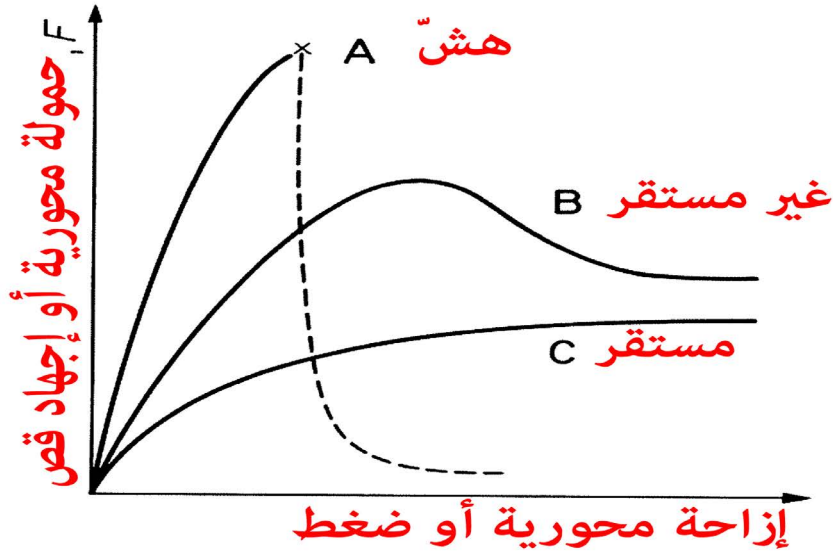


يلاحظ وجود مجموعة متنوعة من علاقات الحمل والانزياح اعتماداً على نوع المادة. فإذا كانت العينة من صخر وكان الضغط المحيط في الاختبار منخفضاً لتمثيل الظروف بالقرب من سطح الأرض، فعادة ما يُعثر على سلوك صخري هش يتوافق مع المنحني A في الشكل أعلاه. هنا تظهر الصخور تشوهاً يزداد تدريجياً إلى ذروة قيمة القوة المحورية التي تنقسم أو تتكسر فجأة. إذا كانت غير محصورة تماماً، فإنها تتفتت إلى أجزاء. مع الضغط المحدود الصغير المطبق على الجزء الخارجي من الغشاء المطاطي، يتجلى السلوك الهش من خلال انخفاض مفاجئ وكبير في قوة القص إلى قيمة أصغر بكثير. يظهر أيضاً نوع من السلوك المماثل ولكنه أقل تطرفاً من خلال الصخور التي تتعرض لضغط أعلى بكثير، والرمل أو الحصى الكثيفة، والطين الذي تعرض لحمل فعال كبير في الماضي.

في هذه الحالات، يزداد الانزياح إلى قيمة الذروة للقوة المحورية، وبعد ذلك تنخفض القوة إلى مستوى ثابت نهائي يستمر عنده الانزياح بثبات.

يوجد نوعان من قيم الفشل المرتبطة بهذا النوع من السلوك: قيمة الذروة، والقيمة النهائية أو المتبقية التي جرى التوصل إليها أخيراً بواسطة المادة المشوهة. يظهر هذا المنحنى بالصورة B في الشكل أدناه.





سلوك إزاحة حمل التربة والصخور.

عندما تكون العينة عبارة عن صخر تحت ضغوط حصر عالية جداً، أو عبارة عن رمل أو حصى رخو، أو عبارة عن طين تعرض فقط لأحمال فعّالة سابقة متواضعة، يلاحظ السلوك الموضح بالمنحنى C في الشكل أعلاه. هنا يزداد كل من الحمل والانزياح تدريجياً حتى يجري الوصول إلى قيمة الذروة للحمل حيث يستمر الانزياح. في هذه الحالة، يكون للحمل الأقصى والحمل النهائي القيمة نفسها. في استخدام الميكانيكا، يشار إلى المنحنيين A و B بالشكل 4 - على أنهما غير مستقرين والمنحنى C مستقر لأسباب سنناقشها لاحقاً.

في الصخور، تكون ضغوط الحصر الأعلى الموجودة في أعماق أكبر في القشرة الأرضية مصحوبة بارتفاع في درجة الحرارة، أي في اختبار مناسب لمحاكاة الظروف على أعماق بضعة كيلومترات، يجب تسخين عينة الصخور.



عند القيام بذلك، عثر على تباين مُهم في السلوك. بالنسبة لمجموعة معينة من الضغوط ودرجات الحرارة الفعّالة، يتشوه الصخر بشكل أساسي على شكل المنحني **B** من الشكل أعلاه، ولكن الانخفاض في ذروة الإجهاد يكون مفاجئاً بشكل أكبر، وإذا استمر الانزياح المحوري للوحة التحميل، سوف يتراكم الحمل مرة أخرى إلى قيمة ذروة أخرى أقل. وهذا بدوره يتبعه انخفاض مفاجئ في الحمل وتراكم آخر. تُلاحظ هذه الظاهرة بشكل شائع في الانزلاق الاحتكاكي، ويشار إليها باسم سلوك الانزلاق اللاصق **Sticky Slip Behavior**. ونظراً لأنها تحدث فقط في نطاق درجة حرارة وضغط معين، يبدو أنها تفسر سبب تولد الزلازل فقط خلال عمق معين في قشرة الأرض. في الأعماق الضحلة، تتشقق الصخور بشكل هش كما هو موضح بالمنحني **A** بالشكل أعلاه، وفي الأعماق الكبيرة جداً، يتجلى السلوك المرن البحت للمنحني **C**.

إذا تطورت الظروف المواتية لانهييار أرضي في منحدر من الرمال الرخوة أو شديدة الصلابة (أي من اللينة إلى المتوسطة)، على سبيل المثال، فإنّ الزيادة التدريجية للحمل في الكتلة الانزلاقية المحتملة، ستصل إلى مرحلة حيث يضغط القص على طول الجهد، والسطح المنزلق يساوي قوة المادة.

تتمتع هذه المواد بخاصية إزاحة القوة الموضحة في المنحني **C** في الشكل أعلاه، وبالتالي فإن انزلاق الكتلة المنزلقة أو إزاحتها سوف يتطور تدريجياً مع اقتراب القوة من قيمة الذروة. في هذه الحالة يمكن ملاحظة أن عمليات الانزياح التي تحدث لا تؤدي إلى انخفاض في مقاومة القص للمادة. ومع ذلك، عند حدوث الانزلاق، يحدث تخفيض تلقائي أساسي لقوة التمثيل؛ لأن حركة المنحدر تتقل بعض الحمل إلى مقدمة المنحدر وتخفف الحمل في الأعلى. وهكذا، ربما بعد





حركة صغيرة نسبياً، يستقر الانزلاق بسبب علاقات الإجهاد والانفعال للمادة، والتغير الهندسي الطفيف الناجم عن الانزياح. السلوك مستقر، لأن تغييراً بسيطاً في الحمل لا يؤدي إلا إلى إزاحة صغيرة.

ضع في اعتبارك حالياً أن المنحدر نفسه يتكون من تربة بخصائص إجهاد وانفعال معبر عنها بالمنحني **B** في الشكل أعلاه. في هذه الحالة، عندما يتجاوز ذروة مقاومة القص للمادة في بعض مناطق الانهيار، ستحدث عمليات الانزياح مرة أخرى. ومع ذلك، يوضح المنحني **B** أن مقاومة القص تنخفض نحو القيمة النهائية بواسطة هذا الانزياح.

اعتماداً على درجة السلوك غير المستقر الذي أظهرته المادة، سيجري تقليل مقاومة القص أكثر من الحمل بحيث يتقدم الانزلاق وتؤدي الإزاحة الناتجة على طول السطح المنزلق إلى انخفاض آخر في مقاومة القص. نتيجة لذلك، تخضع كتلة الانزلاق لحركات كبيرة وقد تحقق سرعات كبيرة بما يكفي لحملها مسافة كبيرة.

في الحالة القصوى للسلوك الهشّ كما يتضح من المنحني **A** في الشكل أعلاه، فإن تطور الأحمال الكبيرة بما يكفي لتسبب فشلاً للمواد الموجودة في المنحدر يؤدي إلى فقدان كامل لقوة المادة، بحيث تتحرر كتلة الانزلاق الأرضي من المواد المحيطة ويمكن أن تنزلق بمقاومة قليلة.

يمكن أن تصل **الانهيارات الأرضية** في مثل هذه المواد إلى سرعات عالية وتقطع مسافات كبيرة في التضاريس المناسبة. يرتبط مقياس السرعة ارتباطاً مباشراً بخصائص المواد هذه.





تحدث الانهيارات الصخرية السريعة أو **الانهيارات الأرضية** في المواد ذات السلوك الهشّ بشكل عامّ غير المستقر؛ تحدث الانزلاقات ذات السرعات المتوسطة من دقائق إلى ساعات وتكون عموماً ذات طبيعة تقدمية في المواد غير المستقرة؛ و**الانهيارات الأرضية** البطيئة أو الزاحفة هي من سمات المواد ذات العلاقة الثابتة بين الإجهاد والانفعال.

• ضغوط المسام

يعد تأثير التغييرات في ضغوط المسام في تطور **الانهيارات الأرضية** مهماً لدرجة تتطلب مناقشة منفصلة. تتطور ضغوط المسام في تربة مشبعة أو كتلة صخرية عن طريق أي تغيير في تحميل أو إجهاد المادة.

في حالة وجود منحدر مستقر طبيعي للتربة المشبعة ووضعت حمولة تتكون من حشوة لسد طريق سريع، على سبيل المثال، في الجزء العلوي من المنحدر، فستتطور ضغوط المسام في مادة المنحدر. ومباشرة بعد تطبيق الحمل، تُرفع القوى التي تميل إلى التسبب في الفشل، ولكن الضغوط الفعّالة في التربة، تبقى قوة قص التربة دون تغيير عن الحالة قبل تطبيق الحمل.

إذا تجاوز الحمل مقاومة التربة، فسيفشل المنحدر على الفور، ولكن إذا كان الحمل غير كافٍ للتسبب في فشل المنحدر بمجرد تطبيقه، فسوف تتبدد ضغوط المسام الزائدة في الزمن المناسب وستزداد الضغوط الفعّالة. وبالتالي تزداد قوة التربة وسلامة المنحدرات بمرور الزمن أيضاً. بشكل عامّ، فإن المنحدر في **مثل** هذه الحالة إما أن يفشل على الفور عند تطبيق الحمل، أو إذا لم يحدث ذلك، فهو آمن.



دعنا نفترض، من ناحية أخرى، أن الحمل لا يجري تطبيقه في الجزء العلوي من المنحدر، ولكن على سطح مستوٍ بعض المسافة إلى الخلف من الحافة. في البداية، لا يتأثر استقرار المنحدر بالحمل، الذي مع ذلك يولد ضغوطاً مسامية في جواره المباشر.

تتخفض ضغوط المسام هذه عن طريق التصريف إلى الأسطح الحرة المجاورة، بما في ذلك المنحدر. لذلك قد تتعرض مادة المنحدر لزيادة ضغط المسام، دون تغيير في الحمل الإجمالي، بعد مرور بعض الزمن على تطبيق الحمل.

إذا استقرّ المنحدر عند حافته في البداية، فقد يؤدي الانخفاض اللاحق في الضغوط والقوة الفعّالة إلى فشلها. أي آلية تزيد من ضغط المسام تمثل خطراً. في إحدى الحالات من الناحية العملية، جرى دفع أكوام هيكل الجسر على مسافة من منحدر فشل بعد مرور فترة من الزمن.

إن زيادة ضغط المسام لا تنتج كثيراً من الحمل على الأكوام، ولكن تنتج من الاضطراب والتشويه الذي تسببت فيه في التربة الطينية الأساسية.

يمكن أن تحدث تغيرات ضغط المسام في التربة أو الصخور نتيجة لظروف أخرى خارج المنطقة قيد الدراسة. يمكن جعل المنحدر الذي بقي مستقراً لفترة طويلة في ظروف الحمل والجدول المائي الحالي غير المستقر من خلال تغيير أنماط الصرف في المنطقة المحيطة.

يمكن أن يحدث التغيير بشكل طبيعي نتيجة للحركات الموسمية في منسوب المياه الجوفية، أو قد يكون نتيجة لأنشطة الإنسان. حيث يمكن أن يتسبب بناء المنازل وشغلها في الجزء العلوي من منطقة التلال في حدوث تغييرات في





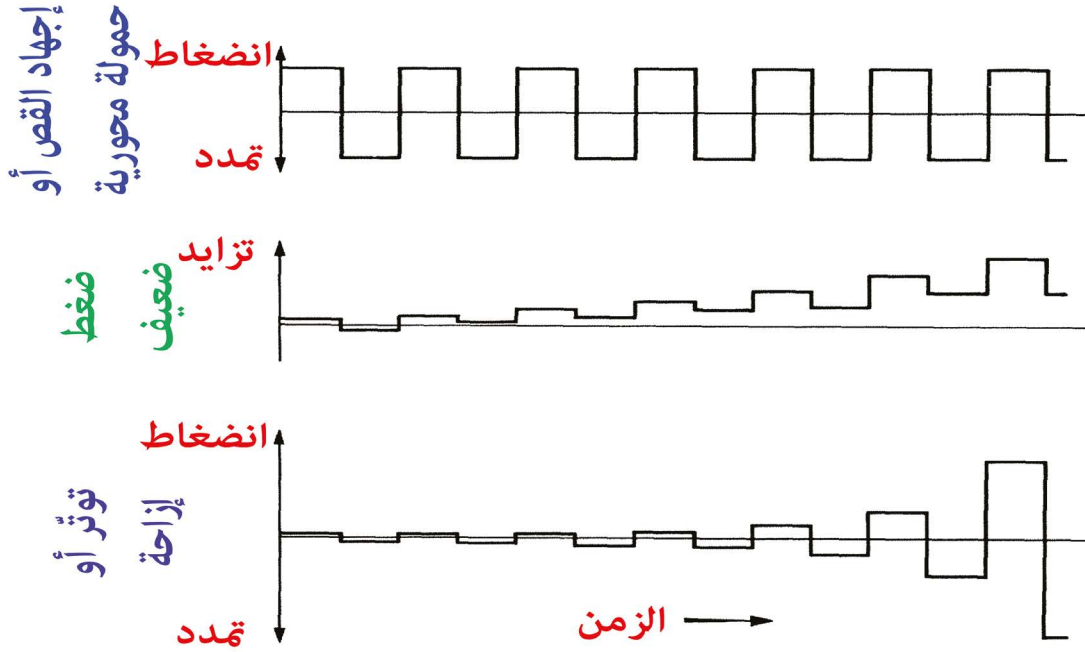
ظروف المياه الجوفية من خلال استخدام الآبار بدلاً من أنظمة تجميع الصرف الصحي المناسبة، عن طريق سقي الحدائق، ومن خلال التغييرات في أنماط الجريان السطحي الطبيعي وتصريف المياه.

مثلاً في لوس أنجلوس، كاليفورنيا، لم يكن فشل سفوح التلال التي تم بناء المنازل عليها والاستيلاء عليها أمراً غير مألوف. في كثير من الحالات، تكون هذه الإخفاقات، على الرغم من صعوبة التحقيق فيها، على الأرجح بسبب التغييرات في كمية المياه الموجودة في سفوح التلال القاحلة عادة.

توجد آلية أخرى يمكن بواسطتها زيادة ضغوط المسام، وذلك من خلال اهتزازات الزلزال. إذا تعرضت التربة الحبيبية الجافة أو الرملية لتحميل متكرر، فسيعثر على أنه حتى المواد الكثيفة نسبياً ستخضع في الحجم مع عدد دورات تطبيق الحمل.

وبالتالي، إذا وضعت التربة نفسها في التكوين الاختباري للشكل (ص ٦١) (a)، يمنع الصرف، ويطبق الحمل المحوري دورياً لإحداث ضغط متناوب وتمديد لعينة التربة، سيزداد ضغط المسام تدريجياً.

تترك كل دورة تحميل زيادة متبقية في ضغط المسام. يوضح التأثير من خلال جزء من نتائج **مثل** هذا الاختبار في الشكل أدناه يوضح الرسم البياني العلوي إجهاد القص المتناوب المطبق على العينة عن طريق التطبيق الدوري للحمل المحوري.



تسييل التربة تحت التحميل الدوري.

يوضح الرسم التخطيطي الثاني التأثيرات الدورية في ضغط المسام وميل ضغط المسام إلى الارتفاع بثبات مع استمرار الاختبار. نظراً لأن الإجهاد الهيدروستاتيكي المطبق خارجياً أو ضغط الغرفة يبقى ثابتاً أثناء الاختبار، فإن الزيادة المطردة في ضغط المسام تعني أن الضغوط الفعالة في عينة التربة تتناقص.

والنتيجة هي أن الانزياح المحوري أو إجهاد العينة، الموضح في أدنى رسم تخطيطي للشكل أعلاه، يزداد تدريجياً مع ضغط المسام. في النهاية، يقترب ضغط المسام من الضغط الخارجي المحيط بحيث تكون الضغوط الفعالة تقريباً صفراً.

عندما يحدث هذا، يُقال إن العينة قد سالت لأنها تتمتع حالياً بخصائص سائل كثيف بدلاً من خصائص المادة الصلبة، بحيث تصير عمليات الانزياح تحت الحمل المتناوب كبيرة جداً.





في الزلزال، تتعرض التربة الموجودة أسفل سطح الأرض لتباينات إجهاد القص، إلى حد ما كما هو موضح في الشكل أعلاه، باستثناء أن الدورات بالطبع ليست منتظمة والسعات عشوائية.

نظراً لأن الزلزال قصير المدة نسبياً، فإن التربة التي تحوي على حبيبات دقيقة بما يكفي، وبالتالي منخفضة النفاذية، لن تكون قادرة على التصريف خلال فترة الاهتزازات، وبالتالي قد تتراكم ضغوط المسام كما هو موضح في الشكل أعلاه.

إذا كانت اهتزازات الزلزال شديدة بدرجة كافية أو إذا كانت مدة الاهتزاز طويلة بشكل كافٍ بالنسبة لخصائص التربة، فقد تحدث ظاهرة التسييل **Liquefaction Phenomenon** في التربة.

بسبب الحاجة إلى تصريف ضئيل أو معدوم خلال فترة الاهتزاز، ولأنها تميل إلى أن تكون كثيفة إلى حد ما، فإن الرمال والحصى خشنة الحبيبات لا تخضع عموماً للتسييل أثناء الزلازل.

بدلاً من ذلك، تقتصر الظاهرة على الرمال متوسطة الحبيبات التي تكون من حالة فضفاضة إلى متوسطة الكثافة. إذا كانت حبيبات المادة أدق من الرمل الناعم أو الطمي الخشن، فعادة ما تمتلك بعض التماسك. وهو ما يمنع تطور الظاهرة لأنه، مع أن ضغوط المسام قد تتراكم إلى حد ما، فإن ارتباط الحبوب ببعضها بعضاً يمنع فقدان الاتصال بينها؛ لذلك لا يخضع معظم الصلصال والطين الغريني لفقدان كامل لقوة القص ولا يجري تسييله.





تنتشر التربة ذات الحبيبات الدقيقة في حالة التشبع على نطاق واسع في توزيعها، وتمتد اهتزازات الزلازل على **مثل** هذه المناطق الكبيرة، لدرجة أن ظاهرة التسييل كانت جزءاً من كل زلزال جرت دراسته عن كثب.

في بعض الزلازل كان التسييل عاملاً رئيسياً في الضرر والدمار الذي تسبب فيه. أدت ظاهرة التسييل دوراً في حركات التربة الضخمة في ألاسكا في عام 1964؛ في نيغاتا، اليابان، في عام 1964، أيضاً تسببت في حدوث اضطراب كبير في الخدمات والمرافق، فضلاً عن نشوء مستوطنات بناء كبيرة وعمليات تهجير. في زلزال سان فرناندو بكاليفورنيا عام 1971، تسبب تسييل المواد في سد سان فرناندو في حدوث انهيار أرضي للجزء العلوي من هيكل السد. كما يُعزى هبوط وإزاحة المنحدرات والجسور الأخرى في هذا الزلزال إلى ظاهرة التسييل.

• من الزحف إلى الفشل

تُظهر جميع مواد التربة والصخور السلوك اللزج للتدفق أو الزحف تحت ضغوط القص المستمرة. نظراً لوجود ضغوط القص على سفوح التلال، فمن الشائع جداً أن رؤية الأشجار على المنحدرات تظهر انحناءً لقاعدة الجذع، منحدرًا مقعراً؛ هذه هي خاصية زحف طبقة التربة المنحدرة. يكون لسير السرعة أو الانزياح مع العمق - في **مثل** هذه المواد التي تتدفق ببطء - حد أقصى على السطح ويقل مع العمق. وبالتالي يجري تدوير الأشجار باستمرار المنحدر، ولكن الميل الطبيعي للشجرة للنمو عمودياً يتسبب في ظهور انحناء في الجذع. إذا كانت المادة الزاحفة لها علاقة ثابتة بين القوة والانزياح، فإن





الزحف يستمر بمعدل موحد نسبياً ما لم تحدث إزاحة كافية لتغيير هندسة المنحدر في اتجاه استقرار أكبر.

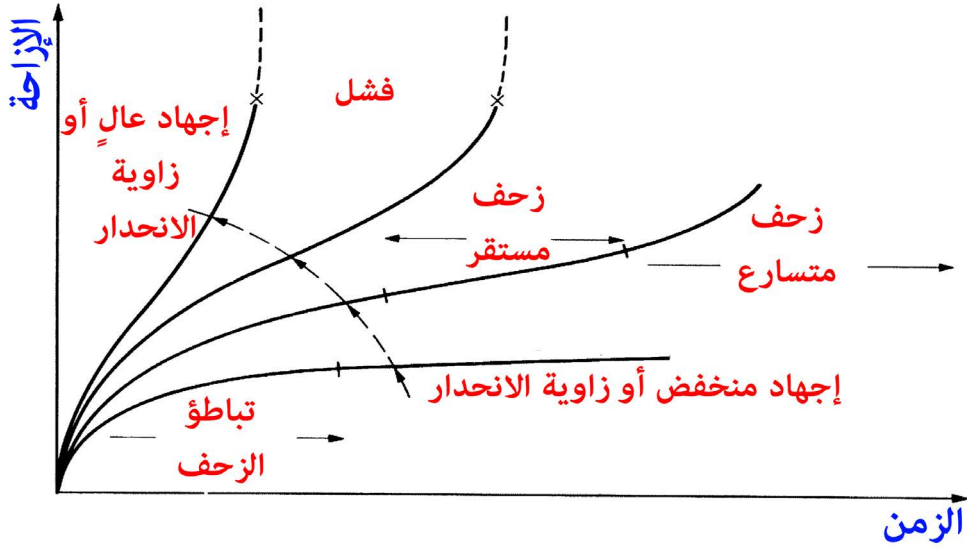
من ناحية أخرى، إذا كانت المادة لها سلوك غير مستقر، فإن أسطح القص سوف تتطور في منطقة أقصى إجهادات القص (عادةً عند إصبع أو قمة المنحدر)، وهناك قوة المادة سوف يجري تخفيضها إلى قيمتها النهائية. ثم تعمل هذه المنطقة إلى حد ما على أنها انقطاع أو صدع في قطعة معدنية وتسبب زيادة في إجهاد القص في جوارها. وبالتالي، فإن المادة الموجودة في هذه المنطقة تُقصّ أيضاً حتى تصل قوتها إلى القيمة النهائية؛ بدوره يزيد الضغط في الجزء التالي من المنحدر المادي. بهذه الطريقة، يستمر التطوير التدريجي لسطح القص عبر المنطقة غير المستقرة المحتملة. في حالة تطور سطح القص، تكون قوة المادة هي القيمة النهائية أو القيمة المتبقية، في حين أن المادة الموجودة في منطقة لم تتقاطع بعد مع سطح القص تكون في ذروة قوتها.

وبالتالي في ظل ظروف مناسبة، ينخفض متوسط مقاومة القص على طول السطح المنزلق المحتمل حتى تصل إلى قيمة أقل من متوسط إجهادات القص التي تفرضها كتلة الانزلاق. عندما يحدث هذا، تحدث حركات إجمالية وتتحرك الكتلة المنزلقة إلى أسفل. يوضح الشكل أدناه هذا السلوك الذي يبين إزاحة نقطة على سطح الكتلة المنزلقة المحتملة كدالة للزمن، على سبيل المثال. وتشير المنحنيات المختلفة إلى السلوك عند القيم المختلفة لضغط القص، الذي قد يكون ناتجاً -على سبيل المثال- عن زيادة ميل المنحدر، أو عن طريق تطبيق الحمل. إذا كان الحمل المطبق صغيراً بدرجة كافية، سيزداد معدل الانزياح





بعد تطبيق الحمل، ولكنه سيتباطأ حتى يتوقف الانزياح. إذا جرى تطبيق قيمة أعلى للحمل على قمة المنحدر، فإن الانزياح سيزداد بمرور الزمن؛ ثم عادة ما يتباطأ بينما يزحف المنحدر بثبات مع تطور سطح القصد. أخيراً، عندما يصل سطح القصد إلى بُعد حرج، سيزداد معدل الانزياح مرة أخرى حتى يحدث الفشل الكامل. سيؤدي تطبيق حمولة أعلى إلى تقليل زمن الفشل.



سلوك انحدار التربة من الزحف إلى الفشل تحت الحمل المتزايد. حيث يمثل كل منحني السلوك تحت قيمة واحد لإجهاد القصد، وتزايد إجهاد القصد في الاتجاه المبين.

لقد استخدمت هذه الآلية لشرح عدد من حالات فشل المنحدر التي حدثت بعد سنوات عديدة من تحميل المنحدر إما عن طريق الحفر إما عن طريق الردم. في بعض الحالات في إنجلترا، فشلت عمليات قطع السكك الحديدية بعد ستين أو سبعين عاماً من إجراء هذا الخفض.



في التحقيق في مثل هذا الفشل أو في تحليل انزلاق محتملة، يجب أن تكون مقاومة القص للمادة المستخدمة هي المتبقية بدلاً من مقاومة الذروة. سيشير استخدام قوة الذروة بشكل خاطئ إلى أن المنحدر الذي يحتمل أن يكون خطيراً له عامل أمان كافٍ.

• الحركات التكتونية

في أجزاء كثيرة من العالم، لا سيّما عند حواف الصفائح القشرية، يحدث ارتفاع أو انخفاض في سطح الأرض. بالإضافة إلى ذلك، بعد حدوث زلزال كبير، تتطور مناطق ارتفاع أو انخفاض كبيرة تصل إلى آلاف الكيلومترات المربعة نتيجة لإعادة تكييف القشرة.

في مناطق أخرى، تحدث تغيرات في الارتفاع -على سبيل المثال- لأن القشرة ما زالت تتكيف مع إزالة الحمل الجليدي للعصر الجليدي الأخير. يمكن أن يؤدي ملء خزان كبير أيضاً إلى حدوث انزياح قابل للقياس في سطح الأرض المجاور. في كل هذه الحالات، ستؤدي تغييرات الارتفاع إلى انحدار أو تسطيح المنحدرات. تخضع المنحدرات شبه المستقرة عند حافتها، عندما تكون شديدة الانحدار، لزيادة تدريجية إجهاد القص في التربة أو كتلة الصخور التي قد تؤدي إلى نشاط **الانهيار الأرضي**.

• تحليل المنحدر

تنقسم دراسة **الانهيارات الأرضية** إلى واحدة من فئتين: إما التحقيق في **الانهيار الأرضي** الذي حدث بالفعل، مع تحليل مصاحب لشرح تطوره، إما دراسة وتحليل منحدر طبيعي أو صناعي من صنع الإنسان للبناء عليه بهدف تحديد استقراره في ظل الظروف المتغيرة.



في تحليل **الانهيار الأرضي**، الفعلي أو المحتمل، هناك حاجة إلى فحص الآليات التي يمكن أن يتطور من خلالها الفشل، وكذلك لفحص خصائص المادة المعنية. عادةً ما يجري تقدير استقرار المنحدر من ناحية عامل الأمان المحدد على أنه نسبة القوى العاملة لمقاومة الفشل، إلى القوى التي تعمل على التسبب في الفشل.

تتطور قوى المقاومة من خلال مقاومة القص للتربة، ويجري إجمالها على سطح الفشل أو التمزق المحتمل؛ إن القوى المؤثرة، كما وصفت سابقاً، ناتجة عن حمل الكتلة المنزلقة، جنباً إلى جنب مع أي قوى ديناميكية قد تعمل في الزلزال.

بالنسبة لتكوين منحدر معين، يجري عادةً تجربة مجموعة متنوعة من الآليات التي يمكن أن تفشل من خلالها، ويجري حساب عامل الأمان لكل منها. الآلية التي يكون لها أقل عامل أمان هي الآلية التي من المرجح أن يحدث فيها الفشل، وتشير القيمة الفعلية إلى أدنى عامل أمان إلى درجة ثبات المنحدر.

تشير قيمة حول الوحدة، بالطبع، إلى أن الفشل محتمل. بالنسبة للبناء، تعتمد قيمة عامل الأمان الذي يعتبر مناسباً لاقتصاديات إجراءات البناء وعواقب الفشل. عادة ما تستهدف عوامل الأمان التي تتراوح بين 1.5 و 2.0.

من الممكن، بالطبع، لا سيما في حالة المنحدرات الطبيعية، ألا يُعثر على الآلية الأكثر ملاءمة للفشل أو تحديد موقعها في التحقيق -على سبيل المثال- قد لا يكتشف الشق أو مستوى القاع الذي يحوي على الماء أو مادة ذات مقاومة قص منخفضة في العمليات المعتادة لعمل الآبار وأخذ العينات، وفي هذه الحالة،





قد يحدث الفشل بالفعل قبل أن تصل الأحمال إلى قيمتها التصميمية، أو في منحدر محسوب على أنه آمن. الاحتياط الوحيد هو توظيف العناية القصوى في التحقيق والتحليل الميداني. سنتعرف فيما يأتي على عددٍ من آليات الفشل الأكثر شيوعاً:

1. المنحدر اللانهائي

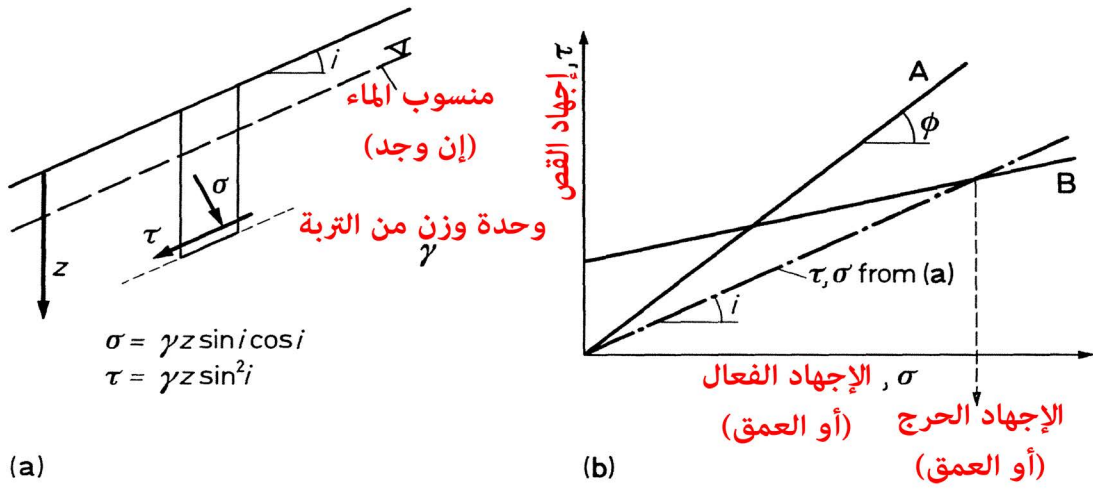
أسهل آلية للتخيل تتضمن منحدرًا طويلاً مقارنةً بسمك مادة يحتمل أن تكون غير مستقرة. كما أنها طويلة بمعنى أن الظروف في أعلى وأسفل المنحدر بعيدة بما يكفي ليكون لها تأثير ضئيل في استقرار السطح المنحدر. تحدث هذه الحالة عادةً عندما تكون الطبقة غير المستقرة رقيقة نسبياً وتغطي طبقةً أقوى بكثير. يمكن أن تتحقق الظروف في الممارسة العملية من خلال طبقة من التربة التي تعلو سطحاً صخرياً مائلاً أو عن طريق الصخر الأساسي نفسه عندما تعمل طبقات الوصل أو مستوي القاع بالتوازي مع سطح المنحدر.

من خلال النظر في عمود عنصري المادة في مثل هذا المنحدر، يمكن الحصول على معالم التحليل. وهي موضحة في الشكل أدناه (a) حيث σ يمثل الضغط الفعّال الذي يعمل بزاوية قائمة على السطح المنزلق المحتمل عند العمق Z أسفل منحدر الميل i ، و τ هو إجهاد القص الذي يعمل على السطح نفسه.

هذه هي الضغوط المؤثرة. ينطبق الرسم التوضيحي الموضح على الحالة البسيطة حيث تكون المادة متجانسة بين السطح والعمق موضع الاهتمام. في حالة وجود طبقات من مواد وخصائص مختلفة، فيجب ترجيح وزن الوحدة γ المستخدم في تعبيرات الشكل بشكل مناسب.



عندما يكون منسوب المياه الجوفية موجوداً في المنحدر بسبب حالة تسرب المياه المتدفقة عبر التربة، يمكن الحصول على ضغط المسام المناسب وطرحه من إجمالي الإجهاد الطبيعي σ من أجل الوصول إلى الضغط الفعّال على مستوى الفشل المحتمل.



الإجهاد والقوة لمنحدر لانتهائي. (a) الضغوط على سطح التربة عند العمق Z أسفل المنحدر، (b) العلاقة بين الضغوط في المنحدر وقوة المواد.

إذا جرى رسم الإجهادين σ و τ من الشكل أعلاه (a) و (b)، مع إظهار زيادتهما مع العمق، يُلاحظ أنهما مرتبطان ببعضهما بعضاً من خلال خط يصنع الزاوية نفسها مثل منحدر إلى المحور الأفقي.

لتحديد ما إذا كان الميل مستقراً أم لا، من الضروري رسم شكل بياني على الشكل (ص ٦٢) (b) حيث إن مقاومة القص (التي تقاوم الفشل) مقابل علاقة الضغط الفعّالة العادية الموضحة في الشكل (ص ٦٢) للمادة التي تشكل المنحدر.



يمكن أن نرى بسهولة أنه إذا كانت التربة غير متماسكة (الخط **a**)، فإن المطلب الوحيد للاستقرار هو أن تكون زاوية الاحتكاك الداخلي للمادة أكبر من زاوية الانحدار.

من ناحية أخرى، إذا كانت التربة تمتلك تماسكاً بحيث تختلف قوتها وفقاً للخط **B** في الشكل أعلاه (**b**)، فمن الممكن لهذا الخط **B** أن يتقاطع مع خط إجهاد القص عند قيمة معينة من الإجهاد الطبيعي الفعّال، وهذا يتوافق مع عمق معين تحت سطح الأرض. تحت هذا العمق يجري تجاوز مقاومة قص المادة. إذا كان عمق التربة يساوي أو أكبر من هذا العمق الموجود على المنحدر، فإن التحليل يشير إلى أنها ستتزلق.

حتى يكون المنحدر مستقراً عند الزاوية **i**، يجب أن يكون عمق مادة الخاصة **B** الموضحة أقل من العمق الحرج. إذا كانت المادة المتماسكة تمتلك أيضاً زاوية احتكاك أكبر من زاوية الانحدار، فستكون، بالطبع، مستقرة في جميع الأعماق.





المنحدرات المحدودة

الموقف الذي نواجهه بشكل متكرر هو المنحدر المحدود حيث يكون عمق المادة القادرة على الانهيار مشابهاً لأبعاد المنحدر. في هذه الحالة، ومع أنّ السطح المستوي المنهار لا يزال ممكناً، إلا أنه ليس موازياً لسطح المنحدر ويجب أيضاً مراعاة الأسطح الأكثر تعقيداً.

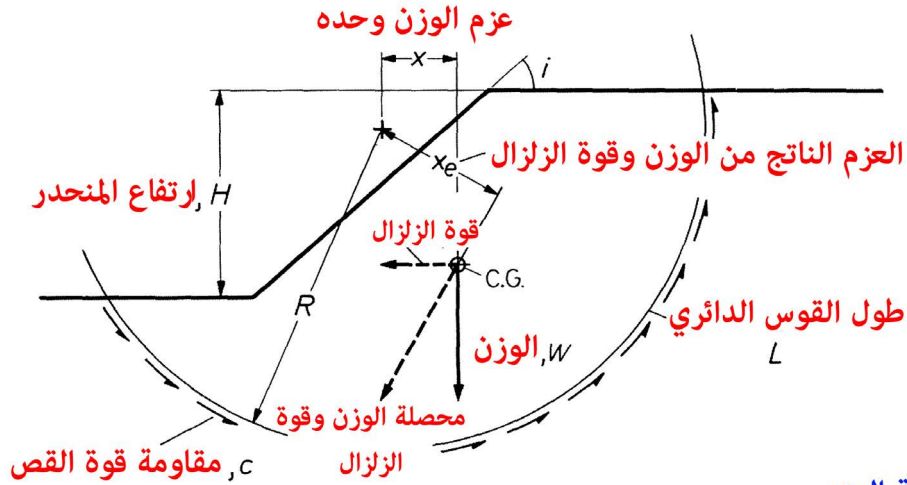
غالباً ما يكون سطح الفشل المستخدم عبارة عن قوس دائري كما هو موضح في العرض ثنائي الأبعاد للشكل أدناه. في أبسط الحالات، يجري قطع المنحدر إلى الارتفاع H والزاوية i بسرعة كافية في الطين المتجانس بحيث لا يمكن أن يحدث تبديد لضغط المسام أثناء الحفر. في هذه الحالة، قد يُفترض أن مقاومة قص التربة على طول القوس الدائري المقترح تبقى ثابتة تقريباً عند قيمتها قبل حفر المنحدر.

يجري تحديد قوس دائري مع المركز ونصف القطر R ؛ من هذا يمكن قياس الطول L للقوس أو حسابه وتحديد وزن منطقة الانزلاق المحتملة.

يمكن أيضاً الحصول على موضع مركز الثقل (CG) . من هذه الكميات وقوة التربة، يمكن حساب عامل الأمان لهذا السطح الدائري كما هو موضح في الشكل أدناه.

ومع ذلك، هذا ليس بالضرورة القوس الدائري الذي من المرجح أن يكون الفشل فيه، لذلك يجب تحديد سطح دائري آخر واتباع الحساب نفسه وهكذا دواليك. الفشل هو الأكثر احتمالاً على القوس مع أصغر عامل أمان.





مقاومة العزم cLR

العزم الفعال Wx

عامل الأمان $\frac{cLR}{Wx}$

حساب ثبات المنحدر باستخدام سطح فشل القوس الدائري.

من الناحية العملية - بالطبع- يوجد القليل من المشكلات مع هذه البساطة؛ عادةً ما تختلف خصائص التربة باختلاف العمق، وتوجد ضغوط المسام، ويجب تقدير ثبات المنحدر في ظل ظروف الصرف الصحي وغير المصفية. في مثل هذه الحالات، تتمثل التقنية المعتادة في تقسيم المنحدر إلى سلسلة من الانزلاقات الرأسية، يُحسب وزن كل منها، ويمكن تقدير مكونات الوزن التي تعمل بشكل طبيعي وعرضي لسطح القص من خلال قاعدتها. من القوة العادية التي تعمل عبر سطح القص، يمكن طرح القوة الناتجة عن ضغط المسام لإعطاء المكون الفعال لهذه القوة، وتعتمد قوة القص على هذا المكون.

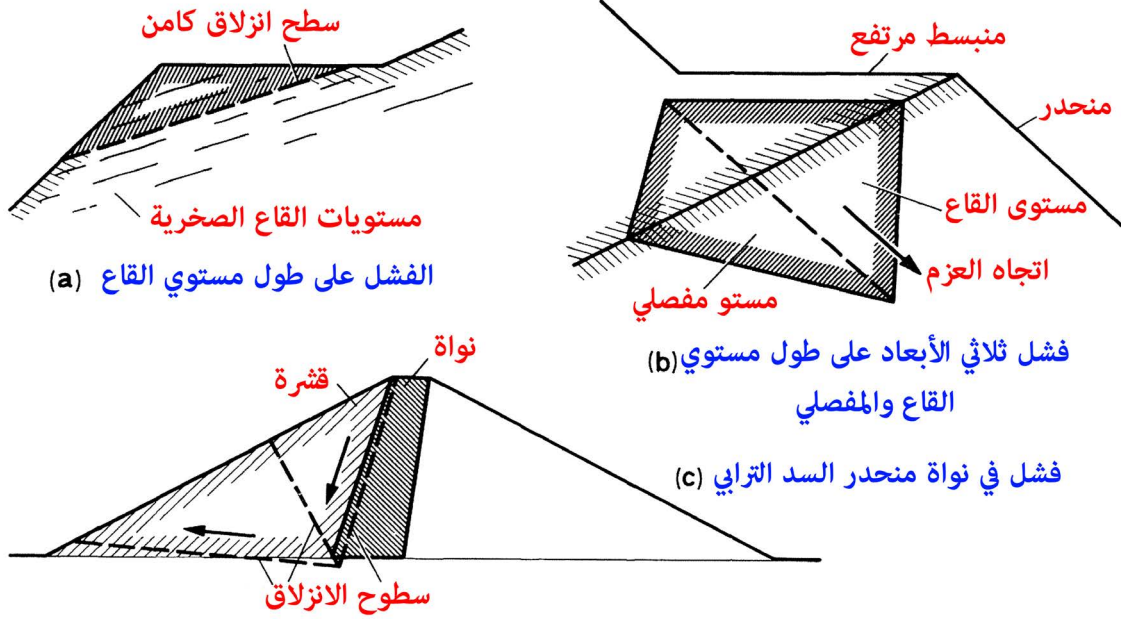


يمكن بعد ذلك جمع قوى القص ومقاومة قص التربة لجميع الانزلاقات، وحساب عامل الأمان لدائرة معينة. عادةً ما تكون ستة أو سبعة انزلاقات كافية لإعطاء دقة كافية في الحساب. مرة أخرى، يجب استخدام عدد من هذه الدوائر قبل الوصول إلى الدائرة الأكثر احتمالاً للفشل. توجد طرائق مختلفة لتقديم المساعدة في اختيار الدوائر الأكثر احتمالاً.

يمكن استخدام أسطح فشل أكثر تعقيداً عندما توحى خصائص المواد بها، ويمكن بعد ذلك استخدام طريقة الانزلاقات السابقة لإعطاء عامل أمان لهذه الحالات. على سبيل المثال، إذا أظهرت المادة خصائص قوية للطبقات الأفقية، فمن غير المرجح أن ينقطع سطح الفشل خلال الطبقات كما هو موضح في الشكل 8-؛ بدلاً من ذلك، من المحتمل أن يتبع سطح الفشل المستوى الأفقي للقص لجزء من المسافة ويظهر على سطح الأرض من خلال جزء أكثر انحداراً بشكل حاد عند كل طرف.

تميل الأسطح الفاشلة أيضاً إلى اتباع أنماط المفاصل في الصخور ويجب اختيار طريقة الفشل المناسبة لهذه الاتجاهات. يوضح الشكل أدناه (a) توضيحاً بسيطاً لمثل هذا المستوى من الفشل في صخرة مفصلية مع مستويات القاع بزاوية أقل حدة من زاوية الانحدار. وفي كثير من الحالات، بالطبع، يكون ترتيب المستويات المفصلية بحيث يجب تطوير كتلة منزلقة ثلاثية الأبعاد، كما هو موضح في الشكل أدناه (b)؛ طرائق التحليل المتاحة للتعامل مع هذا الموقف.





آليات الفشل.

تتمثل إحدى **التقنيات** المستخدمة في بناء السدود الترابية في استخدام مادة حبيبية خشنة نسبياً لدعم نواة مركزية غير منفذة والتي قد تكون مائلة، كما هو موضح في الشكل أعلاه (c). تتكون النواة من مادة دقيقة الحبيبات، مثل: الطمي أو الطين، والتي عادة ما تكون أضعف من **التربة الداعمة**. في هذه الحالة، إذا حدث الفشل، فمن المرجح أن يحدث على مستوى القص عبر النواة، ولكن هذا يتطلب آلية كما هو موضح في الشكل أعلاه (c) للتطور.

هنا قد تتكون **الكتلة المنزلة** من كتلتين: إحداهما تتحرك للخارج على سطح قص أفقي إلى حد ما، وربما تقع في المواد الطبيعية الأساسية في موقع السد، والأخرى يتحرك لأسفل على طول سطح الانهيار عبر النواة. تحوي **الكتلتان المنزلتان** على واجهة **تنزلق** على طولها فيما يتعلق ببعضها بعضاً.



• الاعتبارات الزلزالية

في التحليلات التي **نوقشت** إلى الوقت الحالي، أُخذت القوى الرأسية فقط بسبب الجاذبية في الاعتبار. عندما يحدث زلزال، ينشأ تسارع أفقي وعمودي ذو طبيعة ديناميكية. ومن خلال كتلة المادة، تغير هذه القوى المؤثرة لإحداث فشل في المنحدر، بينما في الزمن نفسه يمكن أن تتأثر خاصية مقاومة التربة من خلال، على سبيل المثال، توليد ضغوط مسامية أعلى أثناء فترة الاهتزاز.

يمكن إجراء المستوي الأول من التحليل من خلال تجاهل الطابع الديناميكي للزلزال والطبيعة **الديناميكية** لاستجابة التربة أو الهيكل الصخري له. في هذا النهج، يُنظر إلى تأثير **الزلزال** على أنه ممثل بقوة ثابتة مكافئة ناتجة عن تسارع الزلزال ويتم تطبيقه بالإضافة إلى وزن الكتلة المنزقة المحتملة. يمكن تطبيق القوة **الساكنة** المكافئة من خلال المكونات الأفقية والعمودية.

من الشائع إهمال المكون الرأسي لتسارع الزلازل في **مثل** هذا التحليل. إذا اعتبر التسارع الجانبي لذروة الزلزال جزءاً من تسارع **الجاذبية** **مثل** 0.1 أو 0.2، (يسمى المعامل الزلزالي الثابت)، فيمكن تمثيل القوة المتولدة من الزلزال على مخطط **مثل** الشكل (ص ٨٤) بواسطة **a** وهو متجه القوة الأفقية الذي يعمل من خلال مركز ثقل الكتلة **المنزقة** في الاتجاه الأقل ملاءمةً، أي للخارج.

يؤخذ حجم القوة على أنه المعامل **الزلزالي** مضروباً في وزن الكتلة المنزقة. مجموع عنصري القوة، الرأسي والأفقي، هو محصلة تعمل بزاوية معينة لاتجاه متجه الوزن، كما هو موضح في الشكل (ص ٨٤). يمكن حساب هذه القوة





الناتجة من أجل تأثير الزلزال المفترض، ويمكن قياس أو حساب ذراع الرافعة (كما هو موضح في الشكل X_e). ثم يمكن حساب عامل أمان هذا المنحدر أثناء تسارع الزلزال المفترض. يتضح من الشكل (ص ٨٤) أن الزلزال يقلل بشكل واضح من سلامة المنحدر في الاعتبار.

يمكن تطبيق طريقة التحليل هذه، التي تتجاهل الطبيعة الديناميكية للظواهر التي تنطوي عليها الزلازل، على المنحدرات الصغيرة نسبياً أو السدود الترابية التي يبلغ ارتفاعها عادةً أقل من 30 متراً. بالنسبة للهياكل الأكبر، يلزم وجود طرائق تحليل أكثر تعقيداً.

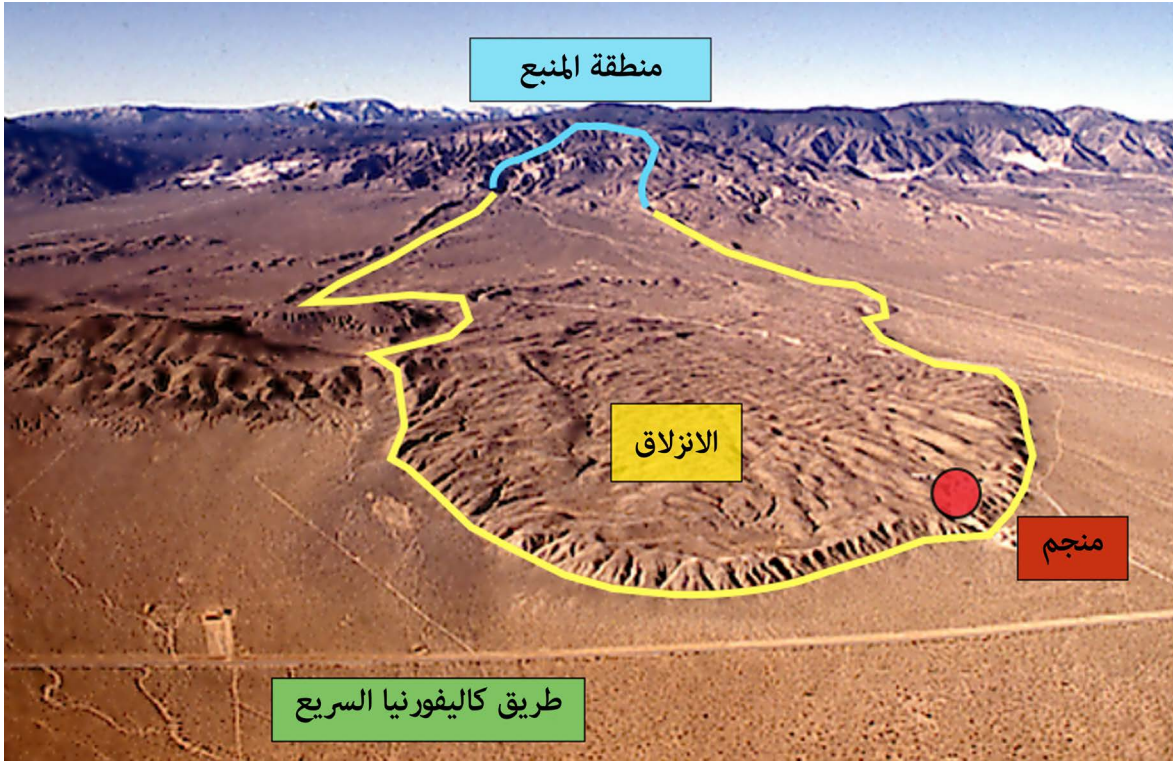
كثيراً ما **تستخدم** تقنية تُعرف باسم تحليل العناصر المحدودة **Finite Element Analysis** التي تتضمن استخدام جهاز حاسوب رقمي كبير. باستخدام **مثل** هذه الطريقة، يمكن حساب كل من الضغوط الديناميكية التي تعمل على إحداث فشل في الأرض أو كتلة الصخور، ويمكن أيضاً إجراء بعض التقديرات لتأثير هذه الضغوط المتغيرة ديناميكياً في خصائص التربة.

• تحقيقات موقع الانهيارات الأرضية

عادة، لا تُجرى **التحقيقات** في سفوح التلال الطبيعية ما لم يقترح شكل من أشكال البناء الهندسي، وفي هذه الحالة سيتداخل البناء مع النظام الطبيعي بطريقةٍ ما التي يجب تحديدها كجزء من التحقيق.

يمكن قطع **المنحدر** الطبيعي أو إضافته من أجل تشكيل طريق سريع أو منبسط لدعم الهيكل، أو يمكن تركيب هياكل الصرف لتحويل المياه من المنطقة. يشير النهج الحكيم إلى ضرورة تحديد ثبات المنحدر في ظل الظروف المتغيرة.





صورة تظهر الانهيار الأرضي بلاك هوك ومنطقة المنبع في جبال سان برناردينو في صحراء موهافي، كاليفورنيا.

ومن المعتاد أن يبدأ هذا التحقيق بفحص الصور الجوية للمنطقة. في الواقع، قد توجه **مثل** هذه الصور كيفية محاذاة الطريق السريع أو تؤدي دوراً حاسماً في موقع الهياكل الأخرى قبل أي عمل على الأرض.

يمكن للجيولوجي أو مهندس التربة المتمرس في تفسير الصور الجوية أن يحدد بسهولة وجود العديد من الانزلاقات الأرضية السابقة على الصور الجوية. في أجزاء كثيرة من العالم، تكون **الانهيارات الأرضية** أكثر شيوعاً مما يُفترض عادةً، وقد يكون من الصعب تجنب مناطق **الانهيارات الأرضية** تماماً، بخاصة للبناء الممتد، **مثل**: الطرق السريعة أو خطوط الأنابيب أو الكابلات.





في بعض الأحيان، يكون **الانهيار الأرضي** مميّزاً في صورة جوية بخاصة عندما يحدث مؤخراً، حيث إنّ الخدوش الموجودة على رأس الكتلة المنزلقة والأرض المضغوطة المتصدعة عند إصبع الانهيار تضرب بالعين على الفور. مع أنّ الانهيارات التي حدثت منذ عدة سنوات قد جرى تغييرها عادةً بشكل كافٍ بسبب التآكل مما يجعلها أكثر صعوبة إلى حد ما في الكشف عنها، إلا أنها تتميز عادةً بتضاريس مجمعة ناتجة عن حركة الكتلة المنزلقة على السطح السفلي غير المنتظم. في الأراضي القاحلة، يظهر سطح الأرض دليلاً على نمط المفصل والكسر للهياكل **الجيولوجية** الأساسية، وهذا أيضاً يمكن أن يعطي أدلة على مخاطر **الانهيار الأرضي** المحتملة.

بمجرد اختيار موقع للبناء، عادة ما يجري تحقيق مُفصّل، بما في ذلك التقييم الجيولوجي الأولي لأنواع الصخور في المنطقة، مع توزيع وتوجيه طبقات القاع والشقوق والتصدعات والصدوع. يجري أيضاً فحص **هيدرولوجيا** المنطقة لتحديد موضع منسوب المياه **الجوفية**، وكمية التسرب الذي يحدث تحت سطح الأرض، وأنماط الصرف الطبيعي للمنطقة. تجري دراسة المعالم التي يحتمل أن تكون خطرة **مثل** مستويات القاع المحاذية بشكل أو بآخر لميل منحدر التل أو التسرب تحت الأرض أو على الوجه أو إصبع الانهيار من جانب التل بتفصيل خاص.

ستشمل الدراسة **الجيولوجية** عادةً تقييماً للخصائص الميكانيكية للصخور، إلى أي مدى تعتمد على وجود طبقات رقيقة من المواد ذات الحبيبات الدقيقة **مثل** الطين أو الصخر الزيتي، حيث تتطور الانزلاقات بشكل متكرر عند مستويات الضعف في المادة الأساسية. ويلاحظ أيضاً أي منزلقات نشأت على منحدرات مماثلة أو في صخور مماثلة في المناطق المجاورة لموقع البناء.





تتطلب المرحلة اللاحقة فحص الموقع من دراسة هندسية للملف التفصيلي للتربة والصخور عن طريق الثقوب، واستخراج عينات التربة للاختبار المعملية. يجري أيضاً الحصول على ارتفاع منسوب المياه، إن وجد، وخصائص مقاومة القص للمواد المختلفة الموجودة.

تنتقل الدراسة إلى مزيد من تحليل ثبات البناء المقترح الذي يتضمن هندسة المنحدر وخصائص المواد التي جرى تحديدها. حيث يتم افتراض عدد من الأسطح المنزلقة المحتملة، ويُحسب عامل أمان المنحدر لكل سطح فشل محتمل. يمكن استخدام آلية الفشل بأقل عامل أمان لتقييم المخاطر. عادة، من المطلوب أن ينطبق الحد الأدنى من عامل الأمان الذي قدره 1.5 أو أكثر على الحالة التي جرى إنشاؤها لضمان الثقة في الاستقرار المستقبلي للمنحدر.

في المناطق الزلزالية، عادةً ما يجري حساب الاستقرار الثابت أولاً، ثم يستخدم معامل زلزالي جانبي يقيم على أساس تسارع الزلزال الذي يُحتمل حدوثه في الموقع خلال عمر الهيكل في تحليل إضافي، مع عامل جديد لتقييم السلامة.

نظراً لأن فشل المنحدر أثناء الزلزال مرتبط بتقييم احتمالية حدوث الزلزال، فمن المعتاد قبول عامل أمان أقل للتصميم في ظل اهتزازات الزلزال.

في كثير من الأحيان، يمكن تحديد أن عامل الأمان المقبول مع زلزال التصميم المفترض هو نحو 1.1 أو 1.2، ولكن في بعض الأحيان قد يكون مطلوباً فقط ألا يقلل الزلزال من عامل الأمان إلى أقل من 1.0.





يعتمد عامل الأمان الذي يعتبر مقبولاً لموقع بناء معين على تكلفة وحجم وأهمية الهيكل المعني وكذلك على عواقب انهياره.

يعتبر عامل الأمان الأقل مقبولاً بالنسبة للهيكل الذي تكون تكاليف إصلاحه طفيفه أو التي لا تعرض الحياة للخطر مقارنة بهيكل مُهمّ يمكن أن يتسبب انهياره في وقوع إصابات.

يشمل تقييم التسارع الجانبي الزلزالي المكافئ الذي سيستخدم في تصميم اختيار الزلازل أو الهزات التي يمكن أن تسبب أقوى حركة أرضية في الموقع.

إذا كان الهيكل مُهمّاً بدرجة كافية لضمان إجراء تحليل ديناميكي مفصّل لاستقرار المنحدر واستجابة الموقع، فيجب إنشاء سجل لزمن التسارع لتمثيل الحركات الأرضية المقدرة في الموقع أثناء زلزال التصميم. ثم يستخدم سجل التسارع هذا في حسابات الحاسوب للتربة والسلوك الهيكلي. في كثير من الأحيان، سيستخدم أكثر من سجل واحد في التحليل بسبب الطبيعة الإحصائية للتسارع المفترض.

• الكشف والتحكم

العديد من **الانهيارات الأرضية**، إن لم يكن كلها، تسبقها فترة من الزحف التي تزداد تدريجياً حتى حدوث الفشل. في ظل بعض الظروف، قد يستمر الزحف لسنوات قبل الوصول إلى الذروة؛ في حالات أخرى، قد تكون فترة الزحف بضع ثوانٍ فقط.





ومع ذلك، يمكن الكشف عن العديد من **الانهيارات الأرضية** مسبقاً، حيث جرى تثبيت الأجهزة المناسبة على المنحدر ومراقبة القراءات على فترات منتظمة.

فقط في حالات قليلة جرى تجهيز المنحدرات، وأحياناً للتنبه عن أي مشكلات في منحدر خُضَّض عامل أمانه بشكل متعمد خلال فترة البناء. عند الانتهاء من البناء، في هذه الظروف، سيعاد ضمان سلامة المنحدرات.

في حال عدم وجود قياسات، تحدث معظم حالات فشل المنحدرات دون سابق إنذار إلا في حالات نادرة في المناطق المأهولة عندما يلاحظ السكان المحليون تشققات جديدة في أرضيات المرآب أو الممرات أو جدران المنازل أو الأرصفة.

في بعض الأحيان يُشار إلى حركة التلال من خلال الشقوق أو الانقطاعات في خطوط الصرف الصحي أو المرافق قبل حدوث الفشل. بحلول الزمن الذي يجري فيه ملاحظة هذه التأثيرات، يكون عادة قد فات الأوان لتجنب الانزلاق الأخير.

يمكن إجراء نوعين من القياسات: عمليات مسح لحركة النقاط الموجودة على سطح المنحدر، وملاحظات الميل المتغير للأنايب المركبة عبر التربة أو كتلة الصخور التي تعتبر مادة انزلاقية.

يتطلب أولهما مسحاً منتظماً مفصلاً إذا كان سيكتشف أصغر الحركات، أو بدلاً من ذلك، توصيل النقاط على منطقة الانزلاق المحتملة بواسطة الأسلاك إلى معدات التسجيل المستمر المنشأة على أرض مستقرة. وتتمثل التقنية الثانية في تركيب نوع خاص من الأنايب البلاستيكية في الآبار المحفورة للفحص الميداني





بشكل دوري، حيث يجري إنزال مقياس الميل إلى أسفل الأنبوب البلاستيكي لإجراء قياسات لميل الأنبوب. إذا كانت كتلة الانزلاق تتحرك منحدرًا للأسفل، فإن ميل الأنبوب سيعكس ذلك.

يتيح تكامل السجلات مع الارتفاع فوق القاعدة أو مع العمق من أعلى الأنبوب قياس الانزياح المطلق لطبقات مختلفة في الأرض. يجري الحصول على موضع الجزء العلوي من الأنبوب من عمليات المسح السطحية.

حتى لو أجريت **مثل** هذه القياسات، فليس من السهل تحديد مرحلة الحركة التي قد تتسارع فيها الكتلة إلى مستوى كارثي. كانت المنحدرات حول خزان فايونت في إيطاليا، والتي امتلأت نحو عام 1960، تعتبر غير مستقرة لبعض الزمن قبل حدوث حركات الانزلاق الكارثية وإجراء القياسات على فترات منتظمة من النقاط على أسطح المنحدرات. ويشير هذا إلى أن المنحدر كان يتحرك، لكن الفشل النهائي لم يكن متوقعاً.

في اليابان عام 1969، تشبع أحد منحدرات التل بالمياه في دراسة لآلية فشل المنحدرات، عندما حدث انزلاق أدى إلى مقتل العديد من الباحثين.

في حال اكتشاف حركة منحدر التل وكان التحليل يشير إلى احتمال حدوث انهيار أرضي، فإنه يتوفر عدد من وسائل الوقاية أو السيطرة.

عندما يجري تضمين كميات صغيرة من المواد، يمكن لمعدات تحريك التربة، في زمن قصير جداً، تخفيف الحمل على رأس المنحدر أو إضافة مادة إلى إصبع الانهيار لزيادة الثبات وإيقاف الحركة (مع وجود الوزن والاهتزاز في بعض الأحيان للمعدات نفسها قد تؤدي أيضاً إلى حدوث مشكلة).



يعتمد اختيار ما يجب القيام به على توافر المعدات والمواد، وتضاريس الموقع، وظروف الوصول والمساحة التي يجري فيها تنفيذ العمليات العلاجية. إذا كان هناك شك في أن ضغوط المياه المسامية، بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية أو تدفق المياه إلى الشقوق، هي السبب الأساسي للحركة المحتملة، فقد يجري تقليلها مباشرة عن طريق حفر ثقوب التصريف.

ليس من الممكن دائماً تحقيق ذلك بسبب النفاذية المنخفضة للعديد من المواد ذات مقاومة القص المنخفضة. في مثل هذه الحالات، يكون التثبيت الكهروسموزي (أي التناضح الكهربائي **Electroosmotic** الذي يحدث عندما يتلامس سائل مع جسم صلب، حيث إن هذا الأخير يحمل شحنة سلبية أو إيجابية حسب طبيعة الجسم الصلب و **PH** السائل مكوناً طبقة كهربائية مزدوجة) ناجحاً في بعض الأحيان.

تتطلب هذه الطريقة تركيب أقطاب كهربائية في الأرض في مكان مناسب فيما يتعلق بالانزلاق المحتملة وتطبيق فرق جهد الجهد عبرها. استجابةً لاختلاف الجهد، تميل المياه الموجودة في التربة إلى التدفق بعيداً عن القطب الموجب باتجاه القطب السالب، وبالتالي تجفّ التربة.

بالإضافة إلى ذلك، هناك تأثير استقرار إضافي في التربة من خلال تدرجات ضغط المياه المسامية التي تتطور. تُستخدم هذه التقنية كطريقة تثبيت مؤقتة للجدران شديدة الانحدار للحفر في المواد الدقيقة عندما تُردم الحفر في نهاية المطاف.





عندما يُشْتَبه في أن ضغوط المسام العالية في مادة دقيقة الحبيبات هي سبب حركة الأرض، فإن طريقة تثبيت أخرى تتضمن حفر ثقوب أفقية في الطبقة دقيقة الحبيبات. يجري تقليل ضغط الماء في المسام عن طريق نفخ الهواء الساخن عبر الثقوب لتجفيف التربة. تزيد عملية التجفيف من قوة قص الأرض.

عندما تكون المنحدرات من صنع الإنسان، عادة ما توفر قوانين المدينة والمقاطعة متطلبات معينة يجب اتباعها أثناء بنائها. قد يُطلب من المنحدرات المصنوعة من الردم -على سبيل المثال- ألا تكون أكثر انحداراً من زاوية رأسية واحدة ونصف أفقيًا، ويجب التحكم بعناية في ضغط التربة التي تشكل المنحدر لتتجاوز حدًا أدنى معيناً لوزن الوحدة، وبالتالي مراعاة متطلبات قوة القص.

عادة ما يجري تحديد تصريف المياه على هذه المنحدرات وبعيداً عنها بعناية. عندما تكون المنحدرات المقطوعة متضمنة في مواد التلال، يجب مراعاة علاقة المنحدرات بطبقات القاع، وتوفر بعض رموز المدينة الحد الأدنى من قيم خصائص التربة القياسية التي يجب استخدامها في تحليل الاستقرار.





التخفيف من آثار مخاطر الانزلاقات والانهيارات الأرضية

لقد أدى النمو السكاني في جميع أنحاء العالم، وبخاصة تركيز الإنسان وأعماله في المناطق الحضرية، إلى زيادة هذه التهديدات إلى المستويات التي صار فيها التخطيط واسع النطاق، والمكلف في كثير من الأحيان، لتقليل المخاطر أمراً ضرورياً في العديد من البلدان.

التقييم الشامل للإجراءات المطلوبة معقد من نواح كثيرة. في الواقع، قد يكون مصدر خطر جيولوجي كبير، في الزمن نفسه، رصيداً كبيراً للمجتمع. قد تؤدي سلسلة الجبال التي توفر المياه والري والترفيه إلى فيضانات قاتلة؛ قد تحيط التربة البركانية الغنية بالزراعة ببركان لا يزال قاتلاً؛ غالباً ما تكون المنتجات الثانوية للصدوع النشطة الكبيرة عبارة عن معادن وموارد طبيعية وتأثيرات مناخية مفيدة ومناظر رائعة. قد توفر المناطق البركانية والطاقة الحرارية الأرضية بخاراً حرارياً لتوليد الطاقة (كما في نيوزيلندا، وكاليفورنيا، وإيطاليا).

سنركز هنا على المخاطر **الجيولوجية** ككل وننظر في الآثار النسبية للانهيارات الأرضية. يتطلب هذا التجميع تحديد الأسئلة الأساسية حول تقييم المخاطر. في هذه العملية، كما هو الحال عادة في العلم، يأتي توفر أو (عدم توفر) البيانات **الجيولوجية** والديموغرافية الأساسية في المقدمة.

يجب ألا يعتمد المخططون بشكل عام فقط على إحصاءات غير مكتملة وغير متساوية للتنبؤ من الأحداث الماضية بالكوارث المستقبلية، ولكن يجب عمل البيانات المتاحة في شكل يسمح ببعض المقارنة الكمية بين مختلف المخاطر





الجيولوجية. عادة ما تكون الخرائط الطبوغرافية و**الجيولوجية** المفصلة بمقاييس مناسبة هي نقطة البداية لمثل هذا التحليل. ثم يجب إجراء دراسة مفصلة للمخاطر المنفصلة.

يمكن العثور على العديد من الاختلافات في تقنيات دراسة التخفيف من المخاطر. يهدف الحساب الآتي إلى تحديد:

1. الحاجة إلى التفاعل بين تلك المهن التي تتعامل مع التنمية الحضرية، **مثل**: مخططي المدن والمقاطعات والمهندسين المعماريين والمهندسين وشركات التأمين والحكومة المحلية ومسؤولي الأشغال العامة.

2. اتجاه يمكن فيه إجراء تحسينات في تقديم البيانات **الجيولوجية** للدراسات البيئية بحيث تكون مفهومة، ومجزأة بشكل أقل، وفي الوقت نفسه تكون أكثر انفتاحاً على تقديرات عدم اليقين. وهذا اتجاه يمكن فيه إجراء تحسينات في تقديم البيانات **الجيولوجية** للدراسات البيئية بحيث تكون مفهومة، ومجزأة بشكل أقل، وفي الوقت نفسه تكون أكثر انفتاحاً على تقديرات عدم اليقين.

لقد صارت الدراسات متعددة التخصصات حول البيئة متاحة بشكل أكبر، ولكنها تحتاج إلى خلفية قوية في التخصصات الفردية إذا كان العمل يهدف إلى تجنب السطحية.

المخاطر **الجيولوجية** الرئيسية هي: اهتزاز الزلازل، والفيضانات، والثوران البركاني، وأمواج تسونامي، وإزاحة الصدع، و**الانهيارات الأرضية**، والهبوط، ونشاط التعرية، واتساع التربة.





ويمكن إضافة عنصرين متحالفين يخضعان بالكامل للتحكم في فقدان الموارد المعدنية وتدهور موارد المياه الجوفية. مع أنّ الأخيرين لا يؤديان إلى خسارة في الأرواح أو الممتلكات، إلا أنّهما يشكلان أخطاراً على الصحة الاقتصادية طويلة الأجل للمجتمع.

تظهر عقبة كبيرة في الحال في معظم البلدان. يعد توثيق الخسائر في الأرواح والممتلكات على مدى فترة زمنية معقولة ضعيفاً للعديد من المشكلات الإحدى عشرة، والاستثناءات الرئيسية، هي: الفيضانات والزلازل وأمواج تسونامي.

ومع ذلك، يمكن إحراز بعض التقدم عن طريق استقراء القيم من مناطق أخرى ومقارنة التأثيرات النسبية. ثمة أمر آخر غير ملموس هو القيمة المادية للحياة البشرية. من أجل التخطيط على المدى الطويل، قد يكون من الضروري تعيين رقم للخسائر المادية.





استخدام الاحتمالات والإحصاء

يجب علينا في البداية تحديد المقصود بالمخاطر **الجيولوجية**. من الواضح أن ثوراناً بركانياً أو فيضاناً على جزيرة غير مأهولة لا يشكل عادةً أي خطر على الإنسان أو أعماله. تأخذ المخاطر معنىً مقنعاً فقط عندما تُدمج المعلومات **الجيولوجية** مع الظروف الاجتماعية والاقتصادية. وهنا يستخدم نوعان من مقياس المخاطر:

المقياس الأول يسمى بمقياس المخاطر النسبية (**RR**)، يقارن حالة بأخرى ولا يأخذ في الحسبان الاحتمالية بطريقة صريحة **مثل** فرص أو احتمالات الحدوث. وعادةً ما يكون المقياس رقمياً أو أبجدياً اعتبارياً. فالمنطقة **0** لا يوجد بها خطر من الزلازل، في حين أن المنطقة **3** لديها أعلى نسبة.

في حالة أكثر تقييداً، يمكن تحديد درجتين أو ثلاث درجات من المخاطر لتخطيط استخدام الأراضي والبناء على طول مناطق الصدع النشطة. سيتم حظر وجود السكن على خط الصدع نفسه.

المقياس الآخر الأكثر تحديداً هو مقياس المخاطر الاحتمالية (**PR**)، الذي يشبه المفاهيم التخمينية المتجسدة في إجراءات التأمين. في هذه الحالة، سيعطى خطر الضرر أو الإصابة من حدث جيولوجي من حيث الاحتمالات أو فرصة الحدوث خلال فترة زمنية معينة (فترة التصميم).

وقد جرى دمج هذه المخاطر الاحتمالية -على سبيل المثال- في خرائط المخاطر الزلزالية لكندا. تُعطى قيم تسارع الزلازل التي من المحتمل حدوثها بواحد من كل مائة في أي عام.





لم يجر تطوير هذا النوع من المخاطر الإحصائية بشكل جيد في السياق الجيولوجي بسبب نقص البيانات التخمينية بشكل رئيسي. وغالباً ما يكون معقداً جداً بحيث يتعذر على عامة الناس فهمه ولكن موضوعيته تشير إلى أنه يستحق المزيد من الاهتمام. يعد التدريب الإحصائي شرطاً أساسياً تقريباً للطلاب الجادين في مجال المخاطر الجيولوجية.

يجري أيضاً التعامل مع تقسيم المناطق لتخفيف المخاطر بطريقتين رئيسيتين: إحداها معالجة المخاطر في منطقة معينة كدالة للشدة التراكمية للضرر الناجم عن الانهيارات وما إلى ذلك، بغض النظر عن تكرار حدوث هذه الأحداث. هذه الوظيفة ثابتة لا يكون فيها الزمن عاملاً.

مخطط تصنيف بديل هو أن تأخذ في الاعتبار تواتر حدوث المخاطر الجيولوجية. وهذا يتيح للأحداث النادرة ولكنها كارثية أن تُعطى وزناً مناسباً مقارنة بالأحداث الأكثر تكراراً ولكنها أقل ضرراً.

لهذا الغرض، يجب إنشاء منحنيات التكرار التي تصنف تواتر وحجم الأحداث الخطرة لكل 50 عاماً -على سبيل المثال- لكل وحدة مساحة، ثم يمكن تعيين المعالم الاحتمالية.

• السلامة العامة

1. تخطيط استخدام الأراضي

على الأقل في العديد من الدول الغربية، يوجد مجموعة متنوعة من المنظمات الحكومية الوطنية والمحلية والخاصة التي لديها مسؤوليات متداخلة في التخطيط ضد المخاطر الطبيعية.





واحدة من أكثر الخطوات فعالية في السيطرة على المخاطر هي فحص مشاركة الوكالة، ومن خلال المراجعة النقدية، توليد الوعي والتعاون بين الوكالات من أجل القضاء على المخاطر. قلة من المسؤولين الحكوميين المحليين لديهم تدريب جيولوجي مناسب والمساهمة على المستوى المحلي هي أساساً لموازنة الضغوط المالية والجمالية.

الأسئلة الأولى في دراسة إقليمية هي:

1. ما الأحداث الجيولوجية التي ستؤدي إلى أكبر الخسائر؟
 2. في أي المناطق من المحتمل أن تكون الأحداث الخاصة أشد خطورة.
 3. كيف سيتغير تأثير المشكلات بمرور السنين.
- بعد تحديد هذه الأسئلة، يمكن التعامل مع القرارات المتعلقة بالتحكم في الفيضانات وتقسيم مناطق الزلازل واستخدام الأراضي بشكل واقعي.

2. خرائط المخاطر الجيولوجية

تتمثل الخطوة الأولى في دراسة المخاطر الجيولوجية الجماعية في رسم معلومات محددة على الخرائط بالمقياس نفسه. الخريطة الجيولوجية - على سبيل المثال - تعرض التوزيع المساحي للبنية الصخرية ونوعها. يمكن تحديد المقياس الذي جرى اختياره والتركيز على معالم معينة لتحسين استخدام المعلومات لحاجة معينة.

هناك حاجة إلى خرائط بتفاصيل أكثر بكثير مما هو ممكن في المعتاد 1: 250.000 إلى 1: 1.000.000 خرائط مقياس لتقييم المخاطر المحددة. بالنسبة





للمناطق الحضرية، يجب أن تُظهر الخرائط المتخصصة لتخطيط استخدام الأراضي والتصميم الهندسي قدرًا كبيراً من التفاصيل وحتى تشمل الدراسات **الجيوفيزيائية** ودراسات الآبار للبنية تحت السطحية المحلية. قد يكون المقياس المطلوب من 1: 20000. الأمثلة الحديثة هي خرائط المنحدرات التي أنتجتها هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية بمقياس 1: 24000. تشير هذه الخرائط إلى النسبة المئوية لمنحدر التلال والجبال عن طريق رمز لوني بحيث يمكن إجراء تقييم لتعرية التلال وظروف الاستقرار.

هناك العديد من المعالم غير المرضية للخرائط **الجيولوجية** المعتادة المنشورة في معظم البلدان؛ لأنه غالباً ما تؤكد هذه الخرائط على التكوينات (البركانية، رواسب الأحواض، إلخ) بدلاً من أنواع الصخور المعنية. وقد يكون للطين الذي يتكون من مادة حبيبات دقيقة وخشنة تغييرات عميقة وسطح أفقي تؤدي إلى عواقب استجابة زلزالية كبيرة. مرة أخرى، لا يكفي أن نقول إن تشكيلاً معيناً يتكون بشكل كبير من الحجر الرملي والصخر الزيتي دون تعيين حدود قاع.

حاولت هيئة المسح الجيولوجي لنيو ساوث ويلز في أستراليا حل المشكلة من خلال الإشارة إلى الوحدات الصخرية المغطاة والهادئة برموز مناسبة. بهذه الطريقة، يحدد لون الخريطة الصخور الأساسية، بينما يقوم رمز الخريطة بتمييز نوع الحمل الزائد. في نيوزيلندا، ينتج مكتب التربة التابع لإدارة البحث العلمي والصناعي خرائط لنوع التربة يمكن قراءتها بالاقتران مع الخرائط **الجيولوجية** القياسية. في ولاية نيو إنجلاند بالولايات المتحدة الأمريكية، تحدد سلسلة من الخرائط حجر الأساس وأخرى للرواسب الجليدية السطحية.





نقطة ضعف أخرى هي نقص التفاصيل عند رسم خرائط الظروف الجوية لأنواع الصخور. قد يكون لعمق التجوية أهمية كبيرة في تقدير استجابة الأرض لحركة الزلزال القوية.

بالطريقة نفسها، فإن مواقع التعرض غير المحجوب للصخور الأساسية تستحق التخطيط على الخرائط **الجيولوجية** الأساسية بحيث يمكن إعادة النظر في هذه النتوءات بسرعة عند الحاجة إلى إجراء تحقيقات مفصلة.

غالباً ما تتطلب الرواسب الطينية تقسيماً فرعياً، يتناسب مع المقياس المستخدم (على سبيل المثال 1:250.000) يظهر السهول الفيضية، ورواسب البحيرة، والتربة، والتربة المتبقية، وما إلى ذلك. بهذه الطريقة، يمكن تحديد أجزاء من ترسبات سطحية معينة، تتكون من مادة دقيقة الحبيبات مع قنوات تدفق مضمرة من مادة خشنة، من الخريطة.

يستمر الجدل الحاد حول ما إذا كانت الخرائط **الجيولوجية** يجب أن تسلط الضوء على المعالم التفسيرية أو تقتصر على الملاحظات المباشرة لعلماء الجيولوجيا الميدانيين. تحوي الخرائط **الجيولوجية** التفسيرية، بالضرورة، على الاستدلالات الشخصية التي قد يكون لها عواقب وخيمة على التخطيط والتطوير. الرسم التوضيحي هو إنشاء الخرائط التي تُظهر الأخطاء المصنفة على أنها نشطة أو غير نشطة.





3. المحاكاة الحاسوبية

التطور التخليقي الأخير هو استخدام أجهزة الحاسوب لحساب ورسم خرائط المخاطر التنبؤية. بمجرد معرفة معالم التحكم في الخطر، يمكن دمجها في شكل رياضياتي وبرمجتها مرة واحدة وإلى الأبد. ويشكل البرنامج الإطار الهيكلي للمخاطر المحددة (اهتزاز الأرض، تسونامي، الفيضانات، إلخ) التي يجب أن تعلق عليها قيم محددة لحالات معينة في السؤال.

البرنامج قليل النفع ما لم يتمكن من إعادة إنتاج الكوارث التاريخية؛ في الممارسة العملية، يستخدمها لاختبار ما إذا كانت المعالم المبرمجة قد جرى اختيارها ودمجها بشكل صحيح.

ببساطة عن طريق التجربة والخطأ، يتم تعديل المعاملات والمؤشرات المجانية في البرنامج حتى يتم إعادة إنتاج الحدث التاريخي عن كثب بواسطة البرنامج. عندها فقط يكون من المفيد استخدام البرنامج لمعايير التنبؤ بخريطة المخاطر لكارثة مستقبلية. يمكن بعد ذلك تستخدم هذه الخرائط بحكمة للتخطيط الاستقصائي والمراقبة.

• النمو السكاني والألويات

إنّ الخطر الجيولوجي هو دالة قوية للكثافة السكانية؛ كان عدد سكان **سانت بيير مارتينيك** الفرنسية 30000 يتركزون في منطقة صغيرة عندما جرى تدميرها في عام 1902. علاوة على ذلك، من الضروري في تحديد أولويات التنبؤ والتحكم الحصول على تقديرات موثوقة لمعدل النمو السكاني.





لتقدير المخاطر **الجيولوجية**، يكون مفهوم متوسط المنطقة الحضرية مفيداً. يمكن تخصيص منطقة ثابتة من الأراضي الصالحة للاستخدام ومزيج متوسط من المساكن والاستخدام الصناعي للمقاطعة. في الدراسات الديموغرافية، يقاس عدد السكان في منطقة الدراسة على أنها عدد سنوات الفرد (Py)، التي تُعرّف على أنها متوسط عدد السكان في المنطقة الحضرية لكل عقد.



أنقاض مدينة سانت بيير، مارتينيك، في مايو 1903. لقد دُمّرت المدينة بسبب الانهيار الجليدي في 8 مايو 1902. يمكن رؤية جبل بلييه، مع القبة وقمة الجبل في الخلفية.





في الدول الصناعية، سينعكس معدل النمو الاقتصادي لمنطقة حضرية في كثير من الحالات بشكل رئيسي من خلال زيادة أو انخفاض عدد السكان. لأن التدابير المتخذة حالياً للسيطرة على الكوارث **الجيولوجية** أكثر قيمة على مدى العقود القادمة من تدابير التحكم المستقبلية، وبالتالي فإن عامل الخصم الذي يأخذ في الاعتبار فائدة التدابير الفورية يدخل أيضاً في الاعتبار.

إن عوامل الترجيح هذه اعتباطية إلى حد ما ولكن يمكن التعبير عنها بعامل يسمى المنفعة الفورية (**IB**). قد نقوم بعد ذلك بتصنيف المناطق الحضرية التي جرى تطويرها بالكامل في الزمن الحالي مع فائدة فورية بقيمة صفر؛ لأن الزمن قد فات حالياً لتجنب البناء في المواقع الخطرة أو لتقليل المخاطر من خلال قوانين البناء.

في الواقع، قيمة (**IB**) ليست صفراً تماماً لأن المباني القديمة يجري استبدال أخرى جديدة بها باستمرار وعادة ما تكون هناك بعض الخيارات التي من شأنها أن تقلل من خطر الخسارة؛ وبالتالي، عادة ما تحدد قيمة الحد الأدنى للمقياس لـ $IB = 1$. ثم تُحسب قيم مقياس (**IB**) الأعلى من معدل النمو المتوقع مخصوماً بنسبة مناسبة للقيمة الحالية.

يمكن بعد ذلك النظر في كل منطقة حضرية من ناحية قائمة المخاطر **الجيولوجية**، من اهتزاز الزلازل (**ES**) إلى تدهور المياه الجوفية (**GWD**). كل مشكلة جيولوجية يجب أن تقاس من ناحية الخطورة لتلك المنطقة. (بالطبع، قد تختلف الشدة داخل المنطقة وسيطلب أخذ المتوسط) عادة ما يجري اعتماد مقياس الشدة النسبية (أو المخاطر) (الذي يمتد من صفر إلى ثلاثة، على سبيل المثال)، ولكن يمكن استخدام مقياس احتمالي.





• أولوية الخطر

إن الأولوية التي يجب إعطاؤها للعمل على التخفيف من المخاطر الجيولوجية على مقاطعة أو مدينة بكاملها قد نسميها أولوية الخطر (HP). من ناحية العوامل التي جرى إدخالها بالفعل، نحصل على أولوية الخطر عن طريق العلاقة:

$$HP=GS \times IB \times PY$$

حيث إن:

(HP): أولوية الخطر.

(GS): عامل ترجيح إجمالي إضافي يسمى الشدة الجيولوجية.

(IB): المنفعة الفورية.

(Py): عدد سنوات الفرد.

كما نرى مع أن المنطقة قد تواجه مشكلة مخاطر جيولوجية حادة، إلا أن الإلحاح في تخصيص الموارد قد يكون منخفضاً إذا كانت المنطقة قد جرى تطويرها بالكامل بالفعل أو إذا كانت ذات كثافة سكانية منخفضة.

• قرارات متعددة التخصصات

لقد جرى اقتراح تدابير للسيطرة على الانهيارات الأرضية وتغيرات سطح الأرض والتخفيف من حدتها، وجرى اختبار بعض هذه التدابير في الميدان. ومع ذلك، يجب التأكيد على أن السيطرة غالباً ما تؤثر في الوضع الجيولوجي نفسه والنتيجة ليست واضحة المعالم.



طبعاً لا توجد صيغ رياضية واضحة المعالم. ما هو واضح هو أن النهج الشامل للأخطار **الجيولوجية** التي تدرس فيها الأنظمة المتفاعلة معاً من المرجح أن يعطي فائدة مرضية للمجتمع أكثر من نهج الوجدات الجزئية في السنوات الماضية.

ربما تكون المشكلة الأكثر استعصاءً على الحل هي الموازنة بين إلحاح الفائدة على المجتمع. مثلاً في حادث هبوط الأرض؛ في بعض الأحيان، تعتبر تكلفة تسوية التربة، على المدى الطويل، أقل أهمية من التنمية الصناعية قصيرة المدى.

• فرق التفتيش

يوجد افتراض مفاده أنه للحصول على مواصفات مناسبة للمخاطر **الجيولوجية**، يلزم تقديم مساهمات من العديد من التخصصات. قليل من الأفراد مؤهلين لإجراء تقييم كامل للمخاطر. يجب أن تُستمد المعرفة من الجيولوجيا والجيوفيزياء والجغرافيا والهندسة وتخطيط استخدام الأراضي والإحصاءات وبرمجة الحاسوب.

بمرور الزمن، قد تقوم الدراسات متعددة التخصصات في الجامعات بتدريب المتخصصين في كل من التحليل المسبق واللاحق للكوارث الطبيعية. في الوقت الحاضر، فإن أفضل فحص ضد الرأي غير المطلع خارج مجال الاختصاص هو الاعتماد بشكل عام على قرارات المجموعة.

• ما الذي يشكل خدمة تحذير جيدة؟

مع وجود منتج ملموس لخدمة التحذير من الفيضانات - وهو التحذير الذي يتم نشره للجمهور ووسائل الإعلام ووكالات الاستجابة - فإن الخدمة





نفسها تعتمد في الواقع على العديد من الأجزاء المكونة. تعتبر هذه بشكل أساسي على النحو الآتي:

1. **الاكتشاف:** هو القدرة على اكتشاف فترات احتمال حدوث انهيارات أرضية محتملة (على سبيل المثال، باستخدام رادار الطقس أو خدمات التنبؤ ومقاييس المطر).

2. **التنبؤ:** هو القدرة على تفسير آثار الطقس المعاكس في مناطق خطر الانهيارات الأرضية (على سبيل المثال، تنبؤات السيناريوهات المعدة مسبقاً وأنظمة النمذجة).

3. **التحذير:** هو تفسير التنبؤ إلى رسالة ذات صلة محلياً ونشر هذه الرسائل من خلال قنوات واسعة النطاق (على سبيل المثال، أنظمة نشر الرسائل التلقائية، والبث الإعلامي، وتمثيل التحذيرات عبر الإنترنت).

4. **الاستجابة:** هي قدرة المعرضين للخطر والذين يدعمونهم (على سبيل المثال، الشرطة) على فهم **الانهيارات الأرضية** والاستعداد لها عند تلقي تحذير (على سبيل المثال، حملات التوعية لإعلام الجمهور وإعدادهم، وتخطيط الاستجابة للانهيارات الأرضية).





نظام الإنذار المبكر في انهيار أرضي وينكلغرات Winkelgrat مجهز بمقاييس تمدد أوتوماتيكية (يسار) وإشارة مرور لإغلاق الطريق (يمين).





الفيضانات

الفيضان Flood ببساطة هو ظاهرة طبيعية تماماً تحدث عندما يرتفع جسم مائي (نهر أو بحر بدرجة كبيرة) ليفيض فوق الأرض التي لا تغمرها المياه في العادة. في الوقت نفسه، يعد الفيضان ظاهرة معقدة جداً تربط البيئة الطبيعية والناس والأنظمة الاجتماعية لمنظمتهم.

تسبب **الفيضانات** خسائر في الأرواح البشرية، وتضرر بالبنية التحتية، **مثل:** الطرقات والجسور والمباني، وتضرر بالإنتاجية الزراعية بسبب فقدان المحاصيل وتآكل التربة. تتطلب الإغاثة في حالات الكوارث الناجمة عن **الفيضانات** في كثير من الأحيان تمويلاً هائلاً. ويزيد الاتصال من المخاطر، فنظراً لوجود المزيد من الروابط بين عناصر النظم الطبيعية والاجتماعية والتكنولوجية، فإن هذه الأنظمة تطور أنماطاً غير متوقعة من الاتصالات التي تجعل انهيارها أكثر احتمالية.

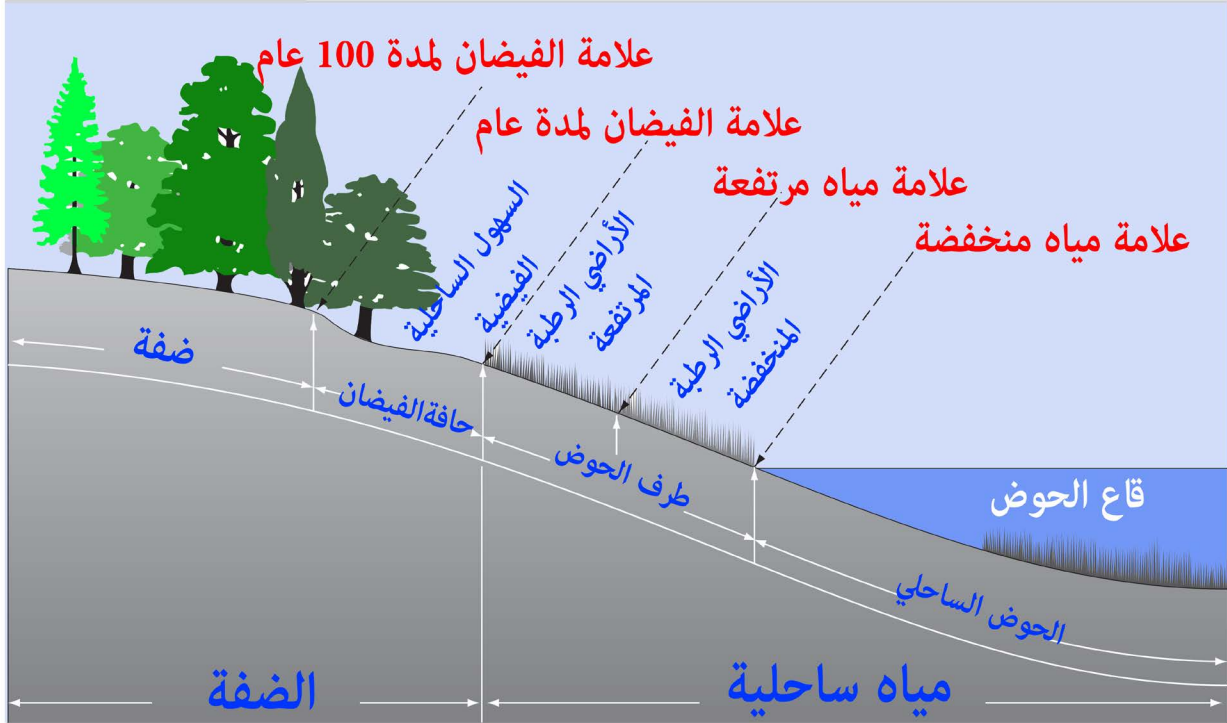
لقد شهدنا العديد من كوارث **الفيضانات** المدمرة. فقد تسببت **الفيضانات** الأوروبية في عام 2002 في أضرار تزيد على 7 بليون يورو. وتسبب إعصار كاترينا في حدوث فيضانات في عام 2005 كانت أكثر الكوارث الطبيعية تكلفة، فضلاً عن كونها واحدة من أكثر خمس كوارث دموية في تاريخ الولايات المتحدة الأمريكية. حيث فقد ما لا يقل عن 1836 شخصاً حياتهم في الإعصار الفعلي **والفيضانات** اللاحقة؛ وقُدِّر إجمالي الأضرار التي لحقت بالممتلكات بنحو 81 بليون دولار أمريكي. في يونيو من عام 2006، اختفى شمال شرق بنغلاديش تحت وطأة **الفيضانات** الموسمية حيث غمرت الأمطار المنطقة. وامتدت **الفيضانات** عبر مئات الكيلومترات من أرض بيندري قبل شهر وغمرت ثلثي أراضي البلاد.



تسبب هطول المطر الغزير عام 1993 بحدوث فيضانات في وسط غرب أمريكا، وقد تسببت هذه الفيضانات بخسائر حجمها 12 بليون دولار.

كان إعصار موراكوت عام 2009 هو أعنف إعصار ضرب تايوان في التاريخ المسجل. وتسبب في أضرار كارثية في تايوان، مما أسفر عن مقتل 461 شخصاً و فقدان 192 آخرين، وخسائر تقدر بنحو 3.3 بليون دولار أمريكي. أنتجت العاصفة كميات هائلة من الأمطار، بلغت ذروتها عند 2777 ملم. تسببت كمية الأمطار الغزيرة في حدوث انهيارات طينية هائلة وفيضانات شديدة في جميع أنحاء جنوب تايوان. دفن الانهيار الطيني بلدة شياولين بكاملها، مما أسفر عن مقتل ما يقدر بنحو 500 شخص.





تواجه كل واحدة من مناطق الضفاف (التي تقع على النهر أو البحر) مخاطر فيضانات مختلفة.

كما بدأت فيضانات الصين عام 2010 في أوائل مايو. وقد بلغ إجمالي عدد القتلى حتى 5 أغسطس 2507. تأثر أكثر من 305 مليون شخص في 28 مقاطعة وبلدية ومنطقة، في حين تم إجلاء ما لا يقل عن 12 مليون شخص بسبب **مخاطر الفيضانات والانهيارات الأرضية** بحلول أوائل أغسطس، وقد ارتفع عدد قتلى **الفيضانات** إلى 3000. وكان ما يقرب من 20 مليون شخص قد تضرروا من **الفيضانات** بحلول أوائل أغسطس.





وتستعد المناطق الواقعة في اتجاه مجرى النهر في وادي نهر السند، حيث يعيش معظم سكان باكستان البالغ عددهم 162 مليون نسمة، للفيضانات التي قد تلحق الضرر بالمحاصيل.



المياه تحت الأرض. تتدفق مياه الأمطار إلى أسفل عبر التربة، لتصل في النهاية إلى المياه الجوفية. تتدفق المياه الجوفية أفقياً، ولكن إذا استمر المطر، فلن تتمكن من إزالة المياه بالسرعة الكافية، ويرتفع منسوب المياه الجوفية.





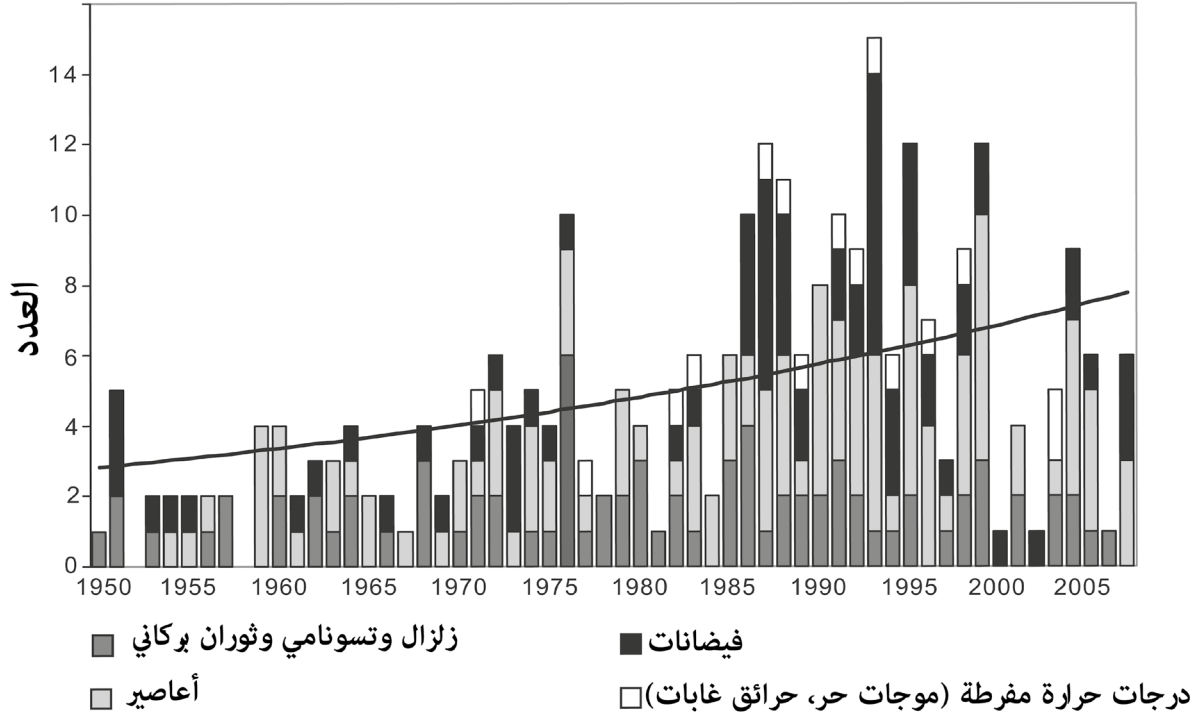
• مشكلة الفيضانات العالمية

إن تقييم مشكلة الفيضانات العالمية ليس بالمهمة السهلة بسبب الفجوات وأوجه القصور العديدة في الإحصاء، والجودة المتغيرة جداً للبيانات المتاحة، ومشكلات مقارنة آثار الفيضانات عبر طيف التنمية الاجتماعية والاقتصادية الواسع.

معظم المعلومات التي سنقدمها هنا مأخوذة من مرصد دارتماوث لبيانات الفيضانات **Dartmouth Flood Data Observatory** في ألمانيا، وقاعدة بيانات أحداث الطوارئ **EM-DAT** التابعة لمركز الأبحاث حول وبائيات الكوارث في بلجيكا و **Munich Re NatCatSERVICE** قاعدة بيانات ميونخ على الإنترنت.

تُظهر سجلات الفترة الزمنية الأطول (التي تعود إلى عام 1900، مع أنها أكثر موثوقية بعد عام 1950) حركة تصاعدية لا هواده فيها في عدد الكوارث الطبيعية وتأثيرها البشري والاقتصادي.





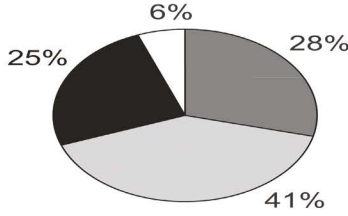
الكوارث الطبيعية الكبرى بين عامي 1950-2007. يشير اللون الأسود إلى عدد وتأثيرات كوارث الفيضانات.

من المقلق أن مخاطر الكوارث وآثارها كانت تتزايد خلال فترة النمو الاقتصادي العالمي. على الجانب الجيد، يمكن توزيع نسبة أكبر من الفائض الاقتصادي بشكل أفضل للتخفيف من المخاطر المتزايدة للكوارث. لكن على الجانب السيئ، من الممكن أن تكون مسارات التنمية هي نفسها التي تخلق المشكلة **مثل**: زيادة المخاطر (على سبيل المثال من خلال تغير المناخ العالمي والتدهور البيئي)، أو الضعف البشري (من خلال فقر الدخل والتهميش السياسي)، أو كليهما.

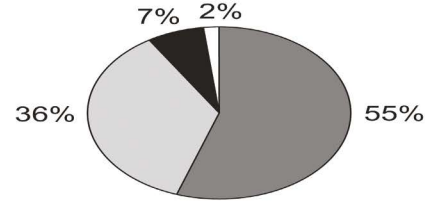




282 حدث خسارة

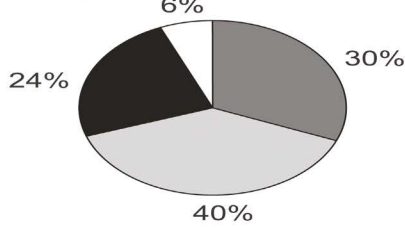


1.8 مليون قتيل



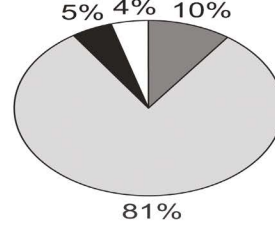
الخسائر الإجمالية*: 1.770

بليون دولار أمريكي



الخسائر المؤمن عليها*:

370 بليون دولار أمريكي



الأحداث الجيولوجية ذات الصلة

زلزال وتسونامي وثوران بركاني

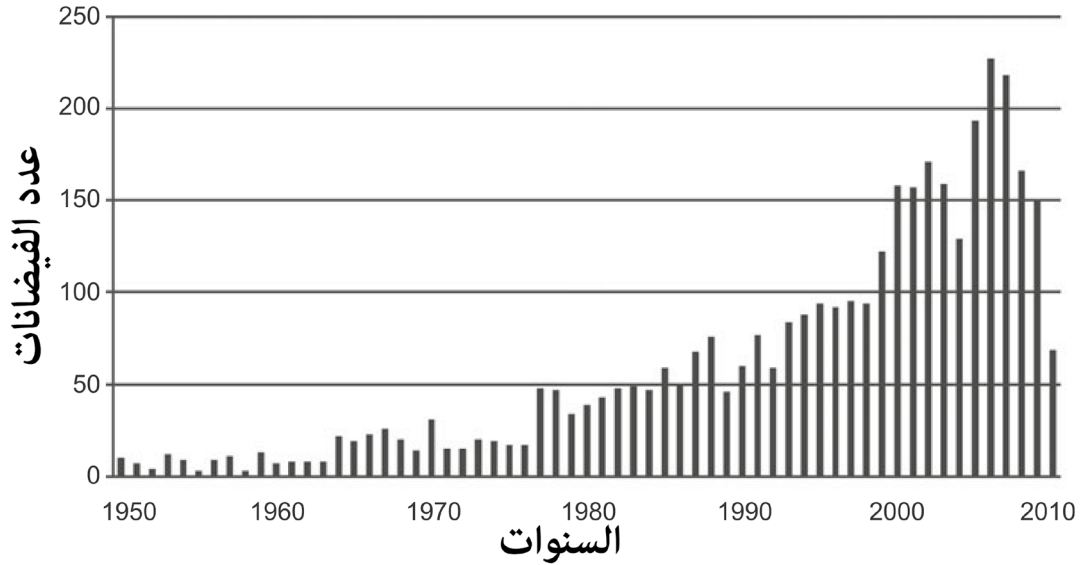
الأحداث المتعلقة بالطقس

- أعاصير
- فيضانات
- درجات حرارة مفرطة

*قيم 2007

الكوارث الطبيعية الكبرى 1950-2007: النسبة المئوية للتوزيع في جميع أنحاء العالم.

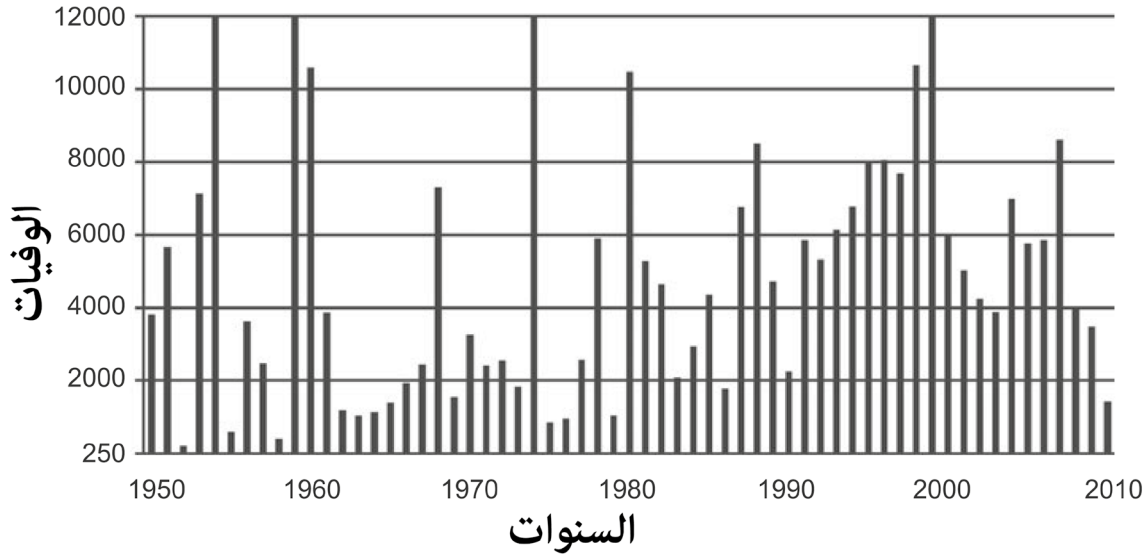
من أجل إدخال كارثة في قاعدة البيانات، يجب استيفاء معيار واحد على الأقل من المعايير الآتية: الإبلاغ عن مقتل 10 أشخاص أو أكثر؛ أو أبلغ 100 شخص عن تضررهم؛ ووجود دعوة للمساعدة الدولية؛ وإعلان حالة الطوارئ.



عدد كوارث الفيضانات بين عامي 1950-2010 عالمياً.

الأضرار المتعلقة **بالفيضانات** مباشرة وغير مباشرة. قد تكون وفاة الأشخاص والحيوانات، والأضرار التي لحقت بالمنازل والممتلكات والمحاصيل القائمة، والأضرار التي لحقت بالبنية التحتية المادية، وما إلى ذلك، نتيجة مباشرة للفيضانات. قد تكون الآثار الأخرى، **مثل** التغيير في النظام البيئي أو انتشار الأمراض، أضراراً غير مباشرة بسبب **الفيضانات**.





إجمالي عدد الوفيات الناجمة عن كوارث الفيضانات بين عامي 1950-2010 عالمياً.

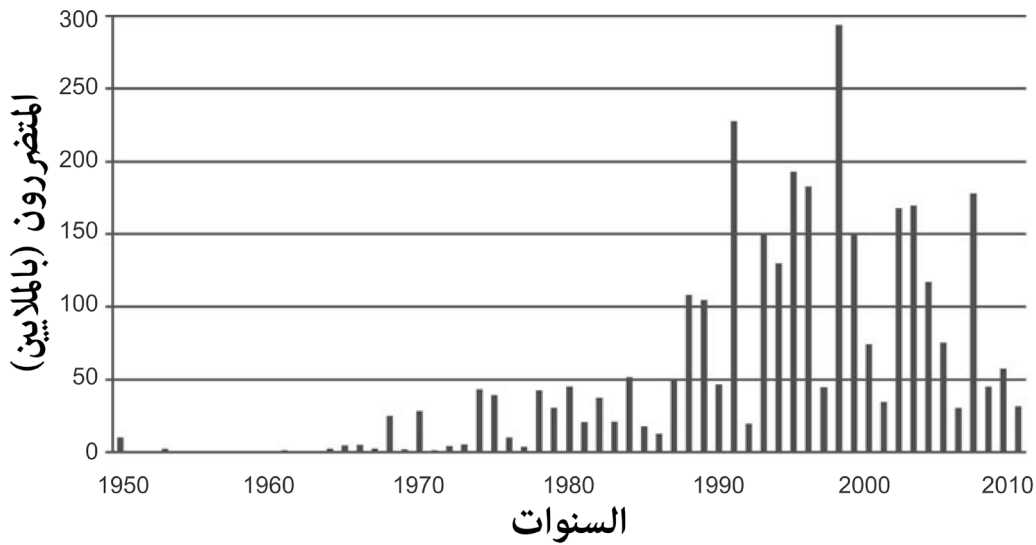
في جميع أنحاء العالم، تتسبب الفيضانات في حدوث أضرار كبيرة عاماً بعد عام. وفقاً للمعلومات وإحصاءات منظمة الصليب الأحمر الدولية، بلغ متوسط عدد الأشخاص الذين عانوا أضراراً الفيضانات خلال الفترة من 1973 إلى 1997 أكثر من 66 مليون شخص سنوياً.

وهذا ما يجعل الفيضانات أسوأ الكوارث الطبيعية (بما في ذلك الزلازل والجفاف). بلغ متوسط عدد الأشخاص المتضررين من الفيضانات على مدى فترة السنوات الخمس من عام 1973 حتى عام 1977 19 مليوناً وارتفع بشكل





حاداً إلى 111 مليوناً في الفترة من عام 1988 حتى عام 1992 وما زال كذلك إلى 131 مليوناً في فترة السنوات الخمس من 1993 إلى 1997. حيث جرى تسجيل متوسط عدد القتلى سنوياً بنحو 7000 شخص على مدار الخمسة وعشرين عاماً الماضية. في عام 1998 وحده، يقال إن هذا الرقم اقترب من 30000.



العدد الإجمالي للأشخاص المتضررين من كوارث الفيضانات بين عامي 1950-2010 عالمياً.

جرى تقديم تصنيف للفيضانات في الجدول الآتي مع تقديرات تكرار حدوثها للفترة ما بين 1985 و2009. يُعزى أكثر من 90% من الفيضانات إلى عمليات جوية، حيث تسهم الأنواع الهيدرولوجية في نحو 5% فقط من الأحداث.





جدول بأنواع الفيضانات وتكرارها بين عامي 1885 - 2009 .

النوع	رقم	تكرر (%)	مجموع الصنف (%)
بفعل الإنسان	47	1.34	1.34
حدث طبيعي	2	0.06	0.14
	1	0.03	
	2	0.06	
الهيدرولوجيا	84	2.40	4.97
	60	1.72	
	30	0.86	
جوية	297	8.49	92.40
	19	0.54	
	2235	63.89	
	280	8.00	
	27	0.77	
	348	9.95	
	26	0.74	
أخرى	4	0.11	1.14
	36	1.03	
المجموع	3498		100

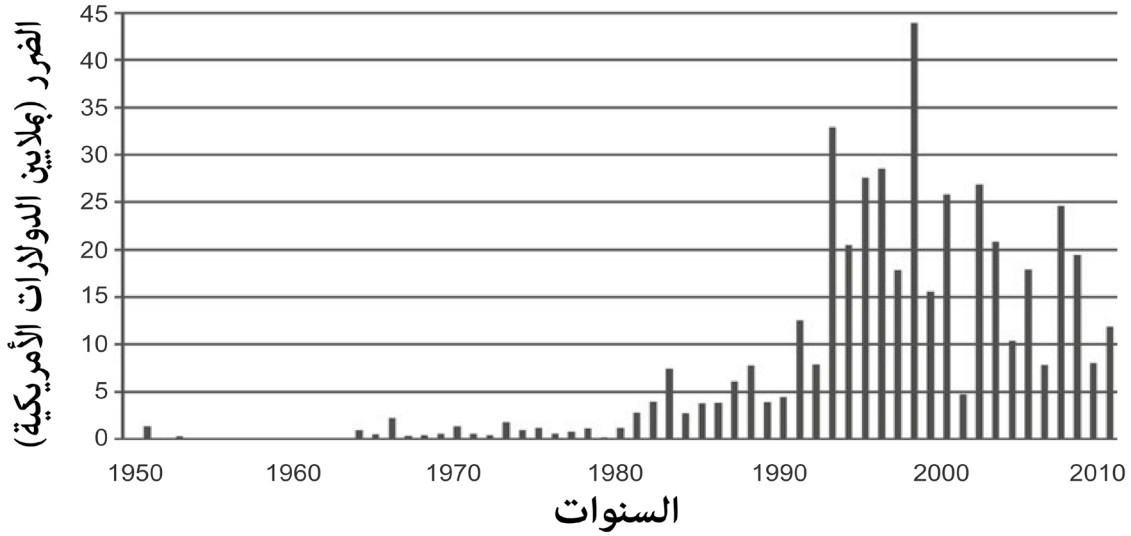




تقديرات الأضرار الناجمة عن الفيضانات الواردة هنا هي تقديرات بالمعنى الخالص للكلمة. من الصعب جداً حساب الضرر الناجم عن الفيضانات من حيث القيم العددية بسبب تغطيتها الإقليمية الواسعة وأيضاً بسبب حقيقة أن الكثير من الضرر (على سبيل المثال، الضرر البيئي، والألم البشري، والمعاناة، والوفيات، والضيق) لا يمكن أن يكون مباشراً معبراً عنها من ناحية القيم النقدية.

تشكل الفيضانات أحد أهم أجزاء الكوارث الطبيعية في العالم اليوم، وهناك اتجاه متزايد في الأضرار والوفيات الناجمة عنها. لطالما كانت كوارث الفيضانات التي ظهرت بوضوح خلال الألفية الثانية جزءاً من التجربة الإنسانية. وسوف تستمر على هذا النحو في الألفية الثالثة. لا تزال مدمرة وهي أكثر انتشاراً وضرراً حالياً مما كانت عليه في الماضي.





إجمالي الأضرار المقدرة (بالدولار الأمريكي) الناجمة عن كوارث الفيضانات بين عامي 1950-2010 عالمياً.

• الفيضانات وتغير المناخ

تتميز بداية **الألفية الثالثة** بتغيير كبير وواسع النطاق المعروف باسم التغيير العالمي، وهو يشمل مجموعة كاملة من القضايا والتفاعلات العالمية المتعلقة بالتغيرات الطبيعية التي من **صنع الإنسان** في بيئة الأرض. يُعرّف القانون الأمريكي لأبحاث التغير العالمي لعام 1990 بأنه (تغييرات في البيئة العالمية - بما في ذلك التغيرات في المناخ، وإنتاجية الأرض، والمحيطات أو موارد المياه الأخرى، وكيمياء الغلاف الجوي، والأنظمة البيئية - التي قد تغير من قدرة الأرض على استدامة الحياة).





قد تصير الفيضانات أمراً شائعاً في دولة مثل بنغلاديش بسبب ارتفاع درجة الحرارة العالمية.

تشمل قضايا التغير العالمي الفهم والتنبؤ بالأسباب والآثار والاستجابات المحتملة لما يأتي: تغير المناخ على المدى الطويل والاحترار العالمي؛ والتغيرات في الأوزون الجوي والأشعة فوق البنفسجية؛ وتقلبات المناخ الطبيعية على مدى الفترات الزمنية الموسمية إلى الفترات ما بين السنوية. وتشمل القضايا العالمية الأخرى ذات الصلة: التصحر، وإزالة الغابات، وإدارة استخدام الأراضي، والحفاظ على النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي.

وهذه كلها مرتبطة مباشرة بالفيضانات. لطالما كانت **مخاطر الفيضانات** والكوارث جزءاً من تاريخ البشرية. وسوف تستمر في أن تكون كذلك في المستقبل. في سياق التغير العالمي، فهي جزء من تاريخ البشرية بقدر ما يمثل النمو السكاني، والاستيطان، والتصنيع، والحوسبة ودورات الركود والتوسع المتكررة.





تعتبر **مخاطر الفيضانات** والكوارث مكوناً جوهرياً من الخبرة الثقافية المتراكمة التي تتجلى في الهياكل والممارسات الاجتماعية المعقدة. و**مخاطر الفيضانات** متصلة في هذه الهياكل والممارسات. القضية الرئيسية للمجتمع العالمي اليوم هي مدى إمكانية احتواء **مخاطر الفيضانات** والكوارث والحد منها.

تتأثر الفيضانات كسمات طبيعية أكثر بالتغير المناخي. والعديد من تأثيرات تقلبات المناخ وتغير المناخ على المجتمع والبيئة والنظم الإيكولوجية ناتجة عن:

1. **التغيرات في تواتر أو شدة الظواهر المناخية المتطرفة.**

2. **ارتفاع مستوى سطح البحر.**

خلص تقرير التقييم الرابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ عام 2007 إلى أن العديد من التغييرات في الظواهر المتطرفة قد لوحظت **منذ السبعينيات** كجزء من ارتفاع درجة حرارة النظام المناخي. وتشمل: زيادة تواتر الأيام الحارة والليالي الحارة وموجات الحر. وعدد أقل من الأيام الباردة والليالي الباردة والصقيع؛ والمزيد من أحداث هطول الأمطار الغزيرة؛ وموجات جفاف أكثر حدة وأطول في مناطق أوسع؛ وزيادة نشاط الأعاصير المدارية الشديدة في شمال المحيط الأطلسي؛ وارتفاع مستوى سطح البحر.

وقد وجدت الأبحاث المناخية الحديثة أن المطر يكون أكثر كثافة في المناطق الممطرة بالفعل مع زيادة محتوى بخار الماء في الغلاف الجوي. حدثت التغييرات الأخيرة بشكل أسرع مما توقعته بعض النماذج المناخية، مما يؤكد أن التغييرات المستقبلية يمكن أن تكون أكثر حدة مما كان متوقعاً. بالإضافة إلى الزيادات في



هطول الأمطار الغزيرة، فقد لوحظت أيضاً زيادات في الجفاف منذ السبعينيات. ويتسق هذا مع الانخفاض في متوسط هطول الأمطار فوق اليابسة في بعض نطاقات خطوط العرض.

من المتوقع أن يؤدي تكثيف الدورة الهيدرولوجية العالمية مع تغير المناخ إلى مزيد من الزيادات في الظواهر المتطرفة لهطول الأمطار، وكلاهما زيادة في هطول الأمطار الغزيرة في المناطق الرطبة وزيادة الجفاف في المناطق الجافة. بينما لا يمكن إعطاء تنبؤات دقيقة حتى الوقت الحالي، تشير الدراسات الحالية إلى أن معدلات هطول الأمطار الغزيرة قد تزيد بنسبة 5-10% لكل درجة مئوية من الاحترار العالمي، على غرار معدل زيادة بخار الماء في الغلاف الجوي.

الكثافة السكانية في المناطق الساحلية والجزر أعلى بثلاث مرات من المتوسط العالمي. يعيش حالياً 160 مليون شخص على ارتفاع أقل من متر واحد فوق مستوى سطح البحر. هذا يسمح حتى لارتفاع بسيط في مستوى سطح البحر أن يكون له عواقب وخيمة. قد تكون الآثار ناتجة عن تآكل السواحل، وزيادة التعرض للعواصف والفيضانات الناتجة عنها، وتلوث المياه الجوفية عن طريق تسرب الملح، وفقدان الأراضي الرطبة الساحلية، وقضايا أخرى.

إن ارتفاع مستوى **سطح البحر** نتيجة حتمية للاحتترار العالمي لسببين رئيسيين: تمدد مياه المحيط مع ارتفاع درجة حرارتها، وتدفق المياه الإضافية إلى المحيطات من الجليد الذي يذوب على الأرض. منذ عام 1870، ارتفع مستوى سطح البحر في العالم بنحو 20 سم. ومتوسط الارتفاع للفترة 1993-2008 كما جرى قياسه بواسطة القمر الصناعي هو 3.4 ملم في العام، بينما توقعت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أفضل تقدير يبلغ 1.9 ملم في السنة في الفترة نفسها.





وبذلك يكون الارتفاع الفعلي أسرع بنسبة 80% مما توقعته النماذج. ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل غير مؤكد بدرجة كبيرة. يعود السبب الرئيسي لعدم اليقين إلى استجابة الصفائح الجليدية الكبيرة في غرينلاند وأنتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية). سيستمر مستوى سطح البحر في الارتفاع لعدة قرون بعد استقرار درجة الحرارة العالمية، نظراً لأن المحيطات والصفائح الجليدية تستغرق زمناً طويلاً للاستجابة بشكل كامل للمناخ الأكثر دفئاً. تسلط التقديرات المستقبلية الضوء على حقيقة أن الاحترار العالمي غير المقيد من المحتمل أن يرفع مستوى سطح البحر بعدة أمتار في القرون القادمة، مما يؤدي إلى فقدان العديد من المدن الساحلية الرئيسية والدول الجزرية بكاملها.

تفيد شعبة السكان التابعة لإدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمانة العامة للأمم المتحدة في عام 2009 أن عدد سكان العالم، البالغ 6.8 بليون نسمة في عام 2009، من المتوقع أن يصل إلى 9 بلايين في عام 2050. ومعظم السكان الإضافيين البالغ عددهم 2.3 بليون نسمة من المتوقع بحلول عام 2050 أن يتركزوا في البلدان النامية، التي من المتوقع أن يرتفع عدد سكانها من 5.6 بليون في عام 2009 إلى 7.9 بليون في عام 2050.

يمر العالم بأكبر موجة نمو سكاني وحضري في التاريخ. في عام 2008، ولأول مرة في التاريخ، كان أكثر من نصف سكان العالم يعيشون في البلدات والمدن. بحلول عام 2030، سيتضخم هذا الرقم إلى ما يقرب من 5 بلايين، مع تركيز النمو الحضري في إفريقيا وآسيا. في حين أن المدن الضخمة قد استحوذت على الكثير من الاهتمام العام، فإن معظم النمو الجديد سيحدث في البلدات والمدن الأصغر، التي لديها موارد أقل للاستجابة لحجم التغيير.





من حيث المبدأ، تقدم المُدن بيئة أكثر ملاءمة لحل المشكلات الاجتماعية والبيئية من المناطق الريفية. تتولد في المُدن الوظائف والدخل. ومن خلال الحكم الرشيد، يمكنها تقديم خدمات التعليم والرعاية الصحية وغيرها بشكل أكثر كفاءة من المناطق الأقل كثافة في الاستقرار، وذلك لمجرد مزاياها من حيث الحجم والقرب. تقدم المُدن أيضاً فرصاً للتعبئة الاجتماعية وتمكين المرأة.

تقع معظم مُدن العالم على طول الأنهار والبحيرات وشواطئ المحيط. كانت أولى عوامل الجذب لهذه المواقع كمصادر للطعام ومياه الشرب. في زمن لاحق، تضمنت عوامل الجذب أيضاً مياه الري والنقل. وفي الزمن الحاضر، يوفر القُرب من الماء أيضاً توليد الطاقة والتجارة والترفيه. تعد ضفاف الأنهار والسهول الفيضية أيضاً جاذبة للزراعة والجمال وطريقة للتخلص من النفايات.

على مدى عدة آلاف من السنين، توغلت المُدن والمستوطنات والبنية التحتية الأخرى بشكل متزايد في السهول الفيضية. ترتبط الآثار السلبية لكوارث الفيضانات ارتباطاً مباشراً بالاتجاهات والتغيرات السكانية. يتعرض عدد أكبر من الناس بشكل مباشر إلى مخاطر أعلى محتملة بسبب الفيضانات.

عدد السكان وتغير المناخ مرتبطان ببعضهما بعضاً. يُعزى معظم تغير المناخ إلى التأثيرات البشرية. سيكون لكوارث الفيضانات وتغير المناخ والتفاعلات السكانية بعداً آخر من التعقيد في المستقبل يتمثل في هجرات المناخ. تتمثل إحدى ملاحظات الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ في أن أكبر تأثير منفرد لتغير المناخ يمكن أن يكون على الهجرة البشرية مع نزوح ملايين الأشخاص بسبب تآكل السواحل والفيضانات الساحلية واضطراب الزراعة، وما إلى ذلك.





منذ عام 2007، حاول العديد من المحللين وضع أرقام على التدفقات المستقبلية للمهاجرين بسبب المناخ، يطلق عليهم أحياناً اسم (لاجئو المناخ **Climate Refugees**). والتنبؤ الأكثر تكراراً هو **200 مليون** بحلول عام 2050. لكن التكرار لا يجعل الرقم أكثر دقة. الحجة العلمية لتغير المناخ صارت موثوقة بشكل متزايد. كما أن عواقب تغير المناخ على توزيع السكان غير واضحة ولا يمكن التنبؤ بها.

يُترجم العلم المتاح إلى حقيقة بسيطة هي أن سكان العالم اليوم في مستوى أعلى من المخاطر. للكوارث التي ستنقل الناس دافعان مختلفان:

1. العمليات المناخية، **مثل**: ارتفاع مستوى سطح البحر، وملوحة الأراضي الزراعية، والتصحر، وندرة المياه المتزايدة.

2. أحداث المخاطر المناخية، **مثل**: الفيضانات والعواصف واندفاع البحيرات الجليدية.

من الضروري ملاحظة أن العوامل غير المناخية، **مثل**: السياسة الحكومية والنمو السكاني العام والقدرة على الصمود على مستوى المجتمع المحلي للكوارث الطبيعية، **مهمّة** أيضاً. كل ذلك يسهم في درجة الضعف التي يعانيها الناس. المشكلة هي مشكلة الزمن (سرعة التغيير) والقياس (عدد الأشخاص الذين ستؤثر فيهم).

جرى تقريب قضايا التنمية المستدامة من إدارة أنظمة الموارد المائية بعد نشر تقرير لجنة برونتلاند (مستقبلنا المشترك)، الذي قدم مفهوم التنمية المستدامة على أنه (القدرة على تلبية احتياجات الحاضر، دون المساس باحتياجات أجيال المستقبل).



قد لا تتحقق هذه الرؤية للتنمية المستدامة أبداً، لكن من الواضح أنها هدف يستحق الدراسة الجادة. هناك إدراك متزايد بأن تعرض السكان والبيئة للفيضانات أبعاد مُهمّة للمجتمعات المستدامة.

يتطلب تطبيق مبادئ الاستدامة لإدارة **مخاطر الفيضانات** تغييرات كبيرة في الأهداف التي تستند إليها القرارات وفهم العلاقات المتداخلة المعقدة بين العوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية الحالية. تتمثل الأهداف الأوسع لتحقيق الاستدامة في السلامة البيئية والكفاءة الاقتصادية والعدالة. جانب آخر مهم للإدارة المستدامة **لمخاطر الفيضانات** هو تحدي الزمن (أي تحديد العواقب طويلة الأجل وحسابها).

نحن نفضل في توفير الحماية الأساسية من الفيضانات لجزء كبير من سكان العالم، وبالتالي لسنا في نقطة البداية من حيث التعامل مع احتياجات الأجيال القادمة. بالنسبة لبعض التطورات، من الصعب التنبؤ بعواقب بعيدة المدى. الجانب الثالث لسياق إدارة **مخاطر الفيضانات** المستدامة هو التغيير في السياسات الإجرائية (التنفيذ).

تتطلب متابعة إدارة **مخاطر الفيضانات** المستدامة من خلال تنفيذ المشاريع الهيكلية واستخدام الحلول غير الهيكلية تغييرات كبيرة في كل من السياسات الموضوعية والإجرائية. تتضمن أسئلة السياسة المتنوعة التي أثّرت ما يأتي:

- ❖ كيف ينبغي استخدام طرق وعمليات قرار إدارة **مخاطر الفيضانات**؟
- ❖ ما الذي يجب أن يكون الاعتماد على السوق في مقابل الآليات التنظيمية؟





❖ وما الدور الذي يجب أن يؤديه الجمهور ومجموعات أصحاب المصالح في اتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة **مخاطر الفيضانات**؟

تتضمن إدارة **مخاطر الفيضانات** تفاعلات معقدة داخل وبين البيئة الطبيعية والسكان (الإجراءات وردود الفعل والتصورات) والبيئة المبنية (النوع والموقع). مطلوب تفكير مختلف لمعالجة تعقيد إدارة **مخاطر الفيضانات**.

يقترح الباحثون بقوة تكييف منظور الأنظمة العالمية. تستند نظرية النظم إلى تعريف النظام - بالمعنى الأكثر عمومية- على أنه مجموعة من العناصر الهيكلية وغير الهيكلية المختلفة التي يتم توصيلها وتنظيمها بطريقة تحقق بعض الأهداف المحددة من خلال التحكم في المواد وتوزيعها الموارد والطاقة والمعلومات.

الفكرة الأساسية هي أن جميع الكيانات المعقدة (البيولوجية، والاجتماعية، والبيئية، أو غيرها) تتكون من عناصر مختلفة مرتبطة بتفاعلات قوية، لكن النظام أكبر من مجموع أجزائه. هذه وجهة نظر مختلفة عن النماذج العلمية التحليلية التقليدية القائمة على قانون الجمع للخصائص الأولية التي ترى الكل مساوياً لمجموع أجزائه. نظراً لأن الأنظمة المعقدة لا تتبع قانون الجمع، لذلك فإنه يجب دراستها بشكل مختلف.

تركز المقاربة المنهجية للمشكلات على التفاعلات بين عناصر النظام وعلى تأثيرات هذه التفاعلات. تعترف نظرية النظم بالعوامل السببية المتعددة والمتراصة، وتؤكد الطابع الديناميكي للعمليات المعنية، وتهتم بشكل خاص بكيفية تغير النظام بمرور الزمن، سواء أكان ذلك فيضانياً أم سهولاً فيضياً أم مجتمعاً متأثراً بالكوارث.



عادة ما يكون العرض التقليدي خطياً ويفترض وجود علاقة سببية وخطية واحدة فقط في زمن معين. يسمح نهج الأنظمة بأخذ مجموعة متنوعة من العوامل والتفاعلات في الاعتبار. باستخدام عرض الأنظمة، يشير الباحثون إلى أن خسائر كارثة الفيضانات هي نتيجة التفاعلات بين ثلاثة أنظمة وأنظمتها الفرعية العديدة:

1. **النظم الطبيعية** للأرض (الغلاف الجوي، والغلاف الحيوي، والغلاف الجليدي، والغلاف المائي، والغلاف الصخري).
2. **النظم البشرية**، مثل: (السكان، والثقافة، والتكنولوجيا، والطبقة الاجتماعية، والاقتصاد والسياسة).
3. **الأنظمة المشيدة**، مثل: (المباني، والطرق، والجسور، والبنية التحتية العامة، والإسكان).

جميع الأنظمة الكاملة والفرعية ديناميكية وتتطوي على تفاعلات مستمرة بين الأنظمة والأنظمة الفرعية وفيما بينها. لقد صارت جميع الأنظمة البشرية والمنشأة وبعض الأنظمة المادية المتأثرة بالبشر أكثر تعقيداً بمرور الزمن. هذا التعقيد هو ما يجعل مشكلات كارثة الفيضانات صعبة الحل. إن الزيادة في حجم وتعقيد الأنظمة المختلفة هو ما يتسبب في زيادة التعرض لخسائر الكوارث.

تتفاعل التغييرات في حجم وخصائص السكان والتغيرات في البيئة المبنية مع الأنظمة المادية المتغيرة لتوليد التعرض المستقبلي وتحديد خسائر الكوارث المستقبلية. لقد صار العالم معقداً ومتشابكاً بشكل متزايد، مما يساعد على زيادة خسائر الكوارث.





المكون الأول لنموذج التعقيد هو أن مشكلات إدارة **مخاطر الفيضانات** في المستقبل ستكون أكثر تعقيداً. تعقيد المجال آخذ في الازدياد. حيث إن المزيد من النمو السكاني وتغير المناخ والمتطلبات التنظيمية هي بعض العوامل التي تزيد من تعقيد مشكلات إدارة **مخاطر الفيضانات**.

غالباً ما يُنظر إلى استراتيجيات إدارة **مخاطر الفيضانات** على أنها قصيرة النظر جداً (عمر تصميم السدود، والحواجز، وما إلى ذلك). يجب رفض التفكير قصير المدى واستبدال خطط إدارة **مخاطر الفيضانات** المخطط لها على نطاقات زمنية أطول، وذلك من أجل مراعاة احتياجات الأجيال القادمة.

التخطيط على مدى آفاق زمنية أطول يوسع النطاق المكاني. إذا كانت الموارد المخصصة لإدارة **مخاطر الفيضانات** غير كافية داخل المنطقة المتأثرة، فيجب النظر في التحويل من المناطق المجاورة. يؤدي توسيع النطاقات الزمنية والمكانية إلى زيادة تعقيد عملية اتخاذ القرار. تؤثر عمليات إدارة **مخاطر الفيضانات** واسعة النطاق في العديد من أصحاب المصلحة. لذلك يجب النظر بجديّة في الآثار البيئية والاجتماعية لحلول إدارة **مخاطر الفيضانات** المعقدة.

المكون الثاني لنموذج التعقيد هو الزيادة السريعة في قوة معالجة أجهزة الحاسوب. منذ الخمسينيات من القرن الماضي، نما استخدام أجهزة الحاسوب في إدارة الموارد المائية بشكل مطرد. كما انتقلت أجهزة الحاسوب من معالجة البيانات، من خلال مكتب المستخدم إلى معالجة المعلومات والمعرفة. ولم يعد مُهمّاً بعد الوقت الحالي ما إذا كان المورد يتخذ شكل حاسوب محمول أو محطة عمل متعددة المعالجات على سطح المكتب. المُهمُّ هو أن يُستخدم الحاسوب كشريك





في إدارة **مخاطر الفيضانات** بشكل أكثر فعالية. العامل الرئيسي المسؤول عن إشراك أجهزة الحاسوب في عمليات صنع القرار بشأن **مخاطر الفيضانات** هو معالجة المعلومات باعتبارها المورد الاقتصادي السادس (إلى جانب الأشخاص والآلات والمال والمواد والإدارة).

المكون الثالث لنموذج التعقيد هو تقليل تعقيد أدوات النظم المعاصرة. كان أهم تقدم أُحرز في مجال الإدارة في القرن الماضي هو إدخال تحليل النظم. ويمكن تعريف تحليل الأنظمة هنا على أنها نهج لتمثيل مشكلات الإدارة المعقدة باستخدام مجموعة من تقنيات التخطيط والتصميم الرياضياتي.

يمكن بعد ذلك إيجاد الحلول النظرية للمشكلات باستخدام الحاسوب. تتضمن تقنيات تحليل الأنظمة، التي يطلق عليها غالباً (أبحاث العمليات) **Operations Research** و (علم الإدارة) **Management Science** و (علم التحكم الآلي) **Cybernetics**، تقنيات المحاكاة والتحسين التي يمكن استخدامها في دورة إدارة **مخاطر الفيضانات** ذات المراحل الأربع.

يُعدّ تحليل النظم واعداداً بشكل خاص عند استخدام الموارد النادرة بشكل فعال. تعتبر مشكلات تخصيص الموارد شائعة جداً في مجال إدارة **مخاطر الفيضانات**، وتؤثر في كل من البلدان المتقدمة والنامية، التي تواجه اليوم ضغوطاً متزايدة لاستخدام مواردها بكفاءة.





• مخاطر الفيضانات

تشمل مصطلحات (الفيضانات) و (الطوفان) و (مخاطر الفيضانات) و(مخاطر الطوفان) مجموعة واسعة جداً من الظواهر. من بين العديد من التعريفات للفيضانات التي لا تتضمن فقط مفاهيم الإغراق وأضرار الفيضانات، لكننا سنعتمد التعريف الذي قدمه الباحث وارد Ward بأن الفيضان هو جسم مائي يرتفع ليفيض على الأرض وهو ليس مغموراً بشكل طبيعي. يتضمن هذا التعريف صراحة جميع أنواع الغمر السطحي، ولكنه يتناول أضرار الفيضانات ضمناً فقط في كلماته الثلاثة الأخيرة. يحدث كل من الغمر والضرر على نطاق واسع المقاييس.

وفقاً للباحثين، فإن تأثير مياه الفيضانات من خلال الترسيب والتعرية، أو من خلال الخسارة الاجتماعية والاقتصادية، يعتمد إلى حد كبير على مزيج من جودة المياه، وعمقها، وسرعتها. تتجم مخاطر الفيضانات عن احتمال حدوث فيضانات شديدة لتخلق تهديداً غير متوقع لحياة البشر وممتلكاتهم.





عندما تحدث فيضانات شديدة في مناطق يسكنها البشر، فإنها تخلق كوارث طبيعية قد تنطوي على فقدان الأرواح والممتلكات إلى جانب تعطيل الأنشطة الحالية للمجتمعات الحضرية أو الريفية. يعتبر فيضان منطقة نائية غير مأهولة حدثاً طبيعياً شديداً، عادة ما يهتم فقط علماء الهيدرولوجيا.

إن **مصطلحات مثل (مخاطر الفيضانات)** و (خسائر الفيضانات) هي في الأساس تفسيراتنا للعواقب الاقتصادية والاجتماعية السلبية للأحداث الطبيعية. يخضع الحكم البشري لأنظمة القيم التي قد تكون لدى مجموعات مختلفة من الناس، وبالتالي قد تخضع هذه المصطلحات لتعريفات مختلفة.

قد تزداد **مخاطر الفيضانات**، في مواقع مختلفة، من خلال النشاط البشري، مثل ممارسات استخدام الأراضي غير المناسبة. أيضاً، قد يُقلل من **مخاطر الفيضانات** من خلال هياكل إدارة الفيضانات و / أو التخطيط الفعال للطوارئ. لذلك، فإن خطر الفيضانات الحقيقي ينبع من احتمال وقوع حدث خطير بشكل غير متوقع وأنه سيؤثر سلباً في الناس ورفاهيتهم.





تتجم **مخاطر الفيضانات** عن مزيج من التعرّض الطبيعي وتعرض الإنسان للفيضانات. يعكس التعرض الطبيعي نوع الفيضان الذي يمكن أن يحدث ونمطه الإحصائي في موقع معين. ويعكس ضعف الإنسان العوامل الاجتماعية والاقتصادية الرئيسية، **مثل** عدد الأشخاص المعرضين للخطر في السهول الفيضية، ومدى أعمال الدفاع عن الفيضانات، وقدرة السكان على توقع الفيضانات والتعامل معها .

إن المناقشة **الفلسفية** لتعريف المخاطر موثقةٌ جيداً. وتنتهي ببيان مفاده أنه لفهم المخاطر، يجب أن نفهم أنفسنا. لذلك فإن التعريف الرسمي لمخاطر **الفيضانات** هو مزيج من فرصة وقوع حدث معين مع التأثير الذي قد يسببه الحدث في حال وقوعه .

أي أنّ **مخاطر الفيضانات** لها مكونان: فرصة أو (احتمالية) وقوع حدث والتأثير أو (النتيجة) المرتبط بذلك الحدث. قد تكون نتيجة الحدث إما مرغوب إما غير مرغوب بها. لذلك، في بعض الحالات وليس كلها، يُعطى مقياس واحد مناسب لأهمية **مخاطر الفيضانات** من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{المخاطرة} = \text{الاحتمالية} \times \text{العواقب}$$

إذا زاد أو نقص أي من العنصرين في المعادلة السابقة، فإن المخاطرة تزيد أو تنقص على التوالي.

من المهمّ تجنب الوقوع في الفخّ الذي يُحمّل المخاطر ذات القيمة العددية نفسها أهمية متساوية؛ لأن هذا ليس هو الحال في كثير من الأحيان. في بعض الحالات، يمكن تقييم أهمية الخطر عن طريق تجاوز الاحتمال بالنتائج. في



حالات أخرى، من المهم فهم طبيعة الخطر، والتمييز بين الأحداث النادرة والكارثية والأحداث الأكثر تواتراً والأقل خطورة.

على سبيل المثال، تمثل طرق المخاطر المعتمدة لدعم استهداف وإدارة الإنذار بالفيضانات مخاطر تتعلق بالاحتمالية والنتائج، ولكن يجري التعامل مع الأحداث ذات الاحتمالية المنخفضة / النتائج العالية بشكل مختلف تماماً عن الأحداث ذات الاحتمالية العالية / النتائج المنخفضة. هناك عامل إضافي يجب تضمينه وهو كيفية إدراك المجتمع أو الأفراد للمخاطر (تصور يتأثر بالعديد من العوامل بما في ذلك - على سبيل المثال - توفر التأمين أو المساعدة الحكومية أو ما شابه ذلك) وعدم اليقين في التقييم.

• كيف نتعامل مع مخاطر الفيضانات؟

في العديد من البلدان، تتطور إدارة **مخاطر الفيضانات** من الأساليب التقليدية القائمة على معايير التصميم إلى تطوير عملية صنع القرار على أساس المخاطر، التي تتضمن مراعاة مجموعة من الأعباء، واستجابات نظام الدفاع وتأثيرات **الفيضانات**.

الفرق بين النهج القائمة على المخاطر والنهج الأخرى للتصميم أو صنع القرار هو أنه يتعامل مع النتائج. وبالتالي، في سياق **الفيضانات**، فإنه يتيح مقارنة خيارات التدخل على أساس التأثير المتوقع لها في تواتر وشدة الفيضانات في منطقة معينة.

وبالتالي، فإن **النهج القائم** على المخاطر يمكن من اتخاذ خيارات مستتيرة بناءً على مقارنة النتائج المتوقعة وتكاليف مسارات العمل البديلة. يختلف هذا





-على سبيل المثال- عن النهج القائم على المعايير الذي يركز على شدة العبء الذي من المتوقع أن يتحمله دفاع ضد الفيضانات.

تعمل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية على تعزيز مبدأ الإدارة المتكاملة للفيضانات **Integrated Flood Management (IFM)** الذي جرى ممارسته في العديد من الأماكن منذ عقود. تدمج الإدارة المتكاملة للفيضانات تنمية موارد الأراضي والمياه في حوض النهر وتهدف إلى تعظيم الفوائد الصافية من استخدام السهول الفيضية وتقليل الخسائر في الأرواح من الفيضانات. على الصعيد العالمي، تعتبر كل من الأراضي - وبخاصة الأراضي الصالحة للزراعة - وموارد المياه شحيحة.

تقع معظم الأراضي الصالحة للزراعة في السهول الفيضية. عند تنفيذ سياسات لتعظيم الاستخدام الفعّال لموارد حوض النهر ككل، يجب بذل الجهود للحفاظ على إنتاجية السهول الفيضية أو زيادتها. من ناحية أخرى، لا يمكن تجاهل الخسائر الاقتصادية والخسائر في الأرواح البشرية بسبب الفيضانات. تعترف الإدارة المتكاملة للفيضانات بحوض النهر كنظام ديناميكي يوجد فيه العديد من التفاعلات والتدفق بين المسطحات الأرضية والمائية.

في **(IFM)**، تكون نقطة البداية هي رؤية ما يجب أن يكون عليه حوض النهر، يليها تحديد الفرص لتعزيز أداء النظام ككل. تتخذ الإدارة المتكاملة للفيضانات نهجاً تشاركياً وشاملاً للقطاعات وشفافاً لصنع القرار.

السمة المميزة لـ **(IFM)** هي التكامل، الذي يجري التعبير عنه في وقت واحد بأشكال مختلفة: مزيج مناسب من الاستراتيجيات، ونقاط تدخل مختارة بعناية، وأنواع التدخل المناسبة (هيكلية أو غير هيكلية، قصيرة أو طويلة الأجل). يجب





أن تتناول خطة (IFM) العناصر الستة الرئيسية الآتية:

1. إدارة دورة المياه ككل.
2. دمج إدارة الأراضي والمياه.
3. إدارة المخاطر وعدم اليقين.
4. تبني أفضل مزيج من الاستراتيجيات.
5. ضمان نهج تشاركي.
6. اعتماد نهج متكاملة لإدارة المخاطر.

تهدف إدارة **مخاطر الفيضانات** - وفقاً لمعادلة المخاطرة السابقة- إلى تقليل احتمالية و / أو تأثير الفيضانات. أظهرت التجربة أن النهج الأكثر فعالية تكون من خلال تطوير برامج إدارة **مخاطر الفيضانات** التي تتضمن العناصر الآتية:

- **الوقاية**: منع الأضرار التي تسببها الفيضانات عن طريق تجنب بناء المنازل والصناعات في المناطق المعرضة للفيضانات الحالية والمستقبلية؛ من خلال تكييف التطورات المستقبلية مع **مخاطر الفيضانات**؛ ومن خلال تشجيع الاستخدام المناسب للأراضي والممارسات الزراعية والحرجية.
- **الحماية**: اتخاذ تدابير، هيكلية وغير هيكلية، لتقليل احتمالية حدوث فيضانات و / أو تأثير الفيضانات في موقع معين.
- **التأهب**: إطلاع السكان على **مخاطر الفيضانات** وما يجب القيام به في حالة حدوث فيضان.





- **الاستجابة للطوارئ:** تطوير خطط الاستجابة للطوارئ في حال حدوث فيضان.

- **التعافي:** العودة إلى الظروف الطبيعية في أسرع وقت ممكن والتخفيف من الآثار الاجتماعية والاقتصادية على السكان المتضررين.

يتطلب التغيير في الإدارة الاستباقية لمخاطر الفيضانات تحديد المخاطر، وتطوير استراتيجيات للحد من هذا الخطر، وإنشاء سياسات وبرامج لوضع هذه الاستراتيجيات موضع التنفيذ.

• عرض نظم إدارة مخاطر الفيضانات

تعد إدارة مخاطر الفيضانات جزءاً من جميع العمليات الاجتماعية والبيئية التي تهدف إلى تقليل الخسائر في الأرواح و / أو الإصابات و / أو الأضرار المادية. يدافع بعض الباحثين عن وجهة نظر أنظمة عمليات إدارة مخاطر الفيضانات من أجل معالجة تعقيدها وطابعها الديناميكي واحتياجاتها متعددة التخصصات لخيارات الإدارة.

ينصب التركيز الأساسي لتحليل النظم في إدارة مخاطر الفيضانات على توفير أساس محسن لاتخاذ القرارات الفعّالة. يتوفر عدد كبير من أدوات الأنظمة، من المحاكاة والتحسين إلى التحليل متعدد الأهداف، لصياغة وتحليل وحل مشكلات إدارة مخاطر الفيضانات.

السؤال الذي تجب الإجابة عليه: ما الذي نحاول إدارته؟ نحاول باستمرار إدارة البيئات (الماء، الأرض، الهواء، إلخ)، ونستمر في محاولة إدارة الأشخاص





داخل البيئات. يبدو أنه في كل مرة ندفع فيها عند نقطة ما، يتسبب ذلك في حدوث تغيير غير متوقع في مكان آخر، وهذه أول قاعدة للأنظمة الأساسية. ربما حان الزمن للجلوس وإعادة التفكير فيما نحاول إدارته.

من أجل تطبيق نهج التحسين المستمر لإدارة **مخاطر الفيضانات**، من الضروري أن يكون لديك طريقة تفكير - نموذج - لما يجب إدارته. بدون ذلك، لا يمكن رؤية المكان الذي تُهدر فيه الطاقة أو الموارد، أو قد يغير النتائج بشكل كبير. حتى الوقت الحالي، لم يقترح **مثل** هذا النموذج العام، ناهيك عن قبوله، كأساس للتنبؤ بالنتائج من مختلف تدخلات إدارة **مخاطر الفيضانات** ومجموعاتها.

النظام في تركيزنا هو نظام اجتماعي. يصف الطريقة التي تؤثر بها الفيضانات في الناس. الغرض من وصف النظام هو المساعدة في توضيح الفهم وتحديد أفضل نقاط تدخل الأنظمة.

• مبادئ أنظمة الإدارة

يتكون نظام إدارة **مخاطر الفيضانات** من أربعة أنظمة فرعية مرتبطة هي: الأفراد والمنظمات والمجتمع، متداخلة داخل البيئة. الأفراد هم الفاعلون الذين يدفعون المنظمات والمجتمع للتصرف بالطريقة التي يتصرفون بها. إنهم صانعو القرار في حد ذاتهم، ولهم دور مباشر في التخفيف والتأهب والاستجابة والتعافي من الفيضانات. المنظمات هي الآلية التي يستخدمها الناس لتحقيق نتائج لا يستطيع الأفراد تحقيقها.

يجري تنظيم المنظمات لتحقيق الأهداف. يحدد الهيكل المعلومات و / أو تدفقات الموارد ويحدد سلوك المنظمة. يختلف مفهوم المجتمع عن مفهوم الأفراد والمنظمات،





حيث يصعب وضع حدود حوله. بشكل عامّ المجتمع نفسه هو نظام يتكون من الأفراد، والمنظّمات هي مجموعات فرعية وتحوي على العلاقات التي تربط الناس ببعضهم بعضاً، وقواعد السلوك، والآليات المستخدمة لتنظيم السلوك.

تشمل البيئة عناصر ملموسة مثل الماء والهواء والمواد الخام والأنظمة الطبيعية وما إلى ذلك، كما أنها تشمل عالم الأفكار، بما في ذلك مفهوم (المستقبل). هذا المفهوم مهم عند النظر في إدارة **مخاطر الفيضانات**، إنه توقع الضرر المستقبلي والآثار المستقبلية التي تثير القلق بشأن الإدارة المستدامة لكوارث الفيضانات.

1. مبدأ الإدارة 1: لتحقيق الإدارة المستدامة لمخاطر الفيضانات، يجب أن تكون التفاعلات بين الأنظمة الفرعية الأربعة: الفرد والمنظمة والمجتمع والبيئة، متكاملة بشكل مناسب.

المبدأ الثاني الذي يمكننا استخدامه في تطوير إطار العمل الخاص بنا هو أنه يمكننا ترتيب مدخلات ومخرجات الأنظمة إلى ثلاث فئات: الموارد، والمعلومات، والقيم. تربط هذه الفئات الأفراد والمنظمات والمجتمع والبيئة، وتربط بين الأنظمة الفرعية الأربعة.

فقط تدفق المعلومات والموارد يربط الناس والمنظمات. تتأثر أنظمة القيمة بهذه التدفقات، ولكنها تعمل بطريقة مختلفة. يجري إنشاء أنظمة القيمة داخل الفرد أو المنظمة ولكنها تغذي تدفقات المعلومات والموارد.

2. مبدأ الإدارة 2: اثنان من التدفقات - تدفقات الموارد وتدفق المعلومات - يربطان بين الفرد، والمنظمة، والمجتمع، والأنظمة البيئية الفرعية. أنظمة القيمة هي الوسائل التي يجري من خلالها ربط القيم المختلفة بالمعلومات وتدفقات الموارد.



تتطلب جميع الأنظمة المفتوحة مدخلات من الطاقة - الموارد - لإنتاج المخرجات. تعد الحاجة إلى الوصول المستمر إلى الموارد آلية رئيسية لتشغيل الأنظمة الفرعية. يعتمد كل نظام فرعي على أنظمة فرعية أخرى وعلى البيئة لموارده. في الحالة المثالية، يجب أن تمثل أهداف كل نظام فرعي، والأداء المرتبط بهذه الأهداف، مكسباً للأنظمة الفرعية الأخرى حتى يستمر الجميع في تلقي الموارد.

تمارس البيئة الطبيعية ضغطاً سلبياً على الأنظمة الفرعية لضمان ملاءمتها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تحد البيئة من العمل من خلال نفاذ الموارد أو عن طريق تغيير الظروف لجعل المورد أكثر قيمة، على سبيل المثال تغيير المناخ.

3. مبدأ الإدارة 3: الحاجة المستمرة لأنظمة فرعية لموارد من بعضها بعضاً تضع حدود استغلالها لبعضها بعضاً وللبيئة، وهي مُحدِّد للسلوك داخل النظام.

تستخدم المعلومات من قبل كل من الأنظمة الفرعية لاتخاذ القرارات المطلوبة لضمان ملاءمتها للأنظمة الفرعية الأخرى والبيئة. بدون تدفق المعلومات من خارج النظام - أو النظام الفرعي - يجب أن يعتمد النظام على معلوماته الداخلية (المعرفة) لاتخاذ القرارات.

مثل هذا الظرف يزيد من خطر انحراف النظام الفرعي عن سياقه. بغض النظر، فإنه يتلقى باستمرار إشارات من العالم الخارجي، وهو نفسه يرسل إشارات إلى أنظمة أخرى. تحوي الأنظمة التي تعمل بشكل جيد على هياكل مدمجة فيها لالتقاط المعلومات ذات الصلة واستخدام تلك المعلومات لتعظيم فرصها في استخدام الموارد لتحقيق أهداف أنظمتها.





4. مبدأ الإدارة 4: تستخدم المعلومات من قبل الأنظمة الفرعية لاتخاذ قرارات تهدف إلى ضمان ملاءمتها لاحتياجات الأنظمة الفرعية الأخرى والبيئة.

البيانات ليس لها معنى في حد ذاتها. تحدث عملية التفسير بين المعلومات والمعنى، وهذه العملية مدفوعة بالقيم الموجودة. تحدد أنظمة القيم ما يعتبره الأفراد والمنظمات والمجتمعات مهماً: أنواع الموارد التي سيتبعونها؛ وتفسير المعلومات المتلقاة والمستخدمات. أنظمة القيم جزء لا يتجزأ من ثقافة المجتمع والمنظمات، وفي القيم التي يحملها الأفراد، وهي تحدد كيف تتصرف الأنظمة الفرعية. قد يجري تشغيل استخدام أنظمة القيم من خلال المعلومات، وتتشكل من خلال تدفق الموارد.

5. مبدأ الإدارة 5: القيم توفر معنى لتدفق المعلومات التي تستخدم بعد ذلك لتحديد استخدام الموارد من قبل النظم الفرعية.

تشير حقيقة آليات الربط إلى أن توافر الموارد هو الذي يحدد إلى حد كبير الاختيار. إنها معلومات حول التوافر تشير إلى صانع القرار (الأفراد أو المنظمات أو المجتمع) الذي يقوم بتنفيذ استراتيجيات الإدارة المناسبة.

من خلال عملية تحسين الوصول إلى الموارد يحدث التعلم وتتحقق تغييرات كبيرة في الثقافة والقيم. لذلك، ستذهب أقوى استراتيجيات الإدارة مباشرة إلى الوصول إلى الموارد، وستطلق إشارات توضح الأداء الاجتماعي أو البيئي الذي سيسمح بالوصول إلى الموارد بشروط محسنة.

6. مبدأ الإدارة 6: استراتيجيات الإدارة الأكثر فعالية لإدارة المستدامة لمخاطر الفيضانات هي تلك التي تشترط الوصول إلى الموارد.





يستخدم كل نظام فرعي آليات مختلفة لتقليل الآثار السلبية لكوارث الفيضانات. يوجد داخل كل نظام فرعي العديد من التفاعلات المختلفة والعديد من الخيارات المختلفة لتحسين استخدام الموارد.

لا توجد استراتيجية إدارة (صحيحة): إدارة **مخاطر الفيضانات** هي عملية لإدارة السلوك. لا توجد استراتيجية واحدة ستكون مثالية لأي موقف. لا التنظيم ولا الحوافز الاقتصادية ولا التعليم ولا التحولات في حقوق الملكية هي استراتيجية الإدارة (الصحيحة).

سيختلف ما سينجح مع النظام الاجتماعي الذي تجري إدارته، استجابةً لثلاثة متغيرات: تدفقات المعلومات، والموارد، وأنظمة القيم الموجودة. يتمثل التحدي الذي يواجهه مدير **مخاطر الفيضانات** في إدارة هذه العناصر الثلاثة، عبر الأفراد والمنظمات والمجتمع وداخل البيئة، لتحقيق النتيجة الممكنة الأكثر فاعلية.

7. مبدأ الإدارة 7: التركيز الأكثر كثافة على وجهة نظر الأنظمة لإدارة مخاطر الفيضانات سوف يسرع من فهم استراتيجيات الإدارة التي تعمل، وبخاصة لماذا قد تنجح.

على سبيل المثال، عندما يتعامل أحد البرامج مع الحوافز الاقتصادية، ويتعامل برنامج آخر مع تحسين تدفق المعلومات، ويركز ثالث على الإنفاذ التنظيمي، فمن السهل جداً الاعتقاد بأنها تركز على جوانب مختلفة ذات روابط هشة. ما هو ضروري هو نموذج أنظمة لفهم التفاعلات والديناميكيات التي تُدار. سيسمح لنا هذا بالتعلم مما نقوم به (بشكل أخطر)، حتى نتمكن في النهاية من القيام به بشكل أفضل.





الفيضانات وخصائصها الطبيعية

الفيضانات جزء لا يتجزأ من التغير المتأصل في الطبيعة. بقدر ما نسعى للسيطرة على الفيضانات والقضاء عليها، فإنها ستستمر في الحدوث. يجد معظم الناس بشكل متزايد اهتماماً مشتركاً بقبول حتمية حدوث فيضانات أكبر من المتوقع، وفي قبول أن العديد من الأنشطة البشرية يمكن أن تضخم حجم وتأثير الفيضانات.

في حين أن النوع الأكثر شيوعاً من الفيضانات ينتج عن الإدخال السريع للكميات الزائدة من المياه، فقد تنشأ الفيضانات أيضاً عن طريق انسداد داخل شبكة الصرف، وعن المد والجزر والرياح البرية التي يمكن أن تتسبب في حدوث فيضانات بحرية ومصبات.

تعديل جميع مدخلات المياه من خلال التضاريس والخصائص الهيدروليكية للسطح (و / أو) المواد الجوفية التي تواجهها. ويتأثر حجم الفيضان وتوقيته بالتفاعلات الطبيعية مع البيئة والبشر.

يقوم الرسم البياني لتدفق النهر بتجميع هيدرولوجيا الفيضانات دون إنتاج مزيد من المعلومات حول العمليات الرئيسية المنتجة للفيضانات. صرح الباحث هيولت أنه (ليس ذروة التفريغ في منابع المياه هي التي تنتج الفيضانات في اتجاه مجرى النهر، بل حجم مياه العواصف التي تحررها مناطق منابع المياه).





- الفيضانات الناجمة عن هطول الأمطار

تحدث الفيضانات في معظم أحواض الأنهار بشكل شبه كامل نتيجة هطول الأمطار الغزيرة (و / أو) المطولة بشكل مفرط أو عن فترات الذوبان الطويل (و / أو) الذوبان الشديد للثلوج. في كل حالة، تؤدي جميع العمليات إلى حجم كبير من التدفق السريع، الذي يصل إلى قناة التيار بسرعة كبيرة أثناء هطول الأمطار أو حدث الذوبان وبعده مباشرة.

يحدث التدفق السريع نتيجة هطول الأمطار على حوض نهر وينشأ من تفاعل هطول الأمطار وظروف مستجمعات المياه. في المراحل الأولى من العاصفة، تتسرب كل الأمطار (P) إلى سطح التربة. بعد ذلك، نتيجة للتسرب والتدفق في التربة (Qt)، تصير منحدرات الوادي السفلية مشبعة مع ارتفاع منسوب المياه الضحلة إلى سطح الأرض. في هذه المناطق المشبعة، تكون سعة التسرب صفراً بحيث يتحول كل هطول الأمطار عليها، مهما كانت شدته، إلى تدفق بري (Q0).

مع أنه في بداية هطول الأمطار، قد تقتصر مناطق المصادر المتغيرة على قنوات التيار نفسها ومناطق قاع الوادي المجاورة، إلا أن تقارب مسارات التدفق الجوفية الضحلة قد يؤدي أيضاً إلى تشبع السطح والتشبع بالتدفق البري في قعر المنحدرات ومناطق التربة الرقيقة في جميع أنحاء مستجمعات المياه.

سيؤدي استمرار التدفق من المناطق غير المشبعة من المنحدر إلى النمو المكاني لمناطق المصدر أينما كانت موجودة في البداية. وبالتالي، قد تتوسع مناطق المصدر التي غالباً ما تغطي أقل من 5% من مستجمعات الأمطار في بداية هطول الأمطار لتغطي 20-25% من مستجمعات المياه مع استمرار





العاصفة، مما يؤدي إلى زيادة حجم التدفق السريع المتولد بمقدار خمسة أضعاف وبمعدل معين من الأمطار.

حيث يكون هطول الأمطار غزيراً بشكل خاص، أو حيث تقل قدرات التسرب الطبيعي بسبب التأثيرات البشرية، **مثل**: انضغاط التربة أو الرعي الجائر.

خلال تلك الأجزاء من العاصفة عندما يسقط المطر بمعدل أكبر من المعدل الذي يمكن أن يمتص به سطح الأرض، سيحدث هطول زائد، والذي سيتدفق على سطح الأرض كتدفق بري وفق المعادلة الآتية: $Q_o = P_e = (i - f) t$

حيث إن: i هي كثافة هطول الأمطار، وهي قدرة التسرب، و t هو الزمن، و P_e هو زيادة هطول الأمطار، و Q_o هو التدفق البري.

عادةً ما يؤدي مزيج من تأثيرات المظهر الجانبي للتربة والسطح إلى انخفاض سريع في قدرة التسرب بعد زمن قصير من بداية هطول الأمطار، لذلك قد يسقط المطر بكثافة معتدلة، مع عدم قدرته في البداية على توليد التدفق البري، بمجرد انخفاض معدل التسرب المرتفع المبكر.

نظراً لأنه من المرجح أن تُظهر قدرة التسرب انخفاضاً مستمراً من خلال سلسلة من العواصف المتتالية، فمن الشائع أن هطول الأمطار في زمن متأخر من تسلسل العاصفة سيؤدي إلى تدفق بري أكثر، وبالتالي فيضانات أكثر شدة من كمية هطول الأمطار نفسها التي تهطل في زمن مبكر من تسلسل العاصفة.

عندما تغطي منطقة العاصفة (المنطقة التي يسقط عليها المطر في زمن واحد) كل أو معظم مستجمعات المياه، وعندما تطول مدة هطول الأمطار، فإن



معظم مستجمعات المياه ستسهم في النهاية في التدفق السريع في زمن واحد. بعد ذلك، وبغض النظر عن ظروف التسرب أو التشعب الأولي، فإن مقدار التدفق السريع المتولد لعمق معين من الأمطار سيكون هو نفسه تقريباً من منطقة حراجية أو زراعية أو حضرية. هذا له آثار مهمة في فعالية استراتيجيات إدارة مستجمعات المياه التي تهدف إلى الحد من جريان الفيضانات.

• انصهار الجليد وذوبان الثلج

عندما يكون ذوبان الجليد مكوناً رئيسياً للفيضانات، كما هو الحال في مستجمعات المرتفعات والارتفاعات العالية، قد تنخفض مناطق المصادر المتغيرة وكثافة الفيضانات، بدلاً من زيادتها، مع مرور الزمن. وتتمثل الأسباب الرئيسية لذلك في:

- ❖ **أولاً:** في أن التدفق البري للمياه الذائبة عند قاعدة كتلة الثلج سيكون أكثر كفاءة مع التجمد مقارنة بسطح الأرض غير المجمد.
- ❖ **ثانياً:** يتناقص حجم الكتلة الثلجية المتبقية، التي تحدد في النهاية الحجم الأقصى للمياه الذائبة التي يمكن إنتاجها، مع استمرار الذوبان.
- ❖ **ثالثاً:** نظراً لأن الذوبان يحدث عادةً من ارتفاع منخفض إلى ارتفاع أعلى، تميل بقايا كتلة الثلج الذائبة إلى الوجود على مسافة متزايدة من القنوات الرئيسية.

يحدث ذوبان الجليد عادةً بشكل أبطأ من ذوبان الجليد ونادراً ما يكون مسؤولاً عن الفيضانات الشديدة. ومع ذلك، قد تحدث فيضانات اختراق البحيرات الجليدية عندما يؤدي ذوبان الجليد الجليدي فجأة إلى إطلاق كميات





كبيرة من المياه الذائبة التي عادت إلى النظام الجليدي. وبالمثل، قد تحدث الفيضانات عندما يؤدي تفكك الكتلة الجليدية في نهر إلى ازدهام جليدي، مما قد يعيق كميات كبيرة من المياه.

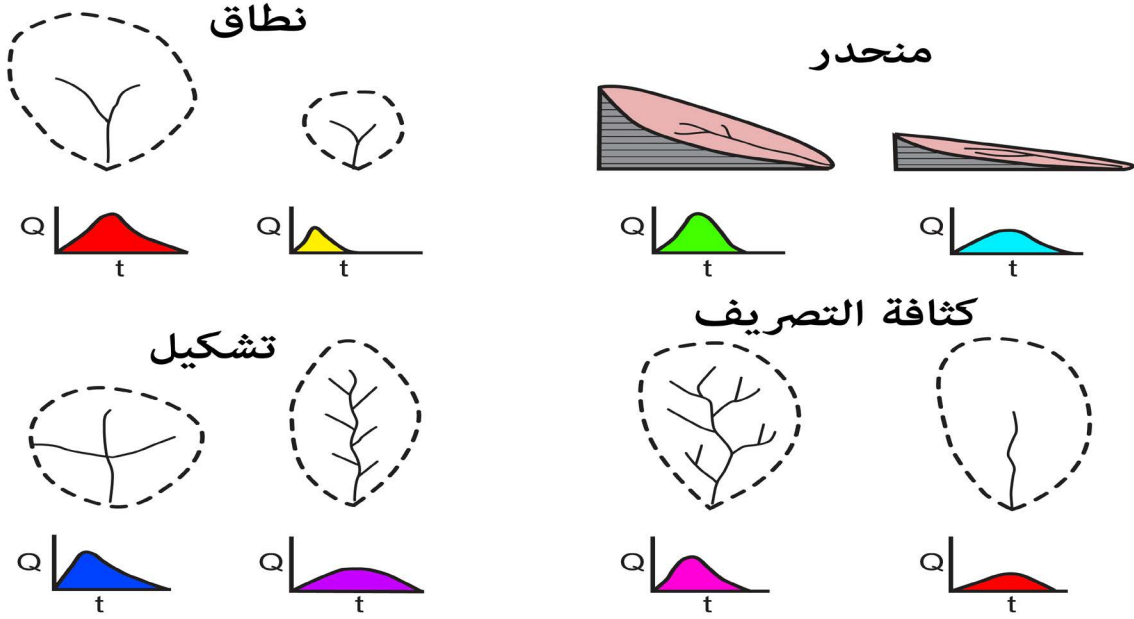
• تعديل الحجم والتوقيت

يمكن أن يكون انتظام أوقات الجريان السطحي من أجزاء مختلفة من الحوض أمراً بالغ الأهمية في إحداث فيضان. إذ كلما كانت الاستجابة وأوقات الارتحال أكثر اتساقاً، زادت احتمالية تراكم تدفق النهر إلى ذروة تدفق عالية. قد تخلق الأحواض المنتظمة جداً في كل من العملية وزمن النقل تدفقات فيضان من أحجام الجريان السطحي التي قد تمر في الأحواض الأخرى على أنها أحداث غير مهمة.

التربة ذات النفاذية المنخفضة تولد الفيضانات بسرعة أكبر. سرعة الجريان السطحي لا تقل أهمية عن الإنشاء الفعلي للجريان السطحي. تعد السرعة أمراً بالغ الأهمية في تحديد ما إذا كان الجريان السطحي يصل إلى نقطة معينة في القناة في الزمن المناسب لإضافة تدفق الذروة أو اعتباره جرياناً عادياً. تسهم التدرجات عالية الانحدار وكثافة التصريف العالية في سرعة الجريان السطحي، فضلاً عن شكل الحوض المضغوط وشبكة القنوات المضغوطة.

يوضح الشكل الآتي تأثيرات المتغيرات الشكلية الرئيسية على الفيضان. حيث تكمن أهمية كثافة شبكة التدفق في التباين الكبير في سرعة الإرسال بين عمليات منحدرات التل وتدفق القناة. كلما كان طول منحدر التل أقصر الذي يجب أن تمر به المياه، بأي طريق، زادت سرعة وصوله إلى القناة.





تأثير شكل الحوض في شكل المخطط المائي للفيضان.

سرعات القنوات المفتوحة النموذجية أثناء أحداث التدفق السريع هي في حدود بضعة أمتار في الثانية. يقارن هذا بمتوسط قياسات 300 ملم / ثانية لتدفق الأنابيب، و50 ملم / ثانية للتدفق البري، و3 ملم / ثانية لتدفق المسام الكبيرة، وهلم جرّاً.

في حوض ممدود على شكل ريشة، تستنزف المياه من أجزاء مختلفة من الحوض بأوقات ارتحال مختلفة وتصل ذروة التصريفات من الروافد إلى مصب الحوض في أوقات مختلفة، مما يؤدي إلى انتشار الذروة وتقليل **مخاطر الفيضانات**. تكون أوقات الارتحال أكثر تساويًا عندما تكون الروافد بطول مماثل، وهو ما يحدث بشكل أكثر شيوعاً في الأحواض الدائرية.





من بين جميع المتغيرات **المورفولوجية**، تعتبر منطقة الحوض (A) بشكل عام هي الأكثر أهمية في التحكم في حجم التصريف، وهي الوحيدة المستخدمة في صيغة مؤشر الفيضانات في هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لمتوسط الفيضان السنوي (الذي يحوي على فترة عائد 2.33 سنة):

$$Q_{2.33} = C \times A^{0.7}$$

حيث C هو معامل مشتق تجريبياً. تراعي معادلات دراسات الفيضانات في المملكة المتحدة أيضاً تكرار التدفق، ومتوسط ميل القناة الرئيسية، وتأثيرات تخزين البحيرة والصرف الحضري. تضيف بعض التحديثات الأخيرة لهذا النهج اهتماماً خاصاً بخصائص التربة، بما في ذلك وجود طبقات غير منفذة وسمك طبقات المياه الجوفية.

• السهول الفيضية

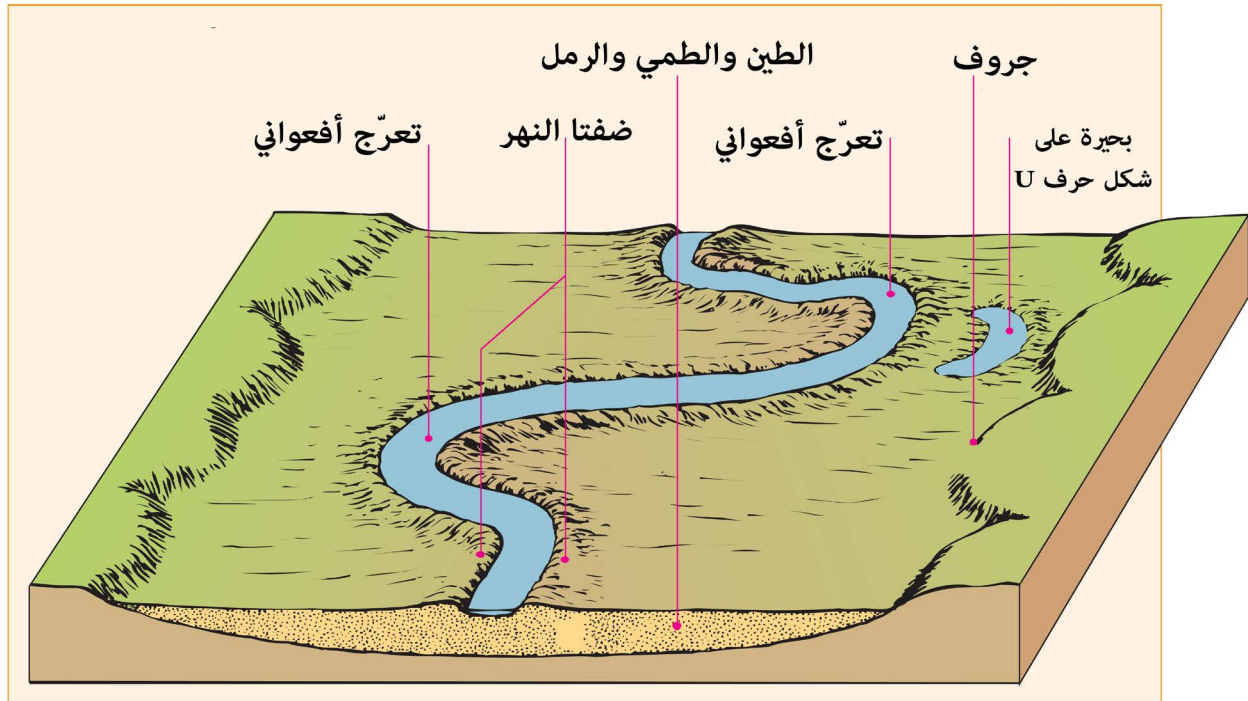
السهل الفيضي **Floodplain** هو وادٍ نهري واسع ومنبسط يقع في الروافد السفلية للنهر. وعندما يتدفق النهر في اتجاه مجرى النهر، فإنه يحمل معه كميات كبيرة من الطمي أو الرواسب، مما يؤدي إلى ترسيب الكثير منها في قاع النهر، وبالتالي يزداد ارتفاعه.

عندما يفيض النهر، فإنه يودع الرواسب على ضفاف النهر أو السدود حيث ينسكب فوق الجزء العلوي من قناته، مما يزيد من ارتفاعها.

يؤثر كلٌّ من نوعي الرواسب - أثناء التدفق الطبيعي ونتيجة للفيضانات المتكررة - في رفع النهر وسدوده عالياً فوق السهول الفيضية المحيطة.



من بين المعالم النموذجية للسهول الفيضية للنهر التعرجات الأفعوانية وبحيرات أو برك على شكل حرف U ، والسدود المرتفعة، والتلال التي تأكلها النهر إلى منحدرات أو منحدرات نهريّة. يجري تغطية السهول الفيضية نفسها بطبقة من الطين والطيني والرمل وغيرها من الرواسب التي يجرفها النهر.



معالم السهول الفيضية الرئيسية.

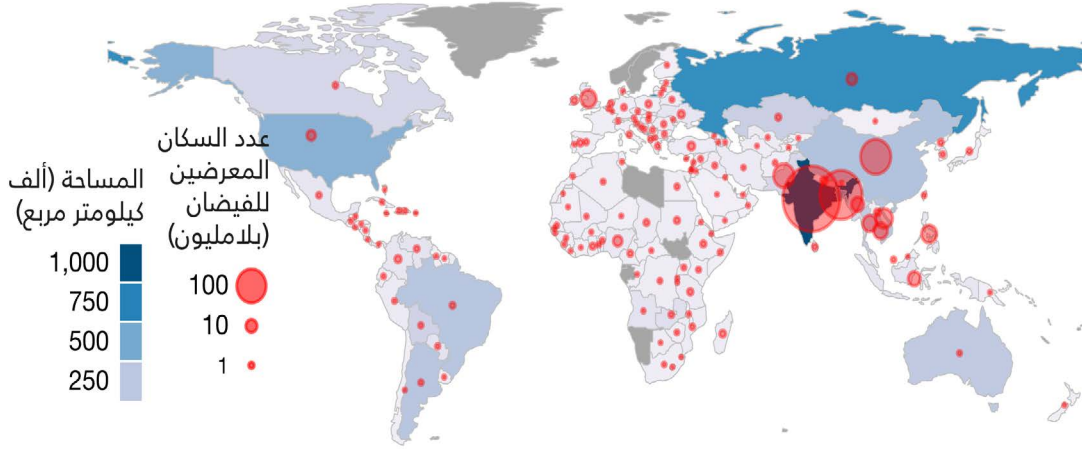


أحد الأمثلة الشهيرة على السهول الفيضية سهل نهر التايمز في بريطانيا. في الصورة عمق شبكة السهول الفيضية والمضلع المحيط للفيضان لمدة 250 عاماً في أحد المواقع على طول نهر التايمز الشمالي.

• الفيضانات والسكان

تؤثر الفيضانات في أعداد كبيرة من الناس، وقد يفوق عددهم أعداد المتضررين من أي خطر بيئي آخر، كما أنها تؤثر في جهود التنمية المستدامة. لذلك فإن الاستثمار في استراتيجيات التكيف مع الفيضانات قد يقلل من الخسائر في الممتلكات والأرواح.

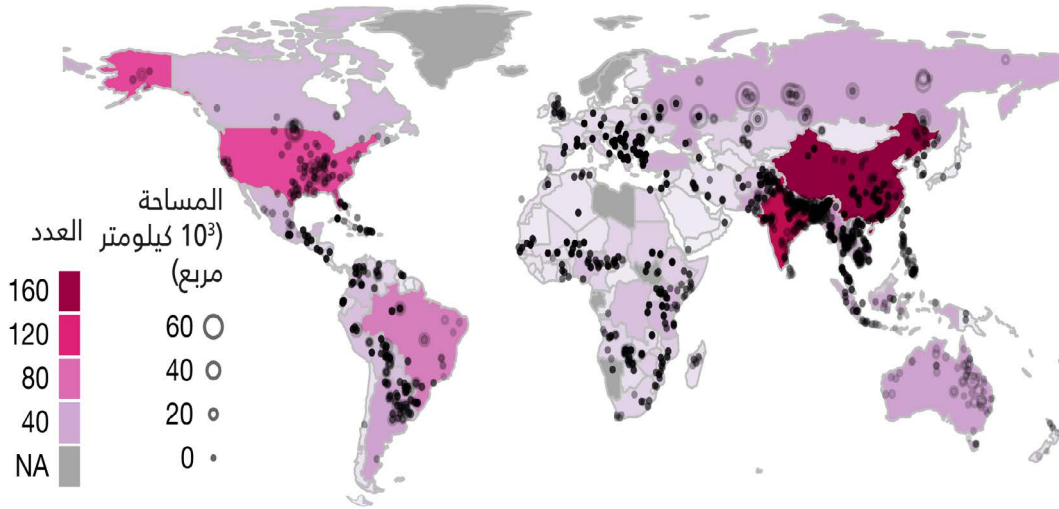




إجمالي السكان المعرضين للفيضانات (عدد تراكمي) على مدار الفترة الممتدة من عام 2000 إلى عام 2015 (دوائر)، والمساحة المعرضة للفيضان (مقياس لوني) لكل بلد.

لكن تحديد الأشخاص المعرضين للفيضانات، والكيفية التي تحدث بها، وموقع حدوثها، كلها عوامل خاضعة للتغير حسب سرعة الحركة العمرانية، والتوسع في إقامة المستوطنات في السهول الفيضية، ووجود بنية تحتية مخصصة لتخفيف آثار الفيضان.

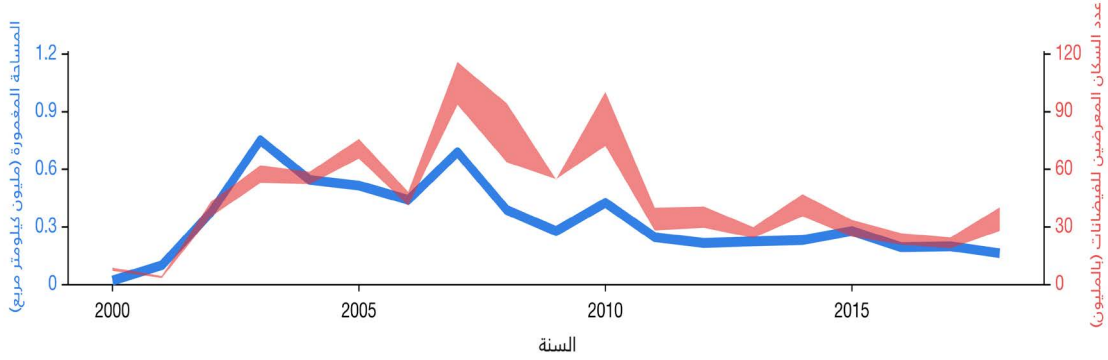




عدد الفيضانات في قاعدة البيانات العالمية لكل بلد (مقياس لوني)، إلى جانب موقع مركز كل فيضان، ومساحته (دوائر). البلدان التي لم تُجرَ فيها عمليات الرصد الفيضاني مظللة باللون الرمادي (غير متاحة).

وقد لاحظ الباحثون أن التقديرات السابقة لأعداد السكان المعرضين لخطر الفيضانات على مستوى العالم لم تكن كبيرة جداً، ويعود السبب في ذلك إلى نقص البيانات الرصدية؛ الأمر الذي دفع بالقائمين على إعداد هذه الإحصاءات إلى الاعتماد على النماذج، بدلاً من البيانات، لكن هذه النماذج اتسمت بمستويات كبيرة جداً من عدم الدقة.





تقديرات عدد سكان العالم المعرضين للفيضانات سنوياً (المحور الأيمن، المظلل باللون الأحمر) الحد الأعلى مستمد من مجموعة بيانات GHSL، والحد الأدنى مستمد من مجموعة بيانات HRSL. المساحة المغمورة بالفيضانات سنوياً على مستوى العالم يمثلها المحور الأيسر (الخط الأزرق). الفيضانات الممتدة هي تلك التي تتوفر لها بيانات عالية الجودة، ويبلغ عددها (بين عامي 200-2015) 913 فيضانياً. ويظهر أن عدد السكان المعرضين للفيضانات، وكذلك المساحة المعرضة للفيضانات، أقل في عام 2000 و2001.

• آثار التدخل البشري

لقد حدث تعديل لسطح الأرض بشكل كبير من خلال الأنشطة البشرية. وقد أثر ذلك في موازين المياه المحلية والإقليمية وأنظمة الأنهار. هذه التأثيرات إما مباشرة، من خلال التلاعب بالموارد المائية، إما غير مباشرة، من خلال آثار إزالة الغابات والزراعة. يقدر أن 20% من مساحة الأرض في العالم قد تغيرت بشكل جذري من خلال الأنشطة البشرية.





أدت بعض التعديلات إلى تكثيف خطر الفيضانات بينما قلل البعض الآخر من ذلك. تميل إزالة الغطاء النباتي الطبيعي إلى تقليل خسائر التبخر النتحي وتعرض سطح التربة للطاقة الحركية الكاملة للمطر المتساقط، مما يتسبب في تفتيت بقايا التربة، وانسداد المسام، وتقليل قدرة التسرب، وربما حتى تشكيل بقع غير منفذة.

تقلل إزالة الغطاء النباتي من فقدان الماء من خلال النتح والاعتراض، وخسائر التبخر من التربة، لأن انعكاس التربة العارية أعلى. يمكن أن تتعارض سرعات الرياح السطحية العالية بعد إزالة الغطاء النباتي مع هذا الاتجاه، ولكن على المدى الطويل، فإن التبخر الفعلي سيميل إلى الانخفاض بسبب انخفاض تخزين رطوبة التربة.

قد تكون مجموعة الأنشطة التي قللت من **مخاطر الفيضانات** واسعة النطاق. تميل جميع الأنشطة التي تزيد من زمن النقل أو تقلل صافي فائض المياه داخل الحوض إلى تقليل **مخاطر الفيضانات**. وهذا يعني أن أي نشاط يزيد من فقد التبخر أو قدرة التسرب، أو يحسن بنية التربة، أو يصدر المياه من الحوض أو يستهلكه، سيققل من تصريف النهر.

الغطاء النباتي الأكثر كثافة والأسطح الخشنة والحواجز المصممة لتأخير الجريان السطحي يؤخر التدفق البري، وهو أحد المصادر الرئيسية لمياه الفيضانات. الأنشطة المصممة لأغراض، **مثل**: تجميع مياه الأمطار والري بمياه الأمطار والاحتفاظ بالتربة كلها تؤخر و / أو تقلل من التدفق السريع للتصريف في التيار الرئيسي.



يمكن أن تعمل زيادة إمدادات المياه العامة عن طريق نقل الموارد المائية بين الأحواض بطريقتين: الأولى تقليل **مخاطر الفيضانات** في حوض المصدر، والثانية زيادة حوض الاستقبال.

حتى إذا لم يكن هناك نقل صافٍ للمياه داخل أو خارج الحوض، فإن تأثيرات استغلال المياه على مستويات تدفق النهر يمكن أن تؤثر في **مخاطر الفيضانات** في كلا الاتجاهين، اعتماداً على توقيت ومعدل استخراج المياه العذبة وعودة المياه العادمة.

1. تعديلات الغابات

قد تؤدي إزالة الغابات إلى تكثيف فيضان الأنهار من خلال التأثير سلباً في بنية التربة وحجمها، وتقليل معدلات التسرب، وتقليل تخزين المياه. عادة ما تكون هذه التأثيرات أكثر أهمية خلال العواصف المتكررة منخفضة الحجم. يتضاءل تأثيرها خلال العواصف الشديدة المتزايدة التي تنتج فيضانات مع هطول الأمطار الغزيرة لفترات طويلة و / أو الذوبان يملأ التخزين المتاح ويخلق ظروفاً واسعة النطاق من تشبع السطح وعدم التسرب.

لا يحدث التعديل الأولي لسلوك فيضان النهر عن طريق التشجير أو إزالة الغابات ولكن من خلال الإجراءات الميكانيكية المؤقتة المرتبطة بها. على سبيل المثال، قد يكون للحراثة والصرف قبل الزراعة، وبناء الطرقات المنزلة والضغط العام أثناء القطع تأثيرات دراماتيكية، ولكنها قصيرة العمر، على أحجام الجريان السطحي وأحمال المواد الصلبة العالقة.





بشكل أعم، على المدى الطويل، يبدو أن تشجير المناطق التي لم تكن بها حراج سابقاً يتسبب في انخفاض متوسط في التدفق يعادل 200 ملم من الأمطار. مع أن متوسط الزيادات في التدفق في السنة الأولى بعد إزالة الغابات يبلغ نحو 300 ملم، فإن التأثير يتضاءل بسرعة مع مرور الزمن بعد القطع.

كثيراً ما يلقي باللوم على إزالة الغابات لأغراض الزراعة في زيادة الفيضانات في اتجاه مجرى النهر. إذ يسمح الغطاء النباتي المنخفض لمزيد من المياه بالوصول إلى التربة بسرعة أكبر وعودة أقل إلى الغلاف الجوي. يبدأ الجريان السطحي في الحدوث بشكل متكرر وتبدأ معدلات التآكل في الارتفاع.

تقلل التعرية بسرعة من عمق التربة، وبالتالي قدرتها على تخزين المياه. تعتبر الفيضانات أكثر خطورة بسبب زيادة حجم المياه في البيئة، وبسبب زيادة تواتر وحجم الجريان السطحي، وبسبب ارتفاع مستويات قيعان الأنهار المتضررة. كما هو الحال مع الجوانب الأخرى للعلاقة بين هيدرولوجيا الفيضانات والتغير البيئي، لا تزال هناك فجوات وشكوك في فهمنا لها.

2. الزراعة وصرف الأراضي

يصعب تقييم الآثار طويلة المدى لتطهير الأراضي والتنمية الزراعية. ومع ذلك، فمن المرجح أن تشمل زيادات في الحجم الإجمالي لجريان قمم الجريان السطحي والفيضانات. تقول بعض التقديرات إن إزالة الغطاء النباتي تقلل التبخر الفعلي بأكثر من 400 ملم / سنة في المناطق المدارية الرطبة و200 ملم / سنة في خطوط العرض الوسطى.





ترتبط مشكلات الفيضانات الحديثة بصرف الأرض. يشير العمل التجريبي في بريطانيا إلى أن المصارف المفتوحة في تربة الخث (نباتات متفحمة توجد بالأراضي الغدقة في المناطق المعتدلة. تتعفن ببطء في الطور الأول لتكون الفحم) التي تزيد من قمم الجريان السطحي. الاتجاه العام هو أن نقص الصرف يزيد من معدلات الجريان السطحي عندما تكون التربة مشبعة في الظواهر المتطرفة. في أمريكا الشمالية ومعظم أوروبا، كان الكثير من تصريف الأراضي جزءاً من الاستصلاح الشامل للأراضي الرطبة. من المعروف حالياً أن فقدان تخزين الأراضي الرطبة يمكن أن يكون له تأثير حاسم في **مخاطر الفيضانات**.

3. التحضر

مع أن المناطق الحضرية تشغل أقل من 3% من سطح الأرض، فإن تأثير التحضر في هيدرولوجيا الفيضانات وخطر الفيضانات كبير بشكل غير متناسب. ويعكس هذا جزئياً التعداد السكاني الكبير والمتزايد بسرعة في المناطق الحضرية. تعكس الأهمية الهيدرولوجية للتحضر جزئياً التنوع الواسع لعمليات إنتاج التدفق.

من المقبول منذ فترة طويلة، على سبيل المثال، أن المناطق الحضرية تصنع مناخها الخاص وهناك دليل قوي على أن المزيد من الأمطار تسقط على المناطق الحضرية أكثر من أي مكان آخر.

يمكن أيضاً إثبات أن ظروف الفيضانات داخل وخارج المناطق الحضرية يجري تعديلها من خلال التغييرات في مورفولوجيا القناة، والتي إما أنها صُممت لتحسين كفاءة القناة وقدرتها، إما أنها أُحدثت عن طريق تكييف قناة





المصب لتعديل مخرجات المياه والرواسب من المناطق الحضرية. بالإضافة إلى ذلك، تتأثر هيدرولوجيا الفيضانات بشكل مباشر من خلال تغير التوقيت وحجم التدفق السريع المتولد من الأسطح الكتيمة الواسعة للمناطق الحضرية، واستيراد المياه النظيفة للاستخدام المنزلي والصناعي، وتوليد المياه العادمة وتصديرها من خلال مياه الأمطار وأنظمة الصرف الصحي.

يعتمد مدى تعديل خصائص الفيضانات عن طريق التحضر إلى حد كبير على طبيعة السطح الحضري المعدل، وعلى تصميم النظام الهيدرولوجي الحضري، وعلى المناخ. السمة المميزة الرئيسية للأسطح الحضرية هي أنها أقل نفاذية من معظم الأسطح التي تحل محلها.

ونتيجة لذلك، فهي مناطق مصدر فعّالة للتدفق السريع وتميل مخططاتها الهيدروغرافية للفيضانات إلى الحصول على قمم أعلى وأقدم على حد سواء. ومع ذلك، يوضح الجدول الآتي أن نفاذية الأسطح الحضرية تختلف اختلافاً كبيراً، بحيث يمكن لتخطيط التصميم الحضري الدقيق أن يفعل الكثير لتقليل الحد الأدنى من الآثار الهيدرولوجية المعاكسة للتحضر.





جدول مقارنة بين كتامة الأسطح الحضرية النموذجية.

نوع السطح	الكتامة (%)
قمة الأسطح	70-95
رصف الأسفلت	85-90
رصف الحجر والطوب	
مع وصلات ضيقة	75-85
مع مفاصل مفتوحة	50-70
طرق ومسارات الحصباء	25-60
الطرق والممرات المرصوفة بالحصي	15-30
الأسطح غير المعبدة	10-30
المتنزعات والحدائق والمروج	5-25

يتأثر أثر التحضر في هيدروغراف الفيضان أيضاً بالمناخ، وبخاصة هطول الأمطار، والظروف. لقد ازداد خطر الفيضانات الجوفية في المناطق الحضرية الرئيسية التي بها أنظمة نقل وخدمات معقدة تحت الأرض.





الفيضانات الصغيرة شائعة، ومن النادر حدوث فيضانات كبيرة، لذلك يوصف حجم الفيضان من حيث التكرار. فالفيضان الذي يحدث لمدة عامين هو فيضان صغير من المحتمل أن يحدث كل عامين. أما الفيضان الذي يحدث كل 100 عام هو فيضان كبير من المحتمل أن يحدث مرة كل قرن. وقد يحدث فيضان مفاجئ عندما يتحول مجرى صغير إلى سيل مستعر بعد هطول أمطار غزيرة خلال فترة جفاف.

• الآثار الصحية للفيضانات

لقد كانت الفيضانات في جميع أنحاء العالم مسؤولة عن أربع من أكبر خمس كوارث طبيعية دموية في عام 2007. التأثير الكلي للفيضانات له نطاق





واسع جداً، ويمكن أن يؤثر في الإمدادات الغذائية والاقتصاد بعد أشهر، وبالتالي يمكن أن يكون له تأثير طويل الأجل في الصحة.

إن احتمالية أن تتسبب الفيضانات في إلحاق الضرر بحياة البشر وصحتهم كبيرة. تذكرنا الأحداث الأخيرة بأن الضرر حدث داخل إنجلترا وويلز خلال فيضانات عام 2007، في كوكرماوث، في شمال غرب إنجلترا، وفي نوفمبر 2009، وفي عام 2010 بالفعل، في فرنسا وفي العديد من المناطق الأخرى من العالم بما في ذلك الولايات المتحدة والبرازيل والهند وجمهورية التشيك وباكستان.

الفيضانات هي مخاطر طبيعية معقدة. أفاد مكتب التأهب لحالات الطوارئ وتنسيق الإغاثة في حالات الكوارث أن الآثار قصيرة المدى الشائعة لكوارث الفيضانات هي:

❖ عدد قليل من القتلى والجرحى.

❖ احتمال ضئيل لزيادة الأمراض المعدية.

❖ حدوث ندرة غذائية بشكل شائع وحركة نزوح سكانية كبيرة.

تُظهر مراجعة الأدبيات التفصيلية الحديثة أن هناك تأثيرات صحية (خفية) طويلة المدى لم يتم التعرف عليها إلا مؤخراً ولا تزال بحاجة إلى مزيد من الفهم، مثل التأثير في الصحة العقلية أو التأثير في الفئات الضعيفة.

تشير العديد من الدراسات الرئيسية المنشورة خلال السنوات الخمس الماضية إلى أدلة مفيدة وتشمل مراجعة الأدبيات الوبائية؛ لذلك فإن البيانات مأخوذة في الغالب من المؤلفات الحديثة التي راجعها النظراء، والأفعال القانونية، والأدبيات المنشورة منذ عام 2004.

الآثار الصحية لها محددات معقدة تشمل خصائص الفيضان، والارتباط الزمني بحدث الفيضان، والمسار السببي المباشر وغير المباشر بين الصحة





والاستجابة للفيضان. بالإضافة إلى ذلك، فإن الدمار الذي لحق بالممتلكات والبنية التحتية يظهر على الفور بعد وقوع فيضان، لكن الآثار الصحية (باستثناء الإصابة والوفاة) قد تكون أقل وضوحاً، ويمكن أن تستمر لفترة أطول من تلك التي تحدث في إعادة بناء المبنى. يجب أيضاً اعتبار التأثير في المرافق الصحية وقدرة الخدمات الصحية على الاستمرار في تقديم الرعاية جزءاً من العواقب الصحية الناجمة عن الفيضانات.

تتفاعل عمليات الدفاع ضد الفيضانات، وتحسينات البناء والتخطيط، والأثر الاقتصادي، والعمل المجتمعي، وعمليات التعافي مع صحة السكان بطريقة ما. وتجدر الإشارة إلى إحصاءات وكالة البيئة (EA) أن 7% من المستشفيات في المملكة المتحدة تقع في السهول الفيضية، وفي لندن وحدها يوجد 16 مستشفى في السهول الفيضية، مما يزيد من ضرورة توفير الصحة للجميع، وإعادة بناء القدرة على الصمود ضد الفيضانات.

أدت الزيادة في تواتر وشدة حوادث الفيضانات إلى زيادة الوعي في المجتمع الصحي بالتوافر الحالي لجودة الإرشادات الصحية في حال حدوث فيضان. لقد حددت تقارير مواضع الثغرات ووضعت أهداف حتى تملأها، التي تشمل:

❖ **التعميم الفعال لنصائح دائرة الصحة من قبل مجموعات الاستجابة والإنعاش المحلية.**

❖ **تطوير تدخلات المرونة البيئية ضد الفيضانات.**

وتشمل تحديات إدارة الصحة العامة أثناء كارثة الفيضانات سلامة المصابين وبقاءهم على قيد الحياة، وتوفير الخدمات الطبية والغذاء الآمن والمياه، وإعادة توطين المتضررين إذا لزم الأمر، وتنفيذ مبادرات حماية الصحة.



في حال وقوع كارثة، يمكن أن يكون هناك عدم توافق بين الموارد المتاحة والحاجة إلى الخدمات الصحية الطبية؛ تحتاج استجابة الصحة العامة إلى التوفيق بين هذا الأمر بالشكل المناسب قدر الإمكان.

بالقدر نفسه من الأهمية، يصعب تعقيد توثيق الفيضانات للآثار الصحية الضارة الناجمة عن الفيضانات. لقد جرى استخدام طرائق مختلفة ولكن أياً منها، ومن خلال تجربة المملكة المتحدة، لم تقدم صورة كاملة. باستخدام ثلاثة أمثلة حديثة، تظهر الاختلافات في الأساليب:

❖ وجدت دراسة وبائية عن الآثار الصحية بعد الفيضانات في عام 2002 في سانت لويس في أمريكا أن التعرض للفيضانات كان مرتبطاً بزيادة كبيرة في التهاب المعدة والأمعاء وزيادة خطر الإصابة بالضيق النفسي عند البالغين بأربعة أضعاف.

❖ قدمت الدراسة الاجتماعية في المنطقة الزمنية من هال، في شمال شرق إنجلترا، في أعقاب فيضانات عام 2007 مباشرة صورة واضحة للآثار الصحية المبلغ عنها ذاتياً. أفاد العديد من المشاركين أن صحتهم قد تأثرت سلباً، حيث أبلغوا عن مشكلات في الجهاز التنفسي وردود فعل جلدية وعدوى وإجهاد.

❖ أجري بحث نوعي من خلال مقابلات متعمقة ومناقشات جماعية بين مالكي المنازل والشركات والمزارعين المتضررين من الفيضانات، بما في ذلك أولئك الذين غمرتهم الفيضانات والمعرضين لخطر الفيضانات، بعد فيضانات عام 2007. أفادت نتائج هذا الاستطلاع أن 39% من المستجيبين ذكروا أن الفيضان كان له تأثير في صحتهم الجسدية، وذكر 67% أنه كان له تأثير في صحتهم العاطفية.





وبائيات الآثار الصحية للفيضانات

لا يمكن تقييم الآثار الصحية للفيضانات بشكل عامّ من خلال الدراسات الوبائية المستقبلية الخاضعة للرقابة؛ ولذلك، فإن الكثير من المؤلفات حول الآثار الصحية والمشورة المتاحة تأتي من التحليل النفعي مع أثر رجعي ودراسة الحالة (الدروس المستفادة).

تمثل الكوارث الطبيعية، التي تعتبر الفيضانات أحدها، ظروفًا صحية فريدة وقد حظيت باهتمام بحثي متزايد على مدار السنوات القليلة الماضية. هذا ينطبق بشكل خاصّ على الفيضانات من الأعاصير الأمريكية، **مثل**: كاترينا، وإيفان. ومع ذلك، فإن الأبحاث الوبائية الحالية حول تأثير الفيضانات في الصحة غالباً ما تكون محدودة بسبب أحجام العينات الصغيرة وغير التمثيلية.

غالباً ما يكون من الصعب الحصول على بيانات أساسية جيدة؛ لأنه لم تُجمع البيانات ذات الصلة قبل حادثة الفيضان. بالإضافة إلى ذلك، لا يُسجّل دائماً إسناد النتائج الصحية إلى الفيضانات في مذكرات الرعاية الطبية أو الصحية، وبالتالي لا يحدث دائماً الربط بين الشكوى الصحية والسبب.

إنّ البيانات الوبائية حول الآثار الصحية للفيضانات غير مكتملة، وسيكون المزيد من العمل على الأحداث المستقبلية التي تغطي ظروف ما قبل الفيضان وخلالها وبعده ذات قيمة كبيرة في زيادة فهمنا.

الضروري في الأمر هو أن يجري تضمين موضوع الصحة في الاستجابة الكاملة للفيضانات من قبل جميع القطاعات: في نهاية المطاف، سيكون لجميع الإجراءات في أي قطاع تأثير في الصحة. جميع الكوارث الطبيعية فريدة





من نوعها وقد تؤثر في كل بلد بشكل مختلف، بسبب الخلفيات الاقتصادية والاجتماعية والصحية المتنوعة.

توجد بعض أوجه التشابه، مع ذلك، بين الآثار الصحية، بحيث يمكن للتخطيط المستعرض الجيد والتأهب على جميع المستويات، مع التدريب الروتيني الفعال، أن يمكن من الإدارة الفعّالة للصحة والإغاثة في حالات الطوارئ في أي كارثة معينة. فيما يأتي حُدِّدت الاحتياجات البحثية التي تشمل:

1. **البيانات الوبائية** عن الآثار الصحية للفيضانات غير مكتملة، وسيكون المزيد من العمل على الأحداث المستقبلية التي تغطي ما قبل الفيضان وخلالها وبعده ذات قيمة كبيرة في زيادة فهمنا.
2. **يوجد حاجة** إلى مزيد من العمل لفهم الوفيات الفورية وطويلة الأجل من الفيضانات، وتأكيد النتائج.
3. **لا تزال المعلومات المتعلقة** بأسباب وأنواع الإصابات غير مكتملة، وهناك حاجة إلى المزيد من العمل للتحضير لهذه الأحداث والاستجابة لها ولتوثيق المخاطر بشكل كامل.
4. **أجري عدد** قليل نسبياً من الدراسات الوبائية على السكان المعرضين للأمراض المعدية بعد الفيضانات، ولكن تلك التي أبلغ عنها حتى الوقت الحالي تبدو مطمئنة.
5. **البيانات المتعلقة بالتلوث** الكيميائي غير كاملة وربما لا توفر معلومات كافية وموثوقة؛ هناك حاجة إلى مزيد من العمل، خاصة لتتبعه الزملاء





الإكلينيكيين حول مخاطر أول أكسيد الكربون ومع خبراء البيئة للاتفاق على بروتوكولات أخذ العينات إذا لزم الأمر.

6. **يوجد حاجة** إلى مزيد من البحث لفهم التأثيرات التي تحدثها مرونة الفيضانات وعمليات التعافي على قابلية التأثر والطريقة التي قد تغير بها ديناميكيات الضعف وحدوده.

7. **من هذه البيانات**، يلزم إجراء مزيد من البحث حول الصحة العقلية لتحديد الأدوات والتدابير الأكثر فاعلية للتحقيق في هذه النتيجة المعقدة والمقلقة لأحداث الفيضانات.

8. **يتضح من البحث** أن الصعوبات التي تنشأ عن نقص المياه أثناء الفيضانات تحتاج إلى مزيد من الفهم، ويجب تطوير الإجماع على كمية المياه ونوعيتها وإيصالها.

9. **التخطيط لحالات الطوارئ** للمرافق والخدمات الصحية للفيضانات ضعيف، ولا يتم دمجها بالضرورة في خطط الطوارئ الوطنية. يجب أن تكون الصحة جزءاً من جميع خطط الطوارئ والاستجابة لها.





التخفيف من آثار مخاطر الفيضانات

إضافةً لعملية الإدارة الرشيدة لمخاطر الفيضانات، يوجد عدة إجراءات عملية وميدانية يمكنها أن تحدّ أو تخفف من آثار مخاطر الفيضانات في الناس. وسنتوسع في الحديث عنها هنا لأنها تفيد أصحاب القرار والأراضي والقائمين على إدارة مخاطر الكوارث الطبيعية.

• التصريف الأرضي

يمكن تفادي الفيضانات الناجمة عن تراكم المياه على أرض جافة عادةً عن طريق إزالة المياه قبل أن تتدفق عبر السطح. وهذا هو الغرض من التصريف. نظراً لأن المياه المتدفقة تزيل التربة، يمكن أن يساعد الصرف أيضاً في الحد من تآكل التربة ومن خلال ذلك، نقل التربة إلى الأنهار، فضلاً عن مشكلات التلوث وغمر مصبات الأنهار والموانئ.

تقليدياً، كان المزارعون يحضرون الخنادق للتصريف من حقولهم، وقد نجد العديد من الخنادق في الريف لدى زيارته. تعمل هذه الخنادق عن طريق منع الماء من دخول الحقل، لذلك تُصنع على طول الجزء العلوي من الحقل وبزاوية قائمة على المنحدر.

تتدفق المياه من الأرض فوق الحقل إلى الخندق، ثم على طولها، وفي النهاية إلى نهر أو بحيرة. يعتمد مقدار الماء الذي يجمعه الخندق على عمقه. كلما كان الخندق أعمق، تجمّع المزيد من المياه.

سوف يتراكم الماء بشكل طبيعي في قاع المنحدر. إذا لم تستطع التصريف، فقد تصير الأرض مشبعةً بالمياه. وهذا يقلل بشكل كبير من قيمتها الزراعية وقد يجعلها غير مجدية للزراعة.





لذلك فإن وجود سلسلة من الخنادق على فترات زمنية أسفل منحدر تكون فعّالة جداً في منع التشبع بالمياه. ومع ذلك، تحتاج هذه الخنادق إلى الصيانة. وهذا يتطلب عمالة كثيفة، وبالتالي باهظ التكلفة، ولكن ما لم تُنظف الخنادق بشكل دوري، فإن الغطاء النباتي سوف يخنقها ويسدها في النهاية.

غسل التربة من الحقل أعلاه تدريجياً يجعل الخنادق ضحلة، مما يقلل من كمية المياه التي تجمعها، وقد تتآكل جوانب الخندق. وبدون اهتمام منتظم، ستصير الخنادق عديمة الفائدة بمرور الزمن. في المناطق التي تكون فيها الزراعة مكثفة جداً، وتكون الأراضي الزراعية ذات قيمة، تحتل الخنادق أيضاً الأراضي التي يمكن زراعتها وقد تتداخل مع تشغيل الآلات الزراعية الحديثة.

إن الجمع بين تكلفة الصيانة العالية، والإزعاج، وفقدان الأراضي التي يحتمل أن تكون قابلة للزراعة، يقنع بعض المزارعين بملء خنادقهم والبحث عن طرائق أخرى للتحكم في حركة المياه.

• أنابيب أم خنادق؟

في بعض الحالات، يمكن استبدال الخنادق بأنابيب مثقبة، مما يسمح بتدفق المياه إليها. تؤدي هذه الأنابيب وظيفتها الخنادق نفسها، ولكن يمكن دفنها وبمجرد تثبيتها تكون أرخص بكثير وأسهل في الصيانة، مع أنها مناسبة لاستبدال الخنادق الصغيرة فقط. وذلك لأن الخنادق الرئيسية التي يجري تغذيتها من الخنادق الصغيرة تحمل الكثير من المياه، وسيكون استبدال الأنابيب مكلفاً جداً.

لكن الخنادق لها مزايا. بالإضافة إلى توفير الصرف، يمكن استخدامها لتخزين المياه، والاحتفاظ بها حتى ينخفض مستوى المد أو منسوب النهر قبل





تصريفها. هذه خدمة مفيدة في بعض الأماكن، لكنها ستكون أكثر صعوبة مع نظام الأنابيب.

أيضاً، غالباً ما تصطف النباتات النموذجية على ضفاف الأنهار على جانبي الخنادق الكبيرة. يمكن لهذا أن يجعل **مثل** هذه الخنادق مناطق قيّمة لموائل الحياة البرية التي يجب الحفاظ عليها كلما أمكن ذلك.

• نباتات استصلاح الأراضي

يسهم الغطاء النباتي في الحماية من الفيضانات. تقوم جميع النباتات بنقل المياه من الأرض إلى الهواء، وتلك التي تنمو عادةً على طول ضفاف الأنهار تكون فعّالة بشكل خاص في المهمة بعد كل شيء، فهي تنمو هناك بشكل طبيعي لأنها تزدهر بشكل أفضل في الأرض الرطبة.

في الواقع، غالباً ما تُزرع الأنواع الواقعة على ضفاف النهر في سياق مشاريع استصلاح الأراضي لهذا السبب على وجه التحديد. إنها تساعد في تجفيف الأرض، وفي النهاية، عندما ينخفض منسوب المياه الجوفية إلى ما دون مستوى جذورها، فإنها تموت وتصل الأنواع الأخرى أو تُزرع لتحل محلها.

يمكن أيضاً استخدام النباتات، والأعشاب الأكثر شيوعاً، لاستعادة الأخاديد المتآكلة. عندما يتدفق الماء عبر السطح، تتناسب سرعته مع ميل الأرض وخشونة سطحه. إذ كلما كانت الأرض قاسية، كان التدفق أبطأ.

كذلك تعمل الأعشاب المزروعة في الأخاديد على إبطاء تدفق المياه، مما يجعل السطح أكثر خشونة. هذا يقلل من طاقة التدفق، مما يتسبب في ترسب





جزيئات التربة كرسوبيات، وتدرجياً، تمتلئ الأخاديد التي تحولت إلى (أنهار خضراء) بالتربة التي تحملها من الأرض إلى أي من الجانبين ويحتجزها العشب.

• المصارف الميدانية

داخل أحد الحقول، تستخدم المصارف المدفونة تحت الأرض التي تتغذى من الخنادق أو الأنابيب الكبيرة لخفض منسوب المياه الجوفية. مرة أخرى، هذه ليست فكرة جديدة. في الماضي، كان المزارعون الذين يرغبون في تجفيف حقل بهذه الطريقة يحفرون سلاسل من الخنادق الضيقة، بالتوازي مع بعضها البعض وعلى المنحدر.

كانوا يبطنون الخنادق بالحصى أو الحجارة الكبيرة، ويغطونها بفروع من الشجيرات والأشجار الصغيرة الموضوعة على طول كل خندق، ثم يعيدون التربة التي أزالوها، ودفن المصارف.

مع مرور الزمن، بالطبع، سوف تتحلل المواد النباتية وستسقط التربة، وتملأ المصارف، التي يجب حفرها مرة أخرى. لكن المصارف من هذا النوع تدوم لعدة سنوات، والمواد لا تكلف المزارع شيئاً، باستثناء الكثير من العمل الشاق.

من الواضح أنه نظراً لأن المصارف يجب أن تحمل الماء إلى أسفل المنحدر، يجب أن تميل هي نفسها. هذه ليست مشكلة على منحدر التل؛ لأنه إذا تم وضعها على عمق ثابت تحت السطح، فسوف تتبع حتماً المنحدر الطبيعي للتل.

على المنحدرات الضحلة، قد يحتاجون إلى تجاوز هذا ويجب أن يكون لديهم ميل لا يقل عن نحو 1:1000، مما يعني أن ارتفاع الأنبوب - الذي يتم قياسه





عادةً بالرجوع إلى مستوى سطح البحر - يتناقص بمقدار وحدة واحدة (قدم أو متر) لكل 1000 وحدة تقاس أفقياً أسفل المنحدر.

إذا كان التدرج أكبر من 1: 1000، فسيتدفق الماء بحرية عبر المصارف. من الواضح بنفس القدر، لكي تكون فعّالة، يجب أن تكون قادرة على حمل أكبر قدر ممكن من الماء يمكن تصريفه خلال عاصفة ممطرة شديدة.

• مجاري التصريف

التربة الرملية، المكونة من جزيئات كبيرة نسبياً مع وجود فراغ كافٍ بينها، تستنزف بحرية ولا تحتاج إلى دعم. لكن التربة الثقيلة هي التي تستفيد من الصرف تحت السطحي، وبخاصة التربة الطينية، حيث تكون الجزيئات صغيرة جداً ومتلاصقة معاً بإحكام بحيث لا يمكن أن يمتص الماء من السطح إلا بصعوبة.

يوجد ميل في التربة الطينية الواقعة أسفل العمق الذي يمكن الوصول إليه عن طريق الحراثة إلى أن تكون شبه مشبعة بالمياه في الطقس الرطب وتحمّص بقوة في الطقس الجاف. وفي كلتا الحالتين، ينتج عن ذلك طبقة كتيمة تشجع التربة العلوية على التشبع بالمياه، وعندما يحدث هذا، تتدفق مياه الأمطار عبر السطح بدلاً من امتصاصها. تبقى التربة جافة أسفل عمق الحراثة، وتجف الطبقة العلوية بسرعة، ويضيع الماء الثمين.

أرخص طريقة للمزارع للتعامل مع هذا الموقف هي تركيب مجاري التصريف **Moles**، باستخدام محراث المجاري، كما هو موضح في الرسومات أدناه. لا يحدث محراث المجاري ثلماً كما هو حال المحراث العادي، وإنما بدلاً من ذلك، يحوي





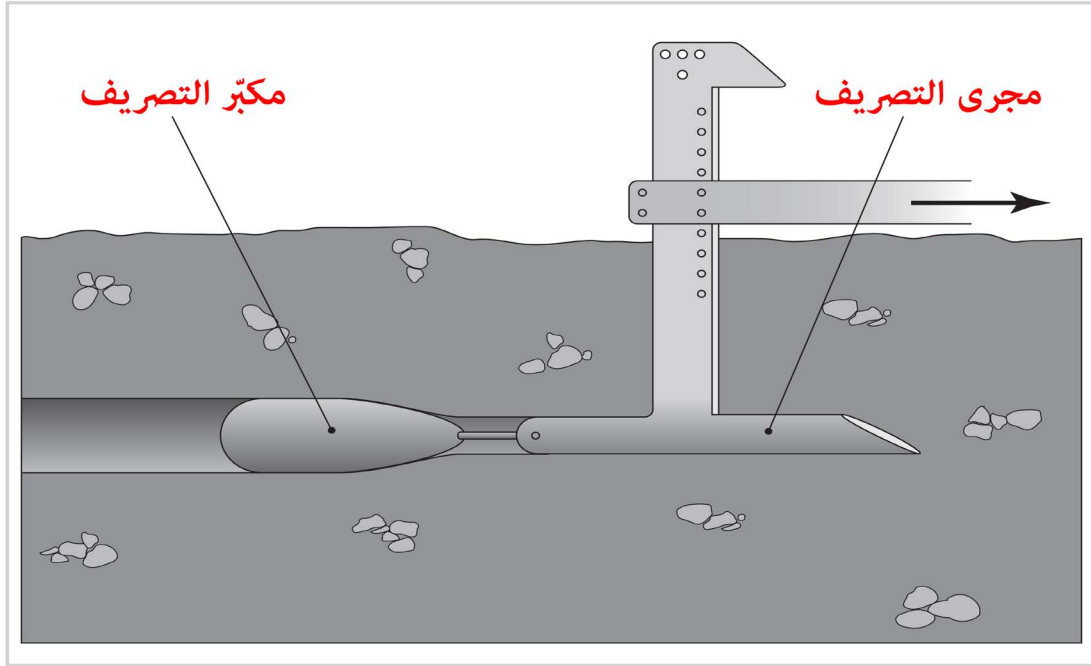
على شفرة عمودية مع أسطوانة، تسمى مجرى التصريف، على شكل رصاصية ومثبتة أفقياً في الأسفل، وخلف مجرى التصريف، توجد أسطوانة عريضة، تسمى مكبر التصريف **Mole Enlarger**، لتوسيع الفتحة المقطوعة بواسطة مجرى التصريف.

نظراً لأن هذا الجهاز يُسحب عبر التربة، على عمق ثابت محدد بواسطة قضيب توجيه قابل للضبط، فإنه يُحدث شقاً ضيقاً مع وجود نفق في الأسفل يبقى مفتوحاً بواسطة التربة المعبأة التي تبطنه. اعتماداً على التربة، تُحدث المصارف على فواصل من نحو (2.7 متر) وبعمق (0.6 - 0.9 متر). وهذه الفواصل عميقة بما يكفي لاختراق باطن الأرض.

عندما يفرس المحراث مجرى التصريف على طول التربة، فإنه يحطمها على الجانبين، مما يؤدي إلى حدوث شقوق بزاوية 45 درجة تقريباً. يصرف الماء إلى أسفل الشقوق ويصب في مجرى التصريف، الذي ينقله بعيداً إلى حفرة أو أنبوب.

تتسبب الحراثة العادية في إحداث اضطراب بسيط في مجرى التصريف، لأن المحراث يتحرك على عمق 30 سم أو نحو ذلك من التربة. في التربة الطينية الثقيلة، يمكن أن يستمر نظام مجرى التصريف لمدة خمس أو حتى 10 سنوات قبل أن تبدأ في الانهيار ويجب تحديثها مرة أخرى.





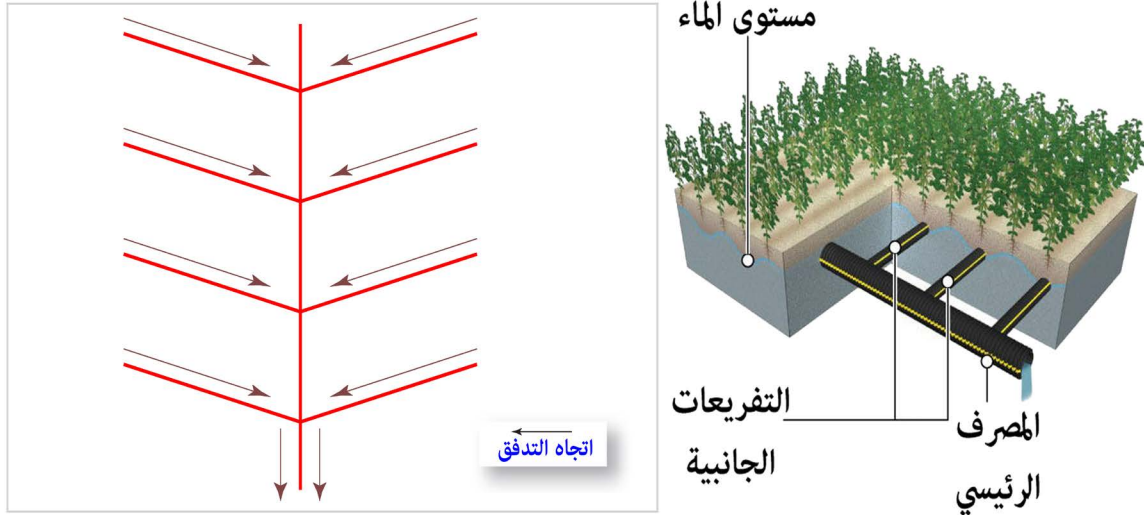
محراث مجرى التصريف. عندما يُسحب مجرى التصريف على شكل الرصاص من خلال التربة، فإنه يقطع الحفرة التي يجري توسيعها بواسطة مكبّر التصريف. يقوم الجهازان بتعبئة التربة على الجانبين، مما يؤدي إلى إنشاء نفق يعمل كمصرف ويستمر لعدة سنوات.

توفر المصارف المرصوفة **Tile Drains** طريقة أكثر ديمومة لإزالة المياه الفائضة ولكنها أكثر تكلفةً. أيضاً، يمكن استخدامها في التربة الطرية جداً مقارنة بمجري التصريف وتستمر لفترة أطول. تصنع المصارف المرصوفة من أقسام قصيرة من الأنابيب موضوعة من طرف إلى طرف في قاع الخندق. قديماً، كانت الأنابيب تصنع من الطين المسامي؛ أما حالياً فغالباً ما تكون مصنوعة من البولي إيثيلين أو الخرسانة ومثقبة بثقوب؛ لأن هذه المواد أرخص وأكثر متانة.



مبدأ المصارف المرصوفة هو نفسه المستخدم في مجاري التصريف، لكن المصارف المرصوفة أكبر بأقطار تتراوح بين (7.6 و30 سم)، ومتباعدة عن بعضها كثيراً. مرة أخرى، يعتمد ذلك على التربة، ولكن قد توضع المصارف المرصوفة على بُعد (21-30 متراً).

يشتمل النظام على مصارف جانبية، تتماشى تقريباً مع خطوط الحقل، التي تغذي المصارف الرئيسية، والتي يطلق عليها غالباً المجمعات Collectors، والتي تنقل المياه بعيداً إلى حفرة أو نهر. تشكل المصارف نمطاً يختلف وفقاً لشكل الأرض وانحدارها. نمط عظم السمكة، الموضح في الرسم البياني الآتي، شائع جداً.



(لليمين) نمط متعدد من مصارف الحقل الجانبية التي تغذي المصرف الرئيسي. (لليسار) مخطط عملية توزيع المصارف واتجاه تدفق المياه.

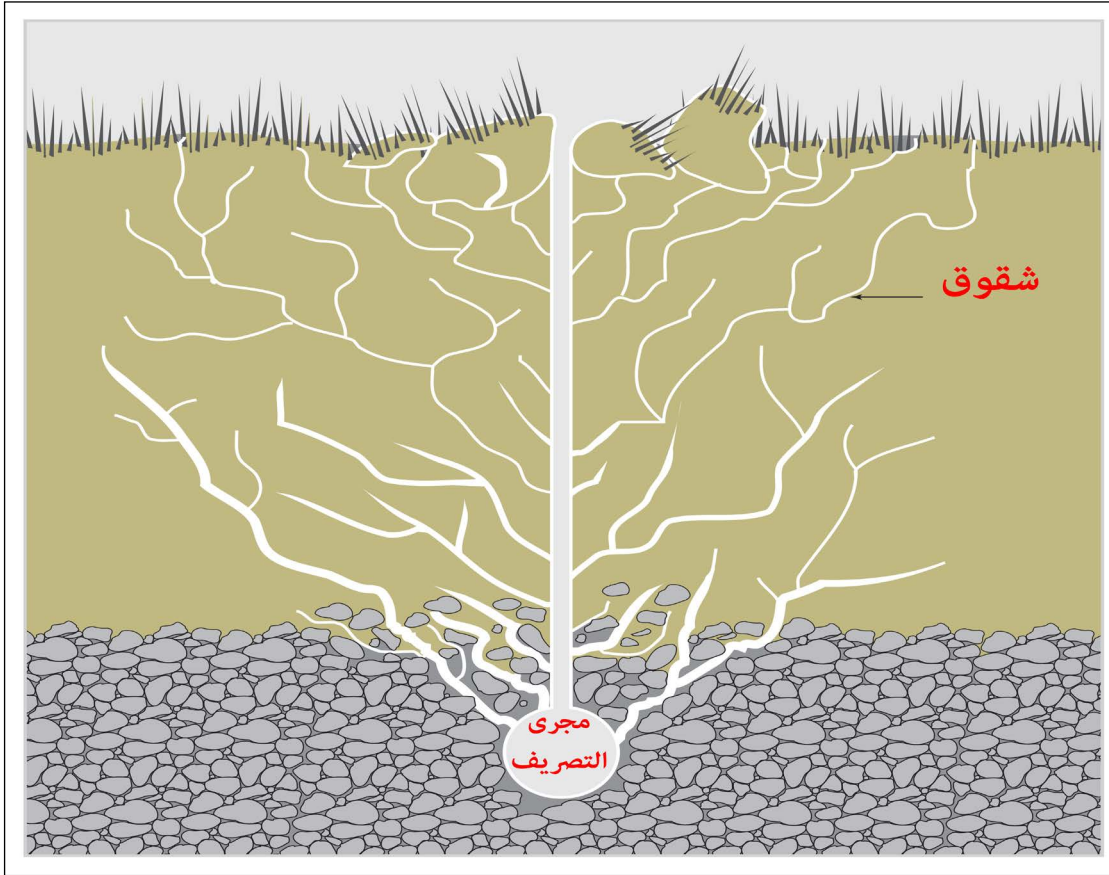


• فوائد عملية التصريف

تعمل المصارف الحقلية - بجميع أنواعها- على خفض منسوب المياه الجوفية عن طريق سحب الماء إليها من كلا الجانبين. يسقط منسوب المياه الجوفية أولاً في المنطقة الأقرب للأنابيب، ثم ينتشر التأثير إلى الجوانب، وقد يستغرق الأمر عدة سنوات حتى تصل إلى سعة الصرف النهائية.

يعمل التصريف على تحسين جودة الأراضي الزراعية الرطبة، وبالتالي غلة المحاصيل، وهذا هو السبب في أنه يحظى بشعبية بين المزارعين. كما أنه يساعد على منع الفيضانات في المناطق المنخفضة عن طريق تحويل المياه إلى الأنهار أو إلى البرك حيث يمكن الاحتفاظ بها حتى تنخفض مستويات الأنهار بشكل كافٍ لتحريرها. ويقلل هذا أيضاً من تآكل التربة وارتفاع مجاري الأنهار عن طريق ترسب الرواسب المنقولة من الحقول.

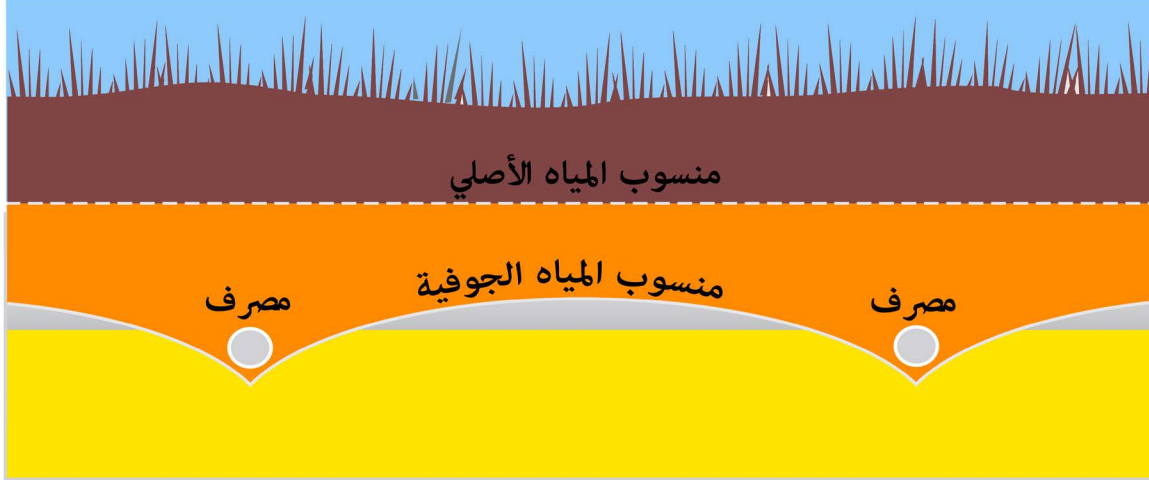




تخفف مجاري التصريف كثيراً من الآثار السلبية للفيضانات عندما توضع تحت مستوى التربة.

النظام الذي يزيل فائض المياه من الحقول يشبه ذلك الذي يزيل المياه الزائدة من الشوارع والمباني ومواقف السيارات في مَدننا. هناك، يتدفق الماء من خلال التفريعات وفي مصارف مياه الأمطار. مصارف الحقول، يجب أن تكون كبيرة بما يكفي لتحمل أكبر كمية من المياه التي من المتوقع أن تتدفق إليها. يجب عليهم أيضاً التفريغ في نقطة أقل من المنطقة التي يستنزفونها. وهذا يمثل صعوبات في بعض المدن، حيث توجد مناطق تحت مستوى النهر تستقبل التصريف، ويجب ضخ مياه الأمطار إلى مستوى أعلى.





كما يوضح الرسم، فإن عمق المصارف وليس التباعد بينها هو الذي يحدد مدى انخفاض منسوب المياه الجوفية.

• التصريف في السهول الفيضية

قد يؤدي تصريف الأراضي إلى زيادة **مخاطر الفيضانات** بالقرب من السواحل وعلى سهول الأنهار. الطريقة الوحيدة المؤكدة لحماية المباني هي وضعها بعيداً عن المياه.

غالباً ما يجري تعريف السهول الفيضية على أنها أرض معرضة للفيضانات خلال 100 عام. فإذا كان المنزل مصمماً ليدوم 70 عاماً، فهناك احتمال كبير أن يغمره الفيضان مرة واحدة على الأقل خلال 100 عام. الطريقة الوحيدة لتجنب المخاطر هي إعادة تصميم المباني إلى الحد الذي من المتوقع أن تصل إليه مياه الفيضانات. قد تكون الخطة نفسها صالحة إلى حد كبير للمناطق الساحلية، حيث يمثل التآكل مشكلة وفي المناطق التي قد تسبب فيها الأعاصير عواصف مطرية.





يعتقد بعض المهندسين المتخصصين في مشاريع البناء في المناطق الساحلية أن مخاطر الانجراف والفيضانات يجب أن تحسب على أساس احتمالية مدتها 100 عام، مماثلة لتلك المستخدمة في السهول الفيضية، وأنه يجب تحديد جميع المباني على مسافة مناسبة من الشاطئ.

• الأراضي الرطبة

قد تبدو المستنقعات والأهوار والمستنقعات المالحة والسهول الطينية ومستنقعات المنغروف أماكن مملدة وعديمة الفائدة، ولكنها غالباً ما تكون في مواقع يمكن أن تكون جذابة. يمكن تجفيفها وتحويلها إلى أراضٍ جافة مناسبة لبناء المنازل أو الفنادق السياحية. بمجرد أن يحدث ذلك، يمكن للأشخاص الانتقال إلى ما جرى تحويله إلى منطقة مرغوبة.

في وقتٍ من الأوقات، احتلت مناطق الأراضي الرطبة ما يقرب من (906500 كيلومتر مربع) من الولايات المتحدة. بعد ذلك، بين عامي 1849 و1850، أصدر الكونغرس قوانين أراضي المستنقعات لتشجيع تصريفها، وبشكل أساسي لتحويل ما كان يُنظر إليه على أنه مناطق (غير مجدية) إلى أراضٍ زراعية. في الزمن الحاضر، لم يتبق سوى نحو (401450 كيلومتر مربع) من الأراضي الرطبة، أي أقل من النصف.

يوجد نحو 90% من الأراضي الرطبة الباقية داخلية؛ تقع البقية على طول السواحل، في المناطق الجنوبية، حيث تشمل مستنقعات المنغروف.

طبعاً لا يقتصر فقدان الأراضي الرطبة على الولايات المتحدة بالطبع. إنها تضيع في جميع أنحاء العالم. منذ عام 1971 انعقد مؤتمر دولي في رامسار، في



إيران، للبحث عن طرائق لحماية **مثل** هذه المناطق؛ لأنها تشكل سلاسل موطن للطيور المائية المهاجرة. وكانت نتيجة اتفاقية رامسار بشأن الأراضي الرطبة ذات الأهمية الدولية، تحديد المواقع ذات القيمة الخاصة وحمايتها من التجفيف وتمييتها.

جرى التوقيع على الاتفاقية من قبل 131 دولة، والمعروفة باسم الأطراف المتعاقدة، وحُدّد ما مجموعه 1150 موقعاً ووضعها على قائمة رامسار للأراضي الرطبة ذات الأهمية الدولية.

تغطي أراضي رامسار الرطبة مجتمعة مساحة تبلغ نحو (963000 كيلومتر مربع) أي أكثر من المساحة المشتركة لتكساس ولويسيانا وأركنساس، أو المنطقة المشتركة بين فرنسا وألمانيا.

• تخزين المياه ومنع الفيضانات

توجد مناطق رطبة مماثلة، أو كانت موجودة في السابق، على طول الروافد السفلية للعديد من الأنهار الكبيرة، بما في ذلك نهر المسيسيبي. هذه المياه الممتصة تفيض من أنهارها، وبالتالي تحمي الأراضي المجاورة من الفيضانات.

وبجانب الأنهار توجد حقول منخفضة في كثير من الأحيان حيث تكون الأرض عادة رطبة. حيث تنمو نباتات البردي هناك، وكذلك نباتات الكاتيل والنباتات الأخرى التي تشبه الأعشاب ولكنها ليست كذلك، إنها تنمو في كتل معزولة. وقد تنتشر هنا وهناك برك صغيرة من الماء مع نباتات مختلفة تنمو فيها وحولها.





في جزء من الزمن، تكون بعض هذه المناطق جافة بدرجة كافية لرعي الماشية وقد تحوي على عشب كافٍ للمزارع ليتمكن من قطعه من أجل التبن. تُعرف هذه المناطق بالمروج الرطبة، أو في بريطانيا باسم المروج المائية. حيث توجد المياه على عمق أكبر وتوجد لفترة أطول من الزمن، يطلق عليها اسم (المستنقعات).

من زمن لآخر، بعد هطول أمطار غزيرة جداً أو عندما يذوب الثلج على سطح الأرض والتلال، يرتفع منسوب المياه في النهر وقد يفيض على الضفاف، ثم تغمر الأرض الرطبة المجاورة.

قد يبقى الماء هناك حتى ينخفض منسوب النهر مرة أخرى، ثم يصرف ببطء مرة أخرى في النهر، أو قد يتدفق الماء عبر الأرض الرطبة، مما يجعل النهر أكثر اتساعاً بشكل فعّال، ولكن في الوقت نفسه يبطن من معدل تدفقه. بعد ذلك، سيجري تصريف المياه مرة أخرى إلى قناة النهر الرئيسية مرة أخرى.

لنفترض أن الأرض الرطبة قد جرى تجفيفها. أثناء الطقس الجاف، عندما يكون النهر منخفضاً، يجري تركيب المصارف تحت الأرض من أجل خفض منسوب المياه الجوفية عن طريق نقل المياه إلى النهر. ثم تغلق ضفة النهر حتى لا تتسرب المياه مرة أخرى. حالياً يمكن زراعة الحقول الواقعة على ضفاف النهر أو يمكن بناء منازل عليها، مع إطلالة رائعة على النهر.

لقد حدث هذا النوع من التطوير مرات عديدة. بعد بضع سنوات، عندما تجف الأرض تحت البيوت وتتكمش، يضعفها وزن المنازل، وتتصدع الأساسات. في الوقت نفسه، تتصدع خزانات الصرف الصحي أيضاً وتسرب محتوياتها إلى النهر، مما يؤدي إلى تلويث المياه التي قد يحتاجها الأشخاص الذين يعيشون في اتجاه مجرى النهر للري وتلحق الضرر بالنباتات والحيوانات المائية.



ثم يرتفع منسوب النهر ويفيض كما كان يحدث دائماً بشكل دوري، ولكن لم يعد هناك حزام من الأراضي الرطبة للتحكم في حركة المياه. بدلاً من ذلك، هناك حقول لزراعة المحاصيل أو منازل يعيش فيها أشخاص. تغمر المياه المحاصيل وتدمر المحاصيل وتتدفق إلى المنازل وتغمرها، ثم تستمر في اتجاه مجرى النهر دون رادع لتسبب فيضانات هناك أيضاً.

غالباً ما كانت الأرض المجاورة للنهر تُغمرها المياه في الماضي، أما الفيضان فقد كان محدوداً وغير ضار. ازدهرت النباتات التي تنمو بجانب النهر في الظروف الرطبة، وابتعدت الحيوانات التي تعيش على الأرض عن الطريق وعادت فيما بعد، عندما هدأت المياه. لكن صارت الفيضانات ضارة فقط بعد تجفيف الأراضي الرطبة واستخدامها لأغراض أخرى.

• الأراضي الرطبة الساحلية

التأثير الأكثر دراماتيكية للفيضانات في طول السواحل المنخفضة. هناك، لا تمتص الأراضي الرطبة الماء مع ارتفاع البحر فحسب، بل تمتص أيضاً طاقة الأمواج. ومن شأن هذا أن يقلل من احتمالية حدوث عواصف تجتاح الأراضي الداخلية.

ينتقل الماء من اليابسة إلى البحر، معظمه عبر الأنهار، ولكن البعض الآخر ينتقل عن طريق التصريف مباشرة من الأراضي الساحلية أو من خلال مجاري صغيرة. تبدأ جزيئات التربة وحبيبات الرمل، المعلقة في المياه العذبة، في الاستقرار عندما تلتقي وتختلط بالمياه المالحة.

تتشكل الخزانات الرملية والسهول الطينية، وتنمو في النهاية إلى ارتفاع يجعلها مكشوفة عند انخفاض المد. يؤدي نقل المياه إلى قطع القنوات من





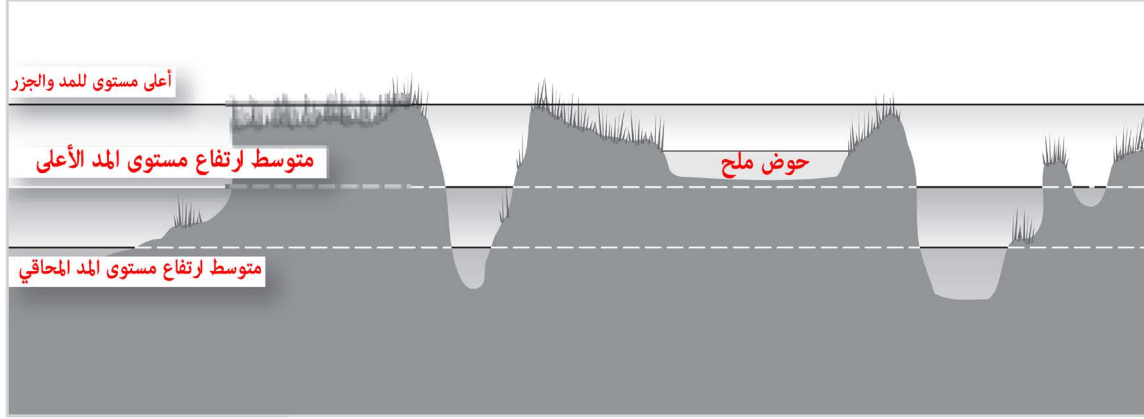
خلالها، لذا فهي تشبه الأرض المنخفضة مع تدفق العديد من الأنهار الصغيرة عبرها. بالفعل الخزانات والشقوق مُهمّة للحفاظ. تحضر الرخويات والديدان والحيوانات اللاقارية الأخرى فيها بأعداد كبيرة وتوفر الغذاء للطيور الخوض.

• المستنقعات الملحية

عندما تقع أجزاء من السطح فوق الماء طوال الوقت باستثناء المد الأعلى وعندما تغسلها الأمواج الكبيرة، يمكن أن تبدأ النباتات في النمو التي تحبس بدورها المزيد من الرواسب، وتزيد من ارتفاع السطح، وتتحول الضفة الرملية أو السهول الطينية إلى مستنقع ملحي، وهو مكان مغطى بالنباتات يمكنه تحمّل المياه العذبة والمياه المالحة. عند انخفاض المد، تكون أجزاء من المستنقع الملحي جافة بدرجة كافية للمشبي عليها، وهذا ما يشجع المطورين على استغلالها؛ في حالتها الطبيعية، غالباً ما توفر بعض الرعي للماشية وفرصاً لتربية المحار في القنوات التي تمر عبرها.

عادة ما تكون الخطوة الأولى في استعادتها إيوائها خلف جدار بحري؛ لأنه لم يعد بإمكان المياه المالحة أن تغطيها وأن يغسل المطر تدريجياً الملح من التربة، التي تصير بعد ذلك شديدة الخصوبة. في الواقع، المستنقعات المالحة معقدة جداً. كما يوضح الرسم المقطع العرضي الآتي أحدها، حيث تتقاطع القنوات مع المناطق المرتفعة، ويمتد بعضها إلى ما دون المستوى المتوسط للمد والجزر المنخفض.





مقطع عرضي لمستنقع ملحي.

حيث تتدفق مياه المد والجزر عبر هذه القنوات في كلا الاتجاهين. سوف تلتقط التجاويف الصغيرة فوق المستوى المتوسط للمد الأعلى المياه من الأمواج وتحفظ بها لفترة كافية لتبخّر الكثير من المياه، مما يزيد من ملوحة المياه المتبقية وتتشكل حالة اسمها (وعاء الملح) **Salt Bowl**.

تختلف المستنقعات الملحية حسب الظروف المحلية من حيث الحجم وفي نطاق النباتات التي تدعمها. كلما كان الساحل أكثر حماية، كانت المستنقعات الملحية أكبر، ولكن حتى على السواحل المكشوفة إلى حد ما، قد يجري إنشاء النباتات على أعلى مستوى للمد والجزر. تتباطأ الموجات لأنها تمر فوق الرمال والطين والنباتات. ثم تفقد طاقته وتضرب الأرض خلف المستنقعات بقوة أقل، مما يحمي المنطقة الداخلية المجاورة والمباني القائمة عليها. هذا صحيح حتى عندما تكون المنطقة الداخلية محمية بجدار البحر الخاص بها، لأن المستنقعات الملحية تحمي الجدار، مما يقلل من كمية التعزيزات التي يحتاجها وتكلفة صيانتها.





• مستنقعات المنغروف

مستنقعات المنغروف هي المكافئ الاستوائي للمستنقعات المالحة. تتطور بشكل أفضل على السواحل الموحلة والمحمية، وغالباً ما تكون خلف الجزر الحاجزة أو الشعاب المرجانية. عند ارتفاع المد، تظهر فقط تيجان الأشجار فوق الماء، وقد تكون بعض الأوراق السفلية مغمورة معظم الزمن.

يوجد نحو 90 نوعاً من أشجار المنغروف. كلها عبارة عن أشجار عريضة الأوراق دائمة الخضرة أو شجيرات تنمو بشكل سيئ، إن وجدت، بعيداً عن المياه المالحة. بعضها له جذور طويلة تجعل الجذع الرئيسي خالياً من الماء؛ البعض الآخر لديه (جذور التنفس) **Pneumatophores** التي تظهر فوق الماء من الجذر الرئيسي تحت الأرض وتسمح للأكسجين وثنائي أكسيد الكربون بالمرور داخل وخارج النبات.

تعتبر أشجار المنغروف أفضل في حجز الرواسب من نباتات المستنقعات المالحة. في الواقع، إنها بارعة في ذلك لدرجة أنها في العديد من الأماكن، تقوم بتمديد الخط الساحلي تدريجياً عن طريق التحرك أكثر في البحر حيث تتراكم الرواسب المحتجزة ويصير الماء ضحلاً.

مثل المستنقعات الملحية والسهول الطينية في المناطق المعتدلة، جرى تطهير مستنقعات المنغروف على نطاق واسع: خشب المنغروف ذو قيمة للبناء وكوقود، يمكن تحويل الأراضي المستصلحة من المستنقعات إلى أراضٍ زراعية خصبة مناسبة بشكل خاص لزراعة قصب السكر، وموقعها في السواحل المحمية تشجع التنمية السياحية. كما أنها كانت ضحايا الحرب. خلال **حرب فيتنام**، جرى رش أشجار المنغروف مراراً وتكراراً بمبيدات الأعشاب لإزالة أوراقها، وقتل الكثير منها.





تمتص الأراضي الرطبة بجميع أصنافها وعلى طول السواحل وبجانب الأنهار والبحيرات مياه الفيضانات. تمتلئ بسرعة، ثم تحرر المياه ببطء، وفي الوقت نفسه مع انخفاض منسوب الأنهار أو البحر. حيثما تحدث بشكل طبيعي فإنها توفر حماية ممتازة من الفيضانات. لذلك فإن إزالتها تزيل تلك الحماية وتترك الأرض المستصلحة عرضة للخطر.

كما أنها تدعم مجموعة واسعة من الحياة البرية، بما في ذلك العديد من الأنواع التي تتكيف مع الظروف القاسية في الموائل التي تجف وتغمر بشكل متناوب، وفي حالة الأراضي الرطبة الساحلية المعرضة للمياه العذبة والمالحة بالتناوب. مع تجفيف الأراضي الرطبة، يتم تدمير الموطن وتختفي نباتاته وحيواناته. يجب الحفاظ على الأراضي الرطبة، وبقدر الإمكان، يجب استعادة الأراضي الرطبة المفقودة.

• الحواجز النهرية

عندما يفيض نهر، تتباطأ المياه مع ارتفاعها فوق الضفاف. كلما تباطأ الماء، فإنه يفقد الطاقة. ومن شأن هذا أن يقلل من قدرته على نقل جزيئات التربة؛ وبالتالي، قد يودع جزء من حمولته على رأس الخزان ويبقى هناك.

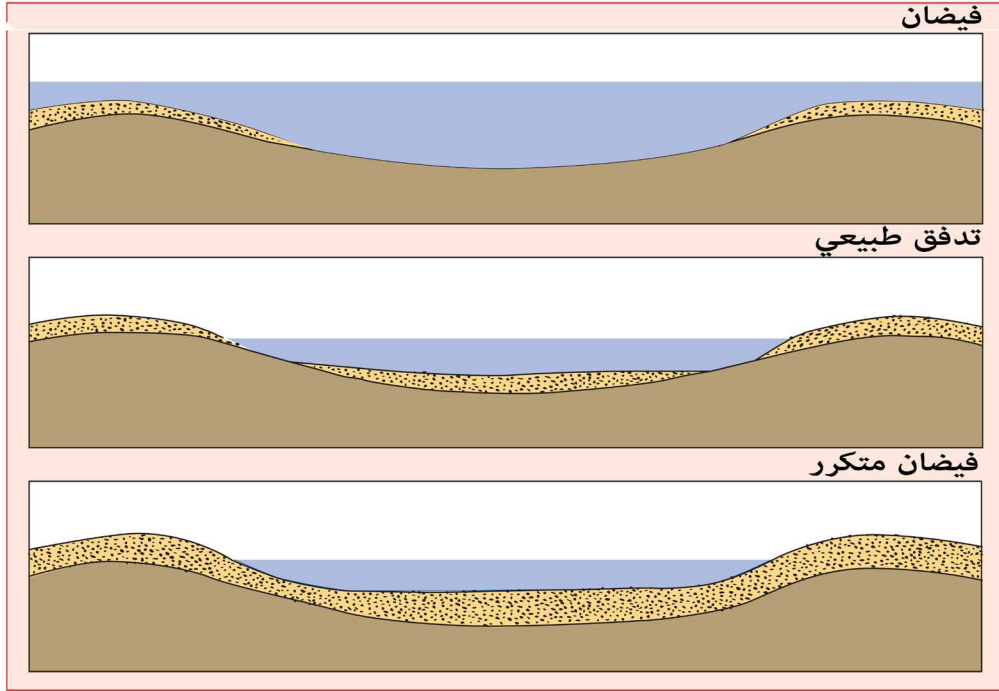
بعد انحسار الفيضان، تجف الرواسب على الضفة، وإذا كانت مكونة من جزيئات طينية، فإنها تصبح صلبة وقاسية. هنا ترتفع الضفة قليلاً، وفي كل مرة يفيض فيها النهر، تترسب طبقة أخرى من التربة فوق الطبقات السابقة وترفع الضفة أكثر.

في الوقت نفسه، قد تكون الرواسب المترسبة على قاع النهر ترفع مستوى النهر. عادةً ما يجعل هذا النهر ضحلاً وأكثر عرضة للفيضانات، لكن السدود





المرتفعة تمنع ذلك. بدلاً من ذلك، يرتفع النهر بكامله، ويتراكم القاع والخزانات معاً، حتى يتدفق النهر على مستوى أعلى من الأرض إلى أي من الجانبين.



تظهر المقاطع العرضية كيف يرفع النهر من سماكة ضفافه بمرور الزمن بسبب تراكم الرواسب مشكلاً حواجز نهريّة.

يمكن أن تتشكل الحواجز من هذا النوع بشكل طبيعي، لذلك ليس من المستغرب أن الأشخاص الذين عاشوا بالقرب من الأنهار التي غمرت حقولهم ومنازلهم بين الحين والآخر أدركوا أنه يمكنهم حماية أنفسهم من خلال بناء سدود مماثلة. فقد بُنيت السدود على طول الضفة اليسرى (الغربية) لنهر النيل في زمن الفراعنة. وامتد هذا لأكثر من (965 كلم) من أسوان جنوباً إلى البحر الأبيض المتوسط. في وقت لاحق، بنى المهندسون العرب سدوداً على الضفة اليمنى (الشرقية) لنهر النيل.





لقد كانت الأنهار الرئيسية الأخرى تحدها السدود، لكن تكلفة البناء كانت عالية، والحماية التي توفرها لم تكتمل بعد. كانت السدود تتعرض باستمرار للهجوم من التعرية ومن الحيوانات التي اخترقتها وأضعفتها.

كان لا بد من توظيف آلاف الأشخاص بشكل دائم لإصلاحها، ولكن مع كل هذا الجهد، تعرضت للانتهاك مراراً وتكراراً. كان الماء يتسرب عبر الثقوب، التي تصنعها الحيوانات غالباً، ونقاط الضعف الأخرى، ويتدفق عبر الجانب الآخر فيما يسمى (الدمامل). غالباً ما كانت هذه الدمامل هي سبب حدوث شقوق في الجسور، والتي تسمى (الصدوع).

يمكن أن يؤدي فشل السد إلى كارثة. أثناء هطول الأمطار الموسمية الغزيرة في صيف عام 1998، ظهر صدع يزيد طوله على (40 متراً) في سد بجانب نهر اليانغتسي في مقاطعة قوانغدونغ، الصين. استخدم الجيش والشرطة المتفجرات لإغراق (908 طن متري) في محاولة فاشلة لسد الثغرة.

غمرت المياه مدينة جيوجيانغ، إلى الجنوب الغربي من مدينة جوانزو (كانتون)، في أماكن لعمق أكثر من (1.8 م)، وقد فقد الآلاف حياتهم. كما طرد عدد أكبر من السكان من منازلهم، وأجبرت السلطات على إجلاء 330 ألف شخص يعيشون على طول مجرى نهر جيوجيانغ. وقد كان هذا جزءاً من مخططهم لخرق بعض حواجز المنبع بشكل متعمد من أجل تقليل الضغط على السدود في اتجاه مجرى النهر التي تحمي العديد من المدن الصناعية المهمة، والتي بدأت بالفعل في التسرب.





مع ذلك، بغض النظر عن الصعوبات والعواقب المروعة للفشل، فإن السدود توفر حماية جيدة جداً وتمنع الكثير من الفيضانات. فقط في هذا القرن، حيث تعلم العلماء المزيد عن طريقة تدفق مياه النهر، يمكن تحقيق حماية أفضل إذا كانت السدود واحدة فقط من عدة طرائق مستخدمة.

في الأصل، كانت سرعة الماء في النهر هي العامل الوحيد في تحديد كمية الرواسب التي يحملها النهر. فإذا كان النهر محصوراً بين الضفاف أو السدود المدعومة، فقد كان يُعتقد أنه عندما يتعين على النهر أن يحمل المزيد من المياه، فإنه سيتدفق بشكل أسرع ويقطع قناة أعمق لنفسه.

هذا صحيح بشكل عام، وأحياناً تطلق كميات كبيرة من المياه في الأنهار المحاطة بالسدود لإزالة الرواسب الزائدة منها، لكن الأنهار ليست كلها متشابهة. مع أن السدود عادةً ما تحمي من الفيضانات، إلا أنها في ظل ظروف معينة يمكن أن تسهم أيضاً بسبب تآكلها وفشلها في زيادة **مخاطر الفيضانات** في اتجاه مجرى النهر.

في بعض الأنهار، قد يؤدي التدفق الأسرع إلى تآكل الخزانات بدلاً من تعميق القناة. في مناطق أخرى، بما في ذلك أجزاء من أسفل المسيسيبي، فإن الرواسب التي كانت قد ترسبت في يوم من الأيام على الأرض الواقعة على ضفاف النهر التي غمرتها الفيضانات يجري نقلها حالياً إلى أسفل مجرى النهر وترسب على قاع النهر هناك، مما يجعل النهر أكثر ضحالة.

أسهم هذا النوع من الترسيب في اتجاه مجرى النهر في حدوث ستة فيضانات كبرى في ولاية ميسيسيبي بين عامي 1881 و1890. وحيث تحصر السدود النهر



بشكل آمن، في أوقات ذروة التدفق فإنها تجعل مستوى المياه يرتفع أعلى مما كان عليه لو كان النهر قادراً على تجاوز ضفافه. هذا يعني أنه يجب بناء سدود أعلى للتعويض.

يؤدي الحظ دوراً أيضاً، فقد كان فيضان **الميسيبي** الكارثي عام 1927 نتيجة لسوء الحظ. في ذلك العام غمرت المياه أكثر من (64750 كم²)، واجتاحت السدود في كثير من الأماكن، لكن الظروف كانت غير عادية.

عادة ما تحمل الروافد الشرقية للنهر الرئيسي أقصى تدفق لها في أواخر الشتاء والربيع، من يناير حتى أبريل. **ميسوري وروافده**، التي تدخل من الغرب، تحمل ذروة تدفقها في يونيو. يسمح هذا للميسيبي بحمل تدفق الذروة الأول ثم بعد فاصل زمني، الآخر. ولكن بالصدفة البحتة، في عام 1927، حدثت الذرى في الوقت نفسه في جميع الروافد، واكتسح نهر الميسيبي وحواجزه.

بعد عشر سنوات، في يناير وفبراير 1937، فاضت **ولاية أوهايو** لتسبب أكبر فيضان في تاريخها المسجل، وفي القاهرة في ولاية إلينوي، ارتفع نهر الميسيبي (19 متراً) فوق مستواه المعتاد. تدفقت المياه عائدة إلى الروافد الأصغر، التي لم تكن محمية بالسدود، ولكن في ذلك الزمن، كان حظ الناس الذين يعيشون بجوار نهر **الميسيبي** السفلي أفضل. وبهذه المناسبة صمدت السدود بينما كانت (56600 م³) من المياه تتدفق على طول النهر كل ثانية. في الواقع، لم تكن هناك حوادث خطيرة في السدود في وادي الميسيبي السفلي منذ عام 1928.

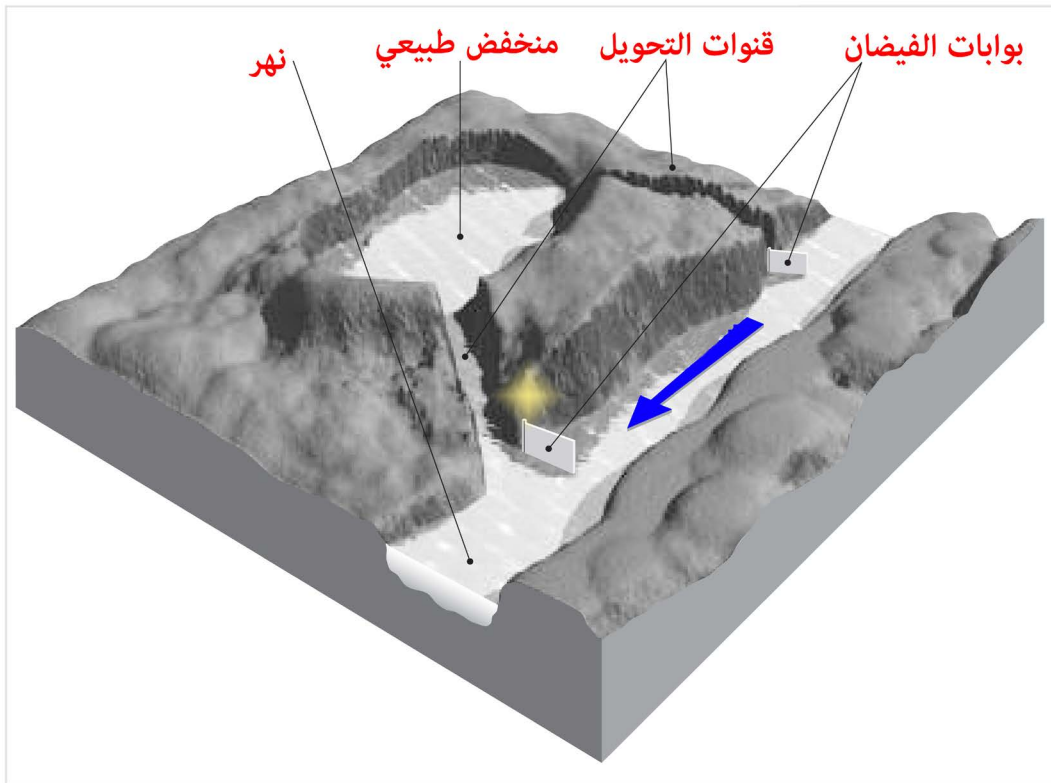
يجري حالياً تعزيز حماية الحواجز بطرائق أخرى. يساعد إنشاء السدود بعيداً عن ضفة النهر، فيسمح هذا لبعض الأراضي المتاخمة للنهر بالفيضان





بشكل غير ضار، ومن خلال امتصاص بعض طاقة المياه المتحركة، فإنه يقلل من التآكل على السدود نفسها. فوق باتون روج في لويزيانا على سبيل المثال المسافة بين السدود أقل من (1.6 كم) في بعض الأماكن وفي أخرى قد تصل إلى (24 كم).

ربما تكون الطريقة الأكثر فعالية لمنع الفيضانات هي إزالة المياه قبل أن تغطي على نظام النهر. يمكن قطع القنوات، التي تتحكم فيها بوابات الفيضان، من النهر إلى منخفض طبيعي في الأرض، كما هو موضح في الرسم الآتي.



يمكن منع الفيضانات عن طريق تحويل مجرى النهر باستخدام الحواجز والبوابات.





في أوقات ذروة التدفق، عندما يكون من المحتمل حدوث فيضان، يؤدي فتح بوابات الفيضان إلى تحويل بعض المياه إلى المنخفض، حيث يمكن إعادتها إلى النهر عند زوال خطر الفيضان.

من الواضح أن هذه الطريقة غير ممكنة في كل مكان. قد لا يكون هناك منخفض كبير وعميق بما يكفي ليكون مفيداً، أو قد تكون هناك منازل في المنخفض المناسب الوحيد. حيث يمكن استخدامه، ومع ذلك، فإنه عادة ما ينجح.

يُمنع نهرا دجلة والفرات بهذه الطريقة من إغراق بغداد عاصمة العراق والأراضي الزراعية المحيطة بها. يرتبط نهر الفرات ببحيرة الحبانية، وتربط قناة بطول 66 كم نهر دجلة مع منخفض الثرثار. غالباً ما تستخدم السدود لمنع تدفقات الذروة بالطريقة نفسها.

• جعل تدفق النهر أسرع

في بعض الأحيان يكون من الممكن مساعدة النهر نفسه، من خلال زيادة قدرته الاستيعابية، مقاسة بمعدل تدفق المياه على طولته. يعتمد هذا المعدل على مساحة المقطع العرضي لقناة النهر وزاوية انحدارها. إن توسيع القنوات وتعميقها لزيادة قدرتها له بعض التأثير، ولكن في بعض الأحيان يمكن أيضاً جعل النهر أكثر حدة.

لنفترض في جزءٍ من مجراه أن ارتفاع قاع النهر من (30.5 م) إلى (15.25 م) فوق مستوى سطح البحر، لكن النهر يتعرج، فيبلغ طولته على ذلك الجزء من مجراه (32 كم).





مثلاً عند حفر القنوات لربط بعض التفرجات معاً، لن يضطر الماء إلى الانتقال بعيداً. افترض أن هذه القنوات تقسم المسافة إلى النصف من (32 كم إلى 16 كم). يضاعف هذا التدرج، إلى متر واحد في كل 1050 متراً تقريباً، وبالتالي سيتدفق الماء بشكل أسرع.

إذا كان الماء يتدفق بشكل أسرع، فسيجري تصريف المزيد منه من مصب النهر كل ثانية، وقد يكون هذا كافياً لمنع الفيضانات. تتعرج الأنهار لأنها تعبر سهولها الفيضية تقريباً وهناك، في السهول الفيضية، من المرجح أن تكون الفيضانات الشديدة. هذا يجعل التقنية مفيدة بشكل خاص. سيؤدي التدفق الأسرع أيضاً إلى تقليل ترسب الرواسب في اتجاه مجرى النهر، وبالتالي فإن مصب النهر سوف يتراكم ببطء أكثر.

عندما يكون النهر متعرجاً، يجري قطع القنوات عادةً كمنحنيات عريضة، لتقليل التعرية التي يمكن أن تشكل تعرجات جديدة، ولكن عندما تستصلح الأراضي المنخفضة من البحر، غالباً ما تكون القنوات المستقيمة مرضية. لقد بُنيت القنوات لهذا الغرض على طول نهر المسيسيبي في الثلاثينيات. وأدى ما مجموعه 16 قناة إلى تقليص طول النهر بين ممفيس وتينيسي وباتون روج بولاية لويزيانا بمقدار (274 كم).

سواء أكانت تسمى سدود أم حواجز، منذ آلاف السنين، فقد كان الناس يقومون ببناء الجدران لرفع ارتفاع ضفاف الأنهار من أجل منع الفيضانات. لقد اكتشفت طريقة حماية الأراضي والمباني هذه بشكل مستقل في أجزاء كثيرة من العالم، وقد نجحت إلى حد كبير.



المراجع

Adams, Simon, & Lambert, David, (2006), **Earth Science: An Illustrated Guide to Science**, Chelsea House, New York.

Allaby, Michael, (2003), **Floods**, Revised Edition, Facts On File, Inc., New York.

Bolt, B.A. et al., (1977), **Geological Hazards**, 2nd Edition, Springer-Verlag, New York.

Gallagher, Belinda, (2010), **1000 Facts - Planet Earth**, Miles Kelly Publishing Ltd Bardfield Centre, Great Bardfield.

Singh, Ramesh P., & Darius Bartlett, (2018), **Natural Hazards**, Taylor & Francis Group, LLC., Broken.

Lamond, Jessica et al., (2012), **Flood Hazards**, Taylor & Francis Group, LLC., Broken.

Simonovi´c, Slobodan P., (2012), **Floods in a Changing Climate: Risk Management**, Cambridge University Press, Cambridge.

Thiebes, Benni, (2012), **Landslide Analysis and Early Warning Systems**, Doctoral Thesis accepted by The University of Vienna, Springer-Verlag Berlin, Austria.







أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمة من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 200 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 35 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

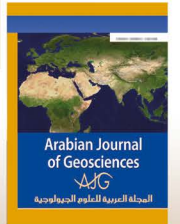
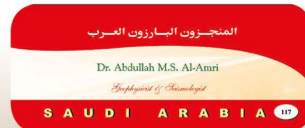
- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

دروع التكريم

- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.





موسوعة أمري في علوم الأرض



Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



المد
والجزر



المعادن
والتعدين



التركيب
الداخلي للأرض



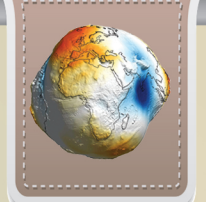
الجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



شكل
الأرض وحركاتها



تقدير
عمر الأرض



الأغلفة
المحيطة بالأرض



جيولوجية
القمر



البراكين
وسبل مجابقتها



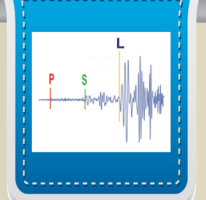
تقييم
مخاطر الزلازل



الزلازل
والتفجيرات



موجات
التسونامي



التصحّر
والجفاف



الأمطار
السيول والسدود



الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



التشجير
التحديات والحلول



التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



المشاكل
البيئية وحلولها



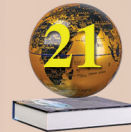
دليل كتابة
الرسائل والنشر العلمي



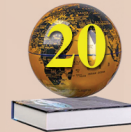
الجيولوجيا
الطبية



الجيوفيزياء
النووية



هل انتهى
عصر النفط؟



الطاقة
الحرارية الأرضية



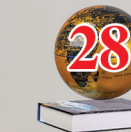
مستقبل
الطاقة في عالمنا



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية



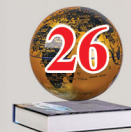
303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياء



321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض



www.alamrigeo.com

